

SPIS TREŚCI

SŁOWO WSTĘPNE	4
PODZIĘKOWANIA	5
SPIS TREŚCI	8
1 WPROWADZENIE	15
1.1 CEL I OPIS	15
1.2 CELE I OGRANICZENIA FMEA	16
1.3 INTEGRACJA FMEA W FIRMIE	17
1.3.1 Potencjalne rozważania dotyczące FMEA	17
1.3.2 Zaangażowanie kadry kierowniczej wyższego szczebla	18
1.3.3 Ochrona know-how w FMEA konstrukcji/procesu	18
1.3.4 Umowy pomiędzy klientami i dostawcami	18
1.3.5 Strategia przejścia	19
1.3.6 FMEA bazowe i FMEA dla rodzin	19
1.4 FMEA DLA WYROBÓW I PROCESÓW	20
1.4.1 FMEA konstrukcji	21
1.4.2 FMEA procesu	21
1.4.3 Współpraca pomiędzy analizami FMEA	22
1.5 PLANOWANIE PROJEKTU	23
1.5.1 FMEA InTent (cel)	23
1.5.2 FMEA Timing (harmonogram)	23
1.5.3 FMEA Team (zespół)	25
1.5.4 FMEA Tasks (zadania)	28
1.5.5 FMEA Tools (narzędzia)	28
1.6 METODA FMEA	28
2 PRZEPROWADZENIE FMEA KONSTRUKCJI	31
2.1 FMEA KONSTRUKCJI – KROK 1.: PLANOWANIE I PRZYGOTOWANIE	31
2.1.1 Cel	31
2.1.2 DFMEA – określenie projektu i granic	31
2.1.3 Plan projektu DFMEA	32
2.1.4 Określenie DFMEA bazowego	32
2.1.5 Nagłówek DFMEA	33
2.1.6 Podstawy dla analizy struktury	33
2.2 FMEA KONSTRUKCJI – KROK 2.: ANALIZA STRUKTURY	34
2.2.1 Cel	34
2.2.2 Struktura systemu	34
2.2.3 Zdefiniowanie klienta	34
2.2.4 Wizualizacja struktury systemu	35
2.2.5 Współpraca pomiędzy klientem i dostawcą	40
2.2.6 Podstawa dla analizy funkcji	40
2.3 FMEA KONSTRUKCJI – KROK 3.: ANALIZA FUNKCJI	40
2.3.1 Cel	40
2.3.2 Funkcja	41
2.3.3 Wymagania	41
2.3.4 Diagram parametrów (diagram p)	42

2.3.5	Analiza funkcji	45
2.3.6	Współpraca pomiędzy zespołami inżynierskimi (systemy, bezpieczeństwo i komponenty)	47
2.3.7	Podstawa dla analizy błędów	48
2.4	FMEA KONSTRUKCJI – KROK 4.: ANALIZA BŁĘDÓW	48
2.4.1	Cel	48
2.4.2	Błędy	48
2.4.3	Łańcuch błędów	50
2.4.4	Skutki błędów	51
2.4.5	Rodzaj błędów	52
2.4.6	Przyczyna błędów	53
2.4.7	Analiza błędów	53
2.4.8	Dokumentacja analizy błędów	56
2.4.9	Współpraca pomiędzy klientem i dostawcą (skutki błędów)	57
2.4.10	Podstawa dla analizy ryzyka	57
2.5	FMEA KONSTRUKCJI – KROK 5.: ANALIZA RYZYKA	57
2.5.1	Cel	57
2.5.2	Kontrole konstrukcji	57
2.5.3	Bieżące kontrole zapobiegawcze (PC)	58
2.5.4	Bieżące kontrole wykrywające (DC)	59
2.5.5	Potwierdzenie bieżących kontroli zapobiegawczych i wykrywających	60
2.5.6	Oceny	61
2.5.7	Znaczenie (S)	61
2.5.8	Występowanie (O)	63
2.5.9	Wykrywanie (D)	66
2.5.10	Priorytet działania (AP)	68
2.5.11	Współpraca pomiędzy klientem i dostawcą (znaczenie)	72
2.5.12	Podstawa dla optymalizacji	73
2.6	FMEA KONSTRUKCJI – KROK 6.: OPTIMALIZACJA	73
2.6.1	Cel	73
2.6.2	Przypisanie odpowiedzialności	74
2.6.3	Status działań	74
2.6.4	Ocena skuteczności działania	75
2.6.5	Ciągłe doskonalenie	75
2.6.6	Współpraca pomiędzy zespołem FMEA, kierownictwem, klientami a dostawcami dotycząca potencjalnych błędów	76
2.7	FMEA KONSTRUKCJI – KROK 7.: DOKUMENTOWANIE WYNIKÓW	76
2.7.1	Cel	76
2.7.2	Raport FMEA	77
3	PRZEPROWADZENIE FMEA PROCESU (PFMEA)	79
3.1	FMEA PROCESU – KROK 1.: PLANOWANIE I PRZYGOTOWANIE	79
3.1.1	Cel	79
3.1.2	PFMEA – określenie projektu i granic	79
3.1.3	Plan projektu PFMEA	82
3.1.4	Określenie PFMEA bazowego	82
3.1.5	Nagłówki FMEA procesu	82
3.2	FMEA PROCESU – KROK 2.: ANALIZA STRUKTURY	83
3.2.1	Cel	83
3.2.2	Diagram przepływu procesu	84
3.2.3	Drzewo struktury	84

