

14 ANALIZA EFEKTYWNOŚCI ZASTOSOWANIA METODY FMEA W MAŁYM PRZEDSIĘBIORSTWIE PRZEMYSŁOWYM

14.1 Wstęp

Zastosowanie metod i narzędzi ma służyć utrzymaniu odpowiedniej jakości wyrobów a także zmniejszeniu wad i niezgodności już na etapie produkcji a nie w trakcie eksploatacji przez klienta. Wykrycie wad w wyrobie po zakupie powoduje, że klient wnosi skargi i reklamacje gwarancyjne, co powoduje zmniejszenie wiarygodności i obniżenie jakości oferowanych wyrobów. taka sytuacja prowadzi do ponoszenia dużych kosztów związanych z usuwaniem wad i usterek w produktach. Z tego powodu, przedsiębiorcy zaczęli sięgać po nowe metody i narzędzia w celu wyeliminowania i usuwania wad wyrobów podczas projektowania lub produkcji. Do analizy przyczyn skutków wad powstających w wyrobie na etapie produkcji i w gotowym produkcie można użyć metody FMEA.

14.2 Metoda FMEA

FMEA to skrót angielskiej nazwy metody FailureMode and Effects Analysis – Analiza Przyczyn i Skutków Wad. W języku polskim FMEA „nie jedno ma imię” i tłumaczona jest jeszcze jako:

- analiza rodzajów i skutków wad,
- analiza możliwości i efektów powstawania wad,
- analiza możliwych przyczyn i skutków wad.

FMEA to jedna z metod, które wykorzystują organizacje w celu zapobiegania i niwelowania skutków wad jakie mogą wystąpić w procesach konstrukcyjnych oraz w trakcie wytwarzania wyrobu [1]. Jest to jakościowa analiza niezawodności, która pozwala przewidzieć ryzyko pojawienia się wad. Metoda ta pozwala ocenić ich konsekwencje oraz zidentyfikować przyczyny wad, jednocześnie pozwala zapobiegać – dostarczając rozwiązań prewencyjnych lub korygujących. Analiza Przyczyn i Skutków Wad jest metodą o charakterze zapobiegawczym (prewencyjnym), czyli zapobiega przyczynom powstawania wad, które mogą powodować rozmaite skutki [2]. Wyróżniamy FMEA procesu, produktu, oraz konstrukcji. Poniżej opisano poszczególne rodzaje tej metody. Wyróżnić możemy następujące rodzaje metody FMEA:

- SFMEA–FMEA przeprowadzona dla SYSTEMU (system)
- DFMEA–FMEA przeprowadzona dla WYROBU (design) według zasady „zrobić dobrze za pierwszym razem”,
- PFMEA–FMEA przeprowadzona dla PROCESU (process) aby produkować zgodnie z wymaganiami,
- MFMEA–FMEA przeprowadzona dla MASZYNY (machinery) w celu zagwarantowania poprawnego działania,

- EFMEA–FMEA przeprowadzona dla ORGANIZACJI przez pryzmat WPLYWU ŚRODOWISKOWEGO (environmental),
- SWFMEA–FMEA przeprowadzone dla PROGRAMU (software).
- CFMEA – FMEA przeprowadzane doanalizowaniakoncepcji (concept)systemów i podsystemówwe wczesnych stadiach projektowania.

Za pomocą metody FMEA można:

- konsekwentnie i trwale eliminować wady („słabych” miejsc) procesu produkcji (np. procesów obróbki plastycznej, obróbki skrawaniem) poprzez rozpoznanie rzeczowych przyczyn ich powstania i stosowanie odpowiednich środków zapobiegawczych. Środki te muszą mieć udowodnioną skuteczność;
- identyfikować przyczyny wystąpienia analizowanych wad;
- udokumentować proces (dokumentacja FMEA pozwala na wykorzystanie jej przy realizacji późniejszych zadań związanych, np. z TQM, w zakresie diagnostyki i konserwacji. W przypadku późniejszego udoskonalenia procesu, dokumentacja pozwala na lepsze poruszanie się w określonym systemie oraz zapobiega powstawaniu potencjalnych wad);
- poddać proces analizie, a następnie na podstawie uzyskanych wyników, wprowadzić poprawki lub nowe rozwiązania, które skutecznie wyeliminują źródła powstawania wad;
- stworzyć bazę danych, w której będą znajdowały się wszystkie dotychczasowe działania korygujące i zapobiegawcze stosowane w danym przedsiębiorstwie.

