

WYKORZYSTANIE ANALIZY PARETO I FMEA DO IDENTYFIKACJI KLUCZOWYCH WAD W PRODUKCIE

USING THE PARETO DIAGRAM AND FMEA (FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS) TO IDENTIFY KEY DEFECTS IN A PRODUCT

Michał ZASADZIEN
Politechnika Śląska

Streszczenie: W artykule zaprezentowano wyniki badań, jakie przeprowadzono w przedsiębiorstwie produkującym odkuwki aluminiowe dla przemysłu motoryzacyjnego. Celem badań była identyfikacja wad powstających w trakcie procesu produkcyjnego oraz miejsc i przyczyn ich powstawania. Posłużyły do tego wybrane narzędzia zarządzania jakością. Na podstawie analizy FMEA oraz kosztów, jakie generują zidentyfikowane wady wyznaczono ich hierarchię dla przedsiębiorstwa, a następnie, dla najbardziej istotnych z nich, opracowano propozycje usprawnień mających na celu zmniejszenie ilości wad i zwiększenie skuteczności ich wykrywania.

Słowa kluczowe: jakość, FMEA, Pareto, wada, zarządzanie, inżynieria produkcji, odkuwka.

1. WSTĘP

Sytuacja branży motoryzacyjnej, jak donoszą wszelkie źródła, z roku na rok się pogarsza [1]. Spadek ilości produkowanych samochodów zmusza firmy specjalizujące się w tej dziedzinie do ciągłej walki o dobrą pozycję na rynku i zaufanie klienta. Dlatego też firmy produkujące samochody oraz części do nich, by utrzymać się na rynku, muszą podnosić jakość swoich produktów poprzez ciągłe doskonalenie procesów produkcyjnych nie tylko w sferze technicznej, ale i organizacyjnej [2]. Każda reklamacja lub wykryta usterka w późniejszym czasie może stanowić zagrożenie dla egzystencji przedsiębiorstwa.

Każdy rodzaj wad produktu wpływa na jego jakość, a w efekcie na powodzenie i sposób realizacji założonych celów produkcyjnych. Wad powstałych na różnych etapach procesu produkcyjnego niestety nie można całkowicie wyeliminować, ale można starać się zredukować ich ilość do minimum. Wymusza to na przedsiębiorstwach stosowanie różnego rodzaju udoskonaleń w postaci: metod, narzędzi i dodatkowych systemów monitorujących, które docelowo mają wpływać na jakość całego cyklu produkcji, a więc także produktu finalnego. Działania doskonalące nie dotyczą tylko i wyłącznie funkcjonowania maszyn i urządzeń, ale także sposobu zarządzania i organizacji produkcji [3].

Proces poprawy jakości wyrobów i doskonalenia procesu produkcyjnego jest żmudny, długotrwały i wymaga zaangażowania pracowników, tak szczególnie kierowniczego jak i operatorów maszyn. Aby skutecznie obniżyć poziom wadliwości wyrobów należy przede wszystkim zidentyfikować wszystkie wady mogące wystąpić w procesie produkcyjnym oraz miejsca ich generowania. Dalszym etapem powinna być staranna i obiektywna analiza przyczyn ich powstawania, co w konsekwencji zaowocuje prawidłowo sformułowanymi działaniami doskonalącymi. Działania te powinny być skierowane przede wszystkim na zredukowanie ilości powstających wad, ale także na podniesienie skuteczności ich wykrywania [4]. Pomocne w tych działaniach są niezliczone narzędzia i metody zarządzania jakością [5]. W opracowaniu, które opisuje poniższy artykuł wykorzystano trzy z nich: diagram Pareto-Lorenza, diagram Ishikawy i analizę FMEA.

Analiza wadliwości wyrobów przeprowadzona została w przedsiębiorstwie produkującym odkuwki aluminiowe na potrzeby przemysłu samochodowego.

