

ZASTOSOWANIE ANALIZY FMEA W PODEJŚCIU PROJEKTOWYM

IMPLEMENTATION OF FMEA ANALYSIS IN THE PROJECT APPROACH

Anna OLESIK

annabeatapuc@gmail.com

Ewa STANIEWSKA

staniewska.ewa@wip.pcz.pl

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów

Katedra Zarządzania Produkcją i Logistyki

Streszczenie: Analiza FMEA odgrywa istotną rolę w doskonaleniu procesu i produktu mając na celu zachowanie wymaganych standardów całych łańcuchach dostaw. Celem pracy jest analiza możliwości wykorzystania metody FMEA w podejściu projektowym.

Abstract: The FMEA analysis plays an important role in improving the process and product in order to maintain the required standards of entire supply chains. The aim of the work is to analyze the possibilities of using the FMEA method in a project approach.

Słowa kluczowe: analiza FMEA, doskonalenie, jakość.

Key words: FMEA analysis, improvement, quality.

WSTĘP

Sprawne funkcjonowanie procesów produkcyjnych i logistycznych wynika z implementacji odpowiednich koncepcji zarządzania oraz podejmowania działań polegających na zachowaniu wymaganych standardów jakościowych w całych łańcuchach dostaw. Jakość i sposób jej kształtowania stanowi podstawę efektywnej strategii organizacji umożliwiającej realizację oczekiwań klienta w zakresie jakości oferowanych produktów czy usług. Celem implementacji określonych koncepcji czy systemów zarządzania jest bowiem dążenie do ciągłego doskonalenia procesów, pozwalające na zachowanie odpowiedniej pozycji rynkowej oraz dostosowanie do zmieniających się warunków otoczenia. Szczególną rolę w tym odgrywa jakość, która jest jednym z elementów podlegających ciągłemu doskonaleniu (Wasilewski L., 1998).

W literaturze przedmiotu z zakresu zarządzania projektami jednoznacznie zidentyfikowano najważniejsze kryteria, według których dokonywana jest ocena przebiegu procesów oraz efektów realizacji produkcji takie jak: czas, koszty, zakres, jakość i zasoby ludzkie. Określone terminy, zgodność z wyznaczonym budżetem, cel realizowanego projektu oraz kompetencje wykonawców i zaangażowanie w realizację to elementy wymagające odpowiedniego planowania, ustalenia harmonogramu i schematu pracy. Zgodność z określonymi wymaganiami określana jest przez spełnienie złożonych warunków realizacji: technicznych, użytkowych i wizualnych, które związane są z wynikiem końcowym projektu i świadczą o jego jakości.

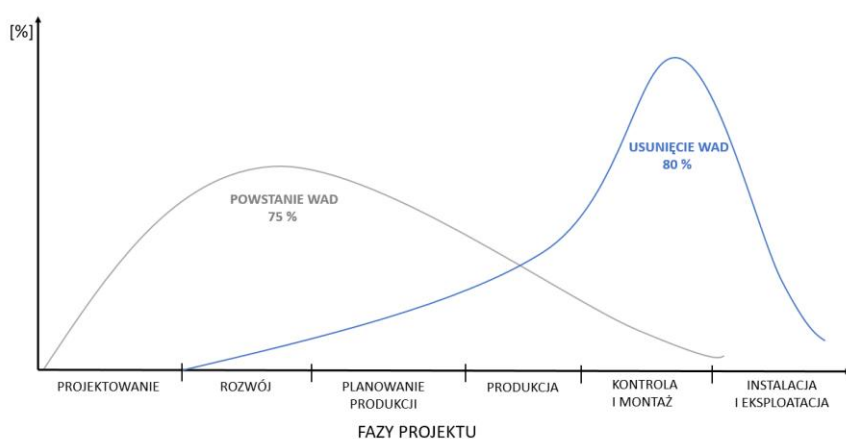
Wymienione elementy tworzą główną grupę czynników sukcesu stanowiąc przy tym podstawę do osiągnięcia celu i satysfakcji klienta (Zawadzka L., 2008).

