A döntésorientált hibamód és hatáselemzés módszertanának tapasztalatai az AUDI Motor Hungária Kft.-nél

Dr. Bognár Ferenc, adjunktus, Pannon Egyetem
Meilinger Zsolt, műszaki menedzser, Pannon Egyetem

1. Bevezetés

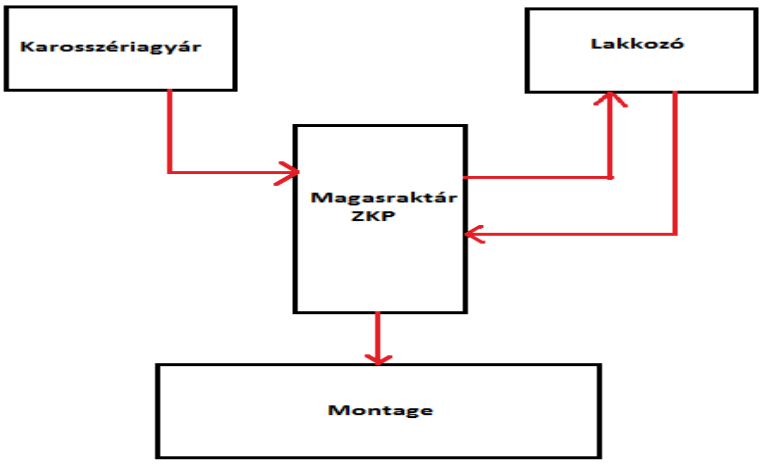
A minőségügyi szakemberek számos módszert és eljárást dolgoztak ki a termelés minőségének javítására. Ezek közül azonban csak néhány tudott olyan ismertségre szert tenni, amely a széles körű elterjedését biztosította volna. A szakirodalmakban fellelhető számos új eljárás jelentős része csak egy-egy szűk szakterület kívánalmait elégíti ki, illetve sok esetben egy adott országra jellemző vállalati kultúrához kötődik. Napjainkban az egyre erősödő versenyhelyzet és a gazdasági instabilitás arra készteti a vállalatokat, hogy törekedjenek az elérhető legjobb minőségre. Ennek érdekében szükségessé vált olyan minőséget szabályozó mechanizmusok beépítése a termelő rendszerekbe, melyek célja az összes lehetséges hiba és hatás feltárása, és azok vevőhöz való eljutásának megakadályozása. Az egyik ilyen módszer a hibamód és hatáselemzés (FMEA). Az FMEA közismertsége már önmagában minősíti használhatóságát, ha a megfelelő vállalati háttérre tud támaszkodni. Jelen cikk témája, hogy a DOFMEA módszer alkalmazásának tapasztalatait bemutassa az AUDI Motor Hungária Kft. esetpéldáján, segítve ezzel a karbantartásban, minőségügyben dolgozó szakemberek számára az újabb és hatékonyabb módszerek megismerését.

A karbantartás iskoláinak rendszerét tekintve és annak Horváth (2008) által elkészített hazai adaptációját megfigyelve, jelen munka a szervezési iskola szellemiségében készült. Horváth a szervezési iskolát méltán nevezi munkájában „veszprémi iskolának, elég csak a teljesség igénye nélkül Gaál és Tímár (1981), Gaál és Szabó (1997, 1999), Gaál és Kovács (2004), Gaál (2007), Balogh et. al (2010), Kosztyán et. al (2010), Bognár és Gaál (2011), Bognár (2014) munkáira gondolni.