2. ANALIZA PARETO

Przeprowadzenie analizy wadliwości wyrobu wymaga zidentyfikowania z jakimi wadami przedsiębiorstwo ma do czynienia i jaka jest skala występowania tego zjawiska w badanym okresie czasu. Bardzo pomocnym narzędziem do tego celu jest analiza Pareto-Lorenza, która w sposób graficzny i bardzo przejrzysty prezentuje wyniki badań.

W badanym przedsiębiorstwie najbardziej powszechnymi, zidentyfikowanymi wadami są:

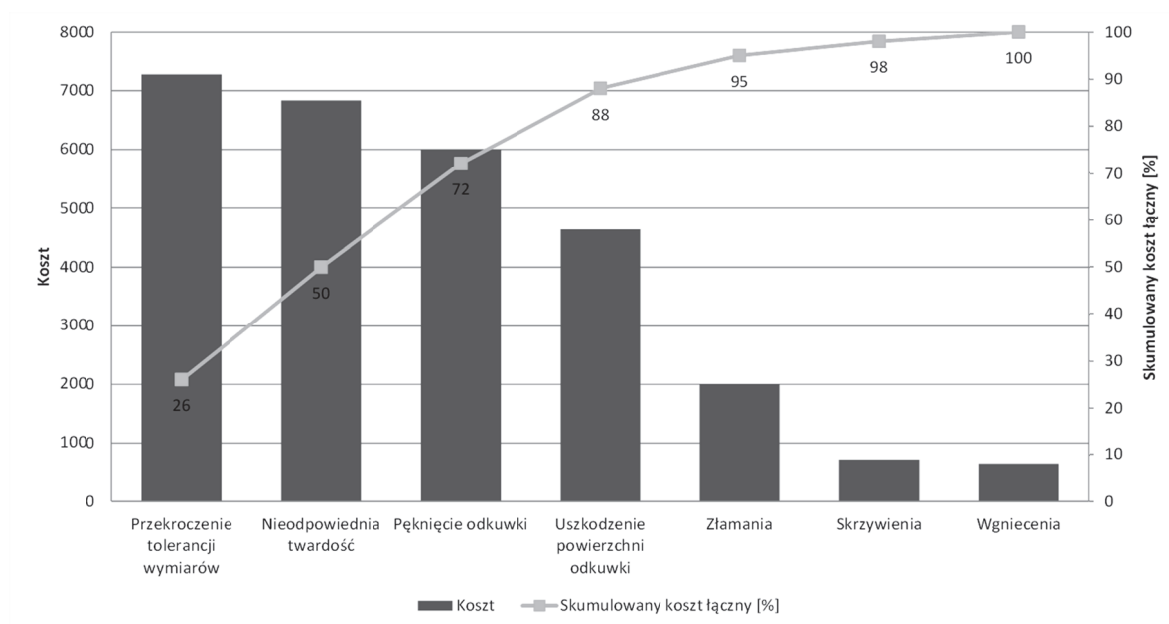
- uszkodzenia powierzchni odkuwki – powierzchnia uznawana jest za uszkodzoną w momencie, gdy pracownik zauważy skazy, głębokie zarysowania lub odbarwienia widoczne gołym okiem,
- pęknięcia odkuwki – mają miejsce w momencie, gdy widoczne przerwanie ciągłości materiału, najczęściej w postaci szczeliny,
- przekroczenie tolerancji wymiarów – identyfikuje się poprzez sprawdzenie wymiarów danego elementu suwmiarką i porównanie wyników z ustalonymi wymaganiami,
- wgniecenia – powstałe w wyniku zapadnięcia się materiału do wewnątrz, poprzez uderzenia lub niezachowanie ostrożności podczas transportu, magazynowania i pakowania materiału,
- nieodpowiednia twardość – identyfikowana jest poprzez badania laboratoryjne twardościomierzem.
- złamania – charakteryzujące się całkowicie przerwana ciągłością materiału,
- skrzywienia – ich identyfikacja polega na badaniu stopnia odchylenia powierzchni odkuwki, według podanego wzorca.

