

E-CONOM

Online tudományos folyóirat
Online Scientific Journal

Tanulmányok a gazdaság- és társadalomtudományok területéről
Studies on the Economic and Social Sciences



E-CONOM

Online tudományos folyóirat | Online Scientific Journal

Főszerkesztő | Editor-in-Chief
JUHÁSZ Lajos

Kiadja | Publisher
Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó |
University of West Hungary Press

A szerkesztőség címe | Address
9400 Sopron, Erzsébet u. 9., Hungary
e-conom@nyhme.hu

A kiadó címe | Publisher's Address
9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4., Hungary

Szerkesztőbizottság | Editorial Board
CZEGLÉDY Tamás
JANKÓ Ferenc
KOLOSZÁR László
SZÓKA Károly

Tanácsadó Testület | Advisory Board
BÁGER Gusztáv
BLAHÓ András
FÁBIÁN Attila
FARKAS Péter
GILÁNYI Zsolt
KOVÁCS Árpád
LIGETI Zsombor
POGÁTSA Zoltán
SZÉKELY Csaba

Technikai szerkesztő | Technical Editor
TARRÓ Adrienn

A szerkesztőség munkatársa | Editorial Assistant
TARRÓ Adrienn

ISSN 2063-644X



Tartalomjegyzék | Table of Contents

CSUGÁNY Julianna

Az intézmények szerepe a technológiai haladás gazdasági növekedésre gyakorolt hatásának érvényesülésében

The Role of Institutions in Realising the Effects of Technological Progress on Economic Growth 1

ÚR Norbert

B2B kapcsolatok az üzleti hálózatban

B2B Relationship in Business Network 12

GYÖRKÖS Rita

Gyártósor-konfigurációk elemzése gyártósor-kiegyenlítési modellekkel egy alkatrész összeszerelő üzem példáján

Analysis of Assembly Line Configurations with Assembly Line Balancing Models in Case of a Part Manufacturer 22

KATONA Attila Imre

A beavatkozási határok módosítása a mérési bizonytalanság, valamint a termékparaméterek megváltozásának figyelembevételével a statisztikai folyamatszabályozásban

Modification of the Control Lines Considering the Measurement Uncertainty and the Product Characteristic Change in Statistical Process Control 35

KATONA Attila Imre

Ellenőrző kártya-illesztési folyamat kidolgozása a mérési bizonytalanság figyelembevételével a statisztikai folyamatszabályozásban

Construction and Implementation of Control Charts Considering Measurement-Uncertainty in Statistical Process Control 46

KURBUCZ Marcell

Emberi erőforrások optimális kiválasztásának vizsgálata a projekttervezésben

Impacts of Human Resources on Project Planning 58

NÉMETH Anikó

Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése

Matrix-Based Planning of Maintenance Projects 79

NÉMETH Kristóf

GARCH modellek a pénzügyi kockázatok észlelésében

GARCH Models in the Perception of Financial Risks 99

Kiss Ágota

A valós értékelés létjogosultsága a tőzsdei vállalatok éves és a konszolidált beszámolóiban

The Role of Fair Value in Annual and Consolidated Report of Stock Firms 116

CZELLENG Ádám

Flexibilitás hatása a tőkeszerkezetre

The Impact of Flexibility on the Capital Structure 128

ÉKES Szeverin Kristóf

A vállalati szektor csődelőrejelzésének „relativitás elmélete”

The Theory of Relativity of the Bankruptcy Forecast in the Company Sector..... 141

DURKÓ Emília

Földgáz- és megújuló energia alapú fűtési rendszerek beruházás

gazdaságossági vizsgálata egy 100 m²-es családi ház példáján keresztül

Examining the Investment Economy of Heating System Using Natural Gas and

Renewable Energy Resources through the Example of a 100 m² Detached House..... 156

Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése¹

NÉMETH Anikó²

A vállalatok karbantartás tervezői a rendelkezésre álló információk, adatok figyelembe-vételével igyekeznek a legjobb döntést hozni. Ezek a döntések nem biztos, hogy a vállalat számára megfelelő eredményt fogják elérni, de az is előfordulhat, hogy nem áll majd rendelkezésre elegendő idő, költség vagy munkaerő a tervek kivitelezéséhez. Egyszerűnek tűnhet a megoldás. Olyan projektet kell tervezni, ami minden igényt kielégít és a lehető legtöbb információt feldolgozza és a tervezés során figyelembe veszi.

„Ha a lehetőség nem kopogtat be hozzád, csinálj magadnak egy ajtót!” - hangzott el Milton Berte tollából, amelyet én úgy értelmezek a mai napon, hogy az eddig ismert és a gyakorlatban bevált tervezési és elemzési eljárásokat össze kell dolgozni, hogy a vállalatok lehetőséget lássanak az új megközelítésekben, az új tervezési eljárásokban. „Vagy találunk ott utat, vagy építünk egyet.” – mondta Hannibál. Több utat is találtam, de egyen mehettem tovább. Ezt viszont átépítettem magamnak, hogy minden lehetőséget és szükséges módszert tartalmazzon.

Kulcsszavak: karbantartási projektmenedzsment, karbantartási projekttervezés, megbízhatóság alapú/ kockázat központú projekt szakértői mátrix
JEL-kódok: M11, M15, M19, O29

Matrix-Based Planning of Maintenance Projects

What the maintenance engineers of companies are to achieve, is well described by the following quote from the movie, Wedding Crashers: "You never know what future brings for us. The only thing we can do is to make the best decision based on the available information." These engineers aim to select the optimal project candidate considering the available information and data, which may not result in the expected outcome in the end. Moreover, the company will may lack of time, human or financial resources to even carry out the plan. As a consequence, projects should be planned to satisfy all type of requirements. The question is: is this achievable?

During project planning, the methodology considers risk and reliability factors of equipments as inputs. Based on these values, a priority order of interventions can be established, that can help in the maintenance plan design. An important aspect of the methodology is to take into consideration the constraints subject to time, financial, and other resources as well.

Keywords: Matrix-based project planning method; risk-reliability project expert matrix; maintenance projects
JEL Codes: M11, M15, M19, O29

¹ A tanulmány a XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Közgazdaságtudományi Szekciójának Vezetés, szervezés I. Tagozatában első helyezést elért dolgozat alapján készült. Az OTDK-pályamunka konzulense Dr. Kosztyán Zsolt Tibor egyetemi docens.

² A szerző a veszprémi Pannon Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszékének PhD hallgatója (nemethani AT gtk.uni-pannon.hu). A szerző 2013-ban Pro Scientia Aranyérem kitüntetésben részesült.

Bevezető

Egy projekt átfutási idejét, költség- és erőforrásigényét a tervezési fázis során határozzuk meg. A projektek, folyamatok tervezésének és ütemezésének egyszerű és átlátható módja a mátrixban való ábrázolás. A függőségi mátrix (DSM = Dependency Structure Matrix), vagy akár a sztochasztikus hálótervezési módszer (SNPM = Stochastic Network Planning Method) a tevékenységek sorrendjének tervezésére szolgál. A DSM és az SNPM is a tevékenységek végrehajtási sorrendjének megállapítására használható, de az SNPM a tevékenységek közötti kapcsolatok erősségét is figyelembe veszi, valamint paraméterei változtathatóak, tehát szélesebb körben alkalmazható. Ennek a módszernek továbbfejlesztése a projekt szakértői mátrix (PEM = Project Expert Matrix), amely a tevékenységek közötti összes lehetséges kapcsolat mellett tartalmazza a tevékenységek előfordulásának valószínűségeit, illetve tartalmazhatja költség-, erőforrás- és időigényeit.

Célom az volt, hogy olyan projekttervezési módszert dolgozzak ki, amely a karbantartási területen alkalmazható. A projekttervezés során bemeneti adatként a berendezésekre vonatkozó megbízhatósági, illetve kockázati adatokkal dolgozok. Ezek alapján egy beavatkozási prioritási sorrend állapítható majd meg, mely segítséget nyújt a karbantartási terv összeállításában. Fontos szempont, hogy a tervezés során nemcsak a berendezések megbízhatósági, illetve kockázati adatait veszi figyelembe, hanem ezen túl a terv kialakítása során a rendelkezésre álló idő-, költség- és erőforráskorlátot is.

Karbantartás jelentősége és tervezhetőségének nehézségei

Minden munkát végző ember tevékenységei során eszközt vagy eszközöket használ, amelyek elromolhatnak, tönkremehetnek. Így megállapítható, hogy a karbantartás problematikája már azóta jelen van életünkben, mióta eszközöket használunk. Ezen munkavégzési eszközök javításáról gondoskodni kell, hogy a további értékteremtés céljait ki tudják szolgálni. Így következtethetünk arra, hogy a karbantartás azoknak a tevékenységeknek az összessége, amelyeket el kell végezni az állóeszközök üzemképessége és rendeltetésszerű használata érdekében. Másképp megfogalmazva, a karbantartás mindazoknak a műszaki és adminisztratív tevékenységeknek a kombinációja, amelyek célja az, hogy a terméket előírt funkciójának teljesítésére alkalmas állapotban megtartsák, illetve ebbe az állapotba visszaállítsák (*Gaál & Kovács, 2010; Gaál, 2007; Garbatov & Guedes Soare, 2009; Garbatov & Guedes Soare, 2001; Selvik & Aven, 2011*).

