GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

# LOGISZTIKAI HÁLÓZATOK RIZIKÓTÉNYEZŐINEK KEZELÉSE

**Ph.D. értekezés**

Készítette:
**Skapinyecz Róbert**
okleveles közlekedésmérnök

Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola
Anyagáramlási rendszerek és logisztikai informatika tématerület
Logisztikai Intézet

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ
**Prof. Dr. Végh János**
egyetemi tanár

TÉMATERÜLET VEZETŐ
**Prof. Dr. Illés Béla**
intézetigazgató, egyetemi tanár

TÉMAVEZETŐ
**Prof. Dr. Illés Béla**
intézetigazgató, egyetemi tanár

Miskolc, 2018

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet és hálámat mindazoknak, akik támogatásukkal hozzájárultak az értekezés elkészültéhez.

Különösképpen szeretnék köszönetet mondani tudományos vezetőmnek, Dr. Illés Béla Professzor Úrnak, akinek szakmai iránymutatása és erkölcsi támogatása nélkülözhetetlen segítséget jelentett a kutatómunkám sikeres elvégzéséhez.

Szintén szeretném megköszönni a Logisztikai Intézet teljes kollektívájának a tőlük kapott szakmai és erkölcsi támogatást. Továbbá szeretném megköszönni a Gépészmérnöki és Informatikai Kar, valamint a Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola vezetőségének a fiatal kutatók számára a magas szintű kutatómunka elvégzését lehetővé tevő feltételek megteremtését és biztosítását. A munkámban emellett lényeges és több szempontból meghatározó segítséget jelentett, hogy támaszkodhattam a Logisztikai Intézet széleskörű nemzetközi és ipari kapcsolatrendszerére, valamint lehetőségem adódott részt venni az intézetben futó projektekben is.

Végül szeretnék köszönetet mondani a családomnak, akik mindvégig bíztattak és mellettem álltak az elvégzett munka során.

"A tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg"

## Nyilatkozat

Alulírott Skapinyecz Róbert kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem. A dolgozat bírálatai és a védésről készült jegyzőkönyv a későbbiekben, a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának Dékáni Hivatalában lesz elérhető.

Miskolc, 2018.02.19.

Skapinyecz Róbert

# Tartalomjegyzék

**Tartalomjegyzék**

**1. Bevezetés ... 1**

**2. A kutatás háttere és célkitűzései ... 2**

**3. A témához kapcsolódó szakirodalom áttekintése ... 4**

3.1 Az elvégzett irodalomkutatás módszertani összefoglalása ... 4

3.2 A korszerű logisztikai hálózatok kialakulása és jelentősége ... 4

3.3 Kockázatkezelés az ellátási láncokban ... 7

3.4 Kockázatkezelés a tágabb értelemben vett logisztikai hálózatokban ... 9

3.5 A kutatásban felhasznált módszerek áttekintése ... 12

3.5.1 A folyamatképesség koncepciójának ismertetése ... 12

3.5.2 Az AHP módszer ismertetése ... 15

3.5.3 A hatványmódszer ismertetése ... 20

3.6 A téma szempontjából releváns AHP-t használó eljárások áttekintése ... 22

**4. A kockázatkezelés szempontjából meghatározó hálózati struktúra lehatárolása és jellemzése ... 26**

4.1 A kiinduló struktúra meghatározása ... 26

4.2 A logisztikai modell lehatárolása és jellemzése ... 27

4.3 A modellben előforduló jellegzetes esetek bemutatása ... 32

4.4 A jellegzetes esetek összefoglalása ... 34

**5. A lehatárolásra került hálózati struktúrához kidolgozott matematikai modell ismertetése ... 35**

5.1 Az általános matematikai modell meghatározása ... 35

5.2 A logisztikai folyamatokhoz kapcsolódó peremfeltételek bevezetésének lehetőségei ... 37

5.3 Sztochasztikus folyamatok reprezentációja a matematikai modellben a folyamatképesség felhasználásával ... 40

**6. A logisztikai szempontból meghatározó kockázati tényezők azonosítása és számszerűsítése ... 45**

6.1 Késedelmes szállítmány ... 48

6.2 Helytelen szállítmány ... 49

6.3 Törölt szállítmány ... 50

6.4 Elveszett szállítmány ... 52

6.5 Késedelmes kezelés ... 53

6.6 Hibás csomagolás ... 54

6.7 Mennyiségi eltérés ... 56
6.8 Árusérülés ... 57
**7. AHP módszerre épülő kockázati modell meghatározása és a teljes kockázatkezelési eljárás ismertetése ... 59**
7.1 A kockázati modell felépítése ... 59
7.2 A kockázati modell használatával kapott eredmények felhasználása a logisztikai szolgáltatók kiválasztásához ... 67
7.2.1 A kockázati modell eredményeit felhasználó célfüggvény meghatározása ... 67
7.2.2 További korlátozó feltételek alkalmazásának lehetőségei ... 71
7.2.3 Az összköltségre történő minimalizálás célfüggvénye ... 74
7.3 A kockázati modell implementálása a hálózati struktúra különböző vetületeiben ... 75
7.3.1 A modell használata az ellátási folyamatban résztvevő logisztikai központok kiválasztásánál ... 75
7.3.2 A modell használata a beszállítási folyamatban résztvevő szállító vállalatok kiválasztásánál ... 75
7.3.3 A kockázati modell implementálása a reverz logisztika oldalán ... 76
7.3.4 A modell használata a kiszállításban résztvevő szállító vállalatok kiválasztásánál ... 76
7.3.5 A modell használata a disztribúcióban résztvevő logisztikai központok kiválasztásánál ... 76
7.4 A bemutatott kockázatkezelési eljárás gyakorlatban történő alkalmazását támogató információmegosztási modell ismertetése ... 76
7.4.1 Az információmegosztási modell általános bemutatása ... 76
7.4.2 Az adatmodell meghatározása ... 78
7.4.3 A RAMI 4.0 alkalmazásának lehetősége az információmegosztási modell megvalósításához ... 81
7.5 A javasolt kockázatkezelési eljárás teljes folyamatábrájának ismertetése ... 86
**8. A kialakított eljárás felhasználási, valamint továbbfejlesztési lehetőségeinek ismertetése ... 88**
**9. Az értekezés tézisei ... 90**
**10. Összefoglalás ... 92**
**11. Summary ... 94**
**12. Jelölésrendszer ... 96**
**13. Irodalomjegyzék ... 101**
13.1 Az értekezés témakörében készült saját publikációk ... 101
13.2 Áttekintett és felhasznált irodalom ... 105
**14. Melléklet ... 117**
14.1 A kialakításra került kockázatkezelési eljárás alkalmazásmódjának gyakorlati példán keresztül történő bemutatása ... 117

14.1.1 A szolgáltatókra jellemző folyamatképességi paraméterek meghatározása .....119
14.1.2 A kockázati modell alkalmazása a beszállítási folyamatokra .....123
14.1.3 A szolgáltatók kockázati szempontból nézve optimális kombinációjának meghatározása .....128
14.2 Az összetartozó DPMO és $c_{pk}$ értékek táblázata ..... 134
14.3 A főkritériumok összehasonlítása ..... 135
14.4 Példák az alkritériumok összehasonlítására..... 136
14.5 Példák a kockázati tényezők összehasonlítására az egyes alkritériumok szerint ..... 139
14.6 Az AHP modell PriEsT szoftverben történt implementációjával elvégzett egyszerű érzékenységi vizsgálatok ..... 143
14.7 Az AHP modell PriEsT szoftverben történt implementációjával elvégzett két szempontú érzékenységi vizsgálatok ..... 145

# 1. Bevezetés

A korszerű logisztikai hálózatokat elsősorban a fejlett információs technológiák alkalmazására támaszkodó hálózati struktúra, az osztott intelligenciás működési elv, az elemek nagy száma és bizonyos szintű kollaborációja, valamint ezekből fakadóan a nagyfokú rugalmasság határozzák meg. Emellett egyre markánsabban jelennek meg az alábbi közös jellemzők is:

- harmadik fél által biztosított, egységes informatikai platformok használata,
- a közös platformokra épülően a rendszerek koordinációját megvalósító alkalmazások egységes igénybevétele (ezek lehetnek egyszerű e-piacterek, vagy komplexebb megoldások esetén az előbbieket kiegészítő különféle optimalizáló szoftverek is),
- egységes üzletszabályzat elfogadása,
- az operatív oldalon nagyszámú, önálló erőforrásokkal rendelkező szereplő összekapcsolása.

A fent leírt hálózatok egyaránt előnyösek mind a megbízók, mind pedig az azokban résztvevő egyes logisztikai szolgáltatók számára is, mivel az előbbiek jellemzően egyetlen csatornán keresztül juthatnak hozzá költséghatékony és egyszersmind magas színvonalú integrált szolgáltatásokhoz, míg az utóbbiak lényegesen nagyobb ügyfélkört érhetnek el, miközben a rendszer olyan infrastrukturális és egyéb lehetőségeket biztosít a számukra, amelyekhez kizárólag a saját erőforrásaikra támaszkodva általában nem tudnának hozzájutni.

A szóban forgó hálózatok egy viszonylag kevésbé vizsgált vetülete ugyanakkor a megbízhatóság, valamint ezzel összefüggően a kockázatkezelés kérdésköre, amelyek pedig alapvető fontosságúak az ipari gyakorlat szempontjából. Ennek legfőbb oka, hogy a korszerű logisztikai hálózatok szolgáltatásait igénybe vevő megbízók - jellemzően termelő-szolgáltató vállalatok - saját tevékenységeik hatékony ellátása érdekében szükséges, hogy pontos és átlátható képet kaphassanak a rendszerek folyamatainak megbízhatóságáról, ami viszont az egyre több szereplő integrálása és így a komplexitás folyamatos növekedése folytán egyre nagyobb kihívást jelent. A disszertáció célja, hogy erre a kérdésre adjon egy lehetséges választ egy a korszerű logisztikai hálózatokra implementált kockázatkezelési eljárás kidolgozásával.

## 2. A kutatás háttere és célkitűzései

Napjainkra a gazdaság számos területén kezdenek egyre nagyobb szerepet játszani a bevezetésben már említett, hálózatszerűen működő és holonikus modelleken alapuló termelő, szolgáltató, illetve gyűjtő-elosztó rendszerek. Ezek a rendszerek gyakran az úgynevezett virtuális vállalat működési elvét követik, amelynek kutatása ma már egy kifejezetten jelentős területnek számít a logisztikán belül. Itt fontos megjegyezni, hogy a virtuális logisztikai hálózatok működésének vizsgálata immár majdnem két évtizede a Logisztikai Intézet számára is egy kiemelt kutatási irányt képvisel. Ezt támasztja alá, hogy Cselényi József már egy 1998-as publikációjában definiálta a virtuális vállalatok logisztikájának alapjait [17]. A később az intézeti kollektíva által közösen készített Logisztikai rendszerek I. című könyv is több fejezetében foglalkozik a témával [18]. Illés Béla több publikációjában is foglalkozott mind a regionális logisztikai hálózatok fejlesztési kérdéseivel [50] [51], mind pedig a virtuális vállalatok és hálózatok szolgáltatási logisztikában történő felhasználásának lehetőségeivel [52]. Bányai tamás többek között az újrahasznosítási hálózatok [4], valamint a hálózatszerűen működő logisztikai rendszerek heurisztikus algoritmusokkal történő optimalizálásával [7] foglalkozott mélyrehatóan. Tamás Péter a disszertációjában egy elektronikus piactér felhasználásával megvalósuló és a raktározási tevékenység kiszervezését támogató, egyúttal esemény-vezérelt szimulációra épülő vizsgálati módszerrel foglalkozott [109]. Emellett egyik Illés Bélával közös publikációjában lefektette egy magyarországi virtuális logisztikai centrum koncepcióját is [110] Kota László a disszertációjában szintén a hálózatszerűen működő logisztikai rendszerek egy bizonyos típusának hozzárendelési problémáira koncentrált, amelyek megoldásához egy új evolúciós programozási algoritmust is kialakított [64]. Továbbá megemlítendő, hogy értekezésében Kacsukné Bruckner Lívia is a logisztikával integrált elektronikus piacterek optimalizálási kérdéseivel foglalkozott [11]. Társszerzőivel egyetemben Kovács György is foglalkozott a regionális szintű virtuális logisztikai hálózatok kialakításának kérdéseivel [65]. Végezetül témavezetőmmel, Illés Bélával együtt magam is részt vettem több, ehhez a területhez és egyúttal a jelen disszertációhoz is kötődő publikáció elkészítésében [P/11] [P/5] [P/1]. Lényeges hangsúlyozni, hogy az előbbiekben csak néhány kiemelt példa került felsorolásra. Ezek mellett mind az említett szerzők, mind pedig az Intézet többi (volt és jelenlegi) oktatója és kutatója is részt vett számos további, a témához kötődő publikáció elkészítésében.

Tekintettel az olyan, napjainkban meghatározónak számító trendek, mint a negyedik ipari forradalom és ezzel összefüggésben az ipar 4.0 kibontakozására, egyértelműnek látszik, hogy a közeli jövőben a szóban forgó rendszerek egyre erőteljesebb térnyerésére lehet számítani a gazdaság minden vetületében, különösképpen pedig a logisztikában. Ahogy az a bevezetésben már szerepelt, a korszerű logisztikai hálózatokban résztvevő felek számára ugyanakkor megoldandó feladatként jelentkezik a rendszer megbízhatóságának kellően pontos meghatározása is. Különösen a logisztikai szolgáltatásokat igénybevevő vállalatok számára lényeges az, hogy pontosan fel tudják mérni a hálózaton keresztül elérhető integrált szolgáltatások használatának kockázati vonzatait, amelyhez elengedhetetlenül szükség van részletes kockázati modellek kidolgozására és alkalmazására.

Az előbbi megállapítással összhangban a disszertáció a logisztikai hálózatokban megjelenő, elsősorban az anyag-és információáramlást közvetlenül befolyásoló kockázati tényezők meghatározásával, az ezekkel összefüggésben álló mennyiségi és minőségi problémák számszerűsítésével, valamint az egyes kockázati tényezők jelentőségének egzakt alapokon nyugvó meghatározásával kíván foglalkozni. A kutatás legfontosabb célja, hogy ezekre épülően kialakításra kerüljön egy olyan komplex kockázatkezelési eljárás, amely lehetővé teszi a hálózatokban részt vevő logisztikai szolgáltatók megbízhatósági szempontból vett értékelését, ezt felhasználva pedig a megbízó vállalatok számára lehetővé váljon a szolgáltató választás kockázati szempontból vett optimalizálása.

A fenti célok megvalósítása érdekében elsőként egy olyan átfogó matematikai modell lefektetésére kerül sor, amellyel kellő hatékonysággal és a folyamatközpontúság elvét szem előtt tartva írhatóak le a korszerű decentralizált logisztikai hálózatok, ezáltal lehetővé téve az egyes logisztikai szolgáltatók folyamatait jellemző kockázati tényezők pontos meghatározását. Ezek után a későbbiekben szintén sor kerül egy multikritériumos döntéstámogató módszerre (AHP, kifejtve „Analytic Hierarchy Process”, magyarul Analitikus Hierarchia Eljárás) épülő kockázati modell felállítására, amelynek használatán keresztül megvalósítható az egyes kockázati tényezők súlyának a megbízók szempontjából vett meghatározása. Ezek mellett lefektetésre kerül a koncepció alkalmazásához szükséges információmegosztási, valamint az utóbbi középpontjában álló adatmodell is. Végül a felsorolt elemekre épülő kockázatkezelési eljárás működése egy a gyakorlathoz közel álló alkalmazási példán keresztül kerül bemutatásra.

# 3. A témához kapcsolódó szakirodalom áttekintése

## 3.1 Az elvégzett irodalomkutatás módszertani összefoglalása

Az elvégzett irodalomkutatás több olyan területre is kiterjedt, amelyek tárgyalása szükséges volt a téma alapos feltárásához, valamint a kutatás során használt eszközök megfelelő szintű bemutatásához. Ezek közül az első fázist értelemszerűen egy rövid történeti áttekintés képezte, amelynek keretében ismertetésre került a korszerű logisztikai hálózatok kialakulási folyamata, valamint az ezen hálózatok gyakorlati szempontból vett jelentősége. Ezt követte a konkrétan vett kutatási terület feltárása, amelynek során egyrészt bemutatásra került a kockázatkezelés jelentősége egy specifikus területen, a közismert ellátási láncokon belül, másrészt pedig sor került a tágabb értelemben vett logisztikai hálózatok kockázatkezelésével foglalkozó szakirodalom vizsgálatára is.

A kutatás fő területének előző módon megvalósított elemzése után sor került a kutatásban használt eszközök bemutatására is. Egyrészt megtörtént a folyamatképesség koncepciójának ismertetése a disszertációban használt folyamatképességi mutatók bemutatásával egyetemben. Másrészt sor került az AHP módszer összefoglaló ismertetésére, több logisztikában történő felhasználási példa felsorolásával kiegészítve (az AHP módszerrel összefüggésben továbbá röviden bemutatásra került a számítások egy részénél alkalmazott hatványmódszer is). Végül sor került a már létező, a kutatási területhez kapcsolódó AHP alapú kockázatkezelési eljárások áttekintésére.

Fontos megjegyezni, hogy az irodalomkutatás minden fázisa korszerű tudományos keresőmotorok - elsősorban a Google Scholar és a ScienceDirect - felhasználásával került megvalósításra.

## 3.2 A korszerű logisztikai hálózatok kialakulása és jelentősége

A logisztikai hálózatok régóta fontos szerepet töltenek be a gazdaság működtetésében, térnyerésük ugyanakkor az utóbbi évtizedekben vált igazán látványossá. Ennek egyik fontos előzménye volt, hogy a termelő vállalatok az 1950-es és 60-as évektől kezdve elkezdték egyre nagyobb mértékben kiszervezni a nemzetközi fuvarozáson és szállítmányozáson túlmutató logisztikai feladataikat is, ahogy az kiderül többek között a KPMG Tanácsadó Kft. logisztikai outsourcing-al kapcsolatosan 2009-ben kiadott tanulmányából [66]. Ezt követően a 70-es években előtérbe került a költségcsökkentés, illetve általában véve a hatékonyság növelés, ami arra ösztönözte a vállalatokat, hogy hosszú távú kapcsolatokat alakítsanak ki a logisztikai

szolgáltatókkal. A 80-as évektől kezdve a logisztikai szolgáltatók tevékenységi köre is egyre bővült (pl. csomagolás, komplettírozás, készletgazdálkodás, címkézés, rendszertámogatás), ami egyre komplexebb logisztikai hálózatok kialakulását tette lehetővé, ami szintén megtalálható az előbbi tanulmány még 2003-ban kiadott változatából [67]. Mindezzel párhuzamosan kezdtek egyre inkább meghatározóvá válni az olyan globalizációs trendek (multinacionális vállalatok megszületése, az egész világra kiterjedő ellátási láncok kialakulása, globális piacok létrejötte, stb.), amelyek már szervesen támaszkodtak a logisztikai hálózatok működésére (ez többek között részletesen megtalálható az intézet által kiadott Logisztikai rendszerek I. című könyvben is [18]).

A decentralizált hálózatok kibontakozásában jelentős szerepet játszik az e-kereskedelem folyamatos térnyerése is. Az üzleti szféra már a múlt század 70-es éveitől kezdve alkalmaz elektronikus tranzakciók bonyolítására szolgáló számítógép-hálózatokat (pl. EDI), ugyanakkor az igazán nagy előrelépést természetesen az internet és az arra épülő technológiák térhódítása jelentette. Ezzel összhangban a logisztika területén is a 90-es évek elejére tehető az első e-piacterek megjelenése, amelyek érthető módon először a szállítmányozás és fuvarozás támogatására jöttek létre (pl. NTE, DAT), ahogy az kiderül Nandiraju és Regan a területet összefoglalóan bemutató publikációjából is [78]. Ezeket rövid időn belül követte számos olyan, összetettebb szolgáltatást nyújtó fuvarozási piactér megjelenése, amelyek már előrevetítették az internet-alapú szolgáltatások széleskörű térhódítását (ilyenek voltak például a FreightMatrix, a Transplace vagy a Nistevo, utóbbi egyben a kollaboratív hálózatok egyik első képviselője is volt) [78]. Innentől kezdve a fejlődés rohamossá vált, amihez a logisztikai szolgáltatásokra specializált e-piacterek elterjedésén túl már jelentősen hozzájárult az általános értelemben vett e-kereskedelem kibontakozása is. Az utóbbi térnyerése ugyanis megnövelte az igényt a kisebb mennyiségű, de gyakoribb szállítások iránt, miközben az átfutási idők csökkentése is még inkább előtérbe került (sok esetben gyakorivá váltak a napon belüli kiszállítások is). Mindez természetesen még inkább szükségessé tette a hatékonyan működő disztribúciós hálózatok, valamint a korszerű, e-kereskedelemmel integrált ellátási láncok kialakítását és működtetését. Ezeknek a folyamatoknak a leírása megtalálható számos, a területet átfogóan tárgyaló forrásban, így például a Joong-kun, Ozment és Sink [55], a Huppertz [49], a Foster [27], a Harrington [42], valamint a Hill [45] által készített publikációkban, továbbá a Gubán Ákos által szerkesztett Logisztika: felvetések, példák, válaszok című könyvben is [39]. Az új típusú disztribúciós hálózatok létrejötte ugyanakkor tovább fokozta a logisztikai szolgáltatások kiszervezése iránti igényt, ezáltal pedig

végeredményben az úgynevezett 3PL („third party logistics”) szolgáltatók további térnyerését. Ez utóbbi megállapítás szintén számos forrásban megtalálható, többek között a már említett [55]-ban és [39]-ben, valamint például a Deckmyn [21], a Scheraga [96] és a Kroll [68] által készített, a témát elsősorban gazdasági oldalról megközelítő publikációkban is.

Azt is fontos megjegyezni, hogy az Egyesült Államokban már az előbbi folyamatok egy részét megelőzően, illetve azokkal párhuzamosan lezajlott egy olyan deregulációs folyamat is a szállítmányozási iparágon belül, amely lehetővé tette az említett 3PL szolgáltatók megjelenését és elterjedését (ez szintén megtalálható a [78]-ben, vagy példaul Menon, McGinnis és Ackerman 3PL szolgáltatók kiválasztásával foglalkozó munkájában [77]). Látható tehát, hogy a logisztikai feladatok kiszervezésének fokozódása, a globalizációs folyamatok felerősödése, az iparág deregulációjának lezajlása és ennek eredményeként a 3PL szolgáltatók elterjedése, végül pedig az e-kereskedelem és az internet technológiák rohamos térhódítása egymást erősítve járultak hozzá a komplex logisztikai hálózatok meghatározóvá válásához.

Ahogy az a bevezetésben is említésre került, fontos még kitérni az úgynevezett „negyedik ipari forradalomra” is, mint a jelenleg kibontakozóban lévő egyik legfontosabb, az egész ipart és gazdaságot érintő átalakulási folyamatra. Ez az átfogó paradigma váltás a magas fokú és széleskörű automatizáláson, a kiterjedt gép-gép kommunikáción, a széleskörűen alkalmazott valós idejű állapotfelügyeleten, valamint az előbbiek által generált nagy mennyiségű információ elemzésén keresztül olyan újszerű és mindeddig kiaknázhatatlan lehetőségeket nyit meg a termelő vállalatok előtt, amelyekkel egyszerre válik megvalósíthatóvá az igény szerinti vevői elvárások kielégítése, a közel veszteségmentes termelő rendszerek működtetése, az átfutási idők további rövidülése és a nagyfokú költségcsökkentés (lásd Bányai saját [5] és társszerzőjével együtt [6] készített munkáit, egyúttal Tamás Péter Illés Bélával [111], valamint Illés Béla mellett Dobos Péterrel [112] együtt írt ide vonatkozó publikációit). Továbbá az egyre rugalmasabb automatizálási technológiák felerősíthetik az úgynevezett „holonikus” gyártórendszerek szerepét is, amelyek működéséhez elengedhetetlen a jól szervezett ellátási láncok kialakítása [P/1]. Ugyanakkor általában véve is igaz, hogy a fenti változások révén még nagyobb szerephez fognak jutni a kiterjedt és hatékonyan működő logisztikai hálózatok, mivel mind az automatizált termelő rendszerek, mind pedig az egyre magasabb szintű szolgáltatást elváró ügyfelek meg fogják követelni az ellátási láncok teljes átláthatóságát, más szóval az információk valós idejű és teljes körű rendelkezésre állását a logisztikai szolgáltatók oldalán. Összességében elmondható, hogy főleg az utóbbi

átalakulások révén várhatóan egyre inkább előtérbe fognak kerülni az együttműködésen alapuló, virtuális vállalati jellemzőkkel bíró logisztikai hálózatok, ezekkel együtt pedig a teljesítménymérés és a kockázatelemzés szerepe még inkább fel fog értékelődni az ellátási láncokban.

## 3.3 Kockázatkezelés az ellátási láncokban

Lényeges kitérni rá, hogy a kockázatkezelés már napjainkban is egyre jelentősebb szerepet játszik a logisztikai hálózatok egy jól ismert típusában, a közismert ellátási láncokban. Ezt nagyon jól alátámasztja az a tény, hogy a témához kapcsolódó publikációk száma a Science Direct adatbázisában a 2000 és 2015 közötti időszak alatt megháromszorozódott, ráadásul a növekedés 2010-től vált a legintenzívebbé, amint ez kiderül a Ziółkowska, Gorzeń-Mitka, Sipa és Skibiński által készített, az ellátási lánc menedzsment jelenlegi kihívásait összefoglaló munkából [126]. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy bár a publikációk jelentős része koncentrál a kockázati források azonosítására, aránylag kis részük ad konkrét mérési és elemzési módszereket a kockázatok pontos meghatározásához [126]. Emellett azt is fontos látni, hogy az ellátási láncok kockázatkezelésének területe – angol rövidítéssel élve SCRM, azaz Supply Chain Risk Management - még mindig viszonylag újnak tekinthető, ezért meglehetősen nagyszámú eltérő megközelítés létezik mind a kockázati források kategorizálása, mind pedig az alkalmazott vizsgálati eszközök szempontjából nézve, ahogy az kiderül a Sodhi, Son és Tang által a kutatók között végzett felmérésből [103]. Az előbbi tények ugyanakkor egyértelműen alátámasztják, hogy mindenképpen komoly lehetőségek rejlenek a terület további kutatásában.

Általánosságban véve elmondható, hogy az ellátási láncokban jelentkező kockázati források között kiemelt szerepe van a szállításból adódó késéseknek, az igények változásával, az aszimmetrikus információ áramlással, valamint az ellátási lánc integrációjának elégtelen szintjével egyetemben (lásd a már említett [126]-at, továbbá Andreas W. és Marcus W. [124], valamint Wang [121] az ellátási láncok kockázatmenedzsmentjével foglalkozó feltüntetett publikációit). Ezen túlmenően azonban már jelentős eltérések vannak annak megítélésében, hogy a kockázatelemzést az ellátási láncban milyen területekre célszerű kiterjeszteni, illetve milyen szempontból érdemes elvégezni. A [103]-ban a szerzők a következő értelmezéseket találták az SCRM meghatározására: a kutatók 33,3%-a szerint az SCRM az ellátás és a kereslet közötti sztochasztikus kapcsolat vizsgálatára koncentrál; 31%-uk szerint elsősorban

az ellátási láncok operatív tevékenységeihez kötődő kockázatokkal foglalkozik; 19%-uk szerint a kis valószínűségű, de nagy hatással bíró események előfordulási valószínűségét vizsgálja; 14,3%-uk szerint az ismeretlen kockázatokkal foglalkozik; 11,9%-uk szerint az ellátási láncot érintő zavarokra és a katasztrófákra fókuszál; 7,1%-uk az ellátási lánc stratégiájában rejlő kockázatokat vizsgálja; 4,8%-uk szerint új valószínűségi alapú megközelítések kidolgozásával foglalkozik; végül pedig szintén 4,8%-uk szerint elsősorban a financiális kockázatokat elemzi. Látható tehát, hogy a terület meghatározása közel sem tekinthető egységesnek, ugyanakkor messze a két legelterjedtebb megközelítést az ellátás oldali kockázatok vizsgálata, valamint az ellátási láncban megvalósuló operatív (azaz logisztikai) tevékenységekhez köthető kockázatok elemzése képezi. Elöljáróban fontos leszögezni, hogy a disszertációban bemutatásra kerülő eljárás is az utóbbi megközelítésre teszi a hangsúlyt.

Ahogy a kutatási terület értelmezésében, úgy az alkalmazott eszközökben is jelentős változatosság mutatkozik. E tekintetben jó támpontot ad a Ghadge, Dani és Kalawsky [33] által végzett átfogó elemzés, amelyben a szerzők többek között kategorizálták az SCRM területén alkalmazott módszereket is. Alapvetően megkülönböztettek kvalitatív (a vizsgált esetek 54,17%-a), kvantitatív (36,66%) és összetett (9,17%) módszereket. Ezek közül a disszertáció szempontjából elsősorban a kvantitatív, illetve az összetett módszerek bírnak jelentőséggel. A kvantitatív módszerek legnagyobb részét lényegében az operációkutatásban (OR) használt modellezési eljárások alkotják. A szerzők itt megkülönböztetnek „kemény” (a vizsgált esetek 14,17%-a), valamint „puha” (5,83%) OR eljárásokat. A „kemény” eljárások közé tartoznak többek között a lineáris programozás, a játékelmélet, a sorban állási modellek, valamint a Markov folyamatok használata, míg a „puha” eljárásokhoz sorolják a SWOT/POST elemzést, a döntéstámogató eszközöket, a VSM (Viable Systems Model) használatát, illetve egy sor egyéb hasonló módszert. Itt lényeges megjegyezni, hogy a szerzők a „puha” eljárások közül külön kiemelik az AHP használatának előnyeit, mint a gyakorlatban többek által sikeresen használt módszert. Ez a tény is megerősítésül szolgál tehát ahhoz a döntéshez, hogy a disszertációban bemutatásra kerülő eljárás egyik építőelemeként is az AHP került kiválasztásra. Az előbbieken túl a kvantitatív módszerek között szerepelnek még a szimulációs eljárások (8,33%), a valószínűségi és statisztikai alapú módszerek (5,83%), valamint a sztochasztikus programozási eljárások (2,5%). Az összetett módszerek értelemszerűen az előzőekben is felsorolt, illetve egyéb további eljárások különféle ötvözeteiként állhatnak elő [33].

## 3.4 Kockázatkezelés a tágabb értelemben vett logisztikai hálózatokban

A kutatási terület további feltárása céljából természetesen lényeges volt megvizsgálni azt is, hogy a szakirodalom milyen mélységben, illetve milyen módon foglalkozik az általánosabb értelemben vett logisztikai hálózatok kockázatkezelésével. Ez egy átfogó vizsgálatot igényelt, amelyet elsősorban a már említett Google Scholar és a ScienceDirect keresőmotorok segítségével valósítottam meg.

A Google Scholar-ban elsőként a „risk management in logistics networks" keresőszót használtam, amelyre szűrés nélkül természetesen rengeteg (440000) találatot kaptam, tekintettel a kifejezésben szereplő szavak széleskörű használatára (megjegyzendő, hogy a találatok száma főképp azért ilyen nagy, mert a Google Scholar a tudományos publikációkon kívül számos további forrást is figyelembe vesz). Az első 990 (a keresőben látszó) találatot áttekintve ugyanakkor nyilvánvalóvá vált, hogy az így kapott publikációk jelentős része szintén csak az ellátási láncokra koncentrál, azon belül is elsősorban az ellátás biztosításával kapcsolatos kockázatokra, más szóval a beszállítók megválasztásának problémájára. Néhány publikációban, mint például a Goh, Lim és Meng [37] által bemutatott ellátási lánc modellben megjelenik mind a hálózatos jelleg, mint pedig a kockázatok figyelembe vétele, ugyanakkor ez utóbbi esetre is igaz, hogy a probléma elsősorban az ellátás és a kereslet magas szintű biztonságának szemszögéből kerül vizsgálatra, mellőzve a hálózatban található logisztikai elemek megbízhatóságának részletes vizsgálatát. A Harland, Brenchley ás Walker [41] által ismertetett módszer esetében a kockázati modell már több szempontot is figyelembe vesz, ugyanakkor ebben az esetben az eljárás inkább a kvalitatív jellegű megközelítésekhez sorolható. A keresés során egyébként általánosan is igaznak bizonyult, hogy a publikációk aránylag kisebb részében jelennek meg a konkrét elemzést lehetővé tevő kvantitatív modellek, ami egybecseng a [126]-nál már ismertetett ilyen jellegű megállapítással.

Az előbbi keresést megismételtem úgy is, hogy a találatokat leszűkítettem a 2013-tól vett időszakra. A végeredmény hasonló lett ahhoz, ami az előbbi esetben is tapasztalható volt, talán annyi különbséggel, hogy némileg már nagyobb számban fordultak elő az olyan publikációk, amelyekben nagyobb szerepet kapott a hálózatos megközelítés, mint például a Hatefi és Jolai [43], a Hearnshaw és Wilson [44] vagy a Mari, Lee, Memon, Park és Kim [75] által készített munkákban. Ugyanakkor ezek esetében is igaz, hogy a kockázatokat elsősorban piaci szemszögből nézve, tehát lényegében az ellátás és a kereslet kiszámíthatóságának oldaláról vizsgálják, a logisztikai rendszer működési szempontból vett megbízhatóságának elemzése pedig vagy meg sem jelenik, vagy csak kis szerepet játszik. Megjegyzendő, hogy az

utóbbi évek publikációiban ugyanakkor érezhetően megnőtt a váratlan és rendkívüli események hatásának vizsgálata az ellátási láncokra nézve, ami feltehetően összefügg a globálisan tapasztalható kiszámíthatatlanság utóbbi időszakban tapasztalt növekedésével.

Végül a keresést megismételtem más, hasonló kulcsszavakkal is, többek között az egyszerűbb „risk logistics networks” szóösszetételt használva. Az eredmény hasonló lett az előbbiekhez, azaz alapvetően az ellátási láncokhoz kapcsolódó, elsősorban az ellátási és a keresleti problémákra koncentráló publikációkat találtam. Ezek közül az egyik kivételt az El-Sayed, Afia és El-Kharbotly [23] által bemutatott zárt láncú logisztikai modell képezte, amelynél kifejezetten alaposan került tárgyalásra egy kétirányú anyagáramlást megvalósító logisztikai rendszer, viszont a kockázatokat alapvetően itt is csak a kereslet szemszögéből vették figyelembe. Egy másik, hasonlóan részletesebb és hálózatközpontú logisztikai modell került bemutatásra a Peng, Snyder, Lim, és Liu [83] által fémjelzett publikációban, a kockázatokat viszont itt is egy szempontból nézve, a beszállítóknál előálló esetleges zavarok oldaláról közelítették meg. A keresésben emellett használtam még a „risk in logistics networks”, „risk assessment in logistics networks”, valamint a „risks in logistics networks” szóösszetételeket is, de az eredmények ezekben az esetekben is az előzőekhez hasonlóan alakultak.

A keresést elvégeztem a ScienceDirect segítségével is. Először itt is a „risk management in logistics networks” szóösszetételt használtam a kereséshez. Megjegyzendő, hogy erre összesen 15935 találatot kaptam, tehát jóval kevesebbet, mint a Google Scholar használatával, ami ugyanakkor abból a tényből fakad, hogy a ScienceDirect szigorúan csak a tudományos folyóiratokat és a szakkönyveket veszi figyelembe. Rögtön szembe tűnő volt továbbá az is, hogy 2009-től számítva folyamatosan minden egyes évben növekedett a témához köthető publikációk száma, ami ismételten összecseng a [126]-ban erre vonatkozólag található megállapítással. Emellett még az is észrevehető volt, hogy az így megtalált publikációk talán némiképp jobban fókuszálnak egy-egy konkrétabb problémára ahhoz képest, amit a korábbi keresések során tapasztaltam. Mindezekkel együtt a ScienceDirectben végzett keresés is alapvetően a korábbi eredményeket igazolta, azaz meglehetősen kevés publikáció foglalkozik a logisztikai hálózatok szélesebb körű, a megbízhatósági szempontokat is kellően figyelembe vevő kockázatelemzésével, illetve kockázatkezelésével.

Az egyik megtalált kivétel a Govindan és Chaudhuri [38] által fémjelzett publikáció, amelyben egy részletes, az anyag-és információáramláshoz kapcsolható operatív kockázatokat is figyelembe vevő modell kerül bemutatásra, az úgynevezett DEMATEL (Decision Making

Trial and Evaluation Laboratory) megközelítés felhasználásával (megjegyzendő, hogy a kockázatok itt alapvetően a logisztikai szolgáltató szemszögéből vették figyelembe). A módszer segítségével nagyon alaposan feltárásra kerül a kockázatok egymásra gyakorolt hatása, ugyanakkor a logisztikai (és az ahhoz tartozó matematikai) modell már nem kerül részletesen ismertetésre. Szintén hasznos és előremutató a Choi, Chiu és Chan [15] által készített elemzés, amelyben a logisztikai rendszerek szélesebb körű kockázatkezelésének a főbb területeit vizsgálják meg, valamint javaslatokat tesznek új kutatási irányokra is. A publikációban megjelennek mind az operatív kockázatok kezelése, mint pedig a logisztikai szolgáltatások kockázatelemzése is, mint lényeges területek, ugyanakkor a cél ebben az esetben inkább az általános kutatási irányok kijelölése volt, semmint a modell alkotás. Egy másik nagyon hasznos példa a Tuncel és Alpan [116] által egy esettanulmányon keresztül ismertetett modellezési eljárás, amelyben megtalálható egy FMECA (failure mode, effects and criticality analysis) alapú részletes kockázati modell, valamint egy Petri hálóra épülő ellátási lánc modell is. Mind a két említett módszert ugyanakkor egyedi módon kell egy adott hálózatra implementálni, itt tehát a hangsúly inkább a keretrendszeren van, semmint egy általánosan alkalmazható matematikai és kockázati modellen.

A keresést a ScienceDirect esetében is elvégeztem további szóösszetételeket alkalmazva. Az egyszerűbb „risk logistics networks” kifejezést használva valamivel több, összesen 18503 találatot kaptam, ugyanakkor a publikációk jellegében nem volt lényeges különbség, illetve szembetűnő volt, hogy a találatok egy jelentős része megegyezett az előző keresésben megtalált tételekkel. Megjegyzendő, hogy így találtam több, a konkrét témától kicsit távolabb álló, de ettől függetlenül hasznos és érdekes publikációt is. Ilyen volt többek között a De Rosa, Gebhard, Hartmann és Wollenweber [22] által bemutatott probléma, amelynél főként a telepítés elrendezés kérdését vizsgálták egy bizonytalansággal terhelt kétirányú logisztikai hálózatban. Egy másik érdekes publikáció az Alem, Clark és Moreno [2] által ismertetett kutatás, amelyben a katasztrófa helyzetek megoldását támogató logisztikai hálózatok sztochasztikus modelljeit ismertették. Ezzel kapcsolatban megjegyzendő, hogy a találatok között szerepelt több, hasonló témájú publikáció is, ami alátámasztja az általánosabb értelemben vett problémakör jelentőségét. Megjegyzendő, hogy a keresést elvégeztem a korábbiakban már ismertetett egyéb további kulcsszavakkal is, de a kapott eredményt ez nem befolyásolta számottevően.

A Google Scholar, valamint a ScienceDirect felhasználásával végzett irodalomkutatás eredményeként összességében megállapítottam, hogy bár egyrészről igazolást nyert az a tény,

hogy az ellátási láncokban értelmezett kockázatelemzésnek már ma is széleskörű irodalma van, ugyanakkor az általánosabb értelemben vett logisztikai hálózatok kockázati szempontú modellezésével eddig még meglehetősen kevés kutatás foglalkozott. Továbbá a megtalált publikációk egy jelentős részében is inkább a kvalitatív megközelítések domináltak, sokszor nélkülözve a kvantitatív eszközök használatát. Emellett azt is megállapítottam, hogy a matematikai modellt tartalmazó publikációk esetében is nagyon ritka a logisztikai szolgáltatók teljesítményével összefüggő megbízhatósági kérdések vizsgálata, más szóval a logisztikai értelemben vett operatív kockázatok figyelembe vétele. Ehelyett a kockázatokat jellemzően inkább piaci szemszögből nézve, az ellátással és a kereslettel kapcsolatos bizonytalanság formájában veszik figyelembe. Mindezen megállapítások együttesen alátámasztották, hogy a korszerű logisztikai hálózatok matematikai leírására általánosan alkalmazható, egyúttal a logisztikai kockázatokat is kellő részletességgel figyelembe vevő kockázatkezelési eljárásra szinte alig akad példa az irodalomban, továbbá a megtalált néhány pozitív példa is csak részlegesen foglalkozik a kérdéssel. Ez tehát megerősítette a számomra, hogy szükség van egy olyan matematikai modell kialakítására, amely egyrészről kellően általánosítható, másrészt viszont lehetővé teszi egy részletes kockázati modell implementálását a hálózat teljes vetületében.

## 3.5 A kutatásban felhasznált módszerek áttekintése

A következőkben két olyan módszer ismertetésére kerül sor, amelyek lényeges elemeit képezik a disszertációban bemutatásra kerülő eljárásnak. Az első ezek közül a folyamatképesség koncepciója, amely egy alapvető módszer a gyártási folyamatok minőségszabályozásában, ugyanakkor egyre elterjedtebben alkalmazzák a szolgáltatási szektorban, valamint a tágabb értelemben vett ellátási lánc menedzsmentben is. A második a már említésre került AHP („Analytic Hierarchy Process”, magyarul Analitikus Hierarchia Eljárás), egy a legkülönfélébb ipari és gazdasági területeken sikeresen használt döntéstámogató eljárás, amely különösen jól alkalmazható összetett döntési problémák megoldására.

### 3.5.1 A folyamatképesség koncepciójának ismertetése

A folyamatképesség koncepciója a statisztikai folyamatszabályozásból - SPC, azaz „Statistical Process Control” – ered, ez utóbbi már az 1920-as/30-as években megjelent a

gyártás területén és mára a minőségbiztosítás egyik alapvető eszközévé vált a termelő vállalatok jelentős részénél. Eközben a folyamatképességi koncepció elterjedt több másik, részben az SPC-re épülő módszertanban is, melyek közül talán a legismertebb a Hat szigma filozófia. Lényeges kihangsúlyozni, hogy a folyamatképességi megközelítést - elsősorban a Hat szigma részeként - a szolgáltatások területén is egyre széleskörűebben alkalmazzák, így használata a logisztikában is kezd egyre inkább teret nyerni, ahogy az többek között kiderül az Illés, Glistau és Machado jegyezte Logistik und Qualitätsmanagement című könyvből is [53]. Az utóbbi két évtizedben tehát jelentősen megnőtt az érdeklődés a Hat szigma filozófia, ezáltal pedig a folyamatképesség elvének alkalmazása iránt többek között az ellátási láncok kialakításában és működtetésében [31] [79] [16] [61] [20] [72], vagy például az általános logisztikai menedzsment [59], a konténeres tengeri szállítás [94], a katonai logisztika [57] és az anyagmozgatással összefüggő munkavédelem [80] területein, nem említve számos egyéb felhasználási lehetőséget.

A folyamatképesség koncepciója arra a felismerésre épül, hogy az ipari folyamatok jellemző paramétereinek ingadozása általában leírható a normál-eloszlás segítségével. Ez viszont azt is jelenti, hogy a folyamatban vizsgált paraméter megfelelő nagyságú mintájából már következtetni lehet a paraméterre jellemző szórásra és várható értékre. A koncepció lényege, hogy az így kapott statisztikai mutatókat összehasonlítják a folyamatban vizsgált paraméterre műszaki szempontból megengedett határértékekkel (a tűrési tartománnyal), ezáltal pontos képet kapva a folyamat jövőbeni teljesítőképességéről. Fontos megjegyezni, hogy a folyamatképességi mutatók azokban az esetekben is használhatóak, ahol mégsem a normál eloszlás közelíti legjobban a folyamatot, de ilyenkor a mutatók kiszámítása előtt szükség van a mérési adatok megfelelő normalizálásra is.

A folyamatképesség koncepciójához tartozó legfontosabb fogalmak a következők [53]:

- $\boldsymbol{\sigma}$**:** a folyamatban vizsgált paraméterre jellemző szórás (általában normál eloszlást feltételezve),
- $\boldsymbol{\mu}$: a gyártási folyamatban a minőségi jellemző várható értéke,
- ***T*:** a folyamatban vizsgált paraméter megengedett tűrési tartománya,
- ***USL*:** a *T* tartomány felső határa,
- ***LSL*:** a *T* tartomány alsó határa,

- ***$c_p$*:** folyamat teljesítőképesség, mely az előbbiekben felsorolt paraméterek segítségével képzett mutatószám,
- ***$c_{pk}$*:** kritikus folyamat teljesítőképesség, mely abban különbözik a $c_p$-től, hogy figyelembe veszi a folyamatban vizsgált paraméter hosszabb távon jelentkező várható érték eltolódását is (az eltolódás nagyságát az eredeti várható értékhez képest általában 1,5 $\sigma$ értékben szokás rögzíteni)
- **DPMO:** „Defects Per Million Opportunities", azaz az egymillió lehetséges esetből a hibák tényleges előfordulásának száma;
- **Szigma szintek:** a folyamatképességre épülő egyik legismertebb menedzsment filozófiában, az úgynevezett „Hat szigmában" alkalmazott minősítési szintek

A gyakorlatban a $c_p$ folyamat teljesítőképesség kiszámítása az alábbi képlet segítségével történik:

$$c_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \tag{3.5.1.1}$$

Ahhoz, hogy megkapjuk a $c_{pk}$ kritikus folyamat teljesítőképességet is, először célszerű az alábbi két segédparaméter értékét meghatározni:

$$c_{po} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \tag{3.5.1.2}$$

$$c_{pu} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \tag{3.5.1.3}$$

Mint látható, a $c_{po}$ paraméternél a nevezőbe $USL - \mu$, a $c_{pu}$ esetében pedig $\mu - LSL$ kerül, így a kettő közötti különbség kifejezi, hogy melyik irányba tolódott el a várható érték, ami értelemszerűen kijelöli a folyamat teljesítőképesség szempontjából a kritikusabb résztartományt:

$$c_{pk} = min\{c_{po}; c_{pu}\} \tag{3.5.1.4}$$

Általánosságban elmondható, hogy bár a paraméterek szinten tartása egy adott folyamat esetében összetett elméleti és gyakorlati tudást igényel, magához a minősítéshez ugyanakkor a fenti képletek alapján viszonylag egyszerűen alkalmazható összefüggések határozhatók meg, amelyek a következő, 3.5.1.1. táblázatban is láthatóak [53]:

| **Főbb mutatók 1,5 $\sigma$ mértékű várható érték eltolódásnál** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $c_p$ | $c_{pk}$ | hat szigma | hibamentes %-ban | hibamentes/millió | hiba/millió |
| 0,33 | -0,17 | 1 | 30,2328 | 302327,9 | 697 672,1 |
| 0,67 | 0,17 | 2 | 69,1230 | 691229,8 | 308 770,2 |
| 1,00 | 0,50 | 3 | 93,3189 | 933189,4 | 66 810,6 |
| 1,33 | 0,83 | 4 | 99,3790 | 993790,3 | 6 209,7 |
| 1,67 | 1,17 | 5 | 99,9767 | 999767,3 | 232,7 |
| 2,00 | 1,50 | 6 | 99,9997 | 999996,6 | 3,4 |

3.5.1.1. táblázat: A folyamatképességi mutatók kapcsolata a σ szintekkel, valamint a hibák előfordulási gyakoriságával [53]

Fontos megjegyezni, hogy a már többször említésre került Hat szigma filozófia számos szerteágazó eszközt és eljárást alkalmaz a folyamatok teljesítőképességének szinten tartása érdekében, azaz a minőség irányítása és javítása érdekében. Ezek részletes ismertetése nem tartozik szorosan az értekezés fő témájához, ugyanakkor mindenképp meg kell említeni a legfontosabb két módszert. Egyikük a DMAIC – angolul define, measure, analyze, improve, control, azaz meghatározás, mérés, elemzés, fejlesztés, kontroll - amelyet a Hat szigmában a már létező folyamatok szinten tartásához alkalmaznak. A másik a DMADV – angolul define, measure, analyze, design és verify, azaz meghatározás, mérés, elemzés, tervezés, verifikálás – amelyet értelemszerűen az új folyamatok kialakításánál vesznek igénybe. Ennek a két módszernek a megfelelő implementálása adja meg a keretet a Hat szigmában fellelhető számos eszköz (pl. 5 miért, különféle statisztikai eszközök, folyamatszabályozó kártyák, hisztogramok, stb.) szakszerű felhasználásához, amelyekkel elérhetőek és hosszú távon fenntarthatóak az előírt folyamatparaméterek [53].

### 3.5.2 Az AHP módszer ismertetése

Az AHP napainkban egy kifejezetten elterjedt döntéstámogató módszernek számít, amely már számtalan alkalmazási területen került felhasználásra, illetve bizonyos helyeken a felsőfokú oktatásba is beépült. Az eljárást eredetileg Thomas L. Saaty dolgozta ki az 1970-es

években, a megjelenése óta eltelt idő alatt pedig az egyik legnépszerűbb multikritériumos döntéstámogató módszerré vált (hol önmagában, hol pedig más eljárásokkal kombináltan alkalmazva). Az utóbbit támasztja alá a felhasználási területeinek rendkívül széles tárháza is, amelyben a logisztika is megtalálható, különös tekintettel a beszállító választás, a telephely választás és az útvonal választás területeire [117] [46] [100]. Itt már rögtön érdemes egyúttal megemlíteni a Ho, Xu és Dey [47] által végzett felmérést is, amelyben a szerzők a beszállítók kiválasztása esetében alkalmazható multikritériumos döntéstámogató eljárásokat tekintették át. Ebből a felmérésből kiderül, hogy a vizsgált 78 példából 8,97%-ban alkalmazták önmagában az AHP eljárást, a publikációk további 17,95%-ban pedig egyéb módszerrel integrált AHP megközelítést használtak, ami együtt 26,92%-os részarányt jelent. Ez tehát mindenképp egy figyelemreméltó eredmény, ami jól példázza az AHP módszer népszerűségét. Tény, hogy a beszállítók kiválasztása tehát az egyik leggyakoribb alkalmazási terület, amire számos példát találni [34] [40] [56], de emellett az AHP-t alkalmazzák többek között az ellátási láncok kockázatkezelésénél [32], a logisztikai infrastruktúra összehasonlító elemzésénél [106], a disztribúciós hálózatok értékelésénél [97], a postai logisztika területén [13], a logisztikai szolgáltatók megválasztásánál [54] [105], vagy például a már említett útvonal választási problémáknál [1] [63]. Ez a kiterjedt felhasználási kör, valamint az erre épülő tekintélyes méretű és magas színvonalú szakirodalmi háttér szintén fontos szerepet játszottak abban, hogy a bemutatásra kerülő kockázatkezelési eljárás egyik alapvető eszközeként is az AHP módszer került kiválasztásra.

Az AHP eljárás alapvetően a különböző döntési kritériumok páros-összehasonlítására épül, amely összehasonlításokat egy hierarchikus felépítésű fa struktúra szerint végzik el. A hierarchiában egymásra épülő döntési szintek száma tetszőleges, azt a probléma határozza meg, ahogy a döntési modell felépítését is. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy az elemzés céljától (a gráf kezdőpontja, amely egyben az összehasonlítás alapját is képezi) kiindulva és fentről lefelé haladva először úgynevezett főkritériumokat, majd azokból leszármaztatva további alkritériumokat definiálnak, ezáltal egyre újabb és újabb döntési szinteket hozva létre. Az alternatívákat végül a hierarchia legalsó szintjén lévő alkritériumokkal hasonlítják össze, utóbbiak „súlyai” a magasabb szinteken elvégzett páros-összehasonlítások révén születnek meg. Az elemzés eredményeként végül megkapjuk az alternatívák számszerűsített kiértékelésen alapuló rangsorát (az alternatívák úgynevezett „prioritás vektorát”). Mindezek megtalálhatóak Saaty többek között egy 1990-es, az AHP-t részletesen bemutató publikációjában [92].

