

8

ANALIZA ZASTOSOWANIA ELEMENTÓW INŻYNIERII PRODUKCJI W UTRZYMANIU POZIOMU JAKOŚCI PRODUKTÓW

8.1 WSTĘP

Stałe zwiększanie jakości produktów przy jednoczesnym utrzymaniu kosztów na relatywnie niskim poziomie (niższym niż konkurencja) stało się wyznacznikiem możliwości utrzymania się przedsiębiorstwa na współczesnym rynku. Produkty odznaczają się coraz większą niezawodnością i użytecznością co jest spowodowane ogromną konkurencją między przedsiębiorstwami.

Jako idealny przykład można podać tu małe firmy w branży metalowej, które są dostawcami dla koncernów z branży maszynowej czy motoryzacyjnej. Utrzymanie jakości stanowi dla nich ok. 60% wartości ocen w rankingach oferentów co oznacza trzykrotnie większą istotność niż cena produktów. Powoduje to, że firmy w coraz większym stopniu dbają o utrzymanie jakości przez skoordynowane działania oparte o klasyczne i nowe metody zarządzania jakością.

Produkcja dużych serii różnego typu elementów maszyn niesie za sobą ryzyko rozbieżności w jakości wykonania tychże elementów. Jako, że na proces produkcji ma wpływ ogromna ilość różnego rodzaju czynników należy poddawać go stałej analizie z użyciem narzędzi i metod jakościowych w celu wyeliminowania tych najbardziej problematycznych.

8.2 POJĘCIE JAKOŚCI PRODUKTU

W literaturze na pojęcie jakości można znaleźć bardzo wiele definicji. Ich liczba wynika z faktu, iż jakość nie jest pojęciem które można określić w pełni jednoznacznie. Jego interpretacja zależna jest od różnego rodzaju kontekstów kulturowych, społecznych itp. [1].

Najczęściej jakość definiowana jest jako relacja między właściwościami produktu a stawianymi mu wymaganiami lub jako zbiór własności [2].

Joseph Juran definiował jakość jako „Przydatność użytkową” czyli cechę/zbiór cech produktu które sprawiają, że produkt jest lepiej przystosowany do stawianych mu wymagań użytkowych. Jednocześnie „rozbił” on pojęcie jakości na:

- „jakość rynkową” – stopień w jakim produkt spełnia oczekiwania określonych konsumentów,
- „jakość zgodności” – stopień zgodności produktu z określonymi wymaganiami, modelem lub wzorcem,
- „jakość preferencji” – stopień, w jakim produkt znajduje u konsumenta pierwszeństwo względem innego produktu na podstawie ich porównania [3].

Norma ISO 9000:2000 określa jakość jako „stopień, w jakim zbiór inherentnych właściwości spełnia wymagania” [4].

Przytoczone definicje opisują jakość bardzo ogólnie, nie mniej jednak sprowadzają się do niemal identycznego stwierdzenia, iż jakość należy rozpatrywać tylko i wyłącznie w kontekście zadań i wymagań stawianych produktowi. Świadczy o tym fakt, że produkt który ma wysoką jakość dla jednego użytkownika może zupełnie nie mieć jakości dla innego – stawiającego inne wymagania.

8.3 CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA JAKOŚĆ PRODUKTÓW

Produkty przemysłu metalowego i maszynowego w czasach dużej konkurencji na rynku muszą być wytwarzane przy utrzymaniu najniższego poziomu kosztów oraz zadowalającej klientów jakości.

