

*Könyves Melinda Katalin – Kalló Noémi*

## **A kockázatelemzés változásai: Az új FMEA megközelítés**

### **Changes in Risk Analysis: The New FMEA Methodology**

#### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A vállalati működés egyik meghatározó eleme egy megfelelő minőségmenedzsment rendszer létezése és működtetése. E rendszerek természetesen a vállalatok sajátosságaihoz igazodnak, azonban közös irányelveket tartalmazó követelményrendszerre támaszkodva kerülnek kialakításra. Jelen tanulmány fókuszában az autóipar, az ott megfogalmazott követelményeknek való megfelelést segítő módszerek állnak, valamint az autóiparban legelterjedtebb kockázatelemzési technika, a Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) kerül elemzésre. A módszer vizsgálata – a kockázatelemzés előtérbe kerülésén túl – kifejezetten időszerű, mert a VDA és az AIAG közösen kidolgozott FMEA Handbook (Kézikönyv) 2019 végén került kiadásra. Mindezek tükrében a német és az amerikai megközelítést ötvöző új szemlélet tudományterületi és gyakorlati következményeinek feltárása fontos feladat. A tanulmány célja, az FMEA módszertan és gyakorlati alkalmazásának előnyeinek és hátrányainak a bemutatása, valamint a módszer változásának – fókuszálva a mérőszámokra – ismertetése és ennek pozitív és negatív hatásainak bemutatása.

#### **SUMMARY**

One of the defining elements of the company's operation is the existence and operation of a proper quality management system. These systems are, of course, tailored to the specificities of the companies, but they are based on a set of requirements with common guidelines. The focus of the present study is on the automotive industry, the methods used to help it meet the requirements set out there. The most common risk analysis technique in the automotive industry, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), will be analyzed. The examination of the method, in addition to the emphasis on risk analysis, is particularly timely because the FMEA Handbook, jointly developed by the VDA and AIAG, was published at the end of 2019. Considering all this, exploring the scientific and practical implications of a new approach combining the German and American approaches is an important task. The objective of the study is to present the advantages and disadvantages of the FMEA methodology and practical application. As well as a description of the change in method, focusing on metrics, and its positive and negative effects.

**Journal of Economic Literature (JEL)**

**kódok:** M11, G32, L60

**Kulcsszavak:** FMEA, Kockázat, Minőségmenedzsment, Módszertan, Autóipar

**Journal of Economic Literature (JEL)**

**codes:** M11, G32, L60

**Keywords:** FMEA, risk, quality management, method, automotive industry

---

KÖNYVES MELINDA KATALIN, PhD hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (konyves.melinda@gtk.bme.hu), DR. KALLÓ NOÉMI, egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (kall.noemi@gtk.bme.hu).

## BEVEZETÉS

A vállalati működés mindennapjaihoz ma már elengedhetetlen a minőségmenedzsment rendszerek megléte és azok folyamatos fejlesztése. A minőségmenedzsment szemlélete már a 20. század közepén előtérbe került, a sorozatgyártás megjelenésével pedig egyre inkább fontossá vált. A „kezdetleges” minőségellenőrzés fejlődési szakasz óta ma már egy komplex rendszerről beszélünk akkor, ha minőségmenedzsmentről van szó.

A minőségmenedzsment iránt elhivatott vállalatok egyik legfőbb küldetése, hogy a TQM (Total Quality Management) vállalati filozófia a mindennapi működésük része legyen. Visszatekintve a minőségmenedzsment fejlődésére az elmúlt évszázadban, a TQM – eddig legalábbis – a piramis csúcsa. 3 alapelvét különböztetjük meg: vevőközpontúság, folyamatok folyamatos fejlesztése és a teljes elkötelezettség (Tenner–De Toro, 2005). Ezen elemek elveinek, módszereinek és gyakorlatba ültetésének elsajátításával a szervezetek azt az alappillért tudják megteremteni, melyre később a teljes minőségmenedzsment rendszerük épül.

Jelen tanulmány a minőségmenedzsment módszerek és technikák rövid (autóiparra hangsúlyosabban kitekintő) áttekintését követően egy konkrét módszer, az FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis, lehetséges hibamód- és hatáselemzés* – aktuális változásait és annak menedzsment megfontolásait tekinti át.

## IRODALMI FELVEZETÉS

### *A minőségrendszerek alapjai: a szabványok*

Ha hierarchikusan tekintünk a minőségmenedzsment elemekre – mint teszi ezt az ISO 9001 követelménye a dokumentumpiramis esetén is –, a legfelső szintre a szabványokat helyezhetjük. A szabványok megjelenésének egyik fő oka az volt, hogy a különböző vállalatok „közös nyelvet beszéljenek”, valamint a versenyszférában összehasonlítható legyen a

teljesítményük és működésük. Az ISO 9000-es szabványcsalád adja azt az alapot, ami nélkül egy vállalat ma már nem, vagy nehezen működhet. Az ISO 9000 mint egy szótár, tisztázza a fogalmakat, melyeken a szabványok alapulnak. Az ISO 9001 tartalmazza a követelményeket, melyek általánosak, tehát minden szektorban tevékenykedő cég tudja a szabványt alkalmazni, illetve a saját működési formájára tudja alakítani. Széleskörű alkalmazhatósága és a belső, külső érintettek számára kínált előnyök miatt a működéshez, piaci helyzet megtartásához, ma már elengedhetetlen az ISO 9001 tanúsítvány megléte. A minőségmenedzsment rendszerek kiépítésében emellett más általános szabvány is segíti a vállalatokat. Ilyen például az ISO 9004, mely a már kiépített rendszer fenntartásához, fejlesztéséhez nyújt útmutatást, valamint az ISO 19011, mely az auditálás folyamatát, elvárásait írja le, fogalmazza meg (Kövesi–Topár, 2006).