Na wstępnym etapie stosowania metody FMEA, w którym określa się rodzaj wad, pomocnym narzędziem zarządzania jakością jest burza mózgów (lub inne metody heurystyczne). Stosowana jest ona przez wszystkich członków zespołu, który analizuje potencjalne wady. Po ustaleniu wad jakie mogą wystąpić, należy zastanowić się nad potencjalnymi skutkami. W dalszym etapie należy ustalić znaczenie danej wady (Z_n) za pomocą skali od 1 – 10. Przyporządkowuje się 1 dla wady nie istotnej, natomiast 10 dla wady o najwyższym znaczeniu [3]. Dalej należy określić potencjalne przyczyny wystąpienia wad oraz ustalić częstość ich występowania (C_z) stosując skalę taką jak dla znaczenia. Następnie trzeba ustalić jak często dana wada jest wykrywana w procesie produkcyjnym stosując skalę od 1 – 10 wartość tę oznacza (W_y). Na podstawie wcześniejszych wartości wyznaczany jest współczynnik poziomu ryzyka wystąpienia błędu $WPR = Z_n \times C_z \times W_y$. Zakłada się że współczynnik ten może przyjmować wartości od 1 do 1000. Ustala się także wartość graniczną (100), powyżej której należy wprowadzić działania korygujące. W celu obniżenia ryzyka wystąpienia błędu, istotnym jest, aby po wdrożeniu działań zapobiegawczych jeszcze raz obliczyć wskaźnik WPR dla nowych wartości Z_n , C_z , W_y .

Dobrze przeprowadzona analiza FMEA powinna eliminować możliwie wady występujące podczas produkcji wyrobu, a tym samym wpływać na zmniejszenie wystąpienia wad w gotowym wyrobie, procesie, maszynie itp. [4].

14.2.1 Zalety metody FMEA

Analiza FMEA poza zapobieganiem czy usuwaniem skutków błędów posiada jeszcze wiele korzyści, można do nich zaliczyć:

- zwiększenie wiedzy i doświadczenia pracowników,
- znaczące obniżenie poziomu kosztów, przy jednoczesnym zwiększeniu poziomu jakości,
- poprawę wydajności analizowanego procesu,
- zwiększenie satysfakcji klienta.

14.2.2 Wady metody FMEA

Wśród wad analizy FMEA można wymienić:

- konieczność posiadania przeszkolonych pracowników oraz zaangażowanie ze strony kierownictwa,
- możliwość występowania konfliktów między poszczególnymi wydziałami,
- pracochłonna procedura postępowania,
- ograniczenia czasowe.

Korzystamy z metody FMEA przy:

- powstawaniu koncepcji wyrobu, aby sprawdzić czy wszystkie oczekiwania klienta są ujęte w tej koncepcji,
- definiowaniu wyrobu, aby sprawdzić czy projekty, obsługa, serwis, dostawy są odpowiednie i zagwarantowane w odpowiednim czasie,
- procesie wytwarzania, aby sprawdzić czy specyfikacje przygotowane przez technologów są w pełni realizowane,
- montażu, aby sprawdzić czy proces montażu jest zgodny ze specyfikacjami,
- organizacji serwisu, aby sprawdzić czy wyrób lub usługi odpowiadają oczekiwaniom klienta.

Metoda FMEA pozwala na wykorzystanie doświadczenia i wiedzy pracowników przede wszystkim z działu marketingu, projektowania, technologii produkcji, logistyki, dystrybucji i serwisu w celu określenia obszarów występowania potencjalnych problemów i błędów a także przeprowadzona analiza FMEA pozwala wprowadzać działania zapobiegawcze i korygujące [5]. Przy czym korzystający z niej ludzie zaangażowani w tworzenie określonego wyrobu lub procesu są w stanie, czerpiąc wiedzę ze swego doświadczenia rozpoznać i oszacować ryzyko zaistnienia słabych punktów.