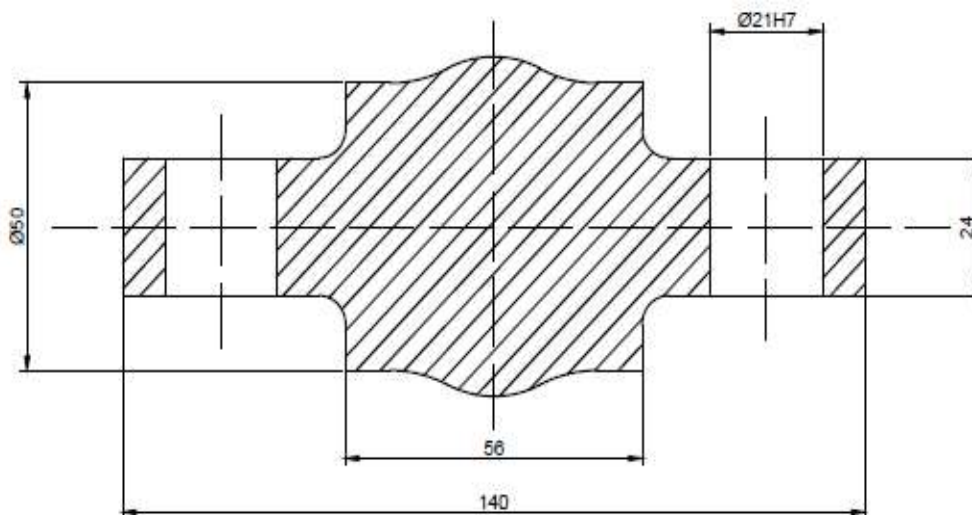
W przypadku produkcji jednostkowej utrzymanie jakości jest stosunkowo proste lecz koszty przebrojeń rozkładają się na mniejszą liczbę ukończonych wyrobów co zwiększa ich koszt finalny.

Produkcja wielkoseryjna, która w ostatnich latach znacznie się rozwinęła za sprawą obrabiarek sterowanych numerycznie, odznacza się znacznie mniejszymi kosztami przebrojeń, lecz niesie ryzyko dużych rozbieżności w jakości wyrobów. Spowodowane jest to faktem, że przy długich seriach na proces produkcyjny wpływa ogromna ilość czynników które odbijają się na jakości produktu. W przypadku obróbki metalu do czynników wpływających na proces produkcyjny możemy zaliczyć: niezgodności materiału obrabianego z wymaganiami; luzy i niedokładności w obrabiarkach; błędy popełniane przez operatorów; zjawiska fizyczne zachodzące przy skrawaniu (rozszerzalność cieplna) itp.

8.4 ANALIZA WAD ZA POMOCĄ NARZĘDZI JAKOŚCI

Analiza Pareto-Lorenza pozwala na określenie wad, które są najistotniejsze pod względem ilości ich występowania. Pozwala ona określić częstotliwość występowania problemu, a co za tym idzie zaplanowanie działań mających na celu poprawę jakości. Przedstawia ona nierównomierność rozkładu skutków w stosunku do przyczyn na podstawie zaobserwowanych zależności, iż 20% przyczyn powoduje 80% skutków. Dzięki wykorzystaniu zasady Pareto i diagramu Pareto-Lorenza można w sposób przejrzysty określić ważność przyczyn co pozwala na uniknięcie działań mało istotnych.

Jako, że w przedsiębiorstwie X produkowane jest kilkadziesiąt rodzajów wyrobów, analiza zostanie przedstawiona na przykładzie dwóch detali: sworznia (rys. 8.1) oraz tulei kulistej.



Rys. 8.1 Rysunek poglądowy sworznia

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 8.1 przedstawia ilość występowania wad produktu w skali produkcji w roku 2015, która wynosiła 2000 szt. Został obliczony procentowy udział każdej z wad, oraz ich udział skumulowany.

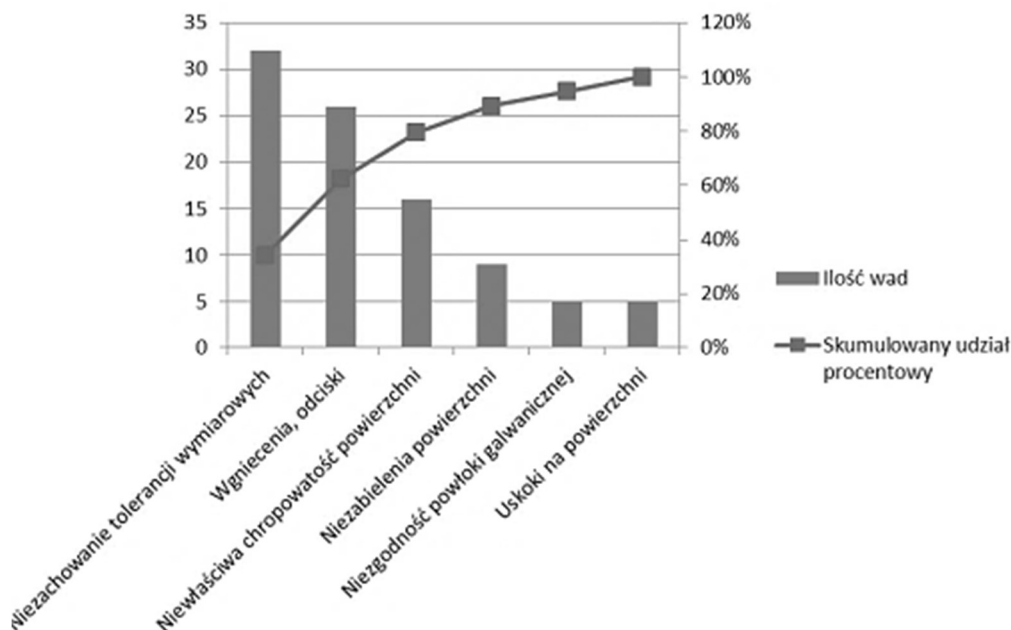
Tabela 8.1 Rodzaje i ilość wad występujących przy produkcji sworznia