Do analizy Pareto wykorzystano ilość występujących wad oraz ich koszt jednostkowy, co w rezultacie umożliwiło wyznaczenie kosztów całkowitych, jakie ponosi przedsiębiorstwo z powodu występowania wad. Kosztami wad są m.in. koszt usunięcia wady, koszt zezłomowania wadliwego elementu oraz ewentualne koszty dodatkowe, np. transport wadliwych elementów od klienta itp. [6].

Na podstawie danych wykreślono diagram Pareto-Lorenza, który zaprezentowano na rys. 1. Na osiach rzędnych zaznaczono koszt, jakie ponosi przedsiębiorstwo z powodu powstawania wad oraz skumulowany udział kosztów tych wad.

Z diagramu wynika, że najistotniejszymi wadami z punktu widzenia kosztów przedsiębiorstwa są (w kolejności malejącej):

1. Przekroczenie tolerancji wymiarów,
2. Nieodpowiednia twardość,
3. Pęknięcie odkuwki,
4. Uszkodzenie powierzchni odkuwki,
5. Złamania,
6. Skrzywienia,
7. Wgniecenia.



Rys. 1. Diagram Pareto-Lorenza dla kosztów wad

W kolejnym kroku przyporządkowano wady do 3 grup zgodnie z zasadą ABC [7]:

- grupa A – to wady, które generowały 80% łącznego kosztu: koszt skumulowany jest mniejszy bądź równy 80% kosztu skumulowanego;
- grupa B – wady, które wspólnie z wadami z grupy A generowały 95% łącznego kosztu: koszt skumulowany jest mniejszy bądź równy 95%;
- grupa C – wady których łączny i skumulowany koszt wynosi 5% całości i które nie zostały przyporządkowane do grupy A i B.

Wyniki analizy Pareto oraz ABC prezentuje tabela 1.

Tabela 1
Koszty wad wraz z klasyfikacją ABC

Nazwa	Koszt	Koszt łączny [%]	Skumulowany koszt łączny [%]	Grupa
Przekroczenie tolerancji wymiarów	7280	26	26	A
Nieodpowiednia twardość	6840	24	50	A
Pęknięcie odkuwki	6000	21	72	A
Uszkodzenie powierzchni odkuwki	4640	16	88	B
Złamania	2000	7	95	B
Skrzywienia	720	3	98	C
Wgniecenia	650	2	100	C

Wg zasady ABC w grupie wad najistotniejszych znalazły się pierwsze 3 wady, które generują 72% wszystkich kosztów. Usunięciem lub zmniejszeniem ilości występowania tych wad przedsiębiorstwo powinno zająć się w pierwszej kolejności. Wynikiem przeprowadzonych zmian powinno być wyraźne zmniejszenie kosztów, jakie ponosi przedsiębiorstwo w wyniku występowania wadliwych produktów. W grupie B oraz w grupie C znalazły się po dwie wady.

Minimalizowanie kosztów produkcji, to tylko jeden z elementów ciągłego doskonalenia procesu produkcyjnego. Nie bez znaczenia powinny być także inne aspekty powstawania wad, a mianowicie: skuteczność ich wykrywania, znaczenie i prawdopodobieństwo wystąpienia wady. Nie branie pod uwagę tych aspektów naraża przedsiębiorstwo na potencjalną utratę reputacji wśród swoich klientów, co skutkować może zmniejszeniem zamówień mimo ustawicznego zmniejszania kosztów produkcji. Klienci obok ceny produktu

cenią sobie także jego jakość, a po jej akceptacji, stały jej poziom. Aby głębiej przyjrzeć się znaczeniu każdej z wad należy wykonać pierwszą część analizy FMEA.