2. A vizsgált berendezés működésének bemutatása

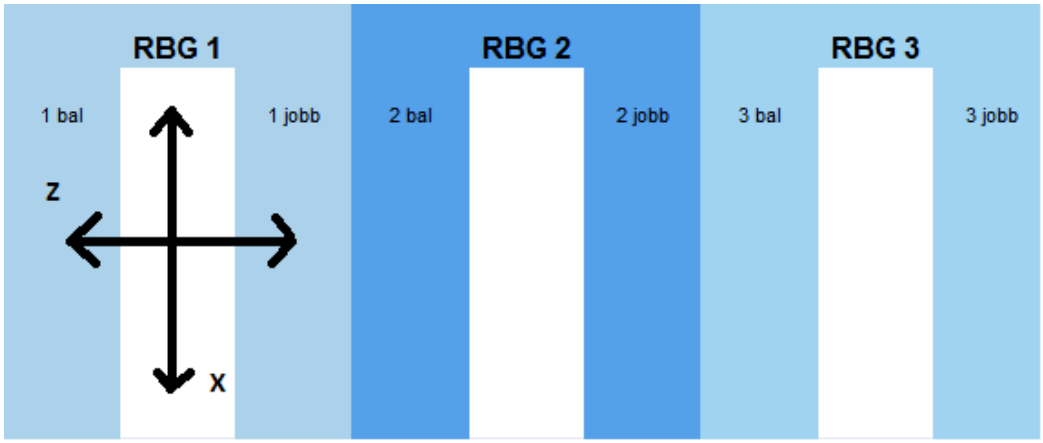
Az elemzést az Audi Hungaria Motor Kft. új járműgyárában lévő polckezelő berendezésről készítettük. A berendezés még minden személy számára újdonsággal és kihívással szolgál. Közvetlenül a gyárban, a karosszériaüzem, a lakkozó üzem és a járműszerelde között található a Központi Átmeneti Karosszéria Tároló (ZKP), amely a gyártási folyamat szükséges rugalmasságát biztosítja. Az 1200 négyzetméteres és 30 méter magas épület akár 414 lakkozás előtti és lakkozott karosszériát képes befogadni. A három azonos területre tagolt ZKP egyfajta magaspolcos raktár. A központi vezérlő számítógép információi alapján három teljesen önműködő polckezelő berendezés szállítja be a karosszériákat a tárolóhelyükre, és a megfelelő sorrendben ki is emeli azokat. A villamos hajtású gépek egyenként és óránként 35 be- és kitárolást képesek végezni a lakkozó üzem és a szerelde kiszolgálására. Közel 10 km/órás vízszintes sebességgel ütemesen mozognak a hozzávetőlegesen 25 tonnás emelő berendezések.

A három polckezelő berendezés a karosszériákat szállítja, ennek a folyamatba integrált működési elvét mutatja be az *1. ábra*.



1. ábra: a karosszériák útja

A három berendezés úgynevezett „utcákban” mozog x, y, és z irányba, és tárolja a karosszériákat a raktárban, melyek a karosszériagyárból vagy a lakkozóból érkezhetnek és innen továbbítja őket a lakkozóba vagy a gyártósorra (Montage). A berendezések elhelyezkedésének és mozgásuk irányának elvi vázát mutatja be a *2. ábra*.



2. ábra: a három berendezés elhelyezkedése és mozgása

A különböző polckezelő berendezések meghibásodásának következményeit írjuk le az alábbiakban.

RBG 1 nem működik (RBG 2 és RBG 3 igen)
A másik kettő berendezés működik, ettől még a sor ellátható, de a tervezett optimális felrakási idő nem tud megvalósulni. Ennek következményében az egyes munkatársak terheltségi szintjét meg kell emelni, ami a taktidők (egy munkafolyamatra szánt idő) átlépéséhez vezethet. Ennek következtében kisebb sorállások fordulhatnak elő.

RBG 1 és az RBG2 sem működik (RBG 3 igen)
Ebben az esetben kapacitáshiány lép fel, a sor gyorsabban halad. Az előirányító szállítószalag leürül (VSS - Vorsteuerstrecke), ennek következtében az anyagellátás nem lesz biztosítva, ami sok kisebb sorálláshoz vezethet. Ha a VSS teljesen leürül a

teljes sor megáll. A VSS arra szolgál, hogy az ellátási időket biztosítsa az operatív logisztika számára a komissiózástól a beépülési helyig. Ezen felül a JIT beszállítók is a VSS elején lévő jelzés alapján kezdenek el beszállítani.

Egyik polckezelő berendezés sem működik
Ha a VSS eléri a minimális töltöttségi szintet, akkor a logisztika és a szerelőüzem közösen dönt, hogy a sort meg kell-e állítani. Ha a sor megáll, akkor az jelentős állásidőkhöz vezethet. Az állásidőket minden esetben pótolni kell, ezek az állásidők minden szempontból kiesésekhez (bér, infrastruktúra) vezetnek. A pótlásra egy megoldás lehet a szombati munkanap elrendelése, de ez minden esetben magasabb költségekhez vezetnek.