Numer wady	Opis wady	Ilość wad	Udział procentowy [%]	Udział skumulowany [%]
1.	Niezachowanie tolerancji wymiarowych	32	34%	34%
2.	Wgniecenia, odciski	26	28%	62%
3.	Niewłaściwa chropowatość powierzchni	16	18%	80%
4.	Niezabielenia powierzchni	9	10%	90%
5.	Niezgodność powłoki galwanicznej	5	5%	95%
6.	Uskoki na powierzchni	5	5%	100%

Na podstawie przedstawionych w tabeli danych sporządzony został diagram Patero-Lorenza (rys. 8.2). Z diagramu wynika, iż 80% wszystkich wad stanowią 3 spośród nich, są to:

- niezachowanie tolerancji wymiarowych (34%),
- wgniecenia i odciski na powierzchni (28%),
- niewłaściwa chropowatość powierzchni (18%).

Te wady należy wyeliminować jako pierwsze z procesu produkcyjnego.



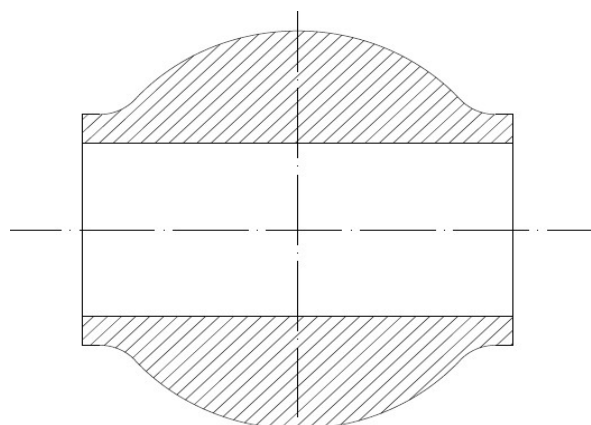
Rys. 8.2 Diagram Pareto-Lorenza

Źródło: Opracowanie własne.

Kolejnym analizowanym produktem jest element układu amortyzującego wózków kolejowych (tuleja kulista, rys. 8.3), wykonany ze stali konstrukcyjnej w gatunku S355J2. Jest elementem produkowanym w dwóch wariantach różniących się promieniem zewnętrznym gabarytu. Jest to element szybko zużywający się dlatego produkcja obu wariantów wynosi ok. 6500 szt. rocznie.

Na proces produkcji tulei kulowej składają się następujące operacje:

- cięcie,
- wiercenie na wiertarce kolumnowej,
- dwie operacje tokarskie.