Az egyre növekvő fejlődés azonban elkerülhetetlenné tette, hogy újabb és újabb szabványok, előírások, követelmények jelenjenek meg. Ma már a minőségmenedzsment rendszer, vagy szektorspecifikus, területspecifikus tanúsítványok megléte nem kiemelkedő versenyelőnyt jelentő tényező. Szükségessé vált meghatározni szektorspecifikus szabványokat, melyek az ISO 9001-et veszik alapul, azonban az iparág sajátosságait és igényeit is figyelembe veszik. Ilyen például az ISO 14001, mely a környezetközpontú irányítási rendszer szabványa, az ISO 26262, mely a funkcionális biztonság szabványa, vagy az IATF 16949, mely az autóipar szektorspecifikus szabványa (Kövesi–Topár, 2006).

Ennek legújabb kiadása az ISO 9001-hez képest több, az autóiparra szigorúbb vagy plusz követelményt tartalmaz. Az új kiadás egyik központi változása a kockázatmenedzsment előtérbe kerülése. A kockázat egy termék fejlesztési folyamatától kezdődően az életciklusa végéig kritikus jellemző, így az erre való fókuszálás nem meglepő, hanem logikus döntés volt az IATF 16949 kiadásakor, az elődjéhez, az ISO/TS 16949-hez képest. Mint a korábban már

kifejtésre került a szabványok egyre részletesebbek, egyre több részterületre kiterjednek. A kockázatmenedzsment is egy ilyen részterület. A fontosságának, értelmezésének és teljes logikájának leírását tartalmazó követelményrendszer, az ISO 31000. Valamint megemlítendő, mint egyik alappillére a tanulmánynak az ISO/IEC 31010, mely különféle kockázatelemző módszereket mutat be, melyek jól alkalmazhatóak vállalati környezetben.

#### *Minőségmenedzsment módszertanok áttekintése*

Az elméleti hierarchia következő szintjét a minőségmódszerek jelentik. A módszerek vagy technikák melyek az egyes szakmai területeket segítik, így ezeket is tudjuk különbözőképpen csoportosítani. Leggyakrabban a folyamatfejlesztés lépései szerint rendszerezi a szakirodalom a különféle módszereket (Kövesi–Topár, 2006; Turcsányi, 2014; Ross, 1993; Kemény et al., 2001):

- *Folyamatleíró vagy modellező módszerek:* céljuk, hogy a vállalat folyamatait bemutassák, azok sorrendjét, kapcsolódási pontjait, az azokból származó dokumentumokat stb. Különböző részletzettségű lehet, ez a felhasználás okától függ. A legelterjedtebb technika a folyamatábra és a SIPOC tábla, melyek a grafikus ábrázolás miatt, könnyen áttekinthetők és értelmezhetők (Turcsányi, 2014).
- *Hibaelemzés (feltárás, rangsorolás) módszerei:* a kialakult problémák megoldásához, folyamatok fejlesztéséhez vagy a lehetséges hibák megelőzéséhez szükséges a hibák, -helyek, -fajták stb. feltárása. Attól függően, hogy milyen elvek alapján szeretnék, vagy tudják a hibákat feltérképezni többféle módszert is alkalmazhatnak, akár egymás után, vagy egymást kiegészítve is egy adott problémára. Az egyik leggyakoribb például, az *Ishikawa* vagy *halszálla* diagram, melynek célja az összes lehetséges hibaok összegyűjtése egyfajta logika mentén. Ez a logika általában a 4-5-9M, melyek a „halszálla” alapjai, ez-

zel egy struktúrát adva a hibaelemzésnek, a fő témakörök (pl. humán erőforrás stb.) kijelölésével. A *5Why módszer* sokszor az Ishikawa kiegészítése. Segítségével eljuthatunk az adott probléma gyökérokáig, a miért kérdés egymásutáni feltevésével. A *Pareto elemzés* vagy *ABC diagram* grafikusán ábrázolja az előforduló hibákat és gyakoriságukat, ezzel meghatározva a legnagyobb gondot okozó problémákat, melyek eliminálásával a folyamat drasztikusan javulhat, illetve az FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) technika is (Ross, 1993), melyről a későbbiekben részletes leírás lesz olvasható.

- *Ötletgyűjtő, megoldás kereső módszerek:* a hatékonyabb és gyorsabb feladatmegoldás érdekében, az egyes problémák elemzéséhez vagy folyamatok fejlesztéséhez alkalmazandó alternatívák összegyűjtéséhez, szükségessé vált olyan módszerek kidolgozása, melyek a csoportos ötletelést segítik. Ezek közül a legismertebb a *brainstorming*, de ennek strukturáltabb változata az *Affinitás* diagram is jól alkalmazható.
- *Folyamat szabályozás módszerei:* ahhoz, hogy előírásoknak megfelelő terméket tudjon egy vállalat előállítani lényeges, hogy a selejtes/nem megfelelő termékek létrejöttét megelőzze, vagy még nagyon korán észlelje. Ehhez leggyakrabban ellenőrzőkarttyákat használnak, gép-folyamat-mérőrendszer képességelemzéseket végeznek el. Ezen módszerek alkalmazása megköveteli a statisztikai alapfogalmak és számítások ismeretét, mivel a gyűjtött adatokat egy kiválasztott középérték és ingadozás segítségével ábrázolják, így akár ránézésre megmondható a folyamat megfelelően teljesít-e (szabályozott, tehát kicsi az egyes értékek közötti eltérés, illetve képes a vevői előírások alapján gyártani).

Ezek a módszerek, módszertanok mind a minőségmenedzsment szemléletének megvalósítását szolgálják, céljaiknak és alkalmazási szintjüknek megfelelően.

