

# KARBANTARTÁSI PROJEKTEK MÁTRIX-ALAPÚ TERVEZÉSE

DOI:10.18136/PE.2021.772

Doktori (PhD) értekezés

Készítette:

Pribojszki-Németh Anikó

Témavezető:

Prof. Dr. habil. Kosztyán Zsolt Tibor

Pannon Egyetem  
Gazdaságtudományi Kar  
Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola

2021

# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b>	<b>13</b>
1.1. Aktualitás és jelentőség . . . . .	15
1.2. Kutatási előfeltevések ismertetése a dolgozat felépítésének bemutatásán keresztül . . . . .	16
<b>2. A karbantartások projekttervezése</b>	<b>19</b>
2.1. A karbantartás kiemelt fontossága . . . . .	20
2.1.1. Hibáig tartó üzemelés . . . . .	26
2.1.2. Merev ciklusú karbantartás . . . . .	27
2.1.3. Állapotfüggő karbantartási stratégia . . . . .	28
2.1.4. Megbízhatóság központú karbantartási stratégia . . . . .	35
2.1.5. Kockázatalapú karbantartás . . . . .	38
2.1.6. Teljeskörű hatékony karbantartás . . . . .	41
2.1.7. Komplex rendszerek megbízhatósága . . . . .	42
2.2. Projekttervezési módszerek . . . . .	48
2.2.1. Projektdefiníciók, projekt életciklus és projekttervezés . . . . .	56
2.2.2. Projekttervezés hagyományos megközelítése - Projektütemezés, há- lőtervezési módszerek . . . . .	59
2.2.3. Projekttervezés újszerű megközelítése . . . . .	65
2.2.4. Többszemponstú és többszintű projektek tervezése . . . . .	72

2.3. A karbantartási projektek és tervezésük hagyományos és újszerű megközelítései . . . . .	74
2.4. A projekttervezés kiemelt szerepe a karbantartásban . . . . .	79
2.5. Idő-költség átváltási módszerek . . . . .	81
2.6. Hipotézisek . . . . .	86
<b>3. Karbantartási projektek mátrixos tervezése</b>	<b>87</b>
3.1. A karbantartási probléma meghatározása . . . . .	89
3.2. A mátrix-alapú modell felépítése - Multi-domain Maintenance Management Matrix . . . . .	95
3.3. Lehetséges megoldások meghatározása . . . . .	99
3.4. Adott célfüggvényekre vonatkozó optimális megoldás megadása . . . . .	106
<b>4. Új tudományos eredmények összefoglalása</b>	<b>108</b>
4.1. A kutatás eredményeinek alkalmazása . . . . .	109
4.1.1. A kidolgozott tervezési módszer eredményességének bemutatása .	110
4.2. Hasznosítás és továbblépés . . . . .	142
<b>5. Összefoglalás</b>	<b>143</b>
<b>Irodalom</b>	<b>145</b>
<b>6. Mellékletek</b>	<b>166</b>
6.1. Kiegészítő ábrák . . . . .	166
6.2. Pseudocode . . . . .	182

# Ábrák jegyzéke

2-1. Karbantartási stratégiák/filozófiák fejlődése - (Gaál, 2007; Lefánti, 2011; Péczely, 2003) alapján saját szerkesztés . . . . .	20
2-2. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1929-1988); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	22
2-3. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1929-1988); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	23
2-4. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1949-1988); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	25
2-5. Az állapotfüggő stratégia megjelenése a nemzetközi szakirodalomban (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	30
2-6. Az állapotfüggő és a műszaki diagnosztikán alapuló karbantartási stratégiák megjelenése a nemzetközi szakirodalomban (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	32
2-7. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1969-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	34
2-8. A megbízhatóság központú karbantartási stratégia megjelenése a nemzetközi szakirodalomban (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve	36
2-9. A kockázatalapú karbantartási stratégia megjelenése a nemzetközi szakirodalomban (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	39
2-10. A megbízhatósági blokk diagram alapvető építő elemei és azok mátrixos reprezentációi; saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	43

2-11. A hálózat megbízhatóságának meghatározása NRM módszerrel; saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	45
2-12. DCM alkalmazása egy példán egy illetve két elem kiválasztása során; saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	47
2-13. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1910-1988); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	51
2-14. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1960-2009); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	52
2-15. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1960-2009); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	53
2-16. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1910-2020); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	54
2-17. Projekttervezési módszerek térhódítása az iparban; saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	55
2-18. Elemi tevékenységkapcsolatok; (Danilovic és Sandkull, 2005) alapján saját szerkesztés . . . . .	66
2-19. Particionálás lépései; (Yassine, 2004) alapján saját szerkesztés . . . . .	68
2-20. Legenerálható projektstruktúrák; (Kosztyán és tsai., 2008) alapján saját szerkesztés . . . . .	69
2-21. A PEM által meghatározható projektváltozatok; (Kiss és Kosztyán, 2009a) alapján saját szerkesztés . . . . .	70
2-22. Project Domain Matrix; (Kosztyán, 2015c) alapján saját szerkesztés . . . . .	73
2-23. Többdimenziós mátrixos tervezési módszerek; (Danilovic és Browning, 2007) alapján saját szerkesztés . . . . .	74
2-24. Átváltási modellek; (De és tsai., 1995; De és tsai., 1997; Feng és tsai., 2000; Fulkerson, 1961) alapján saját szerkesztés . . . . .	82
3-1. Megelőző karbantartás-tervezés mátrix-alapú modellje; saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	98

3-2. A projektváltozat meghatározása (1.fázis); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	102
3-3. Projektstruktúra meghatározása (2. fázis); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	104
3-4. Optimális ütemterv meghatározása (3. fázis); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	105
4-1. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljainak kapcsolati ábrája; saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	113
4-2. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljainak redukált blokkmátrixa - A berendezésegyeségek kockázati kategóriákba sorolva; saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	116
4-3. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljaihoz tartozó javító megelőző tevékenységek kapcsolati ábrája (első rész)- saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	118
4-4. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljaihoz tartozó javító megelőző tevékenységek kapcsolati ábrája (középső rész); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	119
4-5. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljaihoz tartozó javító megelőző tevékenységek kapcsolati ábrája (záró rész); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	120
4-6. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt megengedett megoldásai); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	123
4-7. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt javító megelőző tevékenységeinek megbízhatóságnövekmény-mátrixa); saját kutatómunka során szerkesztve	124
4-8. A legrövidebb átfutási idejű hardver-és szoftverkarbantartási projekt ID, CD, TD mátrixok összefoglaló mátrixa); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	128

4-9. A legkisebb költségű hardver-és szoftverkarbantartási projekt ID, CD, TD mátrixok összefoglaló mátrixa); saját kutatómunka során szerkesztve . . .	129
4-10. A legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel járó hardver-és szoftverkarbantartási projekt ID, CD, TD mátrixok összefoglaló mátrixa); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	130
4-11. Az élelmiszeripari példában szereplő termelő-/ berendezésegységek felépítettségének reprezentációja; saját projektvezetői munka során szerkesztve	132
4-12. Az élelmiszeripari példában szereplő termelő-/ berendezésegységek megadott kockázati kategóriák szerint kiemelve; saját projektvezetői munka során szerkesztve . . . . .	134
4-13. Az élelmiszeripari vállalat karbantartási projektjének megengedett megoldása; saját projekttervezői munka során szerkesztve . . . . .	137
4-14. Az élelmiszeripari példában szereplő berendezésegységek (BD) mátrixos reprezentációja; saját projektvezetői munka során szerkesztve . . . . .	138
4-15. Az élelmiszeripari karbantartási projekt berendezésegységként elért eredményeinek (BD) mátrixos reprezentációja; saját projektvezetői munka során szerkesztve . . . . .	139
4-16. A legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel járó karbantartási projekt ID, CD, TD mátrixok összefoglalója); saját projekttervezői munka során szerkesztve . . . . .	140
6-1. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	167
6-2. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (2009-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	168
6-3. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	169
6-4. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1990-2009); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	170

6-5. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1990-2009); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	171
6-6. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (2010-2020); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	172
6-7. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (2010-2020); saját kutatómunka alapján szerkesztve . . . . .	173
6-8. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljainak kapcsolati ábrája - A berendezésegységek kockázati kategóriákba sorolva; saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	174
6-9. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt javító megelőző tevékenységek logikai mátrixa (részletek); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	175
6-10. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt javító megelőző tevékenységeinek idő- és költségmátrixa (a1-A72); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	176
6-11. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt javító megelőző tevékenységeinek idő- és költségmátrixa (a73-A144); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	177
6-12. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt javító megelőző tevékenységeinek idő- és költségmátrixa (a145-A216); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	178
6-13. A legrövidebb átfutási idejű hardver-és szoftverkarbantartási projekt ID, CD, TD mátrixok összefoglaló mátrixa); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	179
6-14. A legrövidebb átfutási idejű hardver-és szoftverkarbantartási projekt ID, CD, TD mátrixok összefoglaló mátrixa); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	180
6-15. A legrövidebb átfutási idejű hardver-és szoftverkarbantartási projekt ID, CD, TD mátrixok összefoglaló mátrixa); saját kutatómunka során szerkesztve . . . . .	181
6-16. Rendszer megbízhatóság kiszámítása soros-párhuzamos összevonással és dekompozíciós módszerekkel . . . . .	182



6-17. Javasolt algoritmus a karbantartás-tervezési probléma (PMPSP) megoldására . . . . .	183
6-18. Segédfüggvények: átfutási idő (TPT), költségigény (TPC), maximális erőforrásigény (maxres) számítása, csúcs kiválasztása (impact) . . . . .	184

# Kivonat

A vállalatok karbantartás tervezői a rendelkezésre álló információk, adatok figyelembevételével igyekeznek a legjobb döntést meghozni. Ezek azonban nem biztos, hogy a vállalatok számára megfelelő eredményt adják. Az is előfordulhat, hogy nem fog rendelkezésre állni elegendő erőforrás, idő, költség a tervek kivitelezéséhez. Egyszerűnek tűnhet a megoldás: Tervezzünk olyan projektet, ami minden igényt kielégít!

Egy projekt átfutási idejét, költség- és erőforrásigényét a tervezés során határozzuk meg. A projektek, folyamatok tervezésének és ütemezésének egyszerű és átlátható módja a mátrixban való ábrázolás. Ha csak a tevékenységek sorrendjét akarjuk megtervezni használjuk az úgynevezett függőségi mátrixot, vagy a sztochasztikus hálótervezési módszert. Ha ennél többre volna szükség, mert a tervezés során együtt, egy tervben szeretnénk látni a tevékenységeket és azok költség-, erőforrás- és időigényét, akkor a projekt szakértői mátrixot kell alkalmaznunk, amely a tevékenységek közötti összes lehetséges kapcsolat mellett tartalmazza a tevékenységek előfordulásának valószínűségeit, illetve költség-, erőforrás- és időigényét is.

Az ütemezési feladatok közül az egyik legnehezebb probléma, amikor egy projekt során a tevékenységek idő-, költségigényei mellett a projekt minőségi paramétereit harmonizálnunk kell egymással. Feltételezzük, hogy az idő-költség és a karbantartás esetében a rendszerelemek javító-megelőző tevékenységek hatásaként fellépő megbízhatóság növekedése között valamilyen függvénykapcsolat létesíthető. Ha pl. egy projektet rövidebb idő alatt kell elvégezni, akkor az többletköltséget igényel. Ugyanígy többletköltséggel járhat egy magasabb rendszer szintű megbízhatóság elérése. A szakirodalom ezeket a

problémákat time-cost-quality trade-off problem (TCQTP) problémaosztályba sorolja, ahol ebben a példában a minőségi paraméter a rendszer megbízhatóságának növekedése lesz. Amennyiben az idő-költség és minőség között az ún. átváltási függvény diszkrét, akkor ez a probléma bizonyítottan NP-nehéz feladat.

Munkámban bemutatom, hogy a megelőző karbantartási projekt is kezelhető és visszavezethető ilyen problémává, ugyanakkor ehhez ki kell terjeszteni az eredeti problémaosztályra kifejlesztett módszerek alkalmazási kereteit. Egy megelőző karbantartási projekt célja, hogy egy rendszer berendezés elemeit javítva a rendszer megbízhatóságát növelje. Ugyanakkor egy meghatározott minimális megbízhatósági, vagy rendelkezésre állásbeli javuláshoz általában nem fogjuk valamennyi berendezéselemet javítani, hanem ki kell válogatni azokat a javító megelőző tevékenységeket, melyek az elvárt minimális megbízhatóság-javulás érdekében elengedhetetlenek. Éppen ezért a hagyományos hálótervezési módszerekkel szakítva olyan mátrix-alapú módszert dolgoztam ki, amely képes kezelni a bizonytalan tevékenységelfordulásokat és -kapcsolatokat is.

# Abstract

Maintenance planners of companies endeavor to do the same based on the available data, however, this strategy may not lead to adequate results for the company, moreover, shortage for some resources, e.g., manpower, equipment, funds, can also balk the execution of the plan. One could say, that the solution to these issues is simple: a plan satisfying all the demands should be prepared.

The total project time/ duration time, total project cost, and total project human resources of a project are identified in the planning phase. Matrix representation is a clear and simple way to plan and schedule projects and their processes. The Design Structure Matrix and the Stochastic Network Planning Method are applied to the sequencing of tasks. The Project Expert Matrix contains all the information about the probability of occurrence, price, time, and resource demand of each task as well next to all the possible task connections.

A critical step in maintenance project planning is to be aware of the driving factors of the project. These are made up of cost, scope and time, with each of these factors varying in relative priority. Well-planned, properly scheduled, and effectively communicated maintenance jobs accomplish more work, more efficiently, and at a lower cost. Preventive/Predictive Maintenance (PPM) requires flexible project plans in order to decide, which equipment should be maintained In order to achieve the target system reliability. The maintenance project management problem is a special kind of time-quality-cost trade off problem (TCQTP) or time-cost-reliability trade-off problem. However, traditional TCQTP assume a fix logic plan and cannot treat the specialties

of the complex maintenance projects. The proposed multi-domain maintenance management matrix defines and models a flexible maintenance project scheduling problem. The proposed matrix-based method determine a proper maintenance project plan with respect to the reliability and management claims.

# 1. fejezet

## Bevezetés

A berendezések összetettsége folyamatosan nő, ezzel párhuzamosan a karbantartás tárgyköre mára már nemcsak a berendezések állapotának megőrzésével és helyreállításával foglalkozik, hanem kiterjedt a berendezések egységeire is. A gazdasági kényszer és a megbízhatósággal szembeni követelmények arra ösztönzik a vállalatokat, hogy növeljék a termelő berendezéseik megbízhatóságát, ugyanakkor csökkentsék a karbantartási és javítási költségeket és az üzemfenntartás hiányosságaira visszavezethető hibákat. A nagyobb karbantartási feladatok karbantartási projektbe szervezhetőek. Ezek a karbantartási projektek (idő-, költség- és erőforrás) korlátok közé szorítják a terület szakembereit. A lehető legrövidebb idő alatt kell a lehető legnagyobb mértékben javítani a rendszer megbízhatóságát vagy a rendelkezésre állását úgy, hogy a felhasznált költségeink minimálisak legyenek.

A feladat (amelynek megoldására doktori képzésem során vállalkoztam) komplex, mivel egyszerre kell megoldani egy projektkiválasztási (project screening) és egy a tevékenységek idő-költség-minőség paraméterei közötti átváltási problémát (time-quality-cost trade-off problem). Figyelembe véve, hogy valamennyi berendezésem/berendezésegység megbízhatóságának javítására meghatározható egy vagy több javító megelőző tevékenység, még egy nagyleállás esetén - amikor szinte valamennyi berendezés(eleme)t felülvizsgálják - nem fogják az összes lehetséges javító megelőző tevékenységet végrehajtani. Az

első kérdés a karbantartási projekt összeállítása során, amit ilyenkor meg kell válaszolni, hogy egy adott költség- és időkeret esetén melyek azok a tevékenységek, amelyeket végre kell/lehet hajtani?

A tevékenységeket általában többféleképpen is meg lehet valósítani, melyekhez különböző költség, idő és minőségi paraméterek rendelhetők. A projektmenedzsernek a paraméterek figyelembevételével kell az egyensúlyt megtalálnia, hogy valamennyi javító-megelőző tevékenységet a(z idő-, költség) korlátokat nem túllépve végre tudja hajtani/hajtatni.

A feladat specialitása, hogy itt a minőségi (quality) paramétert a megbízhatósági értékek javulásából fogom számolni, ami nem triviális feladat, hiszen a rendszert leíró megbízhatósági blokk diagram (angolul: Reliability Block Diagram, rövidítve: RBD) legtöbbször teljesen más struktúrát is követhet, mint amilyen struktúrát maga a karbantartási projekt. Egy berendezéslemhez általában több javító-megelőző tevékenység is tartozik, melyek hatására növekedhet a berendezés elem megbízhatósága és ezáltal a rendszer megbízhatósága/ rendelkezésre állása is. Egy berendezéslem alatt minden önálló karbantartási egységet képező géprészt értek, melynek meghibásodása során a karbantartás helyszínén az tovább nem bontható.

A disszertációmban, a kutatásom során kifejlesztett mátrix-alapú karbantartás-tervezési módszert (Multi-domain Maintenance Management Method = M<sup>4</sup>) mutatok be, amelyet sikerrel lehet alkalmazni berendezések karbantartásának tervezésére. Célom, hogy a módszer alkalmazásával átláthatóbbá és egyszerűbbé tegyem az egyébként is bonyolultnak tűnő karbantartástervezést. Teszem mindezt úgy, hogy a maximalizált rendszer megbízhatóság elérése érdekében törekszem a berendezésegységek minél magasabb megbízhatóságára amellet, hogy a vállalat által támasztott költség- és időterven belül maradjon az eredményként kapott karbantartási projektváltozat/-struktúra.

## 1.1. Aktualitás és jelentőség

A karbantartás és javítás mindennapjaink részévé vált, amióta eszközöket használunk a mindennapi tevékenységeink elvégzéséhez. Munkánkat eszközök, gépek, berendezések könnyítik meg, amelyek elromolnak, tönkre mennek. Gondoskodnunk kell javításukról, javíttatásukról, hogy a későbbiekben is ki tudják szolgálni céljainkat. Ezért tevékenységek sorozatát hajtjuk/hajtatjuk végre egy berendezésen üzemképessége és rendeltetésszerű használata érdekében. Műszaki és nem műszaki tevékenységeknek sorozatát végezzük/végeztetjük néha el, hogy a terméket, berendezést vagy állóeszközt az előírt funkciójának teljesítésére alkalmas állapotban tarthassuk, vagy egy korábbi állapotba visszaállítsuk.

Az idő szűk, a vállalatok költségvetése véges, egyre kevesebb megfelelő szakember áll rendelkezésünkre. A nehezítő körülmények ellenére munkánkat el kell végezni. Azonban alulkarbantartást, túlkarbantartást nem szeretnénk végeredményként. Túlkarbantartásról akkor beszélünk, amikor feleslegesen bontunk meg berendezéseket, túl gyakoriak az egyes tervezett beavatkozások, túl sok erőforrást használunk fel a karbantartás során. A legtöbb, még nem korszerűsített karbantartási rendszerű vállalatnál egyszerre lehetünk tanúi az alul- és a túlkarbantartottságnak, amely azért is lehetséges, mert a munkálatok tervezése nem korszerű elvek mentén halad, ezért nem a kritikus pontokon avatkozik be a karbantartás, és nem a szükséges gyakorisággal, sokszor indokolatlan mértékben. Szükséges egy pontosabb, hasznosabb és használhatóbb tervezési eljárás, amely megmutatja, hogy mely állapotjavító intézkedések sorozata révén valósíthatjuk meg valamennyi gép megfelelő szintű üzemképességének biztosítását.

Az állapotjavító tevékenységeket lehetőleg úgy kell ütemezni, hogy azok ne akadályozzák pl. a termelés folyamatosságát (Anderson, 1989; Anderson, 1998). Ezért is fogalmazták meg korábban és lehet hallani még ma is, a következőket a karbantartással kapcsolatban: „*A karbantartás szükséges rossz!*” ; „*Én értéket teremtek, Te pénzbe kerülsz!*” – hangzik a termelési és a karbantartó kollégák párbeszéde. A karbantartás szükségességét elsősorban a gazdaságos termelési folyamat fenntartásával indokolják. Ezt



azzal a ténnyel magyarázzák, hogy a berendezésekbe épített anyagok jellemzői változnak, azok különböző igénybevételeknek vannak kitéve használatuk során. A gépek gazdaságos üzemben tartás céljából életciklusuk alatt alkatrészeik, részegységeik akár többször is javításra vagy cserére szorulnak. A karbantartás tervezése és gyakorlati végrehajtása (pl. a karbantartás-technológiákat és a karbantartási időpontokat, időtartamokat meghatározó tervezési módszerek) jobb, rosszabb irányban is befolyásolhatja a gépek üzemeltetését (Janik és tsai., 2000a). A konstrukciós és az üzemviteli tervek gépfenntartás alatti felülvizsgálata természetesen az összes gépjavítási szempontból számításba vehető alkatrészt érinti, de elsősorban a gépek munkavégző szerveihez, szerszámaihoz kapcsolódik (Kovács, 1991).

Gondoskodnunk kell berendezéseink megfelelő állapotáról, rendelkezésre állásáról. Amennyiben tehetjük, a meghibásodást meg nem várva megelőző karbantartásokat kell előre meghatározott időközönként, vagy előre megadott kritériumok alapján kell elvégeznünk (Németh, 2015a). A karbantartói munkák célja a berendezések teljesítőképesség csökkenésének elkerülése. Amennyiben a hiba már bekövetkezett, javító/ helyreállító karbantartást kell alkalmazni (Rausand és Hoyland, 2004). Ez esetben a hiba felismerését követően végezzük majd el a tevékenységeket azért, hogy a terméket visszaállítsuk az előírt funkciójának/ feladatainak ellátására alkalmas állapotába.

## **1.2. Kutatási előfeltevések ismertetése a dolgozat felépítésének bemutatásán keresztül**

A dolgozatom "*A karbantartás kiemelt fontossága*" című fejezetében mutatom be, hogy mi adta a megfelelő alapot, hogy elinduljak a karbantartás módszertani fejlesztésének területén. Megvizsgáltam, hogy a kezdetek óta milyen karbantartási filozófiák, stratégiák segítették a karbantartókat, hogy munkájukat megkönnyítsék. Ma már tagadhatatlan, hogy a karbantartás nem egy szükséges rossz, hanem egy elengedhetetlen eszköz, hogy berendezéseinket a megfelelő állapotba hozzuk, illetve tartsuk.

A karbantartási stratégiák megismerését követően további kutatásomat a preventív karbantartástervezésre (nagyteleállások körére, a költség, időkímélő és megbízhatóságnövekedését elérő tervezésekre) szűkítettem. Ehhez kerestem megfelelő projekttervezési módszertant.

A *"Projekttervezési módszerek"* című fejezetben gyűjtöttem össze, azon tervezési eljárásokat, amelyeket a karbantartók a munkájuk során alkalmazhatnának.

A részterületek megismerése során folyamatosan merültek fel bennem a kérdések.

- **Létezik olyan karbantartástervezési módszer, amely megmutatja, hogy mely berendezések vagy berendezéselemek karbantartását szükséges elvégezni az összrendszerszintű megbízhatóság növekedés eléréséhez?**
- **Van olyan karbantartási stratégia, amely megmutatja, hogy az amúgy is szűk erőforrásainkat (költség, eszköz, munkaerő) hol használjuk fel?**
- **Megtalálható az a projekttervezési módszer, amely segítségével felállítható egy karbantartási prioritási sorrend a berendezések vagy berendezéselemek között?**
- **Elérhető olyan projekttervezési módszer, amely megmutatja, hogy a rendelkezésre álló erőforrásokat hol és milyen tevékenység során lehet felhasználni?**

Feltételeztem, hogy a felmerült feladat megoldására egy új tervezési eljárás kidolgozására lesz szükséges.

Megvizsgáltam a legújabb karbantartás-tervezési eljárásokat és velük párhuzamosan a projekttervezési megközelítéseket. Kerestem azokat az projekttervezési elemeket, amelyek karbantartás-tervezésre is alkalmazhatók lennének.

*"A karbantartási projektek és tervezésük hagyományos és újszerű megközelítései"* című fejezetben párhuzamot vonok a karbantartási stratégiák és a projekttervezési eszközök

között, hogy a karbantartási stratégiák milyen projekttervezési módszerekkel lennének támogathatók és jutok el a saját módszerem bemutatásához.

A vállalatok számára az egyik legkritikusabb pont, hogyha egy projekt a tervezett költségkeretet a kivitelezés során túllépi, vagy a tervezettnél több időt vesz igénybe. Az előbbieknél is rosszabb pedig, hogy el sem készül. Felteszik a kérdést magukban, hogy a tervezés nem volt megfelelő? Az alkalmazott tervezési eljárás volt pontatlan? Egyáltalán az ő területükön a gyakorlatban megismert és alkalmazott tervezési módszerek alkalmasak?

- **A karbantartások tervezése során felmerül a kérdés, hogy biztos a megfelelő berendezést/ berendezéselemet választottuk ki karbantartásra?**
- **Az eddig ismert projekttervezési eljárások használhatók a karbantartási projektek tervezésére?**
- **Létrehozható olyan projekttervezési módszer, amely segítségével úgy állítható össze karbantartási terv, hogy a tervezés során figyelembe veszi a vállalat által felállított, a karbantartásra vonatkozó korlátokat?**

Munkám "*Karbantartási projektek mátrixos tervezése*" című fejezetében bemutatom, hogyan definiáltam a karbantartási problémát, majd pontról-pontra ismertetem a mátrix-alapú modell felépítését. Ezt követően levezetem, hogy a karbantartási projektek során milyen lehetséges megoldásokat kapunk és ezek közül rövid idő alatt, hogy érjük el (választhatjuk ki) az optimálisat.

A dolgozatom záró, "*Új tudományos eredmények*" című fejezetében összefoglalom az elért eredményeimet, majd továbblépési (részben már megvalósult) lehetőségeket ismertetek.

## 2. fejezet

# A karbantartások projekttervezése

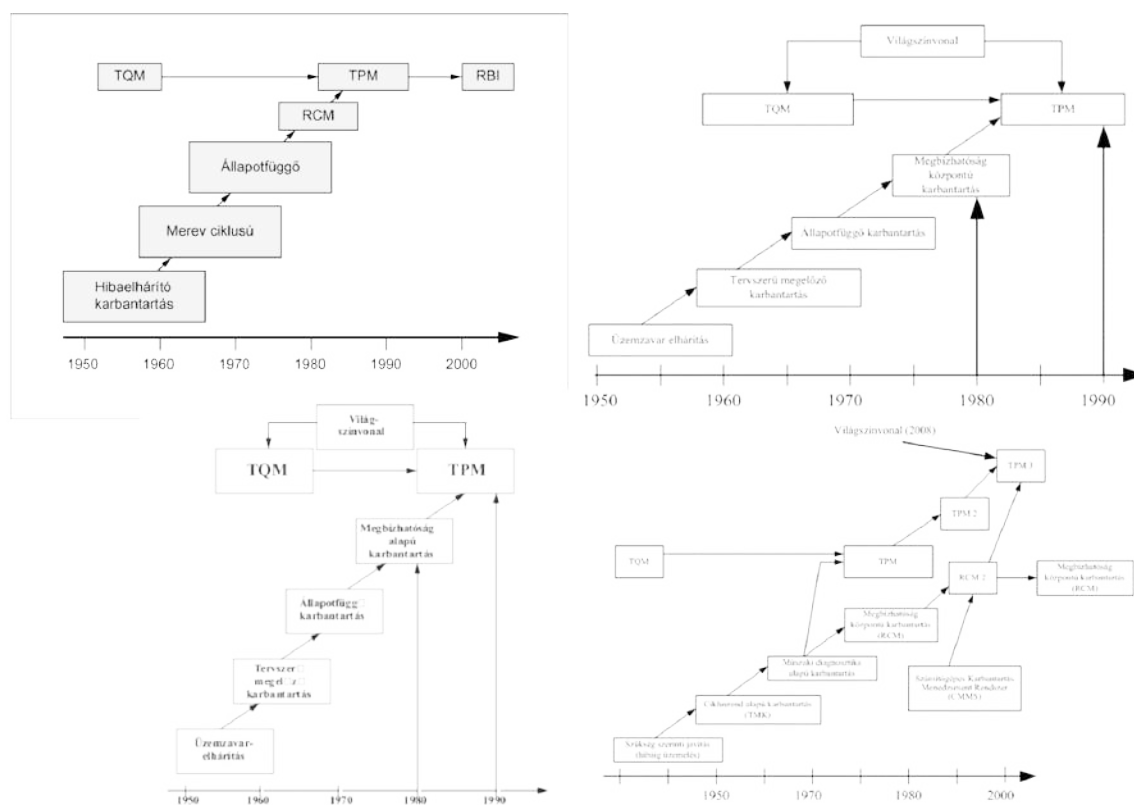
Doktori kutatásom során végeztem egy kvantitatív (szakirodalmi) feltárást, hogy a karbantartási és projekt-tervezési szakirodalom egyre növekvő mennyiségét feltérképezem, bizonyítva, hogy a kidolgozott tervezési módszertan egy hiányelem mind a projekttervezés, mind pedig a karbantartás területén.

A publikációk feltérképezése során kialakult bennem egy új karbantartási stratégiák fejlődését összefoglaló vizuális megjelenítés. Fontosnak tartottam, hogy ne az ábrát magyarázó szövegekből derüljön ki, hogy valójában a stratégiák alkalmazása a jelzett években nem érnek véget, hanem alkalmazásuk kiegészülnek az új stratégiákkal.

Az új módszer kidolgozásának nem képezte alapját a mennyiségi alapú szakirodalmi feltárást, azonban fontosnak tartottam nem csak a mellékletben elhelyezni a feltárást eredményeit. A következő fejezetekben láthatóak lesznek az ábrákon, hogy a karbantartási stratégiákról, a projekttervezési módszerekről és azok alkalmazásáról/ alkalmazhatóságáról íródott nemzetközi cikkek mennyiségi alakulása hogyan történt. Mindezek mellett igyekszem a stratégiákra és a tervezési módszerek hiányosságaira is felhívni a figyelmet.

## 2.1. A karbantartás kiemelt fontossága

A karbantartás történelmi fejlődése követte a termelésben bekövetkezett változásokat. Ez a változás részben a karbantartás fontosságának megítélésében, részben a karbantartási technológiák korszerűsödésében (Waeyenbergh és Pintelon, 2002) is megmutatkozott (Péczely és tsai., 2012). Gaál (Gaál, 2007, p.29.) már megfogalmazta a Karbantartás-menedzsment című könyvében, hogy "egyre nagyobb érdeklődés és figyelem övezi a karbantartási menedzsment tárgykörét - a kor szellemének megfelelően elsősorban karbantartás-szervezési aspektusban - ami - és talán ez az elsődleges - a vállalalkozási vezetők részéről is megnyilvánul. Mindez egyszerre tűnik kihívásokkal telinek és hasznot hajtónak. Egyben oka annak, hogy egyetemi kutatók, gyakorló ipari szakemberek és tanácsadók számos elmélettel álltak, állnak elő a karbantartás-szervezés kapcsán."



2-1. ábra. Karbantartási stratégiák/filozófiák fejlődése - (Gaál, 2007; Lefánti, 2011; Péczely, 2003) alapján saját szerkesztés

Manapság nem található olyan vállalat, vállalkozás, amely az egyébként viszonylag széles körben használatos karbantartási stratégiák <sup>1</sup> bármelyikét kizárólagosan alkalmazná (Erdösi és tsai., 1976). Kizárólagosság az irodalmi feltérképezés során sem volt jellemző, ezt láthatjuk is már az 6-1. vagy a 2-3. ábrákon. A karbantartás fejlődését bemutató ábrák 1950-es évektől szemléltetik (2-1. ábra) a stratégiákat, a nemzetközi irodalomban az első írások már a 20-as években megjelentek. Azonban ezek eddig nem jelentek meg ábrázolásban. Amennyiben az alábbi 6-1. ábrára csak egy pillantást vetünk, már láthatjuk, is az előbb említett különbséget. 1995-ben megjelent Vermes (Vermes, 1995) írásában olvashattuk - magyar nyelven - először, hogy az azonosított publikációknak a 95%-ot meghaladó része 1976 utánra datálható. Anderson (Anderson, 1998) 1998-ban valamivel több mint 110 karbantartásról szóló publikációt azonosított, és az ő írásában is azt olvashatjuk, hogy viszonylag kevés cikk jelent meg 1975 előtt. Mindkét elemzés a karbantartás-szervezés témakörét dolgozta fel, doktori dolgozatomban kiterjesztettem a keresést a karbantartási-stratégiák és karbantartástervezés fogalomkörére is. A nemzetközi területtel foglalkoztam többet, amihez a scopus.com illetve a sciencedirect online keresőt használtam fel.

1929-től 1968-ig a karbantartási terület publikációi az összpublikáció 0,27% - a volt, de 1960-as évekből számos, még a mai napig hivatkozott és fontos információkat tartalmazó munkákat találunk. Nem szabad meglepedkezni az 1960-as vagy akár az 1950-es évekről <sup>2</sup>. Sack (Sack, 1963) vagy Newborough (Newborough, 1967) írásainak megszületéséhez nem az 1950-es években született tanulmányok járultak hozzá? 1969-1988-ig az összepublikációk 10,2 % -a jelent meg nyomtatott formában. Ebben az időszakban ahogy látható is az ábrán már nemcsak a hibáig tartó üzemelés (RtF) vagy a merev ciklusú karbantartások (PM) voltak témák.

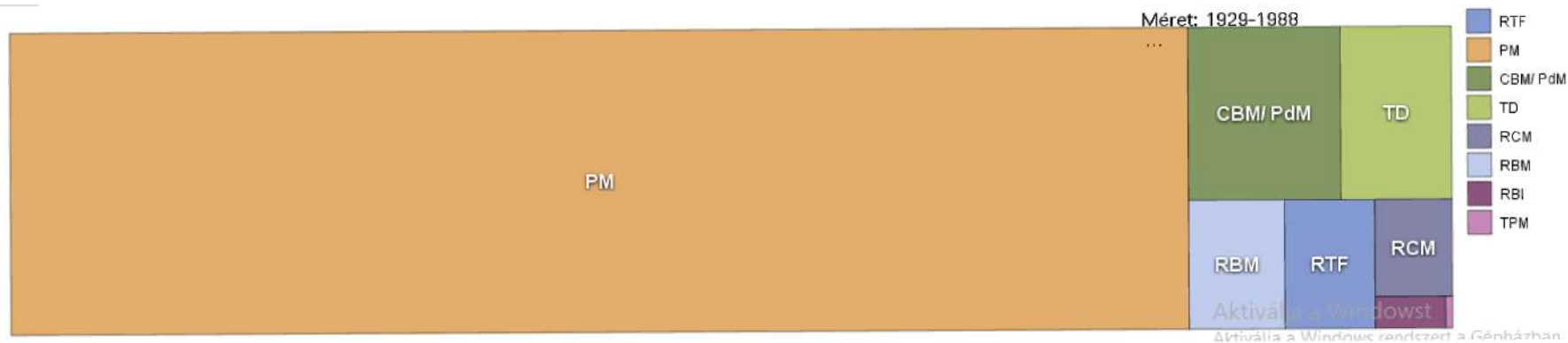
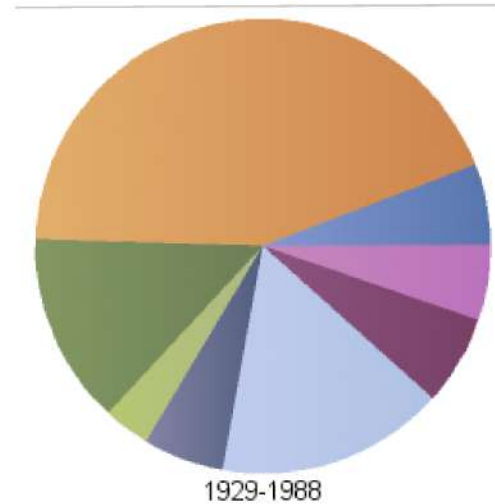
---

<sup>1</sup>Szinonim fogalomként használjuk még a "filozófia" és "elv" kifejezéseket is.

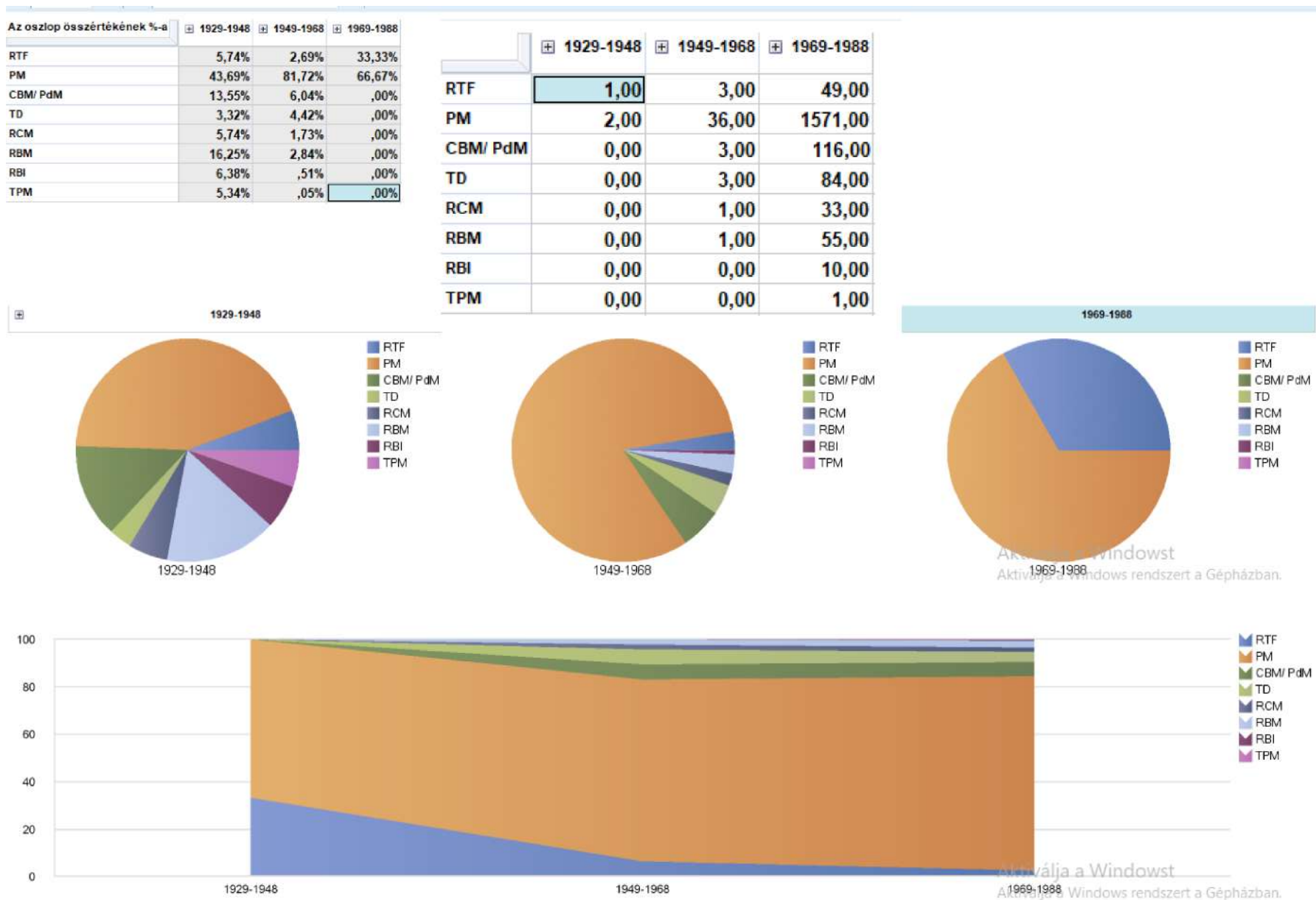
<sup>2</sup>Részletesebb adatokat a 2-2. és a 2-3. ábrák tartalmazzák.

1929-1988	
<b>Berendezéselem</b>	<b>1662,00</b>
RTF	53,00
PM	1609,00
<b>Berendezéselem/Rendszer</b>	<b>206,00</b>
CBM/ PdM	119,00
TD	87,00
<b>Rendszer</b>	<b>34,00</b>
RCM	34,00
<b>Rendszer/Vállalat</b>	<b>66,00</b>
RBM	56,00
RBI	10,00
<b>Vállalat</b>	<b>1,00</b>
TPM	1,00

Az oszlop összértékének %-a 1929-1988	
RTF	5,74%
PM	43,69%
CBM/ PdM	13,55%
TD	3,32%
RCM	5,74%
RBM	16,25%
RBI	6,38%
TPM	5,34%



2-2. ábra. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1929-1988); saját kutatómunka alapján szerkesztve



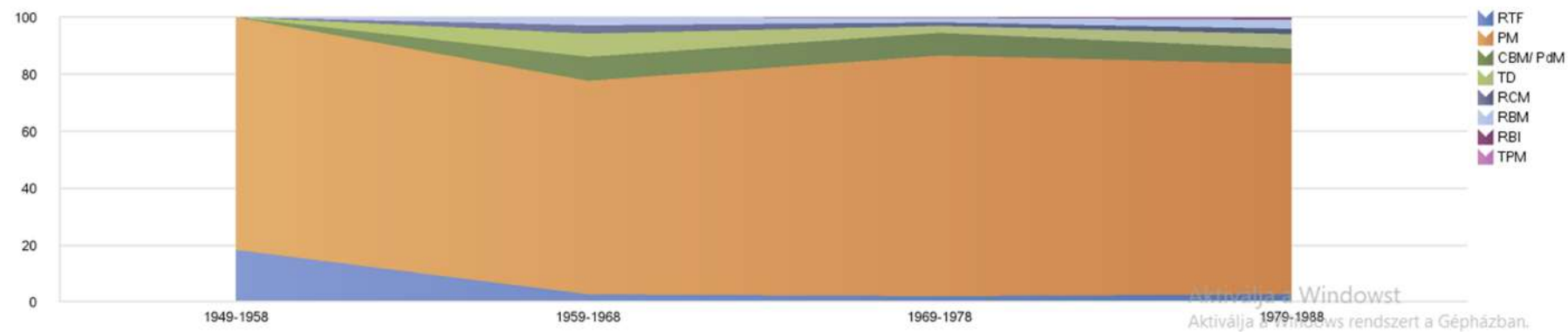
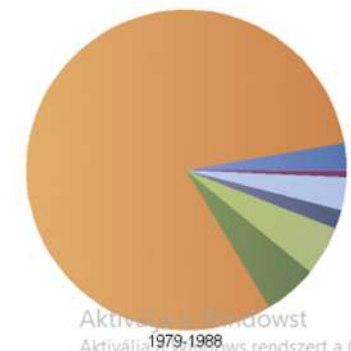
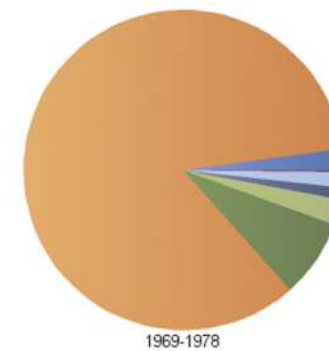
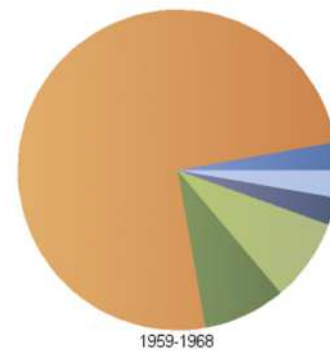
2-3. ábra. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1929-1988); saját kutatómunka alapján szerkesztve



Azonban hiába jelentek meg publikációk, a karbantartás irodalmának fellendülését mégis '70-es évek első felére teszik. Elemzésem ezt abban erősítette meg, hogy 1929-1968-as időszak publikációi 1969-1988-ig a harmincnyolcszorosára (2-4. ábra), míg 1989-2008-as időszakra (6-1. ábrán részletek láthatók) 1929-1968-as időszak számossága valamivel több mint százhuszonötszörösére növekedett.

A karbantartási irodalom kezdő korszakát Mann (Mann, 1976) és Heintzelmann (Heintzelmann, 1976) 1976-os valamint Kelly és Harrison (Kelly és Harris, 1978) 1978-as írása jelezték. Magyarországon pedig az 1973-ban megjelent Karbantartási Kézikönyv (Szabó, 1976) számít alapirodalomnak. Az elterjedt stratégiák megértéséhez megfelelő alapot (Kelly, 2006; Kelly, 1997) találunk, de kiemelendő, hogy egy új stratégia megjelenése távolról sem jár(t) az előző automatikus eltűnésével a tudományos és a gyakorlati életből. Tehát az egyes karbantartási rendszerek alkalmazását időben nem lehet mereven lehatárolni (Dózsa és tsai., 1972). Ha nem lehet mereven lehatárolni, akkor ezt az ábrázolás (2-1. ábra) során miért tették? Nem az ábrákon, hanem inkább a hozzá tartozó bekezdésekben találjuk meg a magyarázatot hozzá, hogy miért is így jártak el az ábrázolások során. Az ábrákon az adott időszak élenjáró, domináns fejlődési szintjeit mutatják be és nem azt, hogy "miből-mi lett". A karbantartási gondolkodás fejlődését jobban szemlélteti, ha azt látjuk, hogy évtizedről évtizedre hogyan alakultak az összetételek, és az új stratégiákkal mikor egészültek ki a korábbiak. Ezt a 6-2. ábra is szemlélteti, amely bemutatja 2008-tól 2019-ig a karbantartási stratégiákkal foglalkozó nemzetközi publikációk sokszínűségét.

	1949-1958	1959-1968	1969-1978	1979-1988
RTF	2,00	1,00	11,00	38,00
PM	9,00	27,00	428,00	1143,00
CBM/ PdM	0,00	3,00	40,00	76,00
TD	0,00	3,00	13,00	71,00
RCM	0,00	1,00	6,00	27,00
RBM	0,00	1,00	8,00	47,00
RBI	0,00	0,00	1,00	9,00
TPM	0,00	0,00	0,00	1,00



2-4. ábra. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1949-1988); saját kutatómunka alapján szerkesztve

Fontos ismerni, hogy jelenleg az iparban milyen karbantartási stratégiákat alkalmaznak, továbbá, hogy ebben a században karbantartástervezést, milyen projekttervezési eszközök, módszerek. Célom, hogy bemutassam a 2.1, 2.2 és majd a 2.3. fejezetekkel, hogy bemutassam, hogy vannak-e kapcsolódási pontok a karbantartástervezés és a projekttervezési módszerek között. Ha igen, melyek azok, ha nem, akkor hol lehetne még javítani a karbantartástervezésen. A 2.3. fejezet könnyebb megértéséhez megkerülhetlen a 2.1., illetve a 2.2. fejezetek megismerése, melyekben stratégiáról stratégiára és módszerről módszerre mutatom be, hogy milyen módszerekkel és eszközök álltak és állnak a karbantartók rendelkezésére, hogy karbantartástervezésüket egyszerűsíteni tudják.

### 2.1.1. Hibáig tartó üzemelés

A hibáig tartó üzemelést <sup>3</sup> még a mai napig alkalmazzák, de jóval megfontoltabban. A szakirodalmi elemzés ábráján is látható, hogy még 2019-es publikációkban is megjelenik (6-1. vagy a 6-2. ábrákat tekintve), viszont alkalmazása a vállalatoknál egyre inkább háttérbe szorult (Palmer, 2013). A technikai eszközök viszonylag egyszerűek és túlméretezettek voltak. Nem volt szükség módszeres karbantartásra, elegendőnek bizonyultak a tisztítási, javítási és a kenési munkák (Nyman és Levitt, 2001).

A karbantartók célja, hogy minden **hibáig tartó üzemelést** -, amennyiben lehetséges - elkerüljenek (Barlow és Hunter, 1960).

A hibáig tartó üzemelés során a hozzáállás a technikai eszközök mindenkori műszaki állapotához, hogy mellőzik, mintsem alkalmaznának bármiféle stratégiát. Kétségtelen, hogy az eszközök egy részénél ez a leghatékonyabb megoldás (Gaál, 2003).

A módszer előnye, hogy a kezelő minimális továbbképzésén felül <sup>4</sup>, jelentéktelen mennyiségű és értékű alkatrészkészleten kívül egyéb beruházást, illetve anyagi ráfordítást nem igényel. Ugyanakkor az alkatrészek kihasználtsága rendkívül magas, hiszen a

---

<sup>3</sup>Használjuk még a reactive maintenance, run to failure, üzemzavar-elhárítás elnevezéseket is.

<sup>4</sup>Továbbképzés csak abban az esetben valósítható meg, ha megfelelő szakmai végzettséggel és tapasztalattal már rendelkeznek a karbantartók.

beépített élettartamot maradéktalanul kihasználják (Németh, 2015b). Az adott eszközt addig használják, amíg teljesíti a tőle elvárható funkciókat. Meghibásodás esetén pedig a karbantartók megteszik a szükséges és megfelelőnek vélt intézkedéseket (Turcsányi, 1999).

Nyilvánvaló hátránya a mérhetőség hiánya és alacsony szintű az ilyen módon karbantartott eszköz megbízhatósága.<sup>5</sup> Magas szintű a súlyos és másodlagos hibák jelentkezésének veszélye, a felhasznált karbantartói munkaóra és a cserealkatrészek költsége.

A hibáig tartó üzemelés rendszere a '40 -es évek végéig kizárólagosan (2-3. ábra) jellemezte az ipari jellegű felhasználókat, de az eszközök egy részénél napjainkban (21. században) is ez a leghatékonyabb megoldás (6-1. ábra). Megfelelő szakmai ismeretekkel és tapasztalatokkal rendelkező gépkezelő folyamatos felügyelete mellett ritkák a valóban váratlan meghibásodások.

A fejlett ipari országokban az egyszerű karbantartási rendszerrel párhuzamosan felismerték a karbantartásnak a meghatározó szerepét, ami a keletkező hibák megelőzésében mutatkozik meg. Ezért az egyszerű karbantartást fokozatosan felváltotta a tervszerű megelőző karbantartás, amely a váratlan meghibásodások elkerülését tekinti fő feladatának.

### 2.1.2. Merev ciklusú karbantartás

A bekövetkezett hibák javítására koncentráció helyett a tervszerű megelőző karbantartás nagyobb százalékban kezdett teret hódítani a karbantartás területén (lásd: 2-4. ábrán). A **tervszerű megelőző karbantartás (TMK; preventive maintenance - PM)** - használjuk még a **merev ciklusú karbantartás**; elnevezéseket is - karbantartási rendszer, a hibák megelőzését, a váratlan meghibásodások, leállások kiküszöbölését tekinti fő feladatának, meghatározva a két karbantartás közötti maximálisan ráfordít-

---

<sup>5</sup>Több az a berendezésem, amelyeket egyáltalán nem lehet mérni. Amennyiben lehetséges volna, a vállalatok számára nem érné meg. Költséghatékonyabb eljárás a vállalatok számára, ha csak akkor cserélik ki az alkatrészeket, mikor már teljesen elhasználódnak.

ható napok száma (Dubovánszky, 1983) . A berendezések, berendezésegységek állandó működőképes állapotát a rendszeresen ismétlődő tervszerű vizsgálatokkal és javításokkal érik el (Cowick, 1989). Karbantartáskor a gépek ápolásán, gondozásán, vizsgálatán kívül elvégzik a szükséges beállításokat, valamint a legkisebb javításokat. Javítások alkalmával a gép részleges vagy teljes szétszerelése mellett, a meghibásodás mértékétől függetlenül javítják vagy kicserélik azokat az alkatrészeket, részegységeket, amelyek további (becsült) élettartama várhatóan rövidebb, mint a következő javításig terjedő idő (Németh és Kosztyán, 2012; Németh és Kosztyán, 2014a). Legfőbb célja, hogy a berendezések megbízhatósága állandó legyen, amelynek célszerű mértékét a szükséges biztonsági és gazdasági megfontolások döntenek el. A TMK gazdasági hatása könnyen felmérhető a költségek csökkenéséből, a gépek, járművek élettartamának növekedéséből. A tervszerűen karbantartott gépek, járművek munkája és üzemképessége majdnem zavartalan. A TMK rendszer alkalmazását egyéb módszerekkel szükséges kombinálni, nagy bonyolultságú és nagy értékű berendezések karbantartásánál.

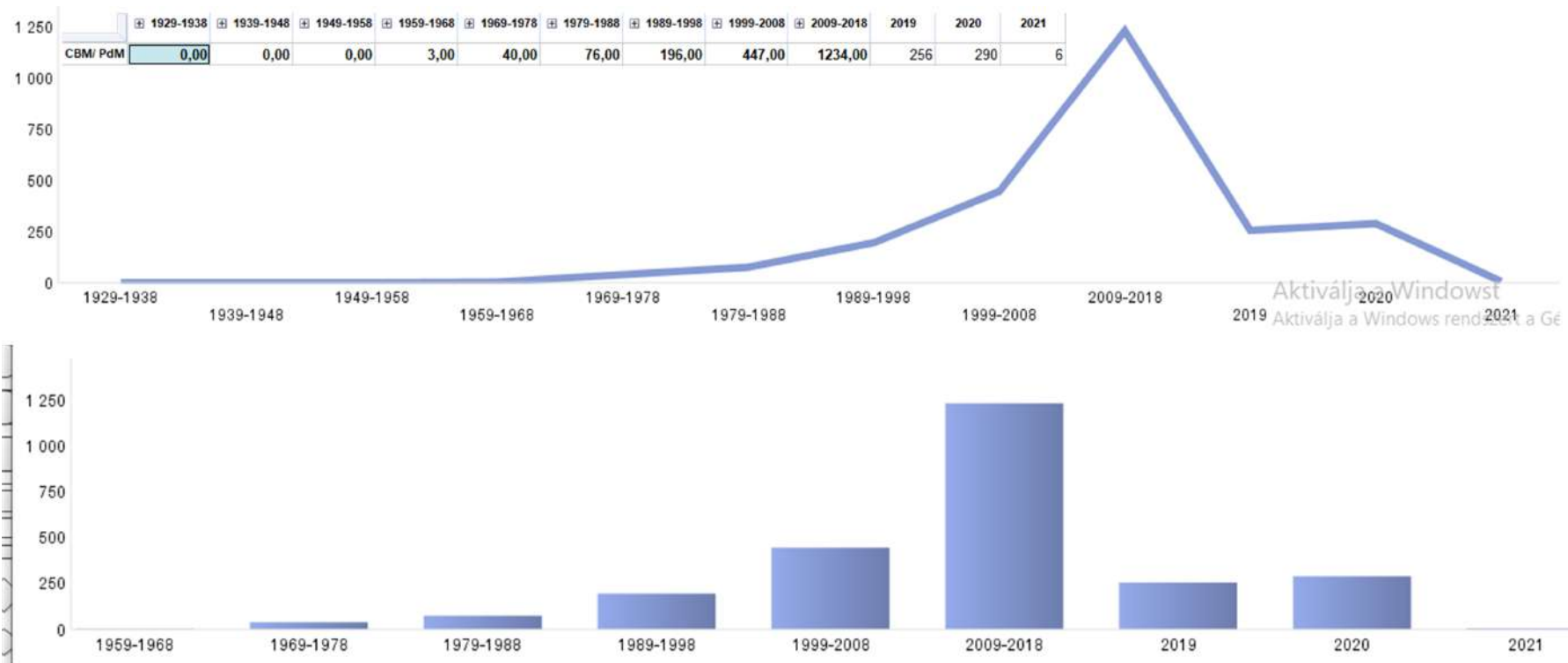
Ezt a nemzetközi szakirodalomban tett kereséseim is alátámasztották, mert az 1939-1959-es évek között megjelent publikációk a TMK (**tervszerű megelőző karbantartás**; használjuk még a **merev ciklusú karbantartás**; **preventive maintenance - PM** elnevezéseket is) területén megduplázódtak az 1929-1939-es időszakhoz képest, amely az 1959-1969-ös időszakra tovább erősödött és dominánssá vált (részletek megtekinthetők a 6-3. ábrán). Ahogy a hibáig tartó üzemelésnél is tapasztaltam, ennek a stratégiának megjelenésének idejében is eltérés mutatkozik a publikációk vizsgálata során, amely a 2-1. ábrát és a 6-3. ábrát összehasonlítva is látható.

### 2.1.3. **Állapotfüggő karbantartási stratégia**

Az 1960-as években (ahogy ezt a 2-5. ábrán is láthatjuk) nem sokkal a TMK elterjedését követően egy gyorsabb ütemű fejlődés eredményeként megjelent az **állapotfüggő karbantartás (Condition Based Maintenance - CBM)** és az "**állapotjelző karbantartás**" (**Predictive Maintenance - PdM**), amit a diagnosztikai eljárások bevezetése

tett lehetővé (Kovács, 2004).

A műszaki állapotvizsgálat alapján működtetett fenntartási rendszer alkalmas arra, hogy az üzemből való kiesés mértékét csökkentsék. Nemcsak a váratlan meghibásodások száma csökken, hanem a nagyjavítások közötti ciklusidők is növelhetők, illetve csökkenthetők a nagyjavítások száma is (Eichler, 1982). Ez a fajta karbantartási filozófia megfelelő alapot biztosított, hogy tervezni tudják a termelő szervezetek berendezéseik karbantartását (Gulyás, 1966). A műszaki állapotvizsgálaton alapuló fenntartási rendszer létrehozása túlt akkoriban a leggazdaságosabbnak, ennek ellenére nem terjedt el.