Bátran kijelenthetjük, hogy ma már a karbantartás összetettebb. Nemcsak a vállalati működés támogatását kell kielégítenie, hanem jelentős szerepet tölt be a termelő- és szolgáltató folyamatok hatékonyságának növelésében, így a szervezetek fennmaradásában és fejlődésében is orozlánrészt vállal. A nagyvállalatok karbantartás tervezői, sok munkával eltöltött hét, esetleg hónap alatt összeállított terveikben foglalják össze a karbantartási részleg feladatait. Ezek azonban gyakran betarthatatlannak bizonyulnak és már műhely szintjére elérve többnyire elhalnak. A jelenség okát ugyanakkor nem a készítők szaktudásában kell keresni, érdemes mélyebbre ásni.

Gyakori probléma, hogy a tervek megírói még csak meg sem érintették soha a berendezéseket, amelyekről véleményt alkottak, nem ismerik a berendezések funkcióit, hibáit, azok hatásait és következményeit. Nem ritka, hogy olyan, egyébként kiemelkedő tudással rendelkező szakemberek állítják össze a karbantartási terveket, akik azzal sincsenek tisztában, hogy egyáltalán milyen körülmények között üzemel az adott berendezés. Jól példázzák az esetet a minden újonnan vásárolt berendezéshez mellékelt karbantartási utasítások, amelyeket a gyártó vállalat állít össze elméleti számításokra alapozva. Az így elkészült tervek általános jellegűek és pontatlan leírásokat tartalmazhatnak. Megoldást jelent, hogy már a berendezések átvizsgálási folyamatában, azok értékelésébe a műhelyi dolgozókat is bevonják, hiszen ők azok, akik

ténylegesen ismerik és tudják a berendezések működését, tudják, hogy mi a baj velük, és hogy hogyan kell az egyes bajokat, hibákat orvosolni, milyen következményekkel járnak az egyes hibák és mi a javítás módja (Péczely, 2009; Péczely & Pék, 2003).

A sikeres és hosszantartó karbantartási program kidolgozásában a felhasználók és a karbantartók közösen vesznek részt. A karbantartás ugyanis soha nem egy öncélú folyamat, mindig más funkciókat szolgál ki. Ám az igények pontos és alapos megértése nélkül képtelenség megfelelő programot kidolgozni. A karbantartás biztosítja tehát a felhasználó számára az eszközzel szembeni teljesítményelvárások beteljesülését. A korszerű karbantartási stratégia kialakításában ez azt jelenti, hogy meg kell kérdezni a felhasználót, hogy mi a kívánsága. Mind a felhasználónak, mind pedig a karbantartónak ügyelnie kell, hogy az eszköz képes-e az elvárt teljesítményt biztosítani. Az eszközök feladatának meghatározásán túl az üzemeltetőnek a stratégia kialakítási folyamatában is aktívan részt kell vennie. A hibamód-elemzésben való részvétele során megismeri az emberi hiba okozta meghibásodások nagy jelentőségét és így azt is, hogy mit kell tennie a géptörések megelőzéséért. Kulcsszerepet játszik a hibakövetkezmények értékelésében (a hiba jelei, a kockázat elfogadható szintje, a terméket és minőségét befolyásoló hatások) és felbecsülhetetlen személyes tapasztalattal rendelkezik a legtöbb szokásos hibával kapcsolatban. Ez a folyamat nagymértékben segíti a felhasználót abban, hogy átértse, miért szükséges időnként gépeit átengedni karbantartásra, és miért kell megkérni az üzemeltetőket egyes karbantartási feladatok elvégzésére (Kövesi, 1991; Kövesi, 1992; Gaál, 2003; Eisinger & Rakowsky, 2001; Garbatov & Guedes Soare, 2009; Garbatov & Guedes Soare, 2001; Selvik & Aven, 2011; Péczely, 2009; Péczely & Pék, 2003).

Egy jó elemzés, és ez alapján történő karbantartás megvalósítása közvetlenül nem a karbantartási költséghatékonyságot, hanem a cég egészének működését javítja. Fontos megjegyezni, hogy nem szabad kizárólag a közvetlenül felmerülő karbantartói költségekre koncentrálni. Fel kell ismerni, hogy a jól működő karbantartás nem egyenértékű az olcsó karbantartással. Ugyanis a fenntartási feladatokra helyesen elköltött minden forint a termelés oldalán magasabb rendelkezésre állásban, megbízhatóbb folyamatokban kamatozik. A berendezések megfelelő beállításával és működtetésével, azok hosszabb életűvé válhatnak, mint korábban (Kövesi, 1991; Kövesi, 1992; Gaál, 2003; Gaál & Kovács, 2010; Gaál, 2007).

Egy sikeres elemzést követően még mindig problémával állunk szemben, hiszen meg kell oldanunk azt a feladatot is, hogy korábbi elemzési eredményeket felhasználva tervezzük meg berendezéseink karbantartását.

Karbantartási terv, karbantartási projekt összeállítása

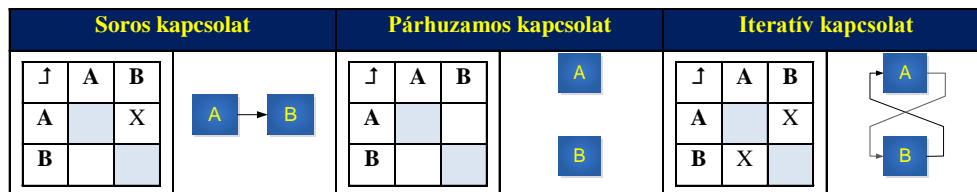
Nagyvállalatoknál jellemző, hogy a karbantartási feladatok nagy részét ma már projektek keretében realizálják, ahol a műszaki, technikai paraméterek mellett azon menedzsment módszerek és technikák kerülnek a középpontba, melyek támogatják a feladatok hatékony és eredményes végrehajtását. A projektszemléletű 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 stb. Megállapíthatjuk, hogy a karbantartási projektek esetében a rendszerorientált projektszemlélet elengedhetetlen.

A betervezett karbantartási tevékenységek sorozatát tekinthetjük speciális karbantartási projektnak. 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 tevékenységsorok (Szabó, 2005; Szabó & Gaál, 2006)?

A másik probléma, ami a karbantartási terv összeállításánál felmerülhet, hogy mely karbantartási tevékenységet milyen sorrendben hajtsuk végre. Erre a determinisztikus logikai tervezési technikák nem adnak kielégítő választ, hiszen egy berendezés javításának technológiai folyamata kötött. Itt az egyes lépéseket nem 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 bemutatok olyan mátrix-alapú projekttervezési eljárásokat, amelyek képesek a fenti problémákat kezelni.

Logikai tervezés mátrixok segítségével

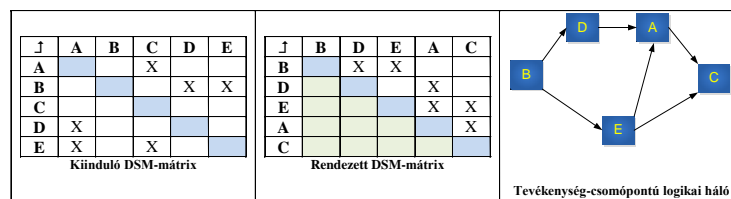
A hálótervezési módszerek mellett (melyek a projektmenedzsment irodalmában már évek óta ismeretesekek) elsősorban a termékfejlesztési projektek kezelésénél egy másik megközelítés is előtérbe került. Ebben a módszerben, melyet *DSM*-nek neveznek, a projekt tevékenységeit egy mátrix sorai, illetve oszlopai reprezentálják (azonos sorrendben). A DSM itt jelenthet függőségi mátrixot (Dependency Structure Matrix) is. A tevékenységek között lévő kapcsolatokat a mátrix elemei reprezentálják. Az első DSM-mátrixokat még rendszermodellezésre, a rendszerelemek jellemzésére alkalmazták, az évek során a Steward (1981) által elsőként használt DSM-megközelítés módosult. A Massachusetts Institute of Technology kutatói 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. A kapcsolatokat egy ún. adjacencia mátrixban „X” jelöli (Steward, 1981; Eppinger & Browning, 2012; Eppinger et al., 1994; MIT DSM Research Group, 2005; Danilovic & Sandkull, 2005; Danilovic & Sandkull, 2007).



1. ábra: Elemi tevékenységkapcsolatok

Forrás: MIT DSM Research Group, 2005 alapján saját szerkesztés

A hagyományos hálótervezési ábrázolásmóddhoz képest új elem az iteratív kapcsolatok megjelenítése. 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 körfolyamatban természetesen több tevékenység is részt vehet. 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 (Eppinger et al., 1994; Eppinger & Browning, 2012; Danilovic & Sandkull, 2005; Danilovic & Sandkull, 2007).



