

BERENDEZÉSEK KARBANTARTÁSÁNAK MÁTRIXOS PROJEKTTERVEZÉSE

MATRIX-BASED PLANNING OF MAINTENANCE PROJECTS

NÉMETH ANIKÓ PhD. hallgató

Pannon Egyetem, Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszék

ABSTRACT

A famous quote from the movie *Wedding Crashers* says that: „We have no way of knowing what lays ahead for us in the future. All we can do is to use the information at hand to make the best decision possible”. Maintenance planners of companies endeavor to do the same based on the available data, however, this strategy may not lead to adequate results for the company, moreover, shortage for some resources, e.g., manpower, equipment, funds, can also balk the execution of the plan. One could say that the solution to these issues is simple: a plan satisfying all the demands should be prepared.

The known and well tested planning and analysis methods should be integrated in order for the companies to see opportunities in the new planning approaches. This is my interpretation of the thoughts of Milton Berte: “If opportunity doesn’t knock, build a door.” Following the quote from Hannibal: “We will either find a way, or make one”, I have selected away from the ones I found, and modified it to fulfill the aforementioned purposes.

1. 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 javíttatásáról gondoskodni kell. Így következtethetünk arra, hogy a karbantartás azoknak a tevékenységeknek az összessége, amelyeket el kell végezni az állóeszközök üzemképessége és rendeltetésszerű használata érdekében. (Selvik-Aven, 2011, Awank, 2003, Moubray, 2001)

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. 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. (Krishnasamy, et al. 2005, Pham – Wang, 1996)

Gyakori probléma, hogy a tervek megírói még csak meg sem érintették soha a berendezéseket, amelyekről véleményt alkottak, nem ismerik a berendezések funkciót, 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. 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.

2. 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.

A betervezett karbantartási tevékenységek sorozatát tekinthetjük speciális karbantartási projektnak. Azonban a hagyományos projekttervezési technikák számos, a karbantartás során felmerülő problémát megválaszolatlanul hagynak. Gyakran előforduló probléma, hogy egy karbantartási technológiai folyamat során egy-egy tevékenységre többször is vissza kell térnünk. 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.

3. A kockázat központú projekt szakértői mátrix

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 kapcsos-

latok 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. (Yassine et al., 1999, Yassine, 2010, Eppinger – Browning, 2012)

A kockázat központú projekt szakértői mátrix (rPEM) 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. Ha egy karbantartási egység megbízhatósága p , akkor $1-p$ annak a meghibásodását jelöli. (Németh, 2014a, 2014b, Németh – Kosztyán 2012)

A berendezésegységek 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. 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 vettem. Így a lehetséges végrehajtási sorrendeket rangsorolhatom. Vagyis arra a kérdésre is választ kapok, hogy HOGYAN, milyen sorrendben végezzük el a berendezések javítását. Korlátként az időt, a költség-, valamint az erőforrásigényeket adom meg. (Németh, 2014a, 2014b, Németh-Kosztyán 2012)

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

1. táblázat: A választott karbantartási struktúra

Table 1: The chosen maintenance structure

Sorrend	Berend.+ komb.	Prioritási értékek	Pr.	Fr	TPC (EUR)	TPT (nap)	Korlátnak megfelelt
1	ABCD	0,941629	96,0%	4,0%	20 350	100	Költség (X Idő)
2	ABD	0,928169	95,1%	4,9%	15 750	100	Költség (X Idő)
3	ACD	0,928169	95,1%	4,9%	15 550	100	Költség (X Idő)
4	AD	0,591679	72,0%	28,0%	10 950	75	Költség (X Idő)

Forrás: saját munka

Szcenáriónként 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 (ld. 1. táblázat), amelyik a legmagasabb megbízhatósági értékkel rendelkezik, az idő-, költségkorlát figyelembevételével.

4. Körök kezelhetősége és figyelembe vétele a tervezés során

Mi történik abban az esetben, ha a kiválasztott berendezések, azok egységeinek karbantartásainak végeztével újra vissza kell térni az adott berendezésre, egy újabb beállítást megtenni? A gyakorlatban is sok esetben találkozhatunk ezzel a problémával.