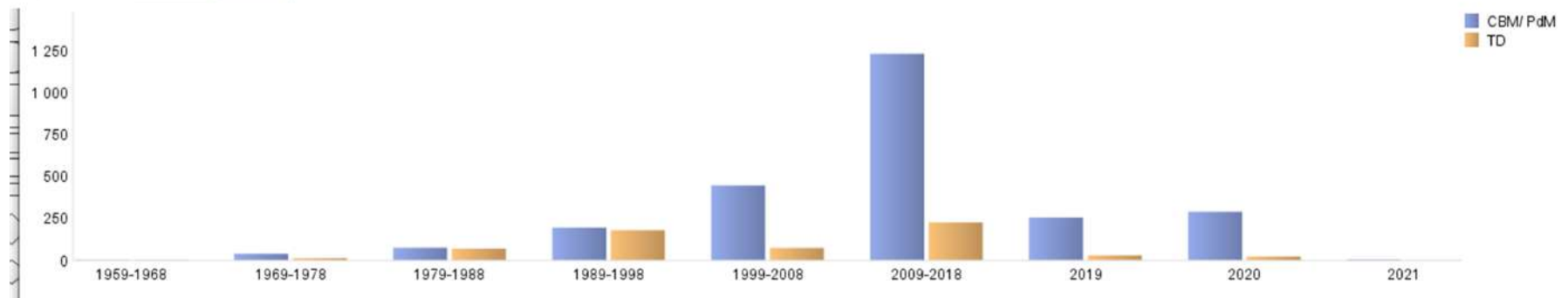
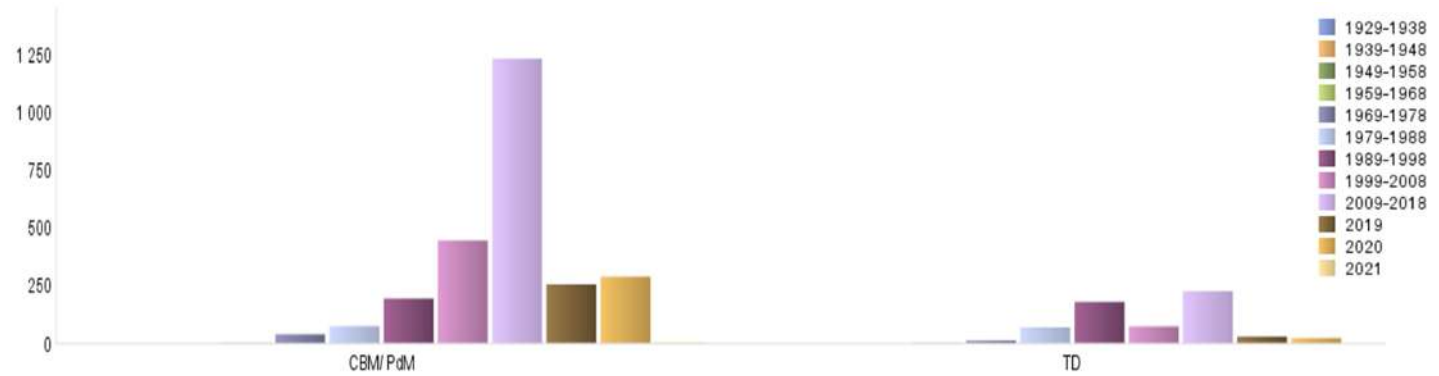
2-5. ábra. Az állapotfüggő stratégia megjelenése a nemzetközi szakirodalomban (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve

1970-es évektől kezdődően a karbantartáselmélet jelentős változásokon ment át. A változás folyamata az iparban egyre nagyobb mértékben fokozódott. A változások világszerte a karbantartásra szoruló technikai eszközök számában és a karbantartás irányításában is tapasztalhatók voltak. A karbantartás hatékonyságának növelése érdekében újabb elvek jelentek meg (lásd: 2-6., 2-7. ábrákat), amelyek a karbantartás alapjait nem érintették. Elsősorban a szervezési, döntés-előkészítő és támogató jellegűek voltak (és azok is a mai napig).

A későbbi években egyre csak növekedett a mennyisége azoknak a nagyszámú részegységeknek, alkatrészeknek, amelyre nem volt alkalmazható és ma sem alkalmazható hatékonyan a TMK, állapotfüggő vagy állapotjelző karbantartás. Az egyre növekvő automatizálás, függőségünk növekedése a technikai berendezésektől és rendszereink integráltságától is azt eredményezte, hogy a meghibásodások hatása a minőségi előírások betartását is veszélyeztetheti (Garbatov és Guedes Soares, 2009; Rausand, 1998).



	CBM/ PdM	TD
1929-1938	0,00	0,00
1939-1948	0,00	0,00
1949-1958	0,00	0,00
1959-1968	3,00	3,00
1969-1978	40,00	13,00
1979-1988	76,00	71,00
1989-1998	196,00	181,00
1999-2008	447,00	75,00
2009-2018	1234,00	227,00
2019	256	30
2020	290	24
2021	6	1

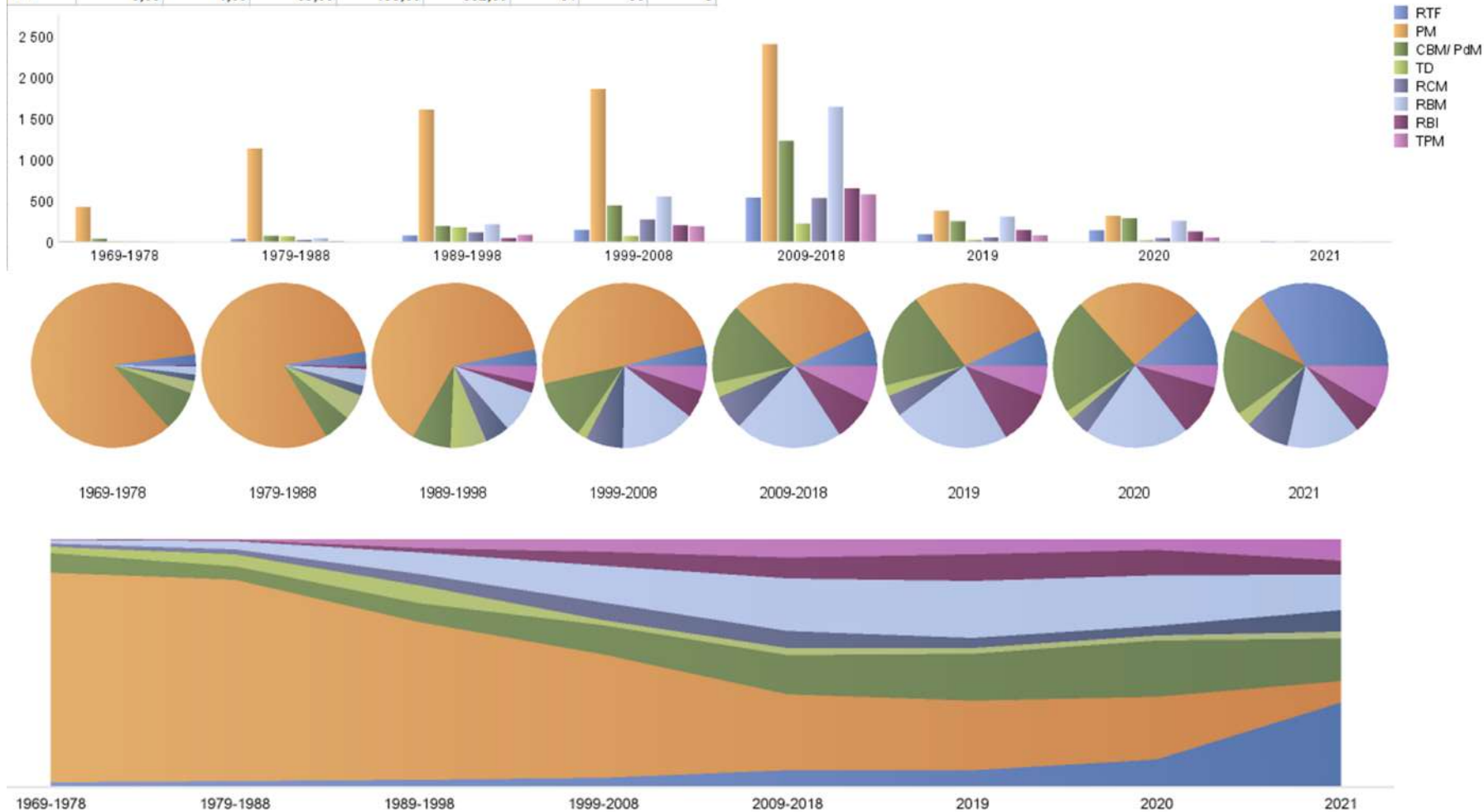


2-6. ábra. Az állapotfüggő és a műszaki diagnosztikán alapuló karbantartási stratégiák megjelenése a nemzetközi szakirodalomban (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve

A megnövekedett termelési elvárások a gépek megbízhatóbb működését igényelte. Az alkalmazott stratégiák már nem voltak megfelelőek, újabbakra volt szükség. A számítástechnika lehetővé tette a meghibásodások nyilvántartását, azok sokoldalú elemzését. A meghibásodás illetve a megbízhatóság valószínűsége és az előírt határértékek alapján előre meghatározhatóvá váltak a javítás várható igényei és időpontjai (Kovács, 2008b; Smith, 1993). Számos olyan meghibásodás létezik, amely nem előzhető meg, vagy nem csökkenthető hatékonyan bármilyen körülményben végezzük el a nagyjavítást (Awank, 2003; Narayan, 2004; Alvarez és tsai., 2020).

Az egyre növekvő függőségünk növekedése a technikai berendezésektől és rendszereink integráltságától is azt eredményezte, hogy a meghibásodások hatása a minőségi előírások betartását is veszélyeztetheti. A lehető leghosszabb ideig kell fenntartani a technikai eszközök üzemképességét, a technikától való függőségünk növekedése, a befektetés maximális megtérülésének biztosítása érdekében (Garbatov és Guedes Soares, 2009; Rausand, 1998).

	1969-1978	1979-1988	1989-1998	1999-2008	2009-2018	2019	2020	2021
RTF	11,00	38,00	80,00	150,00	543,00	96	145	12
PM	428,00	1143,00	1617,00	1869,00	2415,00	383	323	3
CBM/ PdM	40,00	76,00	196,00	447,00	1234,00	256	290	6
TD	13,00	71,00	181,00	75,00	227,00	30	24	1
RCM	6,00	27,00	121,00	275,00	539,00	58	49	3
RBM	8,00	47,00	216,00	557,00	1651,00	311	260	5
RBI	1,00	9,00	48,00	205,00	657,00	148	130	2
TPM	0,00	1,00	89,00	193,00	582,00	81	56	3

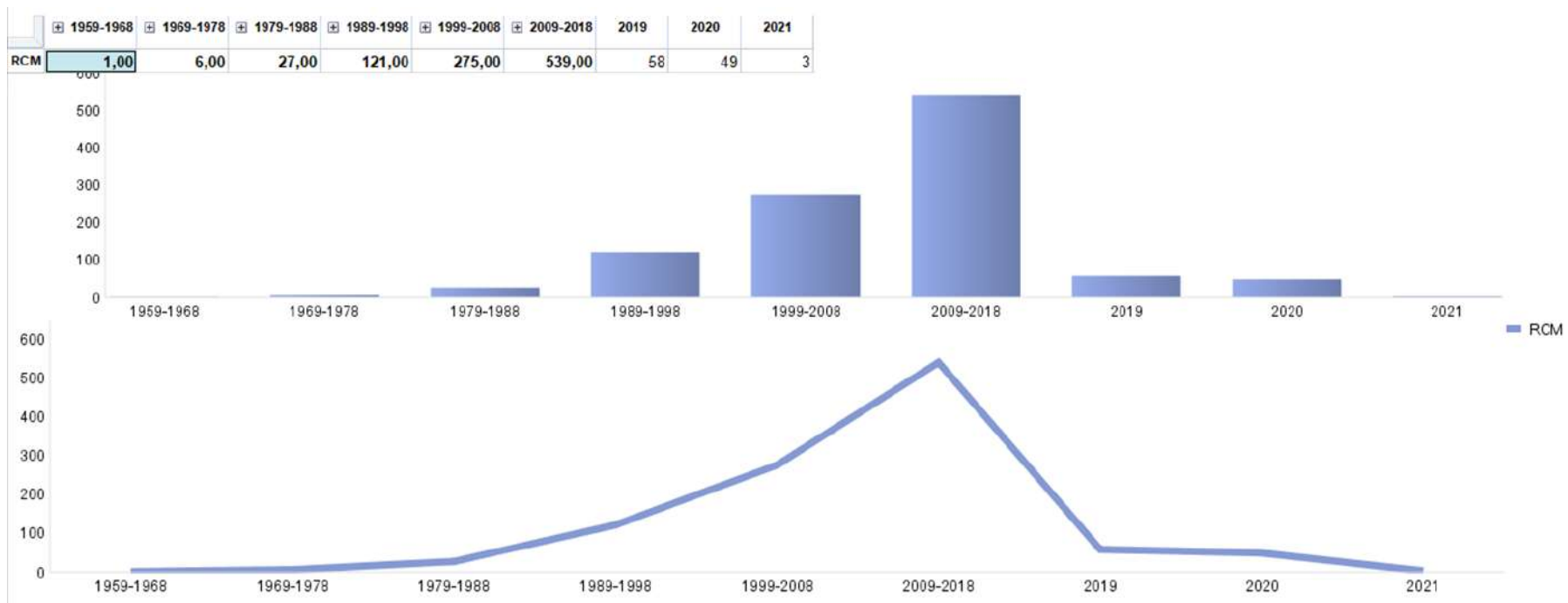


2-7. ábra. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1969-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve

#### 2.1.4. Megbízhatóság központú karbantartási stratégia

Számos olyan meghibásodás létezik, amely nem előzhető meg, vagy nem csökkenthető hatékonyan bármilyen körülmények között végezzük el a nagyjavítást, még a meghatározó hibamód pontos ismeretében sem (Awank, 2003; Narayan, 2004; Braglia és tsai., 2019). Nagyszámú olyan részegység, alkatrész létezik, amelyre nem alkalmazható hatékonyan egyetlen korábbi karbantartási stratégia.

A cél, hogy a berendezések magas megbízhatósági szinten töltsék be a funkciójukat, melyhez párosuljon költségtakarékosság is. A megbízhatóságon a hibamentes működés valószínűségét értjük. Egy olyan tulajdonság, amely 0 és 1 közötti számértékkel megadható. A **megbízhatóság alapú karbantartási (Reliability Centered Maintenance - RCM)** stratégia követésével már képesek lehetünk meghatározni meghibásodások keletkezésének törvényszerűségeit, azok előrejelzésének módjait, a megbízhatóság növelésének lehetőségeit és az ellenőrzésének módszereit (Carazas és Souza, 2010). A stratégia megjelenését 2-7. és a 2-8. ábrák is szemléltetik.



2-8. ábra. A megbízhatóság központú karbantartási stratégia megjelenése a nemzetközi szakirodalomban (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve

Az új stratégia kialakításában meghatározó szerepet töltött be a Szövetségi Repülési Ügynökség (Federal Aviation Agency - FAA) tanulmánya (Bazovsky, 1961). A tanulmányban választ kívántak adni a rohamosan emelkedő karbantartási költségekre, az alacsony szintű megbízhatóságra, valamint ehhez kapcsolódóan a hagyományos időalapú karbantartás alacsony hatékonyságára (Eisinger és Rakowsky, 2001). Az RCM alapelve szerint minden berendezés meghibásodhat, és rendelkezik hasznos élettartammal, azonban egyik feltételezés bekövetkezése sem szükségszerű (Péczy, 2003; Moubray, 2001).

A megbízhatóság fogalma a terméknek csak egy működési tulajdonságára, a hibamentességre <sup>6</sup> vonatkozik. Ez az állapot tovább nem javítható, első meghibásodásig működő termékek, készülékek esetében. Olyan termékek esetében, amelyek már javíthatók, ez a meghatározás már nem kielégítő, mert a karbantartási tevékenységet és a karbantartási időt nem veszi figyelembe. Ezeknek a termékeknek esetében a karbantarthatóság mellett a tartósság is fontos tényező, amely a termék eredő megbízhatóságát befolyásolja (Janik és tsai., 2000b). A megbízhatóság definíciójának fejlesztése az ipari berendezések, technológiai rendszerek szempontjából is alapvető jelentőségű, mert az ipar által használt berendezések is általában javítható termékeknek minősülnek (Bloom, 2006; Kovács, 2008a).

Ahogy az RCM-et úgy vele párhuzamosan egy másik előrelátó/ előre jelző, prediktív karbantartást is előnyben részesítettek a '70-es évektől kezdődően.

---

<sup>6</sup>A karbantarthatóság, a javíthatóság, a termék tartóssága, szállíthatósága, tárolási lehetőségei is befolyásolják a hibamentességet. Fenntarthatóságnak vagy karbantarthatóságnak nevezzük, a termékeknek azon képességét, hogy meghatározott használati feltételek között olyan állapotban tartható, illetve olyan állapotba állítható vissza, amelyben előírt funkcióját teljesíteni tudja. Lehetséges ez akkor, ha a karbantartását adott feltételek között és előírt eljárások mentén, valamint erőforrások felhasználásával végzik (Janik és tsai., 2000a). Ehhez kapcsolódik a szervezetnek azon tulajdonsága, hogy adott körülmények között rendelkezésre bocsájtja azokat az erőforrásokat és eszközöket, amelyek az adott karbantartási politika mellett a termék karbantartásához szükségesek. Ezt karbantartás-ellátás képességnek (fenntartás-támogatás képesség) nevezzük (Xiaofei és tsai., 2015). A leírt két tényező befolyásolja a terméknek azt a használhatóság képességét, hogy adott időpontban vagy időszakban, adott feltételek között ellátja előírt funkcióját, feltéve, hogy a szükséges külső erőforrások rendelkezésre állnak. A meghibásodás egy esemény, amelynek során a termék elveszíti azt a képességét, hogy előírt funkcióját ellátssa, illetve ennek során a termék hibaállapotba kerül (Gaál és Kovács, 2010).

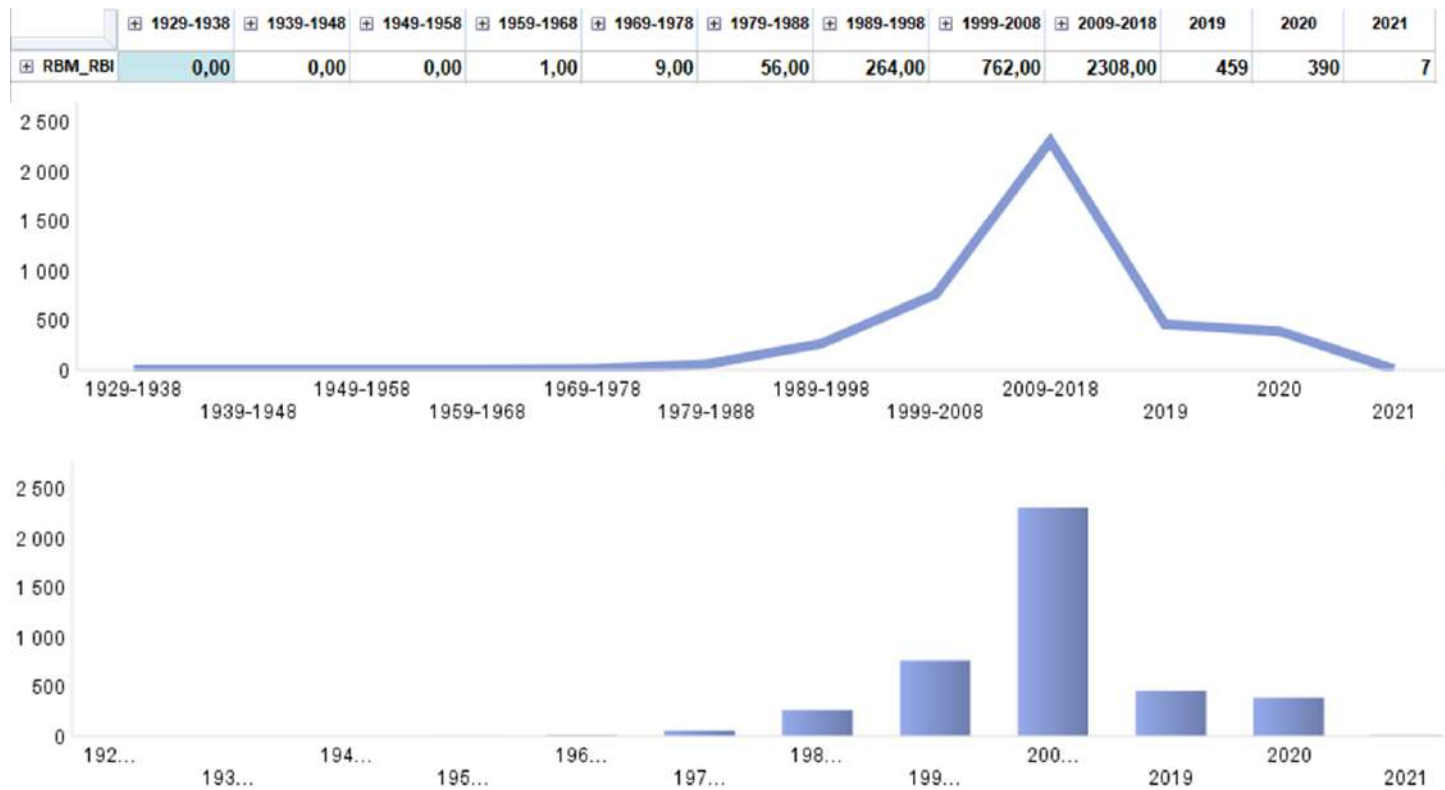
### 2.1.5. Kockázatalapú karbantartás

Egyre több területen ismerhetők fel a megbízhatóság mellett a kockázatalapú karbantartási stratégia (Risk Based Maintenance - RBM; szinonimaként még használják az RBIM (Risk Based Inspection and Maintenance) - rövidítést) gyökerei (Levitt, 2003; Selvik és Aven, 2010). Az RBM célja a biztonság <sup>7</sup> fokozása mellett a karbantartási költségek minimálisra csökkentése (Blasing, 1988). Az RBM alkalmas arra, hogy különböző típusú berendezések összehasonlíthatók legyenek. A stratégia kiterjed arra, ha bekövetkezik a meghibásodás, akkor milyen káresemények következhetnek be, és ezek milyen következménnyel járhatnak (Barlon és Proschan, 1964).

Első publikációk ezeken a területeken az 1955-ös évekre tehetőek, de a karbantartás területén az 1985-ös évektől kezdve folyamatosan növekedett. Ezt a 2-9, és a 2-7. ábrák is mutatják. Nagyméretű technológiai rendszerek jöttek létre, és ezek üzemeltetése során fellépő problémák kezelésére már a korábbi karbantartási stratégiák nem nyújtottak kielégítő megoldást (Levitt, 2003).

---

<sup>7</sup>A biztonság ebben az értelemben kiterjed az emberi biztonságra, a környezeti biztonságra és a természet zavartalan működésére. Minden esetben a meghatározó pozícióban lévő, vagy elsődleges funkciókat ellátó berendezéseket és ezek elemeit vonjuk vizsgálat alá. Ebben a megközelítésben kockázat alatt az adott elem meghibásodás következményeinek szorzatát értjük.



2-9. ábra. A kockázatalapú karbantartási stratégia megjelenése a nemzetközi szakirodalomban (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve



A RBM vagy RBIM stratégia bevezetését megelőzően kellő mennyiségű és minőségi tartalommal bíró, hozzáférhető, módszer bevezetését megelőző időszakra vonatkozó adatra van szükség (Kovács, 1991; Arunraj és Maiti, 2007). A további lépések az előélet részletes ismeretében készített állapotfelmérés eredménye alapján követik majd egymást (Mayo, 1933). A berendezések, berendezésegységek logikai felépítését, illetve működési mechanizmusát tekintve már az előzetes elemzési szakaszban egyértelműen megjelennek a kockázat (RBM), illetve az állapotfüggő karbantartás elemei (Kovács és Vitek, 1991). A vizsgálatok megtervezése során a "MIÉRT", "KI", "HOL", "MIT", "MIVEL", "MIKOR", "MENNYIÉRT" és "HOGYAN" kérdésekre kell választ adni (Peters, 2015). A biztonságos üzemeltetés logikai láncolatának "szenvető alanyai", vagyis az egymásra épülő szervezeti egységek, műszaki berendezések, végezetül az adott szerkezetre még számottevő befolyással bíró gépelemek, helyezkednek el a láncolat legalján (Lenkeyné és tsai., 2004).

Az RBM alkalmas arra, hogy különböző típusú berendezések összehasonlíthatók legyenek. Az eljárás során nem csak az adott berendezés, alkatrész állapotának meghatározására terjed ki a stratégia, hanem arra is, hogy ha bekövetkezik a meghibásodás, akkor milyen káresemények következhetnek be, és ezek milyen következménnyel járhatnak (Barlon és Proschan, 1964). Innen következik az, hogy a vizsgálat után meghatározott kockázati szintek lehetővé teszik azt, hogy amelyik alkatrésznél vagy berendezésnél alacsony a károsodási kockázati szint, ott csökkentsék a karbantartási ráfordításokat és ahol szükséges, ott pedig fokozott figyelemmel és határozott tervvel járjanak el a károsodások elkerülése végett. Ez a karbantartási stratégia módosításával, illetve pontosításával érhető el.

A disszertációm bevezetőjében az alábbiakat írtam: *"A tevékenységeket általában többféleképpen is meg lehet valósítani, melyekhez különböző költség, idő és minőségi paraméterek rendelkeznek. A karbantartást tervezőnek (projektmenedzser) e paraméterek figyelembevételével kell az egyensúlyt megtalálnia, hogy valamennyi javító-megelőző tevékenységet a(z idő-, költség) korlátokat nem túllépve végre tudja hajtani/hajtatni."* Ahhoz, hogy tervezni tudjuk karbantartásunkat, nem csak berendezésegységekben, vagy berendezés-

elemekben és azok kritikusságában vagy megbízhatóságában kell gondolkodnunk, hanem berendezésekben és azok rendszerében. Az üzemek együtt és külön-külön megbízható, alacsony kritikusságú működését ezen berendezések mért értékei adják. Azt, hogy ezeket, hogyan tudjuk számszerűsített adatokká tenni a következő fejezetekben fejtettem ki.

A termelési folyamatok növekvő automatizálásával a karbantartás kritikussá vált. A hagyományos karbantartó személyzet már nem volt képes a növekvő számú automatizált berendezés karbantartására. Ésszerű döntésnek tűnt, hogy a gépkezelőket teszik felelőssé saját berendezéseik rutinszerű karbantartásáért. Nemcsak a karbantartó személyzet, de az operátorok, termelő személyzet szerepe is módosult az új karbantartási rendszer kialakulásával.

### 2.1.6. Teljeskörű hatékony karbantartás

A teljeskörű hatékony karbantartás (**Total Productive Maintenance - TPM**) olyan karbantartási és termelési rendszer, amelynek célja a berendezések általános hatékonyságának folyamatos növelése, valamint a kényszerleállítás és meghibásodás nélküli termelés - mint elvi cél - elérése (Péczy és tsai., 2012; Suzuki, 1992; Geraghty, 1996; Levery, 1998). A gyártórendszerek hatékonyságának növelését a gépi állásidők csökkentésével, a termékminőség által okozott veszteségek megszüntetésével célozza meg. A TPM 5 alappilléreinek (a pillérekről és azok bemutatásáról részletesebben (Nakajima, 1989; Al-Radhi és Heuer, 1995; Péczy, 2004; Péczy, 2009) írásokban olvashatnak) egyik legfontosabb alapelve a folyamatos, belső fejlődés támogatása (Nakajima, 1989; Suzuki, 1994). Alapvető elvárása a TPM stratégiát alkalmazó vállalatoknak, hogy a napi működés során indokolatlanul a lehető legkevesebbet kelljen foglalkozni a berendezésekkel (Ahuja és Khamba, 2008).

Egy pillért emelnék ki az alap 5 közül. A *veszteségforrások eliminálása* pillér maga a TPM legerősebb eszköze, amely a jelentős veszteségek megszüntetésén fáradozik. Itt rögzítik, elemzik és vonják le a következtetéseket, hogy a berendezéseik megbízhatóságát hogyan tudják megtartani és növelni (Alseiri és Farrell, 2020; Singh és tsai., 2020). A TPM-ben a karbantartás hatékonyságát ugyan úgy mérik, mint az RCM vagy az RBM

stratégiák alkalmazása során (Németh és Kosztyán, 2014b; Khisamova és tsai., 2019).

A TPM stratégia már nem a klasszikus értelemben vett karbantartással és annak korszerűsítésével foglalkozik. Itt már nem csak a berendezéselemekkel, berendezésekkel (lásd 2.1.2. és 2.1.3. fejezetekben leírtakat), rendszerekkel (lásd 2.1.4. és 2.1.5) foglalkoznak, hanem a vállalat egészét nézik, hogy az mennyire hatékony. Ezt a hatékonyság növelését és fenntartását szolgálja a TPM rendszere (Annamalai és Suresh, 2019).

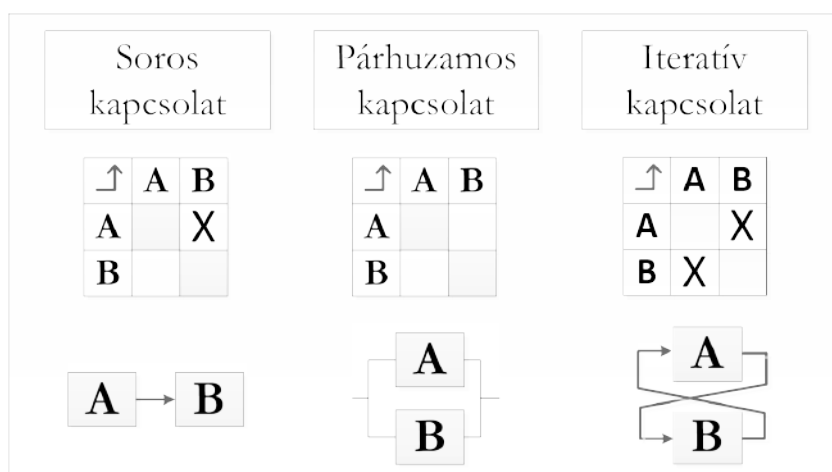
A klasszikus stratégiáktól elkülönítve Magyarországon az 1990-es években kezdett elterjedni. Azonban a nemzetközi területeken már az 1980-as években voltak jelei (lásd: 2-7. ábrát), de csak az 1985-ös években terjedt el nemcsak az iparban. A nemzetközi publikációkat vizsgálva, az első megjelenések 1985-re tehetőek, amelyek 2000-2019-es időszakra hatszorosára növekedtek. A korábban bemutatott stratégiák önállóan is képesek ellátni a feladatukat, azonban egymás kiegészítéseként komplexebb rendszert képesek alkotni.

A karbantartási stratégiák ismerete nem elegendő. A megbízhatóság elemzésére tudnunk kell rendszermodellt is készíteni, amellyel le tudjuk írni a rendszer megbízhatóságának grafikus viselkedését. A modellek segítségével megjeleníthetjük, milyen oksági és gyakoriságelemzési módszereket használhatunk a hibák felderítéséhez, elemzéséhez, és milyen lehetőségeink vannak a függőségek kezelésére.

### **2.1.7. Komplex rendszerek megbízhatósága**

Egy adott berendezés üzemeltetési megbízhatósági vizsgálatának első fázisa a megbízhatóságorientált hibaanalízis. Ennek során alapvető feladat a berendezés megbízhatósági struktúrájának a feltérképezése, a meghibásodási kritériumok definiálása, a meghibásodások több szempontú csoportosítása és kritikus hibaokok kiválasztása. A megbízhatósági blokk diagram (**Reliability Block Diagram- RBD**) a technológiai rendszer elemeit és azok kapcsolatát tartalmazza. A megbízhatósági diagram nem az elemek fizikai kapcsolódását mutatja, hanem a rendszer működéséhez szükséges elemek közötti kapcsolatokat/kapcsolatokat. Az RBD segítségével a rendszer megbízhatóságát (**Total System Relia-**

**bility - TSR**) (Bhattacharjya és Deleris, 2012) határozhatjuk meg (a helyes működés valószínűsége egy adott időintervallumban). Hasonlóan a megbízhatósági blokk diagram segítségével számítható ki a rendelkezésreállítás (egy adott időintervallum mekkora részében működőképes a rendszerünk) (Chelson és Eckstein, 1971; Wang és tsai., 2020). Az RBD megmutatja, hogy milyen logikai kapcsolat van a rendszer működéséhez szükséges elemek között. A blokk diagramnak számos változata ismert (ezekről részletesebben Gertsbackh (Gertsbakh, 2000), illetve Idhammar (Idhammar, 1999) monográfiáiban olvashatunk). A modellben, minden berendezéselemről feltételezzük, hogy bármely másiktól függetlenül működik. Egy rendszerelem lehet akár egy egész részrendszer, egy részegység, komponens vagy bármilyen más része a rendszernek. Az egyszerű RBD-k soros vagy párhuzamos elemekből, vagy ezek kombinációiból épülnek fel. A blokkdiagram módszerről és annak lépéseiről részletesebben Moubray publikációiban olvashatnak (Moubray, 1997; Moubray, 2001), itt csak egy összefoglaló táblázatot mutatok (lásd 2-10. ábrán), amely a megbízhatósági blokk diagram alapvető építő elemeit (lásd: 2-10. ábrát) és azok mátrixos reprezentációit ábrázolják (ezeket felhasználásra kerültek a modellben).



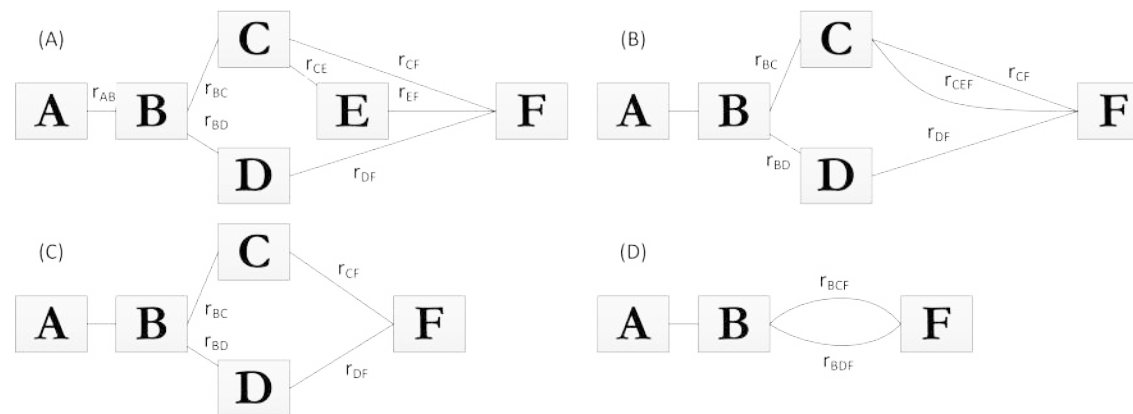
2-10. ábra. A megbízhatósági blokk diagram alapvető építő elemei és azok mátrixos reprezentációi; saját kutatómunka alapján szerkesztve

Természetesen nem minden rendszert tudunk ilyen egyszerű alapelemekkel leírni.

Gyakran előfordul, hogy olyan rendszereket kell modellezni, ahol is nem lehet a rendszert ÉS-VAGY alrendszerekre szétbontani, ekkor segíthetnek az ún. *igazságtáblával* (**Event Space Method - ESM**) Kovács és Viték, 1991; Wang, 2002; Wang és Elhag, 2008; Kristjanpoller és tsai., 2020, vagy a *működési útvonalak* (**Path-Tracing Method - PTM**) módszerével történő rendszer megbízhatóság-számolások (Shiker, 2013; Al-Rawie és tsai., 1989), vagy a számolásigényesebb szimulációs eljárások (Kovács, 2008a). Az ESM módszer nagy előnye, hogy gyakorlatilag bármilyen rendszerstruktúra esetén meghatározható a rendszer eredő megbízhatósága. Ugyanakkor nagy hátránya az eljárásnak, hogy valamennyi rendszer elem működés/nem működés kombinációját számba kell venni. Ez pedig  $n$  elem esetén  $2^n$  lehetséges (működési- vagy hiba) állapotot jelent. A PTM során a „működési” utak valószínűségeinek unióját vesszük alapul. Ebben az esetben az utak metszeteinek levonására is szükség van, hogy a teljes rendszerre számolt megbízhatóság ne tartalmazzon redundáns adatokat. Ezért a legrosszabb esetben itt is  $2^n$  lehetséges kombinációt kell számba vennünk.

Alacsonyabb elemszámú rendszerek esetében könnyen számolhatjuk ezekkel a lehetőségekkel a rendszer teljes megbízhatóságát, azonban a gyakorlatban több elemből tevődnek össze rendszereink, így más rendszer megbízhatósági számolás használatát is figyelembe kell venni.

Összetett hálózatok esetében, amennyiben az előző számolások túl bonyolultnak bizonyulnak a hálózat redukciós eljárás (**Network Reduction Method - NRM**) (lásd 2-11. ábrán) lehet segítségünkre. A rendszer teljes megbízhatóságát megőrizve egyedül a méretét (összetettségét) csökkentjük a módszer segítségével (Xiaofei és tsai., 2015).



2-11. ábra. A hálózat megbízhatóságának meghatározása NRM módszerrel; saját kutatómunka alapján szerkesztve


Sok esetben nem egyszerű felismerni, hogy a rendszereken belül mely komponensek párhuzamosak vagy sorosak. Ez tovább bonyolítja a rendszer megbízhatóságának meghatározását (Kang és tsai., 2008). Amennyiben a rendszer lebontható soros és párhuzamos komponens-kombinációkra - amely egy viszonylag egyszerű eljárás - a korábban ismertett számítási mechanizmusok alkalmazásával leírhatjuk a rendszer megbízhatóságát. Azonban vannak bonyolultabb rendszerek, amelyek nem bonthatók le soros, párhuzamos vagy soros-párhuzamos részrendszerekre, hogy számolni tudjuk a fent említett számítások valamelyikével a teljes rendszer megbízhatóságot.

A dekompozíciós eljárás (**Decomposition Method - DCM** (lásd 2-12. ábrán), melynek alkalmazása (pszeudo kódja) látható a melléklet. 6-16. ábráján) a fentiekkel ellentétben egy gyors eljárás, amely a teljes valószínűség elvét alkalmazza. A módszert lépésről lépésre Lenz és Rhodin szerzőpáros ismertette 2011-ben, amelyet felhasználtam a tervezési módszeremhez (Kosztján és tsai., 2015).

Az említett módszerek nem csak abban segíthetnek, hogy meghatározzuk a rendszer megbízhatóságát, hanem abban is, hogy egy-egy berendezésem javítása után mennyivel nő a rendszer megbízhatósága. Modellemben egy statikus modellt alkalmaztam, ahol tehát  $t > 0$  értékét rögzítettem, ugyanakkor a modell képes arra is, hogy a megbízhatóság csökkenését hogyan lehet felhasználni a prediktív karbantartás során, ahol már a megbízhatóság időbeli változását is figyelembe vesszük.

Kutatásom fő célja az volt, hogy az összegyűjtött tervezési eszközökkel, vagy eszközök kombinációjával, hogyan tudom tervezni a rendszerek/ berendezések karbantartás, kombinálva a rendszer megbízhatóság számolásával. Ezért is volt fontos megvizsgálni, hogy milyen tervezési és/vagy tervezést segítő eszközök, módszerek állnak a rendelkezésre.

Napjainkban a karbantartás feladata már jóval túlmutat a vállalati működés támogatásán, hiszen ez a terület fontos szerepet játszik a termelő- és szolgáltató folyamatok hatékonyságának növelésében, ezáltal pedig a szervezetek fennmaradásában és fejlődésében. Ennek megfelelően a karbantartás (és nemcsak a karbantartástervezés) ma már összetett komplex tevékenység. Mivel tevékenységek sorozataként realizáljuk a karban-




□	A□	B□	C□	D□	E□	F□	G□
A□	□	X□	X□	X□	□	□	□
B□	□	□	□	X□	X□	□	□
C□	□	□	□	X□	□	X□	□
D□	□	□	□	□	□	□	X□
E□	□	□	□	□	□	□	X□
F□	□	□	□	□	□	□	X□
G□	□	□	□	□	□	□	□

$$\begin{aligned}
 TSR &= P(S \cap D) + P(S \cap \bar{D}) = \\
 &= P(S | D)P(D) + P(S | \bar{D})P(\bar{D}) \\
 P(s|D) &= r_A r_G \\
 P(s | \bar{D}) &= r_A r_G [1 - (1 - r_B r_E)(1 - r_C r_F)] \\
 TSR &= r_A r_G r_D + \\
 &+ r_A r_G [1 - (1 - r_B r_E)(1 - r_C r_F)](1 - r_D)
 \end{aligned}$$

---

$$\begin{aligned}
 TSR &= P(S \cap BC) + P(S \cap \overline{BC}) = \\
 &= P(S | BC)P(BC) + P(S | \overline{BC})P(\overline{BC}) \\
 P(s | BC) &= r_A r_G [1 - (1 - r_E)(1 - r_F)] \\
 P(s | \overline{BC}) &= r_A r_G r_D \\
 TSR &= r_A r_G [1 - (1 - r_B r_E)(1 - r_C r_F)] + \\
 &+ r_A r_G r_D [1 - [1 - (1 - r_B r_E)(1 - r_C r_F)]]
 \end{aligned}$$



□	A□	B□	C□	D□	E□	F□	G□
A□	□	X□	X□	X□	□	□	□
B□	□	□	□	X□	X□	□	□
C□	□	□	□	X□	□	X□	□
D□	□	□	□	□	□	□	X□
E□	□	□	□	□	□	□	X□
F□	□	□	□	□	□	□	X□
G□	□	□	□	□	□	□	□

2-12. ábra. DCM alkalmazása egy példán egy illetve két elem kiválasztása során; saját kutatómunka alapján szerkesztve



tartást, így célszerű lenne ezeket akár már projektként kezelni.

## 2.2. Projekttervezési módszerek

A projektmenedzsment gyökereit a múltunk nagy kivitelezési munkáival kezdték el magyarázni, mint a gízai piramisokkal, a Kínai Nagyfallal, egy hadjárat megszervezésével vagy akár egy egész birodalom élelmezésével. Amióta az emberek nagyobb feladatokat látnak el, azóta léteznek projektek. Igaz, ez a szó a XX. században jelent meg. Természetesen voltak emberek (megbízottak), akik ezeket összefogták, de általában nem másra, mint addig szerzett tapasztalataikra támaszkodtak. A kérdés ekkor nem az volt, hogy sikerült-e megcsinálni, hanem hogy az menyire is volt hatékony, milyen gyorsan, mennyi erőforrással jutottak el a végeredményhez.

A XIX. - XX. században egyre több helyen hoztak létre gyárakat, amelyek az addig elterjedt céheket és manufaktúrákat váltották. Ezekben a gyárakban akár több száz munkavállaló is dolgozott. Így egyre fontosabbá vált, hogy a lehető legtöbbet kihozzák munkájukból. Egy idő után már további eredményeket úgy értek el, hogy megmondták a munkásoknak, hogy dolgozzanak többet és keményebben.

Tudományosan a kérdéshez (feladatok, tevékenységek tervezése, azok részekre bontása, részfeladatokká leképezése) az 1900-as évek legelején Frederick W. Taylor próbált hozzáállni. A Medivale acélgyár főmérnökeként megfigyeléseket végzett munkafolyamatok ésszerűsítésére vonatkozóan. Lebontotta a munkások feladatait részekre és azokat mérte, ezzel jobban átlátva az egész munkafolyamatot és annak kritikus pontjait. Taylor fő műveit 1903 és 1911 közt írta, amikor is a projektmenedzsment kezdeti lépéseinek másik fő szereplője Henry Gantt bemutatta sávdiagrammját. Az első világháború idején az Amerikai haditengerészetnél dolgozott és a különböző hadihajók megépítését felügyelte. Gantt a hajóépítés folyamatait egészen apró részfeladatokra bontotta le hozzárendelte, hogy egy bizonyos folyamatot mennyi idő alatt végeznek el. Ennek segítségével átlátta, hogy egy-egy hadihajó építése megfelelő ütemben halad vagy esetleges csúszással kell

majd számolni.

Az 50-es években még az eddigiekhez képest is gigantikus projekteket terveztek és szerveztek, amelyekhez már kevésnek bizonyult a Gantt-diagram és az ad hoc módon kialakított informális technikák. Több alkalommal is az állami szervek a privát szférából foglalkoztattak alvállalkozókat. A munkák tervezése, összefogása és ütemezése végett fejlesztették ki az úgynevezett PERT modellt. Tőle függetlenül, vele egyidőben egy másik vállalati csoport kidolgozta a kritikus út módszerét (CPM) - melyekről pár bekezdéssel később hosszabban írok. Az említett módszerek könnyen elterjedtek a civil szférában.

A 60-as években már szükségessé vált, hogy az iparágak projektmenedzsment céljait szervezetek által képviseljék. A szakmai szervezetek megalakulása és munkássága segített abban, hogy a projekteken való gondolkodás minél inkább elterjedjen világszerte. 1969-ben megalapították az Egyesült Államokban a **PMI** (Project Management Institute) szervezetét. Fő gondolatuk az volt, hogy a kidolgozott és több területen is már sikeresen alkalmazott technikák és eszközök közösek, még akkor is, ha hagyományos nagyon különböző iparágakat és projekteket nézünk. A közös "projektmenedzsment" nyelv használata miatt 1981-ben adták ki a **Projektmenedzsment Útmutató** című könyvet, amely tervezési módszereket nem, de a szakma, szakértők által elfogadott szabványokat és gyakorlati útmutatókat annál inkább tartalmazott. A PMI szervezetét megelőzően, viszont az európai projektmenedzserek 1965-ben megalapították a maguk nonprofit szervezetét, melyet **IPMA** (International Project Management Association) néven ismerünk. A Svájcban regisztrált, előbb INTERNET néven az ország szervezeteit, összefogó hálózat 1994-től viseli az IPMA nevet. Mindkét szerveződés ma már az egész világra kiterjedő non-profit szakmai szervezet.

Mivel kutatásaimat a karbantartás módszertani fejlesztés területén végeztem, nem elegendő, hogy csak a karbantartási stratégiák elterjedését térképezzem fel a nemzetközi szakirodalomban. Szükséges, hogy a projektmenedzsment, és ide tartozó módszerek területét is megvizsgáljam. Szintén a scopus.com illetve a sciencedirect online keresőket használtam ehhez. Céлом az volt, hogy olyan későbbiekben is használható vizuális ele-

met alkossak (lásd 2-17. ábra), amely szemlélteti, hogy mikor, milyen módszerek jelentek meg, és hogy azokat kinek a nevéhez fűzhetjük. A keresés végeredményeként összesen 4383 db publikáció szolgált arra, hogy a kronológiát fel tudjam állítani.

Ahogy azt a 2-13. ábrán is láthatjuk 1960-as évekig a **Gantt-diagram** és a LoB módszerekkel íródtak publikációk, amelyeket egyébként még a mai napig idéznek. A 1960-tól kezdődően, már színesebbé vált a publikációkba bevont módszerek palettája (lásd 2-14, 2-15. ábrákat), hiszen megjelentek az első írások **WBS** témakörében és a hálótervezési módszerek megjelenésével egy nagyobb "család" kialakulásának és fejlődésének lehetünk tanúi, köszönhetően a **CPM**, **PERT** illetve az **MPM** megjelenésének.

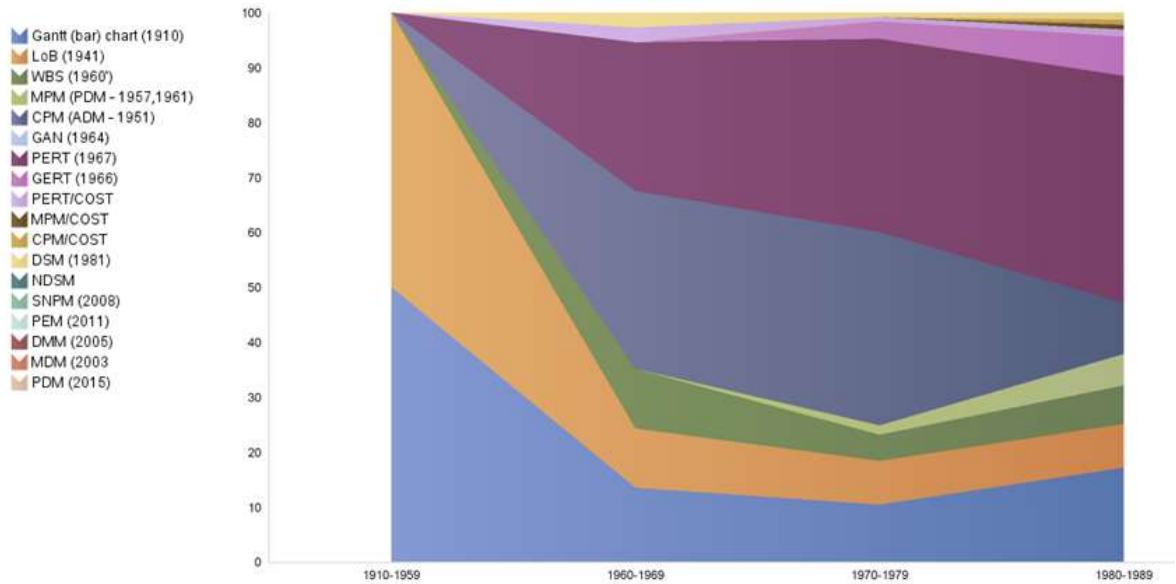
Az összpublikációknak (lásd: 2-16. ábrát) ezek az írások 1%-kát teszik ki, de a XX. században megjelenteknek alapját szolgálják, ezért nem szabad róluk megfeledkezni. 2019-re a megtalálható publikációk 13%-a foglalkozott a Gantt diagrammal, mint vizuális projektmegjelenítési eszköz. LoB és WBS tekintetében megjelent publikációk az összpublikációt 21%-át teszik ki.

A "nagy ugrás", a publikációk számosságának növekedése a CPM, MPM módszerek publikálását (60-as években) követően ugrottak meg.

1990 és 2009 között a publikációk az előző időszakhoz (1970-1989) képest több mint háromszorosára növekedtek (lásd: 2-14., 2-15. ábrákat).

Az 1970-től 1989-ig megjelent (4383 db) publikációk 8 %-ának, míg 1990-től 2009-ig terjedő időszakban már 30%-ának (1336 db tudományos cikk) volt fő témája a CPM és MPM módszereket (lásd: 6-4., 6-5. ábrákat). Így akár ki is jelenthetjük, hogy a publikációs teljesítményeket, amelyet a tudományos élet is elfogadott 1980-as és 1989-es évek között vette kezdetét. A megjelent szakcikk és könyvek (3272 db) 75 %-a az utolsó 19 évben íródtak. De térjünk is vissza az alapokhoz, hogy honnan is indultak a projekttervezési módszerek (lásd: 6-6., 6-7. ábrákat).