A páros összehasonlításokat mindig a hierarchia egy adott eleméből (egy adott kritériumból) közvetlenül leszármaztatott elemek (az előbbi alkritériumai) között végzik el. Az összehasonlítás menete a következő: először meghatározzák minden, az összehasonlításban szereplő objektumnak az összes többi objektumhoz képest vett súlyát (fontosságát), ami egy úgynevezett döntési mátrixot fog kiadni. A viszonyszámok megállapítása egy 1-től 9-ig terjedő skála segítségével zajlik, aminek jelentését a 3.5.2.1. táblázat mutatja be (lásd a már említett [92]-et, valamint Saaty-nak a módszert bemutató egyik könyvét [91]):

| **Fontosság mértéke abszolút skálán** | **Definíció és Magyarázat** |
|---|---|
| 1 | Egyenlő jelentőség, azaz a két tényező egyformán fontos a vizsgált cél vagy kérdés szempontjából. |
| 3 | Az egyik tényező mérsékelten nagyobb jelentőséggel bír, tehát a tapasztalat szerint a vizsgálat szempontjából egyértelműen fontosabb. |
| 5 | Meghatározó vagy nagy jelentőségbeli különbség, de az értékelés alapját még mindig a szakértői tapasztalat és vélemény adja. |
| 7 | Kifejezetten nagy jelentőségbeli különbség, amit a tapasztalaton túl konkrét gyakorlati példák is alátámasztanak. |
| 9 | Rendkívül nagy jelentőségbeli különbség, amit a gyakorlati eredmények minden kétséget kizáróan alátámasztanak. |

3.5.2.1. táblázat: Az AHP-ben használt értékek 1-től 9-ig történő értelmezése [92] [91]

Az előbbi skála kiegészíthető a 2,4,6,8 értékekkel is, amelyek értelemszerűen átmeneti szerepet töltenek be a fő skála értékei között. Az összehasonlítás további sajátossága, hogy ha az *i*-edik elemnek a *j*-edik elemhez való viszonyát a skála egy értékével jellemezzük, akkor a *j*-edik elem *i*-hez való viszonya ennek az értéknek a reciproka lesz. Ezek után már formálisan is könnyen felírható a döntési mátrix, ahol *n* a mátrix rendje, adott $w_i/w_j$ pedig az *i*-edik elemnek a *j*-hez viszonyított súlyát jelenti [92]:

$$A = \begin{pmatrix} w_1 / w_1 & \dots & w_1 / w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n / w_1 & \cdots & w_n / w_n \end{pmatrix} \qquad (3.5.2.1)$$

A Saaty által megadott módszer szerint az összehasonlítás végeredménye úgy áll elő, hogy megkeresik az előállított mátrix legnagyobb sajátértékéhez tartozó sajátvektort. Ennek

normalizált alakja lesz az úgynevezett „prioritás vektor”, amelynek értékeiből egyértelműen meghatározható az összehasonlított objektumok rangsora. A keresendő sajátvektor az alábbi formulával írható fel, ahol A a döntési mátrix, w a keresett sajátvektor, *n* pedig a legnagyobb sajátérték [92]:

$$\mathrm{A}\mathrm{w} = n\,\mathrm{w} \tag{3.5.2.2}$$

A legnagyobb sajátérték, valamint az ahhoz tartozó sajátvektor megkeresésére számos algoritmus áll rendelkezésre, melyek közül a legelterjedtebb az úgynevezett hatványmódszer, más néven von-Mieses eljárás (ennek részletes leírása megtalálható például a Gisbert és Takó által jegyzett Numerikus módszerek 1. című könyvben [35]). Ennek elsődleges oka, hogy ennél a módszernél csak az iterációhoz használt vektorokat kell eltárolni az egyes lépések között, ami lényeges erőforrás-megtakarítást jelent a nagyméretű mátrixok kiszámításánál. Mivel a disszertáció mellékletében bemutatásra kerülő alkalmazási példánál is ez az eljárás kerül felhasználásra a döntési mátrixok legnagyobb sajátértékeinek meghatározására, ezért a következő alfejezetben ennek a módszernek a tömör bemutatására is sor fog kerülni, elsősorban a [35]-ra épülően. A módszer matematikai leírása emellett többek között szintén megtalálható a Golub és Van Loan jegyezte Matrix computations [36], illetve a Galántai és Jeney által készített Numerikus módszerek [28] című könyvekben, vagy például a Miskolci Egyetemen működő Európai Virtuális Matematikai Laboratórium honlapján [24], ahogy számtalan más meg nem említett forrásban is.

Érdemes megjegyezni, hogy a legnagyobb sajátértékhez tartozó sajátvektor megkeresésén túl léteznek más megközelítések is a döntési mátrixok kiértékelésére, melyek egy részét gyűjtőnéven távolságminimalizáló módszereknek nevezik (Rapcsák: Többszempontú döntési problémák, Egyetemi oktatási segédanyag [88]). Ezeken túl maga Saaty is felvetett alternatív lehetőségeket a prioritás vektor kiszámításához (lásd a [92]-et, valamint Saaty egy a módszerrel foglalkozó 1988-ban kiadott könyvét [93]). Ugyanakkor kijelenthető, hogy konzisztens döntési mátrixok esetén minden módszer ugyanazt a végeredményt szolgáltatja (a döntési konzisztencia mérésének módjáról a soron következőekben lesz szó) [92]. Részben ezért, részben pedig általános elfogadottsága okán a disszertációban a legnagyobb sajátértékhez tartozó sajátvektor meghatározására alapuló kiértékelés kerül alkalmazásra, az ismertetett hatványmódszer igénybevételével.

Az AHP módszerben a döntési mátrixok megalkotásakor problémát jelenthet, hogy a páros összehasonlítások eredményei nem konzisztensek. Ahogy erre előzőleg már volt utalás, az

inkonzisztencia mérésére az AHP-ben az úgynevezett konzisztencia index szolgál, melyet a döntési mátrix legnagyobb sajátértéke és a döntési kritériumok száma határoz meg, a 3. képlet szerint. Az általános megítélés szerint $CI \leq 0{,}1$ esetén lehet a kapott végeredményt egyértelműen elfogadni [92]:

$$CI = (\lambda_{max} - n)/(n-1) \tag{3.5.2.3}$$

A pontosabb mérés érdekében bevezetésre került a *CR* konzisztencia arányszám is, amelynek kiszámításához a *CI* konzisztencia indexet az *RI* véletlenszerű konzisztencia indexel osztják el, ahogy ez [92] mellett megtalálható többek között Kiss az AHP-t részletesen bemutató magyar nyelvű munkájában is [60]:

$$CR = CI \ / \ RI \tag{3.5.2.4}$$

Az *RI* értéke a mátrix méretétől függ, amint azt a 3.5.2.2. táblázat is mutatja, az értékek meghatározása az egyes esetekre pedig nagyszámú szimuláció segítségével történt [60] [90]:

| **A mátrix rendje (*n*)** | **Véletlenszerű konzisztencia index (*RI*)** |
|---|---|
| 1 | 0 |
| 2 | 0,15 |
| 3 | 0,52 |
| 4 | 0,89 |
| 5 | 1,11 |
| 6 | 1,25 |
| 7 | 1,35 |
| 8 | 1,4 |
| 9 | 1,45 |
| 10 | 1,49 |

3.5.2.2. táblázat: Átlagos véletlenszerű konzisztencia index értéke a mátrix méretétől függően [60] [90]

Amint az a fejezetrész elején is említésre került, a döntési mátrixokat a döntési hierarchia minden szintjén létre kell hozni és ki kell ezeket értékelni. Egy adott szinten annyi mátrixra van szükség, amennyi az adott szinten a szülőcsomópontok – kritériumok - száma, egy adott

mátrix méretét pedig az adott szülőcsomópontból közvetlenül leszármazó csomópontok – alkritériumok - száma határozza meg (a leszármazott alkritériumok kerülnek egymással összehasonlításra a szülőcsomópont szempontjából vett jelentőségük szerint). Ebből már látható, hogy lényegében minden szinten a szülőcsomópontokkal megegyező számú prioritás vektort kapunk eredményül. Itt lényeges kiemelni, hogy egy prioritás vektor elemeinek összege mindig 1-et ad. Továbbá, ha egy adott szinthez tartozó prioritás vektorokat a hierarchia szerint megszorozzuk az egyel feljebbi szintről származó súlyaikkal, majd az így kapott eredményvektorok összevonásával képezzük a döntési szintre értelmezett globális prioritásokat, akkor az utóbbiak összege szintén 1 lesz. A kiszámított prioritások tehát lényegében szintről szintre adódnak át egészen a legalsó szinten elhelyezkedő alkritériumokig, amelyekkel a lehetséges alternatívák ténylegesen összehasonlításra kerülnek (az összehasonlítás itt is az ismertetett döntési mátrixok igénybevételével zajlik). Ezen összehasonlítás eredményeit a hierarchiából kapott súlyokkal megszorozva, majd a súlyozott eredményeket összegezve kapjuk meg az alternatívák prioritás vektorát, azaz a vizsgálat végeredményét [92].

### 3.5.3 A hatványmódszer ismertetése

A hatványmódszer közvetlenül a mátrix abszolútértékében legnagyobb sajátértékét, valamint az ehhez tartozó legnagyobb sajátvektorát állítja elő [35]. Ez egy iterációs folyamaton keresztül valósul meg, melynek kezdetén felvételre kerül a vizsgálat tárgyát képező *n***n* méretű A mátrix, valamint egy $y^0$ kezdő vektor. Az utóbbira az euklideszi normában legyen igaz, hogy [35]

$$\left\| \mathrm{y}^{\mathrm{o}} \right\| = 1. \tag{3.5.3.1}$$

Az iterációt megvalósító sorozat a következő [35]:

$$\mathrm{x}^m = \mathrm{A}\mathrm{y}^{m-1}, \mathrm{y}^m = \mathrm{x}^m / \left\| \mathrm{x}^m \right\|, \quad m = 1,2,\ldots \tag{3.5.3.2}$$

Ha az A mátrix normális (teljesül az A*A =AA$^*$ egyenlőség, ahol A$^*$ az A mátrix adjungáltja) és érvényes rá, hogy

$$(\mathrm{y}^0, \mathrm{v}^n) \neq 0, \quad |\lambda_1| \leq |\lambda_2| \leq \cdots \leq |\lambda_{n-1}| < |\lambda_n|, \tag{3.5.3.3}$$

akkor a (3.5.3.3) sorozatra igaz, hogy vagy végtelen és konvergál $v^n$-hez (a legnagyobb abszolútértékű sajátértékhez tartozó sajátvektorhoz), vagy pedig valamely *m* esetén $x^m = 0$ és ekkor $y^{m-1}$ a 0-hoz konvergál [35]. Más szóval megfelelően nagy *m* esetén az $x^m$ közelíti az A mátrix legnagyobb sajátértékéhez tartozó sajátvektorát.

Bár az iterációban az $y^0$ kezdő vektort hagyományosan úgy választják meg, hogy teljesüljön a (3.5.3.1), ez ugyanakkor nem kötelező feltétel. A kezdő vektornak alapvetően csak annak kell megfelelnie, hogy [28] [24]

$$y^0 \in R^n, \tag{3.5.3.4}$$

amellett, hogy az $y^0$-*t* nullvektornak értelemszerűen nincs értelme megválasztani. A (3.5.3.4)-ből ugyanakkor az következik, hogy a kezdő vektor (a nullvektort leszámítva) lényegében tetszőleges lehet, a gyakorlatban ezért többféle megközelítés is kialakult. Gyakori megoldás, hogy az $y^0$-t eleve úgy veszik fel, hogy annak értékével megpróbálják közelíteni a mátrix legnagyobb sajátértékéhez tartozó sajátvektorát. Egy másik megoldás, hogy az $y^0$-t egy minden elemében 1 értékű vektorként veszik fel, ahogy az többek között például Larson és Falvo Elementary Linear Algebra című könyvében [69], vagy a Bozsik és Krepsz által jegyzett Numerikus Módszerek Példatárban [10] is előfordul. Az utóbbi megoldás alkalmazása előnyös lehet a disszertációban a későbbiekben bemutatásra kerülő AHP alapú kockázati modell esetében is, ennél ugyanis nagyszámú különböző mátrix sajátvektorát kell kiszámolni, amely feladatot pedig lényegesen leegyszerűsíti (egyúttal pedig uniformizáltabbá is teszi), ha minden iterációnál ugyanazon kiinduló vektor kerül felhasználásra. Itt érdemes továbbá megjegyezni, hogy a [60]-ban az AHP-val összefüggésben bemutatott iterációs algoritmus szintén például szolgál ezen megoldás alkalmazására.

Magának a legnagyobb sajátértéknek a meghatározására a hatványmódszerben több lehetőség is kínálkozik, melyek az alábbiak [35]:

- ha $y_i^{(m)} \neq 0$, akkor van olyan $\lambda$, melyre megfelelően nagy *m* esetén igaz, hogy

$$Ay_i^{(m)} \approx \lambda_n y_i^{(m)}, \tag{3.5.3.5}$$

- a $\lambda_n$ abszolútértéke kiszámítható az alábbi közelítés felhasználásával is (a disszertáció mellékletében található számításnál is ez kerül felhasználásra):

$$\left\| Ay^m \right\| \to |\lambda_n|, m \to \infty, \tag{3.5.3.6}$$

– végül a $\lambda_n$ szintén kiszámítható a Rayleigh hányados segítségével (a hányados leírása megtalálható többek között például [35]-ban, [28]-ban és [69]-ban is).

Lényeges megjegyezni, hogy a disszertációban bemutatásra kerülő alkalmazáshoz a legnagyobb sajátértékre igazándiból nincs szükség, csak a legnagyobb sajátvektorra (ennek normalizálásával kapható meg az AHP-ban a prioritásvektor). Ettől függetlenül mégis érdemes lehet a $\lambda_n$ közelítő értékét meghatározni az egyes iterációs lépéseknél, mert az felhasználható lehet a folyamat leállítására azon elv szerint, amelyet a már említett [60]-ban megtalálható algoritmus alkalmaz (ennél a módszernél az adott iteráció $|\lambda_n^{k+1} - \lambda_n^{k}| < \varepsilon$ esetében áll le, ahol $\varepsilon$ egy tetszőlegesen megválasztott érték).

## 3.6 A téma szempontjából releváns AHP-t használó eljárások áttekintése

Mint ahogy az a 3.3 és a 3.4 alfejezetekből egyértelműen kiderült, a kockázatelemzés kezd egyre nagyobb szerepet játszani a korszerű ellátási láncok, valamint az ezekhez kapcsolódó logisztikai hálózatok kialakításában és működtetésében. Mint látható volt, bár a terület még viszonylag fiatalnak tekinthető, ennek ellenére – vagy talán éppen ezért – már így is számtalan eljárás és megközelítés került kialakításra a probléma vizsgálatához és megoldásához. Tekintettel a javasolt módszerek viszonylag nagy mennyiségére és széles spektrumára, ebben a fejezetrészben elsősorban csak a disszertáció témájához szorosan kapcsolódó eljárások áttekintésére kerül sor. Ez azt jelenti, hogy alapvetően két módszercsaládról lesz szó: a tisztán AHP-t használó, valamint az AHP-t egyéb eszközökkel integráló eljárásokról.

Mint ahogy az a 3.4-ben látható volt, azon eljárások száma, amelyek szélesebb körben is alkalmazhatóak a logisztikai hálózatok kvantitatív alapon történő működési (az anyag-és információáramláshoz közvetlenül kapcsolódó) kockázatainak kezelésére, az összes javasolt módszerhez képest szinte teljesen elenyésző. Ebből az is következik, hogy az olyan AHP alapú módszerek keresése, amelyek az előbbi feltételeknek is megfelelnek, várhatóan egy még nehezebb feladatnak ígérkezett. Ezért a feladat megoldásához egy célzott, részletekbe menő keresést alkalmaztam, a már említett Google Scholar és ScienceDirect kereső motorok felhasználásával. A kereséshez különböző szóösszetételeket használtam fel, több között olyanokat, mint például az „AHP risk managegement logistics networks”, az „AHP risk assessment logistics networks”, az „AHP risk management supply chain”, vagy az egyszerűbb

„risk logistics networks AHP” kombinációkat, számos egyéb változattal egyetemben. A megtalált példák legnagyobb része a várakozásnak megfelelően az ellátási láncok egy-egy vetületére koncentrált, azon belül is leginkább talán a beszállító választás bizonyos kérdésköreire. Emellett számos olyan eljárást találtam, amelyek általános megközelítést használva foglalkoznak az ellátási láncokat érintő főbb kockázatokkal. Továbbá jelentős számban találtam olyan kutatásokat is, amelyek egy-egy konkrét gyakorlati probléma megoldását mutatják be egy erre használható modell segítségével. Ugyanakkor olyan AHP-ra épülő, a hálózatos megközelítést előtérbe helyező, egyúttal a logisztikai kockázatokat is részletesen figyelembe vevő eljárásra, amelyben megjelenik egy általánosan alkalmazható matematikai alapmodell is, gyakorlatilag nem találtam példát. Fontos továbbá, hogy ez utóbbi megállapítás igaz volt mind a tisztán AHP-t, mind pedig az AHP-t egyéb módszerekkel kombináló eljárások esetén is. A következőkben a megtalált példák átfogó ismertetésére kerül sor.

A tisztán AHP-t használó módszerekre jó példa a Badea, Prostean, Goncalves, és Allaoui [3] által ismertetett eljárás, amelyben a szerzők arra használják az AHP módszert, hogy azonosítsák az ellátási láncok működéséhez szükséges vertikális és horizontális kollaborációra veszélyt jelentő legfontosabb kockázati tényezőket. Hasonlóan például szolgálhat a Gaudenzi és Borghezi [32] által bemutatott módszer is, amelyben az AHP-t egy kétfázisú modell első szakaszában használják az ellátási láncban megvalósítandó célok fontossági sorrendjének kialakítására, majd a második szakaszban erre épülően választják ki és vetik elemzés alá a különféle kockázati tényezőket. Megjegyzendő, hogy az utóbbi eljárással kapcsolatban a szerzők említést tesznek rá, hogy bizonyos lépéseknél más eszközök is felhasználhatóak, az AHP domináns volta miatt a módszer mégis inkább a tiszta eljárásokhoz áll közelebb. Egy harmadik példa a Sharma és Bhat [98] által javasolt AHP modell az ellátási láncokat érintő kockázati tényezők azonosítására és felmérésére, amelyet a szerzők egy járműipari alkalmazáson keresztül mutatnak be. Az előbbiekhez hasonló megközelítések mellett több olyan AHP modellt is találni, amely a kockázatkezelés problémáját elsősorban a logisztikai szolgáltatók, illetve a hálózatban résztvevő beszállítók megválasztásának oldaláról közelíti meg. Többek között erre példa a Wu, Blackhurst és Chidambaram [125] által kifejlesztett eljárás, számos hasonló megközelítéssel egyetemben [119] [73] [84]. Általánosságban elmondható, hogy a tisztán az AHP-re épülő megközelítésekben a módszert elsősorban a döntési szempontok fontossági sorrendjének meghatározására használják, majd az így felállított szempontrendszer alapján végzik el a kockázati tényezők kiértékelését. Mint az a

következőkben is látható lesz, az utóbbi időben a hangsúly ugyanakkor jelentősen eltolódott az AHP-t az egyéb módszerekkel és eszközökkel kombináló eljárások felé.

Az AHP-t egyéb eszközökkel integráló módszerek használatára az utóbbi időben számos példa született a szóban forgó kérdéskört érintően. Kijelenthető, hogy az integrált módszerek között is a legelterjedtebb családot az úgynevezett „fuzzy AHP”-re (FAHP vagy F-AHP) épülő eljárások alkotják. A fuzzy AHP alatt általánosan azt értjük, hogy az egyszerű AHP eljárással szemben az összehasonlítások eredményei itt nem konkrét számértékek, hanem a fuzzy megközelítésből ismert intervallumok lesznek. Érdemes még megjegyezni, hogy nem ritka eset, amikor magát a fuzzy AHP-t is további eljárásokkal együtt alkalmazzák. A használatára egy jó példa a Faisal [25] által elsősorban a KKV-k számára kidolgozott F-AHP alapú keretrendszer, amelynek célja, hogy segítségével az előbbiek hatékonyan tudják azonosítani az ellátási láncokban őket érintő kockázati tényezőket. Az ehhez hasonló, az ellátási láncokban jelentkező kockázati tényezőket átfogóan kezelő és a fuzzy AHP-re épülő megközelítésekre még számos példát lehet találni a szakirodalomban [104] [99] [87] [30]. Szintén több példa akad azon FAHP alapú eljárásokra, amelyek a kockázatkezelés problémáját jelentős részben a logisztikai szolgáltatók és a beszállítók megválasztására vezetik vissza, vagy legalábbis fontos szerepet tulajdonítanak az utóbbiak kiválasztásában a kockázati források figyelembevételének, ahhoz hasonlóan, ahogy ez már a tisztán AHP alapú módszereknél is látható volt [81] [95] [70] [14]. Továbbá mindenképp érdemes megjegyezni, hogy az utóbbi időben a környezettudatos szemléletmód előretörésével párhuzamosan egyre nagyobb számban jelennek meg az olyan megközelítések is, amelyek az ellátási láncokban jelen lévő kockázati forrásokat elsősorban a környezetvédelmi szempontok teljesülésének oldaláról vizsgálják [82] [74].

Bár a vizsgált tématerületen az integrált AHP módszerek közül az FAHP-t használó eljárások a legelterjedtebbek, találni példákat az AHP egyéb módszerekkel való kombinációira is. Prasanna, Venkatesan és Kumanan [85] egy olyan hibrid módszert mutatnak be, amelyben az AHP-t a PROMETHEE („Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations”) eljárással kombinálják. Az utóbbi szintén egy jól ismert multikritériumos döntéstámogató eljárás, amelynek erőssége főleg abban áll, hogy egy olyan átlátható keretrendszert biztosít a döntési problémák strukturálására, amely nagyban hozzájárul a háttérben meghúzódó tényezők pontos feltárásához és számszerűsítéséhez. A szerzők a kombinált eljárás hatékonyságának reprezentálására egy példát is bemutatnak egy műanyagipari ellátási láncban történő alkalmazáson keresztül. Chai, Shen és Li [12] a

virtuális logisztikai hálózatok kockázatkezelésre javasolnak egy WBS-RBS (Work Breakdonw Structure, illetve Resource Breakdown Structure) metodológiával kombinált AHP eljárást. Wang, Zhang, Mao és Li [123] a 3PL szolgáltatók kockázati tényezőkön alapuló kiválasztásához javasol egy AHP-n és fuzzy TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) módszeren alapuló megközelítést. Ganguly [29] az AHP és a Dempster-Shafer elmélet integrációját használja a beszállítói teljesítmény kockázatalapú méréséhez. Kengpol és Tuammee [58] a QRA (Quantitative Risk Assessment), a DEA (Data Envelopment Analysis) és az AHP együttes használatát javasolják egy döntéstámogató keretrendszer kialakításához a multimodális „zöld" logisztika területén. Razmi, Arvan és Omidvar [89] egy hibrid AHP-FCM (utóbbi jelentése „fuzzy cognitive maps") mutat be a tartalék beszállítók kiválasztásához a zavarokból adódó kockázatok kivédésére. Wang és Huang [122] a beszállítók megbízhatóságának értékelésére javasol egy AHP-ra és gray értékelésre épülő, felhő alapú környezetben futó eljárást. Végül Hui [48] egy fejlett, elsősorban a légiszállítás és az e-kereskedelem igényeit kiszolgáló logisztikai központ tervezésének költség és kockázatelemzéséhez használja fel integrált módon az AHP és az ANP (Analytic Network Process) eljárásokat, melyek közül az utóbbi szintén Thomas L. Saaty nevéhez kötődik és lényegében az AHP egy kibővített változatának tekinthető.

Általánosan tehát megállapítható, hogy számos, a logisztikai hálózatok kockázatkezeléséhez kötődő eljárásban alkalmazzák mind önmagában az AHP-t, mind pedig különösen annak egyéb módszerekkel kialakított kombinációit. Ugyanakkor az is alátámasztást nyert, hogy a disszertációban bemutatásra kerülő eljárás több szempontból is újszerűnek mondható. Ennek egyik oka az, hogy olyan AHP-t használó eljárásra, amely egyrészt részletesen figyelembe veszi a logisztikai kockázatokat, másrészt viszont egy általánosan is alkalmazható kvantitatív hálózati modellre épülően valósítja meg az optimalizálást, a létező irodalomban gyakorlatilag nem találni példát. Továbbá az áttekintésből az is egyértelműen látszott, hogy az AHP módszert a folyamatképességi mutatókkal együtt alkalmazó megközelítésre szintén nem volt még példa a logisztikai hálózatok kockázatkezelésének területén (itt fontos lehet megemlíteni, hogy az irodalomkutatás 2017.12.29-én zárult le véglegesen).

Az előző megállapítások következményeként tehát kijelenthető, hogy a bemutatásra kerülő eljárás egy új kutatási irányból közelíti meg a problémát. Ezzel együtt az elvégzett irodalomkutatás azt is megmutatta, hogy az integrált AHP eljárások alkalmazása egyre népszerűbbnek számít a logisztikai rendszerek kockázatkezelésének átfogó területén, ehhez a fő irányvonalhoz pedig a bemutatandó eljárás is jól illeszkedik.

# 4. A kockázatkezelési szempontból meghatározó hálózati struktúra lehatárolása és jellemzése

## 4.1 A kiinduló struktúra meghatározása

Ahogy az a korszerű iparági gyakorlatból egyértelműen következik, valamint ahogyan azt a történeti áttekintés is alátámasztotta, napjainkban a logisztika meghatározó mértékben épít a különféle logisztikai hálózatok optimális kialakítására és működtetésére. Ezért is kulcsfontosságú, hogy a szakemberek számára álljanak rendelkezésre olyan elemző és értékelő eszközök, amelyek segítségével objektív alapokra támaszkodva, valamint a lehetséges kockázati források figyelembe vétele mellett legyen megvalósítható a komplex logisztikai hálózatokban rejlő előnyök és hátrányok meghatározása. Ugyanakkor ahhoz, hogy az előbbi cél elérése érdekében folytatott vizsgálat gyakorlati szempontból is eredményes legyen, először szükség van annak a hálózati struktúrának a lehatárolására és jellemzésére, amely egyrészt iparági szempontból is széleskörűen relevánsnak tekinthető, másrészt pedig erre építve egy kellően részletes és megfelelően kezelhető kockázati modell alakítható ki.

Az előbbi feladathoz kiindulásként támpontot adhat az ellátási láncok disztribúciós központokkal integrált alapmodellje, mint a korszerű iparági gyakorlat szempontjából nézve legfontosabb hálózati alapstruktúra. Ennek az alapmodellnek számtalan reprezentációja létezik, ami természetszerűleg következik a téma átfogó és egyszersmind meghatározó jellegéből, illetve az ebből fakadó széleskörű szakirodalmi feldolgozottságból. Ezek a reprezentációk többek között megtalálhatóak az ellátási láncok tervezésével, modellezésével és irányításával foglalkozó publikációkban [8] [76] [107] [115] [71] [113] [118] [9], a logisztikai hálózatok egyes szűkebb területeire (optimalizáló algoritmusok, újrahasznosítás) fókuszáló kutatásokban [62] [26], a termelő-elosztó rendszerekkel foglalkozó elemzésekben [19], a logisztikai központok kialakítását tárgyaló munkákban [114], valamint természetesen a logisztikával foglalkozó szakkönyvekben is [86] [18].

A számos lehetőség közül a többlépcsős, logisztikai központokkal integrált közvetett ellátási és elosztási modell került kiválasztásra, mint kiinduló struktúra [86] [18] [19] [9] [114]. Ez a hálózati forma azért lehet jó kiindulási alap, mert operatív szempontból nézve szinte minden nagyobb földrajzi kiterjedtséggel rendelkező logisztikai rendszer egyik meghatározó tulajdonsága a többlépcsős árutovábbítás alkalmazása mind az ellátás, mind pedig a disztribúció oldalán, legyen szó akár termelő (klasszikus ellátási láncok, alkatrészgyártó és összeszerelő hálózatok, holonikus gyártórendszerek, stb.), akár szolgáltató (hálózatszerű karbantartás, hulladékgyűjtés és újrahasznosítás, e-kereskedelemmel integrált értékesítés, stb.)

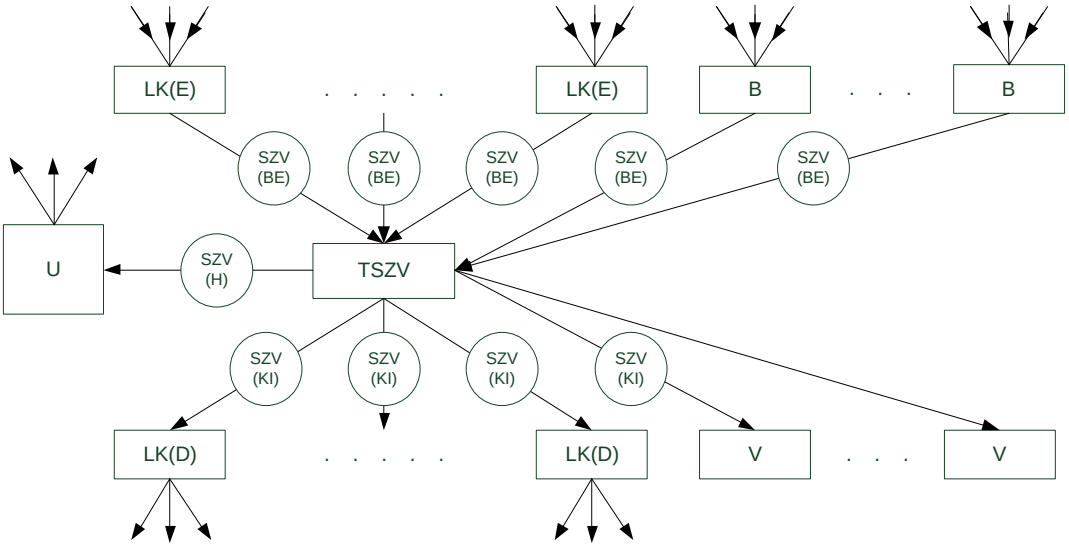
rendszerekről. A következő fejezetrészben tehát ennek a struktúrának a kockázatkezelés szempontjából releváns módon történő lehatárolására kerül sor, különösen nagy hangsúlyt fektetetve a logisztikai folyamatok és szolgáltatások megfelelő reprezentációjára.

## 4.2 A logisztikai modell lehatárolása és jellemzése

A kiinduló logisztikai modell lehatárolásánál több, egymásnak bizonyos mértékig ellentmondó elvárásnak kell megfelelni oly módon, hogy egyúttal a lehatárolt rendszer matematikai módszerekkel történő leírása is megoldható legyen. A legfontosabb elvárások a következőek:

- a lehatárolt rendszer tartalmazza mindazon jellegzetes elemeket, amelyek meghatározzák a logisztikai hálózatok általános működését,
- a modell a különféle hálózatszerűen működő termelő/szolgáltató rendszerek széles körére legyen alkalmazható,
- a logisztikai szolgáltatók és az általuk kezelt folyamatok a modellben explicit módon kerüljenek megjelenítésre (ez elengedhetetlen feltétele a kockázatkezelés megvalósíthatóságának),
- legyen megoldható a kockázati paraméterek hozzárendelése az egyes logisztikai folyamatokhoz.

A fentiek figyelembe vételével, egyúttal támaszkodva a szakirodalomra [86] [18] [19] [9] [114] és a gyakorlati tapasztalatokra, a soron következő, döntő részben többlépcsős ellátásra és disztribúcióra épülő modell került lehatárolásra (4.2.1. ábra):




4.2.1. ábra: Termelő/szolgáltató vállalat logisztikai hálózatokban értelmezett többlépcsős ellátási és elosztási modellje (saját szerkesztés)

Az előző ábrán felvázolt logisztikai modell a következő elemekre épül:

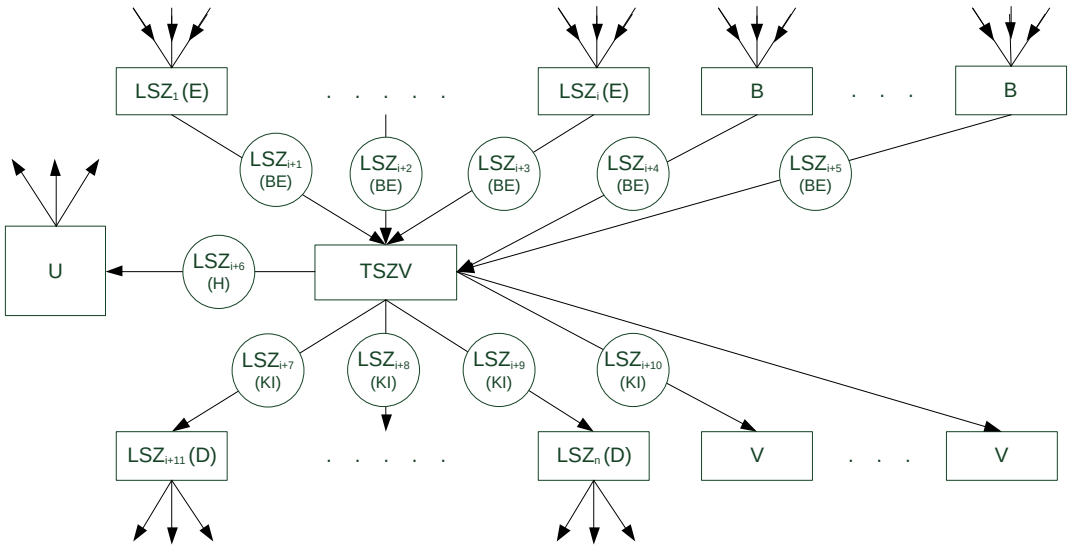
- *LK*: logisztikai központok, amelyek megjelenhetnek mind az ellátás oldalán, mind pedig elosztási, azaz disztribúciós szerepkörben,
- *B*: beszállítók, melyek leggyakrabban az ellátásban részt vevő logisztikai központokon keresztül szállítanak a termelő/felhasználó vállalatoknak, de végezhetnek közvetlen beszállításokat is (különösképpen akkor, ha helyi beszállítókként jelennek meg egy globális hálózat részeként),
- *SZV*: szállító vállalatok, melyek fuvarozókként vagy szállítmányozókként végezhetnek beszállítási, kiszállítási, valamint hulladékszállítási feladatokat,
- *U*: az újrahasznosítást végző vállalat telephelye, vagy az azzal kapcsolatban álló hulladékgyűjtő központ (a lehatárolt struktúrában a kezelhetőség érdekében csak a termelő/szolgáltató vállalattól érkező másodlagos nyersanyagok anyagárama került feltüntetésre, de természetesen ugyanúgy zajlik visszaáramlás a végfelhasználók irányából is),
- *TSZV*: termelő/szolgáltató vállalat, amely lényeges szerepet tölt be a modellben, mint a logisztikai szolgáltatások megrendelője,
- *V*: a termelő/szolgáltató vállalatok végfelhasználói, melyek a leggyakrabban disztribúciós központokon keresztül jutnak a megrendelt termékekhez, de bizonyos

esetekben közvetlen kiszállítás révén, vagy adott esetben közvetlenül a vállalatoktól kapják meg a terméket vagy szolgáltatást.

Amint az az előzőekből is látszik, a lehatárolásra került struktúrában tehát meghatározó szerep jut a termelő/szolgáltató vállalatoknak, mivel a hálózat működtetését végző logisztikai szolgáltatók kiválasztása nagyrészt általuk, mint a logisztikai szolgáltatások fő megrendelői által történik. Ez egyúttal meghatározza a kockázatelemzés fő irányvonalát is, amelynek így értelemszerűn a termelő szolgáltató/vállalatok szempontrendszeréből kell kiindulnia.

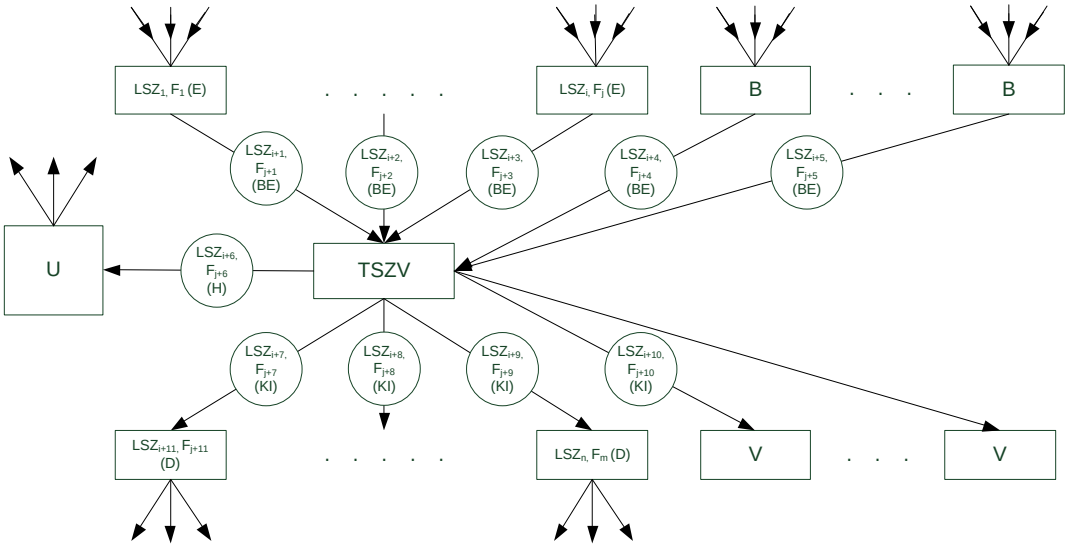
A logisztikai központok a modellnek megfelelően egyrészt különböző szerepköröket tölthetnek be az ellátási oldalon (alkatrész elosztó raktárak, konténer terminálok, intermodális logisztikai központok, stb.), másrészt hagyományos értelemben vett disztribúciós központokként jelennek meg a vevők felé történő elosztás oldalán. Fontos ugyanakkor megjegyezni, hogy a klasszikus termelő vállalatok mellett ugyanúgy támogathatják a szolgáltató, vagy részben szolgáltatást végző vállalatok tevékenységét is (pl. nagykereskedelmi raktárakként értékesítési hálózatokban, alkatrész elosztó raktárakként szervízhálózatokban, akár gyűjtő és átrakó központokként újrahasznosítást végző rendszerekben, stb.), ami egy lényeges szempont a modell széleskörű alkalmazhatóságának oldaláról nézve. A beszállítók és a végfelhasználók jellemzően a logisztikai és disztribúciós központokon keresztül állnak kapcsolatban a termelő/szolgáltató vállalatokkal. Természetesen ezeket a kapcsolatokat is szállító vállalatok valósítják meg, ugyanakkor ezek általában a logisztikai központokkal állnak megbízásos kapcsolatban, így a modellben nem jelennek meg explicit módon, csak mint a logisztikai központok teljesítményét befolyásoló implicit tényezők. Az ellátás oldalán akkor jelenhet meg mégis a közvetlen beszállítás, ha a globális ellátási láncra támaszkodó termelő vállalat helyi beszállítókat is alkalmaz a termelési folyamatban (ez egyébként a legtöbb ellátási láncnál előfordul). Továbbá egy másik jellemző eset az, amikor a beszállító stratégiai partnerként olyan speciális alkatrészeket gyárt, illetve adott esetben olyan nagy mennyiségű alapanyagokat állít elő, amelyeket a minőségi szempontok vagy egyéb megfontolások figyelembevétele miatt érdemes közvetlenül a termelő vállalatnak leszállítani. Ami az elosztási oldalt illeti, itt a végfelhasználók általában akkor kerülnek közvetlen kapcsolatba egy vállalattal, ha az szolgáltatásokat (is) nyújt. Ez megvalósulhat szállító vállalatok közreműködésével (pl. e-kereskedelemre épülő értékesítés, hálózatszerű karbantartás), vagy akár közvetlenül a végfelhasználónak nyújtott szolgáltatásként (pl. közvetlen értékesítés, szerviz tevékenység).

Az előzőekben lehatárolt topológia tehát átfogó módon tartalmazza az összes olyan meghatározó elemet, amelyek megjelennek a széleskörűen vett logisztikai hálózatokban. Ebben a formában a struktúra ugyanakkor még nem teszi lehetővé a kockázati paraméterek bevezetését, mivel azok alapvetően az egyes jól azonosítható logisztikai szolgáltatók tevékenységeihez, illetve az ezek mögött álló logisztikai folyamatokhoz kapcsolhatóak. Szükség van tehát arra is, hogy a logisztikai szolgáltatók, valamint az általuk ellátott folyamatok explicit módon kerüljenek kifejezésre a modellben. A logisztikai szolgáltatók a modellben alapvetően két formában, logisztikai központokként (illetve a logisztikai központok infrastruktúráját használó vállalatokként) és szállítóvállalatokként (utóbbiak lehetnek fuvarozók és szállítmányozók) jelennek meg (a logisztikai központok alapvetően az ellátásban és a disztribúcióban, a szállító vállalatok pedig a beszállításban, a kiszállításban, valamint a hulladékszállításban játszanak fő szerepet). Ebből kiindulva a soron következő 4.2.2. ábrán a logisztikai központok és a szállító vállalatok egységesen $LSZ_i$-ként kerültek feltüntetésre, ahol az alsó index jelöli a hálózatban az *i*. logisztikai szolgáltatót ($i$ = 1,2,...$n$), a zárójelben szereplő kifejezés pedig a hálózatban betöltött közvetlen funkciót:




4.2.2. ábra: Termelő/szolgáltató vállalat logisztikai hálózatokban értelmezett többlépcsős ellátási és elosztási modellje a logisztikai szolgáltatók kiemelésével (saját szerkesztés)

A fenti reprezentáció tehát már lehetővé teszi, hogy szükség esetén egyesével is vizsgálhatóak legyenek az egyes logisztikai szolgáltatók. Ugyanakkor az egyes szolgáltatókhoz különböző logisztikai folyamatok tartozhatnak, ezért szükség van az utóbbiak különálló feltüntetésére is, amelynek módja látható a következő, 4.2.3. ábrán:




4.2.3. ábra: Termelő/szolgáltató vállalat logisztikai hálózatokban értelmezett többlépcsős ellátási és elosztási modellje a logisztikai szolgáltatók és folyamataik kiemelésével (saját szerkesztés)

A fenti reprezentációban $F_j$ jelöli a *j*. logisztikai folyamatot, ahol *j* a folyamatok futóindexe ($j = 1,2,\ldots m$). Kiterjesztve a szolgáltatóknál bevezetett csoportosítást, a logisztikai folyamatok besorolása is öt lehetséges kategória szerint történhet, amelyek az ellátás, a beszállítás, a hulladékszállítás (másképpen reverz logisztika), a kiszállítás, valamint a disztribúció. Alapesetben értelemszerűen az ellátási és a disztribúciós folyamatok tartoznak a logisztikai központokhoz, míg a beszállítási, kiszállítási és a hulladékszállítási (reverz-logisztikai) folyamatok a szállítóvállalatokhoz. A modellstruktúra áttekinthetőségét elősegítendő, a soron következő 4.2.1. táblázatban összefoglalásra kerültek a modell egyes vetületeiben a logisztikai szolgáltatók, valamint az általuk ellátott folyamatok megjelenési formái:

| **Vetület** | ***LSZ$_i$*** | ***F$_j$*** |
|---|---|---|
| Ellátás (E) | Logisztikai (ellátó) központ | Ellátási folyamat |
| Beszállítás (E) | Szállító vállalat | Beszállítási folyamat |
| Hulladékszállítás (H) | Szállító vállalat | Hulladékszállítási folyamat |
| Kiszállítás (KI) | Szállító vállalat | Kiszállítási folyamat |
| Disztribúció (D) | Logisztikai (disztribúciós) központ | Disztribúciós folyamat |

4.2.1. táblázat: A logisztikai szolgáltatók és az általuk ellátott folyamatok megjelenési formái a modell egyes vetületeiben

Az előbbiekben ismertetetett modellstruktúra használata azért előnyös, mert így már az egyes folyamatokhoz közvetlenül hozzárendelhetőek bizonyos kockázati paraméterek, amelyekre épülően kidolgozható a kockázati modell. Ezelőtt ugyanakkor még több elvégzendő lépésre van szükség, többek között a hálózati modell matematikai reprezentációjának megadására, valamint maguknak a kockázati tényezőknek a definiálására.

## 4.3 A modellben előforduló jellegzetes esetek bemutatása

Mielőtt sor kerülne az előzőek végén említett feladatok megoldására, a teljesség igénye végett érdemes még bővebben is foglalkozni a logisztikai modellel és bemutatni néhány tipikus, a gyakorlatra jellemző előfordulási formát. Mint látható lesz, a különbségek leginkább abban jelentkeznek, hogy a termelő/szolgáltató vállalat a szállítási feladatokat hány szolgáltató között osztja szét, továbbá hogy a peremfeltételekhez igazodva milyen elvet követ a feladatok szétosztásánál.

Az egyik legtipikusabb eset az, amikor a termelő/szolgáltató vállalat alapvetően ugyanarra az egyetlen szállítóvállalatra támaszkodik mind a beszállítás, mind a kiszállítás oldalán (a hulladékszállítás általában ilyenkor is kivételt képez a speciális szállítási feltételek miatt). Ez főleg kisebb, regionális szinten működő termelő/szolgáltató vállalatokra lehet igaz, ahol a lokálisan koncentrálódó szállítási feladatokat a költséghatékonyság végett érdemes lehet akár egyetlen szállító vállalatnak kiszervezni, cserében a jutányos szerződési feltételekért (pl. kis és közepes termelő vállalatok, regionális termelő és értékesítő vállalatok, regionális hulladékgyűjtés és újrahasznosítás, stb.).

A nagyobb földrajzi távolságokat átfedő rendszereknél (pl. kiterjedt ellátási láncokkal dolgozó termelő vállalatok, globális értékesítési hálózatok, stb.) az előbbi megoldás értelemszerűen már csak azért sem valósítható meg, mert a megrendelt termékek és alkatrészek gyakran teljesen eltérő régiókból, továbbá jelentősen különböző szállítási körülmények mellett kerülnek beszállításra, a sokféle különböző peremfeltételnek pedig általában még a legnagyobb integrátorok sem tudnak kizárólagosan megfelelni. Ugyanakkor speciális esetekben előfordulhat, hogy egy közepes méretű termelő/szolgáltató vállalat ellátási lánca ugyan globális jellegű, de a végfelhasználók nagyrészt regionális szinten jelentkeznek. Jó példa lehet erre az a vállalat, amely regionális szinten nyújt olyan magas minőségű szolgáltatásokat, amelyek biztosításához elengedhetetlen bizonyos speciális termékeket gyártó nemzetközi beszállítók alkalmazása. Jellemzően ilyenkor fordulhat elő az az eset, hogy a

termelő vállalat a beszállítás oldalán több különböző logisztikai szolgáltatóval szerződik, ugyanakkor a vevők felé akár egyetlen logisztikai szolgáltató alkalmazásával is megoldható a szolgáltatás vagy szolgáltatások megfelelő szintű biztosítása.

Az előzőek mellett, bizonyos speciális körülmények fennállása esetén meghatározhatóak még további jellegzetes esetek is. Ha például egy termelő vállalat olyan terméket állít elő, amelyet különleges, gazdaságosan csak az adott régióból beszerezhető alapanyagok felhasználásával lehet elkészíteni, akkor akár fenn állhat egy olyan helyzet is, amikor a beszállítás oldalán egyetlen meghatározó szállítóvállalat alkalmazásával oldják meg az alapanyag vagy alapanyagok behozatalát, a kiszállításnál viszont számos különböző szállítóvállalat révén juttatják el a késztermékeket a globálisan elhelyezkedő elosztó központokba. Ilyen speciális helyzet áll fenn például egy adott tájegységre jellemző élelmiszeripari termék előállítása esetén, amelyre kiemelkedő ismertségéből fakadóan akár globális szinten is lehet kereslet. A korszerű logisztikai hálózatok működéséhez ugyanakkor talán jobban illeszkednek azok a mikroelektronikai iparból ismert példák, amikor bizonyos alkatrészek előállításához csak nagyon korlátozottan hozzáférhető alapanyagokra van szükség, az elkészített alkatrészeket viszont globális szinten majdnem minden elektronikai termékbe beépítik (erre a legtipikusabb példát a ritkaföldmémek felhasználásával készülő elektronikai komponensek szolgáltatják). Az ilyen és ehhez hasonló esetekben tehát a gazdaságosan csak regionális szinten beszerezhető alapanyag beszállítását megoldhatják egyetlen szállító vállalat segítségével is (érdemes megjegyezni, hogy mivel néhány konkrét alapanyagról van szó, ezért az ilyen esetekben a közvetlenül a beszállítóktól történő beszállítás szerepe is nagyobb lehet).

Végül ritka esetben, de előfordulhat olyan helyzet is, amikor a termelő/szolgáltató vállalat mind a beszállítás, mind pedig a kiszállítás oldalán külön-külön egy-egy meghatározó szállítási vállalatot bíz meg a fuvarok lebonyolításával. Erre a megoldásra azért nehezebb konkrét példákat találni, mert az előző esetekben ismertetett körülményekkel ellentétben ritkán adódik olyan, a termelő/szolgáltató vállalatot magába foglaló hálózat felépítéséből adódó peremfeltétel, amely egyértelműen indokolná, hogy a beszállítást és a kiszállítást átfogóan egy-egy különálló vállalat végezze el. Ha mégis ilyen helyzet áll elő, annak leggyakrabban a szállítási technológiához kötődő magyarázata van. Például ha egy kikötő közelében elhelyezkedő termelő vállalat vevőköre kizárólag tengerentúli ügyfelekből áll, akkor akár előfordulhat az is, hogy a beszállítást a vállalat egy átfogó integrátor közreműködésével oldja meg, a kiszállítást pedig egy tengeri szállításra specializált szolgáltató segítségével bonyolítja le (vagy elképzelhető ennek akár a fordítottja is). Hasonló

különleges esetek elvileg adódhatnak például a vasúti, vagy akár a légi szállítást bizonyos viszonylatokban erősen preferáló ellátási láncokban is.

Az előzőekben bemutatásra került speciális esetek mindegyikére igaz, hogy ilyen letisztult formában csak ritkán jelennek meg, olyankor is inkább csak egy nagyobb rendszer jól körülhatárolható részrendszereként. Ugyanakkor a legtöbb logisztikai hálózat jól felírható ezen jellegzetes esetek valamilyen típusú kombinációjaként, ami indokolttá tette bemutatásukat.

A fentiekben nem esett szó még arról, hogy természetesen jelentős különbségek mutatkozhatnak abban is, hogy egy adott termelő/szolgáltató vállalat hány logisztikai központtal áll kapcsolatban az ellátási, illetve a disztribúciós oldalon. Ezek száma több paramétertől is függhet, ugyanakkor pedig a hálózat kiterjedtségének és a földrajzi körülményeknek a függvényében szinte tetszőlegesen változhat, ami miatt nehéz ennek mentén kategorizálni a lehetséges rendszerváltozatokat. Ugyanakkor általános megállapításként elmondható, hogy mind a négy előzőekben bemutatott esetnek előfordulhatnak olyan változatai, ahol a termelő/szolgáltató vállalat valamelyik oldalon csak egyetlen logisztikai központtal áll kapcsolatban (főleg az első esetnél fordulhat elő, hogy ez akár mindkét oldalra igaz lehet). A hálózatba bevont logisztikai központok mennyisége természetesen minden esetben jelentősen befolyásolja a szükséges szállítóvállalatok konkrét számát.

## 4.4 A jellegzetes esetek összefoglalása

A jellegzetes esetek összefoglalásaképpen megállapítható, hogy bár egy hálózatban a szolgáltatók számos különböző típusú kombinációja alakulhat ki, ezek lényegében mind leírhatóak a lehatárolt logisztikai modell keretein belül. Ez egy fontos megállapítás, mert ez teremti meg a lehetőségét annak, hogy a bemutatott esetek a következőkben bevezetésre kerülő matematikai, valamint a kockázati modell szempontjából is egységesen kezelhetőek legyenek.

