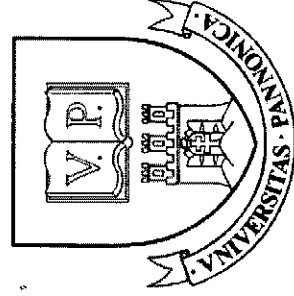


A KARBANTARTÁS KIHÍVÁSA - A TUDÁSTŐKE FELÉRTÉKELŐDÉSE

NEMZETKÖZI KONFERENCIA
KIADVÁNYA



2010. június 7 - 8.

Veszprém

Szerkesztő:
Dr. Balogh Ágnes

Lektor:
Dr. Gaál Zoltán

ISBN 978-963-9696-95-2

Állapotfüggő karbantartás tervezhetőségének javítása	165
<i>Hegedűs Csaba PhD. hallgató, Pannon Egyetem</i>	
<i>Dr. Kosztyán Zsolt Tibor egyetemi docens, Pannon Egyetem</i>	
Projektszakértői rendszer karbantartási projektek menedzselésére	178
<i>Dr. Kosztyán Zsolt Tibor egyetemi docens, Pannon Egyetem</i>	
<i>Hegedűs Csaba PhD. hallgató, Kiss Judit PhD. hallgató,</i>	
<i>Cseri Péter mérnök informatikus, Németh Anikó gazdálkodási mérnök,</i>	
<i>Borbás István mérnök informatikus,</i>	
Kompetenciák, feladatok a karbantartás területén	194
<i>Pató Gáborné Dr. Szűcs Beáta egyetemi docens, Pannon Egyetem</i>	
<i>Dr. Kovács Zoltán egyetemi tanár, Pannon Egyetem</i>	
Integrált adatgyűjtő rendszer	208
<i>Dr. Kovács Zoltán egyetemi tanár, Pannon Egyetem</i>	
<i>Kovács Viktor villamosmérnök, BMGE</i>	
Kikből lesznek a jövő karbantartói?	215
<i>Dr. Balogh Ágnes egyetemi adjunktus, Pannon Egyetem</i>	
<i>Bognár Ferenc egyetemi tanársegéd, Pannon Egyetem</i>	
<i>Dr. Gaál Zoltán egyetemi tanár, Pannon Egyetem</i>	
<i>Szentes Balázs egyetemi tanársegéd, Pannon Egyetem</i>	
Karbantartási stratégiák szerepe a vállalatközi együttműködésben	225
<i>Bognár Ferenc egyetemi tanársegéd, Pannon Egyetem</i>	
<i>Dr. Balogh Ágnes egyetemi adjunktus, Pannon Egyetem</i>	
<i>Dr. Gaál Zoltán egyetemi tanár, Pannon Egyetem</i>	
<i>Szentes Balázs egyetemi tanársegéd, Pannon Egyetem</i>	
<i>Dr. Szabó Lajos egyetemi docens, Pannon Egyetem</i>	
Csoportos döntéshozatali módszerek alkalmazhatósága az FMEA elemzés során	237
<i>Bognár Ferenc egyetemi tanársegéd, Pannon Egyetem</i>	
<i>Dr. Balogh Ágnes egyetemi adjunktus, Pannon Egyetem</i>	
<i>Szentes Balázs egyetemi tanársegéd, Pannon Egyetem</i>	
<i>Thurzó Péter műszaki menedzser, Pannon Egyetem</i>	
Információbiztonság, mint a versenyképesség záloga	255
<i>Spilák Viktor, Termék- és szolgáltatásfejlesztési munkatárs, KÜRT Zrt.</i>	
<i>Kosztyán Zsolt Tibor, egyetemi docens, Pannon Egyetem</i>	
Változások nyomán a kkv szektorban	271
<i>Bogdány Eszter humán erőforrás menedzser, Pannon Egyetem</i>	
<i>Dr. Balogh Ágnes egyetemi adjunktus, Pannon Egyetem</i>	
<i>Dr. Csizmadia Tibor egyetemi docens, Pannon Egyetem</i>	
Törekvések a karbantartás megbízhatóságának növelésére a vállalati kultúra fejlesztésével	280
<i>Dr. Horváth Csaba intézetigazgató, Óbudai Egyetem; ügyvezető igazgató, Nyomda-Technika Kft.</i>	

Projekt szakértői rendszer karbantartási projektek menedzselésére

*Dr. Kosztyán Zsolt Tibor, egyetemi docens, Pannon Egyetem
Hegedűs Csaba, PhD-hallgató, Pannon Egyetem
Kiss Judit, PhD-hallgató, Pannon Egyetem
Németh Anikó, gazdálkodási mérnök, Pannon Egyetem
Borbás István, mérnök informatikus, Pannon Egyetem
Cseri Péter, mérnök informatikus, Pannon Egyetem*

Tartalmi kivonat

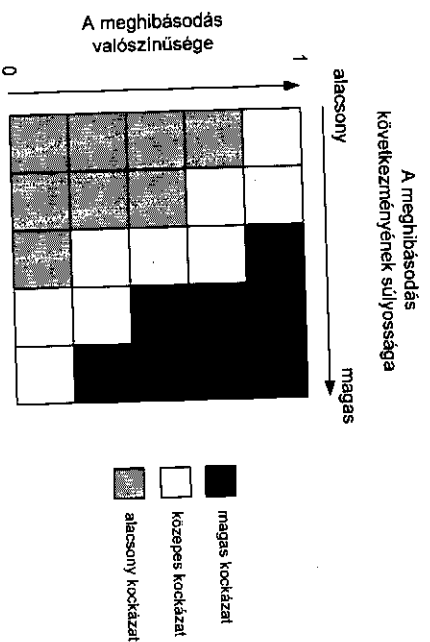
Karbantartási projektekkel kapcsolatosan a Szervezési és Vezetési Tanszéken számos publikáció született már (Lásd: Szabó, 2005; Szabó – Gaál, 2006; Szabó et al. 2007). Tanulmányunkban mi egy olyan szakértői rendszert mutatunk be, mely segítséget nyújthat a karbantartási tevékenységek megtervezésében, valamint az elvégzendő tevékenységek megbízhatóság, illetve kockázat alapú értékelésében.

A szakértői rendszerünk bemenetként a berendezésekre vonatkozó megbízhatósági, illetve kockázati adatokkal dolgozik. Ezek alapján egy beavatkozási prioritási sorrendet kapunk, mely segítséget nyújt a karbantartási terv összeállításában. Különlegessége ennek a szakértői rendszernek, hogy a berendezések megbízhatósági, kockázati adatain túl a karbantartási terv, karbantartási projekt kialakításában figyelembe veszi a rendelkezésre álló idő-, költség- és erőforráskorlátot is.