Celem badań jest analiza możliwości doskonalenia z wykorzystaniem metody FMEA (*ang. Failure Mode and Analysis* – analiza przyczyn i skutków wad) w podejściu projektowym. Badania obejmowały zagadnienia dotyczące zastosowania analizy FMEA w przedsiębiorstwach branży motoryzacyjnej ze szczególnym uwzględnieniem jej fazy analizy, której efektem jest opracowanie arkusza FMEA stanowiącego podstawę podejmowania decyzji i optymalizacji.

1. ISTOTA FMEA

Początkowo FMEA (w formie instrukcji wojskowej skonstruowanej przez armię amerykańską w 1949 roku) miała zastosowanie jako technika do oceny niezawodności, której celem była prezentacja wpływu błędów wyposażenia i systemu na ostateczny wynik, głównie bezpieczeństwo wyposażenia i osób. Przełomem okazało się opracowanie metody FMEA przez NASA w roku 1963 roku na potrzeby programu kosmicznego Apollo. Na przestrzeni kolejnych lat metoda wzbudziła zainteresowanie i znalazła zastosowanie w przemyśle lotniczym, jądrowym, motoryzacyjnym, w inżynierii medycznej, jak również w wielu obszarach nietechnicznych (Szkoda J., 2012).

Podstawą opracowania metody FMEA była zaobserwowana zależność: 75% występujących niezgodności powstaje w fazach przygotowywania produkcji i samej produkcji, jednak wykrywalność na tym etapie jest niewielka, a rośnie ona podczas kontroli ostatecznej i eksploatacji wyrobu (por. rys. 1).



Rysunek 1. Fazy powstawania i wykrywania błędów

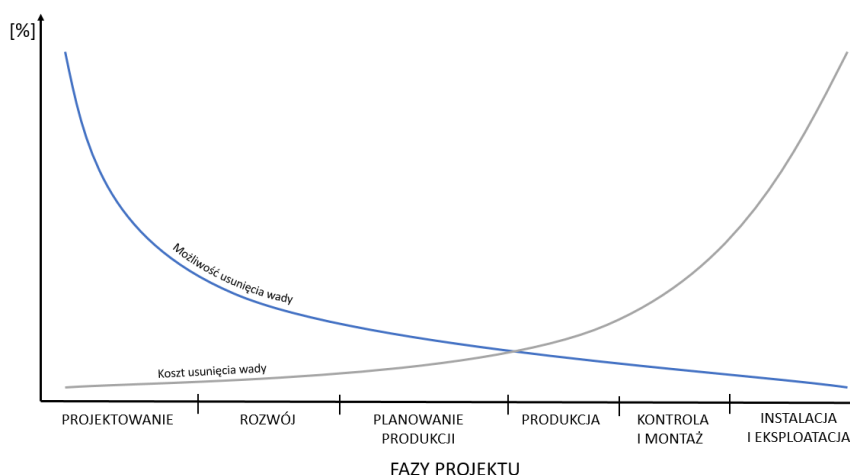
Źródło. (Szkoda J., 2012)

Obecnie analiza przyczyn i skutków błędów odnosi się do analizy ryzyka, które towarzyszy procesom projektowania i rozwoju oraz planowania. Celem metody jest urzeczywistnienie

zasady zero defektów oraz ciągłe doskonalenie. FMEA obejmuje zatem działania mające na celu optymalizację systemu oraz minimalizację ryzyka tworząc podstawę działalności projektowo-rozwojowej.

Metoda FMEA wykorzystywana jest do wczesnej identyfikacji potencjalnych usterek wyrobów/procesów, rozpoznawania błędów (np. przed powstaniem gotowego wyrobu) w celu ich eliminacji. Stosowanie metody w początkowych fazach projektu dotyczących nowych koncepcji oraz w fazach projektowania i rozwoju już istniejących wyrobów i procesów pozwala na podjęcie skutecznych działań zapobiegawczych lub korygujących. Badając dojrzałość wyrobu i procesu dzięki analizie FMEA można określić odpowiednie działania dla wszystkich punktów krytycznych, które pozwalają na redukcję ryzyka i optymalizację systemu.