*Az FMEA helye a minőségmenedzsmentben*

Az FMEA módszerét – az előbbi csoportosításban – jellemzően a hibaelemzés eszközei közé sorolják, hiszen alkalmazásának elsődleges célja a vizsgált tevékenység (termékhasználat vagy folyamat) során lehetséges problémák feltárása, továbbá döntés a szükséges megelőzési lépésekről, illetve a hatások kezeléséről. Könnyen belátható, hogy egy ilyen módszer alkalmazása azonban magába kell, hogy foglalja a megoldáskeresés és sokszor a folyamatszabályozás lépéseit is, miközben nem nélkülözheti a folyamatleírás eredményit sem. Így valójában a teljes folyamatfejlesztést érinti, az annak alapján kialakított eszközcsoportok bármelyikébe beilleszthető.

A minőségmenedzsment paradigmáinak oldaláról szemlélve az FMEA szinte mindegyik paradigma eszközei közé besorolható. Ennek oka, hogy alkalmazása olyan célok elérését támogatja, mint a hibák feltárása a termékfejlesztés, a folyamatfejlesztési és szabályozási intézkedések kifejlesztése és prioritizálása (Deák, 2005). A korábban már említett teljeskörű minőségmenedzsment (TQM) folyamatos fejlesztésének fontos eszköze az FMEA, amelyet a TQM fontos eszközei közé sorolják gyakorlati (Chen, 2013) és elméleti (Jegadheesan et al., 2006) kutatások is. Hasonlóan egyértelműen kötődik az FMEA módszere a teljeskörű hatékony karbantartás (Total Productive Maintenance, TPM) paradigmájához, aminek keretén belül jellemzően hatékonysági mutatók (pl. OEE) fejlesztésére használják (Chong et al., 2015). A Toyota Termelési Rendszer (Toyota Production System, TPS) és a lean-menedzsment paradigmáit szintén jól szolgálja az FMEA hibafeltárássra és hibakiküszöbölésre való alkalmazhatósága, illetve a folyamatfejlesztés (vagy e paradigmák nyelvén „tökéletesítés”) célú használata. A szakirodalomban szép számmal találunk példát a kockázatok vizsgálatára (Balamurugan et al., 2020) vagy épp veszteségcsökkentésre (Gaur, 2019). Az olyan folyamatfejlesztés központú módszertanok, mint a Six Sigma vagy a Lean Six Sigma szintén nem nélkülözhetik az FMEA

módszerének alkalmazását (Su–Chou, 2008; Vermaelen–Kovach, 2022).

*AZ FMEA MÓDSZERTANA*

Jelen tanulmány fókuszában az FMEA módszer áll, melynek aktualitása több szempontból is indokolt. Egyrészt az autóiipari szabvány, az IATF 16949 legújabb kiadása alapján a kockázatelemzés előtérbe került, és kötelezően alkalmazandó a vállalatok számára. A kockázatelemzés korábban is jelen volt az autóiiparban, sőt a legtöbb OEM (Original Equipment Manufacturer, autógyár) megkövetelte, de most a korábbinál is hangsúlyosabb szerepet kapott az új kiadásban. Az egyik legismertebb és leggyakrabban alkalmazott technika a kockázatelemzésre pedig az FMEA. Másrészt a kézikönyv, mely az FMEA használatát, alkalmazását írja le, 2019 nyarán frissítésre került, melyre az autóiipari nagyvállalatoknak rövid időn belül át kellett állnia. A módosítás alapja, hogy a technika két fő szemlélettel volt ismert. Az egyik a német megközelítés, a VDA (Verband der Automobilindustrie) által támogatott volt, míg a másik, az amerikai vonal, az AIAG (Automotive Industry Action Group) által megfogalmazott irányelvek alapján. Az új FMEA kézikönyv kiadványa már a két szemlélet összedolgozását, a közös mederbe terelését írja le.

Mint korábban bemutattuk, az FMEA alkalmazása több célt is támogathat. A céltól függetlenül azonban a módszer alkalmazása során a folyamat felülvizsgálatát, a hibajelenségek feltárását, majd a hibák minősítését követően meg kell határozni a hibajelenségek kockázati szintjét, és a hatásértékelést követően meg kell tervezni a szükséges beavatkozásokat (Deák, 2005).

*Korábbi megközelítés*

Az FMEA módszer fókuszában a problémák megelőzése áll. A korábban ismertetett módszertani csoportok többségébe is besorolható, de megkülönböztetésére jellemzően nem módszertani, inkább elemzendő terület/kérdéskör

szerint szokás kísérletet tenni. Ez alapján a két leggyakoribb típusú FMEA a Konstrukciós (Design) FMEA és a Folyamat (Process) FMEA (Turcsányi, 2014). Alkalmazási terület szerint pedig a gyártás, a tengerészeti és tengereket érintő tevékenységek, a repülés, az egészségügy és elektromosság területének vizsgálata a legjellemzőbb (Huang et al., 2020).

A gyakorlatban az FMEA egy mindenki által elérhető és publikált formát követ. Tulajdonképpen egy fejléc által leírt elemlistát kell feltölteni a szükséges adatokkal a vizsgálat során (1. táblázat).

Az 1. táblázatban egy általánosan használható sablon látható. A módszer, mint ahogyan az a nevében is benne van, a lehetséges hibák megjelenési módjait, azok következményeit, lehetséges okait és a megelőző vagy ellenőrző lépéseit azonosítja (Turcsányi, 2014). Az első oszlopban, ami gyártási területeken akár 2 oszlop is lehet, rögzíti a lépést, bemenetet, folyamatot, amit vizsgálunk. Leggyakrabban ezt egy folyamatlépéshez lehet kötni, melynek száma és megnevezése kerül a legelső cellába, hogy a folyamatleíró módszerhez (pl. folyamatábra) köthető legyen. A második oszlopba kerül a lehetséges hibamód, tehát hogy mi lehet a probléma az adott lépésnél, hogyan jelenhet az meg. A következő, harmadik oszlopba kerül, hogy mi

lehet/lesz ennek a következménye, általában a végfelhasználóra, de minimálisan a folyamat következő lépésére vonatkoztatva. Ehhez közvetlenül kapcsolódva határozzák meg az első mutatót, ami a súlyosság (S – severity), tehát azt jelzi, hogy a bekövetkezett hiba következménye milyen mértékű. Ezt egy 1-től 10-ig terjedő skálán kell megadni. A skála egy egységes pontozási rendszer, melyben a két szélsőérték az 1 (semmilyen hatása nincsen) és a 10 (nagyon súlyos, biztonsági és jogi követelményeket sért, akár halálhoz is vezethet).