1. Karbantartási tevékenységek megbízhatósági és kockázati besorolása

Az RCM (Reliability-Centered Maintenance), azaz megbízhatóság központú karbantartási stratégia szerint a karbantartási tevékenységeket az alapján rangsoroljuk (Rausand, 1998), hogy mekkora a valószínűsége az egyes berendezések meghibásodásának a karbantartás tervezési időtávján belül. 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. Tovább árnyalható a prioritási sorrend, ha a meghibásodás előtti diagnosztizálás, karbantartás költségeit és időszükségletét a tönkremenetel utáni javítás vagy csere költségeivel és időszükségleteivel, valamint a tönkremenetel miatt keletkező anyagi és nem anyagi károkkal vetjük össze. A meghibásodás következményét súlyozzuk a bekövetkezés valószínűségével, azaz kockázat alapon hozzuk meg döntéseinket (RBM – Risk-Based Maintenance) (Khan – Haddara, 2003). (1. ábra)

A besorolási osztályok száma és határai rendszerenként különbözőek, az alkalmazható megelőző és javító tevékenységek számától és a hozzájuk kapcsolódó költségektől is függnek (Kovács et al., 2007; Nagy, 2010). A kockázatok alapján eldönthető, mely eszközökre alkalmazunk eseti, ciklus vagy állapotfüggő karbantartási stratégiát.



1. ábra: Meghibásodások kockázati besorolása

Az állapotfüggő stratégiával karbantartott berendezések között ismét meg kell határoznunk a prioritásokat. A meghibásodás következményeit már felmértük a karbantartási stratégia meghatározásakor, a bekövetkezés valószínűségét pedig az állapotok vizsgálatából becsülhetjük. Azonban figyelembe kell vennünk, hogy állapotjellemzők mérésekor becslési hibákat vétünk, ezen hibák kezelését a következő fejezetben mutatjuk be.

2. Mérési bizonytalanság figyelembevétele a megbízhatóság- és a kockázatkészítés területén

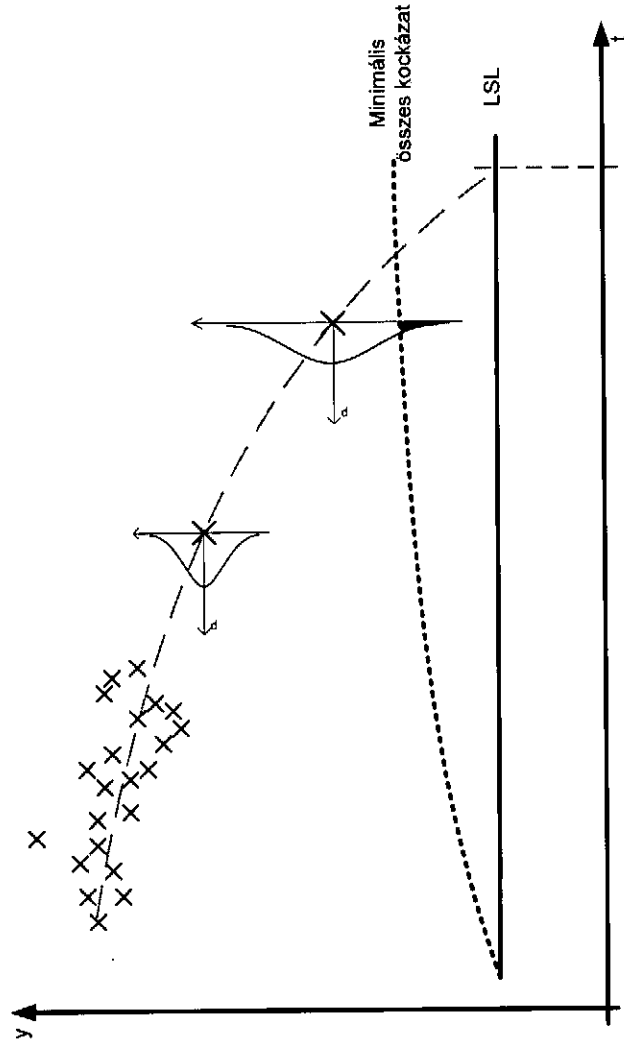
A mérésből, mintavételezésből adódó bizonytalanság figyelembevételével kapcsolatban már számos publikációban (Kosztyán et al., 2008; 2009; 2010; Kovács et al., 2009) foglalkoztunk. Rámutattunk, hogy a mérési bizonytalanság figyelembe vétele szükséges a helyes döntéshozatal érdekében. Egy mérés mindig bizonytalansággal terhelt. Bizonytalanságot okoz a mérőműszer pontatlansága, a leolvasási hibák, illetve a mintavételezésből adódó becslések. Az 1. táblázat mutatja, hogy milyen mintavételezésből, illetve mérési hibából adódó döntési hibákat vétünk egy olyan berendezés esetén, amelynek a kopását diagnosztizáljuk.

1. táblázat: Döntési kimenetek a mért értékre alapozva

Költségek	Döntés	
	Továbbbengedjük a folyamatot	Karbantartunk
Az előrejelzési időszak alatt nem megy tönkre	Helyes továbbbengedés c_{11}	Feltesleges karbantartás (elsőfajú hiba) c_{10}
Tény Az előrejelzési időszakon belül tönkremegy	Elmaradt karbantartás (másodfajú hiba) c_{01}	Helyes karbantartás c_{00}

A vizsgált jellemző lefutását, a mérési eredményeinket kezelhetjük időszorként, és a megfelelő dekompozíció után sztochasztikus folyamatmodellekkel előrejelezhetjük a következő időszakokra a várható értékeket. A korábbi mérési eredményekből meghatározhatjuk az idősor struktúráját, és becsülhetjük a paramétereit. Azonban ez a becslés is tartalmaz bi-

zonytalanságot, így az idősor alatt és felett megjelenik a konfidencia intervallum alsó és felső határa. Az utolsó mért pontot követően ez az intervallum ki fog szélesedni az előrejelzés során a predikciós időtáv növekedésével. Minél távolabbra jelezünk előre, annál nagyobb bizonytalansággal kell számolnunk (2. ábra).



2. ábra: A degradáció miatt az idő előrehaladtával a minimális összes kockázathoz tartozó beavatkozási határ is változik

Meg kell határoznunk a hibás döntések következményeinek költségét is. Ha korábban avatkozunk be a kellenél, akkor kihasználatlan teljesítményünk keletkezik, ennek mértéke - így költsége - az idő előrehaladtával csökken. Ezzel szemben, ha nem végezzük el időben a karbantartást, és meghibásodik a berendezés, akkor a tönkremenetel mellett egyéb járulékos költségeink (egészségügyi, környezeti, gazdasági) is lehetnek. Ezek a költségek azonban nem függnek a bekövetkezés idejétől. Tehát vannak időtől függő és független költségeink. A minimális összes kockázathoz tartozó beavatkozási határ így minden időpillanatra kiszámítható vagy szimulációval meghatározható a költségekből és a döntési kimenetek valószínűségeiből (2. ábra).

Ha ismert a minimális összes kockázathoz tartozó beavatkozási határ, az előrejelzésekből megadható, hogy adott megbízhatósági szint mellett mikor éri el a vizsgált folyamatunk ezt a határt. Így rögzített kockázati szint mellett az egyes folyamatokat vagy berendezéseket összehasonlíthatjuk az alapján, hogy melyik mennyi idő múlva éri el ezt a szintet.

