

Juhász László

## A HIBAMÓD- ÉS HATÁSELEMZÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉSE

*A hibamód- és hatáselemzés a műszaki életben az egyik leghatásosabban használható hibaanalizáló eljárás. A módszer nagy múltra tekint vissza, alkalmazásával manapság az ipar számos területén találkozhatunk. Segítségével a folyamat vagy termék meghibásodási módjait tudjuk körüljárni, közelebb kerülve így azok kijavításához. A publikációban először a hibamód- és hatáselemzés történetével foglalkozunk, majd az eljárás általános elvégzését részletezzük. A cikk célja a témában az utóbbi időben megjelent publikációk áttekintése. Ezeknek a publikációknak a nagy része kritikákat fogalmaz meg az eljárással kapcsolatban. A tanulmány sorra veszi a módszer korlátait is. Ezt követően a szakirodalomban fellelhető, az eljárás hiányosságait csökkentő javaslatokat mutat be, különös tekintettel a fuzzy módszerrel támogatott hibamód- és hatáselemzés elkészítésére.*

**Kulcsszavak:** hibamód- és hatáselemzés, FMEA, kockázateértékelés, kockázat rangsorolás, fuzzy FMEA

### BEVEZETÉS

A hibamód- és hatáselemzés (Failure Mode Effects Analysis – FMEA) eljárás egy szisztematikus módszer egy termék vagy folyamat lehetséges hiányosságainak feltárására, valamint megelőzésére még mielőtt azok bekövetkeznének [30]. Ideális esetben az FMEA eljárást már egy termék vagy folyamat kezdeti, koncepciózus állapotában alkalmazzák, de használatuk a már meglévő termékeken és folyamatokon is jelentős előnyökkel járhatnak. Az FMEA módszer arra készteti a termék illetve a folyamat tervezőit, hogy felmérjék, melyek a terv kritikus pontjai, milyen módon képes meghibásodni. Ezt követően a tervezők javaslatot tehetnek ezeknek a pontoknak a megelőzésére, jelentőségük csökkentésére, esetleg kiküszöbölésükre [35].

Az FMEA módszert először az Amerikai Egyesült Államok hadserege alkalmazta az 1949-ben megjelent Mil-P 1629-es számú dokumentumukban [4], [8]. Az 1960-as években az eljárás különböző változatait a NASA-nál (National Aeronautics and Space Administration) használták [15]. Tömegtermelésben az FMEA-t elsőként a Ford Motor Company vezette be az 1970-es évek közepén [29] a Pinto típusú autójuk körüli botrányt követően [2]. Az 1980-as években az AIAG (Auto Industry Action Group) fejlesztette, sztenderdizálta [8] a módszer végrehajtását, majd 1993-ban publikálták az autóiparra vonatkozó FMEA szabványukat [5]. Az SAE (Society of Automotive Engineers) J1739 számú szabványban [1] rögzítette az FMEA eljárás részleteit.

A tanulmány célja az FMEA módszerrel kapcsolatos irodalom feltárása, a közelmúltban megjelent tanulmányok felmérése, valamint a Szerző további kutatásaihoz használható tudásalap megszerzése. A tanulmány a bevezető rész után a következő fejezetekből áll: a 2. fejezet az FMEA módszer általános elvégzésével foglalkozik. A 3. fejezet az eljárással kapcsolatban megfogalmazott kritikákat, korlátokat méri fel. A 4. fejezet a több szerző által is ajánlott fuzzy FMEA-val kapcsolatban megjelent fontosabb cikkeket mutatja be. A 6. fejezet összefoglalást nyújt a tanulmányról.

## AZ FMEA FOLYAMATA

Az FMEA általában egy cég különböző területekeiről (például: design, gyártástervezés) jövő szakemberekből álló csapat végzi el. Brainstorming keretében [16] megvitatják, hogy a terméknek vagy folyamatuknak melyek a gyenge pontjai, milyen esetben képes a meghibásodásra. A lehetséges meghibásodási eseteket különböző szempontok szerint pontozzák. A pontszámok alapján egy közös mutatószámot határoznak meg, mellyel a hibalehetőségek között egy rangsort tudnak megadni. Így rávilágítva arra, hogy melyek a termék vagy folyamat lényeges gyenge pontjai. FMEA eljárásokhoz hagyományosan az alábbi két számítási módszer valamelyikét használják a meghibásodás mutatószámának meghatározására [6], [38]:

CN (Criticality Number) a kritikussági szám:

$$CN = a \cdot b \cdot I \cdot t, \quad (1)$$

ahol:

- $a$  – hibamód hányados;
- $b$  – hibahatás valószínűsége;
- $I$  – hiányos darab aránya;
- $t$  – működési idő.

RPN (Risk Priority Number) a kockázat prioritási szám:

$$RPN = O \cdot S \cdot D, \quad (2)$$

ahol:

- $O$  (occurrence) – a hiba előfordulásának gyakorisága;
- $S$  (severity) – a hiba hatásának súlyossága;
- $D$  (detectability) – a hiba észlelésének nehézsége.

| Hiba gyakorisága                            | A hiba valószínűsége     | Osztályzat |
|---|--------------------------|------------|
| Extrém magas: a hiba szinte elkerülhetetlen | $\geq 1$ a 2-höz         | 10         |
| Nagyon magas                                | 1 a 3-hoz                | 9          |
| Ismételt hibák                              | 1 a 8-hoz                | 8          |
| Magas                                       | 1 a 20-hoz               | 7          |
| Mérsékelten magas                           | 1 a 80-hoz               | 6          |
| Mérsékelt                                   | 1 a 400-hoz              | 5          |
| Viszonylag alacsony                         | 1 a 2000-hez             | 4          |
| Alacsony                                    | 1 a 15 000-hez           | 3          |
| Csekély                                     | 1 a 150 000-hez          | 2          |
| Szinte lehetetlen                           | $\leq 1$ a 1 500 000-hez | 1          |

1. táblázat A hiba gyakoriságának hagyományos osztályozása [26]

A kritikussági számot elsősorban magas kockázatú terveknel (például: nukleáris- és repülőgépipar), a kockázati prioritási számot pedig a fogyasztási cikkek gyártásánál használják [38]. A továbbiakban az RPN számítási módszerrel foglalkozunk. Ennek a számítási módszernek a kezei között a három tényező (gyakoriság, súlyosság, észlelhetőség) mindegyikét 1–10-ig tartó skálán egy-egy számmal pontozzák, majd ezt a három számot összeszorozzák. Így az 1–1000-ig terjedő skálán kapunk egy RPN értéket. A pontozásra a következő három táblázat (1. táblázat, 2. táblázat, 3. táblázat) nyújt ajánlást [26].