A következő, harmadik oszlopba kerül, hogy mi lehet/lesz ennek a következménye, általában a végfelhasználóra, de minimálisan a folyamat következő lépésére vonatkoztatva. Ehhez közvetlenül kapcsolódva határozzák meg az első mutatót, ami a súlyosság (S – severity), tehát azt jelzi, hogy a bekövetkezett hiba következménye milyen mértékű. Ezt egy 1-től 10-ig terjedő skálán kell megadni. A skála egy egységes pontozási rendszer, melyben a két szélsőérték az 1 (semmilyen hatása nincsen) és a 10 (nagyon súlyos, biztonsági és jogi követelményeket sért, akár halálhoz is vezethet).

A következő lépés az éppen vizsgált hiba lehetséges okának meghatározása. Ennél a lépésnél egy gyökérokelemzést érdemes végrehajtani és minden lehetséges okot meg kell vizsgálni – ezek

1. táblázat: Példa egy alkalmazható FMEA fejlécre

1. Folyamatlépés	2. Lehetséges hibamód	3. Lehetséges hibahatás		4. Lehetséges okok		5. Aktuális ellenőrzés		
A vizsgált folyamatlépés és tevékenység	Lehetséges problémák, gondok a folyamattal	Amennyiben bekövetkezik, milyen hatása lehet a problémának	Súlyosság (SEVERITY)	Mi lehet a hiba bekövetkezésének oka	Gyakoriság (OCCURRENCE)	Milyen aktuális megelőző vagy ellenőrző intézkedések vannak érvényben a hibát illetően	Észlelhetőség (DETECTION)	RPN

Forrás: FMEA Handbook (2019) és Turcsányi (2014) alapján saját készítés

kerülnek a 4. oszlopba. Ehhez is tartozik egy mérőszám, a gyakoriság (O – occurrence), mely azt vizsgálja, milyen eséllyel/milyen nagy számban fordulhat elő az adott hibaok. Itt is hasonlóan a súlyossághoz 1-10-es skála használandó, melynél az 1 a 'sosem/nagyon kevésszer fordulhat elő' és a 10 'minden termék érintett, nagyon gyakran előfordul' jelentéssel bír. Majd ezek alapján meg kell vizsgálni, hogy az adott hiba kialakulásának elkerülésére létezik-e megelőző tevékenység vagy ellenőrző tevékenység, annak időben történő észrevételére (5. oszlop).

A megelőző, illetve ellenőrző tevékenység segítségével kerül meghatározásra a harmadik mérőszám, az észlelhetőség (D – detection) mértéke. Ebben az esetben az 1 'nagyon könnyen észrevehető', míg a 10 'nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem lehet detektálni' jelentéssel bír. A gyártói környezetben a vállalatok meg tudják határozni, hogy adott ellenőrzési tevékenység az FMEA Kézikönyv alapján milyen minimum értéket vehet fel a tapasztalatokra alapozva. Például mivel a vizuális ellenőrzés hatékonysága nem 100%-os, így az észlelhetőség értéke vizuális ellenőrzés – tehát ember általi kontroll – nagy valószínűséggel sosem lehet 1-2-es értékű (Turcsányi, 2014).

A három belső mérőszámot (S, O, D) összesorozva kapható meg az RPN (Risk Priority Number). A három mérőszám összeszorozása után az RPN 1-től 1000-ig vehet fel értéket. Ezek alapján egy határszámot meghatározva lehet eldönteni, melyek azok a folyamatok és lehetséges hibák, melyekkel foglalkozni kell, és akciótervet kell felszámolásukra/megeleőzésükre készíteni. A cél az, hogy valamelyik belső mérőszám (S, D vagy O) csökkenthető legyen és így az RPN-t a vállalat által meghatározott határ alá lehessen vinni. Érdemes a gyakoriság (O) és az észrevehetőség (D) számaira fókuszálni, hiszen egy lehetséges hiba következményének a csökkentése nehéz feladat, illetve sokszor nem is lehetséges. A határszám az irodalmi definíciók alapján átlagosan 100-125, de ezt az iparág is befolyásolhatja, pl. a gyógyszeriparban sokkal alacsonyabb határszámokat határoznak meg. Illetve a vállalat saját maga is határozhat meg szigorúbb vagy lazább határt, tevékenységi köre alapján (Turcsányi, 2014).

#### A korábbi megközelítés problémái

Habár szinte ugyanaz az elv és folyamat jellemzi a két irányvonalat, de a német és az amerikai szemlélet részleteiben megmutatkozhat különbség és az autóipari beszállítók elé plusz feladatot állít azzal, hogy a gyárak, akik mindkét iskolához tartozó autógyárnak beszállítói, külön-külön meg tudjanak felelni, kezelni tudják akár egy gyáregységen belül ezeket az eltéréseket. Mindazonáltal a két irányvonal hasonló jellemzőkkel bír, ha az alkalmazás előnyeit és hátrányait vizsgáljuk. Ennek megfelelően számos vizsgálat történt a módszer fejlesztésére, illetve más módszerekkel, eljárásokkal való kombinálására. Ezekről jó áttekintést adnak Sutrisno–Lee (2011) és Spreafico és szerzőtársai (2017), utóbbi szerzők azonban arra is felhívják a figyelmet, hogy bár ezekre a módosításokra ipari és akadémiai oldalról is hatalmas az igény, de a kutatott lehetőségek inkább csak elméleti oldali vizsgálódások.