# 5. A lehatárolásra került hálózati struktúrához kidolgozott matematikai modell ismertetése

## 5.1 Az általános matematikai modell meghatározása

Az előző fejezetben lehatárolt logisztikai modell alapján célszerű megadni egy olyan matematikai reprezentációt, amelyben egyértelműen megjelenik a hálózatban résztvevő összes logisztikai szolgáltató, a logisztikai szolgáltatók által ellátandó összes logisztikai folyamat, valamint az egyes folyamatok jellemzésére szolgáló összes paraméter. Felhasználva a korábban bevezetésre került jelöléseket is, a matematikai modellnek tehát figyelembe kell vennie:

- az $n$ darab $LSZ_i$-vel jelölt logisztikai szolgáltatót ($i$=1,…,$n$),
- az $m$ darab $F_j$-vel jelölt logisztikai folyamatot ($j$=1,…,$m$),
- valamint azt az $r$ darab, minden logisztikai folyamat esetén értelmezhető mennyiségi és minőségi paramétert, amelyek segítségével egyértelműen jellemezhetőek az egyes folyamatok ($k$=1,…,$r$).

Az $r$ darab mennyiségi és minőségi paraméter bevezetése nagyon lényeges, mivel ezek egyúttal lehetőséget biztosítanak a kockázatkezelésben használt kockázati tényezők definiálására is. A konkrét mutatók leírására a következő fejezetben kerül sor részletesen, az átfogó matematikai modell meghatározása után.

A matematikai reprezentációhoz először meg kell határozni, hogy milyen jellegű kapcsolat áll fenn a logisztikai szolgáltatók, az egyes logisztikai folyamatok, valamint a mennyiségi és minőségi paraméterek között. Könnyen belátható, hogy elméleti oldalról vizsgálva a kérdést elvileg bármely logisztikai szolgáltató alkalmas lehet bármelyik logisztikai folyamat ellátására, ezért figyelembe kell venni a szolgáltatók és a folyamatok összes lehetséges párosítását (a gyakorlatban a peremfeltételek természetesen lényegesen lecsökkentik a lehetséges kombinációk számát, de erről majd a későbbiekben lesz szó). Ehhez képezni kell azt az L véges halmazt, amely tartalmazza az $LSZ_i$ logisztikai szolgáltatók és az $F_j$ folyamatok felhasználásával képezett összes lehetséges elempárt, a következő módon:

$$\mathrm{L} = \left\{ \left( LSZ_1 ; F_1 \right) ; \ldots \left( LSZ_i ; F_j \right) ; \ldots \left( LSZ_n ; F_m \right) \right\} \tag{5.1.1}$$

A már említett $r$ darab paraméternek ugyanakkor minden ($LSZ_i;F_j$) elempárt külön-külön kell jellemeznie, mivel minden egyes szolgáltató egy adott szinten tudja megvalósítani az egyes logisztikai folyamatokat. Ennek megvalósításához tehát célszerű hozzárendelni minden ($LSZ_i;F_j$) elempárhoz azt a $\mathrm{p}_{ij}$ paraméter-vektort, amely tartalmazza az adott $i$-edik szolgáltató $j$-edik folyamatára jellemző $r$ darab $p_{ijk}$ paraméter értékét, a következő módon:

$$\mathrm{p}_{ij} = \left[ p_{ij1}, \ldots p_{ijk}, \ldots p_{ijr} \right] \tag{5.1.2}$$

Maga a hozzárendelés matematikailag a következőképpen írható fel:

$$\left( LSZ_{i;} F_j \right) \rightarrow \mathrm{p}_{ij} \tag{5.1.3}$$

Könnyen belátható, hogy a hozzárendelés eredményeként előálló, minden $\mathrm{p}_{ij}$ vektort magába foglaló P képhalmaz tehát tartalmazni fogja bármely logisztikai szolgáltató esetére az összes folyamat jellemzéséhez szükséges mennyiségi és minőségi paramétereket. Ezt jól lehet reprezentálni egy térbeli mátrix segítségével, az alábbi módon:

$$\mathrm{P} = \left[ p_{ijk} \right]_{nmr} \tag{5.1.4}$$

A fentiekben meghatározásra került általános matematikai modell tehát alkalmas arra, hogy segítségével fel lehessen írni a logisztikai szolgáltatók és a logisztikai folyamatok között elképzelhető bármely tetszőleges viszonyrendszert, az ezekhez tartozó mennyiségi és minőségi paraméterekkel együtt. Ugyanakkor a kockázatkezelés legfontosabb kérdése, hogy hogyan célszerű kialakítani a fenti viszonyrendszereket – más szóval megválasztani a logisztikai szolgáltatókat az egyes logisztikai folyamatokhoz – úgy, hogy az eredő kockázatot a lehető legjobban sikerüljön minimalizálni. Ennek a kérdésnek a megválaszolása természetesen egy több lépcsős, az egész disszertáción átívelő vizsgálatot igényel, de első lépésként ehhez mindenképp szükséges a modell további részletezése.

## 5.2 A logisztikai folyamatokhoz kapcsolódó peremfeltételek bevezetésének lehetőségei

Ahhoz, hogy a logisztikai szolgáltatók és folyamatok kapcsolatrendszerét egzakt módon kezelni lehessen, először is arra van szükség, hogy a modellben lehetőség legyen peremfeltételek megadására. Az előzőekben már általánosan bevezetésre kerültek a $p_{ijk}$-val jelölt mennyiségi és minőségi paraméterek, mint az $i$-edik logisztikai szolgáltató által ellátott $j$-edik logisztikai folyamatot jellemző mutatók. A peremfeltételek bevezetését a legegyszerűbben erre az általános meghatározásra építve lehet megvalósítani. Legyen:

- $pa_{ijk}$ az $i$-edik szolgáltató $j$-edik folyamatának $k$-adik paraméter típusára megengedett alsó érték,
- $pf_{ijk}$ az $i$-edik szolgáltató $j$-edik folyamatának $k$-adik paraméter típusára megengedett felső érték,
- $pv_{ijk}$ pedig az $i$-edik szolgáltató $j$-edik folyamatának $k$-adik paraméter típusára jellemző azon érték, amelyet az $i$-edik szolgáltató képes megvalósítani.

Könnyen belátható, hogy a fenti definíciók bevezetésével és alkalmazásával elméletben bármely tetszőleges folyamatra előírhatóak azok a peremfeltételek, amelyek mentén eldönthető, hogy egy adott szolgáltató egy adott folyamathoz hozzárendelhető-e vagy sem. Felhasználva a bevezetett jelöléseket, egy adott szolgáltató elvileg ugyanis csak akkor rendelhető hozzá egy adott logisztikai folyamathoz (más szóval akkor bízható meg az adott feladat elvégzésével), ha minden $k = 1,2,\ldots r$ esetén teljesül a következő feltétel:

$$pa_{ijk} \leq pv_{ijk} \leq pf_{ijk} \tag{5.2.1}$$

A fenti összefüggés alapján elvileg megadható az is, hogy egy adott szolgáltató milyen esetben lehet alkalmas a rendszerben jelentkező összes folyamat ellátására. Ennek feltétele, hogy az előbbi összefüggés teljesüljön minden $k = 1,2,\ldots r$, de egyúttal minden $j = 1,2,\ldots m$ esetén is. A gyakorlatban természetesen nem létezik olyan logisztikai szolgáltató, amely el tudna látni minden logisztikai folyamatot. Ennek a nyilvánvaló földrajzi és kapacitáskorlátok mellett gátat szabnak a szolgáltatók típusai között fennálló különbségek is, például egy logisztikai központ értelemszerűen nem vagy csak nagyon ritkán végez közvetlenül szállítási feladatokat.

Ahhoz, hogy a peremfeltételeket szemléletesen lehessen ábrázolni a teljes rendszerre vonatkozóan, célszerű ezek esetében is ugyanazt a térbeli mátrixokra épülő megközelítést alkalmazni, amely a paraméterek általános felírásánál már bemutatásra került. Ennek értelmében megadhatók egy PA és egy PF mátrixok, amelyek a logisztikai paraméter értékek alsó (PA mátrix) és felső (PF mátrix) értékeit tartalmazzák szolgáltatónként, folyamatonként és paraméter típusonként. A PA mátrix felépítése az alábbiakban látható, ahol tehát $pa_{ijk}$ jelenti az *i*-edik szolgáltató *j*-edik folyamatának *k*-adik paraméter típusára megengedett alsó értéket:

$$\mathrm{PA} = \left[ pa_{ijk} \right]_{nmr} \tag{5.2.2}$$

Ennek analógiájára írható fel a PF mátrix, ahol tehát a $pf_{ijk}$ jelenti az *i*-edik szolgáltató *j*-edik folyamatának *k*-adik paraméter típusára megengedett felső értéket:

$$\mathrm{PF} = \left[ pf_{ijk} \right]_{nmr} \tag{5.2.3}$$

Végül pedig a PV mátrix esetén tehát a $pv_{ijk}$ jelenti az *i*-edik szolgáltató *j*-edik folyamatának *k*-adik paraméter típusára jellemző azon értéket, amelyet az *i*-edik szolgáltató képes megvalósítani:

$$\mathrm{PV} = \left[ pv_{ijk} \right]_{nmr} \tag{5.2.4}$$

A PV mátrix alapján tehát már eldönthető, hogy az egyes folyamatokat mely szolgáltatókhoz érdemes hozzárendelni. Ennek egzakt módon történő felírásához célszerű bevezetni egy X hozzárendelési mátrixot, amelynek egyes elemei 0 vagy 1 értéket vehetnek fel, azaz:

$$\mathrm{X} = \left[ x_{ijk} \right]_{nmr}, \qquad x_{ijk} \in (0,1) \Big|_{i=1,\dots,n;\ j=1,\dots,m;\ k=1,\dots,r} \tag{5.2.5}$$

Ha az $x_{ijk}$ 1-et vesz fel, az magától értetődően azt jelenti, hogy a *j*-edik folyamat *k*-adik paraméteréhez az *i*-edik szolgáltató került kiválasztásra, ha pedig 0-t, akkor ennek ellentettjét. Az egyes elemek értékének meghatározásánál továbbá az előzőek értelmében figyelembe kell venni az (5.2.1)-es peremfeltételt, néhány további alapvető feltétellel egyetemben. Ezen feltételek egyike, hogy minden folyamatot hozzá kell rendelni egy szolgáltatóhoz, azaz:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{r} x_{ijk} = r \Bigg|_{j=1,\dots,m} \tag{5.2.6}$$

Egy másik feltétel, hogy egy folyamat teljes egészében csak egy adott szolgáltatóhoz rendelhető hozzá, azaz:

$$\sum_{k=1}^{r} x_{ijk} \in (0,r) \Bigg|_{i=1,\dots,n;\ j=1,\dots,m} \tag{5.2.7}$$

Az előző összefüggés egy jobban kezelhető, egyszersmind elegánsabb módon is megadható a következőképpen (ez azért is lényeges, mert a gépi számításoknál is jóval egyszerűbb használni ezt az alakot):

$$\sum_{k=1}^{r} x_{ijk} = r \cdot x_{ij1} \tag{5.2.8}$$

Az 5.2.8 még tovább standardizálható az alábbi felírást alkalmazva:

$$(r-1)\cdot x_{ij1} - \sum_{k=2}^{r} x_{ijk} = 0 \tag{5.2.9}$$

Az (5.2.1), valamint az (5.2.5), az (5.2.6) és az (5.2.8) feltételeket figyelembe véve kell feltölteni az X hozzárendelési mátrixot. Ezután a PV és az X mátrixok összetartozó elemeit megszorozva egymással kapható meg a PM megoldás mátrix, amelyben már minden folyamatot egy kiválasztott logisztikai szolgáltató lát el:

$$pv_{ijk} \cdot x_{ijk} = pm_{ijk} \tag{5.2.10}$$

$$\mathrm{PM} = \left[ pm_{ijk} \right]_{nmr} \tag{5.2.11}$$

A bemutatott gondolatmenet alkalmazásával tehát elviekben egyértelműen eldönthető, hogy az egyes folyamatok mely szolgáltatókhoz rendelhetőek hozzá. Ugyanakkor a gyakorlatban jelentkezik egy lényeges probléma, mégpedig az, hogy a folyamatokat jellemző paraméterek az idő függvényében jellemzően váltakoznak, méghozzá a legtöbb esetben sztochasztikus jelleggel. Ennek elsődleges oka az, hogy a logisztikában előfordul számos olyan külső körülmény, amelyektől még a legjobban teljesítő szolgáltatók sem tudják teljes mértékben függetleníteni magukat (pl. szállítási sebességet befolyásoló forgalmi és környezeti tényezők, a piaci környezetben bekövetkező hirtelen változások, a kiterjedt ellátási láncokban időnként elkerülhetetlen emberi hibák, stb.). Ez egyúttal természetesen az elsődleges oka is annak, hogy szükség van a kockázatkezelési módszerek alkalmazására.

Ahhoz tehát, hogy a folyamatokat leíró minőségi és mennyiségi paraméterek sztochasztikus jellegű ingadozásával is számolni lehessen, a matematikai modell további finomítására van szükség, amelyre a következő fejezetrészben kerül sor.

## 5.3 Sztochasztikus folyamatok reprezentációja a matematikai modellben a folyamatképesség felhasználásával

A sztochasztikusan változó – más szóval valószínűségi változóként kezelendő – paraméterek egyik legfontosabb jellemzője a $\mu$ várható érték, mint az adott változóra jellemző átlagos érték. A várható értéket a $p_{ijk}$ általános paraméter helyére beírva áll elő a $\mathrm{P_{st}}$ várható érték mátrix:

$$\mathrm{P_{st}} = \left[ \mu(i, j, k) \right]_{nmr} \tag{5.3.1}$$

Mint az előző képletben is látható, a modell a mátrixon belüli indexáláshoz innentől kezdve alapvetően a zárójeles felírást alkalmazza. Ennek két oka van: egyrészt ez segíti a később

bemutatandó informatikai modellre történő átállást, másrészt pedig ezzel elkerülhetőek a túl hosszú alsó indexekből származó félreértések, ami főleg a $c_p$ és $c_{pk}$ paraméterek széleskörű használata miatt fontos.

Elméletben már a $\mu(i,j,k)$ várható értékkel is felírható lenne az (5.2.1) összefüggés, ugyanakkor a gyakorlatban ennek nem lenne igazi jelentősége, mivel a várható érték csak a paraméter átlagos értékét mutatja meg, az ettől pozitív és negatív irányban tapasztalható eltérések nagyságát és gyakoriságát már nem. A valószínűségszámításban természetesen ennek számszerűsítésére használják a szórást, melynek jól ismert képlete az előzőekben bevezetett jelölésrendszerrel a következő alakban írható fel, alkalmazva az $E(p(i,j,k))=\mu(i,j,k)$ összefüggést, amely szerint a vizsgált paraméterre kapott $E$ várható érték – kellő nagyságú mérési mintát feltételezve – megfelel a paraméterre jellemző $\mu$-nek:

$$\sigma(i,j,k)=\sqrt{E\left(\left(p(i,j,k)-E\left(p(i,j,k)\right)\right)^2\right)}=\sqrt{E\left(\left(p(i,j,k)-\mu(i,j,k)\right)^2\right)} \tag{5.3.2}$$

A szórást érdemes az egész rendszerre értelmezett formában is felírni, a többször használt mátrix alapú megközelítés használatával, ahogy az az alábbiakban látható:

$$\mathrm{P}\sigma_{\mathrm{st}}=\left[\sigma(i,j,k)\right]_{nmr} \tag{5.3.3}$$

A várható érték és a szórás segítségével már elég jól meghatározható, hogy egy adott logisztikai szolgáltató adott folyamata mennyire képes megfelelni a peremfeltételként meghatározott alsó és felső határértékeknek. Ugyanakkor ezen a ponton észre kell venni, hogy a különösen a gyártás területén használt és az irodalmi áttekintésben már ismertetésre került folyamatképesség koncepciója pontosan ennek a kérdésnek a megválaszolására szolgál. Ahogy az már bemutatásra került, a folyamatképesség meghatározására szolgáló általános képlet a következő, ahol *USL* („Upper Specification Limit”) felel meg a felső, *LSL* („Lower Specification Limit”) pedig az alsó határértéknek:

$$c_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \tag{3.3.4}$$

Alkalmazva a folyamatképesség alapképletében használt *LSL* jelölést, a PA mátrix sztochasztikus esetre érvényes változata a következőképpen írható fel:

$$\mathrm{PA_{st}} = \left[ LSL(i,j,k) \right]_{nmr} \tag{5.3.5}$$

Ugyanilyen módon alkalmazva az *USL* jelölést, a PF mátrix sztochasztikus esetre érvényes változata pedig a következő alakot fogja felvenni:

$$\mathrm{PF_{st}} = \left[ USL(i,j,k) \right]_{nmr} \tag{5.3.6}$$

A $\mathrm{PF_{st}}$ és $\mathrm{PA_{st}}$ mátrixok egymásból történő kivonásával kifejezhető egy $\mathrm{PT_{st}}$ mátrix is, az alábbiakban látható módon:

$$\mathrm{PF_{st}} - \mathrm{PA_{st}} = \mathrm{PT_{st}} = \left[ USL(i,j,k) - LSL(i,j,k) \right]_{nmr} \tag{5.3.7}$$

A $\mathrm{PT_{st}}$ mátrix és a korábban bevezetésre került $\mathrm{P\sigma_{st}}$ segítségével már levezethető a PV mátrix sztochasztikus esetre alkalmazható formája. Ezt úgy lehet megvalósítani, hogy a $\mathrm{PT_{st}}$ és a $\mathrm{P\sigma_{st}}$ mátrixok minden összetartozó elemére alkalmazni kell az alábbi összefüggést, ezáltal előállítva a $\mathrm{PV_{st}}$ mátrix megfelelő elemeit:

$$c_p(i,j,k) = \frac{T(i,j,k)}{6\sigma(i,j,k)} = \frac{USL(i,j,k) - LSL(i,j,k)}{6\sigma(i,j,k)} \tag{5.3.8}$$

$$\mathrm{PV_{st}} = \left[ c_p(i,j,k) \right]_{nmr} \tag{5.3.9}$$

Ahogy az a 3.1 táblázatban már bemutatásra került, a $c_p$ értékének növekedésével fordított arányban csökken a hibák előfordulásának gyakorisága, azaz egyre megbízhatóbb lesz az adott folyamat (a Hat szigma szerint egy folyamat általában akkor tekinthető irányítottnak, ha a $c_p$ értéke eléri vagy meghaladja az 1,33-as értéket). A gyakorlati számításokhoz ugyanakkor szükséges lehet a harmadik fejezetben szintén bemutatott $c_{pk}$ kritikus folyamatképességi mutató felhasználása is, amely a modellben használt indexálást követve a következőképpen számolható ki:

$$c_{po}(i,j,k) = \frac{USL(i,j,k) - \mu(i,j,k)}{3\sigma(i,j,k)} \quad , \quad c_{pu}(i,j,k) = \frac{\mu(i,j,k) - LSL(i,j,k)}{3\sigma(i,j,k)} \tag{5.3.10}$$

$$c_{pk}(i,j,k) = min\{c_{po}(i,j,k); c_{pu}(i,j,k)\} \tag{5.3.11}$$

Vagyis ahhoz, hogy a fenti összefüggések alkalmazhatóak legyenek, elő kell állítani minden egyes szolgáltató és minden egyes folyamat esetén az összes paraméterre vonatkozó $c_{po}$ és $c_{pu}$ értékeket, amelyek közül minden egyes esetben a kisebb érték fog megfelelni az adott paraméterre érvényes $c_{pk}$-nak. A $c_{po}$ és $c_{pu}$ használatával a $PF_{st}$ és $PA_{st}$ mátrixok a következőképpen módosulnak:

$$\mathrm{PF}_{\mathrm{stk}} = \left[ c_{po}(i,j,k) \right]_{nmr} \tag{5.3.12}$$

$$\mathrm{PA}_{\mathrm{stk}} = \left[ c_{pu}(i,j,k) \right]_{nmr} \tag{5.3.13}$$

A $PF_{stk}$ és $PA_{stk}$ mátrixok összetartozó elemeire alkalmazva az (5.3.11) összefüggést, már kiszámolható a végeredményt tartalmazó $PV_{stk}$ mátrix:

$$\mathrm{PV}_{\mathrm{stk}} = \left[ c_{pk}(i,j,k) \right]_{nmr} \tag{5.3.14}$$

A $PV_{stk}$ mátrix segítségével tehát elviekben sztochasztikus esetre is eldönthető, hogy az egyes folyamatokat mely szolgáltatókhoz érdemes hozzárendelni. Ahogy az egzakt anyagáram esetében is látható volt, úgy most is célszerű bevezetni egy $X_{stk}$ hozzárendelési mátrixot, amelynek egyes elemei 0 vagy 1 értéket vehetnek fel és az egyes folyamatoknak az egyes szolgáltatókhoz történő hozzárendelését fejezik ki:

$$\mathrm{X}_{\mathrm{stk}} = \left[ x_{ijk}^{stk} \right]_{nmr} \quad , \quad x_{ijk}^{stk} \in (0,1) \Big|_{i=1,\dots,n;\ j=1,\dots,m;\ k=1,\dots,r} \tag{5.3.15}$$

Továbbá ahogy korábban, úgy most is bevezethető egy $PM_{stk}$ megoldás mátrix, amelynek elemei a már ismert módon számíthatóak ki a $PV_{stk}$ és az $X_{stk}$ mátrixok elemeinek felhasználásával:

$$c_{pk}(i,j,k) \cdot x_{ijk}^{stk} = pm_{ijk}^{stk} \tag{5.3.16}$$

$$\mathrm{PM}_{\mathrm{stk}} = \left[ pm_{ijk}^{stk} \right]_{nmr} \tag{5.3.17}$$

A peremfeltételek közül az (5.2.6) és az (5.2.8) az $X_{stk}$ elemeire ugyanúgy felírhatóak, az (5.2.1) ugyanakkor értelemszerűen közvetlenül nem alkalmazható, mivel az szorosan kötődik az anyagáram diszkrét jellegéhez. Ahhoz tehát, hogy az (5.3.16) megoldható legyen, szükség van még egy a hozzárendelési mátrixot előállító módszer pontos definiálására is. Ez utóbbi célt fogja szolgálni a már ismertetett AHP eljárásra épülő kockázati modell bevezetése, ugyanakkor előtte még szükség van a kockázati tényezők pontos definiálására is, amelyre pedig a soron következő fejezetben kerül sor.

Összességében tehát látható, hogy a fejezetben kialakításra került egy olyan első szintű matematikai modell, amely alapján lehetővé vált a logisztikai hálózatok folyamatközpontú kezelése. A matematikai modell teljessé válásához szükség van még a kockázati tényezők bevezetésére és számszerűsítésére, valamint a célfüggvény pontos definiálására is. Ezekre a következő fejezetekben fog sor kerülni.

# 6. A logisztikai szempontból meghatározó kockázati tényezők azonosítása és számszerűsítése

A logisztikai iparágnak összekötő és integráló jellegéből fakadóan számos kockázati forrással kell számolnia. Ahogy az a korábbi fejezetekből kiderült, ezeknek a változóknak a figyelembe vétele egyre nagyobb jelentőséggel bír a korszerű ellátási láncok, illetve a fejlett logisztikai hálózatok megfelelő üzemeltetése szempontjából, mivel ezekben a komplex rendszerekben gyakran a kisebb zavarok is nagyon komoly károkhoz vezethetnek. Emellett az egyre több szereplő együttműködésére épülő hálózatokban maguknak a kockázati forrásoknak, valamint az ezekből fakadó hatásoknak az azonosítása is egyre nehezebb feladatot jelent, ami az egyik fő motivációja is egyben a javasolt kockázatkezelési eljárás kidolgozásának.

Mint ahogy az a szakirodalmi áttekintésben is látható volt, a kockázati források azonosítására és osztályázására számtalan megközelítés létezik. Beszélhetünk többek között gazdasági kockázatokról, operatív jellegű kockázatokról, biztonsági kockázatokról, környezeti hatásokról, társadalmi kockázatokról, valamint számos egyéb itt fel nem sorolt kategóriáról. Az értekezésben bemutatásra kerülő eljárás kiindulópontjában az a megközelítés áll, hogy a számos különféle kockázati tényező egy jelentős része alapvetően visszavezethető az emberi és műszaki hibákból fakadó, közvetlenül számszerűsíthető logisztikai problémákra, más szóval az operatív kockázatokra.

Az előző fejezetekben lehatárolásra került logisztikai hálózati modellből egyértelműen kiderült, hogy a termelő-szolgáltató vállalatok alapvetően kétfajta logisztikai szolgáltatóval állnak kapcsolatban: a logisztikai központokkal (vagy az ezeknek részben megfelelő bérraktárakkal) és a különféle szállító (fuvarozó vagy szállítmányozó) vállalatokkal. Ez a tény egyúttal támpontot ad azoknak a főbb operatív kockázatoknak a meghatározásához is, amelyek a termelő vállalatok szempontjából fontosak lehetnek. Ezen kockázatok egy meghatározó része döntően a szállítási folyamatokhoz, így a szállítást végző logisztikai szolgáltatók tevékenységéhez köthető, mint amilyen a késedelmes szállítmány, a helytelen szállítmány, a törölt szállítmány vagy az elveszett szállítmány jelentette kockázat. A hibalehetőségek egy másik része eredhet mind a logisztikai központok, mind a szállítást végző vállalatok hibás gyakorlatából. Ebbe az utóbbi kategóriába sorolhatóak a késedelmes kezelésből, a hibás csomagolásból, a mennyiségi eltérésekből, illetve az árusérülésekből

fakadó kockázatok (a vizsgálat szigorúan a logisztikai problémákra koncentrál, így például az egyes beszállítók termelési problémáiból eredő kockázatok nem képezik annak tárgyát).

A kockázati modell tehát alapvetően az előbbiekben felsorolt nyolc operatív kockázattal számol. Fontos megjegyezni, hogy ezen kockázatok mögött sokszor olyan logisztikai hibák is állhatnak, mint amilyenek például a helytelen rakodás, a téves áruazonosítás, vagy például a különféle gyűjtési és osztályozási hibák. A megbízók (általában termelő-szolgáltató vállalatok) oldalán végeredményben ugyanakkor ezek is az előbbiekben azonosított nyolc hibafajta formájában jelentkeznek, ezért a redundancia elkerülése érdekében célszerű erre a nyolc kockázati tényezőre koncentrálni. A meghatározásra került nyolc tényező az alábbi, 6.1. táblázatban ismételten látható, kiegészítve az egyes kockázati tényezőkhöz tartozó k paraméter azonosítókkal is:

| *k* | **Kockázati paraméter jelentése** |
|---|---|
| 1 | Késedelmes szállítmány |
| 2 | Helytelen szállítmány |
| 3 | Törölt szállítmány |
| 4 | Elveszett szállítmány |
| 5 | Késedelmes kezelés |
| 6 | Hibás csomagolás |
| 7 | Mennyiségi eltérés |
| 8 | Árusérülés |

6.1. táblázat: A kockázati paraméterek azonosítása és jelentésük

Az előbbi táblázatnak megfelelően tehát a kockázati tényezők az egyes logisztikai folyamatokat jellemző mennyiségi és minőségi paraméterekként kerültek bevezetésre, összhangban az előző fejezetben lefektetett matematikai modellel. Természetesen a lehetséges mennyiségi és minőségi paraméterek köre ettől jóval nagyobb, lényegében tetszőleges nagyságú lehet, ugyanakkor a vizsgálat természet szabta keretei értelemszerűen nem teszik lehetővé az összes elképzelhető tényező figyelembe vételét. Ezért a későbbi fejezetekben kibontásra kerülő kockázati modell abból a feltételezésből indul ki, hogy a szóba jövő logisztikai szolgáltatók a többi, a termelő-szolgáltató vállalatok szempontjából mérvadónak számító paraméter (pl. szállítási teljesítmény, szállítási sebesség, díjszabás, stb.) alapján már

eleve „elfogadásra” kerültek, a fő döntő tényező közöttük tehát a megbízhatóság lesz (erről a későbbiekben még szintén lesz szó).

A következő fejezetrészekben egyesével bemutatásra kerülnek az egyes kockázati tényezők, számszerűsítésük módjával egyetemben. Összhangban az ötödik fejezetben bemutatott matematikai modellel, a számszerűsítés minden esetben a $c_p$, és $c_{pk}$ folyamatképességi mutatók felhasználásával történik. Ez azt jelenti, hogy minden *i-j* szolgáltató-folyamat pár esetében az alábbi összefüggések alkalmazandóak, amelyeknél a *k* paraméter 1-től 8-ig terjedő értéket vesz fel a szóban forgó kockázati tényezőnek megfelelően:

$$c_{po}(i,j,k) = \frac{USL(i,j,k) - \mu(i,j,k)}{3\sigma(i,j,k)}; \qquad c_{pu}(i,j,k) = \frac{\mu(i,j,k) - LSL(i,j,k)}{3\sigma(i,j,k)} \tag{5.3.10}$$

$$c_{pk}(i,j,k) = min\{c_{po}(i,j,k); c_{pu}(i,j,k)\} \tag{5.3.11}$$

Az előbbi képletek alkalmazásához természetesen minden egyes kockázati tényező esetében szükség van a várható értékre, az alsó és felső határértékekre, az utóbbi kettőből képezett tűrésmezőre, valamint természetesen a szórásra. Ezen értékeket az 5. fejezetben definiált nekik megfelelő mátrixok tartalmazzák, ugyanakkor a meghatározásuk módja az egyes kockázati tényezők esetében részben eltérő, mivel minden egyes rizikótényezőnél más lesz a folyamatban vizsgált paraméter. Ezért ahol szükséges, ott a szóban forgó értékek megadásának módja az egyes kockázati tényezők vonatkozásában külön-külön is bemutatásra kerül, az adott esetben vizsgált folyamat-paraméter meghatározásával egyetemben.

A fentiek megvalósításához a gyakorlatban természetesen szükség van kellő mennyiségű mérési adat rendelkezésre állására is. Az ehhez szükséges információ-megosztási modellről a kockázati modell bemutatásával egyetemben lesz szó. Elöljáróban annyit érdemes leszögezni, hogy az adatok rendelkezésre állását illetően alapvetően két eset lehetséges: egy szolgáltató vagy már korábban is ellátott egy adott folyamatot és így rendelkezésre állnak hisztorikus adatok a konkrét viszonylaton mutatott teljesítményére vonatkozóan, vagy korábban még nem látta el az adott folyamatot és így más módon kell előállítani a szükséges paramétereket. Az utóbbi esetre általános megoldásként szolgálhat, hogy ilyenkor a szolgáltató összes többi megegyező kategóriába tartozó folyamatának a szóban forgó kockázati tényezőt leíró $c_{pk}$

mutatóiból képezhető egy átlagos érték. Ugyanakkor a legjobb megoldás az, ha a mindenkori $c_{pk}$ értékek a két módszer együttes használatával kerülnek meghatározásra.

Érdemes még szót ejteni a mérési adatok gyűjtésének időintervallumairól is. Mivel a folyamatképességi mutatók meghatározásához szükséges legfontosabb komponens a vizsgált paraméter szórása, ezért nyilván csak egy bizonyos idő eltelte után határozhatóak meg kellő megbízhatósággal az egyes szolgáltatók adott folyamataira érvényes $c_{pk}$ értékek. Az ipari gyakorlatban a beszállítók minősítését legtöbbször negyedévente vagy félévente szokás elvégezni, ezért általános szabályként a logisztikai szolgáltatókra is alkalmazható, hogy egy féléves adatgyűjtési intervallum már elegendő a $c_{pk}$ értékek meghatározásához. Ettől legfeljebb akkor lehet szükség hosszabb mérési intervallum alkalmazására, ha idő közben kiderül, hogy a folyamatot nem a normál-eloszlás közelíti a legjobban. Ahogy az irodalmi áttekintésben ez már említésre került, a mérési adatok megfelelő normalizálása mellett a folyamatképességi mutatók ugyanakkor ebben az esetben is használhatóak maradnak.

## 6.1 Késedelmes szállítmány

A késedelmes szállítmány számszerűsítésénél figyelembe kell venni a megbízó által meghatározott időablakon kívül teljesült szállítások számát, valamint az időtúllépések mértékét is. Ugyanakkor a problémát leegyszerűsíti, hogy a szállítási folyamatoknál a megbízó az időablak kezdetét és végét általában előre rögzíti egy hosszabb időtávra (akár a teljes szerződéses időszakra) vonatkozóan. Ezek az értékek tehát közvetlenül behelyettesíthetőek a $c_p$ és $c_{pk}$ kiszámításához szükséges összefüggésekbe, így a tényleges beérkezési idő szórásának ismeretében a folyamatképességi és a kritikus folyamatképességi mutatók már közvetlenül kiszámolhatóak. A javasolt mértékegység célszerűen minden esetben az óra, mint a szállítási gyakorlatban leginkább használt időegység.

A szükséges statisztikai paraméterek ismeretében tehát közvetlenül kiszámíthatóak a szállítási folyamatot a pontosság, illetve a késés oldaláról jellemző $c_p$ és $c_{pk}$ folyamatképességi mutatók. A szükséges mérési adatokat az összefüggések alkalmazásához célszerű egyenlő súllyal felerészben a konkrét folyamat hisztorikus adataiból, felerészben pedig a szolgáltató által ellátott többi folyamatra jellemző értékek átlagából előállítani.

A késedelmes szállítmány jelentette kockázat magától értetődően elsősorban a szállító vállalatoknál jelentkezik. A folyamatok típusait tekintve fennáll mind a beszállításnál, mind a kiszállításnál, mind pedig a hulladékszállításnál (a beszállításnál értelemszerűen a

beérkezésre, a kiszállításnál és a hulladékszállításnál pedig az indulásra vonatkozóan kell értelmezni). Ezt a viszonyrendszert szemlélteti a következő, 6.1.1. táblázat (ebben X jelöli az erőteljesebb, (X) a gyengébb, az üres mező pedig az elhanyagolható jelenlétet):

| $k = 1$ | Ellátás | Beszállítás | Hulladékszállítás | Kiszállítás | Disztribúció |
|---|---|---|---|---|---|
| *LK* | (X) | | | | (X) |
| *SZV* | | X | X | X | |

6.1.1. táblázat: A késedelmes szállítmány jelentette kockázat elsődleges megjelenési vetületei

Ahogy az az előbbiekben látható volt, a késedelmes szállítmánnyal összefüggő (a szállítás pontosságát minősítő) folyamatképességi mutató az 1-es paraméter azonosítóval került meghatározásra. Ezzel összhangban a következő fejezetben bemutatásra kerülő kockázati modell a késedelmes szállítmány jelentette kockázathoz az RF1 jelölést fogja hozzárendelni.

## 6.2 Helytelen szállítmány

A helytelen szállítmány arányát egy adott szolgáltató adott folyamatánál az határozza meg, hogy a szállítmányokban mekkora részben fordul elő olyan áru, amelyet az ügyfelek nem rendeltek meg (ez sokszor együtt jár a megrendelt árumennyiségből ténylegesen megkapott rész csökkenésével is, de erről a problémáról még külön lesz szó). Mivel az egyes konkrét szállítmányok mennyisége változó lehet, ezért a vizsgált paraméternek legcélszerűbb egy dimenzió nélküli arányszámot választani, amelyet egy adott szállítmányra nézve tehát a helytelenül kiszállított árumennyiség – jelölése $m^h(i,j,2)$ – és az összes kiszállított árumennyiség – jelölése $m(i,j,2)$ – hányadosaként lehet előállítani.

A felső tűréshatárt ki lehet fejezni azáltal, ha vesszük a teljes vizsgált időszakra a helytelenül kiszállításra kerülő árumennyiség megengedett felső határát – jelölése $M^h(i,j,2)$ – és ezt elosztjuk az adott időszak alatt kiszállításra kerülő összes árumennyiséggel (jelölése $M(i,j,2)$). Mivel az arányszám a negatív tartományba értelemszerűen nem fordulhat át (a helytelenül kiszállított áru mennyisége nem csökkenhet 0 alá), ezért a számítás szempontjából a legcélszerűbb az, ha az $LSL(i,j,2)$ által jelölt alsó határértéket ebben az esetben 0-nak vesszük. Tekintettel arra, hogy normál eloszlásnál egyébként is a $6\sigma$ szélességű tartományba esik az esetek több mint 99.7%-a, ezért ez a számításban nem okoz gyakorlati szempontból

érzékelhető eltérést. Itt fontos azt is megjegyezni, hogy az összes többi olyan esetben, ahol a vizsgált paraméter egy arányszám lesz, ugyanez a megközelítés alkalmazható.

A fentiek figyelembe vételével a folyamatképességi mutatók kiszámításához szükséges paraméterek az alábbi módon írhatóak fel:

$$T(i,j,2) = USL(i,j,2) - LSL(i,j,2); \qquad USL(i,j,2) = \frac{M^h(i,j,2)}{M(i,j,2)}; \qquad LSL(i,j,2) = 0 \qquad (6.2.1)$$

$$\mu(i,j,2) = E\left(\frac{m^h(i,j,2)}{m(i,j,2)}\right); \qquad \sigma(i,j,2) = \sqrt{E\left(\left(\frac{m^h(i,j,2)}{m(i,j,2)} - \mu(i,j,2)\right)^2\right)} \qquad (6.2.2)$$

Tekintettel a hibatípus előfordulásának alacsony gyakoriságára, a számszerűsítéshez mindenképp szükséges a szolgáltató összes folyamatáról származó adatokat figyelembe venni.

A helytelen szállítmány jelentette kockázat esetében is igaz, hogy alapvetően a szállítóvállalatoknál jelentkezik (pontosabban azok be-, ki- és hulladékszállítási folyamatainál), bár megjegyzendő, hogy szélsőséges esetekben a logisztikai központok hibájából is történhet téves feladás (pl. árukeveredésből kifolyólag). Ezt szemlélteti a következő, 6.2.1. táblázat:

| *k* = 2 | Ellátás | Beszállítás | Hulladékszállítás | Kiszállítás | Disztribúció |
|---|---|---|---|---|---|
| *LK* | (X) | | | | (X) |
| *SZV* | | X | X | X | |

6.2.1. táblázat: A helytelen szállítmány jelentette kockázat elsődleges megjelenési vetületei

A helytelen szállítmány jelentette kockázathoz a kockázati modell az RF2 jelölést fogja társítani, az előző alfejezetben bemutatott jelölési konvenciónak megfelelően.

## 6.3 Törölt szállítmány

A törölt szállítmány arányát egy adott szolgáltató adott folyamatánál az határozza meg, hogy a minősítés alapját képező intervallumban a felvállalt szállítmányok mekkora részénél fordult elő, hogy a szállító vállalat a felvállalt szállítási mennyiség egy részét különböző okokból

nem tudta le, illetve elszállítani. Lényeges hangsúlyozni, hogy csak azok az esetek tartoznak ebbe a kategóriába, amelyeknél a teljesítés egyértelműen a szállító vállalat hibájából fakadóan hiúsult meg (például a szállító vállalat nem rendelkezett kellő jármű kapacitással, más megrendelések miatt nem tudta teljes körűen elvégezni az adott szállítási feladatot, stb.).

Fontos megjegyezni, hogy a törölt szállítmány esetében a szolgáltató a szerződéskötés után, de még a szállítási feladat elvégzése előtt jelzi a megrendelőnek, hogy nem fogja tudni maradéktalanul teljesíteni a megbízást, szemben a később tárgyalásra kerülő mennyiségi eltérés jelentette problémával, ahol az eltérésre csak a szállítmány beérkezése (vagy elszállítása) közben, illetve csak azután derül fény.

A fentiek figyelembe vételével a folyamatképességi mutatók kiszámításához szükséges változók az alábbi módon írhatók fel, ahol $M^t(i,j,3)$ jelöli a vizsgált intervallum alatt törlésre kerülhető szállítási mennyiség megengedett felső határát, $M^f(i,j,3)$ a vizsgált intervallum alatt felvállalt összes szállítási mennyiséget, $m^t(i,j,3)$ az adott szállítmányon belül törölt szállítási mennyiséget, $m^n(i,j,3)$ pedig az adott szállítmányon belül felvállalt névleges szállítási mennyiséget. A vizsgált paraméter értelemszerűen az $m^t(i,j,3)$ és az $m^f(i,j,3)$ segítségével képezett hányados, melynek várható értéke $\mu(i,j,3)$. Ezen változók behelyettesítésével a kritikus folyamatképesség mutatójának meghatározásához szükséges összefüggések a következőek lesznek:

$$T(i,j,3) = USL(i,j,3) - LSL(i,j,3); \qquad USL(i,j,3) = \frac{M^t(i,j,3)}{M^f(i,j,3)}; \qquad LSL(i,j,3) = 0 \qquad (6.3.1)$$

$$\mu(i,j,3) = E\left(\frac{m^t(i,j,3)}{m^f(i,j,3)}\right); \qquad \sigma(i,j,3) = \sqrt{E\left(\left(\frac{m^t(i,j,3)}{m^f(i,j,3)} - \mu(i,j,3)\right)^2\right)} \qquad (6.3.2)$$

Ahogy az előző esetben, úgy a pontos számszerűsítéshez ennél a paraméternél is szükséges a szolgáltató összes folyamatának vonatkozásában gyűjteni a rendelkezésre álló adatokat.

A soron következő, 6.3.1. táblázat a megszokott módon mutatja be a törölt szállítmány jelentette kockázat alapvető megjelenési vetületeit:

| $k = 3$ | Ellátás | Beszállítás | Hulladékszállítás | Kiszállítás | Disztribúció |
|---|---|---|---|---|---|
| *LK* | (X) | | | | (X) |
| *SZV* | | X | X | X | |

6.3.1. táblázat: A törölt szállítmány jelentette kockázat elsődleges megjelenési vetületei

A törölt szállítmány jelentette kockázathoz a kockázati modell az RF3 jelölést fogja társítani, az előző alfejezetekben bemutatott jelölési konvenciónak megfelelően.

## 6.4 Elveszett szállítmány

Az elveszett szállítmány arányát egy adott szolgáltató adott folyamatánál az előzőekhez hasonló elvet követve az határozza meg, hogy a minősítés alapját képező intervallumban a leszállított szállítmányok mekkora részénél, valamint az egyes szállítmányokon belül mekkora arányban fordul elő, hogy a szállítás közben az árumennyiség egy része nem megmagyarázható módon eltűnik. Lényeges megjegyezni, hogy ebben az esetben egy kettős kockázatról beszélünk, mivel az elveszett árumennyiséget értelemszerűen figyelembe kell venni a később tárgyalásra kerülő mennyiségi eltérésnél is. A kritikus folyamatképességi mutató meghatározásához szükséges változók az elveszett szállítmány jelentette kockázattal összefüggésben a következőek:

- $M^e(i,j,4)$: a vizsgált intervallum alatt elveszettnek nyilvánítható összes árumennyiség megengedett felső határa,
- $M^f(i,j,4)$: a vizsgált intervallum alatt felvállalt összes szállítási mennyiség,
- $m^e(i,j,4)$: az egy adott szállítmányból a szállítás során elveszett árumennyiség,
- $m^n(i,j,4)$: az egy adott szállítmányhoz tartozó névleges szállítási mennyiség,
- $m^e(i,j,4)/ m^n(i,j,4)$: a folyamat teljesítőképességét jellemző vizsgált paraméter.

Az előbbiekben ismertetett változók behelyettesítésével a kritikus folyamatképességi mutató meghatározásához szükséges összefüggések a következőek lesznek:

$$T(i,j,4) = USL(i,j,4) - LSL(i,j,4); \qquad USL(i,j,4) = \frac{M^e(i,j,4)}{M^f(i,j,4)}; \qquad LSL(i,j,4) = 0 \qquad (6.4.1)$$

$$\mu(i,j,4)=E\left(\frac{m^e(i,j,4)}{m^n(i,j,4)}\right); \qquad \sigma(i,j,4)=\sqrt{E\left(\left(\frac{m^e(i,j,4)}{m^n(i,j,4)}-\mu(i,j,4)\right)^2\right)} \tag{6.4.2}$$

Erre a paraméterre is igaz, hogy az alacsony előfordulási gyakoriság okán szükséges a szolgáltató összes releváns folyamatának adatait felhasználni a számszerűsítéshez.

Az elveszett szállítmány jelentette kockázat döntő mértékben a szállítóvállalatoknál jelentkezik, bár egy-egy szélsőséges esetben realizálódhat akár a logisztikai központoknál is, ahogy ezt jól mutatja a következő, 6.4.1. táblázat is:

| *k* = 4 | Ellátás | Beszállítás | Hulladékszállítás | Kiszállítás | Disztribúció |
|---|---|---|---|---|---|
| *LK* | (X) | | | | (X) |
| *SZV* | | X | X | X | |

6.4.1. táblázat: Az elveszett szállítmány jelentette kockázat elsődleges megjelenési vetületei

Az elveszett szállítmány jelentette kockázathoz a kockázati modell az RF4 jelölést fogja társítani, az előző alfejezetekben bemutatott jelölési konvenciónak megfelelően.

## 6.5 Késedelmes kezelés

A késedelmes kezelés esetében a vizsgált paraméter, a késedelmes szállítmánynál látottakhoz hasonló módon, a logisztikai művelet teljesüléséhez szükséges idő lesz. A különbég igazándiból csak abban nyilvánul meg, hogy amíg a késedelmes szállítmánynál az időablak alsó és felső határa került megadásra, addig ebben az esetben a műveletre szánt idő minimális és maximális hossza kerül definiálásra (a minimális időtartam a megrendelőtől függően lehet akár nulla is).

A késedelmes kezelés fogalmának bevezetésére azért van szükség, mert az áruk eljutási idejéhez a szigorúan vett szállítási időn kívül számos egyéb művelet – rakodás, tárolás, egységrakomány képzés, stb. – időszükséglete is hozzáadódik, ezért a szolgáltatók precíz és korrekt alapokon nyugvó értékeléséhez ezeket is figyelembe kell venni. Magától értetődik, hogy a késedelmes kezelés jelentette kockázat lényegében az összes szolgáltató minden folyamattípusánál megjelenhet, de különösen nagy jelentősége van a logisztikai központokra

nézve, mivel ezek időben vett teljesítményét főleg az általuk végzett logisztikai műveletek időszükségletén, illetve annak ingadozásán keresztül lehet lemérni. Lényeges ugyanakkor azt is megjegyezni, hogy amennyiben a logisztikai központok saját hatáskörben választják ki azokat a szállító vállalatokat, amelyek nincsenek közvetlen kapcsolatban a termelő-szolgáltató vállalattal (ez jellemzően az alsóbb szinteken lévő beszállítók és az ellátó központok, illetve a disztribúciós központok és a végfelhasználók közötti viszonylatokra igaz), úgy az ezeket jellemző szállítási idők is hozzáadódhatnak a logisztikai központokat jellemző kezelési időkhöz.

Az előzőeknek megfelelően, egyúttal ahhoz hasonlóan, ahogy az a késedelmes szállítmány jelentette kockázat esetében is leírásra került, a kritikus folyamatképességi mutató meghatározásához szükséges paraméterek ebben az esetben is közvetlenül kifejezhetőek a vonatkozó időtartamokkal (alapegységnek itt is az órát választva).

A késedelmes kezelésre és a soron következő másik három kockázati tényezőre egységesen igaz, hogy a számszerűsítésükhöz lehetőség szerint célszerű egyenlő súllyal figyelembe venni a konkrét folyamat hisztorikus adatait (amennyiben a szolgáltató azt már korábban is ellátta), valamint a szolgáltató által ellátott többi folyamatra jellemző értékek átlagait.

Ahogy az előzőekben említésre került, a késedelmes kezelés jelentette kockázat lényegében minden szolgáltatónál megjelenhet, ahogy ez a következő, 6.5.1. táblázatból is kiderül:

| $k = 5$ | Ellátás | Beszállítás | Hulladékszállítás | Kiszállítás | Disztribúció |
|---|---|---|---|---|---|
| *LK* | X | | | | X |
| *SZV* | | X | X | X | |

6.5.1. táblázat: A késedelmes kezelés jelentette kockázat elsődleges megjelenési vetületei

A késedelmes kezelés jelentette kockázathoz a kockázati modell az RF5 jelölést fogja társítani, az előző alfejezetekben bemutatott jelölési konvenciónak megfelelően.

## 6.6 Hibás csomagolás

A hibás csomagolás esetén a vizsgált paraméter a szállítmányokban előforduló hibásan csomagolt árunak a teljes árumennyiséghez viszonyított aránya lesz. Az áru a kockázati

modellben elsősorban akkor tekinthető hibásan csomagoltnak, ha a csomagolási hiba valamilyen módon (közvetve vagy közvetlenül) értékvesztést okozhat akár az áruban, akár az áruhoz valamilyen módon kapcsolódó rendszerekben (ennek szélsőséges esete az anyagi kár, illetve a személyi sérülés veszélyének fennállása).

Az előzőek figyelembe vételével a számszerűsítéshez szükséges változók a hibás csomagolás jelentette kockázat esetében a következőek:

- $M^h(i,j,6)$: a vizsgált intervallum alatt hibás csomagolással leszállítható összes árumennyiség felső határa,
- $M(i,j,6)$: a vizsgált intervallum alatt kiszállításra kerülő összes árumennyiség,
- $m^h(i,j,6)$: az egy adott szállítmányon belül hibás csomagolással leszállított árumennyiség,
- $m(i,j,6)$: az egy adott szállítmányon belül a teljes árumennyiség,
- $m^h(i,j,6)/m(i,j,6)$: a folyamat teljesítőképességét jellemző vizsgált paraméter.

Az előbbiekben ismertetett változók behelyettesítésével a kritikus folyamatképességi mutató meghatározásához szükséges összefüggések az alábbiak szerint alakulnak:

$$T(i,j,6) = USL(i,j,6) - LSL(i,j,6); \qquad USL(i,j,6) = \frac{M^h(i,j,6)}{M(i,j,6)}; \qquad LSL(i,j,6) = 0 \qquad (6.6.1)$$

$$\mu(i,j,6) = E\left(\frac{m^h(i,j,6)}{m(i,j,6)}\right); \qquad \sigma(i,j,6) = \sqrt{E\left(\left(\frac{m^h(i,j,6)}{m(i,j,6)} - \mu(i,j,6)\right)^2\right)} \qquad (6.6.2)$$

A hibás csomagolás jelentette kockázatra is igaz, hogy lényegében a logisztikai modellben szereplő bármely szolgáltatónál jelentkezhet, ahogy ez a 6.6.1. táblázatban is látszik:

| $k = 6$ | Ellátás | Beszállítás | Hulladékszállítás | Kiszállítás | Disztribúció |
|---|---|---|---|---|---|
| *LK* | X | | | | X |
| *SZV* | | X | X | X | |

6.6.1. táblázat: A hibás csomagolás jelentette kockázat elsődleges megjelenési vetületei

A hibás csomagolás jelentette kockázathoz a kockázati modell az RF6 jelölést fogja társítani, az előző alfejezetekben bemutatott jelölési konvenciónak megfelelően.

## 6.7 Mennyiségi eltérés

A mennyiségi eltérés arányát egy adott szolgáltató adott folyamatánál az határozza meg, hogy az egyes szállítmányokban lévő (megfelelő) áru mennyisége átlagosan milyen mértékben tér el attól a mennyiségtől, amelyet a megrendelő kért. Itt tehát ismételten egy arányszámról beszélhetünk, ugyanakkor lényeges megjegyezni, hogy a mennyiségi eltérés lehet negatív (kevesebb áru került a szállítmányba) és pozitív (több áru került a szállítmányba) is. Továbbá azt is fontos tisztázni, hogy a mennyiségi eltérés kockázata olyankor jelenik meg, amikor a hibára csak utólag, például kirakodás közben derül fény, ebben tehát különbözik a törölt szállítmány jelentette kockázattól. Ugyanakkor a mennyiségi eltérésbe bele kell számolni az elveszett, illetve a helytelenül kiszállított áru mennyiségét (utóbbit akkor, ha az a megrendelt áru helyett került kiszállításra).