|       |                    |            |
|-------|--------------------|------------|
| Hatás | A hatás súlyossága | Osztályzat |
|-------|--------------------|------------|

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| Veszélyes      | A hiba veszélyes, jelzés nélkül keletkezik. Felfüggeszti a rendszer működését és/vagy nem felel meg a hatósági szabályozásnak | 10 |
| Komoly         | A hiba veszélyes kimenettel járhat és/vagy nem felel meg a hatósági szabályozással  | 9  |
| Extrém         | A termék alapvető funkció nem működnek. A rendszer nem működik.   | 8  |
| Fontos         | A termék minősége súlyosan befolyásolt, de még működik. A rendszer nem működhet.  | 7  |
| Jelentős       | A termék minősége leromlott. Kényelmi vagy ellenőrző funkciók nem működnek  | 6  |
| Mérsékelt      | Mérsékelt hatás a termék minőségére. A termék javítást igényel.   | 5  |
| Alacsony       | Kis hatás a termék minőségére. A termék nem igényel javítást.   | 4  |
| Csekély        | Csekély hatás a termékre vagy a rendszer teljesítményére  | 3  |
| Nagyon csekély | Nagyon csekély hatás a termékre vagy a rendszer teljesítményére   | 2  |
| Nincs          | Nincs hatás   | 1  |

2. táblázat A hiba súlyosságának hagyományos osztályozása [26]

| Észlelés             | Leírás  | Osztályzat |
|----------------------|---|------------|
| Abszolút bizonytalan | A minőség-ellenőrzés nem észleli a hiba hatását vagy a bekövetkező hibát; vagy nincs minőség-ellenőrzés | 10         |
| Nagyon csekély       | A minőség-ellenőrzés nagyon csekély észleli a hiba hatását vagy a bekövetkező hibát                     | 9          |
| Csekély              | A minőség-ellenőrzés csekély eséllyel észleli a hiba hatását vagy a bekövetkező hibát                   | 8          |
| Nagyon alacsony      | A minőség-ellenőrzés nagyon alacsony eséllyel észleli a hiba hatását vagy a bekövetkező hibát           | 7          |
| Alacsony             | A minőség-ellenőrzés alacsony eséllyel észleli a hiba hatását vagy a bekövetkező hibát                  | 6          |
| Mérsékelt            | A minőség-ellenőrzés magas eséllyel észleli a hiba hatását vagy a bekövetkező hibát                     | 5          |
| Mérsékeltlen magas   | A minőség-ellenőrzés mérsékeltlen magas eséllyel észleli a hiba hatását vagy a bekövetkező hibát        | 4          |
| Magas                | A minőség-ellenőrzés magas eséllyel észleli a hiba hatását vagy a bekövetkező hibát                     | 3          |
| Nagyon magas         | A minőség-ellenőrzés nagyon magas eséllyel észleli a hiba hatását vagy a bekövetkező hibát              | 2          |
| Szinte biztos        | A minőség-ellenőrzés szinte biztosan észleli a hiba hatását vagy a bekövetkező hibát                    | 1          |

3. táblázat A hiba észlelésének hagyományos osztályozása [26]

Abban az esetben, ha az FMEA elemzés egy hibaokra egy egyezményesen meghatározott *RPN* érték (sok esetben ez az érték 120 [13]) fölötti számot eredményez, akkor ahhoz a hibaokhoz egy korrigáló javaslatot kell tenni. Ezen korrekciók után a hibalehetőséget vizsgálva az FMEA elemzést ismételt el kell végezni. A termék vagy folyamat terveinek módosítását addig kell folytatni, míg az összes hibalehetőség *RPN* értéke a meghatározott határérték alatt nem lesz, így kiszűrve a tervekből a lényes meghibásodási forrásokat.

## FMEA KORLÁTAI

Az FMEA eljárás az egyik leghasznosabb hibaanalizáló metódus, azonban a vállalatok a módszer sok esetben félreértelmezik. Helyenként csupán a vevői követelményeknek való megfelelés miatt alkalmazzák, az FMEA kiértékelést követően az FMEA folyamatot befejezettnek te-

kintik. Az FMEA csapat tagjai általában mérnökök, akik a jelentés elkészítését túlságosan fáradságosnak és időigényesnek találják [14]. Az eljárás célja viszont a termék vagy folyamat minőségének folyamatos javítása, a vevői elégedettség állandó fokozása [45].

Megfelelő FMEA elkészítésének nehézségét az jelenti, hogy már a termék vagy a folyamat tervezési szakaszában alkalmazni kell, megfelelően képzett FMEA csapatot kell létrehozni, a különböző területeket össze kell hangolni, valamint az összes részlegnek el kell fogadnia az FMEA jelentés eredményét. Az eljárás célja egy folyamat tervezési szakaszát lerövidíteni, azonban a gyakorlatban ez nem mindig valósul meg. Az elemzés igazán akkor lesz hatásos lenni, ha az összes részleg elfogadja annak eredményét, és az abból nyert információk bekerülnek a vállalat általános minőségi szabályozásába [45].

Az FMEA módszer alkalmazásának egyik legnagyobb hátránya az, hogy csak az *RPN* értékét veszi figyelembe anélkül, hogy a szorzatot alkotó tagokat is vizsgálná. Így két olyan hibalehetőség ugyanolyan elbírálás alá esik, melyek *RPN* értékükben megegyeznek ugyan, a természetük viszont jelentősen eltérhet, [31][32][34][47]. Például, a 4, 3, 2 és a 8, 1, 3 *S*, *O* és *D* értékű hibalehetőségnek is az *RPN* értéke 24, azonban a hatékony hibamegelőzéshez eltérő elbírálásra lenne szükség. Így az eljárással egyrészt erőforrást lehetne spórolni, másrészt magát a hibalehetőséget is jobban körül tudnánk írni.

Másik nagyobb hátránya, hogy az egyes mutatószámok nem egyértelműen meghatározhatók [34]. Nem méréssel, hanem megállapítással keletkeznek [19], így értékeik nem túl megbízhatóak [47]. Gilchrist [19] véleménye szerint az *RPN*-nek egy általános mutatószámnak kéne lennie, ami 1 és 1000 közötti skálán megadja, hogy a vásárló mekkora valószínűséggel kap hibás árut.