3. A tradicionális és a döntésorientált FMEA elemzés eredményei

Az elemzés elkészítésében 11 – karbantartási területen dolgozó szakértő vett részt, több éves tapasztalattal rendelkező projekt mérnökök, karbantartó és villamosmérnökök. A hibaleltár elkészültét követően meghatározásra kerültek a hibák lehetséges okai és azok következményei. Az elemzés elvégzéséhez a legrelevánsabbnak ítélt 12 hibamód összegyűjtése történt meg, melyek a gép azonnali leállásához vezethetnek. Az alábbiakban soroljuk fel ezen hibamódokat:

1. Meghajtómotor (x, y, z) nem működik
2. Láncszakadás a teleszkópos villában
3. Drótkötélszakadás
4. Súlymérő hibája, folyamatos túlterhelt jelzés
5. Biztonsági szenzorok meghibásodása
6. Útmérő (x, y) meghibásodása
7. Kommunikációs hiba belső (profinet)
8. Kommunikációs hiba külső (IT infrastruktúra)
9. Adathordozó hibája
10. PLC meghibásodása
11. Profilok görgőtörése
12. Tengely- vagy féltengelytörés

3.1 A tradicionális FMEA elemzés eredményei és értékelésük

Az elemzésben résztvevő szakértőket először felkértük, hogy végezzék el a berendezésre vonatkozó tradicionális FMEA elemzést, „ahogy szokás azt véghezvinni”.
Az elemzés során 1-10- ig terjedő skálán voltak értékelhetőek a hibamódok a következők alapján:

- súlyosság: 1- a hibamód következménye nem súlyos…. 10- a hibamód következménye nagyon súlyos,
- gyakoriság: 1- a hibamód nem fordul elő gyakran…. 10- a hibamód nagyon gyakran előfordul,
- detektálhatóság: 1- a hibamód biztosan felfedezhető…. 10- a hibamód nehezen kiszűrhető.

Miután minden szakértő elkészítette az elemzést, meghatározhatóvá váltak az egyes hibamódokhoz tartozó RPN számok. Az egyes hibákhoz tartozó pontszámok

összegzését követően az összegeket elosztottuk az elemzésben résztvevők számával. Az ilyen módon kalkulált RPN értékeket szemlélteti az *1. táblázat*.

Hiba megnevezése	Súlyosság	Gyakoriság	Detektálhatóság	RPN
Kommunikációa hiba külső (IT infrastruktúra)	6,09	7,09	5,82	251,3
Adathordozó hibája	5,45	6,45	5,18	182,4
Kommunikációa hiba belső (profinet)	5,36	5,45	5,45	159,6
PLC meghibásodása	6,27	4,09	5,64	144,6
Biztonsági szenzorok meghibásodása	6,36	3,82	3,64	88,4
Súlymérő hibája, folyamatos túlterhelt jelzés	6,55	4,09	3,00	80,3
Útmérő (x,y) meghibásodása	7,09	4,36	2,18	67,5
Láncszakadás a teleszkópos villában	8,36	1,82	1,73	26,3
Profilok görgőtörése	7,55	1,82	1,73	23,7
Meghajtómotor (x, y, z) nem működik	8,91	1,64	1,18	17,2
Drótkötélszakadás	9,18	1,36	1,27	15,9
Tengely vagy féltengely törés	7,73	1,18	1,18	10,8

1. táblázat: a tradicionális FMEA elemzés által adott RPN értékek

A tradicionális FMEA egyik hátránya, hogy a súlyossághoz, a gyakorisághoz és a detektálhatósághoz rendelt értékek nem bírhatnak konkrét értelmezéssel mivel minimális rendelkezésre álló a priori információ elérhető, így ezek csak egy relatív rangsor felállítására alkalmasak.

A különböző döntési osztályok is keveredhetnek a módszer során, mivel a korábban megismert három jellemző (súlyosság, gyakoriság, detektálhatóság) különböző döntési osztályokba sorolhatók. Az FMEA mérőszámai szubjektív értékeken alapulnak, még akkor is, ha minden egyes eseményt egyszer már észleltek. Akkor van lehetőség objektivizálásra, ha nem áll rendelkezésre semmilyen információ, ez új termék, vagy berendezés esetén valósulhat meg. Legkönnyebben a gyakoriság objektivizálható, mivel ott állhatnak rendelkezésre a priori információk. A tradicionális FMEA az objektív és szubjektív változatok jelenségeit ugyanazon mérési módszerrel azonosítja, még akkor is, ha a különböző döntési osztályokban más-más technikákat érdemes használni.