3.2.4	Współpraca pomiędzy zespołami inżynierskimi klienta i dostawcy (odpowiedzialności za powiązania)	87
3.2.5	Podstawa dla analizy funkcji	87
3.3	FMEA PROCESU – KROK 3.: ANALIZA FUNKCJI	88
3.3.1	Cel	88
3.3.2	Funkcja	88
3.3.3	Wymaganie(-a) (charakterystyki)	89
3.3.4	Wizualizacja relacji funkcjonalnych	91
3.3.5	Współpraca pomiędzy zespołami inżynierskimi (systemy, bezpieczeństwo i komponenty)	93
3.3.6	Podstawa dla analizy błędów	93
3.4	FMEA PROCESU – KROK 4.: ANALIZA BŁĘDÓW	93
3.4.1	Cel	93
3.4.2	Błędy	93
3.4.3	Łańcuch błędów	94
3.4.4	Skutki błędów	94
3.4.5	Rodzaj błędów	96
3.4.6	Przyczyna błędów	97
3.4.7	Analiza błędów	99
3.4.8	Relacja pomiędzy PFMEA i DFMEA	101
3.4.9	Dokumentacja analizy błędów	102
3.4.10	Współpraca pomiędzy klientem i dostawcą (skutki błędów)	103
3.4.11	Podstawa dla analizy ryzyka	103
3.5	FMEA PROCESU – KROK 5.: ANALIZA RYZYKA	104
3.5.1	Cel	104
3.5.2	Bieżące kontrole zapobiegawcze (PC)	104
3.5.3	Bieżące kontrole wykrywające (DC)	105
3.5.4	Bieżące kontrole zapobiegawcze i wykrywające	106
3.5.5	Oceny	106
3.5.6	Znaczenie (S)	107
3.5.7	Występowanie (O)	110
3.5.8	Wykrywanie (D)	111
3.5.9	Priorytet działania (AP)	114
3.5.10	Współpraca pomiędzy klientem i dostawcą (znaczenie)	118
3.5.11	Podstawa dla optymalizacji	118
3.6	FMEA PROCESU – KROK 6.: OPTIMALIZACJA	119
3.6.1	Cel	119
3.6.2	Przypisanie odpowiedzialności	120
3.6.3	Status działań	120
3.6.4	Ocena skuteczności działania	121
3.6.5	Ciągłe doskonalenie	121
3.6.6	Współpraca pomiędzy zespołem FMEA, kierownictwem, klientami a dostawcami dotycząca potencjalnych błędów	121
3.7	FMEA PROCESU – KROK 7.: DOKUMENTOWANIE WYNIKÓW	122
3.7.1	Cel	122
3.7.2	Raport FMEA	122
4	UZUPEŁNIAJĄCE FMEA DO MONITOROWANIA I ODPOWIEDZI SYSTEMU (FMEA-MSR)	125
4.1	FMEA-MSR – KROK 1.: PLANOWANIE I PRZYGOTOWANIE	126
4.1.1	Cel	126
4.1.2	FMEA-MSR – określenie projektu i granic	127
4.1.3	Plan projektu FMEA-MSR	128