Ezen kívül az *RPN* számítás matematikai háttere is megkérdőjelezhető [12][18][25]. Míg az észlelések valószínűsége (*D*) és mutatószáma között lineáris összefüggés van, a hiba gyakorisága (*O*) és mutatószáma között nem lineáris a kapcsolat. Így a két mutatószámot nem lehet egymással összehasonlítani.

Szükség van a vállalatoknál egy általános elbírálási rendszer megfogalmazására, mellyel a különböző szakemberek által meghatározott meghibásodási lehetőségek összevethetők lehessenek egymással. Problémaforrás lehet az is, ha egy FMEA csapatban a tagok egy-egy érték meghatározásánál eltérő véleményen vannak. Ilyenkor az értékek átlagával számolnak, ami újabb eltérést mutat az *RPN* meghatározásánál [31].

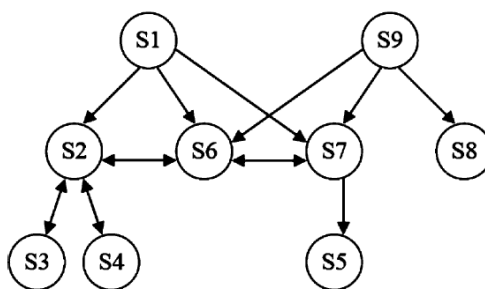
Edenhofer és Köstner [17] az FMEA hiányosságait azzal magyarázták, hogy az eljárásnak nincsenek meghatározott sorrendben végezhető konkrét lépései. Wirth és társai [48] tudásalapú FMEA (knowledge-based FMEA – WIFA) elmélete azt javasolja, hogy az FMEA kidolgozását egy tudásbázis segítse. Ebben a folyamat elvégzéséhez rendelkezésre állnak már korábbi FMEA jelentések. Ez egy tudásbázis, ami olyan tipikus technikai ismereteket tartalmaz, mint a rendszer-, meghibásodási mód -, folyamat- és művelettípusok, valamint kiterjed arra, hogy milyen lépések szükségesek egy FMEA elvégzéséhez.

Sankar és Prabhu [36] tanulmányukban arra a megállapításra jutottak, hogy a különböző *RPN* értékek az 1–1000-ig terjedő skálán nem egyenletesen oszlanak el, a skála elején sokkal több kombinációban vehet fel értékeket. Így a hibalehetőség nagyságával nem arányos az *RPN* értéke. Kockázat prioritási rangsorolás (Risk Priority Rank – RPR) néven új számítási módszert alkalmaztak. Ennek a módszernek a keretei között szakértők minden egyes *O-S-D* kombinációhoz hozzárendeltek egy új értéket (4. táblázat), ami a skálán sokkal jobb eloszlást vesz fel. Így mutatószám alapján könnyebben lehet az összehasonlítást elvégezni.

| Szabály sorszáma | Gyakoriság | Súlyosság | Észlelhetőség | RPN | RPR |
|------------------|------------|-----------|---------------|-----|-----|
| 49               | 1          | 5         | 9             | 45  | 418 |
| 182              | 2          | 9         | 2             | 36  | 807 |
| 208              | 3          | 1         | 8             | 24  | 28  |
| 355              | 4          | 6         | 5             | 120 | 492 |
| 431              | 5          | 4         | 1             | 20  | 192 |
| 576              | 6          | 8         | 6             | 288 | 757 |
| 627              | 7          | 3         | 7             | 147 | 344 |
| 794              | 8          | 10        | 4             | 320 | 956 |
| 820              | 9          | 2         | 10            | 180 | 341 |
| 963              | 10         | 7         | 3             | 210 | 736 |

4. táblázat Sankar és Prabhu [36] hibalehetőség besorolása

Kara-Zaitri és társai [24] a jobb vizualizáció érdekében egy mátrix megjelenítést alkalmaztak. Több tanulmány is azt a hiányosságot fogalmazta meg, hogy a három mutatószám közötti relatív kapcsolatot nem veszik figyelembe [12][38][47]. A hagyományos FMEA értékelés nem veszi figyelembe az úgynevezett indirekt kapcsolatokat, mikor is az egyes hiba okok egymással közvetve összefüggnek. Seyed-Hosseini és társai tanulmányukban [37] mátrixszámítások útján feltárták ezen összetevők közötti kapcsolatokat. Ezzel a számítással egy új, pontosabb képet adó sorrendet állítottak fel a lehetséges meghibásodások között.



1. ábra Korrekciók kapcsolata Chen tanulmányában [10]

Chen [10] a hibalehetőségek helyett az azokra adott válasza koncentrált. Tanulmányában a hibalehetőségek kiküszöbölésére elhatározott korrekciókat (1. ábra) vizsgálta abból a szempontból, hogy az egyes intézkedések hatnak-e egymásra.

Különböző mátrixszámítások útján megállapította, hogy melyik intézkedésnek mekkora a relatív súlya a többihez képest. Így az *RPN* számítástól eltérő, új sorrendet tudott felállítani a hibalehetőségek között.

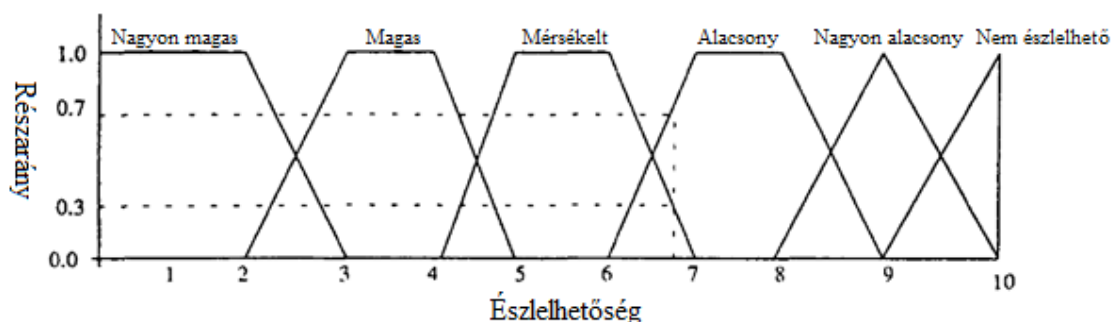
## FUZZY FMEA

A Zadeh [51] által kidolgozott „elmosódott halmazok” (fuzzy) logikája számítási módszert széles körben alkalmaznak a tudomány számos területén. Segítségével többértékű logikai szemantikákat definiálhatunk. Nem csak azt adhatjuk meg, hogy egy jellemző egy bizonyos tulajdonsággal rendelkezik vagy sem, hanem hogy azt az értéket milyen mértékben (0-tól 1-ig tartó skálán) birtokolja.