Metoda FMEA pozwala na określenie [9]:

- prawdopodobieństwa wystąpienia potencjalnych błędów,
- znaczenia ich skutków z punktu widzenia klienta,
- prawdopodobieństwa niewykrycia błędów przed dostawą.

FMEA można stosować w odniesieniu do:

- nowych wyrobów - gdy brak jest doświadczenia w ich produkcji,
- punktów bezpieczeństwa lub strategicznych wyrobu - gdy żadne wady nie są dozwolone,

- nowych procesów wytwarzania - gdy występują nowe technologie, surowce, itp.,
- poważnych inwestycji - gdy należy sprawdzić przed zainwestowaniem wielkość kosztów produkcji lub czy inwestycja odpowiada wymaganym kryteriom,
- zmian w technologii wytwarzania,
- serwisu - gdy zachodzi konieczność jego zorganizowania [6].

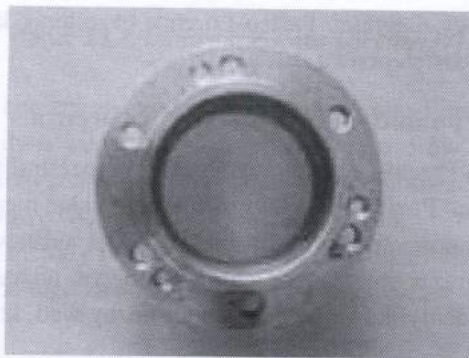
Metoda FMEA przyniesie wymierne skutki jeśli będzie:

- poparcie kierownictwa dla FMEA jako narzędzia zapewnienia jakości,
 - odpowiednio przeszkoleni i umotywowani pracownicy przeprowadzający FMEA szczególnie ważne w przypadku animatorów,
 - kompleksowość stosowania FMEA - łącznie z innymi metodami,
 - praca grupowa przy prowadzeniu analizy FMEA.
- Korzyści ze stosowania FMEA [8]:
- kreowanie atmosfery współpracy w firmie,
 - osiągnięcie funkcjonalności procesów,
 - wzrost wydajności, obniżenie kosztów,
 - definiowanie ryzyka (istotne w kontekście odpowiedzialności za wyrób),
 - powstanie banku danych,
 - wzrost wiedzy fachowej uczestników.

14.3 Analiza wyrobu za pomocą metody FMEA

Przedstawiona analiza FMEA dotyczy przyczyn i skutków wad w wyrobie jakim jest pierścień. Eliminacja zidentyfikowanych wad pozwoli na zmniejszenie kosztów produkcji i umożliwi doskonalenie procesu produkcyjnego oraz poprawi wizerunek firmy w oczach klientów.

Przedsiębiorstwo, w którym przeprowadzano badania jest małym przedsiębiorstwem, które zajmuje się obróbką metali i wykonuje różnego typu detale i wyroby z metalu zarówno wieloseryjnie jak i jednostkowo. Główna siedziba przedsiębiorstwa znajduje się w jednym z dużych miast w województwie śląskim [7]. Produktem, który został poddany analizie jest pierścień metalowy jest to element stosowanych do produkcji maszyn różnych gałęziach przemysłu (rys. 14.1).



Rys. 14.1. Gotowy wyrób – pierścień

14.3.1 Określenie wad

Zasadniczą częścią procesu FMEA jest określenie potencjalnych wad, jakie mogą wystąpić w analizowanym obszarze. Na podstawie obserwacji oraz wywiadu z pracownikami sporządzono listę potencjalnych wad wyrobu [10]:

- uszkodzenia powierzchni (zarysowania, obicia),
- błędny wymiar grubości ścianek,
- błędny wymiar wysokości ścianek,
- błędny wymiar średnicy wyrobu,
- złe rozmieszczenie otworów,
- błędne wymiary wywierconych otworów,
- brak wygwintowanych otworów,
- źle wycięty profil,
- utworzenie się korbów, wypukleń.

W tabeli 14.1 przedstawiono ilość wad, które wystąpiły w badanym wyrobie. Badania i zostały wykonane w pierwszej połowie 2011.

