

Bartosz SZCZEŚNIAK, Michał ZASADZIEN, Łukasz WAPIENIK
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania

ZASTOSOWANIE ANALIZY PARETO ORAZ DIAGRAMU ISHIKAWY DO ANALIZY PRZYCZYN ODRZUTÓW W PROCESIE PRODUKCJI SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono zastosowanie narzędzi zarządzania jakością takich jak metoda ABC oraz diagram Ishikawy do oceny struktury wad silników elektrycznych produkowanych w badanej firmie. Przeprowadzone analizy pozwoliły na zidentyfikowanie najbardziej istotnych wad występujących w silnikach. Pogłębiona analiza pozwoliła na rozpoznanie ich przyczyn, co może być podstawą do zaproponowania odpowiednich działań naprawczych.

PARETO ANALYSIS AND ISHIKAWA DIAGRAM IN ANALYSING THE CAUSES OF MANUFACTURING REJECTS IN PRODUCTION OF ELECTRIC MOTORS

Summary. The article provides a discussion on the application of quality management tools such as the ABC method and the Ishikawa diagram in the assessment of structural defects of electric motors manufactured by the company examined. The analyses conducted enabled identification of the most important defects found in the motors. The in-depth analysis allowed for identification of their sources which may provide grounds for the appropriate remedial actions to be proposed.

1. Wprowadzenie

Problem jakości wytwarzanych produktów stanowi obecnie jedno z bardziej istotnych zagadnień poruszanych w związku z zarządzaniem przedsiębiorstwem. Działania skierowane na identyfikowanie oraz wykluczenie produktów wadliwych, a oparte na kontroli przeprowadzanej po zakończeniu procesu produkcyjnego ustępują miejsca przedsięwzięciom mającym na celu doprowadzenie do stanu, w którym powstawanie produktów wadliwych będzie zdecydowanie ograniczone. O ile jednak zastosowanie 100% kontroli gotowych

wyrobów wydaje się stosunkowo proste, o tyle w przypadku skomplikowanych systemów produkcyjnych zaproponowanie odpowiednich, przynoszących wymierne korzyści w skali przedsiębiorstwa, działań zapobiegawczych łatwe na pewno nie jest. Ogromna liczba potencjalnych przyczyn skutkujących końcowym wadliwym produktem powoduje, że próba zaproponowania działań zapobiegawczych dla wszystkich możliwych sytuacji wiązałaby się z koniecznością prowadzenia prac na wielką skalę i ponoszenia wysokich nakładów finansowych. W takiej sytuacji konieczne staje się podejmowanie działań mających na celu identyfikację przyczyn o największym znaczeniu dla efektu procesu produkcyjnego. W celu identyfikacji istotnych przyczyn mogą zostać zastosowane narzędzia zarządzania jakością. Wykorzystanie takich właśnie narzędzi na potrzeby identyfikacji najistotniejszych przyczyn wadliwości produktu na przykładzie procesu produkcji silników elektrycznych. zostało przedstawione w dalszej części artykułu.

2. Wybrane narzędzia zarządzania jakością

Narzędzia zarządzania jakością służą do zbierania i przetwarzania danych związanych z różnymi aspektami jakości [3]. Pozwalają na monitorowanie, analizowanie i oddziaływanie na procesy w całym cyklu istnienia wyrobu. Z uwagi na swoją prostotę znajdują powszechne zastosowanie zarówno w projektowaniu, jak i w monitorowaniu oraz kontroli procesów wytwarzania produktów czy usług. W literaturze przedmiotu [3, 17] wymienia się dwie grupy narzędzi zarządzania jakością. Pierwszą z nich stanowią narzędzia tradycyjne. Można tu wyróżnić:

- diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy,
- analizę Pareto,
- schemat blokowy,
- wykresy korelacji zmiennych,
- histogram,
- graficzna prezentacja wyników,
- arkusze kontrolne.

Drugą grupę stanowią narzędzia będące uzupełnieniem narzędzi tradycyjnych [17]. Nie są one nowe w ujęciu powszechnej praktyki zarządzania przedsiębiorstwem, jednak w zarządzaniu jakością stanowią krok do przodu w stosunku do stanu, w którym były

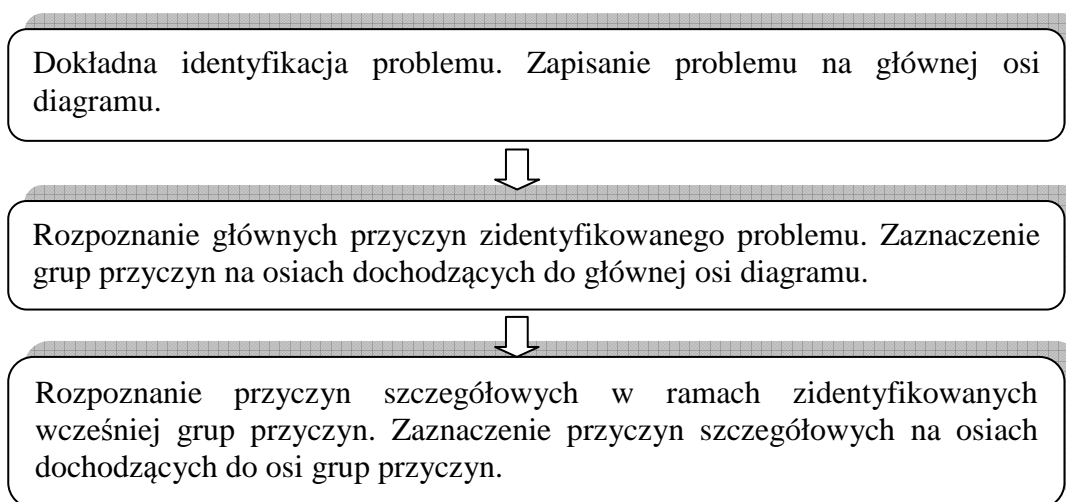
stosowane jedynie narzędzia wymienione w pierwszej grupie. Zaliczane tutaj narzędzia stanowią pomoc przy rozwiązywaniu problemów, a także umożliwiają uporządkowanie przepływu informacji oraz ich efektywną wymianę [3]. Do grupy nowych narzędzi zarządzania jakością należą:

- diagram relacji,
- diagram pokrewieństwa,
- diagram macierzowy,
- diagram systematyki,
- diagram PDPC (diagram decyzji),
- diagram strzałkowy,
- macierzowa analiza danych (analiza głównych składników).