A rangsorolást másik nézőpontból is elvégezhetjük. Rögzíthetjük az időtávot, amin belül tervezni szeretnénk a karbantartási tevékenységeket, és az egyes berendezéseknél azt a konfidencia szintet számítjuk ki (vagy szimulációval meghatározzuk), amelynél éppen eléri a vizsgált jellemző a minimális összes kockázat görbét. Ezzel a megközelítéssel a berendezésekhez valószínűségeket rendelhetünk, a tervezési időtávon belüli működés valószínűségét, vagy épp ellenkezőleg a meghibásodás valószínűségét. Ezeknek a valószínűségeknek a figyelembe vételével a karbantartási terv optimalizálható.

3. Karbantartási terv, karbantartási projekt összeállítása

Az elvégzendő karbantartási tevékenységeket tekinthetjük speciális karbantartási projektnek (részletesebben lásd: Szabó, 2005; Szabó – Gaál, 2006; Szabó et al. 2007). Azonban a hagyományos projekttervezési technikák számos, a karbantartás során felmerülő problémát megválaszolatlanul hagynak. Az első ilyen probléma a körfolyamatok kezelése. Gyakran előforduló probléma, hogy egy karbantartási technológiai folyamat során egy-egy tevékenységre többször is vissza kell térnünk. Melyek lehetnek ezek a tevékenységek? Hogyan tervezhetők az ilyen, többször előforduló tevékenységssorok?

A másik probléma, ami a karbantartási terv összeállításánál felmerülhet, hogy mely karbantartási tevékenységet milyen sorrendben hajtunk végre. Erre a determinisztikus logikai tervezési technikák nem adnak megfelelő választ, hiszen egy berendezés javításának technológiai folyamata kötött. Itt az egyes lépéseket nem igazán lehet felcserélni, de azt hogy mely berendezéseket javítsuk, az már lehet egy prioritási sorrend, valamint a rendelkezésre álló idő-, költség- és erőforrásigények függvénye is. A következőkben olyan mátrix-alapú projekttervezési eljárásokat mutatunk be, amelyek képesek a fenti problémákat kezelni. A bemutatott módszer egy szakértői rendszer alapja lehet.

3.1 Mátrix-alapú projekttervezési eljárások

A hálótervezési módszerek mellett elsősorban termékfejlesztési projektek kezelésénél egy másik megközelítés is előtérbe került. Ebben a módszerben, melyet **DSM**-nek neveznek (Steward, 1981) a projekt tevékenységeit egy mátrix sorai, illetve oszlopai reprezentálják (azonos sorrendben). A DSM itt jelenthet függőségi mátrixot (Dependency Structure Matrix). Használják azonban rendszermodellezésre is ezt a módszert, ekkor használják a Design Structure Matrix elnevezést is. A tevékenységek között lévő kapcsolatokat a mátrix elemei reprezentálják. Bár az első DSM-mátrixokat még rendszermodellezésre, a rendszer-elemek jellemzésére alkalmazták, az évek során a Steward által elsőként használt DSM-megközelítés (Steward, 1981) módosult. A Massachusetts Institute of Technology kutatói (Eppinger et al, 1994) Bostonban kiterjesztették a módszert tevékenységek közötti kapcsolatok kezelésére is, így a módszer alkalmassá vált projektek tervezésére is. A DSM-módszer 3 alap kapcsolatot kezel a tevékenységek között. Ezek a soros kapcsolatok, a párhuzamos kapcsolatok, illetve az iteratív kapcsolatok (2. táblázat). A kapcsolatokat egy ún. adjacencia mátrixban „X” jelöli (dsmweb.org).

2. táblázat: Elemi tevékenységkapcsolatok (dsmweb.org)(Xiao et al., 2007)

Soros kapcsolat	Párhuzamos kapcsolat	Iteratív kapcsolat																											
 <table border="1" data-bbox="504 255 627 422"> <tr><td>J</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td></td></tr> </table>	J	A	B	A		X	B			 <table border="1" data-bbox="504 630 627 790"> <tr><td>J</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td></td></tr> </table>	J	A	B	A			B			 <table border="1" data-bbox="504 997 627 1157"> <tr><td>J</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr> <tr><td>B</td><td>X</td><td></td></tr> </table>	J	A	B	A		X	B	X	
J	A	B																											
A		X																											
B																													
J	A	B																											
A																													
B																													
J	A	B																											
A		X																											
B	X																												

A hagyományos hálótervezési ábrázolásmódohoz képest új elem az iteratív kapcsolatok megjelenítése. Az iteratív kapcsolatokról jelöljük, hogy **A** és **B** tevékenységssorra 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 mátrixos ábrázolásnál fontos lehet a tevékenységssorrendek

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. (A szakirodalomban ezeket az eljárásokat sequencing-módszernek nevezik (Eppinger et al., 1994; Danilovic – Browning, 2007)).

3. táblázat: Tevékenységek (topologikus) sorba rendezése

J	A	B	C	D	E	J	B	D	E	A	C
A			X			B		X	X		
B				X		D				X	
C						E				X	X
D	X					A					
E	X	X	X			C					
Kiinduló DSM-mátrix						Rendezett DSM-mátrix					

→	→	→	→

Tevékenység-csomópontú logikai háló

A felsőháromszögbe rendezés nem lehetséges, ha a projekt tartalmaz körfolyamatot. Ekkor célunk, hogy a diagonális alatt jelölt kapcsolatokat a tevékenységek átrendezésével a diagonálhoz közelítsük, ez a módszer a particionálás (Chen - Lin, 2002). Erre mutat egy példát a 3. ábra.

Kiinduló mátrix

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

Particionált mátrix

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

3. ábra: Tevékenységek átrendezése, körfolyamatok detektálása (dsmweb.org)

A módszer továbbfejlesztéseként nemcsak detektálni tudjuk a körfolyamatokat, hanem bizonyos esetekben össze is tudjuk vonni őket egy tevékenységbe (dsmweb.org) (Gebala – Eppinger, 1991).

Az előző példák elsősorban a logikai tervezés segítségét mutatták. Azonban ez a módszer nemcsak logikai tervezésre, hanem idő-, költség- és erőforrás-tervezésre, illetve újratervezésre is alkalmas (Khoo et al., 2003; Yan et al., 2002; Huang, Chen, 2006; Rick et al., 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.

Az eddig bemutatott módszereket alkalmazniák ütemezésre (Chen et al., 2003), illetve erőforrás-korlátozott projektütemezési problémák megoldására is (Yan et al., 2002), azonban a mátrixban nemcsak biztos (determinisztikus) kapcsolatok jelölésére van mód. Lehetőség van a kapcsolaterősség mértékének jelölésére is. Ezt a módszert **Numerikus DSM**-módszernak nevezzük, az „X”-ek helyett számokat írunk a cellákba. A Steward-féle bináris DSM csak szigorú megelőzési kapcsolatokat reprezentál (egy tevékenység vagy függ, vagy nem függ más tevékenységtől), nem nyújt további információt az interakció/kölcsönhatás természetéről. Ezzel a módszerrel nem lehet kezelni döntési pontokat. A módszer reprezentálhatja két tevékenység közötti függőség fokát. Ez lehetővé teszi például egy visszacsatolási hurok valószínűségének megjelölését, ezáltal prioritások képezhetőek a fontos iterációk között a folyamat tervezésében (dsmweb.org). Ez a leírás tulajdonképpen kapcsolati szinten kezelte a rákövetkezési relációk közötti bizonytalanságot.

