

OBSAH

PŘEDMLUVA	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH	8
1 ÚVOD	15
1.1 ÚČEL A POPIS	15
1.2 CÍLE A OMEZENÍ METODY FMEA	16
1.3 INTEGRACE FMEA V ORGANIZACI	17
1.3.1 Potenciální úvahy o FMEA	17
1.3.2 Závazek vrcholového vedení	18
1.3.3 Ochrana odborných znalostí ve vztahu k FMEA-D/FMEA-P	18
1.3.4 Dohoda mezi zákazníkem a dodavatelem	18
1.3.5 Strategie přechodu	19
1.3.6 Základní (Foundation) a Rodinná (Family) FMEA	19
1.4 FMEA PRODUKTŮ A PROCESŮ	20
1.4.1 FMEA návrhu produktu (FMEA-D)	21
1.4.2 FMEA procesu (FMEA-P)	21
1.4.3 Spolupráce v rámci FMEA	22
1.5 PLÁNOVÁNÍ PROJEKTU	23
1.5.1 FMEA – účel (In Tent)	23
1.5.2 FMEA – termíny (Time)	23
1.5.3 FMEA – tým (Team)	25
1.5.4 FMEA úlohy (Tasks)	28
1.5.5 FMEA nástroje (Tools)	28
1.6 FMEA METODOLOGIE	28
2 POSTUP PROVEDENÍ FMEA-D	31
2.1 FMEA – D KROK 1: PLÁNOVÁNÍ A PŘÍPRAVA	31
2.1.1 Účel	31
2.1.2 FMEA - D identifikace projektu a rozhraní	31
2.1.3 Plán projektu FMEA-D	32
2.1.4 Identifikace výchozích podmínek FMEA-D	32
2.1.5 Záhloví FMEA-D	33
2.1.6 Základ pro Analýzu struktury	33
2.2 FMEA-D KROK 2: ANALÝZA STRUKTURY	34
2.2.1 Účel	34
2.2.2 Struktura systému	34
2.2.3 Definice zákazníka	34
2.2.4 Vizualizace struktury systému	35
2.2.5 Spolupráce mezi zákazníkem a dodavatelem	40
2.2.6 Základ pro Analýzu funkcí	40
2.3 FMEA-D KROK 3: ANALÝZA FUNKCÍ	40
2.3.1 Účel	40
2.3.2 Funkce	41
2.3.3 Požadavky	41
2.3.4 Diagram parametrů (P-Diagram)	42
2.3.5 Analýza funkcí	45