W dalszej części artykułu w bardziej szczegółowy sposób omówiono dwa narzędzia, które zostały wykorzystane do identyfikacji najistotniejszych przyczyn odrzutów wśród silników elektrycznych.

Diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy

Diagram przyczynowo-skutkowy stanowi obecnie bardzo popularne narzędzie w zarządzaniu jakością. Jego nazwa pochodzi od nazwiska autora, jednak czasami z uwagi na swój kształt jest także zwany schematem rybiej ości lub schematem jodełkowym [8]. Po raz pierwszy metoda ta została zastosowana w Japonii w Sumitomo Electric [7]. Jak większość narzędzi japońskich cechuje się on prostotą oraz dużą skutecznością [17]. Obecnie jest jednym z najpowszechniej stosowanych narzędzi zarządzania jakością [2]. Istotą diagramów Ishikawy jest graficzna prezentacja wzajemnych powiązań pomiędzy skutkami mogącymi je wywoływać różnorodnymi przyczynami. Odpowiednia wizualizacja z jednej strony wspiera proces poszukiwania przyczyn, z drugiej strony zapewnia zachowanie uporządkowanej struktury pomiędzy zidentyfikowanymi elementami. Metoda ta jest bardzo często stosowana podczas pracy zespołowej. Stanowi doskonałe wsparcie podczas rozwiązywania problemów metodą burzy mózgów. Rozszerza horyzonty myślenia całej grupy. Narzucając kierunki, w których należy szukać rozwiązań, pozwala pozbyć się myślenia rutynowego [14]. Stosując metodę Ishikawy postępuje się zgodnie z algorytmem przedstawionym na rysunku 1.



Rys. 1. Główne kroki realizowane podczas tworzenia diagramu Ishikawy
Fig. 1. Main steps to be completed while developing an Ishikawa diagram

Przyczyny zidentyfikowane w ostatnim kroku mogą stanowić ostateczne rozwiązanie badanego problemu. Mogą one także być punktem wyjścia do poszukiwania przyczyn o jeszcze większej szczegółowości. Wizualizacja kolejnego poziomu przyczyn może się odbywać w ramach tego samego diagramu lub na kolejnych diagramach, w przypadku gdyby była zagrożona czytelność prezentacji wyników. Identyfikując grupy przyczyn, można wykorzystać rozwiązania sugerujące określoną strukturę. Jedną z takich propozycji jest podejście 5M, zgodnie z którym przyczyny powinny być poszukiwane w jednym z pięciu głównych obszarów:

- MANPOWER (ludzie),
- METHOD (metoda),
- MACHINE (maszyna),
- MATERIAL (materiał),
- MANAGMENT (zarządzanie) [1].

Czasami podejście to jest rozszerzane o dodatkowe elementy, takie jak pomiar lub środowisko. Stosowanie rozwiązania 5M zapewnia, że w trakcie prowadzonych badań większość najistotniejszych przyczyn zostanie zidentyfikowana. Ma ono jednak również strony negatywne związane z przesadnym trzymaniem się narzuconej struktury. Czasami w ramach niektórych grup przyczyny mogą nie występować. W takich przypadkach sztywna struktura może prowadzić do sytuacji, w której niektóre przyczyny będą wymyślane w sposób sztuczny. Poruszanie się ramach określonej struktury może też prowadzić do pominięcia przyczyn, które, choć istotne, do struktury nie pasują, dlatego zespołom o dużym doświadczeniu zaleca się rezygnowanie ze stosowania tej techniki w celu uzyskania większej elastyczności uzyskiwanych rozwiązań [17].

W literaturze można spotkać się z różnymi koncepcjami wykorzystania diagramu Ishikawy. Koncepcje odnoszą się do sposobu identyfikacji grup przyczyn czy sposobu identyfikacji przyczyn szczegółowych. Można tu na przykład wymienić diagram wykazu przyczyn (ang. *case enumeration diagram*) [13], w którym ogólny zbiór przyczyn jest identyfikowany za pomocą burzy mózgów, a za pomocą diagramu pokrewieństwa wyznaczane są główne grupy przyczyn. Cała struktura jest następnie nanoszona na diagram Ishikawy w celu odpowiedniej prezentacji oraz umożliwienia dalszego poszukiwania przyczyn w zaproponowanych obszarach. W wariacie rybiej ości z opóźnieniem czasowym (ang. *time-delay fishbone*) [13] poszczególne przyczyny nie muszą być ostatecznie identyfikowane podczas jednego spotkania zespołu roboczego. Opracowany diagram jest na określony okres wywieszany w miejscu publicznym, tak żeby każdy z zainteresowanych pracowników mógł zaproponować odpowiednie zmiany. W wariacie CEDAC (*cause-and-effect diagram with the addition of cards*) [13] przyczyny na diagramie są umieszczane na przygotowanych kolorowych kartach. Oprócz przyczyn na kartach innego koloru są również umieszczane pomysły na poprawę istniejącej sytuacji i dopiero tak przygotowany diagram jest udostępniany w miejscu publicznym, gdzie każdy zainteresowany może się zapoznać z przedstawionymi pomysłami i ewentualnie zaproponować swoje koncepcje. Po tej fazie wszystkie znajdujące się na diagramie pomysły podlegają dyskusji i ocenie pod kątem przydatności do rozwiązania określonego problemu.