Bowles és Peláez [6] alkalmazta először a fuzzy módszert FMEA eljáráshoz, majd számos más tanulmány ezt az eljárást javasolta az FMEA hátrányainak kiküszöbölésére.

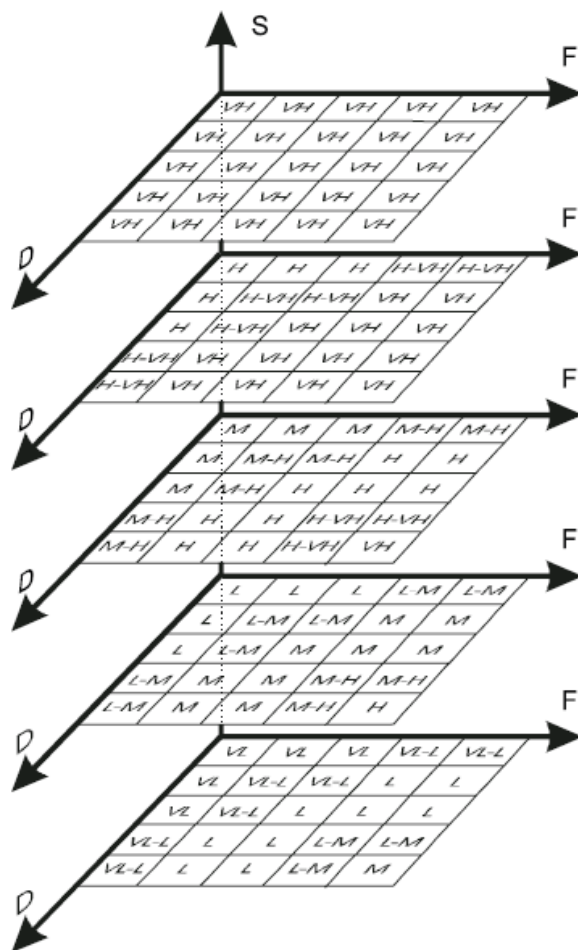
A fuzzy rendszer alapja a fuzzyfikáló diagram. Szakértők nyelvi változókat (például: 2. ábra „Méréselt”, „Alacsony”) határoznak meg. Ezt követően megállapítják a nyelvi változók fuzzy függvényeit,

amik jellemzően trapéz vagy háromszög alakúak. A függvények mutatják meg, hogy az  $O$ ,  $S$  vagy  $D$  értékhez (2. ábra vízszintes tengely) milyen nyelvi érték tartozik, és azt a nyelvi értéket milyen értékben tartalmazza, mekkora a részaránya (2. ábra függőleges tengely) 0–1-ig terjedő skálán.



2. ábra Fuzzyfikáló diagram [6]

Ebben a megközelítésben az FMEA elvégzésekor az  $O$ ,  $S$  és  $D$  értékek megadása során egész számok helyett pontosabb értékeket adhatunk meg. Ezek a fuzzyfikálási folyamat bemenő paraméterei. Például a 2. ábrán az 6,7-es  $D$  értékhez 0,7 „Alacsony” és 0,3 „Mérsékelt” nyelvi érték tartozik.

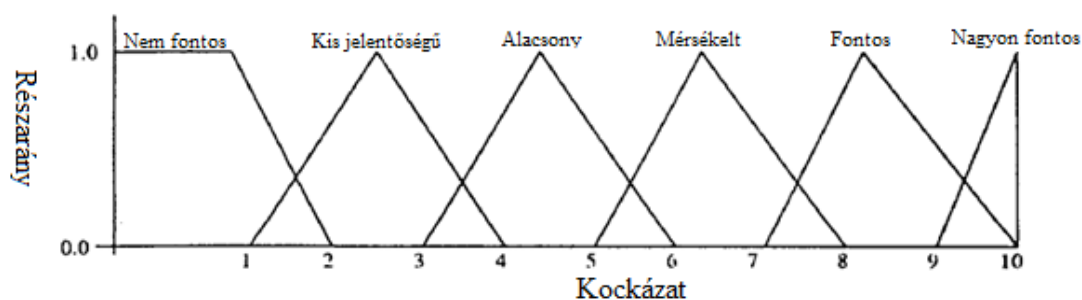


3. ábra A fuzzy FMEA szabályrendszer [34]

Bowles és Peláez Wang és Mendel [46] által meghatározott fuzzy szabályrendszert (3. ábra) alkalmazott. Ebben szakértők elkészítenek egy adatmátrixot, ami az összes lehetséges bemenő

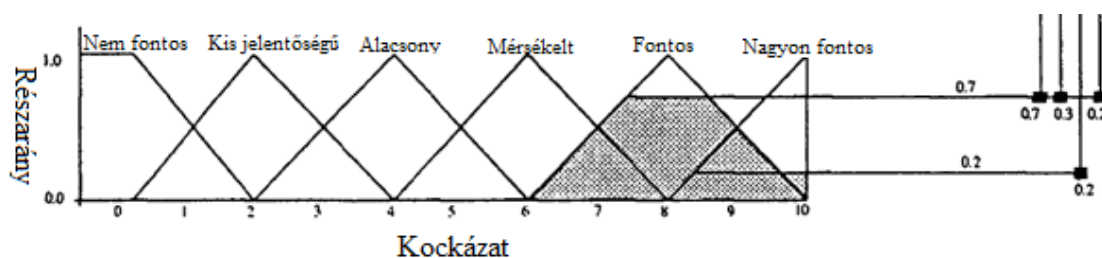
nyelvi változó kombinációra „Ha-Akkor” szabály szerint ad egy szinten nyelvi kockázati tényezőt. Például megadja, hogy HA az *O* gyakoriság „Alacsony” ÉS az *S* súlyosság „Kezelhető” ÉS a *D* észlelhetőség „Kezelhető”, AKKOR a kockázat „Kezelhető”.

Egy-egy fuzzy szabállyal meghatározott nyelvi érték a hozzá tartozó *O*, *S*, *D* értékek közül a legalacsonyabb értékűt viszi magával. Ha egy nyelvi értékhez több érték tartozik (más *O*, *S*, *D* kombinációban is ugyanazt a nyelvi értéket veszi fel), akkor ezek közül a legmagasabb értékkel számolunk tovább. Így a megkapjuk, hogy a kimeneti fuzzy diagramon (4. ábra) a kockázati nyelvi értékekhez milyen értékek tartoznak



4. ábra A kimeneti fuzzy diagram [6]

Bowles és Peláez defuzzyfikáló módszerként (5. ábra) a Mamdani és Assilian [28] által kidolgozott módszert használta.