Priorytetyzacja celów FMEA ulega zmianom w zależności od różnych czynników mających wpływ na realizację celów przedsiębiorstwa. Duże znaczenie mają przede wszystkim wymagania jakościowe klienta, odpowiedzialność producenta za wyrób regulowana przez przepisy prawa, a przede wszystkim czynniki kosztowe: procesów i wyrobów. Wykrycie niezgodności we wczesnych fazach projektu pozwala uniknąć niepożądanych kosztów związanych z podejmowaniem działań naprawczych. Usunięcie wady w kolejnych fazy cyklu jest bardziej kosztowne, a eliminowanie wysokich kosztów usuwania błędów rośnie wykładniczo w kolejnych procesach realizacji wyrobu. Niezgodności wykryte w późnej fazie projektu mogą wiązać się nieodwracalnymi stratami dla przedsiębiorcy. Zależność między możliwością usunięcia wady w trakcie realizacji projektu, a związanymi z tym kosztami przedstawiono graficznie na rysunku 2.



Rysunek 2. Idea metody FMEA

Źródło: Opracowanie własne

Istotnym aspektem zastosowania analizy FMEA jest również zwiększenie poziomu bezpieczeństwa wyrobów i funkcjonowania procesów. Dodatkowo istnieje możliwość skrócenia czasu projektowania i rozwoju oraz bezawaryjnego uruchomienia procesu produkcji.

Dzięki prowadzonej dokumentacji FMEA przedsiębiorstwo może wskazać kierunki doskonalenia procesu, a przede wszystkim budować specjalistyczną bazę wiedzy pozwalającą na uzyskanie wysokiego poziomu konkurencyjności na rynku.

2. ZASTOSOWANIE FMEA WYROBU I PROCESU W PODEJŚCIU PROJEKTOWYM

Przeprowadzenie FMEA może dotyczyć różnych obszarów np. systemów, punktów powiązań, konstrukcji, toku produkcji, przebiegu montażu, transportu, logistyki oraz maszyn. Dzięki zastosowaniu FMEA w wielu obszarach realizacja projektu, zamówienie klienta zostanie wykonane w wyznaczonym czasie, a dzięki sprecyzowaniu w dokumentacji przebiegu wszelkich procesów można ustalić harmonogram dostarczenia materiałów. Najbardziej rozpowszechnione podejście to analiza FMEA wyrobu (DFMEA) (nazywana wymiennie jako analiza FMEA konstrukcji) oraz analiza FMEA procesu (PFMEA).

DFEMA (*ang. Design Failure Mode and Effect Analysis*) powinna być przeprowadzona podczas wstępnych prac projektowych. W podejściu tym rozpatruje się wymagania dotyczące funkcji wyrobów i systemów, po szczegółowej analizie ich własności i właściwości. Metoda umożliwia wykonanie produktu zgodnego z określonymi wymaganiami już za pierwszym razem. W wyniku przeprowadzenia analizy FMEA wyrobu wykrywane i oceniane są słabe punkty elementów konstrukcyjnych w celu wprowadzenia zmian koncepcyjnych przed podjęciem właściwych prac konstrukcyjnych. Definiuje się potencjalne niezgodności oraz zabezpiecza je poprzez określenie działań prewencyjnych mających na celu zapewnienie dokładnie określonych wymagań. Niezgodności wyrobu mogą dotyczyć funkcji jaką wyrób ma realizować, niezawodności wyrobu w trakcie eksploatacji, poziomu trudności obsługi przez użytkownika, naprawy w przypadku uszkodzenia. W przeprowadzeniu analizy pomocne mogą być informacje uzyskane w wyniku eksploatacji podobnego wyrobu własnego czy innych producentów (Hamrol A., Mantura W., 2002). Szczególnym zaleceniem do zastosowania metody DFMEA jest wprowadzenie nowego lub zmienionego wyrobu lub komponentu do produkcji, wprowadzenie nowych materiałów, technologii i zastosowań. Analizę przeprowadza się obowiązkowo, gdy podczas eksploatacji wyrobu istnieje ryzyko wystąpienia zagrożenia życia i bezpieczeństwa człowieka. Wtedy należy wyeliminować jakiegokolwiek wady uwzględniając fakt, że eksploatacja wyrobu odbywać się może w szczególnie trudnych warunkach.