Tabela 14.1. Rodzaje i ilość wad w skali produkcji (5000 szt.) [7]

Numer wady	Opis wady	Ilość wad
1	Złe rozmieszczenie otworów	53
2	Źle wycięty profil	11
3	Uszkodzenia powierzchni (zarysowania, obicia)	9
4	Błędne wymiary wywierconych otworów	5
5	Błędny wymiar grubości ścianek	4
6	Błędny wymiar średnicy	4
7	Błędny wymiar wysokości ścianek	3
8	Brak wygwintowanych otworów	2
9	Utworzenie się korbów, wypukleń	1
Całkowita ilość wad		92

Następnie przy pomocy diagramu Parteo-Lorenza określono, które wady są najważniejsze z punktu widzenia przedsiębiorstwa.

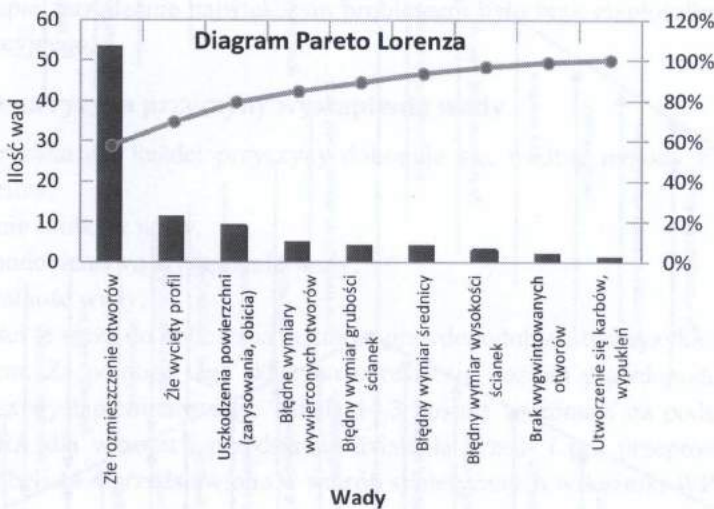
14.3.2 Analiza wad za pomocą diagramu Pareto-Lorenza

Za pomocą diagramu Pareto-Lorenza można określić częstotliwość występowania przyczyn zaistniałego problemu. Pozwala to na wyznaczenie działań niezbędnych do doskonalenia procesów i zwiększenia jakości wyrobów. W tabeli 14.2 przedstawiono wady uszeregowane w porządku malejącym wraz z obliczonym ich procentowym udziałem oraz wartości skumulowane, co pozwala na zidentyfikowanie niewielkiej liczby wad, które powodują najdotkliwsze skutki.

Tabela 14.2. Przyczyny wad występujących w badanym wyrobie [7]

Numer wady	Opis wady	Ilość wad	Udział procentowy [%]	Wartość skumulowana [%]
1	Złe rozmieszczenie otworów	53	57,61%	57,61%
2	Złe wycięty profil	11	11,96%	69,57%
3	Uszkodzenia powierzchni (zarysowania, obicia)	9	9,78%	79,35%
4	Błędne wymiary wywierconych otworów	5	5,43%	84,78%
5	Błędny wymiar grubości ścianek	4	4,35%	89,13%
6	Błędny wymiar średnicy	4	4,35%	93,48%
7	Błędny wymiar wysokości ścianek	3	3,26%	96,74%
8	Brak wygwintowanych otworów	2	2,17%	98,91%
9	Utworzenie się karbów, wypukleń	1	1,09%	100,00%
	Razem	92		

Na podstawie określonych i odpowiednio ułożonych niezgodności z tabeli 14.2. wykonano diagram Pareto-Lorenza, który został przedstawiony na rys. 14.2.



Rys. 14.2. Diagram Pareto-Lorenza [7]

Z przeprowadzonej analizy za pomocą diagramu Pareto-Lorenza widać, że największy procentowy udział mają dwie wady „złe rozmieszczenie otworów” ponad 57% oraz „złe wycięty profil” 11%. W pierwszej kolejności należy wyeliminować pierwszą wadę ponieważ stanowi ona aż ponad połowę wszystkich stwierdzonych wad.