2. ábra: Tevékenységek (topologikus) sorba rendezése

Forrás: MIT DSM Research Group, 2005 alapján saját szerkesztés

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. Erre mutat egy példát az 3. ábra: Tevékenységek átrendezése, körfolyamatok detektálása (Chen & Lin, 2002; Chen et.al, 2003).

		Kiinduló mátrix							Particionált mátrix								
		A	B	C	D	E	F	G			F	B	D	G	C	A	E
A		X							F				X	X			X
B			X						B		X			X			
C	X			X	X				D			X			X		
D	X					X		X	G		X		X				
E							X		C					X	X		
F			X		X			X	A					X			
G		X	X						E						X		

3. ábra: Tevékenységek átrendezése, körfolyamatok detektálása

Forrás: MIT DSM Research Group, 2005 alapján saját szerkesztés

A módszer továbbfejlesztéseként nemcsak detektálni tudjuk a körfolyamatokat, hanem bizonyos esetekben össze is tudjuk vonni őket egy tevékenységbe. Az előző példák elsősorban a logikai tervezés segítségét mutatták. Azonban ez a módszer nem csak logikai tervezésre, hanem idő-, költség- és erőforrás-tervezésre, illetve újratervezésre is alkalmas. 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 (Khoo et.al., 2003; Yan, Wang, & Jiang, 2002; Huang, & Chen, 2006; Rick, Horváth & Bercsey, 2006; Gebala & Eppinger, 1991; MIT DSM Research Group, 2005).

Bizonytalan kapcsolatok kezelése

A mátrixos tervezési módszertant alkalmazták ütemezésre, illetve erőforrás-korlátos projekt-ütemezési problémák megoldására is, azonban a mátrixban nemcsak biztos (determinisztikus) kapcsolatok jelölésére van mód. Lehetőség van a kapcsolaterősség mértékének jelölésére is. Ezt a módszert *Numerikus DSM*-módszernek nevezik, az „X”-ek helyett számokat írnak 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 megjelenítését, ezáltal prioritások képezhetők a fontos iterációk között a folyamat tervezésében. Ez a leírás kapcsolati szinten kezeli a rákövetkezési relációk közötti bizonytalanságot. Hogyan lehet a kapcsolatok bizonytalanságát felderíteni? A tevékenységek függőségi viszonyát meghatározhatják korábbi projekt tapasztalatok, de akár szakértői vélemények is. Számos algoritmust készítettek a lehetséges visszacsatolások felderítésére bináris és numerikus DSM esetén is. Nem foglalkoztak azonban azzal, hogy attól függően, hogy egy bizonytalan kapcsolat létezik, vagy sem, két külön projektstruktúrát kaphatunk. A lehetőségek legenerálására létrehoztak egy eljárást, melyet *sztochasztikus hálótervezési módszernek (SNPM)* (Stochastic Network Planning Method) neveztek el, utalva arra, hogy eredményül több projekthálót is kaphatunk (A bizonytalan kapcsolatot „?”-jellel jelölték.) (Yassine et.al., 1999; Tang et.al., 2010; Chen & Lin, 2002; Chen et.al., 2003; Yan et.al., 2002; MIT DSM Research Group, 2005).

Numerikus DSM/SNPM	Bináris DSM	Háló																		
<table border="1"> <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"> <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			
J	A	B																		
A		?																		
B																				
J	A	B																		
A		X																		
B																				
	<table border="1"> <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												
J	A	B																		
A																				
B																				

4. ábra: Legenerálható projektváltozatok

Forrás: MIT DSM Research Group, 2005 alapján saját szerkesztés

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. Az üres cella értéke nulla, mely azt mutatja, hogy a tevékenységek között nincsen függőség.) A diagonális értékek a tevékenység elvégzésének idejét mutathatják. (Yassine *et al.*, 1999; Eppinger & Browning, 2012).

Az egyetemünkön kifejlesztett SNPM-módszerben is 0-val vagy üres cellával jelölték, 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 súlyszámait 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 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 *in-differens*. Ha például $p_{(A,B)}=0,5$, akkor a 4. ábra példájában ugyanannyi a valószínűsége annak, hogy A és B tevékenységet sorosan, vagy párhuzamosan hajtjuk végre (MIT DSM Research Group, 2005; Yan *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2003; Tang *et al.*, 2010; Yassine, 2010; Yassine *et al.*, 1999).

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

Az egyetemi kutatócsoportunk által kifejlesztett 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. (A bizonytalan kapcsolatot, illetve a bizonytalan tevékenység-előfordulást „?” jellel jelöltük.) (Kiss & Kosztyán, 2009a; Kiss & Kosztyán, 2009b; Kiss & Kosztyán, 2008; Németh, 2010a; Németh, 2010b; Németh, 2011a; Németh, 2011b)

PEM	NDSM/SNPM	DSM	Háló																											
<table border="1"> <tr><td>J</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>X</td><td>?</td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>?</td></tr> </table>	J	A	B	A	X	?	B		?	<table border="1"> <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"> <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			
J	A	B																												
A	X	?																												
B		?																												
J	A	B																												
A		?																												
B																														
J	A	B																												
A		X																												
B																														
	<table border="1"> <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"> <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												
J	A	B																												
A																														
B																														
J	A	B																												
A																														
B																														

5. ábra: A projekt szakértői mátrix által meghatározható projektváltozatok

Forrás: Kiss-Kosztyán, 2009a.b és Németh, 2010a-b alapján saját szerkesztés

A módszer alkalmazása során két lépésben kapjuk meg a lehetséges tevékenységeket és kapcsolatokat tartalmazó sztochasztikus PEM-ből az összes lehetséges projektstuktúrát determinisztikus 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 időkeretben véve mely tevékenységeket hajtsuk végre, illetve melyek maradhatnak el. Más szavakkal arra keressük a választ, hogy *MIT* hajtsunk végre azon tevékenységekből, amelyeket a projekt során el szeretnénk végezni.

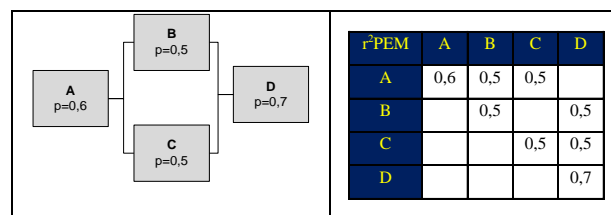
Ha megvan a megvalósítandó projektváltozatunk, vagyis hogy mely tevékenységeket fogjuk végrehajtani, akkor merül fel a kérdés, hogy ezeket a tevékenységeket *HOGYAN*, milyen logikai sorrendben, milyen rákövetkezések alapján hajtsuk végre. Az idő-, költség- és erőforráskorlátokat figyelembe véve meghatározható egy olyan projektváltozat, illetve a tevékenységek végrehajtásának egy olyan sorrendje, ahol ezeket a korlátokat nem lépjük túl (Németh, 2010a; Németh, 2010b; Németh, 2011a; Németh, 2011b).

A továbbfejlesztett tervezési eljárás

A megbízhatóság alapú/kockázat központú projekt szakértői mátrix (r^2 PEM) minden esetben a kiindulópont. Ennek átlójába a rendszerelemek/berendezésegységek megbízhatósági értékeit írom, melyeket korábbi diagnosztikai mérésekből, vagy akár az adott területen dolgozó szakemberek véleményéből nyertem ki.

Minél nagyobb egy berendezésegység várható meghibásodása/kockázata, annál nagyobb a valószínűsége, hogy ezt az elkövetkezendő időszakban javítanunk, karbantartanunk kell. Ha egy karbantartási egység megbízhatósága p , akkor $1-p$ annak a meghibásodását jelöli. Minél alacsonyabb a meghibásodási érték, annál nagyobb a valószínűsége, hogy nem hajtjuk végre karbantartását a következő időszakban.

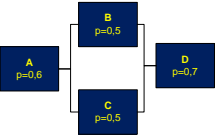
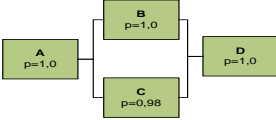
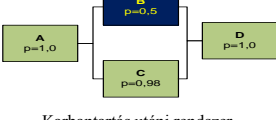
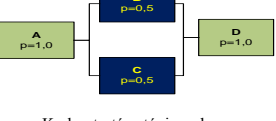
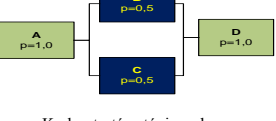
A korábban bemutatott tervezési eljárás a bizonytalan kapcsolatok esetén az általam kidolgozott tervezési módszertan alapjául szolgál. A karbantartások tervezésére kidolgozott módszer jobb megértése céljából vegyünk alapul egy 4 berendezésből álló rendszert.