Analiza Pareto

Analiza Pareto, zwana również metodą ABC, opiera się na empirycznie stwierdzonej prawidłowości, że 20-30% przyczyn powoduje 70-80% skutków. Prawidłowość tę jako pierwszy odkrył i opisał włoski ekonomista Vilfredo Pareto. Wykorzystując dane statystyczne, analizował rozkłady dochodów ludności w wyznaczonych przedziałach. Zaobserwował, że 80% włoskich zasobów znajdowało się w rękach 20% rodzin. Stwierdzając występowanie takiego nierównomiernego rozkładu również w innych sytuacjach, Pareto sformułował zasadę znaną obecnie jako reguła 80:20. Powszechność występowania omawianej zasady powoduje, że szeroko opisywana w literaturze [1, 6, 9, 12, 14, 15; 17] metoda ABC znajduje bardzo rozległe zastosowanie w różnorodnych obszarach związanych z zarządzaniem organizacją. W zarządzaniu finansami można ją zastosować do analizy:

- rodzajów kosztów [15],
- miejsc powstawania kosztów [11, 15],
- nośników kosztów [15].

Przeprowadzenie badania struktury kosztów za pomocą analizy Pareto pozwala na identyfikację obszarów organizacji wymagających szczególnej uwagi. Umożliwia również określenie rodzajów kosztów, w stosunku do których powinny być stosowane precyzyjne metody planowania i kontroli. Innym obszarem częstego stosowania omawianej metody jest gospodarka materiałowa. W tym przypadku analiza dotyczy przede wszystkim:

- wartości i ilości części i materiałów [10, 12, 15],
- dostawców [15].

Jej użycie w tym zakresie pozwala na skupienie się na materiałach mających największe znaczenie ekonomiczne. W stosunku do takich elementów powinny być prowadzone odpowiednia polityka zakupów lub precyzyjne metody sterowania zapasami. Metoda ta stwarza możliwość identyfikacji dostawców, z którymi są generowane największe obroty i którzy powinni być w związku z tym traktowani ze szczególną uwagą. Metoda ABC może być również zastosowana w ramach działu sprzedaży, co umożliwia identyfikację najistotniejszych:

- klientów [15],
- rynków zbytu [15],
- grup produktów [11,15].

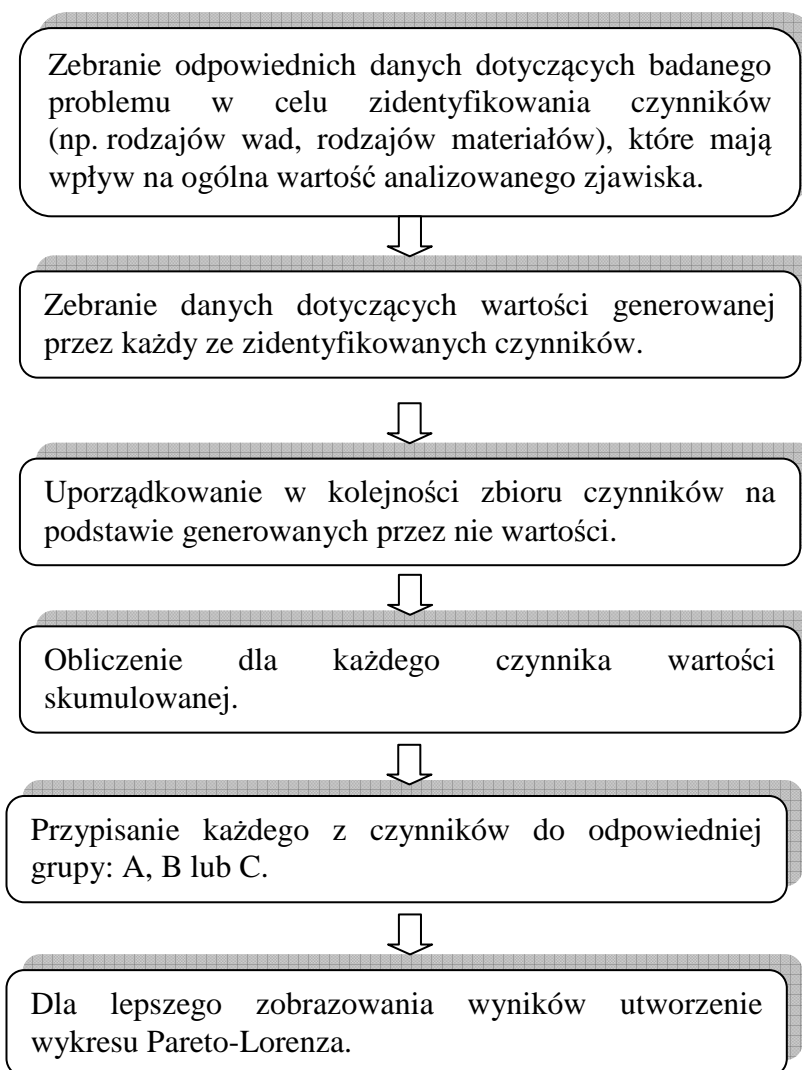
Zidentyfikowanie najistotniejszych rynków oraz klientów umożliwia precyzyjne ukierunkowanie podejmowanych działań. Określenie ważności poszczególnych grup produktów pozwala na przykład na zastosowanie odpowiednich technik planowania w stosunku do każdej z nich [11]. Innym obszarem, w którym wykorzystanie metody ABC jest bardzo powszechne, jest zarządzanie jakością. Jej przydatność w tej dziedzinie dostrzegł, badając problem nieregularnego rozkładu strat związanych z jakością, J. Juran [6]. Na podstawie przeprowadzonych badań zauważył on, że zazwyczaj zaledwie kilka cech jakościowych jest przyczyną istotnej części strat. Obecnie w zarządzaniu jakością metoda ABC jest stosowana zarówno do doskonalenia procesów, jak i podnoszenia poziomu jakości wyrobów [3]. Założony cel jest zazwyczaj osiągnięty przez klasyfikację ważności:

- wad występujących w procesach i produktach [16],
- przyczyn występowania wad [14].