W następnym etapie metody FMEA przeprowadzono identyfikację przyczyn wystąpienia wad w wyrobie. Dokonano tego za pomocą diagramu Isikawy.

14.3.3 Analiza przyczyn wad za pomocą diagramu Ishikawy



Rys. 14.3. Diagram Ishikawy przedstawiający przyczyny wpływające na powstawanie wad [7]

Diagram Ishikawy umożliwia identyfikację źródeł powstawania problemów oraz wspomaga określenie łańcucha przyczyn występowania niezgodności. Przeprowadzany jest on w następujących etapach:

- Na końcu diagramu wpisuje się nazwę analizowanego problemu;
- Na osi głównej umieszcza się odchodzące „ramiona” oznaczające główne przyczyny powstawania wady, do których zalicza się najczęściej: człowieka, maszyny, metody, materiały, zarządzanie;
- Do osi głównych przyczyn dochodzą coraz bardziej uszczegółowione przyczyny, z których wybiera się jedną lub kilka najważniejszych.

Na rys. 14.3 przedstawiono w postaci diagramu Ishikawy czynniki wpływające na powstawanie najważniejszej dla przedsiębiorstwa wady. Wśród czynników mających wpływ na powstawanie wad w omawianym wyrobie wyróżniono: materiał w tej grupie najważniejsze znaczenie miała kategoria - materiał słabej jakości. W grupie maszyny najważniejszym czynnikiem jest złe parametry maszyny, kolejny czynnik to metody w tej grupie uznano, iż najważniejszym źródłem problemu był złe ustawione kalibrowanie maszyny. Po stronie człowieka najważniejszą przyczyną było nie przestrzeganie instrukcji podczas pracy maszyny. W ostatniej grupie zarządzanie największym problemem było brak ciągłości nadzorowania procesu produkcyjnego.

14.3.4 Ocena ryzyka przyczyny wystąpienia wady

Ocenę ryzyka dla każdej przyczyny dokonuje się, według metody FMEA za pomocą trzech kryteriów:

W – znaczenie skutków wady,

P – prawdopodobieństwo wystąpienia wady,

R – wykrywalność wady.

Wielkości te służą do obliczenia poziomu prawdopodobieństwa ryzyka (WPR), będącego ich iloczynem. Za pomocą tego iloczynu określa się poziom prawdopodobieństwa ryzyka związanego z wystąpieniem wady. Tabela 14.3 została wykonana na podstawie formularza analizy FMEA dla wyrobu i przedstawia działania przed- i po- przeprowadzonej analizie FMEA. W tabeli 14.4 przedstawiono w sposób syntetycznych wskaźniki WPR przed i po analizie FMEA.

Diagram Pareto został wykonany dla danych z tabeli 14.4. Wady zostały uszeregowane w porządku malejącym, według wartości wskaźników WPR, dzięki czemu można zobaczyć jakimi wadami powinniśmy się zająć w pierwszej kolejności (rys. 14.4).