6. ábra: Négy berendezésből álló gyártósor/rendszer és azok megbízhatósági értékei

Forrás: saját szerkesztés

Elsődleges célfüggvényem, hogy olyan karbantartási projektváltozatot válasszak ki, mellyel maximális rendszer-megbízhatóság érhető el. A tevékenységek kiválasztása előtt megadom (figyelembe véve a vállalat elvárását is) azt a megbízhatósági szintet, amely felett egy részrendszer, berendezés mindenképpen szerepel a karbantartási tervben. Ezek mellett pedig azt is megadom, hogy mi lesz az a minimális rendszer-megbízhatósági szint, ami felett a generált karbantartási projektváltozatokat figyelembe fogom venni.

A négy elemből álló rendszer kiindulási megbízhatósági mátrixa és megbízhatósági gráfja	Karbantartási projektszenárió mátrixok karbantartás előtt, illetve után		A projekt során megvalósításra kerülő berendezések Teljes rendszer megbízhatósága karbantartás után																																																																											
<table border="1" data-bbox="316 394 531 562"> <tr><td>r^{PEM}</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr> <tr><td>A</td><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td></td><td></td><td>0,7</td></tr> </table> 	r ^{PEM}	A	B	C	D	A	0,6	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,7	<p>1111 azaz mindegyik berendezés szerepel a karbantartási listán/ tervben</p>	<table border="1" data-bbox="778 331 960 427"> <tr><td>r^{PEM}</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr> <tr><td>A</td><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td></td><td></td><td>0,7</td></tr> </table> <table border="1" data-bbox="778 439 960 535"> <tr><td>r^{PEM}</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr> <tr><td>A</td><td>0,98</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>0,98</td><td></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td><td>0,98</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td></td><td></td><td>0,98</td></tr> </table>	r ^{PEM}	A	B	C	D	A	0,6	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,7	r ^{PEM}	A	B	C	D	A	0,98	0,5	0,5		B		0,98		0,5	C			0,98	0,5	D				0,98	 <p>Karbantartás utáni rendszer-megbízhatóság: Pr= 0,98*(1-((1-0,98)*(1-0,98)))*0,98=0,96</p>
r ^{PEM}	A	B	C	D																																																																										
A	0,6	0,5	0,5																																																																											
B		0,5		0,5																																																																										
C			0,5	0,5																																																																										
D				0,7																																																																										
r ^{PEM}	A	B	C	D																																																																										
A	0,6	0,5	0,5																																																																											
B		0,5		0,5																																																																										
C			0,5	0,5																																																																										
D				0,7																																																																										
r ^{PEM}	A	B	C	D																																																																										
A	0,98	0,5	0,5																																																																											
B		0,98		0,5																																																																										
C			0,98	0,5																																																																										
D				0,98																																																																										
<p>Teljes rendszer megbízhatósága karbantartás előtt</p>	<p>1101 azaz a C berendezés kivételével mindegyik szerepel a karbantartási listán/ tervben</p>	<table border="1" data-bbox="778 792 960 889"> <tr><td>r^{PEM}</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr> <tr><td>A</td><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td></td><td></td><td>0,7</td></tr> </table> <table border="1" data-bbox="778 900 960 996"> <tr><td>r^{PEM}</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr> <tr><td>A</td><td>0,98</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>0,98</td><td></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td></td><td></td><td>0,98</td></tr> </table>	r ^{PEM}	A	B	C	D	A	0,6	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,7	r ^{PEM}	A	B	C	D	A	0,98	0,5	0,5		B		0,98		0,5	C			0,5	0,5	D				0,98	 <p>Karbantartás utáni rendszer-megbízhatóság: Pr= 0,98*(1-((1-0,98)*(1-0,5)))*0,98=0,951</p>																									
r ^{PEM}	A	B	C	D																																																																										
A	0,6	0,5	0,5																																																																											
B		0,5		0,5																																																																										
C			0,5	0,5																																																																										
D				0,7																																																																										
r ^{PEM}	A	B	C	D																																																																										
A	0,98	0,5	0,5																																																																											
B		0,98		0,5																																																																										
C			0,5	0,5																																																																										
D				0,98																																																																										
<p>Teljes rendszer megbízhatósága karbantartás előtt</p>	<p>1011 azaz a B berendezés kivételével mindegyik szerepel a karbantartási listán/ tervben</p>	<table border="1" data-bbox="778 1016 960 1113"> <tr><td>r^{PEM}</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr> <tr><td>A</td><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td></td><td></td><td>0,7</td></tr> </table> <table border="1" data-bbox="778 1124 960 1220"> <tr><td>r^{PEM}</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr> <tr><td>A</td><td>0,98</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td><td>0,98</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td></td><td></td><td>0,98</td></tr> </table>	r ^{PEM}	A	B	C	D	A	0,6	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,7	r ^{PEM}	A	B	C	D	A	0,98	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,98	0,5	D				0,98	 <p>Karbantartás utáni rendszer-megbízhatóság: Pr= 0,98*(1-((1-0,5)*(1-0,98)))*0,98=0,951</p>																									
r ^{PEM}	A	B	C	D																																																																										
A	0,6	0,5	0,5																																																																											
B		0,5		0,5																																																																										
C			0,5	0,5																																																																										
D				0,7																																																																										
r ^{PEM}	A	B	C	D																																																																										
A	0,98	0,5	0,5																																																																											
B		0,5		0,5																																																																										
C			0,98	0,5																																																																										
D				0,98																																																																										
<p>Karbantartás előtti rendszer-megbízhatóság: Pr= (0,6*(1-((1-0,5)*(1-0,5))))*0,7=0,315</p>	<p>1001 azaz a B és C berendezés kivételével mindegyik szerepel a karbantartási listán/ tervben</p>	<table border="1" data-bbox="778 1016 960 1113"> <tr><td>r^{PEM}</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr> <tr><td>A</td><td>0,6</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td></td><td></td><td>0,7</td></tr> </table> <table border="1" data-bbox="778 1124 960 1220"> <tr><td>r^{PEM}</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr> <tr><td>A</td><td>0,98</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>0,5</td><td></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td><td>0,5</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td></td><td></td><td>0,98</td></tr> </table>	r ^{PEM}	A	B	C	D	A	0,6	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,7	r ^{PEM}	A	B	C	D	A	0,98	0,5	0,5		B		0,5		0,5	C			0,5	0,5	D				0,98	 <p>Karbantartás utáni rendszer-megbízhatóság: Pr= 0,98*(1-((1-0,5)*(1-0,5)))*0,98=0,951</p>																									
r ^{PEM}	A	B	C	D																																																																										
A	0,6	0,5	0,5																																																																											
B		0,5		0,5																																																																										
C			0,5	0,5																																																																										
D				0,7																																																																										
r ^{PEM}	A	B	C	D																																																																										
A	0,98	0,5	0,5																																																																											
B		0,5		0,5																																																																										
C			0,5	0,5																																																																										
D				0,98																																																																										

7. ábra: A négy elemből álló rendszer megbízhatóságainak változása a karbantartást követően

Forrás: saját szerkesztés

Az alkalmazott tervezési módszer segítségével először a lehetséges karbantartási terveket határozom meg, vagyis arra a kérdésre fogom megkapni a választ, hogy *mit*, milyen berendezések karbantartását hajtsunk végre. Másodlagos célfüggvénynek a projektstruktúrák prioritásainak maximalizálását választottam ebben a munkában. Így a lehetséges végrehajtási sorrendeket rangsorolhatom. Vagyis arra a kérdésre is választ kapok, hogy *hogyan*, milyen sorrendben végezzük el berendezések javítását. Korlátként az időt, a költség-, valamint az erőforrásigényeket adom meg.

Azt a karbantartási tervet választom, ahol (az idő-, költség-, erőforrás-) korlátokat figyelembe véve a projektváltozat összrendszerre számolt megbízhatósága a legnagyobb (a legnagyobb meghibásodási valószínűséggel/legnagyobb kockázattal rendelkező problémák kijavításához szükséges karbantartási tevékenységeket hajtjuk végre). Ezen belül olyan tevékenységi sorrendet választok, amelyet a szakértők leginkább preferálnak.

Ha a berendezések megvalósítandó karbantartásainak végrehajtási sorrendjére nincs semmilyen megkötés, akkor egyrészt célszerű a nagyobb meghibásodási értékű, nagyobb kockázatú berendezés karbantartásának megvalósításával kezdeni. Majd a tevékenységek rákövetkezési relációja az ún. indifferens kapcsolati erősség (esetünkben ez 0,5) lesz. Ebben az esetben ugyanis mindegy, hogy két tevékenységet sorosan, vagy párhuzamosan hajtjuk végre.

Ha jobban preferálják a vállalatnál a soros végrehajtást a párhuzamosnál, akkor a 0,5-ös értéknél nagyobb értéket rendelnek a berendezések rákövetkezési relációjához.