W wyniku przeprowadzonej analizy możliwe staje się zaproponowanie działań zapobiegawczych w stosunku do wąskiej grupy precyzyjnie wyselekcjonowanych przyczyn. Umożliwia to redukcję liczby wystąpień określonych rodzajów wad bez konieczności podejmowania kosztownych działań na wielką skalę.

Powszechne występowanie prawa 80:20 każdorazowo daje możliwość określenia głównych kierunków działań skupiających się na zagadnieniach najistotniejszych, zagadnieniach, w ramach których podejmowane środki pozwalają uzyskiwać maksymalne efekty. W wyniku tego możliwe staje się na przykład precyzyjne przeciwdziałanie zjawiskom negatywnym o największej częstotliwości występowania czy przeciwdziałanie zjawiskom przysparzającym najwięcej kosztów [5]. W trakcie przeprowadzania analizy ABC w dowolnym z wymienionych obszarów elementy badanego czynnika zostają przypisane do jednej z trzech grup: A, B i C. Do grupy A są zaliczane elementy najważniejsze. Stanowią one około 20% ogólnej liczby elementów i generują około 80% wartości badanego zjawiska. Na tej grupie w głównej mierze powinny się skupiać podejmowane działania, ponieważ oddziałując na zaledwie 20% elementów badanego obszaru, czyli ponosząc relatywnie niskie koszty, można wpływać na 80% jego wartości. Przy założeniu idealnej struktury 20%/80% przykładowe zmniejszenie wartości kosztów należących do tej grupy o 50% spowoduje zmniejszenie ogólnej sumy kosztów o 40%. Kolejną grupą jest grupa B. Do niej są przypisywane elementy o średniej ważności. Obejmują one około 30% ogólnej liczby elementów i generują około 15% wartości. Jeżeli w wyniku podjętych działań udałoby się doprowadzić do zmniejszenia o 50% wszystkich kosztów należących do tej grupy, spowodowałoby to spadek ogólnej sumy kosztów tylko o 7,5%. Ostatnią grupą jest grupa, do której są zaliczane elementy najmniej istotne. Obejmuje ona aż 50% ogólnej liczby elementów, a generowana przez nią wartość wynosi zaledwie około 5% wartości ogólnej. Działania podejmowane w stosunku do elementów tej grupy bardzo często nie znajdują uzasadnienia ekonomicznego. Przy założeniu idealnej struktury 50%/5% przykładowe zmniejszenie wartości kosztów należących grupy C o 50% spowoduje zmniejszenie ogólnej sumy kosztów zaledwie o 2,5%.

Granice zarówno ilościowe, jak i wartościowe pomiędzy poszczególnymi grupami mają charakter umowny. W literaturze przedmiotu występują przykładowo propozycje przyjmowania zarówno dla grupy B, jak i grupy C 10% udziału w ogólnej wartości. W celu przeprowadzenia analizy Pareto należy wykonać określone kroki. Ogólny algorytm postępowania został zaprezentowany na rysunku 2.



Rys. 2. Algorytm postępowania podczas przeprowadzania analizy Pareto
Fig. 2. Algorithm of the Pareto analysis procedure

Oprócz przedstawionej postaci analizy w literaturze można również spotkać propozycje wariantów stanowiących jej rozszerzenie. Wariantami takimi są na przykład ważona analiza Pareto oraz porównawcza analiza Pareto [13]. W ważonej analizie Pareto zakłada się, że dla poszczególnych czynników można określić wagi oznaczające ich istotność wynikającą z innych przyczyn niż uwzględniane w bieżącej analizie.

W trakcie przeprowadzania analizy wartości generowane przez poszczególne czynniki zostają zmodyfikowane z wykorzystaniem przyjętych wag. Wartości zmodyfikowane stanowią podstawę do podziału czynników na poszczególne grupy. W porównawczej analizie Pareto tworzone są wykresy dla dwóch lub kilku zbiorów wartości generowanych przez określoną grupę czynników. Zbiory wartości mogą pochodzić na przykład z kolejnych okresów, w których było badane dane zjawisko, z różnych procesów lub z przedziału czasowego przed zastosowaniem określonego rozwiązania i po nim. Jeden z tworzonych

wykresów jest traktowany w tym przypadku jako wykres bazowy. Kolejność poszczególnych czynników na tym wykresie jest wzorcem dla kolejności czynników na wszystkich pozostałych wykresach biorących udział w porównaniu. Zastosowanie takiego wariantu metody pozwala na bardzo przejrzyste zobrazowanie zmian w strukturze wartości w badanych obszarach.

3. Identyfikacja najistotniejszych przyczyn odrzuceń silników elektrycznych

W chwili obecnej każdy z wyprodukowanych silników elektrycznych jest poddawany kontroli przeprowadzanej na zakończenie procesu produkcyjnego. W celu zmniejszenia liczby produktów weryfikowanych negatywnie na tym etapie podjęto badania struktury przyczyn odrzutów. Głównym celem przeprowadzonych badań była identyfikacja najistotniejszych miejsc w procesie produkcyjnym, a także precyzyjne określenie przyczyn, w stosunku do których odpowiednie działania zapobiegawcze mogły w znaczący sposób przyczynić się do zmniejszenia liczby odrzucanych silników. Do zidentyfikowania takich miejsc oraz określenia przyczyn zdecydowano się zastosować kombinację dwóch narzędzi zarządzania jakością, tj. WYKRESU ISHIKAWY oraz ANALIZY PARATO. W pierwszej kolejności za pomocą metody ABC przeanalizowano strukturę bezpośrednich przyczyn odrzucenia silnika. Rozpatrzono dane z okresu 2 lat. Wykaz wszystkich zidentyfikowanych przyczyn wraz z liczbą wystąpień został przedstawiony w tabeli 1. W tabeli tej zawarto również informacje o procentowym udziale każdej z przyczyn w całkowitej liczbie odrzuceń.