A 2. táblázat szemlélteti a szabvány szerinti, valamint a szakirodalomban megfogalmazott kritikák (Liu et al., 2018; Juhász, 2016) és az autóiparban végzett primer (szakmai interjúkon alapuló) kutatás (Könyves–Kalló, 2020) és saját munkatapasztalat alapján megismert előnyöket és hátrányokat. A fókusz az FMEA-ra leginkább mint gyakorlati kockázatelemző módszerre irányul ebben a táblázatban.

Ahogy a 2. táblázatban is látható, az FMEA alkalmazásával kapcsolatban kétféle probléma merül fel. *Egyrészt* kockázatelemzési oldalról nehezen alkalmazható bonyolult rendszerekben, de egyszerűbb folyamatok esetén sem ad biztos képet arról, hogy egy adott magas kockázat pontosan mit is jelent (ugyanis ugyanaz az RPN szám jelenthet kis súlyosságú, de gyakori hibát vagy nehezen észrevehető, de nem túl jellemző vagy súlyos problémát). *Másrészt* maga a vizsgálat nem kellően körülhatárolt és sok szubjektivitással terhelt (mind az alkalmazott módszereket, mint az eredményeket illetően). Ahogy a továbbiakban látni fogjuk, mindkét problémakörre reflektált az új kiadás.



2. táblázat: Az FMEA előnyei és hátrányai

FMEA alkalmazásának előnyei	FMEA alkalmazásának hátrányai
Széles körben alkalmazható, függetlenül iparágtól, rendszertől, folyamatoktól, követelményektől	A különböző hibamódok kombinációinak azonosítására nem alkalmas
A problémák szemléltetése, a hiba megnyilvánulási módja, annak hatása is látható	A bonyolult többszintű rendszerek esetében nehezen alkalmazható
Megelőző intézkedések azonosítására és elemzésére is alkalmas, ezzel időt, pénzt és egyéb erőforrást megtakarítva	Az egyes elemzési lépések sok időt és költséget emésztnek fel
Karbantartásban és folyamat felügyelethez is hatékonyan alkalmazható	Szubjektivitás van a pontozási rendszerben
Könnyen értelmezhető struktúra	Nincsen kijelölt folyamat- vagy lépés-, csomag”, amit minden esetben vizsgálni kell, így az elemzendő hibák kiválasztása is csapatfüggő

Forrás: ISO 31010:2019 alapján saját fordítás és saját tapasztalat

#### AZ ÚJ KIADÁS ÚJ SZEMLÉLETE

A 2019-ben kiadott FMEA Kézikönyv kidolgozása gyakorlati szakemberek munkája, vezető autógyárakból és közvetlen beszállítóikból álló munkacsoport fejlesztette ki, akik ötvözték a legjobb gyakorlatokat, és harmonizálták, strukturálták a két (VDA és AIAG) módszertant.

A Kézikönyv változásai több fronton is megjelennek. Kiemelendő elsőként az FMEA típusainak megadása. Háromféle kategóriát különít el a kézikönyv. Az eddig is ismert *Konstrukciós (Design) FMEA és Folyamat (Process) FMEA* mellett egy újabb az *FMEA-MSR* (Supplemental FMEA for Monitoring and System Response – Kiegészítő FMEA a megfigyeléshez és rendszer reagáláshoz) kategória is megjelenik. A konstrukciós és folyamat FMEA közötti különbség a vizsgálati területen alapszik. Minden hibahatás, mely egy adott folyamat hibájából adódik vagy a Design FMEA-ban nem került vizsgálatra, az a Process FMEA-ban elemzendő. Vizsgálatunknak nem célja az új FEA-MSR vizsgálata, de szemléleti szempontból fontos változást hozott a gyakorlati szakemberek számára.

A szekunder és primer kutatásunk által feltárt problémakörökre is hozott megoldást a kézikönyv: kijelöltek egy alkalmazandó vizsgálati módszertant és bevezetésre került egy mérőszám a szükséges tevékenységek prioritizálásához.

#### Vizsgálati módszertan kijelölése

A kézikönyv az új kiadásban 7 lépéses módszertan alapján írja elő az FMEA-k megalkotását (FMEA Handbook, 2019):

- *Tervezés és előkészítés* (cél, konstrukció, folyamat határai, FMEA projekt terv): Ebben a lépésben kell megfogalmazni többek között, hogy mit akar tőlünk venni a vevő, vannak-e új követelmények, ki gyártja majd a terméket és vannak-e design ellenőrzések, ki a felelős az interface designért és szükséges-e rendszerek, alrendszerek, komponensek elemzése. Az elemzési határ megállapításához szükséges ismerni a jogi, technikai és vevői követelményeket, 2D rajzokat és 3D modelleket, hasonló projektek FMEA-ját, az innováció mértékét, hasonló projektek minőségügyi mutatóit (pl. reklamációk száma), design komplexitását, funkcionális biztonsági követelményeket, felhasználandó katalógus termékeket stb.
- *Struktúraelemzés* (rendszer – alrendszer – folyamat): Ebben a fázisban a teljes struktúra felépítése és a folyamatban megjelenő vevők azonosítása kerül előtérbe.
- *Funkcióelemzés* (termékfunkciók, folyamat funkciók): A funkciók meghatározása

utána, az ezekre érvényes követelményeket is meg kell vizsgálni, úgy, mint jogi, vevői, minőségügyi (szabványok, előírások), belső – vállalati és a termék karakterisztikája.