Przebieg produkcji wyrobów i systemów analizowany jest się poprzez zastosowanie PFMEA (*ang. Process Failure Mode and Effect Analysis*). Analiza FMEA procesu ma na celu

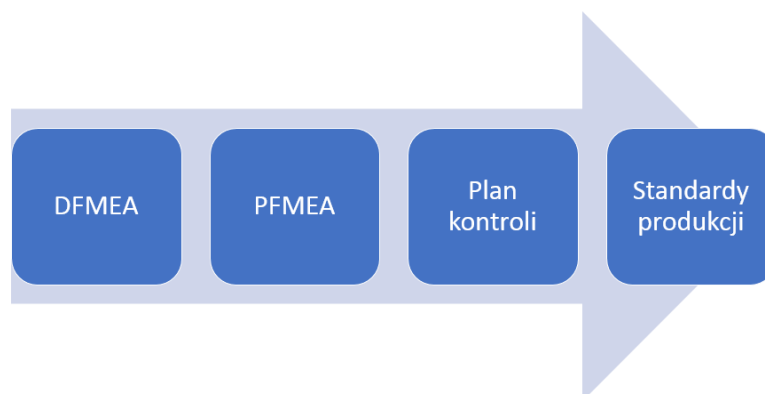
rozpoznanie słabych punktów zależnych od systemu, które mogą wpłynąć na realizację wymagań zawartych w specyfikacji wyrobu lub mogą dezorganizować przebieg procesu wytwarzania (Mazur A., Gołaś H., 2010). Mogą one dotyczyć błędów wynikających z metody obróbki, parametrów technologicznych, środków kontrolno-pomiarowych, wykorzystanych urządzeń technologicznych i innych maszyn. W trakcie analizy dokonywana jest ocena potencjalnych błędów i definiowane są działania mające na celu zapewnienie poprawności przebiegów i ich właściwości. Analizę procesu przeprowadza się w początkowej fazie projektowania procesów technologicznych. Metoda PFMEA pozwala na zaplanowanie rozwoju procesu oraz ma wpływ na nadzorowanie jakości wyrobu. W przypadku procesu niestabilnego lub nieosiągającego wymaganej wydajności umożliwia usprawnienie przebiegu produkcji poprzez ciągłe doskonalenie. Zestawienie metod DFMEA oraz PFMEA prezentuje tabela 1.

Tabela 1. Porównanie DFMEA oraz PFMEA (Bagiński J., 2004)

	DFMEA	PFMEA
Kryterium analizy	Właściwości funkcjonalne podczas użytkownika	Przebieg procesu
Przedmiot analizy	Cały wyrób, podzespoły, części	Fazy procesów obróbki i montażu
Pytania, na które udziela się odpowiedzi	Jakie przyczyny mogą powodować całkowity lub częściowy zanik danej funkcji wyrobu? Jakie mogą być związane z tym skutki	Jakie wady mogą się pojawić w danej fazie procesu i jaki może być ich wpływ na wady wyrobu
Przykłady określeń wad	<ul style="list-style-type: none"> • Pęknięcie elementu • Brak styku • Brak przepływu medium 	<ul style="list-style-type: none"> • Wymiar poza polem tolerancji • Za mała twardość • Zimny lut • Niewłaściwa masa
Przykłady określeń przyczyn wad	<ul style="list-style-type: none"> • Błędy konstrukcji • Zużycie • Błędy obsługi • Wpływ otoczenia 	<ul style="list-style-type: none"> • Błędy maszyny • Niewłaściwe metody • Niewłaściwy materiał

