

PANNON EGYETEM

Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola



Szentes Balázs

Páros összehasonlításra alapuló PRIZMA kockázatértékelő módszer fejlesztése

Doktori (Ph.D) értekezés

Témavezető: Dr. Bognár Ferenc

Veszprém

2025.

Páros összehasonlításra alapuló PRIZMA kockázatértékelő módszer fejlesztése

Az értekezés doktori (Ph.D) fokozat elnyerése érdekében készült a Pannon Egyetem

Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskolája keretében

Gazdálkodás- és szervezéstudományok tudományágban

Írta: Szentes Balázs

Témavezető: Dr. Bognár Ferenc

Elfogadásra javaslom (igen/nem)

.....

Dr. Bognár Ferenc
(témavezető)

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:

Bíráló neve: igen/nem

.....

(bíráló)

Bíráló neve: igen/nem

.....

(bíráló)

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

Veszprém,

.....

(a Bíráló Bizottság elnöke)

A doktori (PhD) oklevél minősítése

.....

(az EDHT elnöke)

Nyilatkozat szerzőségről

Alulírott Szentes Balázs kijelentem, hogy a „Páros összehasonlításon alapuló PRIZMA kockázatértékelő módszer fejlesztése” című disszertáció tervezet és az abban bemutatott munka az én saját munkám. Megerősítem, hogy:

- ezt a munkát teljes egészében vagy túlnyomórészt a jelöltségem ideje alatt végeztem a Pannon Egyetemen, doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése céljából.
- Ennek a dolgozatnak egyetlen részét sem nyújtottam be egy fokozat vagy bármilyen más képesítés megszerzése érdekében sem a Pannon Egyetemen, sem más intézményben.
- Ha mások által publikált munkát használtam fel, azt mindig egyértelműen feltüntettem.
- Ha mások munkáiból idéztem, mindig megjelöltem a forrást. Az idézetek kivételével ez a dolgozat teljes egészében az én munkám.
- Minden főbb segítségforrást elismertem.
- Ha a dolgozat részben másokkal közösen végzett munkán alapul, egyértelműen jeleztem, hogy mi az, amit mások végeztek, és mi az, amit én magam végeztem.
- A dolgozat elkészítésében mesterséges intelligencia alkalmazását nem vettem igénybe.

Dátum:

.....

Szentes Balázs

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	1
Ábrajegyzék	3
Táblázatjegyzék	4
Rövidítések jegyzéke	6
Kivonat.....	8
Abstract.....	9
Auszug	10
Köszönetnyilvánítás.....	11
1 Bevezetés	12
1.1 A disszertáció vezérfonala	12
1.2 A disszertáció személyes motivációi.....	13
1.3 A disszertáció létrejöttének menete.....	14
2 Kutatási kérdések, feltevések.....	17
3 Szakirodalmi összefoglalás	19
3.1 A kockázat és annak kezelési megközelítései	19
3.1.1 Kockázati mátrix.....	23
3.1.2 Az FMEA lényege	26
3.1.3 A PRIZMA módszertan	31
3.2 Többtényezős döntési módszerek.....	38
3.2.1 A Guilford-eljárás bemutatása	39
3.2.2 AHP.....	42
3.2.3 TOPSIS módszertan.....	45
3.2.4 AHP-TOPSIS.....	49
4 Módszertani fejlesztés.....	54
4.1 A Guilford eljárással kombinált PRIZMA módszer értékelési folyamatának bemutatása	54
4.1.1 A módszerfejlesztés céljai.....	54
4.1.2 A módszer leírása.....	55
4.2 Az AHP-TOPSIS módszertannal kombinált PRIZMA módszer értékelési folyamatának bemutatása.....	59
4.2.1 A módszerfejlesztés céljai.....	59
4.2.2 A módszer leírása.....	60
5 Esettanulmányok.....	66
5.1 Esettanulmány – Bankszektor	66
5.1.1 Az eset felvételének körülményei.....	66

5.1.2	Az eset leírása és eredményei	69
5.1.3	Az eset eredményeinek értékelése	76
5.2	Esettanulmány – Atomerőmű.....	77
5.2.1	Az eset felvételének körülményei.....	77
5.2.2	Az eset leírása és eredményei	77
5.2.3	Az eset eredményeinek értékelése	83
6	Diszkusszió.....	84
6.1	A módszerfejlesztés kapcsolódása a kockázatértékelés fejlődési trendjeibe	84
6.2	A módszertani fejlesztések összevetése	87
6.3	Limitációk	89
6.4	További fejlesztési irányok	90
6.5	Menedzseri alkalmazások	91
7	Tézisek.....	95
7.1	Kutatási kérdések megválaszolása	95
7.2	Tézisek megfogalmazása.....	96
8	Összegzés.....	98
9	Irodalom.....	99

Ábrajegyzék

1. ábra: A kutatás felépítése	15
2. ábra: A pénzügyi kockázatok célkonfliktusa (<i>Laubscher, 1987</i>)	20
3. ábra: A kockázati mátrix elvi felépítése (forrás: <i>DoD, 2017</i> alapján)	23
4. ábra: DAMUK és az FMEA (<i>Szilágyi és tsai., 2014</i>)	26
5. ábra: Az FMEA fejlesztések során alkalmazott módszertani csoportok (forrás: <i>Liu és tsai., 2013</i> és <i>Filz és tsai., 2021</i> alapján)	30
6. ábra: A PRIZMA módszertan általános modellje <i>Benedek és tsai., 2021</i> alapján	32
7. ábra A PRIZMA minta általános formája <i>Bognár és Hegedűs, 2022</i> alapján	33
8. ábra: PRIZMA minta összegző módszerrel (<i>Bognár és Hegedűs, 2022</i>)	34
9. ábra: PRIZMA minta szorzás módszerrel (<i>Bognár és Hegedűs, 2022</i>)	34
10. ábra: PRIZMA minta négyzetösszeg módszerrel (<i>Bognár és Hegedűs, 2022</i>)	35
11. ábra: Az esetek megjelenítése a PRIZMA térképen (forrás: <i>Benedek és tsai., 2021</i>)	36
12. ábra: A páros összehasonlításra alapuló MCDM módszerek tipizálása a racionalitás kezelése szerint (forrás: <i>Leoneti – Gomes, 2022, 12. old</i>)	38
13. ábra: Az AHP általános felépítése (forrás: <i>Saaty, 2013</i> alapján)	42
14. ábra: A Guilford eljárással kombinált PRIZMA módszertan folyamata (<i>Bognár és tsai., 2023</i>)	56
15. ábra: Az AHP-TOPSIS alapokon bővített PRIZMA módszertan folyamata	60
16. ábra: A PRIZMA minta egy lehetséges megjelenési formája	61
17. ábra Banki kockázati mátrix	67
18. ábra: Az események PRIZMA mintái és Prizma számai	73
19. ábra: A páros összehasonlítások számának alakulása a különféle technikák alkalmazása esetén	86

Táblázatjegyzék

1.	táblázat: A kockázatalapú irányítási rendszerek és a kapcsolódó kárjellegek (forrás: <i>Horváth és tsai., 2016</i>)	21
2.	táblázat: FMEA tényezők pontozása (<i>Szakály, 2005</i>)	27
3.	táblázat: Az FMEA előnyei és hátrányai (<i>Könyves és Kalló 2022 alapján</i>)	28
4.	táblázat: Példa a részleges kockázatok természetére.....	31
5.	táblázat: A esetek kockázati index értékei és rangsora (forrás: <i>Benedek és tsai., 2021</i>)	35
6.	táblázat: Az AHP módszerben szokásos minősítési pontszámok (Menon és Ravi, 2022).	44
7.	táblázat: Döntési mátrix n darab alternatíva esetén.....	44
8.	táblázat: Az n különböző számú alternatívához tartozó véletlenszerű indexek (<i>Ok és tsai., 2022</i>).....	45
9.	táblázat: TOPSIS döntési mátrix	46
10.	táblázat: TOPSIS alkalmazási területek összegzése.....	49
11.	táblázat: AHP-TOPSIS alkalmazási területek összegzése	52
12.	táblázat: Az AHP módszerben szokásos minősítési pontszámok (Menon és Ravi, 2022).....	62
13.	táblázat: Döntési mátrix n darab alternatíva esetén.....	62
14.	táblázat: Az n különböző számú alternatívához tartozó véletlenszerű indexek (<i>Ok és tsai. 2022</i>).....	63
15.	táblázat: A kockázatelemzésben felhasznált véletlenszerűen kiválasztott kockázatok..	69
16.	táblázat: Az 1. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - gyakoriság szerint ...	70
17.	táblázat: Az 1. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - súlyosság szerint	70
18.	táblázat: Az 1. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - felderíthetőség szerint	70
19.	táblázat: A 2. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - gyakoriság szerint	70
20.	táblázat: A 2. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - súlyosság szerint	70
21.	táblázat: A 2. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - felderíthetőség szerint	71
22.	táblázat: A 3. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - gyakoriság szerint → inkonzisztens	71
23.	táblázat: A 3. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - súlyosság szerint	71
24.	táblázat: A 3. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - felderíthetőség szerint →inkonzisztens	71
25.	táblázat: A szakértői konzisztencia vizsgálat eredménye.....	72
26.	táblázat: Az aggregált eredmények - gyakoriság szerint.....	72
27.	táblázat: Az aggregált eredmények - súlyosság szerint.....	72
28.	táblázat: Az aggregált eredmények - felderíthetőség szerint.....	73
29.	táblázat: Az aggregálás alapján képzett PRIZMA számok	74
30.	táblázat: A szakértők függvények szerinti rangsorai.....	75
31.	táblázat: Az egyezés vizsgálat korrelációs együtthatói	75
32.	táblázat: Az esemény klaszterek listája (<i>Bognár és tsai., 2022</i>)	77
33.	táblázat: A súlyosság (S) dimenzióval kapcsolatos döntési mátrix (<i>Bognár és tsai., 2022</i>)	79
34.	táblázat: A gyakoriság (O) dimenzióval kapcsolatos döntési mátrix (<i>Bognár és tsai., 2022</i>)	79
35.	táblázat: A felderíthetőség (D) dimenzióval kapcsolatos döntési mátrix (<i>Bognár és tsai., 2022</i>)	79
36.	táblázat: A PRIZMA minta elemeinek döntési mátrixa	80

37.	táblázat A konzisztencia vizsgálatok eredményei	80
38.	táblázat: A PRIZMA minta elemek súlyszermai	80
39.	táblázat: A Stratégia EseményCsoportok helyi súlyai.....	81
40.	táblázat: Normalizált és súlyozott döntési mátrix	81
41.	táblázat: A pozitív és negatív ideális megoldáshoz mért távolság, és az ideális megoldáshoz mért relatív közelség	82
42.	táblázat: A többszörös TOPSIS elemzés végső rangsorai.....	82
43.	táblázat: A rangegyezés és a rangkorreláció vizsgálat eredménye.....	82
44.	táblázat: A módszertanok közti választás kritériumai	87

Rövidítések jegyzéke

AHP	Analytic Hierarchy Process	Analitikus-hierarchikus eljárás
ARGUS	Achieving Respect for Grades by Using ordinal Scales only	
BWM	Best Worst Method	Legjobb legrosszabb módszer
CI	Consistency index	Konzisztencia mutató
CNC	Computer numerical control	Számítógépes numerikus irányítás
COMET	Characteristic Objects Method	
CR	Consistency ratio	Konzisztencia arány
DEMATEL	Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory	
DRSA	Dominance-based Rough Set Approach	
ELECTREE	ELimination Et Choix Traduisant la REalité	elimination and choice expressing reality
EVAMIX	Evaluation of Mixed Data	
EWM	Entropy Weight Method	
FMEA	Failure mode and effects analysis	Hibamód és hatás elemzés
FR-FMEA	Fuzzy-Rough FMEA	
FTA	Fault-tree analysis	Hibafa elemzés
KIPA	KIndler-PApp	Kindler és Papp féle többtényezős döntési módszer
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical-Based Evaluation TecHnique	
MAUT	Multiple Attribute Utility Theory	
MCDM	Multi-criteria decision-making	Többtényezős döntéshozatali módszer
MCDA	Multi-criteria decision analysis	Többtényezős döntés elemzés
MELCHIOR	Méthode d'ELimination et de CHoix Includent les relations d'ORdre	
NAIADE	Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments	
NPP	Nuclear power plant	Atomerőmű
ORESTE	Organization, Rangement Et Synthèse De Données Relationnelles	
PAPRIKA	Potentially All Pairwise RanKings of all possible Alternatives	
PCCA	Pairwise Criterion Comparison Approach	

PFAHP	Pythagorean fuzzy analytic hierarchy process	
PRISM	Partial RiSk Map	Részleges Kockázati Térkép (PRIZMA)
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation	
QUALIFLEX	QUALItative FLEXible multiple criteria method	
RE	Risk Exposure	Kockázati kitettség mutató
RI	Random Index	Véletlenszerű Index
RM	Risk Matrix	Kockázati mátrix
SIG/SECS	Strategic Incident Group	Stratégia Esemény Csoport
SMART	Simple Multi-Attribute Rating Technique	
TACTIC	Treatment of the Alternatives According To the Importance of Criteria	
TODIM	TOmada de Decisão Interativa e Multicritério	
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution	
TREF	Total Risk Evaluation Framework	
UTA	UTility Additive	
VIKOR	VIseKriterijumska Optimizacija i Kompromisno Resenje	

Kivonat

Páros összehasonlításon alapuló PRIZMA kockázatértékelő módszer fejlesztése

Az üzleti működést napjainkban egyre több kockázat terheli, akár mikro, akár makro, akár stratégiai, akár operatív szinten. A sikeres működés elengedhetetlen feltétele, hogy ezeket a kockázatokat kezelni tudjuk. A sikeres kockázatkezeléshez első lépésként azok felismerése, mérése, rangsorolása szükséges.

Doktori értekezésem fő célkitűzése annak feltárása, hogy a gyakorlatban széles körben elterjedt és használt kockázatkezelési módszereket rendszerezze, azok gyengeségeit feltárja, majd módszerfejlesztés segítségével egy, a kockázatértékelési célokhoz jobban illeszkedő módszert dolgozzon ki és mutasson be.

A cél eléréshez a disszertáció első nagy blokkjában áttekintést adok napjaink kockázatkezelő technikáiról, kitérve azok erős és gyenge pontjaira, bemutatva az eddig alkalmazott fejlesztési, kiterjesztési irányokat.

A főbb kockázatértékelő technikák fejlesztési tapasztalataira építve kidolgozok egy páros összehasonlítási alapokra épülő módszertan fejlesztést, melynek segítségével a részkockázati mátrix kockázatértékelő módszertan kibővítésre kerül.

A dolgozatban a páros összehasonlításon alapuló kibővített PRIZMA módszertan alkalmazását esetpéldákon keresztül mutatom be, értékelem a fejlesztés irányait, a kiterjesztéssel elért eredményeket.

A dolgozat eredményeként igazolásra került, hogy a PRIZMA módszertan páros összehasonlításon alapuló bővítése egy működőképes kockázatértékelő módszert hozott létre, mely a működése szempontjából részletesebb, a vezetők munkáját stratégiai szinten támogatni képes kockázatkezelési módszert eredményezett.

Kulcsszavak: kockázat kezelés, FMEA, PRIZMA, Guilford-eljárás, AHP-TOPSIS

Abstract

Development of the PRISM risk assessment method based on pairwise comparison

Business operations are increasingly burdened with risks today, whether at the micro, macro, strategic or operational level. Managing these risks is an essential condition for successful operation. The first step in successful risk management is to recognize, measure and prioritize them.

The main objective of my thesis is to explore the systematization of risk management methods that are commonly used and widespread in practice, to reveal their weaknesses, and then to develop and present a method that better fits the goals of risk assessment through method development.

To achieve this goal, I will provide an overview of today's risk management techniques in the first major block of the thesis, covering their strengths and weaknesses, and presenting the development and expansion directions applied in them so far.

Building on the development experience of the main risk assessment techniques, I will develop a methodology based on pairwise comparisons, with the help of which the partial risk matrix risk assessment methodology will be expanded.

In the thesis, I present the application of the extended PRISM methodology based on pairwise comparisons through case studies, evaluate the directions of the development, and the results achieved with the extension.

As a result of the thesis, it was proven that the extension of the PRISM methodology based on pairwise comparisons created a workable risk assessment method, which resulted in a risk management method that is more detailed in terms of its operation and capable of supporting the work of managers at a strategic level.

Keywords: risk management, FMEA, PRISM, Guilford-procedure, AHP-TOPSIS

Auszug

Entwicklung der PRISM-Risikobewertungsmethode auf Basis von paarweise Vergleichen

Organisationen sind heute zunehmend mit Risiken belastet, sei es auf Mikro-, Makro-, strategischer oder operativer Ebene. Das Management dieser Risiken ist eine wesentliche Voraussetzung für erfolgreichen Betrieb. Der erste Schritt zu einem erfolgreichen Risikomanagement besteht darin, diese Risiken zu erkennen, zu messen und zu priorisieren.

Das Hauptziel meiner Dissertation ist es, die Systematisierung weit verbreiteter und in der Praxis eingesetzter Risikomanagementmethoden zu untersuchen, ihre Schwächen aufzudecken und anschließend durch Methodenentwicklung eine Methode zu entwickeln und vorzustellen, die den Zielen der Risikobewertung besser entspricht.

Um dieses Ziel zu erreichen, gebe ich im ersten großen Block der Dissertation einen Überblick über aktuelle Risikomanagementtechniken, beleuchte ihre Stärken und Schwächen und stelle die bisherigen Entwicklungsrichtungen und Erweiterungen vor.

Aufbauend auf den Entwicklungserfahrungen der wichtigsten Risikobewertungstechniken entwickle ich eine auf Paarvergleichen basierende Methodik, mit deren Hilfe die Methodik der partiellen Risikomatrix Risikobewertungstechnik erweitert wird.

In der Dissertation stelle ich die Anwendung der erweiterten PRISM-Methodik auf Basis von Paarvergleichen anhand von Fallstudien vor und bewerte die Entwicklungsrichtungen sowie die mit der Erweiterung erzielten Ergebnisse.

Im Ergebnis der Arbeit konnte nachgewiesen werden, dass die Erweiterung der PRISM-Methodik auf Basis von Paarvergleichen eine praktikable Methode zur Risikobewertung geschaffen hat. Dies führte zu einer Risikomanagementmethode, die in ihrer Funktionsweise detaillierter ist und die Arbeit von Führungskräften auf strategischer Ebene unterstützen kann.

Schlüsselwörter: Risikomanagement, FMEA, PRISM, Guilford-Method, AHP-TOPSIS

Köszönetnyilvánítás

Disszertációmát Professzor Dr. Gaál Zoltán C.s.C., a Karbantartás Generálisa emlékének ajánlom, aki még akkor is hitt bennem, amikor én már saját magamban sem.

Köszönöm Dr. Bognár Ferencnek, hogy idejét, energiáját nem sajnálva, minden eszközt megmozgatva átlendített mélypontjaimon.

Köszönöm a családom kitartását és támogatását, akik elnézték nekem a sok tőlük távol töltött időt.

Köszönöm minden kedves kollégámnak, aki bármilyen módon segítette disszertációm elkészültét.

1 Bevezetés

„A kockázatok és mellékhatások tekintetében...”

„Zum Risiken und Nebenwirkungen...”

tetszőleges beteg tájékoztató

A kockázatok kezelése életünk minden területét áthatja a magánéletünk egészségi kérdéseitől kezdve (lásd a fejezet mottóját) az ellátási láncok kockázatain át ([Pfohl, 2002](#)), napjaink körforgásossá váló gazdaságainak kockázataiig ([Yazdani és tsai., 2021](#), [Pellegrino, 2025](#)).

A különféle kockázatokban egy közös jellemző mindenképp felfedezhető: szeretnénk magunkat (vagy szervezetünket) a nem kívánt hatásoktól megóvni, vagy ha a baj már bekövetkezett, akkor megtenni a lehetséges ellenlépéseket. Ehhez szükséges a kockázatok mibenlétével tisztában lenni, azok összefüggéseit időben felismerni. A sokféle kockázat még több fajta kezelési módszer kialakítását indukálta. Természetesen, ahogy a menedzsmenttudomány más területein is, a kockázatok menedzsmentjében sem létezik a „bölcsék köve”, az egységesen, mindent megoldó módszertan. Minden kidolgozott kockázátértékelési módszertan hordoz magában előnyöket (akár módszertanilag, akár felhasználóbarátság szempontjából), ám korlátokkal is küzd. Sok esetben csak nevezéktenbeli eltérések máris új módszert eredményeznek, tovább nehezítve a céljaihoz legjobban illeszkedő módszert kiválasztani akaró kockázatkezelő szakember munkáját.

A disszertáció alapvető célkitűzése a kiválasztott kockázatelemző technikák korlátainak feltárása, azokra továbbfejlesztési irányok kijelölése, majd egy lehetséges módszertan bemutatása a feltárt korlátok kezelésére.

1.1 A disszertáció vezérfonala

A dolgozat a kockázatkezelési módszerek közül a szakirodalom kutatás során kiválasztott módszertanok alkalmazási feltételeit, előnyeit, hátrányait vizsgálja alkalmazhatóságuk szempontjából, különös tekintettel azok alkalmazási korlátaira. Az azonosított korlátok alapján javaslatot teszek a PRIZMA (részkockázati mátrix) módszertan kibővítésére.

A szakirodalmi összefoglalóban azonosításra kerülnek a kockázatok kezelését szolgáló irányzatok, megközelítések, a gyakorlatban széles körben alkalmazott módszertanok. Bemutatásra kerülnek a kockázati mátrix, az FMEA (hibamód és hatáselemzés), valamint a PRIZMA módszertanok. A bemutatás fókuszja az egyes technikák alkalmazási módszertanának kritikájára fókuszál. Az FMEA módszertan széles körben elterjedt, hétköznapi módszernek tekinthető, ám az alkalmazása során a kockázat minősítésére alkalmazott RPN szám túlzottan aggregálja a kockázatok mibenlétét, így arról torzított képet adhat a kockázatok kezelésére akaró döntéshozók számára.

A részkockázati mátrixot alkalmazó PRIZMA módszertan az FMEA elemzés torzított képét a részkockázatok páros kezelésével pontosítja ugyan, vizuálisan kiválóan szemlélteti az egyes

rész-kockázatok fontosságát, ám azok tényleges prioritizálásához, a kockázatok tényleges egymáshoz méréséhez még nem nyújt kellő segítséget a döntéshozók számára.

Az egymáshoz való összevetést segítheti a különféle többtényezős döntési módszerek (MCDM) technikák alkalmazása. Az MCDM technikák közül a Guilford eljárás, az AHP és a TOPSIS eljárások kerülnek részletesebb bemutatásra, mint a PRIZMA módszer hátrányainak kiküszöbölésére alkalmas technikák.

Az MCDM módszerek szakirodalmának bemutatása és kritikai elemzése után azoknak a PRIZMA módszerrel való kombinálásával módszertan fejlesztési javaslatot teszek a PRIZMA módszer kibővítésére. Ez megtörténik egyrészt egy Guilford-PRIZMA kombináció módszertanának kidolgozásával, majd folytatódik egy AHP-TOPSIS-PRIZMA módszertan leírásával.

A kibővített módszertanok működőképességének vizsgálatát valós kockázati helyzetek leírását feldolgozó esettanulmányok segítségével végzem el. Az esettanulmányokhoz történő adatfelvétel során nem csak a javasolt módszertan, hanem az esetet biztosító szervezetnél korábban alkalmazott kockázatkezelési eljárások is röviden bemutatásra kerülnek, majd a meglévő és az új gyakorlat eredményeinek összevetésével vizsgálom a javasolt módszertan alkalmazhatóságát.

A disszertáció lezárásaként bemutatom a javasolt módszertan menedzseri alkalmazásának lehetőségeit, keretrendszerét, végül pedig kijelölöm a további fejlesztési, kiterjesztési irányokat.

1.2 A disszertáció személyes motivációi

Az elmúlt 20 év során a menedzsment oktatásban és kutatásban szerzett tapasztalataim alapján a kockázatok kezelése az egyik legnagyobb kihívás napjaink vezetői számára munkájuk során. Feladataik, egyéni képességeik eltérőek ugyan, ám ha a közös pontokat keressük a vezetők munkájában, akkor alapvetően továbbra is terveznek, szerveznek, utasítanak, ellenőriznek, ahogy azt már a menedzsment nagy klasszikusaitól (Taylor, Fayol) bő száz éve megtanulhattunk. Közös továbbá, hogy a vezetők döntéseket hoznak, legtöbbször minimális információk alapján, azokat saját tapasztalatuk szemüvegén át megszűrve, kockázatos körülmények között. Egyrészt innen fakad érdeklődésem a kockázat menedzsmentje iránt. Létezik-e egyetemenlegesen alkalmazható módszer a kockázatok kezelésére?

Másrészt szervezői tapasztalataim (esettanulmánymegoldó versenyek, karbantartási konferenciák) is azt mutatják, hogy a sokéves tapasztalat segíti ugyan a rendezvények „rutinból” történő megvalósítását, ám ez számtalan veszélyt is rejt magában. Minden releváns tényezőt sikerült megfelelő mértékben a sikeres rendezvénymegvalósítás érdekében kezelni? Az egyes kockázatok súlyuknak megfelelően, kellő mértékű figyelmet kaptak a munkafolyamat során? A tapasztalat személyhez köthető. Kérdés, hogy átadható-e? Ha létezik egy olyan módszer, amely segítségével a kockázatok fontosságuknak megfelelően értelmezhetőek, akkor kezelésük már nem személytől függő lesz abban az értelemben, hogy a szubjektivitás csökkenthető lesz a döntéshozatal során.

Erős motivációt jelent számomra a karbantartás, mint a kockázatok megjelenésének egyik kiemelkedő területe is. 2025-ben immár 37. alkalommal került megrendezésre a Nemzetközi Karbantartási Konferencia Veszprémben. Az évtizedekben mérhető múlt számtalan ötlettel, hagyománnyal, inspirációval befolyásolja életem, gondolkodásom. A Gaál Zoltán professzor úr által az akkori Veszprémi Egyetemen meghonosított megbízhatóságelméleti alapokon táplálkozó, Kovács Zoltán professzor úr által üzemfenntartási gondolatokkal bővített, Horváth Csaba professzor úr által „csak” veszprémi karbantartási iskolának nevezett közösség számtalan meghatározó gondolattal táplált. Különösen kiemelkedik a karbantartás szervezés gondolatai közül a mikor kérdésekre keresett válaszok tömege. Mikor kell karbantartani? Erre könnyedén válaszolhatjuk, amikor elromlott. De mikor fog elromlani? Ezt már nehezebb megválaszolni. Ha azonosítani tudjuk, hogy mely kockázatok (műszaki, gazdasági, szervezési, humán, stb.) vezetnek a meghibásodáshoz, közelebb juthatunk a válaszokhoz. Nagy kérdés az is, hogy ezek az egyes kockázati tényezők egyformán fontosak vagy sem a meghibásodás szempontjából, ugyanis ez már prioritizálhatja az elvégzendő feladatokat. Napjainkban a szervezetek mindenről adatokat gyűjtenek, így természetesen a karbantartás területén is. Olykor mégsem sikerül a „fától meglátni az erdőt”, mert a szorgos adatgyűjtés önmagában még kevés. Ha van egy, a célnak megfelelő adatfeldolgozó, értékelő módszer például a kockázatok kezelésére, akkor a lényeg könnyebben kiszűrhető, a mindig szűkösen rendelkezésre álló erőforrások könnyebben célra irányíthatóak annak kezelése érdekében. De létezik ilyen kockázat értékelő eljárás?

1.3 A disszertáció létrejöttének menete

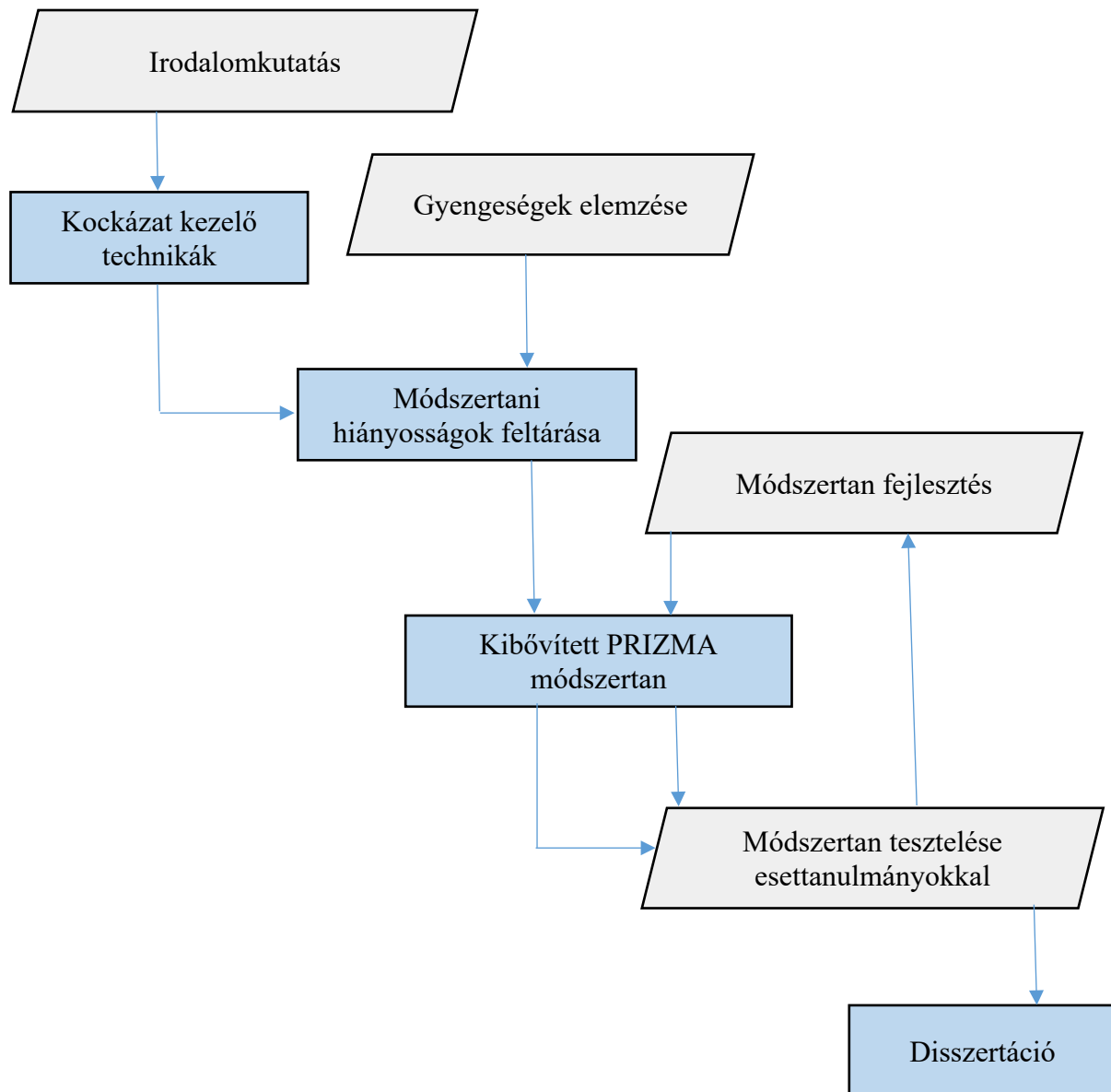
Disszertációm fő kérdése: mely korlátokkal küzdenek az egyes kockázatkezelő módszerek és eljárások, azok a korlátok hogyan oldhatóak fel, ha feloldhatók egyáltalán? Disszertáciomban javaslatot teszek a kockázatértékelés PRIZMA módszertanának kiterjesztésére, annak páros összehasonlítással való kombinálásával.

A kutatás abból a feltevésből indult ki, hogy a napjainkban használt kockázatelemző technikák milyen korlátokkal és alkalmazási nehézségekkel bírnak. A széles körben elterjed technikák a maguk előnyei mellett különféle mérési problémákkal küzdenek, melyek olykor racionálisan, számszerűsíthetően kezelhetők ugyan, de az egyéni szubjektivitást nem minden esetben tudják kezelni. Ezen probléma kezelésére többféle módszertan, még többféle bővítése, kiegészítése született meg a menedzsment-tudomány történetének elmúlt évtizedeiben. A racionalitás igénye mellett a szubjektivitás mértékének csökkentésére lehetséges útnak tűnik a páros összehasonlító módszerek alkalmazása, kombinálása a különféle kockázatkezelő technikákkal, melyek törekednek a teljes informáltság elérésére, mindamellett figyelembe veszik a döntéshozók korlátainak kezelési lehetőségeit is.

A kutatás felépítését az 1. ábra szemlélteti. Az ábra egyes elemeinek egymáshoz való elhelyezkedése a logikai kapcsolaton túl azok időbeli egymásra épülését is kifejezi.

A PRIZMA módszer fejlesztési irányainak kijelöléséhez első lépésben a különféle meglévő módszertanok szakirodalmának foglaltam össze meg. A feldolgozás során első sorban angol nyelvű források felkutatása történt a nemzetközi irodalomban. Bemutatásra kerültek

alapvetőnek tekinthető kockázatelemző módszerek, mint például a kockázati mátrix, az FMEA, azok alkalmazási területeivel, különös figyelmet fordítva az alkalmazásuk módszertani korlátaira. A kritikai pontok azonosítása után a lehetséges módszertan bővítési irányok kijelölésével folytattam munkámat. Ennek érdekében a kockázatértékelési technikák különféle kiterjesztési, kombinálási irányait tártam fel a szakirodalomban. A többtényezős döntési problémák kezelésére szolgáló módszerek (Guilford eljárás, AHP-TOPSIS) alkalmasnak bizonyulnak a kockázatkezelő módszertanok korlátainak kezelésére, így dolgoztam ki a PRIZMA módszertan páros összehasonlítással bővített változatait.



1. ábra: A kutatás felépítése

A kidolgozott új eljárás vállalati esetpéldákon keresztül került tesztelésre, mely során különféle iparágakban (pénzügyi compliance kockázatainak kezelése, energiatermelő vállalat logisztikai működése) felvett példákon keresztül került ellenőrzésre, hogy a módszer alkalmazható-e, illetve az alkalmazása a korábban az eseteknek helyt adó szervezetek

kockázatkezelési, döntéshozatali eljárásaiban előrelépést tudtak-e biztosítani. Az esetpéldák tanulságai Q1 és Q2 kategóriájú folyóiratcikkekben publikálásra kerültek.

A kidolgozott módszertant az első esettanulmány tapasztalatai alapján továbbgondoltam. A Guilford eljárással való kibővítése a PRIZMA módszertannak ugyan előrelépést hozott, és egyben további fejlesztési irányokat nyitott. A módszertan továbbfejlesztése érdekében a PRIZMA módszer AHP-TOPSIS alapú továbbfejlesztését valósítottam meg, melyet egy újabb esetpéldán keresztül mutattam be. Egy harmadik esettanulmányi példán keresztül (mely jelenleg publikálás alatt van) a módszertan működésének további kiterjesztési lehetőségeit vizsgálom. A kutatás végrehajtása során a módszertan tesztelésében végrehajtott iteráció helyesnek bizonyult, a tanulmányok elkészítése során a bírálóktól kapott észrevételek beépítése a módszertan fejlesztésbe hasznosnak bizonyult.

A kutatás eredményeként egy olyan kockázatértékelő módszertant sikerült előállítanom, melynek alkalmazásával a szervezetek a kockázatok értékelése során az értékelői szubjektivitást csökkenteni tudják, így a módszertant alkalmazó kockázati rangsor(ok) tisztább képet tudnak adni a korábban alkalmazott módszertanaiknál. A pontosabb kép a kockázatokról képessé teszi az alkalmazó szervezeteket a potenciális kockázatokra való hatékonyabb felkészülésre, így eredményesebb döntéshozatali folyamatot biztosít számukra, a szűkösen rendelkezésre álló erőforrások jobb felhasználását teszi lehetővé a kockázatok kezelésekor. Ez a vezetői munka jelentős könnyítését eredményezheti az alkalmazó szervezetek számára a könnyebb fókuszálás által.

Az esetpéldák kidolgozását követően a disszertáció összeállításába kezdtem módszertani fejlesztésem bemutatására, összegzésére.

2 Kutatási kérdések, feltevések

Klasszikus kockázatkezelő módszerek, mint például a kockázati mátrix, az FMEA elterjedtségükkel, és egyszerűségükkel csábító lehetőségeket kínálnak a kockázatok azonosítására, azok minősítésére. Azonban mint minden érmének, a kockázatértékelésnek is létezik az árnyoldala. Az FMEA az RPN mutató kiszámításával egy értékbe tömöríti a kockázat jellemzőit, így az többszintű rendszerekben nehezen válik alkalmazhatóvá. (Könyves és Kalló 2022) Erre ad megoldási lehetőséget a PRIZMA módszertan, mely a részkockázatok kezelésével az RPN számnál szemléletesebb képet tud adni a kockázatokról. (Benedek és tsai., 2021)

A PRIZMA módszer gyengesége, hogy csak a kockázatok mibenlétére fókuszál, nem ad kellő részletezettségű képet azok megoldási irányairól (Bognár és Hegedűs, 2022), nem kezeli kellő mértékben a véleményalkotói szubjektivitásból (Redmill, 2002; Banghart és tsai., 2018) adódó nehézségeket, a véleményalkotók megbízhatóságát nem vizsgálja (Benedek és tsai., 2021).

A fentiek alapján fogalmaztam meg első kutatási kérdésemet.