4. táblázat: Legenerálható projektváltozatok

Már a DSM-módszernél is utaltak arra, hogy a tevékenységek közötti függőségi fokokat valamiféleképpen osztályozzák. A Numerikus DSM értékei a diagonálison kívüli cellákban többek között a tevékenységek közötti függőségek relatív fontosságát is reprezentálhatják (Yassine et al., 1999; Browning, Eppinger, 2002). (Üres cella értéke nulla, mely azt mutatja, hogy a tevékenységek között nincs függőség.) A diagonális értékek a tevékenység elvégzésének idejét mutathatják.

Az általunk kifejlesztett SNPM-módszerben mi is 0-val vagy üres cellával jelöltük, ha két tevékenység között *nincs* függőség: 1-essel, ha két tevékenység között *biztos* rákövetkezési reláció van. Ha két tevékenység között a kapcsolat erőssége 0 és 1 között van, akkor azt mondjuk, hogy a tevékenységek között *bizonytalan* kapcsolat áll fent. Ha a kapcsolat erőssége helyett azt mondjuk, hogy a kapcsolatok súlyszámai a kapcsolatok valószínűségét jelö-

lik, és ezt **A** és **B** tevékenység esetén $p_{(A,B)} \in [0,1]$ -gyel jelöljük, akkor $1-p_{(A,B)}$ annak a valószínűségét mutatja, hogy e 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 a

4. táblázat példájában ugyanannyi a valószínűsége annak, hogy **A** és **B** tevékenységet sorosan, vagy párhuzamosan hajtjuk végre.

A Numerikus DSM-módszernél a tevékenységek közötti kapcsolatokat különböző kategóriákba sorolták (például alacsony, közepes vagy magas függőség), így tettek némi különbséget közöttük (dsmweb.org). A mi modellünkben, a kapcsolat erőssége és/vagy valószínűsége 0 és 1 között bármilyen értéket felvehet. Az SNPM-módszer továbbfejlesztett változatában, melyet **projekt szakértői mátrix**nak neveztünk el (**PEM** – Project Expert Matrix), már nem csak a tevékenységek közötti kapcsolatok lehetnek bizonytalanok, sztochasztikusak, hanem a projektben végrehajtandó tevékenységek előfordulása is.

Az általunk kifejlesztett projekt szakértői mátrix (Kiss – Kosztján, 2009a,b) diagonalisában 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. (A bizonytalan kapcsolatot, illetve a bizonytalan tevékenység-előfordulást „?”-jellel jelöltük.)

5. táblázat: A projekt szakértői mátrix által meghatározható projektváltozatok

PEM	NDSM/SNPM	DSM	Háló																																				
<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A		X	B			<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td></td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A			B			<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A		X	B			<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A		X	B		
↓	A	B																																					
A		X																																					
B																																							
↓	A	B																																					
A																																							
B																																							
↓	A	B																																					
A		X																																					
B																																							
↓	A	B																																					
A		X																																					
B																																							
	<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td></td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A			B			<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td></td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A			B			<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A		X	B											
↓	A	B																																					
A																																							
B																																							
↓	A	B																																					
A																																							
B																																							
↓	A	B																																					
A		X																																					
B																																							
	<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td></td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A			B			<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td></td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A			B			<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A		X	B											
↓	A	B																																					
A																																							
B																																							
↓	A	B																																					
A																																							
B																																							
↓	A	B																																					
A		X																																					
B																																							
	<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td></td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A			B			<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td></td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A			B			<table><tr><td>↓</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>A</td><td></td><td>X</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td></td></tr></table>	↓	A	B	A		X	B											
↓	A	B																																					
A																																							
B																																							
↓	A	B																																					
A																																							
B																																							
↓	A	B																																					
A		X																																					
B																																							

Módszerünk alkalmazása során két lépésben kapjuk meg a lehetséges tevékenységeket és kapcsolatokat tartalmazó sztochasztikus PEM-ből az összes lehetséges projektstuktúrát de-terminisztikus DSM-mátrix, illetve gráf formában. A PEM bizonytalansága abból ered, hogy a lehetséges tevékenységek, illetve kapcsolatok mindegyike kétféleképpen valósulhat meg: vagy bekövetkezik, 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 időkeretet figyelembe véve mely tevékenységeket hajtunk végre, illetve melyek maradhatnak el. Más szavakkal arra keressük a választ, hogy **MIT** hajtunk végre azon tevékenységekből, amelyeket a projekt során el szeretnénk végezni.

Ha megvan a megvalósítandó projektváltozatunk, vagyis hogy mely tevékenységeket fogjuk végrehajtani, akkor merül fel a kérdés, hogy ezeket a tevékenységeket **HOGYAN**, mi-

Ilyen logikai sorrendben, milyen rákövetkezősek alapján hajtjuk végre. 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.

3.2 Mátrix-alapú projekttervezési módszerek alkalmazása karbantartási tervek, karbantartási projektek összehallgatására

Hogyan lehet ezeket a mátrix-alapú projekttervezési módszereket karbantartási tervek összehallgatásánál használni? Egy-egy berendezés javításának technológiai folyamata általában kötött. Legtöbbször nincs lehetőség a műveletek párhuzamosítására, illetve a műveletek technológiai sorrendjének felcserélésére. Azonban döntés kérdése, hogy mely berendezéseket és milyen sorrendben tartunk karban az elkövetkezendő időszakban. Az egyes berendezések karbantartása sokszor egymástól független folyamat, így ha a rendelkezésre álló idő- és erőforráskorlátokat is figyelembe vesszük, akkor nagy segítséget nyújthat egy olyan szakértői rendszer, mely a berendezések várható meghibásodásán túl ezeket a korlátokat is figyelembe veszi a karbantartási terv elkészítésénél.

A projekt szakértői mátrix átlójába a meghibásodás valószínűségeit írjuk, melyet az 1. és 2. fejezetben leírtak szerint kapunk. Az 1. fejezetben leírtak szerint az elvégzendő karbantartási tevékenységeket kategorizáljuk megbízhatósági, illetve kockázati alapon: az elkövetkezendő időszakban kötelező végrehajtani őket, ajánlott, de nem kötelező vagy a végrehajtásuk a következő időszakra maradhat.

Minél nagyobb egy tevékenység várható meghibásodása/kockázata, annál nagyobb a valószínűsége, hogy ezt az elkövetkezendő időszakban javítanunk, karbantartanunk kell. Ha egy karbantartási tevékenység végrehajtási valószínűsége p , akkor $1-p$ annak a valószínűsége, hogy nem hajtjuk végre az adott karbantartási tevékenységet a következő időszakban. Egy karbantartási projektváltozat/karbantartási tervváltozat valószínűsége a tevékenységek végrehajtási/végre nem hajtási valószínűségeinek geometriai átlaga. Hasonlóképpen a tevékenységek kapcsolati valószínűségeinek geometriai átlaga megadja a projektstruktúra valószínűségét.