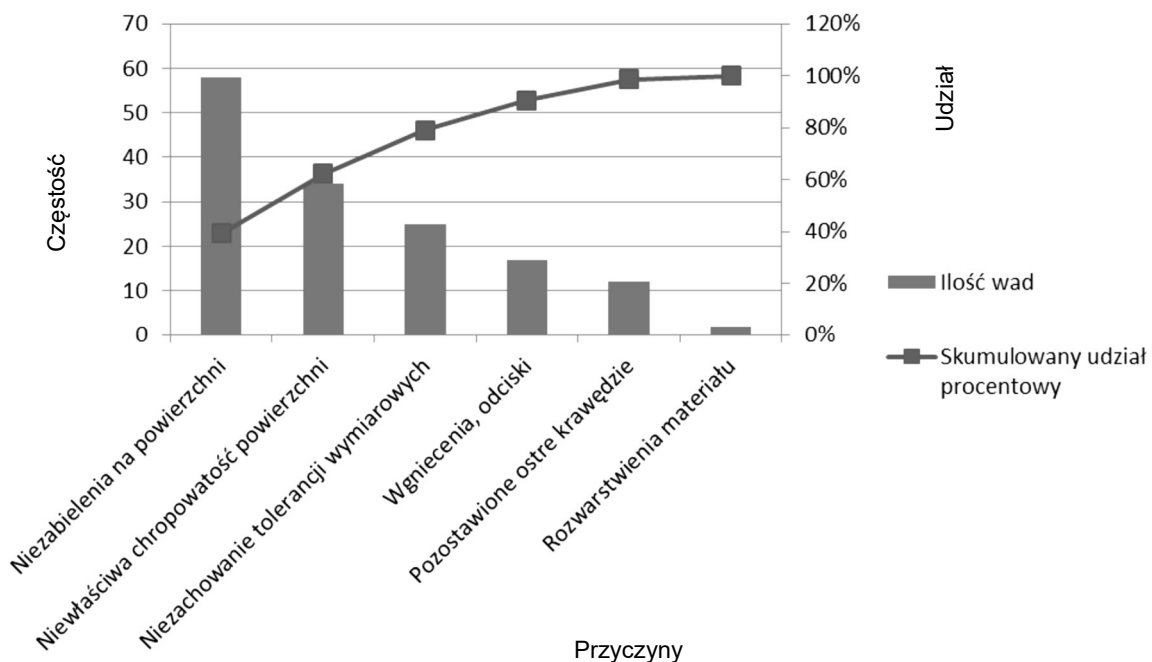
Rys. 8.3 Poglądowy przekrój tulei kulistej

Źródło: Opracowanie własne.

Podobnie jak w poprzednim przypadku zestawiono wady występujące w okresie roku 2015 (tabela 8.2). Ilość produkcji wynosiła ok. 6500 sztuk.

Tabela 8.2 Rodzaje i ilość wad przy produkcji tulei kulistej

Nr wady	Opis wady	Ilość wad	Udział procentowy [%]	Udział skumulowany [%]
1.	Niezabielenia na powierzchni	58	39%	39%
2.	Niewłaściwa chropowatość powierzchni	34	23%	62%
3.	Niezachowanie tolerancji wymiarowych	25	17%	79%
4.	Wgniecenia, odciski	17	11%	90%
5.	Pozostawione ostre krawędzie	12	9%	99%
6.	Rozwarstwienia materiału	2	1%	100%



Rys. 8.4 Diagram Pareto-Lorenza dla wad występujących w produkcji tulei kulistych

Źródło: Opracowanie własne.

Analiza Pareto-Lorenza (rys. 8.4) pokazała, że najczęściej występujące typy wad to:

- niezachowanie tolerancji wymiarowych,
- niezabielenia powierzchni,
- niewłaściwa chropowatość powierzchni,
- wgniecenia, odciski.

Należy przeanalizować przyczyny wad pod kątem możliwości ich wyeliminowania w celu zapewnienia lepszej jakości produkowanych detali.

8.5 ANALIZA FMEA

FMEA (ang. Failure Mode and Effects Analysis) – Analiza przyczyn i skutków wad ma na celu identyfikację potencjalnych wad produktu lub procesu, ocenę ich wpływu na produkt/proces oraz minimalizację tegoż wpływu [1, 2].

Wyróżniamy dwa rodzaje analizy:

FMEA wyrobu ma na celu określenie mocnych i słabych stron wyrobu jeszcze w fazie projektowania co skraca czas procesu projektowego. Jednocześnie pozwala na

ograniczenie kosztów wdrożenia wyrobu do produkcji. Analiza ta jest bardzo uniwersalna, ponieważ może się odnosić do pojedynczego elementu jak i zespołu elementów [5].

FMEA procesu analizuje czynniki które mogą wpłynąć na proces produkcyjny, proces obsługi produktu. Czynniki te mogą być powiązane z:

- metodami procesu,
- maszynami,
- wpływem otoczenia,
- środkami kontrolnymi.

FMEA procesu stosowane jest podobnie jak FMEA wyrobu głównie na etapie planowania procesu, co pozwala na znaczne zmniejszenie kosztów wdrażania procesu, poprawę efektywności procesu oraz jakości wyrobu końcowego [5].