A tradicionális FMEA esetén a mérési skálák előre definiáltak. Ebből számos nehézség adódhat, mivel megengedi, hogy minden egyes résztvevő a saját szókincsét használja. Ezek félreértésekhez vezethetnek, mivel a nyelvi kifejezések szubjektív meghatározásokat takarnak, az emberek másként értelmezhetik azokat. Emellett az egyes súlyszámok olyan leírásokat tartalmazhatnak, melyekről a szakértőknek nincs megfelelő információjuk.

3.2 A DOFMEA elemzés eredményei és értékelésük

Az előzetesen összeállított hibaleltárt képezi a DOFMEA módszertan alapját is. A páros összehasonlításhoz szükséges párok létrehozása a módszertan megfontolásait követve megtörtént, majd a létrejött párok a Ross- féle optimális párelrendezés segítségével történő rendszerezését elvégeztük.

Mivel az RPN szám három szám szorzataként adódik ezért a súlyosságra, gyakoriságra, és detektálhatóságra is el kell végezni a páros összehasonlítást. Az összehasonlítás során a párok közül ki kell választani az egyiket, amelyik relevánsabb a másikhoz képest. Ez

például a súlyosság RPN tényező esetén azt jelenti, hogy az összehasonlítás során a pár azon elemét választják ki, amelyik hibamód következményét súlyosabbnak tartják a másikhoz képest. Miután elkészült mind a 11 szakértői összehasonlítás az eredmények mátrixos formába rendezhetőek. Ezen megjelenítés segítségével könnyen megállapítható, hogy melyik, az elemzésben részt vevő szakember volt kellően konzisztens az adott kérdésben ahhoz, hogy a véleménye figyelembe vehető legyen a további számítások során. A racionális döntéshozatal egyik lehetséges tesztelése, hogy a tranzitivitási szabálynak milyen mértékben felelnek meg a páros összehasonlítás által kapott eredmények. Ezt a tesztelést a konzisztencia mutató kiszámításával el lehet végezni. A konzisztencia mutató kiszámításának lépéseit jelen munka során nem mutatjuk be részletesen, mivel korábbi munkáink során ezt már megtettük.

A konzisztencia mutatók meghatározását követően, az előzetesen megállapítható küszöbszám segítségével azonosíthatóak a nem megfelelő mértékben racionális válaszadók. Példaként említhető a súlyossághoz tartozó preferencia mátrixok esete. A súlyosság esetén nyolc egyéni preferenciatáblázatból készült el az aggregált preferencia tábla, mivel 3 esetben a konzisztencia mutatóra vonatkozó minimális feltétel nem teljesült.

Az aggregált preferencia táblázatban a cellákban lévő számok az egyéni preferencia mátrixok összegzéseként jön ki, ahol a minimum 0 – tehát senki nem preferálta az adott hibát a másikkal szemben-, a maximum 8 lehetett – ahol a hibát mindenki jobban preferálta a másik hibatípusnál.

Az aggregált preferencia mátrixban szereplő értékek (ezúton most részletesen be nem mutatott) matematikai és statisztikai lépésekkel standard normális eloszlást követő valószínűségi változókká transzformálhatóak. Ezután a folyamat befejezéseképpen egy skálatranszformációval 1-10- ig terjedő skálára transzformálhatóak a valószínűségi változók értékei. A súlyosságra vonatkozó lépéssorozat eredménytáblázatát mutatja be a *2. táblázat*.