2.3.6 Spolupráce mezi inženýrskými týmy (systém, bezpečnost a komponenty/díly)	47
2.3.7 Základ pro Analýzu selhání	48
2.4 FMEA-D KROK 4: ANALÝZA SELHÁNÍ	48
2.4.1 Účel	48
2.4.2 Selhání	48
2.4.3 Definice řetězce selhání	50
2.4.4 Následky vady	51
2.4.5 Vada	52
2.4.6 Příčiny vady	52
2.4.7 Analýza selhání	53
2.4.8 Dokumentování Analýzy selhání	56
2.4.9 Spolupráce mezi zákazníkem a dodavatelem (následky vad)	57
2.4.10 Základ pro Analýzu rizik	57
2.5 FMEA-D KROK 5: ANALÝZA RIZIK	57
2.5.1 Účel	57
2.5.2 Opatření v návrhu produktu (design)	57
2.5.3 Stávající preventivní opatření (PC)	58
2.5.4 Stávající opatření k odhalení (DC)	59
2.5.5 Potvrzení stávajících preventivních opatření a opatření k odhalení	60
2.5.6 Hodnocení	61
2.5.7 Význam (S)	61
2.5.8 Výskyt (O)	62
2.5.9 Detekce (D)	66
2.5.10 Priorita opatření (AP)	67
2.5.11 Spolupráce mezi zákazníkem a dodavatelem (význam)	72
2.5.12 Základ pro Optimalizaci	73
2.6 FMEA-D KROK 6: OPTIMALIZACE	73
2.6.1 Účel	73
2.6.2 Přidělování odpovědností	74
2.6.3 Status opatření	74
2.6.4 Posuzování efektivity opatření	75
2.6.5 Neustálé zlepšování	75
2.6.6 Spolupráce mezi týmem FMEA, managementem, zákazníky a dodavateli týkající se možných selhání	76
2.7 FMEA-D KROK 7: DOKUMENTOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	76
2.7.1 Účel	76
2.7.2 Zpráva FMEA	77
3 POSTUP PROVEDENÍ FMEA-P	79
3.1 FMEA-P KROK 1: PLÁNOVÁNÍ A PŘÍPRAVA	79
3.1.1 Účel	79
3.1.2 FMEA-P identifikace projektu a rozhraní	79
3.1.3 Plán projektu FMEA-P	82
3.1.4 Identifikace výchozích podmínek FMEA-P	82
3.1.5 Záhloví FMEA-P	82
3.2 FMEA-P KROK 2: ANALÝZA STRUKTURY	83
3.2.1 Účel	83
3.2.2 Vývojový diagram procesu (Process Flow Diagram)	84
3.2.3 Strom struktury	84
3.2.4 Spolupráce mezi zákazníkem a dodavatelem (odpovědnost za rozhraní)	87
3.2.5 Základ pro Analýzu funkcí	87
3.3 FMEA-P 3 KROK: ANALÝZA FUNKCÍ	88
3.3.1 Účel	88

3.3.2	Funkce	88
3.3.3	Požadavky (charakteristiky).....	89
3.3.4	Vizualizace vztahů mezi funkcemi.....	91
3.3.5	Spolupráce mezi inženýrskými týmy (systémy, bezpečnost a komponenty/díly)	93
3.3.6	Základ pro Analýzu selhání.....	93
3.4	FMEA-P KROK 4: ANALÝZA SELHÁNÍ.....	93
3.4.1	Účel	93
3.4.2	Selhání.....	93
3.4.3	Řetězec selhání	94
3.4.4	Následky vad	94
3.4.5	Vada (projev vady).....	96
3.4.6	Příčiny vad	97
3.4.7	Analýza selhání.....	99
3.4.8	Vztah mezi FMEA-P a FMEA-D.....	101
3.4.9	Dokumentování analýzy selhání	102
3.4.10	Spolupráce mezi zákazníkem a dodavatelem (následky vad)	103
3.4.11	Základ pro analýzu rizik.....	103
3.5	FMEA-P KROK 5: ANALÝZA RIZIK.....	104
3.5.1	Účel	104
3.5.2	Stávající preventivní opatření (PC)	104
3.5.3	Stávající opatření k odhalení (DC).....	105
3.5.4	Stávající preventivní opatření a opatření k odhalení.....	106
3.5.5	Hodnocení	106
3.5.6	Význam (S).....	107
3.5.7	Výskyt (O)	110
3.5.8	Detekce (D)	111
3.5.9	Priorita opatření (AP)	114
3.5.10	Spolupráce mezi zákazníkem a dodavatelem (parametr význam).....	118
3.5.11	Základ pro optimalizaci	118
3.6	FMEA-P KROK 6: OPTIMALIZACE	119
3.6.1	Účel	119
3.6.2	Přidělování odpovědností.....	120
3.6.3	Status opatření	120
3.6.4	Posuzování efektivity opatření.....	121
3.6.5	Neustálé zlepšování	121
3.6.6	Spolupráce mezi týmem FMEA, managementem, zákazníky a dodavateli týkající se možných selhání ..	121
3.7	FMEA-P KROK 7: DOKUMENTOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	122
3.7.1	Účel	122
3.7.2	Zpráva FMEA	122
4	DOPLŇKOVÁ - FMEA MONITOROVÁNÍ A ODEZVY SYSTÉMU (FMEA-MSR).....	125
4.1	FMEA-MSR KROK 1: PLÁNOVÁNÍ A PŘÍPRAVA	126
4.1.1	Účel	126
4.1.2	FMEA-MSR identifikace projektu a rozhraní.....	127
4.1.3	FMEA-MSR Plán projektu	128
4.2	FMEA-MSR KROK 2: ANALÝZA STRUKTURY.....	129
4.2.1	Účel	129
4.2.2	Strom struktury.....	129
4.3	FMEA-MSR KROK 3: ANALÝZA FUNKCÍ	131
4.3.1	Účel	131
4.3.2	Funkce	131
4.4	FMEA-MSR KROK 4: ANALÝZA SELHÁNÍ.....	132
4.4.1	Účel	132
4.4.2	Scénáře selhání.....	132
4.4.3	Příčiny poruchy	134