Tabela 1

Zestawienie przyczyn wraz z liczbą spowodowanych odrzutów
w okresie dwóch lat

Nr	Przyczyna odrzutu	[szt.]	[%]
1	Zwarcie do obudowy	5668	33,53%
2	Zwarcie zwojowe	40	0,24%
3	Asymetria prądów i oporów	508	3,01%
4	Przerwa w uzwojeniu	936	5,54%

cd. tabeli 1

5	Błędne połączenie – nawijalnia	791	4,68%
6	Błędne połączenie – montaż	527	3,12%
7	Uszkodzone końcówki na tabliczce	1503	8,89%
8	Uszkodzona obudowa lub detal	940	5,56%
9	Zacieranie wirnika	4316	25,53%
10	Nie zgodne detale	214	1,27%
11	Wadliwa praca łożysk	1135	6,71%
12	Wadliwa praca hamulca	35	0,21%
13	Przekroczony poziom drgań	3	0,02%
14	Nadmierny poziom prądów, mocy	156	0,92%
15	Inne	132	0,78%

Przedstawione dane w dalszej kolejności zostały uporządkowane malejąco, po czym każdą z przyczyn zakwalifikowano do grupy: A, B, C. Uporządkowaną strukturę przedstawiono w tabeli 2. Wykres Pareto-Lorenza przeprowadzonej analizy ABC przyczyn odrzutów pokazano na rysunku 3. Przy założeniu że do grupy A powinny należeć przyczyny stanowiące do 20% rodzajów przyczyn, w grupie tej powinny znaleźć się takie przyczyny, jak „zwarcie do obudowy”, „zacieranie wirnika”, „uszkodzenie końcówki na tabliczce”. Przy założeniu że do grupy A powinny należeć przyczyny generujące do 80% wszystkich odrzutów, grupa ta powinna zostać rozszerzona o przyczynę „wadliwa praca łożysk”. Niewątpliwie wszystkie wymienione przyczyny są istotne dla występowania odrzutów wśród silników. Patrząc jednak na strukturę liczby odrzutów, można zauważyć, że pierwsze dwie wyróżniają się w bardzo znaczący sposób i to właśnie na nich skupiono dalszą analizę.

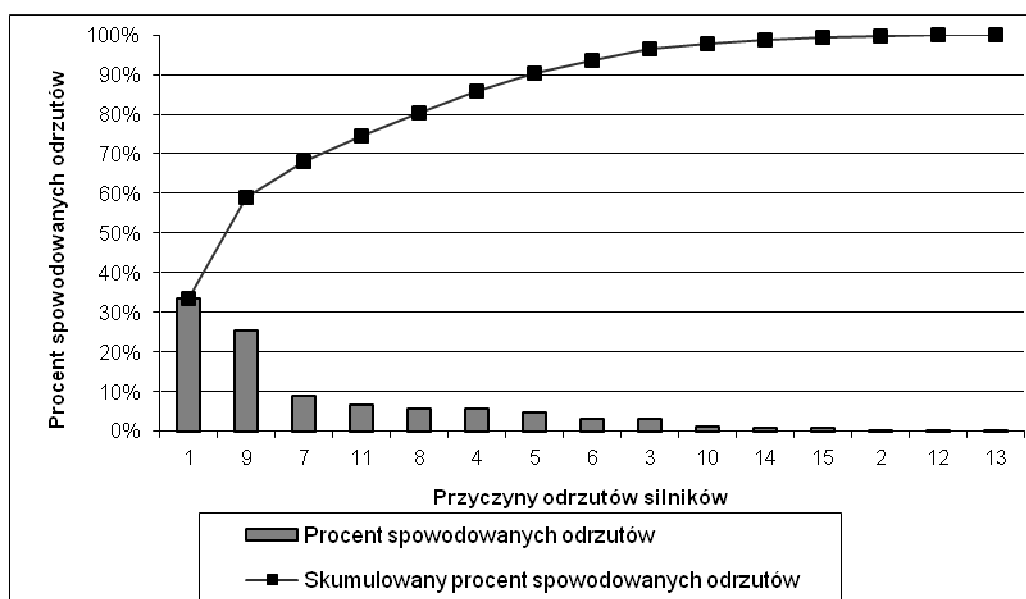
Tabela 2

Wyniki analizy ABC dla struktury przyczyn bezpośrednich odrzuceń silników

Nr	Przyczyna odrzutu	Liczba wystąpień [szt.]	Procent wystąpień [%]	Skumulowany procent wystąpień [%]	Grupa ilość	Grupa wartość
1	Zwarcie do obudowy	5668	33,53%	33,53%	A	A
9	Zacieranie wirnika	4316	25,53%	59,06%	A	A
7	Uszkodzone końcówki na tabliczce	1503	8,89%	67,95%	A	A

cd. tabeli 2

11	Wadliwa praca łożysk	1135	6,71%	74,67%	B	A
8	Uszkodzone obudowa lub detal	940	5,56%	80,23%	B	B
4	Przerwa w uzwojeniu	936	5,54%	85,77%	B	B
5	Błędne połączenie – nawijalnia	791	4,68%	90,45%	B	B
6	Błędne połączenie – montaż	527	3,12%	93,56%	B	B
3	Asymetria prądów i oporów	508	3,01%	96,57%	C	C
10	Niezdadne detale	214	1,27%	97,83%	C	C
14	Nadmierny poziom prądów, mocy	156	0,92%	98,76%	C	C
15	Inne	132	0,78%	99,54%	C	C
2	Zwarcie zwojowe	40	0,24%	99,78%	C	C
12	Wadliwa praca hamulca	35	0,21%	99,98%	C	C
13	Przekroczony poziom drgań	3	0,01%	100,00%	C	C



Rys. 3. Krzywa Pareto-Lorenza dla bezpośrednich przyczyn odrzuceń silników
 Fig. 3. Pareto-Lorenz curve of the direct reasons for motor rejections

Dla obu najistotniejszych bezpośrednich przyczyn ponownie za pomocą metody ABC przeprowadzono analizę powodów ich występowania. Dla przyczyny „zwarcie do obudowy” przeanalizowano dane z okresu 6 miesięcy. W przypadku przyczyny „zacieranie wirnika” możliwe było przeanalizowanie danych z 1 miesiąca. W obu przypadkach można jednak zaobserwować wyraźną strukturę badanych elementów, pozwalającą na zidentyfikowanie

przyczyn najistotniejszych. Zestawienie przyczyn wystąpienia zwarcia do obudowy zostało przedstawione odpowiednio w tabeli 3.