Aggregált preferencia mátrix													a_i	p_a	u	SKÁLA
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12				
E1		5	0	8	8	8	8	8	8	8	8	5	74	0,829	0,95	3,03
E2	3		1	8	8	8	8	8	7	6	8	3	68	0,7652	0,72	3,62
E3	8	7		8	8	8	8	6	8	8	7	8	84	0,9354	1,52	1,56
E4	0	0	0		4	4	3	5	5	0	2	0	23	0,2864	-0,56	6,97
E5	0	0	0	4		4	7	7	7	0	4	2	35	0,4141	-0,22	6,06
E6	0	0	0	4	4		5	5	7	3	2	2	32	0,3821	-0,30	6,28
E7	0	0	0	5	1	3		8	7	2	3	0	29	0,3502	-0,38	6,50
E8	0	0	2	3	1	3	0		7	0	2	0	18	0,2332	-0,73	7,39
E9	0	1	0	3	1	1	1	1		0	0	0	8	0,1268	-1,14	8,47
E10	0	2	0	8	8	5	6	8	8		7	0	52	0,5949	0,24	4,88
E11	0	0	1	6	4	6	5	6	8	1		0	37	0,4353	-0,16	5,92
E12	3	5	0	8	6	6	8	8	8	8	8		68	0,7652	0,72	3,62
												$a_{i,max}$	88	0,95833	1,731664	1
												$a_{i,min}$	0	0,04167	-1,73166	10

2. táblázat: aggregált preferencia mátrix (súlyosság)

Miután elkészült a gyakorisághoz, a súlyossághoz és a detektálhatósághoz tartozó aggregált preferencia mátrix, meghatározhatóvá váltak a hibatípusok RPN számai, melyeket a *3. táblázatban* foglaltunk össze.

Hiba megnevezése	Súlyosság	Gyakoriság	Detektálhatóság	RPN
Profilok görgőtörése	5,48	4,53	6,84	256,4
Tengely vagy féltengely törés	7,94	3,66	8,86	228,3
Láncszakadás a teleszkópos villában	7,94	4,70	7,79	174,5
Adathordozó hibája	2,68	8,34	5,71	150,1
Súlymérő hibája, folyamatos túlterhelt jelzés	4,32	6,75	4,41	138,1
Drótkötélszakadás	9,99	1,26	9,67	137,9
Biztonsági szenzorok meghibásodása	5,30	7,68	5,97	132,6
PLC meghibásodása	6,60	5,25	4,70	131,6
Meghajtómotor (x, y, z) nem működik	8,57	3,98	6,11	119,3
Útmérő (x,y) meghibásodása	5,08	7,00	4,32	113,4
Kommunikációa hiba belső (profinet)	4,84	8,22	4,70	98,6
Kommunikációa hiba külső (IT infrastruktúra)	3,86	9,45	3,77	59,7

3. táblázat: az RPN számok a döntésorientált FMEA elemzéshez

Ahogy az ábrán is látható a legmagasabb RPN számot a Profilok görgőtörése, míg a legalacsonyabb pontszámot a Külső kommunikációs hiba kapta. A táblázatból látszik, hogy a megadott 100-as beavatkozási határ következtében a felsorolt 12 hibából 10 hibánál kellene azonnali intézkedést elrendelnie a karbantartási részlegnek.

4. A tradicionális FMEA és a DOFMEA elemzés eredményeinek összehasonlítása

A tradicionális FMEA esetén számos tényező torzíthatja az eredményt, míg a DOFMEA esetén az eredmény torzulásának lehetősége kisebb. Részben ebből is következik, hogy a DOFMEA eredményei szigorúbbak a tradicionális hibamód és hatáselemzés eredményeihez képest. A *4. táblázat* a három-három legnagyobb RPN értékkel rendelkező meghibásodási módot jelöli.

Sorszám	Lehetséges meghibásodások	
	DOFMEA	Tradicionális FMEA
1.	Profilok görgőtörése	Kommunikációs hiba külső (IT infrastruktúra)
2.	Tengely vagy féltengelytörés	Adathordozó hibája
3.	Láncszakadás a teleszkópos villában	Kommunikációs hiba belső (profinet)