- *Hibaelemzés* (mód – hatás – ok): Ebben a lépéshez a meghatározott funkciókhoz és hozzájuk tartozó követelmények alapján meg kell fogalmazni a lehetséges hibamódokat, ezek hatásait és okait.
- *Kockázatelemzés* (megelőző és észlelő intézkedések, értékelés): A kézikönyv egyik legfontosabb változása ebben a lépésben történt. A kockázatelemzés két részből tevődik össze. A korábbi gyakorlathoz hasonlóan a kockázatelemzés az RPN számítással kezdődik. Amint ezek meghatározásra kerültek az elemzést végző csapatnak a rendelkezésre álló források, idő, technológia stb. alapján priorizálnia kell és csökkentenie kell a kockázatokot. Az RPN 1-1000 vehet fel értéket, azonban önállóan nem a legmegfelelőbb módszer a további műveletek meghatározásához. Ennek fő oka az, hogy ugyanolyan súlyossággal értékeli a súlyosság, gyakoriság és észlelhetőség értékeit, így ugyanolyan RPN számmal különböző kockázatú hibák kerülhetnek meghatározásra (FMEA Handbook 2019). Ennek okán a VDA és AIAG szerveztek arra a döntésre jutottak, hogy

egy új, egységes számítást határoznak meg, hogy minimalizálják a korábbi hiányosságokat. Az Action Priority (AP) táblázat az RPN számításához szükséges belső mérőszámokat veszi alapul és azt egészíti ki egy prioritási mutatószámmal, ezzel segítve azt, hogy a legsürgetőbb, vagy legsúlyosabb problémák kerüljenek elsőként megoldásra.

- *Optimalizálás* (akciók, akciók eredményessége, újraértékelés): A kapott RPN és/vagy AP eredmények alapján a csapatnak akciókat kell kidolgoznia, melyekhez felelőst és befejezési dátumot kell meghatároznia és státuszjelölésekkel (Nyitott/Bevezetett/Nem bevezetett) kell nyomon követni az akciókat. Az új akciók alapján, melyek célja, hogy vagy a gyakoriság, vagy az észlelhetőség értékét csökkentsék, újra kell számolni az értékeket az intézkedés hatékonyságának méréséhez.
- *Eredmények dokumentálása*: A dokumentálás és riport készítés történik az utolsó fázisban. A folyamatos fejlesztés követelményének prezentálására pedig a mind a régi, mind az új eredményeket szükséges az FMEA-ban rögzíteni. Ugyan az FMEA egy a gyakorlatban frissülő dokumentum, az akciók nyitott pontjainak lezárásával kiadásra kerül az elkészült elemzés.

3. táblázat: AP értékek a kézikönyv alapján

Súlyosság (S)		Gyakoriság (O)		Észlelhetőség (D)	
AP	RPN	AP	RPN	AP	RPN
Nagyon magas	9-10	Nagyon magas	8-10	Nagyon alacsony	7-10
Magas	7-8	Magas	6-7	Alacsony	5-6
Közepes	4-6	Közepes	4-5	Közepes	2-4
Alacsony	2-3	Alacsony	2-3	Nagyon magas és Magas	1
Nagyon alacsony	1	Nagyon alacsony	1		

Forrás: FMEA Handbook (2019) alapján saját fordítás



4. táblázat: Action Priority „kiszámolása” (részlet)

Súlyosság (S)		Gyakoriság (O)		Észlelhetőség (D)		AP értékelés
AP	RPN	AP	RPN	AP	RPN	
Magas	7-8	Nagyon magas	8-10	Alacsony-Nagyon alacsony	7-10	H
				Közepes	5-6	H
				Magas	2-4	H
				Nagyon magas	1	H
		Magas	6-7	Alacsony-Nagyon alacsony	7-10	H
				Közepes	5-6	H
				Magas	2-4	H
				Nagyon magas	1	M
		Közepes	4-5	Alacsony-Nagyon alacsony	7-10	H
				Közepes	5-6	M
				Magas	2-4	M
				Nagyon magas	1	M
		Alacsony	2-3	Alacsony-Nagyon alacsony	7-10	M
				Közepes	5-6	M
				Magas	2-4	L
				Nagyon magas	1	L
		Nagyon alacsony	1	Nagyon magas-Nagyon alacsony	1-10	L

Forrás: FMEA Handbook (2019) alapján saját fordítás

#### Új mérőszám bevezetése

Az RPN számok alapján történő prioritizálás problémáinak csökkentése érdekében került bevezetésre az új AP (Action Priority) mutató. Alkalmazása szorosan kötődik a korábbi RPN számításokhoz, mivel ugyanazon belső mutatókat (S, O, D) alkalmazza.

Az új pontozási táblázat az AP meghatározásához öt kategóriát határozott meg a meglévő belső mérőszámok mellé, és ezek együttes elemzése adja majd az AP értéket. Tehát, meg kell határozni a súlyosság, gyakoriság és észlelhetőség értékeit, de ezekhez a 3. táblázat alapján AP belső értékeket is kell rendelni.

A három belső AP érték alapján – ehhez szintén tartozik egy standard táblázat a kézi-

könyvben (4. táblázat) – a következő végső AP értékeket kaphatjuk:

- Magas prioritás (High-H) esetén a csapatnak intézkedéseket kell/szükséges meghatároznia, hogy csökkentsék a gyakoriság és/vagy észlelhetőség értékeit.
- Közepes prioritás (Moderate-M) esetén a csapatnak intézkedést javasolt/ajánlott hoznia, hogy csökkentsék a kockázatokat.
- Alacsony prioritás (Low-L) esetén a csapat hozhat intézkedést a kockázatok csökkentése érdekében (FMEA Handbook, 2019).

A prioritási osztályok 4. táblázatban látható meghatározása jól szemlélteti, hogy a kifejlesztők figyelembe vették, hogy a három belső mérőszám összeszorozása milyen kombinációk mentén tud valóban magas prioritást jelezni.

5. táblázat: Példa az AP érték megadására

Súlyosság		Gyakoriság		Észlelhetőség		RPN	AP
9	VH	7	H	9	L-VL	567	H
8	H	5	M	4	H	160	M
8	H	3	L	9	L-VL	216	L

Forrás: FMEA Handbook (2019) alapján saját számítás.

Jelmagyarázat: VH=Very High, H=High, M=Moderate, L=Low, VL=Very Low

Ennek alkalmazásával tehát a vállalatok a tényleg fontos és valóban megoldható problémákra tudnak fókuszálni. Például egy viszonylag magas súlyosságú (S=7-8), de alacsony gyakoriságú (O=1) esetben bármilyen értékű is az észlelhetőség, a prioritás alacsony marad.