Analizy FMEA wyrobu i procesu nierozdzielnie się uzupełniają. Poszczególne cykle przeprowadzonych analiz dostarczają odmienne informacje wejściowe dzięki którym można przeprowadzić analizę ryzyka wystąpienia wady od strony nieumiejętnego zaprojektowania produktu lub nieodpowiednio przeprowadzonego procesu jego wykonania. Dostarczenie informacji o ryzyku wystąpienia wady pozwala już we wczesnym etapie zabezpieczyć miejsce jej powstania i wyeliminować niezgodności. Cała analiza opiera się na odpowiedniej komunikacji i przepływem informacji między komórkami zajmującymi się analizą. Do

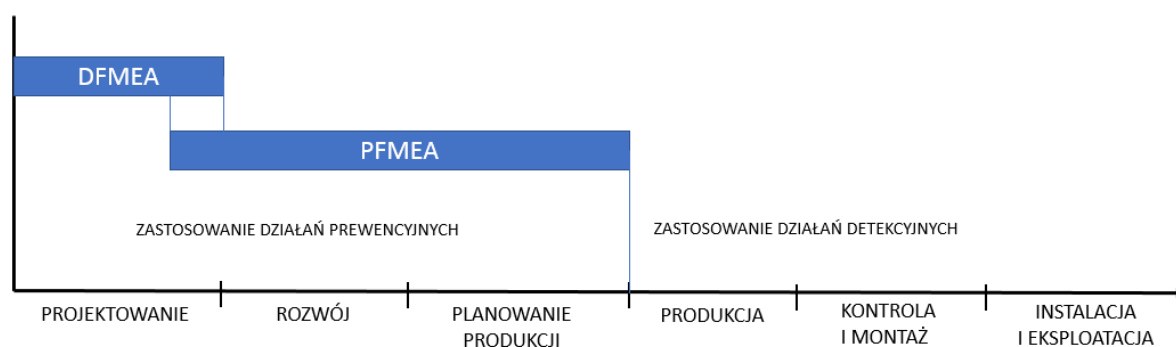
przeprowadzenia analizy PFMEA konieczne jest dostarczenie informacji o produkowanym wyrobie lub komponencie z dokładnym określeniem jego znaczenia cech/właściwości i funkcji na podstawie wymagań i specyfikacji klienta. Takie informacje z kolei są efektem przeprowadzenia analizy DFMEA, która musi być przeprowadzona wcześniej – przed analizą procesu. Uproszczony przepływ informacji w analizie FMEA przedstawia rysunek 3.



Rysunek 3. Przepływ informacji w analizie FMEA

Źródło: Opracowanie własne

Analiza FMEA procesu i wyrobu we wczesnym stadium projektu pozwala wprowadzić odpowiednio wcześnie działania zabezpieczające czyli takie, które chronią przed powstaniem niepożądanych wad. Dodatkowo analiza pozwala ocenić, które cechy/właściwości produktu są najbardziej wrażliwe, ważne według określonych wymagań. Dzięki temu dedykowane są takim punktom (cechom/właściwościom) działania detekcyjne pozwalające skontrolować, upewnić się, że dana cecha/właściwość jest zgodna ze specyfikacją. Zastosowanie metod DFMEA i PFMEA w ujęciu fazowym przedstawia rysunek 4.