4.4.4 Vada.....	135
4.4.5 Následek poruchy.....	136
4.5 FMEA-MSR KROK 5: ANALÝZA RIZIK	136
4.5.1 Účel.....	136
4.5.2 Hodnocení	137
4.5.3 Význam (S).....	137
4.5.4 Zdůvodnění hodnocení četnosti	138
4.5.5 Četnost (F)	139
4.5.6 Stávající monitorovací opatření	141
4.5.7 Monitoring (M)	141
4.5.8 Priorita opatření (AP) pro FMEA-MSR	146
4.6 FMEA-MSR KROK 6: OPTIMALIZACE	149
4.6.1 Účel.....	149
4.6.2 Přidělování odpovědností	150
4.6.3 Status opatření	150
4.6.4 Posuzování efektivity opatření.....	151
4.6.5 Neustálé zlepšování	151
4.7 FMEA-MSR KROK 7: DOKUMENTOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	153
4.7.1 Účel.....	153
4.7.2 Zpráva FMEA	153

PŘÍLOHY	155
A PŘÍKLADY FORMULÁŘŮ FMEA	158
B FORMULÁŘE – POKYNY KROK ZA KROKEM	171
C TABULKY PARAMETRŮ „VÝZNAM“ (S), „VÝSKYT (O)“, „DETEKCE“ (D) PRIORITY OPATŘENÍ (AP)	185
D PŘÍLOHY	210
E DALŠÍ OBLASTI POUŽITÍ	213
F PŘEHLED ZMĚN SUMARIZACE	215
G ODKAZY A DOPORUČENÁ LITERATURA.....	235
H POJMY	236

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1.1-1 ASPEKTY RIZIK.....	16
OBRÁZEK 1.4-1 SPOLUPRÁCE V DODAVATELSKÉM ŘETĚZCI FMEA	22
OBRÁZEK 1.5-1 NAČASOVÁNÍ FMEA – MODERNÍ PLÁNOVÁNÍ KVALITY PRODUKTU (FÁZE APQP)	24
OBRÁZEK 1.5-2 NAČASOVÁNÍ FMEA – ZAJIŠŤOVÁNÍ STUPŇŮ ZRALOSTI PRO NOVÉ DÍLY (MILNÍKY RGA)	24
OBRÁZEK 1.6-1 7KROKOVÝ PŘÍSTUP FMEA	29
OBRÁZEK 2.1-1 PŘÍKLAD KOMPLETNÍHO ZÁHLAVÍ FMEA-D: KROK 1 PLÁNOVÁNÍ A PŘÍPRAVA	33
OBRÁZEK 2.2-1 PŘÍKLAD BLOKOVÉHO DIAGRAMU/DIAGRAMU ROZHRAŇÍ (BLOCK/BOUNDARY DIAGRAM).....	37
OBRÁZEK 2.2-2 ANALÝZA STRUKTUTY – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ STROMU	39
OBRÁZEK 2.2-3 ANALÝZA STRUKTUTY – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ FORMULÁŘE	39
OBRÁZEK 2.3-1 ZNÁZORNĚNÍ TOKU VSTUP/VÝSTUP/ROZHRAŇÍ	41
OBRÁZEK 2.3-2 PŘÍKLAD CHOVÁNÍ SYSTÉMU	43
OBRÁZEK 2.3-3 DIAGRAM PARAMETRŮ NA PŘÍKLADU ELEKTRICKÉHO MOTORU	45
OBRÁZEK 2.3-4 ANALÝZA FUNKCÍ – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ STROMU	46
OBRÁZEK 2.3-5 ANALÝZA FUNKCÍ – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ FORMULÁŘE.....	47
OBRÁZEK 2.4-1 TYPY SELHÁNÍ	49