5. ábra A defuzzyfikálás [6]

A kockázati függvényhez tartozó egyes nyelvi változók értékeiből a súlyozott átlag módszerrel egy kimeneti fuzzy értéket kapunk. Ez az érték egy 1–10-es skálán sokkal realisabb képet mutat a kockázat jellegéről, mint az *RPN* értéke.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (3)$$

ahol:

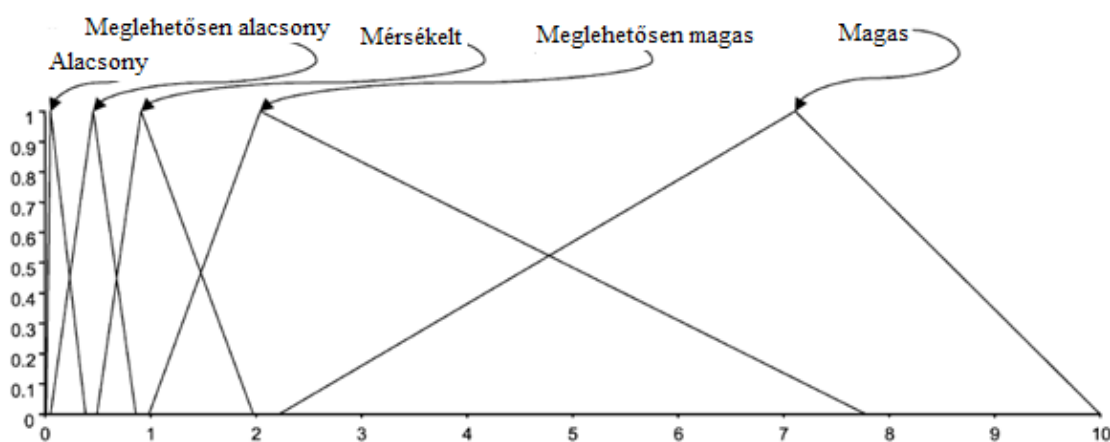
- $n$  – a nem 0 értékű nyelvi változók száma;
- $Z$  – a súlyozott átlag;
- $w_i$  – a  $i$ -edik nyelvi változóhoz tartozó érték;
- $x_i$  – az  $i$ -edik nyelvi változó maximális kockázati értéke.

Hasonló fuzzy FMEA eljárást alkalmazott Pokorádi [33] egy katonai helikopter, Xu és társai [49] pedig egy turbófeltöltő hibalehetőségének vizsgálatakor. Sharma és társai [37] a Mamdani-módszert Matlab programra alkalmazták.

Egyéb defuzzyfikáló módszerként megemlíthető még Takagi-Sugeno módszere [3][40][41].

Chang és társai [9] valamint Liu és társai [27] az *RPN* számítás kiküszöbölésére az úgynevezett szürke elméletet (grey theory) alkalmazták. Ebben a fuzzy módszer által használt „Ha-Akkor” szabályrendszer helyett a bemeneti fuzzy függvényekből a nyelvi változókhoz fuzzy számítások útján meghatároztak egy-egy mutatószámot. A bemeneti fuzzy függvényekben az egyes nyelvi változók között nem volt átfedés, így egy nyelvi változóhoz egy értéket rendelt. Maga a szabályrendszer egy számokat tartalmazó mátrixszá vált. Egy szabályhoz tartozó kimeneti értékét az egy sorban tartózkodó elemek szorzata adja meg.

Pillay és Wang [32] a hagyományos *RPN*-es, a fuzzy módszeres és a szürke elmélet számítási módszerét hasonlította össze. A fuzzy módszer esetében az FMEA csapatban részt vevő szakértők megállapításait szerepük szerint eltérő súlyozással vette figyelembe, így lehet például, hogy a kimeneti fuzzy diagramon a nyelvi változók függvényei a skála elején vannak feltorlódva (6. ábra).



6. ábra Kimeneti fuzzy diagram [32]

A szürke elmélet esetében a szabályok számítása részénél a szorzásban súlyozást alkalmazott az *O*, *S* és *D* értékek között. Tanulmányában az észlelhetőség 0,5-ös, a súlyosság 0,3-as, a gyakoriság pedig 0,2-es szorzót kapott.

Tanulmányuk konklúziójában (5. táblázat) arra jutnak, hogy a fuzzy módszerrel illetve a szürke elmélettel elvégzett hibalehetőség-elemzés többetmondó adatokat hoz eredményül, mint a hagyományos *RPN* számítás, mivel az elemzés részévé teszi a szakértők tudását és korábbi tapasztalatait.

A fuzzy rendszerek egyik lényeges hátránya, hogy a szabályrendszer túlságosan sok elemből áll, elkészítése időigényes. Több tanulmány is született a fuzzy szabályok számának csökkentésére [23][39][50].

Guimaraes és Lapa a fuzzy FMEA-módszerben sztemderden használt 125 fuzzy szabályt megfelelően kiválasztott 6 [20], 14 [21] és 16 [22] szabállyal közelítette. A szabályok csökkentését a következő példával mutatták be:

1. Szabály: „HA a gyakoriság *M* ÉS a súlyosság *H* ÉS a nem-észlelhetőség *M*, AKKOR a veszély *M-h*”
2. Szabály: „HA a gyakoriság *H* ÉS a súlyosság *M* ÉS a nem-észlelhetőség *H*, AKKOR a veszély *M-h*”
3. Szabály: „HA a gyakoriság *H* ÉS a súlyosság *H* ÉS a nem-észlelhetőség *M*, AKKOR a veszély *M-h*”



Az 1. 2. és 3. szabályt összevonhatjuk: „HA a gyakoriság  $M$  ÉS a súlyosság  $H$  ÉS a nem-észlelhetőség  $M$ , akkor a veszély  $M-h$ ” vagy a három nyelvi változó ezen értékeinek a kombinációja, akkor a veszély  $M-h$ .