A fentiek figyelembe vételével a folyamatképességi mutatók kiszámításához szükséges változók az alábbiak lesznek:

- $M^{mf}(i,j,7)$: a vizsgált intervallum alatt az összesített mennyiségi eltérésre megengedett felső határ,
- $M^{ma}(i,j,7)$: a vizsgált intervallum alatt az összesített mennyiségi eltérésre megengedett alsó határ (nulla vagy negatív érték),
- $M^{f}(i,j,7)$: a vizsgált intervallum alatt felvállalt összes szállítási mennyiség,
- $m^{m}(i,j,7)$: egy adott szállítmányon belül a mennyiségi eltérés nagysága (lehet pozitív és negatív érték is),
- $m^{n}(i,j,7)$: az egy adott szállítmányhoz tartozó névleges szállítási mennyiség,,
- $m^{m}(i,j,7)/m^{n}(i,j,7)$: a folyamat teljesítőképességét jellemző vizsgált paraméter.

Az előbbiekben ismertetett változók behelyettesítésével a kritikus folyamatképességi mutató meghatározásához szükséges összefüggések az alábbiak szerint alakulnak:

$$T(i,j,7) = USL(i,j,7) - LSL(i,j,7); \quad USL(i,j,7) = \frac{M^{mf}(i,j,7)}{M^{f}(i,j,7)}; \quad LSL(i,j,7) = \frac{M^{ma}(i,j,7)}{M^{f}(i,j,7)} \qquad (6.7.1)$$

$$\mu(i,j,7)=E\left(\frac{m^m(i,j,7)}{m^f(i,j,7)}\right); \qquad \sigma(i,j,7)=\sqrt{E\left(\left(\frac{m^m(i,j,7)}{m^f(i,j,7)}-\mu(i,j,7)\right)^2\right)} \tag{6.7.2}$$

A mennyiségi eltérés jelentette kockázatra is szintén igaz, hogy az összes logisztikai szolgáltató esetében számolni lehet vele, ahogy ezt a 6.7.1 táblázat is mutatja:

| *k* = 7 | Ellátás | Beszállítás | Hulladékszállítás | Kiszállítás | Disztribúció |
|---|---|---|---|---|---|
| *LK* | X | | | | X |
| *SZV* | | X | X | X | |

6.7.1. táblázat: A mennyiségi eltérés jelentette kockázat elsődleges megjelenési vetületei

A hibás csomagolás jelentette kockázathoz a kockázati modell az RF7 jelölést fogja társítani, az előző alfejezetekben bemutatott jelölési konvenciónak megfelelően.

## 6.8 Árusérülés

Az árusérülés arányát egy adott szolgáltató adott folyamatánál az határozza meg, hogy az egyes szállítmányokban lévő sérült áru mennyisége mekkora részét teszi ki a teljes leszállított mennyiségnek. Lényeges megjegyezni, hogy az árusérülés kategóriájába ebben az értelemben csak azok a sérülések tartoznak bele, amelyek egyértelműen a szállítási, illetve az anyagmozgatási műveletek során keletkeztek. Ezen szempontok figyelembe vételével a folyamatképességi mutatók kiszámításához szükséges változók az alábbiak lesznek:

- $M^s(i,j,8)$: a vizsgált intervallum alatt sérülést szenvedő összes árumennyiség megengedett felső határa,
- $M(i,j,8)$: a vizsgált intervallum alatt le/elszállításra kerülő összes árumennyiség,
- $m^s(i,j,8)$: egy adott szállítmányon belül a megsérült áru mennyiségének felső határa,
- $m(i,j,8)$: egy adott szállítmány keretében le/elszállított összes árumennyiség,
- $m^s(i,j,8)/m(i,j,8)$: a folyamat teljesítőképességét jellemző vizsgált paraméter.

Az előbbiekben ismertetett változók behelyettesítésével a kritikus folyamatképességi mutató meghatározásához szükséges összefüggések ebben az esetben a következőek lesznek:

$$T(i,j,8) = USL(i,j,8) - LSL(i,j,8); \qquad USL(i,j,8) = \frac{M^s(i,j,8)}{M(i,j,8)}; \qquad LSL(i,j,8) = 0 \tag{6.8.1}$$

$$\mu(i,j,8) = E\left(\frac{m^s(i,j,8)}{m(i,j,8)}\right); \qquad \sigma(i,j,8) = \sqrt{E\left(\left(\frac{m^s(i,j,8)}{m(i,j,8)} - \mu(i,j,8)\right)^2\right)} \tag{6.8.2}$$

Értelemszerűen az árusérülés jelentette kockázatra is igaz, hogy a logisztikai modellben szereplő bármely szolgáltatónál megjelenhet, amint ez a 6.8.1. táblázatban is látható:

| *k* = 8 | Ellátás | Beszállítás | Hulladékszállítás | Kiszállítás | Disztribúció |
|---|---|---|---|---|---|
| *LK* | X | | | | X |
| *SZV* | | X | X | X | |

6.8.1. táblázat: Az árusérülés jelentette kockázat elsődleges megjelenési vetületei

A hibás csomagolás jelentette kockázathoz a kockázati modell az RF8 jelölést fogja társítani, az előző alfejezetekben bemutatott jelölési konvenciónak megfelelően.

A kockázati tényezők azonosításával és számszerűsítésével már nagyon jól leírhatóvá vált az egyes szolgáltatók által ellátott folyamatok megbízhatósága, ugyanakkor itt a modell még mindig nincs kész, mivel az optimális hozzárendeléshez szükség van a célfüggvény megadására is. Többek között erre fog sor kerülni a következő fejezetben, a kockázati modell kialakítása után.

# 7. AHP módszerre épülő kockázati modell meghatározása és a teljes kockázatkezelési eljárás átfogó ismertetése

Az előző fejezetekben bevezetett matematikai modell és az ehhez kapcsolódó, a folyamatképességi mutatók felhasználásával kifejezett kockázati paraméterek már alkalmasak arra, hogy segítségükkel egzakt módon lehessen számszerűsíteni a logisztikai szolgáltatók folyamatainak operatív értelemben vett megbízhatóságát. Ugyanakkor az (5.3.16)-ban megfogalmazott hozzárendelési feladat megoldásához még továbbra is szükséges olyan peremfeltételek, illetve egy olyan döntéstámogató eljárás kialakítása, amelyek alapján a termelő-szolgáltató vállalat részére meghatározhatóak a kockázati szempontból vett optimumnak leginkább megfelelő logisztikai szolgáltatók. Az általános érvényű, rögzített peremfeltételek alkalmazása erre a célra azért nem jelent ideális megoldást, mert az optimális kockázati szint a különböző kockázati tényezők esetében megbízónként váltakozhat. Ezért a legcélszerűbb egy olyan kockázati modell kidolgozása, amelyet általános alkalmazhatósága mellett az egyes termelő-szolgáltató vállalatok bizonyos keretek között szabadon konfigurálhatnak.

Az előbbi célkitűzések elérése érdekében került sor az AHP módszer felhasználására a kockázati modell kialakításához. Annak, hogy specifikusan ez a módszer került kiválasztásra, egyebek mellett két fő oka van: egyrészt ez az eljárás lehetővé teszi, hogy a döntési hierarchiában megjelenő kritériumok egymáshoz viszonyított prioritásait a megbízók a saját szempontrendszerük szerint határozzák meg az ismertetett skálázi mód [92] [91] alapján; másrészt, ahogy az az irodalomkutatásból is kiderült, az AHP az ellátási láncok kockázatkezelése, továbbá a beszállító választás területein már számos esetben bizonyított, ami kézenfekvővé teszi a módszer felhasználását a tágabb értelemben vett logisztikai hálózatok kockázatkezelésében is. Az AHP alapjai az irodalmi áttekintésben már bemutatásra kerültek, ezért ebben a fejezetben kifejezetten a megoldandó problémához kapcsolódó kockázati modell felépítéséről és használatáról lesz szó.

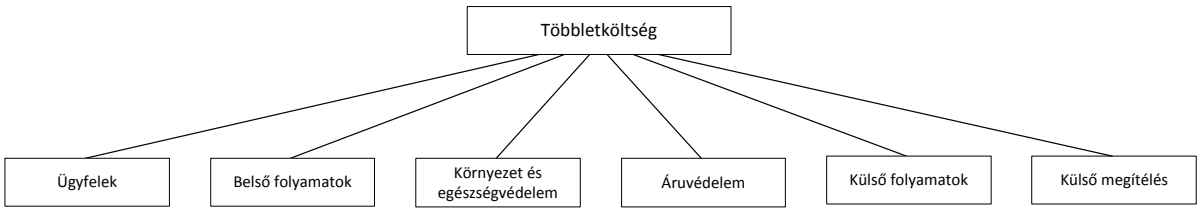
## 7.1 A kockázati modell felépítése

A kockázati modell felállításához az első elvégzendő lépés annak az alapvető szempontnak a meghatározása, amely alapján a modellt alkotó döntési kritériumok egymáshoz viszonyított jelentősége meghatározható (a döntési hierarchiában ez lesz a kiinduló csomópont).

Természetesen többféle alapvető összehasonlítási szempont is elképzelhető, ugyanakkor végső soron minden megvalósult kockázat többletköltségként (illetve bevétel kiesésként) fog a vállalatok számára jelentkezni. Ezért az alapvető összehasonlítási szempontnak logikus döntés a többletköltséget, mint a termelő-szolgáltató vállalatok számára legfontosabb mérlegelési szempontot megválasztani.

A döntési hierarchia úgynevezett főkritériumainak páros összehasonlítása az alapvető összehasonlítási szempont szerint történik, amelynek eredményeként előáll a főkritériumok úgynevezett prioritásvektora (ennek módjairól az irodalmi áttekintésen belül volt részletesebben szó). A kockázati modell meghatározó tulajdonsága, hogy az előző fejezetben bevezetett kockázati paraméterek csak a döntési hierarchia legalsó szintjén, a fő- és alkritériumok súlyának és kapcsolatainak megfelelően kerülnek kiértékelésre és ennek eredménye képezi majd a szolgáltató választás alapját.

A következő, 7.1.1. ábrán látható a kiinduló szempont, valamint az abból közvetlenül leszármaztatott hat főkritérium, amelyek együttesen a döntési hierarchia első és második szintjeit képezik (a későbbiekben az egyes főkritériumokhoz tartozó alkritériumok is bemutatásra kerülnek):




7.1.1. ábra: A kockázati modell kiinduló szempontja és főkritériumai (saját szerkesztés)

Az **Ügyfelek** főkritérium azoknak a többletköltségeknek a súlyát fejezi ki a termelő-szolgáltató vállalat szempontjából nézve, amelyek a logisztikai szolgáltatók nem teljesítéséből fakadó ügyfélpanaszokból erednek (pl. az áru késve érkezett meg az ügyfélhez, sérülten érkezett meg az ügyfélhez, az ügyfél nem a megfelelő árut kapta meg, stb.).

A **Belső folyamatok** főkritérium azoknak a többletköltségeknek a súlyát fejezi ki, amelyek a logisztikai szolgáltatók nem teljesítésére visszavezethető és a termelő-szolgáltató vállalat saját belső (termelési és logisztikai) folyamataiban keletkezett zavarokból erednek (pl. ideiglenes fennakadások a termelésben, fölöslegesen lekötött kapacitások a logisztikai rendszerben, esetlegesen kár keletkezése termelő vagy anyagmozgató berendezésben, stb.).

A **Környezet és egészségvédelem** főkritérium azoknak a többletköltségeknek a súlyát fejezi ki, amelyek értelemszerűen a környezetben, valamint az emberi egészségben keletkezett károsodásból erednek és a logisztikai szolgáltatók nem teljesítésére vezethetőek vissza (a környezet alapvetően a természeti környezetre utal, de beleértendő az épített környezet is).

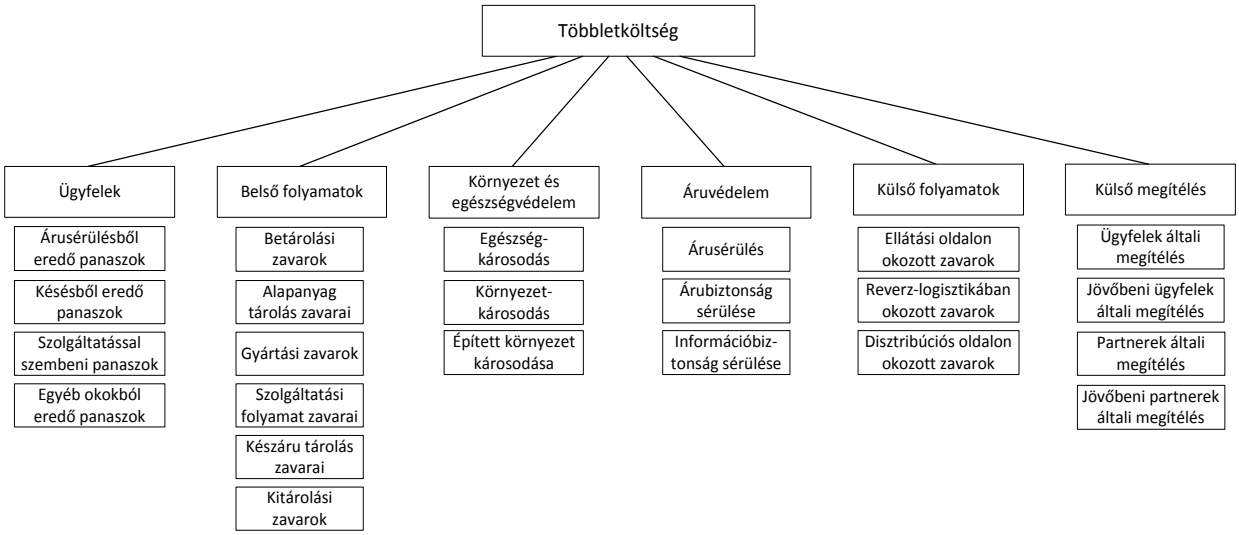
Az **Áruvédelem** főkritérium azoknak a többletköltségeknek a súlyát fejezi ki, amelyek a logisztikai szolgáltatók hibájából keletkező árusérülésekből erednek és közvetlenül a termelő-szolgáltató vállalatot terhelik (pl. szállítás közben megsérült alkatrészek kijavítása vagy újrarendelése, raktározási hibából fakadó alkatrész vagy árusérülések, stb.). Ide sorolhatóak bizonyos, az árura vonatkozó biztonsági kritériumok megsértéséből fakadó többletköltségek is (pl. veszélyes áru eltűnéséből fakadó többletköltségek).

A **Külső folyamatok** főkritérium azoknak a többletköltségeknek a súlyát fejezi ki, amelyek a logisztikai szolgáltatók által a többi kapcsolódó logisztikai szolgáltató tevékenységében okozott zavarokból erednek és végeredményben a termelő-szolgáltató vállalatnál csapódnak le. Tipikusan ebből a szempontból lehet nagy jelentősége például a késedelmes kezelésnek, amelynek következményeként a kapcsolódó szolgáltatók is csak késve tudják elvégezni a feladataikat és így az áru végül késéssel fog megérkezni a vállalathoz vagy az ügyfélhez.

Végül a **Külső megítélés** főkritérium azoknak a többletköltségeknek a súlyát fejezi ki, amelyek közvetetten a logisztikai szolgáltatók nem teljesítésére visszavezethető, a termelő szolgáltató-vállalat hosszú távú külső megítélésében bekövetkező romlásból erednek. Ebben az esetben a hangsúly főleg a hosszú távú megítélésbeli csökkenésen van, mivel a rövidtávon az ügyfeleknek okozott és közvetve a termelő-szolgáltató vállalatot terhelő károk értelemszerűen az Ügyfelek főkritériumhoz tartozóan vannak figyelembe véve. Emellett a külső megítéléshez hozzá tartozik az is, hogy a partnerek, valamint a többi logisztikai szolgáltató véleménye hogyan változik hosszú távon a termelő-szolgáltató vállalat vonatkozásában.

Ahogy az korábban már többször említésre került, a modellben az egyes főkritériumokhoz több alkritérium is hozzárendelésre került. Együttesen ezek alkotják a döntési hierarchia harmadik szintjét, maguknak a kockázati paramétereknek a páros összehasonlítása pedig ezen alkritériumok szerint történik a negyedik szinten (az AHP eljárás elvileg tetszőleges számú döntési szint bevezetését teszi lehetővé, természetesen az adott problémához illeszkedő racionális keretek között). Az alábbi, 7.1.2. ábrán az alkritériumokkal kibővített döntési hierarchia felépítése látható (a helytakarékosság okán az egyes főkritériumokhoz tartozó

alkritériumok egymás alatt kerültek felsorolásra, de ezek a hierarchiában természetesen mind a harmadik szinten foglalnak helyet):




7.1.2. ábra: A kockázati modell teljes döntési hierarchiája (saját szerkesztés)

A modellben szereplő, az egyes főkritériumokhoz tartozó alkritériumok jelentése a következő:

- Ügyfelekhez rendelt alkritériumok jelentése:
  - Árusérülésből eredő panaszok: az ügyfelektől az általuk sérülten kapott áru okán a megbízóhoz érkező panaszok jelentősége,
  - Késésből eredő panaszok: az ügyfelektől az általuk késve megkapott áru okán érkező panaszok jelentősége,
  - Szolgáltatással szembeni panaszok: az ügyfelektől az általuk nem megfelelőnek ítélt szolgáltatások okán a megbízóhoz érkező panaszok jelentősége,
  - Egyéb okokból eredő panaszok: az ügyfelektől egyéb okokból a megbízóhoz érkező panaszok jelentősége,
- Belső folyamatokhoz rendelt alkritériumok jelentése:
  - Betárolási zavarok: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítése miatt a betárolásban előálló zavarok jelentősége,
  - Alapanyag tárolás zavarai: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítése miatt az alapanyag tárolásban előálló zavarok jelentősége,

    - Gyártási zavarok: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítése miatt a gyártásban előálló zavarok jelentősége,
    - Szolgáltatási folyamat zavarai: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítése miatt a szolgáltatási folyamatban előálló zavarok jelentősége,
    - Készáru tárolás zavarai: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítése miatt a készáru tárolásban előálló zavarok jelentősége,
    - Kitárolási zavarok: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítése miatt a kitárolásban előálló zavarok jelentősége,
- Környezet és egészségvédelemhez rendelt alkritériumok jelentése:
    - Egészségkárosodás: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítéséből fakadó egészségkárosodás jelentősége,
    - Környezetkárosodás: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítéséből fakadó környezetkárosodás jelentősége,
    - Épített környezet károsodása: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítéséből fakadóan az épített környezetben bekövetkező károsodás jelentősége,
- Áruvédelemhez rendelt alkritériumok jelentése:
    - Árusérülés: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítéséből fakadó árusérülés okozta közvetlen kár jelentősége,
    - Árubiztonság sérülése: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítéséből fakadó árubiztonsági problémák jelentősége,
    - Információbiztonság sérülése: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítéséből fakadó információbiztonsági problémák jelentősége,
- Külső folyamatokhoz rendelt alkritériumok jelentése:
    - Ellátási oldalon okozott zavarok: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítéséből, fakadóan a megbízó egész ellátási rendszerében okozott zavarok jelentősége,
    - Reverz logisztikában okozott zavarok: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítéséből fakadóan a megbízó egész reverz-logisztikai rendszerében okozott zavarok jelentősége,
    - Disztribúciós oldalon okozott zavarok: a logisztikai szolgáltatók nem teljesítéséből fakadóan a megbízó által igénybe vett disztribúciós hálózatban okozott zavarok jelentősége,
- Külső megítéléshez rendelt alkritériumok jelentése:

- Ügyfelek általi megítélés: a megbízó ügyfelek általi megítélésében bekövetkező és kifejezetten a logisztikai szolgáltatók nem teljesítésére visszavezethető romlásnak a jelentősége,
- Jövőbeni ügyfelek általi megítélés: a megbízó potenciális jövőbeni ügyfelek általi megítélésében bekövetkező és kifejezetten a logisztikai szolgáltatók nem teljesítésére visszavezethető romlásnak a jelentősége,
- Partnerek általi megítélés: a megbízó partnerek általi megítélésében bekövetkező és kifejezetten a logisztikai szolgáltatók nem teljesítésére visszavezethető romlásnak a jelentősége,
- Jövőbeni partnerek általi megítélés: a megbízó potenciális jövőbeni partnerek általi megítélésében bekövetkező és kifejezetten a logisztikai szolgáltatók nem teljesítésére visszavezethető romlásnak a jelentősége,

Az AHP eljárásmódját követve az összehasonlítás tárgyát képező nyolc kockázati paraméter páros összehasonlítása a döntési hierarchia legalsó (jelen esetben negyedik) szintjén történik, külön-külön minden egyes alkritérium szerint. Az így kapott részeredményeket először a döntési hierarchia magasabb szintjeitől eredő súlyozással módosítva, majd megfelelő módon összegezve kapható meg a végeredmény, az összehasonlított kockázati paraméterek úgynevezett prioritás vektora (más szóval a paraméterek egymáshoz képesti jelentőségét kifejező oszlopvektor). A következőkben ennek az algoritmusnak az adott döntési hierarchiára történő felírása kerül bemutatásra.

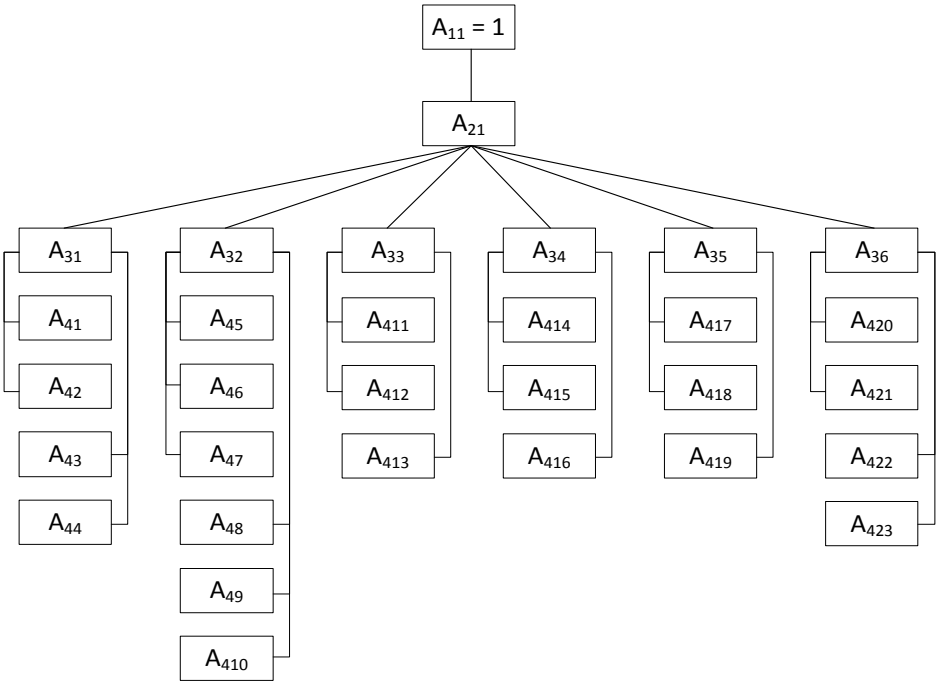
Legyen $A_{ij}$ a döntési hierarchia *i*-edik szintjén balról jobbra haladva a *j*-edik döntési mátrix (a döntési hierarchia első szintjének a „Többletköltség”, azaz az összehasonlítás alapja számít). Ekkor a döntési mátrixnak a legnagyobb sajátértékével és az ehhez tartozó sajátvektorával fennálló kapcsolatát leíró, (3.5.2.2)-ben megadott összefüggés a következő módon írható fel:

$$A_{ij} w_{ij} = n_{ij} w_{ij} \tag{7.1.1}$$

A $w_{ij}$ vektor megkeresése a 3.5.3. alfejezetben részletezett hatványmódszerrel történik. Az $A_{ij}$ döntési mátrixhoz tartozó $v_{ij}$ (lokális) prioritásvektor lényegében a $w_{ij}$ egyre normált alakja, ami a következőképpen írható fel:

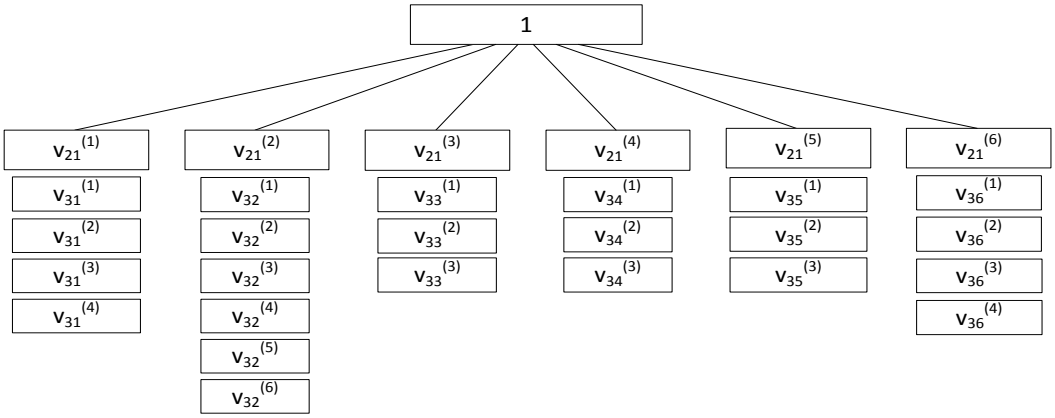
$$v_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sum_{k=1}^{r} w_{ij}^{(k)}} \tag{7.1.2}$$

A soron következő 7.1.3. ábrán a kockázati modell döntési hierarchiája az egyes szinteken található döntési mátrixok segítségével került felírásra. Ebből jól látszik, ahogy a hierarchiában lefelé haladva az elágazások számával arányosan nő a döntési mátrixok száma is. A legalsó (negyedik) szinten valósul meg a kockázati tényezők egymással történő összehasonlítása a harmadik szinten található alkritériumok szerint, ami 23 (ennyi alkritérium van a harmadik szinten) döntési mátrixot jelent, ezért utóbbiak már egymás alatt kerültek felsorolásra a harmadik szint döntési mátrixainak megfelelő csoportosításban:




7.1.3. ábra: A kockázati modell teljes döntési hierarchiája a döntési mátrixokkal ábrázolva (saját szerkesztés)

A következő ábrán látható az, ahogy az egyes kritériumokhoz az adott szinten található döntési mátrixokból levezetett $v_{ij}$ prioritás vektorok megfelelő elemei hozzárendelésre kerültek, mint súlyozó tényezők (mivel a 4. szinten ez már 184 elemet jelent – mind a 8 kockázati tényező összehasonlításra kerül az előző szint mind a 23 alkritériuma szerint-, ezért ezek már nem kerültek ábrázolásra):




7.1.4. ábra: A kockázati modell döntési hierarchiája a prioritásvektorok elemeivel ábrázolva (saját szerkesztés)

A súlyozó tényezők tehát a 7.1.4. ábrán látható hierarchia szerint fentről lefelé haladva adódnak át, a legalsó szinten pedig megtörténik a kockázati tényezők összehasonlítására kapott eredmények súlyozó tényezőkkel módosított értékeinek aggregálása. Ennek eredményeként áll elő tehát a pr (globális) prioritásvektor, az alább látható (7.1.3) szerint:

$$
\mathrm{pr} = \begin{bmatrix}
v_{21}^{(1)}\begin{pmatrix} v_{31}^{(1)}v_{41}^{(1)} + v_{31}^{(2)}v_{42}^{(1)} + v_{31}^{(3)}v_{43}^{(1)} \\ +v_{31}^{(4)}v_{44}^{(1)} \end{pmatrix} + v_{21}^{(2)}\begin{pmatrix} v_{32}^{(1)}v_{45}^{(1)} + v_{32}^{(2)}v_{46}^{(1)} + v_{32}^{(3)}v_{47}^{(1)} + v_{32}^{(4)}v_{48}^{(1)} + \\ v_{32}^{(5)}v_{49}^{(1)} + v_{32}^{(6)}v_{410}^{(1)} \end{pmatrix} \\
+v_{21}^{(3)}\left(v_{33}^{(1)}v_{411}^{(1)} + v_{33}^{(2)}v_{412}^{(1)} + v_{33}^{(3)}v_{413}^{(1)}\right) + v_{21}^{(4)}\left(v_{34}^{(1)}v_{414}^{(1)} + v_{34}^{(2)}v_{415}^{(1)} + v_{34}^{(3)}v_{416}^{(1)}\right) \\
+v_{21}^{(5)}\left(v_{35}^{(1)}v_{417}^{(1)} + v_{35}^{(2)}v_{418}^{(1)} + v_{35}^{(3)}v_{419}^{(1)}\right) + v_{21}^{(6)}\left(v_{36}^{(1)}v_{420}^{(1)} + v_{36}^{(2)}v_{421}^{(1)} + v_{36}^{(3)}v_{422}^{(1)} + v_{36}^{(4)}v_{423}^{(1)}\right) \\
\\
v_{21}^{(1)}\begin{pmatrix} v_{31}^{(1)}v_{41}^{(2)} + v_{31}^{(2)}v_{42}^{(2)} + v_{31}^{(3)}v_{43}^{(2)} \\ +v_{31}^{(4)}v_{44}^{(2)} \end{pmatrix} + v_{21}^{(2)}\begin{pmatrix} v_{32}^{(1)}v_{45}^{(2)} + v_{32}^{(2)}v_{46}^{(2)} + v_{32}^{(3)}v_{47}^{(2)} + v_{32}^{(4)}v_{48}^{(2)} + \\ v_{32}^{(5)}v_{49}^{(2)} + v_{32}^{(6)}v_{410}^{(2)} \end{pmatrix} \\
+v_{21}^{(3)}\left(v_{33}^{(1)}v_{411}^{(2)} + v_{33}^{(2)}v_{412}^{(2)} + v_{33}^{(3)}v_{413}^{(2)}\right) + v_{21}^{(4)}\left(v_{34}^{(1)}v_{414}^{(2)} + v_{34}^{(2)}v_{415}^{(2)} + v_{34}^{(3)}v_{416}^{(2)}\right) \\
+v_{21}^{(5)}\left(v_{35}^{(1)}v_{417}^{(2)} + v_{35}^{(2)}v_{418}^{(2)} + v_{35}^{(3)}v_{419}^{(2)}\right) + v_{21}^{(6)}\left(v_{36}^{(1)}v_{420}^{(2)} + v_{36}^{(2)}v_{421}^{(2)} + v_{36}^{(3)}v_{422}^{(2)} + v_{36}^{(4)}v_{423}^{(2)}\right) \\
\\
\vdots \\
\\
v_{21}^{(1)}\begin{pmatrix} v_{31}^{(1)}v_{41}^{(8)} + v_{31}^{(2)}v_{42}^{(8)} + v_{31}^{(3)}v_{43}^{(8)} \\ +v_{31}^{(4)}v_{44}^{(8)} \end{pmatrix} + v_{21}^{(2)}\begin{pmatrix} v_{32}^{(1)}v_{45}^{(8)} + v_{32}^{(2)}v_{46}^{(8)} + v_{32}^{(3)}v_{47}^{(8)} + v_{32}^{(4)}v_{48}^{(8)} + \\ v_{32}^{(5)}v_{49}^{(8)} + v_{32}^{(6)}v_{410}^{(8)} \end{pmatrix} \\
+v_{21}^{(3)}\left(v_{33}^{(1)}v_{411}^{(8)} + v_{33}^{(2)}v_{412}^{(8)} + v_{33}^{(3)}v_{413}^{(8)}\right) + v_{21}^{(4)}\left(v_{34}^{(1)}v_{414}^{(8)} + v_{34}^{(2)}v_{415}^{(8)} + v_{34}^{(3)}v_{416}^{(8)}\right) \\
+v_{21}^{(5)}\left(v_{35}^{(1)}v_{417}^{(8)} + v_{35}^{(2)}v_{418}^{(8)} + v_{35}^{(3)}v_{419}^{(8)}\right) + v_{21}^{(6)}\left(v_{36}^{(1)}v_{420}^{(8)} + v_{36}^{(2)}v_{421}^{(8)} + v_{36}^{(3)}v_{422}^{(8)} + v_{36}^{(4)}v_{423}^{(8)}\right)
\end{bmatrix} \tag{7.1.3}
$$

Kulcskérdés ugyanakkor, hogy a kockázatkezelési eljárásban ezek az eredmények hogyan kerülnek felhasználásra, más szóval hogyan alkalmazhatóak a logisztikai szolgáltatók megválasztásánál. Ennek meghatározására a soron következő 7.2. alfejezetben kerül sor. Lényeges még azt is kihangsúlyozni, hogy bár az előbbiekben bemutatásra került a kockázati modell általános érvényű döntési hierarchiája, ennek parametrizálását ugyanakkor célszerű az adott termelő-szolgáltató vállalatra bízni, mivel főképp ezáltal válik az eljárás a különböző rendszerekben rugalmasan alkalmazhatóvá. Továbbá egy adott implementáción belül is célszerű a felhasználási vetületek, más szóval a folyamattípusok szerint különféle parametrizációt alkalmazni, mivel értelemszerűen más-más szempontok fognak előtérbe kerülni például a beszállítást végző szállítóvállalatok vagy a disztribúciós központok kiválasztásánál (erről a kérdéskörről a 7.3. alfejezetben lesz még szó).

## 7.2 A kockázati modell használatával kapott eredmények felhasználása a logisztikai szolgáltatók kiválasztásához

### 7.2.1 A kockázati modell eredményeit felhasználó célfüggvény meghatározása

A kockázati modell segítségével a kockázati paraméterekre meghatározott prioritás vektor alkalmazásának célja az eljárásban az, hogy támpontot adjon az (5.3.15)-ben már ismertetett $X_{stk}$ hozzárendelési mátrix felállításához. Itt érdemes ismét kihangsúlyozni, hogy az (5.2.6) és az (5.2.8) peremfeltételek természetesen az $X_{stk}$ hozzárendelési mátrix elemeire is alkalmazandóak, mégpedig az alábbiakban látható módon:

$$\mathrm{X}_{\mathrm{stk}} = \left[ x_{ijk}^{stk} \right], \qquad x_{ijk}^{stk} \in (0,1) \Big|_{i=1,\dots,n;\ j=1,\dots,m;\ k=1,\dots,r} \tag{5.3.15}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{r} x_{ijk}^{stk} = r \Big|_{j=1,\dots,m} \tag{7.2.1.1}$$

$$\sum_{k=1}^{r} x_{ijk}^{stk} = r \cdot x_{ij1}^{stk} \tag{7.2.1.2}$$

Az $X_{stk}$ hozzárendelési mátrix meghatározása teszi lehetővé a szolgáltató választás problémájának megoldását, azaz a $PM_{stk}$ megoldás mátrix (5.3.16) és (5.3.17) szerinti meghatározását:

$$c_{pk}(i,j,k)\cdot x_{ijk}^{stk} = pm_{ijk}^{stk} \tag{5.3.16}$$

$$\mathrm{PM}_{\mathrm{stk}} = \left[ pm_{ijk}^{stk} \right]_{nmr} \tag{5.3.17}$$

A cél tehát az, hogy a (7.2.1.1) és a (7.2.1.2) peremfeltételek, továbbá az (5.3.17) mátrix mellett felállításra kerüljön egy olyan kiválasztó függvény, amely figyelembe veszi a prioritásvektor eredményeit az $X_{stk}$ elemeinek meghatározásához. Ehhez először természetesen meg kell határozni a függvény kimeneti értékét, azaz az optimalizálás tárgyát. Mivel a kockázati modellben a kockázati tényezőkre visszavezethető relatív többletköltségek már implicit módon figyelembe lettek véve, ezért a legkézenfekvőbb megoldás egy kumulált folyamatképességi mutató előállítása a meghatározásra került prioritás vektor értékeinek felhasználásával. Ehhez fog felhasználásra kerülni a kockázati modellből levezetésre kerülő *r* elemű prioritásvektor – jelölése legye pr –, amely kifejezi a kockázati paramétereknek a többletköltség szempontjából vett jelentőségét. A pr vektor az AHP eljárásmódját követve kerül meghatározásra oly módon, ahogy az az előző alfejezetben már ismertetésre került.

Magában a célfüggvényben a megvalósítható folyamatképesség maximalizálásra célszerű törekedni, mivel annak definíciójából fakadóan így csökkenthető a legjobban az előforduló logisztikai hibák mennyisége, azaz lényegében a kockázatok nagysága. Ehhez célszerű bevezetni egy kumulált folyamatképességi mutatót, amelynek jelölése legyen $kc_{pk}$ és amely az adott szolgáltató-folyamat kombinációt jellemző összesített folyamat teljesítőképességet fejezi ki. A vázolt gondolatmentet követve, az egyes kockázattípusokat jellemző folyamatképességi mutatóknak a $kc_{pk}$ előállításában játszott szerepét a pr vektor segítségével célszerű meghatározni. Ekkor az optimalizálandó célfüggvény a következő alakban írható fel, a (7.2.1.1) és az (7.2.1.2) peremfeltételek figyelembe vétele mellett:

$$kc_{pk} = \sum_{j=1}^{m} \frac{q_j \cdot p_j}{P} \cdot \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{r} c_{pk}(i,j,k) \cdot pr_k \cdot x_{ijk}^{stk} \rightarrow Max \tag{7.2.1.3}$$

Mint látható, a célfüggvényben a pr vektor elemei – az egyes kockázati tényezők jelentőségét kifejező viszonyszámok – tehát a vonatkozó folyamatképességi mutatók súlyozó tényezőiként jelennek meg (emlékeztetőül érdemes megjegyezni, hogy ez azért is tehető meg, mert a prioritás vektor elemeinek összértéke mindig egy). Ez a megoldás garantálja, hogy az egyes $c_{pk}$ értékek nagysága mellett a vonatkozó kockázattípusok költségszempontból vett jelentősége is figyelembe vételre kerül (értelemszerűen tehát minél nagyobb az adott $c_{pk}$ értéke, a 3.5.1.1. táblázatnak megfelelően annál kisebb lesz az adott hibatípus előfordulásának valószínűsége és így az ezzel együtt járó többletköltség). Ugyanakkor a gyakorlati problémákban jellemzően egyszerre több folyamat kiszolgálásához kell szolgáltatókat hozzárendelni, ezért a kumulált folyamatképességi mutató kiszámításához valamilyen módon súlyozni kell az egyedi folyamatokat is. A célfüggvényben erre szolgál az első szumma után bevezetett szorzótényező, amelynek elemei a következő tartalommal bírnak (ezek értékeit a megbízó adja meg a kockázatkezelési eljárás alkalmazása során):

- $q_j$: a $j$. folyamatban a releváns intervallum alatt kezelendő árumennyiség,
- $p_j$: a $j$. folyamatban kezelendő áru egységének átlagos éréke,
- $P$: a vizsgált folyamatokban a releváns intervallum alatt várhatóan kezelendő összes árumennyiség összértéke: $\mathrm{P} = \sum_{j=1}^{m} p_j$

Az előzőekből látható, hogy a célfüggvény az egyes folyamatokat az általuk megvalósítandó értékáramlás arányában súlyozza. Ezt az elvet azért célszerű alkalmazni, mert a szóban forgó folyamatok a megbízó által előállított termékhez vagy szolgáltatáshoz is jellemzően az általuk megvalósított értékáram arányában járulnak hozzá és minél nagyobb ez a hozzájárulás, értelemszerűen az adott folyamat kockázati szempontból véve is annál kritikusabb lesz.

Attól függően, hogy a $c_{pk}(i,j,k)$ értékeket tartalmazó $\mathrm{PV}_{\mathrm{stk}}$ mátrix milyen értelmezési tartományon kerül felvételre, a $kc_{pk}$ értéke kiszámolható a termelő-szolgáltató vállalat összes folyamatára vagy azok egy tetszőleges részhalmazára is. Az eljárás alkalmazásmódjának bemutatására szolgáló példa az utóbbi megközelítést fogja alkalmazni, tekintettel a terjedelmi korlátokra.

Lényeges hangsúlyozni, hogy a (7.2.1.3) célfüggvény, valamint az ehhez tartozó (7.2.1.1) és (7.2.1.2) peremfeltételek segítségével meghatározott $\mathrm{X}_{\mathrm{stk}}$ hozzárendelési mátrix, illetve az ebből kapott $\mathrm{PM}_{\mathrm{stk}}$ megoldás mátrix csak a szolgáltatók kockázati szempontból vett optimális kombinációját mutatják meg. Ugyanakkor természetesen léteznek számos egyéb szempontok

is, melyek közül a legfontosabbak az alapvető anyagmozgatási és logisztikai szempontok, valamint természetesen a szolgáltatók megbízásának összköltsége. A termelő-szolgáltató vállalatnak természetesen ezeket is figyelembe kell vennie és az összes szempont együttes figyelembe vétele alapján kell meghoznia a döntését. Éppen ezért bizonyos esetekben szükség lehet rá, hogy a (7.2.1.3) célfüggvény segítségével kapott $kc_{pk}$ értékének költségszempontból vett jelentése explicit módon is kifejezésre kerüljön. Ehhez két feladatot kell megoldani: egyrészt a $kc_{pk}$ értéke alapján ki kell fejezni a hibák előfordulásának gyakoriságát, másrészt pedig szükség van az egyedi hiba előfordulásából származó költség egzakt módon történő megadására is. A hibák előfordulási gyakoriságának kifejezése a $kc_{pk}$ értékéből viszonylag egyszerűen megoldható, ugyanis pont erre szolgál a 3.5.1. alfejezetben már említésre került DPMO („Defects Per Million Opportunities", azaz az 1 millió esetre jutó hibák száma) koncepciója. Ennek értéke teljesen pontosan a $c_{pk}$ értékek meghatározásához is használt statisztikai paraméterek segítségével számolható ki, de a gyakorlati alkalmazások támogatása céljából született számos, az összetartozó $c_{pk}$ és DPMO értékeket felsoroló táblázat is. Egy ilyen táblázatot mutat be a 14.2-es melléklet [127], amelynek a segítségével tehát megfelelő pontossággal és egyszerűen ki lehet fejezni a $kc_{pk}$ értékéből az adott rendszerre jellemző kumulált DPMO értéket (a táblázatban szereplő értékek között lineáris interpolációt alkalmazva), melynek jelölése legyen $D(kc_{pk})$. Ennek felhasználásával az összesített többletköltség számszerűleg a következő formula szerint fejezhető ki:

$$C_k = c_{lh} \cdot Q \cdot D(kc_{pk}) \qquad (7.2.1.4)$$

A (7.2.1.4) összefüggésben használt további jelölések a következő tartalommal bírnak:

- $c_{lh}$: az egységnyi árura jutó várható átlagos logisztikai hibaköltség, amelyet a termelő-szolgáltató vállalat legegyszerűbben úgy tud meghatározni, ha képezi a releváns múltbéli időszakban felmerült összes logisztikai hibaköltség - $C_{lh}$ - és az ezen időszak alatt bármelyfajta logisztikai hibában érintett összes árumennyiség - $Q_{lh}$ - hányadosát (ezt azért is célszerű a termelő-szolgáltató vállalatnak meghatároznia, mert a pénzügyi háttérszámításokat jellemzően nem szokták harmadik félnek kiadni),
- $Q$: a logisztikai rendszer vizsgált vetületében az adott időintervallum alatt tervezetten átáramló összes árumennyiség, a $D(kc_{pk})$-hoz igazodóan millió db egységnyi áruban kifejezve.

Érdemes még kitérni arra, hogy gyakorlati szempontból sokszor lényeges lehet kumulált folyamatképességi mutatókat külön-külön az egyes szolgáltató-folyamat relációkra is meghatározni. Ennek jelölése legyen $c_{pk}^{ij}$, megadása pedig a következőképp lehetséges:

$$c_{pk}^{ij} = \sum_{k=1}^{r} c_{pk}(i,j,k) \cdot pr_k \Big|_{i=1,\dots,n;\quad j=1,\dots,m} \tag{7.2.1.5}$$

A célfüggvény és a megoldásmátrix ennek segítségével is felírhatóak, ugyanakkor az $X_{stk}$ mátrix ebben az esetben egy „hagyományos" kétdimenziós mátrixra fog redukálódni (utóbbi jelölése legyen $X_{stk}'$). A felírás a $c_{pk}^{ij}$ mutatók, a redukált hozzárendelési mátrix, valamint az utóbbira vonatkozó peremfeltétel alkalmazásával tehát a következőképpen tehető meg:

$$X'_{stk} = \left[ x_{ij}^{stk} \right]_{nm} \quad , \quad x_{ij}^{stk} \in (0,1) \Big|_{i=1,\dots,n;\quad j=1,\dots,m} \tag{7.2.1.6}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^{stk} = 1 \Big|_{j=1,\dots,m} \tag{7.2.1.7}$$

$$kc_{pk} = \sum_{j=1}^{m} \frac{q_j \cdot p_j}{P} \cdot \sum_{i=1}^{n} c_{pk}^{ij} \cdot x_{ij}^{stk} \rightarrow Max \tag{7.2.1.8}$$

$$c_{pk}(i,j,k) \cdot x_{ij}^{stk} = pm_{stk}(i,j,k) \tag{7.2.1.9}$$

Ezek után, mivel lineárisak a feltételek, a célfüggvény szintén, ezért a feladat kétfázisú szimplex módszerrel megoldható.

### 7.2.2 További korlátozó feltételek alkalmazásának lehetőségei

Kis létszámú szolgáltató és kis mennyiségű folyamat esetén az előbbiekben levezetett célfüggvény viszonylag egyszerűen megoldható. Ugyanakkor az optimalizálási problémát a szolgáltatók és folyamatok mennyiségének növekedésén túl jelentősen bonyolíthatják olyan, a

logisztikai gyakorlatból eredő egyéb peremfeltételek is, amelyekről az eddigiekben még nem volt szó.

Az egyik legjellemzőbb ilyen feltétel lehet a szolgáltatók oldalán jelentkező kapacitáskorlát, amikor is egy adott szolgáltató csak legfeljebb egy bizonyos mennyiségű folyamat ellátását tudja felvállalni. Legyen $fk_i$ azon folyamatok maximális száma, amelyet az $i$-edik szolgáltató az adott megbízás keretében fel tud vállalni (az $fk_i$ paraméter értelemszerűen egy 0 és $m$ közé eső egész szám lesz). Ekkor a peremfeltétel a következőképpen írható fel:

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij}^{stk} \leq fk_i \Big|_{i=1,\dots,n} \tag{7.2.2.1}$$

Elképzelhető olyan helyzet is, amikor egy adott szolgáltató gazdaságossági megfontolásokból alsó korlátot is megad az elvállalható feladatok számára, ennek jelölése legyen $ak_i$. Ekkor az adott szolgáltatóhoz rendelt folyamatok számának értelemszerűen a két határérték közé kell esnie, ami a következő módon írható fel:

$$ak_i \leq \sum_{j=1}^{m} x_{ij}^{stk} \leq fk_i \Big|_{i=1,\dots,n} \tag{7.2.2.2}$$

Az előző probléma egy bonyolultabb változata, amikor a szolgáltató nem a folyamatok számára, hanem a kezelendő áru mennyiségére ad meg felső, illetve alsó határt. Legyen $fq_i$ az $i$-edik szolgáltató által a megbízás keretein belül kezelhető maximális, $aq_i$ pedig a minimális árumennyiség. Ekkor az előzőekben ismertetett peremfeltételek a következőképpen módosulnak:

$$\sum_{j=1}^{m} q_j x_{ij}^{stk} \leq fq_i \Big|_{i=1,\dots,n} \tag{7.2.2.3}$$

$$aq_i \leq \sum_{j=1}^{m} q_j x_{ij}^{stk} \leq fq_i \Big|_{i=1,\dots,n} \tag{7.2.2.4}$$

Érdemes megjegyezni, hogy az egyes folyamatokban a kezelendő áru típusa természetesen változhat (például van ahol konténerek, van ahol pedig EUR raklapok kezelésére van szükség). Ezért ha a mennyiségre vonatkozó peremfeltételek is megjelennek az optimalizálás során, akkor ezeket a legegyszerűbben úgy lehet kezelni, ha a számítás folyamata alatt mind a peremfeltételek, mind pedig a folyamatok esetén egy közösen elfogadott egységnyi árumennyiségre átkonvertáltan történik az értékek figyelembevétele.

Végül a gyakorlatból eredő peremfeltételek egy harmadik jellemző esete, amikor egy adott szolgáltató a folyamatok valamely kombinációjára vagy kombinációira jelentkezik (ilyenkor tulajdonképpen egy úgynevezett kombinatorikus aukcióról beszélünk). Legyen $\mathrm{K}^i$ azon folyamatkombinációk halmaza, amelyeket az *i*-edik szolgáltató elfogadhatónak tart. Mivel a peremfeltételt olyan formában célszerű meghatározni, ami megkönnyíti a gépi feldolgozást, ezért a legpraktikusabb az, ha a kombinációk sorvektorokként kerülnek megadásra, igazodva a korábban bevezetett mátrixokhoz. Ennek értelmében a $\mathrm{K}^i$ egy *v* elemű vektorhalmaz lesz, egyes elemei pedig *m* elemű sorvektorokként definiálhatóak (ahol *m* a matematikai modellel összhangban megegyezik a logisztikai folyamatok számával), amint ez a (7.2.2.5)-ben és a (7.2.2.6)-ban látható:

$$\mathrm{K}^i = \left\{ \mathrm{k}_1^i ; \ldots \mathrm{k}_d^i ; \ldots \mathrm{k}_v^i \right\} \tag{7.2.2.5}$$

$$\mathrm{k}_d^i = \left[ k_{d1}^i, \ldots k_{dj}^i, \ldots k_{dm}^i \right] \quad , \quad k_{dj}^i \in (0,1) \Big|_{j=1,\ldots,m} \tag{7.2.2.6}$$

Ezek segítségével a peremfeltétel az alábbi formában írható fel, ami lényegében azt jelenti, hogy az $\mathrm{X}_{\mathrm{stk}}$ hozzárendelési mátrix *i*-edik sorának elő kell fordulnia a $\mathrm{K}^i$ halmaz elemei között, azaz ennek egy az *i*-edik szolgáltató által elfogadott kombinációnak kell lennie:

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij}^{stk} \geq 1 \rightarrow \mathrm{X}_{\mathrm{stk}} \left[ i \right] \in \mathrm{K}^i \Big|_{i=1,\ldots,n} \tag{7.2.2.7}$$

Lényeges kihangsúlyozni, hogy mivel a kibővített peremfeltételek is mind lineárisak, ezért a célfüggvény ebben az esetben is megoldható a kétfázisú szimplex módszerrel alkalmazásával.

### 7.2.3 Az összköltségre történő minimalizálás célfüggvénye

A (7.2.1.4)-ben meghatározásra került kockázati többletköltség megteremti a lehetőségét annak is, hogy az optimalizálás a szolgáltatók megbízásának teljes költségére vetítve kerüljön elvégzésre.

Az előbbihez először célszerű definiálni egy alapköltség mátrixot, ami a szolgáltatók megbízási költségeit tartalmazza az egyes folyamatokra vonatkoztatva:

$$\mathrm{C} = \left[ C_{ij} \right]_{nm} \tag{7.2.3.1}$$

Ezek után a szolgáltatók egy adott kombinációjának megbízásával járó összköltség (beleértve a kalkulált kockázati többletköltséget is) a következőképpen határozható meg, felhasználva a redukált hozzárendelési mátrix elemeit:

$$C_o = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} C_{ij} \cdot x_{ij}^{stk} + C_k \tag{7.2.3.2}$$

Ez tulajdonképpen nem más, mint az összköltségre felírt minimalizálandó célfüggvény, amelynek teljes alakja az eredeti célfüggvény (7.2.1.8)-ban látható formájának felhasználásával a következő lesz:

$$C_o = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} C_{ij} \cdot x_{ij}^{stk} + c_{lh} \cdot Q \cdot D(\sum_{j=1}^{m} \frac{q_j \cdot p_j}{P} \cdot \sum_{i=1}^{n} c_{pk}^{ij} \cdot x_{ij}^{stk}) \rightarrow Min \tag{7.2.3.3}$$

Ennek az összetett célfüggvénynek a második összetevője ugyanakkor egy nemlineáris szakaszos függvény, ezért az optimalizálás ebben az esetben már egy nemlineáris programozási feladatot jelent, amihez értelemszerűen egy összetettebb algoritmusra van szükség. Az egyik szóba jöhető megoldás a korlátozás és szétválasztás módszerének alkalmazása lehet, mivel a függvény második tagja az egyes töréspontok (a referencia táblázat megadott értékei) között már lineárisan viselkedik (a lineáris interpoláció használatának köszönhetően). A pontos algoritmus meghatározásához ugyanakkor célszerű még további vizsgálatokat elvégezni.