Kimenatként egy olyan karbantartási tervet kapok, amely pontosan megmutatja, hogy mely berendezéseken kell a karbantartási tevékenységeket végrehajtani. Milyen sorrendben, mennyi idő alatt kell elvégezni ezeket a tevékenységeket, ehhez mennyi költség és erőforrás használható fel. A prioritási értékek adják meg a megfelelő sorrendet, hogy mely berendezések karbantartása vezet a legmagasabb megbízhatósági értékhez.

1. táblázat: Rendszer-megbízhatóságok változásainak prioritás érték szerint rendezett összefoglalása

Sorrend	Berend. + Komb.	PR	FR	Prioritási értékek
1	ABCD	96,0%	4,0%	0,941629
2	ABD	95,1%	4,9%	0,928169
3	ACD	95,1%	4,9%	0,928169
4	AD	72,0%	28,0%	0,591679
5	ABC	68,6%	31,4%	0,541205
6	AB	67,9%	32,1%	0,531591
7	AC	67,9%	32,1%	0,531591
8	BCD	58,8%	41,2%	0,398197
15	C	41,6%	58,4%	0,147153
16	nincs változás	31,5%	68,5%	0

Forrás: saját szerkesztés

Amennyiben a rendszer megbízhatósága elérte a pl.: 70%-ot, a megoldást, a lehetséges projektstruktúrát megfelelőnek tekintetem. Továbbiakban pedig már csak azokat a karbantartási projektváltozatokat vizsgáltam, amelyek ezzel vagy ennél magasabb értéket értek el. Nem elegendő, hogy a rendszer megbízhatósága emelkedik, a korlátoknak (idő-költség) is meg kell felelniük.

2. táblázat: A rendszer karbantartására vonatkozó adatok és korlátok

Felhasznált adatok			Egységek adatai:	C _{karban} (EUR)	t _{karban}
Időkorlát:	129	nap	A	1.500	35 nap
Költségkorlát:	14.750	EUR	B	4.800	25 nap
			C	4.600	25 nap
			D	9.450	40 nap

Forrás: saját munka

3. táblázat: A rendszer karbantartásának megfeleltetése idő- és költségkorlátnak

Sorrend	Berend.+komb.	Prioritási értékek	P _r	F _r	TPC (EUR)	TPT (nap)	Korlátnak megfelelt
1	ABCD	0,941629	96,0%	4,0%	20 350	100	<input type="checkbox"/> Költség <input checked="" type="checkbox"/> Idő
2	ABD	0,928169	95,1%	4,9%	15 750	100	<input type="checkbox"/> Költség <input checked="" type="checkbox"/> Idő
3	ACD	0,928169	95,1%	4,9%	15 550	100	<input type="checkbox"/> Költség <input checked="" type="checkbox"/> Idő
4	AD	0,591679	72,0%	28,0%	10 950	75	<input checked="" type="checkbox"/> Költség <input checked="" type="checkbox"/> Idő

Forrás: saját szerkesztés

	Karbantartási projektstruktúráként a blokkdiagrammok	Reprezentációs gráfok	P _r	TPT	TPC (EUR)
1			96%	100	20.350
2			95,1%	100	15.700
3			95,1%	100	15.550
4			72,0%	75	10.950

8. ábra: A berendezések karbantartásának blokk-diagrammja és reprezentációs gráfjai
 Forrás: saját szerkesztés

Rendelkezésre álltak berendezésenként a ráfordítási idő-, költség adatok, melyek segítségével scenáriónként teljes projekt átfutási időt, illetve teljes projekt ráfordítást számoltam. Idő- és költségkorlátként 129 nap, illetve 14.750 EUR került meghatározásra. Így az optimális karbantartási projektstruktúra az lesz, amelyik a legmagasabb megbízhatósági értékkel rendelkezik, és az idő-, költségkorlátnak is eleget tesz.

Körök kezelhetősége és figyelembe vétele a tervezés során

Már korábban felmerülhetett az olvasóban, hogy mi történik abban az esetben, ha a kiválasztott berendezések, azok egységeinek karbantartásainak végeztével újra vissza kell térni az adott berendezésre, egy újabb beállítást megtenni, vagy éppen a karbantartást meg kell szakítani az adott egységen, mert mielőtt továbblépnének, a következő elem javításába bele kell kezdeni, majd ismét vissza kell térni a korábbi egység felújítási munkálataihoz.

Nemcsak az olvasóban merülhet fel a kérdés, de a gyakorlatban is sok esetben találkozom ezzel a problémával. Amennyiben nem tudják a rendelkezésre álló idő alatt a beütemezett karbantartási munkákat elvégezni ez hogyan is fogja befolyásolni a karbantartási projekt kimenetelét? A korábban kidolgozott tervezési módszertant (r^2 PEM) még nem sikerült körfolyamatokkal teli karbantartási projekten tesztelni, azonban ez elkerülhetlenné vált, amint a gyakorlatban egyre több helyen találtam szemben magam ezzel a problémával.

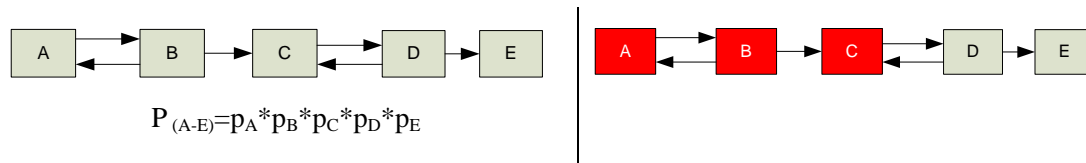
Egy egyszerű megmunkáló állomás (gyártósor) karbantartás tervezhetőségének nehézségeivel találták szembe magukat a vállalat karbantartói. Vállalat folyamatos fluktuációval küzdött és nem megfelelő szakember hiány költségben és időben sem állt a megfelelő szinten. Azonban a gyártósor karbantartása elkerülhetlenné vált, hiszen a termelés nem állhatott meg, a vállalat sorban fogadta el a megrendeléseket, amelyeket teljesíteni kellett.

A karbantartást és a felújítási munkálatokat úgy kellett volna végrehajtaniuk, hogy a nevezett gyártósor rendbetételét adott idő és adott költségeken belül valósítsák meg. A tapasztalt mérnökök, műszerészek, gépészek úgy határoztak, hogy akkor minden egyes egységét a sor-

nak csak kis mértékben újítanak fel, és ami szükséges azt cserélik. Ezt a tevékenységüket azal magyarázták, hogy az alacsony költségvetés és a szűkös határidő csak erre elegendő.

De nézzük is meg ezeket számokban, hogy mit is értünk az elmondottak alatt:

Vegyünk alapul egy 5 egységből álló egyszerű gyártósort, amelynek karbantartására a vállalat 13 napot és 26 egységnyi költséget tud rászánni, ez a tervek kialakítása során figyelembe kell venni.



9. ábra: Öt berendezésegységből álló gyártósor és a megjelölt három karbantartásra szánt egység

Forrás: saját szerkesztés

A karbantartást megelőzően a gyártósor megbízhatósága $P_r=0,05$, amelynek a karbantartást követő tervezett megbízhatósága pedig $P_r=0,25$ lenne, amelynek végrehajtására a termelés 13 napra rendelkezésre bocsátotta a gyártósort és a vállalat erre 26 egységnyi költséget tudott jelen esetben rászánni.

Első körben kiválasztásra kerültek azok a berendezésegységek, amelyek kritikusság, illetve megbízhatóság szempontjából biztosan karbantartásra szorulnak majd. Az elemzéseket követően az A, B illetve a C egységek maradtak. A D és az E egységek megbízhatósága megfelelő ($p_D=0,7$; $p_E=0,6$).

Az 5 egységből álló sort leszűkítettem 3 egységre, hiszen az elemzések következtében 2 egység karbantartása nem szükséges, így szeretnék elkerülni a túlkarbantartást. A gyakorlat nem ezt igazolta, hiszen az ott dolgozó kollégák minden egyes egységet szerettek volna felújítani, amely előre láthatólag nem váltotta volna be a hozzá fűzött reményeket. Szükséges számolásokat elvégezve, a köröket egyelőre figyelmen kívül hagyva a maximális teljes átfutási idő 12 napot, illetve 24 egységnyi költséget ölelne fel.

r^iPEM	A	B	C	D	E
A	0,4	0,4			
B	0,3	0,3			
C			0,1	0,2	
D			0,4	0,7	
E					0,6

r^iPEM	A	B	C
A	0,4	0,4	
B	0,3	0,3	
C			0,1

$\bar{S}^i - E$	A	B	C
A		0,4	
B	0,3		
C			

10. ábra: Kiindulási és a redukált projektek mátrixos megjelenítése

Forrás: saját szerkesztés

A következő projektstruktúrákat kaptam eredményképpen:

	Reprezentációs gráf	Karbantartási projektstruktúráként a blokk-diagrammok	TPT és TPC eredmények												
$\bar{S}^1 - E$ <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td></tr> </table>	A	B	C	A			B			C					TPT = 12 nap TPC = 24 egység
A	B	C													
A															
B															
C															
$\bar{S}^2 - E$ <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td></tr> </table>	A	B	C	A			B			C					TPT = 5 nap TPC = 24 egység
A	B	C													
A															
B															
C															
$\bar{S}^3 - E$ <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr> <tr><td>A</td><td>0,4</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td></tr> </table>	A	B	C	A	0,4		B			C					TPT = 7 nap TPC = 24 egység
A	B	C													
A	0,4														
B															
C															
$\bar{S}^4 - E$ <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr> <tr><td>A</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td>0,3</td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td></tr> </table>	A	B	C	A			B	0,3		C					TPT = 7 nap TPC = 24 egység
A	B	C													
A															
B	0,3														
C															
$\bar{S}^5 - E$ <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr> <tr><td>A</td><td>0,4</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td>0,3</td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td></tr> </table>	A	B	C	A	0,4		B	0,3		C					Részletesebben a továbbiakban.
A	B	C													
A	0,4														
B	0,3														
C															

11. ábra: Lehetséges karbantartási projektstruktúrák

Forrás: saját szerkesztés

Karbantartási terveket már korábban is tudtam úgy összeállítani, hogy az összrendszerszintű maximális rendszer-megbízhatóságra törekedve, a vállalat által támasztott korlátokat figyelembe véve, azoknak a berendezéselemeknek karbantartását terveztem be, amelyek kritikussági, megbízhatósági szempontból a legszükségesebb volt.