Analizę FMEA przeprowadza się w następujących etapach:

1. Identyfikacja problemów, których analiza będzie dotyczyć.
2. Sporządzenie wytycznych i ocena wagi błędów ze względu na określone kryteria. Podstawowe kryteria które są brane pod uwagę w analizie to:

- Z – znaczenie ze względu na skutki wady,
- W – wykrywalność wady na poszczególnych etapach procesu,
- R – ryzyko wystąpienia wady [6, 7].

Kryteria ocenia się w skali 1-10 według wcześniej określonych wytycznych które w sposób opisowy określają przedział ocen.

3. Obliczenie wskaźnika priorytetu WPR jako iloczynu ocen cząstkowych Z, W, R. Wskaźnik WPR (wskaźnik prognozy rentowności) jest podstawą do ustalenia rankingu przyczyn ze względu na ich wpływ na wyrób/proces. Im wskaźnik wyższy, tym bardziej „krytyczna” jest przyczyna.

4. Wprowadzenie działań zapobiegawczych – dzięki wynikom prowadzonych analiz możliwe jest zaproponowanie i wdrożenie działań zapobiegawczych mających na celu wyeliminowanie, lub gdy nie jest to możliwe ograniczenie wpływu najbardziej krytycznych wad [8].

W celu głębszego zbadania wpływu przyczyn i skutków wad przeprowadzona została analiza FMEA. Pierwszym krokiem było określenie zakresu kryteriów dzięki którym wyznaczony będzie współczynnik ryzyka WPR. Wartości kryteriów zostały przedstawione w tabelach 8.3, 8.4, 8.5.

Tabela 8.3 Wartości kryterium znaczenia wady (Z)

Wartość Z	Znaczenie wady	Charakterystyka
1	Bardzo małe	Brak wpływu na jakość
2, 3	Małe	Wada ma nieznaczny wpływ na jakość produktu - jej skutki są tolerowane bądź łatwe w usunięciu
4, 5, 6	Przeciętne	Wada ma zauważalny wpływ na jakość wyrobu, jej skutki generują dodatkowe koszty.
7, 8, 9	Duże	Produkt nie spełnia wymagań, Koszty usunięcia są bardzo duże
10	Krytyczne	Produkt zagraża bezpieczeństwu

Tabela 8.4 Wartości kryterium prawdopodobieństwa wystąpienia wady (R)

Wartość R	Prawdopodobieństwo wystąpienia	Charakterystyka
1	Nieprawdopodobne	Wystąpienie wady jest praktycznie niemożliwe
2, 3	Małe	Wada występuje rzadko
4, 5, 6	Przeciętne	Wada występuje co jakiś czas
7, 8	Duże	Wada powtarza się
9, 10	Bardzo duże	Wada jest bardzo trudna do uniknięcia

Tabela 8.5 Wartości kryterium wykrywalności wady (W)

Wartość W	Wykrywalność wady	Charakterystyka
1, 2	Wysoka	Praktycznie każda wada zostaje wykryta
3, 4, 5	Przeciętna	Możliwość wykrycia wady przy pomocy podstawowych środków kontroli jest bardzo duża.
6, 7	Mała	Możliwość wykrycia wady jest średnia
8, 9	Bardzo mała	Istnieje duże prawdopodobieństwo, że wada nie zostanie wykryta.
10	Niemożliwa	Wada niemożliwa do wykrycia

Tabela 8.6 Analiza potencjalnych przyczyn i skutków wad

Nr Wady	Potencjalna wada	Potencjalne skutki wady	Potencjalne przyczyny wady	W	Z	R	WPR
1.	Niezachowanie tolerancji wymiarowych	Element nie nadaje się do użytku, dodatkowe operacje technologiczne (poprawki),	Błędy maszyny, złe ustawiona geometria obrabiarki, zużycie narzędzia, zły dobór parametrów, pomyłka pracownika, brak kontroli procesu	3	8	6	144
2.	Niezabielenia powierzchni	Obniżona wartość użytkowa elementu, element nie nadaje się do użytku, powstanie korozji, dodatkowy proces technologiczny	Wady materiału, błędy podczas wstępnych operacji obróbczych – cięcia i wiercenia, dobrany materiał ze zbyt małym naddatkiem	1	5	6	30
3.	Niewłaściwa chropowatość powierzchni	Element nie nadaje się do użytku, dodatkowe procesy technologiczne	Źle dobrane parametry, zużycie narzędzia, zużycie prowadnic obrabiarki, zaniki napięcia w sieci elektrycznej, źle dobrana technologia produkcji,	2	6	7	84
4.	Wgniecenia, odciski	Obniżenie wartości użytkowej, powstanie korozji,	Nieuwaga pracowników, nieprawidłowy transport detali, nieprawidłowe przechowywanie detali,	2	4	5	40