Ha a megvalósítandó tevékenységek végrehajtási sorrendjére nincs semmilyen megkötés, akkor egyrészt célszerű a nagyobb meghibásodási valószínűségű, nagyobb kockázatú (ebből adódóan nagyobb végrehajtási valószínűséggel rendelkező) karbantartási tevékenységek megvalósításával kezdeni. Ezeket a tevékenységeket a PEM-mátrixban is előrébb soroljuk. Majd a tevékenységek rákövetkezősi relációja az ún. indifferens kapcsolati erősség (esetünkben ez 0,5) lesz. Ebben az esetben ugyanis mindegy, hogy (a 4. ábra látható) két tevékenységet sorosan, vagy párhuzamosan hajtjuk végre. Ha (a 4. ábra látható) T1, T2 tevékenység esetében) jobban preferáljuk a soros végrehajtást a párhuzamosnál, akkor a 0,5-ös értéknél nagyobb értéket rendelünk a T1, T2 tevékenység rákövetkezősi relációjához. Elsődleges célfigyelményünk a legvalószínűbb projektváltozat kiválasztása lesz. A tevékenységek kiválasztása előtt megadhatjuk azt a kockázati szintet, amely felett egy tevékenység mindenképpen szerepel a karbantartási tervben.

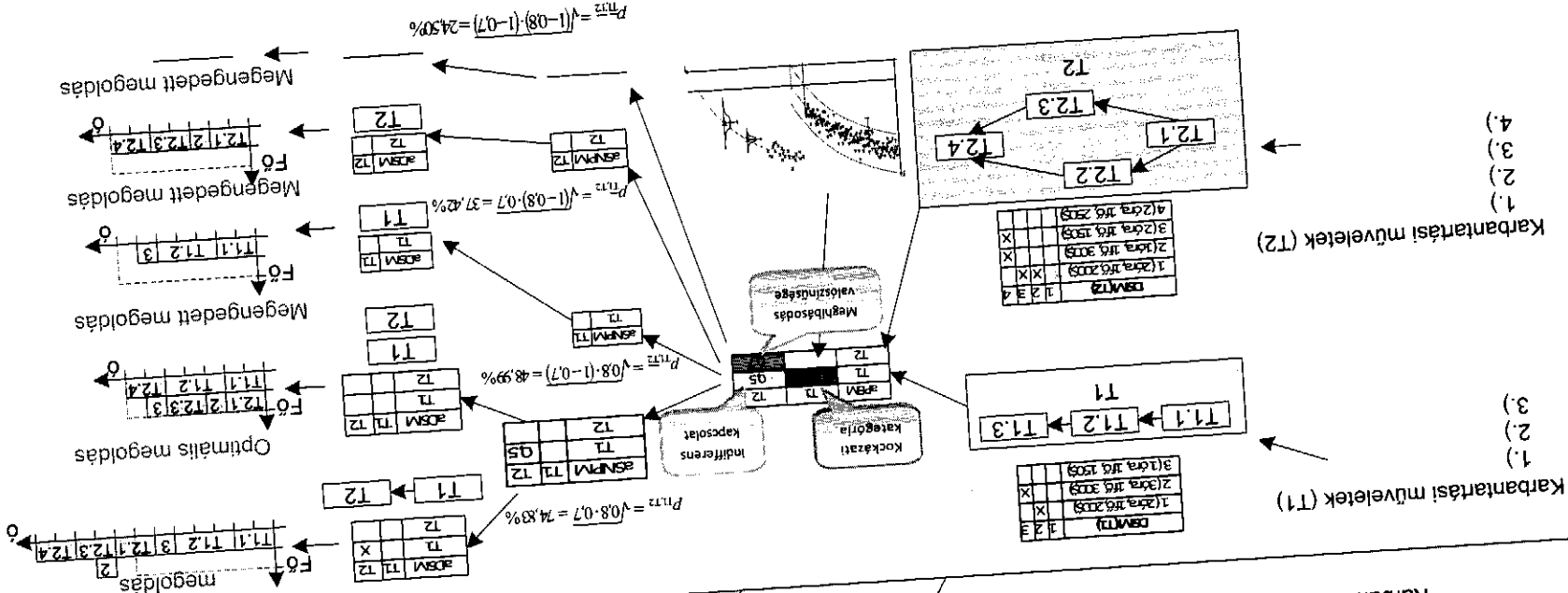
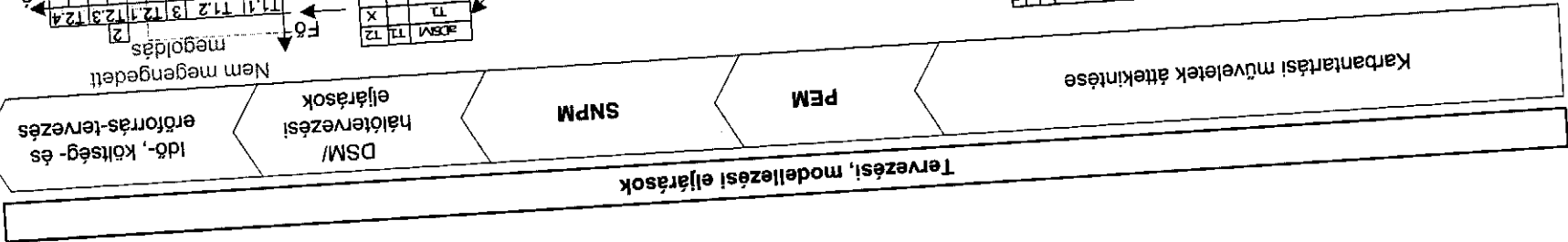
A szakértői rendszerünk először a lehetséges karbantartási terveket határozza meg, vagyis arra a kérdésre fogunk válaszolni, hogy **MIT**, milyen tevékenységeket hajtunk végre a karbantartási tevékenységekből. Másodlagos célfigyelménynek a projektstruktúrák valószínűségeinek maximalizálását lehet választani. Ezzel a módszerrel a lehetséges végrehajtási sorrendeket rangsorolhatjuk. Vagyis arra a kérdésre válaszolhatunk, **HOGYAN**, milyen sorrendben hajtathatjuk végre a tevékenységeket. Korlátként az időt, a költség-, valamint az erő-

forrásigényeket adhatjuk meg. Azt a karbantartási tervet választjuk, ahol (az idő-, költség-, erőforrás-) korlátokat figyelembe véve a projektváltozat valószínűsége a legnagyobb (legnagyobb meghibásodási valószínűséggel/legnagyobb kockázattal rendelkező problémák kijavításához szükséges karbantartási tevékenységeket hajtjuk végre). Ezen belül olyan tevékenységi sorrendet választunk, amelyet a szakértők leginkább preferálnak. (Ha nem rangsorolják a tevékenységek sorrendjét, akkor a kapcsolatok erősségéhez/valószínűségéhez 0,5-öt rendelünk).