## 7.3 A kockázati modell implementálása a hálózati struktúra különböző vetületeiben

Amint az korábban említésre került, a kockázati modellt célszerű külön-külön alkalmazni a logisztikai hálózatban megjelenő folyamattípusok szerint, mivel a prioritások az eltérő logisztikai szempontok miatt az egyes vetületekben némileg különbözhetnek. Ennek megfelelően a következőkben ismertetésre kerülnek azok a főbb prioritások, amelyek előtérbe kerülnek az ellátási, a beszállítási, a reverz-logisztikai, a kiszállítási, illetve a disztribúciós folyamatnál történő implementáció esetén.

### 7.3.1 A modell használata az ellátási folyamatban résztvevő logisztikai központok kiválasztásánál

A logisztikai központok részvételével megvalósuló ellátási folyamat értelemszerűen legjobban a termelő/szolgáltató vállalat belső folyamataira, valamint ezzel párhuzamosan a logisztikai központokkal kapcsolatban álló szállító vállalatokra lehet a legnagyobb közvetlen hatással, amiből következik, hogy a legnagyobb prioritása jellemzően a „Belső folyamatok” főkritériumnak, illetve a külső folyamatok közül az „Ellátási oldalon okozott zavaroknak” lesz. Emellett ahogy a legtöbb esetben, úgy itt is nagyobb szerepet játszhat még az „Ügyfelek” főkritérium, mivel a késések és egyéb logisztikai hibák az ellátási oldalon tovább gyűrűzhetnek egészen a végfelhasználókig, utóbbiak pedig mindig kiemelten fontosak a termelő/szolgáltató vállalatok számára.

### 7.3.2 A modell használata a beszállítási folyamatban résztvevő szállító vállalatok kiválasztásánál

A beszállítási folyamat jellemzően a logisztikai központok és a termelő/szolgáltató vállalat között zajlik, így ebben az esetben is szintén igaz, hogy leginkább a „Belső folyamatok” főkritérium kaphatja a legnagyobb prioritást, illetve a „Külső folyamatok” főkritérium alkritériumainak már előbbiekben is említett tagja. Ugyanakkor magától értetődik, hogy ebben az esetben lényegesen nagyobb prioritása lehet az áruvédelemnek, mivel az árusérülések és az egyéb, árut érintő biztonsági kockázatok jellemzően szállítás közben történnek. Hasonló okból szintén nagyobb szerepet kaphat a „Környezet és egészségvédelem” főkritérium is.

### 7.3.3 A kockázati modell implementálása a reverz logisztika oldalán

A reverz-logisztikai oldalon történő implementáció esetén egyértelmű, hogy a legnagyobb prioritást jellemzően a „Környezet és egészségvédelem”, illetve az „Áruvédelem” fogja kapni. Ugyanakkor már kevésbé magától értetődő, hogy a „Belső folyamatok” főkritériumhoz tartozó egyes elemek jellemzően szintén nagyobb súllyal szerepelhetnek, mivel a reverz-logisztikai szolgáltató nem megfelelő teljesítménye a termelő/szolgáltató vállalat számára azt jelentheti, hogy kénytelen tovább és így nagyobb költséggel tárolni a technológiai folyamatok során keletkező melléktermékeket. Az elhúzódó hulladéktárolás értelemszerűen kapacitás lekötéssel jár, ennek pedig egyértelmű negatív hatása lehet a többi tárolási folyamatra, vagy szélsőséges esetben akár a gyártási folyamatra is.

### 7.3.4 A modell használata a kiszállításban résztvevő szállító vállalatok kiválasztásánál

A kiszállítási folyamat szempontjából jellemzően több főkritérium is egyformán hangsúlyos lehet. Kifejezetten nagy prioritást kaphatnak az „Ügyfelek”, az „Áruvédelem” és a „Külső megítélés” főkritériumok, de ezek mellett természetesen szintén nagy hangsúly lehet többek között a „Készáru tárolás zavarai”, a „Kitárolási zavarok”, illetve a „Disztribúciós oldalon okozott zavarok” alkritériumokon is.

### 7.3.5 A modell használata a disztribúcióban résztvevő logisztikai központok kiválasztásánál

Végül a disztribúciós folyamat szempontjából nézve a prioritások megoszlása várhatóan hasonló lesz ahhoz, ami a kiszállítási folyamatnál is látható volt. Ugyanakkor különbségként jelentkezik, hogy ebben az esetben az „Ügyfelek” és a „Külső megítélés” főkritériumok az előző esethez képest is nagyobb súllyal eshetnek latba a többi döntési kritériummal szemben.

## 7.4 A bemutatott kockázatkezelési eljárás gyakorlatban történő alkalmazását támogató információmegosztási modell ismertetése

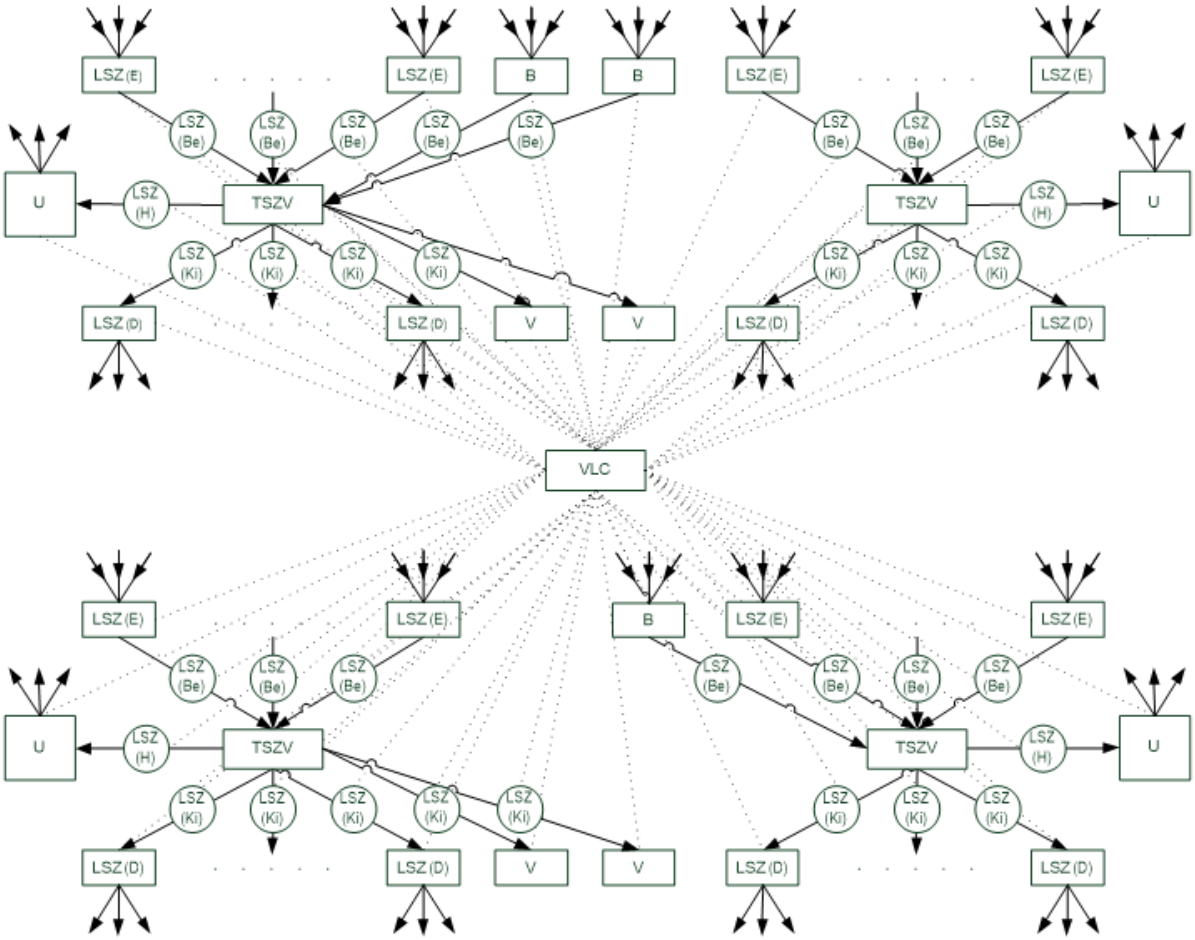
### 7.4.1 Az információmegosztási modell általános bemutatása

A bemutatott kockázati modell alkalmazásához természetesen nélkülözhetetlen, hogy kellő mértékű információ megosztás valósuljon meg az egyes szereplők között, mivel a folyamatképességi paraméterek kiszámításához szükség van megfelelő mennyiségű és minőségű statisztikai adat összegyűjtésére. Ugyanakkor az információ megosztás az utóbbi

években a kockázatkezelés kérdésétől függetlenül is egyre nagyobb hangsúlyt kap, mivel az olyan korszerű termelésszervezési és információs technológiai irányelvek térhódítása, mint amilyenek elsősorban az ipar 4.0 vagy a dolgok internete, az egész gazdaság működését egyre inkább ebbe az irányba terelik. Erre építve a javasolt kockázatkezelési eljárást legegyszerűbben úgy lehet implementálni, ha az már eleve egy az információ megosztás és a hálózatos működési elv köré épülő rendszer részmoduljaként kerül megvalósításra.

Az említett típusú rendszerekre jó például szolgálnak a fuvarozási és szállítmányozási, illetve egyéb logisztikai szolgáltatások beszerzését támogató online logisztikai platformok, amelyek a szolgáltatók és a potenciális megbízók széles körét integrálják egy közös hálózatba, jellemzően szinte kizárólag korszerű informatikai megoldásokra támaszkodva. Az ilyen típusú megoldások a rajtuk keresztül megvalósuló szervezettség mértékétől függően működhetnek kibővített e-piactérként, vagy akár úgynevezett virtuális vállalatként is (a fő különbség a két eset között főleg a rendszerben kialakuló együttműködés minőségétől függ). Ami ugyanakkor minden implementáció esetére fennáll, az a kölcsönös előnyszerzés lehetősége mind a szolgáltatók, mind pedig a megbízók részére, melyet a rendszerben való részvétel biztosít a számukra. A logisztikai szolgáltatók az ilyen megoldások segítségével ugyanis egy lényegesen nagyobb ügyfél kört érhetnek el, ami főleg a kisebb, a KKV-k kategóriájába eső szállító vállalatok számára jelent nagy előnyt, miközben a megbízók jellemzően pontosabb, olcsóbb és megbízhatóbb szolgáltatásokhoz juthatnak hozzá. Látható tehát, hogy az ösztönzők a szóban forgó hálózatokhoz történő csatlakozáshoz egyre inkább adottak mind a szolgáltatók, mind pedig a megbízók oldaláról nézve, a javasolt kockázatkezelési eljárás bevezetése pedig végeredményben csak egy újabb együttműködési szint kialakítását jelenthetné az amúgy is terjedőben lévő hálózati paradigmát megvalósító rendszerekben.

Az előbbieknek megfelelően az információ megosztás tehát jellemző módon egy harmadik fél, az online logisztikai platformot működtető szervezet közreműködésével valósítható meg. Ennek jelölése az információ megosztási modellben legyen VLC, azaz Virtuális Logisztikai Centrum. Fontos kihangsúlyozni, hogy a VLC jellemzően csak információs kapcsolatot tart fenn a hálózat többi szereplőjével, így saját eszközparkkal és fizikai erőforrásokkal általában nem rendelkezik. Ezeket figyelembe véve tehát egy központosított információs hálózatról beszélhetünk, melynek magas szintű struktúráját a következő, 7.4.1.1. ábra szemlélteti (a pontvonal értelemszerűen a modell szempontjából releváns információáramlást, a folytonos vonal pedig az anyagáramlást szemlélteti):



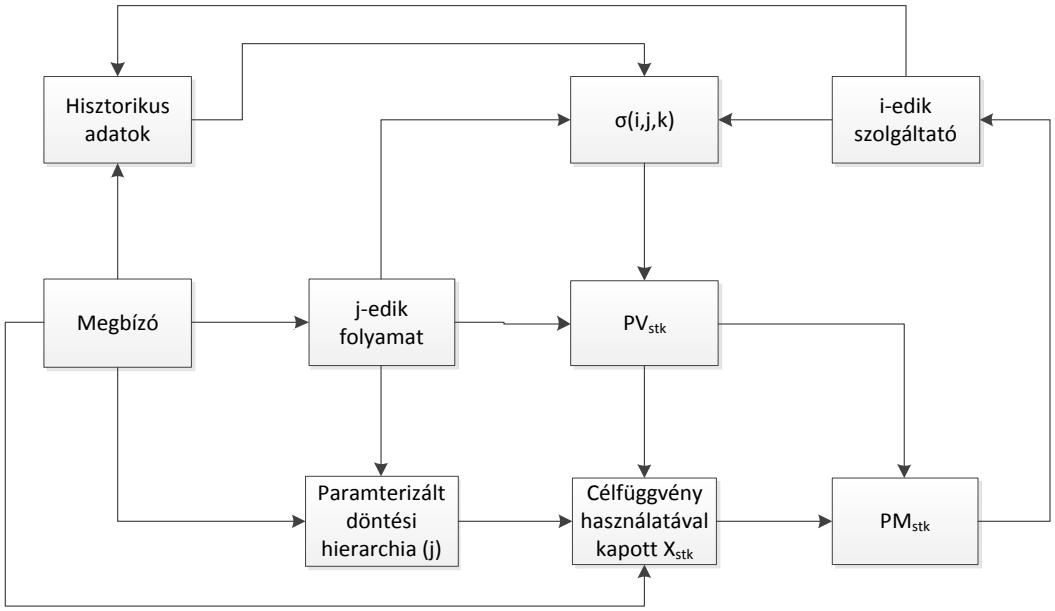

7.4.1.1. ábra: A VLC és a hálózat egyes szereplői közötti kapcsolatok szemléletes ábrázolása az információ megosztási modellel összhangban (saját szerkesztés)

Mint látható, a magas szintű struktúra szerint a *VLC* ideális esetben a hálózat minden szereplőjével információs kapcsolatban áll, elősegítendő mind a hisztorikus, mind pedig a valós idejű adatok minél pontosabb és szélesebb körű felvételét. Ugyanakkor a pontosság végett érdemes megjegyezni, hogy ez nem minden esetben valósítható meg teljes körűen, például a kiskereskedelmi végfelhasználók értelemszerűen nem vonhatóak be ilyen módon a rendszerbe, ahogy sokszor a közvetett beszállítók sem.

### 7.4.2 Az adatmodell meghatározása

Az információ megosztási modell szerves részeként mindenképp szükség van egy olyan adatmodell meghatározására is, amely magába foglalja a kockázatkezelési eljárás alkalmazásához szükséges fő adatelemeket, ezzel egyúttal lehatárolva a megosztandó

információk körét. Az adatmodell az alábbi, 7.4.2.1. ábrán látható, amelyet az egyes adatobjektumok részletezése követ:




7.4.2.1. ábra: Az információ megosztási modellt meghatározó magas szintű adatmodell ábrázolása (saját szerkesztés)

A **Megbízó** típusú adatobjektumok értelemszerűen a rendszert használó termelő/szolgáltató vállalatoknak felelnek meg. A tőlük beszerzendő információk alapvetően két csoportba, a logisztikai folyamatokhoz, valamint a parametrizált döntési hierarchiához sorolhatóak. Amint az ábrán látható, ez a két csoport külön-külön is önálló adatobjektum típusokat alkot.

A **j-edik folyamat** típusú adatobjektumok az egyes megbízókhoz vannak hozzá rendelve. Az adattípus fő adatelemei a kockázatkezelés szempontjából véve értelemszerűen az a nyolc *T(i,j,k)* tűrési intervallum, amelyet a megbízó által a folyamatra megadott *USL(i,j,k)* és *LSL(i,j,k)* határértékek jelölnek ki. Az utóbbiakat tehát minden egyes folyamat esetében, továbbá mind a 8 kockázati paraméter vonatkozásában be kell gyűjteni az érintett megbízótól.

A **Parametrizált döntési hierarchia** típusú adatobjektum önmagában is egy hierarchikus adatmodellnek felel meg, amelynek felépítése minden esetben a bemutatott kockázati modellével ekvivalens. A különbség egyedül a hierarchiában elvégzett páros összehasonlítások értékeiben van, amelyeket az adott megbízó az eljárásnak megfelelően maga határoz meg. Ebből is látszik, hogy ezek az adatobjektumok tehát az egyes

megbízókhoz, továbbá a megbízók folyamataiból képzett részhalmazokhoz vannak hozzá rendelve, mivel ahogy erről korábban szó volt, egy megbízónak általában érdemes többféle parametrizálást is használnia az egyes folyamattípusoknak megfelelően.

Az **i-edik szolgáltató** típusú adatobjektum értelemszerűen a rendszerhez csatlakozott *i*-edik szolgáltatónak felel meg. A szolgáltatóhoz kapcsolódó információk közül kockázati szempontból azok a $\sigma(i,j,k)$ szórás értékek a legfontosabbak, amelyek az adott szolgáltatót a *j*-edik folyamat *k*-adik paramétereinek szinten tartása szempontjából jellemzik.

A **σ(i,j,k)** az előzőnek megfelelően tehát egyaránt kapcsolódik az **i-edik szolgáltató**, valamint a **j-edik folyamat** adatobjektumhoz, ezért maga is különálló objektumként került reprezentációra. A $\sigma(i,j,k)$ értékének meghatározása több módon is történhet, melyek közül a legegyszerűbb megoldásra akkor nyílik lehetőség, ha a szolgáltató korábban már ellátta az adott folyamatot. Ilyenkor ugyanis közvetlenül rendelkezésre állnak az adott *k* kockázati paraméter számszerűsítésénél meghatározott változók hisztorikus adatai, amelyek alapján a számítás egyszerűen elvégezhető. Ha ez a feltétel nem adott, vagy egyszerűen a k paraméter jellegéből fakadóan nagyobb mennyiségű adatra van szükség, akkor a $\sigma(i,j,k)$ értéke a szolgáltató többi, ugyanilyen kategóriába eső folyamatra már meglévő és adott *k* paraméterre érvényes $\sigma$ értékei alapján átlagolással számítható. Végül, ha a szolgáltató még csak nemrég csatlakozott a rendszerhez és még nem állnak rendelkezésre hisztorikus adatok rá vonatkozóan, akkor érdemes lehet a számára egy bizonyos hosszúságú (pl. 3-6 hónap) türelmi időt biztosítani addig, ameddig kellő mennyiségű adat nem áll rendelkezésre a teljesítményére vonatkozóan (alternatívaként ezen időszak alatt használhatóak kölcsönösen elfogadott referenciák is). Ugyanakkor minden esetben látszik, hogy a $\sigma(i,j,k)$ meghatározásához nagy mennyiségű hisztorikus adatra van szükség, amelyek pontosításához tehát a VLC-nek célszerű a hálózat minél szélesebb vetületében és minél több forrásból gyűjtenie az adatokat. Természetesen az is nagyon lényeges, hogy a $\sigma(i,j,k)$ meghatározása minden szolgáltatóra egységesen érvényes elvek szerint történjen, ezzel kizárva az esetleges torzítások lehetőségét.

A **Hisztorikus adatok** objektumnak az előzőeknek megfelelően tehát tartalmaznia kell mindazon adatokat, amelyek alapján a $\sigma(i,j,k)$ az egyes folyamat/szolgáltató/kockázati tényező kombinációk esetén a leírt módon meghatározható. Ez alapján látható, hogy a hisztorikus adatok tehát külön is egy önálló adatbázist alkotnak, amelyben eltárolásra kerülnek az egyes folyamatok és szolgáltatók relációjában a $\sigma(i,j,k)$ értékek meghatározásához szükséges változók múltbéli adatai (utóbbi változók a 6. fejezetben kerültek meghatározásra, a kockázati tényezők szerinti bontásban). Amint az az adatmodellből is látszik, ezeknek a múltbéli

adatoknak az elsődleges forrásai a megbízók, valamint maguk a logisztikai szolgáltatók, de a minél nagyobb pontosság érdekében előnyös lehet bevonni minél több beszállítót és végfelhasználót is az információ megosztási körbe. Fizikailag az információ megosztás csatornáit érdemes azon hálózati megoldásokra támaszkodva kialakítani, amelyeket a VLC eleve használ az online logisztikai platform működtetéséhez (pl. EDI, az árukövetéshez használt különféle telematikai megoldások, felhő-alapú szolgáltatások, stb.). Az adatgyűjtést továbbá célszerű automatizáltan és folyamatos jelleggel végezni úgy, hogy az semmilyen módon ne zavarja a rendszer alapfunkcióinak működését, valamint önmagában véve semmilyen plusz terhet ne jelentsen a hálózatban résztvevők számára.

A $\mathbf{PV_{stk}}$ adatobjektum típus fő adatelemét a matematikai modellnek megfelelően a logisztikai folyamatok bizonyos részhalmazaira értelmezett, a folyamatokat reprezentáló adatobjektumok *T(i,j,k)* paramétereinek, valamint a *σ(i,j,k)* értékeknek a segítségével képezett háromdimenziós mátrix képezi. Ilyen módon tehát értelemszerűen a **j-edik folyamattal** és a **σ(i,j,k)** adatobjektumokkal áll kapcsolatban, mivel a folyamatok adják a $PF_{st}$ és $PA_{st}$ mátrixokat, a **σ(i,j,k)** objektumok pedig a $P\sigma_{st}$ mátrixot, amelyek segítségével a matematikai modell alapján a $PV_{stk}$ mátrix kiszámítható (a köztes $PF_{stk}$ és $PA_{stk}$ mátrixok felhasználásával).

A **Célfüggvény használatával kapott $\mathbf{X_{stk}}$** adatobjektum típus fő adateleme értelemszerűen az $X_{stk}$ mátrix lesz, amely a $PV_{stk}$ és a vonatkozó parametrizált döntési hierarchia felhasználásával a (7.2.1.3) célfüggvény szerint áll elő, a (7.2.1.1) és (7.2.1.2) peremfeltételek, valamint a megbízótól kapott további adatok (árumennyiség és érték) felhasználásával.

Végül a $\mathbf{PM_{stk}}$ adatobjektum magától értetődően a $PM_{stk}$ mátrixot tartalmazza, amely az (5.3.16) szerint áll elő a $PV_{stk}$ és az $X_{stk}$ felhasználásával. Amennyiben a megbízó által elfogadásra kerül, úgy a $PM_{stk}$ hatással lehet az érintett szolgáltatókat reprezentáló adatobjektumokra is, mivel kijelöli a szolgáltatóknak a megbízó által jóváhagyott kombinációját.

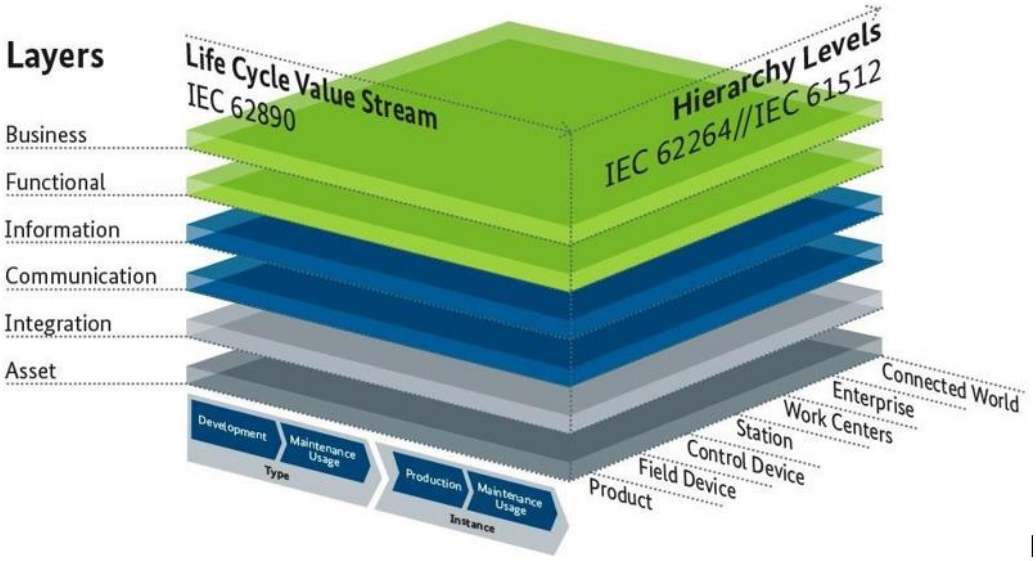
### 7.4.3 A RAMI 4.0 alkalmazásának lehetősége az információmegosztási modell megvalósításához

Magától vetődik fel kérdés, hogy az általánosan definiált információmegosztási modellt milyen módon lehet célszerű implementálni? Mint ahogy az már a 7.4.1-ben említésre került, magát az eljárást, illetve az ezt megvalósító alkalmazást legpraktikusabban egy már létező

online logisztikai platform egy részmoduljaként lehetne megvalósítani. Az alkalmazás használhatóságának legfontosabb feltétele, hogy rendelkezésre álljon az a háttérben működő adatbázis, amely a 7.4.2-ben bemutatott adatmodellnek megfelelően tartalmazza a szükséges bemenő adatokat. Az is egyértelmű, hogy állandó jelleggel biztosítani kell a bemenő adatok gyűjtését és rögzítését, elsősorban azért, mert csak így oldható meg a statisztikai adatokat tartalmazó adatobjektumok folyamatos aktualizálása (emellett természetesen minden adatbázisra általánosan is igaz, hogy folyamatosan gondoskodni kell az adatok frissítéséről). Ebből tehát már látszik, hogy az információmegosztási modell megvalósításának legnagyobb kérdése az, hogy hogyan valósítható meg az az egész hálózaton átívelő kommunikációs és információs réteg, amely biztosítani képes a kockázati tényezők számszerűsítésénél azonosításra került különböző üzemi paraméterek folyamatos gyűjtését és megosztását?

A kérdésre egy kézenfekvő válasz lehet a RAMI 4.0 – Reference Architectural Model Industrie 4.0, szó szerinti magyar fordításban Referencia Architektúra Modell Ipar 4.0 – koncepció alkalmazása. Ezt az architektúra modellt a németországi Platform Industire 4.0 (Ipar 4.0 Platform) dolgozta ki a közelmúltban, segítségével pedig a gyakorlatban is lehetővé válik az ipar 4.0 információmegosztásra, adatelemzésre és rugalmasságra épülő koncepciójának a megvalósítása az adott hálózat minden résztvevőjét felölelő módon (lásd Schweichhart a Platform Industrie 4.0 gondozásában készült bemutató előadását [108]).

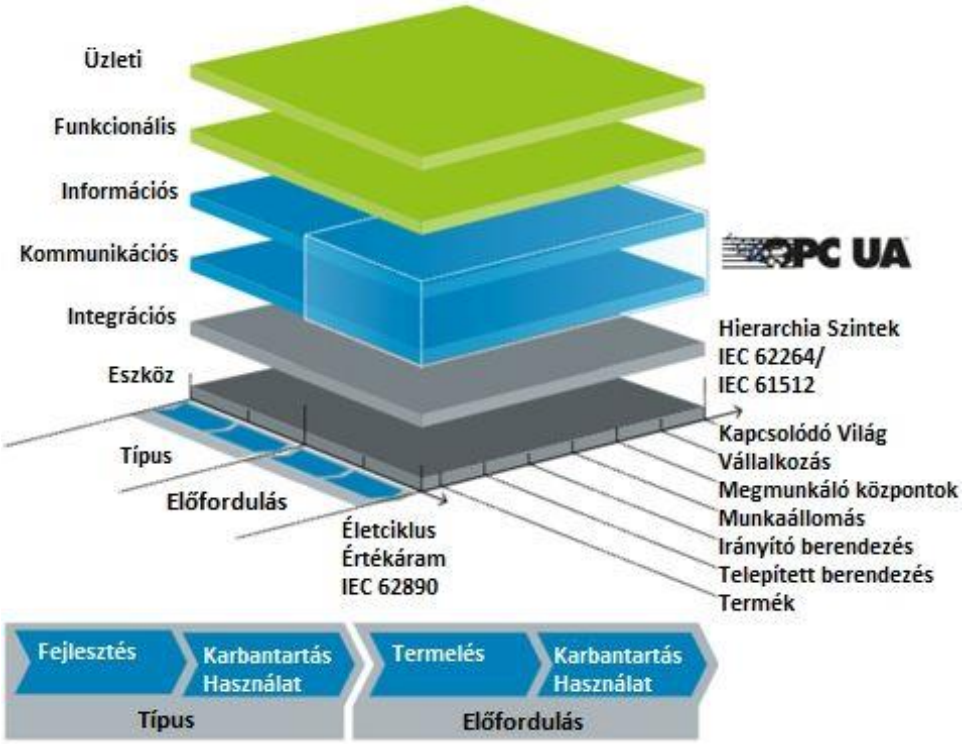
A RAMI 4.0 alapvetően hat fő réteget azonosít, ezek fentről lefelé haladva az „Üzleti” réteg, a „Funkcionális” réteg, az „Információs” réteg, a „Kommunikációs” réteg, az „Integrációs” réteg, valamint az „Eszköz” réteg. Ezek a vertikális szintek, ugyanakkor az architektúrában megjelenik egy horizontális hierarchia is, amely a különböző szintű eszközök kapcsolati szempontból vett egymásra épülését hívatott ábrázolni. Ez utóbbi lefedi a késztermé ktől kezdve a különböző telepített berendezéseken és munkaállomásokon át a külső kapcsolódási pontokig a teljes értékteremtési folyamatot. Fontos, hogy az architektúra modell építkezik a meglévő szabványokra, így a termelésirányítás terén az IEC 62264 és IEC 61512, az életciklus menedzsmenthez pedig az IEC 62890 szabványokat használja. A RAMI 4.0 teljes felépítését jól ábrázolja a következő, 7.4.3.1. ábra: [108]




7.4.3.1. ábra: A RAMI 4.0 koncepcionális felépítése (Forrás: [108])

Bár az előbbiekben ismertetett koncepcionális felépítés nagyon lényeges, ami ugyanakkor a jelen kutatás szempontjából kifejezetten fontos lehet, az a vertikális hierarchiában értelmezett információs és kommunikációs réteg megvalósításának a kérdése. Nyilvánvaló ugyanis, hogy ennek a két rétegnek a teljes hálózaton átívelő egységes implementációja egyúttal lehetővé teszi a bemutatott eljáráshoz tartozó információmegosztási modell megvalósítását is.

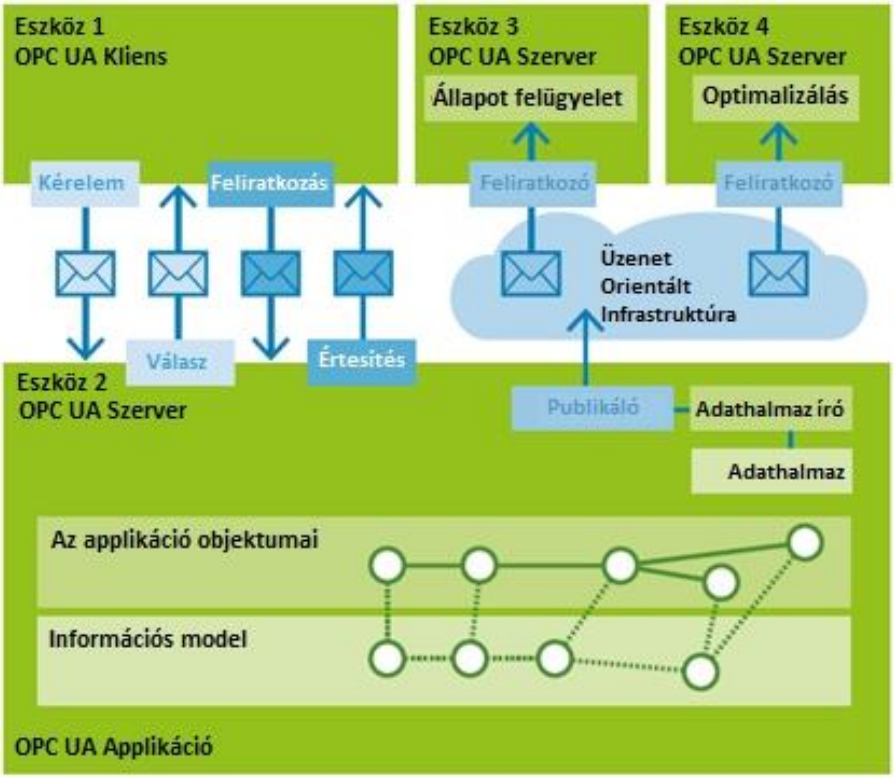
Az Információs és Kommunikációs rétegek integrált megvalósítására az egyik legígéretesebb útnak az OPC UA – Open Platform Communications Unified Architecture, szó szerinti magyar fordításban Nyílt Kommunikációs Platform Egységes Architekúra – szabvány széleskörű alkalmazása tűnik (lásd a VDMA – a német Gépipari Szövetség – gondozásában az OPC UA-hoz megjelent útmutatót [120]). Nagyon lényeges, hogy itt már egy meglévő szabványról beszélünk, amelynek specifikációja megtalálható az IEC 62541-ben. Az OPC UA elhelyezkedését a RAMI 4.0-án belül a következő, 7.4.3.2. ábra szemlélteti:




7.4.3.2. ábra: Az OPC UA helye és szerepe a RAMI 4.0 hierarchiáján belül (Forrás: [120])

Az OPC UA egy összetett szabvány, amely maga is további 5 réteget definiál az információmegosztás megvalósítására. Ezek a „Szállítási” réteg, a „Biztonsági” réteg, az „Információ-hozzáférés” rétege, a „Társ specifikációk”, valamint a „Kiterjesztett információs modell”. Az alábbiakban ezek rövid bemutatására kerül sor a [120] alapján.

A nevének megfelelően a **Szállítási rétegen** keresztül valósul meg az adatok fizikai továbbítása. Ehhez különböző kommunikációs protokollok kerülnek felhasználásra, amelyekben közös vonás, hogy mindegyikük az internet protokollra (IP) épül. Itt megjegyzendő, hogy az OPC UA kompatibilis mind az IPv4, mind pedig az IPv6 protokollokkal. Maga a kommunikáció klasszikusan a kliens-szerver, valamint a publikáló-feliratkozó mintákra épül, de tervbe van véve az úgynevezett „időérzékeny hálózati átvitel” (TSN – Time Sensitive Networking) támogatása is. A Szállítási rétegben használt kommunikációs mintákat a 7.4.3.3. ábra foglalja össze: [120]




7.4.3.3. ábra: Az OPC UA jellemző kommunikációs mintázatai (Forrás: [120])

Értelemszerűen a **Biztonsági réteg** felel a megfelelő szintű információbiztonság megvalósításáért az integrált hálózatban. A biztonsági mechanizmusok kiterjednek mind a szállítási rétegre, mind az információ hozzáférésre, mind pedig a felfedező mechanizmusokra. A biztonsági funkciók a tanúsítványok és hozzáférési jogok pontos adminisztrációjára épülnek. Ezek kezelése történhet külön-külön az egyes applikációkhoz tartozóan, vagy az egyes vállalatokon belül egységes nyilvános kulcsú infrastruktúrák (PKI) használatával [120].

Az **Információ-hozzáférés rétegében** valósul meg a változók írása és olvasása, valamint a különböző események nyomon követése [120]. A disszertációban bemutatott eljárás vonatkozásában ez elsősorban azt jelenti, hogy ezen a szinten valósítható meg a kockázati paraméterek számszerűsítéséhez szükséges adatok gyűjtése az egyes szereplők eszközeiből származó módon, majd azok rögzítése az előző alfejezetben ismertetett adatmodellel összhangban.

A **Társ specifikációk** körébe beletartoznak mindazon szabványok, amelyek az OPC UA széleskörű, vállalatokon átívelő implementációját támogatják. A bemutatásra került kockázatkezelési eljárás szempontjából különösen lényegesek az olyan logisztikai vonatkozású társ szabványok, mint például az Auto ID (az automatikus azonosító rendszerek

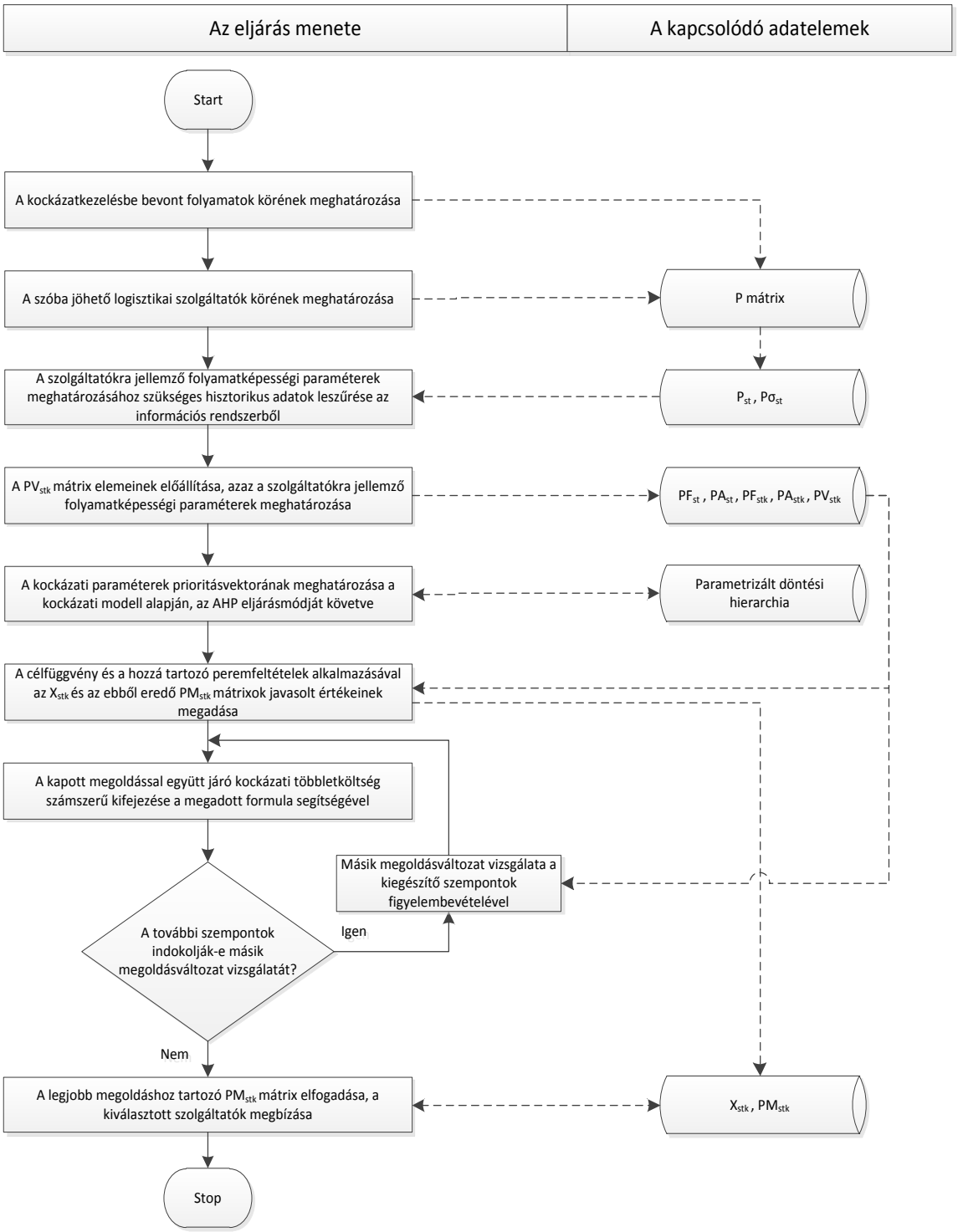
– vonalkód, RFID, NFC, stb. – területén meghatározó specifikáció) vagy az FDI (Field device integration, szó szerinti fordításban „Terepi eszközök integrációja). Ezek mellett számos társ specifikáció foglalkozik a termelési logisztikai rendszerekben megvalósítható gép-gép közötti kommunikációval is [120]. Az utóbbiak a bemutatott eljárás szempontjából főleg azért lehetnek lényegesek, mert alkalmazásukon keresztül a megbízók is pontosabban tudják felmérni az egyes kockázati forrásoknak a saját belső folyamataikra gyakorolt hatását, ez pedig megkönnyíti a kockázati modellben az erre vonatkozó döntési mátrixok meghatározását.

A **Kiterjesztett információs modell** lényegében az adott applikációnak az OPC UA előzőekben bemutatott elemeire és eszközeire támaszkodó hálózati modellje [120]. A szóban forgó eljárás esetében ez tehát felöleli a teljes információmegosztási modellt.

Az előző leírásból tehát egyértelműen látszik, hogy a RAMI 4.0, legfőképp pedig annak az információs és kommunikációs rétegét megvalósítani képes OPC UA szabvány kiválóan alkalmasak arra, hogy alapként szolgáljanak a bemutatott kockázatkezelési eljárás mögött álló információmegosztási modell megvalósításához. Emellett fontos azt is látni, hogy az ipar 4.0, mint globális trend előretörésével párhuzamosan a vállalatok egy jelentős része is várhatóan a RAMI 4.0 felé fog orientálódni (legalábbis az európai régióban mindenképp), ami eleve indokolttá teszi a javasolt eljárásnak az ezzel kompatibilis módon történő megvalósítását.

## 7.5 A javasolt kockázatkezelési eljárás teljes folyamatábrájának ismertetése

Az előző alfejezetekben lefektetett kockázatkezelési eljárást célszerű átfogó módon, egy jól áttekinthető megjelenítési formát alkalmazva is ismertetni. Ennek megfelelően a soron következő, 7.5.1. ábrán a kapcsolódó adatelemekkel együtt megjelenítésre került a teljes eljárás folyamatábrája, amelyen végigkövethető az egyes lépések és az egyes adatobjektumok között fennálló kölcsönös egymásra hatás dinamikája is (az eljárás működését reprezentáló példa a mellékletben került bemutatásra):




7.5.1. ábra: A kockázatkezelési eljárás teljes folyamatábrája a kapcsolódó adatelemekkel (saját szerkesztés)

# 8. A kialakított eljárás felhasználási, valamint továbbfejlesztési lehetőségeinek ismertetése

A bemutatott kockázatkezelési eljárás alkalmazható mindazon logisztikai hálózatokban, ahol adottak az információmegosztási modell működéséhez szükséges infrastrukturális feltételek, továbbá pedig a hálózat szereplőiben is megvan a hajlandóság az eljárást implementáló virtuális logisztikai központhoz történő csatlakozásra. Ezeknek a feltételeknek jelenleg az olyan, a gyakorlati példában is megjelenő online logisztikai platformok felelnek meg a legjobban, amelyek az internet technológiákra támaszkodva tipikusan egy-egy régiót átívelő módon integrálják a különféle szállító, illetve az ezekkel kapcsolatban álló egyéb logisztikai vállalatokat (logisztikai központokat, raktárakat, átrakó helyeket, stb). Tekintettel a jelenlegi információs technológiai trendek, különösképpen pedig az ipar 4.0 által képviselt irányokra, már a közeli jövőben is számítani lehet arra, hogy az említett alkalmazási területen túlmenően a logisztikával integrált termelő és szolgáltató rendszerek egyre szélesebb körében válik mind megvalósíthatóvá, mind pedig kifejezetten indokolttá is a bemutatott eljáráshoz hasonló kockázatkezelési megoldások alkalmazása.

Az eljárás jövőbeni továbbfejlesztését illetően számos lehetőség képzelhető el, amelyek külön-külön, vagy akár együttesen is megvalósíthatóak lehetnek. Az egyik kézenfekvő irány az AHP jelenleg egy meglehetősen elterjedten használt formájának, a fuzzy AHP-nek a kialakított eljárással történő kombinációja lehet. A fuzzy AHP egy elterjedten alkalmazott módszer olyan döntési problémáknál, ahol a döntés céljának általánossága és elvontsága, továbbá a döntési kritériumok szubjektív volta miatt szükséges és kifejezetten hasznos a döntési mátrixokban az összehasonlítások bizonytalanságát is figyelembe vevő fuzzy változók használata. Ugyan a disszertációban bemutatásra került problémánál a cél az volt, hogy a sztochasztikus hatások minél pontosabb számszerűsítésén, valamint a döntési hierarchia kellően egzakt alapokra történő helyezésén keresztül éppen az ilyen típusú bizonytalanságokat sikerüljön a lehető legjobban redukálni, tény, hogy elképzelhetőek olyan helyzetek, amelyekben a döntési bizonytalanság részben még így is megmaradhat. A fuzzy AHP alkalmazásának főleg az olyan esetekben lehetne haszna, ahol az információmegosztási modellt még nem sikerült megfelelő szinten implementálni, ezért a megbízó egyes döntéseinél érdemes lehet számolni az elérhető információk korlátozottságából fakadó tévedések lehetőségével is. Egy ilyen fajta implementációnál ugyanakkor fokozottan figyelni kell arra, hogy a fuzzy változókkal megvalósított döntési hierarchia funkciói ne keveredjenek össze a

folyamatképességi mutatók felhasználási területével (tehát az egyes szolgáltató-folyamat párokat jellemző kockázati tényezőknek még a döntési modell figyelembe vétele előtt történő számszerűsítésével), mert ez értelemszerűen redundanciához, ebből fakadóan pedig torzításokhoz vezetne az eljárás alkalmazása során. Ennek a kérdésnek a tisztázása után viszont valószínű, hogy a fuzzy AHP-vel történő megvalósítás az említett helyzetekben még tovább növelhetné az eljárás alkalmazásának eredményességét.

Egy másik lényeges továbbfejlesztési irány lehet az összköltségre történő minimalizálás implementálása, amely tehát együttesen veszi figyelembe mind a kockázati többletköltséget, mind pedig a szolgáltatók által adott ajánlati tételeket, ahogy az ezt megvalósító célfüggvény a 7.2.3 alfejezetben már felírásra került. Ennél a fajta megközelítésnél továbbá mód nyílna olyan további súlyozó tényezők bevezetésére is az összköltséget minimalizáló célfüggvényben, amelyek segítségével a megbízó szabadon változtathatná a kockázati többletköltség és az ajánlati tételek jelentőségének egymáshoz viszonyított arányát.

A továbbfejlesztésre az előbbiek mellett még számos más lehetőség is kínálkozik, melyek közül a legígéretesebbek a következők lehetnek:

- a beszállítók által végzett termelési tevékenységek bevonása az eljárás hatókörébe,
- annak alapos vizsgálata, hogy az eljárás széleskörű alkalmazása egy adott hálózat teljes vetületén az egyes megbízók költségmegtakarítása mellett mennyivel járulhat hozzá az egész rendszer hatékonyságának növekedéséhez,
- annak vizsgálata, hogy van-e lehetőség a kockázati modellben a páros összehasonlítások elvégzésének részleges automatizálására (adott esetben a nagy adat elemzés, valamint a mesterséges intelligencia korszerű eszközeinek felhasználásával),
- egy a kialakított eljárásra épülő, általánosan használható szoftveres alkalmazás kialakítása, amely a létező logisztikai platformok széles köréhez illeszthető,
- a kockázati modell esetleges továbbfejlesztési, illetve finomítási lehetőségeinek részletes vizsgálata, különös tekintettel az új technológiák (elsősorban a nagyfokú automatizálás) jelentette változásokra is.

## 9. Az értekezés tézisei

**I. Tézis: Megvizsgáltam a korszerű logisztikai hálózatok kockázatkezeléséhez kapcsolódó szakirodalmakat a szisztematikus irodalomkutatás módszerével. Ezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a szakirodalom az általam vizsgálandó területtel csak részben, vagy korlátozottan foglalkozik. Így a kutatás területe releváns, azaz ilyen formában nem vizsgálták. Ez új eredmény, hiszen ennek a területnek a szakirodalomkutatását sem végezték el és így a kapott eredmények alapján tudtam alapvetően új szakmai kutatási irányokat megfogalmazni.** A tézishez kapcsolódóan az alábbi eredményeket értem el [P/1, P/2, P/5, P/7, P/8, P/9, P/14, P/25, P/27]:

I.1. A szakirodalomkutatás módszerével feltérképeztem a hazai és nemzetközi, legújabbi és korábbi szakirodalmakat. A szakirodalomkutatás eredményeként olyan szakirodalmat találtam, amely a későbbi módszer kialakításához segítséget nyújtott.

I.2. A szakirodalom vizsgálata során a korszerű logisztikai hálózatok kockázatkezeléséhez kapcsolódó részletes modellt nem találtam, ami számomra igazolta, hogy szükséges kidolgozni a matematikai modellt, amellyel majd a vizsgálatot folytatni tudom.

I.3. Az ellátási lánccal kapcsolatos irodalomkutatással találkoztam a saját irodalomkutatásom során, de az általam tervezett kutatási terület átfogó szakirodalmi feldolgozásával már nem.

**II. Tézis: Kidolgoztam egy matematikai modellt a korszerű logisztikai hálózatok folyamatközpontú leírásának megvalósításához.** A tézishez kapcsolódóan az alábbi eredményeket értem el [P/1, P/2, P/5, P/7, P/8, P/9, P/11, P/12, P/14, P/15, P/16, P/18, P/20, P/21]:

II.1. Háromdimenziós mátrixok segítségével általános esetre felírtam a logisztikai hálózat szolgáltatókra és folyamatokra kiterjedő paraméterrendszerét, valamint az utóbbiak egymáshoz rendelésének alapvető peremfeltételeit.

II.2. A folyamatképességi mutatók használatával sztochasztikusan változó paraméterek esetére is felírtam az előzőleg bevezetett általános paraméterrendszert, valamint erre az esetre is meghatároztam a szolgáltatók folyamatokhoz történő allokációjának peremfeltételeit.

II.3. Meghatároztam az egyes kockázati tényezők pontos jelentését, az ezek kifejezésére szolgáló logisztikai változókat, valamint a kockázati tényezők elsődleges előfordulási vetületeit.

II.4. A meghatározásra került logisztikai változók és a folyamatképességi mutatók használatával megadtam a kockázati tényezők pontos számszerűsítésének módját.

**III. Tézis: A bevezetett kockázati tényezők felhasználásával kidolgoztam egy multikritériumos döntési modellt és egy eköré épülő kockázatkezelési eljárást, amelyek együttesen lehetővé teszik egy adott hálózaton belül a szolgáltatók és a logisztikai folyamatok kockázati szempontból nézve optimális módon történő egymáshoz rendelését.** A tézishez kapcsolódóan az alábbi eredményeket értem el [P/2, P/7, P14, P/19, P/20, P/21, P/23, P/25]:

III.1. Az AHP módszerre épülően kidolgoztam egy a kockázati tényezők súlyozott rangsorolására általánosan alkalmazható multikritériumos döntési modellt, valamint megadtam az ennek használatához kapcsolódó legfontosabb szempontokat.

III.2. Meghatároztam a szolgáltatók és a folyamatok kockázati szempontból nézve optimális egymáshoz rendelését biztosító célfüggvényt, felhasználva a kialakított kockázati modell segítségével kapott súlyozó tényezőket.

III.3. Meghatároztam egy információmegosztási modellt, valamint az ennek alapját képező adatmodellt, amelyek együttesen keretrendszert biztosítanak az eljárás alkalmazásához szükséges információk megfelelő módon történő gyűjtéséhez és kezeléséhez.

# 10. Összefoglalás

A disszertációmban egy napjainkban egyre jelentősebbnek számító problémával, a logisztikai hálózatok kockázatkezelési szempontból történő elemzésével és optimalizálásával foglalkoztam. Ez a kérdéskör többek között azért is válik egyre hangsúlyosabbá, mert a digitalizáció rohamos előretörésével párhuzamosan a logisztikai hálózatok működését is egyre inkább az információk megosztására épülő együttműködés határozza meg, ami magától értetődően előtérbe helyezi a hálózatban résztvevő elemek megbízhatóságának a kérdését. Ezzel összhangban az általam végzett kutatás fő célja az volt, hogy kidolgozásra kerüljön egy olyan, a korszerű logisztikai hálózatok széles körében alkalmazható döntéstámogató eljárás, amely hatékony segítséget jelenthet a logisztikai szolgáltatások kockázati szempontból nézve optimális módon történő megválasztásához.