Tabela 3

Zestawienie przyczyn zwarcia do obudowy

Nr	Przyczyna zwarcia do obudowy	Liczba wystąpień [szt.]	Procent wystąpień [%]
1	Kabel przykręcony tarczą	205	10,91%
2	Krótkie klinopodkładki	27	1,44%
3	Przerwany drut w uzwojeniu	135	7,18%
4	Przesunięta blacha skrajna	58	3,09%
5	Uszkodzenie uzwojenia przy wkładaniu wirnika	9	0,48%
6	Uszkodzona izolacja Żłobkowa	97	5,16%
7	Uszkodzone uzwojenie (mechanicznie)	93	4,95%
8	Uszkodzony przewód wyprow. (mechanicznie)	130	6,92%
9	Wióry w uzwojeniu	4	0,20%
10	Wystająca klinopodkładka	286	15,22%
11	Zwarcia międzyfaz. (stojany bez przekładek)	492	26,18%
12	Zwarcia międzyfaz. (źle założona przekładka)	92	4,90%
13	Źle połączony	39	2,08%
14	Źle pospawany	8	0,43%
15	Źle uformowane uzwojenie	204	10,86%

Wszystkie zidentyfikowane przyczyny zostały posortowane na podstawie malejącej liczby wystąpień. Uporządkowana struktura przyczyn wraz z przyporządkowaniem do grup A, B, C została przedstawiona w tabeli 4.

Tabela 4

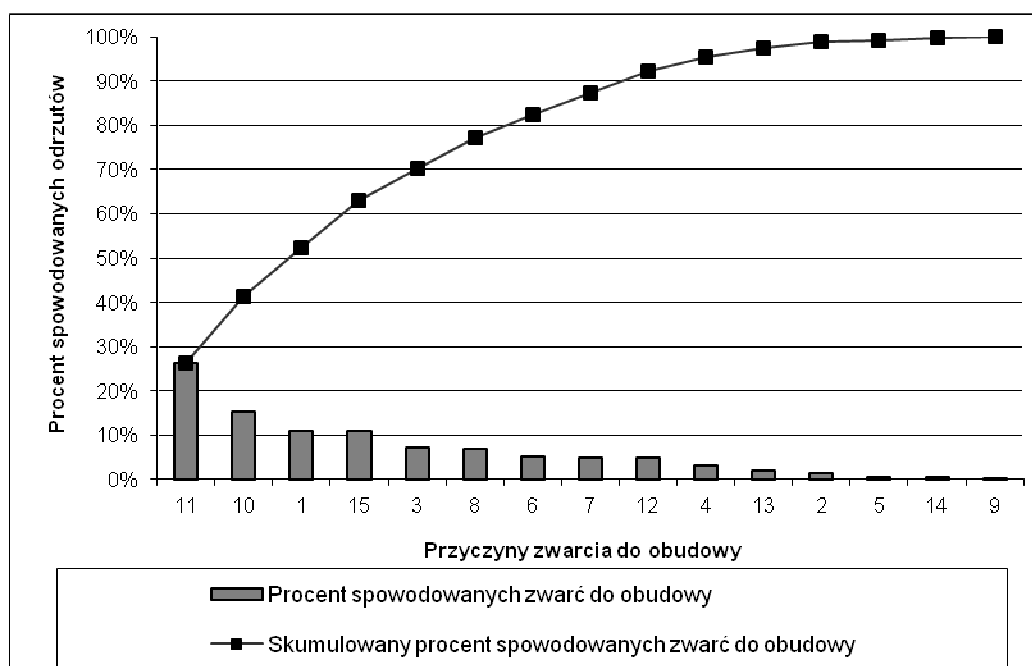
Wyniki analizy ABC dla przyczyn zwarcia do obudowy

Nr	Przyczyna zwarcia do obudowy	Liczba wystąpień [szt.]	Procent wystąpień [%]	Skumulowany procent wystąpień [%]	Grupa ilość	Grupa wartość
11	Zwarcia międzyfazowe (stojany bez przekładek)	492	26,18%	26,18%	A	A
10	Wystająca klinopodkładka	286	15,22%	41,41%	A	A
1	Kabel przykręcony tarczą	205	10,91%	52,32%	A	A
15	Źle uformowane uzwojenie	204	10,86%	63,17%	B	A
3	Przerwany drut w uzwojeniu	135	7,18%	70,36%	B	A
8	Uszkodzony przewód wyprow.(mechanicznie)	130	6,92%	77,28%	B	A

cd. tabeli 4

6	Uszkodzona izol. żłobkowa	97	5,16%	82,44%	B	B
7	Uszkodzone uzwojenie (mechanicznie)	93	4,95%	87,39%	C	B
12	Zwarcia międzyfaz. (źle założona przekładka)	92	4,90%	92,28%	C	B
4	Przesunięta blacha skrajna	58	3,09%	95,37%	C	C
13	Źle połączone	39	2,08%	97,45%	C	C
2	Krótkie klinopodkładki	27	1,44%	98,88%	C	C
5	Uszkodzenie uzwojenia przy wkładaniu wirnika	9	0,48%	99,36%	C	C
14	Źle pospawany	8	0,43%	99,79%	C	C
9	Wióry w uzwojeniu	4	0,21%	100,00%	C	C

Wykres Pareto-Lornza dla przeprowadzonej analizy ABC przyczyn zwarcia do obudowy przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Krzywa Pareto-Lorenza dla przyczyn zwarcia do obudowy
Fig. 4. Pareto-Lorenz curve of the reasons for shorting to the frame

Szczegółowe przyczyny zostały także zidentyfikowane dla zacierającego się wirnika. Zestawienie tej grupy zaprezentowano w tabeli 5.