OBRÁZEK 2.4-2	DEFINICE SELHÁNÍ	50
OBRÁZEK 2.4-3	TEORETICKÝ MODEL ŘETĚZCE SELHÁNÍ	50
OBRÁZEK 2.4-4	STRUKTURA SELHÁNÍ NA RŮZNÝCH ÚROVNÍCH SYSTÉMU	54
OBRÁZEK 2.4-5	ANALÝZA SELHÁNÍ – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ STROMU	55
OBRÁZEK 2.4-6	ANALÝZA SELHÁNÍ – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ FORMULÁŘE	55
OBRÁZEK 2.4-7	ZNÁZORNĚNÍ PROPOJENÍ POLOŽEK ANALÝZY FUNKCÍ A ANALÝZY SELHÁNÍ NA ÚROVNI SYSTÉMU (VYŠŠÍ ÚROVEŇ)..	56
OBRÁZEK 2.4-8	ZNÁZORNĚNÍ PROPOJENÍ POLOŽEK ANALÝZY FUNKCÍ A ANALÝZY SELHÁNÍ NA ÚROVNI VYBRANÉHO PRVKU	56
OBRÁZEK 2.4-9	ZNÁZORNĚNÍ PROPOJENÍ POLOŽEK ANALÝZY FUNKCÍ A ANALÝZY SELHÁNÍ NA NIŽŠÍ ÚROVNI SYSTÉMU (NEBO DRUHU CHARAKTERISTIKY)	56
OBRÁZEK 2.5-1	PREVENCE A DETEKCE VE FMEA-D	60
OBRÁZEK 2.5-2	SCHÉMA PRO POCHOPENÍ AKTIVIT NÁVRHU A VÝVOJE	60
OBRÁZEK 2.5-3	PŘÍKLAD FORMULÁŘE ANALÝZY RIZIK FMEA-D.....	72
OBRÁZEK 2.6-1	PŘÍKLAD FORMULÁŘE OPTIMALIZACE FMEA-D S NOVÝM HODNOCENÍM RIZIK	76
OBRÁZEK 3.1-1	PŘÍKLAD POSTUPU PLÁNOVÁNÍ A PŘÍPRAVY PRO VYMEZENÍ PŘEDMĚTU ANALÝZY.....	81
OBRÁZEK 3.1-2	PŘÍKLAD KOMPLETNÍHO ZÁHLAVÍ FMEA-P KROK 1 PLÁNOVÁNÍ A PŘÍPRAV.....	83
OBRÁZEK 3.2-1	VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROCESU	84
OBRÁZEK 3.2-2	ANALÝZA STRUKTURY – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ STROMU (MONTÁŽNÍ LINKA ELEKTROMOTORU)).....	85
OBRÁZEK 3.2-3	POLOŽKA PROCESU	85
OBRÁZEK 3.2-4	KROKY PROCESU	86
OBRÁZEK 3.2-5	ANALÝZA STRUKTURY – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ FORMULÁŘE	87
OBRÁZEK 3.3-1	PŘÍKLAD DIAGRAMU PARAMETRŮ – LISOVÁNÍ SINTROVANÉHO LOŽISKA	91
OBRÁZEK 3.3-2	ANALÝZA FUNKCÍ – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ STROMU	92
OBRÁZEK 3.3-3	ANALÝZA FUNKCÍ – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ FORMULÁŘE.....	92
OBRÁZEK 3.4-1	TEORETICKÝ MODEL ŘETĚZCE SELHÁNÍ	94
OBRÁZEK 3.4-2	ANALÝZA SELHÁNÍ – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ STROMU	99
OBRÁZEK 3.4-3	ANALÝZA SELHÁNÍ – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ FORMULÁŘE	100
OBRÁZEK 3.4-4	VZTAH MEZI FMEA-P A FMEA-D.....	102
OBRÁZEK 3.4-5	ZNÁZORNĚNÍ PROPOJENÍ POLOŽEK ANALÝZY FUNKCÍ A SELHÁNÍ NA ÚROVNI POLOŽKY PROCESU	102