Po określeniu wartości wszystkich kryteriów przystąpiono do oceny tychże wartości dla badanych wad. Zostały one przedstawione w tabeli 8.6.

Następnym krokiem są działania mające na celu obniżenie wartości współczynnika WPR (tabela 8.7).

Tabela 8.7 Proponowane działania korygujące

Nr Wady	Potencjalna wada	Proponowane działania zapobiegawcze	W	Z	R	WPR
1.	Niezachowanie tolerancji wymiarowych	Dodatkowe kontrole podczas procesu, sprawdzanie stanu narzędzi skrawających, dobór parametrów zgodnie z zaleceniami producenta narzędzi	2	8	4	64
2.	Niezabielenia powierzchni	Kontrole materiału podczas dostawy, odpowiedni dobór materiału, kontrole procesów cięcia i wiercenia	1	5	4	20
3.	Niewłaściwa chropowatość powierzchni	Dobór parametrów zgodnie z zaleceniami producenta narzędzi, regularne kontrole stany technicznego obrabiarek, wnioskowanie o zwiększenia napięcia w sieci,	2	6	5	60
4.	Wgniecenia, odciski	Szkolenie pracowników, zabezpieczenie elementów w czasie transportu i magazynowania,	2	4	3	24

8.6 PODSUMOWANIE

Na koniec wartości czynnika WPR przed oraz po wdrożeniu działań korygujących zostały skonfrontowane w tabeli 8.8.

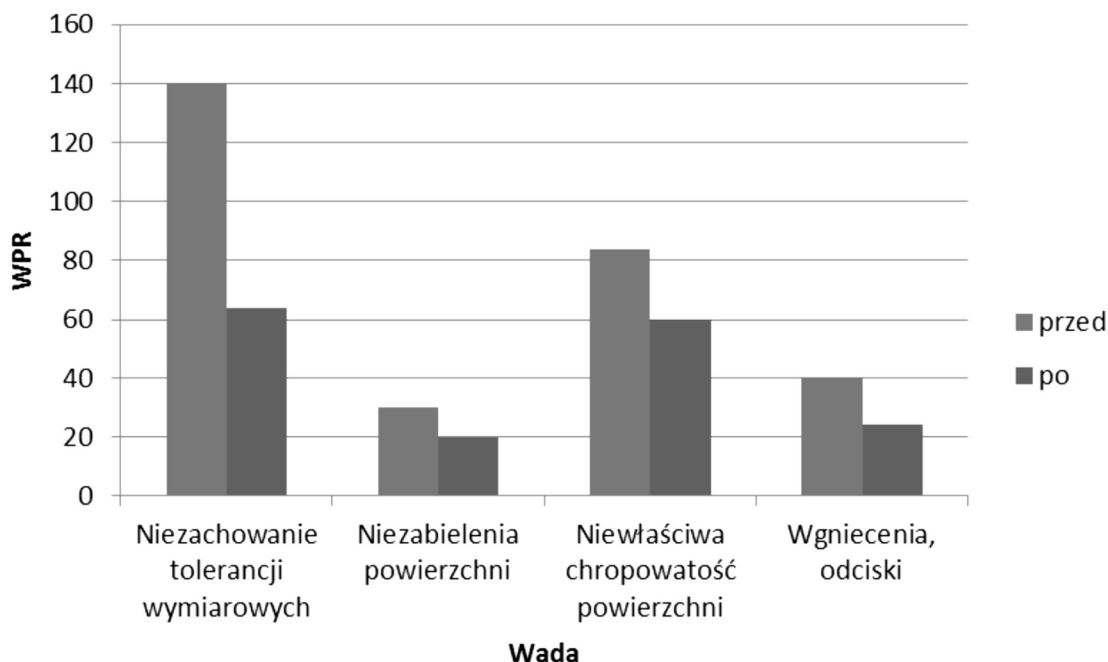
Tabela 8.8 Zestawienie wskaźników WPR przed i po wdrożeniu działań korygujących

Numer wady	Wada	Wartość WPR	
		przed	po
1.	Niezachowanie tolerancji wymiarowych	140	64
2.	Niezabielenia powierzchni	30	20
3.	Niewłaściwa chropowatość powierzchni	84	60
4.	Wgniecenia, odciski	40	24

Na podstawie danych przedstawionych w tabeli 8.8 utworzony został diagram obrazujący redukcję wskaźnika WPR (rys. 8.5).