| ID | Alkatrész            | Hibamód                 | RPN | Fuzzy elméleti érték | Szürke elméleti érték | Besorolás (RPN) | Besorolás (fuzzy elmélet) | Besorolás (szürke elmélet) |
|----|----------------------|-------------------------|-----|----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|
| 1  | Kormány-csapágy      | Beragadás               | 24  | 0,274                | 0,736                 | 14              | 7                         | 8                          |
| 2  | Kormány-csapágy      | Törés                   | 32  | 0,274                | 0,736                 | 13              | 7                         | 8                          |
| 3  | Kormány-csapágy      | Szerkezeti hiba         | 64  | 0,274                | 0,736                 | 10              | 7                         | 8                          |
| 4  | Főmotor              | Veszteséges kimenet     | 320 | 4,136                | 0,552                 | 2               | 2                         | 2                          |
| 5  | Főmotor              | Automata leállás        | 288 | 1,614                | 0,574                 | 3               | 3                         | 3                          |
| 6  | Tengely és propeller | Tengelytörés            | 16  | 0,112                | 0,849                 | 16              | 9                         | 13                         |
| 7  | Tengely és propeller | Tengely beragadása      | 36  | 0,112                | 0,849                 | 12              | 9                         | 13                         |
| 8  | Tengely és propeller | Sebváltó beragadása     | 12  | 0,111                | 0,820                 | 17              | 10                        | 11                         |
| 9  | Tengely és propeller | Hidraulikus hiba        | 18  | 0,111                | 0,843                 | 15              | 10                        | 12                         |
| 10 | Tengely és propeller | Propeller lapát hiba    | 8   | 0,055                | 0,933                 | 18              | 11                        | 14                         |
| 11 | Légbefúvó            | Nincs kezdeti légnyomás | 24  | 0,111                | 0,843                 | 14              | 10                        | 12                         |
| 12 | Áramgenerátor        | Generátori hiba         | 189 | 1,575                | 0,635                 | 4               | 4                         | 5                          |

5. táblázat Fuzzy módszer, szürke elmélet és hagyományos RPN besorolás összehasonlítása [32]

Braglia és társai [7] a szabályrendszer kidolgozása helyett egy úgynevezett kockázati függvényt (7. ábra) vezettek be.

$$F(x) = \begin{cases} \frac{(1+a) \cdot x}{a+x} & \text{kockázat kereső esetben} \\ 1 - \frac{(1+a) \cdot (1-x)}{a+(1-x)} & \text{kockázat kerülő esetben} \end{cases} \quad (4)$$

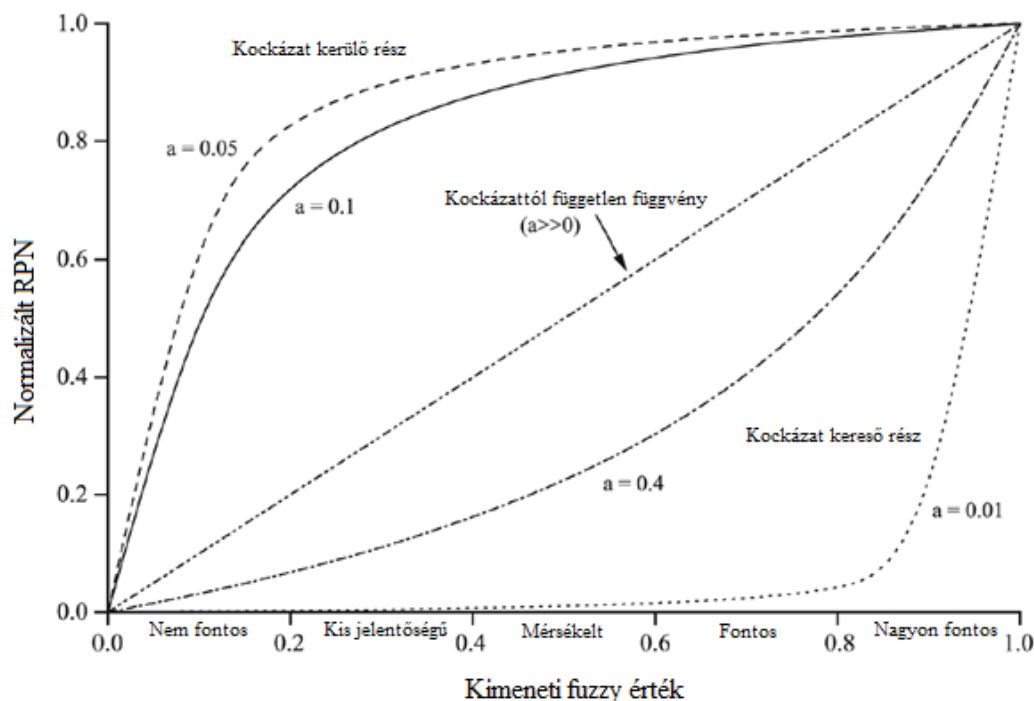
ahol:

- $F(x)$  – a normalizált RPN érték;
- $x$  – a kimeneti fuzzy szám.
- $a$  – az alakfaktor.

Az  $a$  alakfaktort szakértők állapítják meg, ez alapján és a  $F(x)$  két változata közüli választás alapján tudják a kockázati függvényt befolyásolni. Ha az elemzés elkészítője *kockázat kerülő*, kisebb normalizált RPN értékre nagyobb kimeneti kockázati értéket ad eredményül, *kockázat kereső* esetben pedig nagyobb RPN értékhez kisebb kockázati érték tartozik.

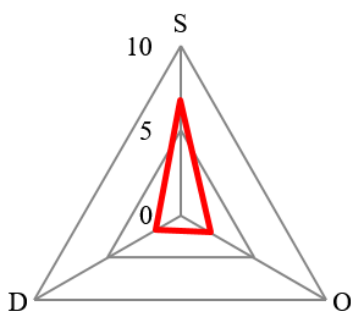
Tay és társai [43] a fuzzy kimenetnél súlyozást alkalmaztak. Nem csak egy végső fuzzy számot és egy hozzá tartozó nyelvi értéket hoztak eredményül, hanem azt, hogy azt a nyelvi változót (esetleg többet) mekkora százalékban tartalmazza. Másik tanulmányukban [44] kidolgozták az irányított szabályredukáló rendszerüket (Guided Rules Reduction System – GRRS), melyben

arra mutatnak rá, hogy egyes szabályok elhagyása a fuzzy RPN modellben nem vezet feltétlenül a fuzzy kimenet szignifikáns eltéréséhez.