1. Milyen kiegészítések megtétele szükséges a PRIZMA módszertanhoz, amelyek segítségével a kockázatok összevethetősége mellett, az értékelői megbízhatóság is vizsgálhatóvá válik?

A kockázatértékelés során a PRIZMA módszertan bővítése különféle MCDM technikákkal (például AHP (Saaty, 1980), TOPSIS (Chakraborty, 2022), BWB (Rezaei, 2015)) a szakirodalmi bemutatóban leírtak szerint járható utat jelenthet a módszertan kihívásainak leküzdésében. Mint minden módszerfejlesztés, az MCDM technikákkal való kombinálása a PRIZMA módszertannak is ad előnyös és hátrányos tulajdonságokat az eredeti módszertanhoz képest. Ez megjelenhet az alkalmazhatósági területben (általános vagy speciális menedzsment/üzleti területek), a mérési skálák milyenségében, a felhasználhatóság fókuszában (stratégiai vs. operatív), stb. A fejlesztés „jóságának” minősítésekor az imént felsorolt tényezők mindegyikét figyelembe kell venni a kockázatértékeléshez módszertant választó vezetőnek döntése meghozatalában.

A fentiek alapján fogalmaztam meg második kutatási kérdésemet.

2. Az eredeti PRIZMA módszertan egyes MCDM technikákkal való bővítése milyen módon tud az adott alkalmazási területen jelentkező döntési/kockázatkezelési problémákra módszertani megoldást adni?

A páros összehasonlítást alkalmazó technikák, mint például a Guilford-eljárás (Guilford, 1928), vagy az AHP (Saaty, 1987), törekednek a vizsgált összehasonlítandó elemek (kockázatok) teljes körű rendezésére, hogy azokat megfelelő módon, minél szélesebb körű és pontosabb informáltság alapján értékelni tudják. Ez az értékelésben résztvevőket jelentős kihívás elé tudja állítani. Amennyiben minél pontosabb, megbízhatóbb értékelést szeretnénk a kockázatok értékelő szakemberektől kapni a kockázatok mibenlétével kapcsolatban, akkor segíteni, támogatni szükséges őket értékelői munkájukban. A PRIZMA módszer egy szemléletes, könnyen elsajátítható, alkalmazható eszköz. Alkalmazása során az értékelők valós

csoportként, tényleges közös gondolkodás keretében készítik el a minősítést (*Bognár és Benedek, 2022*) A személyes részvételű csoportmunka torzíthatja az egyes véleményalkotásokat, mivel a domináns személyek (akár személyes forrásból, akár a szervezet által számukra biztosított pozícióból fakadóan) hatással lehetnek a véleményformálásra. A PRIZMA módszertan azonban nem vizsgálja a szakértői vélemények egyezőségét, torzulását.

A fentiek alapján fogalmaztam meg harmadik kutatási kérdésemet.

3. A páros összehasonlítás alkalmazása milyen módon változtatja meg a PRIZMA kockázatbecslési folyamatát?

Kutatási kérdéseim felállítása után feltevéseim következnek, számozásuk rendre követi a kutatási kérdéseket.

Feltevések:

1. Amennyiben a PRIZMA módszer kockázatkezelésre változatlanul alkalmas marad a különféle páros összehasonlítási technikákkal való integráció után is, úgy a páros módszertanoknak köszönhetően a szakértői konzisztencia is vizsgálható lesz (alacsonyabb esetszám mellett).
2. A PRIZMA módszertan páros összehasonlítási technikákkal való kombinálása során változik az értékelési dimenziók mérési módszere.
3. A páros összehasonlítás alkalmazásának hatására a PRIZMA kockázatbecslési folyamatának megbízhatósága növekedni fog, a szakértők véleményének egyezősége vizsgálható lesz.

3 Szakirodalmi összegzés

A fejezetben bemutatom a kockázatok értékelésével kapcsolatos főbb irányokat, módszereket. Bemutatom a módszerek (RM, FMEA, PRIZMA) előnyei mellett azok korlátait, a korlátok kezelésére a szakirodalomban leírt irányzatokat. A dolgozat alapvető célkitűzéseivel összhangban összegzem a többtényezős döntési módszerek releváns eljárásait, azok alkalmazási területeit, tanulságait, megalapozva disszertációm következő fejezetiben leírt módszertani fejlesztéseimet.

3.1 A kockázat és annak kezelési megközelítései

A vállalati működés során kockázatnak tekinthetünk minden olyan akár külső, akár belső forrásból származó zavarokat, eseményeket, melyek bekövetkezése esetén veszélybe kerül(het) a vevői/ ügyféligények kielégítése vagy a vállalati érintettek biztonsága. (*Horváth és Szilávik, 2011*) A kockázatok kezelése éppen ezért jelentősen felértékelődött, fejlődésen ment és megy keresztül. „A biztosítási és pénzügyi kockázatelemzés és -kezelés mellett ma már sajátos és speciális kockázatmenedzsment ismeretkör jelenik meg a beszállítói és termelési logisztikában, a minőségirányításban, a gyártmány- és gyártástervezésben, karbantartásban, valamint az információbiztonságban is.” (*Michelberger, 2024*)

A kockázat definíciójára a különböző területeken számos meghatározás létezik.

Doff (*Doff, 2008*) tanulmányában az üzleti kockázat legfőbb jellemzőjeként a bizonytalanságot azonosítja, melynek kezelésére 3 féle megközelítést azonosít:

- analógiák módszere: versenytársak (vagy akár belső szervezeti egységek) gyakorlataival való összevetés, melynek legnagyobb előnye az egyszerűségében rejlik;
- statisztikai módszerek: múltbéli adatok alapján trendek, volatilitások azonosítása az üzleti működésben, melyek az egyéb pénzügyi műveleteknél megszokottakhoz hasonló módszertanokat alkalmaznak, így használatuk egyszerű;
- szcenáriók felvázolása: szakértői vélemények alapján az egyes kockázati események előzetes felvázolása és értékelése, melyek már a kockázatok kezelését is előkészíthetik. (*Doff, 2008*)

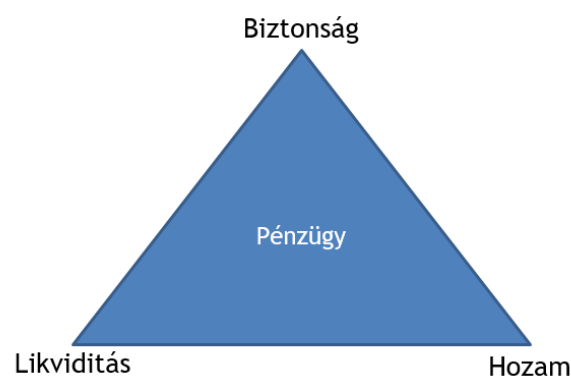
Egy másik megközelítés szerint a kockázatok kezelése a legtöbb esetben a bizonytalanságok közepette meghozott vezetői döntések meghozatalát foglalja magában, mely mögött az információhiány áll (*László, 2014*). A meglévő és megszerzett információk értékelése, összevetése segítheti a döntések meghozatalát.

Például az informatika területén az IT kockázat megközelítésmódjából kockázat (R) a fenyegetettség mértéke, amely egy fenyegetés bekövetkezése gyakoriságának (bekövetkezési valószínűségének, W) és az ez által okozott kár nagyságának/súlyosságának (K) a függvénye. Matematikai megközelítésben: $R = W \times K$. (*László, 2014*) E megközelítésből is látható, hogy a bizonytalanság csökkentésére gyakorta alkalmaznak matematikai formulákat, képleteket.

A vállalati működés területein (működési, pénzügyi, emberi kockázatok) a kockázatok akár együttesen is megjelenhetnek, külső és belső forrásra visszavezethető kockázatok együttesen hatnak a szervezet teljesítményére. Hanggraeni és társai (*Hanggraeni és tsai., 2019*) tanulmányukban rávilágítottak, hogy a külső és belső forrásra visszavezethető kockázatok kezelése különösen a kis- és középvállalkozások életében bizonyulhat különösen jelentősnek.

Külső kockázatot jelenthet egy szervezet, vagy akár a szervezet teljes ellátási láncára az extrém időjárás is, melynek kezelésére mutat be tanulmányában példát Kovács és Pató (*Kovács és Pató, 2014*)

A pénzügyi kockázatok kezelése gyakorta egy nehezen feloldható célkonfliktust is eredményez, ahogy arra Laubscher (*Laubscher, 1987*) a „mágikus háromszög” alkalmazásával rámutat, melyet a 2. ábra szemléltet.



2. ábra: A pénzügyi kockázatok célkonfliktusa (*Laubscher, 1987*)

A kockázatok közös jellemzőjeként megállapítható, hogy maga a kockázat és annak kezelése is folyamatszemléletű megközelítést kíván: az okok és hatások rendszerének feltárását. Ezek összetettsége tetten érhető – mások mellett – abban, hogy az egyes jelenségek és történések időben, térben (érdekelt feleknél) vagy valamilyen szempontból eltérő kockázatot jelentenek. Lényegében egy többszempontú döntési problémát (*Rapcsák, 2007*) kell megoldani a kockázatok kezelése érdekében. Erre többféle folyamat és módszertan áll rendelkezésre, például az AHP módszertan, melyekkel kellő részletezettséggel azonosíthatóak a kockázatok. Az AHP módszertan részletes bemutatására egy későbbi fejezetben térek ki részletesen.

Az emberi elme a korlátai miatt mindig törekszik az egyszerűsítésre, próbálja egy –vagy néhány mutatóval – kifejezni a kockázatokat (lásd például az FMEA módszertanát). A lehetséges hatások (károk) és a bekövetkezési valószínűségek összekapcsolásával az egyes események várható kimenetének értékei mérhetővé válnak (*Galambos és Fekete, 2005*), így a kockázatok azonosításával az azokra való felkészülés megkezdhető.

Több esetben szabványok (pl. ISO 31000 szabványcsalád) és irányítási rendszerek is segítségünkre lehetnek a kockázatok kezelésében. A kockázat alapú irányítási rendszerekre mutatnak be példát Horváth és munkatársai (*Horváth és tsai., 2016*) az 1. táblázatban összefoglalt módon.

1. táblázat: A kockázatalapú irányítási rendszerek és a kapcsolódó kárjellegek
(forrás: *Horváth és tsai., 2016*)

Irányítási rendszer	Kárjelleg
ISO/IEC 27001 – Információbiztonsági irányítási rendszer (IBIR)	Információszivárgás, folyamatokhoz információk rendelkezésre állásának, pontosságának elvesztése
ISO 14001 – Környezetközpontú irányítási rendszer (KIR)	Környezeti tényezők veszélyeztetése, környezet szennyezése és károsítása
OHSAS 18001/ISO 45001 – Munkahelyi egészségvédelem és biztonságirányítási rendszer (MEBIR)	Munkahelyi balesetek, egészségkárosodások
ISO 50001 – Energiagazdálkodási irányítási rendszer (EIR)	Fölösleges energiafelhasználás
ISO 9001:2015 – Minőségirányítási rendszer	Termék és szolgáltatás minőségének romlása, (üzleti, stratégiai) célok veszélyeztetése, nem kívánt hatások
+ Ágazati irányítási rendszerek: élelmiszer-, gyógyszer-, autóipar, egészségügy, stb.	ágazati speciális hatások, kárjellegek

Az irányítási rendszerbe integrált kockázatmenedzsment szemlélet kezelésére mutat be a TREF alkalmazásával egy termelővállalat példáján keresztül Kovács társaival. (*Kovács és tsai., 2014*).

Amennyiben a szabványok szemszögéből szeretnénk megközelíteni a kockázatok kezelésével kapcsolatos irányítási rendszerbeli megközelítéseket, akkor az ISO irányítási rendszer-szabványokból kiindulva az alábbi fejlődéstörténet írható le.

Az ISO 9001:2008 kiadásában a kockázat szó még mindössze kétszer szerepel:

- a minőségirányítási rendszerre hatással bíró szervezeti környezet változásának leírásánál, illetve
- a más irányítási rendszerekkel való összehangolásnál arra utalva, hogy a kérdéssel más szabványok foglalkoznak.

Az ISO 9000 szabványsorozat harmadik (2000. évi) kiadásában alapvető és átfogó követelményként megjelent a folyamatszemplélet, aminek implementálása komoly fejtörést okozott a vállalatok számára, majd a 15 évvel későbbi kiadás (ISO 9001:2015) hasonló kihívások elé állította a szervezeteket a kockázatalapú gondolkodásmód bevezetésével. A „kockázat” szó már 49 alkalommal szerepel az szövegben (összehasonlításképpen a „minőség” 158-szor, ami a szabvány jellegét tekintve a kockázatok fontosságára utal). Meg kell jegyezni, hogy a követelményszabványok szinte soha nem a legfrissebb tudományos eredményeket dolgozzák fel, hanem azokat, amelyekhez a szervezet méretétől és tevékenységétől függetlenül megfelelő támogatás biztosítható. (*Berényi, m.a.*)

A szabvány megfogalmazásában a kockázatalapú gondolkodásmód „alapvető fontosságú egy eredményes minőségirányítási rendszer megvalósításához” (ISO 9001:2015). Ez megjelenik az érdekelt felekkel és tevékenységekkel kapcsolatos tervezési és a nemmegfelelőségeket

helyesbítési feladatoknál is. A szabvány utal rá, ahogy hallgatólagosan ez korábban is követelmény volt, illetve arra, hogy ugyanezt a megközelítést a lehetőségre, a kedvező kimenetű bizonytalan eseményekre is alkalmazni kell. A kockázatokkal és lehetőségekkel való foglalkozást a szabvány a környezetből indítja el, és az ezekből levezethető elvárások, követelmények kezeléséhez szükséges folyamatokhoz kapcsolja. (*Berényi, m.a.*)

A szabvány nem tér ki a számolás-értékelés módjára, ezekre azonban számos szervezetnek van már bevett gyakorlata iparági szabványokból vagy tanácsadói tapasztalatok alapján. (*Berényi, m.a.*)

Sadgrove (*Sadgrove, 2016*) könyvében az üzleti kockázatok kezelését alapvetően 3 fő szakaszra tagolja: a kockázatok azonosítása, a kockázatok értékelése, a kockázatok csökkentése. Az egyes szakaszok során alkalmazható főbb módszerekre a következőkben térek ki.

A kockázatok mérésében rejlő bizonytalanságok kezelésére adnak példát Kosztyán és társai publikációjukban (*Kosztyán és tsai., 2010*).

A kockázatok kontrollkártya alapú kezelésére ad példát Kosztyán és Katona több művében (*Kosztyán és Katona, 2016, Kosztyán és Katona, 2018*), Kosztyán és Hegedűs (*Kosztyán és Hegedűs, 2017*), Katona és társai (*Katona és tsai., 2023*).

A kockázatok megkülönböztethetők az időtávjuk alapján is. Sætra és Danaher (*Sætra és Danaher, 2025*) a mesterséges intelligencia alkalmazások példáján keresztül mutatja be a kockázatok időtávjainak dilemmáit.

A következő fejezetekben a kockázatok kezelésére szolgáló módszertanok közül a kockázati mátrix (Risk Matrix, RM), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA, Hibamód és hatás elemzés), és PRIZMA (Partial Risk Map, PRISM) módszertanok kerülnek bemutatásra, kitérve a módszertan korlátaira.

3.1.1 Kockázati mátrix

A kockázati mátrix a menedzsment számos területén, széles körűen használt eszköz a kockázatok értékelésére és rangsorolására. Többnyire két dimenziós, vizuális megjelenítést alkalmazva szemléltethető segítségével az egyes események kockázatának értékelése, azok bekövetkezési valószínűsége és a kockázat lehetséges súlyossága alapján. A kockázati mátrix egy félig kvantitatív kockázat értékelő módszer, mely a kockázatok történeti, statisztikai adatok alapján értékeli (Ni és tsai., 2010). Egy lehetséges példája látható a kockázati mátrixnak a 3. ábrán.

		A kockázat súlyossága		
		Alacsony	Közepes	Magas
Bekövetkezés valószínűsége	Alacsony			
	Közepes			
	Magas			

3. ábra: A kockázati mátrix elvi felépítése (forrás: DoD, 2017 alapján)

A kockázati mátrix elkészítésének lépései az alábbiak szerint foglalhatók össze (Thomas és tsai., 2014) alapján.

1. A kockázatok azonosítása

Össze kell gyűjteni az értékelés szempontjából releváns, vizsgálandó kockázatokat. Ez történhet egy egyszerű brainstorming módszerrel történő listázással, de természetesen más módszertanok is alkalmazhatóak, a lényeg, az összes releváns kockázati tényező felsorolása.

2. A kockázatok értékelése

Minden egyes kockázatot értékelni kell a bekövetkezésének valószínűsége és a lehetséges hatása szempontjából. Itt már módszertanok garmadája áll rendelkezésre a maguk előnyeikkel és hátrányaikkal. Csak példaként említve, az értékelők többnyire emberi lények, a maguk korlátaikkal, értékelési szubjektivitásukkal. Ezen szubjektivitás az értékelés pontosságát mind pozitív, mind negatív irányban torzítani tudja, függően az értékelők munkájától.

3. A kockázatok elhelyezése a kockázati mátrixban

A bekövetkezési valószínűségek és a kockázat súlyossága alapján az egyes kockázatok elhelyezése a kockázati mátrix megfelelő celláiban. Ennek felrajzolásával az egyes kockázatok egymáshoz viszonyított értékelése szemléletesen ábrázolható.

4. A kockázatok fontossági sorrendjének megállapítása

A mátrixban ábrázolt kockázatok összevethetőek fontosságuk, rangsoruk szerint, majd az 5., záró lépésben a kezelésükre különféle akciótervek dolgozhatók ki.

5. A kockázatok kezelésére akciótervek kidolgozása

Az akciótervek célja a felmerülő kockázatok csökkentése, mely a mátrix dimenziói szerint két irányból lehetséges: a bekövetkezési valószínűségek csökkentése vagy pedig a súlyosságok mérséklése útján.

A kockázati mátrix használatának előnyei az alábbiak szerint összegezhetők:

- a *vizuális megjelenítés* által a kockázatok alapvető összefüggései könnyen megérthetők, bemutathatók az összes érintett számára;
- a *rangsorolás* segítségével a kockázatok kezelésére rendelkezésre álló szűkös források könnyen átcsoportosíthatók a legsúlyosabb kockázatok kezelésére;
- a kockázatok kezelésével kapcsolatos *döntéshozatali folyamat* számára egy jól áttekinthető keretrendszert biztosít;
- *konzisztens megközelítést* biztosít a teljes kockázatkezelési folyamat során a teljes szervezet számára. (Elmonstri, 2014)

A különféle mátrixos módszerek, így például a kockázati mátrix, alkalmazására is számos jó példát mutat be a szakirodalom a menedzsment különféle területein. A teljesség igénye nélkül az alábbi lista segít ebben eligazodni.

- A Projekt Szakértői Mátrix alkalmazása segíthet kezelni a hagyományos hálótervezési módszerek kockázatait, hiányosságait (Kiss 2014)
- Különféle projektek megvalósítási kockázatainak kezelése például a konstrukciós kockázatok kezelése (Guo és tsai., 2022), olaj- és földgázbányászati projektek kockázatainak kezelése (Thomas és tsai., 2014), fenntartható létesítési projektek kockázatainak kezelése (Qazi és tsai., 2021), stb.
- A működési kockázatok kezelésének meglévő gyakorlatában alkalmazott módszer gyengeségeit mutatja be és tesz fejlesztési javaslatot Bognár és Benedek a pénzügyi intézmények compliance területének vizsgálatán keresztül (Bognár és Benedek, 2021)
- Chen és társai (Chen és tsai., 2024) három dimenziós kockázati mátrix alkalmazásának esetpéldáját mutatják be tanulmányukban, melyben egy raktározási hiba kockázatait tárták fel.
- stb.

Ahogy a menedzsmenttudomány számos területén, úgy a kockázati mátrix alkalmazásának is vannak árnyoldalai az előnyei mellett:

- a dimenziók egyes kategóriái ad hoc módon kerülnek többnyire megállapításra, így az egyes mátrixok összehasonlítása nehézkes. (Cox, 2008)
- A kockázatok mentális feldolgozása során azok minősítése többnyire szubjektív eredetű értékítéleten alapulnak, melyek a konzisztens alkalmazást nehézkessé tudják tenni. (Ball és Watt, 2013)

- Az egyes dimenziók skálázása általában alacsony mérési szintű (sorrendi) skálákon történik, gyenge minőségű adatok felhasználásával, így azok megbízhatósága kérdéses lehet. (Duijm, 2015)

A fenti előnyökre építve, a hátrányokat kiküszöbölve, a kockázati mátrixot más kockázatkezelési eszközökkel kombinálva a módszertan tovább fejleszthető. Egy lehetséges megoldás lehet a skálázási problémák kezelésére a különféle páros összehasonlító módszerek alkalmazása (Kou és tsai., 2016). A módszer fejlesztése során természetesen ügyelni kell annak konzisztens működtetésére is, melyre a különféle statisztikai próbák alkalmazása nyújthat segítséget (ld. pl. Spearman, 1904). A kockázati mátrix kétdimenziós léte problémát okoz a kockázatok kezelésére széles körben elterjedten használt FMEA módszertan 3 dimenziója miatt, valamint a PRIZMA módszertan 3x2 dimenziója miatt is, melyek problematikáiról a következő fejezetekben írok.

3.1.2 Az FMEA lényege

Az FMEA szisztematikus, kötött eljárás, ami termék, rendszer vagy folyamat lehetséges meghibásodási módjait azonosítja, így lehetővé teszi azok kezelését és hatásaik csökkentését. Különösen gyakran használják a vizsgált elemmel kapcsolatban felmerülő kockázatok azonosítására. A hatásokat a hibamódokon keresztül kapcsolja az okokhoz (Deák, 2005). Az alap FMEA módszertan keretrendszerként nyújtva támogatja, széles körben segíti a minőségügyi rendszer módszertanilag stabil működését és alkalmazásával segíti a folyamatos minőségjavítási kezdeményezéseket (Szakály, 2005).

Az FMEA módszertan alapvetően két alkalmazási területen használhatjuk: a termék (design, konstrukciós), illetve a folyamat FMEA. A rendszer FMEA egy komplexebb egységet céloz meg alkalmazása során.

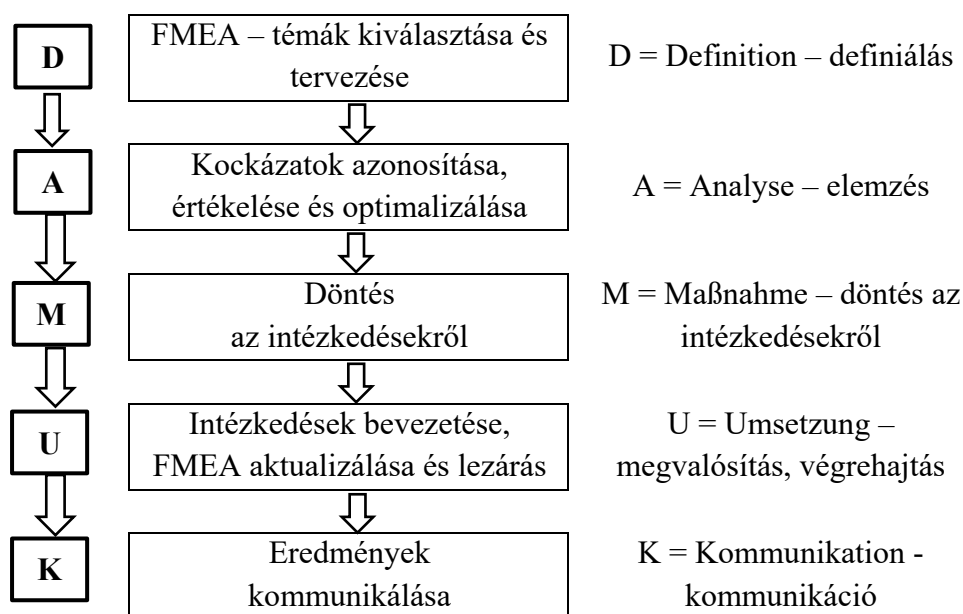
A termék FMEA (Szakály, 2005):

- a konstrukció formai, statisztikai, dinamikai előírásaiból származó hibalehetőségek feltárása,
- az összetett konstrukció rendszerként való értékelése a hiba megelőzés oldaláról közelítve,
- a konstrukció kinematikai rendszereinek és alrendszereinek analízise.

A folyamat FMEA:

- az értéklánc minden elemének áttekintése a folyamat kockázatainak mérséklése érdekében,
- a végrehajtás emberi tényezőinek és hibaforrásainak előzetes áttekintése.

Az FMEA folyamata a DAMUK (definiálás, analízis/mérés, elemzés/intézkedés, javítás, kommunikáció/szabályozás) ciklusa a kockázatok azonosítása terén az alábbi öt lépésben definiálható (Szilágyi és tsai., 2014), melyet a 4. ábra szemléltet.



4. ábra: DAMUK és az FMEA (Szilágyi és tsai., 2014)

Az FMEA módszertan egy többszemponútú kockázatelemzési megoldást takar, ami az ún. kockázati prioritási számba sűrítve (Risk Priority Number) fejezi ki a kockázatok összesített jellemzőit. A hagyományos FMEA során minden egyes azonosított hibamódot egytől tízig terjedő skálán pontoznak három paraméter alapján, melyek a következők: az eset által képviselt súlyosság (Severity), az előfordulás valószínűsége, gyakorisága (Occurance) és a felderíthetőség valószínűsége (Detection). A három paramétert összeszorozva ($S \times O \times D$) kiszámítható az RPN szám, amely az elemzés során azonosított összes többi hibamóddal összehasonlíthatóan mutatja meg az adott kockázat prioritását (Andrade és tsai., 2020). Az egyes dimenziók értékelésének, számszerűsítésének szemléletes példáját mutatja be tanulmányában Rodríguez-Pérez és Peña-Rodríguez a kockázatmenedzsment területén a gyógyszergyártási csomagolások kockázatainak vizsgálatán keresztül, melyben kitérnek a módszertan korlátaira is (Rodríguez-Pérez és Peña-Rodríguez, 2012). Kők és Yildiz (Kők és Yildiz, 2023) a kockázatok dimenzióinak prioritizálására mutat be példát az autóipar esetében. Andrade és társai (Andrade és tsai., 2021) az ipar 4.0 korának termékfejlesztéseit támogatandó mutattak be egy FMEA bővítési irányt. Az FMEA módszertannak a többszemponútú döntések megfontolásaival történő bővítésével az értékelések bizonytalanságait csökkentették. Amrutha és társai az autóiparban alkalmazott ponthegesztési technikák kockázatainak kezelését leíró esetpéldájában kiemeli az egyes kockázatok prioritálásának pontos összemérhetőségének fontosságát (Amrutha és tsai., 2021).

Az FMEA alkalmazásának elterjedtsége, népszerűsége abból ered, hogy a nem számszerűsítható helyzeteket is képes számértékkel jellemezni (2. táblázat). Ugyanakkor ez módszertani veszélyeket is rejt magában: az elemzés könnyen nagyvonalú, pontatlan, felületes lesz, de ha nem áll rendelkezésre vagy gazdaságosan nem szerorzhető részletesebb információ, akkor hasznos lehet így dolgozni. Csoportmunkában, megfelelő szakértők alkalmazásával az elemzés során, korábbi tapasztalatok megosztásával és felhasználásával szervezeti, sőt akár iparági szinten is egységes megközelítés alakítható ki.

2. táblázat: FMEA tényezők pontozása (Szakály, 2005)

Előfordulás valószínűsége	Jelentősége a vevő szempontjából	A felfedés valószínűsége	Kockázati szám (RPN)
Valószínűtlen 1	Alig van hatása 1	Nagy 1	
Igen kicsi 2-3	Jelentéktelen 2-3	Mérsékelt 2-5	Nagy > 140
Kicsi 4-6	Enyhe hiba 4-6	Kicsi 6-8	Közepes > 100
Mérsékelt 7-8	Súlyos hiba 7-8	Nagyon kicsi 9	Kicsi > 40
Nagy 9-10	Különösen súlyos hiba 9-10	Valószínűtlen 10	Kicsi = 1

Az FMEA hátrányai között a pontozás szubjektivitásán túl Könyves és Kalló (Könyves és Kalló 2022) kiemeli, hogy hibamódok kombinációjának kezelésére és többszintű rendszerekben nem vagy nehezen alkalmazható. Jól összegzik tanulmányukban az FMEA módszertan alkalmazásának előnyeit és hátrányait, melyet a 3. táblázat mutat be.

3. táblázat: Az FMEA előnyei és hátrányai (*Könyves és Kalló 2022 alapján*)

FMEA alkalmazásának előnyei	FMEA alkalmazásának hátrányai
Széles körben alkalmazható, függetlenül iparágtól, rendszertől, folyamatoktól, követelményektől	A különböző hibamódok kombinációinak azonosítására nem alkalmas
A problémák szemléltetése, a hiba megnyilvánulási módja, annak hatása is látható	A bonyolult többszintű rendszerek esetében nehezen alkalmazható
Megelőző intézkedések azonosítására és elemzésére is alkalmas, ezzel időt, pénzt és egyéb erőforrást megtakarítva	Az egyes elemzési lépések sok időt és költséget emésztnek fel
Karbantartásban és folyamat felügyelethez is hatékonyan alkalmazható	Szubjektivitás van a pontozási rendszerben
Könnyen értelmezhető struktúra	Nincsen kijelölt folyamat- vagy lépés, „csomag”, amit minden esetben vizsgálni kell, így az elemzendő hibák kiválasztása is csapatfüggő

Banghart és társai (*Banghart és tsai., 2018*) kutatásukban empirikus alapon bizonyították, hogy a kockázatok értékelésekor az értékelők a súlyosság dimenzió minősítése során a szubjektivitás hibájába esnek. Vizsgálatuk alapján megállapították, hogy azon értékelők, akik kevésbé releváns hibákkal kapcsolatos adatok túlsúlya alapján készítették el értékelésüket, jellemzően alacsonyabb súlyosságúra minősítették azokat. A szubjektivitási hiba kiküszöbölésére az alapadatok minőségének javítását jelölték ki.

Ardebili és társai (*Ardebili és tsai., 2025*) tanulmányukban szintén amellett érvelnek, hogy a klasszikus FMEA elemzések egyik legnagyobb hiányossága az értékelők szubjektivitása. Különösen a kritikus kockázatú üzemeknél, mint például az általuk is vizsgált energiaellátó rendszerek, nem engedhető meg a módszertan szubjektivitása. Tanulmányukban a bizonytalanság kezelésére a klasszikus FMEA módszertan fuzzy alapú (FR-FMEA) kiegészítését javasolják a módszertan robosztusságának fokozására.

A hagyományos FMEA elemzés kockázatok kezelésére történő felhasználásakor az egyik probléma, hogy az RPN szám kiszámításakor egy jellemzőbe kerülnek összemosásra az egyes dimenziók mértékei, így az egyes dimenziók kiugró értékeit a másik dimenziók ki tudják oltani, így nem a valós súlyuknak megfelelően kerülnek a figyelem fókuszába a tényleges kockázatok. Adott esetben rejtve is maradhatnak. Ennek a problémának egy lehetséges kiküszöbölési módja egy új mutató, az AP (Action Priority) bevezetése. (*Könyves és Kalló 2022*) Az AP mutató szorosan kötődik az RPN mutatóhoz, réven azonos dimenziókat vesz alapul, ám ezek együttes elemzésével, az AP szám kialakításával, a prioritási osztályok bevezetésével egy érthetőbb, kézzel foghatóbb kategorizálás kialakítását teszi lehetővé. (*Barsalou, 2024*) Ez útmutatást adhat ugyan a kockázatok kezelési sorrendjének kialakítására, de továbbra sem képes a kiugróan magas és kiugróan alacsony értékek együttes jelenlétének egymást kioltó hatását orvosolni.

Az Ipar 4.0 korában rendelkezésre álló exponenciálisan növekvő adatmennyiség az FMEA módszertan egy újabb korlátára is rávilágít. Az FMEA robosztus, de a nagy mennyiségű, változatos forrású és szerkezetű adatmennyiséget nem tudja hatékonyan kezelni és a döntéshozók elé tárni. A módszer fejlesztései ezekre koncentrálnak, az adatvezérelt FMEA irány kidolgozásával. (*Filz és tsai., 2021*)

Brown (*Brown, 2024*) és Barsalou (*Barsalou, 2024*) kiemelik, hogy a módszertani fejlesztések egyik kritikus pontja a műveleti prioritás (AP – Action Priority) bevezetése, alacsony, közepes és magas kategóriákkal. Ez felváltja a hagyományos RPN-t a fejlesztési tevékenységek/kockázatok prioritásainak meghatározásában. Az előfordulás és az észlelés egy táblázat alapján kerül – a kockázatértékelésben széles körben használt valószínűség-hatás mátrix logikájával – meghatározásra. A legfontosabbnak tekinthető súlyosság harmadik dimenzióját pedig úgy emeli be a módszer, hogy különböző súlyosságokhoz külön táblázatokat rendel (fuzzy logika). Sader és munkatársai (*Sader és tsai., 2020*) rámutattak, hogy az RPN kapcsán fontos probléma, hogy a három tényezőt egyforma súllyal kezeli, az AP ettől többet ad. Elkerülhető, hogy egy kis súlyosságú és nehezen észlelhető eset több figyelmet és erőforrást kapjon, mint egy súlyos probléma. Az AIAG FMEA Kézikönyv (*AIAG & VDA, 2019*) részletes táblázatokat tartalmaz az AP meghatározásához, ezzel elősegítve az iparági egységes gyakorlat kialakulását.

Ahogy arra Liu és társai tanulmányukban rávilágítottak (*Liu és tsai., 2013*), alapvetően több nagy csoportra lehet bontani az FMEA módszertanának fejlesztési irányait, melyek a módszertan korlátait próbálják feloldani. A módszertanok fejlődési sajátosságainak köszönhetően azonban megállapítható, hogy az egyes irányok nem teljesen elkülönült fejlődési vonalakat takarnak, hanem átfedések is megfigyelhetők közöttük. Amennyiben rendszerezni szeretnénk az irányzatokat, különösen óvatosnak kell lennünk, réven olykor csak nevezéktanbeli eltérések figyelhetők meg közel teljesen azonos tartalmú megközelítések között.

A fejlesztések módszertani alapjának tekintetében érzékelhető öt nagy csoportba tartoznak, ezeket mutatja be az 5. ábra.

Az RPN szám alkalmazásának problémáira mutat be egy lehetséges megoldást tanulmányában Kovács munkatársaival (*Kovács és tsai., 2022a*) egy mátrix alapú, többcélú kockázatkezelési módszer leírásával.



5. ábra: Az FMEA fejlesztések során alkalmazott módszertani csoportok
(forrás: *Liu és tsai., 2013* és *Filz és tsai., 2021* alapján)

Yazdi (*Yazdi, 2019*) tanulmányában az FMEA módszertanban rejlő bizonytalanságok és többértelműségi problémák kezelésre az értékelés során fuzzy alapú megközelítést javasol. Az FMEA módszertan kiegészítését javasolja egy fuzzy AHP elemzés elvégzésével, hogy a prioritizálás segítségével kellő mértékben csökkenthetőek legyenek a klasszikus FMEA módszerben rejlő bizonytalansági faktorok.

Kosztyán és társai (*Kosztyán és tsai., 2020*) az FMEA módszer korlátainak feloldására a TREF módszertant javasolják, melynek menedzseri alkalmazásakor a döntéshozók a különféle tényezőket megfelelő súllyal tudják figyelembe venni, és a szervezet számára kialakított figyelmeztető rendszert tudnak működtetni.

3.1.3 A PRIZMA módszertan

Az előző fejezetben bemutatott FMEA módszertan ugyan széles körben elterjedt, sok irányban kiterjesztett módszer a kockázatok kezelésére, elemzésére és értékelésére, azonban több korláttal is küzd. Az FMEA módszer hasznos a különböző hibamódok és hatások kockázatának rangsorolásában, ám a módszertan elsősorban az RPN szám meghatározására fókuszál, az alapján rangsorol. Mivel a 3 dimenzió (súlyosság, gyakoriság, felderíthetőség) hatását egy értéként kezeli, így az egyes dimenziók értékei a többi dimenziók valós fontosságát alul vagy felül tudják értékelni. Ez jelentős problémának tekinthető, mivel a mutató képzése során alkalmazott matematikai művelet (a szorzás) elfedheti az egyes minősítési tényezők által hordozott részletes információkat a kockázatok tényleges mibenlétével kapcsolatban. Sőt, amennyiben háromnál több tényező összevetését szeretnénk megvalósítani, az RPN szám kiszámításához alkalmazott szorzás rendre alábecsüli a kockázatokat. (Kovács és tsai., 2022b) Amennyiben egy hibamód összességében alacsony RPN számmal rendelkezik is, az egyes részleges kockázata relatív magas is lehet, ld. például a 2. számú esetet a 4. táblázatban.