OBRÁZEK 3.4-6	ZNÁZORNĚNÍ PROPOJENÍ POLOŽEK ANALÝZY FUNKCÍ A SELHÁNÍ NA ÚROVNI KROKU PROCESU	103
OBRÁZEK 3.4-7	ZNÁZORNĚNÍ PROPOJENÍ POLOŽEK ANALÝZY FUNKCÍ A SELHÁNÍ NA ÚROVNI PRVKU PROVÁDĚNÍ ČINNOSTÍ (4M)	103
OBRÁZEK 3.5-1	PREVENCE A ODHALOVÁNÍ FMEA-P	105
OBRÁZEK 3.5-2	SCHÉMA PRO POCHOPENÍ PROCESU	106
OBRÁZEK 3.5-3	PŘÍKLAD FORMULÁŘE FMEA-P S ANALÝZOU RIZIK	118
OBRÁZEK 3.6-1	PŘÍKLAD FORMULÁŘE FMEA-P S OPTIMALIZACÍ A NOVÝM HODNOCENÍM RIZIK	122
OBRÁZEK 4.1-1	PŘÍKLAD BLOKOVÉHO SCHÉMATU MECHATRONICKÉHO SYSTÉMU	128
OBRÁZEK 4.2-1	ANALÝZA STRUKTURY – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ STROMU (SYSTÉM OVLÁDÁNÍ OKNA PRO VYŠETŘOVÁNÍ CHYBNÝCH SIGNÁLŮ, MONITOROVÁNÍ A ODEZVY SYSTÉMU)	129
OBRÁZEK 4.2-2	ANALÝZA STRUKTURY - PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ STROMU (STRUKTURA INTELIGENTNÍHO SENSORU S VNITŘNÍM SNÍMACÍM PRVKEM A VÝSTUPEM DO ROZHRANÍ)	130
OBRÁZEK 4.2-3	ANALÝZA STRUKTURY - PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ FORMULÁŘE	130
OBRÁZEK 4.3-1	ANALÝZA FUNKCÍ – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ STROMU	132
OBRÁZEK 4.3-2	ANALÝZA FUNKCÍ – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ FORMULÁŘE.....	132
OBRÁZEK 4.4-1	TEORETICKÝ MODEL ŘETĚZCE SELHÁNÍ V FMEA-D A FMEA-MSR.....	133
OBRÁZEK 4.4-2	SCÉNÁŘ SELHÁNÍ (1) – NENÍ NEBEZPEČNÝ	133
OBRÁZEK 4.4-3	SCÉNÁŘ SELHÁNÍ(2) - NEBEZPEČNÝ	134
OBRÁZEK 4.4-4	SCÉNÁŘ SELHÁNÍ (3) - ZMÍRNĚNÍ (NÁSLEDEK)	134
OBRÁZEK 4.4-5	ANALÝZA SELHÁNÍ - PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ ŘETĚZCE SELHÁNÍ BEZ MONITOROVÁNÍ NEBO S MONITOROVÁNÍM, KTERÉ JE POUZE ČÁSTEČNĚ ÚČINNÉ (SCÉNÁŘ (1) A (2)).	135
OBRÁZEK 4.4-6	ANALÝZA SELHÁNÍ - PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ HYBRIDNÍHO ŘETĚZCE SELHÁNÍ VČETNĚ MONITOROVÁNÍ, KTERÉ JE VŽDY ÚČINNÉ A PŘEPNE SYSTÉM NA ZMÍRNĚNÝ NÁSLEDEK VADY (SCÉNÁŘ 3)).	136
OBRÁZEK 4.4-7	ANALÝZA SELHÁNÍ – PŘÍKLAD ZNÁZORNĚNÍ POMOCÍ ŘETĚZCE/SÍTĚ	136
OBRÁZEK 4.4-8	PŘÍKLAD FORMULÁŘE ANALÝZY SELHÁNÍ VE FMEA-MSR	136
OBRÁZEK 4.5-1	FMEA-MSR MONITOROVÁNÍ NEBYLO IMPLEMENTOVÁNO NEBO NEBYLO ZVÁŽENO.....	142