	1910-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989
Gantt (bar) chart (1910)	2,00	5,00	13,00	39,00
LoB (1941)	2,00	4,00	10,00	18,00
WBS (1960')	0,00	4,00	6,00	16,00
NET	0,00	23,00	95,00	151,00
MATRIX	0,00	1,00	1,00	3,00

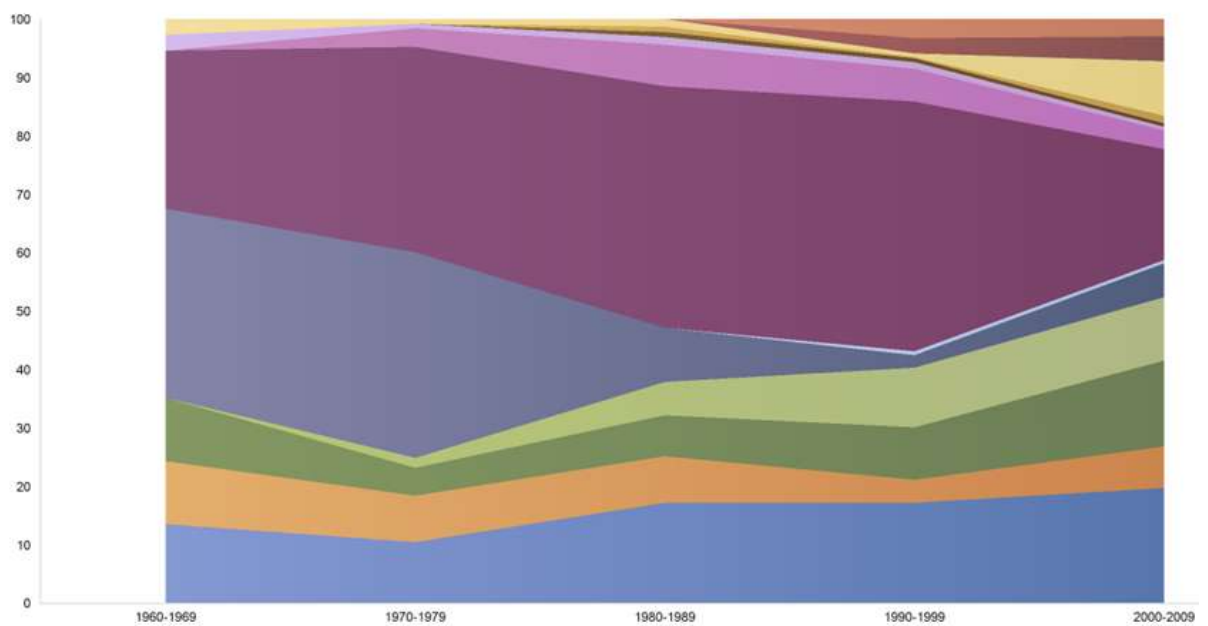


	1910-1919	1920-1929	1930-1939	1940-1949	1950-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989
Gantt (bar) chart (1910)	59,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	39,00
LoB (1941)	34,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	4,00	18,00
WBS (1960')	26,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	16,00
NET	269,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,00	95,00	151,00
MPM (PDM - 1957,1961)	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	13,00
CPM (ADM - 1951)	77,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	44,00	21,00
GAN (1964)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERT (1967)	148,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	44,00	94,00
GERT (1966)	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	16,00
PERT/COST	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	3,00
MPM/COST	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
CPM/COST	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
MATRIX	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	3,00
DSM (1981)	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	3,00
NDSM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNPM (2008)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PEM (2011)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DMM (2005)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MDM (2003)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PDM (2015)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

2-13. ábra. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1910-1988); saját kutatómunka alapján szerkesztve

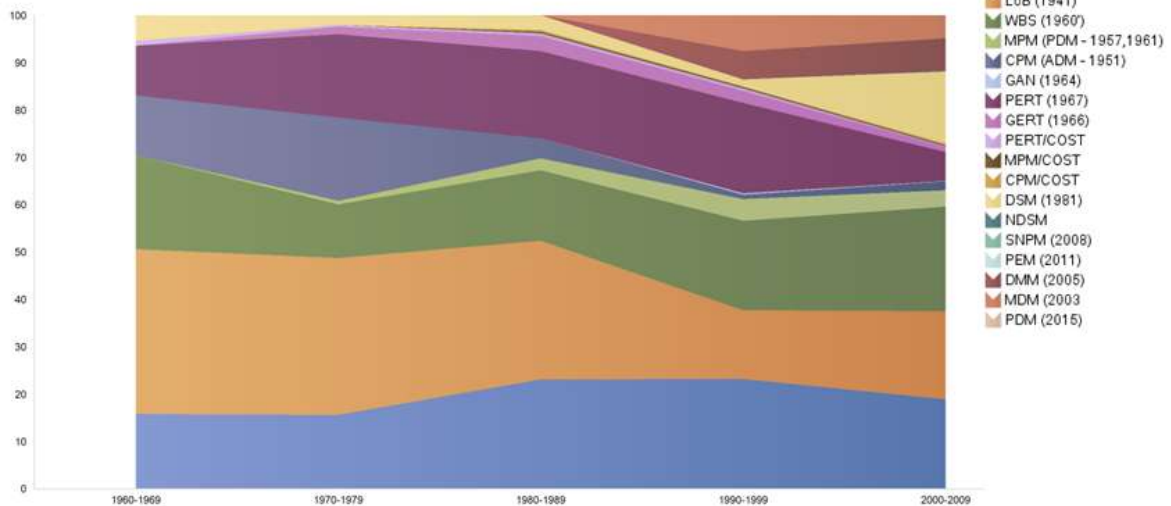
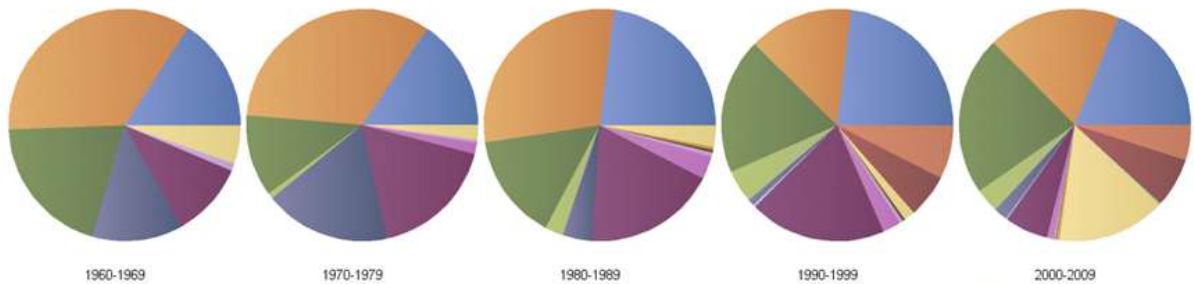
	1960-2009					
	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	
Gantt (bar) chart (1910)	309,00	5,00	13,00	39,00	79,00	173,00
LoB (1941)	112,00	4,00	10,00	18,00	18,00	62,00
WBS (1960')	196,00	4,00	6,00	16,00	41,00	129,00
NET	928,00	23,00	95,00	151,00	291,00	368,00
MPM (PDM - 1957,1961)	157,00	0,00	2,00	13,00	47,00	95,00
CPM (ADM - 1951)	138,00	12,00	44,00	21,00	10,00	51,00
GAN (1964)	8,00	0,00	0,00	0,00	3,00	5,00
PERT (1967)	511,00	10,00	44,00	94,00	196,00	167,00
GERT (1966)	74,00	0,00	4,00	16,00	26,00	28,00
PERT/COST	15,00	1,00	1,00	3,00	5,00	5,00
MPM/COST	10,00	0,00	0,00	2,00	3,00	5,00
CPM/COST	15,00	0,00	0,00	2,00	1,00	12,00
MATRIX	180,00	1,00	1,00	3,00	30,00	145,00
DSM (1981)	89,00	1,00	1,00	3,00	3,00	81,00
NDSM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNPM (2008)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
PEM (2011)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DMM (2005)	49,00	0,00	0,00	0,00	12,00	37,00
MDM (2003)	41,00	0,00	0,00	0,00	15,00	26,00
PDM (2015)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- Gantt (bar) chart (1910)
- LoB (1941)
- WBS (1960')
- MPM (PDM - 1957,1961)
- CPM (ADM - 1951)
- GAN (1964)
- PERT (1967)
- GERT (1966)
- PERT/COST
- MPM/COST
- CPM/COST
- DSM (1981)
- NDSM
- SNPM (2008)
- PEM (2011)
- DMM (2005)
- MDM (2003)
- PDM (2015)

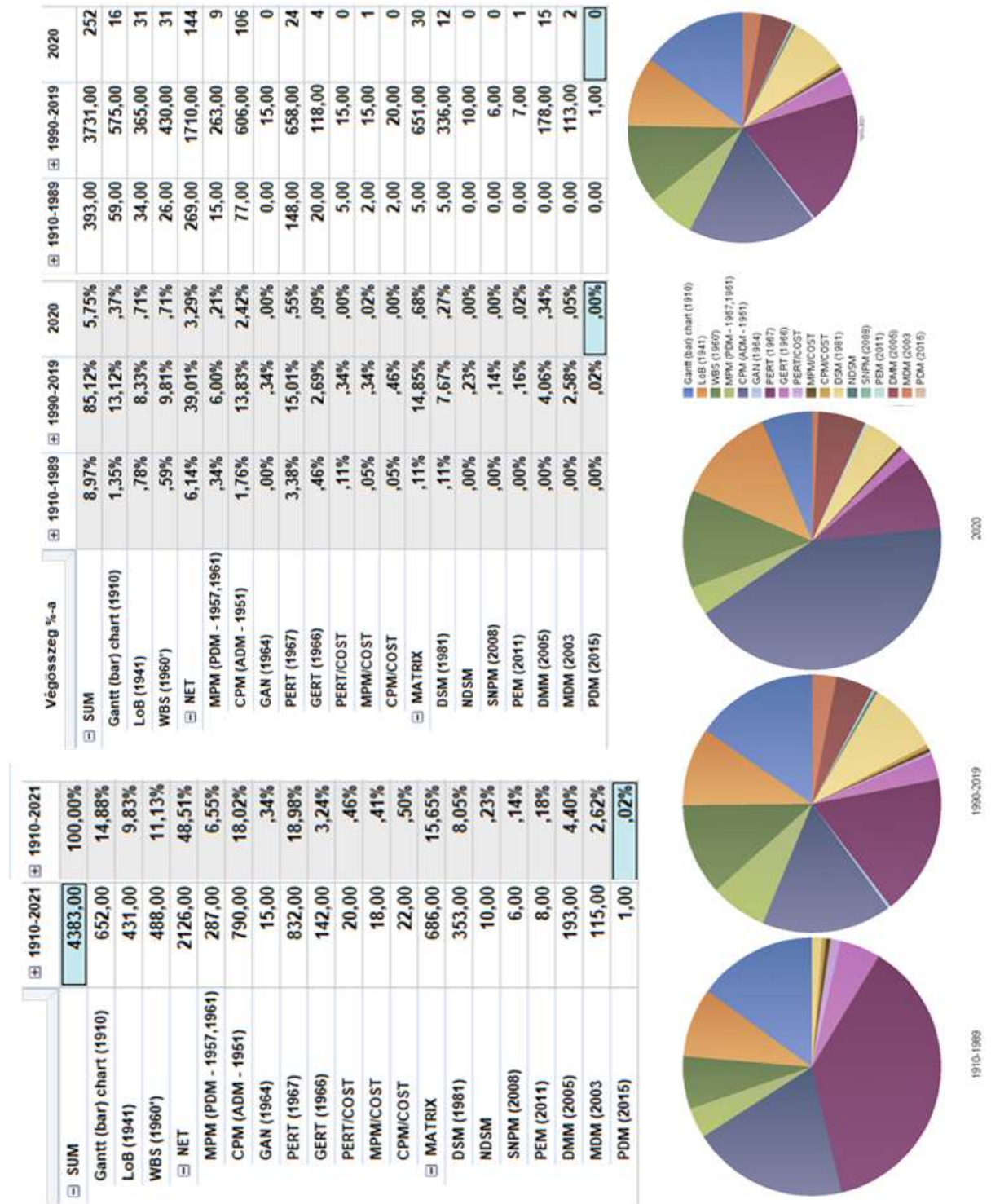


2-14. ábra. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1960-2009); saját kutatómunka alapján szerkesztve

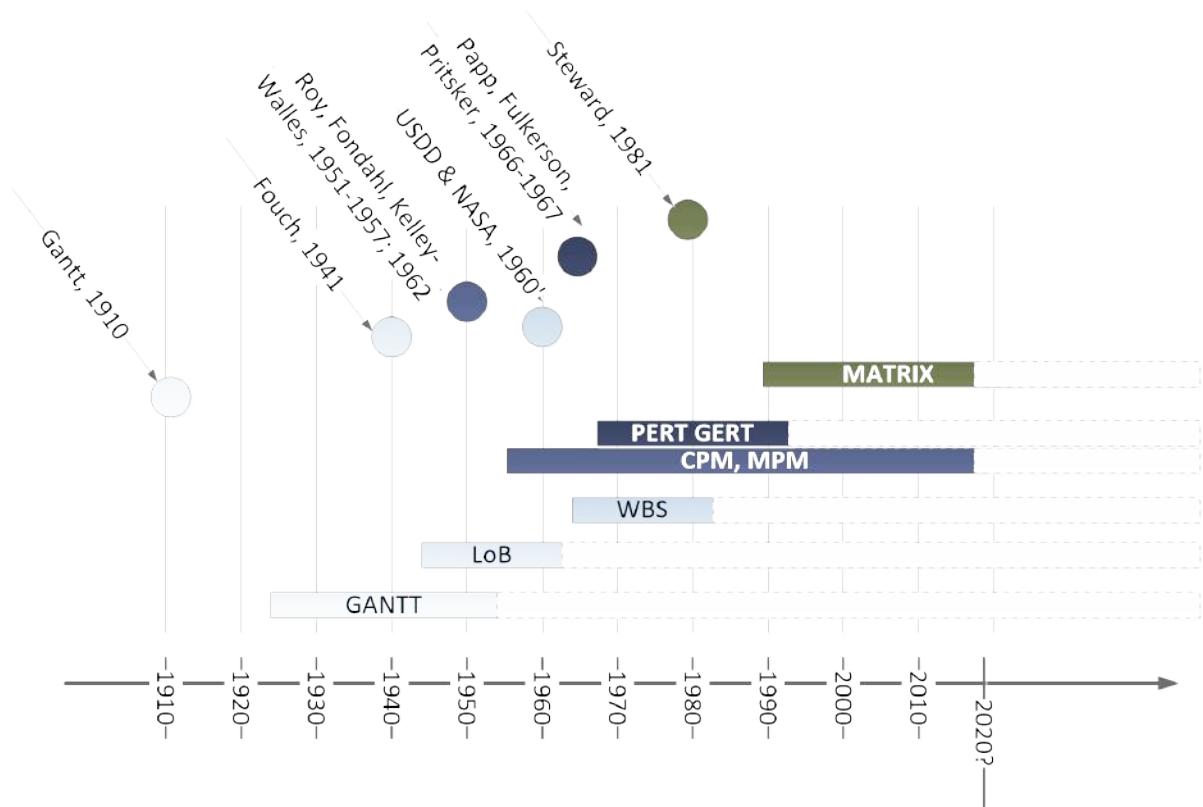
Végösszeg %-a	1960-2009	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Gantt (bar) chart (1910)	100,00%	1,62%	4,21%	12,62%	25,57%	55,99%
LoB (1941)	100,00%	3,57%	8,93%	16,07%	16,07%	55,36%
WBS (1960')	100,00%	2,04%	3,06%	8,16%	20,92%	65,82%
NET	100,00%	2,48%	10,24%	16,27%	31,36%	39,66%
MPM (PDM - 1957,1961)	16,92%	,00%	,22%	1,40%	5,06%	10,24%
CPM (ADM - 1951)	14,87%	1,29%	4,74%	2,26%	1,08%	5,50%
GAN (1964)	,86%	,00%	,00%	,00%	,32%	,54%
PERT (1967)	55,06%	1,08%	4,74%	10,13%	21,12%	18,00%
GERT (1966)	7,97%	,00%	,43%	1,72%	2,80%	3,02%
PERT/COST	1,62%	,11%	,11%	,32%	,54%	,54%
MPM/COST	1,08%	,00%	,00%	,22%	,32%	,54%
CPM/COST	1,62%	,00%	,00%	,22%	,11%	1,29%
MATRIX	100,00%	,56%	,56%	1,67%	16,67%	80,56%
DSM (1981)	49,44%	,56%	,56%	1,67%	1,67%	45,00%
NDSM	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%
SNPM (2008)	,56%	,00%	,00%	,00%	,00%	,56%
PEM (2011)	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%
DMM (2005)	27,22%	,00%	,00%	,00%	6,67%	20,56%
MDM (2003)	22,78%	,00%	,00%	,00%	8,33%	14,44%
PDM (2015)	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%



2-15. ábra. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1960-2009); saját kutatómunka alapján szerkesztve



2-16. ábra. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1910-2020); saját kutatómunka alapján szerkesztve



2-17. ábra. Projekttervezési módszerek térhódítása az iparban; saját kutatómunka alapján szerkesztve



### 2.2.1. Projektdefiníciók, projekt életciklus és projekttervezés

Több projektmenedzsment területén jártas szakember és kutató más-más szemszögből közelítette meg a kérdést, hogy mi is a "projekt"? Míg Görög Mihály (Görög, 2001a) definíciójában a rutintól eltérő egyediséget, addig Bajna Miklós (Aggteleky és Bajna, 1994) megfogalmazásában magát a összetettséget fedezzük fel.

A karbantartási projektek esetében a összetett, bonyolult problémák kezelésének tervezése mellett a rutintalanság is fennáll. Görög Mihály és Bajna Miklós definíciójában nem szerepelt, de a karbantartási projektek tervezésében fontos szerepet játszanak a peremfeltételek (idő- költség- és erőforrásigény). Robert J. Graham (Graham és tsai., 1997) definíciójában a projekt egyediségének és komplexitásának hangsúlyozása mellett a projekt alkalmazásának peremfeltételei is kihangsúlyozásra kerültek.

A karbantartási projekt minden olyan egyszeri, összetett tevékenységek sorozatából álló feladat-/ tevékenységösszesség, melyeket meghatározott cél elérése érdekében hajtanak végre, előre definiált műszaki paraméterek, valamint meghatározott idő- költség- és erőforrástényezők megtartása mellett. Azonban elgondolkodtató, hogy valóban minden karbantartási projekt egyedi? Tudjuk és tapasztaltuk, hogy vannak tevékenységek, feladatok, amelyek egészében vagy részeiben későbbi projektekben is megtalálhatóak, így a korábbi projektek során kapott tapasztalatokat későbbi tervezések során már figyelembe tudunk venni, fel tudunk használni. Amennyiben ez fennáll, márpedig a karbantartási tevékenységeket ez is jellemzi, így az eddigi definíciók értelmében már nem lenne jogosan használható a "projekt" meghatározás a karbantartási tevékenységsorozatok területén. Használhatnánk ehelyett a folyamatrendszer kifejezést, ahogy ez az ISO 8402 (1994) (Lockyer és Gordon, 2000a) definíciójában is szerepelt.

Görög Mihály, Bajna Miklós, Keith Lockyer és James Gordon projektdefiníciói azon hiányosságokat is tartalmazzák, amelyek pont, hogy a karbantartás területén elengedhetetlenek. Azonban még mindig egyediként fogalmazza meg magát a projektet, amely, az olvasottak alapján nem minden esetben lenne valós kijelentés. Ahogy Kosztyán Zsolt Tibor (Kosztyán, 2016a, p. 156.) is tette, hagyjuk el az egyediség hangsúlyát és karban-

tartási projektek definíciója alatt értsük az alábbiakat : „*Projekt: olyan folyamatrendszer, amely kezdési és befejezési dátumokkal megjelölt, specifikus követelményeknek - beleértve az idő-, költség- és erőforrás-korlátokat - megfelelő célkitűzés elérése érdekében vállalt, koordinált és kontrollált tevékenységek csoportja.*” Azonban felvetődik bennem is az a gondolat, melyet Kiss Judit (Kiss, 2013, p.14.) fogalmazott meg doktori dolgozatában, hogy a "tevékenységsorozat csak akkor tekinthető projektnek, ha végig járja a menedzselése során az életciklus megfelelő fázisait a tervezéstől a végrehajtásig..." Véleményem szerint a karbantartási folyamatot lehet akár projektként is kezelni, mert bizonyos részét/ részeit lehet formalizálni, mint a szoftverfejlesztési projektek esetében, de minden egyes karbantartás/ meghibásodás - főleg bonyolultabb rendszerek esetében - tartalmaz(hat) egyedi tevékenységeket is.

Ahogy a definíciók esetében úgy az életcikluselméletek esetében sem alakult ki egy egységes, karbantartási projekteknél is használható modell.

Turner R.J. (Turner, 2009) szerint projektéletciklus alatt a projekt folyamatát kell érteni, azokat a szakaszokat, amelyek során az ötlet felmerülésétől egészen a cél megvalósításáig eljutunk. A projektmenedzsment folyamat pedig azokat a lépéseket jelenti (tervezés, szervezés, végrehajtás, ellenőrzés), amelyeket minden egyes szakaszban követni kell az adott szakasz teljesítése érdekében. Legyen szó létesítmények-, informatikai-, K+F - vagy más jellegű projektekről, nem találunk minden projekt típusnak megfelelő életcikluselméletet, hiszen minden egyes típus más és más sajátosságokkal rendelkezik.

Számos életciklus modell létezik már, amely vagy iparági gyakorlatot követ vagy pedig projekt típuson alapul. Kathy Schwalbe (Schwalbe, 2010) értelmezésében a projektéletciklus a projekt fázisainak gyűjteménye. Görög Mihály (Görög, 1996) kimondja, hogy egy projekt életciklusa négy fázisból áll (ez a karbantartási projektek területén részben elfogadott), melyek úgynevezett döntési pontokkal kapcsolódnak egymáshoz. Az egész életciklus működőképességét a beruházó fejlesztési stratégia indukálja (Görög, 2001b), amely folyamatos visszacsatolási pontként is szolgál. Az eredményesebb teljesítéshez fontos volna, hogy a megrendelők már a korábbi fázisok során is kapjanak visszajelzése-

ket a paraméterek betartását illetően (Madauss, 2000). Kathy Schwalbe, PMI, és Hans Corsten (Schwalbe, 2010; Corsten, 2000; PMI, 2006; PMI, 2013) értelmezésében az életciklust egymást követő szekvenciális vagy némileg átfedő lépések sorozatának tekintik, de még mindig nem élnek a visszacsatolás lehetőségével, amely részünkre karbantartási projektek tervezésével foglalkozókat érdekelné. Michael B. Bender (Bender, 2010) keretrendszer, folyamatmodellje már ötvözi a lineáris és a ciklikus életciklus modelleket, ugyanis visszacsatolás található az irányítás szakaszból a tervezési fázisra. Amit viszont egyik modell sem határoz meg, vagy használ fel, azok a végrehajtási lépéssorok, amelyeket már korábbi projektek során alkalmaztak és felhasználnának a következő projektek során (Kosztyán és tsai., 2008; Dawson és Dawson, 1998). Ez azért is van, mert ha egy projekt egyedi, akkor nincs megelőző információ, amit fel tudnánk használni. Éppen ezért ez nem hiányosság, hanem szemléletbeli különbség.

Minden tervezéssel töltött pillanat háromszor-négyszer annyit takarít meg a végrehajtás során (Wysocki, 2009). Ezért is szükséges és elengedhetetlen, hogy az eddigiéknél több időt fordítsunk a tervezési fázisra, mint korábban. A célkitűzést követően a projekt életciklus első fontos és meghatározó lépése a tervezés. Egy itt felmerülő probléma (például statikai kivitelezhetetlenség, beépíthetetlen terület stb.) súlyos negatív hatásokat okozhat a későbbi szakaszokat illetően, veszélybe sodorva akár a projekt megvalósítását is (Lockyer és Gordon, 1996; Lockyer és Gordon, 2000b). A teljes terv tartalmazza az összes feladatot, határidőket, a szükséges erőforrásokat, felelőségeket és hatásköröket, a feladatok egymással való kapcsolatait és minden információt, amely a projekt sikeres kivitelezéséhez szükséges. A tervezési szakaszban nagy jelentőségük van a projekttervezési technikáknak, azon belül is a leggyakrabban használt a hálótervezési módszereknek, illetve az ezeket támogató számítástechnikai eszközöknek (Madauss, 2000; Tanács és Kupás, 2004).

*„Egy projekt időterve tulajdonképpen nem más, mint a projekteredményt létrehozó tevékenységfolyamat elemeinek időbeli összefüggéseit grafikai úton is megjelenítő teljesítési programja.”* (Görög, 1996, p. 67.) Az elvégzendő folyamat összes komponensére elkészí-

tett modell segítségével a teljes folyamat megismerése lehetővé válik. A teljes folyamat megértéséhez nélkülözhetetlen a vezetés és az alkalmazottak támogatása. Végül pedig különösen összetett projektek esetén egy támogató szoftver nagymértékben segíteni tudja a tervezés hatékonyságát (Raffai, 2003). A projektmenedzsment ma már széles szakirodalmi háttérrel rendelkezik. A projekttervezés és irányítás során különböző technikák segítik a menedzsert, hogy kezelni tudja a projekt összetettségét és határidőkön alapuló természetét. Számptalan módszert és technikát fejlesztettek ki, melyek a projekt kezdetétől egészen annak végéig (és esetleg még utána is) segítik a projektmenedzsereket feladatuk teljesítésében (Haynes, 2003; Maylor, 2001).

Azonban honnan is indultak el ezek a technikák? Több nemzetközi projektmenedzsment szervezet és képviselő oldalán olyan ábrák, szemléltetések találhatók, amelyek a projektmenedzsment történetét szemléltetik, de egyáltalán nem foglalkoznak részletesen a tervezési technikákkal. A projekttervezési technikák bemutatására egyáltalán nem találtam még vizuális megjelenítést, amely szemléltetné, hogy honnan indultak, miből mi fejlődött a projekttervezési technikák területén.

Feladatom nem az, hogy bizonyítsam, hogy az eddig használt ábrázolások miért nem megfelelőek, hanem inkább az, hogy a projekttervezés területén (is) a saját módszeremet mely területhez tudom sorolni és megmutatni, hogy miben más, és jobb, mint az eddig használt technikák. Ezek mellett pedig a tervezési technikákat összefoglaló egyszerű ábrát is mutatok, amely alapját a kvantitatív szakirodalmi kutatásom eredményei adják.

### **2.2.2. Projekttervezés hagyományos megközelítése - Projektütemezés, hálótervezési módszerek**

A projektek tervezésére és megjelenítésére szolgáló technikák a **Gantt-diagram** (Gantt, 1919), a mérföldkő-diagram, a tevékenység-/ munkalebontási struktúra (**Work Break-down Structure - WBS**) a ciklogram (**Line of Balance - LoB**), továbbá a hálótervek (Kerzner, 2013; Schwarze, 1970) vagy a mátrixos tervezési eljárások (Browning és Ep-

pinger, 2002; Eppinger és tsai., 1994).

A projektek ütemezése, az időtartamok vizuális szemléltetése, a határidők betartásának ellenőrzése, az időbeli előrehaladás nyomon követése szempontjából előnyös, ha alkalmazunk projekttervezési módszert vagy akár egyszerre többet is.

A legismertebb az összes közül a **Gantt-diagram**, amely kiválóan alkalmas, hogy bemutassuk a vezetőségnek a projekttervet, a projekt helyzetét, valamint arra is, hogy napról-napra kövessük a projekt előrehaladását (Maylor, 2001; Kosztyán és Kiss, 2010a). A Gantt-diagram segítségével lehet megszerkeszteni az erőforrás hisztogramot<sup>8</sup>. A sávós ütemtervekkel a legtöbb projekt modellezhető, azonban, ha a tevékenységek közötti kapcsolatot, rákövetkezéseket nem vesszük figyelembe, nem jelöljük, akkor nem láthatjuk, hogy egy-egy tevékenység csúszása milyen módon változtatja a többi tevékenység kezdési idejét. Hátránya továbbá ennek a módszernek, hogy nagyon nehéz kezelni velük az olyan projekteket, amelyeknek különböző kimenetelei is lehetnek. Ilyen feladatok ellátására összetettebb tervezési technikára van szükségünk. Vitathatatlan, hogy ez a fajta megjelenés azonnali információhoz juttatja a vezetőséget, menedzsmentet a projekt előrehaladásáról és időbeli lefutásáról.<sup>9</sup>

A projekt során végrehajtandó feladatok, és azok közötti kapcsolat meghatározásához alkalmazható a munkalebontási diagram (**WBS = Work Breakdown Structure**), amely hierarchikusan felépülő rendszerben ábrázolja a projekteredményt létrehozó te-

---

<sup>8</sup>Az erőforrás hisztogram megadja, hogy az adott időpontban egy adott erőforrástípusból rendelkezésre álló szükséges erőforrás mennyiségét. Ez az erőforrástervezés kétirányú lehet. Megadhatjuk, hogy milyen erőforrások szükségesek a projekt végrehajtásához, vagy a rendelkezésre álló erőforrásokat hogyan kell - adott esetben tevékenységek eltolásával - úgy kiosztani, hogy a projekt minél kisebb késedelmet szenvedjen. De arra is - korlátozottan - alkalmas, hogy idő- és költségtervezésre tudjuk felhasználni.

<sup>9</sup>Kevesen írják Henry Gantt előtti időkről, arról, hogy mi is volt a Gantt-diagram elődje. Az első vizuális, nem projekteket összefogó és bemutató elem nem Henry Gantt nevéhez fűződik. A sávós ütemtervet megjelenítő diagramnak az eredete 1765-re nyúlik vissza, s Joseph Priestley írta le először, hogy aztán 150 év múlva terjedjen el a munka világára alkalmazva. Azonban nem Gantt nyúlt először Priestley munkájához. 1896-ban a lengyel mérnök Karol Adamiecki létrehozta a **harmonogramm (harmonográf)** eszközét. Egy acél üzemben, mely munkahelye volt, folyamatosan kereste és kutatta, hogy milyen új módszerekkel tud javítani saját és vállalata hatékonyságán és termelékenységén. Azonban a módszerét megtartotta magának, így válhatott Gantt eredményesebbé és egy 1931-ben megjelent publikációban is elsősorban neki tulajdonították a sávdiagram megalkotásának tulajdonjogát (Marsh, 1975).

vékenységfolyamatot. A WBS <sup>10</sup> felállításával párhuzamosan rögzítik a tevékenységek közötti logikai kapcsolatokat is. Ahogy a Gantt-diagram, úgy a WBS is nagy segítséget nyújt a nyomonkövetésben, de sajnos hiányosságokkal is számolni kell. A tevékenységek közötti logikai rákövetkezési sorrendeket nem tudjuk meghatározni, illetve bár segítséget nyújt az erőforrások meghatározásában, de ezeknek tervezésekor más módszereket kell segítségül hívni.

A tervezési és ellenőrzési célból alkalmazzák - ugyan úgy ahogy a korábbiakat is - kialakítását követően a ciklogrammokat (**Line of Balance - LoB**). A ciklogrammok nem mások, mint út-idő diagrammok, amely megmutatják részünkre, hogy milyen időközönként kell elkészülni a projekt során egy egységgel (Trofin, 2004). A ciklogrammot abban az esetekben javasolt alkalmazni, mikor feltételezzük, hogy a tevékenységek azonos ütemben haladnak előre. Ha a tevékenységek üteme eltér egymástól, akkor meredekebb oszlopokat használunk. Az LoB továbbá hasznos, ha ismétlődő tevékenységeket akarunk kezelni. A Gantt- diagram vagy a WBS, a LoB is alkalmas nyomonkövetésre, illetve párhuzamosan futó projektek megjelenítésére is (Sims, 1998). A párhuzamos megjelenítés során ugyan abba az út-idő diagramba helyezzük el az egyes projekteket, megegyező színnel jelöljük azokat a projekteket, amelyek azonos erőforrást, és eltérő színnel a különböző erőforrást igénylőket.

A fent említett technikák számos előnnyel rendelkeznek, de egyes projekteknél, mint például a karbantartási projekteknél, egyáltalán nem vagy nehézkesen alkalmazhatóak.

A projektmenedzsment szoftverek a megadott tevékenységek, illetve hozzá tartozó időtartamok, rákövetkezések segítségével képesek elkészíteni a Gantt-diagramot, illetve valamilyen hálótérvet. A hálótervezési módszerek több szempont szerint csoportosíthatók. Egyrészt megkülönböztetünk AoA (tevékenység-nyíl diagram) - és AoN (tevékenység-csomópont diagram) -hálókat, másrészt determinisztikus és sztochasztikus hálókat. Az alapvető különbség a hálótervezési módszerek utóbbi csoportosítása között, hogy a deter-

---

<sup>10</sup>A WBS kiválóan alkalmazható hierarchikus megjelenítésre, lehetőségünk van rá, hogy a benne felsorolt tevékenységeket csoportosítsuk (munkacsomagképzés) a logikai végrehajtás, erőforrás-szükséglet vagy más tényező szerint.

minisztikus tervezés esetén a tevékenységidők jól meghatározott értékek, a sztochasztikus tervezésnél pedig a tevékenységidőket valamilyen valószínűségi eloszlás sűrűségfüggvényével határozhatjuk meg (Haynes, 2003; Papp, 1969).

A projekttervezési folyamat és az azt támogató szoftverek alapjául is szolgáló eszköz a **logikai háló**<sup>11</sup>. A logikai háló létrehozásához a tevékenységek, valamint a közöttük lévő rákövetkezések, relációk ismerete szükséges (Christofides, 1975). A jó logikai háló tükrözi a folyamat tevékenységeinek logikai, technológiai, idő és gazdasági összefüggéseit. A logikai háló a feladatok kapcsolatának és időtartamának meghatározására szolgál (Mayeda, 1976). Vannak projektek, amelyeknél több lehetséges projektváltozatot is meg kell tekintenünk, mivel pl. attól függően, hogy mekkora összeget csoportosít a vállalat vezetősége a projekt megvalósítására attól függően különböző projektváltozatokat tudunk megvalósítani.

Összetett tevékenységek (rész)feladatokra bontása során nagy hangsúlyt kell fektetni a követő, megelőző, illetve párhuzamosan végezhető feladatokra. A logikai háló még konkrét időadatokat nem tartalmaz, egyszerűen a hálótervezés során felmért és felismert kapcsolatokra épül. Logikai hálók használatával a teljes tevékenység jól átlátható, ezáltal kezelhetőbbé válik, elősegíti a koordinációt, a megvalósítás jobban nyomon követhető, ellenőrizhető. Számítógépes szoftverek igénybevételével gyorsítja a tervezési, ellenőrzési folyamatokat (Kosztyán és Kiss, 2010b).

A projektek során gyakran előforduló probléma, hogy nem megfelelően gazdálkodnak az idővel és a rendelkezésre álló erőforrásokkal. A hálótervezési módszerek célja megtalálni a kritikus útvonalat a hálózatban, amely a projekt tervezésének és irányításának az alapja lesz (Wysocki, 2009; Heteyi, 2009). A kritikus út módszere (**Critical Path Method - CPM**) az 50-es évek végén jelent meg köszönhetően Walker és Kelley szerzőpárosnak.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup>A háló egy olyan irányított kört nem tartalmazó gráf, melynek egy kezdő és egy végpontja van.

<sup>12</sup>Az E. I. DuPont de Nemours and Co. 1956-ban átfogó kutatást indított olyan módszer kifejlesztésére, mely lehetővé teszi számítógép felhasználását a műszaki feladatok megtervezésében és ütemezésében. Walker és Kelley (Kelley és Walker, 1957), 1957-ben jutottak el egy nyíldiagramos, hálós módszert alkalmazó (ekkor még kritikus úgy analízis néven volt ismert) és később CPM néven (Fondahl, 1961)

Alapelvét tekintve a Kritikus út módszere (Kelley, 1961; Moder és tsai., 1983) egy tevékenységélű eljárás, tehát a gráf éleivel tevékenységet jelöl, a csomópontok pedig az eseményeket jelentik, vagyis a tevékenységek befejezésével előállt pillanatnyi állapotot.

A 2-14. vagy a 2-15. ábrán is láthatjuk, a CPM megjelenésével a tervezési eljárások módszerei tovább bővültek és egyeduralkodókká váltak egészen az 1980-as évekig.

A CPM-mel szemben a Tartalékidők módszere (**Metra Potential Method - MPM**; angolszász országokban Precedence Diagramming Method) tevékenység-csomópontú eljárás. Az MPM technika a francia Bernard Roy (Roy, 1962) nevéhez kötődik.

A tevékenységek között használt kezdet-kezdet és a vég-vég típusú kapcsolatokkal lehetővé tehetjük a párhuzamosítást, a kezdet-vég típusú kapcsolatokkal pedig maximális időkorlátot adhatunk meg a tervezés során. További fontos előnye ennek a módszernek a CPM-mel ellentétben, hogy megszakítható tevékenységek is tervezhetők. Megadható a kritikus eltávolodás, valamint minden kapcsolat maximális változata is. Az MPM módszerével készített hálóterv már ciklust is tartalmazhat, mert mind a minimális, mind a maximális időt elő lehet írni. Látszattervékenységekre nincs már szükség, mert az eseményeket nem ábrázoljuk. Ez nagyon praktikus, mert így bármilyen MPM típusú hálóterv mindig egyértelműen megszerkeszthető.

Az MPM-módszer a többféle minimális és maximális kapcsolatokkal jelentős előrelépést mutat a CPM módszerhez képest. Még mindig felmerül több hiányosság. Egyrészt ez a módszer sem tudja kezelni a körfolyamatokat, illetve a lehetséges kapcsolatokat, valamint nem képes a tevékenységek végrehajtási idejével kapcsolatos (pl. tervezésből adódó becslési) bizonytalanságok figyelembevételére. Mindkét módszer esetében feltételezzük, hogy a tevékenységek időtartamát meg tudjuk határozni vagy legalább egy számértékkel becsülni tudjuk, azonban ez nem mindig lehetséges (főleg nem karbantartási projektek esetében). A CPM és az MPM módszer tekintetében is tervezünk az össze projekttevékenységgel, de tudjuk, hogy egyes projektek esetében a tevékenységek csak egy részét hajtjuk végre - amely karbantartási projektekre nagyon jellemző. Ezt már

---

közismertté váló rendszer kipróbálásáig. A módszert 1959-ben publikálták (Kelley és Walker, 1959).



determinisztikus hálótervezési módszerekkel nem tudjuk megtervezni (Falk és Horowitz, 1972). Szükségessé váltak a sztochasztikus kapcsolatokat is kezelni tudó hálótervezési eljárások, hogy még pontosabban tudják tervezni projektjeiket. Howard Eisner 1962-ben publikálta, hogy akár egy létesítmény létrehozása esetén is lehet számolni többféle projektkimenettel, de módszerének igazi előnye a fejlesztési projektek kezelése során mutatkozott meg igazán (Eisner, 1962).

Eisner módszerének - döntési pontokat vezetett be a projektek tervezése során - kiterjesztésének tekinthetők a grafikus értékelési és áttekintési módszer (**Graphical Evaluation & Review Technique - GERT**)), melyet a NASA megbízásából Pritsker (Pritsker, 1966) dolgozta ki 1966-ban, illetve a valószínűségi változó módszere (**Program (or Project) Evaluation and Review Technique - PERT**) (Pontrandolfo, 2000) melynek alapjait Papp (Papp, 1967) mutatta be még 1967-ben (Papp, 1969), viszont eredetileg már 1956-ban elkezdődtek a fejlesztések. (Fulkerson, 1961).

Az eljárás (PERT) egy kiterjesztése a determinisztikus kapcsolatokat kezelő tevékenységnyíl típusú hálókon (Berman, 1964) alapuló ütemezési módszereknek, így elvileg minden olyan esetben alkalmazni lehet ezt az eljárást is, ahol a CPM-módszert is lehetett.

A CPM- és MPM- módszerekkel ellentétben a PERT-hálóknál nem határozható meg a tevékenység időtartama. Három (optimista, legvalószínűbb, és pesszimista) becslés alapján lehet várható értéket és szórást rendelni a tevékenységidőkhöz. A GERT módszer (amely a PERT-hez hasonló technika) az, amely képes több lehetséges projektváltozat, illetve körök kezelésére is. Ez a módszer nem csak az időtervezés hanem logikai tervezés tekintetében is sztochasztikus. Használatuk bonyolultabb, de csak akkor tudjuk őket megoldani, ha valamelyik módszerre (CPM vagy MPM) képesek vagyunk visszavezetni. Az alapvető technika a CPM, illetve a PERT volt. Modellezési értelemben mindkettő alapja a tevékenység, illetve az azok közötti logikai összefüggést teremtő kapcsolat. A fejlődés következő lépése, az MPM ugyan még mindig csak determinisztikus adatokat használ, azonban már többféle kapcsolatot is tud kezelni, nemcsak befejezés-kezdés típusú kapcsolatokat (Mummolo, 1997; Pontrandolfo, 2000). PERT már sztochasztikus

időadatokkal is dolgozik, mivel optimista, pesszimista és legvalószínűbb becslést is rendel a tevékenységek időadataihoz. A tevékenységidőket valószínűségi változókként kezeli. A GERT-módszer esetében döntési helyzetekben már a tevékenységek közötti kapcsolatokat is valószínűségi változónak tekintik, képes kezelni döntési helyzeteket (Schwalbe, 2010; Lockyer és Gordon, 1996; Haynes, 2003; Maylor, 2001).

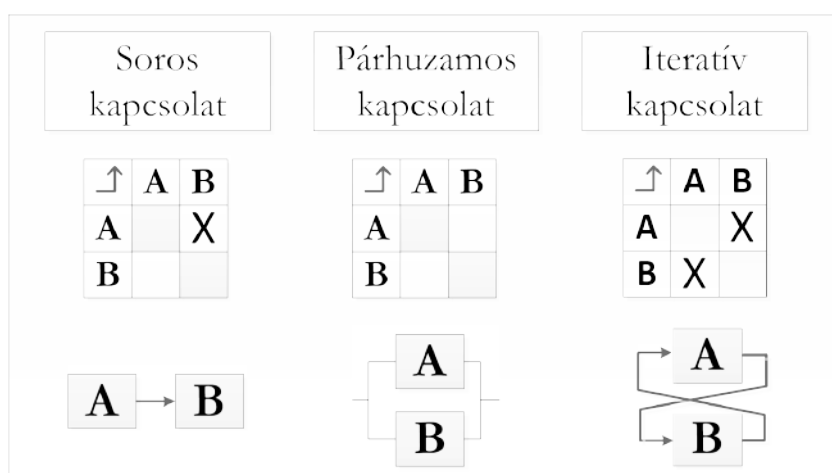
A karbantartási projektek során gyakran nehéz a tevékenységek átfutási idejét megbecsülni a számos befolyásoló tényező miatt. Emiatt sztochasztikus valószínűségi változónak célszerű tekinteni a tevékenységek időtartamait.

Általánosan azonban igaz, hogy mivel a hálótervezési eljárások grafikus alapúak, összetett és dinamikus környezetben (pl. a karbantartástervezés területe) való alkalmazásuk nehéz az előforduló változások miatt, amely a háló újra rajzolását és újra számítását teszi szükségessé. Érdemes ezért a hálótervet mindig származtatni valamiből, például egy tervezési sorrendből, amely a termék struktúráján alapszik.

### 2.2.3. Projekttervezés újszerű megközelítése

A hálós tervezési eljárásoknál már a kifejlesztésük során gondoltak arra, hogy a hálós terveket majd mátrixok tárolják (Bruck és Ryser, 1949; Camara, 1968). Az 1960-as években jelentek meg az első publikációk, amelyekben mátrixos reprezentációról olvashatunk a projektmenedzsment területén. Ezek nem voltak mások, mint az **incidencia** (almátrix, illeszkedési mátrix) illetve a **precedencia** (csúcsmátrix, szomszédsági mátrix) mátrixok (Andrásfalvi, 1983). A mátrix cellájának értéke 1 volt, ha a csomópontok (tevékenység) között volt kapcsolat (él), és 0, ha nem volt él/ kapcsolat (Rogers, 1999). A mátrix celláiban lévő tevékenységekhez rendelhetők idő- és költségadatok is. A mátrixos tervezést már az 1960-as években (Browning, 2001; Fernandez, 1998; Fernando, 1969; Hayes, 1969; Steward, 1987) használták projektek tervezésére, mikor még a CPM, MPM gyerekcipőben járt és a WBS még csak kidolgozásra került. A karbantartás területén pedig egyáltalán nem volt jellemző ekkor még a karbantartási tevékenységek tervezése, annál inkább a hibáig üzemelés, vagy a megelőző karbantartás.

Kifejezetten mátrixos projekttervezési módszer kidolgozása és elterjedése (2-17. ábra) Steward (Steward, 1981b; Steward, 1981a) nevéhez fűződik és a DSM szervezetének és tudományos konferenciáihoz köthető. Az 1990-es éveket követően már nem megjelenési forma a mátrix (Gebala és Eppinger, 1991), hanem a tervezés eszköze. A Massachusetts Institute of Technology kutatói Bostonban kiterjesztették a módszert tevékenységek közötti kapcsolatok kezelésére is, így a módszer alkalmassá vált projektek tervezésére. A DSM-módszer a tevékenységek között három alap kapcsolatot kezel. Ezek a soros, a párhuzamos, illetve az iteratív (ismételt) kapcsolatok (2-18. ábra) (Pektas és Pultar, 2006). A kapcsolatokat egy úgynevezett adjacencia mátrixban "X" jelöli (Danilovic és Sandkull, 2005; Eppinger és tsai., 1994; Maheswari és Varghese, 2005; Steward, 1981b).



2-18. ábra. Elemi tevékenységkapcsolatok; (Danilovic és Sandkull, 2005) alapján saját szerkesztés

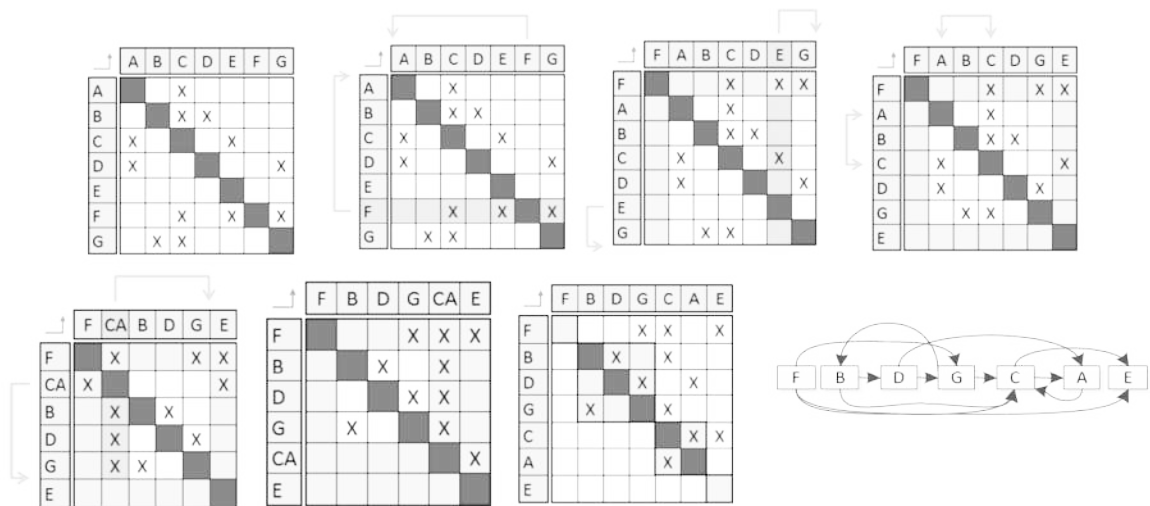
A mátrix celláiban nem a tevékenységeket, hanem a tevékenységek közötti kapcsolatokat jelenítik meg. A mátrix oszlopai pedig a projekt tevékenységeit reprezentálják. Az így kapott mátrixot négyzetes szomszédsági mátrix (**Dependency Structure Matrix - DSM**) módszernek nevezték el (Browning, 1998; Eppinger és Browning, 2012). A DSM-módszereket alkalmazták ütemezésre (Chen és Lin, 2002), valamint erőforráskorlátos projektütemezési problémák megoldására is (Yan és tsai., 2002). A módszer

hátránya azonban, hogy a Steward-féle bináris DSM csak szigorú megelőzési kapcsolatokat kezel (egy tevékenység vagy függ, vagy nem függ más tevékenységtől), nem nyújt további információt az interakció/kölcsönhatás/kapcsolat természetéről.

A tevékenység-alapú DSM előnye a hálótervezési módszerekhez képest, hogy tömör vizuális megjelenítést és elemzési lehetőséget biztosít és alkalmas iterációk (visszacsatolások) kiemelésére. A hagyományos hálótervezési ábrázolásmóddhoz képest új elem az iteratív kapcsolatok megjelenítése (lásd 2-18. ábrán). Az iteratív kapcsolatoknál jelöljük, hogy A és B tevékenységsorra többször vissza kell térni. Az ilyen elemek detektálása fontos lehet, mert ez az iteráció a karbantartási projekt csúszásához vezethet. Egy ilyen iterációban, körfolyamatban természetesen több tevékenység is részt vehet. A hagyományos hálótervezési módszerekkel (mint a CPM- vagy a PERT-módszer) ellentétben a mátrix-alapú módszerek képesek iteratív tevékenységek kezelésére, ami egy tevékenységek átdolgozását, megismétlését jelenti. A mátrixos ábrázolásnál fontos lehet a tevékenységsorrendek megállapítása is. Ezt a tevékenységek átrendezésével érhetjük el. Ha a projekt nem tartalmaz körfolyamatot, akkor topologikusan rendezhető, vagyis a projekt DSM-mátrixa ún. felsőháromszög mátrixba rendezhető (Danilovic és Sandkull, 2005; Danilovic és Browning, 2007; Eppinger és tsai., 1994).

A felsőháromszögbe rendezés nem lehetséges, ha a projekt tartalmaz körfolyamatot. Ekkor célunk, hogy a diagonális alatt jelölt kapcsolatokat a tevékenységek átrendezésével a diagonálishoz közelítsük, ez a módszer a particionálás (a particionálás lépései a 2-19. ábrán tekinthető meg) (Yassine, 2004).

A módszer továbbfejlesztéseként nemcsak detektálni (Chen és Lin, 2002; Chen és Lin, 2003) tudjuk a körfolyamatokat, hanem bizonyos esetekben össze is tudjuk vonni őket egy tevékenységbe. Ez a módszer nem csak logikai tervezésre, hanem idő-, költség- és erőforrás-tervezésre, illetve újra/- áttervezésre is alkalmas (Gebala és Eppinger, 1991; Eppinger és Browning, 2012; Huang és Chen, 2006). Ekkor a diagonálisba vagy külön oszlopba fel lehet tüntetni a tevékenység idő- és/vagy erőforrás-szükségleteit is, a kapcsolatoknál pedig számokkal jelölni lehet a tevékenységek közötti késleltetéseket (Yan és



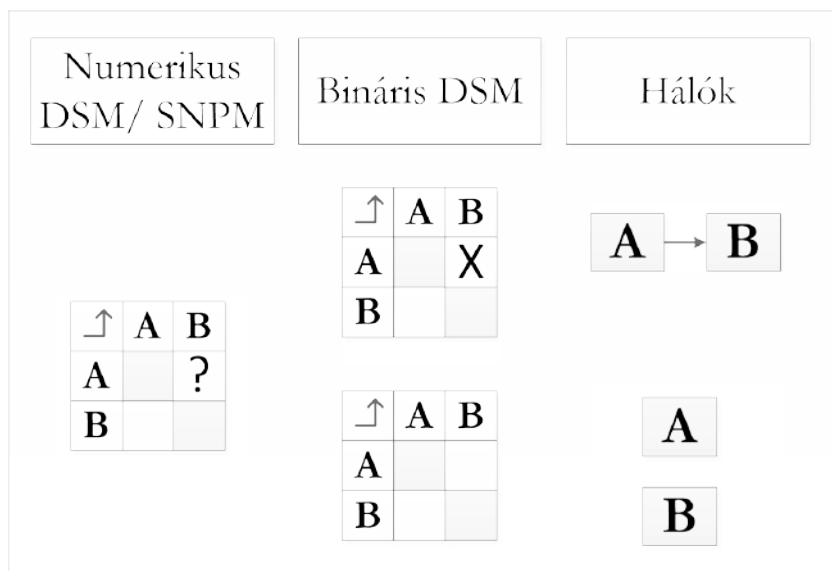
2-19. ábra. Particionálás lépései; (Yassine, 2004) alapján saját szerkesztés

tsai., 2002; Khoo és tsai., 2003; Rick és tsai., 2006).

A tevékenység-alapú DSM-nek is vannak hátrányai, korlátai. Az egyszerű DSM csak egy folyamat, tevékenységsorrendet képes ábrázolni, nem képes megjeleníteni az össze lehetséges utat, kapcsolatot. Azonban képes lehet feltételes információ áramlások megjelenítésére, vagyis döntési alternatívák kezelésére. Így lehetőség van valamilyen szinten többféle végrehajtási sorrend kezelésére vagy megoldások közötti választásra.

A DSM nem képes megjeleníteni a tevékenységek közötti átfedéseket, átlapolásokat. Minogue (Minogue, 2011) a probléma megoldására végzett kutatást, hogy képes legyen kezelni a tevékenység csomópontú hálók különböző kapcsolattípusait, valamint a késleltetéseket, átfedéseket. A továbbfejlesztéseként javasolt **Numerikus DSM (NDSM)** mátrix (Tang és tsai., 2010; Yassine és tsai., 1999) már képes modellezni a rákövetkezési kapcsolatok fontosságát ("Level Numbers" - szintszámok (1 és 9)), illetve valószínűségét is. "X"-ek helyett értékeket (nem csak 0 és 1 számok lehetnek) írtak a cellákba, amely számok a két tevékenység közötti függőség fokát reprezentálta. A számokat a rákövetkezések erősségének is nevezik, azonban még jelenthetnek fontosságot vagy akár prioritást is. Így lehetővé tették azt, hogy egy visszacsatolási hurok valószínűségét megjeleníthessük. Ez-

által prioritások képezhetők a fontos iterációk között a folyamat tervezése során. Azzal viszont nem foglalkoztak, hogy attól függően, hogy egy bizonytalan kapcsolat létezik, vagy nem, akkor két külön úgynevezett projektstruktúrát kaphatunk (2-20. ábra).

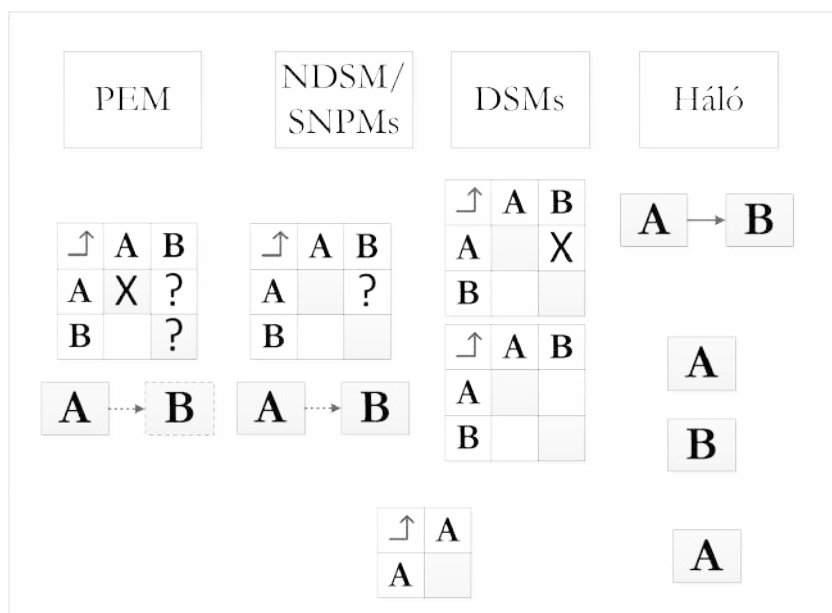


2-20. ábra. Legenerálható projektstruktúrák; (Kosztyán és tsai., 2008) alapján saját szerkesztés

Elsőként Kosztyán és munkatársai (Kosztyán és tsai., 2008) mutattak rá arra, hogy ha valószínűségekként kezeljük a rákövetkezési relációkat, attól függően, hogy egy rákövetkezést betartunk vagy elhagyunk, különböző hálóstruktúrát, illetve ezeket jellemző DSM mátrixokat fogunk kapni. Az így kapott struktúrákat projektstruktúráknak nevezték el. A módszert, amellyel ezeket meg lehet határozni, pedig sztochasztikus hálótervezési eljárásnak (angolul: **Stochastic Network Planning Method -SNPM**) (Kosztyán és Kiss, 2011b) hívják. Azokat a kapcsolatokat, amelyek valószínűsége kisebb, mint 1 (1-essel jelöljük, ha két tevékenység között biztos rákövetkezési reláció van), de nagyobb, mint 0, *bizonytalan kapcsolatoknak* (0-val vagy üres cellával jelölik, ha két tevékenység között nincs függőség) nevezzük. Ha a kapcsolat erőssége helyett azt mondjuk, hogy a kapcsolatok súlyszámai a kapcsolatok valószínűségét jelölik, és ezt A és B tevékenység

esetén  $p_{(A,B)} \in [0, 1]$ -gyel jelöljük, akkor  $1 - p_{(A,B)}$  annak a valószínűségét jelöli, hogy a két tevékenység nincs kapcsolatban egymással. Ha  $1 - p_{(A,B)} = p_{(A,B)} = 0,5$ , akkor azt mondjuk, hogy a két tevékenység közötti kapcsolat *indifferens*. Ha például  $p_{(A,B)} = 0,5$ , akkor ugyanannyi a valószínűsége annak, hogy A és B tevékenységet sorosan, vagy párhuzamosan hajtjuk végre.

Ha megadjuk a kapcsolatok valószínűségeit, akkor meg tudjuk határozni a lehetséges projektstruktúrák bekövetkezési valószínűségeit is (Kosztyán és Kiss, 2011a). A modell nagy előnye a hagyományos hálótervezési eljárásokhoz képest, hogy itt nem szükséges valamennyi lehetséges alternatíva hálóstruktúráját meghatározni, hanem egyetlen, úgynevezett SNPM mátrixban jelölni lehet a biztos és a bizonytalan kapcsolatokat is.



2-21. ábra. A PEM által meghatározható projektváltozatok; (Kiss és Kosztyán, 2009a) alapján saját szerkesztés

Bizonyos tevékenységek, tevékenységcsoportok ismétlődhetnek más projektek esetén is, mivel egy rendszer bevezetési projekt esetén alapvetően ugyanazokat a tevékenységeket végzik el. Az előző módszer továbbfejlesztéseként egy úgynevezett projekt szakértői mátrix segítségével (Kosztyán és Kiss, 2010a) (**Project Expert Matrix, rövidítve -**

**PEM** ) már a bizonytalan tevékenység-előfordulások is modellezhetőek (Kiss és Kosztyán, 2009a; Kiss és Kosztyán, 2009b). A projekt szakértői mátrix diagonálisában a tevékenységek végrehajtásának fontosságát/valószínűségét is jelölni tudjuk. 1 vagy "X" jelöli a biztosan végrehajtandó tevékenységeket. 0 és 1 közötti értékkel jelöljük a bizonytalan vagy elhagyható tevékenységeket (Kosztyán, 2013). (A bizonytalan kapcsolatot, illetve a bizonytalan tevékenység-előfordulást "?"-jellel jelöltem a (lásd 2-21. ábrán.)

A PEM bizonytalansága abból adódik, hogy a lehetséges tevékenységek, illetve kapcsolatok mindegyike kétféleképpen valósulhat meg: **vagy bekövetkeznek, vagy nem**. Ha bekövetkezik a tevékenység, illetve a kapcsolat, akkor a mátrixban levő értékkel számolunk ( $p$ ), ha nem, akkor a komplementerével ( $1 - p$ ). Az egyes projektváltozatok meghatározásával arra keressük a választ, hogy egy adott költség-, erőforrás- és időkeret figyelembe véve melyik tevékenységeket hajtsuk végre, illetve melyek maradhatnak el. Arra keressük a választ, hogy **MIT** hajtsunk végre azon tevékenységekből, amelyeket a projekt során el szeretnénk végezni. Eredményül SNPM mátrixszal jellemezhető úgynevezett *projektváltozatokat* kapunk (lásd 2-21. ábrán NDSM/SNPM felirat alatt). Azok a tevékenységek, amelyek nem kerülnek megvalósításra kikerülnek a mátrixból. Nemcsak a tevékenységet, hanem a kapcsolataikat is elhagyjuk (tehát a teljes sort, illetve oszlopot töröljük a mátrixból). Ha megvan a megvalósítandó projektváltozatunk, vagyis hogy mely tevékenységeket fogjuk végrehajtani, akkor merül fel a kérdés, hogy ezeket a tevékenységeket **HOGYAN**, milyen logikai sorrendben, milyen rákövetkezések alapján hajtsuk végre (lásd 2-21. ábrán DSMs felirat alatt). Az idő-, költség- és erőforráskorlátokat figyelembe véve meghatározható egy olyan projektváltozat, illetve a tevékenységek végrehajtásának egy olyan sorrendje, ahol ezeket a korlátokat nem lépjük túl (Németh, 2010; Németh és tsai., 2011).

A tervezés során előrelépést jelentett, hogy ma már nem kell legenerálni az összes lehetséges megoldást, amelyek a megadott korlátokba beleférnének.