A kutatás megalapozása céljából elsőként elvégeztem a vonatkozó szakirodalom átfogó és szisztematikus feltárását. Ennek eredményeként megállapítottam, hogy bár a probléma egyes részterületeivel - főleg az utóbbi évtizedben - már számtalan publikáció foglalkozott, ugyanakkor az általánosan is használható, egyúttal pedig a logisztikai kockázatokat is részletesen figyelembe vevő kvantitatív modellekre jelenleg még szinte egyáltalán nem találni példát. Az irodalmi feltárás egyúttal azt is megmutatta, hogy az általam kidolgozni kívánt eljárás az alkalmazandó matematikai modell, továbbá annak egyedi módon történő felhasználása révén egy újszerű megközelítést képvisel a szóban forgó területen.

A kutatás során részletesen kidolgoztam a már említett matematikai modellt. Ebben háromdimenziós mátrixokat használva létrehoztam a szolgáltató-folyamat relációk teljes körű reprezentációját, majd felhasználva a minőségbiztosításban használt folyamatképességi megközelítést, megteremtettem a sztochasztikusan ingadozó logisztikai folyamatok leírásának lehetőségét. Ezután azonosítottam és definiáltam a logisztikai szempontból meghatározó kockázati tényezőket, majd megadtam azok pontos számszerűsítésének módját.

A matematikai modell célfüggvényének kialakításához megalkottam egy AHP (Analytic Hierarchy process, magyarul Analitikus Hierarchia Eljárás) módszerre épülő részletes kockázati modellt. Az ennek segítségével kapott prioritásvektort a célfüggvényben a kockázati tényezők súlyozásához használtam fel, ami lehetővé teszi az eljárás széles körben történő alkalmazását, mivel a döntési modell mátrixait a megbízó a saját megítélése szerint parametrizálhatja az adott probléma függvényében.

Ezek után bevezettem magát a célfüggvényt, amely egy kumulált folyamatképességi mutató maximálásán keresztül minimalizálja a kiválasztásra kerülő szolgáltató-folyamat relációkhoz tartozó kockázatokat, valamint az ezekkel együtt járó kockázati többletköltséget. Mivel a célfüggvény és a hozzá tartozó peremfeltételek is lineárisak, így ezzel lehetővé tettem a probléma lineáris programozási feladatként történő megoldását. Továbbá szintén megalkottam az eljárás használatához szükséges adatmodellt, valamint az erre épülő információmegosztási modellt, amelyek együttesen meghatározzák a hálózatból gyűjtendő információk körét és azok felhasználásának módját. Ezt kiegészítendően megvizsgáltam a RAMI 4.0 koncepció felhasználásának lehetőségét is a javasolt információmegosztási modell megvalósításához. A disszertáció végén mindemellett bemutattam a kutatás folytatásának jövőbeni lehetséges irányait, azaz a kialakított eljárás továbbfejlesztési lehetőségeit.

Lényeges még megemlíteni, hogy a teljes eljárás működését bemutattam egy a disszertáció mellékletében található alkalmazási példán keresztül is, amelyben a módszert egy a gyakorlat szempontjából nagyon lényeges esetre, konkrétan a beszállítást végző szállítóvállalatok kiválasztására alkalmaztam. A példát kifejezetten úgy alkottam meg, hogy az nagyban segítse az olvasót a módszer megértésében. Ezzel összhangban a szükséges számításokat a kidolgozott eljárásnak megfelelően vezettem végig a megoldandó feladat minden egyes fázisában (a konkrétan a kockázati modellhez köthető számításokat az ismertetett hatvány módszer segítségével, továbbá a validáció és az érzékenységi vizsgálat céljából egy PriEsT elnevésű, szabad hozzáférésű AHP szoftver alkalmazásával végeztem el). A számítások alapján kapott végeredmény megerősítette azt a feltételezést, hogy a javasolt eljárás alkalmazása már egészen alacsonynak számító fajlagos logisztikai hibaköltséggel számolva is indokolt lehet.

## 11. Summary

The aim of my research was to analyze the problem of risk management in logistics networks and to provide a generally applicable method for risk-based optimization in these systems. In order to achieve this goal, I first conducted a systematic review of the related literature in order to explore the current status of the field. Then, based on the conclusions drawn from the previous review, I developed a process-oriented mathematical model that can be generally applied for the description of modern logistics networks. In accordance with the mathematical model, I also developed a detailed risk model with the use of the Analytic Hierarchy Process method. Finally, through the application of the previous models and the formation of an information-sharing concept, I developed a novel risk management method which enables the optimal selection of logistics services from a risk point of view.

Besides the previous, I also analyzed the possibility of using the RAMI 4.0 framework for implementing the information-sharing concept. Furthermore, in the appendix I also provided an example for the application of the developed risk management method (in the example, the power method and – for the purpose of validation and sensitivity analysis – the PriEsT open-source AHP software were used for the calculations related to the AHP-based risk model).

The new scientific results of the research can be presented as follows:

**Thesis I: I analyzed the literature related to the risk management of modern logistics networks by implementing a systematic literature review. Based on that, I came to the conclusion that the literature only partially deals with the topic, or only in a limited way. Therefore the area of the research is relevant, as it has not yet been analyzed in this way. This is a new result, as the related literature itself has not yet been surveyed in this manner, so I was able to define novel research directions based on the conclusions of the literature review.** In relation with the thesis, I achieved the following results [P/1, P/2, P/5, P/7, P/8, P/9, P/14, P/25, P/27]:

I.1. Through the systematic literature review, I surveyed both the newest and the prior Hungarian and international literature. As a result of the review, I found such literature which proved to be useful for the development of the subsequent method.

I.2. Through the review of the literature, I didn't find a sufficiently detailed model for the risk management of modern logistics networks, which proved for me that it is necessary to develop the mathematical model in order to realize the planned research.

I.3. During my own survey of the literature, I found literature reviews related to supply chains, but I didn't found a comprehensive literature review of the planned research area.

**Thesis II: I developed a mathematical model for the process-oriented description of modern logistics networks.** In relation with the thesis, I achieved the following results [P/1, P/2, P/5, P/7, P/8, P/9, P/11, P/12, P/14, P/15, P/16, P/18, P/20, P/21]:

II.1. With the utilization of three-dimensional matrices, I introduced the parameter system of the logistics network that incorporates both the processes and the service providers, moreover the fundamental boundary conditions related to the mutual assignement of the previous two groups to each other.

II.2. With the utilization of process capability indices, I also implemented the previously introduced parameter system for the stochastic case, moreover I defined the boundary conditions for the allocation of the service providers to the logistics processes in this case as well.

II.3. I defined the precise meaning of the individual risk factors, together with their related logistics variables and their primary areas of significance.

II.4. Using the process capability indices and the defined logistics variables, I determined the methods for the quantification of each risk factor.

**Thesis III: With the utilization of the introduced risk factors, I developed a multi criteria decision model and a related risk management method, which together make possible the risk-based optimization of the mutual assignement of the service providers and the logistics processes to each other.** In relation with the thesis, I achieved the following results [P/2, P/7, P14, P/19, P/20, P/21, P/23, P/25]:

III.1. By using the AHP method, I developed a multi criteria decision model which can be generally applied to derive the weighted order of significance of the risk factors, moreover I gave the guidelines for the utilization of the developed model.

III.2. With the application of weight parameters derived through the risk model, I determined the goal function which facilitates the risk-based optimization of the mutual assignement of the service providers and the logistics processes to each other.

III.3. I developed an information sharing model and a related data model, which together provide a framework for the collection and handling of the necessary information used in the proposed risk management method.

## 12. Jelölésrendszer

$\sigma$: a folyamatban vizsgált paraméterre jellemző szórás

$\mu$: a gyártási folyamatban a minőségi jellemző várható értéke

$T$: a folyamatban vizsgált paraméter megengedett tűrési tartománya

$USL$: a $T$ tartomány felső határa

$LSL$: a $T$ tartomány alsó határa

$c_p$: folyamat teljesítőképesség

$c_{pk}$: kritikus folyamat teljesítőképesség

DPMO: „Defects Per Million Opportunities", azaz az egymillió lehetséges esetből a hibák tényleges előfordulásának száma

$c_{po}$: a várható értéktől jobbra eső tartományra értelmezett folyamat teljesítőképesség

$c_{pu}$: a várható értéktől balra eső tartományra értelmezett folyamat teljesítőképesség

A: a döntési mátrix formális jelölése

$w_i/w_j$: az $i$-edik elem $j$-edik elemhez viszonyított súlyának formális jelölése

$n$: a legnagyobb sajátérték formális jelölése

w: a legnagyobb sajátértékhez tartozó sajátvektor formális jelölése

$\lambda_{max}$: a megtalált legnagyobb sajátérték

$CI$: konzisztencia index

$CR$: konzisztencia arányszám

$LK$: logisztikai központok

$B$: beszállítók

$SZV$: szállító vállalatok

$U$: az újrahasznosítást végző vállalat telephelye

$TSZV$: termelő/szolgáltató vállalat

$V$: a termelő/szolgáltató vállalatok végfelhasználói

$LSZ_i$: $i$-edik logisztikai szolgáltató

$F_j$: $j$-edik logisztikai folyamat

$L$: az ($LSZ_i$,$F_j$) elempárokat tartalmazó véges halmaz

$p_{ij}$: az $i$-edik szolgáltató $j$-edik folyamatára jellemző $r$ darab $p(i,j,k)$ paraméter értéket tartalmazó paraméter-vektor

P: az összes $p_{ij}$ paraméter-vektort tartalmazó képhalmaz és az azt reprezentáló mátrix

$pa(i,j,k)$: az $i$-edik szolgáltató $j$-edik folyamatának $k$-adik paraméter típusára megengedett alsó érték

$pf(i,j,k)$: az $i$-edik szolgáltató $j$-edik folyamatának $k$-adik paraméter típusára megengedett felső érték

$pv(i,j,k)$: az $i$-edik szolgáltató $j$-edik folyamatának $k$-adik paraméter típusára jellemző azon érték, amelyet az $i$-edik szolgáltató képes megvalósítani

PA: az összes $pa(i,j,k)$ értéket tartalmazó alsó-határérték mátrix

PF: az összes $pf(i,j,k)$ értéket tartalmazó felső-határérték mátrix

PV: az összes $pv(i,j,k)$ értéket tartalmazó megvalósíthatósági mátrix

X: hozzárendelési mátrix

PM: megoldás mátrix

$\mu(i,j,k)$: az $i$-edik szolgáltató $j$-edik folyamatának $k$-adik sztochasztikus paraméter típusára jellemző várható érték

$P_{st}$: az összes $\mu(i,j,k)$ értéket tartalmazó várható érték mátrix

$\sigma(i,j,k)$: az $i$-edik szolgáltató $j$-edik folyamatának $k$-adik sztochasztikus paraméter típusára jellemző szórás

$P\sigma_{st}$: az összes $\sigma(i,j,k)$ értéket tartalmazó várható érték mátrix

$PA_{st}$: az összes $LSL(i,j,k)$ értéket tartalmazó sztochasztikus alsó-határérték mátrix

$PF_{st}$: az összes $USL(i,j,k)$ értéket tartalmazó sztochasztikus felső-határérték mátrix

$PT_{st}$: a $PF_{st}$ és $PA_{st}$ mátrixok különbségéből képezett sztochasztikus tűrési mátrix

$PV_{st}$: az összes $c_p(i,j,k)$ értéket tartalmazó sztochasztikus megvalósíthatósági mátrix

$PA_{stk}$: az összes $c_{pu}(i,j,k)$ értéket tartalmazó kritikus alsó-határérték mátrix

$PF_{stk}$: az összes $c_{po}(i,j,k)$ értéket tartalmazó kritikus felső-határérték mátrix

$PV_{stk}$: az összes $c_{pk}(i,j,k)$ értéket tartalmazó kritikus megvalósíthatósági mátrix

$X_{stk}$: kritikus hozzárendelési mátrix

$PM_{stk}$: kritikus megoldás mátrix

RF1…RF8: a kockázati tényezők jelölése a kockázati modellben

$m^h(i,j,2)$: egy adott szállítmányra nézve a helytelenül kiszállított árumennyiség

$m(i,j,2)$: egy adott szállítmány esetén az összes kiszállított árumennyiség

$M^h(i,j,2)$: a teljes vizsgált időszakra nézve a helytelenül kiszállításra kerülhető árumennyiség megengedett felső határa

$M(i,j,2)$: az adott időszak alatt kiszállításra kerülő összes árumennyiség

$M^t(i,j,3)$: a vizsgált intervallum alatt törölt szállítási mennyiség megengedett felső határa

$M^f(i,j,3)$: a vizsgált intervallum alatt felvállalt összes szállítási mennyiség

$m^t(i,j,3)$: az adott szállítmányon belül törölt szállítási mennyiség

$m^n(i,j,3)$: az adott szállítmányon belül felvállalt névleges szállítási mennyiség

$M^e(i,j,4)$: a vizsgált intervallum alatt elveszettnek nyilvánítható összes árumennyiség megengedett felső határa

$M^f(i,j,4)$: a vizsgált intervallum alatt felvállalt összes szállítási mennyiség

$m^e(i,j,4)$: az egy adott szállítmányból a szállítás során elveszett árumennyiség

$m^f(i,j,4)$: az egy adott szállítmányhoz tartozó névleges szállítási mennyiség

$M^h(i,j,6)$: a vizsgált intervallum alatt hibás csomagolással leszállítható összes árumennyiség megengedett felső határa

$M(i,j,6)$: a vizsgált intervallum alatt kiszállításra kerülő összes árumennyiség

$m^h(i,j,6)$: az egy adott szállítmányon belül hibás csomagolással leszállított árumennyiség

$m(i,j,6)$: az egy adott szállítmányon belül a teljes árumennyiség

$M^{mf}(i,j,7)$: a vizsgált intervallum alatt az összesített mennyiségi eltérésre megengedett felső határ

$M^{ma}(i,j,7)$: a vizsgált intervallum alatt az összesített mennyiségi eltérésre megengedett alsó határ (nulla vagy negatív érték)

$M^f(i,j,7)$: a vizsgált intervallum alatt felvállalt összes szállítási mennyiség

$m^m(i,j,7)$: egy adott szállítmányon belül a mennyiségi eltérés nagysága (lehet pozitív és negatív érték is)

$m^n(i,j,7)$: az egy adott szállítmányhoz tartozó névleges szállítási mennyiség

$M^s(i,j,8)$: a vizsgált intervallum alatt sérülést szenvedő összes árumennyiség megengedett felső határa

$M(i,j,8)$: a vizsgált intervallum alatt le/elszállításra kerülő összes árumennyiség

$m^s(i,j,8)$: egy adott szállítmányon belül a megsérült áru mennyiségének felső határa

$m(i,j,8)$: egy adott szállítmány keretében le/elszállított összes árumennyiség

pr: a kockázati modell segítségével a kockázati tényezőkre megállapított r elemű prioritásvektor

$kc_{pk}$: az eljárásban alkalmazott célfüggvény eredményeként előálló kumulált folyamatképességi mutató

$q_j$: a $j$-edik folyamatban a releváns intervallum alatt kezelendő árumennyiség

$p_j$: a $j$-edik folyamatban kezelendő áru egységének átlagos éréke

$P$: a vizsgált folyamatokban a releváns intervallum alatt várhatóan kezelendő összes árumennyiség összértéke

$D(kc_{pk})$: a $kc_{pk}$ értékéhez tartozó kumulált DPMO érték

$C_k$: összesített kockázati többletköltség

$c_{lh}$: az egységnyi árura jutó várható átlagos logisztikai hibaköltség, azaz a fajlagos logisztikai hibaköltség

$C_{lh}$: a megbízó vállalatnál a releváns múltbéli időszakban felmerült összes logisztikai hibaköltség

$Q_{lh}$: a megbízó vállalatnál a releváns múltbéli időszak alatt bármelyfajta logisztikai hibában érintett összes árumennyiség

$Q$: a logisztikai rendszer vizsgált vetületében az adott időintervallum alatt tervezetten átáramló összes árumennyiség (millió db egységnyi áruban kifejezve)

$c_{pk}^{ij}$: az egyes szolgáltató-folyamat relációkra meghatározott kumulált folyamatképességi mutató

$X_{stk}'$: redukált kritikus hozzárendelési mátrix

$fk_i$: azon folyamatok maximális száma, amelyet az $i$-edik szolgáltató az adott megbízás keretében fel tud vállalni

$ak_i$: azon folyamatok minimális száma, amelyet az $i$-edik szolgáltató az adott megbízás keretében még hajlandó felvállalni

$fq_i$: az *i*-edik szolgáltató által a megbízás keretein belül kezelhető maximális árumennyiség

$aq_i$: az *i*-edik szolgáltató által a megbízás keretein belül kezelhető minimális árumennyiség

$K^i$: az *i*-edik szolgáltató számára megfelelő folyamatkombinációk halmaza

C: a szolgáltatók egyes folyamatokra adott ajánlati tételeit tartalmazó alapköltség mátrix

$C_o$: az alapköltség és a kockázati többletköltség összegéből képezett összes költség

*VLC*: virtuális logisztikai központ

# 13. Irodalomjegyzék

## 13.1 Az értekezés témakörében készült saját publikációk


[P/1] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: Introducing a risk-management concept for holonic manufacturing supply chains, KEY ENGINEERING MATERIALS 581: pp. 547-553. (2014)

[P/2] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: Process-oriented risk assessment in integrated logistics networks: an AHP approach, ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS: THEORY AND PRACTICE 9: pp. 61-72. (2015)

[P/3] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: The aspects of economic and environmental optimization in an E-marketplace integrated virtual transport enterprise, ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS: THEORY AND PRACTICE 5: pp. 47-56. (2011)

[P/4] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: Security problems of the waste logistics in food trade, ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS: THEORY AND PRACTICE 3: pp. 15-20. (2009)

[P/5] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: Presenting a Logistics Oriented Research Project in the Field of E-marketplace Integrated Virtual Enterprises In: Bognár Gabriella, Tóth Tibor (szerk.): Applied Information Science, Engineering and Technology: Selected Topics from the Field of Production Information Engineering and IT for Manufacturing: Theory and Practice. Berlin: Springer-Verlag, 2014. pp. 197-211. (Topics in Intelligent Engineering and Informatics; 7.) (ISBN:978-3-319-01918-5)

[P/6] **Skapinyecz Róbert**, Illés Béla: A Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszékén kialakított Virtuális Logisztikai Laboratórium eszközrendszerének bemutatása, GÉP LXIII.:(4) pp. 15-18. (2012), ISSN 0016-8572

[P/7] **Róbert Skapinyecz,** Béla Illés: Introducing an AHP based process oriented risk assessment approach for the evaluation of extended logistics networks In: Markus Koch, Elke Glistau, Arnhild Gerecke (szerk.): 7th International Doctoral Student Workshop on Logistics. Konferencia helye, ideje: Magdeburg, Németország, 2014.06.24, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2014. pp. 47-53. (ISBN:978-3-944722-09-02)

[P/8] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: Concepts of risk-management in virtual logistics systems In: Michael Schenk, Béla Illés, Norge I Coello Machado, Elke Glistau, Juri Tolujew (szerk.): 6th International Doctoral Students Workshop on Logistics. Konferencia helye, ideje: Magdeburg, Németország, 2013.06.18, Otto von Guericke University Magdeburg, 2013. pp. 55-59. (ISBN:978-3-940961-94-5)

[P/9] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: Quantification of risk parameters in cooperative logistics systems In: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas COMEC 2012: 7. Conferencia Internacional de Ingeniería Mecánica. Konferencia helye, ideje: Villa Clara, Kuba, 2012.11.05-2012.11.08., Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, 2012. Paper III/11. (ISBN:978-959-250-757-9)

[P/10] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: Introduction of the virtual logistics laboratory at the department of materials handling and logistics of the University of Miskolc. In: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas COMEC 2012: 7. Conferencia Internacional de Ingeniería Mecánica. Konferencia helye, ideje: Villa Clara, Kuba, 2012.11.05-2012.11.08., Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, 2012. Paper IV/2. (ISBN:978-959-250-757-9)

[P/11] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: Optimization of E-marketplace integrated virtual enterprises In: Michael Schenk (szerk.): 4th International Doctoral Students Workshop on Logistics. Konferencia helye, ideje: Magdeburg, Németország, 2011.06.28, Otto von Guericke University Magdeburg, 2011. pp. 39-45. (ISBN:978-3-940961-57-0)

[P/12] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: A proposed resource allocation method for transportation electronic marketplaces In: 6th Conferencia Científica International de Ingeniería Mecánica (COMEC '2010). Konferencia helye, ideje: Villa Clara, Kuba, 2010.11.02-2010.11.04. Paper III/10. 8 p. (ISBN:978-959-250-602-2)

[P/13] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: Organizing waste collection in the food trade sector through the use of virtual companies In: Annegret Brandau, Elke Glistau (szerk.) 3. Internationaler Doktoranden-Workshop zur Logistik. Konferencia helye, ideje: Magdeburg, Németország, 2010.06.17, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2010. pp. 31-35. (ISBN:978-3-940961-43-3)

[P/14] **Skapinyecz Róbert**, Illés Béla: Korszerű, több kritériumos kockázatkezelési módszertan alkalmazásának lehetőségei a kiterjesztett logisztikai hálózatokban In: Csibi Vencel-József (szerk.): OGÉT 2014: XXII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó - OGÉT 2014. Konferencia helye, ideje: Nagyszeben, Románia, 2014.04.24-2014.04.27., Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp. 329-332.

[P/15] **Skapinyecz Róbert**, Illés Béla: Kockázati tényezők számszerűsítése a virtuális logisztikai rendszerekben In: Csibi Vencel (szerk.): OGÉT 2012, XX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2012.04.19-2012.04.22., Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp. 406-409.

[P/16] **Skapinyecz Róbert**, Illés Béla: Optimalizálási kérdések a virtuális logisztikai rendszerekben In: Bitay Enikő (szerk.): Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XVII.: Nemzetközi Tudományos Konferencia. 428 p. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2012.03.22-2012.03.23. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület (EME), pp. 307-310. (Műszaki Tudományos Füzetek - FMTÜ; XVII.)

[P/17] **Skapinyecz Róbert**, Illés Béla: Az ipari melléktermékek gyűjtési rendszerének optimális kialakítása In: Bitay Enikő (szerk.): Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka: XVI. Nemzetközi Tudományos Konferencia. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2011.03.24-2011.03.25. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület (EME), pp. 287-290.

[P/18] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: Possibilities of the quantification of risk factors in cooperative logistics systems In: Bikfalvi Péter (szerk.): PhD hallgatók VIII. Nemzetközi Konferenciája/8th International Conference of PhD Students. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2012.08.06-2012.08.10. Miskolc: Miskolci Egyetem, 2012. Paper D/17. 4 p. (ISBN:978-963-661-994-7)

[P/19] **Skapinyecz Róbert**, Illés Béla: E-piactérrel integrált virtuális szállítási vállalat működési koncepciója In: Dr Bikfalvi Péter (szerk.) microCAD 2011, N Section: XXV. International Scientific Conference. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2011.03.31-2011.04.01. Miskolc: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, 2011. pp. 131-136. Material Flow Systems. Logistical Information Technology (ISBN:978-963-661-967-1)

[P/20] **Skapinyecz Róbert**, Illés Béla: Minőségi paraméterek alkalmazása a virtuális logisztikai rendszerek vizsgálatában In: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum (szerk.) XXVI. MicroCAD International Scientific Conference: MicroCAD 2012, Miskolc. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2012.03.29-2012.03.30. Miskolc: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, 2012. Paper J_21. 6 p. (ISBN:978-963-661-773-8)

[P/21] **Skapinyecz Róbert**, Illés Béla: Optimalizálási lehetőségek vizsgálata egy E-piactérrel integrált virtuális szállítási vállalatnál In: Vadászné Bognár Gabriella (szerk.) Doktoranduszok Fóruma: Gépészmérnöki és Informatikai Kar szekciókiadványa. 149 p. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2011.11.08 Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó, pp. 90-95.

[P/22] **Róbert Skapinyecz**, Béla Illés: A proposed logistical system for the collection of industrial byproducts (Gyártási hulladékok gyűjtési logisztikájának általános modellje) In: MANUFACTURE-HU Nemzeti Technológiai Platform "GTENTP08" Szakmai Tanácsadó Testülete (szerk.) Gyártás 2010, Manufacturing 2010: A GTE XX. nemzetközi gyártás konferenciája. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2010.10.20-2010.10.21. Budapest: Gépipari Tudományos Egyesület, 2010. Paper A/3 - 4. (ISBN:978-963-9058-31-6)

[P/23] **Skapinyecz Róbert**, Illés Béla: Az elektronikus piacterek szerepe az együttműködésen alapuló áruszállítás támogatásában In: Bikfalvi Péter (szerk.) MicroCAD 2010, P szekció: XXIV. International Scientific Conference. 168 p. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2010.03.18-2010.03.20. Miskolc: University of Miskolc Innovation and Technology Transfer Centre, 2010. pp. 95-101. Material Flow Systems. Logistical Information Technology (ISBN:978-963-661-920-6)

[P/24] **Skapinyecz Róbert**, Illés Béla: Élelmiszer kereskedelmi hulladékok gyűjtési logisztikájának biztonsága In: Kamondi László (szerk.) Doktoranduszok Fóruma 2009: Gépészmérnöki és Informatikai Kar szekciókiadványa. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2009.11.05. pp. 137-143.

[P/25] **Róbert Skapinyecz,** Béla Illés: Risk assessment in recycling logistics networks using an AHP-model In: Michael Schenk, Susann Arndt, Elke Glistau, Arnhild

Gerecke (szerk.) 9th International Doctoral Students Workshop on Logistics. 104 p. Konferencia helye, ideje: Magdeburg, Németország, 2016.06.22 Magdeburg: Otto von Guericke University Magdeburg, 2016. pp. 53-58. (ISBN:978-3-944722-44-3)

[P/26] Tamás Péter, Illés Béla, Dobos Péter, **Skapinyecz Róbert**: New Challenges for Quality Assurance of Manufacturing Processes in Industry 4.0, SOLID STATE PHENOMENA 261: pp. 481-486., 2017

[P/27] **R. Skapinyecz**, B. Illés: Risk managament in logistics networks: an overview of the field and some novel perspectives, ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS, Vol. 11(1) 2018, (elfogadott cikk, megjelenés alatt)

## 13.2 Áttekintett és felhasznált irodalom

[1] Abramov, D.: Multiple-criteria choice of transportation alternatives in freight transport system for different types of cargo, Proceedings of the 6th International Doctoral Students Workshop on Logistics, Univ. Magdeburg, 2013, pp.81-87, ISBN 978-3-940961-94-5

[2] Alem, Douglas; Clark, Alistair; Moreno, Alfredo: Stochastic network models for logistics planning in disaster relief. European Journal of Operational Research, 2016, 255.1: 187-206.

[3] Badea, A., Prostean, G., Goncalves, G., Allaoui, H.: Assessing risk factors in collaborative supply chain with the analytic hierarchy process (AHP). Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2014, 124, 114-123.

[4] Bányai Tamás: Recycling and networking, ACTA POLYTECHNICA 44:(2) pp. 90-96. (2004)

[5] Bányai, T. (2017): Supply chain optimization of outsourced blending technologies. Journal of Applied Economic Sciences, 12 (4), pp. 960-976.

[6] Bányai, T., Bányai, A. (2017): Modelling of just-in-sequence supply of manufacturing processes. MATEC Web of Conferences, 112, art. no. 06025, . DOI: 10.1051/matecconf/201711206025

[7] Bányai, Tamás; Veres, Péter; Illés, Béla: Heuristic supply chain optimization of networked maintenance companies. Procedia Engineering, 2015, 100: 46-55.

[8] Beamon, Benita M.: Supply chain design and analysis:: Models and methods. International journal of production economics, 1998, 55.3: 281-294.

[9] Bhatnagar, Rohit; S. Viswanathan: "Re-engineering global supply chains: alliances between manufacturing firms and global logistics services providers." International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 30.1 (2000): 13-34.

[10] Bozsik József, Krebsz Anna: Numerikus Módszerek Példatár, Elektronikus Egyetemi Jegyzet, Készült az ELTE IK 2010-es Jegyzettámogatási pályázatára., Példatár és részletes megoldásgyűjtemény (2010), Elérhető: https://www.inf.elte.hu/dstore/document/290/Numerikus_modszerek_peldatar.pdf, Belépés: 2018.01.20

[11] Bruckner, Lívia Kacsukné: Modellek és megoldási algoritmusok logisztikával integrált elektronikus piacterekhez, PhD disszertáció, 2005, Miskolci Egyetem

[12] Chai, Da-sheng; Shen, Jin-sheng; Li, Gen-zhu: Study on Risk of Virtual Logistics Organizations Based on WBS-RBS and AHP Method [J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2006, 3: 006.

[13] Chan, F. T., Chan, H. K., Lau, H. C., & Ip, R. W. (2006). An AHP approach in benchmarking logistics performance of the postal industry. Benchmarking: An International Journal, 13(6), 636-661.

[14] Chan, F. T., Kumar, N., Tiwari, M. K., Lau, H. C. W., & Choy, K. L. (2008). Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach. International Journal of Production Research, 46(14), 3825-3857.

[15] Choi, Tsan-Ming; Chiu, Chun-Hung; Chan, Hing-Kai: Risk management of logistics systems. 2016.

[16] Christopher, Martin; Rutherford, Christine: Creating supply chain resilience through agile six sigma. Critical eye, 2004, 24: 28.

[17] Cselényi, J.: A virtuális vállalatok logisztikájának alapjai, microCAD ’98, Miskolci Egyetem, 1998.

[18] Cselényi József, Illés Béla, Bányainé Tóth Ágota, Bányai Tamás, Kovács László, Mang Béla, Németh János: Logisztikai rendszerek I., Miskolc, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2004.

[19] Cohen, Morris A.; Lee, Hau L.: Strategic analysis of integrated production-distribution systems: Models and methods. Operations research, 1988, 36.2: 216-228.

[20] Dasgupta, Tirthankar: Using the six-sigma metric to measure and improve the performance of a supply chain. Total Quality Management and Business Excellence, 2003, 14.3: 355-366.

[21] Deckmyn, D. (1999), "Transport company dives into fish market", Computerworld, Vol. 33 No. 29, pp. 20-1.

[22] De Rosa, V., Gebhard, M., Hartmann, E., & Wollenweber, J.: Robust sustainable bi-directional logistics network design under uncertainty. International Journal of Production Economics, 2013, 145(1), 184-198.

[23] El-sayed, M.; Afia, N.; El-kharbotly, A.: A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk. Computers & Industrial Engineering, 2010, 58.3: 423-431.

[24] Európai Virtuális Matematikai Laboratórium (Miskolci Egyetem), Alkalmazott lineáris algebra témakör, Hatványmódszer (Von Mises eljárás) segédlete, Elérhető: http://www.uni-miskolc.hu/~matevml/database/downloads/linalg/segedletek/num24.pdf, Belépés: 2018.01.20

[25] Faisal, Mohd Nishat: Prioritization of risks in supply chains. In: Managing Supply Chain Risk and Vulnerability. Springer London, 2009. p. 41-66.

[26] Fleischmann, Moritz, et al.: The impact of product recovery on logistics network design. Production and operations management, 2001, 10.2: 156-173.

[27] Foster, T: "Dot-com retailers give 3PLs their big chance", Logistics Management & Distribution Report, 1999, October, p. 38.

[28] Galántai Aurél, Jeney András: Numerikus módszerek, Miskolc: Miskolci Egyetem, 2017., ISBN: 978 615 5626 21 0

[29] Ganguly, Kunal.: Integration of analytic hierarchy process and Dempster-Shafer theory for supplier performance measurement considering risk. International Journal of Productivity and Performance Management, 2014, 63.1: 85-102.

[30] Ganguly, Kunal K.; Guin, Kalyan K.: A fuzzy AHP approach for inbound supply risk assessment. Benchmarking: An International Journal, 2013, 20.1: 129-146.

[31] Garg, Dinesh; Narahari, Yadati; Viswanadham, Nukala: Design of six sigma supply chains. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2004, 1.1: 38-57.

[32] Gaudenzi, B., Borghesi, A.: Managing risks in the supply chain using the AHP method. The International Journal of Logistics Management, 17(1), 114-136., 2006.

[33] GHADGE, A., DANI, S. and KALAWSKY, R., 2012. Supply chain risk management: present and future scope. The International Journal of Logistics Management, 23 (3), pp.313 - 339.

[34] Ghodsypour, S. H., O'Brien, C.: A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. International journal of production economics, 56, 199-212., 1998.

[35] Gisbert, Stoyan; Takó, Galina. Numerikus módszerek 1. Vol. 1. Typotex Kft, 2002.

[36] Golub, Gene H., Charles F. Van Loan: "matrix computations, 3rd." (1996).

[37] Goh, Mark; Lim, Joseph Ys; Meng, Fanwen: A stochastic model for risk management in global supply chain networks. European Journal of Operational Research, 2007, 182.1: 164-173.

[38] Govindan, Kannan; Chaudhuri, Atanu: Interrelationships of risks faced by third party logistics service providers: A DEMATEL based approach. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2016, 90: 177-195.

[39] Gubán Ákos (szerk.): Logisztika: felvetések, példák, válaszok, Budapest: Saldo Pénzügyi Tanácsadó és Informaitikai Zrt., 2013. 352 p. (Bologna-könyvsorozat (BSc)) (ISBN:978-963-638-452-4)

[40] Handfield, R., Walton, S. V., Sroufe, R., Melnyk, S. A.: Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, 2002, 141(1), 70-87.

[41] Harland, Christine; Brenchley, Richard; Walker, Helen: Risk in supply networks. Journal of Purchasing and Supply management, 2003, 9.2: 51-62.

[42] Harrington, L.H. (2000), “Supply chain execution in the internet era”, Transportation & Distribution, January, pp. 36-40.

[43] Hatefi, S. M.; Jolai, F.: Robust and reliable forward–reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions. Applied Mathematical Modelling, 2014, 38.9: 2630-2647.

[44] Hearnshaw, Edward JS; Wilson, Mark MJ.: A complex network approach to supply chain network theory. International Journal of Operations & Production Management, 2013, 33.4: 442-469.

[45] Hill, S.: "E-tailing: the internet meets SCM", Apparel Industry Magazine, 1999, October, pp. 66-9.

[46] Ho, William: Integrated analytic hierarchy process and its applications–A literature review. European Journal of operational research, 2008, 186.1: 211-228.

[47] Ho, William; Xu, Xiaowei; Dey, Prasanta K.: Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. European Journal of Operational Research, 2010, 202.1: 16-24.

[48] Hui, Yer V., et al.: Designing a fourth-party e-commerce logistics centre: a benefit, cost and risk analysis using AHP and ANP models. International Journal of Internet and Enterprise Management, 2003, 1.1: 53-74.

[49] Huppertz, P.: "Market changes require new supply chain thinking", Transportation & Distribution, 1999, March, pp. 70-4.

[50] Illés Béla: Logisztikai hálózatok fejlesztési kérdései adott régióra vonatkoztatva I., ANYAGMOZGATÁS-CSOMAGOLÁS 53:(1) pp. 2-4. (2008)

[51] Illés Béla: Logisztikai hálózatok fejlesztési kérdései adott régióra vonatkoztatva II., ANYAGMOZGATÁS-CSOMAGOLÁS 53:(2) pp. 2-4. (2008)

[52] Illés B: Virtuális vállalatok és hálózatok alkalmazása a szolgáltatási logisztikai feladatok megoldásában, MLBKT 15. kongresszus: Rohan az idő... Az idő, mint piaci sikertényező az ellátási láncban. Konferencia helye, ideje: Balatonalmádi, Magyarország, 2007.11.14-2007.11.16.pp. 88-94.

[53] Illés B.; Glistau, E.; Machado, N. I. C.: Logistik und Qualitätsmanagement, Miskolc: Budai Nyomdaipari Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., 2007. 195 p. (ISBN:978-963-87738-1-4)

[54] Jayant, A., Gupta, P., Garg, S. K., Khan, M.: TOPSIS-AHP based approach for selection of reverse logistics service provider: a case study of mobile phone industry. Procedia Engineering, 2014, 97, 2147-2156.

[55] Joong-kun Cho, Jay; Ozment, John; Sink, Harry: Logistics capability, logistics outsourcing and firm performance in an e-commerce market. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2008, 38.5: 336-359.

[56] Kahraman, Cengiz; Cebeci, Ufuk; Ulukan, Ziya: Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. Logistics information management, 2003, 16.6: 382-394.

[57] Kang, Keebom; Apte, Uday: Lean Six Sigma implementation for military logistics to improve readiness. NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS AND PUBLIC POLICY, 2007.

[58] Kengpol, Athakorn; Tuammee, Sopida: The development of a decision support framework for a quantitative risk assessment in multimodal green logistics: an empirical study. International Journal of Production Research, 2016, 54.4: 1020-1038.

[59] Khoury, S., Jenab, K., Staub, S., Mode, M.: Logistics managers' views of Six Sigma integration within logistics operations. International Journal of Applied Decision Sciences, 2013, 6(1), 35-49.

[60] Kiss, F.: Analitikus hierarchia eljárás, Módszertani alapok, algoritmus és számpélda, 2009., Elérés: http://www.mangaland.gportal.hu/portal/mangaland/upload/298536_1297360272_01230.pdf, Belépés: 2018.01.20

[61] Knowles, G., Whicker, L., Femat, J. H., & Canales, F. D. C. (2005). A conceptual model for the application of Six Sigma methodologies to supply chain improvement. International Journal of Logistics: Research and Applications, 8(1), 51-65.

[62] Ko, Hyun Jeung; Evans, Gerald W.: A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. Computers & Operations Research, 2007, 34.2: 346-366.

[63] Kopytov, E., & Abramov, D.: Multiple-criteria analysis and choice of transportation alternatives in multimodal freight transport system. Transport and Telecommunication, 2012, 13(2), 148-158.

[64] Kota, L: Hozzárendelési feladatok logisztikai ráfordítás alapján történő optimalizálása hálózatszerűen működő, műszaki felügyeletet és karbantartást ellátó rendszerekben, PhD disszertáció, 2012, Miskolci Egyetem

[65] Kovács György, Illés Béla, Tamás Péter, Bálint Richárd: Conception for establishment of a regional virtual logistics network, COMEC 2010 VI. Conferencia Cientifica Internacional de Ingeniera Mecánica, Villa Clara, Kuba, 2010.11.02-2010.11.04., Santa Clara: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, 2010. pp. 1-6., ISBN:978-959-250-602-2

[66] KPMG TANÁCSADÓ KFT.: Logisztikai outsourcing Magyarországon, Tanulmány 2009.

[67] KPMG CONSULTING KFT.: Logisztikai Outsourcing Magyarországon, Tanulmány 2003.

[68] Kroll, K. (1999), "Delivering an e-Christmas: from infrastructure to trucks, e-commerce support companies get wall street's attention", The Investment Dealers' Digest, December, pp. 1-6.

[69] Larson, Ron; Falvo, David C.: Elementary Linear Algebra. 2009.

[70] Lee, Amy HI.: A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. Expert systems with applications, 2009, 36.2: 2879-2893.

[71] Lee, Hau L.; Billington, Corey.: Material management in decentralized supply chains. Operations research, 1993, 41.5: 835-847.

[72] Lee, Ming-Chang; Chang, To.: Developing a lean design for Six Sigma through supply chain methodology. International Journal of Productivity and Quality Management, 2010, 6.4: 407-434.

[73] Levary, Reuven R.: Using the analytic hierarchy process to rank foreign suppliers based on supply risks. Computers & Industrial Engineering, 2008, 55.2: 535-542.

[74] Mangla, Sachin Kumar; Kumar, Pradeep; Barua, Mukesh Kumar: Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: a case study. Resources, Conservation and Recycling, 2015, 104: 375-390.

[75] Mari, S. I., Lee, Y. H., Memon, M. S., Park, Y. S., Kim, M.: ADAPTIVITY OF COMPLEX NETWORK TOPOLOGIES FOR DESIGNING RESILIENT SUPPLY CHAIN NETWORKS. International Journal of Industrial Engineering, 2015, 22(1).

[76] Melo, M. Teresa; Nickel, Stefan; Saldanha-da-gama, Francisco: Facility location and supply chain management–A review. European journal of operational research, 2009, 196.2: 401-412.

[77] Menon., M. K., McGinnis. M. A., Ackerman K., B., Selection criteria for providers of 3PL services: A exploratory study, Journal of business logistics, Vol. 19, No.1, pp. 121-137,1998.

[78] Nandiraju, Srinivas; Regan, Amelia: Freight transportation electronic marketplaces: A survey of the industry and exploration of important research issues. University of California Transportation Center, 2008.

[79] Narahari, Y.; Viswanadham, Nukala; Bhattacharya, R.: Design of synchronized supply chains: A six sigma tolerancing approach. In: Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA'00. IEEE International Conference on. IEEE, 2000. p. 1151-1156.

[80] Ng, Edith, et al.: Six Sigma approach to reducing fall hazards among cargo handlers working on top of cargo containers: a case study. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, 2005, 1.2: 188-209.

[81] Osorio, Juan C.; Manotas, D. F.; García, J. L.: Multicriteria 3PL Selection with Risk Considerations. Research in Computing Science, 2016, 109: 51-57.

[82] Paksoy, Turan; Pehlivan, Nimet Yapici; Özceylan, Eren: Fuzzy multi-objective optimization of a green supply chain network with risk management that includes environmental hazards. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2012, 18.5: 1120-1151.

[83] Peng, P., Snyder, L. V., Lim, A., Liu, Z.: Reliable logistics networks design with facility disruptions. Transportation Research Part B: Methodological, 2011, 45(8), 1190-1211.

[84] Politis, Sotiris; Klumpp, Matthias; Celebi, Dilay: Analytical hierarchy process in supplier evaluation. In: Proceedings of the 16th International Working Seminar on Production Economics. 2010. p. 411-424.

[85] Prasanna Venkatesan, S.; Kumanan, S.: Supply chain risk prioritisation using a hybrid AHP and PROMETHEE approach. International Journal of Services and Operations Management, 2012, 13.1: 19-41.

[86] Prezenszki József (szerk.): Logisztika I. BME Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest, 2001.

[87] Radivojević, Gordana; Gajović, Vladimir: Supply chain risk modeling by AHP and Fuzzy AHP methods. Journal of Risk Research, 2014, 17.3: 337-352.

[88] Rapcsák, T.: Többszempontú döntési problémák, Egyetemi oktatási segédanyag. Budapesti Corvinus Egyetem Gazdasági Döntések Tanszék, Budapest, 2007., Elérés: http://www.oplab.sztaki.hu/tanszek/download/I_Tobbsz_dont_modsz.pdf, Belépés: 2018.01.20

[89] Razmi, Jafar; Arvan, Meysam; Omidvar, Aschkan: A hybrid AHP-FCM model for backup supplier selection in presence of disruption risk. International Journal of Decision Sciences, Risk and Management, 2014, 5.3: 213-233.

[90] Saaty, T.L.: Fundamentals of Decision Making and Priority Theory. 2nd ed. Pittsburgh, PA: RWS Publications. 2000.

[91] Saaty, T. L.: Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process (Vol. 6). Rws Publications., 2000.

Saaty, T. L.: How to make a decision: the analytic hierarchy process. European journal of operational research, 48(1), 9-26., 1990.

[93] Saaty, T.L., Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, 1988; Revised and published by the author; Original version published by McGraw-Hill, New York, 1980.

[94] Saeed Nooramin, Amir; Reza Ahouei, Vahid; Sayareh, Jafar: A Six Sigma framework for marine container terminals. International Journal of Lean Six Sigma, 2011, 2.3: 241-253.

[95] Sahu, Nitin Kumar; Sahu, Atul Kumar; Sahu, Anoop Kumar: Appraisement and benchmarking of third-party logistic service provider by exploration of risk-based approach. Cogent Business & Management, 2015, 2.1: 1121637.

[96] Scheraga, D. (1999), “Taking stock”, Chain Store Age Executive, Vol. 75 No. 10, pp. 172-4.

[97] Sharma, Mithun J.; Moon, Ilkyeong; Bae, Hyerim: Analytic hierarchy process to assess and optimize distribution network. Applied Mathematics and Computation, 2008, 202.1: 256-265.

[98] Sharma, Satyendra Kumar; Bhat, Anil: Identification and assessment of supply chain risk: development of AHP model for supply chain risk prioritisation. International Journal of Agile Systems and Management, 2012, 5.4: 350-369.

[99] Singh, A. R., Mishra, P. K., Jain, R., Khurana, M. K.: Robust strategies for mitigating operational and disruption risks: a fuzzy AHP approach. International Journal of Multicriteria Decision Making, 2012, 2(1), 1-28.

[100] Sipahi, Seyhan; Timor, Mehpare: The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications. Management Decision, 2010, 48.5: 775-808.

[101] Siraj, Sajid, Leonelli, Renzo C. B., Keane, John A. & Mikhailov, Ludmil (2013). Priest: A Tool to Estimate Priorities from Inconsistent Judgments. In Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on (pp. 44–49). doi:10.1109/SMC.2013.15

[102] Siraj, S., Mikhailov, L. and Keane, J. A. (2015), "PriEsT: an interactive decision support tool to estimate priorities from pairwise comparison judgments". International Transactions in Operational Research. 22: 217–235. doi:10.1111/itor.12054

[103] Sodhi, ManMohan S.; Son, Byung-Gak; Tang, Christopher S.: Researchers' perspectives on supply chain risk management. Production and Operations Management, 2012, 21.1: 1-13.

[104] Sofyalioğlu, Çiğdem; Kartal, Burak.: The selection of global supply chain risk management strategies by using fuzzy analytical hierarchy process–a case from Turkey. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012, 58: 1448-1457.

[105] Soh, SoonHu.: A decision model for evaluating third-party logistics providers using fuzzy analytic hierarchy process. African Journal of Business Management, 2010, 4.3: 339.

[106] Song, Dong-Wook; Yeo, Ki-Tae.: A competitive analysis of Chinese container ports using the analytic hierarchy process. Maritime Economics & Logistics, 2004, 6.1: 34-52.

[107] Swaminathan, Jayashankar M.; Smith, Stephen F.; Sadeh, Norman M.: Modeling supply chain dynamics: A multiagent approach. Decision sciences, 1998, 29.3: 607-632.

[108] Schweichhart Karsten: Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0), An Introduction, Platform Industrie 4.0, Elérés: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference_architectural_model_industrie_4.0_rami_4.0.pdf, Belépés: 2018.01.20

[109] Tamás, P: Vizsgálati módszer elméleti megalapozása és kidolgozása a késztermék raktározási tevékenység kiszervezésére, PhD disszertáció, 2012, Miskolci Egyetem

[110] Tamás Péter, Illés Béla: The concept of a virtual logistics center for a Hungarian Region, JOURNAL OF PRODUCTION ENGINEERING 18:(2) pp. 107-110. (2015)

[111] Tamás Péter, Illés Béla: Gyártórendszerek folyamatfejlesztési lehetőségei a negyedik ipari forradalomban *MŰSZAKI SZEMLE (EMT)* 67: pp. 41-48. (2016)

[112] Tamás Péter, Illés Béla, Dobos Péter: Waste reduction possibilities for manufacturing systems in the industry 4.0 *IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING* 161: pp. 1-8. (2016)

[113] Thomas, Douglas J.; Griffin, Paul M.: Coordinated supply chain management. European journal of operational research, 1996, 94.1: 1-15.

[114] Trappey, C. V., Trappey, A. J. C., Lin, G. Y. P., Liu, C. S., Lee, W. T.: Business and logistics hub integration to facilitate global supply chain linkage. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2007, 221(7), 1221-1233.

[115] Tsiakis, Panagiotis; Shah, Nilay; Pantelides, Constantinos C.: Design of multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2001, 40.16: 3585-3604.

[116] Tuncel, Gonca; Alpan, Gülgün: Risk assessment and management for supply chain networks: A case study. Computers in industry, 2010, 61.3: 250-259.

[117] Vaidya, Omkarprasad S.; Kumar, Sushil: Analytic hierarchy process: An overview of applications. European Journal of operational research, 2006, 169.1: 1-29.

[118] Vidal, Carlos J.; Goetschalckx, Marc: A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation. European Journal of Operational Research, 2001, 129.1: 134-158.

[119] Vijayvargiya, Ankit; Dey, A. K.: An analytical approach for selection of a logistics provider. Management Decision, 2010, 48.3: 403-418.

[120] VDMA: Industrie 4.0 Communication Guideline, Elérés: https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/20743172/Leitfaden_OPC_UA_Englisch_1506415735965.pdf/a2181ec7-a325-44c0-99d2-7332480de281, Belépés: 2018.01.20

[121] Wang et al. (2014) The Measurement Model of Supply Chain Uncertainty and Risk in the Australian Courier Industry [in:] Operations and Supply Chain Management, Vol. 7 (3) pp. 89-96.

[122] Wang, Lei; Huang, Meng-Xing: Research on trust evaluation of supplier based on gray AHP in cloud computing [J]. Application Research of Computers, 2013, 3: 027.

[123] Wang, S. F., Zhang, Y., Mao, H. J., Li, X. H.: Study on Partner Selection of 3PL Suppliers Considering Risk Factors [J]. Logistics Technology, 2008, 2, 016.

[124] Wieland, A., Marcus Wallenburg, C.: Dealing with Supply Chain Risks Linking Risk Management Practices and Strategies to Performance [in:] International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 42(10), 2012, pp. 887-905.

[125] Wu, Teresa; Blackhurst, Jennifer; Chidambaram, Vellayappan: A model for inbound supply risk analysis. Computers in industry, 2006, 57.4: 350-365.

[126] Ziółkowska, Bogusława; Gorzeń-Mitka, Iwona; Sipa, Monika; Skibiński, Andrzej: Some remarks about challenges in supply chain management – value creation, risk management, innovativeness and demography, ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS: THEORY AND PRACTICE, Vol. 10, No. 2 (2016) pp. 27-38.

[127] http://www.six-sigma-material.com/Tables.html, Belépés: 2018.01.20

# 14. Melléklet

## 14.1 A kialakításra került kockázatkezelési eljárás alkalmazásmódjának gyakorlati példán keresztül történő bemutatása

A kialakításra került kockázatkezelési eljárás használata legjobban egy gyakorlati példa bemutatásán keresztül demonstrálható. A gyakorlatban a kockázati modellt a megbízó vállalatoknak célszerű külön-külön az egyes logisztikai folyamattípusok szerint alkalmazni, mivel a logisztikai rendszer különböző vetületeiben eltérő szempontok kerülhetnek előtérbe. Ezen vetületek közül a sorra kerülő példa az egyik legfontosabb területre, a beszállításra fókuszál, azaz a kockázatkezelési eljárást a beszállítási folyamatokat ellátandó logisztikai szolgáltatók – szállító vállalatok – kiválasztási problémájának megoldásán keresztül mutatja be. Természetesen az eljárás ennek analógiájára alkalmazható a többi folyamattípus vonatkozásában is (a példa alapvetően csak a terjedelmi korlátok miatt koncentrál egy területre).

A gyakorlati példa egy a logisztikában kifejezetten gyakran előforduló helyzettel foglalkozik, melyben a következő fő logisztikai szereplők jelennek meg:

A **megbízó** a példában egy magas hozzáadott értékű, tartós fogyasztási cikkeket előállító nagyvállalat, amely a regionális beszállítók (jellemzően KKV-k) egy széles körével áll kapcsolatban, ugyanakkor ezzel párhuzamosan a tengerentúli beszállítók is alapvető szerepet játszanak a vállalat termelési folyamatainak alkatrészekkel történő ellátásában. Az utóbbiak esetében kifejezetten jellemző, hogy a szállítási feladatok logisztikai központok bekapcsolásán keresztül valósulnak meg, különösképpen a kombinált áruszállításhoz kapcsolódó logisztikai műveletek vonatkozásában.

A **szállító vállalatok** egy meghatározó részét olyan elsősorban a közúti fuvarozás terén működő, az adott régión belül található telephellyel rendelkező KKV-k teszik ki, amelyek egyúttal jelen vannak egy főképp regionális szinten jelentős online logisztikai platformon, illetve az ehhez tartozó e-piactéren is. Ezeknek a szállító vállalatoknak meghatározó szerepe van a logisztikai központok, illetve a helyi beszállítók és a megbízó vállalat közötti anyagáramlás megvalósításában.