3. ANALIZA FMEA

Analiza potencjalnych przyczyn i skutków wad wymaga większego nakładu środków niż w przypadku stosowania prostych narzędzi. Wymagany w jej przygotowaniu jest udział specjalistów znających proces produkcyjny i wyrób przedsiębiorstwa. W wyniku jej zastosowania w wymierny sposób można zidentyfikować przyczyny powstawania wad oraz oszacować trzy najważniejsze parametry wady, a mianowicie:

- znacznie skutków wady,
- prawdopodobieństwo wystąpienia wady,
- wykrywalność wady.

Mnożąc ze sobą wszystkie wskaźniki otrzymujemy Risk Priority Number czyli RPN, który mówi nam o istotności wady dla procesu produkcyjnego, lecz nie mówi o kosztach powstawania wad [8]. Przyjęte do rozwiązania niniejszego problemu wartości wskaźników zaprezentowano w tabeli 2.

Tabela 2
Wskaźniki analizy FMEA

Nazwa wskaźnika	Wartość	Charakterystyka	Opis
R znaczenie skutków wady	1	brak albo b. małe	nie wpływa na jakość wyrobu
	2 - 3	małe	wada jest tolerowana bądź wymaga niewielkich kosztów
	4 - 6	przeciętne	wada wpływa na jakość wyrobu, powoduje niewielkie utrudnienia
	7 - 8	ważne	wyrób nie spełnia wymagań, duże koszty
	9 - 10	nadzwyczaj ważne	wada zagraża bezpieczeństwu
P prawdopodobieństwo wystąpienia wady	1	nieprawdopodobne	można wyobrazić sobie jej powstanie
	2 - 3	bardzo małe	występuje rzadko
	4 - 6	niewielkie	występuje sporadycznie
	7 - 8	przeciętne	powtarza się cyklicznie
	9 - 10	wysokie	powtarza b. często
N wykrywalność wady	1	wysoka	środki kontroli wykrywają wadę
	2 - 3	przeciętna	duża szansa wykrycia wad
	4 - 6	mała	możliwe wykrycie wad
	7 - 8	b. mała	prawdopodobnie środki weryfikacji nie wykryją wady
	9 - 10	nieprawdopodobna	kontrola nie wykryje danej wady

Przystępując do analizy FMEA na wstępie zidentyfikowano kluczowe przyczyny powstawania wad za pomocą diagramu Ishikawy. Dla każdej z wad zbudowano diagram, w którym zawierały się następujące, potencjalne przyczyny główne: człowiek, materiał, maszyna oraz metoda. Budując diagram Ishikawy określono najważniejszą przyczynę powstania każdej z wad. Przyczyny te stały się punktem wyjścia do analizy FMEA. Następnie oszacowano wskaźniki R, P i N oraz iloczyn RPN dla wszystkich zidentyfikowanych wad, co prezentuje tabela 3.

Tabela 3
Wyniki analizy FMEA

L.p.	Wada	R	P	M	RPM
1	Uszkodzenie powierzchni odkuwki	5	8	4	160
2	Pęknięcie odkuwki	10	3	1	30
3	Przekroczenie tolerancji wymiarów	10	3	2	60
4	Wgniecenia	5	4	7	140
5	Nieodpowiednia twardość	8	3	5	120
6	Złamania	10	6	2	120
7	Skrzywienia	10	4	3	120

Z analizy wynika, iż wadami najwyższej rangi, które znacznie wpływają na efekt końcowy są wady: nr 1 – uszkodzenie powierzchni odkuwki (RPM = 160) oraz nr 2 – wgniecenia (RPM = 140). Wady o mniejszym znaczeniu to: nieodpowiednia twardość, złamania, skrzywienia (RPM = 120). Najmniejsze znaczenie mają wady: nr 3 oraz nr 2.

4. DYSKUSJA WYNIKÓW

Zestawiając z sobą dwie metody tj. diagram Pareto-Lorenza oraz FMEA można zauważyć, iż istotność wad nie jest spójna. Porównanie wyników obu narzędzi zawiera tabela 4.