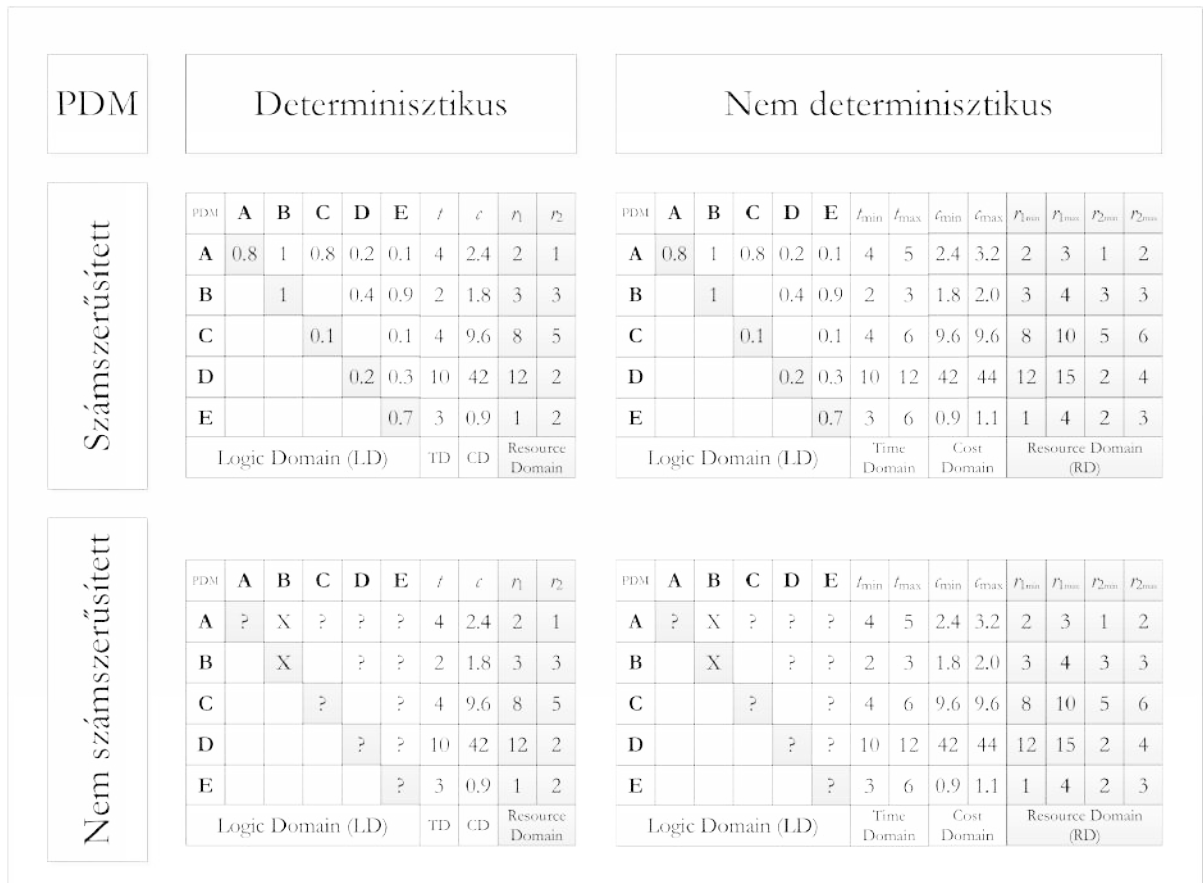


## 2.2.4. Többszemponútú és többszintű projektek tervezése

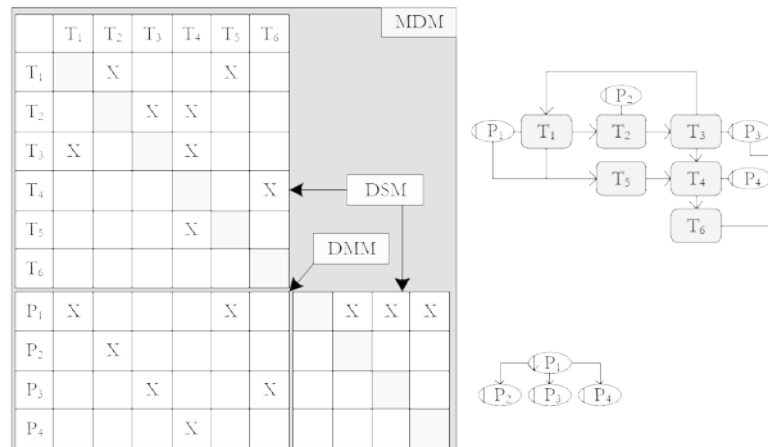
A mátrixalapú projekttervezési eljárásokat nem csak logikai tervezésre, hanem ütemezésre (Minogue, 2011; Chun-Hsien és tsai., 2003), valamint költség- és erőforrás-tervezésre is alkalmazták (Browning és Eppinger, 2002; Yan és tsai., 2002; Browning, 2014; Kosztyán, 2015b). A modellezéshez az  $n \times n$ -es logikai struktúrát leíró mátrix mellé további oszlopokat, úgynevezett *domain*-eket határoztak meg az idő-, költség- és erőforrás-adatok jelölésére. Az ilyen mátrixokat a kutatók angolul **Domain Mapping Matrix-oknak** - **DMM**) nevezték el (Danilovic és Sandkull, 2005; Maheswari és Varghese, 2005). A többszemponútú mátrixtervezési eljárásoknál a sorok és az oszlopok más szempontokat jelölnek. Ilyen mátrixokat alkalmazhatunk pl. az erőforrások tevékenységekhez való rendelésekor. A PEM mátrix idő-, költség- és erőforrás-adatokkal való kiterjesztése a **Project Domain Matrix PDM** (Kosztyán, 2015b). Kosztyán a PDM mátrixból négy változatot határozott meg attól függően, hogy a bizonytalan tevékenység-előfordulásokat, illetve tevékenység-relációkat számszerűsítjük vagy nem (specified PDM/ semi-specified PDM), az idő-, költség- és erőforrás-adatoknak több alternatíváját is meghatározhatjuk vagy nem (deterministic PDM/ non-deterministic PDM) (A PDM felépítettségét a 2-22. ábra mutatja be).

Ha többfajta logikai struktúrát (több dimenziót és több szempontot) kell összekapcsolnunk, akkor ki kell lépniük a korábban tárgyalt  $n \times m$ -es több részmatrixot tartalmazó összetett mátrixok adta lehetőségek köréből (Maurer és Braun, 2008; Yassine és tsai., 2003). Az ilyen típusú modellezési problémák kezelésére fejlesztették ki a *Multi-Domain Matrix*-ot (MDM) (Eppinger és Browning, 2012) (lásd 2-23. ábrán). Itt van lehetőség pl. egy projekt esetén a szervezeti hierarchia, a feladatstruktúra és az ütemterv összekapcsolására. A többdimenziós mátrix átlóiban szereplő táblázatok maguk is függőségi (DSM) mátrixok, míg az átlón kívül többszemponútú (DMM (lásd 2-23. ábrán)) mátrixok találhatóak. Danilovic és Browning (Danilovic és Browning, 2007) tanulmánya azonban még mindig fix kapcsolatokat és tevékenység-előfordulásokat feltételezett.

A karbantartási projekt a legkritkább esetben tartalmaz minden javító-megelőző te-



2-22. ábra. Project Domain Matrix; (Kosztján, 2015c) alapján saját szerkesztés



2-23. ábra. Többdimenziós mátrixos tervezési módszerek; (Danilovic és Browning, 2007) alapján saját szerkesztés

vékenységet. Ebből adódóan a Danilovic és Browning által javasolt megoldások nem alkalmazhatók a karbantartási projekt korrekt leírására. Új, átdolgozott tervezési módszertanra van szükség. Szükséges egy olyan módszer, amely szemlélteti a berendezés, rendszer összrendszerszintű állapotát. A módszer segítségünkre legyen abban, hogy adott költség- időkeret között ki tudjuk választani azon karbantartási tevékenységeket, amelyek elvégzésével összrendszerszintű megbízhatóságjavulás érhető el.

## 2.3. A karbantartási projektek és tervezésük hagyományos és újszerű megközelítései

A karbantartási stratégiák és a projekttervezési módszerek megismerését követően megvizsgáltam, hogy az eddig ismert karbantartási stratégiákra milyen projekttervezési módszereket alkalmaztak. A területek külön-külön történő vizsgálatai során már érezhető, hogy ez a két terület még csak érintőlegesen (sem) találkozott egymással.

Nem jelenthettem ki, hogy az RCM és/vagy RBM stratégia alapján működő vállalatok tevékenységeiket MPM és/vagy CPM módszerrel tervezik meg, vagy akár mátrixos

módszerekkel. Így szükséges volt, hogy másfelől közelítsem meg a karbantartási projektek tervezésének témakörét. A következő részekben bemutatom, hogy a különböző karbantartási megközelítések milyen tervezést segítő módszertant használhatnának. Vizsgálatom során a projekttervezési módszerekre koncentrálok.

Amikor a karbantartási területre nem volt más jellemző, mint a **reaktív karbantartás**, akkor a hozzáállás a technikai eszközök mindenkori műszaki állapotához inkább a mellőzését, mintsem bármiféle stratégiának az alkalmazását jelentette. Kétségtelen, hogy az eszközök egy részénél - még a mai napig is - ez a leghatékonyabb megoldás. Az adott eszközt addig használjuk, amíg teljesíti a tőle elvárható funkciókat. Meghibásodás esetén pedig megtesszük a szükséges intézkedéseket. Itt a (projekt)tervezés, a hiba bekövetkezése után valósulhat meg, amikor felméri a károkat, a helyreállításhoz szükséges tevékenységeket. Időt, költséget és emberi erőforrást társítanak a tevékenységekhez. Azonban fontos, hogy a hiba be se következzen. A hibák bekövetkezésének csökkentésére már alkalmaztak más karbantartási stratégiát korábban is.

A **TMK** (tervszerű megelőző karbantartás) rendszer (korábban a 2.1.2. fejezetben esett róla szó) egyaránt elterjed az iparban és a szolgáltatásban. A gépek, berendezések állandó működőképes állapotát a rendszeresen ismétlődő tervszerű vizsgálatokkal és javításokkal érik el. A TMK alkalmazása során elegendő, ha megfelelő helyre, dokumentumokba rögzítésre kerülnek az éppen aktuális és szükséges elvégzendő feladatok, előírt ellenőrzések, amelyeket a stratégia üzenetét figyelembe véve mindenképpen elvégzésre kerülnek. Azonban kis- és középvállalatok méreteit meghaladó cégek esetében célszerű és javasolt is, hogy a karbantartási tevékenységeket összhangba hozzák egymással. Legyenek a helyreállítási, karbantartási folyamatok, tevékenységek leszabályozva. Több esetben is tudnák munkájukat segíteni akár ciklogrammokkal, mivel a módszer egyszerű és átlátható. Felhasználásuk akkor célszerű, ha az előre meghatározott tevékenységek üteme minden következő időszakban változatlan.

A karbantartási stratégiák közül az **állapotfüggő karbantartás** az, amely az alkat-

részek kopásából, elhasználásának vizsgálatából, azokból levont következtetésekből indul ki. Itt már inkább elképzelhető a projekttervezési módszertan használata. A karbantartás tervezése az üzemeltetési adatok felvételével és kezelésével indul. A karbantartás irányítása szabja meg az irányokat, felügyeli a folyamatokat, biztosítja az eszközöket és a humánerőforrást. A helyreállítási terv szemléletes megjelenítéséhez használhatunk sávdiagrammot (Gantt diagram), azonban ez csak korlátozott számú tevékenység esetén használható. A tervezéshez pedig akár CPM és/vagy MPM módszer használata lehetne segítségünkre.

A CPM és maga az MPM is determinisztikus időadatokkal dolgozik. A CPM fő előnyei közé sorolhatjuk, hogy elemzésre és ellenőrzésre is használható.

A CPM segítségével könnyen meghatározhatjuk a helyreállítás során a kritikus tevékenységeket, az MPM módszer segítségével pedig tartalékidőket számolhatunk. Karbantartás során gyakori, hogy vissza kell térni egy-egy tevékenység megismétlésére. Ekkor már a CPM/ MPM tervezési eljárások nem használhatók. Valamivel bonyolultabb tervezési módszerhez kell folyamodni, amely képes a körök kezelésére.

A korábbiakhoz képest a következő módszerek (e két módszert ismertettem a 2.2.2. fejezetben) már nemcsak determinisztikus adatokat képesek kezelni, hanem sztochasztikusakat is. A GERT, amely a PERT-hez hasonló technika és képes több lehetséges projektváltozat, illetve körök kezelésére is. A PERT a tevékenységidőket valószínűségi változókként kezeli. A GERT-módszer esetében döntési helyzetekben már a tevékenységek közötti kapcsolatokat is valószínűségi változónak tekintik. Mindkét módszer során a tevékenységek időtartamait függetlennek feltételezzük, amely egy karbantartási terv összeállítása során nem igaz, hiszen ellenőrzésekre, a helyreállítás során váratlan hibákra lehet számítani és akkor nem tudjuk a tervezett idő alatt befejezni tevékenységeket.

A tervezések könnyen megvalósíthatók egy-egy berendezés esetében (a hátrányok ellenére is).

- Hogyan is tudnánk könnyen és egyszerűen egy teljes géppark karbantartástervezését kivitelezni?

- Hogyan látjuk át az elkészített karbantartási tervet?
- Hogyan tudjuk nyomonkövetni területenként a költségeink alakulását?

Ekkor már a hagyományos hálótervezési módszerek alkalmatlanná válnak és a összetett/bonyolult rendszerek reprezentálása irányába kell gondolkodni, amelyek akár képesek a rendszerelemek egymásra utaltságának megjelenítésére is (amely lehetőségről, már a 2.2.3. fejezetben írtam).

A karbantartási terv összeállításánál felmerül a kérdés, hogy milyen karbantartási tevékenységet milyen sorrendben hajtsunk végre. Erre a determinisztikus logikai tervezési technikák nem adnak megfelelő választ, mivel egy berendezés javításának technológiai folyamata kötött. Itt az egyes lépéseket nem lehet felcserélni. Az hogy melyik berendezéseket javítsuk például elsőként, majd másodikként, az már lehet egy prioritási sorrend eredménye, valamint a rendelkezésre álló idő-, költség- és erőforrásigények függvénye is.

Néhány projekt speciális megközelítést kíván, ahogy a karbantartási projektek is. A projektmenedzsment területén többféle megközelítés terjedt el. A legismertebbek név szerint a tradicionális, azaz a hagyományos, illetve az agilis. A hagyományos projekt megközelítések esetében adott az elérni kívánt cél, amelyet lehetőségeinkhez mérten "adott" idő-, és költségkereten belül el kell érni. Az agilis "filozófia" esetén viszont korlátként az idő és költségek szolgálnak, de hogy a kereteken belül a kitűzött célt hogyan, milyen tevékenységek sorozataként érem el, már nem korlátozó tényezők<sup>13</sup>. A karbantartási projektek esetében az utóbb említett agilis megközelítés használata kezd elterjedni, hiszen itt az idő- és költségkorlátok mellett nem ismert a kimeneti eredmény, csak egy tervezettel, elképzeléssel rendelkeznek, azaz legyen jobb a berendezésük.

A vállalatoknál/ gyakorlatban a rövidebb periódusokat részesítik előnyben. A követelmények változása elfogadott, még egy késői szakaszban is. A legnagyobb prioritás

---

<sup>13</sup>A hagyományos projektek esetében a kérdés mindig az, "Mennyibe fog ez kerülni?". Az agilis megközelítés esetében a következő kérdés merül fel: "Adott költség- és időkorlát mellett, mennyi projekttevékenység hajtható végre?"

az igényeknek megfelelő, értékes berendezés állapotának, funkcióinak megőrzése és életciklusának meghosszabbítása. A karbantartói csapaton belül az információk átadásának leghatékonyabb módja a személyes kommunikáció. Hátránya, hogy kiforratlan. Az agilis megközelítésnek még nincs igazán megfelelő "módszertana". Túlságosan meg kell változtatni a karbantartói kultúrát, hogy ez a fajta szemlélet jól tudjon működni. A látásmód megalapozásához egy karbantartástervezést segítő módszer lehet segítségünkre.

E párhuzamok alapján még további kérdés is felmerül. Mi történik abban az esetben, ha időközben az állapotot leíró paraméterek megváltoznak, és/vagy a költségvetés szűkítenek, és/vagy az rendelkezésre álló idő csökken és a megtervezett projekttervünket aktualizálni kell? A tervezés során felhasználni kívánt paraméterek megadhatók (kritikusság, megbízhatóság stb.) az RCM vagy akár az RBM elemzés által, amelyek még pontosabb állapotot határoznak meg. Az így végzett elemzések beépítésre kerülhetnek a karbantartási projekttervbe. Így azon helyreállító tevékenységekre helyeződik át a hangsúly, amelyek valóban fontosak. Azok a karbantartási tevékenységek kapnak magasabb prioritást, és azokat végezzük el hamarabb, amelyeknél a berendezések magasabb meghibásodási valószínűséggel, és ezért alacsonyabb várható meghibásodás nélküli üzemidővel rendelkeznek. A kapott RCM vagy RBM eredmények egy rangsort biztosítanak a tervezők részére. Az is előfordulhat, hogy ezek az értékek azt mutatják, hogy nem szükséges minden egyes berendezés karbantartását vagy helyreállítását az adott időben megvalósítani.

Olyan projekttervezési eljárás válik szükségessé, amely a megfogalmazott/ fent leírt kihívásokat teljesíti, továbbá a felhasználók részére is könnyen alkalmazható. A karbantartástervezés további kihívása, hogy olyan projektterv kerüljön kialakításra, amely a vállalat által rendelkezésre bocsátott költségtervet, illetve időtervet kiindulási alapnak tekinti. Ezek az információk birtokában fogalmaztam meg kutatásom egyik hipotézisét is.

**Hipotézis (1): A karbantartás-tervezési probléma modellezhető projekt-**

tervezési eljárás segítségével.

## 2.4. A projekttervezés kiemelt szerepe a karbantartásban

A karbantartási feladatok túlnyomó többségét már projektek keretében kellene, hogy realizálják, ahol a műszaki, technikai paraméterek mellett azon menedzsment módszerek és technikák kerülnek a középpontba (Németh és tsai., 2011), amelyek támogatják a feladatok hatékony és eredményes végrehajtását (Németh, 2011). A projektszemléletű karbantartási tevékenység során olyan területekre helyeződik a hangsúly, mint a projekt kialakítása, a projekt résztvevők kiválasztása, irányítása és motiválása, a projekt részletes tervezése és nyomon követése. Megállapíthatjuk, hogy a karbantartási projektek esetében a rendszerorientált projektszemlélet elengedhetetlen (Kiss és tsai., 2011; Kosztyán és Németh, 2013).

A karbantartási terv összeállításánál felmerülhet, hogy melyik karbantartási tevékenységet milyen sorrendben hajtsunk végre. Erre a determinisztikus logikai tervezési technikák nem adnak megfelelő választ, mert egy-egy berendezés javításának technológiai folyamata általában kötött. Nincs lehetőség a műveletek technológiai sorrendjének felcserélésére, vagy lehetőség a műveletek párhuzamosítására. Azonban döntés kérdése, hogy melyik berendezéseket és milyen sorrendben tartsuk karban az elkövetkezendő időszakban. Az egyes berendezések karbantartása sokszor egymástól független folyamat. Így, ha figyelembe vesszük a rendelkezésre álló idő- és erőforráskorlátokat is, akkor nagy segítséget nyújthat egy olyan tervezési módszer, amely a berendezések várható meghibásodásán túl az idő- és erőforráskorlátokat is figyelembe veszi a karbantartási terv elkészítésénél. A vállalatok számára fontos, hogy minél rövidebb idő alatt és a lehető legalacsonyabb költségen végezzék el a karbantartást és érjék el az elvárt megbízhatósági szinteket.



A hagyományos projektek esetében a kérdés mindig az, hogy mennyi lesz a projekt költségkerete. A hagyományos szemlélet szerint merev korlátként kezeljük a célt, eredményt, amit el szeretnénk érni, viszont a kívánalmakhoz mérten az idő és a költségek változni fognak. A karbantartási projektek esetében pedig a következő kérdés(ek) merül(nek) fel:

- Adott költség- és időkorlátok mellett mennyi projekttevékenység hajtható végre?
- Meddig jutok el a projektmegvalósításban?

A költség- és idő korlátokat legjobb esetben a tulajdonos(ok), vállalatvezető(k) a karbantartókkal együttműködve határozzák meg. A céljuk az, hogy a korlátokat (idő és költség) ne lépjék túl az eredmény vagy cél változása mellett, azaz a lehető legrövidebb átfutási idő alatt, a legkisebb költségen tudjuk végrehajtani a karbantartást. A karbantartási projektek esetében az idő- és költségkorlátok mellett nem ismert a kimeneti eredmény, csak egy tervszelével, elképzeléssel rendelkeznek, tehát legyen jobb, megbízhatóbb a berendezés, a megbízhatósága érje el az elvárt szintet a javítást követően.

Feltételezem, hogy ...

**Hipotézis (2): A megelőző karbantartás-tervezési probléma adott célfüggvényre (lehető legrövidebb átfutási idő, legkisebb költség) vonatkozó optimális megoldása meghatározható.**

A vállalatok elvárásai a karbantartókkal szemben az, hogy minél kevesebb idő alatt és a lehető legkevesebb költséggel, minél kevesebb anyagi befektetéssel éri el a kitűzött célokat, a megfelelő megbízhatóságot, vagy akár az alacsony kockázatot. Ahhoz, hogy elvárta, vagy éppen magasabb megbízhatóságot elérjék többletidő-ráfordításra van szükség, amelyekhez többletköltség társul.

## 2.5. Idő-költség átváltási módszerek

Az idő- és költségcsökkentési eljárások már több mint 60 évre tekintenek vissza. Az elsők között még Fulkerson (Fulkerson, 1961) foglalkozott olyan feladatokkal, ahol a tevékenyegek időtartama és a költségigénye között feleltetett meg egy folytonos függvényt. Feltételezte, hogy amennyiben egy tevékenységet rövidebb idő alatt kell végrehajtani, akkor ahhoz több emberi erőforrás, drágább technológia, több (közvetlen) költségigény fog társulni. A probléma e változatát folytonos költség-idő átváltási problémának, angolul Continuous Time-Cost Trade-off Problem (CTCTP) nevezik. A nyolcvanas évekig nagyon élénk kutatás folyt ezen a területen. Az idő- és költségigények között nemcsak lineáris (Kelley, 1961), hanem konvex (Berman, 1964; Lamberson és Hocking, 1970), valamint konkáv (Falk és Horowitz, 1972) függvénykapcsolatokat is tudtak kezelni.

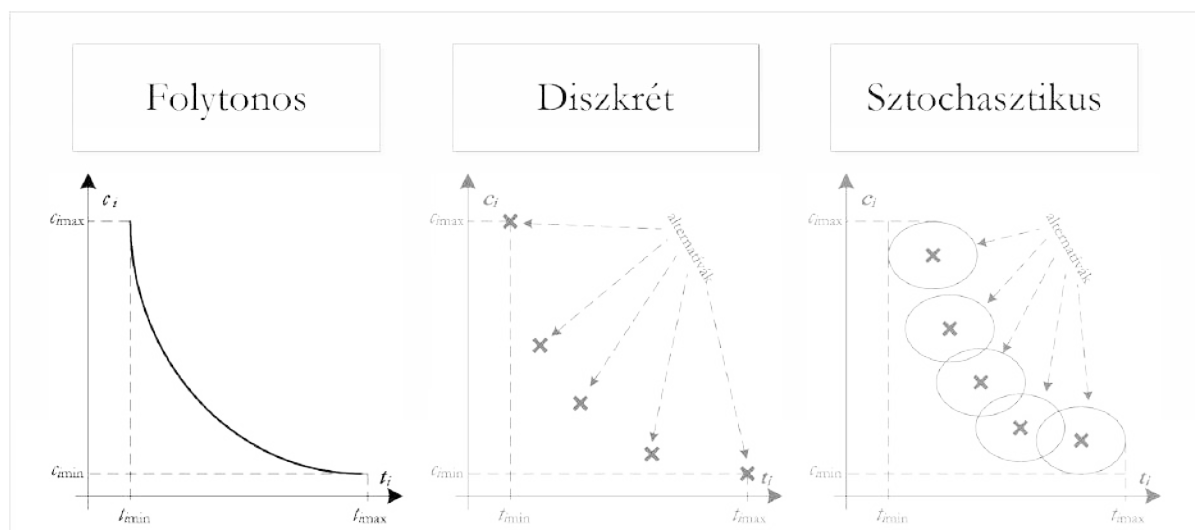
A folytonos átváltási problémák általában nagyon gyorsan megoldhatók. A lineáris idő-költség átváltási problémákat visszavezetve minimális költségű folyamatokra közel lineáris futásidőben végrehajtható algoritmusokat kaphatunk (lásd pl. (Ahuja és tsai., 1993; Goldberg és Tarjan, 1987; Goldberg, 1997; Orlin, 1993)).

A valóságot azonban sokkal jobban modellezi az átváltási probléma diszkrét változata. Nehezen elképzelhető ugyanis folytonos függvény a tevékenységek időtartama és pl. az emberi erőforrás-szükséglet között. Ugyanígy nehézkes folytonos függvényekkel jellemezni egy költségesebb, de időtakarékosabb technológia alkalmazásának hatását.

A diszkrét modellben úgynevezett végrehajtási módokat határozzunk meg. Ehhez tartoznak idő- és költségadatok. Általában itt is feltételezzük, hogy a végrehajtási időtartam csökkentése többletköltséggel jár (lásd: 2-24. ábrát). Mindkét változat esetén számos célfüggvényt határoztak meg a legegyszerűbbektől (pl. legrövidebb, legkisebb költségigényű projektterv megadása) egészen az összetett, adott költségigényt nem túllépő lehető legrövidebb vagy éppen az adott időszükségletet nem túllépő lehető legkisebb költségű projektterv meghatározásáig (De és tsai., 1997).

A problémát tovább bonyolítja, ha az idő- és költségigényeket a pontos értékek helyett csak intervallumon tudjuk becsülni (Feng és tsai., 2000; Ramu és tsai., 2017). Ekkor

az időtartamok és a költségigények közötti összefüggéseket egy pont helyett pl. egy szórásellipszissel jellemezhetjük (lásd: 2-24. ábrát).



2-24. ábra. Átváltási modellek; (De és tsai., 1995; De és tsai., 1997; Feng és tsai., 2000; Fulkerson, 1961) alapján saját szerkesztés

A karbantartási projekteknél a tevékenység-időtartamokat és a költségigényeket előre meg kell becsülnünk, ugyanakkor ilyen esetekben nehezen értelmezhető a tevékenységek és az időtartamok közötti folytonos függvénykapcsolat. Ezért az átváltási probléma diszkrét változatával foglalkozom. Ugyanakkor az idő- és költségadatok mellett a rendszer megbízhatóság növekedésével, mint a projekt egyfajta minőségi paraméterével dolgozom. Mint azt láthatjuk, „minőségi” paraméter tevékenységekhez való rendelése korántsem triviális feladat.

Egy karbantartási projekt esetén a minőségi paraméter a berendezések vagy berendezéselemek megbízhatóságának, vagy más számítások esetén rendelkezésre állásának (várható) javulásaként értelmezhető. Ugyanakkor ezeket a tevékenységeket berendezéselemekhez kell rendelnünk. A rendszer megbízhatóságának javulását pedig a megbízhatóságot leíró megbízhatósági diagram segítségével jellemezhetjük, aminek a struktúrája a karbantartási projekt struktúrájától jelentős mértékben eltérhet. Elképzelhető, hogy egy

alacsony megbízhatóságú rendszer elem jelentős mértékű javítása nem fogja a rendszer megbízhatóságát számottevően emelni, hiszen, ha pl. egy alacsony megbízhatóságú elem meghibásodásakor egy tartalékrendszer a feladatokat átveszi, akkor ez kisebb mértékű zavart okoz, mintha egy jóval magasabb megbízhatóságú, de tartalék rendszerrel nem rendelkező berendezés elem esik ki és veszélyezteti a teljes rendszer működését. A tartalékbeépítési tevékenység még az egyszerűbb eset, mert mind a költségek, mind pedig a megbízhatóság várható javulása jól jelezhető előre. Az egyéb meghibásodást megelőző beavatkozásoknál a költségek még viszonylag jó közelítéssel (bár sokszor csak a berendezés megbontása után), a várható megbízhatóság azonban nehezebben adható meg. Éppen ezért a javasolt modellben a minőségjavulás kiszámítása során a megbízhatósági diagramot is figyelembe kell vennünk, ahogyan arra a 2.1.7. fejezetben részletesen is kitértem.

1996-ban Babu és Suresh (Babu és Suresh, 1996) voltak az elsők, akik azt javasolták, hogy az időtartam és költségigény közötti kapcsolatok mellett a minőség-költség és minőség-idő relációkat is értelmezzék. A problémát idő-költség-minőség átváltási problémaként határozták meg (angolul: Time-Cost-Quality Trade-off Problems, rövidítve: TCQTP). A modelleknél nemcsak azt feltételezik, hogy az időtartam rövidítése közvetlen költségnövekménnyel jár, hanem azt is, hogy a magasabb minőség elérése is általában más, drágább technológiát igényel.

A problémakör leggyakrabban alkalmazott diszkrét változata (DTCQTP) NP nehéz feladat. Hiszen maga a diszkrét idő-költség átváltási feladat is NP nehéz, ezért a legtöbb (Rahimi és Iranmanesh, 2008; Tareghian és Taheri, 2006) kutató igyekezett valamilyen heurisztikus közelítő megoldást adni a probléma kezelésére.

Valamennyi itt bemutatott modell abból indul ki, hogy a projekttervek, illetve a projektet megadó logikai hálóstruktúrák változatlanok. Ugyanakkor a karbantartási projektek esetén még a nagyleállások esetében sem fogjuk valamennyi lehetséges javító megelőző tevékenységet elvégezni. Ki kell ezek közül választani azokat tevékenységeket, amelyek végrehajtása után egy kívánt rendelkezésreállást, vagy egy rendszer megbízhatósági szintet el tudunk érni, de emellett nem lépünk túl egy adott költségkeretet, ráadásul

mindezeket a javításokat a folyamatos termelés fenntartása érdekében a lehető leghamarabb végre is tudjuk hajtani.

A kutatásomat a preventív karbantartástervezésre (nagyleállások körére, a költség, időkímélő és megbízhatóságnövekedést elérő tervezésekre) szűkítettem, ezen belül is olyan tervezési eljárást dolgoztam ki, amely felhasználja a korábban végzett elemzési információkat is. Így nemcsak azt feltételezem, hogy a **karbantartási tervek projekttervezési eljárás segítségével modellezhetőek**, hanem azt is, hogy a

**Hipotézis (3): Preventív karbantartási projektek egy idő-minőség-költség átváltási problémaként leírhatók.**

## 2.6. Hipotézisek

A vállalatoknál nem áll rendelkezésre elegendő költség, illetve idő, hogy a karbantartást engedélyezze? Ha már elemzési munkákat hajtottunk/ hajtottak végre, miért nem gondolják tovább, és prioritizálják a berendezésegységeket.

- Amennyiben rendelkezésünkre állnak az anyagi források, illetve a szükséges idő, szükséges a berendezés megbízhatósága érdekében minden egyes egység javítása?
- Nem lenne elegendő csak a kiválasztott egységek helyreállítása és ez által növelhetnék a berendezés megbízhatóságát?

A feladat megoldásához először el kell tudnunk dönteni, hogy melyik tevékenységeket milyen sorrendben hajtjuk végre, végül pedig választanunk kell a megvalósítási alternatívák közül. A karbantartás és a projektmenedzsment tárgykörét végig járva kerestem azt a modellezési módszert, amely egyszerűen szemlélteti a hosszú órákkal eltöltött elemzések eredményeit, illetve amely megfelelő alapot tudna szolgáltatni a berendezés összrendszerszintű megbízhatóságának számolásához. Lépésről lépésre szeretném bemutatni, hogy mely berendezések karbantartásának elvégzése valósítható meg egy adott szűkös költség- és időkeret között úgy, hogy a berendezéseim összrendszerszintű megbízhatósága a karbantartás befejeztével érje el az elvárt megbízhatósági szintet.

**H1 Preventív karbantartási projektek egy idő-minőség-költség átváltási problémaként leírhatók.**

**H2 A karbantartás-tervezési probléma modellezhető projekttervezési eljárás segítségével.**

**H3 A megelőző karbantartás-tervezési probléma adott célfüggvényre (lehető legrövidebb átfutási idő, legkisebb költség) vonatkozó optimális megoldása meghatározható.**

## 3. fejezet

# Karbantartási projektek mátrixos tervezése

A probléma modellezését egy mátrix-modell segítségével valósítottam (Kosztyán és tsai., 2013; Kosztyán és tsai., 2010) meg. A probléma megoldására javasolt algoritmus három fázisból áll (Németh, 2013), melynek első két fázisa polinomiális rendben oldja meg a megelőző karbantartási feladat diszkrét idő-minőség-költség átváltás problémáját.

A legfontosabb eltérés, hogy itt a legkritkább esetben fog megvalósulni, hogy valamennyi javító-megelőző tevékenység megvalósuljon. Ez alól nem kivétel a nagyleállás és az időszakosan elvégzett úgynevezett fővizsgálat.

A javasolt PDM mátrix minden esetben négy részmátrixot, *domain*-t tartalmaz. Az első  $n \times n$  -es részmátrix a logikai kapcsolatokat (Logic Domain, **LD**) írja le egy PEM mátrix segítségével. A módszer alkalmazásához nem szükséges a logikai kapcsolatokat és a tevékenységeket számszerűsíteni. Elegendő csak azt meghatározni, hogy a tevékenység-előfordulások, illetve a kapcsolatok biztosak („X”) vagy bizonytalanok („?”). Az üres cellák felelnek meg annak, ha két tevékenység között nem értelmezünk rákövetkezési relációt.

A következő részmátrix (Time Domain, **TD**) a tevékenységek időtartamát mutatja. Ha minden tevékenység időtartamát egyetlen számmal jellemezzük, akkor az időadatokat



determinisztikusnak tekintjük. Lehetőség van azonban különböző megvalósítási alternatívákhoz tartozó időadatokat is megadni. A 2-22. ábrán az utolsó oszlopban ezek közül csak a minimális, illetve a maximális időtartam került jelölésre.

A harmadik részmatrix (Cost Domain, **CD**) a tevékenységek közvetlen költségét jellemzi. A költségek is lehetnek determinisztikusak, ekkor egy tevékenységhez csak egyetlen költségalternatívát rendelünk. Hasonlóan a tevékenységekhez itt is lehet akár több költségigényt is rendelni egyetlen tevékenységhez, modellezve, hogy a tevékenységek különbözőképpen, ebből adódóan pedig különböző költségigénnyel hajthatók végre. A költségigényeket itt tágabban, nem megújuló erőforrásként is lehet értelmezni.

A PDM modell utolsó részmatrixa a megújuló erőforrásokat tartalmazó részmatrix (Resource Domain, **RD**). Ha  $r$  db erőforrással rendelkezünk, akkor determinisztikus esetben  $r$  oszlopból áll ez a részmatrix. Itt is lehetőség van azonban egy-egy alternatívához különböző erőforrás-igényt rendelni.

Kosztyán Zsolt Tibor (Kosztyán, 2015a) a javasolt mátrixmodellen túl egy polinomiális rendű, gyors algoritmust is javasolt számszerűsített determinisztikus PDM mátrixok kiértékelésére. A módszer kihasználta, hogy minden bizonytalan tevékenység-előfordulás esetén két lehetséges alternatíva között kell dönteni, nevezetesen: vagy megvalósítjuk, vagy elhagyjuk a tevékenységet a projektből. Minden lépésnél ki lehet számítani, hogy mi a legkisebb költségű projektterv (a kötelező tevékenységeken kívül minden még bizonytalan tevékenység-előfordulás elhagyása), mi a lehető legrövidebb projektterv (minden (még) bizonytalan kapcsolat feloldása és a tevékenységek legkorábbi időpontra való ütemezése) (Kosztyán, 2013). Ha a két lehetséges alternatíva közül bármelyiknél teljesül, hogy a korlátként szabott minimális költségigényt a lehető legkisebb költségigényű projektváltozat is túllépi, akkor azt a döntési ágat nem érdemes tovább értékelni, mert a kitűzött korlátokon belül nem valósítható meg a projekt. A módszerről részletesen lehet olvasni Kosztyán Zsolt Tibor (Kosztyán, 2015b) tanulmányában. Ebben az esetben a tevékenység-előfordulások és kapcsolaterősségekhez rendelt pontértékekkel lehetett meghatározni a projektváltozatok és projektstruktúrák pontértékeit, költség- és erőfor-

rásigényeit. Polinomiális rendben lehetett meghatározni az első  $N$  legvalószínűbb, legfontosabb, legrövidebb, vagy legkisebb költséggel rendelkező projektterveket anélkül, hogy szükség lett volna valamennyi projektterv meghatározására. Azonban olyan tervekkel is kell foglalkozni, amelyekben a projekttervben szereplő tevékenység-előfordulásokhoz nem feltétlenül tudok pontértéket rendelni. Ezek alapján a projektváltozatok pontértékeit sem tudom meghatározni. A karbantartási projektterv összeállításánál javító megelőző tevékenységeket hajtunk végre, amelyek különböző technológiával, különböző költség- és időigényekkel járhatnak, tehát a PDM táblázatban bemutatott PDM-mátrixok közül a nem számszerűsített nem determinisztikus változatot kell alkalmaznom, illetve megbízhatósági blokkdiagramot, a berendezéselemekhez rendelhető javító megelőző tevékenységet és a becsült megbízhatóságnövekedést beépítve továbbfejlesztmem.

### 3.1. A karbantartási probléma meghatározása

A probléma egy úgynevezett hibrid idő-költség-minőség átváltási probléma (Hybrid Time-Cost-Quality Trade-off Problem, HTCQTP), diszkrét változatának egy speciális aleseteként tekinthető. Jelen munkámban ezt a megelőző karbantartás-tervezési feladatot (angolul: Preventive Maintenance Project Scheduling Problem, rövidítve: PMPSP) formalizálom, amely a diszkrét idő-minőség-költség átváltási probléma (DTCQTP) általánosításaként tekinthető.

A formalizmus megadásánál kihasználom, hogy a megvalósítás mátrixok segítségével történik, így az absztrakt megadáson kívül a mátrixos leírást is ismertetem.

**1. Definíció.** *Jelölje  $K := \{k_1, k_2, \dots, k_z\}$  a berendezések véges halmazát. A megbízhatósági diagram szomszédsági mátrixát megadó  $z \times z$  mátrixot jelölje  $\mathbf{K} \in \{0, 1\}^{z \times z}$ .*

A megbízhatósági diagramról feltételezhető, hogy egyszerű gráffal jellemezhető (többszörös élt és hurokélt nem tartalmaz), ebből adódóan a szomszédsági mátrix átlója 0 értékeket tartalmaz, amelyet a későbbiekben felhasználok a kritikussági, megbízhatósági vagy rendelkezésre állási adatok jelölésére (lásd: 3.2. fejezetet).

**2. Definíció.** Jelölje  $R : K \rightarrow [0, 1]$  a berendezés(elem) megbízhatósági függvényét. Jelölje továbbá  $TSR(K) \in [0, 1]$  a teljes rendszer megbízhatóságát.

A megbízhatósági függvény jelen esetben egy rögzített  $t > 0$  időpontban mutatja az  $R_i = R(k_i)$  rendszerelem megbízhatóságát. Abban az esetben, ha ez a megbízhatósági érték egy úgynevezett  $cr_i$  kritikus megbízhatósági érték alá esik, akkor a berendezéselem javítására mindenképpen szükség lesz (lásd:3-1 ábrán).

**3. Definíció.** Jelölje  $A := \{a_1, \dots, a_n\}$   $n$  elemű véges halmaz a berendezéselemek megelőző karbantartásához kapcsolható javító-megelőző tevékenységek halmazát. Jelölje a bizonytalan tevékenység-előfordulások halmazát  $\tilde{A} = \{\tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_s\} \subseteq A$ , valamint  $\bar{A} = A \setminus \tilde{A}$  a kötelezően végrehajtandó javító-megelőző tevékenységek halmazát.

**4. Definíció.**  $\mathcal{A} = (A, \prec, \sim, \bowtie)$  struktúrát **hibrid projektervnek** nevezzük, ahol  $(\prec, \sim, \bowtie)$  bináris relációkat  $\forall a_i, a_j \in A, i \neq j$  esetén a következőképpen értelmezzük.

- (1)  $a_i \prec a_j \Rightarrow a_i$  és  $a_j$  **között szigorú rákövetkezési reláció** áll fent.  $a_j$  a **követő**, míg  $a_i$  a **megelőző tevékenység**
- (2)  $a_i \sim a_j \Rightarrow a_j$  nem követi  $a_i$  tevékenységet
- (3)  $a_i \bowtie a_j \Rightarrow$  későbbi döntés eredményeként  $a_j$  követni fogja  $a_i$ -t, vagy nem. A döntés eredményéig az ilyen kapcsolatot **bizonytalan kapcsolatnak** nevezzük.

Amennyiben a bizonytalan kapcsolatok számossága  $|\tilde{A}|$  akkor a lehetséges projektváltozatok száma:  $2^{|\tilde{A}|}$ . A tevékenységeket és kapcsolataikat egy  $n \times n$ -es PEM mátrix reprezentálhatja.

**5. Definíció.** Jelölje  $\Xi(A) := \{S \subseteq A : \bar{A} \subseteq S\}$  a **projektváltozatok halmazát**.  $A$  halmaz egy elemét a **kiválasztott projektváltozatnak** nevezzük:  $S \in \Xi(A)$ .

Egy kiválasztott projektváltozat már nem tartalmaz bizonytalan tevékenység-előfordulásokat. Egy  $\mathcal{S} = (S, \prec, \sim, \bowtie)$  mátrix-reprezentációját egy SNPM mátrix írja le. Mivel sem a bizonytalan tevékenység-előfordulásokat, sem pedig a bizonytalan kapcsolatokat nem

számszerűsítek, így a mátrixreprezentációkban a biztos kapcsolatokat jelölheti „X” illetve 1-es, a bizonytalan kapcsolatokat, illetve bizonytalan tevékenység-előfordulásokat „?” vagy 0.5. A mátrixreprezentációkban azokat a kapcsolatokat/tevékenységeket, melyeket elhagyunk a projektből, jelölje üres cella „ $\emptyset$ ” vagy 0.

**6. Definíció.**  $\mathcal{X} = (S, \prec, \sim)$  struktúrát **projektstruktúrának** nevezünk, ahol  $S \in \Xi(A)$  egy kiválasztott projektváltozat.

Egy projektstruktúra már nem tartalmaz bizonytalan kapcsolatokat. A projektstruktúra logikai tervének mátrixreprezentációja egy szomszédsági vagy DSM mátrix.

Az ütemezési és különösen az átváltási problémáknál nagyon gyakran feltételezik, hogy a tevékenységgráf, amit itt a projektstruktúra jellemez, nem tartalmaz kört. Ezt itt úgy írható le, hogy  $\prec$  reláció részben rendezés  $S$  halmazon. Már a kezdeti mátrixtervezési módszerek (lásd: Steward (Steward, 1981b)) is modellezték, detektálták (lásd: Xiao és mtsai (Xiao és tsai., 2007)), valamint egynél kisebb valószínűségű visszacsatolásoknál fel is oldották az ilyen visszacsatolásokat. Az egyszerűség végett feltételeztem, egy projektstruktúra már nem tartalmaz köröket.

A javasolt algoritmus során minden bizonytalan tevékenység-előfordulásról döntök, hogy megvalósítom vagy nem. Ezután pedig minden bizonytalan kapcsolatról határozok, hogy előírom (soros megvalósítás), vagy nem (párhuzamos megvalósítás). A módszert egészen addig folytatom, ameddig nem maradt bizonytalan kapcsolat a modellben. Vagyis az eredményül kapott, a projekttervet leíró mátrixreprezentáció már nem fog „?” szimbólumot tartalmazni.

**7. Definíció.** Tegyük fel, hogy minden  $a \in A := \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  tevékenységet  $m \in \mathbb{Z}^+$  módon tudunk végrehajtani. Tegyük fel továbbá, hogy minden tevékenységhez összesen  $r$ -féle erőforrást rendelhetünk, akkor minden  $a \in A$  tevékenységre vonatkozó végrehajtási módok  $r + 3$  -asokkal írhatók le:  $M_a := \{(t_a, c_a, \Delta R_a, r_{a_1}, r_{a_2}, \dots, r_{a_r}) : 1, 2, \dots, m\}$ , amelyek tartalmazzák a végrehajtási mód idő- ( $t_a$ ), illetve költségigényét ( $c_a$ ), valamint a javító-megelőző tevékenység adott berendezés elemre gyakorolt megbízhatóság-növekedését ( $\Delta R_a$ ), ezen kívül pedig az erőforrás-szükségleteket ( $r_{a_1}, r_{a_2}, \dots, r_{a_r}$ ).

**1. Megjegyzés.** Jelölje egy  $a_j \in A$  tevékenység  $v, w \in \{1, 2, \dots, m\}$  végrehajtási módjainak időigényét:  $t_{jv}, t_{jw}$ , költségigényét:  $c_{jv}, c_{jw}$ , erőforrásigényeit leíró vektort:  $\mathbf{r}_{jv}, \mathbf{r}_{jw}$ , valamint a tevékenység hatására jelentkező megbízhatóság-növekedést:  $\Delta R_{jv}, \Delta R_{jw}$ . Az átváltási feladatoknál általában feltételezik, hogy  $t_{jv} < t_{jw}$  esetén  $c_{jv} \geq c_{jw}$ ,  $\mathbf{r}_{jv} \geq \mathbf{r}_{jw}$  valamint  $\Delta R_{jv} \leq \Delta R_{jw}$  teljesül, vagyis az időbeli rövidítés, pótlólagos (közvetlen) költségnövekménnyel (lásd: TPTC. ábrát), illetve pótlólagos erőforrás-növekménnyel jár, miközben a rövidebb idő alatt kisebb mértékben lehet növelni a berendezéselemek és a rendszer megbízhatóságát. Látni fogjuk, hogy ezt az összefüggést a javasolt algoritmusunk során sehol nem használjuk ki. Csak annyit várunk el, hogy a különböző módokat tekintve az idő-, erőforrás- és költségigények korlátosok legyenek. Lehessen meghatározni a minimális és maximális szükségleteket, valamint a minimális és maximális megbízhatóság-növekményeket.

Miután meghatároztam, melyik tevékenységeket hajtom végre (1. fázis), valamint azt is megállapítottam, hogy milyen sorrendben hajtom ezeket végre (2. fázis), ki kell választani, hogy a tevékenységeket milyen módon végzem el (3. fázis). Eredményül egy úgynevezett projektütemtervet kapok, amely tartalmazza a végrehajtandó tevékenységeket és a végrehajtás módját.

**8. Definíció.** Tekintsünk egy  $\mathcal{X} = (S, \prec, \sim)$  projektstuktúrát, ahol  $S \in \Xi(A)$  egy kiválasztott projektváltozat. A **projektütemterv** azon  $a \in S$  tevékenységekre vonatkozó idő-, költség-, erőforrásigények, illetve a javító-megelőző tevékenység okozta megbízhatóságjavulások halmaza,  $\vec{s}_{\mathcal{X}} = \{s_a : a \in S\}$  ahol  $s_a \in M_a$ .

**9. Definíció.** Egy rögzített  $\mathcal{X} = (S, \prec, \sim)$  projektstruktúrára vonatkozó  $\vec{s}_{\mathcal{X}}$  projektütemtervre a **projekt teljes költsége (Total Project Cost, TPC)** a projektütemtervben szereplő tevékenységek költségigényeinek összegeként tekinthető:

$$c(\vec{s}_{\mathcal{X}}) := \sum_{(c,t,\Delta R,r_1,\dots,r_r)=s_a, a \in S, s_a \in M_a} c.$$

Hasonlóan kiszámítható a  $\vec{s}_{\mathcal{X}}$  átfutási ideje (Total Project Time, TPT), amelyet jelöljön  $t(\vec{s}_{\mathcal{X}})$ , valamint a rendszer megbízhatóságának (Total System Reliability, TSR)

növekménye, a rendszer  $K$  berendezéseire, melyet jelöljön  $\Delta TSR(K, \vec{s}_{\mathcal{X}})$ . Jelölje továbbá  $\mathbf{r}_{\max}(\vec{s}_{\mathcal{X}})$  az erőforrás-maximumokat tartalmazó  $r$  elemű vektort. (A függvények számításait a mellékletben (lásd: 6-16.,6-17.,6-18. ábrák) elhelyezett pszeudo kódok tartalmazzák.)

A formalizálást követően **2. hipotézisem** alátámasztásra került:

**A preventív karbantartási projektek egy hibrid idő-minőség-költség problémaként leírhatók.**

A bevezetett jelölésekkel már megfogalmazható a megelőző karbantartási projekttervezési probléma.

**1. Probléma (a).** *Megelőző karbantartástervezési probléma (Preventive Maintenance Project Scheduling Problem, PMPSP), legrövidebb átfutási idejű projektütemterv keresése:* Legyen  $K := \{k_1, k_2, \dots, k_z\}$  egy véges, berendezéselemeket tartalmazó halmaz. Legyen továbbá  $A := \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  véges tevékenységeket tartalmazó halmaz. Jelölje  $S \in \Xi(A)$  egy kiválasztott projektváltozatot  $S \subseteq A$ , valamint jelöljön  $\mathcal{X} = (S, \prec, \sim)$  egy projektstruktúrát. A projektstruktúra egy lehetséges projektütemtervét jelölje  $\vec{s}_{\mathcal{X}}$ . Legyen  $C_c \geq 0$  a költség-  $C_t \geq 0$  az idő  $\mathbf{C}_r \geq \mathbf{0}$  pedig az erőforráskorlát vektora. Jelölje továbbá  $1 \geq C_{\Delta TSR} \geq 0$  az előírásként tekinthető minimális rendszer megbízhatóság-növekmény.

$$\arg \min t(\vec{s}_{\mathcal{X}}) \tag{1}$$

feltéve, hogy

$$c(\vec{s}_{\mathcal{X}}) \leq C_c$$

$$\mathbf{r}_{\max}(\vec{s}_{\mathcal{X}}) \leq \mathbf{C}_r$$

$$1 \geq \Delta TSR(K, \vec{s}_{\mathcal{X}}) \geq C_{\Delta TSR}$$

A fenti feladat során azt az  $\vec{s}_x$  projektütemtervet kell meghatározni, ahol a költség- és erőforráskorlátokat figyelembe véve, egy minimális rendszer megbízhatóság-növekményt elérve a javító-megelőző tevékenységeket a lehető legrövidebb idő alatt lehet elvégezni. Mivel a gyakorlatban ez a feladat szokott a leggyakrabban előfordulni, és a folyamatos működéshez a legfontosabb, hogy minél rövidebb idő alatt sikerüljön a karbantartási projektet végrehajtani, ezért a továbbiakban is ezzel a feladattal foglalkozom. A bemutatott módszer alkalmas az adott korlátokat betartó legkisebb költséggel rendelkező, vagy éppen a legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekményt elérő projektterv meghatározására is. Ekkor a feladatok a következőképpen írhatók le.

**1. Probléma (b).** *Megelőző karbantartás-tervezési probléma (Preventive Maintenance Project Scheduling Problem, PMPSP), legkisebb költségű projektütemterv keresése:*

$$\arg \min c(\vec{s}_x) \tag{2}$$

feltéve, hogy

$$t(\vec{s}_x) \leq C_t$$

$$\mathbf{r}_{\max}(\vec{s}_x) \leq \mathbf{C}_r$$

$$1 \geq \Delta TSR(K, \vec{s}_x) \geq C_{\Delta TSR}$$

**1. Probléma (c).** *Megelőző karbantartás-tervezési probléma (Preventive Maintenance Project Scheduling Problem, PMPSP), legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel járó projektütemterv keresése:*

$$\arg \max \Delta T S R(K, \vec{s}_x) \quad (3)$$

feltéve, hogy

$$t(\vec{s}_x) \leq C_t$$

$$c(\vec{s}_x) \leq C_c$$

$$\mathbf{r}_{\max}(\vec{s}_x) \leq \mathbf{C}_r$$

## 3.2. A mátrix-alapú modell felépítése - Multi-domain Maintenance Management Matrix

A karbantartási tervek összeállításához felhasználtam a  $\mathbf{M}^4$  (**Multi-domain Maintenance Management Matrix**) mátrix modellt, amely összesen 7 részmátrixot (domain-t) tartalmaz (lásd: 3-1. ábrán), amelyek a következők:

1. **Block domain (BD; blokkmátrix)**: egy  $z \times z$  mátrix, ahol  $z$  a berendezés(elemek) számát adja meg. A részmátrix a megbízhatósági blokkdiagram (RBD) mátrixreprezentációja, ahol az átlók tartalmazzák a kritikussági, megbízhatósági vagy rendelkezésre állás értékeit. Legyen  $\beta_{ij}$  egy cellája **BD** részmátrixnak, ahol  $i \neq j$  esetén  $\beta_{ij} = 1$  jelenti a megbízhatósági diagramban két berendezés(elem) közötti kapcsolatot.  $\beta_{ij} = 0$  pedig azt jelenti, hogy a két berendezés elem között megbízhatósági szempontból nincs kapcsolat. A diagonális értékek  $0 \leq R(k_i) = r_i = \beta_{ii} < 1$  a berendezéselemek megbízhatóság-értékei lesznek.
2. **Equipment-task mapping domain (ED; berendezéselem-mátrix)**: egy  $z \times n$ -es (átváltási) mátrix, ahol  $n$  a javító-megelőző tevékenységek,  $z$  pedig a berendezéselemek számát jelöli. **ED** (rész)mátrix egy elemét jelölje:  $\varepsilon_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, z; j =$



$1, 2, \dots, n$ ). Az  $1 \geq \varepsilon_{ij} \geq 0$  egy  $a_j$  javító-megelőző tevékenység relatív hatását mutatja egy  $k_i$  berendezés elem megbízhatóságára. Egy berendezés(elemhez) több javító-megelőző tevékenységet is rendelhetünk, de egy javító-megelőző tevékenység csak egy berendezés-elemhez tartozhat.

3. **Increase of reliability domain (ID; megbízhatóságnövekmény-mátrix):**

egy  $m \times n$ -es mátrix, ahol  $n$  a tevékenységek száma, míg  $m$  a lehetséges megvalósítási módok száma. Legyen  $1 \geq \eta_{wj} \geq 0$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $w = 1, 2, \dots, m$ ) egy cellája az **ID** mátrixnak. Ekkor  $\eta_{jw}$  azt mutatja, hogy ha egy  $a_j$  javító-megelőző tevékenységet  $jw$  módon valósítunk meg, és az mennyivel növelheti a berendezés(elem)ek megbízhatóságát. Ekkor egy  $k_i$  berendezéselemre vonatkozó megbízhatóság-növelés a következőképpen számítható:  $\Delta R(k_i) = \sum_{j=1}^n \varepsilon_{ij} \eta_{jw}$ . Egy  $a_j$  tevékenység végrehajtásából eredő minimális, illetve maximális megbízhatóság növekedést jelölje:  $\eta_j^{\max} = \max_w \eta_{jw}$ , illetve  $\eta_j^{\min} = \min_w \eta_{jw}$ . Jelölje  $\Delta \mathbf{R}_{\max} := \{\eta_1^{\max}, \eta_2^{\max}, \dots, \eta_n^{\max}\}$ , illetve  $\Delta \mathbf{R}_{\min} := \{\eta_1^{\min}, \eta_2^{\min}, \dots, \eta_n^{\min}\}$  a maximális megbízhatóságnövekmény vektorokat.

4. **Logic domain (LD; logikaimátrix):** egy  $n \times n$ -es mátrix, ahol  $n$  a javító-

megelőző tevékenységek száma;  $\lambda_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ) egy cellája az **LD** (rész)mátrixnak. A diagonális ( $\lambda_{ii}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ) elemek reprezentálják a tevékenység-előfordulásokat. 0 jelenti, ha nem valósítjuk meg a tevékenységet, 0,5 jelöli a bizonytalan tevékenység-előfordulást, 1 pedig a biztos tevékenységmegvalósítást. A diagonálison kívüli cellák ( $\lambda_{ij}$ ,  $i \neq j$ ) reprezentálják a tevékenységek közötti kapcsolatokat, ahol 0, jelöli a rákövetkezési kapcsolat hiányát, 1 a rákövetkezési kapcsolat meglétét, 0,5 pedig a bizonytalan kapcsolatot mutatja. Ebben a modellben nem adok további pontértékeket a tevékenység-előfordulásoknak, sem a kapcsolaterősségeknek.

5. **Time domain (TD; időmátrix):** egy  $n \times m$ -es mátrix, ahol  $n$  a javító-megelőző

tevékenységek számát,  $m$  pedig a végrehajtási módok számát jelöli.  $\tau_{jw} \geq 0$  cellaérték jelöli a  $w$  módon végrehajtandó  $a_j$  tevékenység időigényét. Jelölje egy

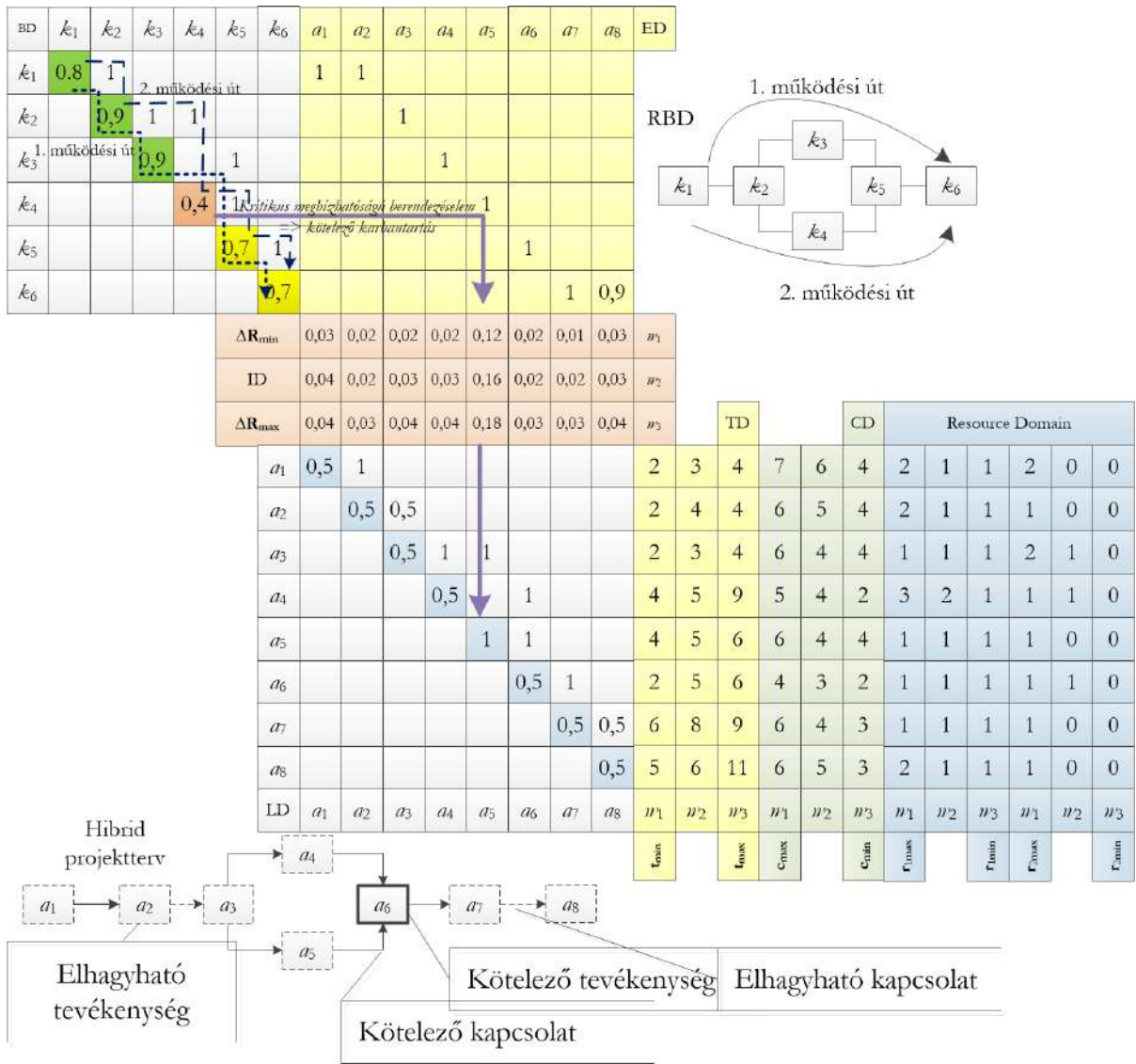
$a_j$  tevékenység a maximális, illetve minimális időigényét  $\tau_j^{\max} = \max_w \tau_{jw}$ , illetve  $\tau_j^{\min} = \min_w \tau_{jw}$ . Jelölje továbbá  $\mathbf{t}_{\max} := [\tau_1^{\max}, \tau_2^{\max}, \dots, \tau_n^{\max}]$ , és  $\mathbf{t}_{\min} := \{\tau_1^{\min}, \tau_2^{\min}, \dots, \tau_n^{\min}\}$  a maximális/minimális időigényeket tartalmazó vektort.