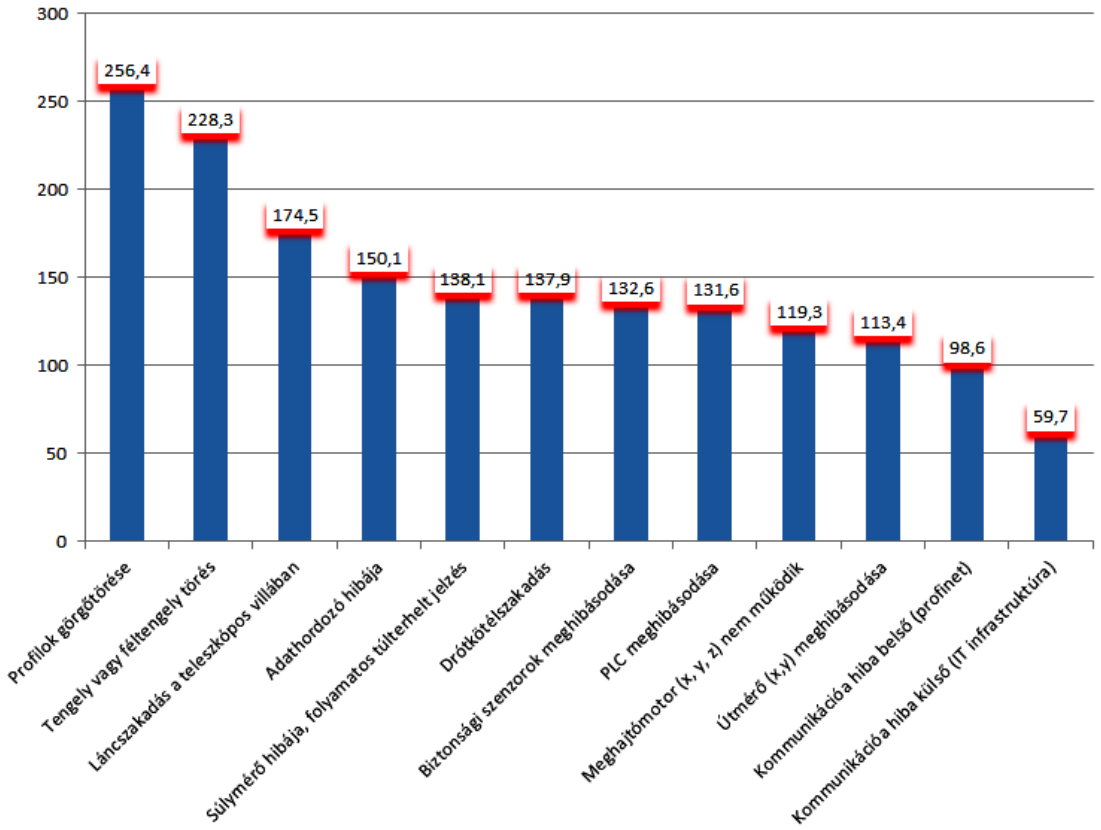
4. táblázat: a három legnagyobb RPN értékű hibamód a két módszer esetén

Ha jobban megvizsgáljuk a két elemzés eredményét megállapítható, hogy a DOFMEA által legnagyobb RPN értékkel rendelkező meghibásodási módjainak mindegyike a gép fizikai hibáit jelöli, míg a tradicionális elemzésben más, informatikai jellegű meghibásodások merültek fel. Az *5. táblázatban* a gép különböző meghibásodásait hasonlítjuk össze.

Hiba megnevezése	Tradicionális		DOFMEA	
	Sorrend	RPN szám	Sorrend	RPN szám
Kommunikációs hiba külső (IT infrastruktúra)	1.	251	12.	60
Adathordozó hibája	2.	182	4.	150
Kommunikációs hiba belső (profinet)	3.	160	11.	99
Profilok görgőtörése	9.	24	1.	256
Tengely vagy féltengely törés	12.	11	2.	228
Láncszakadás a teleszkópos villában	8.	26	3.	174

5. táblázat: az RPN értékek hangsúlyának eltolódása

Az egyes hibamódok értékelése jelentős eltérést mutat. Az RPN értékek, valamint az egyes meghibásodások – RPN szám – alapján képzett sorrendjében is vannak különbségek. A tradicionális elemzéssel legsúlyosabbnak megítélt külső kommunikációs hiba a DOFMEA elemzés során a legkevésbé súlyos hibaként merült fel. A többi hibamódnál is hasonló képet mutatnak az eltérő elemzések. A Pareto-elv (80-20-as szabály) megfontolását követve 3 hibamód esetén célszerű a karbantartóknak kiemelt figyelmet biztosítaniuk. Az RPN értékek szemléltetését mutatja be a *3. ábra*.



3. ábra: a DOFMEA elemzés által adott RPN értékek

Ezek alapján a profilok görgőtörésének, a tengely vagy féltengely törésének és a láncszakadásnak célszerű kiemelt figyelmet adni a jövőben.