4. táblázat: Példa a részleges kockázatok természetére

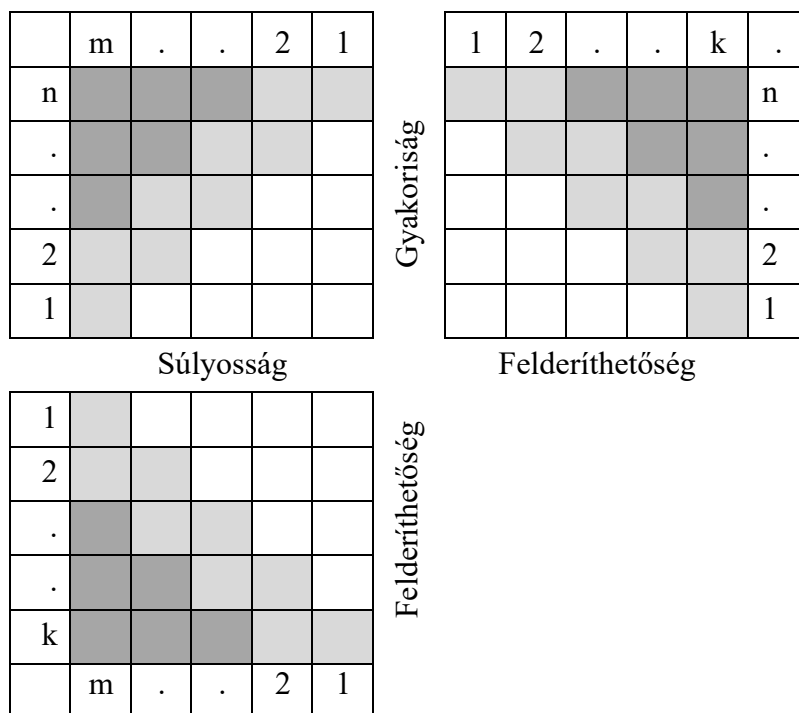
Eset	Gyakoriság (O)	Súlyosság (S)	Felderíthetőség (D)	RPN
Eset#1	5	1	10	50
Eset#2	10	4	1	40
Eset#3	7	1	7	49

A 4. táblázatban bemutatott esetek viszonylag alacsony kockázatúnak tekinthető a 40-50 közé eső RPN értékekkel, mivel az FMEA ökölszabályai szerint akkor kell foglalkozni egy problémával/hibamóddal, ha az RPN szám 120, vagy afölötti. Az egyes dimenziókban található értékek kismértékű változása is (ld. a 1. és a 3. esetet) jelentősen emelheti az RPN szám értékét. Vegyük észre azonban, hogy a gyakoriság dimenzió kiugró értéke jelentősen emelheti az RPN értéket, ahogy az az Eset#2 példáján látható. Ha a két minősítési tényező értékének szorzatának eredménye magas, míg a harmadik minősítési tényező értéke viszonylag alacsony, akkor felmerül a részleges kockázat jelenléte. A PRIZMA módszer épít az FMEA három kockázatértékelő dimenziójára (gyakoriság, súlyosság, felderíthetőség), ám alkalmazása során kockázatok értelmezése és összevetése, kezelése jelentősen különbözik az FMEA módszertan esetén alkalmazott megközelítéstől, az FMEA módszertan ugyanis az egyes vizsgált események összesített kockázati szintjére összpontosít, azok összesített rangsorolására világít rá. A kockázat értékelés során rendszeresen alulértékeli azon eseményeket, melyek ugyan magas részleges kockázatokkal rendelkeznek, ám összesített RPN számuk alacsonyabb, ami azonban az üzleti folyamatokban jelentős hibákat, akár leállásokat is okozhatnak (Bognár és Hegedűs, 2022). A PRIZMA módszertan alkalmazása például olyan esetekben javasolt, ahol elvárás az üzleti folyamatok magas megbízhatóságú működése (például a bankszektorban), vagy elvárt a környezetvédelmi szempontok kiemelt kezelése (például egy atomerőmű esetében), vagy csak egyszerűen a szervezet biztonság iránti elvárásai teszik szükségessé alkalmazását.

A kockázatok egyes dimenziók szerint történő, a valós súlyuk szerinti kezelését teszi lehetővé, amennyiben kockázati mátrixok segítségével felírjuk a részleges kockázatok az alábbi 3 részkockázati mátrix segítségével:

1. Gyakoriság vs. Súlyosság;
2. Gyakoriság vs. Felderíthetőség;
3. Súlyosság vs. Felderíthetőség;

melyet a 6. ábra szemléltet.



6. ábra: A PRIZMA módszertan általános modellje

Benedek és tsai., 2021 alapján

Az általános modellben a minősítési tényezők skálahossza azonos, ezért a „k”, „n” és „m” értékek egyenlők egymással. A skála hossza azonban eltérő lehet, ha a gyakorlati eset ezt megköveteli. Továbbá, minden „k”, „n” és „m” érték eltérő lehet. (*Benedek és tsai., 2021*)

A térkép színezése hasonló a hagyományos kockázati mátrixhoz: minél sötétebb színű az adott mátrix cella, annál magasabb a hibamód rejtett kockázata. A térkép színei igény szerint testre szabhatóak a gyakorlati probléma és az alkalmazás igényei szerint.

A PRIZMA módszertan szerint egy adott hibamód potenciálisan kockázatos, ha a következő kritériumok bármelyike teljesül (*Benedek és tsai., 2021*):

1. az RPN érték eléri a szakértők által korábban meghatározott egyedi mutatóértéket;
2. a Gyakoriság és Súlyosság minősítési tényezők értékei alapján a hibamód helyzete az O vs. S mátrix azon részén belül van, amelyet kockázatosnak tekintünk;
3. a Gyakoriság és Felderíthetőség minősítési tényezők értékei alapján a hibamód helyzete az O vs. D mátrix azon részén belül van, amelyet kockázatosnak tekintünk;

4. a Súlyosság és a Felderíthetőség minősítési tényezők értékei alapján a hibamód helyzete az S vs. D mátrix azon részén belül van, amelyet kockázatosnak tekintünk.

Ha az első kritérium más kritériumok teljesítése nélkül is teljesül, a meghibásodási mód kockázatosnak tekinthető a teljes RPN érték miatt. Ha a második, a harmadik vagy a negyedik kritériumok bármelyike teljesül az első kritérium teljesítése nélkül, akkor a meghibásodási mód kockázatosnak tekinthető a részleges kockázat miatt. (*Benedek és tsai., 2021*)

A PRIZMA módszertan a vizsgált m esemény kockázatát a $p(m) = p(o, s, d) = (o \otimes s, o \otimes d, d \otimes s)$ formulával képzett PIRZMA mintával jellemzi. Ennek általános ábrázolása látható a 7. ábrán. (*Bognár és Hegedűs, 2022*) Amennyiben az egyes dimenziók értékei 1 és 10 közé eshetnek, akkor a módszertan által kezelhető, ábrázolható különböző kockázati jellemző kombinációk száma 1000 lehet. (*Bognár és Hegedűs, 2022*)

	m	.	.	2	1
n					
.					
.			$o \otimes s$		
2					
1					

Gyakoriság (o)

1	2	.	.	k	.
					n
					.
	$d \otimes s$				.
					2
					1

Felderíthetőség (d)

1					
2			$o \otimes d$		
.					
.					
k					
	m	.	.	2	1

Felderíthetőség (d)

7. ábra A PRIZMA minta általános formája *Bognár és Hegedűs, 2022* alapján

Az egyes m események PRIZMA száma meghatározható a három aggregált $p(m)$ maximális értékének kiválasztásával az 1. egyenletben jelölt képlet szerint.

$$PRIZMA(m) = \max\{o \otimes s, o \otimes d, d \otimes s\} \quad (1)$$

Tanulmányukban Bognár és Hegedűs (*Bognár és Hegedűs, 2022*) a PRIZMA érték kalkulációjának 3 módszerét (összegzés – lásd 2. egyenlet, szorzás – lásd 3. egyenlet, négyzetösszeg – lásd 4. egyenlet) hasonlítják össze érzékenység szempontjából az alábbi formulákat alkalmazva.

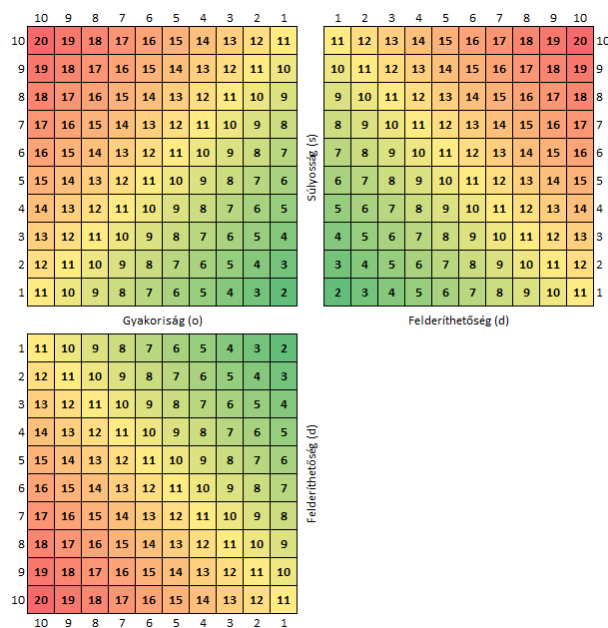
$$A(m) = \max\{o + s, o + d, d + s\} \quad (2)$$

$$M(m) = \max\{o \cdot s, o \cdot d, d \cdot s\} \quad (3)$$

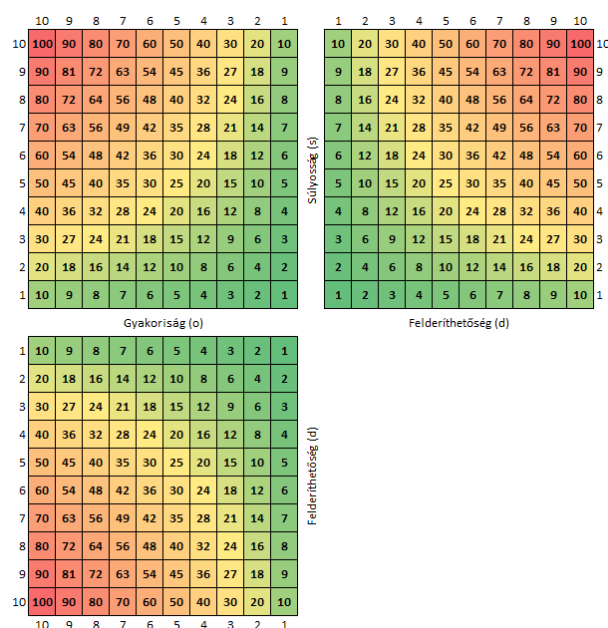
$$S(m) = \max\{o^2 + s^2, o^2 + d^2, d^2 + s^2\} \quad (4)$$

Az aggregálás során az egyes módszerek eltérő számú lehetséges kimeneti értéket tudnak produkálni. Az összeadást alkalmazva 19, szorzás esetén 42, négyzetösszeg módszer esetén 52 lehetséges különféle kimeneti érték az elvi maximum. Hasonló esetben az $RPN(m) = o \cdot s \cdot d$ képletet alkalmazva ez az érték 120 lenne (*Bognár és Hegedűs, 2022*).

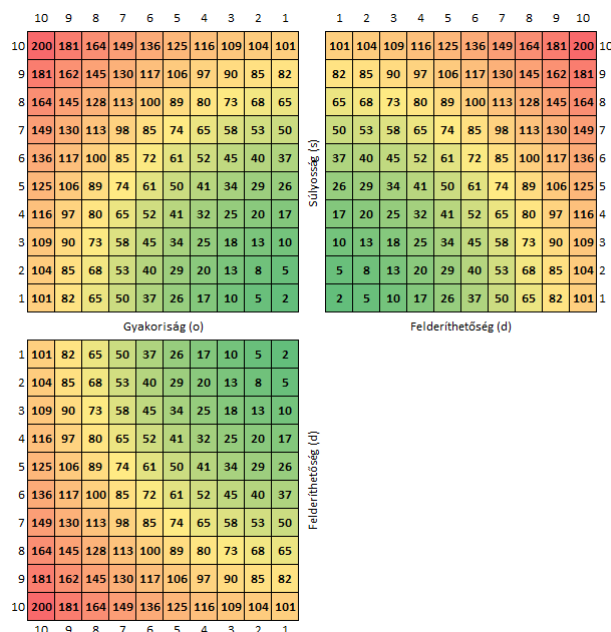
Az egyes számítási metódusok érzékenységet a színezés tónusaival szemlélteti a 8-10. ábra. A 8. ábra mutatja be az összegző módszer, a 9. ábra a szorzó, a 10. ábra a négyzetösszeg módszerrel kapott PRIZMA minta térképet.



8. ábra: PRIZMA minta összegző módszerrel (*Bognár és Hegedűs, 2022*)



9. ábra: PRIZMA minta szorzás módszerrel (*Bognár és Hegedűs, 2022*)



10. ábra: PRIZMA minta négyzetösszeg módszerrel (*Bognár és Hegedűs, 2022*)

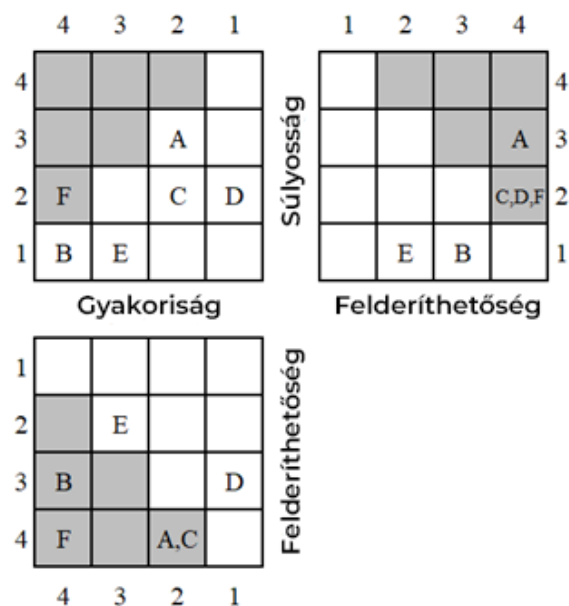
A 8-10. ábrák színezéséből látszik, hogy a szorzat módszer ad a riasztásra, a kockázat tényleges fontosságára legkevésbé érzékeny eredményt, amennyiben az egyes dimenziók közül kiugró értéket is tartalmaznak a minősítések, értékelések.

A PRIZMA módszertan alkalmazására igen szemléletes példát mutat be Benedek munkatársaival egy kereskedelmi bank példáján keresztül (*Benedek és tsai., 2021*). Egy kereskedelmi bank compliance szakértőinek segítségével felvett esetpéldában 6 kockázati elem értékelésére került sor a PRIZMA módszer alkalmazásával. Első lépésként azonosításra kerültek a vizsgálandó kockázati elemek, majd az egyes dimenziók értékelési skálája került felírásra 1-4 skálát alkalmazva. Az így kialakított skálákat használva az RPN szám maximális értéke 64 lehet. A szakértők úgy állapították meg, hogy javító intézkedéseket kell alkalmazni, amennyiben az RPN érték eléri a 20-at. A 6 esetet vizsgálva azok az RPN szám alapján rangsorolhatóak voltak, mely rangsort az 5. táblázat mutatja be.

5. táblázat: A esetek kockázati index értékei és rangsora (forrás: *Benedek és tsai., 2021*)

Eset	Gyakoriság (O)	Súlyosság (S)	Felderíthetőség (D)	RPN	Rangsor
A	3	2	4	24	2
B	1	4	3	12	4
C	2	2	4	16	3
D	2	1	4	8	5
E	1	3	2	6	6
F	2	4	4	32	1

A hagyományos rangsorolás utána az esetek a PRIZMA módszert alkalmazva is elemzésre kerültek, melynek eredményét a 11. ábra szemlélteti.



11. ábra: Az esetek megjelenítése a PRIZMA térképen (forrás: [Benedek és tsai., 2021](#))

Az RPN értékek és a PRIZMA minta alapján részletes kockázatértékelés végezhető el. Az értékelés eredményeként nyilvánvaló, hogy az „F” a legkockázatosabb eset, mivel az RPN értéke meghaladja a korábban meghatározott határértéket. Az „A” eset szintén eléri az RPN érték korábban beállított határértékét, és kétszer jelenik meg a PRIZMA mintában. Bár a „C” eset nem éri el az RPN-korlátot, a PRIZMA mintában kétszer jelenik meg, ezért ebben az esetben is korrekciós intézkedéseket kell indítani. A „B” és a „D” eset az RPN határérték alatt vannak, de mindkettő egyszer szerepel a PRIZMA mintában, ezért korrekciós intézkedéseket kell végrehajtani esetükben is. Az „E” eset az RPN korlát alatt van, és nem jelenik meg a PRIZMA mintában. Ezért ez az egyetlen eset, amikor nincs szükség intézkedésekre.

Bár a PRIZMA módszertan megoldást kínál az alulértékelt részleges kockázatok feltárására és kezelésére, a módszertan korlátairól sem feledkezhetünk meg. Kovács és társai ([Kovács és tsai., 2022a](#)) rámutatnak, hogy a módszertan az FMEA elemzésnek csak három dimenziójára fókuszál, csak azokat vizsgálja. További kihívás, hogy a PRIZMA módszertan alkalmazási feltétele, hogy az értékelési dimenziók faktor súlya azonos legyen, máskülönben az eredmények torzítottak lesznek. Az értékelési folyamat az újszerű többtényezős döntési módszertanok (MCDM) nevezéktanából származó determinisztikus értékelési skálakon alapszik ([Cinelli és tsai., 2022](#)). A determinisztikus értékelési skálák rugalmatlanságából fakadóan, így a PRIZMA módszer esetén is, az alkalmazott adatok érzékenysége kulcsfontosságú.

Összefoglalva a PRIZMA módszertan a kockázati mátrix és az FMEA kombinációjaként és kiterjesztéseként értelmezhető. A módszertan célja a parciális kockázatok leírása, amelyek rejtve maradnának, ha csak az FMEA-t vagy a kockázati mátrixot alkalmaznánk. Így a módszertan hatékonyabb és részletesebb, összességében pontosabb képet ad a kockázatértékelési eredményről, amely szükséges lehet a megfelelésre érzékeny és biztonságot igénylő rendszerek számára. Az RPN értékek és az esetlegesen fennálló parciális kockázatok alapján kockázatsökkentő cselekvési tervek készíthetők és indíthatók.

A felhasználók a PRIZMA módszertanát az értékelés célterületéhez igazíthatják, és a PRIZMA hasznos lehet, ha meg kell határozni a korrekciós intézkedések fókuszát. Mivel az értékelés eredményeként parciális kockázatok azonosíthatók, részletesebb kockázatcsökkentő intézkedés alakítható ki.

A PRIZMA egy hibrid módszertan, amely az FMEA és a kockázati mátrix alapvető jellemzőire épít. A paraméterezés alapján a PRIZMA olyan módszertanként alkalmazható, amely a kockázatértékelés során jobban épít az RPN értékére, vagy inkább a parciális kockázatokra koncentrálna. Így a módszertan széles körben testre szabható a felhasználói igények szerint.

3.2 Többszempélyű döntési módszerek

A többszempélyű döntési módszerek (Multi Criteria Decision Methods, MCDM) egy módszercsalád összefoglaló elnevezése, melybe olyan módszerek tartoznak, amik segítik azon döntések meghozatalát, ahol egyszerre több, gyakran egymással konfliktusba kerülő feltételnek kell egyszerre megfelelni. (*Taherdoost és Madanchian, 2023*)

A módszertanok közös jellemzői, hogy egyszerre több szempont, kritérium együttes figyelembe vételével segítik a döntéshozatalt (*Sahoo és Goswami, 2023*), kezelik valamilyen módon a bizonytalanságot és a döntéshozók/értékelők szubjektivitását (*Gebre és tsai., 2021*), mindemellett megfelelő mértékben figyelembe veszik az érintettek nézőpontjait is. (*Yenugula és tsai., 2024*) A módszercsalád fejlődése (és népszerűsége) az 1970-es (*Zionts, 1979*) évek óta töretlen, azóta kutatók és gyakorlati szakemberek számos továbbfejlesztési irányban, számtalan módszertant dolgoztak ki (mint például AHP, TOPSIS, VIKOR, BWM, stb.) melyek széles körűen alkalmazhatók, alkalmazási területeikre, előnyeikre, hátrányaikra az érintett módszertanok részletesebb bemutatásánál, a későbbi fejezetekben térek ki.

Az MCDM módszerek talán legnagyobb előnye úgy foglalható össze, hogy képesek strukturált, átfogó, és egyben mégis kellően részletes támogatást adni a döntéshozatalhoz (*Vatankhah és tsai., 2023*).

Az MCDM technikák sokaságát több kutató is próbálta rendszerbe foglalni. A páros összehasonlítást alkalmazó módszereket rendszerezi például Leoneti és Gomes (*Leoneti és Gomes, 2022*) a racionalitás kezelésének szempontjai szerint, melyet a 12. ábra szemléltet.

Nem kiegyenlítő		ELECTRE III. (ÉLimination et Choix Traduisant la REalité) PROMÉTHEE II. (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)
	Kiegyenlítő	AHP (Analytic Hierarchy Porcess), MACBETH (Measuring Attractiveness Through a Categorical-based Evaluation Technique) MAUT (Multiple Attribute Utility)
		Részleges racionalitás
		Általános racionalitás

12. ábra: A páros összehasonlításon alapuló MCDM módszerek tipizálása a racionalitás kezelése szerint (forrás: *Leoneti – Gomes, 2022, 12. old*)

A módszertanok eredete és a felhasznált elvek szerint tipizálja a módszertanokat tanulmányában Salabun társaival ([Salabun és tsai, 2020](#)), és az alábbi kategóriákat különbözteti meg:

- az amerikai iskolát követő módszerek, mint például a MAUT, AHP, ANP, SMART, UTA, MACBETH, TOPSIS;
- az európai iskolát követő módszerek, mint például az ELECTRE család, a PROMETHEE, NAIADE, ORESTE, ARGUS, TACTIC, MELCHIOR, KIPA, stb.
- kevert és szabály bázisú technikák, mint például az EVAMIX, QUALIFLEX, PCCA, COMET, DRSA, stb.

A többtényezős döntési problémák kezelésre láthatóan számtalan megközelítés létezik. Megoldási módjuk szerint megkülönböztethetünk a teljesség igénye nélkül többszemponút matematikai programozást alkalmazó módszereket (lásd például [Yu és Zeleny, 1975](#)), fuzzy alapú megközelítéseket (lásd például [Zadeh, 1965](#)), többszemponút, páros összehasonlítást alkalmazó módszereket (mint például a KIPA módszer, [Kindler és Papp, 1975](#), [Kindler és Papp, 1977](#), PAPRIKA módszer, [Hansen és Ombler, 2008](#)).

A következő fejezetekben az egyes, a disszertáció szempontjából releváns eljárások részletes bemutatása következik.

3.2.1 A Guilford-eljárás bemutatása

A páros összehasonlítás egy széles körben elterjedt módszer család a komplex rendszerek vizsgálatára és kiértékelésére ([Boros és Fogarassy, 2019](#); [Kiss és tsai., 2011](#); [Braglia, 2000](#); [Buzási és Jäger, 2020](#)). A módszer családán belül egy lehetséges eljárás a páros összehasonlítások elvégzésére és kiértékelésére a Guilford-eljárás ([Guilford, 1928](#)), melyben az összehasonlítandó párok közötti preferenciák kerülnek meghatározásra és elemzésre. További lehetséges módszer lehet az AHP (Analytical Hierarchical Process), melynek segítségével a preferenciák erőssége is vizsgálható ([Saaty, 1987](#)).

A BWM (Best Worst Method) alkalmazása akkor javasolt, ha az összehasonlítandó tényezők számossága magas, miközben a preferenciák erősségét is vizsgálni szeretnénk ([Rezaei, 2015](#)).

A fejezetben fentebb említett módszerek mindegyike vizsgálja az összehasonlításban részt vett szakértők véleményének konzisztenciáját ([Berényi és Deutsch, 2021](#); [Rezaei, 2015](#); [Braglia, 2000](#)).

A Guilford-eljárás módszertani lépéseit az alábbiakban mutatom be.

1. lépés: az értékelés előkészítése: az értékelést végző szakértők, döntéshozók összehívása, a célok rögzítése, az értékelni kívánt tételek összegyűjtése.
2. lépés: az értékelési tényezők párokba rendezése a Ross-féle ([Ross, 1939](#)) optimális elrendezés szerint: az értékelő ív(ek) létrehozása. A Ross-féle optimális elrendezést akkor célszerű használni, ha a párelrendezés során ugyanazon tétel előfordulási távolságát önmagától a sorokban és az oszlopokban is maximálni kívánjuk.
3. lépés: az egyéni preferenciák felvétele és konzisztencia vizsgálat: az egyéni preferenciák kidolgozása az értékelők által a Guilford-eljárás szerint, majd a

konzisztencia szintjük megállapítása.

4. lépés: az egyéni eredmények egyetértésének vizsgálata: a Kendall-féle rangkonkordancia együttható alapján esetleg szükség esetén szakértői párosok eredményeinek vizsgálata Spearman-féle rangkorrelációval.
5. lépés: az egyéni értékelések aggregálása és skálázása: az aggregálás és a skálázás végrehajtása értékelési tényezőnként (előfordulás, súlyosság és detektálhatóság).

Az első lépésben az összehasonlítandó elemek összegyűjtésére kerül sor szakértők bevonásával. A második lépésben a páros összehasonlításban vizsgálni kívánt elemek párba rendezése történik a Ross-féle optimális elrendezés szerint, melynek eredményeként létrejönnek az összehasonlítás elvégzését segítő kérdőívek. Jelöljük n -nel az események számát, míg p a létrehozható párok számát jelölje, mely meghatározható az alábbi képlet segítségével:

$$p = n(n - 1)/2 \quad (5)$$

A harmadik lépésben a feladat a szakértők preferenciáinak felvétele. Kötelező állást foglalniuk az aktuálisan összehasonlított esetek között, melyiket preferálják az aktuális pár összehasonlításakor. Lévéen az emberi döntéshozataltól nem várható el a racionalitás bármely körülmények között, így szükséges a szakértők véleményének konzisztenciáját megvizsgálunk. Ezt az alábbi formula segítségével tehetjük meg:

$$K = 1 - d/d_{max} \quad (6)$$

A (6)-(8) számú egyenletekben a d_{max} az inkonzisztens körhármasok lehetséges legnagyobb számát jelöli egy szakértői mátrixban. Az inkonzisztens körhármasok előállnak olyan értékelt párhármas esetén, ahol az értékelések alapján nem teljesült a tranzitivási szabály. (Példát ad a következő három értékelés az inkonzisztens körhármasra, ha $A > B$ és $B > C$, akkor $A < C$.) Páratlan számú n értékelendő esemény esetén:

$$d_{max} = (n^3 - n)/24 \quad (7)$$

Páros számú n esetén pedig d_{max} az alábbi formula segítségével határozható, becsülhető meg:

$$d_{max} = (n^3 - 4n)/24 \quad (8)$$

A (6) és a (9) egyenletekben d az inkonzisztens körhármasok számát jelenti az aktuális szakértő összehasonlítási mintájában, és az alábbi formula segítségével határozható meg:

$$d = n(n - 1)(2n - 1)/12 - \sum a_i / 2, \quad (9)$$

ahol a_i az jelöli, az egyes i eseteket az adott szakértő hányszor preferálta (vélté súlyosabbnak a következményét, gondolta gyakoribbnak, vélté nehezebben észlelhetőnek) a többi eseményhez képest.

A khi-négyzet eloszlás szignifikancia vizsgálata alapján, amennyiben az inkonzisztens körhármakok száma egy bizonyos d számot elér, akkor feltételezhetjük, hogy véletlenszerű vagy szisztematikus inkonzisztencia figyelhető meg a páros összehasonlítás mintázatában. A khi-négyzet eloszlás szabadsági fokának (DF) kiszámítására a (10) számú egyenlet használható:

$$DF = n(n-1)(n-2)/(n-4)^2 \quad (10)$$

A (11) egyenlet segítségével számíthatjuk ki a khi-négyzet értéket:

$$\chi^2 = \frac{8}{n-4} \left\{ \frac{1}{4} \binom{n}{3} - d + \frac{1}{2} \right\} + DF \quad (11)$$

Amennyiben rendszerszerű inkonzisztencia esete áll fenn, akkor a véleményalkotó értékelési eredményei a későbbi elemzésekben nem használhatóak fel, de legalábbis célszerű megfontolni a felhasználást.

A negyedik lépésben a szakértői rangsorok egyetértésének vizsgálatát kell végrehajtani. Az egyezőségek vizsgálata alapján megállapítható, hogy az egyes véleményalkotók mintái összesíthetők-e, ezzel létrehozva a szakértői csoport közös véleményét, avagy sem. Két eset vizsgálatakor rangkorreláció elemzést lehet végezni a véleményegyezés szintjének vizsgálatára. Kettőnél több eset összevetése esetén az aggregálhatóság vizsgálatára rang konkordancia elemzés végezhető. Disszertációmban az egyezés vizsgálatára két rangsor esetén a Spearman-féle ρ ([Spearman, 1904](#)) számítását használok, míg kettőnél több eset egyezőségének vizsgálatára a Kendall-féle W értéket számítom ki az egyetértés mértékének tesztelésére.

A Spearman féle rangkorrelációs együttható értéke -1 és +1 érték közé eshet. Amennyiben a rangsorok megegyeznek, a Spearman féle ρ érték +1 lesz, míg amennyiben ellentétesek, akkor a Spearman féle ρ érték -1. Amennyiben a véleményalkotások rangsorai függetlenek egymástól, a Spearman féle ρ érték 0 lesz. A Kendall féle W együttható értéke 0 és 1 közötti értéket vehet fel. Azonos rangsorok esetén a W értéke 1. Amennyiben a rangsorok ellentétesek, akkor az együttható 0 értéket fog felvenni. A rangsorok egyezőségének mértékét mindegyik vizsgálati módszer esetében 5%-os szignifikancia szint mellett vizsgálom disszertációmban.

Amennyiben a rangsorok kellően hasonlóak, az egyes értékelők véleményei összesíthetők, aggregálhatók a módszer ötödik lépésében. Az aggregálás után kiszámítható, hogy az adott i eseményt milyen gyakran preferálták az értékelők a többi eseményhez képest az aggregált mintában. Jelölje c_i az egyes események abszolút preferencia számát az aggregált mintában. Ekkor a p_c értéke, mely az események preferáltságának relatív értékét jelöli, meghatározható a (12) számú egyenlet segítségével, ahol k az aggregálás során figyelembe vett, kellően konzisztensnek bizonyult véleményezők számát jelöli.

$$p_c = (c_i + k/2)/nk \quad (12)$$

Mivel a Guilford-eljárás rangsorolja az összehasonlított eseményeket, az arányosítás érdekében szükséges bevezetni két segédváltozót c_i lehetséges legmagasabb (C_1) és legalacsonyabb (C_2) értékének megjelölésére. A (13) és a (14) egyenlet bemutatja C_1 és C_2 kiszámításának módját.

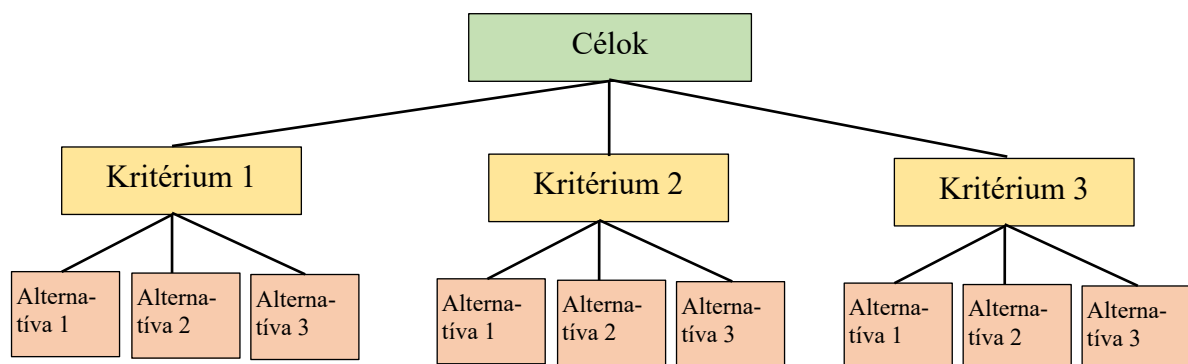
$$c_{C_1} = (n - 1)k \quad (13)$$

$$c_{C_2} = (n - 1)0 = 0 \quad (14)$$

A Guilford eljárás alkalmazásával megkapott eredmények elhelyezhetők egy intervallum skálán, melynek alsó és felső korlátja C_1 és C_2 értékek. Jelölje u a p_c normalizált értékeinek inverzét. Lineáris transzformáció segítségével u értékei egy tetszőleges skálára átformálhatók, kifejezve így az egymáshoz mért relatív rangsort is ([Guilford, 1928](#); [Buzási és Jäger, 2020](#)).

3.2.2 AHP

A többtényezős döntéshozatali problémák – mint amilyen például a kockázatok kezelése is – megoldása során egy jól alkalmazható technika az Analytic(al) Hierarchy Process (AHP) ([Saaty, 1980](#)), mely működése során a matematikai és pszichológiai alapokra építve együttesen képes megoldani az előző fejezetben a Guilford-eljárás kritikájaként említett nagyszámú összehasonlítandó elemek együttes kezelését pusztán az elvégzendő páros összehasonlítások számának csökkentésével ([Vaidya – Kumar, 2006](#)). Az AHP módszer hierarchizálásának általános sémáját a 13. ábra mutatja be.



13. ábra: Az AHP általános felépítése (forrás: [Saaty, 2013](#) alapján)

Az AHP módszertan lépései a következők szerint foglalhatóak össze.

1. Az értékelés céljainak, kritériumainak és az alternatíváknak az összegyűjtése.

Ez a lépés a probléma körülhatárolását, mérhetővé, összehasonlíthatóvá tételét jelenti.

2. Hierarchizálás

Az összegyűjtött célok és kritériumok rendezése az értékelés érintettjeinek szempontjai alapján. Általánosságban a hierarchia csúcsán a célok, a közepén a kritériumok (és alkritériumaik), míg az alján az alternatívák találhatók. A hierarchizálás során szükséges figyelembe venni, hogy mely szubjektív elemek milyen mértékben befolyásolhatják az egyes kritériumokat (*Vaidya – Kumar, 2006*).

3. A páros összehasonlítás végrehajtása

Mindegyik hierarchia szinten szükséges elvégezni az egyes elemek összehasonlítását. Ez $n(n-1)/2$ darab páros összehasonlítást fog jelenteni hierarchia szintenként, ahol n azon elemek száma, amelyek egyformán fontosak vagy fontosabbak, mint a megelőző szinten, összehasonlításban mutatott értékük. (*Vaidya – Kumar, 2006*)

4. A fontosságok (prioritások) kiszámítása

A páros összehasonlítás eredményeként minden vizsgált elemhez rendelhető egy érték, mely az adott elem fontosságát mutatja. Ehhez meg kell határozni az egyenérték vektor legmagasabb értékét. (*Ishizaka – Lusti, 2006*)

5. Konzisztencia vizsgálat

Mivel az összehasonlítások elvégzése során nem várható el az összehasonlító konzisztens gondolkodása, így szükséges az összehasonlítás konzisztenciájának vizsgálata a konzisztencia index (CI) és a konzisztencia arány (CR) meghatározásával. Ha ezek megfelelő értéket adnak, akkor a páros összehasonlítás eredményeként kapott értékek normalizálhatók, az egyes elemek prioritálása megfelelő, használható eredményt hoz. (*Vaidya – Kumar, 2006*)

6. A fontosságok összesítése

Amennyiben az előző lépésben megfelelő minősítéseket kaptunk, elvégezhető a fontosságok összesítése, melynek során a kritériumok és az alternatívák fontossági sorrendjeinek összefűzésével megkapjuk az alternatívák összesített fontossági sorrendjét, a döntés meghozható. Ha nem kielégítő szintűek a CI és CR értékek, akkor az eljárást ismételve az elvárt tűréshatáron belülre alakíthatóak azok. (*Vaidya – Kumar, 2006*)

Az AHP folyamata Menon és Ravi (*Menon és Ravi, 2022*) munkájára alapozva az alábbiak szerint szemléltethető. A 6. táblázatban jelölt minősítési pontok alapján végrehajtható bármely 2 esemény (elem) páros összevetése. Minél magasabb egy esemény preferáltsága egy másik

eseményhez mérten, annál magasabb pontszámot kap az adott esemény. A preferált esemény minősítését jelölje a_{ij} , míg a nem preferált eseményt $a_{ji} = 1/a_{ij}$.

6. táblázat: Az AHP módszerben szokásos minősítési pontszámok (Menon és Ravi, 2022).

Minősítés	Pontszám
Azonos fontosság	1
Mérsékelt fontosság	3
Erős fontosság	5
Kiemelt fontosság	7
Extrém fontosság	9
Köztes értékek	2, 4, 6, 8

A 7. táblázat mutatja be a döntési mátrixot n darab alternatíva esetén.

7. táblázat: Döntési mátrix n darab alternatíva esetén

	m_1	m_2	m_n
m_1	a_{11}	a_{12}	a_{1n}
m_2	a_{21}	a_{22}	a_{2n}
m_n	a_{n1}	a_{n2}	a_{nn}

A döntési mátrix felvétele után az normalizálható a (15) egyenlet felhasználásával.

$$k_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (15)$$

A normalizálás után a (16) egyenlet segítségével a lokális súlyok meghatározhatóak, ahol $i = 1, 2, \dots, n$ és $j = 1, 2, \dots, n$

$$w_i = \sum_{j=1}^n \frac{k_{ij}}{n} \quad (16)$$

A konzisztencia-vizsgálat elkészítéséhez első lépésként a konzisztencia vektort kell meghatározni. Jelölje $CV = [cv_i]_{1 \dots n}$ a konzisztencia vektort, mely leírja az egyes események konzisztencia értékeit. A konzisztencia vektor kiszámítása után a λ_{max} maximális sajátérték meghatározható a (17) egyenlet segítségével.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n cv_i}{n} \quad (17)$$

A következő lépés a konzisztencia index (CI) és a konzisztencia arány (CR) meghatározása a (18) és (19) egyenletek segítségével n számú esemény esetében.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (18)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (19)$$

Ha a CI értéke 0, akkor a páros összehasonlítást konzisztensnek tekintjük. RI jelöli CI megfelelő átlagos véletlenszerű értékét. RI értékei láthatóak a 8. táblázatban. Az értékelés konzisztensnek tekinthető, ha a CR értéke nem nagyobb 0,1-nél. Ellenkező esetben a probléma definiálását meg kell ismételni, a preferenciák ismételt felvételére van szükség, hogy a megfelelő konzisztencia arány elérhető legyen.