6. **Cost domain (CD; költségmátrix):** egy  $n \times m$  -es mátrix, ahol  $n$  a javító-megelőző tevékenységek számát,  $m$  pedig a végrehajtási módok számát jelöli.  $\zeta_{jw} \geq 0$  cellaérték jelöli a  $w$  módon végrehajtandó  $a_j$  tevékenység költségigényét. Jelölje egy  $a_j$  tevékenység a maximális, illetve minimális költségigényét  $\zeta_j^{\max} = \max_w \zeta_{jw}$ , illetve  $\zeta_j^{\min} = \min_w \zeta_{jw}$ . Jelölje továbbá  $\mathbf{c}_{\max} := [\zeta_1^{\max}, \zeta_2^{\max}, \dots, \zeta_n^{\max}]$ , és  $\mathbf{c}_{\min} := [\zeta_1^{\min}, \zeta_2^{\min}, \dots, \zeta_n^{\min}]$  a maximális/minimális erőforrás-igényeket tartalmazó vektort.

7. **Resource domain (RD; erőforrásmátrix):** egy  $n \times rm$  -es mátrix, ahol  $n$  a javító-megelőző tevékenységek,  $r$  a (megújuló) erőforrás-igények,  $m$  pedig a végrehajtási módok számát jelöli. A mátrix első  $m$  oszlopában az első módon, a második  $m$  oszlopában a második módon, az  $r$ -edik  $m$  oszlopában a  $r$ -edik erőforrásoknak a tevékenységek egyes végrehajtási módjaihoz tartozó igényeit jelöljük.

A hét részmatrix elhelyezkedését mutatja a 3-1. ábra egy példán keresztül feltételezve, hogy a kritikus beavatkozási érték valamennyi berendezés-elemre  $cr = 0,5$ . Mivel 3-1. ábrán  $k_4$  berendezés-elemre  $R(k_4) = 0,4 < cr$  ezért  $k_4$  megbízhatóságát javítani kell. Ebből adódóan  $a_5$  tevékenységet el kell végezni, hogy a minimális 0,5-ös megbízhatósági értéket elérjük.

Megbízhatósági szempontból  $k_3$  és  $k_4$  berendezéselem párhuzamosan van csatolva egymással, e két elemmel pedig sorosan az összes többi rendszerelem. Az ábrán bejelölt 2 működési út adható meg. Ebből adódóan a rendszer megbízhatósága:  $TSR = R(k_1)R(k_2)(1 - (1 - R(k_3))(1 - (R(k_4))R(k_5)R(k_6))$ .



3-1. ábra. Megelőző karbantartás-tervezés mátrix-alapú modellje; saját kutatómunka alapján szerkesztve

### 3.3. Lehetséges megoldások meghatározása

A karbantartási tervek modellezése nem elegendő, mivel szükséges, hogy meg tudjam határozni, hogy melyik berendezéseket tartassam karban. Ehhez egy algoritmust (melynek angol neve: Preventive Maintenance Project Scheduling Algorithm, PMP SA) dolgoztam ki, amelynek valamennyi fázisában kihasználom, hogy az elérhető, idő-, költség-, erőforrás- és maximális megbízhatósági értékek, az összes lehetséges projektváltozat meghatározása nélkül kitudjam számolni.

A legtöbb költség akkor keletkezik, ha valamennyi javító-megelőző tevékenységet végrehajtanak a karbantartók és ezek közül is a legköltségesebb alternatívát választanak ki ( $C_{\max}$ ). Legkevesebb költségű projektváltozatot az a projektterv adja, ahol csak a kötelező tevékenységek szerepelnek a projekttervben és itt is a legkevésbé költséges alternatívát választják ( $C_{\min}$ ).

Nagyon hasonlóan a költségekhez, amennyiben a tevékenységek várható hatását meg tudom határozni, akkor becsülhető a maximális megbízhatóság-javulás ( $\Delta T S R_{\max}$ ). Ezt az értéket itt is akkor érem el, ha valamennyi javító-megelőző tevékenység végrehajtásra kerül. Ha csak a kötelezőkre szorítkozok, akkor a minimális megbízhatóság-javulást ( $\Delta T S R_{\min}$ ) fogja jelölni.

Az időszükséglet számításához a fentiekén kívül a tevékenységek közötti kapcsolatokat is figyelembe kell venni. A legrövidebb projekttervet akkor kapom, ha valamennyi bizonytalan tevékenységet későbbi projektbe ütemezek át, vagyis ebből a projektből elhagyom és valamennyi, technológiailag nem kötelező kapcsolatot feloldom és a tevékenységek végrehajtását párhuzamosítom ( $T_{\min}$ ). Ezzel szemben a leghosszabb átfutási időt ( $T_{\max}$ ) valamennyi tevékenység végrehajtása és az összes tevékenységkapcsolat betartása fogja eredményezni.

Ha a tevékenységeket a legkorábbi időpontra ütemezem, akkor az erőforrás-igények maximumát ( $r_{\max}$ ) akkor kapom, amikor az összes bizonytalan tevékenységet végrehajttatom, de valamennyi bizonytalan kapcsolatot feloldom (párhuzamos végrehajtás) és a megvalósítási módok közül azt választom, ahol az erőforrás-igény maximális. Ugyanígy a leg-

kevesebb erőforrás-igény ( $r_{\min}$ ) akkor keletkezik, ha valamennyi bizonytalan tevékenység-előfordulást elhagyom ebből a projektből (pontosabban átütemezem egy későbbi, másik projektbe,) a kötelező tevékenység-előfordulások kapcsolatait azonban meghagyom (soros végrehajtás,) és az erőforrás-igények közül a minimálisakkal számolok.

Az első és a második fázisban mindig két lehetséges alternatíva közül választok, az első fázisban: megvalósítatom, vagy elhagyom (átütemezem) a tevékenységet, a második fázisban pedig előírom, vagy feloldom két tevékenység között a kapcsolatot. Így a döntési fa, amit be kell járni, egy speciális bináris fa lesz. Valamennyi döntési ág esetén ki tudom számítani a lehetséges legkisebb, és legnagyobb idő-, költség-, erőforrásigényeket, illetve a minimális, maximális rendszer megbízhatóság-növekményt, feltéve, hogy a tevékenységet megvalósítatom, vagy elhagytam. Ekkor a döntési fa egy úgynevezett bináris kupac lesz (binary heap). A fa tetején megtudom mondani, hogy mi az a legkisebb idő-, költség-, erőforrásigény, amelyet biztosan igényel bármely projektváltozat. Egy tevékenység megvalósításáról vagy elhagyásáról döntve szintén ki tudom számolni a legkisebb idő-, költség- illetve erőforrás-igényt vagy éppen a maximális rendszer megbízhatóság-növekményt.

Nagyon fontos, hogy minden döntés után is egy  $M^4$  mátrixreprezentációt kapok, de az első fázisban minden lépésben eggyel csökken a bizonytalan tevékenységek, a másodikban a bizonytalan kapcsolatok száma. Őket a döntésemnek megfelelően vagy elhagyom, vagy előírom.

A javasolt módszer a projektváltozatok kiértékelése során azokat az alternatívákat részesíti előnyben, amelyek célfüggvényértéke legkedvezőbb.

Mivel minden döntés után megtudom mondani az elérhető legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekményt, és minimális idő- és költség-igényt, a következő vágási szabályokat határozhatom meg az első két fázisra.

**1. Szabály (TSR\_CUT).** *Ha egy projektváltozatra számolt maximális rendszer megbízhatóság-növekmény kisebb, mint a korlátként támasztott előírt megbízhatóság növekmény:  $\Delta TSR_{max} < C_{\Delta TSR}$ , akkor sem az adott, sem az ebből származtatható projektváltozatok sem pedig, a projektváltozathoz származtatható projektstruktúrák nem megengedettek.*

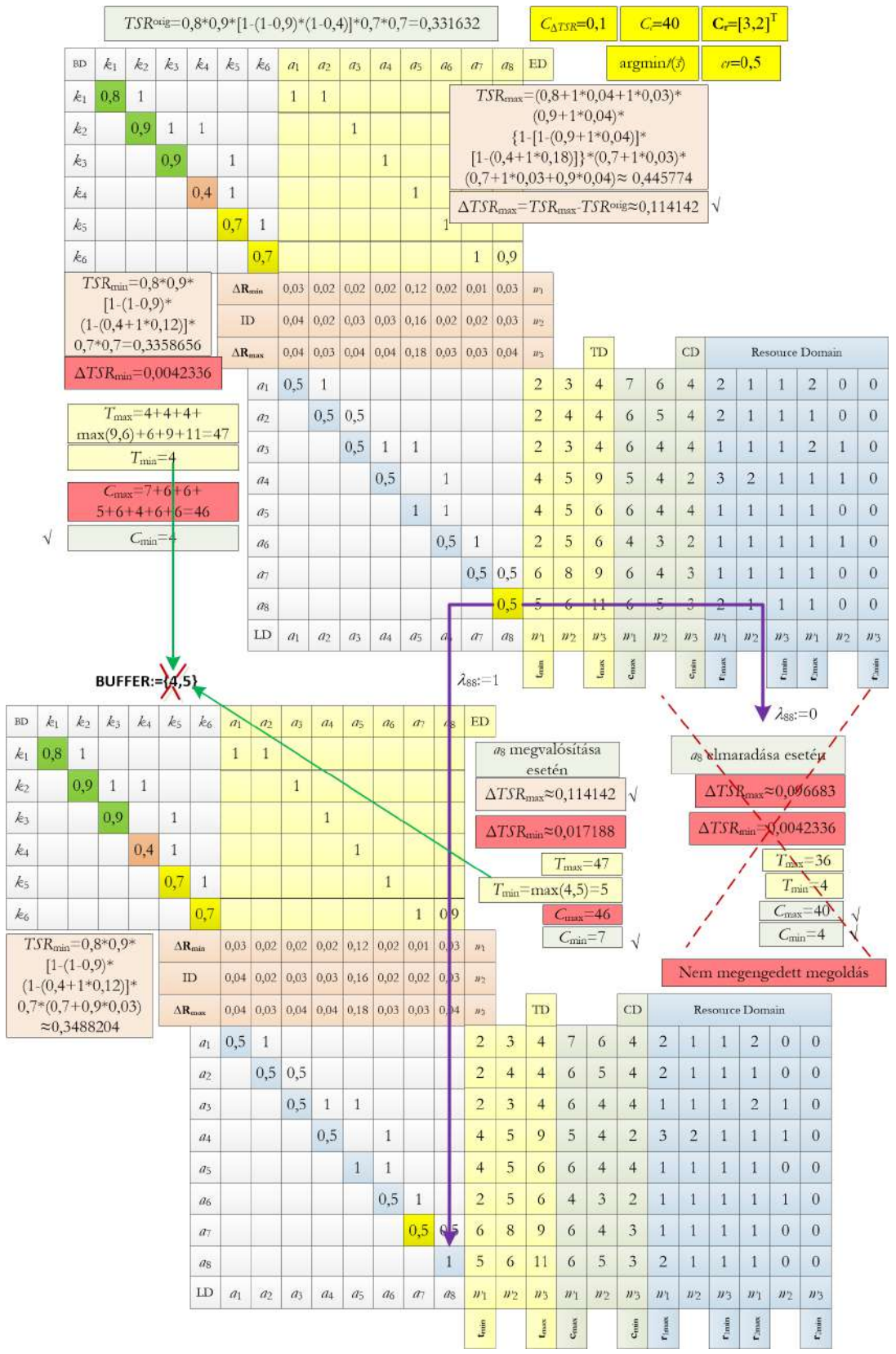
**2. Szabály (TPC\_CUT).** *Ha egy projektváltozat minimális költségigénye magasabb, mint a költségkorlát:  $C_{\min} > C_c$ , akkor sem az adott, sem az ebből származtatható projektváltozatok, sem pedig a projektváltozathoz származtatható projektstruktúrák nem megengedettek.*

**3. Szabály (TPT\_CUT).** *Ha egy projektváltozat vagy egy projektstruktúra minimális időigénye magasabb, mint az időkorlát:  $T_{\min} > C_t$ , akkor sem az adott projektváltozat/projektstruktúra, sem az ebből származtatható projekttervek nem megengedettek.*

Erőforrásokra azért nem határozok meg ilyen vágási szabályt, mert a harmadik fázisban egy erőforrássimítást fogok végrehajtani. A legkorábbi időpontra ütemezett tevékenységek esetében a maximális erőforrás-igényen mind egy kiegyenlítési, mind pedig erőforrás-simítási algoritmussal csökkenteni lehet. Ennek számítási igénye ugyanakkor sokkal magasabb, mint pl. az ütemezése. A módszer első fázisának szemléltetésére tekintsük az alábbi példát.

**1. Példa.** *Legyen adott a megelőző karbantartási terv mátrixos ütemterve (3-2 ábra). A feladat, hogy a karbantartási projektet a legkorábbi időpontban végezzük el úgy, hogy a rendszer megbízhatósága minimálisan 10%-ot növekedjen ( $C_{\Delta TSR} = 0,1$ ), de a költségigényként támasztott 40 e EUR-t ne lépjük túl ( $C_c = 40$ ). A feladatot 3 karbantartóval és 2 gépbeállítóval kell elvégeznünk ( $\mathbf{C}_r = [3, 2]^T$ ). Feltétel, hogy a megbízhatósági diagramtól függetlenül minden berendezésелемnek legalább 0,5-ös megbízhatósági értéket el kell érnie ( $cr = 0,5$ ).*

Mivel a célfüggvény a lehető legrövidebb projektátfutási idő megtalálása, így az első fázisban azokat a projektváltozatokat részesítem előnyben, amelyek kevesebb tevékenységet tartalmaznak. Tehát minden lépésben, ha a tevékenység a kritikus úton van, akkor igyekszem a tevékenységet elhagyni a projektből, mert ekkor kapok rövidebb átfutási időt; ugyanakkor, ha az így kapott mátrixra számolt legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel járó projektváltozat megvalósítása nem tudja garantálni a 10%-os megbízhatóság-



3-2. ábra. A projektváltozat meghatározása (1.fázis); saját kutatómunka alapján szerkesztve

növekményt, akkor ezt az ágat, illetve valamennyi alágát ki kell vennem a döntési fából. Ezért a3-3 ábra példáján  $a_8$  tevékenység megvalósítása mellett döntök.

Az algoritmus során a legjobb megoldás megtalálására törekszem, ezért szükség lehet a második, vagy épp harmadik legjobb megoldás megtalálására. A lehetséges legrövidebb átfutási időket egy rendezett **BUFFER** halmazban tárolom.

A második fázisban (3-3 ábra) arról döntök, hogy a tevékenységeket milyen sorrendben hajtom majd végre. Fontos megjegyezni, hogy mivel már döntöttem arról, hogy egy tevékenységet végrehajttatok vagy nem, ezért azok minimális és maximális költségvonzatát, illetve a rendszer megbízhatóságának minimális és maximális növekményét a tevékenységek végrehajtási sorrendje (a javasolt modellben) nem befolyásolja. Éppen ezért elegendő csak a minimális és maximális lehetséges tevékenységidőket kiszámolni. Ehhez pedig elegendő a logikai tervet és az időigényeket tartalmazó részmatrix megadása.

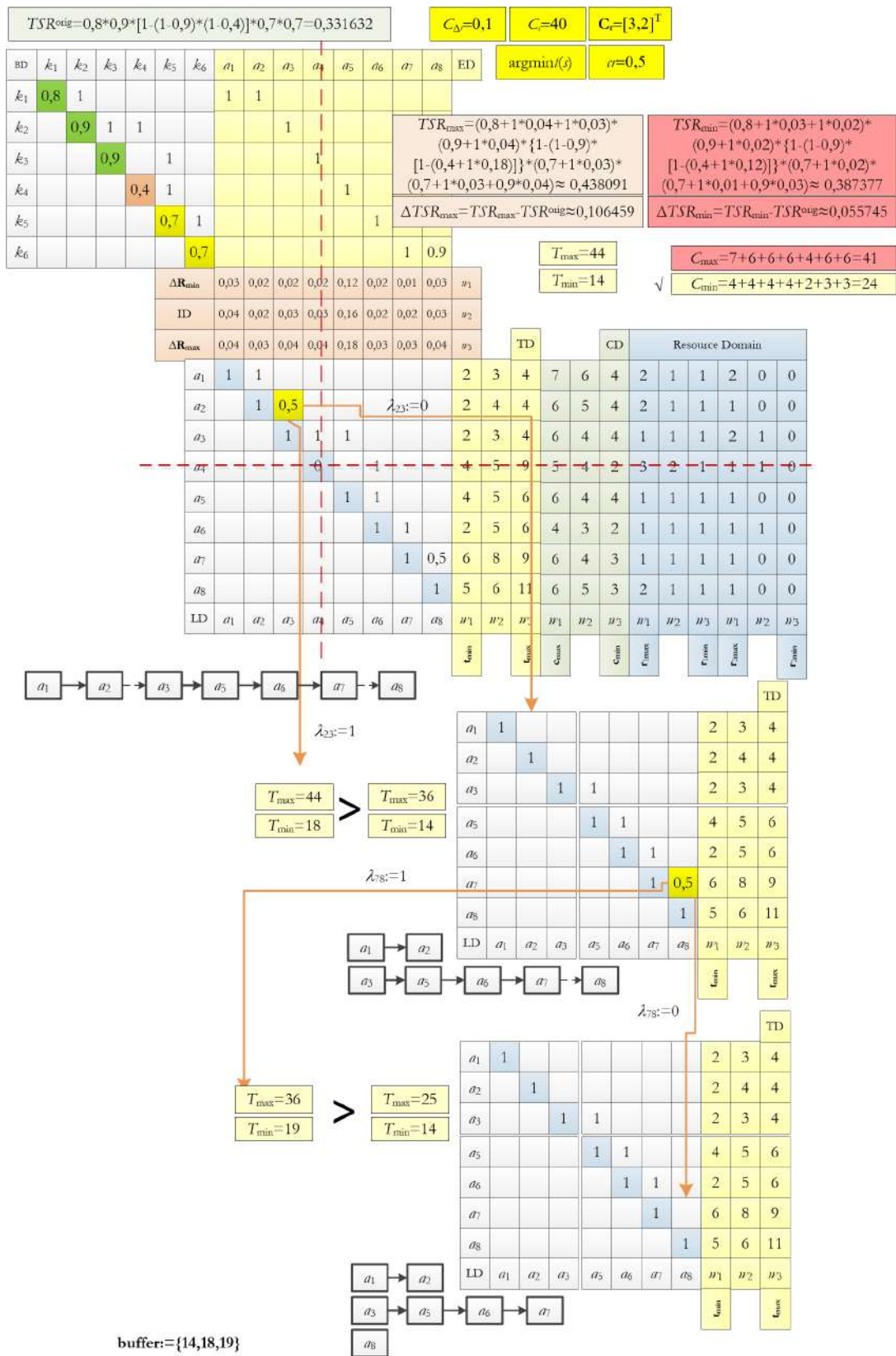
A célfüggvénynek legmegfelelőbb projektstruktúra meghatározásakor csak a *TPT\_CUT* vágási szabályt alkalmazhatom. A második fázis végére már egy projektstruktúrát kapok, ahol a cél a célfüggvénynek leginkább megfelelő, a korlátokat nem túllépő projektütemtervet határoztam meg. Ebben a fázisban már az ismert diszkrét idő-minőség-költség átváltási problémát kell megoldanom, mely sajnos NP-nehéz feladat (De és tsai., 1995; El-Rayes és Kandil, 2005). Ha nincs túl sok lehetséges alternatíva, akkor az első két fázisban ismertetett gondolatmenetet tovább vihetem. Minden lépésben döntök arról, hogy egy adott tevékenységet a lehetséges módok közül melyikkel valósítok meg. A döntési fában minden csúcsnak (kivéve az utolsó ( $n$ -edik szinten lévőket))  $m$  gyermeke van, és minden tevékenységet  $m$ -féleképpen oldhathatok meg.

Minden pontban kiszámítom az elérhető legkisebb/legnagyobb átfutási idejű, költségigényű, valamint a legkisebb/legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekményt eredményező projektterveket.

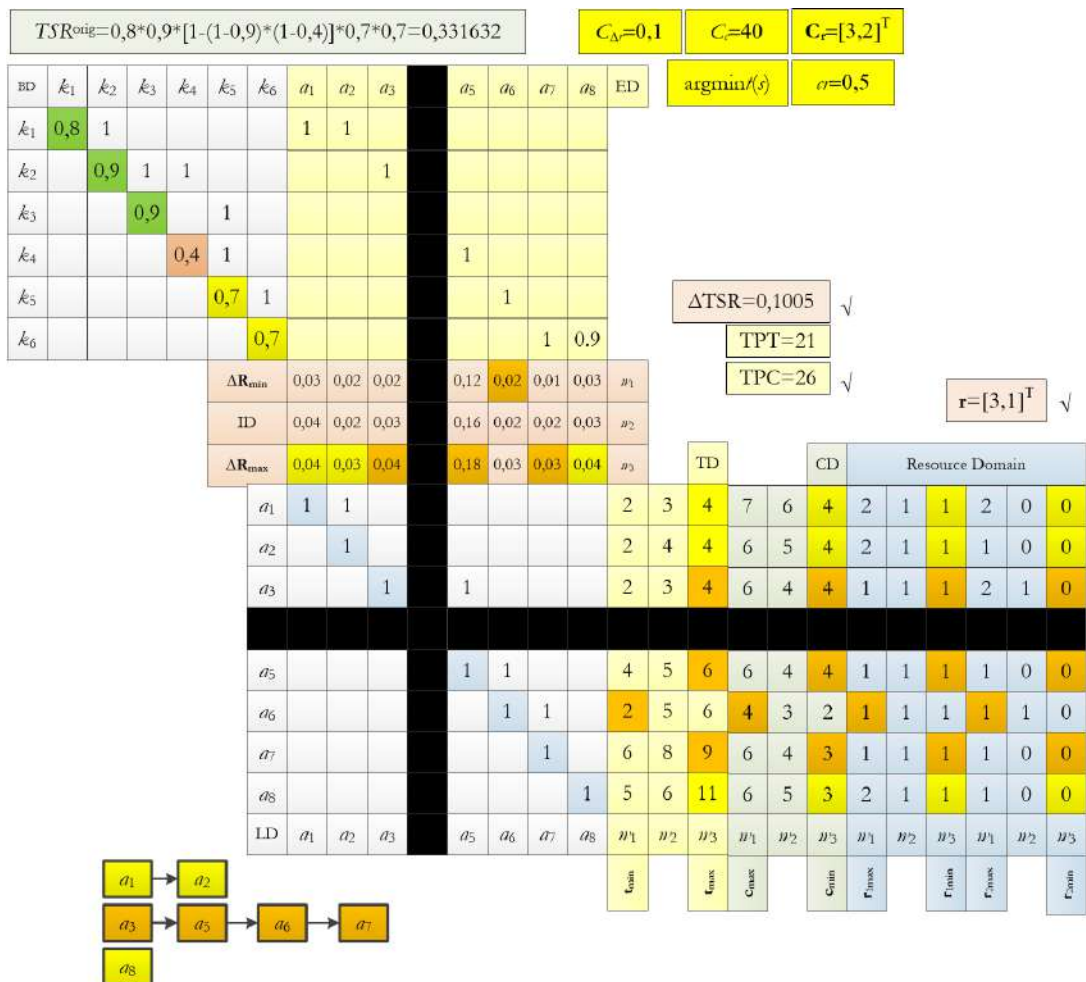
Az 1 - 3 vágási szabályokat alkalmazva egy adott célfüggvénynek leginkább megfelelő projektütemtervet kapok.

Az eredményül kapott ütemtervre egy erőforrássimítást végzek. Ha eredményül egy, a





3-3. ábra. Projektstruktúra meghatározása (2. fázis); saját kutatómunka alapján szerkesztve



3-4. ábra. Optimális ütemterv meghatározása (3. fázis); saját kutatómunka alapján szerkesztve

korlátokat nem túllépő megoldást kapok (jelen esetben ez  $\mathbf{r} = [3, 1]^T$ , amely nem lépi túl a  $\mathbf{C}_r = [3, 2]^T$  korlátot), akkor ezt a projekttervet javasolhatom a karbantartók számára. Ha az erőforrástervezés nem vezet eredményre, akkor vissza kell lépni a következő legjobb megoldásra és ott kell elvégezni újra az erőforrás-simítást.

A bemutatott modellezési eljárás és a célfüggvénynek vonatkozó optimális megoldás megadása is mutatja, hogy:

**T2 Az általam javasolt  $M^4$  mátrix modellezési eljárással a megelőző karbantartás-tervezési probléma modellezhető.**

**T3 A megelőző karbantartás-tervezési probléma adott célfüggvényre (lehető legrövidebb átfutási idő, legkisebb költség) vonatkozó optimális megoldása meghatározható.**

### **3.4. Adott célfüggvényekre vonatkozó optimális megoldás megadása**

Az első két fázisban kihasználom, hogy mindig csak két lehetséges alternatíva közül kell választanom, megvalósítom vagy elhagyom a bizonytalan tevékenységeket, illetve a második fázisban előírom vagy feloldom a bizonytalan kapcsolatokat. A döntési fa minden ágán megtudom mondani, hogy mi a leghosszabb/legrövidebb átfutási idő; legkisebb/legnagyobb projektköltség; legkisebb/legnagyobb megbízhatóság-növekmény, anélkül, hogy valamennyi projektváltozatot, illetve az ezekből eredeztethető projektstruktúrát meghatároznám. A vágási szabályok segítségével pedig azokat a projektváltozatokat, illetve az azokból származtatható projektstruktúrákat kell értékelnem, amelyek egy minimális (idő-, költség-, megbízhatóság-növekmény-) korlátot nem elégítenek ki.

Az első két fázisban anélkül tudok eljutni egy projektstruktúráig, hogy a döntési fában vissza kellene lépni. Ha a bizonytalan tevékenységek száma  $u$ , a bizonytalan kapcsolatok

száma pedig  $v$ , akkor  $O(u+v)$  lépésben kaphatók egy projektstruktúrát. A harmadik fázis diszkrét átváltási probléma (lásd: De és mtsai (De és tsai., 1995) és (De és tsai., 1997)) és a legtöbb erőforrás-tervezési feladat (lásd: Brucker és mtsai. (Brucker és tsai., 1999)) már igazoltan NP-nehéz feladatok, ahol a javasolt módszerek mellett számos heurisztikus módszer is alkalmazható (Babu és Suresh, 1996; Brucker és tsai., 1999).

## 4. fejezet

# Új tudományos eredmények összefoglalása

Disszertációm 2. fejezetében mutattam be a karbantartás modellezés (2.1. fejezet) tervezési problémájának (2.2 . fejezet) körét. Megvizsgáltam a projekttervezési, a karbantartáselméleti oldalról is a lehetséges megoldásokat (2. fejezet), amelyek segítségemre lehetnek, hogy egy vállalati szintű rendszer karbantartását, a költség-, idő- és erőforráskorlátokat nem túllépve meg tudjak tervezni a karbantartási tevékenységeit. A bemutatott mátrix alapú karbantartás-tervezési módszer (3. fejezet) modellezi és egyben segítséget is nyújt a karbantartástervező részére, hogy optimális karbantartási tervet hozzon létre. Azonban ez nem elegendő, mert meg kellett feleltetni, illetve a modellt úgy kellett kialakítani, hogy idő-minőség-költség problémaként leírható legyen.

A felvetett problémát egy úgynevezett hibrid idő-költség-minőség átváltási probléma, diszkrét változatának egy speciális a eseteként kezeltem. A megelőző karbantartás-tervezési feladatot diszkrét idő-minőség-költség átváltási probléma általánosításaként fogalmaztam meg.

**T1 A preventív karbantartási projektek egy hibrid idő-minőség-költség problémaként leírhatók.**

A javasolt modell általánosítja a hagyományos idő-minőség-költség átváltási problémát, kiterjesztve azt bizonytalan tevékenység-előfordulások és bizonytalan kapcsolatok kezelésének lehetőségével. Egy  $O(u + v)$  algoritmus (ahol  $u$  a bizonytalan tevékenységek,  $v$  pedig a bizonytalan kapcsolatok száma) vezeti vissza a javasolt karbantartás-tervezési problémát egy hagyományos átváltási problémára.

**T2 Az általam javasolt  $M^4$  mátrix modellezési eljárással a megelőző karbantartás-tervezési probléma modellezhető.**

A kidolgozott tervezési eljárás (modell) segíti a vállalatokat abban, hogy azzal foglalkozzanak a karbantartások során, amivel kell, és az elvárt megbízhatósági szintet a gyártósorokon/berendezéseiken elérjék. Ennek a módszernek segítségével a túlkarbantartást, az alulkarbantartást el tudják kerülni. A nagy kihívást jelentő pénzügyi és időkorlátok „nem túllépését” könnyen megvalósíthatják a tervezési és kivitelezési munkáik során.

**T3 A megelőző karbantartás-tervezési probléma adott célfüggvényre (lehető legrövidebb átfutási idő, legkisebb költség) vonatkozó optimális megoldása meghatározható.**

## 4.1. A kutatás eredményeinek alkalmazása

A bemutatott tervezési módszer alkalmazhatóságát és hasznosságát már a kidolgozás során folyamatosan vizsgáltam. Azóta pedig több alkalommal is végeztem projekttervezést /-újra tervezését. Erre azért is volt lehetőségem, mert több éven keresztül TPM/LEAN tanácsadóként hatékonyságfejlesztési projekteket terveztem, vezettem és követtem nyomon utóéletüket. A projekttervezői munkák többségét a termelővállalatok (nagy)leállításaira végeztem, de voltak kisebb feladataim informatikai (hardver- és szoftverkarbantartás szolgáltatás) területen is. A következő részben két karbantartási projekten történt karbantartástervezést mutatok be. Az elsőként bemutatásra kerülő

projektben csak tervezői munkát láttam el és mutattam be a vezetőségnek a módszerben rejlő lehetőségeket. A második esetpéldában szereplő vállalatnál pedig, több éven keresztül, mint külső karbantartásfejlesztő szakember vettem részt, így volt lehetőségem a kidolgozott módszer alkalmazására is.

#### **4.1.1. A kidolgozott tervezési módszer eredményességének bemutatása**

##### **Hardver- és szoftverkarbantartási projekt**

Az ipar számos szokványos megoldását több évtizede hozták létre, régen a mai innovációk előtt. "Ugyanabból, többet" elvvel hajszányi előnyök elérhetők ugyan, a cégvezetés azonban ennél jobb eredményeket vár el. A vállalat automatizálási szakértelme a beruházásoktól az üzemeltetésig arra koncentrálna, hogy a partnereivel együtt elérjék céljaikat, szervezetének teljesítménye pedig kimagasló legyen.

Az vállalat átfogó iparági tapasztalati portfóliót fejlesztett, globális ipari központok hálózatával és több ezer ipari és technológiai szakértővel, közülük pedig sokan pontosan ugyanazokkal a kihívásokkal harcolnak. Az alábbi iparágak, amelyek működésében részt vesznek:

- Autóipar
- Vegyipar
- Élelmiszeripar és italgyártás
- Ipari energia- és közműellátásÉlet- és orvostudományok
- Tengerészet
- Bányászat, ásvány- és fémipar
- Olaj és gázipar

- Csomagoló- és töltőipar
- EnergiatermelésKarton- és papíriparVíz- és szennyvízipar

A vállalat segítségével a gyártók kimagasló üzleti eredményeket érhetnek el az iparág legszélesebb technológiai portfóliójával az üzemviteli paraméterek magasszintű mérése, optimalizálása és biztosítása révén. A tapasztalat és szakértelem mellett, amivel a legnehezebb problémák is megoldhatók. Biztosítják a teljesítmény javításához vezető utat - a megbízható, egyszerűen használható és innovatív termékektől kezdve a gyorsan reagáló szakértői szolgáltatásokig <sup>1</sup>.

A hardver- és szoftverkarbantartást végző vállalatra az jellemző, hogy több évet felölelő stratégiai, együttműködési megállapodásokat kötnek ügyfeleikkel a jövőbeni szolgáltatások megrendelésére. Legyen az rendszerkiépítés vagy frissítés vagy meglévő infrastruktúra karbantartása. Minden esetben a karbantartási tevékenységekben megegyeznek.

---

<sup>1</sup>Az alábbi termékek és szolgáltatások érhetők el világszerte:

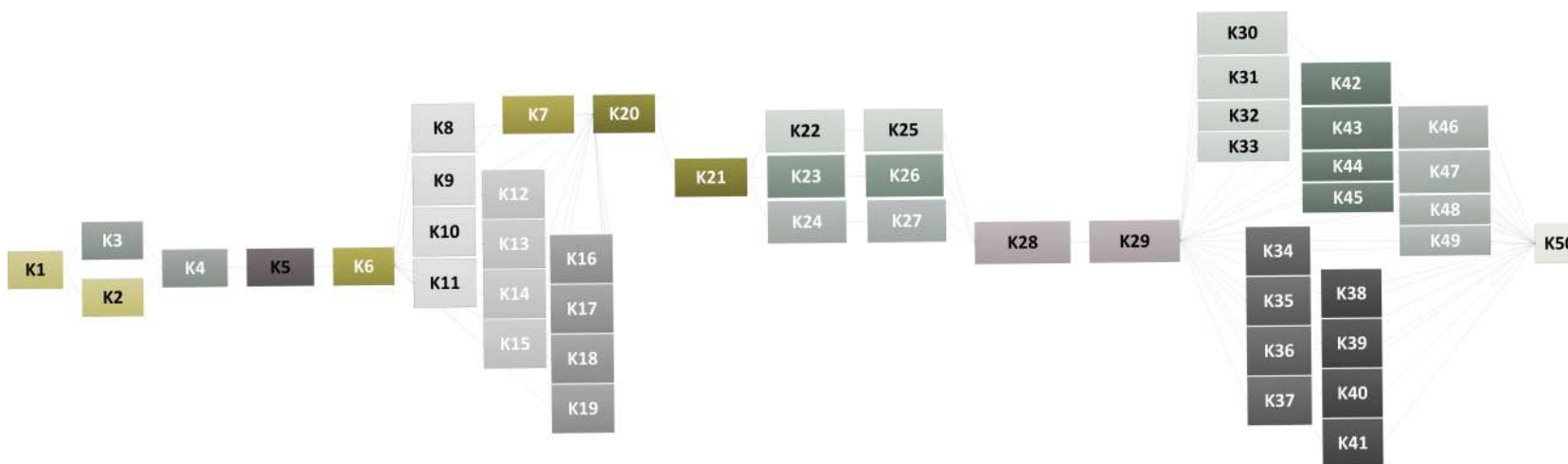
- **Méréstechnika és műszerezés:** Nagy megbízhatóságú és pontosságú mérés technikai és analitikai megoldások széles választéka a folyamatok átláthatósága és megismerése érdekében.
- **Szelepek, működtetők és szabályozók:** Szabályozza, vezérelje és izolálja a technológiáit megbízatosan, nagy megbízhatóságú technológiákkal.
- **Mágnesszelepek és pneumatika rendszerek:** Áramlásszabályozó és pneumatikai megoldások, amelyekkel megbízhatóbban üzemeltethetők az ipari technológiák és hatékonyabban működtethetők a berendezések.
- **Irányítástechnikai és biztonsági rendszerek:** Döntéstámogató szoftverek és rendszerek a biztonságos, nagy teljesítményű termeléshez.
- **Eszközgazdálkodás:** Gyártási rendelkezésre állás és alacsonyabb biztonsági kockázat biztosítása, nagyobb eszköz megbízhatósággal.
- **Operatív és üzleti menedzsment:** Vállalati szintű gyors reagálóképesség integrált adatkezeléssel és továbbfejlesztett döntéstámogató rendszerekkel.
- **Villamosipari részegységek és világítástechnika:** Villamosipari termékek a biztonságos, hatékony és megbízható szerelésekhez, szélsőséges körülmények között is.
- **Precíziós hegesztés és tisztítás:** Tökéletes illesztésekhez, megbízható hegesztésekhez és makulátlanul tiszta alkatrészekhez tervezett technológiák.
- **Szolgáltatások és tanácsadás**



Mikor a vállalatoknál adott berendezések, rendszerirányító szoftverek karbantartása elérkezetté válik az ügyfelek modulokat (berendezések), ezzel együtt tevékenységeket (ezek tartalmazzák a karbantartási műveleteket) rendelnek/vásárolnak meg az informatikai infrastruktúra karbantartási szolgáltatást végző partnerüktől.

A megrendelő vállalatok a nagyleállások közeledtével (évente legalább egyszer) a tervezett karbantartási tevékenységekről a szolgáltatást nyújtó vállalattal időben és költségben megegyeznek. Az utóbbi esetében százalékos eltérést határoznak meg, negatív és pozitív irányban, mert az árajánlatban nem tudják pontosan megnevezni a bekerülési összegeket.

A példaként (gyógyszeripari nagyvállalatnál végzett operátori állomás karbantartása) hozott projektben a szerződésben foglalt modulok (50 db egység) között soros, és párhuzamos kapcsolat is jelen van. Megvizsgáltam a modulok és azon belül a tevékenységek (216 db) közti kapcsolatokat. Megállapítottam, hogy bár több helyen is rákövetkezéssel bírnak, de ennek ellenére is a karbantartások párhuzamosan is végrehajthatók.



4-1. ábra. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljainak kapcsolati ábrája; saját kutatómunka során szerkesztve

A karbantartási szolgáltatást megrendelő vállalat a soron következő karbantartásnál szeretne kevesebb karbantartási időt és költséget felhasználni. A rendelkezésére álló időt és költségkeretet a leghasznosabban befektetni.

A berendezések karbantartásai - az együttműködési megállapodásokon felül - a korábbi években hibabejelentések prioritizálását, majd az árajánlat megrendelését, azokra adott választát és annak elfogadását vagy elutasítását követően történtek meg.

Az árajánlat kiküldését megelőzően a kérdéses, karbantartani tervezett egységeken a szolgáltatást nyújtó vállalat felelős szervizmérnöke elektronikus ellenőrzést hajtott végre, hogy a rendszerben a hívó és küldő jelek megfelelően kerülnek-e át-/ leadásra. Az elkészített ellenőrzési lista eredményei alapján készítette el szervizmérnöki javaslatát, majd adta át jegyzőkönyv formájában az árajánlatkészítők részére. Miután minden információ beérkezett elkészítették az árajánlatot és kiküldték a partner részére. Kézhezvételt követően, az ajánlat érvényességi idején belül vagy teljes, vagy csak bizonyos karbantartási tevékenységeket rendelt meg a gyógyszeripari nagyvállalat. Időigényes, költséges és rendszermegbízhatóság növelését egyáltalán nem tartalmazó ajánlatok készültek és készülnek el a mai napig. Méréseket, becsléseket, amelyek alapot adhatnak a kvantitatív jellegű karbantartástervezésnek nem alkalmaznak. A karbantartást megrendelő vállalat berendezéseiken rendszeres méréseket végeznek (RCM = Reliability Centered Maintenance, OEE = Overall Equipment Effectiveness/Efficiency és Yield (=teljesítmény)), de ezek eredményeit nem használják fel a karbantartástervezésükhöz.

A karbantartást végző vállalat engedélyével és közbenjárásával a karbantartani tervezett rendszer, berendezésegységeinek mért megbízhatóságértékeit a vállalat rendelkezésekre bocsátotta. Az értékeket feltöltöttem a blokkmátrix átlójába, az átlón kívüli cellákban pedig jelöltem a berendezésegységek közötti kapcsolatot.

Az berendezésegységek között párhuzamos, soros kapcsolatok jelen vannak. Ezeket a rendszer megbízhatóságának számolásakor is figyelembe kell venni, amely a következőképp alakult:  $TSR = R(k_1)(1 - (1 - R(k_2))(1 - R(k_3)))R(k_4)R(k_5)R(k_6)(1 - (1 - R(k_7))(1 - R(k_8))(1 - R(k_9))(1 - R(k_{10}))(1 - R(k_{11}))(1 - R(k_{12}))(1 - R(k_{13}))(1 - R(k_{14}))(1 - R(k_{15}))(1 - R(k_{16}))(1 - R(k_{17}))(1 - R(k_{18}))(1 - R(k_{19})))R(k_{20})R(k_{21})(1 - (1 - R(k_{22})R(k_{25}))(1 - R(k_{23})R(k_{26}))(1 - R(k_{24})R(k_{27})))R(k_{28})R(k_{29})(1 - (1 - R(k_{30}))(1 - R(k_{31}))(1 - R(k_{32}))(1 - R(k_{33}))(1 - R(k_{34}))(1 - R(k_{35}))(1 - R(k_{36}))(1 - R(k_{37}))(1 - R(k_{38}))(1 - R(k_{39}))(1 - R(k_{40}))(1 - R(k_{41}))(1 - R(k_{42}))(1 - R(k_{43}))(1 - R(k_{44}))(1 - R(k_{45}))(1 - R(k_{46}))(1 - R(k_{48}))(1 - R(k_{49})))R(k_{50})$ . (= 0,2211)

A kész  $M^4$  mátrix esetenként - több berendezésegység, azokhoz társított javító-megelőző tevékenységek sokasága miatt - nagy mérettel rendelkezik, ahogy ebben a példában is. De a részmátrixok nyomtatásban megjelenített reprezentációja könnyen megoldható.

A rendelkezésre bocsátott adatokkal könnyen fel tudtam tölteni a  $M^4$  mátrixot, hogy a célfüggvényekre meghatározzam az optimális megoldásokat.

Részekben reprezentálva (lásd: 4-2., 6-9., 6-10., 6-11. és 6-12 ábrákat), is alátámasztó a példa, hogy:

## **T2 Az általam javasolt $M^4$ mátrix modellezési eljárással a megelőző karbantartás-tervezési probléma modellezhető.**

Az adatok  $M^4$  mátrix feltöltését követően, a rendszer megbízhatóság számolását elvégezve, következtek a szűrések. A berendezésegységeket külön-külön vizsgáltam és kockázati kategóriákba soroltam őket. Magas (0,9), közepes (0,8) illetve alacsony (0,7) (lásd: 6-8. és 4-2 ábrákat).

BD	k1	k2	k4	k5	k6	k8	k10	k11	k12	k13	k20	k25	k30	k31	k32	k33	k34	k35	k38	k39	k40	k41	k45	k46	k47	k48
k1	0,6098	1,0000																								
k2		0,4482	1,0000																							
k4			0,6985	1,0000																						
k5				0,7521	1,0000							1,0000														
k6					0,6777	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000																
k8						0,6823					1,0000															
k10							0,5421				1,0000															
k11								0,7399			1,0000															
k12									0,7722		1,0000															
k13										0,7963	1,0000															
k20											0,6058															
k25												0,6420														
k30													0,6303													
k31														0,6877												
k32															0,7146											
k33																0,6336										
k34																	0,7075									
k35																		0,6396								
k38																			0,6442							
k39																				0,5931						
k40																					0,6780					
k41																						0,6604				
k45																							0,6825			
k46																								0,7514		
k47																									0,7104	
k48																										0,6677
k49																										

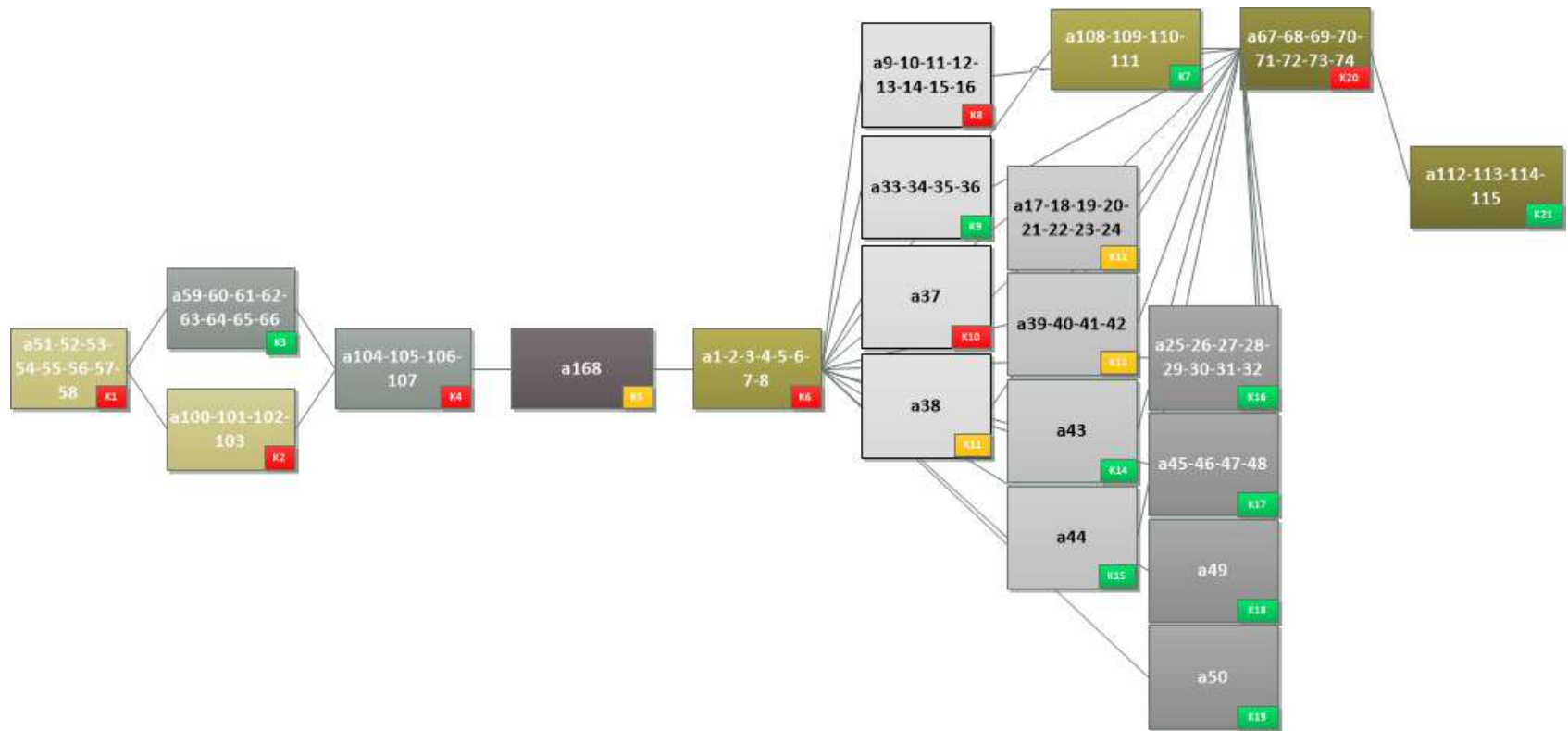
4-2. ábra. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljainak redukált blokkmátrixa - A berendezésegységek kockázati kategóriákba sorolva; saját kutatómunka során szerkesztve

A kritikus beavatkozási értéket berendezésegységre  $cr = 0,7$  értékben határozták meg. Ebből több berendezésegységet/modul karbantartását mindenképpen el kell végezni, hogy a minimális 0,7-es megbízhatósági értéket megközelítsék (lásd. 6-8. ábrán). A berendezésegységek megbízhatóságának növekménye nem biztos, hogy kellő mértékű növekménnyel jár a teljes rendszert tekintve. Így amennyiben a rendelkezésre álló idő és költségkeret ezt lehetővé teszi, szükséges, hogy a ( $cr = 0,7$ ) nagyobb, berendezésegységek karbantartását is betervezzem.

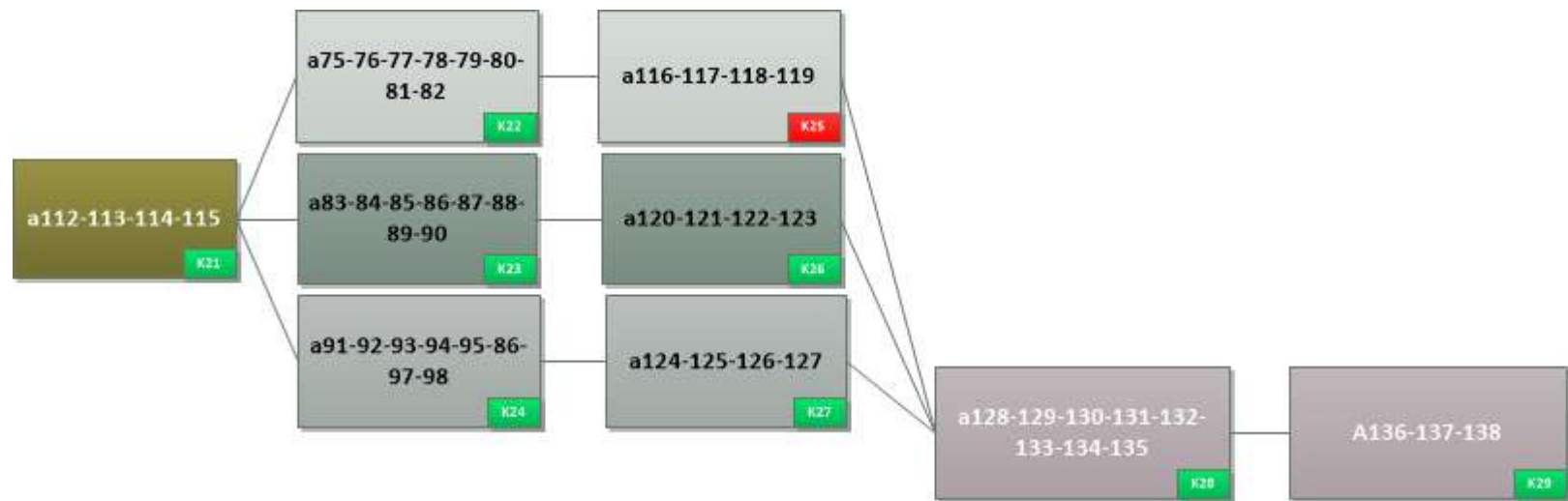
A feladat, hogy a karbantartási projektet a lehető **legkorábbi időpontra tervezzem** úgy, hogy a **rendszer megbízhatósága legalább 25%-kal növekedjen** ( $C_{\Delta TSR} = 0,25$ ), de a **költségigényként támasztott 3000 EUR-t** ( $C_c = 3000EUR$ ) **és a időigényt ( $C_t = 360$  perc) ne lépjem túl**. Feltétel, hogy a megbízhatósági diagramtól függetlenül minden berendezésegységnek legalább 0,7-es megbízhatósági értéket meg kell közelítenie ( $cr = 0,7$ ).

Ahhoz, hogy az elvárt rendszer megbízhatóság-növekményt elérjem szükséges volt, hogy további információk álljanak rendelkezésemre. A karbantartásért felelős személyek (gyógyszeripari és a karbantartó vállalat oldalról egyaránt) segítettek abban, hogy a berendezésegységek karbantartásai során milyen javító megelőző tevékenységeket kell végrehajtani.

A berendezésegység-mátrixban (ED), amely egy átváltási mátrix, foglaltam össze a berendezésegységekhez rendelt javító megelőző tevékenységeket (216 db tevékenység). Egy berendezésegységhez több javító-megelőző tevékenységet is rendeltem (lásd. 4-3., 4-4., 4-5. ábrákat), de egy javító-megelőző tevékenységek csak egy berendezésegységhez.

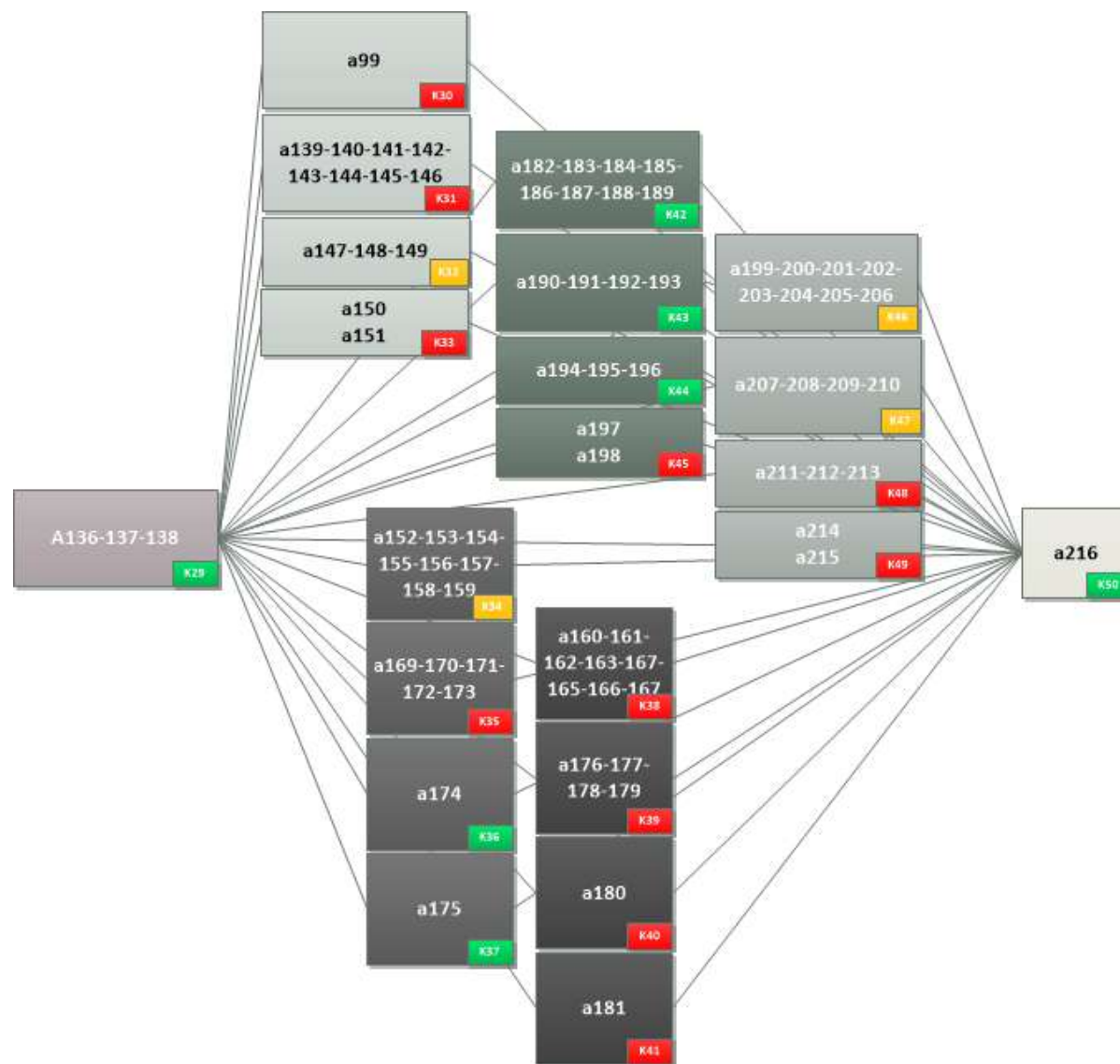


4-3. ábra. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljaihoz tartozó javító megelőző tevékenységek kapcsolati ábrája (első rész)- saját kutatómunka során szerkesztve



4-4. ábra. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljaihoz tartozó javító megelőző tevékenységek kapcsolati ábrája (középső rész); saját kutatómunka során szerkesztve





4-5. ábra. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljaihoz tartozó javító megelőző tevékenységek kapcsolati ábrája (záró rész); saját kutatómunka során szerkesztve

A **logikai mátrix (LD)** átlóján kívüli cellákban mutattam meg, hogy a berendezésekhez rendelt tevékenységek (melyeket a **berendezésegységmátrixból (ED)** kapok) sorosan vagy párhuzamosan kell végrehajtani a karbantartás során (lásd. 6-9. ábrát).

Ezek a kapcsolatok elengedhetetlenek az időszükséglet számításához. A tevékenységekhez rendelt időszükségleteket az **időmátrix (TD)** tartalmazza (lásd. 6-10., 6-11., 6-12. ábrákat). A legrövidebb projekttervet akkor kapom meg, ha valamennyi bizonytalan tevékenységet későbbi projektbe ütemezek át, és ebből a projektből elhagyom és valamennyi, technológiailag nem kötelező kapcsolatot feloldom és a tevékenységek végrehajtását párhuzamosítom ( $T_{\min} = 67$  perc).