Kimenetként egy olyan karbantartási tervet kapunk, melyben pontosan megkapjuk, hogy mely tevékenységeket, ezen belül mely műveleteket kell végrehajtanunk. Milyen sorrendben, mennyi idő alatt kell végrehajtanunk ezeket a tevékenységeket, ehhez mennyi költséget és erőforrást használunk fel. A módszer menetét a 4. ábra szemlélteti.

A tevékenységek költségeinél a 2. fejezetben bemutatott elmaradt hasznót is szerepeltethetjük, hiszen ha egy berendezés valamely alkatrészét túl korán cseréljük, akkor ez is többet költséget jelent.

Attól függően, hogy mikor tartunk karban a karbantartási tevékenységeknek nemcsak a költsége, hanem a megbízhatósága, kockázata is változhat, így a számításoknál ezt is figyelembe kell venni. Az optimális karbantartási terv, mint projektterv meghatározására genetikusan algoritmusokat használtunk, melyek kiválóan használhatók olyan esetekben, amikor sok lehetséges megengedett megoldás közül kell kiválasztani a legjobbat.



Szakértői kérdések/válaszok

MILYEN Karbantartási műveleteket kell végrehajtaniunk az elvégzendő tevékenységekből

HOGYAN, milyen sorrendben hajtsuk végre a tevékenységeket?

MENNYI idő alatt, költséggel és erőforrással lehet a tevékenységeket végrehajtani?

4. ábra: Karbantartási tervek összeállítása (T1 tevékenység megvalósítása valószínűsége $P_{T1}=0.8$; T2 tevékenység esetén ez $P_{T2}=0.7$. Az erőforrás-korlát 2 fő, az időkorlát 7 munkóra, a költségkorlát pedig 1600\$)

3.3 Informatikai megoldások a karbantartási projektek összeállítására

A legnagyobb (relatív) prioritással rendelkező projektháló kiszámítására genetikus algoritmusokat alkalmaztunk. A genetikus algoritmusok nagyon hatékony sztochasztikus algoritmusok. Bármilyen probléma megoldására érdemes őket használni, amire nincs determinisztikus algoritmus, mivel a kimerítő és a véletlen keresésnél jóval gyorsabban képesek jó eredményt adni. Általában NP-nehez problémára alkalmazzák őket, mint amilyen például az órarendtervezés vagy az utazó ügynök probléma, de különböző területeken használják őket ütemezésre is (Orbán – Mann, 2001; Fang, 1994; Feng – Yeh, 2006; Rick et al, 2006; Hartmann, 1998; Boyd – Savory, 2001; Sakawa, 2000).

Működésük lényege, hogy fenntartanak egy (bizonyos esetekben több) populációt, melynek minden egyede a probléma egy megoldása. Ezeken az egyedeken hajtják végre az evolúciós operátorokat, mint amilyen a szelekció, mutáció és a keresztezés. Minden egyed rendelkezik egy jósági értékkel (fitness érték), amely egy szám által reprezentálja a megoldás optimalizálhoz történő közelségét. Egy egyed általános leírását genome-nak hívjuk. Ez tartalmazza a rajta elvégezhető műveletek módját és az egyed minden információját.

Habár egy genetikus algoritmus eredménye nem feltétlenül az optimum (sztochasztikusságából kifolyólag), azonban statisztikailag kimutatható, hogy képes a valós optimumok megtalálására. Annak igazolására, hogy egy adott futás valós optimumot generált-e, a keresési tér előzetesen történő teljes kiértékelése szükséges (abban az esetben, ha nem létezik determinisztikus algoritmus az optimumok előállítására).

A legjobb DSM kiválasztásának problémájához készített genome kettő keresztezési eljárást tartalmaz. Az első során a két DSM-mátrixot a mellékátló mentén vágjuk ketté, és a két szülő egyed fél-fél mátrixából létrejön egy-egy új egyed DSM-mátrixa. A másodikat nagyobb sztochasztikusság jellemzi. Ebben az esetben 50% valószínűséggel kerül bele a gyerek egyedek DSM-mátrixába a kiválasztott szülő egyed DSM-mátrixának egy eleme. Nyilvánvaló, hogy ha a kiválasztott mátrix-cella már bekerült az egyik gyerek DSM-mátrixába, akkor a másik gyermek a másik szültől kapja meg az információt. Ez utóbbi keresztezés jobban összekeveri az információt, azonban ez a nagymértékű sztochasztikusság a populáció fejlődésének előrehaladtával nem mindig kifizetődő, így a keresztezéseknek csupán 30%-ában választódik ki ez a művelet, míg az elsőként leírt eljárást az esetek 70%-ában alkalmazza az algoritmus.

Tartalmilag lényeges genetikus operátor még a *mutáció* is, mely fontos, hogy az algoritmus ne rekedjen meg a lokális optimumnál. A mutáció jelen esetben annyit jelent, hogy az eredeti PEM-mátrix lehetséges (0 és 1 közötti) értékeinél a DSM-mátrix elemeit egyenként vizsgálva 50% eséllyel megváltoztatjuk 1-es értékből 0-ra, a 0-ból pedig 1-esre. Ezt az operátort csak 20-30% eséllyel használjuk.

A *szelekciós* eljárást egy ún. tournament selector valósítja meg, melynek lényege, hogy a véletlenszerűen kiválasztott egyedek között versengés zajlik (páronként) majd, mint egy bajnokság esetén is, a győztes jut tovább az adott genetikus operátorokhoz.

3.4 Kommunikáció projekttervezési, karbantartási szoftverekkel

Magyarországon az egyik legelterjedtebb projekttervező eszköz az MS Project (microsoft.com) és a Primavera (oracle.com). Mi az előbbi rendszerrel valósítottuk meg egy interfész program segítségével a kapcsolatot. Ennek egyik oka, hogy az MS Project képes szöveges XML (eXtended Markup Language) file-ba kimenteni a projekteket, melyeket meg-

felelő eszközökkel értelmezni tudunk. Az MS Projectben plusz oszlopokat is definiálhatunk, melyeket mi a tevékenységek megvalósítási prioritásának, valamint a kapcsolatok (megvalósítási sorrend) prioritásának tárolására használtunk.

Az egyik megoldandó feladat az volt, hogy a tevékenységek megbízhatósági, kockázati besorolása, a tevékenységek végrehajtásának prioritásként megjelenjenek a programunkban. Az egyes tevékenységeket mi MS Projectben tároljuk. További (Szám1) oszlopként jelenik meg a tevékenységek relatív végrehajtási prioritása. Egy újabb (Szöveg1) oszlopban jelenik meg a (megelőző) kapcsolatok prioritása is.

Ezzel bemenetként egy PEM-mátrixot tudunk értelmezni az MS Project környezetben. Az egyes projektváltozatokhoz tartozó projektstruktúrák legenerálása után kimenetként ismét az MS Project által értelmezhető XML file-okat generáltunk. Módszerünk segítségével pedig kiválasztható az optimális projektstruktúra, mely a továbbiakban szintén MS Projectben kezelhető.