8. táblázat: Az n különböző számú alternatívához tartozó véletlenszerű indexek (*Ok és tsai., 2022*).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Az AHP módszer kritikájaként említhető – többek között – hogy az egyes prioritások összehasonlítása mindig az egyes értékelők személyes szubjektivitásán alapul, mellyel óhatatlanul torzítást visznek az értékelésbe. (*Munier – Hontoria, 2021*) A módszer további kritikai megjegyzéseit bővebben bemutatja könyvében Munier és Hontoria (*Munier – Hontoria, 2021*). A módszer helyes alkalmazásához, továbbfejlesztéséhez ezért szükséges újabb megfontolások megtétele, melyet a dolgozat későbbi részeiben fejtek ki.

3.2.3 TOPSIS módszertan

A TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) módszertan egy többtényezős döntéshozatali módszertan, mely segít rangsorolni a különféle választási lehetőségeket aszerint, hogy azok milyen „távolságra” esnek az értékelendő szélsőséges értékeiktől (*Chakraborty, 2022*). A legjobb választásnak, döntésnek tekinti azt az alternatívát, amelyik legkisebb távolságra található az ideális pozitív megoldástól, és a legtávolabb található a negatív ideálistól. (*Chakraborty, 2022*) Az egyes köztes alternatívák pedig az ideálisnak tekintett alternatívától számított távolságok szerint sorba rendezhetők. (*Hwang és Yoon, 1981, Chakraborty és Yeh, 2009, Chakraborty és Mandal, 2018*)

A TOPSIS módszertan lépéseinek bemutatása Hwang és Yoon (*Hwang és Yoon, 1981*) valamint Menon és Ravi (*Menon és Ravi, 2022*) munkái alapján történik meg.

A módszer alkalmazása során kezdésként a vizsgálandó, értékelendő elemek, események összegyűjtése szükséges, melyek az értékelés elvégzéséhez elsőként egy döntési mátrix formájában kerülnek felírásra, ennek példája a 9. táblázatban látható.

A táblázat soraiban található m_i jelöli az egyes eseményeket, ahol $i = \{1, 2, \dots, m\}$; X_j jelöli a TOPSIS értékelés kritériumait, ahol $j = \{1, 2, \dots, n\}$; z_j jelöli az X_j kritérium súlyát

(meghatározását lásd a 3. lépésben); x_{ij} pedig a m_i alternatíva számszerű kimenetét jelöli X_j kritérium szerint, ahol $i = \{1, 2, \dots, m\}$, $j = \{1, 2, \dots, n\}$.

9. táblázat: TOPSIS döntési mátrix

	X_1	X_2	X_j	X_n
	Z_1	Z_2	Z_j	Z_n
m_1	x_{11}	x_{12}	x_{1j}	$x_{1,n}$
m_2	x_{21}	x_{22}	x_{2j}	$x_{2,n}$
m_i	x_{i1}	x_{i2}	x_{ij}	$x_{i,n}$
m_m	x_{m1}	x_{m2}	x_{mj}	$x_{m,n}$

Az értékelés elvégzéséhez első lépésként a normalizált döntési mátrix kiszámítását kell elvégezni a (20) egyenlet segítségével. ([Chakraborty, 2022](#))

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum x_{ij}^2}} \quad (20)$$

Ezt követően a súlyozott normalizált mátrix kerül kiszámításra a (21) egyenlet segítségével.

$$v_{ij} = z_j \cdot r_{ij} \quad (21)$$

Az ideális A^* , valamint a negatív ideális A^- megoldások (értsd legjobb és legrosszabb megoldások) kiszámíthatók a (21) és (22) egyenletek segítségével, ahol $J = (j = 1, 2, \dots, n)/j$ az ideális pozitív kritérium, míg a $J' = (j = 1, 2, \dots, n)/j$ az ideális negatív kritérium. Az ideális pozitív kritérium maximum értékét és az ideális negatív kritérium minimum értékét jelölje A^* , míg az ideális pozitív kritérium minimum értékét és az ideális negatív kritérium maximum értékét A^- .

$$A^* = \{(\sum_i^{max} v_{ij} | j \in J), (\sum_i^{min} v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} = \{v_1^+, v_2^+, v_n^+\} \quad (22)$$

$$A^- = \{(\sum_i^{min} v_{ij} | j \in J), (\sum_i^{max} v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} = \{v_1^-, v_2^-, v_n^-\} \quad (23)$$

Az egyes alternatíváknak az ideális megoldástól mért Euklideszi távolsága az (24) egyenlet ([Menon és Ravi, 2022](#)), míg a negatív ideális megoldástól számított távolság a (25) egyenlet szerint számítható ki:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (24)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (25)$$

Az ideális megoldáshoz mért relatív közelség meghatározható a (26) egyenlet segítségével.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad (26)$$

A TOPSIS módszer utolsó lépéseként az alternatívák csökkenő sorrendbe kerülnek rendezésre a C_i^* értékek szerint.

A TOPSIS módszer előnyei:

- egyszerűség és hatékonyság – könnyen felírható, logikája természetes, könnyen érthető, alkalmazható módszer; (*Kim és tsai., 1997; Shih és tsai., 2007; Chakraborty, 2022*);
- világos rangsorát adja a vizsgált elemeknek – az ideális választástól mért relatív közelség/távolság egyértelmű rangsorolást eredményez (*Behzadian és tsai., 2012*), a kialakított sorrend összevethető az ideális pozitív és ideális negatív megoldásokkal (*Guang és tsai., 2010*);
- mind kvantitatív, mind kvalitatív adatok kezelésére képes – számmal mérhető és szubjektív eredetű kritériumokat is képes kezelni. (*Chen, 2011*) a számítási lépések könnyen elvégezhetőek, a TOPSIS folyamata egyszerű számítási segédtablákkal támogatható;
- az elemzés eredményeként létrejövő, a különböző mérési dimenziók mentén értelmezhető összevetések eredményei vizuálisan könnyen megjeleníthetőek (*Kim és tsai., 1997*).

Radenović és Veselinović (*Radenović és Veselinović, 2017*) szerint a TOPSIS módszertan összevetve más hasonló módszertanokkal hatékonyabb rangsorolást tesz lehetővé.

A TOPSIS módszer korlátai:

- a súlyozás érzékenysége – az egyes alternatívák rangsorolása, minősítése érzékeny lehet a kritériumhoz rendelt súlyok milyenségére; (*Madanchian és Taherdoost, 2023*)
- a rangsor érzékenysége – a rangsorolás folyamán további alternatívák hozzáadása (vagy elvétele) befolyásolja meglévő alternatívák minősítését; (*Madanchian és Taherdoost, 2023*)
- adatokkal kapcsolatos feltételezések – a TOPSIS módszertan feltételezi, hogy az értékelési kritériumok egymástól függetlenek, továbbá a döntéshozónak teljesen tiszta

elképzelései, rendezett preferenciái vannak az ideális megoldással kapcsolatban.
(*Jahanshahloo és tsai., 2009*)

A TOPSIS felhasználási területei

Behzadian és társai (*Behzadian és tsai., 2012*) tanulmányukban átfogó áttekintést adtak a TOPSIS módszertan felhasználási területeiről. 266 tanulmányt feldolgozva a módszer alkalmazási területei közül 9 csoportot hoztak létre:

- (1) ellátási lánc menedzsment és logisztika,
- (2) mérnöki tervezés és gyártórendszerek,
- (3) üzleti és marketing menedzsment,
- (4) egészség, biztonság és környezeti menedzsment (EHS),
- (5) emberi erőforrás menedzsment,
- (6) energiatermelés menedzsmentje,
- (7) vegyipar menedzsmentje,
- (8) vízi erőforrások menedzsmentje,
- (9) egyéb területek.

Belátható tehát, hogy a TOPSIS módszer egy széles körben és eredményesen alkalmazható módszer.

Shih és társai (*Shih és tsai., 2007*) összegző művükben több terület, mint például vállalatok pénzügyi helyzetének vizsgálata, üzemelhelyezési probléma, gyártási anyag kiválasztása, stb. példáján keresztül szemléltetik a TOPSIS módszertan alkalmazhatóságát.

Shukla és társai (*Shukla és tsai., 2017*) tanulmányukban többféle gyártási folyamat (pl. fémmegmunkálás, edm gyártás, stb.) vizsgálatának példájával mutatják be a módszertan életképességét

Ocampo és társai (*Ocampo és tsai., 2020*) tanulmányukban raktárak elhelyezésének problémakörét vizsgálták TOPSIS módszer segítségével

A tengeri hajózás logisztikai problémáinak kezelésére alkalmazta Celik (*Celik, 2010*) a TOPSIS módszertant tanulmányában.

Athanasopoulos és társai (*Athanasopoulos és tsai., 2009*) fémek védőbevonatainak kiválasztására használták fel eredményesen a TOPSIS módszertant.

Kumar és társai (*Kumar és tsai., 2024*) a napjainkban egyre inkább terjedő digitális marketing technológiák közül a megfelelő IT megoldások kiválasztására alkalmazták a TOPSIS módszert tanulmányukban.

Safaei és társai (*Safaei és tsai., 2024*) a földalatti tömegközlekedési rendszerek környezeti kockázatainak értékelésére alkalmazták a TOPSIS módszertant.

Moloudi és társai (*Moloudi és tsai., 2021*) az EHS szempontok szerinti kockázatok értékelésére alkalmazta sikerrel a módszertant.

Sahu és Satpathy (*Sahu és Satpathy, 2024*) a gyártórendszereknél alkalmazható zöld HR megoldások rangsorolására alkalmazta a módszert.

Saeidi és társai (*Saeidi és tsai., 2023*) tanulmányukban a fotovoltalikus (PV) erőművek működtetési paramétereinek optimális meghatározását írták le TOPSIS módszert alkalmazva.

A 10. táblázatban összegzésre kerülnek a TOPSIS fejlesztési irányokkal kapcsolatos irodalomkutatás eredményei. Az eredmények a megjelenési évük szerint csökkenő sorrendben kerültek rendezésre.

10. táblázat: TOPSIS alkalmazási területek összegzése

<i>Forrás</i>	<i>Év</i>	<i>Vizsgált problémakör</i>	<i>Terület/iparág</i>
Safae és tsai.	2024	környezeti kockázatok	közlekedés
Kumar és tsai.	2024	digitális marketing technológiák	marketing és IT
Sahu és Satpathy	2024	zöld HR megoldások	gyártás és HR
Saeidi és tsai.	2023	PV erőművek működési paraméterei	energiatermelés
Moloudi és tsai	2021	EHS kockázatok hulladékkezelésben	hulladékkezelés, EÜ
Ocampo és tsai.	2020	raktár elhelyezés	logisztika
Shukla és tsai.	2017	gyártórendszerek vizsgálata	fém-megmunkálás
Celik	2010	tengeri hajózás	logisztika
Athanasopoulos és tsai.	2009	bevonatok kiválasztása	mérnöki tervezés
Shih és tsai	2007	általános módszer leírás	több iparág

A TOPSIS módszertan és annak továbbfejlesztési irányainak szemléletes leírását adják meg könyvükben Shih és Olson (*Shih és Olson, 2022*).

3.2.4 AHP-TOPSIS

Az elmúlt évtizedben az AHP-TOPSIS módszertanok számtalan alkalmazási irányát publikálták a nemzetközi szakirodalmakban. Az AHP és a TOPSIS módszertanok kedvező tulajdonságainak kombinációi több szinergiát is eredményeztek.

Az AHP és TOPSIS módszertanok kombinációi leginkább az alábbi területeken nyújtottak új megközelítéseket:

- a TOPSIS módszertan kombinációja az AHP-vel a faktorsúlyok meghatározásához és a döntéshozatalhoz,
- más döntéshozatali vagy értékelési módszertanok fejlesztése az AHP-TOPSIS módszertannal való bővítéssel,
- a különféle fuzzy technikákat előszeretettel alkalmazzák, mikor a gépi tanulás áll az értékelés középpontjában, különös tekintettel abban az esetben, mikor a döntéshozatali probléma kiemelkedően komplexnek tekinthető (*Forgács és tsai., 2020, Braglia és tsai., 2003*).

A szinergiák részletesebb bemutatására az esetpéldák leírásánál kerül sor.

Az AHP-TOPSIS alkalmazási példái:

Agraval és társai (*Agraval és tsai., 2022*) tanulmányukban bemutattak egy, az AHP-TOPSIS módszertan kombinációjára építő eljárást az e-szolgáltatási minőség sikerfaktorainak értékelésére a banki szektor esetpéldáján keresztül DEMATEL (Decision Making Trial And Evaluation Laboratory) néven.

Abdullah és társai (*Abdullah és tsai., 2023*) tanulmányukban kis- és középvállalkozások példáján keresztül szemléltették, hogyan alkalmazható az AHP-TOPSIS módszertan a fenntartható gyártási módszertanok közötti választásra.

Sharmin és Solaiman (*Sharmin és Solaiman, 2019*) BigBank nevű modelljének kidolgozásával egy AHP és TOPSIS módszertanokat kombináló módszertant dolgozott ki a banki fiókok lokációjának kiválasztására.

Çalik és társai (*Çalik és tsai., 2018*) egy három fázisú AHP-TOPSIS döntéshozatali modellt dolgoztak ki a külföldi befektetési döntések meghozatalának támogatására.

Barrios és társai (*Barrios és tsai., 2016*) egy integrált AHP-TOPSIS módszertan alkalmazását írták le tomográfiai berendezések radiológiai osztályokon történő kiválasztása során, míg Aziz és Çalik (*Aziz és Çalik, 2022*) három TOPSIS alapú fejlesztési irány (AHP-TOPSIS, PFAHP-TOPSIS, BWM-TOPSIS) összehasonlítását mutatta be az egészségügyi beszállítók kiválasztásának példáján keresztül.

Az AHP-TOPSIS alapú megközelítéseket különösen gyakran alkalmazzák a beszállítók kiválasztásával kapcsolatos problémamegoldások során.

Menon és Ravi (*Menon és Ravi, 2022*) az elektronikai ipar ellátási láncának fenntartható beszállító kiválasztási problémájának egy lehetséges megoldását mutatta be.

Zaman (*Zaman, 2020*) tanulmányában a bangladesi malomipar példáján keresztül mutatta be az ideális beszállító kiválasztásának módszertét AHP-TOPSIS és AHP-VIKOR módszertanok felhasználásával.

A módszertanok kombinálásával megoldott beszállító-kiválasztási problémára mutat be példát Sasi és Digalwar (*Sasi és Digalwar, 2015*) a kínai és indiai textilipar, míg Bhutia és Phipon (*Bhutia és Phipon, 2012*) valamint Vimal és társai (*Vimal és tsai., 2012*) az összeszerelő ipar példáján keresztül.

Yang és társai (*Yang és tsai., 2010*) egy atomerőmű beszállító kiválasztási példáján szemléltetik az AHP-TOPSIS alapú megközelítést alkalmazó gyakorlati értékelési index módszertanukat.

Amiri és társai (*Amiri és tsai., 2024*) a Szaúd-Arábiai energiaiparban felhasználandó megújuló energiaforrások közötti döntési módszernek javasolja az AHP-TOPSIS módszertant.

Berdie és társai (*Berdie és tsai., 2017*) tanulmányukban az AHP és a TOPSIS módszertanok kombinációjának alkalmazását mutatták integrált szoftver rendszerek értékelésére.

Radenović és Veselinović (*Radenović és Veselinović, 2017*) tanulmányában az egészségmenedzsment rendszerek hatékonyságát értékelte, Hanine és társai (*Hanine és tsai., 2016*) egy adatkinyerési, átalakítási, feltöltési (ETL) szoftver kiválasztásának problémakörét

járták körül, míg Abushark és társai (*Abushark és tsai., 2021*) egy szoftver-kiválasztási probléma biztonsági elvárásainak tervezésére használt megoldást írt le.

Hsueh és Lin (*Hsueh és Lin, 2017*) egy integrált AHP-TOPSIS döntéshozatali folyamatot mutatott be a begyűjtési logisztikai folyamatok visszagyűjtési stratégiáinak értékelésére a napelem gyártó iparág számára.

Bafail és Abdulaal (*Bafail és Abdulaal, 2022*) tanulmányában egy AHP-TOPSIS és egy BWM-TOPSIS megközelítést alkalmazott az újrafeldolgozási módszerek értékelésére a szilárdhulladék kezelők példáján.

Az integrált fuzzy AHP-TOPSIS módszerre alapozva Ligus és Peternek (*Ligus és Peternek, 2018*) egy döntéstámogató folyamatot írt le a legígéretesebbnek tűnő alacsony károsanyag-kibocsájtású energiatermelő technológiák lengyelországi kiválasztásának példáján.

Sirisawat és Kiatcharoenpol (*Sirisawat és Kiatcharoenpol, 2018*) tanulmányában a fuzzy alapú AHP-TOPSIS megközelítés kifejlesztését írta le, melynek segítségével a thaiföldi visszáru logisztikai rendszerek korlátainak megoldási lehetőségeit priorizálták.

Singh és társai (*Singh és tsai., 2023*) a szoftverfejlesztés tesztelési paramétereinek rangsorolására javasoltak egy integrált fuzzy AHP-TOPSIS alapú rangsorolási módszert.

AHP-TOPSIS alapú megközelítéseket széles körben alkalmaznak az atomenergia-iparban is komplex értékelések elvégzésére. Példaként említhető Yoon és társainak (*Yoon és tsai., 2015*) tanulmánya, melyben az AHP és a TOPSIS módszertanokat kombinálták a nukleáris üzemanyag ciklusoknak az öt fő értékelési faktor alapján történő értékelésére.

Tran és társai (*Tran és tsai., 2024*) egy integrált Fuzzy-AHP-TOPSIS megközelítésű többszemponútú döntési megközelítés alkalmazását írták le ipari robotok kiválasztására.

Demircan és Yetilmezsoy (*Demircan és Yetilmezsoy, 2023*) hibrid Fuzzy-AHP-TOPSIS megközelítést javasolt a fenntartható hulladékgazdálkodási stratégiák közti választásra.

Situmorang és társai (*Situmorang és tsai., 2018*) egy AHP-TOPSIS alapokon nyugvó több szempontú döntéshozatali módszer kifejlesztését írták le a biztonsági kultúra komplex értékelésére.

Anand Babu és Venkataramaiah (*Anand Babu és Venkataramaiah, 2015*) esettanulmányában AHP-TOPSIS megközelítést alkalmazott a huzalos szikraforgácsolási technológiát alkalmazó CNC berendezés folyamatparamétereinek optimalizálására.

Chakladar és Chakraborty (*Chakladar és Chakraborty, 2008*) az AHP és a TOPSIS módszertanokat egyesítette a fémiparban alkalmazott nem szokványos megmunkálási technológiák rangsorolására.

Salehi és társai (*Salehi és tsai., 2018*) AHP-TOPSIS megközelítést mutatott be az új járműtechnológiák beszerzésével kapcsolatos csoportos döntések meghozatalának támogatására.

Marzouk és Sabbah (*Marzouk és Sabbah, 2021*) az építőipari ellátási lánc beszállítóinak kiválasztásának példáján keresztül mutatja be az AHP-TOPSIS módszer alkalmazását.

Bakioglu és Atahan (*Bakioglu és Atahan, 2021*) az önvezető autók kockázat értékelésének egy hatékony módszertanát mutatta be tanulmányában, melyhez az AHP módszertant a TOPSIS és VIKOR módszerekkel integrálták.

Az AHP-TOPSIS megközelítés került alkalmazásra Rahmayanti és társainak (*Rahmayanti és tsai., 2021*) munkájában a vezető ipari szektorok közti választás kérdésében, Kokoç és Ersöz (*Kokoç és Ersöz, 2019*) munkájában készletezni kívánt termékek kiválasztására, Supraja és Kousalya (*Supraja és Kousalya, 2016*) munkájában kiválósági díj nyertesének kiválasztására, Kusumawardani és Agintiara (*Kusumawardani és Agintiara, 2015*) munkájában humán erőforrás menedzser pozícióra jelentkező pályázók értékelésére és kiválasztására.

Hussain és társai (*Hussain és tsai., 2024*) a bankok döntéshozatali módszereinek fejlesztéseit vizsgálta AHP-TOPSIS módszerrel. A módszertan adta eredmények minősítésének értékelésére GRA (Grey Relational Analysis) elemzéssel bővítették tovább a módszertant.

Al-Abadi és társai (*Al-Abadi és tsai., 2025*) a dél-iraki tartomány kormányzata számára, napelen farmok elhelyezésének lehetőségét vizsgálta EWM-TOPSIS és AHP-TOPSIS módszertanok adta eredményeket összevetve.

A 11. táblázatban összegzem az AHP-TOPSIS fejlesztési irányokkal kapcsolatos irodalomkutatás eredményeit. Az eredmények a megjelenési évük szerint csökkenő sorrendben kerültek rendezésre.

11. táblázat: AHP-TOPSIS alkalmazási területek összegzése

<i>Forrás</i>	<i>Év</i>	<i>Vizsgált problémakör</i>	<i>Terület/iparág</i>
Al-Abadi és tsai.	2025	napelem farmok elhelyezése	energiaipar
Hussain és tsai.	2024	banki döntéshozatal	bankszektor
Tran és tsai.	2024	ipari robotok kiválasztása	gyártás
Amiri és tsai.	2024	megújuló energiaforrás kiválasztása	energiaipar
Abdullah és tsai.	2023	fenntartható gyártási módszer kiválasztása	kis- és közép vállalkozások
Demircan és Yetilmezsoy	2023	stratégia választás	hulladékgazdálkodás
Singh és tsai.	2023	paraméter kiválasztás	szoftver fejlesztés
Agrawal és tsai.	2022	e-szolgáltatás minőség értékelés	bankszektor
Aziz és Çalik	2022	beszállító kiválasztás	egészségügy
Bafail és Abdulaal	2022	újrahasznosítási módszer kiválasztás	hulladékkezelés
Menon és Ravi	2022	fenntartható beszállító kiválasztása	elektronikai ipar
Abushark és tsai.	2021	biztonsági elvárások tervezése	biztonság tervezés
Bakioglu és Atahan	2021	kockázat értékelés	önvezető járművek
Marzouk és Sabbah	2021	beszállító kiválasztás	építőipar
Rahmayanti és tsai.	2021	iparág kiválasztás	feldolgozó ipar
Zaman	2020	beszállító kiválasztás	malomipar
Çalik és tsai.	2019	üzleti szektor kiválasztása	befektetés
Kokoç és Ersöz	2019	termék kiválasztása	készletgazdálkodás
Sharmin és Solaiman	2019	telephely kiválasztás	bankszektor
Ligus és Peternek	2018	energetikai technológia választás	energiaipar

Salehi és tsai.	2018	jármű technológia beszerzés	járműgyártás
Sirisawat és Kiatcharoenpol	2018	logisztikai megoldások rangsorolás	elektronikai gyártás
Situmorang és tsai.	2018	biztonság kultúra elemzés	atomenergia ipar
Berdie és tsai.	2017	technológia választás	integrált szoftver rendszer
Hsueh és Lin	2017	visszagyűjtési stratégia választás	napelem ipar
Rađenović és Veselinović	2017	információs rendszer kiválasztása	e-egészségügy
Barrios és tsai.	2016	tomográfiai felszerelés kiválasztás	egészségügy
Hanine és tsai.	2016	ETL szoftver kiválasztása	business intelligence
Supraja és Kousalya	2016	hallgató kiválasztása	oktatás
Anand Babu és Venkataramaiah	2015	folyamat paraméter optimalizálás	termelés
Kusumawardani és Agintiara	2015	EEM kiválasztás	telekommunikációs ipar
Sasi és Digalwar	2015	beszállító kiválasztás	textil ipar
Yoon és tsai.	2015	nukleáris üzemanyag ciklus elemzés	atomenergia ipar
Bhutia és Phipon	2012	beszállító kiválasztás	gyártás
Vimal és tsai	2012	beszállító kiválasztás	gyártás
Yang és tsai.	2010	beszállító kiválasztás	atomenergia ipar
Chakladar és Chakraborty	2008	megmunkálási folyamat választás	gyártás

4 Módszertani fejlesztés

A fejezetben bemutatom, hogy a korábban ismertetett PRIZMA módszertan hiányosságait hogyan lehet orvosolni a többtényezős döntési problémák megoldására szolgáló módszertanok tanulságainak felhasználásával.

Az utóbbi évtizedek kutatási eredményei rávilágítottak arra, hogy az MCDM módszerek szilárd módszertani alapot, potenciált hordoznak magukban, amikor kockázatértékelési módszereket kívánunk továbbfejleszteni. A korábbi kockázatértékelési módszerek és az MCDM kombinálásával a kockázatértékelési folyamat képessé tehető a komplex értékelési szituációk pontosabb modellezésére, így a kockázatok jobb kezelésére is.

A hagyományos értékelő technikák, mint például az FMEA, az RM, vagy a hibafa elemzés (FTA) számos bővítést, továbbfejlesztést kaptak MCDM alapokon az elmúlt 25 évben. Az értékelési módszerek MCDM alapú bővítési irányzatainak jelen állapota azonban meglehetősen heterogén képet fest. A páros összehasonlító technikákat többen is megpróbálták kombinálni a hagyományos FMEA módszertan problémáinak enyhítésére, gyengeségeinek kiküszöbölésére, annak bővítésére. Erre példák találhatók az alábbi művekben: az AHP módszert használta Braglia ([Braglia, 2000](#)), Kiss és munkatársai ([Kiss és tsai., 2011](#)), a kockázati mátrixot (RM) Sum ([Sum, 2015](#)), a hibafa elemzést (FTA) Hyun és munkatársai ([Hyun és tsai., 2015](#)).

Jelen fejezetben elsőként az PRIZMA módszertan Guilford-eljárással történő kombinációjának folyamatát mutatom be, majd a PRIZMA módszertan AHP-TOPSIS alapú bővítési lehetőségének leírása következik.

4.1 A Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszer értékelési folyamatának bemutatása

Ahogy azt a szakirodalmi összefoglaló 3.2.1. fejezetében bemutattam a komplex rendszerek – ilyen például a kockázatok értékelése és kezelése is – vizsgálatának egy lehetséges megoldási módja a páros összehasonlítások elvégzésére és kiértékelésére alapuló Guilford-eljárás ([Guilford, 1928](#)), melyben az összehasonlítandó párok közötti preferenciák kerülnek meghatározásra és elemzésre. Ebben a fejezetben a PRIZMA módszertan Guilford-eljárással történő bővítésének módszertana kerül leírásra.

4.1.1 A módszerfejlesztés céljai

A PRIZMA módszertan a részkockázati mátrixok alkalmazásával képes a kockázatok pontosabb priorizálására, mint pusztán az FMEA módszertan által használt RPN szám. A 3x2 dimenzió alkalmazása pontosabb képet képes festeni a kockázatokról, azonban az egyes kockázatok egymáshoz képest mért relatív fontosságát nem mutatja be, azok rangsorolására csak korlátozottan alkalmas.

Hogy a relatív fontosság is kifejezésre kerüljön, szükséges a minél pontosabb kép kialakításához a teljes informáltságra való törekvés, melynek eléréshez javasolt minden

vizsgált tényezőt (kockázatot) minden tényezővel (kockázattal) összehasonlítani. Az összehasonlítás a PRIZMA módszer ajánlásait figyelembe véve történjen meg mind a gyakoriság, mind a súlyosság, mind a felderíthetőség dimenziók szerint a szakértői csapat által. A szakértők kellő hozzáértése vitathatatlan, ám értékelésük megbízhatóságát, konzisztenciáját vizsgálni szükséges a későbbiekben felhasználni kívánt eredmények elérése érdekében. Amennyiben elfogadható a véleményalkotásuk a kockázatok egymáshoz mérése során, az egyes szakértők véleménye aggregálható lesz, majd a megfelelő számításokat elvégezve a kockázatok rangsorolhatók lesznek mindhárom dimenzió (gyakoriság, súlyosság, felderíthetőség) mentén, amely alapján a PRIZMA értékek kiszámíthatóak lesznek, melyek alapján a kockázatkezelési intézkedések megtervezhetők és végrehajthatók lesznek.

A módszerrel kapcsolatban elvárás, hogy a szükséges adatok (kockázatok) könnyen definiálhatóak legyenek, az összevetés elvégzése teljes körű legyen, így a rangsorolás a vizsgált kockázatok teljes körére elkészíthető lesz.

A szakértők véleményalkotásának egyéni konzisztenciája, valamint a szakértői csoport tagjai gondolkodásának egyezését vizsgálva, azt megfelelőnek ítélve kaphatunk reális képet a kockázatok egymáshoz mért fontosságával kapcsolatban.

A módszer kifejlesztésének alapvető célja egy olyan kockázatértékelő eljárás létrehozása, melynek alkalmazása esetén reális és teljes képet kaphatunk a vizsgált kockázatok egymáshoz viszonyított fontosságáról, ezáltal segítséget nyújtva a kockázatok kezelését végző vezetők munkájához, a kockázatkezelési feladatok priorizálásához, tervezéséhez.

A következő fejezetben a módszer lépéseinek részletes leírása következik.

4.1.2 A módszer leírása

A 14. ábra mutatja be a Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszertan folyamatának lépéseit.

A javasolt módszertan *első* lépéseként az összehasonlítandó elemek, a vizsgálandó kockázatok összegyűjtésére, listázására kerül sor szakértők bevonásával. Célszerű előzetesen felmérni a szakértők szakmai tapasztalatát. A szakértői csoport létszáma tetszőleges nagyságú lehet, javasolt 3-14 fő közötti (*Bloor és tsai., 2001; Gill és tsai., 2008*), releváns tudással bíró szakértőt felkérni az értékelésben való részvételre. Az értékelés kezdetén ismertetni, rögzíteni kell az értékelés céljait, továbbá fontos annak biztosítása, hogy az egyes kockázat megnevezések alatt a csoport tagjai ugyanazt értsék. Szükség esetén erről tisztázó diszkusszió folytatható. A kockázatok számossága a módszertan működése szempontjából korlátlan, az értékelést végrehajtó szakértők emberi, gondolkodásbeli korlátai miatt nem célszerű 10-nél magasabb számú kockázat esetén alkalmazni a módszert.

A *második* lépésben az értékelési listák elkészítése történik a páros összehasonlításban vizsgálni kívánt elemek, kockázatok párba rendezésével, a Ross-féle optimális elrendezés szerint (*Ross, 1939*). A párba rendezés eredményeként létrejönnek az összehasonlítás elvégzését segítő kérdőívek az előfordulás, a súlyosság és a detektálhatóság értékelési tényezők mindegyike esetén. Jelöljük *n-nel* a kockázatok számát, míg *p* a létrehozható párok számát

jelölje, mely meghatározható az alábbi korábban leírt (4) képlet segítségével. Az elkészült értékelési listákat adjuk át minden értékelőnek akár papír, akár elektronikus formában, kitöltésre.

1. lépés	2. lépés	3. lépés
Az értékelés előkészítése	Az értékelési listák elkészítése	Az egyéni preferenciák felvétele és konzisztencia vizsgálat
A szakértői csoport összehívása, célok kitűzése, kockázatok listázása.	A Ross féle optimális elrendezés szerint az értékelendő kockázatok párba rendezése, mind gyakoriság (o), mind a súlyosság (s), mind a felderíthetőség (d) dimenziók szerint.	Az értékelők a 3 darab értékelési lista kitöltésével megadják egyéni értékeléseiket, melyek a Guilford eljárást alkalmazva feldolgozásra kerülnek. Az értékelők konzisztencia vizsgálata megtörténik.
4. lépés	5. lépés	6. lépés
Az egyéni értékelések hasonlóság vizsgálata	Az egyedi értékelések aggregálása és skálázása	A PRIZMA minta kiszámítása
A kockázatok sajátosságaihoz illeszkedő korrelációs együtthatók alapján az értékelők véleményegyeztetésének vizsgálata.	Az aggregálás és a skálázás végrehajtása mindhárom dimenzió szerint (gyakoriság, súlyosság, felderíthetőség).	Statisztikai elemzés végrehajtása a végső rangsor előállítására.
7. lépés	8. lépés	9. lépés
A PRIZMA érték kiszámítása minden eseményhez	Az események rangsorolása és hasonlóság vizsgálata	Kockázatkezelési akciótervek készítése és végrehajtása
Minden esemény több PRIZMA értékkel rendelkezik az alkalmazott PRIZMA függvényről függően.	A hasonlóság vizsgálat alapján az egyes szakértők véleménye minősíthető, jellemezhető.	Az események rangsorolása alapján a kockázatok kezelése prioritizálható.

14. ábra: A Guilford eljárással kombinált PRIZMA módszertan folyamata (*Bognár és tsai., 2023*)

A *harmadik* lépésben a feladat a szakértők preferenciáinak felvétele a kockázatokkal kapcsolatban. Az értékelési listák minden tétele esetén kötelező állást foglalniuk az aktuálisan összehasonlított kockázatok között, melyiket preferálják az aktuális pár összehasonlításakor. Az összehasonlítás során nem mondhatja azt az értékelő, hogy a vizsgált két kockázatot

egyformán fontosnak ítéli meg. A kitöltött kérdőívek feldolgozása során csak az elvárt minőségű eredményeket használjuk fel. Mivel az emberi döntéshozataltól nem várható el a teljes racionalitás bármely körülmények között, így szükséges a szakértők véleményalkotásának konzisztenciáját megvizsgálni. A konzisztencia vizsgálat a 3.2.1. fejezetben leírt (6)-(11) képletek alkalmazásával történik. Amennyiben rendszerszerű inkonzisztencia esete áll fenn, akkor a szakértő értékelési eredményei a későbbi elemzésekben nem használhatóak fel.

A *negyedik* lépésben a szakértők által kialakított véleményalkotások, rangsorok közötti egyetértés vizsgálatát kell végrehajtani a 3.2.1. fejezetben leírt konzisztencia vizsgálat szerint a (10)-(11) képlet felhasználásával. Az egyezőségek vizsgálata alapján megállapítható, hogy az egyes véleményalkotók mintái összesíthetőek-e, ezzel létrehozva a szakértői csoport közös véleményét, avagy sem.

Amennyiben a rangsorok kellően hasonlóak, az egyes értékelők véleményei összesíthetők, aggregálhatók a módszer *ötödik* lépésében. Az egyedi értékelések eredményei elhelyezhetők egy intervallum skálán, melynek alsó és felső korlátja megmutatja a leginkább illetve a legkevésbé fontosnak tartott kockázatot mindhárom dimenzió mentén. A skála köztes értékei pedig az egyes kockázatok egymáshoz viszonyított relatív fontosságát adják meg. A skála értékei szükség esetén lineáris transzformáció segítségével tetszőleges skálára átformálhatók a későbbi felhasználás igényei szerint.

A *hatodik* lépésben a PRIZMA minta kiszámítására kerül sor. Az *ötödik* lépésben meghatározásra kerültek a kockázatok faktorértékei mind a gyakoriság, mind a súlyosság, mind pedig a felderíthetőség faktorok mentén valamennyi kockázathoz, így a vizsgált események kockázatának PRIZMA mintái felírhatók a $p(m) = p(o, s, d) = (o \otimes s, o \otimes d, d \otimes s)$ formulával.

A *hetedik* lépésben az egyes események PRIZMA értékei kerülnek kiszámításra a három aggregált $p(m)$ érték maximumának kiválasztásával. Az eredmények validitásának tesztelésére többszemponútú elemzést kell elvégezni, különböző határgörbék (egyenes, konvex, konkáv) segítségével a PRIZMA almátrixokban, melyhez a (2)-(4) számú egyenletek kerülnek alkalmazásra a vizsgálatban (*Bognár és Hegedűs, 2022*) alapján.

A *nyolcadik* lépésben meghatározható az egyes kockázati események egyéni és az aggregált fontossági sorrendje a PRIZMA számok alapján. Az $A(m)$, $M(m)$ és $S(m)$ függvények alkalmazásával a szakértők egyes rangsorainak egyezősége vizsgálható, mely az értékelések validitásáról ad visszajelzést. Továbbá az aggregált és egyéni rangsorok egyezőségének vizsgálatával az eltérően gondolkodó szakértők is azonosíthatóak. Mindkét teszt erősíti a javasolt módszer megbízhatóságát, amely szükséges egy komplex kockázati szituációk szubjektív értékelésének vizsgálatakor az értékelői szubjektivitás csökkentéséhez, szerencsés esetben kizárásához.

A kockázatok priorizálásának eredményeként a kockázatsökkentő akciók tervezhetők, végrehajthatók a *kilencedik* lépésben. A folytatásban a módszer felhasználásával meghatározott legmagasabb kockázatú esemény kezelésével kapcsolatos intézkedések megtervezése majd azon akciók végrehajtása következik. A kívánt eredmények elérésig a rangsorban következő

kockázatok kezelésével folytatódik a folyamat, a kívánatosnak ítélt állapot eléréséig. A tényleges kockázatkezelő akciók kidolgozása mindig az aktuális folyamattól függ, arra a Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszertan nem kíván javaslatot tenni.

A Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszertan alkalmazása esetén páros összevetést felhasználva a kockázatok rangsorolhatók, fontosságuknak megfelelően kezelhetőek lesznek.

4.2 Az AHP-TOPSIS módszertannal kombinált PRIZMA módszer értékelési folyamatának bemutatása

4.2.1 A módszerfejlesztés céljai

A PRIZMA módszer néhány hátrányos tulajdonsága ellensúlyozható, amennyiben a módszertant kombináljuk az analitikus-hierarchikus eljárás (AHP) megfontolásaival (*Bognár és Benedek, 2022*), vagy a 4.1. fejezetben bemutatott Guilford-eljárással való kombinálással. Az értékelési dimenziók azonos faktorsúlyának problémáját azonban ezek egyike sem képes orvosolni. További probléma a Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszertan esetén, hogy az ott alkalmazott páros összehasonlítás során az azonos minősítés nem megengedett, egyértelműen állást kell foglalni az értékelőnek a preferenciáival kapcsolatban. A gyakorlatban ez erős megkötés lehet – főleg a műszaki kockázatértékelés során – mert előfordulhat olyan összehasonlítás, ahol a preferenciát az értékelő nem tudja egyértelműen megadni. Az AHP-TOPSIS alapú páros összehasonlítás esetében az azonos minősítés megengedett.

Mind az AHP-PRIZMA, mind pedig a Guilford-eljárással bővített PRIZMA módszertan azonos faktorsúlyokat használ, e tekintetben az eredeti PRIZMA módszer korlátait továbbra is magában hordozza. Az AHP-TOPSIS kiterjesztés e korlát feloldásában segítséget jelenthet.

Egyes módszertanok – mint például a 3.2.3. fejezetben bemutatott TOPSIS – jelentős potenciált hordoznak magukban az egyes alternatíváknak egy ideális pozitív és egy ideális negatív megoldáshoz történő hasonlításában, így ezen módszertanokat is előszeretettel alkalmazzák a komplex rendszerek kockázatainak modellezésében (*Liu, 2016, Magalhães és Lima, 2021*).

A fentiek fényében logikusan kijelenthető, hogy kifejleszthető egy AHP-TOPSIS alapokon nyugvó bővítése a PRIZMA módszertannak, mely lehetővé teszi az egyes értékelési dimenziókhoz tartozó különböző faktorsúlyok hozzárendelését, továbbá az egyes alternatívák ideális pozitív és ideális negatív megoldásokkal való részletes összevetését. A szakirodalmi összefoglalóban bemutatott fejlesztési irányok többségénél az AHP módszertant a TOPSIS módszertan megfontolásait használva bővítik, mely módszertan a preferencia sorrendek kialakítása során az egyes esetek, variánsok hasonlóságát veti össze az ideálisnak tekinthető esettel.

Más módszertanokkal összevetve, a fenti előnyök fényében a TOPSIS módszert egyrészt erőteljes, széles körben felhasználható módszertannak tekinthetjük a több szempontú döntéshozatali (MCDM) módszertanok között (*Shih és tsai., 2007*), másrészt pedig a TOPSIS módszertan lehetővé teszi a faktorok megfelelő súlyozását. Ezen szempontok alapján esett a választás az AHP-TOPSIS módszertanra az PRIZMA módszertan bővítése során.

Ahogy azt a szakirodalmi összefoglaló 3.2.4. fejezetében bemutattam a komplex rendszerek – ilyen például a kockázatok értékelése és kezelése is – vizsgálatának egy lehetséges megoldási módja a páros összehasonlítások elvégzésére és kiértékelésére alapuló AHP-TOPSIS módszertan. Ebben a fejezetben a PRIZMA módszertan AHP-TOPSIS módszertannal történő bővítése kerül leírásra.

4.2.2 A módszer leírása

Ebben a fejezetben a PRIZMA módszertan AHP-TOPSIS alapú bővítése során alkalmazott statisztikai módszerek és megfontolások kerülnek bemutatásra. A javasolt kockázatértékelési eljárás lépései a 15. ábrán láthatóak. Ezt követően az egyes folyamatlépések elemeinek részletes leírása következik, elsősorban a folyamat kvantitatív jellemzőire fókuszálva, továbbá összevetve az alapul szolgáló módszertan és javasolt értékelési eljárás közti kapcsolódásokat, összefüggéseket, kritikákat.

1. lépés Az értékelés előkészítése Célok kitűzése, kockázatok listázása, a szakértői csoport összehívása.	2. lépés Az események AHP alapú páros összehasonlítása Összehasonlítás a PRIZMA dimenziók szerint. Konzisztencia vizsgálat végrehajtása.	3. lépés A PRIZMA minta elemeinek AHP alapú páros összehasonlítása Konzisztencia vizsgálat végrehajtása.
4. lépés Az események PRIZMA minta értékeinek számítása A különböző PRIZMA függvények alapján.	5. lépés Több szempontú TOPSIS értékelés Az események értékelése.	6. lépés A rangsorok összehasonlítása Statisztikai elemzés végrehajtása a végső rangsor előállítására.
7. lépés Kockázatkezelési akciótervek készítése és végrehajtása Az események rangsorolása alapján a kockázatok kezelés prioritizálható.		

15. ábra: Az AHP-TOPSIS alapokon bővített PRIZMA módszertan folyamata

1. lépés: Az értékelés előkészítése

A javasolt módszertan első lépéseként az összehasonlítandó elemek, a vizsgálandó kockázatok összegyűjtésére, listázására kerül sor szakértők bevonásával. A kockázatelemzés céljának fényében az értékelési folyamat több kritikus tulajdonsága kijelölhető, mint például az alkalmazott módszertan, az értékelésben résztvevők és a vizsgálandó események számossága. Előzetes vagy első esetben elvégzett értékelés esetén általában a vizsgált problémakör

általánosságban ismert, és további értékeléseket kell felhasználni annak érdekében, hogy a tapasztalatokra építve még pontosabban jellemezhetővé váljanak az összefüggések. Célszerű előzetesen felmérni a szakértők szakmai tapasztalatát, továbbá őket egy vita alapú fókuszcsoporthként kezelni az előzetes értékelés elvégzése során. A tapasztalatok alapján az értékelésben résztvevő szakértői csoport létszáma 3 és 14 között kell legyen, mivel a javasolt módszertan fókuszcsoportht használatára épít. (Bloor és tsai., 2001; Gill és tsai., 2008) A vizsgált alternatívák száma általában alacsony az előzetes értékelés során.

2. lépés: Az események AHP alapú páros összehasonlítása

Az események (alternatívák, kockázatok) összehasonlítása a PRIZMA és az AHP technikák kombinált alkalmazásával történik. Az eredeti PRIZMA módszertant felhasználva az események 3 dimenzió szerint kerülnek értékelésre, melyek a tradicionális FMEA módszertan dimenzióit követik (Bognár és Benedek, 2023). A három dimenzió az alábbi területekre terjed ki:

- a következmények súlyossága (severity, súlyosság), amikor egy esemény bekövetkezik (S).
- Az esemény előfordulásának (occurrence, gyakoriság) valószínűsége (O).
- Az esemény bekövetkezésének felderíthetősége (detection, felderíthetőség) (D).

	m	.	.	2	1
n					
.					
.			o⊗s		
2					
1					

Gyakoriság (o)

1	2	.	.	k	.
					n
					.
	d⊗s				.
					2
					1

Súlyosság (s)

1					
2			o⊗d		
.					
.					
k					
	m	.	.	2	1

Felderíthetőség (d)

16. ábra: A PRIZMA minta egy lehetséges megjelenési formája

A lépés első körében az eredeti PRIZMA módszert alkalmazva az egyes események PRIZMA dimenziói kerülnek értékelésre. Jelölje $m := (o, s, d)$ a fent jelzett dimenziók mentén a vizsgált esemény kockázatjellemezőit. Az O, S, D értékek leírhatóak, becsülhetőek egy 1-től 10-ig terjedő determinisztikus skála segítségével. A skálán a magasabb érték jelöli az eseményhez tartozó magasabb kockázati szintet. A három jellemző alapján a PRIZMA módszert használva

leírható az esemény PRIZMA mintája. Jelölje $p(m) = p(o, s, d) := (o \otimes s, o \otimes d, d \otimes s)$ az esemény PRIZMA mintáját, ahol $\otimes$ egy matematikai operátor (általában összeadás, szorzás, vagy négyzetek összege) (Bognár és Hegedűs, 2022). A PRIZMA minta így 3 elemből épül fel a következők szerint: $o \otimes s$, $o \otimes d$, és $d \otimes s$. A PRIZMA minta megjelenésére látható egy példa a 16. ábrán. Az eredeti PRIZMA módszertant alkalmazva az egyes események PRIZMA száma meghatározható a három PRIZMA minta legmagasabb értékének kiválasztásával.

A javasolt módszertant alkalmazva az események rangsorolása a kombinált AHP-TOPSIS megközelítés segítségével történik. Ennek alkalmazása során a 2. körben a páros összehasonlítás három alkalommal kerül elvégzésre mind az O , az S , és a D dimenziók mentén. Az AHP bázisú páros összehasonlítás folyamata Saaty (Saaty 1980, 2008) valamint Menon és Ravi (Menon és Ravi, 2022) munkái alapján kerül rövid összefoglalásra a következő bekezdésekben.

A 12. táblázatban jelölt minősítési pontok alapján végrehajtható bármely 2 esemény (elem) páros összevetése. Minél magasabb egy esemény (kockázat) preferáltsága egy másik eseményhez (kockázathoz) mérten, annál magasabb pontszámot kap az adott esemény (kockázat). A preferált esemény (kockázat) minősítését jelölje a_{ij} , míg a nem preferált eseményt (kockázatot) $a_{ji} = 1/a_{ij}$.

12. táblázat: Az AHP módszerben szokásos minősítési pontszámok (Menon és Ravi, 2022).

Minősítés	Pontszám
Azonos fontosság	1
Mérsékelt fontosság	3
Erős fontosság	5
Kiemelt fontosság	7
Extrém fontosság	9
Köztes értékek	2, 4, 6, 8

A 13. táblázat mutatja be a döntési mátrixot n darab alternatíva esetén.

13. táblázat: Döntési mátrix n darab alternatíva esetén

O/S/D	m_1	m_2	m_n
m_1	a_{11}	a_{12}	a_{1n}
m_2	a_{21}	a_{22}	a_{2n}
m_n	a_{n1}	a_{n2}	a_{nn}

A döntési mátrix felvétele után az normalizálható a (27) egyenlet felhasználásával.

$$k_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (27)$$

A normalizálás után a (28) egyenlet segítségével a lokális súlyok meghatározhatóak, ahol $i = 1, 2, \dots, n$ és $j = 1, 2, \dots, n$

$$w_i = \sum_{j=1}^n \frac{k_{ij}}{n} \quad (28)$$

A konzisztencia-vizsgálat elkészítéséhez első lépésként a konzisztencia vektort kell meghatározni. Jelölje $CV = [cv_i]_{1...n}$ a konzisztencia vektort, mely leírja az egyes események konzisztencia értékeit. A konzisztencia vektor kiszámítása után a λ_{max} maximális sajátérték vektor meghatározható a (29) egyenlet segítségével.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n cv_i}{n} \quad (29)$$

A következő lépés a konzisztencia index (CI) és a konzisztencia arány (CR) meghatározása a (30) és (31) egyenletek segítségével n számú esemény esetében.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (30)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (31)$$

Ha a CI értéke 0, akkor a páros összehasonlítást konzisztensnek tekintjük. RI jelöli CI megfelelő átlagos véletlenszerű értékét. RI értékei láthatóak a 14. táblázatban. Az értékelés konzisztensnek tekinthető, ha a CR értéke nem nagyobb 0,1-nél. Ellenkező esetben a probléma definiálását meg kell ismételni, a preferenciák ismételt felvételére van szükség, hogy a megfelelő konzisztencia arány elérhető legyen.

14. táblázat: Az n különböző számú alternatívához tartozó véletlenszerű indexek (*Ok és tsai. 2022*).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

3. lépés: A PRIZMA minta elemeinek AHP alapú páros összehasonlítása

Ennek a lépésnek a célja PRIZMA módszertan szerinti súlyosság vs. gyakoriság (severity vs. occurance), gyakoriság vs. felderíthetőség (occurance vs. detection), és a felderíthetőség vs. súlyosság (detection vs. severity) dimenziók azonosítása. Ez a lépés nagyban hasonlít a fent bemutatott 2. lépésre, ám jelen esetben az $o \otimes s$, $o \otimes d$, és $d \otimes s$ összevetésben a PRIZMA minta elemei kerülnek összehasonlításra. A számítás következtében ugyan a PRIZMA módszertan vizuális ábrázolási előnyeit elveszítjük, ám tudunk közvetlenül faktorsúlyokat számítani az $o \otimes s$, $o \otimes d$, és $d \otimes s$ dimenziókra. Az összevetések elvégzésével a PRIZMA minta elemeinek w

faktorsúlyszámait kerülnek meghatározásra. Ezek a súlyok az 5. lépésben kerülnek felhasználásra az események (alternatívák) TOPSIS alapú értékelésében.

4. lépés: Az események PRIZMA minta értékeinek számítása

A (28) egyenlettel meghatározott w_i értékeket lineáris transzformáció segítségével egy 1-x skálára kerülnek átalakításra, ahol ($x \in R^+$ és $x > 1$). A lépés eredményeként $\underline{o}$ a gyakoriság (occurrence), $\underline{s}$ a súlyosság (severity), míg $\underline{d}$ a felderíthetőség (detection) dimenziók értékei állnak elő. Ezen értékek jelölik az egyes események PRIZMA súlyait, melyek felhasználásával minden PRIZMA minta elem értéke kiszámítható a (32)-(34) egyenletek segítségével a következők szerint:

$$P_A(\mathbf{m}) = \{o + s, o + d, d + s\} \quad (32)$$

$$P_M(\mathbf{m}) = \{o \cdot s, o \cdot d, d \cdot s\} \quad (33)$$

$$P_S(\mathbf{m}) = \{o^2 + s^2, o^2 + d^2, d^2 + s^2\} \quad (34)$$

Bognár és Hegedűs (*Bognár és Hegedűs, 2022*) megállapításai szerint a PRIZMA minta elemeink számítása különböző esemény rangsorokat eredményezhet, így a számítások alkalmazhatóak a lenti, 6. lépésben az eredmények robosztusságának vizsgálatára.

5. lépés: Több szempontú TOPSIS értékelés

A TOPSIS értékelés végrehajtása történik ebben a lépésben. A korábban, a (32) – (34) egyenletekkel meghatározott PRIZMA minták segítségével a TOPSIS értékelést három alkalommal kell egymás után elvégezni, a három dimenzió mentén, a 3.2.3. fejezetben leírtak szerint.

Amennyiben a TOPSIS módszertan a PRIZMA dimenziókra kerül értelmezésre, akkor j csak 3 értéket vehet fel a következők szerint: $j = \{o \otimes s, o \otimes d, d \otimes s\}$. Mindhárom kritérium ideális negatív értékű. Mivel a PRIZMA minta elemei három különböző módon kerülnek meghatározásra: $P_A(\mathbf{m})$, $P_M(\mathbf{m})$, és $P_S(\mathbf{m})$, így a TOPSIS értékelést is háromszor kell elvégezni. Az elemzés eredményeként a folyamat 5. lépésében az események 3 rangsora áll elő.

6. lépés: A rangsorok összehasonlítása

A kockázatértékelési folyamat robosztussága megállapítható az egyes rangsorok összehasonlításával.

A rangsorok közötti kapcsolat vizsgálatára a Kendall-féle W együttható számítható ki (*Kendall, 1970*) a $P_A(\mathbf{m})$, $P_M(\mathbf{m})$, és $P_S(\mathbf{m})$ értékek felhasználásával. Berényi és társai (*Berényi és tsai., 2020*) bemutatták, hogy a Kendall féle W együttható egy széleskörűen alkalmazható eszköz kettő vagy több rangsor közötti kapcsolat vizsgálatára. Két rangsor közötti kapcsolat a Kendall féle tau b rangkorrelációs együttható kiszámításával mérhető a $P_A(\mathbf{m})$ vs. $P_M(\mathbf{m})$, a $P_A(\mathbf{m})$, vs. $P_S(\mathbf{m})$, és a $P_M(\mathbf{m})$ vs. $P_S(\mathbf{m})$ összevetések esetében.

A Kendall féle tau b értéke

- -1, ha a rangsorok egymással teljesen ellentétesek,
- +1, amennyiben a rangsorok teljesen megegyeznek,
- és 0, amennyiben a rangsorok egymástól függetlenek.

A Kendall féle W együttható értéke 0, amennyiben a rangsorok teljesen ellentétesek, és +1, amennyiben a rangsorok megegyeznek.

7. lépés Kockázatkezelési akciótervek készítése és végrehajtása

A kockázatok priorizálásának eredményeként a kockázatcsökkentő akciók tervezhetők, hajthatók végre a *hetedik* lépésben. A folytatásban a módszer felhasználásával meghatározott legmagasabb kockázatú esemény kezelésével kapcsolatos intézkedések megtervezése majd a megtervezett kockázatcsökkentési akciók végrehajtása következik. A kívánt eredmények elérésig a rangsorban következő kockázatok kezelésével folytatódik a folyamat, a kívánatosnak ítélt állapot eléréséig. A tényleges kockázatkezelő akciók kidolgozása mindig az aktuális folyamattól, szituációtól függ, arra az AHP-TOPSIS eljárással kombinált PRIZMA módszertan nem kíván javaslatot tenni.

5 Esettanulmányok

Ebben a fejezetben a javasolt módszertanok működésének vizsgálatára felvett esettanulmányok leírása következik. A módszer leírásából látható, hogy annak alkalmazása független a vizsgált kockázatok jellegétől, a módszertant alkalmazó szervezet működési területétől, így az esetek kiválasztása során olyan szervezeteket választottam, melyek működési jellemzőiből kellő mértékben általánosítható tapasztalatok vonhatók le. A leírás során lépésről lépésre követem a 4. fejezetben ismertetett módszerek vonatkozó lépéseit.

Az első esettanulmány egy kereskedelmi banknál alkalmazott kockázatkezelési eljárást vizsgál, és annak tapasztalataival veti össze a Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszertan alkalmazásával elérhető eredményeket. A vizsgált kockázatok zömében a pénzügyi területre, illetve a banki folyamatok megfelelőségére fókuszálnak. A vizsgált kockázatok alacsonyabb száma, továbbá az a tény, hogy a pénzügyi kérdések vizsgálata miatt két, azonos számszaki értékkel jellemezhető esemény ritkán fordul elő (szinte kizárt), így két egyforma minősítésű, következményű kockázat is nehezen képzelhető el, ez indokolta a Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszer alkalmazását.

A második esettanulmány az energiaiparból származik, egy atomerőmű logisztikai osztályának kockázatait vizsgálja. Ez a problémakör sokkal inkább műszaki jellegű kérdéseket vizsgál, melyek feltárása során jellemzően mérhető eredmények állnak rendelkezésre, továbbá az egyes kockázatok páros összevetése során többször előfordulhat, hogy az egyes események kockázatát a szakértők azonosnak ítélik meg. Ebből fakad, hogy ez az eset az AHP-TOPSIS alapú bővítését alkalmazza a PRIZMA módszertannak.

5.1 Esettanulmány – Bankszektor

5.1.1 Az eset felvételének körülményei

2021-ben az egyik legnagyobb közép- kelet-európai kereskedelmi bank compliance menedzsment osztályán kockázat értékelő workshopot hívtak össze. A megfelelőségi (compliance) kockázatok értékelésének folyamata egy kvalitatív folyamat, mely zömében történeti adatokra épít (amennyiben azok elérhetőek). Az értékelés általában csoportos megbeszélés keretében történik, egyéni értékelést a fennálló gyakorlat szerint nem végeznek. A bank meglévő gyakorlata szerint kockázati mátrix technikát alkalmaz a nem-megfelelőségi események kockázat értékelésében. A kereskedelmi bankok többsége jellemzően azonos megfelelőség menedzsment folyamatokat alkalmaz, ezért a kiválasztott a bank megfelelőségi kockázatok kezelésére alkalmazott jelenlegi módszereivel megkapott eredményeinek és a Guilford-PRIZMA módszerrel kapható eredmények összevetésével a módszertanok eredményessége vizsgálható.

A bankszektorban a kockázatok értelmezését mindig valamilyen pénzegységben fejezik ki, azok bekövetkezésnek következményeit pénzügyi veszteségként kezelik. A szektor működésének sajátossága pedig, hogy a veszteségek minimalizálására törekednek.

A bank meglévő gyakorlatában alkalmazott kockázati mátrix előre definiált (4 fokozatú) skálák alkalmazásával leírja a kockázatok fokát a súlyosság és a gyakoriság dimenziók mentén. A kockázati mátrix szerkezetét a 17. ábra szemlélteti.

Súlyosság	kiemelkedő	Jelentős	Jelentős	Kritikus	Kritikus
	magas	Mérsékelt	Jelentős	Jelentős	Kritikus
	közepes	Mérsékelt	Mérsékelt	Mérsékelt	Jelentős
	alacsony	Jelentéktelen	Jelentéktelen	Jelentéktelen	Jelentéktelen
		valószínűtlen	lehetséges	valószínű	nagyon valószínű
		Gyakoriság			

17. ábra Banki kockázati mátrix

A nem-megfelelőségi esetek előfordulását vagy azok okainak valószínűségét 4 kategóriába sorolta a bank:

- valószínűtlen – egyszer fordul elő 5 éven belül;
- lehetséges – 3-5 évente fordul elő;
- valószínű – 1-3 évente fordul elő;
- nagyon valószínű – évente fordul elő.

A nem-megfelelőségi események súlyosságának kategorizálása az alábbiak szerint történik:

- alacsony – nincs vagy minimális pénzügyi veszteség, nincs vagy alacsony hírnév romboló hatás;
- közepes – alacsony pénzügyi veszteség, enyhe és csak regionális szintű hírnév romboló hatás;
- magas – magas pénzügyi veszteség, regionális hírnév romboló hatás, jogi következmények;
- kiemelkedő – kiemelkedő pénzügyi veszteségek vagy jogi következmények vagy globális hírnév romboló hatás.

Az összesített megfelelőségi kockázatok 4 kategóriába sorolhatóak:

- jelentéktelen – az ábrán zöld színnel jelölve;
- mérsékelt – az ábrán sárgával jelölve;
- jelentős – az ábrán narancsszínnel jelölve;
- kritikus – az ábrán pirossal jelölve.

A narancs és a piros színnel jelölt mezők figyelemfelhívóak és esetükben azonnali korrekciós beavatkozásokra van szükség. Előfordulhat azonban az is, hogy bármely jelentéktelennél magasabb minőségű eseménynél is beavatkozásra lehet szükség. A kockázati mátrix alkalmazásával a szakértők képesek vizuális formában bemutatni az egyes műveletek vagy részleges összesített kockázatait is.

A kockázati mátrix alkalmazását, mint megoldást, a bank részéről nem érezték kellően részletesnek, így jött a felkérés a Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszertan tesztelésére.

A kockázati mátrix alkalmazásának első jelentős problémája, hogy nem képes kellően elősegíteni a hibás működések okainak és módjainak felderítését a nem-megfelelőségek körében. Pedig nyilvánvaló, ha egy hibát nehezebb feltárni, akkor az nagyobb működési kockázatot jelent. Ezzel ellentétben a PRIZMA (és bármely más FMEA-alapú) módszer, amely kezeli a súlyosság, gyakoriság és felderíthetőség dimenziókat is, képes lehet alapvető megoldások kidolgozásában segítséget nyújtani a gyakorlat számára.

A második jelentős probléma a bank által alkalmazott gyakorlattal kapcsolatban az előre definiált skálák alkalmazása, mivel ez esetben a szakértők véleményalkotásának konzisztenciája nem vizsgálható. A PRIZMA módszertan páros összehasonlítás módszerével történő kiegészítése viszont ezt lehetővé teszi, a szakértők véleményalkotásának konzisztenciája vizsgálhatóvá válik. Mivel a bank jelenleg alkalmazott gyakorlata szerint csak csoportos értékelést hajtanak végre, az egyes szakértők véleményalkotási eredményeinek vizsgálata jelenleg nem hajtható végre. A konzisztencia vizsgálatának lehetővé tétele viszont értékes információkat tud szolgáltatni a szakértők egyetértésének mértékéről, így a javasolt módszertan alkalmazásával a jelentősen eltérő véleménnyel rendelkező szakértők azonosíthatóvá válnak.

Egy felmerülő helyzet bekövetkezési valószínűségének meghatározása pedig segít előre jelezni a tervezhető időtávon belül várható esélyeket. Az események előfordulási gyakoriságának becslése gyakran történeti adatok elemzésén alapul.

A bank üzletág szintű megfelelőségi eseményeinek összegyűjtése után egy 3 fős szakértői csoport került felállításra a bank megfelelőségi csúcsszakértői közül. A szakértői csoport tagjai több mint 10 éves szakmai tapasztalattal rendelkeztek a kereskedelmi bankok megfelelőségi ügyeivel kapcsolatban. A workshop során 6 véletlenszerűen kiválasztott esemény páros összehasonlításon alapuló kockázatértékelése történt meg.

5.1.2 Az eset leírása és eredményei

A szakértők segítségével azonosításra kerültek a kockázati események, tételek. A szakértők értékelték a 15. táblázatban felsorolt eseteket a Guilford féle páros összehasonlítási módszer segítségével. Az egyes esetek a Ross féle optimális elrendezést követve kerültek listázásra az összehasonlítás elvégzését segítő kérdőíveken, mind a gyakoriság, mind a súlyosság, mind a felderíthetőség dimenziók mentén. A kérdőíveket a szakértők papír alapon, nyomtatva kapták meg az értékeléshez.

15. táblázat: A kockázatelemzésben felhasznált véletlenszerűen kiválasztott kockázatok

Eset	Terület/folyamat lépés	Lehetséges hiba	A hiba lehetséges következménye
C1	Készpénzfelvétel bankfiókban	Egy fiatal személy kíséri az idősebb ügyfelet	Veszteség az ügyfél számára
C2	Betekintés az ügyfél számlájába	Egy rokon bankszámlájának ellenőrzése egy hivatali mobiltelefonról indított telefonhívásban	Eljárásrend megsértése
C3	Válasz egy bankszámlával kapcsolatos visszaélésben érkezett ügyfélmegkeresésre	Az ügyfél félretájékoztatása, és az erről szóló jelentés elmaradása a banki biztonsági szolgálat felé	Veszteség az ügyfél számára, biztonsági incidens
C4	Készpénz felvétel, bankszámla zárása	Egy kisebb ügyfél jogi képviselője a bankszámlán lévő teljes összeget felveszi, és zárja a számlát	Kisebb ügyfél vesztesége
C5	Új bankszámla megnyitása	A banki tisztviselő családtagja részére számlát nyit	Érdekkonfliktus, eljárásrend megsértése
C6	Utasbiztosítás kiajánlása	Idegen kártya használatának elmulasztása	Bankkártyával való visszaélés

Az esetek értékelése, összehasonlítása három nézőpont alapján történt meg egymás után, mivel azok gyakorisága, súlyossága és felderíthetősége is kiértékelésre került. Az összehasonlítás eredményeként a szakértők a 16-24. táblázatokban látható eredményekre jutottak. A táblázatok végén a skálaértékeket 1-4 skálára vetítettük ki lineáris transzformáció segítségével, mert a bankban alkalmazott korábbi gyakorlat szerint compliance kockázatokat 1-4-es skálán becsülték, diszkrét értékekkel, a Guilford-PRIZMA módszer viszont tizedes értékre kerekített folytonos értékeket ad meg.

16. táblázat: Az 1. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - gyakoriság szerint

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	a_i	rang	skála (1-4)
C1				1	1		2	4	2,3
C2	1		1	1	1		4	2	3,2
C3	1			1	1		3	3	2,7
C4							0	6	1
C5				1			1	5	1,8
C6	1	1	1	1	1		5	1	4

17. táblázat: Az 1. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - súlyosság szerint

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	a_i	rang	skála (1-4)
C1		1		1	1	1	4	2	3,2
C2							0	6	1
C3	1	1		1	1	1	5	1	4
C4		1			1	1	3	3	2,7
C5		1					1	5	1,8
C6		1			1		2	4	2,3

18. táblázat: Az 1. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - felderíthetőség szerint

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	a_i	rang	skála (1-4)
C1			1		1		2	4	2,3
C2	1		1	1	1		4	2	3,2
C3							0	6	1
C4	1		1		1		3	3	2,7
C5			1				1	5	1,8
C6	1	1	1	1	1		5	1	4

19. táblázat: A 2. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - gyakoriság szerint

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	a_i	rang	skála (1-4)
C1			1	1	1		3	3	2,7
C2	1		1	1	1	1	5	1	4
C3				1	1		2	4	2,3
C4					1		1	5	1,8
C5							0	6	1
C6	1		1	1	1		4	2	3,2

20. táblázat: A 2. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - súlyosság szerint

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	a_i	rang	skála (1-4)
C1		1		1	1	1	4	2	3,2
C2							0	6	1
C3	1	1		1	1	1	5	1	4
C4		1			1	1	3	3	2,7
C5		1					1	5	1,8
C6		1			1		2	4	2,3

21. táblázat: A 2. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - felderíthetőség szerint

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	a_i	rang	skála (1-4)
C1			1		1		2	3	2,3
C2	1			1	1		3	2	2,7
C3		1			1		2	3	2,3
C4	1		1		1		3	2	2,7
C5							0	4	1
C6	1	1	1	1	1		5	1	4

22. táblázat: A 3. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - gyakoriság szerint

→ inkonzisztens

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	a_i	rang	skála (1-4)
C1			1	1	1	1	4	1	3,2
C2	1		1		1	1	4	1	3,2
C3				1			1	4	1,8
C4		1					1	4	1,8
C5			1	1			2	3	2,3
C6			1	1	1		3	2	2,7

23. táblázat: A 3. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - súlyosság szerint

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	a_i	rang	skála (1-4)
C1		1	1		1	1	4	1	3,2
C2							0	4	1
C3		1		1	1	1	4	1	3,2
C4	1	1			1	1	4	1	3,2
C5		1				1	2	2	2,3
C6		1					1	3	1,8

24. táblázat: A 3. szakértő páros összehasonlításainak eredménye - felderíthetőség szerint

→inkonzisztens

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	a_i	rang	skála (1-4)
C1		1		1	1		3	2	2,7
C2				1	1		2	3	2,3
C3	1	1			1	1	4	1	3,2
C4			1		1		2	3	2,3
C5							0	4	1
C6	1	1		1	1		4	1	3,2

A Khí négyzet próba alapján, ha kettőnél több inkonzisztens körhármast találhatók a mintában ($d > 2$), akkor 5 százalékos szignifikancia szint mellett a döntéshozót inkonzisztensnek kell tekinteni. Konzisztencia vizsgálat eredménye alapján az 1. és a 2. számú szakértő véleményalkotása konzisztensnek tekinthető mindhárom vizsgált nézőpont szerint: a gyakoriság (o), a súlyosság (s) és a felderíthetőség (d) alapú páros összehasonlítások esetében is. Ezzel szemben a 3. számú szakértő csak a súlyosság (s) dimenzió esetében volt konzisztensnek tekinthető. A konzisztencia vizsgálatok eredménye a 25. táblázatban láthatóak.

25. táblázat: A szakértői konzisztencia vizsgálat eredménye

Dimenzió	Mutató	Szakértő 1	Szakértő 2	Szakértő 3
<i>o</i>	<i>d</i>	0	0	4
	<i>K</i>	100%	100%	50%
<i>s</i>	<i>d</i>	0	0	1
	<i>K</i>	100%	100%	87,5%
<i>d</i>	<i>d</i>	0	2	3
	<i>K</i>	100%	75%	62,5%

A rangsorok egyezőségének vizsgálatára a konzisztencia vizsgálat után kerülhet sor. A súlyosság (*s*) dimenzió esetében mindegyik szakértő véleményalkotása konzisztens volt (így jelen esetben a Kendall féle egyetértési együttható kiszámítható az egyetértés tesztelésére). Ezzel ellentétben az gyakoriság (*o*) és a felderíthetőség (*d*) dimenziók esetében csak két szakértő véleményalkotása fogadható el, így itt az összevetésre a Spearman féle *rho* mutató került kiszámításra. A Kendall féle *W* értéke 0,947 0,014-es szignifikancia szint mellett a súlyosság (*s*) dimenzió esetében (mivel mindhárom szakértő véleményalkotása konzisztens volt). Az gyakoriság (*o*) dimenzió esetében a Spearman féle *rho* értéke 0,829 volt 0,042-es szignifikancia szint mellett (csak az 1. és 2. szakértő véleményalkotása volt konzisztens).

Mivel az egyes szakértői rangsorok kellően hasonlóknak tekinthetők, az egyes szakértői vélemények *o*, *s*, és *d* szerinti aggregálása elvégezhető. Az aggregálás eredménye a 26-28. táblázatokban található.

26. táblázat: Az aggregált eredmények - gyakoriság szerint

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	<i>a_i</i>	rang	skála (1-4)
C1		0	1	2	2	0	5	2	2,5
C2	2		2	2	2	1	9	1	3,6
C3	1	0		2	2	0	5	2	2,5
C4	0	0	0		1	0	1	3	1,4
C5	0	0	0	1		0	1	3	1,4
C6	2	1	2	2	2		9	1	3,6

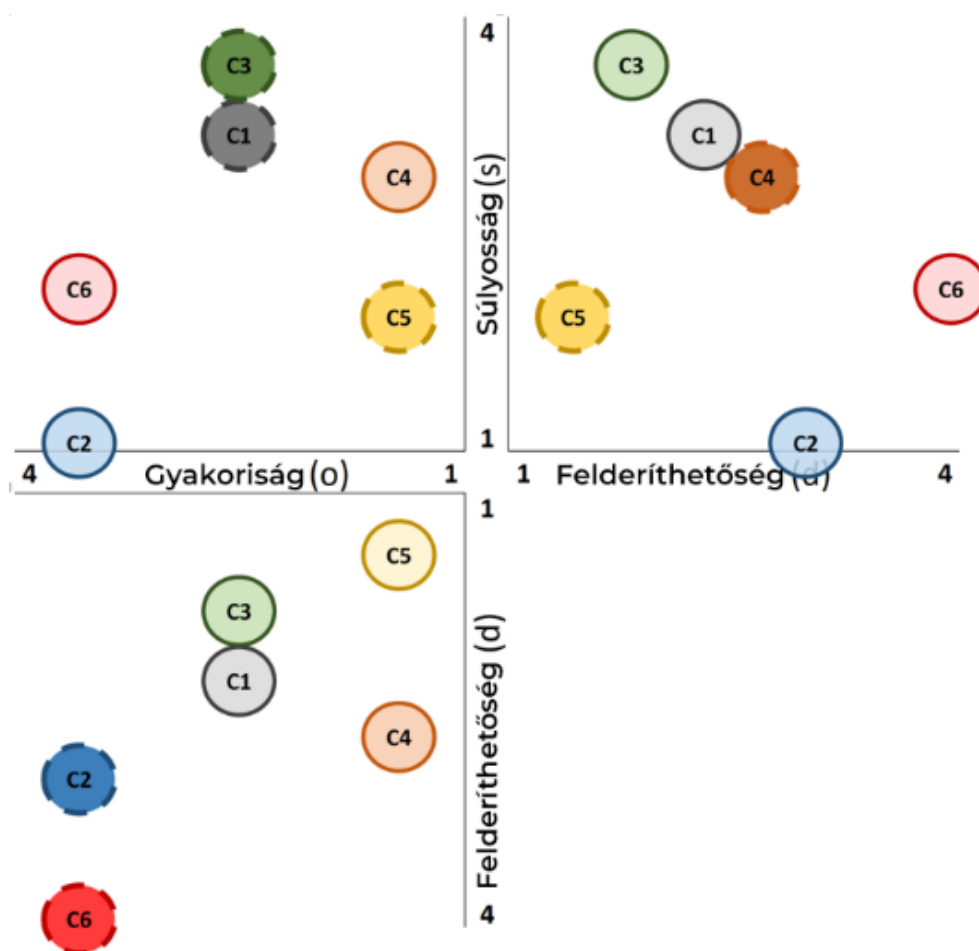
27. táblázat: Az aggregált eredmények - súlyosság szerint

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	<i>a_i</i>	rang	skála (1-4)
C1		3	1	2	3	3	12	2	3,2
C2	0		0	0	0	0	0	6	1
C3	2	3		3	3	3	14	1	3,7
C4	1	3	0		3	3	10	3	2,9
C5	0	3	0	0		1	4	5	1,9
C6	0	3	0	0	2		5	4	2,1

28. táblázat: Az aggregált eredmények - felderíthetőség szerint

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	a_i	rang	skála (1-4)
C1		0	2	0	2	0	4	4	2,3
C2	2		1	2	2	0	7	2	3
C3	0	1		0	1	0	2	5	1,8
C4	2	0	2		2	0	6	3	2,7
C5	0	0	1	0		0	1	6	1,4
C6	2	2	2	2	2		10	1	4

A gyakoriság, súlyosság és a felderíthetőség dimenziók skálaértékei alapján az egyes események PRIZMA mintái ábrázolhatók, amint az a 18. ábrán látható. Az egyes események maximális értékei (lásd 29. táblázat) alapján számított PRIZMA számok láthatóak a 18. ábrán, szaggatott körvonallal, sötétebb színnel kiemelve, míg a 29. táblázatban félkövér betűkkel szedve.