Rysunek 4. Implementacja fazowa metody FMEA

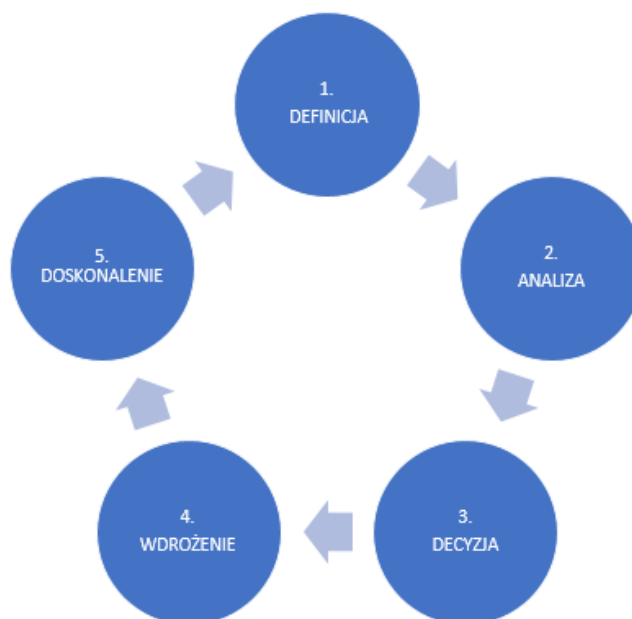
Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie planu przebiegu projektu powinien zostać określony harmonogram implementacji FMEA oraz wyznaczona osoba nadzorująca prowadzenie analiz FMEA w sposób zgodny i uporządkowany.

3. IMPLEMENTACJA METODY FMEA W PRZEMYSŁE MOTORYZACYJNYM

Współcześnie w celu zwiększenia niezawodności produkowanych pojazdów stosowanie metody FMEA jest wymagane i konieczne w przemyśle motoryzacyjnym. Specyfikacje i wymagania regulowane są przez określone normy i regulacje. W obszarze zarządzania jakością najbardziej rozpowszechnionymi są normy np. ISO 9001, IATF 16949 oraz regulacje VDA/AIAG wydane przez stowarzyszenie Niemieckie, QS-9000 – USA, AVSQ – Włochy. W specyfikacjach można znaleźć dokładne etapy postępowania w trakcie przeprowadzania analizy DFMEA oraz PFMEA, a każdy element analizy podlega ustalonej procedurze. Wynikiem są prawomocne dokumenty stanowiące potwierdzenie przeprowadzonych prac, które tworzą bazę informacji wykorzystywaną w trakcie audytów.

Zastosowanie FMEA dla przedsiębiorstw branży motoryzacyjnej wymaga przeprowadzenie analizy obejmującej kilka faz, które można zilustrować za pomocą modelu przedstawionego na rysunku 5.



Rysunek 5. Etapy FMEA

Źródło: Opracowanie własne na podstawie *AIAG Potential Failure Mode and Effects Analysis – FMEA 4th edition* (2008)

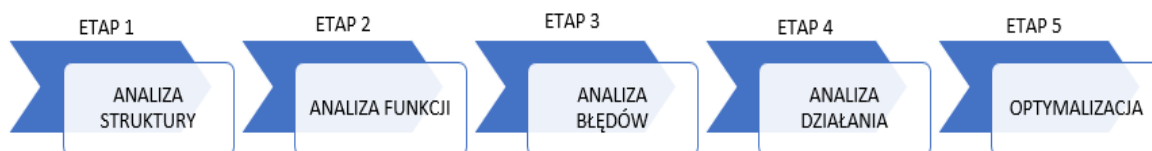
Schemat przedstawiony na rysunku 5 odpowiada orientacji procesowej w postaci określonej w normach ISO/IATF 16949 oraz DIN EN ISO 9000. Każdy z etapów powinien mieć ogólnie określone ramy czasowe ustalone według zaplanowanego harmonogramu,

jednakże harmonogramy szczegółowe ustalane są z chwilą rozpoczęcia danej fazy. Jako dane wejściowe obligatoryjne są wszelkie uzgodnienia i wymagane dokumenty robocze pozyskane ze wcześniejszej fazy. Opracowane na tej podstawie dane wyjściowe stanowią dane wejściowe kolejnej fazy. Dodatkowo dla każdej z fazy definiowany jest zakres prac, środki pracy, metody, wielkości mierzone oraz wskazane są etapy częściowe, a także informacje jakie ryzyko może się pojawić w trakcie ich realizacji. Istotnym elementem jest proces komunikacji w każdej z wymienionych faz.