3.5 Párhuzamosított informatikai megoldások

Míg az előbbi megoldás azt szolgálta, hogy az általunk kifejlesztett rendszer más alkalmazásokból is tudjon információt nyerni, hogy mely karbantartási tevékenységeket milyen sorrendben kell elvégezniük. A most bemutatandó informatikai megoldással a számítási időt kívánjuk csökkenteni. A lehetséges projektstruktúrák kiszámítása kombinatorikus feladat. Bár ritkán fordul elő, hogy egyszerre akár 50-100 berendezés javítását is ütemezniük kell, de az itt bemutatott genetikus módszerek akár ebben az esetben is alkalmazhatók. A számítási teljesítmény növelhető, ha a számításigényes feladatokat szétosztjuk pl. különböző számítógépek között. Azonban lehetőség van elosztott algoritmusok futását egy számítógépen is tesztelni.

Az egyik ilyen ígéretes lehetőség, amikor a számítógép processzora helyett a grafikus processzort vesszük igénybe. Az NVIDIA (nvidia.com) által kifejlesztett CUDA (CUDA guide, 2007) technológia lehetővé teszi, hogy számításigényes feladatokra a grafikus processzort is igénybe vegyük. Bár eddig elsősorban video tömörítésre használták ki a technológiai lehetőségeket, mi megpróbáltuk implementálni a mi módszerünket e technológia segítségével is azért, hogy jelentős mértékben megőrvejljék a számítási teljesítményt. A szimulációs eredmények azt mutatták, hogy bonyolultabb feladatok (50 tevékenységet tartalmazó karbantartási tervek) is néhány perc alatt megtervezhetők genetikus algoritmusok segítségével. Nem okoz problémát, ha egy-egy tevékenység akár 200 művelelel áll, mert itt a feladat nagyságát a bizonytalan kapcsolatok (több lehetséges végrehajtási sorrend) és a bizonytalan tevékenységek (végrehajtjuk-e a tevékenységet vagy sem) határozza meg, így a bemutatott módszertünkkel komplex karbantartási projektek is menedzselhetők.

4. Esetpélda – informatikai infrastruktúra karbantartása

A következő esetpéldában egy számítástechnikai infrastruktúra karbantartásának támogatását mutatjuk be, melyen keresztül ismertetjük a kifejlesztett szakértői rendszer alkalmazásának lehetőségeit.

A hardverek és szoftverek karbantartása komplex és bonyolult kapcsolati rendszerrel rendelkezik, ezt a gyakorlatból kiemelt 5. ábra is alátámasztja. A korábban bemutatott mátrixos vezérlési módszer alkalmazásával a karbantartás tervezhetővé válik. A tevékenységek kockázat alapú értékelését követően karbantartási tervet állíthatunk össze, amely az idő-, erőforrás- és költségkorlátnak megfelel.

a tevékenységek sorrendjét is megállapítottuk. A modulok végrehajtását a szigorúan előírt tevékenységekkel kezdtek meg, majd ezt a többi tevékenység végrehajtása követte. Egyre több tevékenység volt végrehajtható, hiszen számítógépes diagnosztika alkalmazásával egy időben több ellenőrző program is futtatható. Az erőforrás minden egyes operátori állomás esetében 1 karbantartó személyre korlátozódik.

Modulok	Tevékenységek										
		Standard Diagnosztika futtatása	Riasztások és események figyelése	Lemezhasznosítás ellenőrzése	VDU-k ellenőrzése	Számítógép ellenőrzése	Nyomtató ellenőrzése	Operációs Rendszer Diagnosztika futtatása	Adatgyűjtő alkalmazás ellenőrzése	Power down	Vírusvédelem ellenőrzése
Speciális rendszer ellenőrzések	Standard Diagnosztika futtatása										
	Riasztások és események figyelése		0,70								
	Lemezhasznosítás ellenőrzése										
	Lépcső ellenőrzése	1,00	1,00	1,00	1,00						
	Levegő ellenőrzése					1,00					
	Ellenőrzés ellenőrzése					0,65					
	Nyomtató ellenőrzése										
	Operációs Rendszer Diagnosztika futtatása							1,00	0,65		
	Adatgyűjtő alkalmazás ellenőrzése							1,00	1,00		
	Power down										
Mentési folyamat ellenőrzése - BUS	Mentési folyamat ellenőrzése, rendszeres mentések elvégzése (automatizált, manuális)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Vírusvédelem ellenőrzése										

6. ábra: Operátori állomás alacsony kockázati tevékenységekkel redukált kapcsolati mátrixa

Az idő- és költségkorlátokat figyelembe véve pedig a legnagyobb prioritással rendelkező projektváltozatot kerestük. Kimeneként olyan karbantartási tervet kaptunk (6. ábra), amelyben az alacsony kockázati tevékenységek már nem szerepeltek, és már így is megfelelt a terv az időkorlátnak. Mivel az alacsony kockázati tevékenységek a továbbiakban már nem képezik a karbantartási terv részét, így a költségek is redukálódnak, méghozzá 33 850 Ft-tal. A mátrixos tervezési módszer alkalmazásával így a megrendelő által támogatott korlátoknak megfelelt az így összeállított karbantartási terv.

5. Összefoglalás

A bemutatott módszerek több éves kutatómunka eredményét képezik. A szakértői rendszer megalkotásában nagy szerepet játszott annak vizsgálata, hogy hogyan lehet figyelembe venni a mérési bizonytalanságot állapotfüggő karbantartás esetén. Vizsgáltuk, hogy milyen módon jelezhető előre a folyamat. Tudunk-e következtetni, hogy mikor kell újabb mérést elvégezni, illetve mikor kell esetlegesen beavatkozni a folyamatba, mikor kell az egyes berendezéseket cserélni. Ezt az ismeret felhasználva tervezni tudjuk az elkövetkezendő időszakban a karbantartási tevékenységeket.

Bár a karbantartási műveletek technológiai sorrendje egy-egy berendezés javítása esetén általában kötött, az egyes berendezések javítása különböző sorrendben is elvégezhető. A javítá-

sok prioritását meghatározhatja a karbantartási tevékenységek kockázati besorolása. Amennyiben adott a költség-, erőforrás-, illetve időkeret, akkor a bemutatott módszerek segítségével olyan projektterv készíthető, amely alapján a legszükségesebb javítások tervezhetők, ütemezhetők. A bemutatott informatikai megoldást viszonylag nagy projektek esetén is lehet alkalmazni, mely önállóan is képes működni, de képes egy projekttervezési rendszerrel is együttműködni.