Ezzel szemben a leghosszabb átfutási időt ( $T_{\max} = 578$  perc) valamennyi tevékenység végrehajtása és tevékenységkapcsolat betartása fogja eredményezni. Azonban a rendelkezésre álló időkeret csak ( $C_t = 360$  perc), így ezt a projektváltozatot és a hozzá tartozó projektstruktúrákat már biztosan el fogom vetni. A lehetséges megoldás(ok) 578 percnél kisebb, de 67 percnél majd nagyobb időigénnyel rendelkezik / rendelkeznek.

Az időmátrix mellett összeállítottam a tevékenységek **költségmátrixát (CD)** is (lásd. 6-10., 6-11., 6-12. ábrákat). Számításaim alapján a példaként hozott karbantartási projektben, ha valamennyi javító-megelőző tevékenységet <sup>2</sup>

végrehajttatom a karbantartókkal és ezek közül is a legköltségesebb alternatívát választottam. Így a karbantartási projekt költsége ( $C_{\max} = 3895$  EUR) lenne. Legkevesebb költségű projektváltozatot az a projektterv eredményezte, ahol csak a kötelező tevékenységek szerepeltek a projekttervben és itt is a legkevésbé költséges alternatívát választottam, ami a ( $C_{\min} = 237$  EUR) lenne. A költségkorlát 3000 EUR-t ( $C_c = 3000$ EUR), így

---

<sup>2</sup>T1 **A preventív karbantartási projektek egy hibrid idő-minőség-költség problémaként leírhatók.**

A javasolt modell általánosítja a hagyományos idő-minőség-költség átváltási problémát, kiterjesztve azt bizonytalan tevékenység-előfordulások és bizonytalan kapcsolatok kezelésének lehetőségével. Egy  $O(u + v)$  algoritmus (ahol  $u$  a bizonytalan tevékenységek,  $v$  pedig a bizonytalan kapcsolatok száma) vezeti vissza a javasolt karbantartás-tervezési problémát egy hagyományos átváltási problémára.

biztos, hogy nem lesz lehetőség valamennyi javító-megelőző tevékenységet, a legköltségsébb módon karbantartani. Így ezt a projektváltozatot és a hozzá tartozó struktúrákat elvettem - ezen az ágon már nem keresek lehetséges megoldásokat.

A költségekhez hasonlóan a maximális megbízhatóság-javulást is kiszámoltam ( $\Delta TSR_{\max} = 0,3006$ ). Ehhez szükséges, hogy a meghatározott javító megelőző tevékenységekhez hozzárendeljem, hogy mennyivel növelheti a kiválasztott tevékenység berendezésegységek megbízhatóságát (lásd. a projekt ID; megbízhatóságnövekmény-mátrixát a 4-3. ábrán).

Ezt az értéket itt is akkor érem el, ha valamennyi javító-megelőző tevékenységet végrehajttatom. Ha csak a kötelezőkre szorítkozok, akkor a minimális megbízhatóság-javulást ( $\Delta TSR_{\min} = 0,2419$ ) fogok eredményül kapni, amely azonban a korábban megadott **rendszer megbízhatósága-növekménynél** ( $C_{\Delta TSR} = 0,25$ ) kevesebb. Így ez a projektstruktúra biztosan nem lesz megengedett.

A korlátoknak megfelelő projektváltozat(ok), projektstruktúra('k) biztosan a ( $\Delta TSR_{\min} = 0,2419$ ) és ( $\Delta TSR_{\max} = 0,3006$ ) közé fog(nak) esni.

A korlátozó feltételek a következők voltak (a 4-6. ábra felső részén összefoglalva is látható):

- a kritikus beavatkozási érték  $cr = 0,7$
- a rendszer megbízhatósága legalább 25%-kal növekedjen ( $C_{\Delta TSR} = 0,25$ )
- költségigényként támasztott 3000 EUR-t ( $C_c = 3000EUR$ )
- a megadott 360 perc időigényt ( $C_t = 360perc$  ne lépjem túl
- megbízhatósági diagramtól függetlenül minden berendezésegységnek legalább 0,7-es megbízhatósági értéket meg kell közelítenie ( $cr = 0,7$ )

Az első két fázisban azt használtam ki, hogy mindig csak két lehetséges alternatíva közül kellett választanom. Első fázisban, hogy elhagyom a bizonytalan tevékenysége-

ket, vagy megvalósítom azokat. A második fázisban feloldom a bizonytalan kapcsolato-  
kat, vagy előírom azokat (sorosan vagy párhuzamosan valósítom meg a tevékenységeket,  
amennyiben ezt a rendszer technológiája lehetővé teszi)

Minden döntéskor megtudom mondani, hogy mi a leghosszabb/legrövidebb átfutási  
idő; legkisebb/legnagyobb projektköltség; legkisebb/legnagyobb megbízhatóság-növekmény,  
anélkül, hogy valamennyi projektváltozatot, illetve az ezekből eredeztethető projektstruk-  
túrát meghatároznám.

Az első fázisban minden lépésben eggyel csökken a bizonytalan tevékenységek, a má-  
sodikban a bizonytalan kapcsolatok száma. A módszer a projektváltozatok kiértékelése  
során azokat a lehetőségeket részesíti előnyben, amelyek a célfüggvényértéke kedvezőbb.

A vágási szabályok segítségével pedig azokat a projektváltozatokat, illetve az azokból  
származtatható projektstruktúrákat nem kell kiértékelnem, amelyek egy minimális (idő-,  
költség-, megbízhatóság-növekmény-) korlátot nem elégitenek ki.

$C_t$	360	perc	$C_c$	3000	EUR	$C_{\Delta TSR}$	0,25
$T_{\min}$	67	perc	$C_{\min}$	237	EUR	$\Delta TSR_{\max}$	0,2419
$T_{\max}$	578	perc	$C_{\max}$	3895	EUR	$\Delta TSR_{\min}$	0,3006
<b><math>cr=0,7</math> minTPI</b>			<b><math>cr=0,7</math> minTPC</b>			<b><math>cr=0,7</math> maxTSR</b>	
TPI	339	perc	TPI	344	perc	TPI	344
TPC	1997	EUR	TPC	1896	EUR	TPC	1938
$\Delta TSR$	0,2705		$\Delta TSR$	0,2734		$\Delta TSR$	0,2737

4-6. ábra. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt megengedett megoldásai); saját ku-  
tatómunka során szerkesztve

	BD	cr0,7_TPC	cr07_TPT	cr07_TSR
k1	0,61	0,67	0,68	0,67
k2	0,45	0,47	0,48	0,48
k3	0,92	0,95	0,95	0,96
k4	0,70	0,72	0,72	0,72
k5	0,75	0,76	0,76	0,76
k6	0,68	0,72	0,72	0,73
k7	0,84	0,86	0,86	0,84
k8	0,68	0,73	0,74	0,73
k9	0,88	0,89	0,90	0,90
k10	0,54	0,55	0,55	0,55
k11	0,74	0,74	0,74	0,74
k12	0,77	0,79	0,79	0,81
k13	0,80	0,81	0,80	0,81
k14	0,95	0,95	0,95	0,95
k15	0,89	0,89	0,90	0,89
k16	0,89	0,93	0,89	0,90
k17	0,95	0,96	0,95	0,96
k18	0,95	0,95	0,95	0,96
k19	0,85	0,86	0,85	0,85
k20	0,61	0,65	0,66	0,65
k21	0,81	0,83	0,81	0,82
k22	0,94	0,97	0,96	0,97
k23	0,89	0,93	0,92	0,94
k24	0,84	0,88	0,86	0,84
k25	0,64	0,66	0,66	0,66
k26	0,83	0,83	0,83	0,83
k27	0,85	0,87	0,86	0,86
k28	0,89	0,93	0,91	0,93
k29	0,81	0,82	0,83	0,82
k30	0,63	0,64	0,64	0,64
k31	0,69	0,74	0,74	0,74
k32	0,71	0,73	0,73	0,73
k33	0,63	0,64	0,65	0,64
k34	0,71	0,74	0,75	0,74
k35	0,64	0,67	0,67	0,67
k36	0,98	0,98	0,98	0,98
k37	0,82	0,83	0,83	0,82
k38	0,64	0,71	0,71	0,71
k39	0,59	0,63	0,63	0,63
k40	0,68	0,68	0,68	0,68
k41	0,66	0,66	0,66	0,66
k42	0,90	0,92	0,92	0,92
k43	0,95	0,96	0,96	0,95
k44	0,86	0,86	0,86	0,86
k45	0,68	0,70	0,70	0,70
k46	0,75	0,80	0,80	0,79
k47	0,71	0,73	0,73	0,73
k48	0,67	0,68	0,69	0,68
k49	0,69	0,70	0,70	0,70
k50	1,00	1,00	1,00	1,00

cr=0,7	minTPC	perc
TPT	344	EUR
TPC	1896	EUR
ATSR	0,2734	

cr=0,7	minTPT	perc
TPT	339	EUR
TPC	1997	EUR
ATSR	0,2705	

cr=0,7	maxTSR
TPT	344
TPC	1938
ATSR	0,2737

4-7. ábra. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt javító megelőző tevékenységeinek megbízhatóságnövekmény-mátrixa); saját kutatómunka során szerkesztve

A kalkulációkat követően a gyógyszeripari, és a karbantartást végző vállalat részére három - célfüggvényenként egy - (lásd: 4-6., 4-7. ábrákat) megengedett megoldást kaptam <sup>3</sup>.

A **legrövidebb átfutási idejű projektütemterv** megvalósításához a számolások alapján elegendő  $TPT = 339$  perc és  $TPC = 1997$  EUR. Így ( $\Delta TSR = 0,2705$ ) megbízhatóságnövekedés érhető el, amely összrendszerszintű ( $TSR = 0,4916$ ) megbízhatóságot eredményez.

A célfüggvény a lehető legrövidebb projektátfutási idő megtalálása, így az első fázisban azokat a projektváltozatokat részesítettem előnyben, amelyek kevesebb berendezésegység karbantartását tartalmazták. Minden lépésben, ha a berendezésegység javító megelőző tevékenysége a kritikus úton volt, akkor igyekeztem a tevékenységet elhagyni a projektből, mert ekkor kaptam rövidebb átfutási időt; ugyanakkor, ha az így kapott mátrixra számolt legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel járó projektváltozat megvalósítása nem garantálta a 25%-os megbízhatóság-növekményt, akkor ezt az ágat, illetve valamennyi alágát kivettem a döntési fából.

Mivel az idő és költségkeret lehetővé tette, a kritikus berendezésegységek karbantartástervezését beütemeztem. A legrövidebb átfutási idejű projektterv tervezése során voltak berendezésegységek  $\{k_{13}, k_{21}, k_{36}, k_{50}\}$  amelyeket ebbe a projektbe nem ütemeztem be (lásd: 4-8. ábrán vagy a 6-14. ábra átlójában), és természetesen voltak olyan berendezésegységek, amelyek esetében csak egy-egy javító megelőző tevékenységet tudtam beütemezni a karbantartási tervbe (például az  $\{a_{25\dots31} - es, k_{46\dots48} - as, k_{124,125}\}$  tevékenységeket nem).

Kevesebb költség, de több idő áll a rendelkezésre? Amennyiben a rendelkezésre álló időkorlát ezt lehetővé teszi a legkisebb költségű projektütemterv is megtervezhető. Kevesebb költséggel ( $TPC = 1896$  EUR), de több idővel ( $TPT = 344$  perc) akár ( $\Delta TSR = 0,2734$ ) megbízhatóságnövekedést is el lehet érni. Így érhető el összrendszer szintű ( $TSR = 0,4945$ ) megbízhatóság.

---

<sup>3</sup>T3 A megelőző karbantartás-tervezési probléma adott célfüggvényre (lehető legrövidebb átfutási idő, legkisebb költség) vonatkozó optimális megoldása meghatározható.

A célfüggvény a **lehető legkisebb költségű projektütemterv** megtalálása, így az első fázisban azokat a projektváltozatokat részesítettem előnyben, amelyek legkisebb költséggel járó tevékenységeket tartalmazták. Tehát minden lépésben, ha a tevékenység a kritikus úton volt, akkor igyekeztem a tevékenységet a legalacsonyabb költséggel a projektbe beütemezni.

Ugyanakkor, ha az így kapott mátrixra számolt legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel járó projektváltozat megvalósítására nem volt garantálható a 25%-os megbízhatóság-növekményt, akkor ezt az ágat, illetve valamennyi alágát kivettem a döntési fából.

A legkisebb költségű projektütemterv már tartalmazni fog több berendezésegység karbantartását, amelyet az előző (legrövidebb átfutási idejű) projektütemterv nem tartalmazott (lásd: 4-9. ábra oszlopaiban). Ennél a tervnél is átütemezésre/ kihagyásra került  $\{k_{36}\}$  berendezésegység karbantartása. Ez a projektütemterv viszont tartalmazza a  $\{k_{13}, k_{21}, k_{50}\}$  berendezésegységek javítását (lásd: 6-13. ábra átlójában).

A - fentiekben példaként hozott - átfutási idejű projektütemtervben nem szereplő megelőző-javító tevékenységek közül már csak  $\{a_{31}, k_{46,48}, k_{125}\}$  kerültek átütemezésre/kihagyásra.

A harmadik esetben a célfüggvény a **lehető legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel járó** projektütemterv ((lásd: 4-10. ábrán vagy a 6-15. ábra átlójában)) megtalálása volt a cél, így az első fázisban azokat a projektváltozatokat részesítettem előnyben, amelyek a lehető legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel rendelkeztek.

Minden lépésben, ha a tevékenység a kritikus úton volt, igyekeztem a tevékenységet a lehető legmagasabb megbízhatóság-növekménnyel a projektbe beütemezni. Ugyanakkor, ha az így kapott mátrixra számolt projekt átfutási idő és projektköltség nem a megadott korlátokon belül szerepelt, és a projektváltozat megvalósítása nem tudta garantálni a 25%-os megbízhatóság-növekményt, akkor ezt az ágat, illetve valamennyi alágát kivettem a döntési fából.

A legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel járó projektütemterv megvaló-

sításához elegendő  $TPT = 339$  perc és  $TPC = 1938$  EUR. Így ( $\Delta TSR = 0,2737$ ) megbízhatóságnövekedés érhető el, amely összrendszer szintű ( $TSR = 0,4948$ ) megbízhatóságot eredményez.

Itt a példában újabb berendezések  $\{k_{37}, k_{43}, k_{44}\}$  karbantartása nem kerültek be a tervezés során a karbantartási tervbe. A  $\{k_{36}\}$ -os berendezés nem szerepelt a projekttervben, viszont a  $\{k_{50}\}$  berendezés igen, amelyet a legrövidebb átfutási idejű projektütemterv nem, de a legkisebb költségű projektütemterv tartalmazott.

A táblázatokat összehasonlítva, láthatjuk, hogy vannak tevékenységek, amelyek más idő- és költségvariánsal szerepelnek, és lehetnek/vannak, amelyek ugyan annyival.

A **második fázis** végére már egy olyan struktúrát kaptam, ahol a célfüggvénynek leginkább megfelelő, a korlátokat nem túllépő projektütemtervet határoztam meg. Ebben a fázisban már az ismert diszkrét idő-minőség-költség átváltási problémát kellett megoldanom. Akkor, ha nincs túl sok lehetséges alternatíva <sup>4</sup>, akkor az első két fázis gondolatmenetet vittem tovább. Minden lépésben döntöttem arról, hogy egy adott tevékenységet a lehetséges módok közül melyikkel valósítok meg. Minden pontban kiszámítottam az elérhető legkisebb/legnagyobb átfutási idejű, költségigényű, valamint legkisebb/legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekményt eredményező projektterveket. Az 1 - 3 vágási szabályokat alkalmazva egy adott célfüggvénynek leginkább megfelelő <sup>5</sup> projektütemtervet kaptam.

---

<sup>4</sup>Itt tevékenységenként (216 db) három-három alternatívával kellett kalkulálnom, amelyhez már szoftveres támogatást használtam, melynek pszeudo kódjai a mellékletben a 6-16, 6-17, 6-18. ábrákon

<sup>5</sup>A korlátokat túl nem lépő, elvárt rendszer megbízhatóság-növekményt elérő projektütemterveket a melléklet tartalmazza! Lásd: 6-13, 6-14 és 6-15. ábrákat!



ID	ID			Idő /TD			Költség /CD			0,7 TPT			ID	ID			Idő /TD			Költség /CD			0,7 TPT			ID	ID			Idő /TD			Költség /CD			0,7 TPT										
	Rmin	Rmax	Rmax	tmin	perc	tmax	cmin	EUR	cmax	TD	CD	EST		Rmin	Rmax	Rmax	tmin	perc	tmax	cmin	EUR	cmax	TD	CD	EST		Rmin	Rmax	Rmax	tmin	perc	tmax	cmin	EUR	cmax	TD	CD	EST								
a1	0,002	0,002	0,003	0,004	k6	a1	7	13	18	3	15	20	7	3	0	a75	0,000	0,002	0,003	0,004	a75	7	15	17	2	12	20	0	0	0	a147	0,004	0,001	0,002	0,004	a147	7	12	20	10	14	19	20	19	10	
a2	0,007	0,006	0,007	0,008	k6	a2	7	12	20	4	13	18	12	13	7	a76	0,008	0,006	0,007	0,008	a76	6	13	17	9	11	18	17	18	0	a148	0,010	0,009	0,010	0,011	a148	2	11	20	2	11	18	k32	11	11	30
a3	0,003	0,002	0,003	0,005	k6	a3	5	12	19	1	13	17	12	13	19	a77	0,000	0,002	0,003	0,005	a77	10	14	18	5	15	16	0	0	0	a149	0,004	0,002	0,003	0,004	a149	3	13	20	7	15	20	k32	20	20	41
a4	0,008	0,008	0,009	0,011	k6	a4	10	12	16	3	12	20	10	3	31	a78	0,011	0,008	0,009	0,011	a78	1	14	19	9	12	19	19	19	0	a150	0,008	0,006	0,007	0,008	a150	10	13	16	3	11	19	k33	16	19	10
a5	0,002	0,002	0,003	0,004	k6	a5	8	14	16	3	14	18	8	3	41	a79	0,000	0,002	0,003	0,004	a79	8	11	20	9	12	20	0	0	0	a151	0,003	0,002	0,003	0,005	a151	5	12	17	5	11	17	k33	12	11	10
a6	0,006	0,004	0,005	0,006	k6	a6	6	12	16	3	12	20	16	20	49	a80	0,006	0,004	0,005	0,006	a80	7	13	16	7	14	18	16	18	0	a152	0,011	0,008	0,009	0,011	a152	10	15	16	6	15	16	k33	16	16	10
a7	0,005	0,002	0,003	0,005	k6	a7	2	15	17	10	12	18	17	18	65	a81	0,000	0,002	0,003	0,005	a81	9	14	16	3	14	19	0	0	0	a153	0,004	0,002	0,003	0,004	a153	7	14	17	4	15	19	k33	17	19	26
a8	0,007	0,005	0,006	0,007	k6	a8	3	14	18	5	12	16	18	16	82	a82	0,000	0,005	0,006	0,007	a82	5	15	17	6	12	17	0	0	0	a154	0,006	0,004	0,005	0,006	a154	1	15	17	9	11	17	k33	17	17	43
a9	0,001	0,000	0,001	0,002	k6	a9	3	11	18	4	11	20	11	11	100	a83	0,000	0,000	0,001	0,002	a83	6	15	16	7	12	16	0	0	0	a155	0,002	0,002	0,003	0,005	a155	2	15	19	6	12	17	k34	2	6	60
a10	0,006	0,003	0,004	0,006	k6	a10	7	12	20	2	11	17	20	17	111	a84	0,006	0,003	0,004	0,006	a84	9	13	19	6	12	18	19	18	0	a156	0,007	0,005	0,006	0,007	a156	7	11	17	8	13	16	k34	17	16	62
a11	0,004	0,002	0,003	0,004	k6	a11	7	14	17	3	13	20	17	20	131	a85	0,000	0,002	0,003	0,004	a85	9	11	16	5	12	16	0	0	0	a157	0,002	0,000	0,001	0,002	a157	10	11	19	6	14	16	k34	19	16	79
a12	0,007	0,005	0,006	0,007	k6	a12	2	13	20	8	12	20	20	20	148	a86	0,007	0,005	0,006	0,007	a86	7	14	16	3	12	19	16	19	0	a158	0,004	0,003	0,004	0,006	a158	6	14	16	5	12	16	k34	14	12	98
a13	0,008	0,008	0,009	0,011	k6	a13	5	11	18	2	11	18	5	2	168	a87	0,008	0,008	0,009	0,011	a87	3	13	18	4	12	19	3	4	16	a159	0,003	0,002	0,003	0,004	a159	4	15	17	3	15	17	k34	15	15	112
a14	0,009	0,008	0,009	0,011	k6	a14	6	12	18	10	12	19	12	12	173	a88	0,000	0,008	0,009	0,011	a88	5	14	20	5	15	20	0	0	0	a160	0,005	0,005	0,006	0,007	a160	6	15	20	1	11	20	k34	6	1	10
a15	0,008	0,008	0,009	0,011	k6	a15	6	15	16	5	12	18	6	5	185	a89	0,008	0,008	0,009	0,011	a89	6	12	18	8	14	20	6	8	0	a161	0,009	0,008	0,009	0,011	a161	7	13	18	10	14	17	k34	13	14	16
a16	0,009	0,008	0,009	0,010	k6	a16	3	14	18	5	12	20	12	12	191	a90	0,000	0,008	0,009	0,010	a90	7	13	20	9	15	20	0	0	0	a162	0,011	0,008	0,009	0,011	a162	3	12	20	8	12	16	k34	20	16	29
a17	0,000	0,006	0,007	0,009	k6	a17	2	11	16	6	12	19	0	0	0	a91	0,006	0,006	0,007	0,009	a91	10	15	20	7	13	18	10	7	0	a163	0,011	0,008	0,009	0,011	a163	2	14	16	8	11	19	k38	16	19	49
a18	0,000	0,009	0,010	0,011	k6	a18	8	13	20	5	14	18	0	0	0	a92	0,000	0,009	0,010	0,011	a92	8	13	18	8	11	16	0	0	0	a164	0,008	0,008	0,009	0,010	a164	7	11	18	5	12	16	k38	7	5	65
a19	0,000	0,005	0,006	0,008	k6	a19	2	15	20	5	15	16	0	0	0	a93	0,000	0,005	0,006	0,008	a93	6	11	19	6	14	17	0	0	0	a165	0,006	0,006	0,007	0,009	a165	4	12	19	9	14	17	k38	4	9	72
a20	0,000	0,004	0,005	0,007	k6	a20	10	15	17	1	15	20	0	0	0	a94	0,007	0,004	0,005	0,007	a94	9	11	16	1	13	19	16	19	0	a166	0,011	0,009	0,010	0,011	a166	7	13	18	5	11	16	k38	18	16	76
a21	0,010	0,008	0,009	0,010	k6	a21	9	12	17	4	11	18	17	18	0	a95	0,000	0,008	0,009	0,010	a95	9	13	17	3	11	19	0	0	0	a167	0,005	0,005	0,006	0,008	a167	8	14	16	2	13	17	k38	8	2	94
a22	0,004	0,002	0,003	0,004	k6	a22	6	14	17	9	15	17	17	17	17	a96	0,000	0,002	0,003	0,004	a96	3	12	16	3	13	17	0	0	0	a168	0,004	0,004	0,005	0,007	a168	10	14	20	9	14	17	k5	10	9	217
a23	0,005	0,005	0,006	0,007	k6	a23	2	15	17	6	13	19	2	6	34	a97	0,006	0,005	0,006	0,007	a97	5	14	17	7	14	20	14	14	0	a169	0,009	0,008	0,009	0,010	a169	6	13	20	2	15	16	k5	13	15	0
a24	0,000	0,005	0,006	0,007	k6	a24	4	11	16	1	13	19	0	0	0	a98	0,000	0,005	0,006	0,007	a98	4	12	16	10	14	17	12	14	14	a170	0,002	0,002	0,003	0,004	a170	6	12	18	3	15	17	k5	6	3	13
a25	0,000	0,008	0,009	0,010	k6	a25	10	15	20	7	15	20	0	0	0	a99	0,008	0,008	0,009	0,010	a99	9	15	19	4	15	18	9	4	0	a171	0,006	0,005	0,006	0,007	a171	6	11	20	8	13	20	k35	11	13	0
a26	0,000	0,004	0,005	0,007	k6	a26	5	11	16	2	15	17	0	0	0	a100	0,007	0,004	0,005	0,007	a100	5	14	18	6	11	17	18	17	104	a172	0,005	0,005	0,006	0,008	a172	3	12	17	3	14	18	k35	3	3	0
a27	0,000	0,001	0,002	0,003	k6	a27	3	12	20	1	12	17	0	0	0	a101	0,003	0,001	0,002	0,003	a101	4	14	17	2	11	19	17	19	122	a173	0,009	0,008	0,009	0,010	a173	3	11	20	6	14	18	k35	11	14	0
a28	0,000	0,008	0,009	0,011	k6	a28	4	12	18	4	14	17	0	0	0	a102	0,009	0,008	0,009	0,011	a102	1	15	20	10	15	17	15	15	139	a174	0,000	0,004	0,005	0,007	a174	3	12	16	5	13	16	k36	0	0	0
a29	0,000	0,008	0,009	0,010	k6	a29	7	12	19	4	15	16	0	0	0	a103	0,010	0,008	0,009	0,010	a103	8	11	16	4	11	20	16	20	154	a175	0,003	0,001	0,002	0,003	a175	3	15	16	3	14	20	k36	16	20	10
a30	0,000	0,006	0,007	0,009	k6	a30	8	14	20	4	11	16	0	0	0	a104	0,006	0,006	0,007	0,009	a104	1	13	17	2	11	17	1	2	170	a176	0,008	0,008	0,009	0,011	a176	5	12	19	7	15	17	k36	5	7	10
a31	0,000	0,008	0,009	0,011	k6	a31	2	14	16	7	15	16	0	0	0	a105	0,008	0,008	0,009	0,011	a105	9	13	19	9	13	20	9	9	171	a177	0,010	0,008	0,009	0,010	a177	9	11	19	4	13	18	k39	19	18	15
a32	0,004	0,003	0,004	0,005	k6	a32	1	13	16	8	11	17	13	11	0	a106	0,005	0,003	0,004	0,005	a106	3	11	20	4	11	19	20	19	180	a178	0,007	0,006	0,007	0,009	a178	7	12	20	8	15	19	k39	12	15	34
a33	0,009	0,006	0,007	0,009	k6	a33	6	11	20	1	14	17	20	17	100	a107	0,004	0,001	0,002	0,004	a107	9	13	17	8	14	19	17	19	200	a179	0,008	0,008	0,009	0,011	a179	9	15	16	4						

ID	Idő/TD			Költség/CD			0,7_TPC			ID	Idő/TD			Költség/CD			0,7_TPC			ID	Idő/TD			Költség/CD			0,7_TPC																				
	Δr	Rmin	Rmax	tmin	perc	tmax	cmin	EUR	cmax		TD	CD	EST	Δr	Rmin	Rmax	tmin	perc	tmax		cmin	EUR	cmax	TD	CD	EST	Δr	Rmin	Rmax	tmin	perc	tmax	cmin	EUR	cmax	TD	CD	EST									
a1	0,004	0,002	0,003	0,004	a1	7	13	18	3	15	20	18	20	0	a75	0,003	0,002	0,003	0,004	a75	7	15	17	2	12	20	15	12	0	a147	0,001	0,001	0,002	0,004	a147	7	12	20	10	14	19	7	10	0			
a2	0,006	0,006	0,007	0,008	a2	7	12	20	4	13	18	7	4	18	a76	0,008	0,006	0,007	0,008	a76	6	13	17	9	11	18	17	18	15	a148	0,010	0,009	0,010	0,011	k32	a148	2	11	20	2	11	18	k32	11	11	7	
a3	0,005	0,002	0,003	0,005	a3	5	12	19	1	13	17	19	17	25	a77	0,003	0,002	0,003	0,005	a77	10	14	18	5	15	16	14	15	32	a149	0,003	0,002	0,003	0,004	a149	3	13	20	7	15	20	13	15	18			
a4	0,009	0,008	0,009	0,011	a4	10	12	16	3	12	20	12	12	44	a78	0,008	0,008	0,009	0,011	a78	1	14	19	9	12	19	1	9	46	a150	0,007	0,006	0,007	0,008	k33	a150	10	13	16	3	11	19	k33	13	11	0	
a5	0,003	0,002	0,003	0,004	a5	8	14	16	3	14	18	14	14	56	a79	0,000	0,002	0,003	0,004	a79	8	11	20	9	12	20	0	0	0	a151	0,003	0,002	0,003	0,005	k33	a151	5	12	17	5	11	17	k33	12	11	13	
a6	0,005	0,004	0,005	0,006	a6	6	12	16	3	12	20	12	12	70	a80	0,000	0,004	0,005	0,006	a80	7	13	16	7	14	18	0	0	0	a152	0,008	0,008	0,009	0,011	a152	10	15	16	6	15	16	10	6	0			
a7	0,003	0,002	0,003	0,005	a7	2	15	17	10	12	18	15	12	82	a81	0,002	0,002	0,003	0,005	a81	9	14	16	3	14	19	9	3	0	a153	0,004	0,002	0,003	0,004	a153	7	14	17	4	15	19	17	19	10			
a8	0,006	0,005	0,006	0,007	a8	3	14	18	5	12	16	14	12	97	a82	0,005	0,005	0,006	0,007	a82	5	15	17	6	12	17	5	6	9	a154	0,004	0,004	0,005	0,006	a154	1	15	17	9	11	17	1	9	27			
a9	0,001	0,000	0,001	0,002	a9	3	11	18	4	11	20	11	11	111	a83	0,000	0,000	0,001	0,002	a83	6	15	16	7	12	16	6	7	0	a155	0,003	0,002	0,003	0,005	k34	a155	2	15	19	6	12	17	k34	15	12	28	
a10	0,003	0,003	0,004	0,006	a10	7	12	20	2	11	17	7	2	122	a84	0,003	0,003	0,004	0,006	a84	9	13	19	6	12	18	9	6	6	a156	0,006	0,005	0,006	0,007	a156	7	11	17	8	13	16	11	13	43			
a11	0,003	0,002	0,003	0,004	a11	7	14	17	3	13	20	14	13	129	a85	0,000	0,002	0,003	0,004	a85	9	11	16	5	12	16	0	0	0	a157	0,000	0,000	0,001	0,002	a157	10	11	19	6	14	16	10	6	54			
a12	0,006	0,005	0,006	0,007	a12	2	13	20	8	12	20	13	12	143	a86	0,000	0,005	0,006	0,007	a86	7	14	16	3	12	19	14	12	0	a158	0,004	0,003	0,004	0,006	a158	6	14	16	5	12	16	14	12	64			
a13	0,009	0,008	0,009	0,011	a13	5	11	18	2	11	18	11	11	156	a87	0,011	0,008	0,009	0,011	a87	3	13	18	4	12	19	18	19	14	a159	0,004	0,002	0,003	0,004	a159	4	15	17	3	15	17	17	17	78			
a14	0,009	0,008	0,009	0,011	a14	6	12	18	10	12	19	12	12	167	a88	0,008	0,008	0,009	0,011	a88	5	14	20	5	15	20	5	5	32	a160	0,005	0,005	0,006	0,007	a160	6	15	20	1	11	20	6	1	0			
a15	0,009	0,008	0,009	0,011	a15	6	15	16	5	12	18	15	12	179	a89	0,009	0,008	0,009	0,011	a89	6	12	18	8	14	20	12	14	37	a161	0,009	0,008	0,009	0,011	a161	7	13	18	10	14	17	13	14	6			
a16	0,009	0,008	0,009	0,010	a16	5	12	19	8	12	20	12	12	194	a90	0,005	0,008	0,009	0,010	a90	7	13	20	9	15	20	0	0	0	a162	0,008	0,008	0,009	0,011	a162	3	12	20	8	12	16	3	8	19			
a17	0,000	0,006	0,007	0,009	a17	2	11	16	6	12	19	0	0	0	a91	0,006	0,006	0,007	0,009	a91	10	15	20	7	13	18	10	7	0	a163	0,011	0,008	0,009	0,011	a163	2	14	16	8	11	19	16	19	22			
a18	0,000	0,009	0,010	0,011	a18	8	13	20	5	14	18	0	0	0	a92	0,011	0,009	0,010	0,011	a92	8	13	18	8	11	16	18	16	10	a164	0,009	0,008	0,009	0,010	a164	7	11	18	5	12	16	11	12	38			
a19	0,005	0,005	0,006	0,008	a19	2	15	20	5	15	16	2	5	0	a93	0,000	0,005	0,006	0,008	a93	6	11	19	6	14	17	0	0	0	a165	0,006	0,006	0,007	0,009	a165	4	12	19	9	14	17	4	9	49			
a20	0,000	0,004	0,005	0,007	a20	10	15	17	1	15	20	0	0	0	a94	0,000	0,004	0,005	0,007	a94	9	11	16	1	13	19	0	0	0	a166	0,011	0,009	0,010	0,011	a166	7	13	18	5	11	16	18	16	53			
a21	0,000	0,008	0,009	0,010	a21	9	12	17	4	11	18	0	0	0	a95	0,008	0,008	0,009	0,010	a95	9	13	17	3	11	19	9	3	0	a167	0,008	0,005	0,006	0,008	a167	8	14	16	2	13	17	16	17	71			
a22	0,000	0,002	0,003	0,004	a22	6	14	17	9	15	17	0	0	0	a96	0,000	0,002	0,003	0,004	a96	3	12	16	3	13	17	0	0	0	a168	0,005	0,004	0,005	0,007	a168	10	14	20	9	14	17	14	14	187			
a23	0,007	0,005	0,006	0,007	a23	2	15	17	6	13	19	17	19	0	a97	0,005	0,005	0,006	0,007	a97	5	14	17	7	14	20	5	7	0	a169	0,009	0,008	0,009	0,010	a169	6	13	20	2	15	16	13	15	0			
a24	0,006	0,005	0,006	0,007	a24	4	11	16	1	13	19	11	13	17	a98	0,008	0,005	0,006	0,008	a98	4	12	16	10	14	17	15	17	5	a170	0,004	0,002	0,003	0,004	a170	6	12	18	3	15	17	18	17	13			
a25	0,010	0,008	0,009	0,010	a25	10	15	20	7	15	20	20	20	111	a99	0,008	0,008	0,009	0,010	k30	a99	9	15	19	4	15	18	9	4	0	a171	0,006	0,005	0,006	0,007	k35	a171	6	11	20	8	13	20	k35	11	13	0
a26	0,007	0,004	0,005	0,007	a26	5	11	16	2	15	17	16	17	131	a100	0,004	0,004	0,005	0,007	a100	5	14	18	6	11	17	5	6	99	a172	0,005	0,005	0,006	0,008	a172	3	12	17	3	14	18	3	3	11			
a27	0,001	0,001	0,002	0,003	a27	3	12	20	1	12	17	3	1	147	a101	0,001	0,001	0,002	0,003	a101	4	14	17	2	11	19	4	2	104	a173	0,008	0,008	0,009	0,010	a173	3	11	20	6	14	18	3	6	14			
a28	0,009	0,008	0,009	0,011	a28	4	12	18	4	14	17	12	14	150	a102	0,009	0,008	0,009	0,011	a102	1	15	20	10	15	17	15	15	108	a174	0,000	0,004	0,005	0,007	k36	a174	3	12	16	5	13	16	k36	0	0	0	
a29	0,010	0,008	0,009	0,010	a29	7	12	19	4	15	16	19	16	162	a103	0,009	0,008	0,009	0,010	a103	8	11	16	4	11	20	11	11	123	a175	0,003	0,001	0,002	0,003	k37	a175	3	15	16	3	14	20	k37	16	20	0	
a30	0,006	0,006	0,007	0,009	a30	8	14	20	4	11	16	8	4	181	a104	0,006	0,006	0,007	0,009	a104	1	13	17	2	11	17	1	2	134	a176	0,011	0,008	0,009	0,011	a176	5	12	19	7	15	17	19	17	0			
a31	0,000	0,008	0,009	0,011	a31	2	14	16	7	15	16	0	0	0	a105	0,011	0,008	0,009	0,011	a105	9	13	19	9	13	20	19	20	135	a177	0,008	0,008	0,009	0,010	a177	9	11	19	4	13	18	9	4	19			
a32	0,000	0,003	0,004	0,005	a32	1	13	16	8	11	17	0	0	0	a106	0,005	0,003	0,004	0,005	a106	3	11	20	4	11	19	20	19	154	a178	0,006	0,006	0,007	0,009	a178	7	12	20	8	15	19	7	8	0			
a33	0,006	0,006	0,007	0,009	a33	6	11	20	1	14	17	6	1	111	a107	0,002	0,001	0,002	0,004	a107	9	13	17	8	14	19	13	14	174	a179	0,009	0,008	0,009	0,011	a179	9	15	16	4	14	20	15	14	7			
a34	0,000	0,000	0,001	0,003	a34	8	13	17	2	14	19	0	0	0	a108	0,001	0,000	0,001	0,003	a108	1	11	16	6	12	19	11	12	111	a180	0,003	0,003	0,004	0,005	k40												

ID	Δ r	Rmin			Rmax	ID	Δ r	Rmin			Rmax	ID	Δ r	Rmin			Rmax	ID	Δ r	Rmin			Rmax	ID	Δ r	Rmin			Rmax																			
		tmin	perc	tmax				cmin	EUR	cmax				TD	CD	EST				tmin	perc	tmax				cmin	EUR	cmax		TD	CD	EST	tmin	perc	tmax	cmin	EUR	cmax	TD	CD	EST							
a1	0,004	0,002	0,003	0,004	k6	a1	7	13	18	3	15	20	18	20	0	a75	0,002	0,002	0,003	0,004	k22	a75	7	15	17	2	12	20	7	2	0	a150	0,008	0,006	0,007	0,008	k33	a150	10	13	16	3	11	19	k33	16	19	27
a2	0,008	0,006	0,007	0,008	k6	a2	7	12	20	4	13	18	20	18	18	a76	0,000	0,006	0,007	0,008	k22	a76	6	13	17	9	11	18	0	0	0	a151	0,002	0,002	0,003	0,005	k33	a151	5	12	17	5	11	17	k33	5	5	27
a3	0,003	0,002	0,003	0,005	k6	a3	5	12	19	1	13	17	12	13	38	a77	0,000	0,002	0,003	0,005	k22	a77	10	14	18	5	15	16	0	0	0	a152	0,009	0,008	0,009	0,011	k34	a152	10	15	16	6	15	16	k34	15	15	27
a4	0,011	0,008	0,009	0,011	k6	a4	10	12	16	3	12	20	16	20	50	a78	0,009	0,008	0,009	0,011	k22	a78	1	14	19	9	12	19	14	12	0	a153	0,003	0,002	0,003	0,004	k34	a153	7	14	17	4	15	19	k34	14	15	42
a5	0,004	0,002	0,003	0,004	k6	a5	8	14	16	3	14	18	16	18	66	a79	0,000	0,002	0,003	0,004	k22	a79	8	11	20	9	12	20	0	0	0	a154	0,006	0,004	0,005	0,006	k34	a154	1	15	17	9	11	17	k34	17	17	56
a6	0,006	0,004	0,005	0,006	k6	a6	6	12	16	3	12	20	16	20	82	a80	0,006	0,004	0,005	0,006	k22	a80	7	13	16	7	14	18	16	18	0	a155	0,002	0,002	0,003	0,005	k34	a155	2	15	19	6	12	17	k34	2	6	73
a7	0,005	0,002	0,003	0,005	k6	a7	2	15	17	10	12	18	17	18	98	a81	0,005	0,002	0,003	0,005	k22	a81	9	14	16	3	14	19	16	19	16	a156	0,005	0,005	0,006	0,007	k34	a156	7	11	17	8	13	16	k34	7	8	75
a8	0,007	0,005	0,006	0,007	k6	a8	3	14	18	5	12	16	18	16	115	a82	0,005	0,005	0,006	0,007	k22	a82	5	15	17	6	12	17	5	6	32	a157	0,001	0,000	0,001	0,002	k34	a157	10	11	19	6	14	16	k34	11	14	82
a9	0,002	0,000	0,001	0,002	k6	a9	3	11	18	4	11	20	18	20	133	a83	0,000	0,000	0,001	0,002	k22	a83	6	15	16	7	12	16	0	0	0	a158	0,006	0,003	0,004	0,006	k34	a158	6	14	16	5	12	16	k34	16	16	93
a10	0,006	0,003	0,004	0,006	k6	a10	7	12	20	2	11	17	20	17	151	a84	0,004	0,003	0,004	0,006	k22	a84	9	13	19	6	12	18	13	12	0	a159	0,003	0,002	0,003	0,004	k34	a159	4	15	17	3	15	17	k34	15	15	109
a11	0,003	0,002	0,003	0,004	k6	a11	7	14	17	3	13	20	14	13	171	a85	0,000	0,002	0,003	0,004	k22	a85	9	11	16	5	12	16	0	0	0	a160	0,006	0,005	0,006	0,007	k34	a160	6	15	20	1	11	20	k34	15	11	27
a12	0,005	0,005	0,006	0,007	k8	a12	2	13	20	8	12	20	2	8	185	a86	0,006	0,005	0,006	0,007	k23	a86	7	14	16	3	12	19	14	12	0	a161	0,009	0,008	0,009	0,011	k38	a161	7	13	18	10	14	17	k38	13	14	42
a13	0,009	0,008	0,009	0,011	k8	a13	5	11	18	2	11	18	11	11	187	a87	0,008	0,008	0,009	0,011	k23	a87	3	13	18	4	12	19	3	4	14	a162	0,008	0,008	0,009	0,011	k38	a162	3	12	20	8	12	16	k38	3	8	55
a14	0,008	0,008	0,009	0,011	k8	a14	6	12	18	10	12	19	6	10	198	a88	0,008	0,008	0,009	0,011	k23	a88	5	14	20	5	15	20	5	5	17	a163	0,011	0,008	0,009	0,011	k38	a163	2	14	16	8	11	19	k38	16	19	58
a15	0,009	0,008	0,009	0,011	k8	a15	6	15	16	5	12	18	15	12	204	a89	0,011	0,008	0,009	0,011	k23	a89	6	12	18	8	14	20	18	20	22	a164	0,008	0,008	0,009	0,010	k38	a164	7	11	18	5	12	16	k38	7	5	74
a16	0,009	0,008	0,009	0,010	k8	a16	5	12	19	8	12	20	12	12	219	a90	0,010	0,008	0,009	0,010	k23	a90	7	13	20	9	15	20	20	20	40	a165	0,007	0,006	0,007	0,009	k38	a165	4	12	19	9	14	17	k38	12	14	81
a17	0,007	0,006	0,007	0,009	k12	a17	2	11	16	6	12	19	11	12	133	a91	0,000	0,006	0,007	0,009	k24	a91	10	15	20	7	13	18	0	0	0	a166	0,009	0,009	0,010	0,011	k35	a166	7	13	18	5	11	16	k35	7	5	93
a18	0,011	0,009	0,010	0,011	k12	a18	8	13	20	5	14	18	20	18	144	a92	0,000	0,009	0,010	0,011	k24	a92	8	13	18	8	11	16	0	0	0	a167	0,005	0,005	0,006	0,008	k35	a167	8	14	16	2	13	17	k35	8	2	100
a19	0,000	0,005	0,006	0,008	k12	a19	2	15	20	5	15	16	0	0	0	a93	0,000	0,005	0,006	0,008	k24	a93	6	11	19	6	14	17	0	0	0	a168	0,004	0,004	0,005	0,007	k35	a168	10	14	20	9	14	17	k35	10	9	195
a20	0,005	0,004	0,005	0,007	k12	a20	10	15	17	1	15	20	15	15	0	a94	0,000	0,004	0,005	0,007	k24	a94	9	11	16	1	13	19	0	0	0	a169	0,010	0,008	0,009	0,010	k35	a169	6	13	20	2	15	16	k35	20	16	0
a21	0,000	0,008	0,009	0,010	k12	a21	9	12	17	4	11	18	0	0	0	a95	0,000	0,008	0,009	0,010	k24	a95	9	13	17	3	11	19	0	0	0	a170	0,003	0,002	0,003	0,004	k35	a170	6	12	18	3	15	17	k35	12	15	27
a22	0,000	0,002	0,003	0,004	k12	a22	6	14	17	9	15	17	0	0	0	a96	0,003	0,002	0,003	0,004	k24	a96	3	12	16	3	13	17	12	13	0	a171	0,007	0,005	0,006	0,007	k35	a171	6	11	20	8	13	20	k35	20	20	0
a23	0,006	0,005	0,006	0,007	k12	a23	2	15	17	6	13	19	15	13	0	a97	0,000	0,005	0,006	0,007	k24	a97	5	14	17	7	14	20	0	0	0	a172	0,008	0,005	0,006	0,008	k35	a172	3	12	17	3	14	18	k35	17	18	20
a24	0,006	0,005	0,006	0,007	k12	a24	4	11	16	1	13	19	11	13	15	a98	0,000	0,005	0,006	0,008	k24	a98	4	12	16	10	14	17	0	0	0	a173	0,008	0,008	0,009	0,010	k35	a173	3	11	20	6	14	18	k35	3	6	37
a25	0,009	0,008	0,009	0,010	k12	a25	10	15	20	7	15	20	15	15	133	a99	0,008	0,008	0,009	0,010	k30	a99	9	15	19	4	15	18	9	4	0	a174	0,000	0,004	0,005	0,007	k36	a174	3	12	16	5	13	16	k36	0	0	0
a26	0,000	0,004	0,005	0,007	k16	a26	5	11	16	2	15	17	0	0	0	a100	0,005	0,004	0,005	0,007	k2	a100	5	14	18	6	11	17	14	11	92	a175	0,000	0,001	0,002	0,003	k37	a175	3	15	16	3	14	20	k37	0	0	0
a27	0,000	0,001	0,002	0,003	k16	a27	3	12	20	1	12	17	0	0	0	a101	0,003	0,001	0,002	0,003	k2	a101	4	14	17	2	11	19	17	19	106	a176	0,008	0,008	0,009	0,011	k39	a176	5	12	19	7	15	17	k39	5	7	27
a28	0,000	0,008	0,009	0,011	k16	a28	4	12	18	4	14	19	0	0	0	a102	0,009	0,008	0,009	0,011	k2	a102	1	15	20	10	15	17	15	15	123	a177	0,009	0,008	0,009	0,010	k39	a177	9	11	19	4	13	18	k39	11	13	32
a29	0,000	0,008	0,009	0,010	k16	a29	7	12	19	4	15	16	0	0	0	a103	0,009	0,008	0,009	0,010	k4	a103	8	11	16	4	11	20	11	11	138	a178	0,007	0,006	0,007	0,009	k39	a178	7	12	20	8	15	19	k39	12	15	43
a30	0,000	0,006	0,007	0,009	k9	a30	8	14	20	4	11	16	0	0	0	a104	0,009	0,006	0,007	0,009	k4	a104	1	13	17	2	11	17	17	17	149	a179	0,008	0,008	0,009	0,011	k40	a179	9	15	16	4	14	20	k40	9	4	0
a31	0,008	0,008	0,009	0,011	k9	a31	2	14	16	7	15	16	2	7	0	a105	0,008	0,008	0,009	0,011	k4	a105	9	13	19	9	13	20	9	9	166	a180	0,004	0,003	0,004	0,005	k40	a180	5	15	17	10	14	17	k40	15	14	27
a32	0,000	0,003	0,004	0,005	k9	a32	1	13	16	8	11	17	0	0	0	a106	0,003	0,003	0,004	0,005	k4	a106	3	11	20	4	11	19	3	4	175	a181	0															

## Élelmiszeripari nagyleállási karbantartási projekt

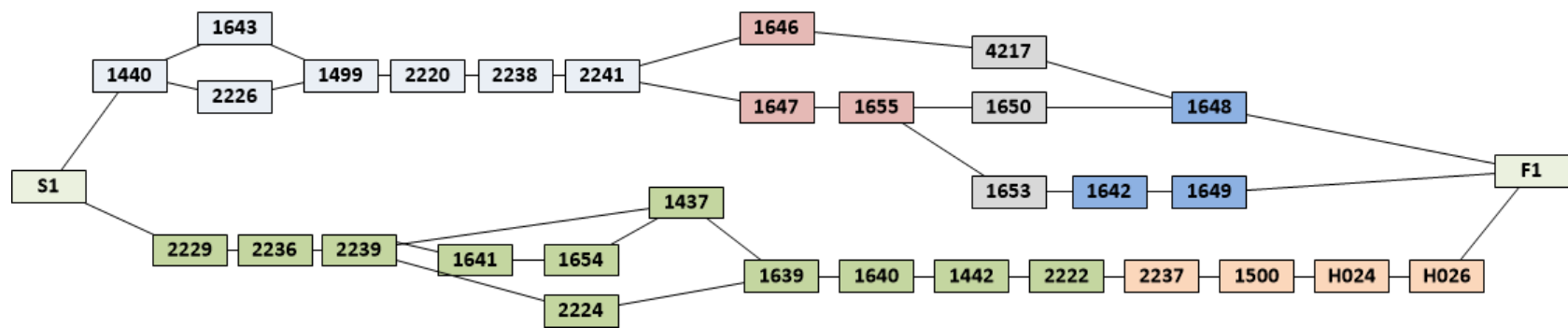
Az élelmiszeripari vállalat - több mint 100 éves múltja tekint vissza, ma már (2020 óta) ismét hazai tulajdonban - küldetése, hogy Magyarország népszerű baromfitermék-márkáit gyártó vállalatoként arra törekszik, hogy a fogyasztók igényeinek megfeleljenek, azokat megelőzve olyan új kényelmi termékeket kínáljanak, amelyekkel elnyerjék vásárlóik feltétlen bizalmát. Partnereik számára megbízható, tervezhető és kölcsönös előnyökön alapuló együttműködést biztosítsanak.

A vállalatnál a berendezések karbantartását minden esetben saját mérnökcsoportjukkal oldották meg. Egyáltalán nem, vagy területenként más és más karbantartási stratégiát alkalmaztak. Energetikai berendezések karbantartását minden esetben merev ciklusú karbantartással ütemezték, ahol tehették alkalmazták az állapotfüggő karbantartási stratégiát, de sok berendezésük/berendezésegységük esetében idő és költségek hiányában maradtak a hibáig tartó üzemelésnél. Megtehették, hiszen ezekhez a gépekhez a tapasztalt, több 10 vagy akár 20 éve is a vállalatnál dolgozó karbantartó - gépészek, karbantartó - műszerészek voltak rendelve, akik a leghatékonyabban tudták megoldani a felmerülő problémákat. Viszont az új/fiatalabb berendezések esetében ezt már nem engedhették meg. Az összetettségük/ komplexitásuk bár megkövetelte a régi iskolák tudásával rendelkező karbantartók tapasztalatát, sokszor elengedhetetlen volt, hogy a kevésbé tapasztaltabb karbantartók új meglátásait, és informatikai tudását is alkalmazzák.

A vállalat 2 termelőterületen elhelyezkedő 6 termelőegységén (4-11. ábra) is elvégeztem a modell alkalmazását. A termelőegységek összesen 31 berendezésegységből álltak. Célom az volt, hogy a megbízhatóságot, illetve az OEE, azon belül is  $RM^6$  mutató értékét növeljem, amely mellett figyelembe vegyem a rendelkezésre álló idő- és költségkorlátokat. Amennyiben a berendezések megbízhatósága gyártósoronként eléri a vállalat által támasztott elvárásokat, vagy meghaladják azt, akkor a karbantartás végrehajtása nem indokolt.

---

<sup>6</sup>Rendelkezésre állási mutató (Availability); A berendezés tényleges futási ideje/ a berendezés tervezett futási ideje



4-11. ábra. Az élelmiszeripari példában szereplő termelő-/ berendezésegységek felépítettségének reprezentációja; saját projekt-vezetői munka során szerkesztve

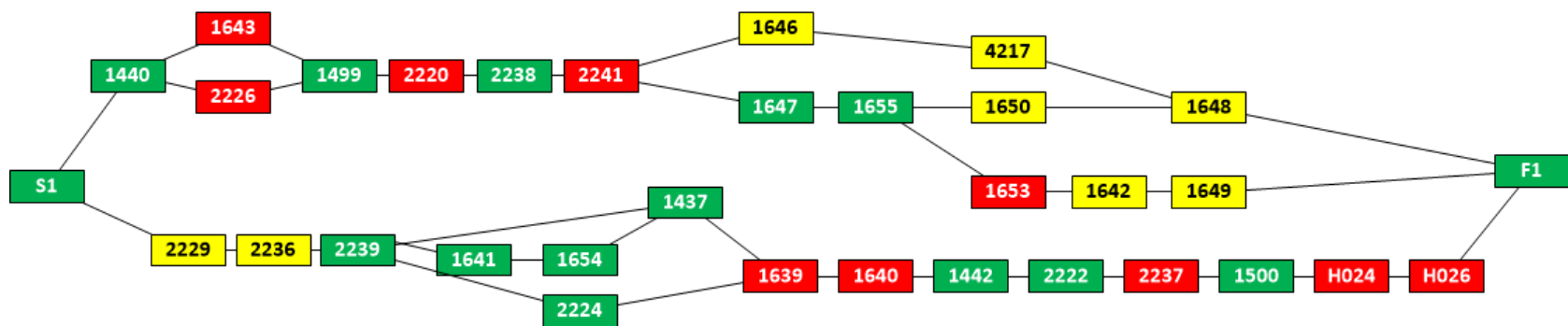
A tervezés első és legnagyobb nehézsége, hogy amennyiben a vállalatoknál még nem történtek meg a mérési kultúra alapjainak lefektetése, ezt pótolni szükséges. Egyre több vállalat esetében a berendezések megbízhatóságainak és rendelkezésre-állásainak számszerűsítése példaértékű, de még a mai napig vannak cégek, amelyeknél ez egyáltalán nem jellemző.

Az itt példaként hozott vállalatnál rendszeres mérések történtek - termelékenység, termelősor megbízhatósága, OEE <sup>7</sup> -, a mért adatokat a karbantartás tervezésére egyáltalán nem használták fel. Napi/heti/havi/féléves és éves beszámolókból, kereskedelmi, azon belül is értékesítési tervek, előrejelzések tervezésében rendszeresen szerepeltek a mérési eredmények.

---

<sup>7</sup>Overall Equipment Effectiveness: A teljes eszközhatékonyság (TEH) három termelési mutatószám: a minőségi mutató, a rendelkezésre állási mutató és a teljesítménymutató szorzata.

- A **minőségi mutató; Quality** a gyártott jó (nem selejt és nem újra megmunkálandó) darabszám és az összes gyártott darabszám aránya.
- A **rendelkezésre állási mutató; Availability** a gép vagy gyártósor elméleti teljes munkaidejének és valós munkaidejének aránya. Az elméleti teljes munkaidőt csökkentő tényező például a karbantartás, a nem tervezett javítás, illetve az állásidő anyagihiány vagy munkaerőhiány miatt.
- A **teljesítménymutató; Performance rate** pedig az elméletileg teljesíthető normához képest a gép valós munkaideje alatt teljesített darabszám aránya, azaz (idővel megfogalmazva) a gyártott darabszámnak és a tervezett ütemidőnek a szorzata osztva a gép tényleges futási idejével.



4-12. ábra. Az élelmiszeripari példában szereplő termelő-/berendezésegységek megadott kockázati kategóriák szerint kiemelve; saját projektvezetői munka során szerkesztve

Az adatok  $M^4$  feltöltését követően<sup>8</sup> - ahogy ezt tettem az előző példában is -, a rendszer megbízhatóság számolásokat követően elvégeztem a meghatározott kockázati kategóriák szerint a szűréseket. A berendezésegységeket külön-külön vizsgáltam és kockázati kategóriákba soroltam. Magas ( $\geq 0,95$ ), közepes ( $< 0,95$ ;  $\geq 0,9$ ) illetve alacsony ( $< 0,9$ ) (lásd: 4-12. és 4-14 ábrákat).

A cél, hogy a karbantartási projektet a lehető **legmagasabb rendszer megbízhatóság-növekményt** érjem el úgy, hogy a **költségigényként támasztott 5500 eFt-t** ( $C_c = 5500$ ) **eFt és a időigényt** ( $C_t = 200$  órát) **ne lépjem túl**. Feltétel, hogy a megbízhatósági diagramtól függetlenül minden berendezésegységnek legalább 0,9-es megbízhatósági értéket meg kell közelítenie ( $cr = 0,9$ ).

A leghosszabb átfutási időt ( $T_{\max} = 225,75$  óra) minden tevékenység végrehajtása és minden tevékenységkapcsolat betartása fogja eredményezni. Azonban a rendelkezésre álló időkeret csak  $C_t = 200$  óra, így ezt a projektváltozatot és a hozzá tartozó projektstruktúrákat már biztosan el fogom vetni, hiszen lehetséges megoldás 225,75 óránál kisebb, de 19,5 óránál nagyobb időigénnyel rendelkezik.

Amennyiben minden javító-megelőző tevékenységet beütemezek megvalósítandó feladatnak és ezek közül is a legköltségesebb alternatívát választom, akkor a karbantartási projekt költsége  $C_{\max} = 10.452$  eFt. Legkevesebb költségű projektváltozatot az a projektterv adta, ahol csak a kötelező tevékenységek szerepeltettem és a legkevesbé költséges alternatívát választom, így a  $C_{\min} = 2175,6$  eFt lenne. A költségkorlát betartásával, amely 5500 eFt-t ( $C_c = 5500$ ) eFt, biztosan nem lesz lehetőség valamennyi javító-megelőző tevékenységet, a legköltségesebb módon karbantartani. Így ezt a projektváltozatot és a hozzá tartozó struktúrákat elvetem - ezen az ágon már nem keresek lehetséges megoldásokat.