Celem fazy definicji jest ustalenie warunków ramowych, czynności wymaganych oraz założeń dla skutecznego przeprowadzenia analizy FMEA, jak też określenie celu FMEA dla całego projektu. Określenie zakresu dla sporządzenia lub aktualizacji FMEA następuje na podstawie kryteriów np. projektowanie nowego wyrobu/procesu lub zmiana wyrobu/procesu, wpływ na bezpieczeństwo użytkownika, stopień złożoności, koszty gwarancji czy eksploatacji.

Rozpoczęcie analizy FMEA następuje z chwilą projektowania i rozwoju produktu/procesu według ustalonych faz projektu i trwa do momentu określonego w harmonogramie lub gdy następuje realizacja wymaganych działań. Następnie na podstawie dokumentacji ofertowej uzgadniane są wytyczne klientów FMEA, sposób realizacji FMEA np. metody analizy, definicje granic systemu czy wymagana dokumentacja robocza. Ważne jest też pozyskanie i skompletowanie dokumentacji roboczej w celu opisanie wymagań dla wyrobu, która obejmuje między innymi szczegółowy harmonogram projektu, wykazy części, plany produkcji, dane wyjściowe z poprzednio przeprowadzonych analiz, doświadczenia z funkcjonowania wyrobów wcześniejszych lub porównywalnych, przepisy prawa, procedury, definicje celów jakości, katalogi ocen FMEA specyficzne dla projektu. Na etapie definicji tworzony jest zespół FMEA oraz określa się środki pracy tzn. sposób prowadzenia dokumentacji, metody pomocnicze oraz wielkości mierzone np. ilość dni roboczych na całą FMEA, moment zakończenia FMEA w projekcie aż do rozpoczęcia produkcji.

Elementy wyjściowe z etapu definicji stanowią dane wejściowe do etapu kulminacyjnego analizy, w której określone są wszystkie wymagania odnoszące się do zasadności, weryfikowalności, sposobność walidacji oraz ich ryzyka. Należy wskazać dla wybranych zakresów znane i sprawdzone działania oraz potencjał doskonalenia. Zgodnie z księgami regulacyjnymi w przemyśle motoryzacyjnym faza analizy FMEA jest realizowana w pięciu krokach, które zapewniają powstanie przejrzystej i zrozumiałej dokumentacji (rys. 6). Wykonanie etapu analizy FMEA wyrobu definiuje inne działania niż analiza FMEA procesu, jednak pomimo odmiennych wymagań łączą je wspólne, sztywno zdefiniowane cele.



Rysunek 6. Etapy FMEA w fazie analizy

Pierwszym etapem sporządzenia FMEA jest analiza struktury, która opiera się na zebraniu i określeniu zaangażowanych elementów. Celem tego etapu jest przegląd analizowanego wyrobu, wykorzystanie ponownie komponentów/modułów, rozróżnienie opisu punktów powiązań jak też ustalenie odpowiedzialności.

Przegląd funkcjonalności wyrobu i przyporządkowanie zależności przyczynowo-skutkowych do elementu systemu to kolejny etap zwany analizą funkcji. W formie sieci funkcji, struktury funkcji czy schematów blokowych przedstawiane są wzajemne powiązania funkcji kilku elementów systemu. W fazie tej dokonywana jest również weryfikacja pod względem wymagań technicznych, która stanowi podstawę kolejnego etapu – analizy błędów. W jej trakcie ustala się potencjalne funkcje błędów, które przyporządkowywane są do stworzonej struktury.

Analiza działania pozwala określić jakie powinny być podjęte czynności dla opisanych wcześniej błędnych funkcji. Na tym etapie dokonywana jest ocena ryzyka (wg. kryteriów przyjętych w poszczególnym obszarze). Na jej podstawie w kolejnym etapie optymalizacji ustalane są działania prewencyjne pozwalające na doskonalenie produktu i procesu. W celu określenia zmienionego stanu dokonywana jest powtórnie ocena ryzyka i badana jest skuteczność zastosowanych działań. Zakończeniem fazy analizy jest skompletowanie dokumentacji w postaci arkusza FMEA.