A két számítás együttesen és a belső mutatókat megfelelő hierarchiában szemlélve adja az értékelés és az intézkedések alapjait. Ehhez mutat egy példát a következő, 5. táblázat. Ebből jól látható, hogy míg az RPN szám alapján – az egyforma befolyású szorzótényezők miatt – magasabb prioritást kapna olyan probléma, ami a gyakorlatban alig fordulna elő, addig az AP az értékeket külön is értelmezi. Sokkal gyakorlatiasabb és valóságosabb eredményt kapunk.

A kapott RPN és AP eredmények alapján a csapatnak akciókat kell kidolgoznia, melyekhez felelőst és befejezési dátumot kell meghatároz-

nia és státuszjelölésekkel (Nyitott/Bevezetett/Nem bevezetett) nyomon kell követni az akciókat (FMEA Handbook, 2019).

Az új akciók alapján, melyek célja, hogy vagy a gyakoriság, vagy az észlelhetőség értékét csökkentsék, újra kell számolni az értékeket az intézkedés hatékonyságának méréséhez. A folyamatos fejlesztés követelményének prezentálására pedig a mind a régi, mind az új eredményeket szükséges az FMEA-ban rögzíteni (FMEA Handbook, 2019).

#### A BEVEZETÉS ELŐNYEI ÉS NEHÉZSÉGEI

Felmerülhet tehát a kérdés: jobb módszert kapunk az új kiadással? A 6. táblázat foglalja össze a korábbi vizsgálatok és saját munka alapján tapasztalt előnyöket és hátrányokat.

Az összegyűjtött érvek alapján elsősorban azt gondolnánk, hogy kedvező a változás. Látható

6. táblázat: Új FMEA megközelítés kritikája

Az új kiadás előnyei (bevezetés és alkalmazás)	Az új kiadás hátrányai (bevezetés és alkalmazás)
Együtt kezelhető a VDA és az AIAG csoporthoz tartozó vevők dokumentumai	Bonyolultabbá vált a számolás egy új változó bevezetésével
Nem szükséges a korábban már megírt FMEA-kat felülvizsgálni	Az elv nem változott, így a szubjektivitás még mindig jelen van a folyamatban
Minimális átalakítást igényel a korábbi formátum/szoftver	A vizsgálandó elemek és folyamatok kiválasztása és megkeresése még mindig a csapattól függ, így ez is szubjektív
Az AP számítás kiegészíti az RPN számítást	
Nem kell új számítási elvet elsajátítani	
Könnyen kezelhető a segédtáblázat, nem igényel speciális tudást	

Forrás: saját készítés

azonban, hogy ennek fő oka, hogy a módszer alapelvei nem változtak, sőt hasonló logika alapján, bár kissé bonyolultabban kell döntést hozni. Az AP értékek szintjei az RPN számítás kiegészítéseként jelennek meg, de eddig is ismert volt, hogy amennyiben a súlyosság értéke magas, akkor azzal kiemelten és gyorsan kell foglalkozni és intézkedni. Véleményünk szerint egy teljesen új számítási módszer kidolgozása ugyan több erőforrás ráfordítással járt volna mind a fejlesztők, mind a vállalatok szempontjából, de akár egy hatékonyabb módszert eredményezhetett volna.

A kockázatelemzés legfontosabb eleme, hogy minden lehetséges kockázatot megvizsgáljon és egyfajta prioritizálás alapján csökkentse vagy megelőzze ezeket. Az FMEA alapkonceptiója is ez, azonban – a jelenlegi változtatások ellenére – a két legkritikusabb összetevő, a vizsgálandó folyamatok megfelelősége, teljeskörűsége és a prioritizálás továbbra is szubjektív maradt. Ez azt jelenti, hogy nincsen előre meghatározva, melyek a kötelezően vizsgálandó lépések/folyamatok, illetve az RPN és AP által most alkalmazott pontozási rendszer sem tudja egyértelműsíteni az adott értékek jelentését. Tehát a súlyosságot tekintve példaként a 10 és a 9 érték közötti különbség megfoghatatlan és a keresztfunkcionális csapat véleménye alapján kerül meghatározásra. Ebből következően az FMEA módszer struktúrája az egyik legjobban és legteljesebben képes bemutatni a lehetséges kockázatok és ezekhez tartozó hatásokat, de a feltárásuk teljessége és értékelésük nem feltétlen kellő mértékben alátámasztott.

Véleményünk szerint szükséges lenne egy általános (vagy akár ipárgspecifikus, akár mélyebb gyártástechnológia specifikus) folyamatlista definiálására, amelyek vizsgálata minden esetben kötelező az FMEA csapatnak. A pontozási rendszer átdolgozása egy kifejezetten összetett és többtényezős kérdés. A gyakorlati működés is megköveteli ennek átgondolását, de a kockázati tényezők folyamatos változása és bővülése is. A globalizáció, az egyre szélesedő piac hatására ugyanis, nem elegendő a saját működésünket, vagy akár piacunkat, ipárgunkat figyelni.

További vizsgálataink elsősorban a fenntarthatóság, mint kockázati és mint minőségi tényező figyelembevételére fókuszál (Könyves–Kalló, 2021). A fenntarthatóság az elmúlt évek egyik legfontosabb kérdése lett (Szűcs–Pónusz, 2020). A fenntarthatóság gazdasági, szociális és környezeti elemként egyértelmű tényezője a versenyképességnek. Válasz, de egyben kérdés is olyan globális kihívásokra, mint a klímaváltozás, erőforráshiány, egyenlőtlenség, túlfogyasztás (Parragh, 2015), amit a vállalati gyakorlatok (mint például a kockázatelemzés és az FMEA-hoz hasonló kockázatelemző eszközök) nem hagyhatnak figyelmen kívül.