18. ábra: Az események PRIZMA mintái és Prizma számai

29. táblázat: Az aggregálás alapján képzett PRIZMA számok

	Eset	<i>o-s</i>	<i>o-d</i>	<i>d-s</i>	Max	Rang
$A(m)$	C1	8,1	5,7	7,3	8,1	4
	C2	3,5	10,5	3,0	10,5	2
	C3	9,2	4,4	6,5	9,2	3
	C4	4,2	4,0	7,9	7,9	5
	C5	2,8	2,1	2,8	2,8	6
	C6	7,5	14,2	8,5	14,2	1
$M(m)$	C1	5,7	4,8	5,5	5,7	4
	C2	4,5	6,5	4,0	6,5	2
	C3	6,2	4,3	5,4	6,2	3
	C4	4,3	4,2	5,6	5,6	5
	C5	3,4	2,9	3,4	3,4	6
	C6	5,7	7,6	6,1	7,6	1
$S(m)$	C1	16,7	11,4	15,6	16,7	4
	C2	13,6	21,4	9,8	21,4	2
	C3	19,8	9,4	16,7	19,8	3
	C4	10,4	9,5	15,8	15,8	5
	C5	5,9	4,2	5,9	5,9	6
	C6	17,1	28,6	20,5	28,6	1

Az $A(m)$, $M(m)$ és $S(m)$ függvények azonos rangsort adtak az aggregált eredmények esetében, azonban a rangsorok különbözőek is lehetnek a dimenziók szerint. Az 1. szakértő esetében az egyes aggregáló függvények eltérő végső sorrendet eredményeztek, míg a 2. szakértő esetében mindhárom értékelő függvény azonos rangsorokat állított elő. Ezen eredményeket a 30. táblázat mutatja be. A 3. szakértő véleményalkotása nem mutatott konzisztens eredményt az előfordulás és a felderíthetőség dimenziók páros összehasonlítása során sem, ezért esetében a PRIZMA minta nem állítható fel a hiányzó 2 dimenzió miatt.

Az egyes szakértői rangsorok hatásának tesztelése az aggregált rangsorokra jelentős összefüggésekre mutathat rá. A teszt segíthet azonosítani a közös vélekedéséhez leginkább igazodó, illetve az attól leginkább eltérő véleményalkotásokat. A 16-24. táblázatokban leírt adatok alapján az 1. és a 2. szakértő PRIZMA rangsorai számíthatók ki. Ennek felhasználásával korreláció vizsgálat hajtható végre az egyes szakértők rangsorai és az aggregált rangsor között. A korrelációs együttható magasabb értéke magasabb illeszkedést mutat az aggregált rangsorhoz. A számítás elvégzése során a Spearman féle *rho* értéke került felhasználásra.

Az egyes szakértők $A(m)$, $M(m)$ és $S(m)$ függvényekkel kapcsolatos rangsorai, valamint az aggregált rangsorok a 30. táblázatban láthatók. Mivel a 2. szakértő aggregált rangsorai mindhárom PRIZMA függvény szerint azonosak, ezért szerepel csak egy rangsor a 2. szakértő véleményalkotásáról a táblázatban.

30. táblázat: A szakértők függvények szerinti rangsorai

Eset	Szakértő 1			Szakértő2	Aggregált rangsor
	A(m)	M(m)	S(m)		
C1	4	5	4	4	4
C2	3	3	3	2	2
C3	2	2	2	3	3
C4	4	4	5	5	5
C5	5	6	6	6	6
C6	1	1	1	1	1

Az 1. szakértő esetében az $A(m)$, $M(m)$ és $S(m)$ függvények különböző rangsorokat eredményeztek, így az 1. szakértő esetében véleményalkotásának egyezőség vizsgálatát el kell végezni. Az egyezőség vizsgálatára a Spearman féle ρ érték került kiszámításra, melynek eredménye a 31. táblázatban található.

31. táblázat: Az egyezőség vizsgálat korrelációs együtthatói

	Szakértő 1		Szakértő 2	Aggregált rangsor
	M(m)	S(m)		
Szakértő 1 A(m)	0,986	0,986	0,928	0,928
Szakértő 1 M(m)		0,943	0,886	0,886
Szakértő 1 S(m)			0,943	0,943
Szakértő 2				1,000

A korrelációs együttható értéke mindegyik összevetés esetében kellően magas, a szignifikancia szint meghaladja az elvárt 0,05-ös szintet. Az eredmények alapján nincs a vizsgálati mintában az átlagtól jelentősen eltérő, az 1. szakértő rangsorai az egyes dimenziók mentén kellően egyezők. További nem parametrikus tesztek (*Kendall-féle W*) alkalmazása nélkül is kijelenthető, hogy az $S(m)$ függvény adja a leginkább egyező szakértői rangsort.

Az aggregált eredmények alapján megállapítható, hogy a C6 jelű esemény jelenti a legmagasabb részleges kockázatot a vizsgált események közül, így ezt kell a legmagasabb kockázatú eseménynek tekinteni. Az gyakoriság vs. felderíthetőség almatrix vizsgálata alapján megállapítható, hogy a legmagasabb szintű részleges kockázatot a C6 jelű esemény jelenti, így a kockázatsökkentő stratégiák kidolgozása során intézkedési tervet kell készíteni az előfordulás csökkentésére vagy a felderíthetőség szintjének növelésére.

Valamennyi konzisztensnek tekinthető véleményalkotó szakértő egyetértett abban, hogy a legkisebb kockázatot a C5 jelű esemény jelenti. A C1, C2, C3, C4 események esetén a különféle sorrendek figyelhetők meg ugyan, ám a sorrendek különbségei nem jelentősek.

Lévén az aggregált értékelés kialakítása során csak és kizárólag szignifikánsan konzisztens szakértői véleményalkotások kerültek feldolgozásra, és az egyéni és az aggregált rangsorok kellő mértékű egyezőséget mutatnak a módszertan alkalmazásának eredményéül

megállapítható, hogy az értékelés megfelelő szakmai alapossággal, kellő tudás felhasználásával történt, így az eredmények kellően megbízhatónak tekinthetők.

5.1.3 Az eset eredményeinek értékelése

A javasolt kockázatértékelési módszertan a szakértők egyéni véleményalkotásának aggregálásán alapul, így segítségével a fent említett banki gyakorlatban fennálló probléma könnyen orvosolható, elkerülhető. Az alkalmazott banki gyakorlatban csak 4 kockázati kategória (jelentéktelen, mérsékelt, jelentős, kritikus) kerül definiálásra, felhasználásra, így több értékelendő esemény esetén több esemény is azonos minősítést fog kapni, ezáltal azok fontosságának megkülönböztetési képessége csekély lesz. A javasolt, páros összehasonlítással kibővített PRIZMA módszer alkalmazása képes a banki gyakorlatban alkalmazott módszerhez képest finomabb részletezettségű skála létrehozására (a 4 elemű diszkrét értékeket tartalmazó skála helyett folyamatos skála alkalmazásával), így pontosabb kép kapható segítségével az egyes nem-megfelelőség esetek értékelésével kapcsolatban. Jelen esettanulmányban ugyan csak néhány felmerülő probléma került feldolgozásra, ám ez inspirálóan hat a vizsgált bank megfelelőségi szakértőire (és a többi kereskedelmi bank megfelelőségi szakértőire is, akik a leírt gyakorlathoz hasonló módon végzik a kockázataik értékelését), hogy folyamatosan fejlesszék bankjaik megfelelőség menedzsment rendszereit.

A javasolt módszert alkalmazva a banki kockázatok közül a C6 jelű, utasbiztosítás kiajánlása kapta a legmagasabb prioritás értéket. A korábban a banknál alkalmazott módszertan eredményeként ez magas súlyosságú és nagyon valószínű előfordulású esemény, így kritikus minősítést kapott. Ez teljesen összhangban van a javasolt módszerrel kapott eredménnyel. A kockázatkezelő akciók kidolgozásakor így kiemelt figyelmet kell fordítani az általa jelentett kockázat csökkentésére.

5.2 Esettanulmány – Atomerőmű

5.2.1 Az eset felvételének körülményei

A PRIZMA módszer AHP-TOPSIS alapú továbbfejlesztésére javasolt módszertan alkalmazására egy európai ország atomerőművének kockázat-elemző bizottsága került felkérésre 2022 nyarán. A kockázatelemzés fókuszában az atomerőmű beérkező anyagainak logisztikai folyamataival kapcsolatos kockázatok előzetes értékelése állt. Az értékelés stratégiai szinten került kivitelezésre azzal a fő céllal, hogy azonosíthatóak legyenek a beérkező anyagok logisztikájával kapcsolatos legmagasabb szintű veszélyt jelentő kockázati klaszterek. A vizsgálat fókusza sokkal inkább a műszaki, technikai jellegű kockázatokra fókuszált.

5.2.2 Az eset leírása és eredményei

A javasolt módszertan 1. lépése szerint egy 10 főből álló szakértői bizottság került összehívásra a kockázatok értékelésére. A bizottságban való részvételhez minimum 5 éves atomerőművi tapasztalat volt az elvárás, a tagok valójában átlagosan közel 13 éves tapasztalattal rendelkeztek, tapasztalati éveiknek mediánja 12,5 év volt. Az értékelési folyamat a szakértői bizottság tagjai közötti diszkusszió alapult. A Stratégiai EseményCsoportok (SECS) kialakítása kvalitatív módon történt, majd az ülést megelőző 2 év legkockázatosabb működési hibái besorolásra kerültek a SECS-ek szerint. A SECS-ek kialakítása során a bizottság törekedett arra, hogy a csoportok közötti átfedés minimális legyen. 10 Stratégiai EseményCsoport került kialakításra kockázatok értékeléséhez, ezek rövid leírását tartalmazza a 32. táblázat Bognár és társai munkája alapján (*Bognár és tsai., 2022*). Minden SECS egyedi azonosítóval került jelölésre, egy rövid elnevezést és leírást kapott.

32. táblázat: Az esemény klaszterek listája (*Bognár és tsai., 2022*)

ID	Stratégiai Esemény Csoport	Rövid leírás
E1	Késői teljesítés	A beszállító/szerződött partner nem a vállalt határidőre, de teljesíti a vállalt kötelezettségeit. Ez a ráépülő folyamatok (további) csúszását okozhatja.
E2	Nemteljesítési kockázatok	A beszállító/szerződött partner nem tudja a vállalásait teljesíteni szándékoltan vagy rajta kívül álló okok miatt. Ez a kockázat a beszerzéssel foglalkozó egységek ismételt munkavégzését fogja eredményezni, továbbá a tervek megvalósíthatóságát akadályozza.
E3	Téves teljesítés	A beszállító/szerződött partner nem a vállalt mennyiségben/minőségben teljesíti kötelezettségeit. A felhasználás jellegétől függően a tervek megvalósíthatóságát akadályozza.

E4	Környezeti kockázatok	Külső, leginkább gazdasági jellegű kockázatok, melyekre sem a beszállító/szerződött partnernek sem pedig az atomerőműnek nincs közvetlen ráhatása.
E5	Együttműködési hiányosságok	A logisztikai rendszer érintettjei közötti együttműködésben rejlő kockázatok. Ezek fakadhatnak szándékolt és nem szándékolt cselekményekből is.
E6	Felelős kijelölése	A beszerzés egyes folyamatszakaszaiért felelős személy kijelöléséből fakadó kockázat, mely fakadhat a személy ismeret/tudás/képességbeli hiányosságaiból vagy az általa a szervezettől nem megfelelően megkapott jogosultsági rendszer hiányosságaiból. A személyre bízott feladatok elvégzését nem teszi lehetővé.
E7	Szállítói stabilitás	A beszállító/szerződött partner működési problémáiból fakadó kockázat. Ez lehet akár jogi, a szervezettől függetlennek tekinthető kockázat is (pl. embargó), vagy a szervezet gazdasági stabilitásából eredő kockázat.
E8	Tudásbázis állapota	A beszerzési rendszer működtetéshez szükséges tudásbázissal kapcsolatos kockázatok. Ezek fakadhatnak a közreműködők szellemi kompetenciáiból illetve a kiszolgáló információs rendszerek állapotából.
E9	Kiszolgáló rendszer rendelkezésre állása	A logisztikai rendszer működőképességéből fakadó kockázatok. Ezek lehetnek hardver illetve szoftver eredetű kockázatok is.
E10	Teljesítések ellenőrizetlensége	A logisztikai folyamatok során az anyag-, információ- és pénzáramok tényleges, terv szerinti megvalósulásának, megtörténtének ellenőrzésének elmaradása. Dokumentációs hiányosságokat, tanúsíthatósági kockázatokat eredményez.

Az egyes esetek a Ross féle optimális elrendezést ([Ross, 1939](#)) követve kerültek listázásra az összehasonlítás elvégzését segítő kérdőíveken, mind a gyakoriság, mind a súlyosság, mind a felderíthetőség dimenziók mentén. A kérdőíveket a szakértők papír alapon, nyomtatva kaptak meg az értékeléshez. Mivel az egyik résztvevőnek az értékelési folyamat lezárása előtt egy másik megbeszélésre távoznia kellett, így ő elektronikus formában is megkapta az értékelési kérdőívet, amit még az adatfelvétel napjának estéjén megküldött feldolgozásra. Az eredmények feldolgozása egy MS Excel segítségével történt meg.

A kérdőívek kitöltését a csoport tagjai egyénileg végezték el első körben. Ennek részletes bemutatására az esettanulmányban nem térek ki. Az egyéni kitöltés után az eredményeket a résztvevő szakértők közösen is megbeszélték, ennek részletes ismertetése következik a folytatásban.

A javasolt módszertan 2. lépéseként döntési mátrixok kerültek felírásra az esemény klaszterekkel kapcsolatosan a súlyosság (S), a gyakoriság (O) és a felderíthetőség (D) dimenziók szerint. Az egyes dimenziók mátrixait a 33-35. táblázatok tartalmazzák.

33. táblázat: A súlyosság (S) dimenzióval kapcsolatos döntési mátrix (*Bognár és tsai., 2022*)

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
E1	1	1/7	3	1/7	1	3	3	1	1	1/5
E2	7	1	5	1/3	1	5	3	5	7	1
E3	1/3	1/5	1	1/7	1/5	1	3	1/3	1	1/5
E4	7	3	7	1	5	5	7	5	7	1
E5	1	1	5	1/5	1	3	7	3	5	1/3
E6	1/3	1/5	1	1/5	1/3	1	3	1/3	1/3	1/3
E7	1/3	1/3	1/3	1/7	1/7	1/3	1	1/3	1/3	1/7
E8	1	1/5	3	1/5	1/3	3	3	1	3	1/3
E9	1	1/7	1	1/7	1/5	3	3	1/3	1	1/5
E10	5	1	5	1	3	3	7	3	5	1

34. táblázat: A gyakoriság (O) dimenzióval kapcsolatos döntési mátrix (*Bognár és tsai., 2022*)

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
E1	1	9	5	1	7	5	7	5	7	7
E2	1/9	1	1	1/9	1	1	3	1/3	1	1
E3	1/5	1	1	1/5	3	3	3	5	5	3
E4	1	9	5	1	5	5	7	5	5	7
E5	1/7	1	1/3	1/5	1	1	3	1/3	5	3
E6	1/5	1	1/3	1/5	1	1	1	1/3	3	1
E7	1/7	1/3	1/3	1/7	1/3	1	1	1	1	1/3
E8	1/5	3	1/5	1/5	3	3	1	1	3	3
E9	1/7	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1	1/3	1	1/3
E10	1/7	1	1/3	1/7	1/3	1	3	1/3	3	1

35. táblázat: A felderíthetőség (D) dimenzióval kapcsolatos döntési mátrix (*Bognár és tsai., 2022*)

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
E1	1	1	1/7	1	3	3	1/3	1/7	1/5	1/3
E2	1	1	1/7	1	3	5	1/5	1/9	1/3	1/3
E3	7	7	1	5	9	5	5	1	3	7
E4	1	1	1/5	1	3	3	1/5	1/7	1/7	1/3
E5	1/3	1/3	1/9	1/3	1	3	1/3	1/7	1/3	1
E6	1/3	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1/5	1/9	1/3	1/3
E7	3	5	1/5	5	3	5	1	1/7	1	3
E8	7	9	1	7	7	9	7	1	3	7
E9	5	3	1/3	7	3	3	1	1/3	1	3
E10	3	3	1/7	3	1	3	1/3	1/7	1/3	1

A $p(m)$ PRIZMA minta elemeivel kapcsolatos döntési mátrix, mely a módszertan 3. lépést alkalmazva került meghatározásra, a 36. táblázatban látható.

36. táblázat: A PRIZMA minta elemeinek döntési mátrixa

	$o \otimes s$	$o \otimes d$	$d \otimes s$
$o \otimes s$	1	5	3
$o \otimes d$	1/5	1	1/3
$d \otimes s$	1/3	3	1

A módszertan 2. és 3. lépésével kapcsolatos konzisztencia vizsgálatok eredményei a 37. táblázatban láthatóak. Tekintettel arra, hogy a CR értékei 0,1-nél alacsonyabbak, a szakértői bizottság döntési mátrixai konzisztensnek tekinthetők, így nem volt szükség a szakértők preferenciáinak ismételt felvételére. Az eredmények tükrében mind a PRIZMA minta elemeivel kapcsolatos SECS-ek súlyai, mind maguk a PRIZMA minta elemek kiszámíthatóak a 4. lépésben leírt módszert alkalmazva. A PRIZMA minta elemek súlyai a 38. táblázatban láthatóak.

37. táblázat A konzisztencia vizsgálatok eredményei

	O	S	D	p(m)
n	10	10	10	3
λ_{max}	11,24	11,08	11,26	3,04
CI	0,14	0,12	0,14	0,02
RI	1,49	1,49	1,49	0,58
CR	0,09	0,08	0,09	0,03

38. táblázat: A PRIZMA minta elemek súlyszámai

	$o \otimes s$	$o \otimes d$	$d \otimes s$
w_j	0,633	0,106	0,26

A SECS-ekkel kapcsolatos helyi súlyok minden egyes PRIZMA mintával kapcsolatban meghatározhatóak a (6)-(8) egyenletek felhasználásával, ennek eredményei a 39. táblázatban láthatóak.

39. táblázat: A Stratégia EseményCsoportok helyi súlyai

	$P(m)$	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$E8$	$E9$	$E10$
$P_A(m)$	$o + s$	5,5	4,0	3,2	7,8	3,6	2,4	2,0	3,2	2,3	4,2
	$o + d$	5,2	2,5	5,7	5,0	2,5	2,2	3,0	5,6	3,1	2,6
	$d + s$	2,7	4,1	4,8	5,2	3,2	2,2	2,9	5,5	3,3	4,4
$P_M(m)$	$o \cdot s$	5,8	3,4	2,3	15,3	3,0	1,4	1,0	2,5	1,3	3,6
	$o \cdot d$	4,9	1,5	7,4	4,7	1,6	1,2	2,0	6,5	2,1	1,7
	$d \cdot s$	1,8	3,6	4,2	4,9	2,4	1,2	1,9	6,1	2,6	4,3
$P_S(m)$	$o^2 + s^2$	18,1	9,5	5,4	30,6	6,6	2,9	2,1	5,0	2,6	10,4
	$o^2 + d^2$	17,5	3,1	17,5	16,1	3,3	2,5	4,9	18,7	5,3	3,5
	$d^2 + s^2$	3,6	9,6	14,7	17,5	5,8	2,4	4,8	18,3	5,9	11,0

A javasolt módszertan 5. lépéseként a 38. és a 39. táblázatok adatait felhasználva felírható a TOPSIS elemzés döntési mátrixa. A 40. táblázat bemutatja a normalizált és súlyozott mátrixait a többszörös TOPSIS elemzésnek, kiemelve annak A^* ideális pozitív és A^- ideális negatív értékeit. Az értékek normalizálása a 3.2.3 fejezetben leírt (20) egyenlet alkalmazásával történt, míg a mátrix súlyozása a (21) egyenlet felhasználásával. A számítások lezárásául a pozitív és negatív ideális megoldások kerültek meghatározásra a (22) és a (23) egyenletek alkalmazásával.

40. táblázat: Normalizált és súlyozott döntési mátrix

	$P_A(m)$			$P_M(m)$			$P_S(m)$		
$p(m)$	$o + s$	$o + d$	$d + s$	$o \cdot s$	$o \cdot d$	$d \cdot s$	$o^2 + s^2$	$o^2 + d^2$	$d^2 + s^2$
w_j	0,633	0,106	0,26	0,633	0,106	0,26	0,633	0,106	0,26
E1	0,26	0,04	0,05	0,21	0,04	0,04	0,29	0,05	0,03
E2	0,19	0,02	0,08	0,12	0,01	0,08	0,15	0,01	0,07
E3	0,15	0,05	0,10	0,08	0,06	0,10	0,09	0,05	0,11
E4	0,38	0,04	0,11	0,54	0,04	0,11	0,49	0,05	0,13
E5	0,17	0,02	0,07	0,11	0,01	0,05	0,11	0,01	0,04
E6	0,12	0,02	0,04	0,05	0,01	0,03	0,05	0,01	0,02
E7	0,10	0,03	0,06	0,04	0,02	0,04	0,03	0,01	0,04
E8	0,15	0,05	0,11	0,09	0,05	0,14	0,08	0,05	0,14
E9	0,11	0,03	0,07	0,04	0,02	0,06	0,04	0,02	0,04
E10	0,20	0,02	0,09	0,13	0,01	0,10	0,17	0,01	0,08
A^*	0,10	0,02	0,04	0,04	0,01	0,03	0,03	0,01	0,02
A^-	0,38	0,05	0,11	0,54	0,06	0,14	0,49	0,05	0,14

A 41. táblázat mutatja be az egyes SECS-eknek a pozitív és negatív ideális megoldáshoz mért euklideszi távolságát, valamint az ideális megoldáshoz mért relatív közelségét. A 41. táblázat alapján a SECS-ek végső rangsorolása került elvégzésre, ennek eredményét mutatja be 42. táblázat. A módszertan 5. lépése a SECS-ek végső rangsorolásával ér véget.

41. táblázat: A pozitív és negatív ideális megoldáshoz mért távolság, és az ideális megoldáshoz mért relatív közelség

	$P_A(m)$			$P_M(m)$			$P_S(m)$		
	S_i^*	S_i^-	C_i^*	S_i^*	S_i^-	C_i^*	S_i^*	S_i^-	C_i^*
E1	0,166	0,129	0,436	0,172	0,351	0,671	0,259	0,228	0,469
E2	0,104	0,186	0,642	0,101	0,427	0,809	0,130	0,346	0,727
E3	0,081	0,225	0,735	0,096	0,463	0,828	0,115	0,403	0,777
E4	0,286	0,008	0,028	0,513	0,037	0,066	0,470	0,010	0,021
E5	0,076	0,212	0,736	0,076	0,445	0,854	0,076	0,397	0,839
E6	0,017	0,272	0,943	0,014	0,507	0,974	0,012	0,461	0,974
E7	0,017	0,284	0,944	0,019	0,516	0,965	0,019	0,467	0,960
E8	0,092	0,224	0,709	0,132	0,454	0,775	0,138	0,408	0,747
E9	0,027	0,273	0,911	0,034	0,507	0,937	0,029	0,458	0,941
E10	0,114	0,178	0,610	0,115	0,419	0,784	0,147	0,330	0,691

42. táblázat: A többszörös TOPSIS elemzés végső rangsorai

$P(m)$	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>E6</i>	<i>E7</i>	<i>E8</i>	<i>E9</i>	<i>E10</i>
$P_A(m)$	2	4	6	1	7	9	10	5	8	3
$P_M(m)$	2	5	6	1	7	10	9	3	8	4
$P_S(m)$	2	4	6	1	7	10	9	5	8	3

Mivel a PRIZMA minta elemeinek értékei a (32)-(34) egyenletek felhasználásával különböző módokon állíthatók elő, így az 5. lépés eredményeként is 3 rangsor fog létrejönni. Ezeket a rangsorokat a megfelelésük vizsgálatára a 6. lépésben elemezni kell.

43. táblázat: A rangegyezés és a rangkorreláció vizsgálat eredménye

$P(m)$	<i>Kendall-féle W</i>	$P_A(m)$ vs. $P_M(m)$	$P_A(m)$ vs. $P_S(m)$	$P_M(m)$ vs. $P_S(m)$
érték	0,978	0,867	0,956	0,911
szign.	0,002	0,000	0,000	0,000

A 43. táblázat bemutatja a rangegyezés vizsgálat (amely a Kendall féle W mutató meghatározásával történt) és a rangkorreláció elemzés eredményeit a három dimenzió szerint összevetett rangsorok esetében. Mindegyik próba közel 1-es értéket mutatott, 0 közeli szignifikancia szint mellett. A vizsgálat eredményeként megállapítható, hogy a rangsorok között alig tapasztalható különbség. A kockázatértékelési folyamat eredményeként a kidolgozott rangsorok felhasználásával további kockázatsökkentő intézkedések dolgozhatók ki. A legmagasabb kockázatúnak az E4 (Környezeti kockázatok) és az E1 (Késői teljesítés) Stratégia EseményCsoportokat ítélték meg a szakértők, így a velük kapcsolatos kockázatsökkentő intézkedéseknek kell első körben fókuszba kerülni.

5.2.3 Az eset eredményeinek értékelése

Az esettanulmány célja a PRIZMA kockázatértékelési módszertan AHP-TOPSIS alapú bővítése működőképességének bemutatása volt egy atomerőművi kockázatok értékelési példáján keresztül. A módszertan az FMEA alkalmazása során használt 3 kockázatértékelési dimenzióra építve, az alap PRIZMA módszertant kibővítve segíti azonosítani és bemutatni az alábecsült, vagy rejtve maradt részleges kockázatokat. A PRIZMA értékelési folyamat determinisztikus értékelési skálákat használ, ezért a módszer adatérzékenysége kritikus. Az analitikus-hierarchikus eljárás (AHP) kombinálása a PRIZMA módszerrel ugyan segít az eredeti módszertan néhány hátrányos tulajdonságának enyhítésében, ám az AHP-PRIZMA módszer továbbra sem képes az értékelési dimenziók azonos faktorsúlyának problémakörét megoldani. Jelen példán keresztül egy olyan módszertan (AHP-TOPSIS-PRIZMA) alkalmazása került bemutatásra, amely lehetővé teszi az értékelési dimenziók eltérő faktorsúlyának használatát, továbbá az egyes alternatívák mélységben történő elemzését a pozitív és a negatív ideális megoldásokkal való összevetés révén. Mivel a TOPSIS módszertan más módszerekkel összevetve hatékony megoldást képes nyújtani a rangsorolásban, ezért alkalmas irányt jelentett az AHP-PRIZMA módszertan bővítésére.

Az esetben bemutatott szervezet, az atomerőmű életében a környezeti kockázatok kiemelkedően fontosak, ezt az alkalmazott módszerrel végzett elemzés is megerősítette: az E4 jelű SECS, a „Környezeti kockázatok” kapta a legmagasabb értéket, így annak prioritása a legmagasabb, az azzal kapcsolatos intézkedések meghozatala kell hogy kapja a legnagyobb hangsúlyt a kockázatkezelési akciók kidolgozása során.

A második legmagasabb értéket az E1 jelű SECS, a „Késői teljesítés” kapta. Ez az értékelés sem meglepő, révén az atomerőművek többszörös túlbiztosítása sem képes kivédeni minden technikai, üzleti folytonosságbeli kockázatot, így a beszállítóktól érkező teljesítések terv szerinti megvalósulása létérdek lehet. Az üzleti működés folyamatosságának biztosítása fontos, mivel egy nem tervezett megállás nemcsak az egész erőművet, hanem annak tágabb környezetét is veszélyezteti.

Az E10 „Teljesítések ellenőrizetlensége” a biztonságra kritikus rendszerek (ilyen például az atomerőmű is) esetében az adminisztrációs előírások nem teljesítését fogja eredményezni, amely hazai és nemzetközi ellenőrző hatóságok általi szankciókhoz vezethet.

Belátható, hogy a javasolt AHP-TOPSIS-PRIZMA módszertan a kockázatokat megfelelően rangsorolni képes megoldást ad.

6 Diszkusszió

6.1 A módszerfejlesztés kapcsolódása a kockázatértékelés fejlődési trendjeibe

A PRIZMA módszert arra tervezték, hogy azonosítsa és hangsúlyozza a rejtett kockázatokat, elsősorban a megfelelőség-menedzsment területén, valamint azon iparágakban, ahol a biztonság szerepe különösen fontos. (Hegedűs és tsai., 2022) Az AHP-PRIZMA módszertan kidolgozásának célja a komplex rendszerek értékelésének javítása volt, az alap PRIZMA módszertan páros összehasonlításon alapuló többtényezős döntési technikával való bővítésével (Benedek és tsai., 2021). A legjobb-legrosszabb összevetésén alapuló BWM módszertan szerepét, valamint az AHP módszertan helyetti integrálását a PRIZMA módszertanba jól bemutatja Bognár és Benedek (Bognár és Benedek, 2023), valamint a Guilford-eljárással való bővítési lehetőségeit Szentes és Bognár (Szentes és Bognár, 2024) tanulmányában, mely tanulmányok következtetései releváns alapot szolgáltatnak a PRIZMA módszertan AHP-TOPSIS alapokon történő továbbgondolására (Szentes, 2025a, Szentes 2025b). Belátható azonban, hogy nagyszámú eseménycsoportok, kockázatok esetén a BWM-TOPSIS alapokon nyugvó kiegészítése a PRIZMA módszertannak egy jobb választás lehet a kockázatok azonosítására. A BWM módszerek részletesebb leírása megtalálható Rezaei tanulmányában (Rezaei, 2015).

Az első esettanulmány célja a Guilford-eljárással bővített PRIZMA kockázatértékelési módszer kifejlesztésének és alkalmazásának bemutatása volt egy kereskedelmi banki példáján keresztül. Az esettanulmányban bemutatásra került egy banki példán keresztül, hogy az elterjedt többtényezős döntéshozatali technikák (MCDM) kombinálása a kockázatértékelési módszerekkel az összetett kockázati helyzetek egy sokkal pontosabb leírását teszik lehetővé. Az ellátási láncok példáján keresztül ír le társaival Moktadir (Moktadir és tsai., 2025) egy lehetséges módszert a többtényezős döntési technikák kockázatértékeléssel történő kombinálására. A páros összehasonlítást Guilford-eljárással alkalmazó PRIZMA módszertan jól illeszkedik e trendekbe. További páros összehasonlítási módszerfejlesztést mutat be például Sipos munkatársaival az élelmiszeripar példáján keresztül (Sipos és tsai., 2025). Basilio és társai (Basilio és tsai., 2022) a módszercsalád kiterjesztéseinek fejlődési trendjeiről ad részletes áttekintést, melybe a javasolt Guilford-eljárással kibővített PRIZMA módszertan is illeszkedik.

Az új módszer rávilágít arra, hogy a páros összehasonlítás lehetőséget nyújt a megfelelőségi szakértők kockázati rangsorainak összevetésére és konzisztens véleményalkotásuk után azok aggregálására. A módszer összhangban van a Cavallo és Ishikaza (Cavallo és Ishikaza, 2023) által leírt skálázási módszertannal. Továbbá a módszer lehetőséget biztosít a nem konzisztens véleményű szakértők azonosításán túl az átlagostól jelentősen eltérő véleményt formálók azonosítására is összhangban Schubert és társai (Schubert és tsai., 2012.) munkájával.

Az első esettanulmány (egyben a Guilford-PRIZMA módszer) korlátja, hogy csak kis elemű kockázati eseményszámon alapszik, ám eredményei a statisztikai módszertani validálás próbáját kiállták. Az esetben vizsgált három szakértő egyetértésének mértéke statisztikailag kielégítő mértékű, szignifikáns. További limitációja az esettanulmánynak, hogy nem vizsgálta a szakmai tapasztalatnak illetve a vizsgált banknál eltöltött időnek az értékelésben kialakított

rangsorokra gyakorolt esetleges hatását. Ezt a következő eset felvételénél már tudatosan figyelembe vettem.

Az esettanulmány módszertani korlátjának tekinthető, hogy a szakértők véleményalkotásának a páros összehasonlítás során fennálló bizonytalanságait nem lehetett kellően modellezni, mivel a javasolt módszer bináris kimenetet írt elő (az egyiket vagy a másikat preferálja az összehasonlítás során, az egyenlőség nem volt megengedett) a preferenciákkal kapcsolatban. Az összehasonlításhoz más módszertanok, mint például az AHP és BWM is felhasználhatóak lettek volna. A Guilford eljárás az AHP eljáráshoz hasonló korlátokkal rendelkezik: az összehasonlítható elemek száma alacsony az emberi elme korlátozott kapacitása miatt. Nagyszámú összehasonlítandó elem esetén a PRIZMA módszert inkább BWM módszerrel (melynek részletesebb leírása megtalálható Rezaei tanulmányában ([Rezaei, 2015](#))) célszerűbb integrálni a Guilford eljárás helyett.

A javasolt Guilford-PRIZMA módszertan lehetséges kibővítési, továbbfejlesztési iránya lehet a döntéshozatali és a csoportos értékelési technikák további szinergiáinak feltárása, mint például a tradicionális FMEA módszertan kombinációja az egyéni értékelési technikákkal, melyre példát mutat be Jin társaival ([Jin és tsai., 2024](#)). A módszertan további kiterjesztési lehetősége az AHP, AHP-TOPSIS vagy a BWM módszertanok és a PRIZMA technika összedolgozása olyan esetekben, ahol a preferenciák erősségét is szeretnénk az értékelés során figyelembe venni. Az AHP-TOPSIS alapú kiterjesztést a második esetpélda bemutatásával meg is tettem.

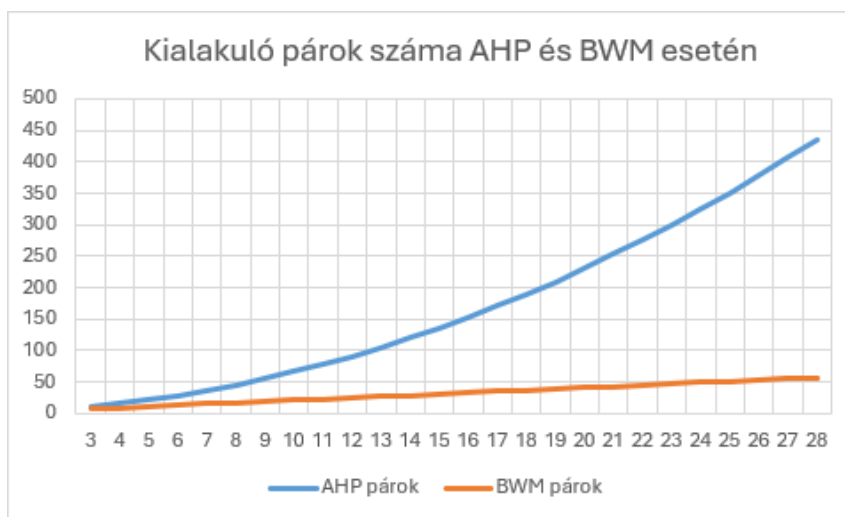
Az MCDM módszer családon belül a fuzzyfikáció egy kiteljesedőben lévő kutatási irány ([Kelemen és tsai., 2021](#)) a komplex rendszerek leírására, így a PRIZMA módszer egyfajta fuzzy-alapú fejlesztése szintén releváns továbbfejlesztési irány lehet. A fuzzy logika hatékony kezelési lehetőséget biztosít a bizonytalan és pontatlan tudás kezelésére, mely helyzetek oly gyakran jellemzőek a bankok megfelelőség menedzsmentjében. Mivel a kockázati faktorok becslései zömében korábbi megfigyeléseken és tapasztalatokon alapul, ezért megfontolandó a javasolt módszertan kibővítése a megfigyelések bizonytalanságának ([Hegedűs és Kosztyán, 2011](#)) vagy a döntési hibák kockázatainak kezelésével ([Kosztyán és Hegedűs, 2017](#)).

A PRIZMA és az AHP-PRIZMA alapú értékelések használatakor az értékelési dimenziók pontos súlyozásával hajtható végre az elemzés, az eredmények minden szükségtelen torzítása nélkül, ahogy arra a második esettanulmányban rámutattam. Azonban az AHP szerepe az AHP-PRIZMA módszertan esetén az alternatívák értékelésében csak korlátozott lehet, mivel a kritériumok súlyainak egyenlőknek kell lenniük. Ez a PRIZMA és az AHP-PRIZMA módszertanok felhasználhatóságának egyaránt alapvető korlátja, annak ellenére, hogy a módszertanok vizuális kifejezőképessége kellően erős. A Shih és társai ([Shih és tsai., 2007](#)) valamint Guang és társai ([Guang és tsai., 2010](#)) által leírt előnyös tulajdonságai miatt a TOPSIS módszertan beépítésre javasolt az AHP-PRIZMA módszertan fejlesztésekor, amennyiben orvosolni kívánjuk az egyenlő dimenzió-súlyok problémáját. A TOPSIS alkalmazásával az AHP-PRIZMA vizualizációs képességei jelentősen korlátozódnak, mivel ez esetben a rangsorolás TOPSIS megközelítésű a PRIZMA függvények helyett, erről részletesebben ír Bognár és Hegedűs ([Bognár és Hegedűs, 2022](#))

A másodikként bemutatott esetpélda korlátai az alábbiak szerint foglalhatók össze. A legjelentősebb korlátja a módszer alkalmazásának, hogy az eredmények csoportos értékelésen alapulnak, az egyéni szakértői véleményalkotások részletesebb kifejtése nélkül, ezáltal a szakértők egyetértési szintje nem vizsgálható. A SECS rangsorok robusztusságának vizsgálata csupán a három PRIZMA függvény vizsgálatán alapul. További függvények vizsgálatával az eredmények megbízhatósága fokozható lenne. A PRIZMA módszerrel kialakított rangsorok felállításán túl jelen esetpéldában más tradicionális módszerek alkalmazásával készült rangsorolással nem történt összevetés.