Egy egyszerű megmunkáló állomás (gyártósor) karbantartás tervezhetőségének nehézségeivel találjuk szembe magunkat. A gyártósor karbantartása elkerülhetetlenné vált. A karbantartást és a felújítási munkálatokat úgy kell végrehajtani, hogy a gyártósor rendbetételét adott idő és adott költségeken belül valósítsuk meg. Gyártósorunk karbantartására a vállalat 13 napot és 26 egységnyi költséget tud rászánni, ez a tervek kialakítása során figyelembe kell venni. A karbantartást megelőzően a gyártósor megbízhatósága $Pr=0,05$, amelynek a karbantartást követő tervezett megbízhatósága pedig $Pr=0,25$ 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 kerülnek azok a berendezésegyeségek, amelyek kritikusság, illetve megbízhatóság szempontjából biztosan karbantartásra szorulnak majd. Az elemzéseket követően az A ($pA=0,4$), B ($pB=0,3$) illetve a C ($pC=0,1$) egységek maradtak. A D és az E egységek megbízhatósága megfelelő ($pD=0,7$; $pE=0,6$). Így az elemzések következtében 2 egység (D és E) karbantartása nem szükséges. Szükséges számolásokat elvégezve – már a redukált mátrixon-, a köröket egyelőre figyelmen kívül hagyva a maximális teljes átfutási idő 12 napot, illetve 24 egységnyi költséget ölelne fel.

2. táblázat: Kiindulási és a redukált projektek mátrixos megjelenítése

Table 2: Starting and reduced risk project matrix

r^2PEM	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^2PEM	A	B	C
A	0,4	0,4	
B	0,3	0,3	
C			0,1

$\tilde{S}^? - E$	A	B	C
A		0,4	
B	0,3		
C			

Forrás: saját munka

A visszatérő tevékenységek, visszacsatolások nem képezték korábban a tervezési eljárás részét. A 3. táblázatban is látható, hogy ha kör engedélyezett a berendezésgységek között, az további lehetőségeket generál. Lehetséges projektátfutási időket számolva az alábbi eredményekre jutottam:

3. táblázat: Körök lefutását követően a részegységek megbízhatóságának alakulása

Table 3: Changes in reliability after the declaration of circles

<p>A-B-A után</p> $P_{(A-E)}=0,031$ TPT = 12,9408 nap TPC = 25,8816 egység						<p>A-B-A-B után</p> $P_{(A-E)}=0,068$ TPT = 12,9529 nap TPC = 25,9057 egység																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>r²PEM</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>0,46</td> <td>0,4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0,3</td> <td>0,36</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> <td>0,45</td> <td>0,2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td>0,4</td> <td>0,7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,6</td> </tr> </tbody> </table>						r ² PEM	A	B	C	D	E	A	0,46	0,4				B	0,3	0,36				C			0,45	0,2		D			0,4	0,7		E					0,6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>r²PEM</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>0,55</td> <td>0,4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0,3</td> <td>0,44</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> <td>0,67</td> <td>0,2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td>0,4</td> <td>0,7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,6</td> </tr> </tbody> </table>						r ² PEM	A	B	C	D	E	A	0,55	0,4				B	0,3	0,44				C			0,67	0,2		D			0,4	0,7		E					0,6
r ² PEM	A	B	C	D	E																																																																														
A	0,46	0,4																																																																																	
B	0,3	0,36																																																																																	
C			0,45	0,2																																																																															
D			0,4	0,7																																																																															
E					0,6																																																																														
r ² PEM	A	B	C	D	E																																																																														
A	0,55	0,4																																																																																	
B	0,3	0,44																																																																																	
C			0,67	0,2																																																																															
D			0,4	0,7																																																																															
E					0,6																																																																														
<p>A-B-A-B-A után</p> $P_{(A-E)}=0,2336$ TPT = 12,9543 nap TPC = 25,9087 egység						<p>A-B-A-B-A-B után</p> $P_{(A-E)}=0,2922$ TPT = 12,9545 nap TPC = 25,9090 egység																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>r²PEM</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>0,8</td> <td>0,4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0,3</td> <td>0,79</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> <td>0,88</td> <td>0,2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td>0,4</td> <td>0,7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,6</td> </tr> </tbody> </table>						r ² PEM	A	B	C	D	E	A	0,8	0,4				B	0,3	0,79				C			0,88	0,2		D			0,4	0,7		E					0,6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>r²PEM</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>0,85</td> <td>0,4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0,3</td> <td>0,88</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> <td>0,93</td> <td>0,2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td>0,4</td> <td>0,7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,6</td> </tr> </tbody> </table>						r ² PEM	A	B	C	D	E	A	0,85	0,4				B	0,3	0,88				C			0,93	0,2		D			0,4	0,7		E					0,6
r ² PEM	A	B	C	D	E																																																																														
A	0,8	0,4																																																																																	
B	0,3	0,79																																																																																	
C			0,88	0,2																																																																															
D			0,4	0,7																																																																															
E					0,6																																																																														
r ² PEM	A	B	C	D	E																																																																														
A	0,85	0,4																																																																																	
B	0,3	0,88																																																																																	
C			0,93	0,2																																																																															
D			0,4	0,7																																																																															
E					0,6																																																																														