Ahogy a korábban ismertetett karbantartási projekttervezésben, itt is a költségekhez hasonlóan a maximális megbízhatóság-javulást is kiszámoltam ( $TSR_{\max} = 0,7303$ ). Ehhez szükséges volt, hogy a meghatározott javító megelőző tevékenységekhez hozzáren-

---

<sup>8</sup>T2 Az általam javasolt  $M^4$  mátrix modellezési eljárással a megelőző karbantartás-tervezési probléma modellezhető.



deljem, hogy mennyivel növelheti a kiválasztott tevékenység berendezésegységek megbízhatóságát (lásd: 4-16. ábra ID részmatrixa).

A maximális megbízhatóság-javulást akkor érem el, ha valamennyi javító-megelőző tevékenységet végrehajttatom. Ha csak a kötelezőkre szorítkozok, akkor a minimális megbízhatóság-javulást ( $TSR_{\min} = 0,7126$ ) fogok eredményül kapni.

A korlátoknak megfelelő projektváltozat, projektstruktúra biztosan a ( $TSR_{\min} = 0,7126$ ) és ( $TSR_{\max} = 0,7303$ ) közé fog esni.

A célfüggvény a **lehető legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel járó** projektütemterv (lásd: 4-15. ábra átlójában) megtalálása volt, így az első fázisban azokat a projektváltozatokat részesítettem előnyben, amelyek lehető legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel rendelkeztek.

Tehát minden lépésben, ha a tevékenység a kritikus úton volt, akkor igyekeztem a tevékenységet a lehető legmagasabb megbízhatóság-növekménnyel a projektbe beütemezni. Ugyanakkor, ha az így kapott mátrixra számolt projekt átfutási idő és projektköltség nem a megadott korlátokon belül szerepelt, akkor ezt az ágat, illetve valamennyi alágát kivettem a döntési fából.

A legnagyobb rendszer megbízhatóság-növekménnyel járó projektütemterv megvalósításához - amely a megadott korlátokat nem lépi túl - elegendő  $TPT = 36$  óra és  $TPC = 4821,6$  eFt. Így ( $\Delta TSR = 0,0183$ ) megbízhatóságnövekedés érhető el, amely összrendszerszintű ( $TSR = 0,7177$ ) megbízhatóságot eredményez <sup>9</sup>.

---

9

T3 A megelőző karbantartás-tervezési probléma adott célfüggvényre (lehető legrövidebb átfutási idő, legkisebb költség) vonatkozó optimális megoldása meghatározható.

$C_t$	200	óra	$C_e$	5500	eFt	$TSR_{max}$	0,7303
$T_{min}$	19,5	óra	$C_{min}$	2175,6	eFt	$TSR_{min}$	0,7126
$T_{max}$	225,75	óra	$C_{max}$	10 452	eFt		
			$cr=0,9$	<b>maxTSR</b>			
			<b>TPT</b>	36	óra		
			<b>TPC</b>	4821,6	eFt		
			<b>TSR</b>	0,7177			

4-13. ábra. Az élelmiszeripari vállalat karbantartási projektjének megengedett megoldása; saját projekttervezői munka során szerkesztve

BD	S1	1440	1643	2226	1499	2220	2238	2241	2229	2236	2239	1641	1654	1437	2224	1639	1640	1442	2222	2237	1500	H024	H026	1646	1647	1655	1650	4217	1653	1642	1648	1649	F1			
S1	1	1							1																											
1440		0,95	1,00	1,00																																
1643			0,82		1,00																															
2226				0,79	1,00																															
1499					0,95	1,00																														
2220						0,82	1,00																													
2238							0,95	1,00																												
2241								0,83																1,00	1,00											
2229									0,90	1,00																										
2236										0,92	1,00																									
2239											0,95	1,00		1,00	1,00																					
1641												0,96	1,00																							
1654													0,98	1,00																						
1437														0,97	1,00																					
2224															0,97	1,00																				
1639																0,84	1,00																			
1640																	0,84	1,00																		
1442																		0,96	1,00																	
2222																			0,98	1,00																
2237																				0,95	1,00															
1500																					0,98	1,00														
H024																						0,89	1,00													
H026																							0,64													1,00
1646																								0,92				1,00								
1647																									0,95	1,00										
1655																											0,97	1,00		1,00						
1650																												0,94					1,00			
4217																													0,94							
1653																														0,88	1,00					
1642																														0,92						
1648																																0,93				1,00
1649																																		0,93	1,00	
F1																																			1,00	

4-14. ábra. Az élelmiszeripari példában szereplő berendezésegységek (BD) mátrixos reprezentációja; saját projektvezetői munka során szerkesztve

BD	S1	1440	1643	2226	1489	2220	2238	2241	2229	2236	2239	1641	1654	1437	2224	1639	1640	1442	2222	2237	1500	H024	H026	1646	1647	1655	1650	4217	1653	1642	1648	1649	F1		
S1	1,000	1,000							1,000																										
1440		0,956	1,000	1,000																															
1643			0,837		1,000																														
2226				0,787		1,000																													
1489					0,950		1,000																												
2220						0,830		1,000																											
2238							0,950		1,000																										
2241								0,839																1,000	1,000										
2229									0,900		1,000																								
2236										0,920		1,000																							
2239											0,955		1,000		1,000	1,000																			
1841												0,960		1,000																					
1654													0,981		1,000																				
1437														0,970		1,000																			
2224															0,976		1,000																		
1639																0,841		1,000																	
1640																	0,843		1,000																
1442																		0,960		1,000															
2222																			0,983		1,000														
2237																				0,861		1,000													
1500																					0,980		1,000												
H024																						0,895		1,000											
H026																							0,844												1,000
1646																							0,923						1,000						
1647																								0,950		1,000									
1655																									0,970		1,000		1,000						
1650																										0,946						1,000			
4217																												0,940					1,000		
1653																													0,883		1,000				
1642																														0,920				1,000	
1648																																0,931			1,000
1649																																	0,936		1,000
F1																																		1,000	

4-15. ábra. Az élelmiszeripari karbantartási projekt berendezésegységenként elért eredményeinek (BD) mátrixos reprezentációja; saját projektvezetői munka során szerkesztve

	Ar	ID					Idő/TD			Költség/CD				0,9_TSR		
		Rmin	ID	Rmax			tmin	óra	tmax	cmin	eHUF	cmax		TD	CD	EST
sa1	0,0000	0	0	0	S1	sa1	0	0	0	0	0	0	S1	0	0	0
a1	0,0063	0,005	0,006	0,006	1440	a1	4,5	9	15	176,4	205,8	264,6	1440	15	264,6	0
a2	0,0051	0,004	0,005	0,006	1643	a2	6	9,75	15	235,2	205,8	235,2	1643	9,75	205,8	15
a3	0,0050	0,005	0,006	0,006	1643	a3	7,5	11,25	12,75	176,4	205,8	235,2	1643	7,5	176,4	24,75
a4	0,0065	0,007	0,007	0,008	2226	a4	3	10,5	12,75	176,4	235,2	294	2226	3	176,4	32,25
a5	0,0014	0,001	0,008	0,001	2226	a5	6	9	12,75	176,4	176,4	264,6	2226	12,75	264,6	15
a6	0,0000	0,003	0,004	0,005	1499	a6	2,25	9	12	176,4	205,8	264,6	1499	0	0	0
a7	0,0104	0,009	0,010	0,010	2220	a7	5,25	8,25	12,75	147	205,8	235,2	2220	12,75	235,2	0
a8	0,0000	0,001	0,002	0,003	2238	a8	7,5	11,25	12	117,6	176,4	235,2	2238	0	0	0
a9	0,0000	0,002	0,003	0,003	2238	a9	7,5	9	12,75	205,8	235,2	294	2238	0	0	0
a10	0,0092	0,009	0,010	0,011	2241	a10	7,5	11,25	13,5	176,4	205,8	235,2	2241	7,5	176,4	0
a11	0,0000	0,007	0,001	0,002	2229	a11	7,5	11,25	13,5	117,6	176,4	235,2	2229	0	0	0
a12	0,0000	0,003	0,004	0,005	2236	a12	6	8,25	14,25	176,4	235,2	294	2236	0	0	0
a13	0,0049	0,004	0,005	0,006	2239	a13	7,5	9	13,5	205,8	205,8	235,2	2239	9	205,8	0
a14	0,0000	0,002	0,002	0,003	1641	a14	9	10,5	13,5	176,4	176,4	264,6	1641	0	0	0
a15	0,0009	0,000	0,001	0,002	1654	a15	6,75	8,25	15	176,4	205,8	235,2	1654	8,25	205,8	0
a16	0,0000	0,005	0,006	0,006	1437	a16	7,5	11,25	12,75	235,2	235,2	264,6	1437	0	0	0
a17	0,0057	0,004	0,005	0,006	2224	a17	7,5	9,75	12	176,4	205,8	264,6	2224	12	264,6	9
a18	0,0000	0,005	0,006	0,006	2224	a18	7,5	9	15	176,4	205,8	264,6	2224	0	0	0
a19	0,0000	0,007	0,007	0,008	2224	a19	6	11,25	13,5	294	294	294	2224	0	0	0
a20	0,0014	0,001	0,008	0,001	1639	a20	6	9	15	294	294	294	1639	15	294	0
a21	0,0033	0,003	0,004	0,005	1640	a21	6	8,25	15	176,4	205,8	264,6	1640	6	176,4	15
a22	0,0000	0,009	0,010	0,010	1442	a22	6	9,75	15	235,2	235,2	294	1442	0	0	0
a23	0,0000	0,001	0,002	0,003	2222	a23	7,5	9,75	12	117,6	147	176,4	2222	0	0	0
a24	0,0033	0,002	0,003	0,003	2222	a24	6	9	12,75	147	176,4	235,2	2222	12,75	235,2	0
a25	0,0105	0,009	0,010	0,011	2237	a25	7,5	11,25	12	176,4	235,2	294	2237	12	294	12,75
a26	0,0000	0,007	0,001	0,002	1500	a26	9	10,5	12,75	205,8	235,2	294	1500	0	0	0
a27	0,0048	0,003	0,004	0,005	H024	a27	10,5	11,25	12,75	176,4	205,8	235,2	H024	12,75	235,2	0
a28	0,0042	0,004	0,005	0,006	H026	a28	9	11,25	14,25	176,4	176,4	249,9	H026	9	176,4	12,75
a29	0,0031	0,002	0,002	0,003	1646	a29	6	8,25	12,75	176,4	191,1	235,2	1646	12,75	235,2	7,5
a30	0,0002	0,000	0,001	0,002	1647	a30	7,5	8,25	14,25	176,4	205,8	235,2	1647	7,5	176,4	7,5
a31	0,0000	0,004	0,005	0,006	1655	a31	4,5	10,5	12	147	176,4	235,2	1655	0	0	0
a32	0,0000	0,000	0,001	0,002	1650	a32	9	11,25	12,75	147	220,5	249,9	1650	0	0	0
a33	0,0000	0,007	0,008	0,009	1650	a33	9	11,25	15	147	161,7	294	1650	0	0	0
a34	0,0055	0,004	0,005	0,006	1650	a34	9	9,75	13,5	176,4	205,8	249,9	1650	13,5	249,9	0
a35	0,0000	0,009	0,010	0,010	4217	a35	9	9	15	176,4	176,4	235,2	4217	0	0	0
a36	0,0025	0,001	0,002	0,003	1653	a36	9	10,5	12	117,6	161,7	235,2	1653	12	235,2	0
a37	0,0000	0,002	0,003	0,003	1642	a37	6	8,25	13,5	147	176,4	235,2	1642	0	0	0
a38	0,0000	0,009	0,010	0,011	1648	a38	6	9	14,25	176,4	205,8	249,9	1648	0	0	0
a39	0,0014	0,007	0,001	0,002	1648	a39	6	9,75	13,5	147	161,7	235,2	1648	9,75	161,7	0
a40	0,0000	0,004	0,005	0,006	1649	a40	6	10,5	12	176,4	191,1	249,9	1649	0	0	0
a41	0,0062	0,006	0,007	0,008	1649	a41	7,5	10,5	15	176,4	205,8	264,6	1649	7,5	176,4	0
fa1	0,0000	0,000	0,000	0,000	F1	fa1	0	0	0	0	0	0	F1	0	0	0

4-16. ábra. A legnagyobb rendszermegbízhatóság-növekménnyel járó karbantartási projekt ID, CD, TD mátrixok összefoglalója); saját projekttervezői munka során szerkesztve

A tervezési eljárás alkalmazhatósága/ hasznossága több alkalommal, nemcsak élelmi-szeripari, vagy informatikai karbantartási projekteken került ellenőrzésre, hanem gyógyszeripari, autóipari területekhez kapcsolódó karbantartási projekteken is. A korábban ismertetett tervezési eljárást alkalmazva - minden esetben - nemcsak a gyártósorok megbízhatóságát, de a vállalat által elvárt összrendszerszintű megbízhatóság növekedését is elértem.

## 4.2. Hasznosítás és továbblépés

A karbantartás-tervezések során a rendszer megbízhatóságáról egy statikus állapotot feltételezünk, ami az akár a végrehajtás ideje alatt is változik/ változhat. Egy előre jelző rendszer és a javasolt módszer kombinálása már nem csak a megelőző (preventive), hanem a prediktív karbantartás-tervezés eszköztárát is gazdagíthatná.

Az alkalmazott mátrixalapú karbantartás-tervezési eljárás alkalmas komplex rendszerek karbantartásának tervezésére, a karbantartás hatékonyságának összehasonlítására (Kosztyán és Pribojszki-Németh, 2016). Kosztyán Zsolt tanulmányában (Kosztyán, 2016b) már arra kereste a választ, hogyan lehet a termelőrendszerek tervezésekor az eltérő hálózattípusok tulajdonságait felhasználni a meghibásodási kockázat és karbantartási hatékonyság optimalizálása érdekében. A komplex karbantartási feladatok prioritizálására egy mátrixtervezési modellt javasolt (Kosztyán és Pribojszki-Németh, 2016). Ennek segítségével bemutatja, hogyan lehet kritikus termelőrendszerek és villamosközmű-hálózatok meghibásodási kockázatát csökkenteni. A javasolt módszer a karbantartási vezetők számára lehetőséget nyújt a vállalati karbantartási projektportfóliók hatékonyabb menedzselésére. Disszertációmban bemutatott tervezési eljárást Kosztyán Zsolt Tibor (Kosztyán, 2016b) munkájában elemzési eredményekkel támasztotta alá, hogy a karbantartási projekt hatékonyságát elsősorban a karbantartandó rendszer struktúrája határozza meg. A projekt lefutása szempontjából tehát fontosabb kérdés a MIT? és a HOGYAN?, mint a MENNYI? és a MIKOR?, hiszen az első két kérdésre a választ a rendszer- és a projektstruktúra határozza meg, addig a második két kérdést már a karbantartási projekt idő- és költségparaméterei válaszolják meg. Szemben a (sok javító-megelőző tevékenységet tartalmazó) nagy leállásokkal, a folyamatos karbantartás során könnyebben el lehet érni a kitűzött (lehető legrövidebb) karbantartási időt, amely egy újabb érv lehet a folyamatos karbantartás mellett. Fontos új eredmény, hogy a robusztusabb rendszerek, azon túlmenően, hogy megbízhatóbbak, karbantartásuk is relatíve gyorsabb. Ez pedig a rendszerek tervezőit inspirálhatja, hogy érdemes lehet már a rendszerek megtervezésekor gondolni azok robusztusságára.

## 5. fejezet

# Összefoglalás

A bemutatott módszer hosszadalmas, folyamatos kutatómunka eredményét képezi. A mátrix alapú karbantartás-tervezési módszer (Matrix-based Maintenance Management Method - $M^4$ ) megalkotása során nagy szerepet játszott, hogy hogyan lehetséges a megbízhatóság és a meghibásodás figyelembevételével fontossági sorrendet felállítani a karbantartani kívánt berendezések között illetve, hogy a tervezés során a berendezésegységek között helyenként felmerülő köröket hogyan vegyük számszerűsített formában figyelembe.

A javítások prioritását meghatározza a karbantartási tevékenységek kockázati besorolása. Amennyiben adott a költség-, erőforrás-, illetve időkeret, akkor az általam létrehozott mátrixos logikai tervezési módszerek segítségével olyan projektterv készíthető, amely alapján a legszükségesebb javítások tervezhetők és ütemezhetők.

A bemutatott módszer kimeneteként egy olyan karbantartási tervet ad, amely tartalmazza, hogy melyik berendezést, vagy azon belül melyik berendezéselemeket kell karbantartani. A karbantartási terv összeállításában egy integrált  $M^4$ -et alkalmazok, amely tartalmazza a berendezéselemekre, vagy berendezésekre vonatkozó kockázati/ megbízhatósági értékeket. Továbbá tartalmazza a hozzáférési sorrendiséget, a berendezésegységek karbantartására vonatkozó, szükséges költségráfordítást, kompetens emberi erőforrás szükségletet és a karbantartási időtartamot is.

A karbantartási műveletek technológiai sorrendje egy-egy berendezés javítása esetén



általában kötött, az egyes berendezések javítása különböző sorrendben is elvégezhető. Bizonyos esetekben is szakítható, és újra vissza is lehet térni ellenőrzés vagy a munka folytatása céljából az adott egységre. Amennyiben adott a költség-, erőforrás-, illetve időkeret, akkor a bemutatott módszerek segítségével olyan projektterv készíthető, amelyben szerepelnek a legszükségesebb javítások/ helyreállítások.

A vállalatoknál rendelkezésre álló költségvetési kereten belül, igyekszek a lehető legtöbb olyan berendezés karbantartását a tervbe integrálni, amelyek helyreállításával, az elvárt vállalati összrendszerszintű megbízhatósági értéket elérem. A terv összeállítása során a rendelkezésre álló időkeret mellett az éppen adott berendezésre vonatkozó kompetens karbantartó létszámot is figyelemmel kísérem. A karbantartási tervet a  $M^4$  alkalmazásával tehát úgy állítom össze, hogy célomat elérjem, azaz az elvárt összrendszerszintű megbízhatóságot, a vállalat által támasztott kereteken belül.

# Irodalom

- Aggteleky, B. és Bajna, M. (1994). *Projekttervezés, projektmenedzsment*. Budapest: Közlekedési Dokumentációs Rt.
- Ahuja, I.P.S. és Khamba, J.S. (2008). „Strategies and success factors for overcoming challenges in TPM implementation in Indian manufacturing industry”. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 14.2. cited By 85, 123–147. old. DOI: 10.1108/13552510810877647. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-44849098073&doi=10.1108%2f13552510810877647&partnerID=40&md5=6fd6a54250409e055244d2a5dc94b275>.
- Ahuja, R. K., Magnanti, T. L. és Orlin, J. B (1993). „Some Recent Advances in Network Flows”. *SIAM Review* 33.2, 175–219 pp. DOI: <http://dx.doi.org/10.1137/1033048>. eprint: <http://dx.doi.org/10.1137/1033048>.
- Al-Radhi, M. és Heuer, J. (1995). *TPM. Konzept, Umsetzung, Erfahrung*. Carl Hanser Verlag, München, Wien.
- Al-Rawie, Nihad, Morad, Ameer H. és Mohamed, Mohmodd A.E. (1989). „Algorithm to find the weak points in the design of electric power system”. *Modelling, simulation & control. B* 23.4. cited By 0, 57–64. old. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0024858759&partnerID=40&md5=7ab47aad97c2e03325cae7bf8ba87250>.
- Alseieri, A. és Farrell, P. (2020). „Technical and operational barriers that affect the successful total productive maintenance (TPM) implementation: Case studies of Abu Dhabi power industry”. *International Journal of COMADEM* 23.2. cited By 0, 9–

14. old. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85088890935&partnerID=40&md5=98a3a63957d03d71d464ca5803157c51>.
- Alvarez, C., Lopez-Campos, M., Stegmaier, R., Mancilla-David, F., Schurch, R. és Angulo, A. (2020). „A Condition-Based Maintenance Model including Resource Constraints on the Number of Inspections”. *IEEE Transactions on Reliability* 69.3. cited By 0, 1165–1176. old. DOI: 10.1109/TR.2019.2955558. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85083797198&doi=10.1109%2fTR.2019.2955558&partnerID=40&md5=e4291d835f6984b30871bbf13ac69b60>.
- Anderson, D. (1989). *A literature search of maintenance management*. Maintenance Management Solutions Pty Ltd.
- Anderson, D. (1998). „The maintenance theory jungle”. *Maintenance and Asset Management Journal* 13.5, 7–16 pp. URL: [http://www.plant-maintenance.com/articles/maintenance\\_jungle.shtml](http://www.plant-maintenance.com/articles/maintenance_jungle.shtml).
- Andrásfalvi, B. (1983). *Gráfelmélet - folyamat mátrixok*. ISBN 963 05 3146 1. Budapest: Akadémia Kiadó, Budapest.
- Annamalai, S. és Suresh, D. (2019). „Implementation of total productive maintenance for overall equipment effectiveness improvement in machine shop”. *International Journal of Recent Technology and Engineering* 8.3. cited By 1, 7686–7691. old. DOI: 10.35940/ijrte.C6212.098319. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85073572508&doi=10.35940%2fijrte.C6212.098319&partnerID=40&md5=59866b56eb3c712ed7ef320e3327ef5a>.
- Arunraj, N.S. és Maiti, J. (2007). „Risk-based maintenance - Techniques and applications”. *Journal of Hazardous Materials* 142, 653–661. old. DOI: 10.1016/j.hazmat.2006.06.069.
- Awank, C.K. (2003). „The Lean Service Machine”. *Harvard Business Review* 4.34. ISSN 0017-8012, 123–129. old.
- Babu, A.J.G. és Suresh, N. (1996). „Project management with time, cost, and quality considerations”. *European Journal of Operational Research* 88.2, 320–327 pp. ISSN: 0377-2217. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00202-9](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(94)00202-9). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221794002029>.

- Barlon, R.E. és Proschan, F. (1964). *Mathematical theory of reliability*. ISBN 978-089-871-3695. John Wiley & Sons Inc.
- Barlow, R. és Hunter, L. (1960). „Optimum Preventive Maintenance Policies”. *Operations Research* 8.1, 9–14 pp. DOI: [10.1287/opre.8.1.90](https://doi.org/10.1287/opre.8.1.90).
- Bazovsky, I. (1961). *Reliability: Theory and practice*. Szerk. New Jersey Englerwood Cliffs. ISBN 978-048-643-8672. Prentice-Hall Inc.
- Bender, M.B. (2010). *A Manager's Guide to Project Management: Learn how to apply best practices*. ISBN-10: 0133988023 ISBN-13: 978-0133988024. Pearson Education, Inc. New Jersey.
- Berman, E. B. (1964). „Resource Allocation in a PERT Network Under Continuous Activity Time-Cost Functions”. *Management Science* 10.4, 734–745 pp. DOI: [10.1287/mnsc.10.4.734](https://doi.org/10.1287/mnsc.10.4.734). eprint: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.10.4.734>. URL: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.10.4.734>.
- Bhattacharjya, D. és Deleris, L.A. (2012). „From Reliability Block Diagrams to Fault Tree Circuits”. *Decision Analysis* 9.2, 128–137 pp. DOI: <http://dx.doi.org/10.1287/deca.1120.0231>.
- Bloom, N. (2006). *Reliability Centered Maintenance (RCM) Implementation made simple*. ISBN 0071 460 69 1. McGraw-Hill Professional.
- Blásing, J.P. (1988). „FMEA Failure Mode and Effect Analysis”. *Qualität und Zuverlässigkeit* 33. 119–120 pp.
- Braglia, M., Castellano, D. és Gallo, M. (2019). „A novel operational approach to equipment maintenance: TPM and RCM jointly at work”. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 25.4. cited By 5, 612–634. old. DOI: [10.1108/JQME-05-2016-0018](https://doi.org/10.1108/JQME-05-2016-0018). URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85061341241&doi=10.1108%2fJQME-05-2016-0018&partnerID=40&md5=ea0d3b2eb2ec8b1b10d75089f41dcee2>.
- Browning, T. R. (2014). „Managing complex project process models with a process architecture framework”. *International Journal of Project Management* 32.2, 229–241. old. ISSN: 0263-7863. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman>.

2013.05.008. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786313000653>.

- Browning, T.R. (1998). „Use of Dependency Structure Matrices for Product Development Cycle Time Reduction”. *Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions: Research and Applications*. Tokyo, Japan.
- Browning, T.R. (2001). „Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions”. *IEEE Transactions on Engineering management* 48.3, 292–306. old. DOI: doi={10.1109/17.946528},. URL: ISSN={0018-9391},.
- Browning, T.R. és Eppinger, S.D. (2002). „Modeling impacts of process architecture on cost and schedule risk in product development”. *Engineering Management, IEEE Transactions on* 49.4, 428–442. old. ISSN: 0018-9391. DOI: 10.1109/TEM.2002.806709.
- Bruck, R.H. és Ryser, H.J. (1949). „The nonexistence of certain finite projective planes”. *Canadian Journal of Mathematics* 1, 88–93. old. DOI: <http://dx.doi.org/10.4153/CJM-1949-009-2>.
- Brucker, P., Drexel, A., Mohring, R., Neumann, K. és Pesch, E. (1999). „Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods”. *European Journal of Operational Research* 112.1, 3–41. old. URL: <http://ideas.repec.org/a/eee/ejores/v112y1999i1p3-41.html>.
- Camara, A.W. (1968). *An automated PERT/CPM Production Scheduling Application on the UNIVAC III*. Techn. jel. DTIC Document.
- Carazas, F.G. és Souza, G.F.M. (2010). „Risk-based decision making method for maintenance policy selection of thermal power plant equipment”. *Energy* 35, 964–975. old. DOI: 10.1016/j.energy.2009.06.054.
- Chelson, P.O. és Eckstein, R.E. (1971). *Reliability Computation From Reliability Block Diagrams*. Technical Report NAS7-100. NASA-CR-125068, JPL-TR-32-1543. Pasadena, California: NASA; United States.

- Chen, S.-J. és Lin, L. (2002). „A Project Task Coordination Model for Team Organization in Concurrent Engineering”. *Concurrent Engineering* 10, 187–202. old.
- Chen, Shi-Jie (Gary) és Lin, Li (2003). „Decomposition of interdependent task group for concurrent engineering”. *Computers & Industrial Engineering* 44.3, 435–459. old. ISSN: 0360-8352. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352\(02\)00230-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00230-9). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835202002309>.
- Christofides, N. (1975). *Graph Theory*. Szerk. W. Rheinboldt. ISBN 0 12 174 350 0. Academic Press Inc. (London) Ltd.
- Chun-Hsien, C., FuLing, S. és Chen, W. (2003). „Project scheduling for collaborative product development using DSM”. *International Journal of Project Management* 21.4, 291–299. old. ISSN: 0263-7863. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00023-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00023-6). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786302000236>.
- Corsten, H. (2000). *Projektmanagement*. ISBN 3-486-25252-6. München: Oldenbourg Verlag, München.
- Cowick, R.M. (1989). „Develop a maintenance resource management program”. *Hydrocarbon Processing* 67.4. 100-A-100-C, OSTI ID: 6571693, 1. old.
- Danilovic, M. és Browning, T.R. (2007). „Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices”. *International Journal of Project Management* 25.3, 300–314. old. ISSN: 0263-7863. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.003>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786306001645>.
- Danilovic, M. és Sandkull, B. (2005). „The use of dependence structure matrix and domain mapping matrix in managing uncertainty in multiple project situations”. *International Journal of Project Management* 23, 193–203 pp.
- Dawson, R. J. és Dawson, C. W. (1998). „Practical proposals for managing uncertainty and risk in project planning”. *International Journal of Project Management* 16. ISSN 0263-7863, 299–310 pp.
- De, P., Dunne, E. J., Ghosh, J. B. és Wells, C. E. (1995). „The discrete time-cost tradeoff problem revisited”. *European Journal of Operational Research* 81.2, 225–238. old.

- ISSN: 0377-2217. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00187-H](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(94)00187-H). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037722179400187H>.
- De, P., Dunne, E. J., Ghosh, J. B. és Wells, C. E. (1997). „Complexity of the Discrete Time-Cost Tradeoff Problem for Project Networks”. *Operations Research* 45.2, 302–306. old. DOI: 10.1287/opre.45.2.302. eprint: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.45.2.302>. URL: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.45.2.302>.
- Dubovánszky, R. (1983). „A járműfenntartás műszaki és szervezési kérdéseinek elemzése”. *Volán Tröszt* 06.04, 7–11. old.
- Dózsa, L., Ladó, L. és Susánszky, J. (1972). *Az üzem- és munkaszervezésről*. Szerk. Kovács Dóra. Budapest: Kossuth Kiadó, Budapest.
- Eichler, C. (1982). *A karbantartás tervezése*. ISBN 963-10-4292-8. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Eisinger, S. és Rakowsky, U.K. (2001). „Modeling of uncertainties in reliability centered maintenance - a probabilistic approach”. *Modeling of uncertainties in reliability centered maintenance - a probabilistic approach, Reliability Engineering and System Safety* 71, 159–164 pp.
- Eisner, H. (1962). „Generalized Network Approach to the Planning and Scheduling of a Research Project”. *Operation Research* 10.1, 115–125. old.
- El-Rayes, K. és Kandil, A. (2005). „Time-Cost-Quality Trade-Off Analysis for Highway Construction”. *Journal of Construction Engineering and Management* 131.4, 477–486. old. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:4(477). eprint: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:4\(477\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:4(477)). URL: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:4\(477\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:4(477)).
- Eppinger, S.D. és Browning, T.R. (2012). *Design Structure Matrix Methods and Applications (Engineering Systems)*. ISBN: 9780262017527. MIT Press, Cambridge.
- Eppinger, S.D., Whitney, D.E., Smith, R.P. és Gebala, D.A. (1994). „A model-based method for organizing tasks in product development”. English. *Research in Engineering Design* 6.1, 1–13. old. ISSN: 0934-9839. DOI: 10.1007/BF01588087. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01588087>.

- Erdősi, Gy., Farkas, A., Ladó, L. és Nahlik, G. (1976). *Folyamatharmónia-vizsgálat - Szervezési résztechnika*. Szerk. L. Ladó. BME Ipari Üzemgazdaságtan Tanszék.
- Falk, J. E. és Horowitz, J. L. (1972). „Critical Path Problems with Concave Cost-Time Curves”. *Management Science* 19.4-part-1, 446–455. old. DOI: 10.1287/mnsc.19.4.446. eprint: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.19.4.446>. URL: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.19.4.446>.
- Feng, C., Liu, L. és Burns, S. (2000). „Stochastic Construction Time-Cost Trade-Off Analysis”. *Journal of Computing in Civil Engineering* 14.2, 117–126. old. DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3801(2000)14:2(117). eprint: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2000\)14:2\(117\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2000)14:2(117)). URL: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2000\)14:2\(117\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2000)14:2(117)).
- Fernandez, C.I.G. (1998). „Integration analysis of Product architecture to support effective team co-location”. Dissz. MIT, Cambridge, MA, USA.
- Fernando, E.P.C. (1969). „Use of interdependency matrix for expediting implementation of an integrated development programme in a developing Country”. In *Proceedings of the second international congress for project planning by network analysis*. In, H.J.M. Lombaers. Amsterdam, 76–85. old.
- Fondahl, J.W. (1961). *Non-Computer Approach to the Critical Path Method for the Construction Industry*. Prepared Under Contract No. NBy-17798 for the Bureau of Yards és Docks, U.S. Navy.
- Fulkerson, D. R. (1961). „A network flow computation for project cost curves”. *Management science* 7.2, 167–178. old.
- Gantt, H.L. (1919). *Work, Wages and Profit*. <https://archive.org/details/workwagesprofits00gant>. The Engineering Magazine Co.
- Garbatov, Y. és Guedes Soares, C. (2009). „Structural maintenance planning based on historical data of corroded deck plates of tankers”. *Reliability Engineering and System Safety* 94, 1806–1817 pp.
- Gaál, Z. (2003). *Tudásbázisú karbantartás*. Szerk. Panno. ISBN 963-9495-19-0. Veszprém.
- Gaál, Z. (2007). *Karbantartás-menedzsment*. Szerk. Pannon. ISBN 978-963-6420-98-7. Veszprém.



- Gaál, Z. és Kovács, Z. (2010). *Megbízhatóság, karbantartás*. Szerk. Pannon Egyetem Kiadó. ISBN 963-7332-26-X. Veszprém.
- Gebala, D. A. és Eppinger, S. D. (1991). „Methods for analyzing design procedures”. *Proceedings of 3rd International ASME Conference on Design Theory and Methodology*. Miami, 227–233 pp.
- Geraghty, T. (1996). „Beyond TPM”. *Manufacturing Engineer* 75.4. cited By 2, 183. old. DOI: 10.1049/me:19960414. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-10044243937&doi=10.1049%2fme%3a19960414&partnerID=40&md5=351e2926df30ae41c25ada81abdb8a1c>.
- Gertsbakh, I. (2000). *Reliability theory - with applications to preventive maintenance*. ISBN 3-540-67275-3. Springer Berlin.
- Goldberg, A. és Tarjan, R. (1987). „Solving Minimum-cost Flow Problems by Successive Approximation”. *Proceedings of the Nineteenth Annual ACM Symposium on Theory of Computing*. STOC '87. New York, New York, USA: ACM, 7–18. old. ISBN: 0-89791-221-7. DOI: 10.1145/28395.28397. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/28395.28397>.
- Goldberg, A. V. (1997). „An Efficient Implementation of a Scaling Minimum-Cost Flow Algorithm”. *Journal of Algorithms* 22.1, 1–29. old. ISSN: 0196-6774. DOI: <http://dx.doi.org/10.1006/jagm.1995.0805>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019667748570805X>.
- Graham, R.J., Lawler, E.L., Lenstra, J.K. és RinnooyKan, A.H.G. (1997). „Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling theory: A survey”. *Annals of Discrete Mathematics* 5, 287–326. old.
- Gulyás, L. (1966). *Üzemi mérések*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Görög, M. (1996). *Általános projektmenedzsment*. ISBN 963 9078 08 5. Budapest: Aula Kiadó.
- Görög, M. (2001a). *Bevezetés a projektmenedzsmentbe*. ISBN 963 9215. Budapest: Aula.
- Görög, M. (2001b). „Stratégia, projekt, projektszervezet - A hosszú távú siker zálogai”. *Vezetéstudomány* 5. ISSN 0133 0179, 2–11 pp.

- Hayes, M. (1969). „The Role of Activity Precedence Relationship in Node-Oriented Networks”. *Proceedings of the 2nd International Congress for Project Planning by Network Analysis*. Amsterdam: North-Holland Publ. Comp., 128–146. old.
- Haynes, M. (2003). *Projekt-Management*. ISBN 3-832309-99-3. Redline Wirtschaftsverlag Berlin.
- Heintzelman, J. (1976). *The complete handbook of maintenance management*. Prentice Hall’s Trade Division, New Jersey.
- Hetyei, J. (2009). *ERP Rendszerek Magyarországon a 21. században*. ComputerBooks Kft., Budapest.
- Huang, E. és Chen, S. J. (2006). „Estimation of Project Completion Time and Factors Analysis for Concurrent Engineering Project Management: A Simulation Approach”. *Concurrent Engineering* 14.4. West Midlands, 329–341. old. DOI: doi : 10 . 1177 / 1063293X06072482.
- Idhammar, C. (1999). *Preventive maintenance, essential care and condition monitoring book*. IDCON inc.
- Janik, J., Kalácska, G., Jánossy, Gy., Vermes, P., Farkas, E., Szûcs, S., Szántó J. and Szabadi, L. és Szabó, L. (2000a). *Gépüzemfenntartás I*. ISBN 963 006 77 65. Dunaújváros: Dunaújvárosi Fõiskola.
- Janik, J., Kalácska, G., Jánossy, Gy., Vermes, P., Farkas, E., Szûcs, S., Szántó J. and Szabadi, L. és Szabó, L. (2000b). *Gépüzemfenntartás II*. ISBN 963 006 77 65. Dunaújváros: Dunaújvárosi Fõiskola.
- Kang, W.-H., Songa, J. és Gardoni, P. (2008). „Matrix-based system reliability method and applications to bridge networks”. *Reliability Engineering and System Safety* 93, 1584–1593. old. DOI: doi : 10 . 1016 / j . res . 2008 . 02 . 011.
- Kelley, J. és Walker, M. (1957). „The Origins of CPM: A Personal History”. *PMNETwork* 3.2, 7–22. old.
- Kelley, J. és Walker, M. (1959). „Critical-Path Planning and Scheduling”. *Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference*.
- Kelley, J.E. (1961). „Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis”. *Operations Research* 9.3, 296–320. old. DOI: 10 . 1287 / opre . 9 . 3 . 296. eprint: [http :](http://)

//dx.doi.org/10.1287/opre.9.3.296. URL: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.9.3.296>.

- Kelly, A. (1997). *Maintenance Strategy*. ISBN-13: 978-0750624176 ISBN-10: 0750624175. Butterworth - Hienemann, London.
- Kelly, A. (2006). *Strategic maintenance planning*. ISBN-13: 978-0750669924 ISBN-10: 0750669926. Oxford: Elsevier.
- Kelly, A. és Harris, M. (1978). *Management of Industrial Maintenance*. ISBN 10: 0408002972 ISBN 13: 9780408002974. Newnwa Butterworth, London.
- Kerzner, H. (2013). *Project Management - A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling*. Eleventh edition. ISBN:978-1-118-02227-6. honoken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Khisamova, E.D., Kodolova, I.A. és Airatovna, K.A. (2019). „The overall equipment effectiveness in the organization of a lean manufacturing flow”. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems* 11.8 Special Issue. cited By 0, 1737–1742. old. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85073444677&partnerID=40&md5=80826ed3f3ea6a514873824d01d21aba>.
- Khoo, L. P., Chen, C.-H. és Jiao, L. (2003). „A Dynamic Fuzzy Decision Support Scheme for Concurrent Design Planning”. *Concurrent Engineering* 11.4. West Midlands, 836–847. old. DOI: [doi:10.1177/1063293X03039897](https://doi.org/10.1177/1063293X03039897).
- Kiss, J. (2013). „Mátrix-alapú logikai projekttervezési keretrendszer”. Dissz. Gazdálkodás-és Szervezéstudományok Doktori Iskola, Veszprém.
- Kiss, J. és Kosztyán, Zs. T. (2009a). „Handling the Specialties of Agile IT Projects with a New Planning Method”. *CONFENIS (The Enterprise Information Systems International Conference on Research and Practical Issues of EIS)*. Győr, Hungary.
- Kiss, J. és Kosztyán, Zs. T. (2009b). „The importance of logic planning in case of IT and innovation projects”. *AVA (International Congress on the Aspects and Vision of Applied Economics and Informatics)*. Debrecen, Hungary.
- Kiss, J., Kosztyán, Zs. T., Németh, A. és Bognár, F. (2011). „Matrix-based methods for planning and scheduling maintenance projects”. *Proceedings of the 13th International DSM Conference*. Szerk. S. D. Eppinger, Maurer. M, K. Eben és U. Lind-

- emann. ISBN:978-3-446-43037-2. DSM. Cambridge, Amerikai Egyesült Államok: Carl Hanser Verlag, München, 421–434 pp. URL: [https://www.designsociety.org/publication/30850/matrix-based\\_methods\\_for\\_planning\\_and\\_scheduling\\_maintenance\\_projects](https://www.designsociety.org/publication/30850/matrix-based_methods_for_planning_and_scheduling_maintenance_projects).
- Koszttyán, Zs. T. (2015a). „Exact Algorithm for Matrix-Based Multilevel Project Planning Problems”. *Lecture Notes in Electrical Engineering* 313, 487–492 pp. DOI: 10.1007/978-3-319-06773-5\_65.
- Koszttyán, Zs. T. (2015b). „Exact algorithm for matrix-based project planning problems”. *Expert Systems with Applications* 42.9, 4460–4473. old. ISSN: 0957-4174. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.066>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417415000895>.
- Koszttyán, Zs. T. (2015c). „Költség- és időcsökkentési eljárások alkalmazása a projekttervezésben és a nyomon követésben”. *Vezetéstudomány* 46.6. ISSN 0133-0179, 45–57. old.
- Koszttyán, Zs. T. (2016a). *Projektek és üzleti folyamatok tervezése, nyomonkövetése*. ISBN:978-1784491093. Pearson Education Ltd.
- Koszttyán, Zs. T., Hegedûs, Cs., Kiss, J., Németh, A., Borbás, I. és Cserti, P. (2010). „Projekt szakértői rendszer karbantartási projektek menedzselésére”. *A karbantartás kihívása- a tudás tőke -felértékelődése*. ISBN:978-963-9696-95-2. Pannon Egyetem. Pannon Egyetem Kiadó, Veszprém, 178–193. old.
- Koszttyán, Zs. T. és Kiss, J. (2011a). „Matrix-based project planning methods”. *Problems of Management in the 21st Century* 1.1, 67–85 pp.
- Koszttyán, Zs. T. és Kiss, J. (2011b). „Mátrixalapú projekttervezési módszer”. *Vezetéstudomány* 10, 28–43 pp.
- Koszttyán, Zs. T. és Németh, A. (2013). „Reliability-Risk Project Expert Matrix for Handling Maintenance Projects”. *Awerprocedia Information Technology and Computer Science* 3, 1577–1583. old.
- Koszttyán, Zs. T., Németh, A. és Kovács, Z. (2015). „Karbantartási projektek mátrixalapú tervezése”. *XXXI. Magyar Operációkutatási Konferencia*. Konferencia helye, ideje: Cegléd, Magyarország, 2015.06.10-2015.06.12.

- Koszttyán, Zs. T. és Pribojszki-Németh, A. (2016). „Matrix-based Maintenance Management”. submitted paper.
- Koszttyán, Zs.T. (2013). „Mátrix alapú stratégiai projekttervezési eljárások”. *Sigma* 44.1-2, 65–94 pp. ISSN: 0039-8128.
- Koszttyán, Zs.T (2016b). „Bekössük? Ne kössük? - avagy a hálózatelmélet alkalmazása a karbantartás-menedzsmentben”. *Vezetéstudomány* XLVII.9. ISSN 0133-0179, 26–40. old.
- Koszttyán, Zs.T., Fejes, J. és Kiss, J. (2008). „Sztochasztikus hálóstruktúrák kezelése projektutemezési feladatokban”. *Sigma* 39.1-2, 85–103. old. ISSN: 0039-8128.
- Koszttyán, Zs.T., Hegedûs, Cs., Kiss, J. és Németh, A. (2013). „Handling Maintenance Projects with Matrix-Based Methods”. *Lecture Notes in Electrical Engineering* 151, 357–366 pp. DOI: 10.1007/978-1-4614-3558-7\_29.
- Koszttyán, Zs.T. és Kiss, J. (2010a). „PEM-a New Matrix Method for Supporting the Logic Planning of Software Development Projects”. *DSM 2010: Proceedings of the 12th International DSM Conference, Cambridge, UK, 22.-23.07. 2010*.
- Koszttyán, Zs.T. és Kiss, J. (2010b). „Stochastic Network Planning Method”. English. *Advanced Techniques in Computing Sciences and Software Engineering*. Szerk. Khaled Elleithy. Springer Netherlands, 263–268. old. ISBN: 978-90-481-3659-9. DOI: 10.1007/978-90-481-3660-5\_44.
- Kovács, Z. (1991). „A megbízhatóság és karbantartás kapcsolata technológiai rendszerekben”. Kandidátusi értekezés. Budapest: Veszprémi Egyetem.
- Kovács, Z. (2004). „A korszerű termelési rendszerek sajátosságai”. *Harvard Business Manager* 6.4. ISBN 963 206 139 X, 62–69 pp.
- Kovács, Z. (2008a). „Karbantartási stratégiák Monte Carlo optimalizálása”. *Sigma* XX-XIX. 185–198. old.
- Kovács, Z. (2008b). *Termelés-menedzsment, Interaktív bevezetés a termelőrendszerek tervezésébe, szervezésébe, irányításába*. Pannon Egyetem Kiadó, Veszprém.
- Kovács, Z. és Viték, M. (1991). „Rendszer-megbízhatóság számítása igazságtáblázat alkalmazásával”. *Minőség és Megbízhatóság* 4, 43–44. old.

- Kristjanpoller, F., Michell, K., Kristjanpoller, W. és Crespo, A. (2020). „Fleet optimization considering overcapacity and load sharing restrictions using genetic algorithms and ant colony optimization”. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM* 34.1. cited By 0, 104–113. old. DOI: 10.1017/S0890060419000428. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85077861575&doi=10.1017%2fS0890060419000428&partnerID=40&md5=f31109d2fef9adcec1888011337a34c>.
- Lamberson, L. R. és Hocking, R. R. (1970). „Optimum Time Compression in Project Scheduling”. *Management Science* 16.10, B-597–B-606. DOI: 10.1287/mnsc.16.10.B597. eprint: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.16.10.B597>. URL: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.16.10.B597>.
- Lefánti, R. (2011). „Kisrepülőgépek karbantartási rendszerének fejlesztése: gyengepont rekonstrukció”. Dissz. Szent István Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola.
- Lenkeyné, B.Gy., Tóth, L., BAY-LOGI, Hortobágyi, T., Iliny, J. és Rt., Mol (2004). „A kockázatalapú felülvizsgálatikarbantartási stratégia alkalmazása statikus készülékek állapotfelügyeleti rendszerénél”. *Üzemfenntartási Tevékenységek* 1.03.3.08, 12–25. old. URL: [http://www.omikk.bme.hu/collections/mgi\\_fulltext/Uzem/2004/09/0906.pdf](http://www.omikk.bme.hu/collections/mgi_fulltext/Uzem/2004/09/0906.pdf).
- Leverly, M. (1998). „Maintenance strategies”. *Manufacturing Engineer* 77.1. cited By 1, 29–33. old. DOI: 10.1049/me:19980108. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0032000191&doi=10.1049%2fme%3a19980108&partnerID=40&md5=830d544bbad078f1eab32c5196b6757>.
- Levitt, J. (2003). *Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance*. ISBN-13: 978-0831134419 ISBN-10: 0831134410. Industrial Press Inc. New York.
- Lockyer, K. és Gordon, J. (1996). *Project Management and Project Network Techniques*. Sixth edition. ISBN-13: 978-0273614548 ISBN-10: 0273614541. Pitman Publishing.
- Lockyer, K. és Gordon, J. (2000a). *Projektmenedzsment és hálós tervezési technikák*. Szerk. British Books of Managers. EAN : 9789630941242 ISBN : 9630941244. Kossuth Kiadó, Budapest.

- Lockyer, K. és Gordon, J. (2000b). *Projektmenedzsment és hálós tervezési technikák*. ISBN 963 09 4124 4. Budapest: Kossuth Kiadó.
- Madauss, B.J. (2000). *Handbuch projektmanagement*. ISBN 3-7910-1518-4. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart.
- Maheswari, J.U. és Varghese, K. (2005). „Project Scheduling using Dependency Structure Matrix”. *International Journal of Project Management* 23. ISSN 0263-7863, 223–230 pp.
- Mann, L. (1976). *Maintenance Management*. ISBN-13: 978-0669047158 ISBN-10: 0669047155. Lexington Books, Lanham, MD.
- Marsh, E. R. (1975). „The Harmonogram of Karol Adamiecki”. *The Academy of Management Journal* 12.2, 358–364. old. DOI: doi:10.2307/255537..
- Maurer, M. és Braun, T. (2008). „The WHY-matrix”. *10th International Design Structure Matrix Conference, DSM'08*. DSM. Stockholm, Sweden, 35–44. old.
- Mayeda, W. (1976). *Alkalmazott gráfelmélet*. Szerk. Gy. Oláh. ISBN 963 10 1205 0. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Maylor, H. (2001). „Beyond the Gantt chart: Project management moving on”. *Project management moving on, European Management Journal* 19.1. ISSN 0263-2373, 92–100 pp.
- Mayo, E. (1933). „The human problems of an industrial civilization”. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science* 172.171.
- Minogue, P. (2011). „Gantt-Like" DSMs”. *DSM 2011: Proceedings of the 13th International DSM Conference*. Szerk. Maurer M. Eben K. Lindemann U. Eppinger S. D., 259–271. old.
- Moder, J. J., Phillips, C. R. és Davis, E. W. (1983). *Project management with CPM, PERT and precedence diagramming*. ISBN-13: 978-0442254155 ISBN-10: 0442254156. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered Maintenance*. Szerk. Butterworth Heinemann. second edition. ISBN-13: 978-0831131463 ISBN-10: 0831131462. Industrial Press, Inc.; 2 Revised edition.

- Moubray, J. (2001). *Reliability-Centered Maintenance*. 2nd Edition. ISBN 0-831131-46-2. Transatlantic Publishers, London.
- Mummolo, G. (1997). „Measuring uncertainty and criticality in network planning by PERT-path technique”. *International Journal of Project Management* 15. ISSN 0263-7863, 377–387 pp.
- Nakajima, S. (1989). *TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance (Preventative Maintenance Series)*. ISBN-13: 978-0915299379 ISBN-10: 0915299372. Productivity Press, Cambridge, Massachusetts.
- Narayan, V. (2004). *Effective Maintenance Management, Risk and Reliability Strategies for Optimizing Performance*. ISBN-13: 978-0831132491 ISBN-10: 0831132493. Industrial Press Inc, New York.
- Newborough, E. (1967). *Effect Maintenance Management*. McGraw Hill, New York.
- Nyman, D. és Levitt, J. (2001). *Maintenance planning, scheduling, and coordination*. ISBN-13: 978-0831134181 ISBN-10: 0831134186. Industrial Press.
- Németh, A (2010). „Egy új módszer az informatikai projektek optimalizálására”. *VII. Jedlik Ányos Szakmai Napok*. Veszprém, Hungary, 73–134. old.
- Németh, A (2011). „Karbantartási tevékenységek megbízhatóság alapú mátrixos projekttervezése”. Magyar. *XXX. OTDK Közgazdaságtudományi Szekció*. Országos Tudományos Diákköri Tanács. Gödöllő.
- Németh, A. (2013). „Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése”. *E-CONOM* 2. Magyarország: (Nyugat-Magyarországi Egyetem), 79–98 pp.
- Németh, A. (2015a). „Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése”. *Taylor: Gazdálkodás- és Szervezéstudományi Folyóirat: A Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei* 18-19.1-2. ISBN 2064-4361, 152–162 pp.
- Németh, A (2015b). „Karbantartástervezés új köntösben”. *PSAK XII. Pro Scientia Aranyérmesek XII. Konferenciája*. Szerk. Sz. G. Harsányi és B. Szabó. XII. köt. ISBN:978-615-5509-42-1. PSAT. Eger: EKF Líceum Kiadó, 263 pp. and 13 pp.
- Németh, A. és Kosztyán, Zs. T. (2012). „Berendezések karbantartásának megbízhatóság központú mátrixos projekttervezése”. *A Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei* 4.4, 235–248 pp.



- Németh, A. és Kosztyán, Zs. T. (2014a). „Matrix Planning Method for Handling Maintenance Projects”. *Global Journal on Technology* 5. 4th World Conference on Information Technology (WCIT-2013), Brussels, Belgium, 85–91 pp.
- Németh, A. és Kosztyán, Zs.T. (2014b). „Teljes körű hatékony karbantartás a Lean szíve lelke ?”: *Taylor: Gazdálkodás- és Szervezéstudományi Folyóirat: A Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei* 6.3-4, 196–206 pp.
- Németh, A., Péczely, Gy. és Kosztyán, Zs. T. (2011). „Karbantartási tevékenységek mátrixos projekttervezése”. *XXIII. Nemzetközi Karbantartási Konferencia*. Szerk. Anon. ISBN:978-615-5044-16-8. Veszprém, Magyarország, 173–183 pp.
- Orlin, J. B. (1993). „A Faster Strongly Polynomial Minimum Cost Flow Algorithm”. *Operations Research* 41.2, 338–350. old. DOI: 10.1287/opre.41.2.338. eprint: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.41.2.338>. URL: <http://dx.doi.org/10.1287/opre.41.2.338>.
- Palmer, D.R. (2013). *Maintenance planning and scheduling handbook*. Szerk. J. Bass és J. Madru. Third Edition. ISBN 978-0-07-178411-5 MHID 0-07-178411-X. McGraw-Hill Companies.
- Papp, O. (1967). *Hálótervezési módszere alkalmazása műszaki fejlesztésben*. Szerk. Felsőoktatási jegyzetellátó Vállalat. 66-2892. Budapest: Felsőoktatási jegyzetellátó Vállalat.
- Papp, O. (1969). *A hálós programozási módszerek gyakorlati alkalmazása*. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.
- Pektas, S.T. és Pultar, M. (2006). „Modeling detailed information flows in building design with the parameter-based design structure matrix”. *Design Studies* 27.1, 99–112. old. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2005.07.004>.
- Peters, R.W. (2015). *Reliable Maintenance Planning, Estimating and Scheduling*. ISBN 978-0-12-397042-8. Elsevier.
- PMI (2006). *Projektmenedzsment útmutató, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. Szerk. Budapest Akadémiai kiadó Zrt. Third Edition magyar fordítása. ISBN: 193069945X. Project Management Institute.

- PMI (2013). *Projektmenedzsment útmutató, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. Szerk. Budapest Akadémiai Kiadó. Fifth Edition magyar fordítása. ISBN: 978 963 05 9426 4. Project Management Institute.
- Pontrandolfo, P. (2000). „Project duration in stochastic networks by the PERT-path technique”. *International Journal of Project Management* 18. ISSN 0263-7863, 215–222 pp.
- Pritsker, A. B. (1966). *GERT: Graphical Evaluation and Review Technique*. Memorandum, RM-4973-NASA.
- Péczy, Cs. (2009). „A karbantartás-menedzsment korszerű irányzatai és módszerei”. *Magyar Grafika* 5, 12–16 pp.
- Péczy, Gy. (2003). „RCM - Reliability Centered Maintenance - Megbízhatóság központú karbantartás”. *XV. Nemzetközi Érdekltségű Karbantartási Konferencia*. Szerk. Z. Gaál. ISBN 963-949-5190. Veszprémi Egyetemi Kiadó. IV. fejj., 63–97. old.
- Péczy, Gy. (2004). „A karbantartás korszerű irányzatai”. *A karbantartás korszerű irányzatai*. 9. köt. 11.
- Péczy, Gy., Péczy, Cs. és Péczy, Gy. (2012). *Lean3 - Termelékenységfejlesztés egyéges rendszerben*. Szerk. A. Németh. ISBN 978-963-083-1635. A.A. Stádium Kft.
- Raffai, M. (2003). *RTEBP-újjászervezési módszertan*. ISBN 963 9056 24 3. Novadat Kiadó, Győr.
- Rahimi, M. és Iranmanesh, H. (2008). „Multi objective particle swarm optimization for a discrete time, cost and quality trade-off problem”. *World Applied Sciences Journal* 4.2, 270–276. old.
- Ramu, P., Kumar, G.S., Neelakantan, P. és Bathula, K.K. (2017). „Cost-reliability trade-off of path generating linkages using multi-objective genetic algorithm”. *International Journal of Reliability and Safety* 11.3-4. cited By 0, 200–219. old. DOI: 10.1504/IJRS.2017.089706. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85041724334&doi=10.1504%2fIJRS.2017.089706&partnerID=40&md5=e8e5bb548f3d7fbc6caa62bb96f452c8>.
- Rausand, M. (1998). „Reliability centered maintenance”. *Reliability Engineering System Safety* 60.2, 121–132 pp.

- Rausand, M. és Hoyland, A. (2004). *System Reliability Theory, Models, Statistical Methods and Applications*. second. ISBN-13: 978-0471471332 ISBN-10: 047147133X. Wiley New York.
- Rick, T., Horváth, M. és Bercsey, T. (2006). „Design tasks scheduling using genetic algorithms”. *Periodica Politechnica Ser. Mech. Eng.* 20.1, 41–55. old.
- Rogers, J.L. (1999). „Tools and Techniques for Decomposing and Managing Complex Design Projects”. *Journal of Aircraft* 36.1, 266–274. old.
- Roy, B. (1962). „Graphes et ordonnancements”. *Revue Française de recherche opérationnelle* 25.6, 323. old.
- Sack, T. (1963). *A Complete Guide to Building and Plant Maintenance*. ISBN-13: 978-0131601017 ISBN-10: 0131601016. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Schwalbe, K. (2010). *Information Technology, Project Management*. ISBN 978-0-324-78692-7. Course Technology, Boston.
- Schwarze, J. (1970). *Projektmanagement mit Netzplantechnik*. 9. überarbeitete Auflage. Verlag Neue Wirtschaft-Briefe GmbH & Co. KG, Herne/Berlin.
- Selvik, J.T. és Aven, T. (2010). „A framework for reliability and risk centered maintenance”. *Reliability Engineering and System Safety* 96.2. ISSN: 0951-8320, 324–331 pp.
- Shiker, M.A.K (2013). „Some Methods of Calculating the Reliability of Mixed Models”. *Journal of Babylon University* 21.3, 770–774. old.
- Sims, S.L. (1998). „An Analysis of the use of Linear Scheduling Techniques in the Construction Industry”. Dipl. University of Florida.
- Singh, S., Khamba, J.S. és Singh, D. (2020). „Analysis and directions of OEE and its integration with different strategic tools”. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*. cited By 0. DOI: 10.1177/0954408920952624. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85090446356&doi=10.1177%2f0954408920952624&partnerID=40&md5=7e1d8ed1b6a02aa57b03002480eed945>.
- Smith, A.M. (1993). *Reliability Centered Maintenance: Gateway to World Class Maintenance*. ISBN 978-075-067-461-4. Butterworth Heinemann.