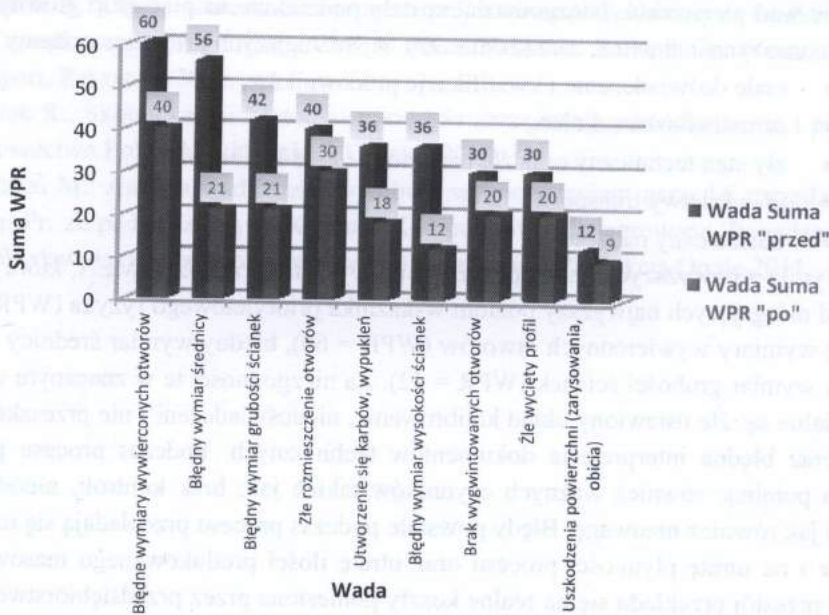
Z powyższej analizy wynika, że wadą, która ma największe znaczenie jest defekt „błędnie wymiary wywierconych otworów”. Kolejną wadą jest „błędny wymiary średnicy”, a następnie „błędny wymiar grubości ścianek”. W przypadku pierwszej niezgodności wskaźnik WPR = 60 i udało się go zredukować do 40, natomiast w przypadku drugiej niezgodności WPR = 56 i zredukowano do 21, w przypadku trzeciej WPR = 42, który zredukowano do 21. Są to wady, które uniemożliwiają użytkowanie produktu. Powstają głównie na skutek braku lub niedostatecznej kalibracji urządzeń, złej interpretacji danych przez pracownika, błędnego wczytania programu oraz nieuwagi i pośpiechu pracownika.

Tabela 14.3. Analiza FMEA wyrobu [7]

Analiza przyczyn i skutków wad													
Nr wady	Potencjalna wada	Potencjalne skutki wady	Potencjalne przyczyny wady	Działania zapobiegawcze	Element: Pierścien			Firma: Osoba odpowiedzialna: Wyniki działania					
					W	P	R	W	P	R	W	P	R
1.	Błędnymi wymiary wywierających otworów	Ciepłe nie nadaje się do użytku, obniżenie własności użytkowych, dodatkowy proces technologiczny	Niewłaściwych doborze parametrów, zła interpretacja danych przez pracownika, błędny program	Sprawdzenie parametrów wg założonego rys. technicznego, bieżąca kontrola wyrywkowa, poprawa programu	10	3	2	60	10	2	2	40	
2.	Uszkodzenia powierzchni (zarysowania, otęczenia)	Odpryski, powstanie łuski, obniżenie własności użytkowych.	Niewłaściwy transport, niewłaściwy sposób magazynowania, niewłaściwe odczytanie się z górnym detalem	Lepsze zabezpieczenie produktu w czasie transportu, podczas magazynowania lub rozładunku	3	4	1	12	Sprawdzenie przed kabym transportem i po procesie magazynowania czy wyrób jest odpowiednio zabezpieczony. Kontrola wyrywkowa.	3	3	1	9
3.	Błędny wymiar grubości kształtek	Obniżenie własności użytkowych, dodatkowy proces technologiczny	Niewłaściwych doborze parametrów, zła interpretacja danych przez pracownika, błędny program	Dobrac parametry wg założonego rys. technicznego, bieżąca kontrola wyrywkowa, poprawa programu	7	3	2	42	Analiza procesu zakończona dodatkowa kontrolą - ścieżek; szkolenie pracowników z analizy rys.	7	3	1	21
4.	Błędny wymiar tolerancji średnicy	Obniżenie własności użytkowych, dodatkowy proces technologiczny	Powstała na skutek doboru niewłaściwych parametrów podczas procesu technologicznego, zła interpretacja danych przez pracownika, błędny program	Dobrac parametry wg założonego rys. technicznego, bieżąca kontrola wyrywkowa, poprawa programu	7	4	2	56	Analiza procesu zakończona dodatkowa kontrolą; szkolenie pracowników z analizy rys	7	3	1	21
5.	Błędny wymiar wysokości kształtek	Obniżenie własności użytkowych, dodatkowy proces technologiczny	Powstała na skutek doboru niewłaściwych parametrów podczas procesu technologicznego, zła interpretacja danych przez pracownika, błędny program	Dobrac parametry wg założonego rys. technicznego, bieżąca kontrola wyrywkowa, poprawa programu	6	3	2	36	Analiza procesu zakończona dodatkowa kontrolą; szkolenie pracowników z analizy rys	6	2	1	12
6.	Brak wygotowanych otworów	Obniżenie własności użytkowych, dodatkowy proces technologiczny	Pominięta operacja, zła interpretacja danych przez pracownika, błędny program	Sprawdzenie poprawności: wyrobów z rys. technicznych, bieżąca kontrola wyrywkowa, poprawa programu	10	3	1	30	Przeszkolenie pracowników dotychczasowych wykonywania kolejnych operacji, kontrola	10	2	1	20
7.	Złe rozmieszczenie otworów	Ciepłe nie nadaje się do użytku.	Błędny proces, pośpiech, mała dokładność, naruszenia, że zamontowany profil	Sprawdzenie poprawności: zamontowania profilu, kontrola na produkcji, ostrożność	10	4	1	40	Przeszkolenie pracowników, kołozarowa kontrola poprawności zamontowania profilu, kontrola przez kierownika	10	3	1	30
8.	Złe wycięty profil	Dodatkowy proces przycinania	Mała dokładność, słaba kontrola, powstają, zużyte narzędzia, że skalibrowane urządzenie	Sprawdzenie ustawienia urządzeń, maszyn, bieżąca kontrola wyrywkowa, poprawa programu, ostrożność	10	3	1	30	Kontrola po cieciu, bieżąca kontrola wyrywkowa	10	2	1	20
9.	Utworzenie się karbow. wypukłości	Obniżenie wartości użytkowych, dodatkowy proces leczenia	uzupełnienie, słaba kontrola, pośpiech, naruszenia	Sprawdzenie ustawienia urządzeń, maszyn, bieżąca kontrola wyrywkowa, wymiana narzędzi	3	4	3	36	Wymiana narzędzi, okresowa kalibracja i przegląd urządzeń	3	3	2	18