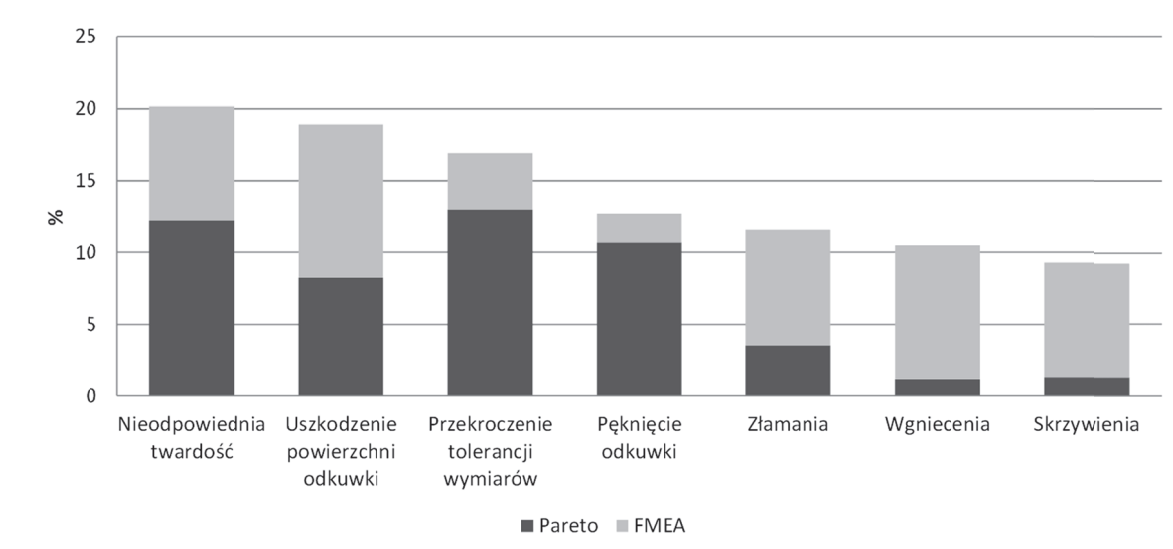
Tabela 4
Porównanie wyników analizy Pareto i FMEA

Nazwa wady	Ranking wg FMEA	Ranking wg Pareto kosztów
Uszkodzenie powierzchni odkuwki	1	4
Wgniecenia	2	7
Nieodpowiednia twardość	3	2
Złamania	3	5
Skrzywienia	3	6
Przekroczenie tolerancji wymiarów	6	1
Pęknięcie odkuwki	7	3

Najbardziej istotne z procesowego punktu widzenia wady nie pokrywają się listą najdroższych wad (tab. 4). Wada generująca największe straty, tj. przekroczenie tolerancji wymiarów zajmuje ostatnią pozycję na liście FMEA, a wada o najmniejszym znaczeniu z punktu widzenia kosztów jest na drugim miejscu w rankingu wg RPM.

Aby syntetycznie spojrzeć na problem wad w przedsiębiorstwie, tak z punktu widzenia procesowego jak i kosztowego, należy wyniki obu analiz połączyć ze sobą. W ten właśnie sposób powstał wykres przedstawiony na rysunku 2.

Na wykresie (rys. 2) przedstawiono udział procentowy wszystkich wad zarówno dla wyników analizy Pareto jak i FMEA. Założono przy tym, że waga obu wyników jest taka sama (50/50). Oczywiście w zależności od potrzeb można przypisać inną istotność kosztom, a inną wskaźnikowi RPM.



Rys. 2. Zestawienie wyników analizy Pareto i FMEA

Jak widać po połączeniu wyniku obu analiz otrzymano zupełnie nową hierarchię wad. Ilustruje to tabela 5.