Tabela 5

Zestawienie przyczyn zatarcia wirnika

Nr	Przyczyna zwarcia do obudowy	Liczba wystąpień [szt.]	Procent wystąpień [%]
1	Wióry stalowe lub aluminiowe	42	20,69%
2	Ciasna piasta łożyska	36	17,73%
3	Wystająca klinopodkładka	16	7,88%
4	Wadliwa praca łożysk	28	13,79%
5	Przydźwięk magnetyczny	11	5,42%
6	Wystające przekładki m-faz.	7	3,45%
7	Bicie pakietu wirnika	12	5,91%
8	Zacieki farby na wewnętrznej stronie pakietów	16	7,88%
9	Zacieranie pierścienia segera o łożysko	22	10,84%
10	Źle wyprowadzone przewody	9	4,43%
11	Źle obcięty sznurek	2	0,99%
12	Luźna piasta łożyskowa	2	0,99%

Również w tym przypadku w celu określenia przyczyn o największym znaczeniu zostały one posortowane na podstawie malejącej liczby wystąpień. Uporządkowana struktura przyczyn zatarcia wirnika wraz z przyporządkowaniem do grup A, B, C została przedstawiona w tabeli 6. Krzywą Pareto-Lorenza dla przyczyn zacierania wirnika pokazano na rysunku 5.

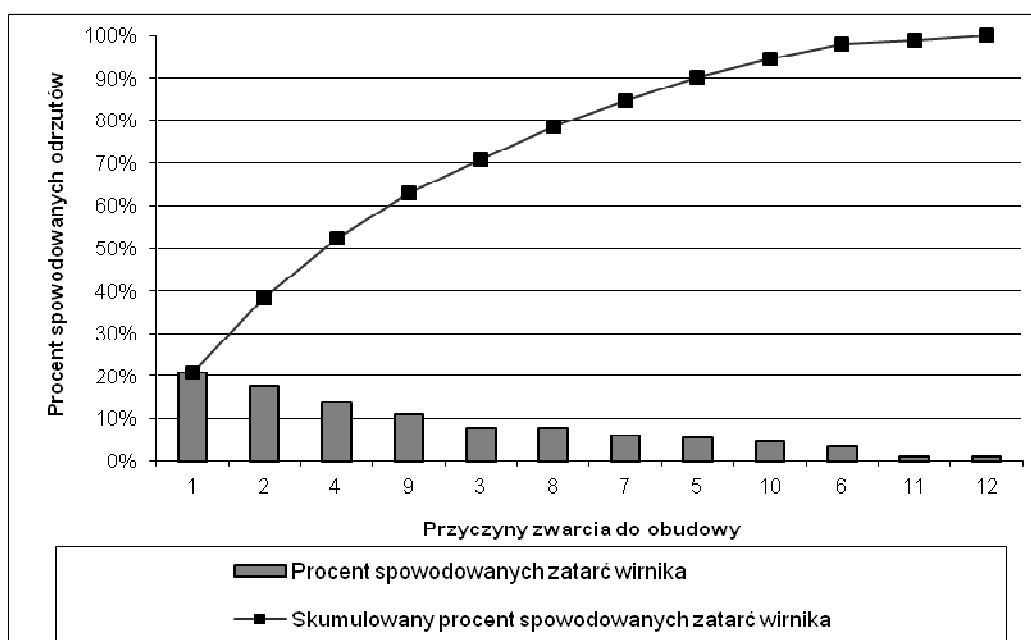
Tabela 6

Wyniki analizy ABC dla przyczyn zacierania wirnika

Nr	Przyczyna zacierania wirnika	Liczba wystąpień [szt.]	Procent wystąpień [%]	Skumulowany procent wystąpień [%]	Grupa ilość	Grupa wartość
1	Wióry stalowe lub aluminiowe	42	20,69%	20,69%	A	A
2	Ciasna piasta łożyska	36	17,73%	38,42%	A	A
4	Wadliwa praca łożysk	28	13,79%	52,21%	B	A
9	Zacieranie pierścienia segera o łożysko	22	10,84%	63,05%	B	A
3	Wystająca klinopodkładka	16	7,88%	70,93%	B	A
8	Zacieki farby na wew. stronie pakietów	16	7,88%	78,81%	B	A
7	Bicie pakietu wirnika	12	5,91%	84,72%	C	B

cd. tabeli 6

5	Przydźwięk magnetyczny	11	5,42%	90,14%	C	B
10	Źle wyprowadzone przewody	9	4,43%	94,57%	C	B
6	Wystające przekładki m-faz.	7	3,45%	98,02%	C	C
11	Źle obcięty sznurek	2	0,99%	99,01%	C	C
12	Luźna piasta łożyskowa	2	0,99%	100,00%	C	C