A bemutatott módszertan további bővítésével kapcsolatosan a még nem orvosolt problémák megoldására több irány látszik körvonalazódni. Az egyik lehetséges bővítési irány az AHP-PRIZMA módszertan kiegészítése a TOPSIS-on túl más többtényezős döntéshozatali módszerrel. Opricovic és Tzeng (*Opricovic és Tzeng, 2004*) tanulmánya szerint a TOPSIS módszer meghatározza ugyan a pozitív ideális és a negatív ideális megoldást, mint referencia pontot az alternatívák összevetéséhez, értékeléséhez, ám a VIKOR módszerrel ellentétben nem világít rá e referencia pontoktól való távolságuk relatív fontosságára. A VIKOR módszer, és annak fuzzyfikációja erre lehetséges megoldást kínálhat. (*Opricovic, 2011*)

Mint korábban említésre került, amennyiben az értékelendő alternatívák számossága relatív magas, az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszer nem tud alternatívát adni a BWM módszerek alkalmazásának. Az összehasonlítandó párok számának emelkedése hamar kimeríti az emberi elme feldolgozó képességének határait. Míg a Guilford, AHP, AHP-TOPSIS alapú összehasonlítások esetében $\frac{n(n-1)}{2}$ az elvégzendő összehasonlítások száma, addig a BWM alkalmazásakor „csak” $2n - 3$ összehasonlítás elvégzésére van szükség, ahol n az összehasonlítandó elemek, kockázatok számát jelöli. Az n növekedésével járó páros összehasonlítások számának növekedését szemlélteti a 19. ábra. (*Szentes, 2025a*)



19. ábra: A páros összehasonlítások számának alakulása a különféle technikák alkalmazása esetén

6.2 A módszertani fejlesztések összevetése

A PRIZMA, a Guilford-eljárással kombinált PRIZMA és az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszertanok alkalmazhatósága közötti menedzseri szempontú választást segíti a 44. táblázat, melyben összefoglalásra kerülnek a választást lehetővé tevő fontosabb döntési kritériumok.

44. táblázat: A módszertanok közti választás kritériumai

Módszer	Az értékelési dimenziók súlyai	Mérési módszer	Döntéshozói indifferencia	Vizualizációs képesség	Döntési szint	Alternatívák számossága
PRIZMA	azonos	determinisztikus skála	megengedett	jelentős	operatív	magas
Guilford-PRIZMA	azonos	páros összehasonlítás	nem megengedett	jelentős	stratégiai	korlátozott
AHP-TOPSIS-PRIZMA	különböző	páros összehasonlítás	megengedett	nem jelentős	stratégiai	korlátozott

Amennyiben az értékelési dimenziók súlyai egyformák, akkor a kockázatértékelés folyamán a PRIZMA és a Guilford-eljárással bővített PRIZMA módszertant alkalmazhatjuk, míg ha különböző súlyúak, akkor az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszer nyújt kézenfekvő megoldást.

A kockázatok jellemzésére alkalmazott determinisztikus skála (pl. alacsony, közepes, magas kockázatú események) esetén a PRIZMA megfelelő értékelési módszer lehet. Amennyiben nem determinisztikus skálát alkalmazunk, akkor páros összehasonlításon alapuló módszerek jöhetnek számításba, mint például a Guilford-eljárással bővített PRIZMA módszertan, vagy az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszertan.

A PRIZMA és az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszertanok alkalmazása során megengedett a kockázatok értékelése során az azonos minősítése az egyes kockázatoknak, az kevésbé részletes képet tud adni a kockázatokról, míg a Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszer esetén nem megengedett a döntéshozói indifferencia, itt a minősítőknek egyértelmű döntést kell hozniuk a kockázatokról, ami nem minden esetben lehetséges.

A PRIZMA és a Guilford-eljárással bővített PRIZMA módszertan vizualizációs képessége magas, segítségükkel a vizsgált kockázatok részletes prioritása szemléletesen bemutatható, ezzel a legmagasabb prioritású kockázatra a figyelem könnyen ráirányítható. Az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszertan esetén a vizualizáció szempontjai másodlagos fontosságúak, viszont a rangsorolási képesség során nyújtott előnyei ezt ellensúlyozzák.

A PRIZMA módszertan a vizsgálható faktorok magasabb számossága miatt inkább operatív szinten alkalmazható módszer, míg a Guilford-eljárással bővített PRIZMA és az AHP-

TOPSIS-PRIZMA módszertanok inkább a stratégiai döntések meghozatalát tudja támogatni, mivel az általuk kezelni képes alternatívák/kockázatok számossága alacsonyabb.

A gyakorlati problémamegoldás során az alábbi megfontolásokat érdemes figyelembe venni menedzseri szempontú választás során:

1. Amennyiben az értékelési dimenziók súlyai megegyeznek, továbbá az értékelés determinisztikus skálákon alapul, akkor az alap PRIZMA módszer alkalmazása javasolt, mely kellő mértékű vizuális támogatást nyújt az értékelés folyamán.
2. Amennyiben az értékelési dimenziók súlyai megegyeznek, az értékelés pedig páros összehasonlításon alapul, akkor a Guilford-eljárással bővített PRIZMA módszer alkalmazása javasolt, mely kellő mértékű vizuális támogatást nyújt az értékelés folyamán.
3. Amennyiben az értékelési dimenziók súlyai különbözők, az értékelés pedig páros összehasonlításon alapul, akkor az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszer alkalmazása javasolt, mely azonban csak korlátozott vizuális támogatást tud nyújtani az értékelés folyamán.

6.3 Limitációk

A disszertációmban bemutatott módszertani fejlesztések közös jellemzője, hogy a PRIZMA módszert alapvetően páros összehasonlításra alapuló módszerekkel való integráción keresztül fejleszti. Így a munkám korlátai értelmezhetők egyfelől a felhasznált módszerek adottságaként tekinthető jellemzői felől, és az alkalmazás körülményeiből fakadó limitációkra is kitérek, mely limitációkkal kapcsolatos jellemző szakirodalmi megoldásokat is bemutatam. Nem célom a teljességre törekvés, de egyes alapvető korlátok rövid bemutatása és a munkámra vonatkozó hatásának a leírása igen.

Mint ahogy röviden bemutatam már a módszertani fejezetben, a páros összehasonlítások technikai apparátusa széleskörű, melyekből én az alapvetőnek tekinthető módszereket használtam fel. A Guilford-eljárás egyik fontos, a felhasználhatóságra vonatkozó korlátja, hogy alapvetően a két pár közül egyértelműen kell a döntéshozó szakértőnek választania (az egyenlőség, tehát az azonos minősítés nem megengedett). Ez azt is eredményezi, hogy amikor az összehasonlítandó elemeket kiválasztjuk, fontos odafigyelni arra, hogy nagyon hasonló jelentéstartalmú elemeket ne válasszunk be az elemzésbe, mert azok összehasonlítása nem tud érdemben megtörténni. Ez kifejezetten igaz akkor, ha a Guilford módszert a következmény súlyossága szempont szerinti értékelés során használjuk fel.

Például, ha azt kockázati helyzetet szeretnénk megvizsgálni, hogy egy repülőgép jobb szárnyának vagy a bal szárnyának leszakadásának a következménye lesz-e súlyosabb a repülőgép levegőben maradása szempontjából, akkor belátható, hogy a Guilford-eljárással egy megoldhatatlan probléma áll elő, mert a Guilford-eljárás nem engedi meg az indifferenciát a döntéshozó számára. Ezt a problémát át lehet hidalni úgy, hogy a „szárny leszakadás” kategóriában szerepeltetjük a tételt az összehasonlításban és nem teszünk különbséget jobb és bal szárny között¹.

A Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszertan fenti limitációját az AHP módszere feloldja, lévén megengedi az indifferenciát két elem összehasonlítása során. Más kérdés, hogy ettől függetlenül az indifferencia még konzisztenciában mérhető csökkenést fog eredményezni, ami a praktikus probléma oldaláról megfigyelve nem lenne indokolt. Az AHP-val történő fejlesztés egyik fontos limitációja, hogy az AHP által alkalmazott értékelő skála sokszor túl nagy teret enged meg a szubjektív megközelítések számára, ez a szakértői értékelések torzulását okozhatja.

Az AHP-TOPSIS módszerrel történő bővítése a PRIZMA módszertannak az értékelési dimenziók különböző súlyainak kezelésére megoldást ad ugyan, ám a kockázatok ábrázolásának vizualizációjában visszalépést okoz az alap PRIZMA módszerhez viszonyítva.

¹ A limitáció hatása markánsan ott jelenik meg, amikor a fent említett példa során például a repülőgép farok és szárny leszakadásának következményét szeretnénk összehasonlítani.

6.4 További fejlesztési irányok

Kutatótársaimmal (Benedek, Bognár, Hegedűs) a PRIZMA módszertan továbbfejlesztésén, alkalmazási lehetőségeinek további kiterjesztésén gondolkodunk. Gondolkodásunk jelen állapota szerint a tématerület jövőbeli kutatásának alapvetően kettő fő irányvonala látszik. Az egyik fő irányban (a) a módszert és egyes variánsait további gyakorlati esetek leírására tervezzük használni, más gyakorlati területeken is bővítve az alkalmazási tapasztalatokat és megismertetve a módszert a szakmával.

A másik fő irány (b) alapvetően a tudományos módszertani fejlesztések világának irányába mutat, addig, amíg a fejlesztések a módszer alkalmazhatóságát erősítik és nem a gyakorlati alkalmazhatóság rovására mennek.

(a) A további gyakorlati területek irányába történő kiterjesztés során célom, hogy változatlanul „élő adatokon” alapuljon az elemző módszer és „élő” prioritizációs kérdésekben nyújthasson megoldást a gyakorlatban. Ezért a jövőben is olyan „éles” szituációkban szeretném a módszertant alkalmazni, ahol fókuszcsoporthoz tevékenykednek, komplex kérdések megválaszolásán fáradozva.

A módszer gyakorlat általi ismertségének és remélt jövőbeli elismertségének az imént vázolt megközelítés lehet az egyik alapja, míg a másik támogató irány a különböző iparági standardok, szabványok, rendeletek szövegébe foglalásának elérése. Ez a lehetőség természetesen akkor lehet reális célkitűzés, amikor a módszertan széles körben kifejtett gyakorlati validációs folyamata érdemi megerősítésekkel lezárult, egyben a célterület, célszakma elitje számára a módszer intézményesítése kívánatos.

(b) A tudományos módszertani fejlesztésekkel is szeretnék a jövőben foglalkozni, de a gyakorlati területen tervezett aktivitásomhoz képest egyelőre kisebb intenzitással. A fejlesztéseknek több sarokpontját észlelem, ezek közül a legfontosabbakat az alábbiakban összefoglalom.

- Fontos elméleti vizsgálatnak tartom, hogy a PRIZMA módszer jellemezhető legyen a tekintetben, hogy mily mértékben befolyásolja a rangsorképzési algoritmusát az RPN módszerhez képest, ha az o, s és d adatokban autokorreláció fedezhető fel. Már rangsorolni tudjuk az egyes PRIZMA függvényeket az autokorreklációval szemben mutatott érzékenységük alapján, de például a módszer összevetése az RPN számmal még előttünk van.
- Jelen munka korábbi szakaszában említettem, hogy a PRIZMA módszer elméleti okok alapján kisebb egyetértést tud előállítani az RPN és RE értékekhez képest. Ennek az összefüggésnek a részletesebb bemutatása, leírása a szakértői rendszer szintű fejlesztések szempontjából fontos irány.
- A BWM (Rezaei, 2015) módszerével történő integrációval a PRIZMA módszert szeretném egy olyan szakértői konzisztenciát is ellenőrizni képes módszerré fejleszteni, ami a stratégiai prioritizálás irányából képes elmozdulni a taktika és operáció felé, miközben a szakértői konzisztencia ellenőrzésének igényéről nem mondunk le.

- A BWM módszertanon túlmutatóan további MCDM integrációkkal szeretném bővíteni a PRIZMA módszert, hogy minél szerteágazóbb értékelési helyzetekben minél fókuszáltabban lehessen alkalmazni.
- A PRIZMA módszer fuzzy alapú eszközzé fejlesztését fontos tudományos prioritásként tartom nyilván, lévén ennek segítségével egyrészt a szubjektív szakértői értékelésekben lévő bizonytalanság kezelésének egy hatékony módját lehetne elérni, másrészt nyitni lehetne a módszert a gépi tanulás irányába.
- Bár disszertációmban elsősorban a kockázatok működési folyamatokra gyakorolt hatásának vizsgálatán keresztül szemléltettem a PRIZMA módszer többtényezős döntésekkel való kombinálásának lehetőségeit, ám maga a módszertan a tervezési, design jellegű kérdések vizsgálatára is alkalmazható. Ennek esettanulmánnyal történő szemléltetése is egy kiterjesztési irányba lehet a további kutatásoknak.

A fenti bekezdések végső soron mind a PRIZMA módszertan egy egyre szélesebb körben alkalmazható, egyre inkább testre szabható döntéstámogató rendszerré majd a későbbiekben szakértői rendszerré válását támogatják.

6.5 Menedzseri alkalmazások

Disszertációm jelen fejezetében a kidolgozott módszertanok gyakorlati alkalmazására teszek javaslatokat, mutatok be példákat különféle menedzseri területeken való alkalmazhatóságukra.

A 2. ábrán bemutatott pénzügyi célkonfliktusok értékelése számtalan szubjektív elemet tartalmaz a kockázatok megítélése terén, révén a kockázatot értékelő szakértők szubjektív módon, eltérő kockázatvállalási hajlandósággal tekintenek azokra. A kidolgozott módszertanok közül a Guilford-eljárással kibővített PRIZMA módszertan alkalmazása lehetőséget adhat a szakértők szubjektivitásának csökkentésére. Amennyiben egy exportügylet pénzügyi kockázatait nézzük, mint például

- szállítás előtti kockázat lehet az import- vagy exporttilalom életbe lépése, embargós intézkedések életbe lépése a szállító országaival szemben, szerződésszegés, vagy egyéb adminisztratív hiányosságok életbe lépése, vagy akár a szerződésszegés esete;
- szállítás utáni kockázat lehet akár gazdasági, mint például fizetése képtelensége a vevőnek, vagy akár politikai jellegű is, mint például törvényi tilalmak életbe lépése,

akkor belátható, hogy a felsorolt kockázatok mind befolyásolják döntéseinket, azok kockázata, bekövetkezési esélye azonban gyökeresen eltérő lehet. A vezetői döntéshozatal során megítélésük, figyelembe vételük is eltérő lehet ezáltal – nem a valós súlyuknak megfelelően kerülnek kezelésre. Amennyiben a páros összevetésen alapuló Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszert alkalmazva mérjük fel a kockázatok, akkor azok rangsora, egymáshoz viszonyított relatív fontossága megállapítható lesz, így a kockázatok csökkentésére alkalmazható technikák (például akkreditívek alkalmazása, szigorúbb szerződési feltételek kikötése, stb.) közül a döntéshozók választása is jobb lehet, tárgyalási stratégiák kialakítása az adott helyzetnek megfelelőbb lehet.

A projektmenedzsment területén a projektek számtalan egyedi jellegéből fakadóan sokféle kockázattal kell szembesülniük a projektmenedzsereknek. A projektek megvalósíthatóságáról szóló tanulmányaik során a kockázatok helyes azonosítása alapvető fontosságú a projektek életképességéről szóló döntés során. A megvalósíthatósági tanulmányok elkészítése a projektek előkészítő szakaszában esedékes, ahol halmozottan jelentkezik a kockázatokból fakadó bizonytalanságok kérdésköre. Sok esetben stratégiai jellegű döntések meghozatalát kell megalapozni ebben a fázisban. Az olyan kockázatok, mint például

- üzemviteli kockázatok – üzemkiesés, alacsony kimeneti teljesítmény, dologi károk, stb.;
- a költségütlépés kockázatai – például az infláció mértéke a terv felett alakul, nem tervezett események okozta extra költségek lépnek fel, stb.;
- a piaci kockázatok – például áresés, keresletcsökkenés, stb.;
- a politikai kockázatok – például háborúk, zavargások, vámpolitikai változások, stb.;

mind mind eltérő súllyal befolyásolják a döntés meghozatalát. Akár a Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszertan, de még az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszertan alkalmas lehet a felsorolt kockázatok összevetésére, azok relatív fontosságának megállapítására, így segítve a projektről döntő vezetők munkáját a helyes döntések előkészítésében és meghozatalával kapcsolatban a projektnek már az előkészítő szakaszában. Lehetőséget adhatnak a helyes megelőző intézkedések közüli választásban, azok prioritizálásában a projekttervezés későbbi szakaszaiban.

A termékek (műszaki) tervezése és kifejlesztése számtalan kockázatot rejt magában, melyek alapvetően befolyásolhatják a termék későbbi sikeres piaci bevezetését, nyereségtermelő képességét. A kockázatok nem megfelelő kezelése ebben az esetben a termékfejlesztési projekt sikertelenségéhez, biztonsági (akár fizikai, akár kiberbiztonsági) veszélyekhez, vagy egyszerűen működési elégtelenségekhez vezethetnek. Általános műszaki, mérnöki kockázatnak tekinthetjük például

- a tervezési hiányosságokat – műszaki meghibásodáshoz, teljesítményproblémákhoz, vagy teljes meghibásodáshoz vezethetnek;
- technológiai hibákat – nem megfelelően működő hardver és szoftverelemek, melyek működési zavarokat okozhatnak;
- anyaghiányosságok – a nem megfelelő anyagkiválasztás okozta meghibásodások kockázata;
- biztonsági sérülékenységek – mind a fizikai-, mind a logikai-, mind a kiberbiztonság terén jelentkező hiányosságok kockázatai;
- stb.;

melyek a termék jellegétől függően szerteágazó kezelési módszereket igénylenek. A disszertációmban bemutatott kockázattértékelő módszerek (főleg a Guilford-eljárással bővített PRIZMA módszertan) megfelelő keretrendszerrel biztosíthatnak akár a termékfejlesztést végző mérnökök, akár a fejlesztéseket vezető/felügyelő/irányító menedzserek részére a kockázatok mibenlétének helyes azonosítására.

Az egyes projektek (legyen szó akár létesítési projektről, akár egy rutinfeladatok sokaságát tartalmazó, kevésbé újszerű projektről) végrehajtása során azok ütemezése is számtalan kockázatot hordoz magában. Ezek a kockázatok olyan lehetséges események vagy körülmények, melyek a tervezett határidők, ezáltal költségkeretek betartását nehezítik meg, valamint a projektek érintettjeinek elégedetlenségét idézik elő. Az ütemezési kockázatok okai lehetnek például

- a tervezési fókusz hiányosságai;
- az erőforrások elégtelen mértékű rendelkezésre állása;
- az egyes folyamatok dependenciáinak nem megfelelő rendezése;
- a kommunikáció nehézségei mind a tervezés, mind a végrehajtás során;
- váratlan külső faktorok;
- stb.

A kockázatok szerteágazósága, valamint többségük szubjektív mibenléte indokoltá teszi kezelésükre egy jól definiált módszertan alkalmazását. Amennyiben főként stratégiai szintű kockázatok állnak az ütemezési problémák hátterében, a Guilford-eljárással bővített PRIZMA módszertan, illetve az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszertan állhat a kockázatokat értékelni és kezelni kívánó projektmenedzserek számára rendelkezésre.

A disszertációban bemutatott módszertanok akár az egyetemi oktatás során is alkalmazhatók példaként, egyfajta „állatorvosi lóként”. Az „Általános menedzsment” című tantárgy döntéshozatali támogató fejezetében, mint a döntéshozatalhoz kapcsolódó kockázatok felmérésének lehetséges módszereiként történő bemutatásával segíthetik az alapszakos hallgatók kritikus gondolkodás kompetenciáinak fejlesztését. A „Karbantartás és üzemfenntartás” című tárgy keretében a hallgatók megismerkednek az FMEA módszertan alapvető összefüggéseivel, annak korlátaival. Az FMEA módszertan korlátainak feloldására akár az alap PRIZMA módszerrel, akár annak Guilford-eljárással bővített, akár az AHP-TOPSIS alapú kiterjesztésével való megismerkedés segítheti a hallgatók kockázatokkal szembeni érzékenységének, felkészültségének kiterjesztését. A mester szakos hallgatók számára elérhető „Vezetői döntések” című tárgy tematikáját is jól kiegészítheti a disszertációban kifejtett módszertanok részletes bemutatása, ezzel segítve a hallgatók stratégiai kockázatokkal szembeni rezilienciáját.

A kidolgozott módszertanok alkalmazhatóságának tesztelésére kiválasztott esettanulmányok elkészítésekor az adatfelvétel során számos, általánosítható tapasztalatra tettem szert. A kockázatok értékelésére alkalmazott bármely, a disszertációmban bemutatott módszertannál, ahol a szakértők, a fókuszcsoporthoz szabad értékelésben minősítik a kockázatokot, a módszertan működésének alapvető feltétele, hogy a kockázatokkal kapcsolatos, egyes értékelni kívánt dimenziók (mint például a felderíthetőség vs. súlyosság) értékei függetlenek maradjanak, ne csúszhassanak egybe. Ez egyrészt nem egyértelműségeket, pontatlanságokat eredményezhet, másrészt a szakértők páros összehasonlításait is nehezíti. Az értékelés potenciális problémáinak elkerülése érdekében az értékelés megkezdése előtt egy tisztázó, egyértelműsítő diszkussziós kört kell beiktatni az értékelésbe, a célok tisztázása, a vizsgálandó események, kockázatok tartalmának egyértelmű körülírása érdekében. Különösen a nehezen megfogható, körülírható kockázatok esetében, melyek például projektek előkészítő

szakaszában jellemzőek, a kockázatokról az értékelők fejében élő kép meglehetősen heterogén. Ilyenkor az előzetes értékelő diszkusszió erősen szubjektív és csapongó lehet. Az értékelést levezénylő tanácsadónak/trénernek, egyszerűbben fogalmazva az értékelést vezető személynek a figyelme ilyenkor a rend és fegyelem fenntartása mellett a kellő mélységű, ám mégis általános és minden résztvevő számára egyértelmű kockázat/esemény definíciók előállítására kell, hogy irányuljon.

Az esettanulmányok felvétele arra is rávilágított, hogy a kockázatok kezelése ugyan a vizsgált szervezetek valamennyi hierarchia szintjén fontos kihívásokat és feladatokat jelentenek, ám elsősorban a hierarchia csúcsa, a felső vezetés számára jelentenek nagy kihívást. A bizonytalanság kezelése, a stratégiai irányvonalak helytállóságának vizsgálata, a stratégiai tervek priorizálása mind olyan módszertanokért kiáltanak, amelyekkel a személyes szubjektivitás hatása csökkenthető, ám alkalmazásukkal az egyéni tudás, tapasztalat szerepe mégsem záródik ki a sikeres folyamatból. A Guilford-eljárással bővített PRIZMA módszertan és az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszertanok alkalmazása is lehetővé teszi a stratégiai kihívások összevetését, a fejlesztési irányok priorizálásával a stratégiák operacionalizálását. A módszerek mérési tulajdonságai, kézzelfogható, jól vizualizálható eredményei hatásos segítséget jelenthetnek a felsővezető számára csapatuk irányításában.

7 Tézisek

Ebben a fejezetben a 2. fejezetben leírt kutatási kérdések megválaszolása, valamint eredményeim és feltevéseim alapján a tézisek felállítása található.

7.1 Kutatási kérdések megválaszolása

- 1. Milyen kiegészítések megtétele szükséges a PRIZMA módszertanhoz, amelyek segítségével a kockázatok összevethetősége mellett, az értékelői megbízhatóság is vizsgálhatóvá válik?*

A PRIZMA módszertan a részkockázatok összevetésén keresztül közelíti meg a kockázatok rangsorolását, melyek rejtve maradnának például egy hagyományos FMEA elemzés során. A részkockázatok összefüggéseinek bemutatásával egy szemléletes eszközt biztosít a kockázatértékelők számára. Alapértelmezetten a PRIZMA módszertan nem biztosít lehetőséget az értékelői (akár vétlen) szubjektivitás kizárására, valamint az értékelési dimenziók különböző faktorsúlya esetén torzított képet ad a kockázatokról. A szakirodalmi példák alapján ezek a problémák orvosolhatók más, például MCDM technikákkal való integráció segítségével.

A kockázatértékelést végző szakértők páros összehasonlításainak elemzésével az ő szakértői megbízhatóságuk értékelhetővé, minősíthetővé válik, így szükség esetén döntést hozhatunk munkájuk eredményének elfogadásáról vagy elutasításáról. Amennyiben nem megfelelő az értékelésük konzisztencia szintje, akkor a véleményalkotásuk a későbbi elemzésekből kizárható.

Az értékelők munkájának minősítésével az értékelői csoport közös véleményétől jelentősen eltérő (outlier) véleményű szakértők is azonosíthatók, mely esetben ők a vizsgálatból szintén kizárhatóak lesznek, ami akár további vizsgálatokat indukálhat az eltérő véleményük hátterének feltárására (erre a javasolt módszertanok jelenlegi fejlettségi szintje még nem ad magyarázatot, megoldást).

A páros összehasonlítások alkalmazása ugyanakkor a PRIZMA módszer alkalmazhatósági területét is módosítja, stratégiai szinten teszi alkalmazhatóvá. Az összehasonlítandó párok számosságának növekedésével az értékelői munka nehezedik, így az értékelők a tőlük elvárható konzisztenciával jellemezhető megbízhatóságot is nehezebben tudják teljesíteni.

- 2. Az eredeti PRIZMA módszertan egyes MCDM technikákkal való bővítése milyen módon tud az adott alkalmazási területen jelentkező döntési/kockázatkezelési problémákra módszertani megoldást adni?*

Az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszertan különböző faktorsúlyok mellett végzi el az összevetéseket. Ekkor a módszertan vizualizációs képessége romlik, ám ezt a kockázatok rangsorolásában biztosított előnyei ellensúlyozzák. Amennyiben a vizualizáció igénye a módszertan alkalmazása során magas, akkor a Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszer alkalmazása javasolt, mivel az továbbra is azonos faktorsúlyokat alkalmaz, ezzel a PRIZMA módszertan vizualizációs képessége nem romlik.

Mind a Guilford-eljárás, mind pedig az AHP-TOPSIS alapú bővítése a PRIZMA módszernek páros összehasonlításon alapuló összemérését teszi lehetővé a kockázatoknak szemben a PRIZMA módszer determinisztikus mérési skálájával. Ez részletesebb összevetést eredményez, mivel a kockázatokat relatív fontosságuk szerint hasonlítja össze egymással (minden elemet minden elemmel összevet).

A páros összehasonlítások számosságának növekedése megváltoztatja a PRIZMA módszer alkalmazhatóságának fókuszát: operatív kockázatok kezelése helyett stratégiai fókuszúvá teszi azt. A módszerfejlesztés sajátossága, hogy az összehasonlítható elemek száma korlátossá válik, így az operatív szintű, nagyszámú kockázatok értékelésére nem célszerű alkalmazni.

A PRIZMA módszertan Guilford-eljárással történő kibővítésének eredményeként a döntéshozói indifferencia nem megengedett, ezért csak olyan helyzetekben javasolt alkalmazni, ahol az értékelést végzők egyértelműen állást tudnak foglalni az egyes elemek preferáltságában. Ezzel szemben az AHP-TOPSIS alapú bővítés lehetővé teszi az értékelői indifferenciát, mely a nem szűkíti a vizsgálható kockázatok körét.

3. A páros összehasonlítás alkalmazása milyen módon változtatja meg a PRIZMA kockázatbecslési folyamatát?

Az értékelési folyamat a nominális csoport jellemzőinek irányába módosul a páros összehasonlítással kombinált PRIZMA módszertanok alkalmazása esetén az eredeti PRIZMA módszerhez képest. A páros összehasonlítás alkalmazása megadja a lehetőséget az egyéni értékelésre, majd annak konzisztencia vizsgálatára, így a PRIZMA által alkalmazott csoportos értékelés negatív hatásai (például a domináns véleményalkotó befolyása) csökkenthetőek. Az értékelők egyéni munkában tudják megadni értékelésüket, majd ez a konzisztencia vizsgálat után összesíthető, így az értékelést torzítani képes csoporthatások kivédhetőek lesznek.

A konzisztenciavizsgálat alkalmazása lehetőséget ad a nem megfelelő konzisztenciájú döntéshozók véleményalkotásának értékelésből való kizárására, a közös értékítélétől jelentősen eltérő, különböző véleményalkotások azonosítására.

A PRIZMA módszertan igényli a személyes, egyidejű jelenlétet az értékelés elkészítésekor. A páros összehasonlítással bővített módszertanok alkalmazása esetén nem előfeltétel az egyidejű jelenlét.

7.2 Tézisek megfogalmazása

1. A PRIZMA módszer a különféle páros összehasonlítási technikákkal való integrációjának eredményeként a szakértői konzisztencia megvizsgálhatóvá válik, a kockázatértékelés fókuszának stratégiai irányba történő elmozdulása mellett.

A PRIZMA módszertan továbbra is alkalmas marad a kockázatok értékelésére és rangsorolására, ám a páros összehasonlítások miatti nagyobb számú összehasonlítás szám korlátozza az összehasonlítható elemek számosságát. Ugyanakkor a minősítés szubjektivitási

hibái csökkennek az értékelői megbízhatóság elemzése által. Az alkalmazási terület az operatív szintről a stratégiai területek felé tolódik el a vizsgálható esetek számának szűkülése miatt.

2. A PRIZMA módszertan páros összehasonlítási technikákkal való kombinálásával a kockázatok relatív fontosságának azonosítása lehetővé válik különböző PRIZMA faktorsúlyok mellett.
3. A páros összehasonlítás alkalmazásának hatására a PRIZMA kockázatértékelési folyamatából az inkonzisztens értékelők kizárhatók, az egyes értékelések részleteiben összevethetővé válnak egymással. A kockázatértékelés során áttevődik a hangsúly az egyéni értékelési folyamatokra, a közös véleménytől jelentősen eltérő vélemények alapján további vizsgálatokat indukálhat az értékelési folyamat számára.

8 Összegzés

Disszertációmban bemutattam az üzleti működéssel kapcsolatos kockázatok fogalomkörét, a kockázatok kezelésére szolgáló széles körben elterjedt és alkalmazott módszereket, kitérve azok módszertani és alkalmazási korlátaira. Bemutattam a kockázati mátrix, az FMEA, a PRIZMA módszertanok mögött álló elméleti hátteret, alkalmazási módjaikat.

Az alkalmazási módjuk kritikájának szakirodalmi feltárása alapján kijelöltem a potenciális fejlesztési irányokat, melyek közül a szubjektív problémák kezelésére a többtényezős döntési problémák megoldására szolgáló módszercsoportot jelöltem ki megoldási lehetőségként. Megvizsgáltam, hogy a Guilford-eljárás, AHP, AHP-TOPSIS módszertanokat mely sajátosságaik, jellemzőik tehetik alkalmassá a PRIZMA módszertan korlátainak feloldására.

A Guilford-eljárást és az AHP-TOPSIS módszertanok ajánlásait figyelembe véve integráltam őket a PRIZMA módszertannal, módszertani fejlesztést végrehajtva.

A módszertanfejlesztés működőképességének vizsgálatára esettanulmányokat vettem- illetve dolgoztam fel. A Guilford-eljárással kombinált PRIZMA módszer alkalmazhatóságának vizsgálatára egy kereskedelmi bank megfelelőségi kockázatainak vizsgálatát hajtottam végre a bank szakértőinek segítségével. A módszer működőképesnek bizonyult, ám egyes területek további gondolatokat ébresztettek. Ezek felhasználásával készült el a második esettanulmány, amely egy atomerőmű üzemével kapcsolatos működési kockázatok vizsgálatán keresztül tesztelte az AHP-TOPSIS-PRIZMA módszertant. A vizsgálat fókusza igazolta, hogy stratégiai szintű problémák kezelésében jól alkalmazható a módszertan.

Az esettanulmányok eredményeire építve, azok tapasztalatai alapján megválaszoltam kutatási kérdéseimet, menedzseri alkalmazásokra tettem javaslatokat, felállítottam téziseimet.

9 Irodalom

- Abdullah, Ahmad., Saraswat, Shantanu., and Talib, Faisal. 2023. Barriers and strategies for sustainable manufacturing implementation in SMEs: A hybrid fuzzy AHP-TOPSIS framework. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 2, 100012. <https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100012>
- Abushark, Yoosef B., Khan, Asif Irshad., Alsolami, Fawaz Jaber., Almalawi, Abdulmohsen., Alam, Md Mottahir., Agrawal, Alka., Kumar, Rajeev., and Khan, Raees Ahmad. 2021. Usability Evaluation Through Fuzzy AHP-TOPSIS Approach: Security Requirement Perspective. *Computers, Materials & Continua* 68(1): 1203-1218. <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.016610>
- Agrawal, V., Seth, N., and Dixit, J. K.. 2022. A combined AHP-TOPSIS-DEMATEL approach for evaluating success factors of e-service quality: an experience from Indian banking industry. *Electronic Commerce Research* 22: 715-747. <https://doi.org/10.1007/s10660-020-09430-3>
- AIAG & VDA. 2019. AIAG & VDA FMEA Handbook. AIAG & VDA.
- Al-Abadi, Alaa M., Handhal, Amna M., Abdulhasan, Mustafa A., Ali, Wajdi L., Hassan, J. J., and Al Aboodi, Ali H. 2025. Optimal siting of large photovoltaic solar farms at Basrah governorate, Southern Iraq using hybrid GIS-based Entropy-TOPSIS and AHP-TOPSIS models. *Renewable Energy*, 241, 122308. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.122308>
- Anand Babu, K., and Venkataramaiah, P. 2015. Multi-response Optimization in Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) of Al6061/SiCp Composite Using Hybrid Approach. *Journal for Manufacturing Science and Production* 15(4): 327-338. <https://doi.org/10.1515/jmsp-2015-0010>
- Andrade, José.M.M., Leite, Athon., Canciglieri, Matheus B., Szejka, Anderson L., Loures, Eduardo., and Canciglieri Osiris. 2020. A Multi-Criteria Approach for FMEA in Product Development in Industry 4.0. *ADVANCES IN TRANSDISCIPLINARY ENGINEERING*, 12, 311-320 <https://doi.org/10.3233/ATDE200090>
- Andrade, José. M. M., Leite, Athon., Canciglieri, Matheus B., Szejka, Anderson L., Loures, Eduardo., and Canciglieri Osiris. 2021. A multi-criteria decision tool for FMEA in the context of product development and industry 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 35(1), 36-49. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1992664>
- Amiri, Ali Ahmad., Wahid, Muhammad Nurdin., Al-Buraiki, Abdulrahman S., and Al-Sharafi, Abdullah. 2024. A strategic multi-criteria decision-making framework for renewable energy source selection in Saudi Arabia using AHP-TOPSIS. *Renewable Energy*, 236, 121523. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121523>
- Amrutha, Hippalgaonkar., Ajinkya, Joshi., and Surabhi, More. 2021. Application of Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) in Automated Spot Welding Process of an Automobile Industry: A Case Study. *Journal of Engineering Education Transformations*, 281-289. <https://doi.org/10.16920/jeet/2021/v34i0/157156>
- Ardebili, Ali Aghazadeh., Pourmadadkar, Mahdad., and Padoano, Elio. 2025. Risk Analysis Under Uncertainty, Subjectivity, and Incomplete Knowledge: With a Use Case of Energy System Failures. *Engineering Reports* 7, no. 7 (2025): e70286 <https://doi.org/10.1002/eng2.70286>.
- Athanasopoulos, Georgios., Riba, Carles Romavera., and Athanasopoulou, Christina. 2009. A decision support system for coating selection based on fuzzy logic and multi-criteria decision making. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 10848-10853. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.01.016>
- Aziz, Iayla, and Çalık, Ahmed. 2022. Health-care Supplier Selection using Hybrid Multicriteria Decision Making Methods : A Case Study from Morocco. *Preprint*.