Tabela 14.4. Wartości działania „przed” i „po” [7]

Numer wady	Wada	Suma WPR		Skumulowana wartość w [%]	
		„przed”	„po”	„przed”	„po”
1	Błędne wymiary wywierconych otworów	60	40	18%	12%
2	Uszkodzenia powierzchni (zarysowania, obicia)	12	9	4%	3%
3	Błędny wymiar grubości ścianek	42	21	12%	6%
4	Błędny wymiar średnicy	56	21	16%	6%
5	Błędny wymiar wysokości ścianek	36	12	11%	4%
6	Brak wygwintowanych otworów	30	20	9%	6%
7	Złe rozmieszczenie otworów	40	30	12%	9%
8	Źle wycięty profil	30	20	9%	6%
9	Utworzenie się korbów, wypukleń	36	18	11%	5%



Rys. 14.4. Zestawienie wartości działania „przed” i „po” [7]

Niezgodność, która ma najmniejsze znaczenie lecz występuje bardzo często (9,78% - rys. 14.2) dotyczy uszkodzenia powierzchni (zarysowania, obicia). Jest to problem spowodowany złym przechowywaniem, transportem, rozładunkiem lub niewłaściwym obchodzeniem się z

detalem. Wskaźnik ryzyka wynosi $WPR = 36$ i udaje się go zredukować do 18. Aby temu zapobiec należy popracować nad lepszym zabezpieczeniem detalu w czasie magazynowania, transportu, rozładunku jak również uczulić pracowników na poprawne postępowanie z gotowym wyrobem.

14.4 Podsumowanie

Przeprowadzona analiza FMEA pierścienia obrazuje, w jakich miejscach w procesie produkcyjnym powstały wady oraz niezgodności w analizowanym wyrobie i wykazano, które z tych wad są najbardziej istotne i powinny być eliminowane w pierwszej kolejności.. Na podstawie badań wskazano jakie należy wprowadzić działania korygujące mające na celu regulację procesu technologiczno produkcyjnego jak również podniesienie kwalifikacji pracowników. Wstępne badania przeprowadzone za pomocą diagramu Pareto-Lorenza pokazały, że najliczniejszymi wadami występującymi w trakcie procesu produkcyjnego części maszyny są: złe rozmieszczenie otworów (57,61%), złe wycięty profil (11,96%) oraz uszkodzenie powierzchni poprzez zarysowania i obicia (9,78%). Powodują one występowanie 79,35% wszystkich braków w trakcie procesu produkcji. Dalsza analiza niezgodności przeprowadzona za pomocą wykresu Ishikawy pozwoliła na wykazanie przyczyn odpowiedzialnych za występowanie wad pierścienia. Niezgodności zostały podzielone na pięć grup głównych: materiał, metoda, maszyna, człowiek, zarządzanie. Do najważniejszych przyczyn możemy zaliczyć:

- małe doświadczenie i kwalifikacje pracowników,
- za mała liczba szkoleń,
- zły stan techniczny oraz źle ustawiony układ kalibrowania,
- niewłaściwy transport,
- dostateczny nadzór.

Wyniki z powyższych analiz posłużyły do wykonania analizy FMEA, która wykazała, że do wad osiągających najwyższy poziom wskaźnika priorytetowego ryzyka (WPR) zalicza się: błędne wymiary wywierconych otworów ($WPR = 60$), błędny wymiar średnicy ($WPR = 56$), błędny wymiar grubości ścianek ($WPR = 42$). Za niezgodności te w znacznym stopniu odpowiedzialne są: źle ustawiony układ kalibrowania, niedoświadczeni i nie przeszkoleni pracownicy oraz błędna interpretacja dokumentów technicznych. Podczas procesu produkcji nie można pominąć również ważnych czynników takich jak: brak kontroli, nieostrożność, pośpiech jak również nieuwagę. Błędy powstałe podczas procesu przekładają się na wadę wyrobu, ale i na utratę płynności procesu oraz utratę ilości produkowanego masowo wyrobu, a każdy przestój przekłada się na realne koszty poniesione przez przedsiębiorstwo. Takie przestoje mogą prowadzić także do uszkodzeń maszyn i urządzeń, oraz wysokich kosztów ponownego uruchamiania procesu produkcyjnego, strat materiałowych występującymi podczas zatrzymania i uruchamiania procesów, kosztów spowodowanych przestojami i wynikających z niewykorzystania pracowników oraz dysfunkcji, a także wielu innych, nie wspominając o kosztach wynikających z przedostania się złych wyrobów do klienta. Jak wykazała przeprowadzona analiza metoda FMEA jest skuteczna do minimalizowania i szacowania potencjalnych wad i skutków nawet w małym przedsiębiorstwie. Dlatego można stwierdzić, że opłaca

się ją stosować w każdej branży przemysłu, niezależnie od wielkości badanego przedsiębiorstwa.

LITERATURA

- [1] Hamrol A., Mantura W.: Zarządzanie jakością – teoria i praktyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- [2] Hamrol A., Kowalik D.: FMEA w doskonaleniu procesów z dominującym udziałem człowieka, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej 12, 2002.
- [3] Krzemień E., Wolniak R.: Wpływ zastosowania metody FMEA na koszty jakości w przedsiębiorstwie. Problemy jakości, Nr 5, 2002.
- [4] Łańcucki J.: Podstawy kompleksowego zarządzania jakością TQM, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Poznań 2001.
- [4] Miller P.: Systemowe zarządzanie jakością”, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2011.
- [6] Rychły – Lipińska A.: Zeszyty Naukowe Instytutu Ekonomii i Zarządzania; FMEA – Analiza rodzajów błędów oraz ich skutków, Koszalin 2007.
- [7] Rzewucka M.: Wpływ zastosowania metody FMEA na jakość wyrobu na przykładzie przedsiębiorstwa produkcyjnego XYZ Sp. z o.o.”. Praca magisterska Zabrze 2011.
- [8] Świdorski A.: Ocena skuteczności procesu projektowania technicznych środków transportu z wykorzystaniem metody FMEA „Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport, Zeszyt 64/2008.
- [9] Wolniak R., Skotnicka B.: Metody i narzędzia zarządzania jakością: teoria i praktyka, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
- [10] Zasadzień M.: Analiza wadliwości wyrobu z wykorzystaniem narzędzi zarządzania jakością. Pr. zb. pod redakcją R. Knosali: Komputerowe Zintegrowane Zarządzanie Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją Opole 2011.