Tabela 5
Wyniki wszystkich analiz dla badanych wad

Nazwa wady	Ranking sumaryczny	Ranking wg FMEA	Ranking wg Pareto kosztów
Nieodpowiednia twardość	1	3	2
Uszkodzenie powierzchni odkuwki	2	1	4
Przekroczenie tolerancji wymiarów	3	6	1
Pęknięcie odkuwki	4	7	3
Złamania	5	3	5
Wgniecenia	6	2	7
Skrzywienia	7	3	6

W ujęciu sumarycznym najważniejsza okazały się wady: nieodpowiednia twardość i uszkodzenie powierzchni oraz przekroczenie tolerancji wymiarów. Mniej istotne wady to: pęknięcia, złamania, wgniecenia i skrzywienia odkuwek.

5. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych analiz wynika iż nieodpowiednia twardość odkuwki jest głównym problemem, z którym boryka się przedsiębiorstwo i która też powinna być wyeliminowana zdecydowanie jako pierwsza. Wada ta zajmuje kluczową pozycję w obu analizach, dlatego też uznana została jako najważniejsza. W celu zmniejszenia ilości powstawania wadliwych wyrobów zaproponowano zmianę systemu odważania składników, aby zminimalizować błędy obsługi. Propozycją zmian w celu poprawy wykrywalności tej wady jest zwiększenie dwukrotnie częstości wykonywania pomiarów twardości poprzez umieszczenie stanowiska pomiarowego bliżej linii produkcyjnej, a w przypadku odnalezienia odkuwki nie spełniającej wymagania twardości proponuje się przeprowadzenie kontroli całej partii wyrobów w laboratorium.

W odniesieniu do niezgodności jakim jest pęknięcie odkuwki, zaproponowano działania zapobiegawcze w celu zmniejszenia ilości powstawania wad, takie jak:

- zwiększenie ostrożności podczas transportu, składowania i magazynowania, odkuwek,
- wyposażenie pracowników w rękawice antypoślizgowe,

- modyfikację konstrukcji regałów magazynowych,
- modyfikację układu chłodzenia odkuwek,
- zautomatyzowany system pomiaru temperatury odkuwek.

W celu zwiększenia wykrywalności wady zaproponowano zwiększenie częstotliwości i dokładności kontroli poprzez poprawę oświetlenia stanowisk kontroli i wyposażenia operatorów w szkła powiększające.

6. LITERATURA

- [1] Główny Urząd Statystyczny. „Tablice o krajach według tematów - przemysł i budownictwo.” Internet: http://old.stat.gov.pl/gus/5840_11289_PLK_HTML.htm [Apr. 21, 2014].
- [2] K. Midor. „Metody zarządzania jakością w systemie WCM, studium przypadku” in *Zarządzanie jakością wybranych procesów, no 1*. J. Żuchowski, Ed. Radom: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu, 2010, pp. 116-136.
- [3] B. Skotnicka-Zasadzień. „Application of quality engineering elements for the improvement of production processes - case study” in *Proc. International Conference on Industrial Engineering and Management Science. ICIEMS*, 2013, pp. 362-368.
- [4] M. Urbaniak. *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka*. Warszawa: Wydawnictwo Difin, 2004.
- [5] N. R. Tague. *The Quality Toolbox: 2nd Edition*. Milwaukee: ASQ Quality Pres, 2005.
- [6] B. Solarska. „Analiza wadliwości wyrobu w przedsiębiorstwie LEIBER POLAND.” M.A. thesis, Silesian University of Technology, Zabrze, 2014.
- [7] S. Borkowski, K. Knop. „An evaluation of validity of the second Toyota’s management principle factors with the use of the BOST research in chosen production company.” *Management Systems in Production Engineering*, no. 2(14), pp. 68-75, 2014. DOI 10.12914/MSPE-04-02-2014.
- [8] R. Wolniak, B. Skotnicka. *Metody i narzędzia zarządzania jakością. Teoria i praktyka*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2011.