Azonban a visszatérő tevékenységek, visszacsatolások nem képezték a tervezési eljárás részét. A 5. táblázatban is látható, hogy ha már 1 kör kerül a berendezésegységek közé, az további lehetőségeket generál. Ez esetben külön kell foglalkozni, azzal az esettel, hogy- ha 'B' egység felújításával vagy 'A' egység felújításával kezdem munkámat. Lehetséges projekt-átfutási időket számolva az alábbi eredményekre jutottam:

4. táblázat: Körök figyelembe vétele projekt átfutási idő számítása során

Berendezésegységek Sorrend	TPT _i számítások	TPT _i részeredmény	C berendezés-egység szükséges Karbantartási ideje	TPT _i eredmény
AB [C]	BA [C]	$3+4+0,12^*(3+4)$	c [5]	12,84
ABA [C]	BAB [C]	$3+4+0,12^*(3+4)+0,12^2*(3+4)$	c [5]	12,9408
ABAB [C]	BABA [C]	$3+4+0,12^*(3+4)+0,12^2*(3+4)+0,12^3*(3+4)$	c [5]	12,952896
ABABA [C]	BABAB [C]	$3+4+0,12^*(3+4)+0,12^2*(3+4)+0,12^3*(3+4)+0,12^4*(3+4)$	c [5]	12,95434752
ABABAB [C]	BABABA [C]	$3+4+0,12^*(3+4)+0,12^2*(3+4)+0,12^3*(3+4)+0,12^4*(3+4)+0,12^5*(3+4)$	c [5]	12,954521702
ABABABA [C]	BABABAB [C]	$3+4+0,12^*(3+4)+0,12^2*(3+4)+0,12^3*(3+4)+0,12^4*(3+4)+0,12^5*(3+4)+0,12^6*(3+4)$	c [5]	12,954542604

Forrás: saját szerkesztés

Ugyanezen számítási eljárásokat elvégeztem karbantartási projektköltségekre vonatkoztatva, ahol az alábbi eredményekre jutottam:

5. táblázat: Körök figyelembe vétele projektköltség számítása során

Berendezés-egységek Sorrend		TPC _i számítások	TPC _i rész-eredmény	C berendezésegység szükséges karbantartási költség	TPC _i eredmény
AB [C]	BA [C]	$6+8+0,12*(6+8)$	15,68	c [10]	25,68
ABA [C]	BAB [C]	$6+8+0,12*(6+8)+0,12^2*(6+8)$	15,8816	c [10]	25,8816
ABAB [C]	BABA [C]	$6+8+0,12*(6+8)+0,12^2*(6+8)+0,12^3*(6+8)$	15,905792	c [10]	25,905792
ABABA [C]	BABAB [C]	$6+6+0,12*(6+8)+0,12^2*(6+8)+0,12^3*(6+8)+0,12^4*(6+8)$	15,90869504	c [10]	25,90869504
ABABAB [C]	BABABA [C]	$6+8+0,12*(6+8)+0,12^2*(6+8)+0,12^3*(6+8)+0,12^4*(6+8)+0,12^5*(6+8)$	15,9090434	c [10]	25,9090434
ABABABA [C]	BABABAB [C]	$6+8+0,12*(6+8)+0,12^2*(6+8)+0,12^3*(6+8)+0,12^4*(6+8)+0,12^5*(6+8)+0,12^6*(6+8)$	15,90908521	c [10]	25,90908521

Forrás: saját szerkesztés

A korábban írt, a vállalat által támasztott korlátokat figyelembe véve, elmondhatom, hogy a kiválasztott egységek karbantartása, körök figyelembe vételével is a határokon belül marad. Amennyiben 'A' részegység karbantartásával kezdjük meg a munkákat, majd a 'B' egység karbantartásával folytatjuk, a lehetséges maximális projekt átfutási idő 13 nap lesz, amely 2 lehetséges kört foglal magába, így 'A' egységre háromszor, 'B' egységre kétszer fordulhatunk vissza a munkák során. Ha ezt a mennyiséget meghaladják a visszacsatolások, ellenőrzések számai, akkor biztosak lehetünk abban, hogy a projektünk nem fog befejeződni a tervezett időpontban. Ugyanezen eredményekre jutottam, mikor a projekt átfutási költséget számoltam.

Azonban, hogy az elvárt megbízhatósági szintet elérjük, a felsővezetőség felé egy igénybenyújtás lehetséges, hogy amennyiben a ráfordított időt néhány órával és a költségeket pedig néhány további egységgel bővítik, akkor 2,5 kör-t követően az elvárt 25%-os megbízhatósági szint elérhetővé válik.

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. De nézzük a kidolgozott tervezési eljárást egy valós, vállalati példán tesztelve.

Esetpélda a megbízhatóság központú karbantartás tervezés alkalmazására

A következő esetpéldában egy műszaki diagnosztikával foglalkozó vállalat egyik munkáján keresztül ismertetem a kifejlesztett tervezési módszer alkalmazásának lehetőségeit és jelentőségét.

A szegedi központú magánvállalkozást egy nagy olajtársaság állapotfelügyelettel foglalkozó néhány mérnöke hozta létre. Felismerték a műszaki, diagnosztikai életben rejlő lehetőségeket, és a mai napig a rezgésvizsgálattól kezdve, a motoráram analízisen keresztül, a termelékenység-fejlesztésen át, képzések szervezésével is foglalkoznak. Küldetésük, hogy támogassák partnereiket abban, hogy termelékenységüket jelentősen növeljék. Tegyék ezt beruházás nélkül, gyors megtérüléssel (kevesebb, mint 1 év) és állandósult jó, de folyamatosan fejlődő állapotot kialakítva. Elsősorban a veszteségek visszaszorítására, és a ki nem használt lehetőségek kiaknázására koncentrálnak.

Mint a vállalat egyik volt tanácsadója, munkám során nagyon sok karbantartási projekttel találkoztam, amelyeken keresztül a kidolgozott módszert, és annak alkalmazhatóságát vizsgálhattam és így tovább javíthattam. A vizsgált vállalat berendezései a következőképpen épültek fel:

rPEM	0461	1461	2461	3461	4461	4561	0561	1561	2561	3561	4561	5561
0461	1											
1461	0,45	1										
2461	0,98	0,1	1									
3461	0,2	0,95	0,2	1								
4461			0,3	0,95	1							
5461				0,99	0,45	1						
0561				0,36	0,99	0,45	1		0,7	0,7	0,7	
1561							0,97	1				0,7
2561								0,96	1			0,7
3561									0,99	1		0,7
4561										0,45	1	0,7
5561							0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,99

12. ábra: A vizsgált gyártóberendezés felépítettsége rPEM mátrixba foglalva

Forrás: saját szerkesztés

Amennyiben a berendezésegységek megbízhatósága 96% vagy e fölötti, akkor a karbantartás végrehajtása nem indokolt.

Ezeknek a feltételeknek a figyelembe vételével a táblázatban jelölt berendezések (1461, 3641, 4461, 4561) karbantartására helyezük a nagyobb hangsúlyt. Célom, hogy a megbízhatóságot, illetve az OEE értékek növelése mellett a rendelkezésre álló idő- és költségkorlátokat figyelembe vegyem, illetve a felmerülő köröket (berendezésegységek közötti visszacsatolások beállítása) a tervezés során számításaimba integráljam.

A gyártósor megbízhatósága is azt igazolta, hogy közbe kell avatkozni, mert már a kieső gyártási idők, selejt termékek, leállások olyan mértékben megnövekedtek, hogy a gyártósor fenntarthatósága került veszélybe. Teljesen soros összetételű a sor, így abban az esetben, ha egy egység meghibásodik, a teljes sor fog leállni, nemcsak az adott egység. Ez esetben a 16,2% számolt megbízhatóság és a körülmények figyelembe vétele nem véletlenszerű.