7. ábra Braglia és társai [7] kockázati függvénye

Wang és társai [47] egy új számítási módszert fejlesztettek ki, amiben az eltérő súlyozással számításba vett FMEA csapattagok nemcsak a hibalehetőségeket, hanem az  $O$ ,  $S$ , és  $D$  mint szempontokat is véleményezik egy-egy nyelvi változóval. Számításukban a nyelvi változók fuzzyfikálása után a hagyományos FMEA számítás egyik hátrányát kiküszöbölve, a három faktort nem azonos mértékben veszik figyelembe.



8. ábra Szakértői csoport  $S$ ,  $O$ ,  $D$  értékeinek átlaga [42]

Szamosi és Pokorádi tanulmányukban [42] az FMEA csapatok interszubjektivitásával foglalkoztak. A 8. ábra bemutatja, hogy az egyik szakértői csapat a hibákat átlagosan hogy értékeli. Ebből kiderül, hogy a vizsgált csoport például az  $S$  súlyosságot átlagosan magasabban, a  $D$  detektálhatóságot illetve az  $O$  gyakoriságot átlagosan alacsonyabban pontozza. Ennek a módszernek a segítségével az egyes csapatokra speciálisan vonatkozó beavatkozási határokat állapíthatunk meg.

Chin és társai [11] állandó mágneses egyenáramú motorok katalógusához *EPDS-1* néven egy tudásbázist készítettek el. Ebben a tudásbázisban a különböző motortípusokhoz egy-egy darabjegyzék tartozik. Egy motortípushoz szükséges elemeket az adatbázisban található alternatívák

közül különböző szempontok szerint választhatjuk. Ezen szempontok a szakértők által korábban meghatározott fuzzy FMEA elemzésen kívül egyéb mutatószámok (például: költség) is lehetnek.

## ÖSSZEGZÉS

A tanulmány áttekintette az FMEA módszer történetét, majd bemutatta az eljárás általános elvégzését. Az FMEA mutatószám (*RPN*) meghatározása több szempontból is nehézségekkel küszködik, a közelmúltban megjelent számos publicisztika is kritikát fogalmazott meg vele szemben. A tanulmány ismertette a módszer lényeges hiányosságait, majd a számos szerző által ajánlott fuzzy FMEA-val kapcsolatban megjelent fontosabb cikkeket mutatta be.

A tanulmány a Szerző jövőbeli kutatásaihoz nyújt támpontot.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] J1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA) - SAE International, (online) url: [http://standards.sae.org/j1739\\_200208/](http://standards.sae.org/j1739_200208/). (2016.07.27.)
- [2] Ford Pinto, (online) url: <http://www.engineering.com/Library/ArticlesPage/tabid/85/ArticleID/166/Ford-Pinto.aspx> (2016.07.29.)
- [3] Kóczy T. László és Tikk Domonkos: Fuzzy rendszerek, Digitális Tankönyvtár, (online) url: <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/fuzzy-rendszerek-fuzzy/adatok.html> (2016.08.15.)
- [4] Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. MIL-P-1629: U.S. Department of Defense, 1949.
- [5] Anette von Ahsen: Cost-oriented failure mode and effects analysis. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, Volume 25.5, pp. 466–476, 2008.
- [6] John B. Bowles, C. Enrique Peláez: Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, Volume 50.2, pp. 203–213, 1995.
- [7] Marcello Braglia, Marco Frosolini, Roberto Montanari: Fuzzy criticality assessment model for failure modes and effects analysis. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, Volume 20.4, pp. 503–524, 2003.
- [8] Carl S. Carlson: Understanding the Fundamental Definitions and Concepts of FMEAs in Effective FMEAs. John Wiley & Sons Inc., pp. 21–55, 2012.
- [9] Ching-Liang Chang, Chiu-Chi Wei, Yeong-Hoang Lee: Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory. *Kybernetes*, Volume 28.9, pp. 1072–1080, 1999.
- [10] Jik Kuang Chen: Utility Priority Number Evaluation for FMEA. *J. Fail. Anal. Prev.*, Volume 7.5, pp. 321–328, 2007.
- [11] Kwai-Sang Chin, Allen Chan, Jian-Bo Yang: Development of a fuzzy FMEA based product design system. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Volume 36.7–8, pp. 633–649, 2007.
- [12] Kwai-Sang Chin, Ying-Ming Wang, Gary Ka Kwai Poon, és Jian-Bo Yang: Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach. *Comput. Oper. Res.*, Volume 36.6, pp. 1768–1779, 2009.
- [13] László Czeglédi: Minőségmenedzsment. Eszterházy Károly Főiskola, 2011
- [14] B. G. Dale, Peter Shaw: Failure mode and effects analysis in the U.K. motor industry: A state-of-the-art study. *Qual. Reliab. Eng. Int.*, Volume 6.3, pp. 179–188, 1990.
- [15] Robert P. Dill, N. Brown, R. L. Curtis, C. R. Herrmann, A. Trampus: State-of-the-art reliability estimate of Saturn 5 propulsion systems, 1963.
- [16] Chensong Dong: Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, Volume 24.9, pp. 958–971, 2007.
- [17] B. Edenhofer és A. Köster: Systemanalyse. Die Lösung, FMEA optimal zu nutzen. *QZ*, Volume 36, pp. 12, 1991.
- [18] Heeralal Gargama és Sanjay K. Chaturvedi: Criticality Assessment Models for Failure Mode Effects and Criticality Analysis Using Fuzzy Logic. *IEEE Trans. Reliab.*, Volume 60.1, pp. 102–110, 2011.
- [19] Warren Gilchrist: Modelling Failure Modes and Effects Analysis. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, Volume 10.5, 1993.