Forrás: saját munka

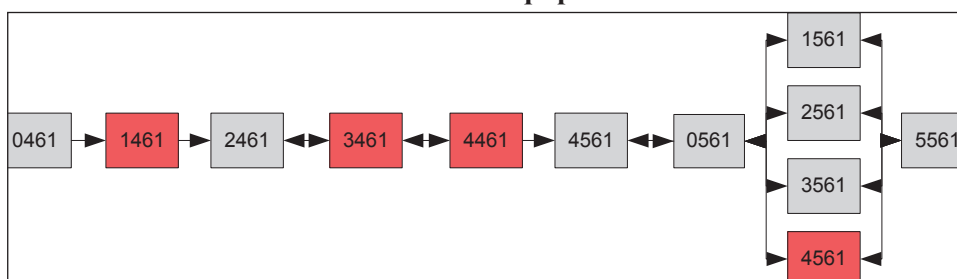
A lehetséges maximális projekt átfutási idő 13 nap lesz, amely 2 lehetséges kört foglal magába. Ha ezt a mennyiséget meghaladják a visszacsatolások, ellenőrzések számai, akkor biztosak lehetünk abban, hogy a projektünk nem fog befejeződni a tervezett időpontban.

5. A megbízhatóság központú projekttervezési eljárás a gyakorlatban

Munkám során nagyon sok karbantartási projekttel találkoztam, amelyeken keresztül a kidolgozott módszert, és annak alkalmazhatóságát vizsgálhattam és így tovább javíthattam. A vizsgált vállalat egy gyártósorának berendezései a következőképpen épültek fel:

1. ábra: A vizsgált gyártórendszer felépítettsége a karbantartásra beütemezhető berendezésekkel kiemelve (piros)

Figure 1: The arrangement of the system – highlighted (red) the maintenance equipment



Forrás: saját munka

Amennyiben a berendezésegységek megbízhatósága 96% vagy e fölötti, akkor a karbantartás végrehajtása nem indokolt. Ennek a feltételeknek a figyelembe vételével a jelölt berendezések (1461, 3461, 4461, 4561 – ld. 1. ábra) karbantartására helyeztem a hangsúlyt. A megbízhatóság növelése mellett a rendelkezésre álló idő- és költségkorlátokat is figyelembe vettem, illetve a felmerülő köröket (berendezésegységek közötti visszacsatolások beállítása) a tervezés során számításaimba integráltam.

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. Céлом volt, hogy a módszer alkalmazásával olyan projekttervet állítsak össze, amely a 37 munkanapot, illetve a 206.400 EUR-öt nem használja fel teljesen és a gyártósor megbízhatósága legalább 70-75% fölé emelkedik.

A gyártóegység felépítettségét jobban megfigyelve a 3461-es illetve a 4461-es egység kapcsolatát, ahol egy kört (ld. 1. ábra oda-vissza nyíl mutatja) realizáltam a részletesebb vizsgálatokat követően. Ahhoz, hogy számolásainkat el tudjuk végezni szükséges a berendezés felépítettségének megadása mátrixos formában is, amely mutatja majd a visszacsatolások mértékét is.