Összefoglalva megállapítható, hogy szemléletformálási szempontból fontos mérföldkő az FMEA új kézikönyvének megjelenése, a gyakorlati alkalmazás szempontjából azonban nem feltétlen váltotta be a hozzá fűzött reményeket. Az alkalmazás korábban megfogalmazott legfontosabb problémáját, a szubjektivitást nem sikerült csökkenteni (erre talán az FMEA – a szakirodalomban is szép számmal található (Liu et al., 2019) – egyedi fejlesztései jelenthetnek megoldást). Mindazonáltal az új kiadás módszertanában nagyobb hangsúlyt kapó kockázatelemzés és annak fejlesztési lehetőségei mindenképp előremutatók.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- AIAG – VDA FMEA (2019): *FMEA Handbook*. Automotive Industry Action Group
- Balamurugan, Rengarajan – Kirubagharan, Ramasamy – Ramesh, C. (2020): Implementation of lean tools and techniques in a connecting rod manufacturing industry, *Materials Today: Proceedings*, 33. évf. 7. szám, 2020, 3108-3113.
- Chen, Shun-Hsing (2013): Integrated Analysis of the Performance of TQM Tools and Techniques: a Case Study in the Taiwanese Motor Industry, *International Journal of Production Research*, 51. évf. 4. szám, 2013, 1072-1083.
- Chong, Kuan Eng – Ng, Kam Choi – Goh, Gerald Guan Gan (2015) (2005): Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) through Integration of Maintenance Failure Mode and Effect Analysis

- (maintenance-FMEA) in a Semiconductor Manufacturer: A Case Study, *2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2015, 1427-1431.
- Deák Csaba (2005): FMEA. In: *Minőségmenedzsment*. pp. 71-80. Bíbor Kiadó, Miskolc
- Gaur, Khushboo (2019): Systematic and quantitative assessment and application of FMEA and Lean six sigma for reducing non productive time in operation theatre of a Tertiary Care Hospital in a metropolis, *Perioperative Care and Operating Room Management*, 16. évf.
- Huang, Jia – You, Jian-Xin – Liu, Hu-Chen, – Song, Ming-Shun (2020): Failure mode and effect analysis improvement: A systematic literature review and future research agenda, *Reliability Engineering and System Safety*, 199. évf.
- IEC 31010:2019 – Risk Management – Risk Assessment Techniques
- Jegadheesan, C. – Arunachalam, V. P. – Devadasan, S. R. – Srinivasan, P. S. S. (2006): Design and development of modified service failure mode and effects analysis model, *International Journal of Services and Operations Management*, 3 évf. 1. szám, 111-126.
- Juhász László (2016): A hibamód- és hatáselemzés irodalmi áttekintése, *Repüléstudományi Közlemények*, 28. évf., 3. szám, 2016, 95–108.
- Kemény Sándor – Papp László – Deák András (2001): *Statistikai minőség – (megfelelőség-) szabályozás*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Kövesi János – Topár József (2006): *Minőségmenedzsment alapjai*. Typotex Kiadó, Budapest
- Könyves Melinda Katalin – Kalló Noémi (2020): Analysis of multifactoral quality management tools – How to improve them?, *Válság és kilábalás: innovatív megoldások Nemzetközi Tudományos Konferencia*,
- Könyves Melinda Katalin – Kalló Noémi (2021): Different fields, common objectives: connection between sustainability and quality methodology, *GRADUS*, 8. évf. 1. szám, 2021, 76-81.
- Liu, Hu-Chen – Chen, Xu-Qi – Duan, Chun-Yan – Wang, Ying-Ming (2019): Failure mode and effect analysis using multi-criteria decision making methods: A systematic literature review, *Computers & Industrial Engineering*, 135. szám, 2019, 881–897.
- Liu, Hu-Chen – Liu, Long – Liu, Naniro – Nicolini, Giorgia – Goretti, Giulia – De Rose, Fiorenza – Franceschini, Davide – Ferrari, Chiara – Reggiori, Giacomo – Tomatis, Stefano – Scorsetti, Marta (2018): Applying Lean-Six-Sigma Methodology in radiotherapy: Lessons learned by the breast daily repositioning case, *Radiotherapy and Oncology*, 127. évf. 2. szám, 2018, 326-331.
- Parragh Bianka (2015): A fenntarthatóság feltételei és kockázatai, *Polgári Szemle*, 11. évf. 4-6. szám, 2015, 277-289.
- Ross, Joel E. (1993): *Total Quality Management*. Delray Beach, St. Lucie Press
- Spreafico, Christian – Russo, Davide – Rizzi, Caterina (2017): A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents, *Computer Science Review*, 25. évf, 2017, 19-28.
- Su, Chao-Ton – Chou, Chia-Jen (2008): A systematic methodology for the creation of Six Sigma projects: A case study of semiconductor foundry, *Expert Systems with Applications*, 34. évf. 4. szám, 2008, 2693-2703.
- Sutrisno, Agung – Lee, Tzong-Ru (Jiun-Shen) (2011): Service reliability assessment using failure mode and effect analysis (FMEA): survey and opportunity roadmap, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 3. évf. 7. szám, 2011, 25-38,
- Szűcs Boglárka – Pónusz Mónika (2020): A fenntarthatóság fogalmának története, különös tekintettel a környezeti nevelésre és az innovációra, *Polgári Szemle*, 16. évf. 4-6. szám, 2020, 393-403.
- Tenner, Arthur R. – De Toro, Irving J. (2005): *Teljes körű minőségmenedzsment*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, (4. kiadás.)
- Turcsányi Károly (2014): *Minőségelmélet és -módszertan*. Nemzeti Közzolgálati és Tankönyv Kiadó Zrt., Budapest
- Vermaelen, Nicole – Kovach, Jamison V. (2022): Driving meeting effectiveness through organizational process improvement—A Lean Six Sigma case study, *Organizational Dynamics*, 51. évf. 2. szám, 2022