4.2 FMEA-MSR – KROK 2.: ANALIZA STRUKTURY 129

4.2.1 Cel 129

4.2.2 Drzewa struktury 129

4.3 FMEA-MSR – KROK 3.: ANALIZA FUNKCJI 131

4.3.1 Cel 131

4.3.2 Funkcja. 131

4.4 FMEA-MSR – KROK 4.: ANALIZA BŁĘDU. 132

4.4.1 Cel 132

4.4.2 Scenariusz błędu 132

4.4.3 Przyczyna błędu 134

4.4.4 Rodzaj błędu 135

4.4.5 Skutek błędu. 136

4.5 FMEA-MSR – KROK 5.: ANALIZA RYZYKA. 137

4.5.1 Cel 137

4.5.2 Oceny. 137

4.5.3 Znaczenie (S) 137

4.5.4 Uzasadnienie dla oceny częstotliwości 138

4.5.5 Częstotliwość (F). 139

4.5.6 Bieżące kontrole monitorujące 141

4.5.7 Monitorowanie (M) 141

4.5.8 Priorytet działania (AP) dla FMEA-MSR. 146

4.6 FMEA-MSR – KROK 6.: OPTYMALIZACJA 149

4.6.1 Cel 149

4.6.2 Przypisanie odpowiedzialności. 150

4.6.3 Status działań. 150

4.6.4 Ocena skuteczności działania 151

4.6.5 Ciągłe doskonalenie 151

4.7 FMEA-MSR – KROK 7.: DOKUMENTOWANIE WYNIKÓW 153

4.7.1 Cel 153

4.7.2 Raport FMEA 153

ZAŁĄCZNIKI 155

A PRZYKŁAD FORMULARZY FMEA 158

B FORMULARZE – WSKAZÓWKI KROK PO KROKU 171

C TABELE ZNACZENIA, WYSTĘPOWANIA, WYKRYWANIA I PRIORYTETU DZIAŁANIA 185

D DODATKI 210

E DAJSZE OBSZARY ZASTOSOWANIA 213

F PODSUMOWANIE ZMIAN 215

G ODWOŁANIA I SUGEROWANA LITERATURA 235

H SŁOWNICZEK 236

Spis rysunków

RYSUNEK 1.1-1 ASPEKTY RYZYKA 16

RYSUNEK 1.4-1 WSPÓŁPRACA FMEA 22

RYSUNEK 1.5-1 HARMONOGRAM FMEA ZHARMONIZOWANY Z FAZAMI APQP 24

RYSUNEK 1.5-2 HARMONOGRAM FMEA ZHARMONIZOWANY Z FAZAMI MLA 24

RYSUNEK 1.6-1 FMEA – PODEJŚCIE W 7 KROKACH. 29

RYSUNEK 2.1-1 PRZYKŁAD WYPEŁNIONEGO NAGŁÓWKĄ DFMEA – KROK 1.: PLANOWANIE I PRZYGOTOWANIE . . 33

RYSUNEK 2.2-1 PRZYKŁAD DIAGRAMU BLOKOWEGO/GRANIC 37

RYSUNEK 2.2-2	PRZYKŁAD DRZEWY STRUKTURY DLA ANALIZY STRUKTURY	39
RYSUNEK 2.2-3	PRZYKŁAD FORMULARZA ANALIZY STRUKTURY	39
RYSUNEK 2.3-1	PRZEPŁYW; WEJŚCIE/POWIĄZANIE/WYJŚCIE	41
RYSUNEK 2.3-2	PRZYKŁAD ZACHOWANIA SYSTEMU	43
RYSUNEK 2.3-3	PRZYKŁAD DIAGRAMU PARAMETRÓW DLA SILNIKA ELEKTRYCZNEGO	45
RYSUNEK 2.3-4	PRZYKŁAD DRZEWY STRUKTURY DLA ANALIZY FUNKCJI	46
RYSUNEK 2.3-5	PRZYKŁAD FORMULARZA ANALIZY FUNKCJI	47
RYSUNEK 2.4-1	TYPY RODZAJÓW BŁĘDU	49
RYSUNEK 2.4-2	DEFINICJA BŁĘDU	50
RYSUNEK 2.4-3	TEORETYCZNY MODEL ŁAŃCUCHA BŁĘDU	50
RYSUNEK 2.4-4	STRUKTURA BŁĘDU NA RÓŻNYCH POZIOMACH	54
RYSUNEK 2.4-5	PRZYKŁAD DRZEWY STRUKTURY DLA ANALIZY BŁĘDU	55
RYSUNEK 2.4-6	PRZYKŁAD FORMULARZA ANALIZY BŁĘDU	55