2. ábra: A vizsgált gyártóberendezés felépítettsége r2PEM mátrixba foglalva

Figure 2: The arrangement of the system put into a r2PEM matrix

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

Forrás: saját munka

Figyelembe véve a vállalat által támasztott korlátokat, a kiválasztott egységek karbantartása a körök figyelembe vételével is a határokon belül maradt. A rendelkezésre álló 37 munkanap 2 körre elegendő (ld. 4. táblázat). A projektköltséget kiszámolva és a köröket is figyelembe véve a karbantartási projektre a tervezett 206.400 EUR kihasználatlan maradt (ld. 5. táblázat).

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

Table 4: Calculation of total project time (TPT) with circles into

Berendezésegységek Sorrend	TPTi számítások	TPT rész-eredmény	C (cost) további berendezésegység szükséges karbantartási ideje	TPTi eredmény
3461-4461	$8+8*0,3$	10,4	1461 [6]; 4561 [12]	28,4
3461-4461-3461	$\dots+8*0,2$	12	1461 [6]; 4561 [12]	30
3461-4461-3461-4461	$\dots+8*0,3$	14,4	1461 [6]; 4561 [12]	32,4
3461-4461-3461-4461-3461	$\dots+8*0,2$	16	1461 [6]; 4561 [12]	34
3461-4461-3461-4461-3461-4461	$\dots+8*0,3$	18,4	1461 [6]; 4561 [12]	36,4

Forrás: saját munka

5. Táblázat: Körök figyelembe vétele projektköltség számítása során

Table 5: Calculation of total project cost (TPC) with circles into

Berendezésegységek Sorrend	TPCi számítások	TPC rész-eredmény	C (cost) további berendezésegység szükséges karbantartási költség	TPCi eredmény
3461-4461	$11.845+77.310*0,3$	35 038,00	1461 [47.500]; 4561 [63.700]	146 238,00
3461-4461-3461	$\dots+11.845*0,2$	37 407,00	1461 [47.500]; 4561 [63.700]	148 607,00
3461-4461-3461-4461	$\dots+77.310*0,3$	60 600,00	1461 [47.500]; 4561 [63.700]	171 800,00
3461-4461-3461-4461-3461	$\dots+11.845*0,2$	62 969,00	1461 [47.500]; 4561 [63.700]	174 169,00
3461-4461-3461-4461-3461-4461	$\dots+77.310*0,3$	86 162,00	1461 [47.500]; 4561 [63.700]	197 362,00
...

Forrás: saját munka

Így a karbantartóknak és további karbantartással foglalkozó alkalmazottnak lehetőségük nyílik más kritikusnak ítélt berendezéssel foglalkozni, és az itt megmaradt (spórolt) időt és anyaga ráfordítást más gyártósorok felújításával eltölteni.

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.

6. Összefoglalás

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 berendezésegységek 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.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Awank, C.K. (2003): The Lean Service Machine. *Harvard Business Review*, 2003(10), pp 123-129.
- Eppinger, S.D., & Browning, T.R. (2012): *Design Structure Matrix Methods and Applications*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Krishnasamy, L., Khan, F., & Haddara, M. (2005): Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant. *Journal of Loss Prevention in the process industries*, 18(1), pp 69-81.
- Moubray, J. (2001): *Reliability-Centered Maintenance*. London: Transatlantic Publishers.
- Németh A. (2014a): Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése, *Logisztikai Híradó* 2014. február, XXIV.évf.1. szám, ISSN 2061-6333, pp. 29-32.
- Németh A., (2014b) Berendezések karbantartásának mátrixos projekttervezése, *E-conom*, Online Tudományos Folyóirat, 2013/2 (II. évf. 2. sz.), Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó/ University of West Hungary Press, Sopron, ISSN 2063-644X, 2014. április 28., pp. 79-98.; http://e-conom.hu/e-conom_2013_2.html?&L=1
- Németh A., & KOSZTYÁN ZS.T. (2012): Berendezések karbantartásának megbízhatóság központú mátrixos projekttervezése, *Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei*, IV. évfolyam 4. szám (No.10.) A-sorozat 2. Gazdálkodás- és Szervezéstudományi tematikus szám, Szeged, 2012, ISSN 2062-1396, pp. 235-248.
- Pham, H., & Wang, H. (1996): Imperfect maintenance. *European Journal of Operational Research*, 84(3), pp 425-438.
- Selvik, J.T., & Aven, T. (2011): A framework for reliability and risk centered maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(2), pp 324-331.
- 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.
- 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.