Az **online logisztikai platform** egy harmadik fél által működtetett, a logisztikai szolgáltatókat és a megbízókat elsősorban egy e-piactéren és az ahhoz tartozó kiegészítő szolgáltatásokon keresztül összekapcsoló virtuális logisztikai centrumként (*VLC*) működik. Az említett szolgáltatások többek között magukba foglalják a teljes körű és valós idejű

árukövetést, a felületen keresztül megvalósítható EDI kapcsolat lehetőségét, járattervezési és egyéb optimalizáló algoritmusok használatát, továbbá egyéb kiegészítő szolgáltatások igénybevételének lehetőségét. Lényeges, hogy ezeken keresztül a KKV méretű szállító vállalatok együttesen olyan integrált szolgáltatásokat képesek biztosítani, amelyekre önerőből általában nem lennének képesek, ez pedig mind a szolgáltatókat, mind a megbízókat ösztönzi a rendszerben való részvételre.

A vázolt logisztikai környezetben a megbízó vállalat 3 beszállítási folyamat lebonyolításához keres logisztikai szolgáltatókat, mely folyamatok a következőképpen jellemezhetőek:

- $F_1$ folyamat: a tengerentúli beszállítótól egy adott logisztikai központon keresztül hetente 3 db „20 lábas” konténer érkezik, konténereként 16 db (fő)alkatrésszel, melyek beszállítását meg kell oldani a logisztikai központ és a vállalat telephelye közötti viszonylaton (egy alkatrész bekerülési ára 420 euro),
- $F_2$ folyamat: az előzőhöz hasonlóan az adott logisztikai központon keresztül, ugyanakkor egy másik tengerentúli beszállítótól hetente 2 db „20 lábas” konténer érkezik, konténereként 112 db. alkatrésszel, melyek beszállítását meg kell oldani a logisztikai központ és a vállalat telephelye közötti viszonylaton (egy alkatrész bekerülési ára 52 euro),
- $F_3$ folyamat: egy helyi beszállítótól hetente 60 raklapos egységrakományt kitevő mennyiségű áru érkezik, egységrakományonként 24 doboznyi alkatrésszel, melyek beszállítását meg kell oldani a beszállító és a vállalat telephelye közötti viszonylaton (egy doboz alkatrész bekerülési ára 35 euro),

A folyamatok ellátására 4 szolgáltató (szállító vállalat) jelentkezett, külön-külön mindegyik folyamat ellátására téve egy-egy ajánlatot. Az alábbi, 14.1.1. táblázat az egyes szolgáltatóknak az egyes folyamatok ellátásra tett árajánlatait foglalja össze, az árakat euro-ban megadva (ez lényegében megfelel a 7.2.3-ban ismertetett C mátrixnak):

| | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|
| $LSZ_1$ | 26200 | 17000 | 15200 |
| $LSZ_2$ | 26400 | 16800 | 15600 |
| $LSZ_3$ | 27000 | 17300 | 15800 |
| $LSZ_4$ | 25800 | 16600 | 14900 |

14.1.1. táblázat: A szolgáltatóknak az egyes folyamatokra adott árajánlatai

### 14.1.1 A szolgáltatókra jellemző folyamatképességi paraméterek meghatározása

Az alábbi, 14.1.1.1. táblázat mutatja a $\mu$ várható értékeket az egyes szolgáltató-folyamat párosítások kockázati tényezőkhöz kapcsolt minőségi paramétereire vonatkozóan, azaz a táblázat a $P_{st}$ mátrixnak felel meg:

| $P_{st}$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|
| $LSZ_1$ | 6,3 [ó] | 6,27 [ó] | 8,33 [ó] |
| | 0,000605 | 0,000605 | 0,000605 |
| | 0,000635 | 0,00065 | 0,00062 |
| | 0,00031 | 0,00031 | 0,000307 |
| | 1,8 [ó] | 1,8 [ó] | 2,58 [ó] |
| | 0,00496 | 0,004945 | 0,004975 |
| | 0,000255 | 0,000285 | 0,00027 |
| | 0,00062 | 0,000635 | 0,000628 |
| $LSZ_2$ | 6,3 [ó] | 6,3 [ó] | 8,33 [ó] |
| | 0,000605 | 0,000605 | 0,000605 |
| | 0,000635 | 0,000635 | 0,000635 |
| | 0,000295 | 0,000295 | 0,00031 |
| | 1,815 [ó] | 1,815 [ó] | 2,595 [ó] |
| | 0,00496 | 0,004975 | 0,00496 |
| | 0,00024 | 0,00027 | 0,000255 |
| | 0,000605 | 0,000605 | 0,00062 |
| $LSZ_3$ | 6,315 [ó] | 6,315 [ó] | 8,345 [ó] |
| | 0,00059 | 0,00062 | 0,00062 |
| | 0,00062 | 0,000635 | 0,00062 |
| | 0,00031 | 0,000325 | 0,000325 |
| | 1,815 [ó] | 1,8 [ó] | 2,595 [ó] |
| | 0,004945 | 0,00493 | 0,004945 |
| | 0,00024 | 0,000225 | 0,00024 |
| | 0,00062 | 0,000605 | 0,00062 |
| $LSZ_4$ | 6,285 [ó] | 6,27 [ó] | 8,3 [ó] |
| | 0,000605 | 0,00062 | 0,00062 |
| | 0,000635 | 0,000635 | 0,00065 |
| | 0,00031 | 0,00031 | 0,00033 |
| | 1,8 [ó] | 1,785 [ó] | 2,565 [ó] |
| | 0,005005 | 0,00499 | 0,00505 |
| | 0,00027 | 0,00027 | 0,000285 |
| | 0,000635 | 0,000635 | 0,000643 |

14.1.1.1. táblázat: A $\mu$ várható értékek az egyes szolgáltató-folyamat párosítások kockázati tényezőkhöz kapcsolt minőségi paramétereire vonatkozóan (azaz a Pst mátrix)

Az alábbi, 14.1.1.2. táblázatban láthatóak a szolgáltatóknak az egyes kockázati tényezőkhöz kapcsolt minőségi paraméterek tekintetében vett szórásai, külön-külön az egyes folyamatok szerint (a táblázat tehát lényegében a $P\sigma_{st}$ mátrixot reprezentálja):

| $P\sigma_{st}$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|
| $LSZ_1$ | 0,2 [ó] | 0,18 [ó] | 0,22 [ó] |
| | 0,00007 | 0,00007 | 0,00007 |
| | 0,00009 | 0,0001 | 0,00008 |
| | 0,00004 | 0,00004 | 0,000038 |
| | 0,2 [ó] | 0,2 [ó] | 0,22 [ó] |
| | 0,00064 | 0,00063 | 0,00065 |
| | 0,00017 | 0,00019 | 0,00018 |
| | 0,00008 | 0,00009 | 0,000085 |
| $LSZ_2$ | 0,2 [ó] | 0,2 [ó] | 0,22 [ó] |
| | 0,00007 | 0,00007 | 0,00007 |
| | 0,00009 | 0,00009 | 0,00009 |
| | 0,00003 | 0,00003 | 0,00004 |
| | 0,21 [ó] | 0,21 [ó] | 0,23 [ó] |
| | 0,00064 | 0,00065 | 0,00064 |
| | 0,00016 | 0,00018 | 0,00017 |
| | 0,00007 | 0,00007 | 0,00008 |
| $LSZ_3$ | 0,21 [ó] | 0,21[ó] | 0,23 [ó] |
| | 0,00006 | 0,00008 | 0,00008 |
| | 0,00008 | 0,00009 | 0,00008 |
| | 0,00004 | 0,00005 | 0,00005 |
| | 0,21 [ó] | 0,2 [ó] | 0,23 [ó] |
| | 0,00063 | 0,00062 | 0,00063 |
| | 0,00016 | 0,00015 | 0,00016 |
| | 0,00008 | 0,00007 | 0,00008 |
| $LSZ_4$ | 0,19 [ó] | 0,18 [ó] | 0,2 [ó] |
| | 0,00007 | 0,00008 | 0,00008 |
| | 0,00009 | 0,00009 | 0,0001 |
| | 0,00004 | 0,00004 | 0,000053 |
| | 0,2 [ó] | 0,19 [ó] | 0,21 [ó] |
| | 0,00067 | 0,00066 | 0,0007 |
| | 0,00018 | 0,00018 | 0,00019 |
| | 0,00009 | 0,00009 | 0,000095 |

14.1.1.2. táblázat: A szolgáltatóknak az egyes folyamatokra jellemző szórásai a kapcsolódó kockázati paramétereknek megfelelő sorrendben (azaz a $P\sigma_{st}$ mátrix)

A szórásértékek kiszámítása a hatodik fejezetben meghatározott bemenő paraméterek (hisztorikus adatok) felhasználásával automatikusan zajlik (mind az adatgyűjtés, mind a számítás az online logisztikai platformon keresztül valósul meg).

A következő, 14.1.1.3. táblázat a megbízónak az egyes folyamatokra a kockázati tényezők sorrendjében megadott tűréseit tartalmazza, amelyeket a megadott alsó és felső határértékekből lehet kiszámítani. Azaz a táblázat tehát a $PF_{st}$ és $PA_{st}$ mátrixok különbségéből képezett eredménymátrixot reprezentálja, amely egyszerűbben $PT_{st}$ mátrixként jelölhető:

| $PT_{st}$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|
| $LSZ_1$ | 2 [ó] | 2 [ó] | 2,5 [ó] |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 |
| | 2 [ó] | 2 [ó] | 2,5 [ó] |
| | 0,008 | 0,008 | 0,008 |
| | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| $LSZ_2$ | 2 [ó] | 2 [ó] | 2,5 [ó] |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 |
| | 2 [ó] | 2 [ó] | 2,5 [ó] |
| | 0,008 | 0,008 | 0,008 |
| | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| $LSZ_3$ | 2 [ó] | 2 [ó] | 2,5 [ó] |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 |
| | 2 [ó] | 2 [ó] | 2,5 [ó] |
| | 0,008 | 0,008 | 0,008 |
| | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| $LSZ_4$ | 2 [ó] | 2 [ó] | 2,5 [ó] |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 |
| | 2 [ó] | 2 [ó] | 2,5 [ó] |
| | 0,008 | 0,008 | 0,008 |
| | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| | 0,001 | 0,001 | 0,001 |

14.1.1.3. táblázat: A megbízóknak az egyes folyamatokra megadott tűrései a kapcsolódó kockázati paramétereknek megfelelő sorrendben (azaz a $PF_{st}$ és $PA_{st}$ mátrixok különbsége)

A táblázatból látható, hogy a megbízó jelen esetben egységesen ugyanolyan minőségi szintet követel meg az összes folyamatra vonatkozóan, kivéve a beszállításra és a kezelésre

megszabott időablakokat, amelyek a harmadik folyamat esetében valamivel szélesebbek, tekintettel a raklapok használatával járó nagyobb időszükségletre.

A szolgáltatóknak az egyes folyamatokhoz tartozó szórásai, a várható értékek, valamint a megbízó által megadott tűrések alapján az (5.3.10) felhasználásával már levezethetőek a $PF_{stk}$ és $PA_{stk}$ mátrixok, amelyek segítségével pedig az (5.3.11) alkalmazásán keresztül megkaphatóak az egyes $c_{pk}(i,j,k)$ értékek. Ez utóbbiakat tartalmazza a folyamat-szolgáltató relációknak megfelelően a következő, 14.1.1.4. táblázat, amely ebből kifolyólag tehát a $PV_{stk}$ mátrixnak felel meg:

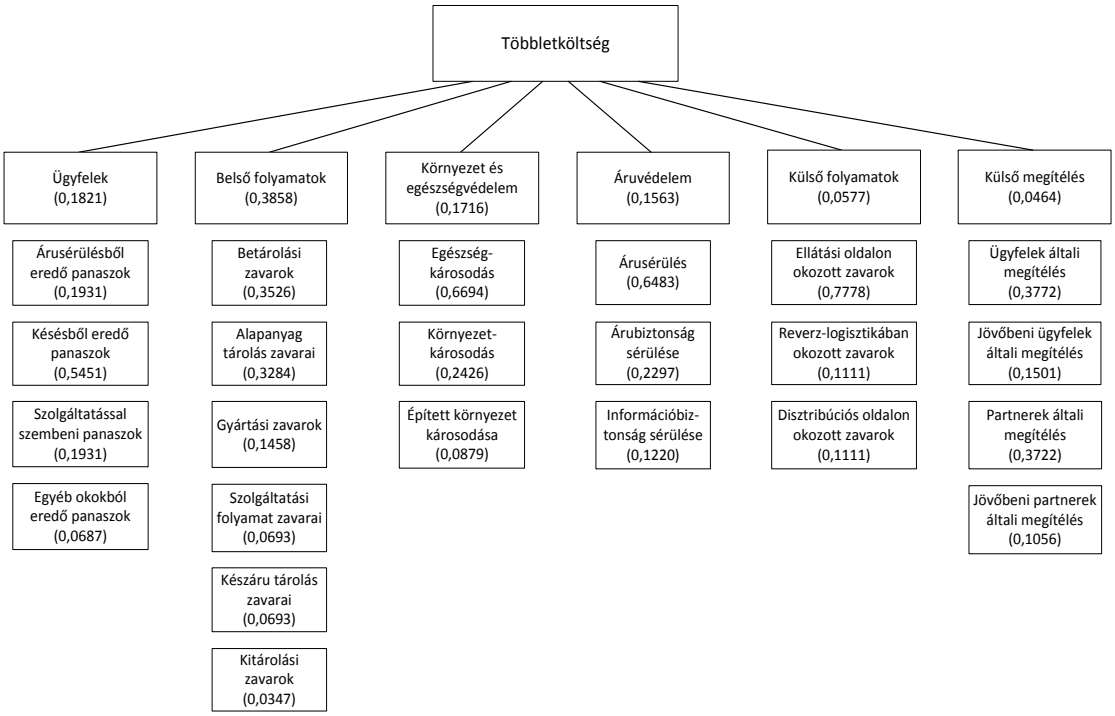
| $PV_{stk}$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|
| $LSZ_1$ | 1,166666667 | 1,351851852 | 1,393939394 |
| | 1,880952381 | 1,880952381 | 1,880952381 |
| | 1,351851852 | 1,166666667 | 1,583333333 |
| | 1,583333333 | 1,583333333 | 1,692982456 |
| | 1,166666667 | 1,166666667 | 1,393939394 |
| | 1,583333333 | 1,616402116 | 1,551282051 |
| | 1,460784314 | 1,254385965 | 1,351851852 |
| | 1,583333333 | 1,351851852 | 1,460784314 |
| $LSZ_2$ | 1,166666667 | 1,166666667 | 1,393939394 |
| | 1,880952381 | 1,880952381 | 1,880952381 |
| | 1,351851852 | 1,351851852 | 1,351851852 |
| | 2,277777778 | 2,277777778 | 1,583333333 |
| | 1,087301587 | 1,087301587 | 1,311594203 |
| | 1,583333333 | 1,551282051 | 1,583333333 |
| | 1,583333333 | 1,351851852 | 1,460784314 |
| | 1,880952381 | 1,880952381 | 1,583333333 |
| $LSZ_3$ | 1,087301587 | 1,087301587 | 1,311594203 |
| | 2,277777778 | 1,583333333 | 1,583333333 |
| | 1,583333333 | 1,351851852 | 1,583333333 |
| | 1,583333333 | 1,166666667 | 1,166666667 |
| | 1,087301587 | 1,166666667 | 1,311594203 |
| | 1,616402116 | 1,650537634 | 1,616402116 |
| | 1,583333333 | 1,722222222 | 1,583333333 |
| | 1,583333333 | 1,880952381 | 1,583333333 |
| $LSZ_4$ | 1,254385965 | 1,351851852 | 1,583333333 |
| | 1,880952381 | 1,583333333 | 1,583333333 |
| | 1,351851852 | 1,351851852 | 1,166666667 |
| | 1,583333333 | 1,583333333 | 1,072327044 |
| | 1,166666667 | 1,254385965 | 1,484126984 |
| | 1,490049751 | 1,52020202 | 1,404761905 |
| | 1,351851852 | 1,351851852 | 1,254385965 |
| | 1,351851852 | 1,351851852 | 1,254385965 |

14.1.1.4. táblázat: A szolgáltatóknak az egyes folyamatokra jellemző $c_{pk}$ értékei a kapcsolódó kockázati paramétereknek megfelelő sorrendben (azaz a $PV_{stk}$ mátrix)

### 14.1.2 A kockázati modell alkalmazása a beszállítási folyamatokra

Az eljárás alkalmazásának következő lépése a kockázati modell implementálása a beszállítás oldalára. Ez lényegében a páros-összehasonlításokra épülő döntési mátrixok kitöltését jelenti, amit alapvetően a megbízó végez el az online logisztikai platform által biztosított felületen. Amennyiben a megbízó saját meglátása szerint nem rendelkezik ehhez kellő tapasztalattal, úgy természetesen igénybe veheti a *VLC* által ehhez biztosított szakmai támogatást is.

A döntési mátrixok felállítása után kerülhet sor a lokális prioritás vektorok kiszámítására. Ez a korábbiakban már említett hatványmódszerrel történik, amelynek alkalmazása a valódi rendszerben természetesen szintén automatikusan zajlik. A példához a döntési modellnek megfelelően harminc döntési mátrix kiszámítására volt szükség, ami a szemléltetés és a követhetőség céljából manuálisan (excel függvények használatával) történt, feltüntetve az egyes iterációs lépéseket is. A teljes számítás feltüntetése ugyanakkor irreálisan nagy terjedelmet igényelne, ezért csak néhány fontosabb döntési mátrix számításának bemutatására kerül sor a 14.3.-14.5. mellékletekben (a számítás minden esetben legalább $|| \lambda_{n+1} | - | \lambda_n || \leq$ 0,001 eléréséig tartott, a v lokális prioritás vektorok mindig az utolsó lépésnél kerültek meghatározásra a *CR*-el együtt). A következő ábra a számítások eredményeként a döntési hierarchia kritériumaira kapott (lokális) prioritásokat mutatja meg:




14.1.2.1. ábra: A megbízó által a beszállítási problémára alkalmazott kockázati modell a páros összehasonlítások elvégzésével kapott lokális prioritásokkal

Mivel a beszállítás közvetlen hatással van a megbízó vállalat termelési folyamataira, ezért a döntési modellben érthető módon a belső folyamatok főkritérium kapta a legnagyobb súlyt, ugyanakkor láthatóan számos egyéb fő és alkritériumnak is kiemelkedő jelentősége van.

A soron következő 14.1.2.1. táblázat bemutatja a döntési kritériumok súlyozása mellett a kockázati tényezők minden egyes alkritérium szerint elvégzett páros összehasonlításainak eredményeit, azaz a kockázati tényezőkre ezúton kapott lokális prioritásvektorokat is. Utóbbiaknak az előbbi súlyozó tényezőkkel (pontosabban az egyes fő-és alkritériumokhoz tartozó lokális prioritásokkal) képezett szorzatösszege adja ki a kockázati tényezők globális prioritás vektorát, azaz a kockázati modellből származó végeredményt:

| **Többletköltség** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **Végeredmény (*pr* vektor)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ügyfelek** 0,1821 | | | | **Belső folyamatok** 0,3858 | | | | | | **Környezet és egészség-védelem** 0,1716 | | | **Áruvédelem** 0,1563 | | | **Külső folyamatok** 0,0577 | | | **Külső megítélés** 0,0464 | | | | |
| **Á. p.** 0,1931 | **K. p.** 0,5451 | **Sz. p.** 0,1931 | **E. p.** 0,0687 | **B. z.** 0,3526 | **A. z.** 0,3284 | **Gy. z.** 0,1458 | **Sz. z.** 0,0693 | **Ké. z.** 0,0693 | **Ki. z.** 0,0347 | **E. k.** 0,6694 | **K. k.** 0,2426 | **É. k.** 0,0879 | **Á. s.** 0,6483 | **Áb. s.** 0,2297 | **Ib. s.** 0,1220 | **E. z.** 0,7778 | **R. z.** 0,1111 | **D. z.** 0,1111 | **Ü. m.** 0,3772 | **J.ü.m.** 0,1501 | **P. m.** 0,3722 | **J.p.m.** 0,1056 | |
| 0,1022 | 0,1733 | 0,0468 | 0,0572 | 0,1814 | 0,0488 | 0,0517 | 0,0372 | 0,0454 | 0,0625 | 0,0317 | 0,0304 | 0,0495 | 0,0355 | 0,0382 | 0,0928 | 0,1329 | 0,0344 | 0,0612 | 0,0929 | 0,0573 | 0,2734 | 0,2242 | **0,0868** |
| 0,0534 | 0,1649 | 0,0856 | 0,2350 | 0,1814 | 0,0929 | 0,1061 | 0,0927 | 0,1022 | 0,1250 | 0,0512 | 0,0490 | 0,1419 | 0,0822 | 0,1058 | 0,0889 | 0,1844 | 0,1190 | 0,1160 | 0,0985 | 0,1615 | 0,0530 | 0,0645 | **0,1112** |
| 0,0534 | 0,1649 | 0,0856 | 0,0678 | 0,1814 | 0,0911 | 0,2373 | 0,1331 | 0,1022 | 0,1250 | 0,0512 | 0,0490 | 0,0495 | 0,0355 | 0,0365 | 0,0291 | 0,1544 | 0,0236 | 0,1160 | 0,0918 | 0,1615 | 0,2734 | 0,0921 | **0,1095** |
| 0,0534 | 0,1649 | 0,0856 | 0,2350 | 0,1814 | 0,0929 | 0,2373 | 0,1331 | 0,1022 | 0,1250 | 0,1803 | 0,2376 | 0,1419 | 0,0822 | 0,4421 | 0,4077 | 0,2772 | 0,1418 | 0,3180 | 0,2549 | 0,2544 | 0,1042 | 0,2242 | **0,1712** |
| 0,1022 | 0,0909 | 0,0468 | 0,0572 | 0,0786 | 0,0488 | 0,0423 | 0,0372 | 0,0454 | 0,0625 | 0,0317 | 0,0304 | 0,0495 | 0,0355 | 0,1058 | 0,1878 | 0,0855 | 0,0344 | 0,0396 | 0,0455 | 0,0547 | 0,0312 | 0,0349 | **0,0601** |
| 0,1092 | 0,0676 | 0,1595 | 0,1401 | 0,0705 | 0,0929 | 0,0768 | 0,1090 | 0,1656 | 0,1250 | 0,1803 | 0,2376 | 0,2591 | 0,1958 | 0,1058 | 0,0894 | 0,0448 | 0,1954 | 0,1094 | 0,1098 | 0,0626 | 0,0524 | 0,0539 | **0,1199** |
| 0,1022 | 0,0825 | 0,1595 | 0,1401 | 0,0550 | 0,0929 | 0,0850 | 0,1090 | 0,1656 | 0,1250 | 0,0832 | 0,0836 | 0,0495 | 0,0408 | 0,1058 | 0,0479 | 0,0578 | 0,1788 | 0,1160 | 0,0517 | 0,0864 | 0,0701 | 0,0821 | **0,0824** |
| 0,4240 | 0,0909 | 0,3306 | 0,0678 | 0,0705 | 0,4395 | 0,1634 | 0,3486 | 0,2713 | 0,2500 | 0,3904 | 0,2825 | 0,2591 | 0,4924 | 0,0599 | 0,0564 | 0,0631 | 0,2724 | 0,1237 | 0,2549 | 0,1615 | 0,1423 | 0,2242 | **0,2589** |

14.1.2.1. táblázat: A kockázati modell alkalmazásán keresztül a kockázati tényezők egymáshoz viszonyított jelentőségére kapott eredmény (a prioritás vektor a jobb szélen látható)

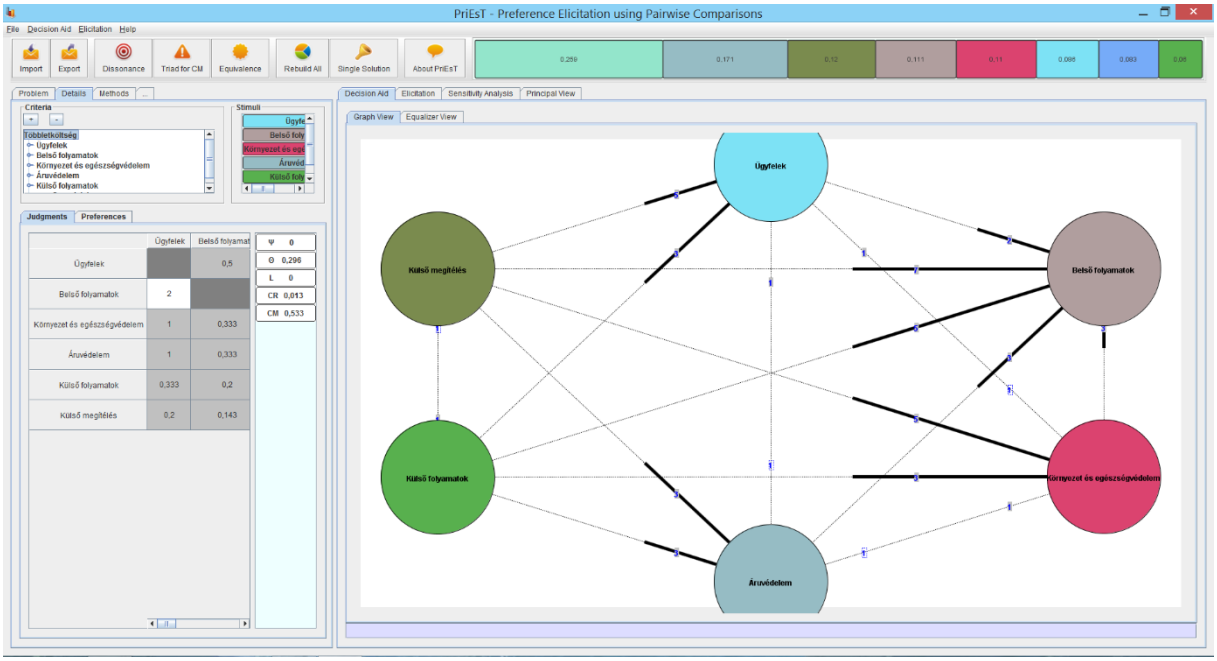
A kockázati modell alkalmazásával kapott pr prioritás vektor tehát a következő:

$$pr = \begin{bmatrix} 0,0868 & 0,1112 & 0.1095 & 0.1712 & 0.0601 & 0.1199 & 0.0824 & 0,2589 \end{bmatrix} \qquad (14.1.2.1)$$

Annak érdekében, hogy a manuálisan elvégzett számítások validálhatóak legyenek, maga a döntési modell a példához felhasznált adatokkal egy AHP-t alkalmazó célszoftverben is implementálásra került. Ez a szoftver a PriEsT nevet viseli (a „Priority Estimation Tool” rövidítése, ami magyarul „Prioritás Meghatározó Eszköz”-ként fordítható) és egyike az

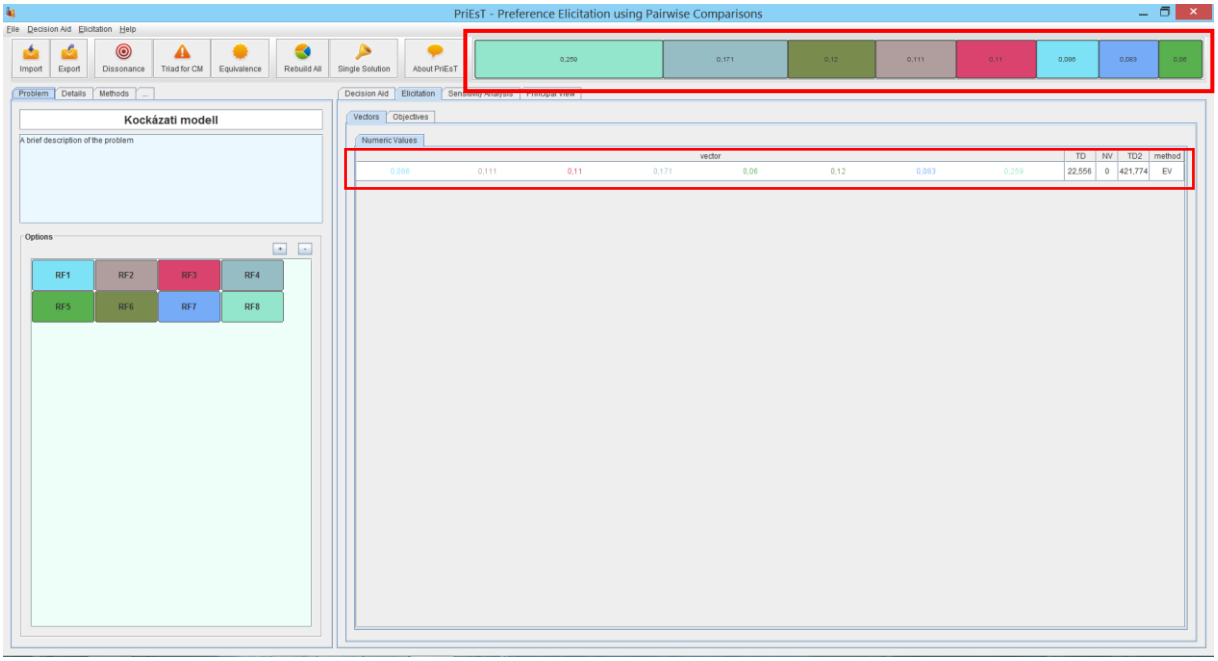
elterjedtebben használt AHP alkalmazásoknak. Ez egy nyílt forráskódú, szabadon hozzáférhető program, amelyet a 2010-es években fejlesztett ki egy a Sajid Siraj nevével fémjelzett kutatócsoport kifejezetten azzal a céllal, hogy a kutatói közösség számára létrehozzanak egy a szokásosnál részletesebb elemzéseket lehetővé tevő AHP szoftvert [102] [101]. Ezzel összhangban az alkalmazás nem csak az AHP modell létrehozását és kiszámítását teszi lehetővé, de többek között a segítségével végezhető többféle érzékenységi vizsgálat is a döntési modell bármely tetszőleges elemére (vagy akár elemeire) nézve [102] [101].

A szoftverben tehát először létrehozásra került az AHP modell a manuális számításoknál alkalmazott paraméterekkel, majd megtörtént az összes lokális prioritás és ezekre épülően a prioritás vektor meghatározása. Az alábbi, 14.1.2.2. ábrán a döntési hierarchia szoftveres implementációjának második szintje látható, melyben a főkritériumok egymáshoz képesti viszonyát egy súlyozott gráf reprezentálja:




14.1.2.2. ábra: A döntési hierarchia második szintje a PriEsT szoftverben ábrázolva

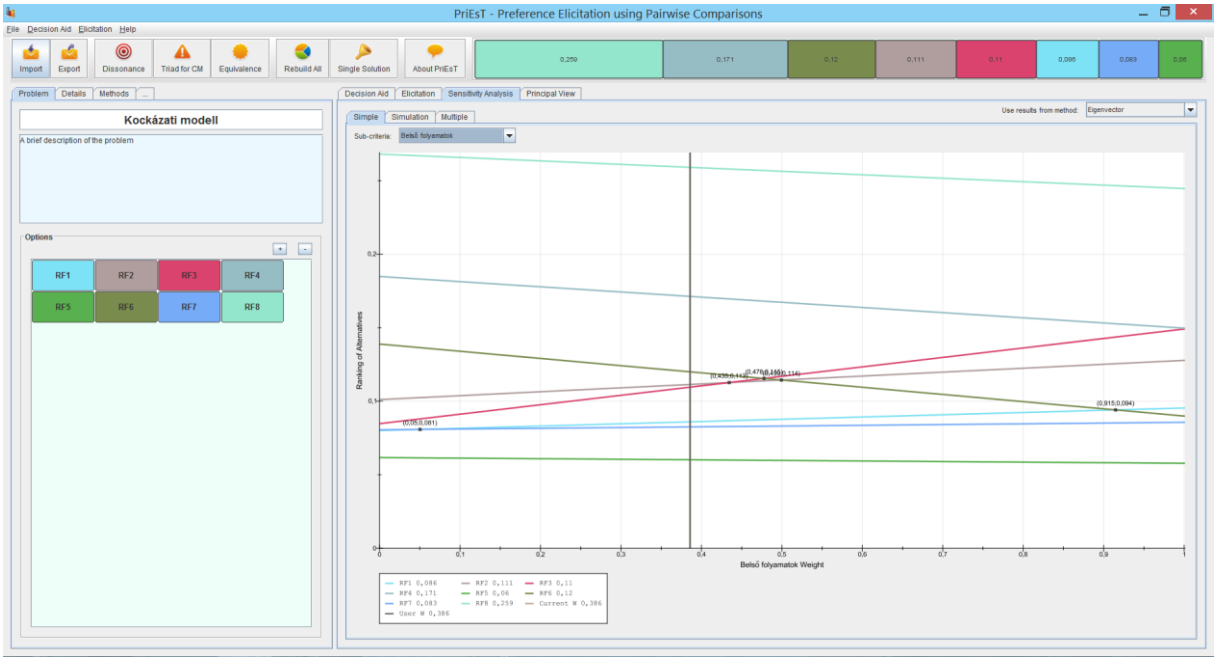
A döntési modell szoftverrel történt megvalósításának legfontosabb eredménye természetesen az volt, hogy az így kapott prioritás vektor megegyezett a manuálisan elvégzett számítások eredményével, tehát a validáció sikeres volt. Ezt mutatja a következő, 14.1.2.3. ábra is, amelynek jobb felső részén (valamint az ez alatti ablakban is) látható a szoftverben történt implementációval kapott prioritás vektor (az egyes kockázati tényezőknek megfelelő színek jelölése a bal oldalon látható):



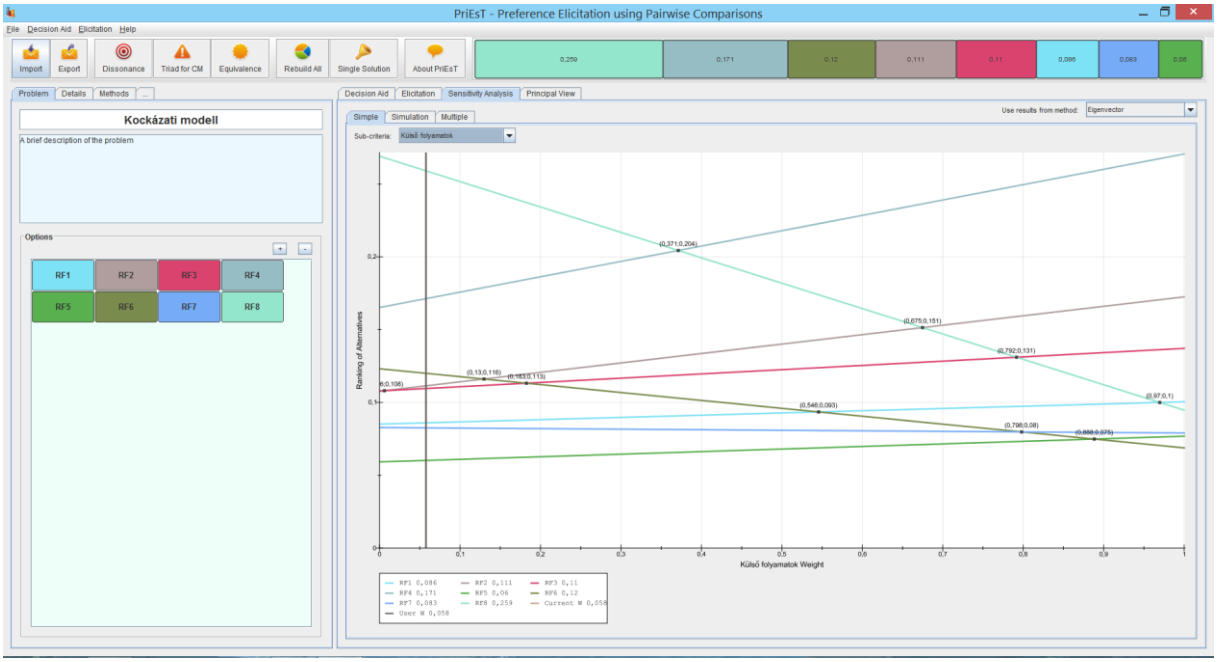

14.1.2.3. ábra: A PriEsT szoftverben történt implementáció végeredménye

Mint arról az előbbiekben már szó volt, a PriEsT szoftver lehetővé teszi érzékenységi vizsgálatok elvégzését is az AHP modell tetszőleges elemeire nézve. Ezeknek a célja elsősorban az, hogy azonosításra kerüljenek a modell azon paraméterei, amelyek változása a legnagyobb hatással van a kimenetre, azaz a prioritás vektorra nézve. Ez azért is lényeges, mert gyakran előforduló eset, hogy az AHP modell végeredménye nem annak a kritériumnak a változására lesz a „legérzékenyebb”, amely egyébként az adott szinten a legnagyobb lokális prioritással rendelkezik.

Az előbbi helyzet részben igaz a jelenlegi példára is. Mint már említésre került, a felhasználás vetületéből fakadóan a Belső folyamatok főkritérium kapta a legnagyobb súlyt (0,3858) és a 14.1.2.4. ábrán látható érzékenységi vizsgálat alapján az is elmondható, hogy ennek a főkritériumnak a változása a végeredményként kapott prioritás vektorra is jelentős befolyással van. Ugyanakkor a többi főkritériumra elvégzett érzékenységi vizsgálatok alapján elmondható, hogy a végeredményre a legnagyobb hatást a Külső folyamatok főkritérium változása gyakorolja, mivel az ehhez tartozó lokális prioritás háromtizeddel történő növelése oda vezet, hogy a végeredményben a prioritását tekintve első kockázati tényező (RF8) helyet cserél a másodikkal (RF4). Többek között ez látható a 14.1.2.5. ábrán. A többi főkritériumra elvégzett egyszerű érzékenységi vizsgálatokat a 14.6 számú melléklet tartalmazza. Emellett a 14.7-ben pedig megtalálhatóak a Belső folyamatokra a többi főkritériummal párosan elvégzett két szempontú elemzések is, amelyek szintén alátámasztják az előbbi megállapítást.




14.1.2.4. ábra: A Belső folyamatok főkritériumra a PriEsT szoftverben elvégzett egyszerű érzékenységi vizsgálat




14.1.2.5. ábra: A Külső folyamatok főkritériumra a PriEsT szoftverben elvégzett egyszerű érzékenységi vizsgálat

Amint az a 7. fejezetben leírásra került, a kidolgozott eljárásban tehát jelentős részben az AHP modell végeredményeként kapott prioritás vektor elemei – a példában lásd (14.1.2.1)-et – adják a (7.2.1.3) célfüggvény súlyozó paramétereit. A célfüggvény jelen példában történő alkalmazása, azon keresztül pedig a szolgáltatók optimális kombinációjának meghatározása a melléklet soron következő alpontjában kerül bemutatásra.

### 14.1.3 A szolgáltatók kockázati szempontból nézve optimális kombinációjának meghatározása

A (7.2.1.3) célfüggvényt követve a szolgáltatók optimális kombinációjának megválasztásához először módosítani kell a $c_{pk}(i,j,k)$ értékeket a döntési modell alkalmazásával kapott prioritásvektor megfelelő elemeivel. Az így kapott eredményeket mutatja be a következő, 14.1.3.1. táblázat:

| | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|
| $LSZ_1$ | 0,101234 | 0,1173034 | 0,12095541 |
| | 0,209242 | 0,2092423 | 0,20924229 |
| | 0,148007 | 0,1277323 | 0,17335096 |
| | 0,271001 | 0,2710014 | 0,28976879 |
| | 0,070117 | 0,0701171 | 0,08377623 |
| | 0,189909 | 0,1938754 | 0,18606474 |
| | 0,120386 | 0,103376 | 0,11140831 |
| | 0,409904 | 0,3499766 | 0,37817777 |
| $LSZ_2$ | 0,101234 | 0,1012344 | 0,12095541 |
| | 0,209242 | 0,2092423 | 0,20924229 |
| | 0,148007 | 0,1480073 | 0,14800725 |
| | 0,389862 | 0,3898616 | 0,27100138 |
| | 0,065347 | 0,0653472 | 0,07882726 |
| | 0,189909 | 0,1860647 | 0,18990906 |
| | 0,130485 | 0,1114083 | 0,12038561 |
| | 0,486954 | 0,4869537 | 0,40990409 |
| $LSZ_3$ | 0,094348 | 0,0943477 | 0,11381013 |
| | 0,253386 | 0,1761343 | 0,17613433 |
| | 0,173351 | 0,1480073 | 0,17335096 |
| | 0,271001 | 0,1996852 | 0,19968523 |
| | 0,065347 | 0,0701171 | 0,07882726 |
| | 0,193875 | 0,1979697 | 0,19387541 |
| | 0,130485 | 0,1419311 | 0,13048507 |
| | 0,409904 | 0,4869537 | 0,40990409 |
| $LSZ_4$ | 0,108846 | 0,1173034 | 0,13738957 |
| | 0,209242 | 0,1761343 | 0,17613433 |
| | 0,148007 | 0,1480073 | 0,12773229 |
| | 0,271001 | 0,2710014 | 0,18353817 |
| | 0,070117 | 0,075389 | 0,08919653 |
| | 0,17872 | 0,1823369 | 0,16849074 |
| | 0,111408 | 0,1114083 | 0,10337598 |
| | 0,349977 | 0,3499766 | 0,32474396 |

14.1.3.1. táblázat: A $c_{pk}(i,j,k)$ értékeknek a prioritás vektor elemeivel módosított táblázata

Figyelembe véve az áttekinthetőségi szempontokat, a példában ezután a célfüggvény (7.2.1.8) alakját felhasználva először a szolgáltató-folyamat párokra értelmezett kumulált $c_{pk}^{ij}$ értékek kerülnek meghatározásra. Ezek láthatóak a 14.1.3.2. táblázatban:

| | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|
| $LSZ_1$ | 1,5196839 | 1,442513885 | 1,552733507 |
| $LSZ_2$ | 1,7215006 | 1,698553238 | 1,548076797 |
| $LSZ_3$ | 1,5914148 | 1,514747815 | 1,475739539 |
| $LSZ_4$ | 1,4472605 | 1,431641468 | 1,31017019 |

14.1.3.2. táblázat: A szolgáltató-folyamat párokra értelmezett kumulált $c_{pk}^{ij}$ értékek táblázata

A fenti eredményekből már látszik, hogy az 1-es és a 2-es folyamathoz az optimális választás kockázati szempontból a második szolgáltató ($LSZ_2$) lesz, míg a harmadik folyamathoz az első ($LSZ_1$). Ugyanakkor a teljes kumulált $kc_{pk}$ érték meghatározásához szükség van még az egyes folyamatok súlyozó tényezőinek kiszámítására is. Az ehhez szükséges adatokat mutatja meg a 14.1.3.3. táblázat, az egy hétre megadott árumennyiségeket alapul véve (a teljes féléves időtartamra vonatkozó adatok értelemszerűen egy 26-os szorzó alkalmazásával határozhatóak meg, de ennek elhagyása nem befolyásolja a súlyozó tényezőkre kapott értékéteket, mivel eleve hányados képzésről van szó):

| | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|
| $q_j$ | 48 | 224 | 1440 |
| $p_j$ | 420 | 52 | 35 |
| $P$ | 82208 | | |
| $q_j*p_j / P$ | 0,245232 | 0,1416894 | 0,61307902 |

14.1.3.3. táblázat: Az áruk mennyiségéből és árából képezett súlyozó tényezők kiszámítása

Az egyes folyamatokhoz tartozó súlyozó tényezőkkel módosított $c_{pk}^{ij}$ értékeket az alábbi, 14.1.3.4. táblázat mutatja meg, kiemelve az optimális megoldáshoz tartozó értékeket:

| | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|
| $LSZ_1$ | 0,3727033 | 0,204404545 | **0,951955075** |
| $LSZ_2$ | **0,4220536** | **0,240605498** | 0,949188768 |
| $LSZ_3$ | 0,3903347 | 0,214680112 | 0,904949066 |
| $LSZ_4$ | 0,3549284 | 0,202836441 | 0,803502336 |

14.1.3.4. táblázat: A kumulált $c_{pk}^{ij}$ értékek súlyozó tényezőkkel módosított táblázata

Az optimális kombinációnak megfelelő redukált hozzárendelési mátrix a következő:

$$X'_{stk} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \qquad (14.1.3.1.)$$

Felhasználva a 14.1.3.4. táblázat eredményeit és a (14.1.3.1.)-et, a (7.2.1.8) célfüggvény maximumára, azaz a teljes kumulált folyamatképességi mutatóra tehát a következő érték adódik:

$$kc_{pk} = 0,422054 + 0,2406055 + 0,95195507 = 1,6146141 \qquad (14.1.3.2)$$

A kiszámolt értékhez tartozó kockázati többletköltség számszerűsítéséhez szükség van még legelsősorban a $c_{lh}$ fajlagos logisztikai hibaköltség megadására, amelyet a megbízó a saját hisztorikus adatainak felhasználásával 7 euro értékben állapít meg. A $Q$ árumennyiség a feladat kiinduló paramétereiből került fél éves időtartamra vonatkozóan kiszámításra, míg a $D(kc_{pk})$ értéke a 14.2-es mellékletben látható táblázat használatával került megállapításra (mivel a $kc_{pk}$ értéke általában a táblázatban megadott értékek közé esik, ezért ilyen esetben célszerű lineáris közelítést alkalmazni, ahogy az már korábban is említésre került). Az adatok tehát a következőek (14.1.3.5. táblázat):

| | |
|---|---|
| $c_{lh}$ = | 7 [euro] |
| $Q$ = | 0,044512 [millió] |
| $D(kc_{pk})$ = | 412 [hiba/millió] |

14.1.3.5. táblázat: A kapott $kc_{pk}$ értékhez tartozó kockázati többletköltség megadásához szükséges adatok

A meghatározott adatokat behelyettesítve a (7.2.1.4) összefüggésbe, a kockázati többletköltség így a következőképp alakul:

$$C_k = 7 \cdot 0,044512 \cdot 412 = 128,3726 \left[\text{euro}\right] \qquad (14.1.3.3)$$

Felhasználva a 14.1.1. táblázatban látható, az egyes szolgáltatók által adott árajánlatokat, a kockázati szempontból optimális szolgáltatók kombinációjának összköltsége a kockázati többletköltséggel együtt az alábbi lesz:

$$C_o = C_{21} + C_{22} + C_{13} + C_k = 26400 + 16800 + 15200 + 128,3726 = 58528,37\left[\text{euro}\right] \quad (14.1.3.4)$$

Végül a meghatározott kombináció konkrét kritikus folyamatképességi paramétereit tartalmazó $PM_{stk}$ megoldás mátrix a következő (14.1.3.6. táblázat):

| $PM_{stk}$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|
| $LSZ_1$ | 0 | 0 | 1,393939394 |
| | 0 | 0 | 1,880952381 |
| | 0 | 0 | 1,583333333 |
| | 0 | 0 | 1,692982456 |
| | 0 | 0 | 1,393939394 |
| | 0 | 0 | 1,551282051 |
| | 0 | 0 | 1,351851852 |
| | 0 | 0 | 1,460784314 |
| $LSZ_2$ | 1,166666667 | 1,166666667 | 0 |
| | 1,880952381 | 1,880952381 | 0 |
| | 1,351851852 | 1,351851852 | 0 |
| | 2,277777778 | 2,277777778 | 0 |
| | 1,087301587 | 1,087301587 | 0 |
| | 1,583333333 | 1,551282051 | 0 |
| | 1,583333333 | 1,351851852 | 0 |
| | 1,880952381 | 1,880952381 | 0 |
| $LSZ_3$ | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| $LSZ_4$ | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |

14.1.3.6. táblázat: A javasolt $PM_{stk}$ kritikus megoldás mátrix

Felmerül a kérdés, hogy a kockázati szempontból optimálisnak tekinthető szolgáltató-folyamat kombináció összköltségben hogyan viszonyul a tisztán árajánlati szempontból nézve legalacsonyabb költségű változathoz. A legalacsonyabb árajánlatokat mind a három folyamatra a negyedik (*LSZ*$_4$-el jelölt) szolgáltató tette, így az ehhez tartozó kumulált kritikus folyamatképességi mutató értéke a 14.1.3.4 táblázat alapján a következőképp adódik:

$$kc_{pk}^{4} = 0,354928 + 0,2028364 + 0,80350234 = 1,3612672 \qquad (14.1.3.5)$$

A fenti értékhez tartozó kockázati többletköltség kiszámításához szükséges adatokat az alábbi, 14.1.3.7. táblázat tartalmazza:

| | |
|---|---|
| $c_{lh}$ = | 7 [euro] |
| $Q$ = | 0,044512 [millió] |
| $D(kc_{pk}^{4})$ = | 4999 [hiba/millió] |

14.1.3.7. táblázat: A $kc_{pk}^{4}$ értékhez tartozó kockázati többletköltség megadásához szükséges adatok

Amint látható, az árumennyiség és a hisztorikus adatok alapján megállapításra került fajlagos logisztikai hibaköltség természetesen változatlan, a különbség egyedül a módosult kritikus folyamatképességi mutatóhoz tartozó hiba előfordulási gyakoriságban van. Ezen adatok felhasználásával a kockázati többletköltség értéke a következő lesz:

$$C_{k}^{4} = 7 \cdot 0,044512 \cdot 4999 = 1557,608\,[\text{euro}] \qquad (14.1.3.6)$$

Látható tehát, hogy a kockázati többletköltség értéke az optimális változathoz képest jelentősen nagyobb. A teljes összköltség értéke az árajánlatokkal együtt a következőképpen alakul:

$$C_{o}^{4} = C_{41} + C_{42} + C_{43} + C_{k}^{4} = 25800 + 16600 + 14900 + 1557,608 = 58857,608\,[\text{euro}] \qquad (14.1.3.7)$$

Ez az érték nem jelentősen ugyan, de egyértelműen meghaladja a kockázati szempontból optimálisnak tekinthető változat 58528,37 euro-s összköltségét, tehát kijelenthető, hogy:

$$C_o < C_o^4 \tag{14.1.3.8}$$

Mint látható tehát, a kockázati szempontokat is figyelembe véve a megbízó valamelyest nyer azzal, ha a második és az első szolgáltatót bízza meg a folyamatok ellátásával még úgy is, hogy a negyedik szolgáltató minden esetben a legalacsonyabb árajánlatot tette. Ez jól mutatja, hogy még egy relatíve alacsonynak számító (7 euro-s) fajlagos logisztikai hibaköltség mellett is érdemes figyelembe venni a kockázati tényezőkből fakadó többletköltségeket. Természetesen minél nagyobb a számításba jövő árumennyiség, illetve minél nagyobb a fajlagos logisztikai hibaköltség, ezekkel párhuzamosan a kockázati többletköltség értéke, valamint annak befolyásoló hatása az összköltségre nézve is annál nagyobb mértékű lesz.

Fontos megjegyezni, hogy a példa eredménye nem általános érvényű, azaz nem feltétlenül mindig a legkisebb kockázati többletköltséggel járó szolgáltatót érdemes választani, mivel ez nagyban függ az összköltségtől is. Szintén érdemes ismételten leszögezni, hogy bár a jobb követhetőség és átláthatóság érdekében a példa manuálisan került megoldásra, ugyanakkor egy valós környezetben ez – az adatok megadását leszámítva – a felhasználótól függetlenül automatizáltan menne végbe.