- Steward, D.V. (1981a). *Systems analysis and management: Structure, strategy, and design*. Petrocelli Books, NJ.
- Steward, D.V. (1981b). „The design structure system- A method for managing the design of complex systems”. *IEEE Transactions on Engineering Management* 28.3, 71–74. old.
- Steward, D.V. (1987). *Software engineering with systems analysis and design*. Brooks/Cole Publishing Company, Monterey, California.
- Suzuki, T. (1992). *New directions for TPM*. ISBN-10: 1563270110 ISBN-13: 978-1563270116. Productivity Press, Cambridge, Massachusetts.
- Suzuki, T. (1994). *TPM in Process Industries (Step-By-Step Approach to TPM Implementation)*. ISBN-13: 978-1563270369 ISBN-10: 1563270366. Productivity Press, Portland, Oregon, Massachusetts.
- Szabó, B. (1976). *Karbantartási Kézikönyv*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Tang, Dunbing, Zhu, Renmiao, Tang, Jicheng, Xu, Ronghua és He, Rui (2010). „Product design knowledge management based on design structure matrix”. *Advanced Engineering Informatics* 24.2. Enabling Technologies for Collaborative Design, 159–166. old. ISSN: 1474-0346. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2009.08.005>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034609000500>.
- Tanács, Z. és Kupás, T. (2004). „A projektmenedzsment módszertani támogatása”. *IME* 3.6.
- Tareghian, H. R. és Taheri, S. H. (2006). „On the discrete time, cost and quality trade-off problem”. *Applied Mathematics and Computation* 181.2, 1305–1312. old. ISSN: 0096-3003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.amc.2006.02.029>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300306002499>.
- Trofin, I. (2004). „Impact of uncertainty on construction project performance using linear scheduling”. Dipl. University of Florida.
- Turcsányi, K. (1999). „A szükség szerinti üzemfenntartás terjedésének kiváltói és vizsgálatának lehetőségei”. *Katonai Logisztika* VII.4. HM Fejlesztési és Logisztikai Ügynökség; ISSN 1599-4228, 102–110 pp.

- Turner, R.J. (2009). *The Handbook of Project-Based Management*. London: McGraw Hill Book Company, London.
- Vermes, P. (1995). „Tendenciák a nemzetközi karbantartási szakcikkekben”. *Gépgyártástechnológia* 35.5-6, 184–190 pp.
- Waeyenbergh, G. és Pintelon, L. (2002). „A framework for maintenance concept development”. *International Journal of Production Economics* 77.3. cited By 280, 299–313. old. DOI: 10.1016/S0925-5273(01)00156-6. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0037062528&doi=10.1016%2fS0925-5273%2801%2900156-6&partnerID=40&md5=5ba59d35d3781f793349e48afefdbb77>.
- Wang, H. (2002). „A survey of maintenance policies of deteriorating systems”. *European Journal of Operational Research* 139.3. cited By 1207, 469–489. old. DOI: 10.1016/S0377-2217(01)00197-7. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0037118559&doi=10.1016%2fS0377-2217%2801%2900197-7&partnerID=40&md5=2d88c72b16a6aaaa0d24b64b0f4df337>.
- Wang, X., Zhao, X., Wu, C. és Lin, C. (2020). „Reliability assessment for balanced systems with restricted rebalanced mechanisms”. *Computers and Industrial Engineering* 149. cited By 0. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106801. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85091906123&doi=10.1016%2fj.cie.2020.106801&partnerID=40&md5=d3a277a1a28d441d0e2a4c9b9dbf2f9c>.
- Wang, Y.-M. és Elhag, T.M.S (2008). „Evidential reasoning approach for bridge condition assessment”. *Expert Systems with Applications* 34.1, 689–699. old. ISSN: 0957-4174. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2006.10.006>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417406003204>.
- Wysocki, R.K. (2009). *Effective Project Management, Traditional, Agile, Extreme*. ISBN 978-0-470-42367-7. Wiley Publishing Inc, Indianapolis.
- Xiao, Renbin, Chen, Tingui és Tao, Zhenwu (2007). „Information modeling and reengineering for product development process”. *International Journal of Management Science and Engineering Management* 2.1, 64–74. old. DOI: 10.1080/17509653.2007.10671010. eprint: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/>

17509653.2007.10671010. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17509653.2007.10671010>.

Xiaofei, H., Daganzo, C. és Samer, M. (2015). „A reliability-based optimization scheme for maintenance management in large-scale bridge networks”. *Transportation Research Part C* 55, 166–178. old. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2015.01.008>.

Yan, Hong-Sen, Wang, Zheng és Jiang, Min (2002). „A quantitative approach to the process modeling and planning in concurrent engineering”. *Concurrent Engineering* 10.2, 97–111. old.

Yassine, A., Falkenburg, D. és Chelst, K. (1999). „Engineering design management: An information structure approach”. *International Journal of Production Research* 37.13, 2957–2975. old. DOI: 10.1080/002075499190374. eprint: <http://dx.doi.org/10.1080/002075499190374>. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/002075499190374>.

Yassine, A., Whitney, D., Daleiden, S. és Lavine, J. (2003). „Connectivity maps: modeling and analysing rrelationship in product development processes”. *Journal of Engineering Design* 14.3, 377–394. old.

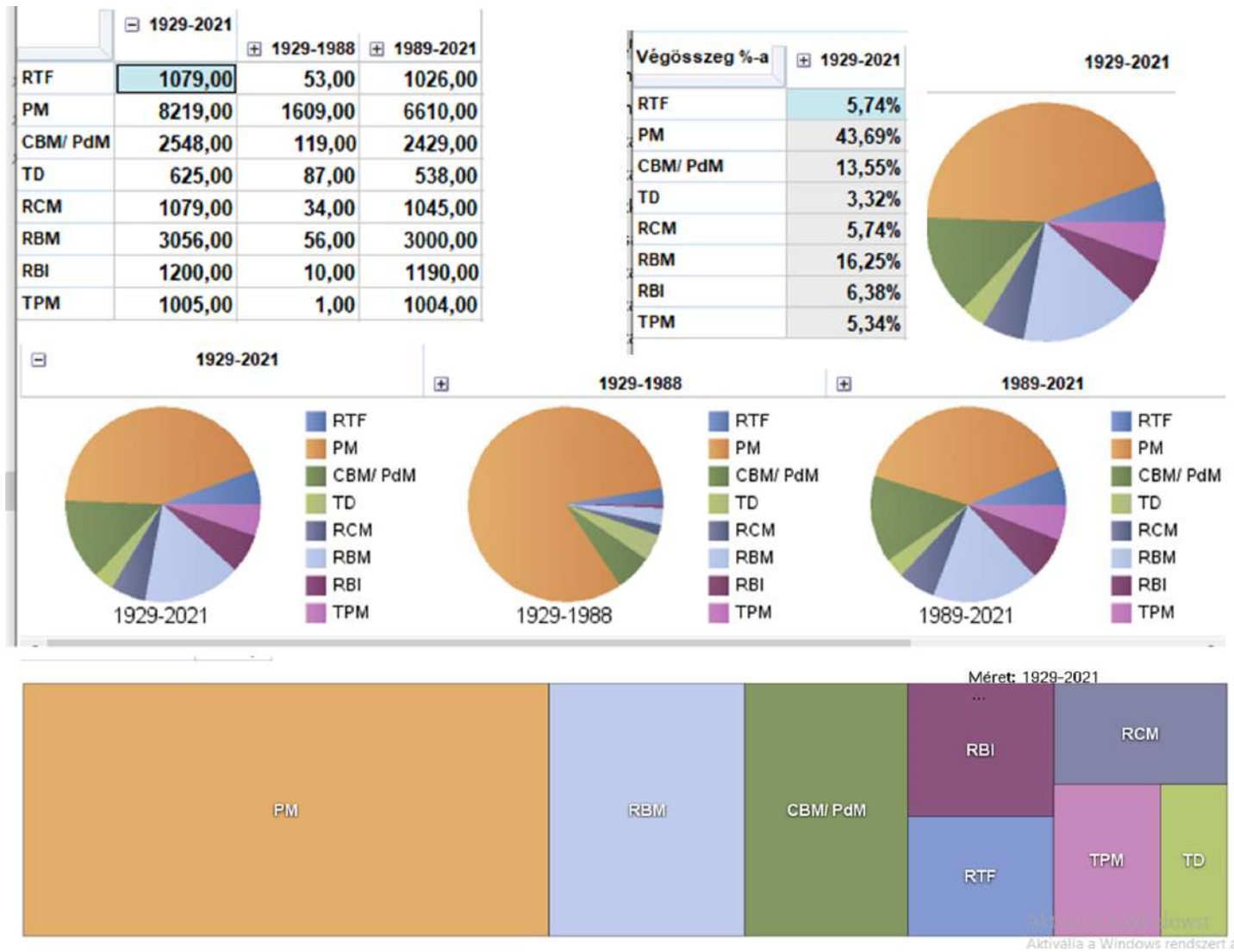
Yassine, A.A. (2004). „An Introduction to Modeling and Analyzing Complex Product Development Process Using the Design Structure Matrix (DSM) Method”. *Urbana* 51.9, 1–17. old.

m4

## 6. fejezet

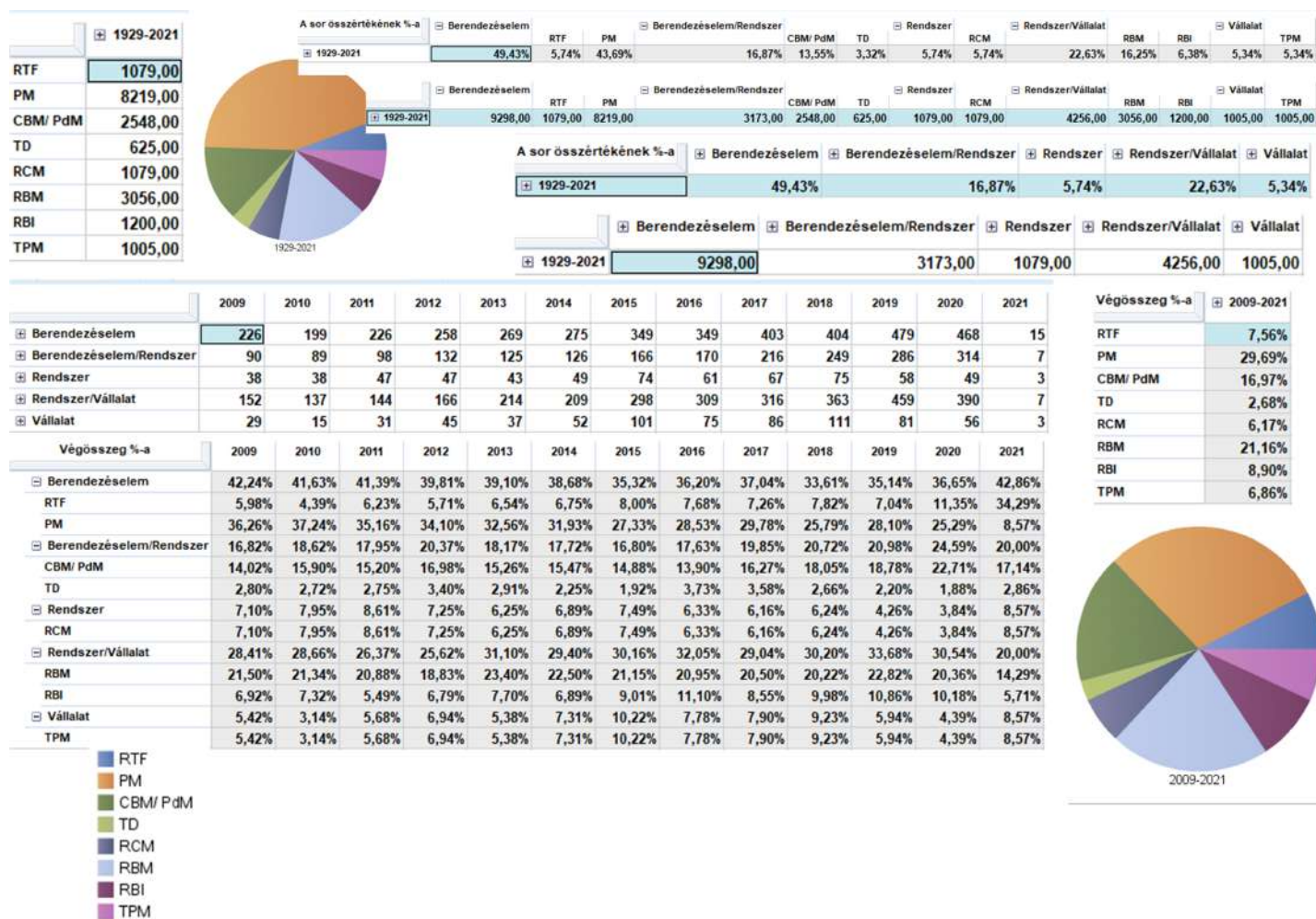
### Mellékletek

#### 6.1. Kiegészítő ábrák

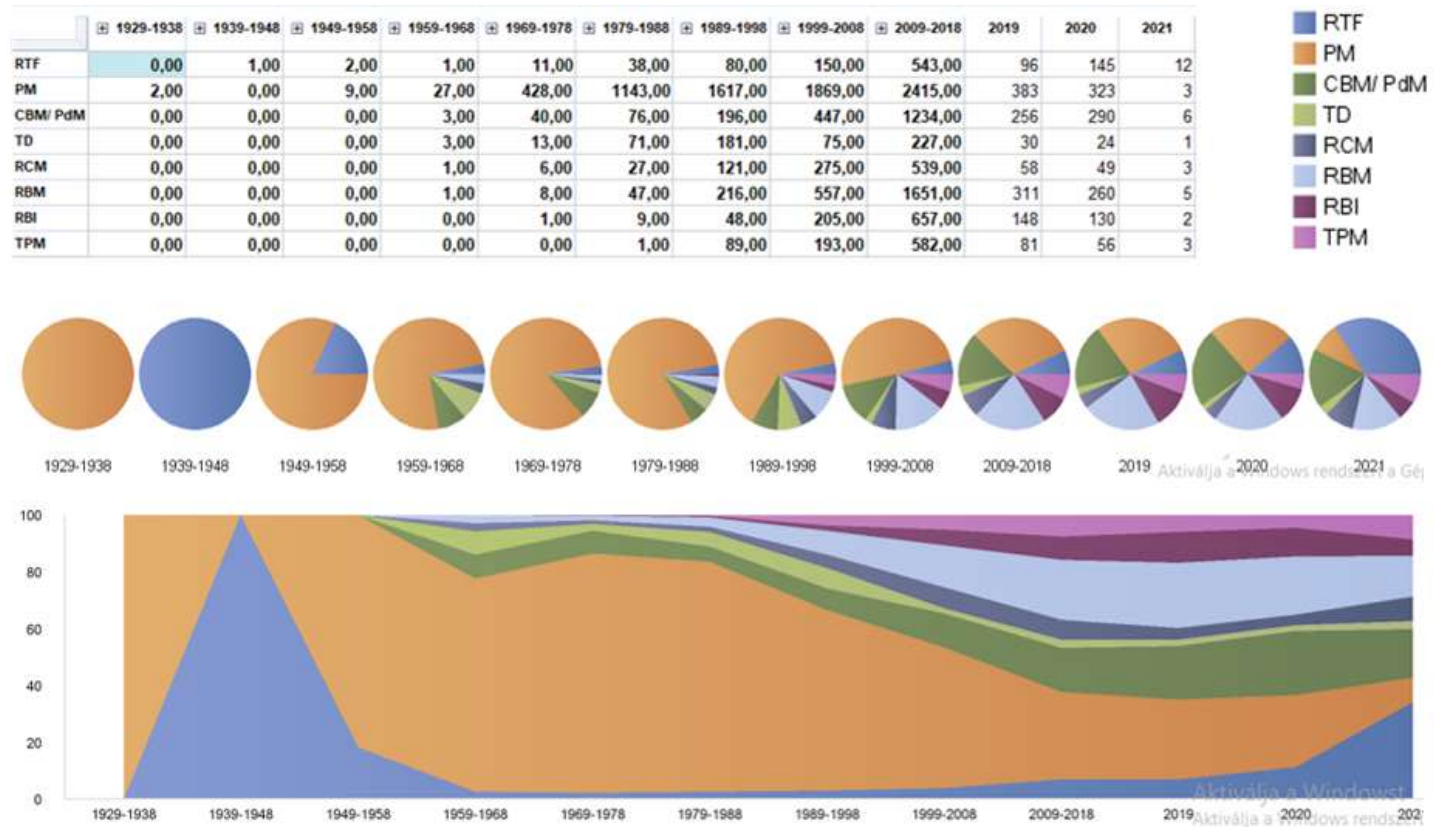


6-1. ábra. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve



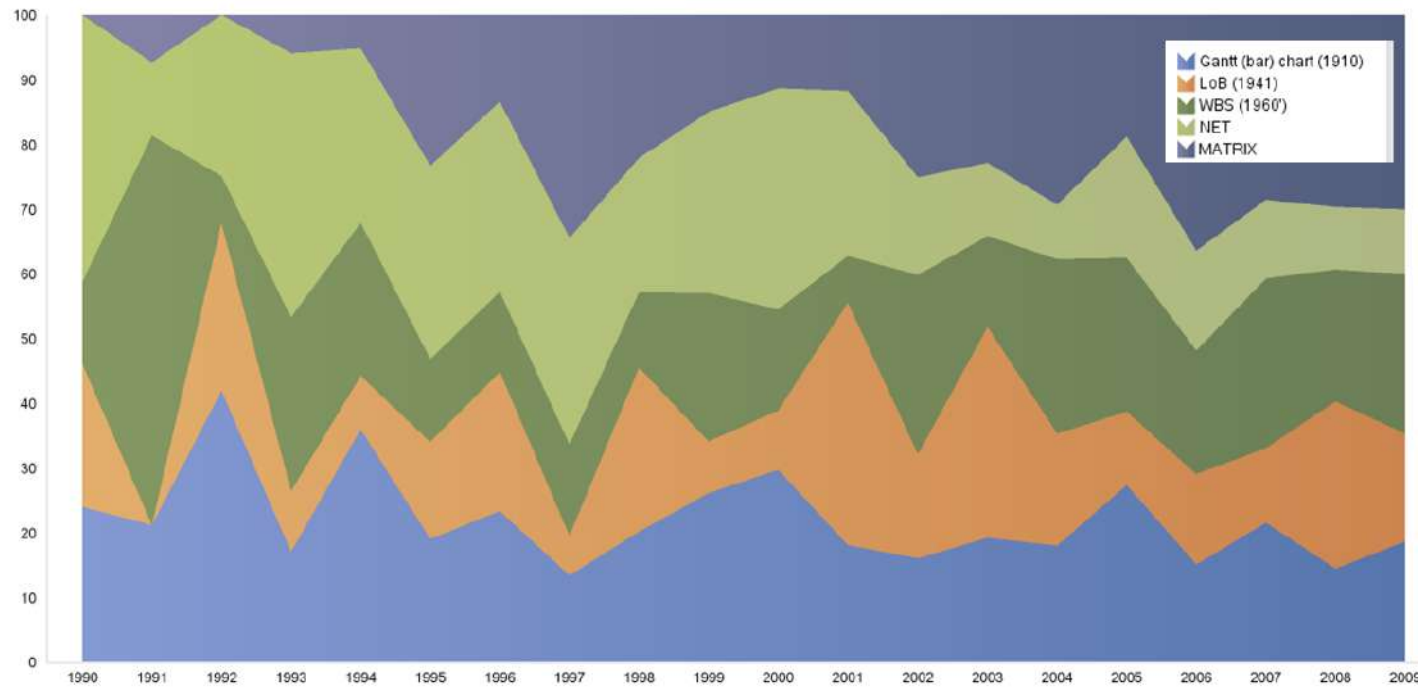


6-2. ábra. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (2009-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve



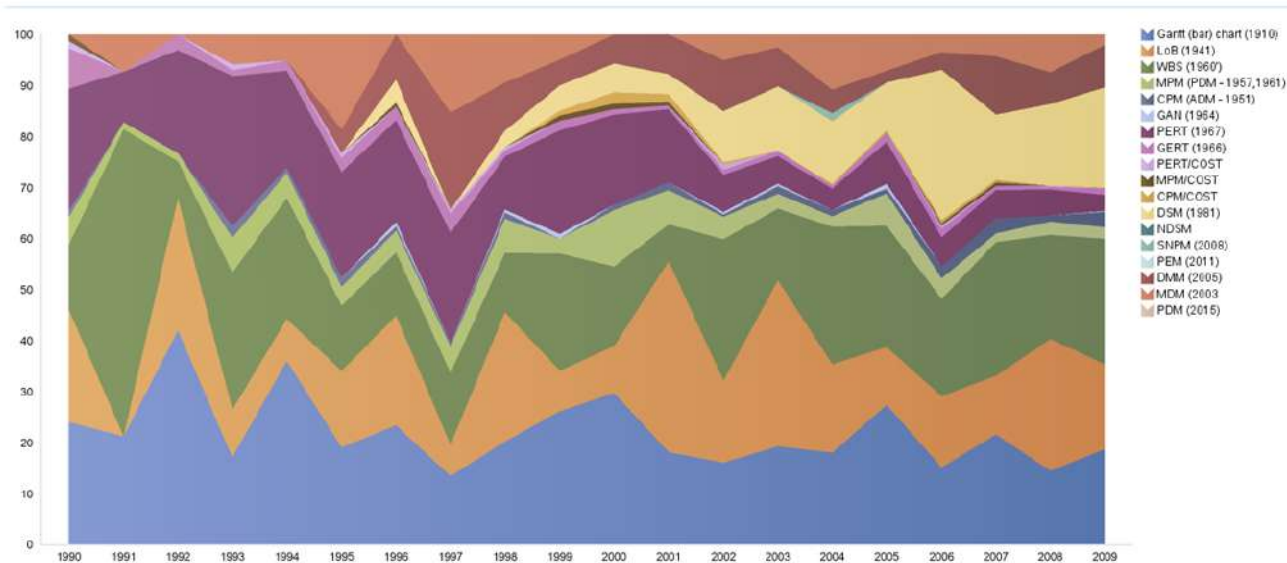
6-3. ábra. Karbantartási stratégiák fejlődése a nemzetközi szakirodalom alapján (1929-2021); saját kutatómunka alapján szerkesztve

Végösszeg %-a	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Gantt (bar) chart (1910)	1,94%	1,62%	2,91%	1,52%	3,88%	2,27%	2,91%	1,94%	3,56%	2,91%	2,91%	2,59%	3,56%	4,21%	6,47%	6,47%	4,85%	8,41%	6,47%	10,03%
LoB (1941)	1,79%	,00%	1,79%	,89%	,89%	1,79%	2,58%	,89%	4,46%	,89%	,89%	5,36%	3,57%	7,14%	6,25%	2,68%	4,46%	4,46%	11,61%	8,93%
WBS (1960')	1,02%	4,59%	,51%	2,55%	2,55%	1,53%	1,53%	2,04%	2,04%	2,55%	1,53%	1,02%	6,12%	3,06%	9,69%	5,61%	6,12%	10,20%	9,18%	13,27%
NET	3,34%	,86%	1,72%	3,88%	2,91%	3,56%	3,66%	4,63%	3,66%	3,13%	3,34%	3,66%	3,34%	2,48%	3,02%	4,42%	4,96%	4,74%	4,31%	5,39%
MATRIX	,00%	,56%	,00%	,56%	,56%	2,78%	1,67%	5,00%	3,89%	1,67%	1,11%	1,67%	5,56%	5,00%	10,56%	4,44%	11,67%	11,11%	13,33%	16,11%



6-4. ábra. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1990-2009); saját kutatómunka alapján szerkesztve

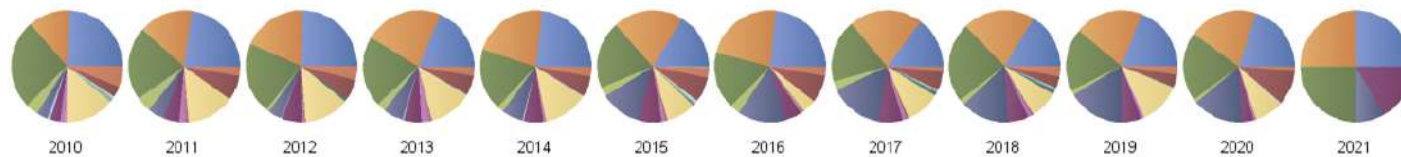
Végösszeg %-a	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Gantt (bar chart (1910))	1,94%	1,62%	2,91%	1,62%	3,88%	2,27%	2,91%	1,94%	3,56%	2,91%	2,91%	2,59%	3,56%	4,21%	5,47%	6,47%	4,85%	8,41%	6,47%	10,03%
LoB (1941)	1,79%	,00%	1,79%	,89%	,89%	1,79%	2,68%	,89%	4,46%	,89%	,89%	5,36%	3,57%	7,14%	6,25%	2,68%	4,46%	4,46%	11,51%	8,93%
WBS (1960')	1,02%	4,59%	,51%	2,55%	2,55%	1,53%	1,53%	2,04%	2,04%	2,55%	1,53%	1,02%	6,12%	3,06%	9,69%	5,61%	6,12%	10,20%	9,18%	13,27%
NET	3,34%	,86%	1,72%	3,88%	2,91%	3,56%	3,66%	4,63%	3,66%	3,13%	3,34%	3,65%	3,34%	2,48%	3,02%	4,42%	4,96%	4,74%	4,31%	5,39%
MPM (PDM - 1957,1961)	,43%	,11%	,11%	,65%	,54%	,43%	,54%	,75%	1,19%	,32%	1,08%	,97%	,97%	,65%	,75%	1,51%	1,29%	,65%	1,19%	1,19%
CPM (ADM - 1951)	,11%	,00%	,00%	,22%	,11%	,22%	,11%	,11%	,22%	,00%	,11%	,22%	,11%	,32%	,43%	,22%	,75%	1,19%	,54%	1,62%
GAN (1964)	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,11%	,11%	,00%	,11%	,11%	,00%	,11%	,22%	,00%	,00%	,00%	,11%
PERT (1967)	1,54%	,75%	1,40%	2,80%	2,05%	2,48%	2,48%	3,13%	1,83%	2,26%	1,72%	2,05%	1,62%	1,19%	1,51%	1,94%	1,83%	2,16%	2,26%	1,72%
GERT (1966)	,65%	,00%	,22%	,11%	,22%	,32%	,32%	,54%	,22%	,22%	,11%	,11%	,22%	,22%	,22%	43%	,54%	,32%	,22%	,65%
PERT/COST	,11%	,00%	,00%	,11%	,00%	,11%	,00%	,11%	,11%	,00%	,00%	,00%	,22%	,00%	,00%	,00%	,22%	,00%	,11%	,00%
MPM/COST	,11%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,11%	,00%	,00%	,11%	,11%	,11%	,00%	,00%	,00%	,00%	,11%	,22%	,00%	,00%
CPM/COST	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,11%	,22%	,22%	,11%	,00%	,11%	,11%	,22%	,22%	,00%	,11%
MATRIX	,00%	,56%	,00%	,56%	,56%	2,78%	1,67%	5,00%	3,89%	1,67%	1,11%	1,67%	5,56%	5,00%	10,56%	4,44%	11,67%	11,11%	13,33%	16,11%
DSM (1981)	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,56%	,00%	,56%	,56%	,56%	,56%	2,22%	2,78%	4,44%	2,22%	9,44%	5,00%	7,22%	10,56%
NDSM	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%
SNPM (2008)	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,56%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%
PEM (2011)	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%
DMM (2005)	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,56%	1,11%	2,78%	1,67%	,56%	,56%	1,11%	2,22%	1,67%	1,67%	,56%	1,11%	4,44%	2,78%	4,44%
MDM (2003)	,00%	,56%	,00%	,56%	,56%	2,22%	,00%	2,22%	1,67%	,56%	,00%	,00%	1,11%	,56%	3,89%	1,67%	1,11%	1,67%	3,33%	1,11%
PDM (2015)	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%



6-5. ábra. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (1990-2009); saját kutatómunka alapján szerkesztve

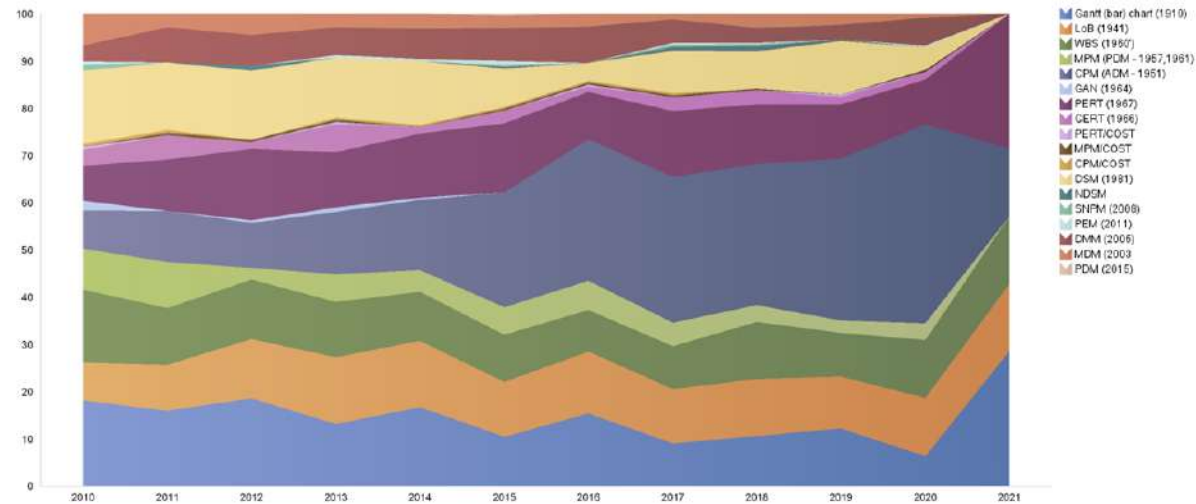
Végösszeg %-a	2010-2019	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Gantt (bar) chart (1910)	100,00%	8,36%	8,67%	11,46%	8,36%	11,46%	8,36%	12,38%	6,81%	11,15%	13,00%	100,00%	100,00%
LoB (1941)	100,00%	4,21%	5,96%	8,77%	10,18%	10,88%	10,53%	11,93%	9,82%	14,39%	13,33%	100,00%	100,00%
WBS (1990')	100,00%	8,85%	8,08%	9,62%	9,23%	8,85%	10,00%	8,85%	8,46%	15,77%	12,31%	100,00%	100,00%
NET	100,00%	4,38%	6,28%	5,61%	7,61%	7,42%	11,89%	11,99%	12,37%	15,89%	16,56%	100,00%	100,00%
MPM (PDM - 1957,1961)	11,51%	1,24%	1,62%	,48%	1,14%	,95%	1,43%	1,52%	1,14%	1,14%	,86%	6,25%	,00%
CPM (ADM - 1951)	51,86%	1,14%	1,81%	1,81%	2,57%	3,14%	5,99%	7,42%	7,14%	9,61%	11,23%	73,61%	33,33%
GAN (1964)	,67%	,29%	,00%	,10%	,19%	,10%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%
PERT (1967)	28,07%	1,05%	1,81%	2,85%	2,28%	2,85%	3,62%	2,47%	3,24%	4,09%	3,81%	16,67%	66,67%
GERT (1966)	6,09%	,48%	,86%	,29%	1,14%	,29%	,67%	,29%	,67%	,95%	,48%	2,78%	,00%
PERT/COST	,48%	,10%	,00%	,00%	,10%	,00%	,00%	,10%	,00%	,00%	,19%	,00%	,00%
MPM/COST	,67%	,00%	,10%	,10%	,10%	,00%	,10%	,10%	,10%	,10%	,00%	,69%	,00%
CPM/COST	,67%	,10%	,10%	,00%	,10%	,10%	,10%	,10%	,10%	,00%	,00%	,00%	,00%
MATRIX	100,00%	8,61%	9,03%	11,13%	9,45%	10,92%	10,71%	7,77%	8,61%	11,34%	12,39%	100,00%	
DSM (1981)	52,94%	4,83%	5,25%	6,09%	5,46%	6,30%	4,41%	2,10%	4,62%	5,67%	8,19%	40,00%	
NDSM	2,10%	,00%	,00%	,42%	,00%	,00%	,21%	,00%	,42%	,84%	,21%	,00%	
SNPM (2008)	1,05%	,42%	,00%	,00%	,00%	,00%	,21%	,00%	,21%	,21%	,00%	,00%	
PEM (2011)	1,47%	,21%	,00%	,00%	,21%	,21%	,42%	,00%	,21%	,21%	,00%	3,33%	
DMM (2005)	27,10%	1,05%	2,73%	2,73%	2,52%	2,94%	3,78%	4,20%	2,52%	2,31%	2,31%	50,00%	
MDM (2003)	15,13%	2,10%	1,05%	1,89%	1,26%	1,47%	1,47%	1,47%	,63%	2,10%	1,68%	6,67%	
PDM (2015)	,21%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	,21%	,00%	,00%	,00%	,00%	,00%	

- Gantt (bar) chart (1910)
- LoB (1941)
- WBS (1990')
- MPM (PDM - 1957,1961)
- CPM (ADM - 1951)
- GAN (1964)
- PERT (1967)
- GERT (1966)
- PERT/COST
- MPM/COST
- CPM/COST
- DSM (1981)
- NDSM
- SNPM (2008)
- PEM (2011)
- DMM (2005)
- MDM (2003)
- PDM (2015)

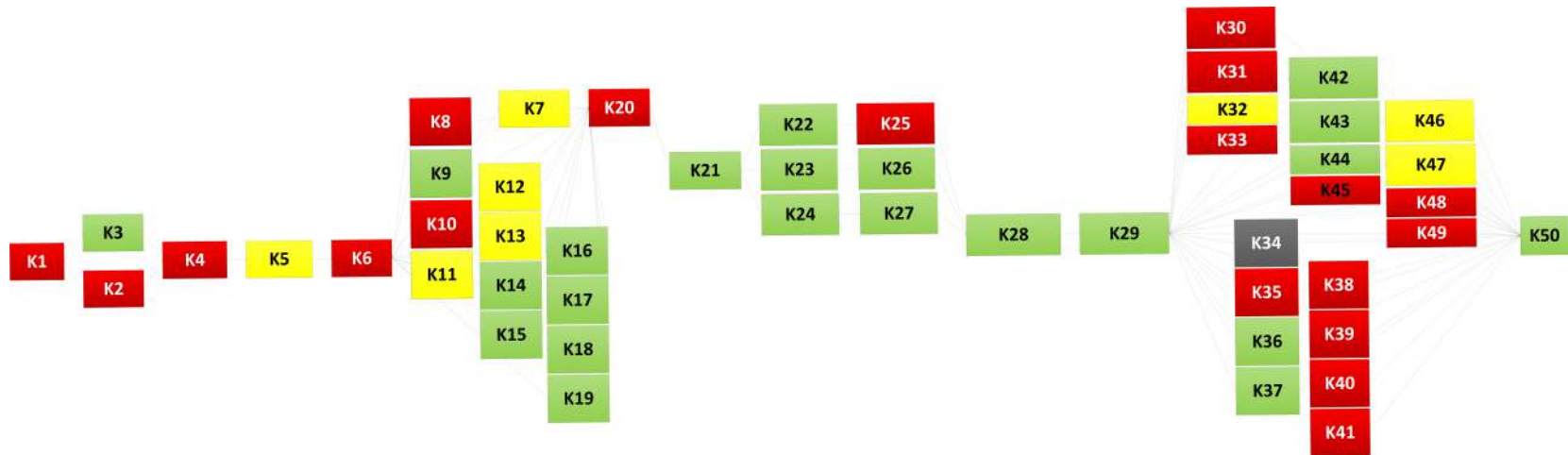


6-6. ábra. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (2010-2020); saját kutatómunka alapján szerkesztve

	2010-2019	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Gantt (bar) chart (1910)	323,00	27	28	37	27	37	27	40	22	36	42	16	2
LoB (1941)	285,00	12	17	25	29	31	30	34	28	41	38	31	1
WBS (1960')	260,00	23	21	25	24	23	26	23	22	41	32	31	1
NET	1051,00	46	66	59	80	78	125	126	130	167	174	144	3
MPM (PDM - 1967,1961)	121,00	13	17	5	12	10	15	16	12	12	9	9	0
CPM (ADM - 1951)	545,00	12	19	19	27	33	63	78	75	101	118	106	1
GAN (1994)	7,00	3	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
PERT (1967)	295,00	11	19	30	24	30	38	26	34	43	40	24	2
GERT (1966)	64,00	5	9	3	12	3	7	3	7	10	5	4	0
PERT/COST	5,00	1	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0
MPM/COST	7,00	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0
CPMICOST	7,00	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
MATRIX	476,00	41	43	53	45	52	51	37	41	54	59	30	0
DSM (1981)	252,00	23	25	29	26	30	21	10	22	27	39	12	0
NDSM	10,00	0	0	2	0	0	1	0	2	4	1	0	0
SNPM (2008)	5,00	2	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
PEM (2011)	7,00	1	0	0	1	1	2	0	1	1	0	1	0
DMM (2005)	129,00	5	13	13	12	14	18	20	12	11	11	15	0
MDM (2003)	72,00	10	5	9	6	7	7	7	3	10	8	2	0
PDM (2015)	1,00	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0



6-7. ábra. Projekttervezési módszerek térhódítása a nemzetközi szakirodalomban (2010-2020); saját kutatómunka alapján szerkesztve



6-8. ábra. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt moduljainak kapcsolati ábrája - A berendezések kockázati kategóriákba sorolva; saját kutatómunka során szerkesztve





(BD) LD	IDŐ			KÖLTSÉG			
	TD			CD			
	tmin	perc	tmax	cmin	EUR	cmax	
k6	a1	7	13	18	3	15	20
	a2	7	12	20	4	13	18
	a3	5	12	19	1	13	17
	a4	10	12	16	3	12	20
	a5	8	14	16	3	14	18
	a6	6	12	16	3	12	20
	a7	2	15	17	10	12	18
	a8	3	14	18	5	12	16
k8	a9	3	11	18	4	11	20
	a10	7	12	20	2	11	17
	a11	7	14	17	3	13	20
	a12	2	13	20	8	12	20
	a13	5	11	18	2	11	18
	a14	6	12	18	10	12	19
	a15	6	15	16	5	12	18
	a16	5	12	19	8	12	20
k12	a17	2	11	16	6	12	19
	a18	8	13	20	5	14	18
	a19	2	15	20	5	15	16
	a20	10	15	17	1	15	20
	a21	9	12	17	4	11	18
	a22	6	14	17	9	15	17
	a23	2	15	17	6	13	19
	a24	4	11	16	1	13	19
k16	a25	10	15	20	7	15	20
	a26	5	11	16	2	15	17
	a27	3	12	20	1	12	17
	a28	4	12	18	4	14	19
	a29	7	12	19	4	15	16
	a30	8	14	20	4	11	16
	a31	2	14	16	7	15	16
	a32	1	13	16	8	11	17
k9	a33	6	11	20	1	14	17
	a34	8	13	17	2	14	19
	a35	5	14	20	4	15	19
	a36	5	15	20	1	15	20
k10	a37	3	13	16	6	14	16
k11	a38	8	11	16	10	13	18
k13	a39	10	13	20	6	15	17
	a40	2	11	18	1	15	18
	a41	10	13	16	4	14	18
	a42	6	15	18	5	14	19
k14	a43	1	14	18	3	12	19
k15	a44	1	15	18	3	12	17
k17	a45	10	15	19	5	12	16
	a46	1	13	16	1	13	19
	a47	3	11	20	5	11	17
	a48	9	13	18	7	13	17
k18	a49	1	12	19	1	15	16
k19	a50	2	14	17	3	12	17
k1	a51	9	12	18	6	14	16
	a52	5	12	19	4	13	17
	a53	10	11	16	7	14	16
	a54	1	14	17	8	12	16
	a55	2	13	18	5	14	16
	a56	6	11	16	5	13	17
	a57	6	11	19	1	15	17
	a58	10	12	17	6	13	19
k3	a59	7	13	16	9	13	20
	a60	1	14	16	3	12	20
	a61	4	15	16	2	14	17
	a62	9	12	20	4	11	16
	a63	2	13	20	1	12	20
	a64	7	11	16	7	13	18
	a65	6	15	18	6	11	17
	a66	4	15	20	3	13	20
k20	a67	3	11	18	6	14	18
	a68	8	15	19	10	13	17
	a69	1	12	18	4	14	20
	a70	8	14	18	9	14	20
	a71	2	13	16	4	14	19
	a72	8	12	16	6	15	18

6-10. ábra. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt javító megelőző tevékenységeinek idő- és költségmátrixa (a1-A72); saját kutatómunka során szerkesztve

(BD) LD		IDŐ			KÖLTSÉG		
		TD			CD		
		tmin	perc	tmax	cmin	EUR	cmax
k20	a73	9	11	16	5	11	16
	a74	3	13	20	4	13	19
k22	a75	7	15	17	2	12	20
	a76	6	13	17	9	11	18
	a77	10	14	18	5	15	16
	a78	1	14	19	9	12	19
	a79	8	11	20	9	12	20
	a80	7	13	16	7	14	18
	a81	9	14	16	3	14	19
	a82	5	15	17	6	12	17
k23	a83	6	15	16	7	12	16
	a84	9	13	19	6	12	18
	a85	9	11	16	5	12	16
	a86	7	14	16	3	12	19
	a87	3	13	18	4	12	19
	a88	5	14	20	5	15	20
	a89	6	12	18	8	14	20
	a90	7	13	20	9	15	20
k24	a91	10	15	20	7	13	18
	a92	8	13	18	8	11	16
	a93	6	11	19	6	14	17
	a94	9	11	16	1	13	19
	a95	9	13	17	3	11	19
	a96	3	12	16	3	13	17
	a97	5	14	17	7	14	20
	a98	4	12	16	10	14	17
k30	a99	9	15	19	4	15	18
k2	a100	5	14	18	6	11	17
	a101	4	14	17	2	11	19
	a102	1	15	20	10	15	17
	a103	8	11	16	4	11	20
k4	a104	1	13	17	2	11	17
	a105	9	13	19	9	13	20
	a106	3	11	20	4	11	19
	a107	9	13	17	8	14	19
k7	a108	1	11	16	6	12	19
	a109	4	13	20	4	11	18
	a110	3	11	17	4	13	18
	a111	4	12	19	5	13	16
k21	a112	3	14	16	8	11	20
	a113	9	14	17	2	14	17
	a114	4	11	20	7	15	20
	a115	2	15	17	1	13	20
k25	a116	2	14	17	4	12	19
	a117	1	13	20	1	11	18
	a118	5	15	17	7	14	16
	a119	10	12	18	2	11	19
k26	a120	9	12	19	5	11	19
	a121	2	14	20	10	14	18
	a122	8	15	20	7	15	18
	a123	1	12	18	6	13	20
k27	a124	10	14	19	5	13	19
	a125	5	13	19	2	11	19
	a126	9	14	18	3	15	18
	a127	4	11	18	10	11	20
k28	a128	6	12	20	6	13	18
	a129	3	13	20	8	14	16
	a130	10	15	17	8	13	16
	a131	4	14	17	10	15	19
	a132	1	12	17	6	11	17
	a133	3	12	16	6	15	17
	a134	7	11	17	8	13	16
	a135	1	15	16	2	11	16
k29	a136	2	12	17	7	13	19
	a137	2	15	18	1	14	17
	a138	1	15	18	1	13	16
k31	a139	1	11	19	6	15	19
	a140	2	12	18	7	14	19
	a141	2	14	18	9	13	19
	a142	9	11	20	9	14	19
	a143	1	15	17	7	15	18
	a144	7	13	16	6	14	18

6-11. ábra. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt javító megelőző tevékenységeinek idő- és költségmátrixa (a73-A144); saját kutatómunka során szerkesztve

(BD) LD		IDŐ			KÖLTSÉG		
		TD			CD		
		tmin	perc	tmax	cmin	EUR	cmax
k31	a145	9	12	20	6	14	18
	a146	5	15	18	10	11	20
k32	a147	7	12	20	10	14	19
	a148	2	11	20	2	11	18
	a149	3	13	20	7	15	20
k33	a150	10	13	16	3	11	19
	a151	5	12	17	5	11	17
k34	a152	10	15	16	6	15	16
	a153	7	14	17	4	15	19
	a154	1	15	17	9	11	17
	a155	2	15	19	6	12	17
	a156	7	11	17	8	13	16
	a157	10	11	19	6	14	16
	a158	6	14	16	5	12	16
	a159	4	15	17	3	15	17
k38	a160	6	15	20	1	11	20
	a161	7	13	18	10	14	17
	a162	3	12	20	8	12	16
	a163	2	14	16	8	11	19
	a164	7	11	18	5	12	16
	a165	4	12	19	9	14	17
	a166	7	13	18	5	11	16
	a167	8	14	16	2	13	17
k5	a168	10	14	20	9	14	17
k35	a169	6	13	20	2	15	16
	a170	6	12	18	3	15	17
	a171	6	11	20	8	13	20
	a172	3	12	17	3	14	18
	a173	3	11	20	6	14	18
k36	a174	3	12	16	5	13	16
k37	a175	3	15	16	3	14	20
k39	a176	5	12	19	7	15	17
	a177	9	11	19	4	13	18
	a178	7	12	20	8	15	19
	a179	9	15	16	4	14	20
k40	a180	5	15	17	10	14	17
k41	a181	9	15	20	9	15	19
k42	a182	4	15	17	3	14	20
	a183	8	15	18	1	15	20
	a184	6	15	17	3	11	16
	a185	6	11	17	3	14	19
	a186	2	11	19	1	11	19
	a187	5	15	17	9	13	18
	a188	2	15	18	5	14	20
	a189	3	13	18	6	12	17
k43	a190	10	14	18	10	12	16
	a191	7	14	19	2	12	19
	a192	4	12	17	9	13	17
	a193	3	13	18	10	15	18
k44	a194	7	11	18	5	11	18
	a195	10	14	17	1	15	17
	a196	10	11	20	1	11	18
k45	a197	1	12	20	8	14	20
	a198	8	15	20	4	11	20
k46	a199	5	13	16	9	12	20
	a200	7	13	16	9	14	20
	a201	8	15	18	5	14	16
	a202	10	13	17	6	11	19
	a203	10	13	19	8	15	16
	a204	9	15	18	3	12	20
	a205	2	12	16	2	15	16
	a206	3	14	17	6	12	18
k47	a207	7	15	20	2	14	19
	a208	1	13	17	5	15	18
	a209	10	11	20	2	12	19
	a210	7	13	19	3	14	16
k48	a211	4	15	20	10	15	18
	a212	8	13	19	1	12	17
	a213	3	15	16	3	13	20
k49	a214	4	12	20	5	15	17
	a215	7	14	19	10	11	17
k50	a216	7	14	19	10	11	17

6-12. ábra. Hardver-és szoftverkarbantartási projekt javító megelőző tevékenységeinek idő- és költségmátrixa (a145-A216); saját kutatómunka során szerkesztve







## 6.2. Pseudocode

### 2. Pszeudo kód.

```
1 function [BD,R]:=sp(BD,R)
2   i:=1 //Sorok elemek összevonása
3   while i<|R| :
4     l:=false
5     if numel(find(BD(i,:)=1))=1 then: //Sorok elemek keresése
6       j:=find(BD(i,:)=1) //j lesz i elemmel sorosan összekötött berendezésem
7       if numel(find(BD(:,j)=1))=1 //Ha i és j elem között csak egyreláció van...
8         l=true //... akkor a sorok elemeket összevonjuk.
9         R(i):=R(i)*R(j); //Az összevont elem megbízhatósága a sorok elemek megb. szorzata
10        [BD,R]:=sp(BD({1..|R|\i},{1..|R|\j}),R({1..|R|\j})) //i-edik sor és j-edik
11        end //oszlop elhagyása a mátrixból
12      end
13      if l=false then:
14        i:=i+1 //Ellenkező esetben nincs összevonás
15      end
16    end
17    i:=1 //Párhuzamos elemek összevonása
18    while i<|R| :
19      l:=false
20      if numel(find(BD(i,:)=1))>=2 then: //Párhuzamos elemek keresése
21        IJ:=find(BD(i,:)=1) : IJ=IJ(1..2) //Csak két párhuzamos elemet vonunk össze
22        if numel(find(BD(IJ,:)=1))=2 then:
23          l=true
24          R(IJ(1))=1-(1-R(IJ(1)))*(1-R(IJ(2))) //Megbízhatóság kiszámítása
25          [BD,R]:=sp(BD({1..|R|\IJ(1)},{1..|R|\IJ(2)}),R({1..|R|\IJ(2)}))
26        end
27      end
28      if l=false
29        i:=i+1
30      end
31    end
32  return [BD,R]

33 function [BD,R]:=DCM(BD,R)
34 for i:=2 to |R| : //Üres oszlop eltávolítása
35   if BD(:,i)=0 then: [BD,R]:=rekeysp_decomp(BD({1..|R|\i},{1..|R|\i}),R({1..|R|\i}))
36 for i:=2 to |R| : //Üres sor eltávolítása
37   if BD(i,:)=0 then: [BD,R]:=rekeysp_decomp(BD({1..|R|\i},{1..|R|\i}),R({1..|R|\i}))
38 [BD,R]:=sp(BD,R)
39 key:=argmax(sum(BD,1),sum(BD,2)) //Maximális fokszámú kulcselem megtalálása
40 [BD,R]:=rekeysp_decomp(BD({1..|R|\key},{1..|R|\key}),R({1..|R|\key})) //~Eltávolítása

41 function tsr:=TSR(BD,R)
42 [BD,tsr]:=DCM(BD,R)
43 end
```

6-16. ábra. Rendszer megbízhatóság kiszámítása sorok-párhuzamos összevonással és dekompozíciós módszerekkel

### 3. Pszeudo kód.

```

1 function M4s:=minTPT_ProjStruct(M4,M4s,duration,CΔr,Ct,Cc,objDTCQTP):
2 global buffer //minimális átfutási időket tartalmazó rendezett halmaz
3 [i,j]:=impact(LD,TD)//Lásd 3. a pszeudokódot
4 if i≠0 and j≠0 then:
5   LD(i,j):=0 //Kapcsolat elhagyása
6   mins0:=TPT(|LD|,min(TD)) //tmin:=min(TD)
7   maxs0:=TPT(|LD|,max(TD)) //tmax:=max(TD)
8   if maxs0>=duration and mins0<=duration then:
9     M4s:=minTPT_ProjStruct M4,M4s,duration,CΔr,Ct,Cc,objDTCQTP)
10    else: //Átfutási idők eltárolása
11      if mins0∉buffer then: buffer:=buffer∪mins0
12      LD(i,j):=1 //Kapcsolat előírása
13      mins1:=TPT(|LD|,min(TD)) //tmin:=min(TD)
14      maxs1:=TPT(|LD|,max(TD)) //tmax:=max(TD)
15      if maxs1>=duration and mins1<=duration then:
16        M4s:=minTPT_ProjStruct M4,M4s,duration,CΔr,Ct,Cc,objDTCQTP)
17        else: //Átfutási idők eltárolása
18          if mins1∉buffer then: buffer:=buffer∪mins1
19    else: if [TD,CD,ID]=DTCQTP(M4,CΔr,Ct,Cc,objDTCQTP) is feasible than : M4s:=M4s∪M4
20 return M4s //objTCTP a DTCQTP célfüggvénye

21 function M4s:=ProjScen(M4,M4s,SCORE,CΔr,Ct,Cc):
22 global BUFFER
23 i:=argmax(max(TD)) //tmax:=max(TD)
24 if i≠0 then:
25   LD(i,i):=0 //Tevékenység elhagyása
26   ΔRmax0:=TSR(BD,diag(BD)+ED*(|diag(LD)|.*Δrmax)T)-TSR(BD,diag(BD))
27   Cmin0:=TFC(|diag(LD)|,min(CD)) //cmin:=min(CD)
28   Tmin0:=TPT(|LD|,min(TD)) //tmin:=min(TD)
29   Tmax0:=TPT(|LD|,max(TD)) //tmax:=max(TD)
30   if Tmax0>=SCORE and Tmin0<=SCORE and Cmin0<=Cc and Tmin0<=Ct and ΔRmax0>=CΔr then:
31     M4s:=ProjScen(M4,M4s,SCORE,CΔr,Ct,Cc)
32     else: //Átfutási idők eltárolása
33       if Tmin0∉BUFFER then: BUFFER:=BUFFER∪Tmin0
34       LD(i,i):=1 //Tevékenység előírása
35       ΔRmin1:=TSR(BD,diag(BD)+ED*(|diag(LD)|.*Δrmax)T)-TSR(BD,diag(BD))
36       Cmin1:=TFC(|diag(LD)|,min(CD)) //cmin:=min(CD)
37       Tmin1:=TPT(|LD|,min(TD)) //tmin:=min(TD)
38       Tmax1:=TPT(|LD|,max(TD)) //tmax:=max(TD)
39       if Tmax1>=SCORE and Tmin1<=SCORE and Cmin1<=Cc and Tmin1<=Ct and ΔRmin1>=CΔr then:
40         M4s:=ProjScen(M4,M4s,SCORE,CΔr,Ct,Cc)
41         else: // Átfutási idők eltárolása
42           if Tmin1∉BUFFER then: BUFFER:=BUFFER∪Tmin1
43     else: M4s:=M4s∪M4
44 return M4s

44 function M4s:=PMPSP(M4,CΔr,Ct,Cc,objTCTP,n):
45 global BUFFER,buffer
46 BUFFER:=TPT(|LD|,min(TD)) //tmin:=min(TD)
47 SCENARIOS:=∅ //Projektváltozatok halmaza
48 M4s:=∅ //Projektstruktúrák halmaza
49 i:=1
50 structures:=0
51 do
52   SCENARIOS=SCENARIOS∪ProjScen(M4,SCENARIOS,BUFFER(i),CΔr,Ct,Cc)
53   SCENARIO=SCENARIOS(i) //Projekt változatok
54   buffer:=TPT(|LD|,min(TD)) //tmin:=min(TD)
55   j:=1
56   do
57     PDMs=PDMs∪minTPT_ProjStruct(SCENARIO,M4s,buffer(j),CΔr,Ct,Cc,objDTCQTP)
58     j:=j+1
59   structures:=structures+1 //Projektstruktúra
60   while j<=|buffer| and structures<=n:
61     i:=i+1
62   while i<=|BUFFER|:
63 return PDMs

```

6-17. ábra. Javasolt algoritmus a karbantartás-tervezési probléma (PMPSP) megoldására



## 4. Pszeudo kód.

```

1 function tpt:=TPT(LD,t):
2   n:=|t|
3   EST:=0 //Earliest Start Time = Legkorábbi kezdés
4   EFT:=t //Earliest Finish Time = Legkorábbi befejezés
5   if LD(i,i)>0 then: //if task may be completed
6     for i:=1 to (n-1):
7       for j:=i+1 to n:
8         if LD(i,j)>0 then: //Ha a tevékenységek között van kapcsolat
9           if EFT(i)>EST(j) then:
10            EST(j):=EFT(i)
11            EFT(j):=EST(j)+t(j)
12          end
13        end
14      end
15    end
16  end
17  return max(EFT)

19 function tpc:=TPC(TASKS,c): //TASKS: LD részmatrix diagonálisa c: költségvektor
20   n:=|c|
21   tpc:=0
22   for i:=1 to n:
23     if TASKS(i)==1 then:
24       tpc:=tpc+c(i)
25     end
26   end
27   return tpc

28 function rMAX:=maxres(DSM,t,R)
29   n:=|T|
30   EST:=0 //EST: n elemű vektor null vector
31   EFT:=t
32   for i:=1 to (n-1) :
33     for j:=(i+1) to n :
34       if DSM(i,j)>0
35         if EST(j)<EFT(i) then:
36           EST(j):=EFT(i)
37           EFT(j):=EST(j)+t(j)
38         end
39       end
40     end
41   end
42   BP:=sort(union(EST,EFT)) //Az erőforrás-függvény töréspontjainak meghatározása
43   b:=|BP| //Töréspontok száma
44   r:=|R(1,:)| //Erőforrások száma
45   RESFUNC:=zeros(b,r) //Erőforrásigények meghatározása
46   for i:=1 to b :
47     RESFUNC(i,:)=sum(R(find((EST<=BP(i)) & (EFT>BP(i))),:),1)
48   end
49   return max(RESFUNC)

50 function [i,j]:=impact(LD,TD)
51   IMPACT:=0 : i:=0 : j:=0 : n:=|LD(:,i)|
52   for I:=1 to n-1:
53     for J:=i+1 to n:
54       dependency:=LD(I,J)
55       if LD(I,J)<1 and LD(I,J)>0 then: //bizonytalan kapcsolat
56         LD(I,J):=1
57         t_max:=TPT(LD,max(TD)) //t_max:=max(TD)
58         t_min:=TPT(LD,min(TD)) //t_min:=min(TD)
59         LD(I,J):=0
60         t_max:=TPT(LD,max(TD)) //t_max:=max(TD)
61         t_min:=TPT(LD,min(TD)) //t_min:=min(TD)
62         if IMPACT>(t_max-t_min) then:
63           i:=I : j:=J : IMPACT:=(t_max-t_min)
64         end
65         if IMPACT>(t_min-t_max) then:
66           i:=I : j:=J : IMPACT:=(t_min-t_max)
67         end
68       end
69     end
70   end
71   return [i,j]

```

6-18. ábra. Segédfüggvények: átfutási idő (TPT), költségigény (TPC), maximális erőforrás-igény (maxres) számítása, csúcs kiválasztása (impact)