Skrupulatne przygotowanie arkusza FMEA stanowi punkt wyjścia dla podjęcia dalszych działań (rys. 5) w trakcie toku realizacji projektu. W kolejnym kroku analizy FMEA (etap decyzji) na podstawie formularza FMEA podejmowane są decyzje dotyczące zastosowania działań wypracowanych w trakcie fazy analizy w zakresie niezbędnych zasobów. Na tym etapie ważne jest precyzyjne i dokładne zaplanowanie realizacji tych działań, tak aby można było monitorować ich przebieg w kolejnym etapie. Wyznaczone terminy wykonywania poszczególnych działań pozwalają przeprowadzić w trakcie ich realizacji ponowną ocenę osiąganych i spodziewanych wyników. W przypadku otrzymania innych wyników niż oczekiwane, należy zastosować kolejne działania mając na uwadze ramy czasowe fazy.

Ostatnim etapem i zamknięciem „koła” analizy FMEA jest doskonalenie, które polega na wykorzystaniu zgromadzonej wiedzy dla celów organizacji lub dla dostawców i klientów. Na etapie tym tworzona jest baza wiedzy do dalszego wykorzystania przez przedsiębiorstwo.

PODSUMOWANIE

Poza ogólnymi wymaganiami analizy FMEA ważną rolę odgrywa jej zorientowanie na potrzeby klienta. Za wykonanie i implementację analizy FMEA odpowiedzialny jest zarząd przedsiębiorstwa, co może stanowić gwarancję realizacji wyznaczonych celów.

Dążenie do ciągłego doskonalenia procesów pozwalające na zachowanie odpowiedniej pozycji rynkowej to podstawowy cel zastosowania różnych koncepcji czy metod zarządzania. Jednak w przypadku przemysłu motoryzacyjnego podstawową jego determinantą jest zwiększenie niezawodności oraz przede wszystkim bezpieczeństwa użytkowników. Sposobem na realizację tak określonych celów jest dostosowanie się do specyfikacji i wymagań określonych w normach i regulacjach oraz standardów jakościowych w całych łańcuchach dostaw a także ich doskonalenie.

Jednym z narzędzi, wymaganych i koniecznych w celu zwiększenia niezawodności produkowanych pojazdów w przemyśle motoryzacyjnym, jest analiza FMEA. Przeprowadzenie analizy i otrzymane wyniki stanowią podstawę podejmowania decyzji i optymalizacji procesów realizowanych w projektach.

LITERATURA

1. Zawadzka L. (2008): *Metody wspomagania decyzji w systemach gospodarczych*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
2. Trocki M., Grucza B., Ogonek K. (2003): *Zarządzanie projektami*, Wydawnictwo PWE, Warszawa.
3. Wasilewski L. (1998): *Europejski kontekst zarządzania jakością*, IOiZwP ORGMASZ, Warszawa.
4. Szkoda J. (2012): *Systemy zarządzania jakością w organizacjach*, Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa.
5. Hamrol A., Mantura W. (2002): *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka*, PWN, Warszawa.
6. Mazur A., Gołaś H. (2010): *Zasady, metody i techniki wykorzystywane w zarządzaniu jakością*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.

7. Bagiński J. (red.) (2004): Zarządzanie jakością, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
8. AIAG Potential Failure Mode and Effects Analysis – FMEA 4^h edition (2008);, Automotive Industry Action Group (AIAG)
9. Waśniewski T. R., Ślaski P. Modelowanie procesu automatycznego rozpoznawania i identyfikowania pojazdów w oparciu o technologię RFID, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 5, 2018, PWE.
10. Waśniewski T. R., Ślaski P., Modelowanie procesu identyfikowalności wyrobów za pomocą technologii RFID, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 5, 2018, PWE.