Z wykresu wynika iż największe znaczenie ma wada nr 1 czyli niezachowanie tolerancji wymiarowych której WPR wynosi 144. Jednak po zastosowaniu działań korygujących możliwe będzie zredukowanie tej wartości do 64. W przypadku pozostałych wad również istnieje możliwość zredukowania wskaźnika WPR.

Działania pozwoliły w znacznym stopniu ograniczyć niekorzystny wpływ na jakość produktu takich czynników jak: niezachowanie tolerancji wymiarowych, niezabielenia powierzchni produktu, niewłaściwa chropowatość powierzchni oraz wgniecenia i odciski.



Rys. 8.5 Zestawienie wartości WPR przed i po działaniach korygujących

Źródło: Opracowanie własne.

LITERATURA

- [1] A. Hamrol, *Zarządzanie jakością z przykładami*, Warszawa: Wydawnictwo naukowe PWN, 2013.
- [2] A. Iwasiewicz, *Zarządzanie jakością w przykładach i zadaniach*, Tychy: 2005.
- [3] J.M. Juran i F.M. Gryna, *"Jakość. Projektowanie, Analiza"*, Warszawa: Wydawnictwo WNT, 1994.
- [4] W. Biały i P. Hąbek, "Improving the production process through analysing warranty claims" w *Quality, technologies, diagnostics of technical systems*, Slovenska Poznohospodarska Universita. Technicka Faculta, Nitra: *Zbornik vedeckych prac*, 2016, s. 12-20.
- [5] R. Wolniak i B. Skotnicka-Zasadzień, *Metody i narzędzia zarządzania jakością: teoria i praktyka*, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2010.
- [6] A. Folejewska, *Analiza FMEA – zasady, komentarze, arkusze*, Warszawa: Wydawnictwo Verlag Dashofer Sp. z o.o. 2010.
- [7] Z. Zymonik, A. Hamrol i P. Grudowski, *Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem* Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2013.
- [8] J. Sitko, "An analysis quality of products in the automotive industry" w *Quality, technologies, diagnostics of technical systems*, Slovenska Poznohospodarska Universita. Technicka Faculta, Nitra: *Zbornik vedeckych prac*, 2016, s. 239-247.

**ANALIZA ZASTOSOWANIA ELEMENTÓW INŻYNIERII PRODUKCJI
W UTRZYMANIU POZIOMU JAKOŚCI PRODUKTÓW**

Streszczenie: Przedmiotem artykułu jest analiza możliwości zastosowania narzędzi i metod jakościowych stosowanych w inżynierii produkcji w celu ograniczenia występowania wadliwych produktów w branży mechaniczno-samochodowej. Zastosowane metody pozwoliły na wybranych produktach znacząco podnieść ich poziom jakości. Wykorzystano diagram Pareto-Lorenza oraz analizę FMEA mające na celu identyfikację potencjalnych wad produktu lub procesu, ocenę ich wpływu na produkt/proces oraz ograniczenie tegoż wpływu.

Słowa kluczowe: jakość, produkcja, analiza

**ANALYSIS OF APPLICATIONS COMPONENTS PRODUCTION ENGINEERING
IN ASSESSMENT LEVEL OF QUALITY PRODUCTS**

Abstract: The subject of the article is to analyze possibility of applying the tools and qualitative methods used in production engineering in order to reduce the occurrence of defective products in industry – mechanical automotive. Applied methods allowed for selected products significantly raise their level of quality. Used diagram Pareto-Lorenz and FMEA analysis to identify potential product defects or process, assess their impact on product/process and reducing the impact of that.

Key words: quality, production, analysis

dr inż. Jacek Sitko
Politechnika Śląska,
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze
e-mail: JSitko@polsl.pl

Data przesłania artykułu do Redakcji: 06.2016

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 09.2016