## 14.2 Az összetartozó DPMO és $c_{pk}$ értékek táblázata (Forrás: [127])

| DPMO | $c_{pk}$ |
|---|---|
| 2 | 2 |
| 5 | 1,97 |
| 9 | 1,93 |
| 13 | 1,9 |
| 21 | 1,87 |
| 32 | 1,83 |
| 48 | 1,8 |
| 72 | 1,77 |
| 108 | 1,73 |
| 159 | 1,7 |
| 233 | 1,67 |
| 337 | 1,63 |
| 483 | 1,6 |
| 687 | 1,57 |
| 968 | 1,53 |
| 1350 | 1,5 |
| 1866 | 1,47 |
| 2555 | 1,43 |
| 3467 | 1,4 |
| 4661 | 1,37 |
| 6210 | 1,33 |
| 8198 | 1,3 |
| 10724 | 1,27 |
| 13903 | 1,23 |
| 17864 | 1,2 |
| 22750 | 1,17 |
| 28716 | 1,13 |
| 35930 | 1,1 |
| 44565 | 1,07 |
| 54799 | 1,03 |
| 66807 | 1 |

| DPMO | $c_{pk}$ |
|---|---|
| 80757 | 0,97 |
| 96801 | 0,93 |
| 115070 | 0,9 |
| 135666 | 0,87 |
| 158655 | 0,83 |
| 184060 | 0,8 |
| 211855 | 0,77 |
| 241964 | 0,73 |
| 274253 | 0,7 |
| 308538 | 0,67 |
| 344578 | 0,63 |
| 382089 | 0,6 |
| 420740 | 0,57 |
| 460172 | 0,53 |
| 500000 | 0,5 |
| 539828 | 0,47 |
| 579260 | 0,43 |
| 617911 | 0,4 |
| 655422 | 0,37 |
| 691462 | 0,33 |
| 725747 | 0,3 |
| 758036 | 0,27 |
| 788145 | 0,23 |
| 815940 | 0,2 |
| 841345 | 0,17 |
| 864334 | 0,13 |
| 884930 | 0,1 |
| 903199 | 0,07 |
| 919243 | 0,03 |
| 933193 | 0 |
| | |

## 14.3 A főkritériumok összehasonlítása

| | Ügyfelek | B. foly. | K. E. véd. | Á. véd. | K. foly. | K. meg. | $y_0$ | $x_1$ | II $x_1$ II | I $\lambda_1$ I | $y_1$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ügyfelek | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 11,5000 | 28,4133 | 28,4133 | 0,4047 | |
| B. foly. | 2,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 21,0000 | | | 0,7391 | |
| K. E. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 11,3333 | | | 0,3989 | |
| Á. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 9,3333 | | | 0,3285 | |
| K. foly. | 0,3333 | 0,2000 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 3,2000 | | | 0,1126 | |
| K. meg. | 0,2000 | 0,1429 | 0,2000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,8762 | | | 0,1012 | |

| | Ügyfelek | B. foly. | K. E. véd. | Á. véd. | K. foly. | K. meg. | $y_1$ | $x_2$ | II $x_2$ II | I $\lambda_2$ I | $y_2$ | II $\lambda_2$ I - I $\lambda_1$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ügyfelek | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,4047 | 2,3456 | 6,3592 | 6,3592 | 0,3689 | 22,0542 |
| B. foly. | 2,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 7,0000 | 0,7391 | 5,0023 | | | 0,7866 | |
| K. E. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,3989 | 2,2225 | | | 0,3495 | |
| Á. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,3285 | 2,0200 | | | 0,3177 | |
| K. foly. | 0,3333 | 0,2000 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,1126 | 0,7390 | | | 0,1162 | |
| K. meg. | 0,2000 | 0,1429 | 0,2000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,1012 | 0,5897 | | | 0,0927 | |

| | Ügyfelek | B. foly. | K. E. véd. | Á. véd. | K. foly. | K. meg. | $y_2$ | $x_3$ | II $x_3$ II | I $\lambda_3$ I | $y_3$ | II $\lambda_3$ I - I $\lambda_2$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ügyfelek | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,3689 | 2,2416 | 6,0527 | 6,0527 | 0,3703 | 0,3064 |
| B. foly. | 2,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 7,0000 | 0,7866 | 4,7559 | | | 0,7857 | |
| K. E. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,3495 | 2,1105 | | | 0,3487 | |
| Á. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,3177 | 1,9250 | | | 0,3180 | |
| K. foly. | 0,3333 | 0,2000 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,1162 | 0,7116 | | | 0,1176 | |
| K. meg. | 0,2000 | 0,1429 | 0,2000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,0927 | 0,5709 | | | 0,0943 | |

| | Ügyfelek | B. foly. | K. E. véd. | Á. véd. | K. foly. | K. meg. | $y_3$ | $x_4$ | II $x_4$ II | I $\lambda_4$ I | $y_4$ | II $\lambda_4$ I - I $\lambda_3$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ügyfelek | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,3703 | 2,2542 | 6,0803 | 6,0803 | 0,3707 | 0,0276 |
| B. foly. | 2,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 7,0000 | 0,7857 | 4,7747 | | | 0,7853 | |
| K. E. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,3487 | 2,1233 | | | 0,3492 | |
| Á. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,3180 | 1,9346 | | | 0,3182 | |
| K. foly. | 0,3333 | 0,2000 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,1176 | 0,7147 | | | 0,1175 | |
| K. meg. | 0,2000 | 0,1429 | 0,2000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,0943 | 0,5740 | | | 0,0944 | |

| | Ügyfelek | B. foly. | K. E. véd. | Á. véd. | K. foly. | K. meg. | $y_4$ | $x_5$ | II $x_5$ II | I $\lambda_5$ I | $y_5$ | II $\lambda_5$ I - I $\lambda_4$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ügyfelek | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,3707 | 2,2554 | 6,0837 | 6,0837 | 0,3707 | 0,0034 |
| B. foly. | 2,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 7,0000 | 0,7853 | 4,7774 | | | 0,7853 | |
| K. E. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,3492 | 2,1245 | | | 0,3492 | |
| Á. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,3182 | 1,9357 | | | 0,3182 | |
| K. foly. | 0,3333 | 0,2000 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,1175 | 0,7150 | | | 0,1175 | |
| K. meg. | 0,2000 | 0,1429 | 0,2000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,0944 | 0,5742 | | | 0,0944 | |

| | Ügyfelek | B. foly. | K. E. véd. | Á. véd. | K. foly. | K. meg. | $y_5$ | $x_6$ | II $x_6$ II | I $\lambda_6$ I | $y_6$ | II $\lambda_6$ I - I $\lambda_5$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ügyfelek | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,3707 | 2,2552 | 6,0834 | 6,0834 | 0,3707 | 0,0003 |
| B. foly. | 2,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 7,0000 | 0,7853 | 4,7772 | | | 0,7853 | |
| K. E. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,3492 | 2,1244 | | | 0,3492 | |
| Á. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,3182 | 1,9356 | | | 0,3182 | |
| K. foly. | 0,3333 | 0,2000 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,1175 | 0,7150 | | | 0,1175 | |
| K. meg. | 0,2000 | 0,1429 | 0,2000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,0944 | 0,5741 | | | 0,0944 | |

| | Ügyfelek | B. foly. | K. E. véd. | Á. véd. | K. foly. | K. meg. | $y_6$ | $x_7$ | II $x_7$ II | I $\lambda_7$ I | $y_7$ | II $\lambda_7$ I - I $\lambda_6$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ügyfelek | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,3707 | 2,2552 | 6,0834 | 6,0834 | 0,3707 | 0,0000 |
| B. foly. | 2,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 7,0000 | 0,7853 | 4,7772 | | | 0,7853 | |
| K. E. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 0,3492 | 2,1243 | | | 0,3492 | |
| Á. véd. | 1,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,3182 | 1,9356 | | | 0,3182 | |
| K. foly. | 0,3333 | 0,2000 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,1175 | 0,7150 | | | 0,1175 | |
| K. meg. | 0,2000 | 0,1429 | 0,2000 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 0,0944 | 0,5741 | | | 0,0944 | |
| | | | | | | | | | | | v | *CR* |
| | | | | | | | | | | | 0,1821 | 0,0133 |
| | | | | | | | | | | | 0,3858 | |
| | | | | | | | | | | | 0,1716 | |
| | | | | | | | | | | | 0,1563 | |
| | | | | | | | | | | | 0,0577 | |
| | | | | | | | | | | | 0,0464 | |

## 14.4 Példák az alkritériumok összehasonlítására

### A Belső folyamatok főkritériumhoz tartozó alkritériumok összehasonlítása

| | B. z. | A. z. | Gy. z. | Sz. z. | Ké. z. | Ki. z. | $y_0$ | $x_1$ | II $x_1$ II | I $\lambda_1$ I | $y_1$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B. z. | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 9,0000 | 1,0000 | 24,0000 | 35,7246 | 35,7246 | 0,6718 | |
| A. z. | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 9,0000 | 1,0000 | 23,0000 | | | 0,6438 | |
| Gy. z. | 0,3333 | 0,5000 | 1,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 10,8333 | | | 0,3032 | |
| Sz. z. | 0,2000 | 0,2000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 4,9000 | | | 0,1372 | |
| Ké. z. | 0,2000 | 0,2000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 4,9000 | | | 0,1372 | |
| Ki. z. | 0,1111 | 0,1111 | 0,2000 | 0,5000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,4222 | | | 0,0678 | |

| | B. z. | A. z. | Gy. z. | Sz. z. | Ké. z. | Ki. z. | $y_1$ | $x_2$ | II $x_2$ II | I $\lambda_2$ I | $y_2$ | II $\lambda_2$ I-I $\lambda_1$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B. z. | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 9,0000 | 0,6718 | 4,2072 | 6,1227 | 6,1227 | 0,6871 | 29,6019 |
| A. z. | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 9,0000 | 0,6438 | 3,9039 | | | 0,6376 | |
| Gy. z. | 0,3333 | 0,5000 | 1,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 5,0000 | 0,3032 | 1,7367 | | | 0,2837 | |
| Sz. z. | 0,2000 | 0,2000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 0,1372 | 0,8247 | | | 0,1347 | |
| Ké. z. | 0,2000 | 0,2000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 0,1372 | 0,8247 | | | 0,1347 | |
| Ki. z. | 0,1111 | 0,1111 | 0,2000 | 0,5000 | 0,5000 | 1,0000 | 0,0678 | 0,4118 | | | 0,0673 | |

| | B. z. | A. z. | Gy. z. | Sz. z. | Ké. z. | Ki. z. | $y_2$ | $x_3$ | II $x_3$ II | I $\lambda_3$ I | $y_3$ | II $\lambda_3$ I-I $\lambda_2$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B. z. | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 9,0000 | 0,6871 | 4,1280 | 6,0175 | 6,0175 | 0,6860 | 0,1052 |
| A. z. | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 9,0000 | 0,6376 | 3,8443 | | | 0,6389 | |
| Gy. z. | 0,3333 | 0,5000 | 1,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 5,0000 | 0,2837 | 1,7066 | | | 0,2836 | |
| Sz. z. | 0,2000 | 0,2000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 0,1347 | 0,8107 | | | 0,1347 | |
| Ké. z. | 0,2000 | 0,2000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 0,1347 | 0,8107 | | | 0,1347 | |
| Ki. z. | 0,1111 | 0,1111 | 0,2000 | 0,5000 | 0,5000 | 1,0000 | 0,0673 | 0,4059 | | | 0,0674 | |

| | B. z. | A. z. | Gy. z. | Sz. z. | Ké. z. | Ki. z. | $y_3$ | $x_4$ | II $x_4$ II | I $\lambda_4$ I | $y_4$ | II $\lambda_4$ I-I $\lambda_3$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B. z. | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 9,0000 | 0,6860 | 4,1299 | 6,0206 | 6,0206 | 0,6860 | 0,0031 |
| A. z. | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 9,0000 | 0,6389 | 3,8463 | | | 0,6389 | |
| Gy. z. | 0,3333 | 0,5000 | 1,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 5,0000 | 0,2836 | 1,7078 | | | 0,2837 | |
| Sz. z. | 0,2000 | 0,2000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 0,1347 | 0,8111 | | | 0,1347 | |
| Ké. z. | 0,2000 | 0,2000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 0,1347 | 0,8111 | | | 0,1347 | |
| Ki. z. | 0,1111 | 0,1111 | 0,2000 | 0,5000 | 0,5000 | 1,0000 | 0,0674 | 0,4061 | | | 0,0675 | |

| | B. z. | A. z. | Gy. z. | Sz. z. | Ké. z. | Ki. z. | $y_4$ | $x_5$ | II $x_5$ II | I $\lambda_5$ I | $y_5$ | II $\lambda_5$ I-I $\lambda_4$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B. z. | 1,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 9,0000 | 0,6860 | 4,1301 | 6,0208 | 6,0208 | 0,6860 | 0,0003 |
| A. z. | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 9,0000 | 0,6389 | 3,8464 | | | 0,6389 | |
| Gy. z. | 0,3333 | 0,5000 | 1,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 5,0000 | 0,2837 | 1,7079 | | | 0,2837 | |
| Sz. z. | 0,2000 | 0,2000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 0,1347 | 0,8111 | | | 0,1347 | |
| Ké. z. | 0,2000 | 0,2000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 0,1347 | 0,8111 | | | 0,1347 | |
| Ki. z. | 0,1111 | 0,1111 | 0,2000 | 0,5000 | 0,5000 | 1,0000 | 0,0675 | 0,4061 | | | 0,0675 | |
| | | | | | | | | | | | v | *CR* |
| | | | | | | | | | | | 0,3526 | 0,0033 |
| | | | | | | | | | | | 0,3284 | |
| | | | | | | | | | | | 0,1458 | |
| | | | | | | | | | | | 0,0693 | |
| | | | | | | | | | | | 0,0693 | |
| | | | | | | | | | | | 0,0347 | |

## A Környezet és egészségvédelem főkritériumhoz tartozó alkritériumok összehasonlítása

| | E. k. | K. k. | É. k. | $y_0$ | $x_1$ | II $x_1$ II | I $\lambda_1$ I | $y_1$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E. k. | 1,0000 | 3,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 11,0000 | 11,9146 | 11,9146 | 0,9232 | |
| K. k. | 0,3333 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 4,3333 | | | 0,3637 | |
| É. k. | 0,1429 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 1,4762 | | | 0,1239 | |

| | E. k. | K. k. | É. k. | $y_1$ | $x_2$ | II $x_2$ II | I $\lambda_2$ I | $y_2$ | II $\lambda_2$ I-I $\lambda_1$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E. k. | 1,0000 | 3,0000 | 7,0000 | 0,9232 | 2,8816 | 3,0877 | 3,0877 | 0,9333 | 8,8268 |
| K. k. | 0,3333 | 1,0000 | 3,0000 | 0,3637 | 1,0431 | | | 0,3378 | |
| É. k. | 0,1429 | 0,3333 | 1,0000 | 0,1239 | 0,3770 | | | 0,1221 | |

| | E. k. | K. k. | É. k. | $y_2$ | $x_3$ | II $x_3$ II | I $\lambda_3$ I | $y_3$ | II $\lambda_3$ I-I $\lambda_2$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E. k. | 1,0000 | 3,0000 | 7,0000 | 0,9333 | 2,8015 | 3,0024 | 3,0024 | 0,9331 | 0,0853 |
| K. k. | 0,3333 | 1,0000 | 3,0000 | 0,3378 | 1,0152 | | | 0,3381 | |
| É. k. | 0,1429 | 0,3333 | 1,0000 | 0,1221 | 0,3680 | | | 0,1226 | |

| | E. k. | K. k. | É. k. | $y_3$ | $x_4$ | II $x_4$ II | I $\lambda_4$ I | $y_4$ | II $\lambda_4$ I-I $\lambda_3$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E. k. | 1,0000 | 3,0000 | 7,0000 | 0,9331 | 2,8056 | 3,0068 | 3,0068 | 0,9331 | 0,0044 |
| K. k. | 0,3333 | 1,0000 | 3,0000 | 0,3381 | 1,0169 | | | 0,3382 | |
| É. k. | 0,1429 | 0,3333 | 1,0000 | 0,1226 | 0,3686 | | | 0,1226 | |

| | E. k. | K. k. | É. k. | $y_4$ | $x_5$ | II $x_5$ II | I $\lambda_5$ I | $y_5$ | II $\lambda_5$ I-I $\lambda_4$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E. k. | 1,0000 | 3,0000 | 7,0000 | 0,9331 | 2,8057 | 3,0070 | 3,0070 | 0,9331 | 0,0002 |
| K. k. | 0,3333 | 1,0000 | 3,0000 | 0,3382 | 1,0170 | | | 0,3382 | |
| É. k. | 0,1429 | 0,3333 | 1,0000 | 0,1226 | 0,3686 | | | 0,1226 | |

| | E. k. | K. k. | É. k. | $y_5$ | $X_6$ | II $x_6$ II | I $\lambda_6$ I | $y_6$ | II $\lambda_6$ I-I $\lambda_5$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E. k. | 1,0000 | 3,0000 | 7,0000 | 0,9331 | 2,8057 | 3,0070 | 3,0070 | 0,9331 | 0,0000 |
| K. k. | 0,3333 | 1,0000 | 3,0000 | 0,3382 | 1,0170 | | | 0,3382 | |
| É. k. | 0,1429 | 0,3333 | 1,0000 | 0,1226 | 0,3686 | | | 0,1226 | |

| | E. k. | K. k. | É. k. | $y_6$ | $x_7$ | II $x_7$ II | I $\lambda_7$ I | $y_7$ | II $\lambda_7$ I-I $\lambda_6$ II | v | *CR* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E. k. | 1,0000 | 3,0000 | 7,0000 | 0,9331 | 2,8057 | 3,0070 | 3,0070 | 0,9331 | 0,0000 | 0,6694 | 0,0068 |
| K. k. | 0,3333 | 1,0000 | 3,0000 | 0,3382 | 1,0170 | | | 0,3382 | | 0,2426 | |
| É. k. | 0,1429 | 0,3333 | 1,0000 | 0,1226 | 0,3686 | | | 0,1226 | | 0,0879 | |

## 14.5 Példák a kockázati tényezők összehasonlítására az egyes alkritériumok szerint

### A kockázati tényezők összehasonlítása a Betárolási zavarok szerint

| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_0$ | $x_1$ | $\|\| x_1 \|\|$ | $\| \lambda_1 \|$ | $y_1$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 15,0000 | 32,1714 | 32,1714 | 0,4663 | |
| RF2 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 15,0000 | | | 0,4663 | |
| RF3 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 15,0000 | | | 0,4663 | |
| RF4 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 15,0000 | | | 0,4663 | |
| RF5 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 6,0000 | | | 0,1865 | |
| RF6 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 6,3333 | | | 0,1969 | |
| RF7 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 4,3333 | | | 0,1347 | |
| RF8 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 6,3333 | | | 0,1969 | |

| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_1$ | $x_2$ | $\|\| x_2 \|\|$ | $\| \lambda_2 \|$ | $y_2$ | $\|\| \lambda_2 \| - \| \lambda_1 \|\|$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4663 | 3,8233 | 8,1739 | 8,1739 | 0,4677 | 23,9976 |
| RF2 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4663 | 3,8233 | | | 0,4677 | |
| RF3 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4663 | 3,8233 | | | 0,4677 | |
| RF4 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4663 | 3,8233 | | | 0,4677 | |
| RF5 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,1865 | 1,6474 | | | 0,2015 | |
| RF6 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 0,1969 | 1,4713 | | | 0,1800 | |
| RF7 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 0,5000 | 0,1347 | 1,1397 | | | 0,1394 | |
| RF8 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 0,1969 | 1,4713 | | | 0,1800 | |

| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_2$ | $x_3$ | $\|\| x_3 \|\|$ | $\| \lambda_3 \|$ | $y_3$ | $\|\| \lambda_3 \| - \| \lambda_2 \|\|$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4677 | 3,7724 | 8,0746 | 8,0746 | 0,4672 | 0,0993 |
| RF2 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4677 | 3,7724 | | | 0,4672 | |
| RF3 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4677 | 3,7724 | | | 0,4672 | |
| RF4 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4677 | 3,7724 | | | 0,4672 | |
| RF5 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2015 | 1,6365 | | | 0,2027 | |
| RF6 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 0,1800 | 1,4641 | | | 0,1813 | |
| RF7 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 0,5000 | 0,1394 | 1,1446 | | | 0,1418 | |
| RF8 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 0,1800 | 1,4641 | | | 0,1813 | |

| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_3$ | $x_4$ | II $x_4$ II | I $\lambda_4$ I | $y_4$ | II $\lambda_4$ I-I $\lambda_3$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7873 | 8,1068 | 8,1068 | 0,4672 | 0,0323 |
| RF2 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7873 | | | 0,4672 | |
| RF3 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7873 | | | 0,4672 | |
| RF4 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7873 | | | 0,4672 | |
| RF5 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2027 | 1,6415 | | | 0,2025 | |
| RF6 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 0,1813 | 1,4718 | | | 0,1815 | |
| RF7 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 0,5000 | 0,1418 | 1,1487 | | | 0,1417 | |
| RF8 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 0,1813 | 1,4718 | | | 0,1815 | |

| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_4$ | $x_5$ | II $x_5$ II | I $\lambda_5$ I | $y_5$ | II $\lambda_5$ I-I $\lambda_4$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7880 | 8,1082 | 8,1082 | 0,4672 | 0,0014 |
| RF2 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7880 | | | 0,4672 | |
| RF3 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7880 | | | 0,4672 | |
| RF4 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7880 | | | 0,4672 | |
| RF5 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2025 | 1,6416 | | | 0,2025 | |
| RF6 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 0,1815 | 1,4719 | | | 0,1815 | |
| RF7 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 0,5000 | 0,1417 | 1,1486 | | | 0,1417 | |
| RF8 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 0,1815 | 1,4719 | | | 0,1815 | |

| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_5$ | $x_6$ | II $x_6$ II | I $\lambda_6$ I | $y_6$ | II $\lambda_6$ I-I $\lambda_5$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7878 | 8,1077 | 8,1077 | 0,4672 | 0,0004 |
| RF2 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7878 | | | 0,4672 | |
| RF3 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7878 | | | 0,4672 | |
| RF4 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 3,0000 | 0,4672 | 3,7878 | | | 0,4672 | |
| RF5 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2025 | 1,6415 | | | 0,2025 | |
| RF6 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 0,1815 | 1,4717 | | | 0,1815 | |
| RF7 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 0,5000 | 1,0000 | 0,5000 | 0,1417 | 1,1486 | | | 0,1417 | |
| RF8 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 0,3333 | 1,0000 | 1,0000 | 2,0000 | 1,0000 | 0,1815 | 1,4717 | | | 0,1815 | |

| v | *CR* |
|---|---|
| 0,1814 | 0,0110 |
| 0,1814 | |
| 0,1814 | |
| 0,1814 | |
| 0,0786 | |
| 0,0705 | |
| 0,0550 | |
| 0,0705 | |

## A kockázati tényezők összehasonlítása a Környezet károsodás szerint

| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_0$ | $x_1$ | II $x_1$ II | I $\lambda_1$ I | $y_1$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 1,0000 | 3,7619 | 58,0028 | 58,0028 | 0,0649 | |
| RF2 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 7,0429 | | | 0,1214 | |
| RF3 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 7,0429 | | | 0,1214 | |
| RF4 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 30,0000 | | | 0,5172 | |
| RF5 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 1,0000 | 3,7619 | | | 0,0649 | |
| RF6 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 30,0000 | | | 0,5172 | |
| RF7 | 3,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 0,3333 | 3,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 0,2000 | 1,0000 | 11,8667 | | | 0,2046 | |
| RF8 | 7,0000 | 7,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 36,0000 | | | 0,6207 | |

| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_1$ | $x_2$ | II $x_1$ II | I $\lambda_2$ I | $y_2$ | II $\lambda_2$ I-I $\lambda_1$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 0,0649 | 0,5558 | 8,4345 | 8,4345 | 0,0659 | 49,5683 |
| RF2 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 0,1214 | 0,9001 | | | 0,1067 | |
| RF3 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 0,1214 | 0,9001 | | | 0,1067 | |
| RF4 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 0,5172 | 4,3911 | | | 0,5206 | |
| RF5 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 0,0649 | 0,5558 | | | 0,0659 | |
| RF6 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 0,5172 | 4,3911 | | | 0,5206 | |
| RF7 | 3,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 0,3333 | 3,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 0,2000 | 0,2046 | 1,5484 | | | 0,1836 | |
| RF8 | 7,0000 | 7,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 0,6207 | 5,2860 | | | 0,6267 | |

| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_2$ | $x_3$ | II $x_3$ II | I $\lambda_3$ I | $y_3$ | II $\lambda_3$ I-I $\lambda_2$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 0,0659 | 0,5380 | 8,0443 | 8,0443 | 0,0669 | 0,3902 |
| RF2 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 0,1067 | 0,8666 | | | 0,1077 | |
| RF3 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 0,1067 | 0,8666 | | | 0,1077 | |
| RF4 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 0,5206 | 4,2084 | | | 0,5231 | |
| RF5 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 0,0659 | 0,5380 | | | 0,0669 | |
| RF6 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 0,5206 | 4,2084 | | | 0,5231 | |
| RF7 | 3,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 0,3333 | 3,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 0,2000 | 0,1836 | 1,4782 | | | 0,1838 | |
| RF8 | 7,0000 | 7,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 0,6267 | 5,0024 | | | 0,6219 | |

| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_3$ | $x_4$ | II $x_4$ II | I $\lambda_4$ I | $y_4$ | II $\lambda_4$ I-I $\lambda_3$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 0,0669 | 0,5410 | 8,0918 | 8,0918 | 0,0669 | 0,0476 |
| RF2 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 0,1077 | 0,8729 | | | 0,1079 | |
| RF3 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 0,1077 | 0,8729 | | | 0,1079 | |
| RF4 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 0,5231 | 4,2330 | | | 0,5231 | |
| RF5 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 0,0669 | 0,5410 | | | 0,0669 | |
| RF6 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 0,5231 | 4,2330 | | | 0,5231 | |
| RF7 | 3,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 0,3333 | 3,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 0,2000 | 0,1838 | 1,4891 | | | 0,1840 | |
| RF8 | 7,0000 | 7,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 0,6219 | 5,0314 | | | 0,6218 | |

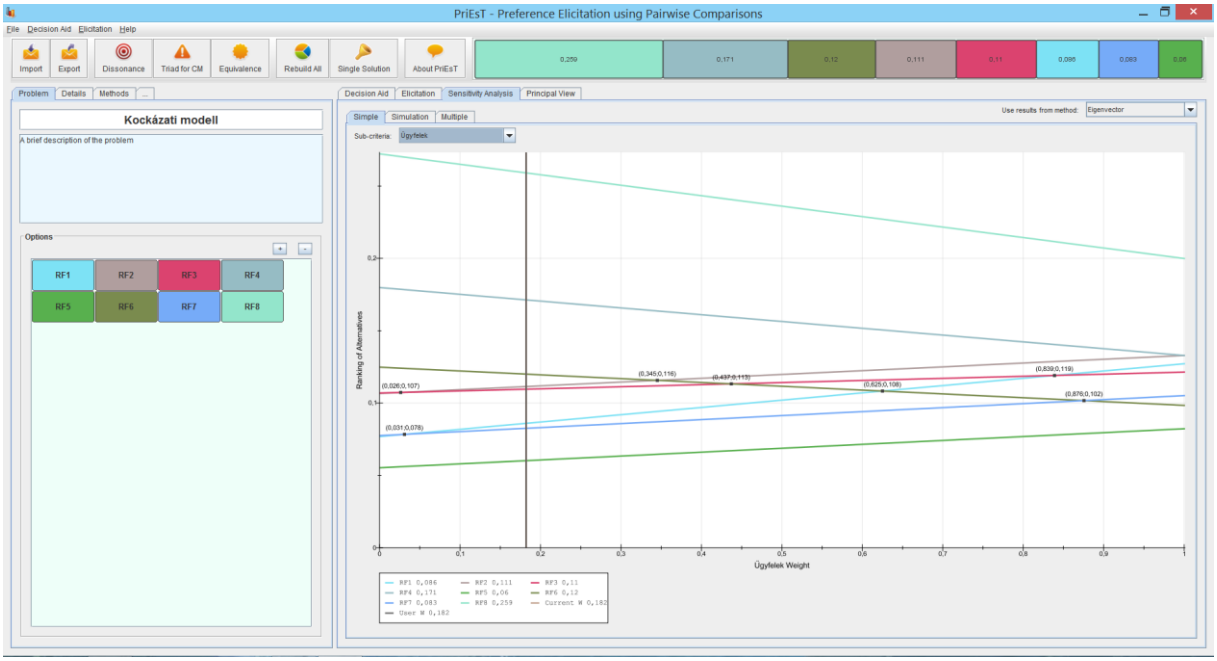
| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_4$ | $x_5$ | II $x_5$ II | I $\lambda_5$ I | $y_5$ | II $\lambda_5$ I-I $\lambda_4$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 0,0669 | 0,5412 | 8,0961 | 8,0961 | 0,0669 | 0,0042 |
| RF2 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 0,1079 | 0,8733 | | | 0,1079 | |
| RF3 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 0,1079 | 0,8733 | | | 0,1079 | |
| RF4 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 0,5231 | 4,2349 | | | 0,5231 | |
| RF5 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 0,0669 | 0,5412 | | | 0,0669 | |
| RF6 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 0,5231 | 4,2349 | | | 0,5231 | |
| RF7 | 3,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 0,3333 | 3,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 0,2000 | 0,1840 | 1,4898 | | | 0,1840 | |
| RF8 | 7,0000 | 7,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 0,6218 | 5,0345 | | | 0,6218 | |

| | RF1 | RF2 | RF3 | RF4 | RF5 | RF6 | RF7 | RF8 | $y_5$ | $x_6$ | II $x_6$ II | I $\lambda_6$ I | $y_6$ | II $\lambda_6$ I-I $\lambda_5$ II |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RF1 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 0,0669 | 0,5412 | 8,0955 | 8,0955 | 0,0669 | 0,0006 |
| RF2 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 0,1079 | 0,8732 | | | 0,1079 | |
| RF3 | 2,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2000 | 2,0000 | 0,2000 | 0,5000 | 0,1429 | 0,1079 | 0,8732 | | | 0,1079 | |
| RF4 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 0,5231 | 4,2346 | | | 0,5231 | |
| RF5 | 1,0000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,1429 | 1,0000 | 0,1429 | 0,3333 | 0,1429 | 0,0669 | 0,5412 | | | 0,0669 | |
| RF6 | 7,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 3,0000 | 1,0000 | 0,5231 | 4,2346 | | | 0,5231 | |
| RF7 | 3,0000 | 2,0000 | 2,0000 | 0,3333 | 3,0000 | 0,3333 | 1,0000 | 0,2000 | 0,1840 | 1,4897 | | | 0,1840 | |
| RF8 | 7,0000 | 7,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 7,0000 | 1,0000 | 5,0000 | 1,0000 | 0,6218 | 5,0341 | | | 0,6218 | |

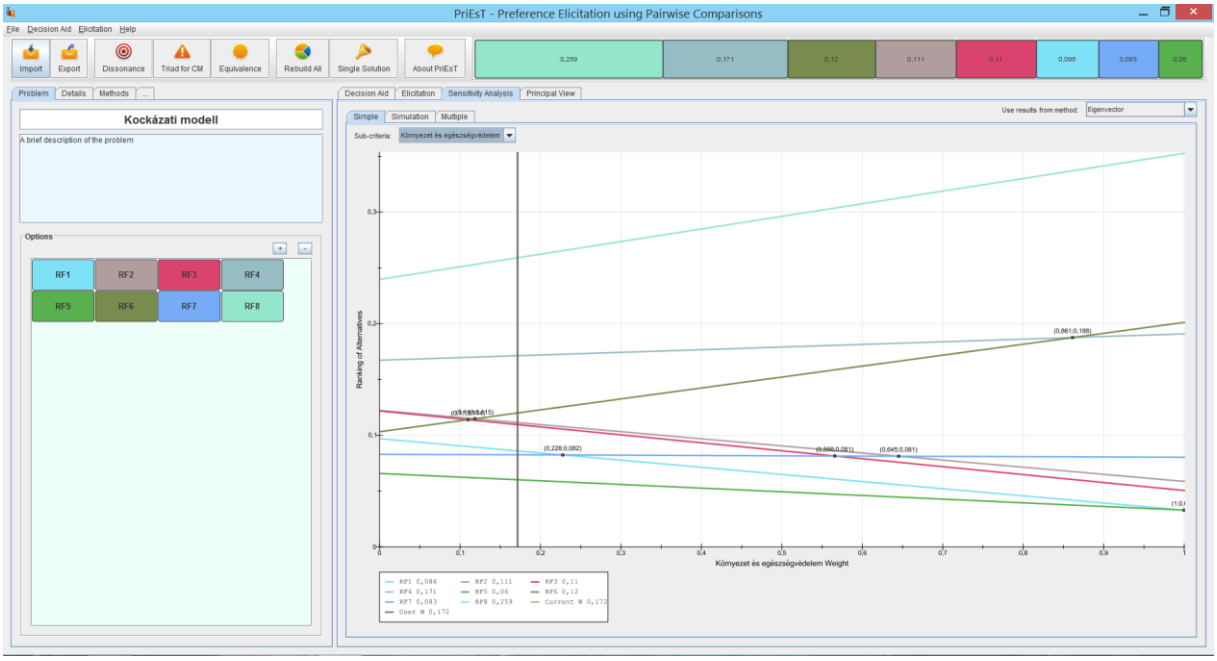
| v | *CR* |
|---|---|
| 0,0304 | 0,0097 |
| 0,0490 | |
| 0,0490 | |
| 0,2376 | |
| 0,0304 | |
| 0,2376 | |
| 0,0836 | |
| 0,2825 | |

## 14.6 Az AHP modell PriEsT szoftverben történt implementációjával elvégzett egyszerű érzékenységi vizsgálatok

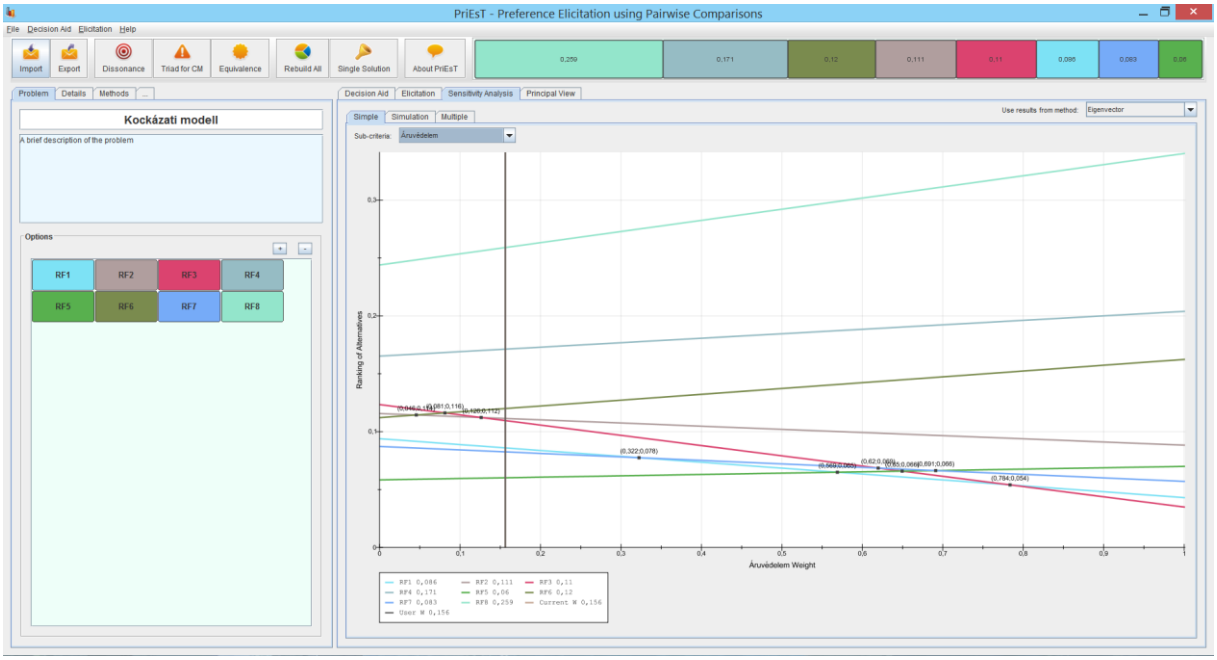
**Az Ügyfelek főkritériumra a PriEsT szoftverben elvégzett érzékenységi vizsgálat**



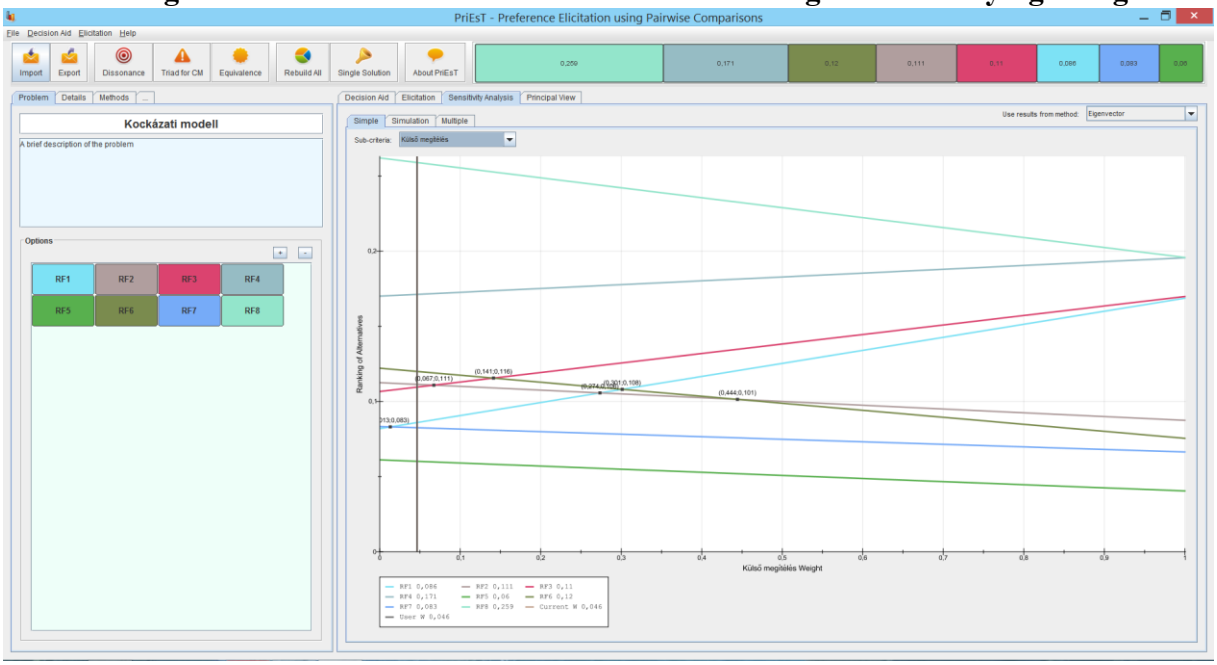

**A Környezet és Egészségvédelem főkritériumra a PriEsT szoftverben elvégzett érzékenységi vizsgálat**



## Az Áruvédelem főkritériumra a PriEsT szoftverben elvégzett érzékenységi vizsgálat

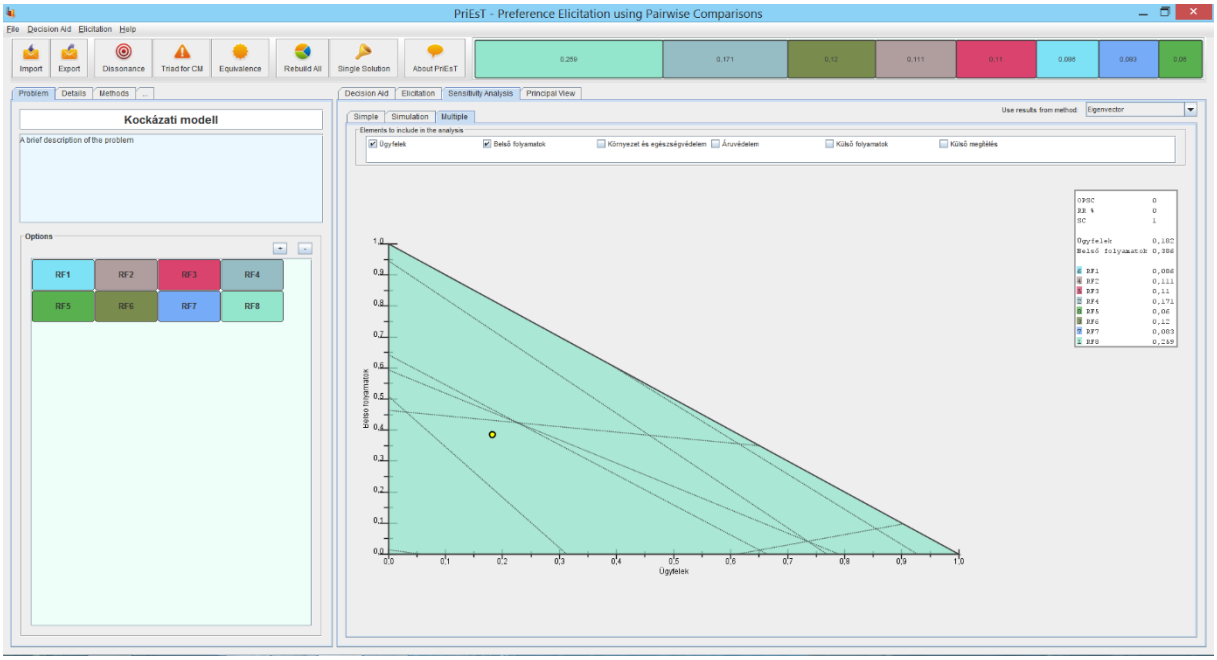



## A Külső megítélés főkritériumra a PriEsT szoftverben elvégzett érzékenységi vizsgálat

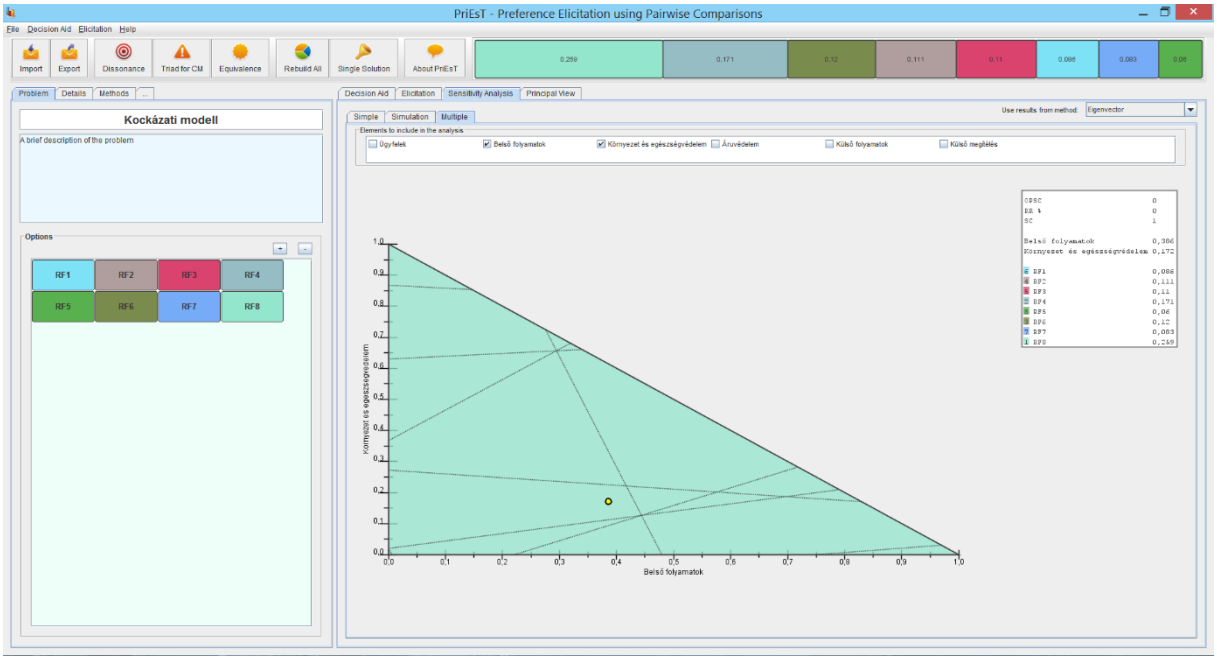


## 14.7 Az AHP modell PriEsT szoftverben történt implementációjával elvégzett két szempontú érzékenységi vizsgálatok

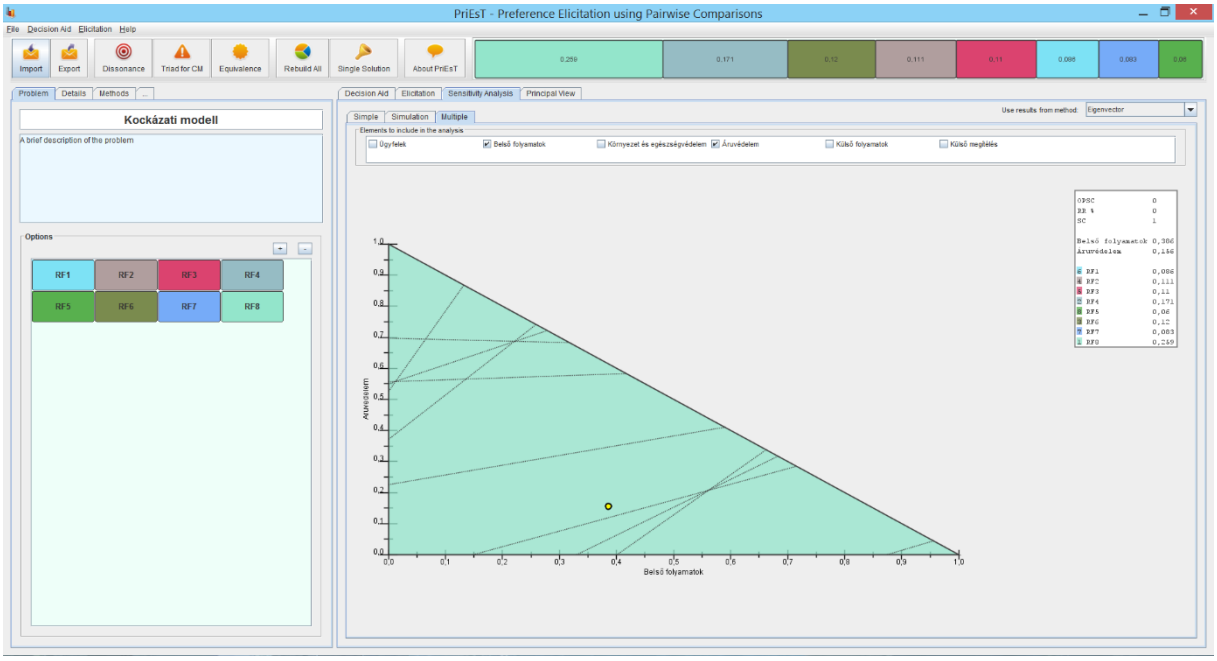
### A Belső folyamatokra és az Ügyfelekre a PriEsT szoftverben együttesen elvégzett érzékenységi vizsgálat



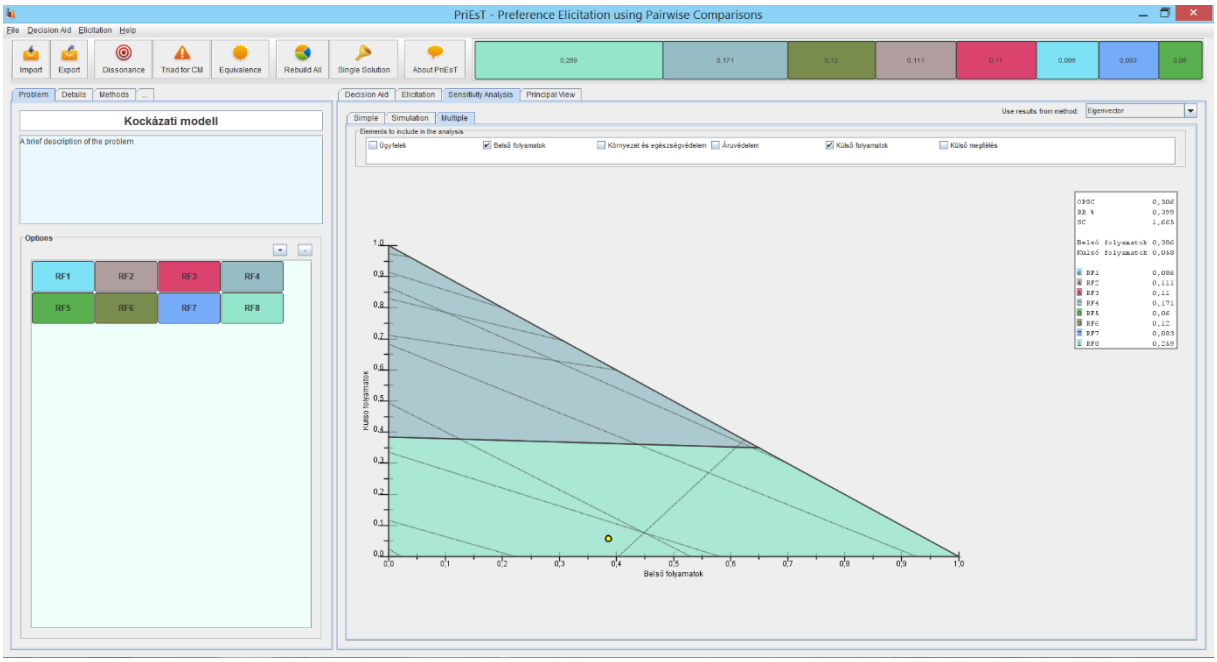
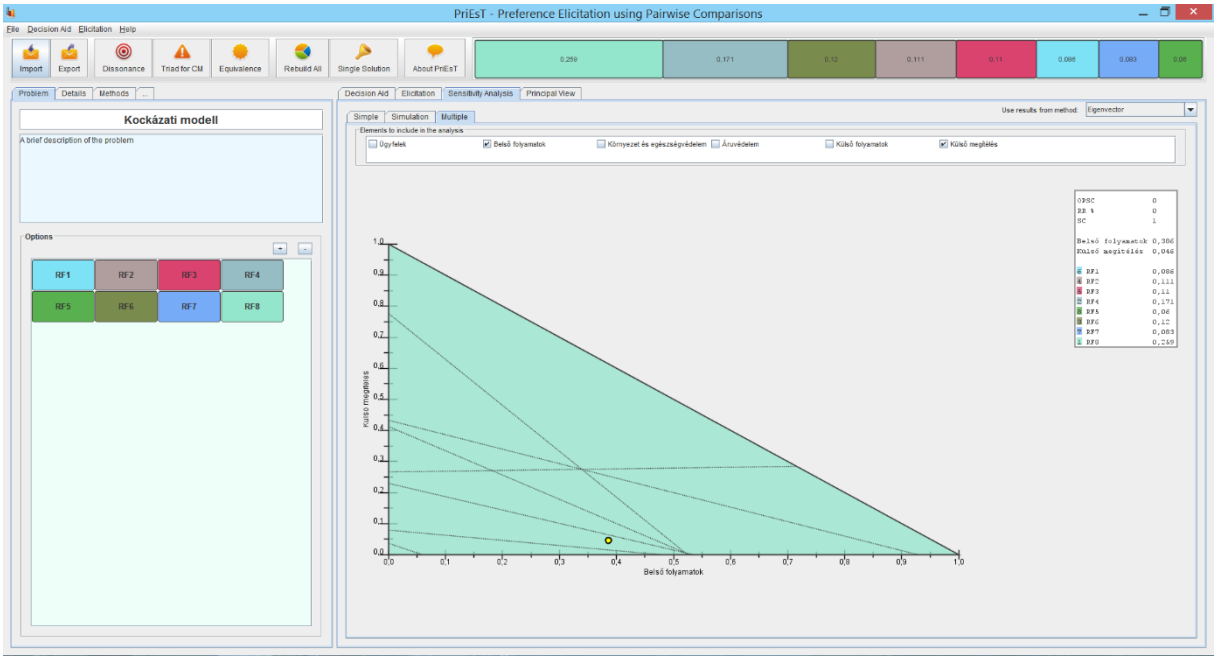

### A Belső folyamatokra és a Környezet és egészségvédelemre a PriEsT szoftverben együttesen elvégzett érzékenységi vizsgálat



## A Belső folyamatokra és az Áruvédelemre a PriEsT szoftverben együttesen elvégzett érzékenységi vizsgálat




## A Belső folyamatokra és a Külső folyamatokra a PriEsT szoftverben együttesen elvégzett érzékenységi vizsgálat



**A Belső folyamatokra és a Külső megítélésre a PriEsT szoftverben együttesen elvégzett érzékenységi vizsgálat**