Irodalomjegyzék

1. Boyd, James C. - Savory, John (2001): Genetic algorithm for scheduling of laboratory personnel. *Clinical chemistry*; 47(1), pp. 118-23.
2. Browning, Tyson R., - Eppinger, Steven D. (2002): Modeling Impacts of Process Architecture on Cost and Schedule Risk in Product Development, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 49(4), pp. 428-442
3. Chen, Chun-Hsien - Ling, Shih Fu - Chen, Wei (2003): "Project scheduling for collaborative product development using DSM." *International Journal of Project Management* 21, 291-299.
4. Chen, Shi-jie - Lin, Li (2002): "A Project Task Coordination Model for Team Organization in Concurrent Engineering." *Concurrent Engineering* 10, 187-202.
5. Danilovic, Mike - Browning, Tyson R. (2007): "Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices." *International Journal of Project Management* 25 300-314.
6. Eppinger, Steven D. - Whitney, Daniel E. - Smith, Robert P. - Gebala, David A. (1994): "A model-based method for organizing tasks in product development," *Research in Engineering Design*, 6, 1-13.
7. Fang, Hsiao-Lan (1994): *Genetic Algorithms in Timetabling and Scheduling*. University of Edinburgh, PhD Thesis.
8. Feng, Chung-Wei - Yeh, Yu-Chuan (2006): Using DSM and fmGA to determine the optimal design process for engineering design projects, *The 23rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC*, pp. 90-95.
9. Gebala, David A. - Eppinger, Steven D. (1991): Methods for analyzing design procedures, in *Proceedings of 3rd International ASME Conference on Design Theory and Methodology*, pp. 227-233
10. Hartmann, Sönke (1998): *A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling*. Naval Research Logistics, 45(7), pp. 733-750.
11. Huang, Enzhen - Chen, Shi-Jie (Gary) (2006): Estimation of Project Completion Time and Factors Analysis for Concurrent Engineering Project Management: A Simulation Approach. *Concurrent Engineering* 14, pp.329-341.
12. Khan, Faisal I. - Haddara, Mahmoud M. (2003): Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Volume 16, Issue 6, pp. 561-573
13. Khoo, Li Pheng - Chen, Chun-Hsien - Jiao, Limin (2003) A Dynamic Fuzzy Decision Support Scheme for Concurrent Design Planning. *Concurrent Engineering* 11, pp 279-288.
14. Kiss, Judit - Kosztján, Zsolt Tibor (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
15. Kiss, Judit - Kosztján, Zsolt Tibor (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
16. Kosztján Zsolt Tibor - Csizmadia Tibor - Hegedűs Csaba (2008): Mérési bizonytalanság figyelembevétele mintavételes megfigyelésvizsgálatnál. *XX. Nemzetközi Karbantartási Konferencia*. Veszprém, 2008. június 13-15.
17. Kosztján Zs. T. - Csizmadia T. - Hegedűs Cs. - Kovács Z. (2009): A new approach to forecasting conformity treating measurement uncertainty in SPC, *AVA (International Congress on the Aspects and Vision of Applied Economics and Informatics)*, Debrecen 26. March 2009.
18. Kosztján Zs. T. - Csizmadia T. - Hegedűs Cs. - Kovács Z. (2010): Treating measurement uncertainty in complete conformity control system. *Innovations and Advances in Computer Sciences and Engineering* (edited by Tarek Sobh) Springer Netherlands, 2010. pp. 79-84
19. Kovács Zoltán, Hegedűs Csaba, Kosztján Zsolt Tibor, Csizmadia Tibor (2009): Bizonytalanságok figyelembe vétele műszaki diagnosztika esetén, *XXI. Nemzetközi Karbantartási Konferencia*. Veszprém, 2009. június 8-9.

20. Kovács L. - Kovács Z. - Pató Gáborné Sz. B.: FMEA alapú karbantartás kialakításának tapasztalatai autópálya vállalatnál, "A karbantartás fejlesztésben: minőség – hatékonyság – rendelkezésreállás" XIX. Nemzetközi karbantartási konferencia, Veszprém, 2007. június 11-13. II. köt. 73-84. o.
21. MIT DSM Research Group (2005) MIT DSM Web Site (<http://www.dsmweb.org/>)
22. Nagy Péter József (2010): A kockázatbecslés és kockázatkezelés alkalmazása győgszeripari IT rendszerek validálásában. *Minőség és Megbízhatóság* 2010/2. pp. 94-102
23. Orbán, András - Mann, Zoltán Ádám (2001): Új ütemező algoritmusok a magas szintű szintézisben, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, OTDK 1. hely Témavezető: Arató Péter
24. Rick, Tamás - Horváth, Márk - Bercesy, Tibor (2006): Design tasks scheduling using genetic algorithms. *Periodica Polytechnica Ser. Mech. Eng.*, 50(1):37-51.
25. Sakawa, Masatoshi – Kubota, Ryo (2000): Fuzzy programming for multiobjective job shop scheduling with fuzzy processing time and fuzzy due date through genetic algorithms. *European Journal of Operational Research*, 120(2), pp. 393-407.
26. Steward, Donald V. (1981): *System Analysis and Management: Structure, Strategy, and Design*. New York: search, 120(2), pp. 393-407.
27. Szabó Lajos (2005): *A karbantartás-menedzsment szerepváltozása. Karbantartási kézikönyv*. Könyvrészlet. Petocelli Books
27. Szabó Lajos (2005): *A karbantartás-menedzsment szerepváltozása. Karbantartási kézikönyv*. Könyvrészlet. Raabe Kiadó, Budapest, ISBN 963 861 78 3 7
28. Szabó Lajos - Gaál Zoltán (2006): *Project Success and Project Excellence*. In "Sharing Knowledge and Success for the Future". MMSupport GmbH, Bern, ISBN 978-3-9523151-01, pp. 193-198.
29. Szabó Lajos - Dancsóc Gabriella - Csepregi Anikó (2007): *Karbantartási projektek szervezése és vezetése. "A karbantartás fejlesztésben: Minőség – Hatékonyság – Rendelkezésre állás" c. Nemzetközi Karbantartási Konferencia kiadványa*. Pannon Egyetem, Veszprém, pp. 52-72.
30. Tang, Dunbing - Zhu, Renmiao - Tang, Jicheng - Xu, Ronghua - He, Rui (2009): *Product design knowledge management based on design structure matrix, Advanced Engineering Informatics*
31. Xiao, Renbin - Chen, Tinggui - Tao, Zhenwu (2007): *Information modeling and reengineering for product development process*, ISSN 1 746-7233, England, UK *International Journal of Management Science and Engineering Management* Vol. 2 No. 1, pp. 64-74
32. Yan, Hong-Sen - Wang, Zheng - Jiang, Min (2002) *A Quantitative Approach to the Process Modeling and Planning in Concurrent Engineering*, *Concurrent Engineering*, 10:97-111.
33. Yassine, Ali A.. - Falkenburg, D. - Chelst, K. (1999): *Engineering design management: An information structure approach*, *International Journal of Production Research*, vol. 37
34. www.nvidia.com
35. CUDA (Compute Unified Device Architecture) Programming Guide 3.0 (2007): http://developer.download.nvidia.com/compute/cuda/3_0/toolkit/docs/NVIDIA_CUDA_ProgrammingGuide.pdf
36. <http://www.microsoft.com/projecten/us/default.aspx>
37. <http://www.oracle.com/primavera/index.html>
38. Rausand, Marvin (1998): *Reliability centered maintenance. Reliability Engineering System Safety*, 60, pp. 121-132