RYSUNEK 2.4-7	WIDOK FORMULARZA NASTĘPNEGO WYŻSZEGO POZIOMU ELEMENTU–FUNKCJI–BŁĘDU	56
RYSUNEK 2.4-8	WIDOK FORMULARZA DETALU/ELEMENTU ANALIZY–FUNKCJI–BŁĘDU	56
RYSUNEK 2.4-9	WIDOK FORMULARZA ELEMENTU NIŻSZEGO POZIOMU–FUNKCJI–BŁĘDU	56
RYSUNEK 2.5-1	ZAPOBIEGANIE I WYKRYWANIE W FMEA KONSTRUKCJI	60
RYSUNEK 2.5-2	PLAN DZIAŁANIA DOTYCZĄCY ZROZUMIENIA KONSTRUKCJI.	60
RYSUNEK 2.5-3	PRZYKŁAD FORMULARZA ANALIZY RYZYKA DFMEA.	72
RYSUNEK 2.6-1	PRZYKŁAD FORMULARZA OPTIMALIZACJI DFMEA Z NOWĄ OCENĄ RYZYKA	76
RYSUNEK 3.1-1	ZADEMONSTROWANIE PROCESU ZAWĘŻANIA PRZYGOTOWAŃ.	81
RYSUNEK 3.1-2	PRZYKŁAD WYPEŁNIONEGO NAGŁÓWKA PFMEA – KROK 1.: PLANOWANIE I PRZYGOTOWANIE . . .	83
RYSUNEK 3.2-1	DIAGRAM PRZEPŁYWU PROCESU.	84
RYSUNEK 3.2-2	PRZYKŁAD DRZEWY STRUKTURY DLA ANALIZY STRUKTURY (LINIA MONTAŻOWA SILNIKA ELEKTRYCZNEGO)	85
RYSUNEK 3.2-3	ELEMENT PROCESU	85
RYSUNEK 3.2-4	KROKI PROCESU	86
RYSUNEK 3.2-5	PRZYKŁAD FORMULARZA ANALIZY STRUKTURY	87
RYSUNEK 3.3-1	PRZYKŁAD DIAGRAMU PARAMETRÓW DLA WPRASOWANIA ŁOŻYSKA SPIEKANEGO	91
RYSUNEK 3.3-2	PRZYKŁAD DRZEWY STRUKTURY DLA ANALIZY FUNKCJI	92
RYSUNEK 3.3-3	PRZYKŁAD FORMULARZA ANALIZY FUNKCJI	92
RYSUNEK 3.4-1	TEORETYCZNY MODEL ŁAŃCUCHA BŁĘDU	94
RYSUNEK 3.4-2	PRZYKŁAD DRZEWY STRUKTURY DLA ANALIZY BŁĘDU.	99
RYSUNEK 3.4-3	PRZYKŁAD FORMULARZA ANALIZY BŁĘDU	100
RYSUNEK 3.4-4	RELACJA POMIĘDZY PFMEA A DFMEA	102
RYSUNEK 3.4-5	WIDOK FORMULARZA ELEMENTU–FUNKCJI–BŁĘDU PROCESU.	102
RYSUNEK 3.4-6	WIDOK FORMULARZA KROKU–FUNKCJI–BŁĘDU PROCESU	103
RYSUNEK 3.4-7	WIDOK FORMULARZA ELEMENTU PRACY–FUNKCJI–BŁĘDU PROCESU	103
RYSUNEK 3.5-1	ZAPOBIEGANIE I WYKRYWANIE W FMEA PROCESU	105
RYSUNEK 3.5-2	PLAN DZIAŁANIA DOTYCZĄCY ZROZUMIENIA PROCESU	106
RYSUNEK 3.5-3	PRZYKŁAD FORMULARZA PFMEA Z ANALIZĄ RYZYKA.	118
RYSUNEK 3.6-1	PRZYKŁAD FORMULARZA OPTIMALIZACJI PFMEA Z NOWĄ OCENĄ RYZYKA	122
RYSUNEK 4.1-1	GENERYCZNY DIAGRAM BLOKOWY DLA ELEKTRYCZNEGO/ELEKTRONICZNEGO/ PROGRAMOWALNEGO SYSTEMU ELEKTRONICZNEGO	128
RYSUNEK 4.2-1	PRZYKŁAD DRZEWY STRUKTURY DLA SYSTEMU PODNOSZENIA SZYB MAJĄCEGO NA CELU PRZEBADANIE BŁĘDNYCH SYGNAŁÓW, MONITOROWANIA I ODPOWIEDZI SYSTEMU	129
RYSUNEK 4.2-2	PRZYKŁAD DRZEWY STRUKTURY DLA INTELIGENTNEGO CZUJNIKA Z WEWNĘTRZNYM ELEMENTEM WYKRYWAJĄCYM I WYJŚCIEM DO POWIĄZANIA	130
RYSUNEK 4.2-3	PRZYKŁAD FORMULARZA ANALIZY STRUKTURY W FMEA-MSR.	130
RYSUNEK 4.3-1	PRZYKŁAD DRZEWY STRUKTURY Z FUNKCJAMI	132
RYSUNEK 4.3-2	PRZYKŁAD FORMULARZA ANALIZY FUNKCJI W FMEA-MSR	132