13. ábra: A vizsgált gyártórendszer felépítettsége a karbantartásra beütemezhető berendezésekkel kiemelve

Forrás: saját szerkesztés

Megkaptam a vállalattól azokat a szükséges információkat is, amelyeket a tervezés során a lehetséges projektstruktúrák kialakításakor figyelembe kellett vennem.

A gyártósor karbantartására, felújítására 34 munkanap 12,76 órát és 206.400 EUR-t tudtak a rendelkezésre bocsátani. Ezek mellett pedig a karbantartást követően a gyártósorok olyan mértékű megbízhatóság-növekedést kell elérnie, hogy ne kerüljön eladásra, vagy kiiktatásra. Célom volt, hogy a módszer alkalmazásával olyan projekttervet állítsak össze, amely a 34 munkanapot 12,76 órát, illetve a 206.400 EUR-ot nem használja fel teljesen és a gyártósor megbízhatósága 70-75% fölé emelkedik.

További értékes információkhoz jutottam a vállalatnál használt integrált vállalatirányítási rendszerből, amelyet a kollégák kérésre rendelkezésemre bocsátottak.

6. táblázat: A felújításra szánt berendezésegyeségekre vonatkozó adatok

	min c ³ (EUR)	max. c (EUR)	átl. c (EUR)	min t ⁴ (nap)	max t (nap)	átl. t (nap)
1461	45 000,00	50 000,00	47 500,00	2	10	6
3461	11 050,00	12 640,00	11 845,00	2	14	8
4461	75 370,00	79 250,00	77 310,00	2	14	8
5461	62 500,00	64 900,00	63 700,00	11	13	12
	193 920,00	206 790,00	200 355,00	17	51	34

Forrás: saját szerkesztés

Az adatokat és a rendelkezésre bocsátott kereteket figyelembe véve minden egyes elem karbantartásával lehet számolni, amennyiben az átlagos költséget és időt veszem alapul. Amennyiben a maximális értékekkel számolok, felújítási többletköltséggel nem, azonban 1 napos csúszással számolni kell a számolások alapján.

Amennyiben jobban megfigyeljük a mintaként szolgáló gyártóegység felépítettségét, megfigyelhetjük a 3461-es illetve a 4461-es egység kapcsolatát, ahol egy kört realizáltunk a részletesebb vizsgálatokat követően. Korábban ez nehézségeket jelentett volna, de a kidolgozott tervezési módszer segítségével ez már nem lehetetlen a továbbiakban.

(r)r ² PEM	1461	3461	4461	4561
1461	0,45			
3461		0,95	0,2	
4461		0,3	0,95	
4561				0,45

14. ábra: A vizsgált gyártóberendezés azon egységei, amelyeknek karbantartása szükségessé vált (kiemelve a köröket)

Forrás: saját szerkesztés

Költségeket figyelembe véve minden egység karbantartására rendelkezésre áll elegendő ráfordítható összeg, sőt meghatározható, hogy a megadott költségen belül, hányszor is térhet vissza 3461-es egységről a 4461-esre, vagy éppen fordítva.

A lehetőségeket külön-külön vizsgáltam, amelyeket a következőképpen foglaltam össze:

³ c = cost: költség

⁴ t = time: idő

7. táblázat: Körök figyelembe vétele projekt átfutási idő számítása során

Berendezésegységek Sorrend		TPT _i számítások	TPT rész-eredmény	C berendezésegység szükséges karbantartási ideje	TPT _i eredmény
3461-4461	4461-3461	$8+8+0,06*(8+8)$	16,960000	1461 [6]; 4561 [12]	33,960000
3461-4461-3461	4461-3461-4461	$8+8+0,06*(8+8)+0,06^2*(8+8)$	17,017600	1461 [6]; 4561 [12]	34,017600
3461-4461-3461-4461	4461-3461-4461-3461	$8+8+0,06*(8+8)+0,06^2*(8+8)+0,06^3*(8+8)$	17,021056	1461 [6]; 4561 [12]	34,021056
3461-4461-3461-4461-3461	4461-3461-4461-3461-4461	$8+8+0,06*(8+8)+0,06^2*(8+8)+0,06^3*(8+8)+0,06^4*(8+8)$	17,021263	1461 [6]; 4561 [12]	34,021263
3461-4461-3461-4461-3461-4461	4461-3461-4461-3461-4461-3461	$8+8+0,06*(8+8)+0,06^2*(8+8)+0,06^3*(8+8)+0,06^4*(8+8)+0,06^5*(8+8)$	17,021276	1461 [6]; 4561 [12]	34,021276
3461-4461-3461-4461-3461-4461-3461	4461-3461-4461-3461-4461-3461-4461	$8+8+0,06*(8+8)+0,06^2*(8+8)+0,06^3*(8+8)+0,06^4*(8+8)+0,06^5*(8+8)+0,06^6*(8+8)$	17,021277	1461 [6]; 4561 [12]	34,021277
...		

Forrás: saját szerkesztés

Figyelembe véve a vállalat által támasztott korlátokat, elmondhatom, hogy a kiválasztott egységek karbantartása a körök figyelembe vételével is a határokon belül marad. Látható, hogy a rendelkezésre álló 34 munkanap 12,76 óra 3 körre elegendő. Így a karbantartóknak és további karbantartással foglalkozó alkalmazottnak lehetőségük nyílik más kritikusnak ítélt berendezéssel foglalkozni, és az itt megmaradt (spórolt) időt más gyártósorok felújításával eltölteni.

8. táblázat: Körök figyelembe vétele projektköltség számítása során

Berendezés-egységek Sorrend		TPC _i számítások	TPC rész-eredmény	C berendezésegység szükséges karbantartási költség	TPC _i eredmény
3461-4461	4461-3461	$(77300+11845) + 0,06*(77300+11845)$	94 493,70	1461 [47.500]; 4561 [63.700]	205 693,70
3461-4461-3461	4461-3461-4461	$(77300+11845) + 0,06*(77300+11845) + 0,06^2*(77300+11845)$	94 814,62	1461 [47.500]; 4561 [63.700]	206 014,62
3461-4461-3461-4461	4461-3461-4461-3461	$(77300+11845) + 0,06*(77300+11845) + 0,06^2*(77300+11845) + 0,06^3*(77300+11845)$	94 833,88	1461 [47.500]; 4561 [63.700]	206 033,88
3461-4461-3461-4461-3461	4461-3461-4461-3461-4461	$(77300+11845) + 0,06*(77300+11845) + 0,06^2*(77300+11845) + 0,06^3*(77300+11845) + 0,06^4*(77300+11845)$	94 835,03	1461 [47.500]; 4561 [63.700]	206 035,03
3461-4461-3461-4461-3461-4461	4461-3461-4461-3461-4461-3461	$(77300+11845) + 0,06*(77300+11845) + 0,06^2*(77300+11845) + 0,06^3*(77300+11845) + 0,06^4*(77300+11845) + 0,06^5*(77300+11845)$	94 835,10	1461 [47.500]; 4561 [63.700]	206 035,10
3461-4461-3461-4461-3461-3461	4461-3461-4461-3461-4461-4461	$(77300+11845) + 0,06*(77300+11845) + 0,06^2*(77300+11845) + 0,06^3*(77300+11845) + 0,06^4*(77300+11845) + 0,06^5*(77300+11845) + 0,06^6*(77300+11845)$	94 835,11	1461 [47.500] 4561 [63.700]	206 035,11
...

Forrás: saját szerkesztés

A projektköltséget kiszámolva és a köröket is figyelembe véve a karbantartási projektekre a tervezett 206.400 EUR kihasználatlan maradt, ahogy korábban a 34 munkanap 12,76 óra is. Ahogy a fennmaradó időt, az itt fennmaradt ráfordítási összeget is más gyártósorok, azok berendezésegeinek karbantartására lehet a továbbiakban fordítani.

A vállalat által támasztott idő- és költségkeret határain belül sikerült a terveim alapján a felmerült problémát megoldani, azonban még egy kritérium tisztázatlan maradt. A ráfordított idő és költség, a többszöri visszatérések ugyanazon berendezésegekre, segítettek-e az elvárt megbízhatósági szint elérésében?