4.2 Scénáře selhání.....	132
4.3 Příčiny poruch.....	134

OBRÁZEK 4.5-2	FMEA-MSR SPOLEHLIVÉ DIAGNOSTICKÉ MONITOROVÁNÍ	142
OBRÁZEK 4.5-3	FMEA-MSR ČÁSTEČNĚ ÚČINNĚ DIAGNOSTICKÉ MONITOROVÁNÍ	143
OBRÁZEK 4.5-4	PŘÍKLAD FORMULÁŘE ANALÝZY RIZIK FMEA-MSR – VYHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO RIZIKA	149
OBRÁZEK 4.6-1	PŘÍKLAD FORMULÁŘE FMEA-MSR OPTIMALIZACE S NOVÝM HODNOCENÍM RIZIK	152

Seznam tabulek

TABULKA D1– FMEA-D VÝZNAM (S)	62
TABULKA D2 – FMEA-D VÝSKYT (O)	65
TABULKA D3 – FMEA-D DETEKCE (D)	67
TABULKA AP – PRIORITY OPATŘENÍ PRO FMEA-D	71
TABULKA P1 – FMEA-P VÝZNAM (S)	109
TABULKA P2 – FMEA-P VÝSKYT (O)	111
TABULKA P3 – FMEA-P DETEKCE (D)	113
TABULKA AP – PRIORITY OPATŘENÍ PRO FMEA-P	117
TABULKA MSR1 – DOPLŇKOVÁ FMEA-MSR VÝZNAM (S)	138
TABULKA MSR2 – DOPLŇKOVÁ FMEA-MSR ČETNOST (F)	140
TABULKA MSR3 – DOPLŇKOVÁ FMEA- MSR MONITORING (M)	145
TABULKA AP – PRIORITY OPATŘENÍ PRO FMEA-MSR	148

1.1 Účel a popis

Vzrůstající požadavky zákazníků na kvalitu, potřebná optimalizace nákladů na produkty a procesy, vzrůstající komplexita a zacílení právních požadavků týkajících se odpovědnosti za škody způsobené vadou výrobku vedoucích do oblasti návrhu a vývoje i do výroby, představuje pro průmysl významnou výzvu. Proto se metoda FMEA při své aplikaci zaměřuje na minimalizaci technických rizik.

FMEA je týmově orientovaná, systematická, kvalitativní, analytická metoda určená pro:

- hodnocení potenciálních technických rizik vztažených k vadám produktu nebo výrobního procesu,
- analýzu příčin a následků takových vad,
- dokumentování preventivních opatření a opatření sloužících k odhalování vad,
- doporučování opatření ke snížení rizik.

Organizace zvažují různé druhy rizik včetně technických rizik, finančních rizik, rizik spojených s termíny a strategiemi. FMEA je zaměřena na analýzu technických rizik a slouží k minimalizaci selhání a zvyšování bezpečnosti produktů a procesů. Obrázek 1.1-1 znázorňuje zaměření FMEA a této příručky.