- <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1152849/v1>
- Bafail, Omer A., and Abdulaal, Reda M. S. 2022. A Combined BWM-TOPSIS Approach Versus AHP-TOPSIS Approach: An Application to Solid Waste Management. *Proceedings of the The 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management (IEIM)*, 27-33. <https://doi.org/10.1145/3524338.3524343>
- Bakioglu, Gozde, and Atahan, Ali Osman. 2021. AHP integrated TOPSIS and VIKOR methods with Pythagorean fuzzy sets to prioritize risks in self-driving vehicles. *Applied Soft Computing* 99: 106948. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106948>
- Ball, David J. and Watt, John. 2013. Further Thoughts on the Utility Risk Matrices. *Risk Analysis Vol. 33, No. 11*, 2068-2078. <https://doi.org/10.1111/risa.12057>
- Banghart, Marc., Babski-Reeves, Kari., Bian, Linkan., and Strawderman, Lesley. 2018. Subjectivity in failure mode effects analysis (FMEA) severity classification within a reliability centered maintenance (RCM) context. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 5(1), 2. <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2018.1191>
- Barrios, Miguel Angel Ortiz., De Felice, Fabio., Negrete, Kevin Parra., Romero, Brandon Aleman., Arenas, Adriana Yaruro., and Petrillo, Antonella. 2016. An AHP-Topsis Integrated Model for Selecting the Most Appropriate Tomography Equipment. *International Journal of Information Technology & Decision Making* 15(4): 861-885. <https://doi.org/10.1142/S021962201640006X>
- Barsalou, Matthew. 2024. A PFMEA Makeover – A new approach to process failure mode and effects analysis. *QUALITY PROGRESS*, 57(1), 32–39.
- Basílio, Marcio Pereira., Pereira, Valdecy., Costa, Helder Gomes., Santos, Marcos., and Ghosh, Amartya. 2022. A Systematic Review of the Applications of Multi-Criteria Decision Aid Methods (1977–2022). *Electronics* 11, no. 11: 1720. <https://doi.org/10.3390/electronics11111720>
- Behzadian, Majid, Otaghsara, S. Khanmohamaddi, Yazdani, Morteza, and Ignatius, Joshua. 2012. A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with applications*, 39(17), 13051-13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Benedek, Petra., Bognár, Ferenc., and Kövesi, János. 2021. A rejtett kockázatok becslésének egy új lehetősége - A PRIZMA módszer alkalmazása compliance menedzsment érzékeny területen. in. *Szentes, Balázs (szerk.): A digitális transzformáció hatásai és kitörési lehetőségei a COVID utáni időszak karbantartásában – Nemzetközi konferencia kiadványa. Pannon Egyetem Gazdaságtudományi Kar, Veszprém (2021) pp. 81-92. , 12 p. ISBN: 978-963-396-213-8*
- Berdie, A. D., Osaci, M., Muscalagiu, I., and Barz, C.. 2017. A combined approach of AHP and TOPSIS methods applied in the field of integrated software system. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 200: 012041 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/200/1/012041>
- Berényi, László., Birkner, Zoltán., and Deutsch, Nikolett. 2020. A Multidimensional Evaluation of Renewable and Nuclear Energy among Higher Education Students. *Sustainability* 12: 1449. <https://doi.org/10.3390/su12041449>
- Berényi, László., and Deutsch, Nikolett. 2021. Corporate social responsibility ' and business philosophies among Hungarian business students. *Sustainability*, 13(17), 9914. <https://doi.org/10.3390/su13179914>
- Berényi, László. megjelenés alatt. Az FMEA lehetőségei, in. *Kovács, Zoltán., and Bognár, Ferenc (szerk.): Karbantartásmenedzsment a XXI. században, Pannon Egyetemi Kiadó*
- Bhutia, Pema Wangchen., and Phipon, Ruben. 2012. Application of ahp and topsis method for supplier selection problem. *IOSR Journal of Engineering* 2(10): 43-50. <https://doi.org/10.9790/3021-021034350>
- Bloor, M., Frankland, J., Thomas, M., and Robson, K. 2001. Focus groups in social research.

- London: Sage Publications <https://dx.doi.org/10.4135/9781849209175>
- Bognár, Ferenc., Benedek, Petra. 2021. A Novel Risk Assessment Methodology—A Case Study of the PRISM Methodology in a Compliance Management Sensitive Sector. *Acta Polytechnica Hungarica* 18: 89–108. <http://doi.org/10.12700/APH.18.7.2021.7.5>
- Bognár, Ferenc., Benedek Petra. 2022. A novel AHP-PRISM risk assessment method – An empirical case study in a nuclear power plant. *Sustainability* 14(17): 11023. <https://doi.org/10.3390/su141711023>
- Bognár, Ferenc., Benedek Petra. 2023. Multi-Method Risk Assessment Process for Sustainable Business – A compliance re-search Follow-up Case Study. *Acta Polytechnica Hungarica*, 20:4 45-64. <https://doi.org/10.12700/APH.20.4.2023.4.3>
- Bognár, Ferenc., Hegedűs Csaba. 2022. Description and Consequences on some Aggregation functions of PRISM (Partial Risk Map) Risk Assessment Method. *Mathematics* 10(5): 676. <https://doi.org/10.3390/math10050676>
- Bognár, Ferenc., Szentes, Balázs., and Benedek, Petra. 2022. Development of the PRISM risk assessment method based on a multiple AHP-TOPSIS approach. *Risks*, 10(11), 213. <https://doi.org/10.3390/risks10110213>
- Bognár, Ferenc., Szentes, Balázs., and Benedek, Petra. 2023. Compliance Risk Assessment in the Banking Sector: Application of a Novel Pairwise Comparison-Based PRISM Method. *Complexity*, 2023(1), 9165815. <https://doi.org/10.1155/2023/9165815>
- Boros, Anita., Fogarassy, Csaba. 2019. Relationship between corporate sustainability and compliance with state-owned enterprises in central-europe: a case study from Hungary, *Sustainability*, 11(20), 5653. <https://doi.org/10.3390/su11205653>
- Braglia, Marcello. 2000. MAFMA: Multi-attribute failure mode analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management* 17(9), 1017-1033. <https://doi.org/10.1108/02656710010353885>
- Braglia, Marcello, Frosolini, Marco, and Montanari, Roberto. 2003. Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis. *Quality and Reliability Engineering International*, 19(5), 425–443. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qre.528>
- Brown, Kevin. 2024. FMEA in the Age of Industry 4.0. – A holistic overview of FMA and its place within the developing landscape of Industry 4.0. *QUALITY PROGRESS*, 57(10), 13–19.
- Buzási, Attila., Jäger, Bettina Szimonetta. 2020: District-scale assessment of urban sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102388. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2020.102388>
- Çalık, Ahmet, Çizmecioglu, Sinan., and Akpınar, Ayhan. 2019. An integrated AHP-TOPSIS framework for determination of leading industrial sectors. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 26(5-6): 296-307. <https://doi.org/10.1002/mcda.1692>
- Cavallo, Bice., and Ishizaka, Alessio. 2023. Evaluating scales for pairwise comparisons. *Annals of Operations Research*, 325(2), 951-965. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04682-8>
- Celik, Metin. 2010. A key decision-making process on logistic support to merchant ships based on operational requirements: Marine supplier selection. *Naval Engineers Journal*, 122(1), 125-135. <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.2010.00235.x>
- Chakladar, N. D., and S. Chakraborty. 2008. A combined TOPSIS-AHP-method-based approach for non-traditional machining processes selection. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 222(12): 1613-1623. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM1238>
- Chakraborty, Subrata. and Yeh, Chung-Hsing. 2009, July. A simulation comparison of normalization procedures for TOPSIS. In 2009 *International conference on computers &*

- industrial engineering* (pp. 1815-1820). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICCIE.2009.5223811>
- Chakraborty, Subrata, and Anuradha, Mandal. 2018. A novel TOPSIS based consensus technique for multiattribute group decision making. In *2018 18th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)* (pp. 322-326). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ISCIT.2018.8587952>
- Chakraborty, Subrata. 2022. TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis. *Decision Analytics Journal*, 2, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100021>
- Chen, Congcong., Zhao, Yusong., and Ma, Bo. 2024. Three-dimensional risk matrix for risk assessment of tailings storage facility failure: theory and a case study. *Geotechnical and Geological Engineering* 42.3 (): 1811-1833. <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02647-7>
- Chen, Ting-Yu. 2011. Interval-valued fuzzy TOPSIS method with leniency reduction and an experimental analysis. *Applied Soft Computing*, 11(8), 4591-4606.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2011.08.002>
- Cinelli, Marco., Kadziński, Miłosz., Miebs, Gregorz., Gonzalez, Michal., and Słowiński, Roman. 2022. Recommending multiple criteria decision analysis methods with a new taxonomy-based decision support system. *European Journal of Operational Research* 302(2): 633-651. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.01.011>
- Cox, Louis Anthony (Tony) Jr.. 2008. What's wrong with Risk Matrices? *Risk Analysis Vol.28 No.2*:497-512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x>
- Deák, Csaba. 2005. FMEA. in. *Szintay, István (szerk.) Minőségmenedzsment II. Gyakorlat* (o. 71–80). Bíbor Kiadó. Miskolc. ISBN 963 963412 3
- Demircan, Bihter Gizem., and Kaan, Yetilmezsoy. 2023. A hybrid fuzzy AHP-TOPSIS approach for implementation of smart sustainable waste management strategies. *Sustainability*, 15(8), 6526. <https://doi.org/10.3390/su15086526>
- DoD. 2017. Department of Defense. Risk, Issue, and Opportunity Management Guide for Defense Acquisition Programs, Office of the Deputy Assistant Secretary of Defense for Systems Engineering, <https://ac.cto.mil/wp-content/uploads/2019/06/2017-RIO.pdf> letöltve 2025.07.28.
- Doff, René. 2008. Defining and measuring business risk in an economic-capital framework. *Journal of Risk Finance* 9 (4): 317–333. <https://doi.org/10.1108/15265940810894990>
- Duijm, Nijs Jan. 2015. Recommendations on the use and design of risk matrices. *Safety science*, 76, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.02.014>
- Elmontsri, Mustafa. 2014. Review of the strengths and weaknesses of risk matrices. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response Vol. 4*, 49–57. <https://doi.org/10.2991/jrarc.2014.4.1.6>
- Filz, Marc-André., Langner, Jonas Ernst Bernhard., Herrmann, Christoph., and Thiede, Sebastian. 2021. Data-driven failure mode and effect analysis (FMEA) to enhance maintenance planning. *Computers in Industry*, 129, 103451.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103451>
- Forgács, Anett, Lukács, Judit, and Horváth, Richárd. 2021. The Investigation of the Applicability of Fuzzy Rule-based Systems to Predict Economic Decision-Making. *Acta Polytechnica Hungarica* 18(11): 97-115. <https://doi.org/10.12700/APH.18.11.2021.11.6>
- Galambos, Péter., Fekete, István. 2005. Kockázatelemzés lépésről lépésre. ETK Szolgáltató Zrt. ISBN 963 86905 0 X
- Gebre, Sintayehu Legesse., Cattrysse, Dirk., Alemayehu, Esayas., and Van Orshoven, Jos. 2021. Multi-criteria decision making methods to address rural land allocation problems: A systematic review. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(4), 490-501.
<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.005>

- Gill, P., Steward, K. F., Treasure, E., Chadwick, B. L. 2008. Methods of data collection in qualitative research: interviews and focus groups. *British Dental Journal* 204(6): 291-295. <https://doi.org/10.1038/bdj.2008.192>
- Guang, Yang., Huang, Wen Jie., and Lin Li Lei. 2010. Using AHP and TOPSIS Approaches in Nuclear Power Plant Equipment Supplier Selection. *Key Engineering Materials* 419–420: 761–64., <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.419-420.761>
- Guilford, J. P. 1928. The method of paired comparisons as a psychometric method. *Psychological Review*, 35(6), pp. 494–506. <https://doi.org/10.1037/h0071114>
- Guo, Shengyou., Li, Jichao., He, Jiali., Luo, Weijia., and Chen, Baiben. 2022. A modified risk matrix method for behavioral risk evaluation in the construction industry. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 21(3), 1053-1066. <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1905647>
- Hanggraeni, Dewi., Ślusarczyk, Beata., Sulung, Liyu Adhi Kasari., and Subroto, Athor. 2019. The Impact of Internal, External and Enterprise Risk Management on the Performance of Micro, Small and Medium Enterprises *Sustainability* 11, no. 7: 2172. <https://doi.org/10.3390/su11072172>
- Hanine, Mohamed., Boutkhoul, Omar., Tikniouine, Abdessadek., and Agouti, Tarek. 2016. Application of an integrated mul-ti-criteria decision making AHP-TOPSIS methodology for ETL software selection. *SpringerPlus* 5: 263. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1888-z>
- Hansen, Paul., and Ombler, Franz. 2008. A new method for scoring additive multi-attribute value models using pairwise rankings of alternatives. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 15: 87-107. <https://doi.org/10.1002/mcda.428>
- Hegedűs, Csaba., Benedek, Petra., Bognár, Ferenc. 2022. The Role of PRISM Functions in the Risk Assessment Process. in: *New Trends and Challenges in Management – Special Focus on Industry 4.0*, pp 22-23. <https://m2.mtmt.hu/gui2/?mode=browse¶ms=publication;32871569>
- Hegedűs, Csaba., Kosztyán, Zsolt Tibor. 2011. “The consideration of measurement uncertainty in forecast and maintenance related decisions”, *Problems of Management in the 21st Century*, 1, pp. 46-69. <https://doi.org/10.33225/pmc/11.01.46>
- Horváth, Zsolt., and Szilávik, Péter. 2011: Vállalati integrált kockázatkezelés I–II. *Minőség és Megbízhatóság*, 2011/3. szám pp. 124–130 és 2011/4. szám pp. 219–226.
- Horváth, Zsolt., Solymosi, Ildikó., and Fekete, István. 2016. Gyakorlati tanácsok a kockázatfelmérés és kezelés szervezeti szintű bevezetésére a vonatkozó szabványok alapján. *Magyar Minőség*, XXV. évf. 05.2016. pp6-28 ISSN 1789-5510
- Hsueh, J. T., and Lin, C. H.. 2017. Integrating the AHP and TOPSIS decision processes for evaluating the optimal collection strategy in reverse logistic for the TPI. *International Journal of Green Energy* 14(4): 1209-1220, <https://doi.org/10.1080/15435075.2017.1382360>
- Hussain, Sabbor., Chen, Jo-Hui., and Hussain, Talib. 2024. Decision-making framework for improving bank performance in emerging markets: The analysis of AHP-TOPSIS and AHP-GRA models. *Journal of Central Banking Theory and Practice*, 13(3), 191-218. <https://doi.org/10.2478/jcbtp-2024-0027>
- Hyun, Ki-Chang., Min, Sangyoon., Choi, Hangseok., Park, Jeongjun., and Lee, In-Mo. 2015. Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology* 49: 121-129, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.04.007>
- Hwang, Ching-Lai, and Yoon, Kwangsun. 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3

- Ishizaka, Alessio, and Lusti, Markus. 2006. How to derive priorities in AHP: a comparative study. *Central European Journal of Operations Research*, 14(4), 387-400. <https://doi.org/10.1007/s10100-006-0012-9>
- Jahanshahloo, Gholam Reza., Lotfi, Hosseinzadeh F., and Davoodi, Alireza R. 2009. Extension of TOPSIS for decision-making problems with interval data: Interval efficiency. *Mathematical and computer modelling*, 49(5-6), 1137-1142. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2008.07.009>
- Jin, Weidong., Cao, Mingshuo., Gai, Tiantian., Fang, Jing., Zhou, Mi., and Wu, Jian. 2024. A group FMEA technique for LNG carriers risk evaluation with personalized individual semantics. *Group decision and negotiation*, 33(5), 917-950. <https://doi.org/10.1007/s10726-023-09866-6>
- Katona, Attila Imre., Saghir, Aamir., Hegedűs, Csaba., and Kosztyán, Zsolt Tibor. 2023. Design of Risk-Based Univariate Control Charts With Measurement Uncertainty, in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 97567-97573, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3312226>.
- Kelemen, M., Polishchuk, V., Gavurová, B., Rozenberg, R., Bartok, J., Gaál, L., Gera, M., Kelemen, M. 2021. Model of Evaluation and Selection of Expert Group Members for Smart Cities, Green Transportation and Mobility: From Safe Times to Pandemic Times *Mathematics*, 9(11), 1287. <https://doi.org/10.3390/math9111287>
- Kendall, M. G. 1970. *Rank Correlation Methods*, London: Griffin
- Kim, Gyutai., Park, Chan S., and Yoon, K. Paul. 1997. Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated performance measurement. *International Journal of Production Economics* 50: 23–33. [http://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00014-5](http://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00014-5)
- Kindler, József., and Papp, Ottó. 1975. Komplex rendszerek egyes összemérési módszerei. A KIPA-eljárás módszertana és alkalmazástechnikája. BME Továbbképző Intézete, Budapest.
- Kindler, József., and Papp, Ottó. 1977. Komplex rendszerek vizsgálata. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, ISBN: 2399964682826
- Kiss, Judit. 2014. Mátrix alapú logikai projekttervezési keretrendszer. Doktori (PhD) értekezés, Pannon Egyetem, GSDI, <https://doi.org/10.18136/PE.2014.540>
- Kiss, Judit., Kosztyán, Zsolt Tibor., Németh, Anikó., and Bognár, Ferenc. 2011. Matrix-based methods for planning and scheduling maintenance projects. *Invest on Visualization - Proceedings of the 13th International DSM Conference*. 421–434.
- Kokoç, Melda., and Ersöz, Süleyman. 2019. Comparison of AHP-TOPSIS and AHP-VIKOR Methods in Product Selection in terms of Inventory Management. *International Journal of Engineering Research and Development* 11(1): 163-172. <https://doi.org/10.29137/umagd.391359>
- Kosztyán, Zsolt Tibor., Csizmadia, Tibor., Hegedűs, Csaba., and Kovács, Zoltán. 2010. Treating measurement uncertainty in complete conformity control system. in. *Sobh, T. (eds) Innovations and Advances in Computer Sciences and Engineering*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3658-2_14
- Kosztyán, Zsolt Tibor., and Katona, Attila Imre. 2016. Risk-based multivariate control chart. *Expert Systems with Applications*, 62, 250-262. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.06.019>
- Kosztyán, Zsolt Tibor., and Hegedűs, Csaba. 2017. Treating measurement uncertainty in industrial conformity control. *Central European Journal of Operations Research*, 25(4), pp. 907-928. <https://doi.org/10.1007/s10100-017-0469-8>
- Kosztyán, Zsolt Tibor., and Katona, Attila Imre. 2018. Risk-based X-bar chart with variable sample size and sampling interval. *Computers & Industrial Engineering*, 120, 308-319. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.052>

- Koszttyán, Zsolt Tibor., Csizmadia, Tibor., Kovács, Zoltán., and Mihálc, István. 2020. Total risk evaluation framework. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 37 (4): 575–608. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2019-0167>
- Kou, Gang., Ergu, Daji., Lin, Changsheng., and Chen, Yang. 2016. Pairwise comparison matrix in multiple criteria decision making. *Technological and economic development of economy*, 22(5), 738-765. <https://doi.org/10.3846/20294913.2016.1210694>
- Kovács, Zoltán., Koszttyán, Zsolt Tibor., and Csizmadia, Tibor. 2014. TREF–Total Risk Evaluation Framework: integrált kockázatmenedzsment-szemléletű keretrendszer kifejlesztése és bevezetése egy magyarországi termelővállalatnál. *Vezetéstudomány-Budapest Management Review*, 45(11), 71-82. <https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2014.11.07>
- Kovács, Zoltán., and Pató, Gáborné Szűcs Beáta. 2014. Impacts of extreme weather in supply chains. *Időjárás Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 118(3), 283-291.
- Kovács, Zoltán., Csizmadia, Tibor., Mihálc, István., and Koszttyán, Zsolt Tibor. 2022a. Multipurpose Aggregation in Risk Assessment. *Mathematics* 10: 3166. <https://doi.org/10.3390/math10173166>
- Kovács, Zoltán., Csizmadia, Tibor., Mihálc, István., and Koszttyán, Zsolt Tibor. 2022b. A vállalati kockázatkezelésben használt aggregálófüggvények jellemzése. *STATISZTIKAI SZEMLE*, 100 (9). pp. 821-853. <https://doi.org/10.20311/stat2022.9.hu0821>
- Kök, Nesimi., and Yıldız, Mehmet Selami. 2023. New generation FMEA method in automotive industry: an application. *Journal of Turkish Operations Management*, 7(1), 1630-1643. <https://doi.org/10.56554/jtom.1193787>
- Könyves, Melinda Katalin., and Kalló Noémi. 2022. A kockázatelemzés változásai: Az új FMEA megközelítés. *POLGÁRI SZEMLE*, 18(1-3), 250–261. <https://polgariszemle.hu/10.24307/psz.2022.1118>
- Kumar, Vivek., Kumar, Rakesh., Goel, Richa., Singh, Tilottama., and Kaur, Manleen Jot. 2024. The evolution of digital marketing technologies: a fuzzy TOPSIS approach to selected technology in E-commerce platform. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02576-5>
- Kusumawardani, Renny Pradina., and Agintiara, Mayangsekar. 2015. Application of Fuzzy AHP-TOPSIS Method for Decision Making in Human Resource Manager Selection Process. *Procedia Computer Science* 72: 638-646. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.173>
- Laubscher, Horst. 1987. Internationale Projektfinanzierung. *technologie&management*, 3/87, 22-29.
- László, Gábor. 2014. Kockázattertelés, kockázatmenedzsment. Nemzeti Közzolgálati Egyetem.
- Leoneti, Alexandre Bevilacqua., and Gomes, Luiz Flavio Autran Monteiro. 2022. A typology for MCDM methods based on the rationality of their pairwise comparison procedures. *Pesquisa Operacional*, 42, e257730. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2022.042.00257730>
- Ligus, Magdalena., and Peternek, Piotr. 2018. Determination of most suitable low-emission energy technologies development in Poland using integrated fuzzy AHP-TOPSIS method. *Energy Procedia* 153: 101-106. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.046>
- Liu, H. C., Liu, L., Liu N. 2013. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications, Volume 40. Issue 2. pp.* 828-838. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>
- Liu, H. C. 2016. FMEA Using Fuzzy VIKOR Method. In: *FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1466-6_7

- Magalhães, Wauires Ribeiro de., and Lima, Francisco Rodrigues Junior. 2021. A model based on FMEA and Fuzzy TOPSIS for risk prioritization in industrial processes. *Gestão & Produção* 28(4): e5535. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2020v28e5535>
- Madanchian, Mitra and Taherdoost, Hamed. 2023. A Comprehensive Guide to the TOPSIS Method for Multi-criteria Decision Making. *Sustainable Social Development; 1(1)*: 2220. <https://doi.org/10.54517/ssd.v1i1.2220>
- Marzouk, Mohamad., and Sabbah, Marwa. 2021. AHP-TOPSIS social sustainability approach for selecting supplier in construction supply chain. *Cleaner environmental systems*, 2, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100034>
- Menon, Rakesh R., and Ravi, V.. 2022. Using AHP-TOPSIS methodologies in the selection of sustainable suppliers in an electronics supply chain. *Cleaner Materials* 5: 100130. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100130>
- Michelberger, Pál. 2024. *Fejezetek a vállalati biztonságmenedzsmentből*. Budapest: Akadémiai Kiadó. <https://doi.org/10.1556/9789634549376> (Letöltve: 2025. 03. 29. https://mersz.hu/dokumentum/m1153fvbm_23/#m1153fvbm_21_p4)
- Moktadir, Md. Abdul., Paul, Sanjoy Kumar., Bai, Chunguang., and Santibanez Gonzalez, Ernesto. D.R. 2025. The current and future states of MCDM methods in sustainable supply chain risk assessment. *Environment, Development and Sustainability*, 27(3), 7435-7480. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04200-1>
- Moloudi, Abdulrahim., Khaloo, Shokoh Sadat., Gholamnia, Reza., and Saeedi, Reza. 2021. Prioritizing health, safety and environmental hazards by integrating risk assessment and analytic hierarchy process techniques in solid waste management facilities. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 77(7), 598–609. <https://doi.org/10.1080/19338244.2021.1977907>
- Munier, Nolberto. and Hontoria, Eloy. 2021. Uses and Limitations of the AHP Method – A Non-Mathematical and Rational Analysis. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60392-2>
- Ni, Huihui., Chen, An., and Chen, Ning. 2010. Some extensions on risk matrix approach. *Safety science*, 48(10), 1269-1278. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.04.005>
- Ocampo, Lanndon; Genimelo, Gianne; Jean, Lariosa; Jerome, Guinitaran, Raul; Borromeo, Philip John; Aparente, Maria Eelena, Capin, Teresita; and Bongo, Miriam. 2020. Warehouse location selection with TOPSIS group decision-making under different expert priority allocations. *Engineering Management in Production and Services*, 12(4), 22-39. <https://doi.org/10.2478/emj-2020-0025>
- Ok, C. I.; Kim, C. L., Moon, S. R., Koo, H. S., Yun, K. H., and Lee, S. K.. 2022. Prioritization of radiological accident scenarios during decommissioning of nuclear power plants by risk matrix and AHP method. *Annals of Nuclear Energy* 175: 109239. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109239>
- Opricovic, Serafim, and Tzeng, Gwo-Hshiung. 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research* 156(2): 445-455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Opricovic, Serafim. 2011. Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12983-12990. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.097>
- Pellegrino, Roberta. 2025. Risk management of Circular Economy: a framework based on Interpretive structural model. *Procedia Computer Science*, 253, 683-690. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.130>
- Pfohl, Hans-Christian, ed. 2002. *Risiko-und Chancenmanagement in der Supply Chain: proaktiv-ganzheitlich-nachhaltig*. Vol. 20. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co KG, ISBN 3 503 06674 8

- Qazi, Abroon., Shamayleh, Abdulrahim., El-Sayegh, Sameh., and Formaneck, Steven. 2021. Prioritizing risks in sustainable construction projects using a risk matrix-based Monte Carlo Simulation approach. *Sustainable Cities and Society*, 65, 102576. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102576>
- Radenović, Žarko., and Veselinović, Ivana. 2017. Integrated AHP-TOPSIS Method for the Assessment of Health Management Information Systems Efficiency. *Economic Themes* 55(1): 121-142. <https://doi.org/10.1515/ethemes-2017-0008>
- Rahmayanti, Dina., Meuthia Yumi., Albin, Justin., and Hafizh, Ahmad. 2021. An integrated AHP-TOPSIS framework for determination of leading industrial sectors. *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri* 5(2): 115-124. <https://doi.org/10.30656/jsmi.v5i2.3823>
- Rapsák, Tamás. 2007. Többszempontú döntési problémák. MTA-SZTAKI
- Redmill, Felix. 2002. Risk analysis-a subjective process. *Engineering Management Journal*, 12(2), 91-96. <https://doi.org/10.1049/em:20020206>
- Rezaei, Jafar. 2015. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega* 53: 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Rodríguez-Pérez, J., and Peña-Rodríguez, M. E. 2012. Fail-Safe FMEA – Combination of quality tools keeps risk in check. *Quality Progress*, 2012 January: 30-36.
- Ross, Robert T. 1939. Discussion: Optimal orders in the method of paired comparisons. *Journal of Experimental Psychology*, 25(4), 414–424. <https://doi.org/10.1037/h0056645>
- Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw-Hill, ISBN:978-0070543713
- Saaty, R. W. 1987: The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), pp. 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T. L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* 1(1): 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Saaty, Thomas L. 2013. Analytic hierarchy process. In. *Encyclopedia of operations research and management science* (pp. 52-64). Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1153-7_31
- Sader, Sami., Husti, István., & Daróczi, Miklós. 2020. Enhancing Failure Mode and Effects Analysis Using Auto Machine Learning: A Case Study of the Agricultural Machinery Industry. *PROCESSES*, 8(2), 224. <https://doi.org/10.3390/pr8020224>
- Sadgrove, Kit. 2016. The complete guide to business risk management. Routledge, 3rd ed., ISBN 978-1-4724-4219-2
- Sætra, Henrik Skaug., and Danaher, John. 2025 Resolving the battle of short-vs. long-term AI risks. *AI and Ethics* 5.1 723-728. <https://doi.org/10.1007/s43681-023-00336-y>
- Saeidi, Reza., Noorollahi, Younes., Aghaz, Javad., and Chang, Soowon. 2023. FUZZY-TOPSIS method for defining optimal parameters and finding suitable sites for PV power plants. *Energy*, 282, 128556. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128556>
- Safaei, Mohammad Mahdi., Izadi, Mohammad Saeid., Afshar, Ali., and Siyahouei, Hamid Reza Ameri. 2024. Environmental risk assessment of urban underground public space development in Tehran using EFMEA and TOPSIS techniques. *Anthropogenic Pollution*, 8(1). <https://doi.org/10.57647/j.jap.2024.0801.12>
- Sahoo, Sushik Kumar., and Goswami, Shankha Shubra. 2023. A comprehensive review of multiple criteria decision-making (MCDM) methods: advancements, applications, and future directions. *Decision Making Advances*, 1(1), 25-48. <https://doi.org/10.31181/dma1120237>
- Sahu, Sarika., and Satpathy, Biswajit. 2024. Greening human resource management in manufacturing organizations: a fuzzy TOPSIS approach to prioritizing sustainable practices in Western Odisha. *Journal of Informatics Education and Research Vol.4.Issue2*. <https://doi.org/10.52783/jier.v4i2.861>

- Salabun, Wojciech., Wątróbski, Jarosław. and Shekhovtsov, Andrii. 2020. Are MCDA methods benchmarkable? A comparative study of TOPSIS, VIKOR, COPRAS, and PROMETHEE II methods. *Symmetry* 12.9: 1549. <https://doi.org/10.3390/sym12091549>
- Salehi, Seyedmohammad., Amiri, Maghsoud., Ghahremani, Pezhman, and Abedini, Mohammadali. 2018. A Novel Integrated AHP-TOPSIS Model to Deal with Big Data in Group Decision Making. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* 1043-1053.
- Sasi, Jayaram C., and Digalwar, Abhijeet, K. 2015. Application of AHP and TOPSIS Method for Supplier Selection Between India & China in Textile Industry. *International Research Journal of Engineering and Technology* 2(4): 1730-1738. <https://www.irjet.net/archives/V2/i4/Irjet-v2i4284.pdf>
- Schubert, Erich., Wojdanowski, Remigius., Zimek, Arthur., and Kriegel, Hans-Peter. 2012. On evaluation of outlier rankings and outlier scores. In. *Proceedings of the 2012 SIAM international conference on data mining* (pp. 1047-1058). Society for Industrial and Applied Mathematics. <https://doi.org/10.1137/1.9781611972825.90>
- Sharmin, S., and Solaiman, K. 2019. BigBank: A GIS Integrated AHP-TOPSIS Based Expansion Model for Banks. *Proceedings of the 15th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)* 311-318, <https://doi.org/10.1109/SITIS.2019.00058>
- Shih, Hsu-Shih., Shyur, Huan-Jyh., and Lee, E. Stanley. 2007. An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling* 45: 801–13. <http://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.03.023>
- Shih, Hsu-Shih and Olson, David L. 2022. TOPSIS and its Extensions: A Distance-Based MCDM Approach, Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-09577-1>
- Shukla, Atul., Agarwal, Pankaj., Rana, Ravindra Sing., and Purohit, Rajesh. 2017. Applications of TOPSIS algorithm on various manufacturing processes: a review. *Materials Today: Proceedings*, 4(4), 5320-5329. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.05.042>
- Singh, Veenu., Kumar, Vijay., and Singh, Veenu. B. 2023. A hybrid novel fuzzy AHP-TOPSIS technique for selecting parameter-influencing testing in software development. *Decision Analytics Journal*, 6, 100159. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100159>
- Sipos, László., Galambosi, Zsófia., Biró, Péter., Csató, László., and Bozóki, Sándor. 2025. Trends and Directions of Preference Elicitation and Assessment in Food Science: Single-, Pair-, and Multi-Criteria Ranking Methods. *Food Science & Nutrition*, 13(8), e70684. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70684>
- Sirisawat, Pornwasin., and Kiatcharoenpol, Tossapol. 2018. Fuzzy AHP-TOPSIS approaches to prioritizing solutions for reverse logistics barriers. *Computers & Industrial Engineering* 117: 303-318. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.01.015>
- Situmorang, J., Kuntoro, I., Santoso, S., Subekti, M., and Sunaryo, G. R.. 2018. Analysis responds to the implementation of nuclear installations safety culture using AHP-TOPSIS. *Journal of Physics: Conference Series* 962: 012051. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/962/1/012051>
- Spearman, C. 1904. The proof and measurement of association between two things. *American Journal of Psychology*, 15(1), pp. 72–101. <https://doi.org/10.2307/1412159>
- Sum, R. Md. 2015. Risk Prioritisation Using The Analytic Hierarchy Process. *AIP Conference Proceedings* 1691, 030028. <https://doi.org/10.1063/1.4937047>
- Supraja, S., and P. Kousalya. 2016. A comparative study by AHP and TOPSIS for the selection of all round excellence award. *Pro-ceedings of the International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)* 314-319, <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755271>

- Szakály, Dezső. 2005. Failure Mode and Effect Analysis: Hibamód és hatáselemzés FMEA. in: *Szintay István (szerk.) Minőségmenedzsment III. Alkalmazás (o. 107–131)*. Bíbor Kiadó. Miskolc, ISBN 963 963413 1
- Szentes, Balázs. 2025a. Risk Assessment Based on Pairwise Comparison – a Potential Development for PRISM Method. in: *T. Kiss, Judit (szerk.) New Trends and Challenges in Management – Management of Global Business Processes*. Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetem (2025), 74 p. p. 43 ISBN: 9789634907268 konferenciaelőadás <https://m2.mtmt.hu/gui2/?mode=browse¶ms=publication;36211650>
- Szentes, Balázs. 2025b. Kockázatok kezelése páros összehasonlításra alapuló módszerekkel. in: *Nyeste, Zolt; Szentes, Balázs (szerk.) A KARBANTARTÁS STRATÉGIÁI SZEREPE – BIZTOS VÁLASZOK KELLENEK BIZONYTALAN IDŐKBEN*. Veszprém, Magyarország : Magyar Ipari Karbantartók Szervezete (2025) pp. 107-115. , 9 p. ISBN: 9786150234014 <https://m2.mtmt.hu/gui2/?mode=browse¶ms=publication;36109967>
- Szentes, Balázs., and Bognár, Ferenc. 2024. Kockázateértékelés páros összehasonlítási alapokon – Kihívások és lehetőségek. in: *I. Gaál Zoltán Konferencia, 2024. november28-29., Veszprém, absztraktkötet*, ISBN:978-963-396-288-6
- Szilágyi, Gábor., Lukács, Krisztián., Szamosi, Barna., and Pokorádi, László. 2014. A QS 9000 és a CDA szerinti hibamód és -hatáselemzések összehasonlítása. *Repüléstudományi Közlemények*, 26(2), 413–425.
- Taherdoost, Hamed., and Madanchian, Mitra. 2023. Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts. *Encyclopedia*, 3(1), 77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>
- Thomas, Philip., Bratvold, Reidar B., and Bickel J. Eric. 2014. The Risk of Using Risk Matrices. *SPE Econ & Mgmt* 6 (2014): 56–66. <https://doi.org/10.2118/166269-PA>
- Tran, Ngoc-Tran., Trinh, Van-Long., and Chung, Chen-Kuei. 2024. An integrated approach of fuzzy AHP-TOPSIS for Multi-Criteria Decision-Making in industrial robot selection. *Processes*, 12(8), 1723. <https://doi.org/10.3390/pr12081723>
- Vaidya, Omkarprasad. S., and Kumar, Sushil. 2006. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of operational research*, 169(1), 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>
- Vatankhah, Sanaz., Darvishmotevali, Mahlagha., Rahimi, Roya., Jamali, Seyedh Mahboobeh., and Ale Ebrahim, Nader. 2023. Assessing the application of multi-criteria decision making techniques in hospitality and tourism research: a bibliometric study. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*. 35 (7): 2590–2623. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-05-2022-0643>
- Vimal, Jyoti., Chaturvedi, Vedansh., and Dubey, Ashutosh Kumar. 2012. Application of Topsis Method for Supplier Selection in Manufacturing Industry. *International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences* 2(5): 25-35. <https://euroasiapub.org/wp-content/uploads/2016/09/3-1-4.pdf>
- Yang, Guang., Huang, Wen Jie., and Lei, Lin Li. 2010. Using AHP and TOPSIS Approaches in Nuclear Power Plant Equipment Supplier Selection. *Key Engineering Materials* 419-420: 761-764. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.419-420.761>
- Yazdani, Morteza., Gonzalez, Ernesto. D.R.S., and Chatterjee, Prasenjit. 2021. A multi-criteria decision-making framework for agriculture supply chain risk management under a circular economy context. *Management Decision*, 59(8), 1801-1826 <https://doi.org/10.1108/MD-10-2018-1088>
- Yazdi, Mohammad. 2019. Improving failure mode and effect analysis (FMEA) with consideration of uncertainty handling as an interactive approach. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* 13, 441–458. <https://doi.org/10.1007/s12008-018-0496-2>

- Yenugula, Manideep., Sahoo, Sushil Kumar., and Goswami, Shankka Shubra. 2024. Cloud computing for sustainable development: An analysis of environmental, economic and social benefits. *Journal of future sustainability*, 4(1), 59-66.
<https://doi.org/10.5267/j.jfs.2024.1.005>
- Yoon, S. R., Choi, S. Y., and Ko, W. I. 2015. Nuclear Fuel Cycle Analysis by Integrated AHP and TOPSIS Method Using an Equilibrium Model. *Proceedings of the Korean Nuclear Society Spring Meeting pp. 1CD-ROM*.
https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:47023547
- Yu, Po-Lung, and Zeleny, Milan. 1975. The set of all nondominated solutions in linear cases and a multicriteria simplex method. *Journal of Mathematical Analysis and Applications* 49.2 (1975): 430-468. [https://doi.org/10.1016/0022-247X\(75\)90189-4](https://doi.org/10.1016/0022-247X(75)90189-4)
- Zaman, Mobasshira. 2020. Supplier Selection Using AHP-VIKOR and AHP-TOPSIS Method: a Case Study for Bangladeshi Jute Mill of Khulna Region. *SSRG International Journal of Industrial Engineering* 7(1): 1-11. <https://doi.org/10.14445/23499362/IJIE-V7I1P101>
- Zadeh, Lotfi A. 1965. Fuzzy sets. *Information and Control Vol.8.Issue 3. Pages 338-353*.
[https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zionts, Stanley. 1979. MCDM—If Not a Roman Numeral, Then What?. *Interfaces* 9(4):94-101. <https://dx.doi.org/10.1287/inte.9.4.94>