Abban az esetben, ha mindkét egységre (3461, 4461) csak kétszer térnének vissza a munka során, ez nem lenne elegendő a 70-75%-os megbízhatósági szint eléréséhez, csak 54,42% lenne az eredmény. Azonban, ha már háromszor térnek vissza a 3461-es illetve a 4461-es berendezésegekre, nemcsak elérhető a 70-75% megbízhatósági szint, hanem a 80,83%-os eredmény realizálható.

r ² PEM	0461	1461	2461	3461	4461	4561	0561	1561	2561	3561	4561	5561
0461	1											
1461		0,62										
2461			0,98	0,1								
3461			0,2	0,98	0,2							
4461				0,3	0,98							
5461						0,99	0,45					
0561						0,36	0,99	0,7	0,7	0,7		
1561								0,97				0,7
2561									0,96			0,7
3561										0,99		0,7
4561											0,62	0,7
5561							0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,99

r ² PEM	0461	1461	2461	3461	4461	4561	0561	1561	2561	3561	4561	5561
0461	1											
1461		0,975										
2461			0,98	0,1								
3461			0,2	0,98	0,2							
4461				0,3	0,98							
5461						0,99	0,45					
0561						0,36	0,99	0,7	0,7	0,7		
1561								0,97				0,7
2561									0,96			0,7
3561										0,99		0,7
4561											0,975	0,7
5561							0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,99

15. ábra: A kiválasztott egységek egyszeri illetve három körös karbantartását követően a módosult berendezésegyeségek megbízhatóságai r²PEM-ba foglalva

Forrás: saját szerkesztés

A kidolgozott tervezési eljárás segíti a vállalatokat abban, hogy azzal foglalkozzanak a karbantartások során, amivel kell, és a tervezett, elvárt megbízhatósági szintet a gyártósorokon elérjék. E módszer segítségével mind a túlkarbantartást, mint pedig az alulkarbantartást el tudják kerülni. A nagy kihívást jelentő pénzügyi és időkorlátok „nem túllépését” pedig könnyen meg tudják valósítani a tervezési és kivitelezési munkáik során.

Összefoglalás

A bemutatott módszer hosszadalmas, folyamatos kutatómunka eredményét képezi. A megbízhatóság alapú mátrixos karbantartás-tervezési módszer megalkotása során nagy szerepet játszott, hogy hogyan lehetséges a megbízhatóság és a meghibásodás figyelembevételével fontossági sorrend felállítása a karbantartani kívánt berendezések között illetve, hogy a tervezés során a berendezésegyeségek között helyenként felmerülő köröket számszerűsített formában vehessük figyelembe.

Fontosnak tartottam, hogy ne csak berendezések szintjén érjek el megbízhatósági javulást, hanem összrendszerszinten is. Bár a karbantartási műveletek technológiai sorrendje egy-egy berendezés javítása esetén általában kötött, az egyes berendezések javítása különböző sorrendben is elvégezhető, sőt akár meg 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, amely alapján a legszükségesebb javítások tervezhetők, ütemezhetők.

Irodalomjegyzék

- Chen, C.H., Ling, S.F., & Chen, W. (2003): Project scheduling for collaborative product development using DSM. *International Journal of Project Management*, 21(4), pp 291-299.
- Chen, S.J., & Lin, L. (2002): A project task coordination model for team organization. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 10(3), pp 91-112.
- Danilovic, M., & 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(3), pp 192-203.
- Danilovic, M., & Sandkull, B. (2007): Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices. *International Journal of Project Management*, 25, pp 300-314.
- Eisinger, S., & Rakowsky, U.K. (2001): Modeling of uncertainties in reliability centered maintenance - a probabilistic approach. *Reliability Engineering and System Safety*, 71(2), pp 159-164.
- Eppinger, S.D., & Browning, T.R. (2012): *Design Structure Matrix Methods and Applications*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Eppinger, S.D., Whitney, D.I.E., Smith, R.P., & Gebala, D.A. (1994): A model-based method for organizing tasks in product development. *Research in Engineering Design*, pp 1-13.
- Gaál Z. (2003): *Tudásbázisú karbantartás*. Veszprém: Veszprémi Egyetemi Kiadó.

- Gaál Z. (2007): *Karbantartás-menedzsment*. Veszprém: Pannon Egyetemi Kiadó.
- Gaál Z., & Kovács, Z. (2010): *Megbízhatóság, karbantartás*. Veszprém: Pannon Egyetem Kiadó.
- Garbatov, Y., & Guedes Soare, C. (2001): Cost and reliability strategies for fatigue maintenance planning of floating structure. *Reliability Engineering and System Safety*, 73(3), pp 293-301.
- Garbatov, Y., & Guedes Soare, C. (2009): Structural maintenance planning based on historical data of corroded deck plates of tankers. *Reliability Engineering and System Safety*, 94(11), pp 1806-1817.
- Gebala, D.A., & Eppinger, S.D. (1991): Methods for analyzing design procedures. *Proceedings of 3rd International ASME Conference on Design Theory Methodology*, pp 227-233.
- Huang, E., & Chen, S.J. (2006): Estimation of Project Completion Time and Factors Analysis for Concurrent Engineering Project Management: A Simulation Approach. *Concurrent Engineering - Research and Applications*, 14(4), pp 329-341.
- Khoo, L.P., Chen, C.H., & Jiao, L. (2003): A Dynamic Fuzzy Decision Support Scheme for Concurrent Design Planning. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 11(4), pp 836-847.
- Kiss, J., & Kosztyán, Zs.T. (2008): *Egy új módszert az informatikai projektek logikai tervezésére*. Intézményi Tudományos Diákköri Konferencia, Pannon Egyetem, Szervezési és Vezetési Tanszék, Veszprém.
- Kiss, J., & Kosztyán, Zs.T. (2009a): *Handling the Specialties of Agile IT Projects with a New Planning Method*. The Enterprise Information Systems International Conference on Research and Practical Issues of EIS, Győr.
- Kiss, J., & Kosztyán, Zs.T. (2009b): *The importance of logic planning in case of IT and innovation projects*. Debrecen, Magyarország.
- Kövesi J. (1991): *Termelőberendezések megbízhatóság-alapú karbantartása*. Budapest: BME Mérnöktoábbképző Intézet.
- Kövesi J. (1992): Megbízhatóság- alapú termelésirányítás. *Vezetéstudomány*, XXIII. évf. 1992(9-10).
- MIT DSM Research Group. (2005): *MIT DSM Web Site*. Letöltés dátuma: 2013. július 26, forrás: <http://dsmweb.org>
- Németh A. (2010a): Egy új módszer az informatikai projektek optimalizálására. In *Egy csepp tudomány - VII. Jedlik Ányos Szakmai Napok* (old.: 73-134). Veszprém, Magyarország: Pannon Egyetemi Kiadó.
- Németh A. (2010b): *Karbantartási tevékenységek megbízhatóság alapú mátrixos projekttervezése*. Intézményi Tudományos Diákköri Konferencia. Veszprém: Pannon Egyetem.
- Németh A. (2011a): *Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése*. Siófok: VII. Energorep - EDU, Tudással a termelékenységetért, a megbízható üzemelésért és biztonságért (24 órás) - Szakmai továbbképzés.
- Németh A. (2011b): *Karbantartási tevékenységek megbízhatóság alapú mátrixos projekttervezése*. Gödöllő: XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Közgazdaságtudományi Szekció.
- Péczely G. (2009): T vagy R? Próbáljuk meg pontot tenni egy hosszú vita végére. *Pannon Egyetemi Kiadó, A karbantartás kihívásai; Válságban – amikor a nagyok is táncolni tanulnak; Nemzetközi Konferencia Kiadványa*, pp 21-38. Veszprém.
- Péczely Gy., & Pék K. (2003): *A karbantartás korszerű irányzatai*. Szeged: A.A. Stádium Kft.
- Rick, T., Horváth M., & Bercsey T. (2006): Design tasks scheduling using genetic algorithms. *Periodica Politechnica Ser. Mech. Eng.*, 50(1), pp 37-51.
- Selvik, J.T., & Aven, T. (2011): A framework for reliability and risk centered maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(2), pp 324-331.
- Steward, D.V. (1981): *System Analysis and Management: Structure, Strategy and Design*. New York: Petrocelli Books.
- Szabó L. (2005): A karbantartás-menedzsment szerepváltozása. In *Karbantartási kézikönyv*. Budapest: Raabe Kiadó.
- Szabó L., & Gaál Z. (2006): Project Success and Project Excellence, In "Sharing Knowledge and Success for the Future". *MMSupport GmbH*, (old.: 193-198). Bern.
- Tang, D., Zhu, R., Tang, J., Xu, R., & He, R. (2010): Product design knowledge management based on design structure matrix. *Advanced Engineering Informatics*, 24(2), pp 159-166.

- Yan, H., Wang, Z., & Jiang, M. (2002): A Quantitative Approach to the Process Modeling and Planning in Concurrent Engineering. *Concurrent Engineering - Research and Applications*, 10(2), pp 97-111.
- Yassine, A. (2010): *An Introduction to Modeling and Analyzing Complex Product Development Process Using the Design Structure Matrix (DSM) Method*. Letöltés dátuma: 2013.. július 26., forrás: IE 406 - Project Planning and Control:
<http://ie406.cankaya.edu.tr/uploads/files/Modeling%20and%20Analyzing%20Complex%20Product%20Development%20Processes%20Using%20the%20Design%20Structure%20Matrix.pdf>
- Yassine, A.A., Falkenburg, D., & Chelst, K. (1999): Engineering design management: An information structure approach. *International Journal of Production Research*, 37(13), pp 2957-2975.