5. A DOFMEA módszertan előnyeinek összefoglalása

A döntésorientált FMEA elemzés számos előnnyel bír a már sokak által ismert tradicionális FMEA- hoz képest, ezek közül a legfontosabbakat mutatjuk be az alábbiakban.

Nincsenek előre definiált skálák: a DOFMEA esetén nincsenek előre meghatározott skálák, így a döntéshozók gondolkodását azok nem korlátozzák illetve befolyásolják.

Önálló munka végzése: a módszer direkt kommunikáció nélkül is működik. Ezzel el lehet kerülni az esetleges konfliktusok kialakulását, amelyek akár a döntéshozók véleményének megváltozásához is vezethetnek.

Szubjektív vélemények nem szorulnak háttérbe: a módszer kiszűri a csoport adottságaiból fakadó hátrányokat, nem lehet háttérbe vonulni, nem marad egyetlen szubjektív megítélés sem a fejekben. Ez abból adódik, hogy a tradicionális FMEA esetén az RPN szám kialakítása táblázatból, explicit módon, míg a DOFMEA esetén párok összehasonlításából, implicit módon keletkezik.

Skálaelméleti megfontolások: a DOFMEA a páros összehasonlítás elvén alapul, ezzel szemben a tradicionális FMEA előre definiált skálákat használ, melyek különböző fejlettségűek. Ha ismertek a priori információk, akkor arányskálát használ, ha nincsenek ilyen megbízható információk, akkor csak sorrendi skálát lehet használni az előfordulások valószínűségére.

A priori információk szükségessége: a tradicionális FMEA esetén szükségesek a megelőző információk az előre definiált skálaértékek miatt, míg a döntésorientált FMEA esetén nem szükségesek. Ennek következménye, hogy a módszer célravezetőbben alkalmazható jelentős újdonságtartalommal bíró elemzések során.

Vezető szerepe: a tradicionális hibamód és hatáselemzés esetén a vezető szerepe hangsúlyos, míg a DOFMEA esetén kisebb, ez az „ezredes hatás" kiszűrésében segítség.

Gyors és egyszerű megvalósítás: könnyen algoritmizálható, számítógépes támogatás segítségével könnyen és gyorsan elvégezhető.

6. Felhasznált szakirodalmi források

Balogh Á., Bognár F., Gaál Z., Szentes B.: Kikből lesznek a jövő karbantartói? A karbantartás kihívása – A tudástőke felértékelődése; 215-224. o. Veszprém, 2010.

Bognár F., Gaál Z.: Rethinking business process maintenance related to corporate culture; Problems of Management in the 21st Century, vol. 1., issue 1. pp. 16-25. 2011.

Bognár F.: The impact of organisational culture and maintenance strategies in organisational business processes; Pannon Management Review, vol. 3. issue 1. pp. 93-127. 2014.

Gaál Z.: Karbantartás-menedzsment. Pannon egyetemi Kiadó, Veszprém, 2007.

Gaál Z., Kovács Z.: Megbízhatóság – Karbantartás, Veszprémi Egytemi Kiadó, Veszprém, 2004.

Gaál Z., Szabó L.: Élenjáró karbantartási menedzsment – úton a siker felé? Gépgyártástechnológia, 37. 4. 9-11 o. 1997.

Gaál Z., Szabó L.: Karbantartási projektek irányítása – de hogyan? Gépgyártástechnológia, 39. 4. 3-8 o. 1999.

Gaál Z., Timár L.: A megbízhatóságelmélet alkalmazása a karbantartásban. Szervezés és Vezetés, 14. 10. 410-412 o. 1981.

Horváth Cs.: Gondolatok a karbantartás-szervezés tudományos vetületeiről. In: XX. Nemzetközi Karbantartási Konferencia kiadványa; A karbantartás fókuszában: érték – költség – versenyképesség; 51-58. Veszprém, 2008.

Kosztyán, Zs. T., Hegedűs, Cs., Kiss, J., Németh, A.: Handling Maintenance Projects with Matrix-based Methods. International Joint Conference on Computer, Information and System Sciences and Engineering (CISSE 10) - International Conference on Industrial Electronics, Technology & Automation (IETA 10), 3-12 December, 2010.