- [20] Antonio C. F. Guimarães és Celso Marcelo Franklin Lapa: Effects analysis fuzzy inference system in nuclear problems using approximate reasoning. *Ann. Nucl. Energy*, Volume 31.1, pp. 107–115, 2004.
- [21] Antonio C. F. Guimarães és Celso Marcelo Franklin Lapa: Fuzzy FMEA applied to PWR chemical and volume control system. *Prog. Nucl. Energy*, Volume 44.3, pp. 191–213, 2004.
- [22] Antonio C. F. Guimarães és Celso Marcelo Franklin Lapa: Hazard and operability study using approximate reasoning in light-water reactors passive systems. *Nucl. Eng. Des.*, Volume 236.12, pp. 1256–1263, 2006.
- [23] Yaochu Jin: Fuzzy modeling of high-dimensional systems: complexity reduction and interpretability improvement. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, Volume 8.2, pp. 212–221, 2000.
- [24] Chakib Kara-Zaitri, A. Z. Keller, I. Barody, P. V. Fleming: An improved FMEA methodology. in *Reliability and Maintainability Symposium*, 1991. *Proceedings.*, Annual, pp. 248–252, 1991.
- [25] Ahmet Can Kutlu, Mehmet Ekmekçioğlu: Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Syst. Appl.*, Volume 39.1, pp. 61–67, 2012.
- [26] Hu-Chen Liu, Long Liu, Nan Liu: Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Syst. Appl.*, Volume 40.2, pp. 828–838, 2013.
- [27] Hu-Chen Liu, Long Liu, Qi-Hao Bian, Qin-Lian Lin, Na Dong, Peng-Cheng Xu: Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. *Expert Syst. Appl.*, Volume 38.4, pp. 4403–4415, 2011.
- [28] E. H. Mamdani, S. Assilian: An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *Int. J. Man-Mach. Stud.*, Volume 7.1, pp. 1–13, 1975.
- [29] K. Matsumoto, T. Matsumoto, Y. Goto: Reliability Analysis of Catalytic Converter as an Automotive Emission Control System. *SAE Technical Paper*, 0148–7191, 1975.
- [30] Raymond J. Mikulak, Robin McDermott, Michael Beauregard: *The Basics of FMEA*, 2nd Edition, 2 edition. New York: Productivity Press, 2008.
- [31] Sellappan Narayanagounder, Karuppusami Gurusami: A new approach for prioritization of failure modes in design FMEA using ANOVA. *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, Volume 49.524–31, 2009.
- [32] Anand Pillay, Jin Wang: Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, Volume 79.1, pp. 69–85, 2003.
- [33] Pokorádi László: Fuzzy logic-based risk assessment. *AARMS Acad. Appl. Res. Mil. Sci.*, Volume 1.1, pp. 63–73, 2002.
- [34] Javier Puente, Raúl Pino, Paolo Priore, David de la Fuente: A decision support system for applying failure mode and effects analysis. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, Volume 19.2, pp. 137–150, 2002.
- [35] Mark Saglimbene: Reliability analysis techniques: How they relate to aircraft certification. in *Reliability and Maintainability Symposium*, 2009. *RAMS 2009. Annual*, 2009, pp. 218–222.
- [36] Nune Ravi Sankar, Bantwal S. Prabhu: Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, Volume 18.3, pp. 324–336, 2001.
- [37] Seyed Mohammed Seyed-Hosseini, N. Safaei, M. J. Asgharpour: Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, Volume 91.8, pp. 872–881, 2006.
- [38] Rajiv Kumar Sharma, Dinesh Kumar, Pradeep Kumar: Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, Volume 22.9, pp. 986–1004, 2005.
- [39] Fuijun Song, S. M. Smith: A simple weight based fuzzy logic controller rule base reduction method. in *2000 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Volume 5, pp. 3794–3799, 2000.
- [40] Michio Sugeno: An introductory survey of fuzzy control. *Inf. Sci.*, Volume 36.1, pp. 59–83, 1985.
- [41] Michio Sugeno, G. T. Kang: Structure identification of fuzzy model. *Fuzzy Sets Syst.*, Volume 28.1, pp. 15–33, 1988.
- [42] Szamosi Barna, Pokorádi László: Intersubjectivity as an Uncertainty Source of Risk Assessment. *16th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics*, 19–21 November, 2015 Budapest, Hungary, pp. 35 – 39.
- [43] Kai Meng Tay és Chee Peng Lim: Application of Fuzzy Inference Techniques to FMEA. *Applied Soft Computing Technologies: The Challenge of Complexity*. Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 161–171.
- [44] Kai Meng Tay és Chee Peng Lim: Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, köt. 23, sz. 8, o. 1047–1066, 2006.
- [45] Sheng-Hsien (Gary) Teng és Shin-Yann (Michael) Ho: Failure mode and effects analysis: An integrated approach for product design and process control. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, Volume 13.5, pp. 8–26, 1996.

- [46] L. X. Wang, J. M. Mendel: Generating fuzzy rules by learning from examples. IEEE Trans. Syst. Man Cybern., Volume 22.6, pp. 1414–1427, 1992.
- [47] Ying-Ming Wang, Kwai-Sang Chin, Gary Ka Kwai Poon, Jian-Bo Yang: Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. Expert Syst. Appl., Volume 36.2/1, pp. 1195–1207, 2009.
- [48] Rüdiger Wirth, Bernd Berthold, Anita Krämer, Gerhard Peter: Knowledge-based support of system analysis for the analysis of Failure modes and effects. Eng. Appl. Artif. Intell., Volume 9.3, pp. 219–229, 1996.
- [49] K. Xu, Loon Ching Tang, Min Xie, Siong Lin Ho, M. L. Zhu: Fuzzy assessment of FMEA for engine systems. Reliab. Eng. Syst. Saf., Volume 75.1, pp. 17–29, 2002.
- [50] J. Yen és Liang Wang: Simplifying fuzzy rule-based models using orthogonal transformation methods. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part B Cybern., Volume 29.1, pp. 13–24, 1999.
- [51] Lotfi A. Zadeh: Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. IEEE Trans. Syst. Man Cybern., Volume SMC-3.1, pp. 28–44, 1973.

---

### LITERATURE REVIEW OF FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

*Failure mode and effects analysis (FMEA) is one of the most efficient ways to analyse problems in the technical world. The method has a long history, its application can be found in several industrial territories. With its help the opportunities to damage of a process or product can be observed, getting closer to their solutions. Firstly this publication handles with the history of failure mode and effects analysis, then its general execution is discussed. The goal of this article is the review of the lately released publications. The vast majority of these articles are critical of this analysis. This publication collects the withdrawals of the method. Then some suggestions that can reduce its deficiencies are introduced, especially the fuzzy FMEA method.*

**Keywords:** Failure mode and effects analysis, FMEA, risk analysis, risk prioritization, fuzzy FMEA

---

---

JUHÁSZ László (MSc)  
okleveles gépészmérnök  
Rosenberger Magyarország Kft.  
Laszlo.Juhasz2@rosenberger.de  
orcid.org/0000-0002-0700-5010

---

JUHÁSZ László (MSc)  
mechanical engineer  
Rosenberger Hungary Ltd.  
Laszlo.Juhasz2@rosenberger.de  
orcid.org/0000-0002-0700-5010

---



[http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016\\_3/2016-3-07-0352\\_Juhasz\\_Laszlo.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_3/2016-3-07-0352_Juhasz_Laszlo.pdf)