RYSUNEK 4.4-1	TEORETYCZNY MODEL ŁAŃCUCHA BŁĘDU – DFMEA I FMEA-MSR	133
RYSUNEK 4.4-2	SCENARIUSZ BŁĘDU (1) – BEZPIECZNY.	133
RYSUNEK 4.4-3	SCENARIUSZ BŁĘDU (2) – NIEBEZPIECZNY	134
RYSUNEK 4.4-4	SCENARIUSZ BŁĘDU (3) – OGRANICZONY (SKUTEK).	134
RYSUNEK 4.4-5	PRZYKŁAD STRUKTURY Z ŁAŃCUCHEM BŁĘDU BEZ MONITOROWANIA LUB Z MONITOROWANIEM, KTÓRE JEST TYLKO CZĘŚCIOWO SKUTECZNE (SCENARIUSZE (1) I (2))	135
RYSUNEK 4.4-6	PRZYKŁAD STRUKTURY Z HYBRYDOWYM ŁAŃCUCHEM BŁĘDU WRAZ Z MONITOROWANIEM, KTÓRE JEST ZAWSZE SKUTECZNE I PRZEŁĄCZA SYSTEM NA OGRANICZONY SKUTEK BŁĘDU (SCENARIUSZ (3))	136
RYSUNEK 4.4-7	PRZYKŁAD SIECI BŁĘDU	136
RYSUNEK 4.4-8	PRZYKŁAD FORMULARZA ANALIZY BŁĘDU W FMEA-MSR	136
RYSUNEK 4.5-1	MONITOROWANIE FMEA-MSR NIEWDROŻONE LUB NIEUWZGLĘDNIONE	142
RYSUNEK 4.5-2	NIEZAWODNE MONITOROWANIE DIAGNOSTYCZNE FMEA-MSR.	142
RYSUNEK 4.5-3	MONITOROWANIE DIAGNOSTYCZNE FMEA-MSR CZĘŚCIOWO SKUTECZNE	143
RYSUNEK 4.5-4	PRZYKŁAD ANALIZY RYZYKA FMEA-MSR – FORMULARZ OCENY BIEŻĄCEGO RYZYKA	149
RYSUNEK 4.6-1	PRZYKŁAD FORMULARZA OPTIMALIZACJI FMEA-MSR Z NOWĄ OCENĄ RYZYKA.	152

Spis tabel

TABELA D1 – DFMEA – ZNACZENIE (S)	62
TABELA D2 – DFMEA – WYSTĘPOWANIE (O).	64
TABELA D3 – DFMEA – WYKRYWANIE (D)	67
TABELA AP – DFMEA I PFMEA – PRIORYTET DZIAŁANIA	70
TABELA P1 – PFMEA – ZNACZENIE (S)	108
TABELA P2 – PFMEA – WYSTĘPOWANIE (O).	111
TABELA P3 – PFMEA – WYKRYWANIE (D).	112
TABELA AP – DFMEA I PFMEA – PRIORYTET DZIAŁANIA	116
TABELA MSR1 – UZUPEŁNIAJĄCE FMEA-MSR – ZNACZENIE (S)	138
TABELA MSR2 – UZUPEŁNIAJĄCE FMEA-MSR – CZĘSTOTLIWOŚĆ (F).	140
TABELA MSR3 – UZUPEŁNIAJĄCE FMEA-MSR – MONITOROWANIE (M)	144
TABELA AP – FMEA-MSR – PRIORYTET DZIAŁANIA.	147