Rys. 5. Krzywa Pareto-Lorenza dla przyczyn zatarcia wirnika

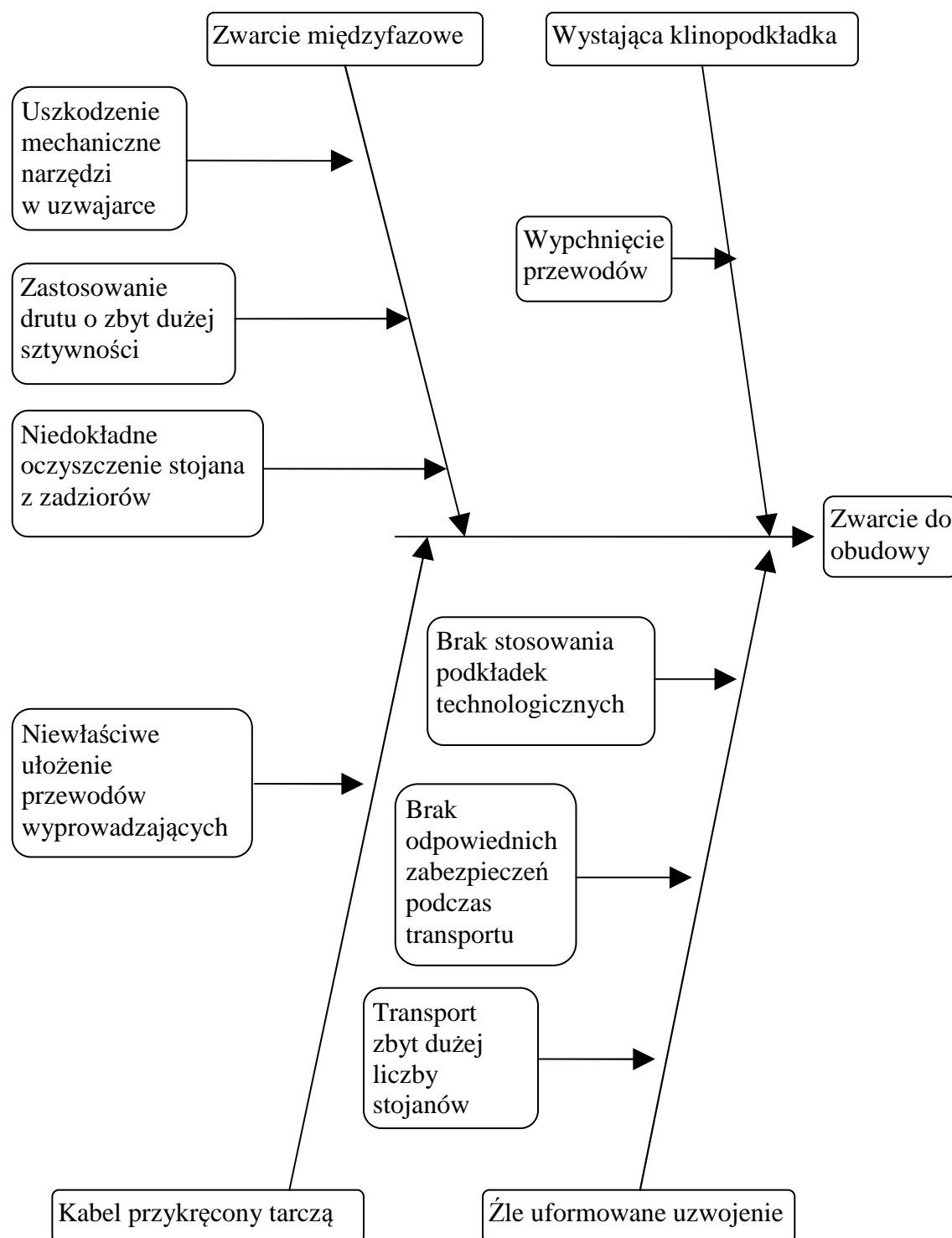
Fig. 5. Pareto-Lorenz curve of the reasons for rotor seizure

Zarówno przypadku przyczyn zacierania się wirnika, jak i w przypadku przyczyn przebiecia do obudowy w początkowej fazie krzywa Pareto-Lorenza jest bardziej płaska niż wzorcowa krzywa wynikająca z zależności 20-80. Wynikiem tego jest wyraźna różnica w zakresie wad przyporządkowanych do grupy A na podstawie czynnika ilościowego oraz czynnika wartościowego. Przy wzięciu pod uwagę czynnika wartościowego grupa najistotniejszych przyczyn z obu analiz obejmowałaby aż 12 spośród nich, co stanowi 44,4% wszystkich przyczyn branych pod uwagę. W związku z tym, że głównym celem analizy ABC jest identyfikacja małej grupy przyczyn najistotniejszych, kryterium wartościowe nie powinno być w tym przypadku przyjmowane bezkrytycznie. W związku z powyższym do pogłębionej analizy zdecydowano się wybrać te przyczyny, które generują powyżej 10% wystąpień. Spośród powodów przebiecia do masy wybrano takie przyczyny, jak: zwarcie międzyfazowe,

wystająca klinopodkładka, kabel przykręcony tarczą oraz źle uformowane uzwojenie, spośród przyczyn zatarcia wirnika natomiast: wióry stalowe lub aluminiowe, ciasną piastę łożyska, wadliwą pracę łożysk oraz zacieranie pierścienia segera o łożysko.

4. Pogłębiona analiza przyczyn dla zwarcia do obudowy oraz zatarcia wirnika

Dla każdej z wymienionych grup przyczyn przeprowadzono badania pogłębione. W ramach burzy mózgów wspieranej diagramami Ishikawy były poszukiwane szczegółowe przyczyny w podstawowych obszarach metody 5M. Zidentyfikowane zostały przyczyny z obszarów takich, jak człowiek, narzędzia i materiały. Do końcowego zobrazowania uzyskanej struktury wykorzystano diagramy Ishikawy. Wyniki pogłębionej analizy powodów zwarcia do obudowy przedstawiono na rysunku 6, natomiast dla zatarcia wirnika – na rysunku 7. Krótką charakterystykę poszczególnych przyczyn przedstawiono w tabelach 7 oraz 8. W tabelach tych, w kolumnie „typ”, zaznaczono również, czy dana przyczyna jest związana z: błędem człowieka – „C”, problemem z narzędziami – „N”, problemem z materiałami – „M”.



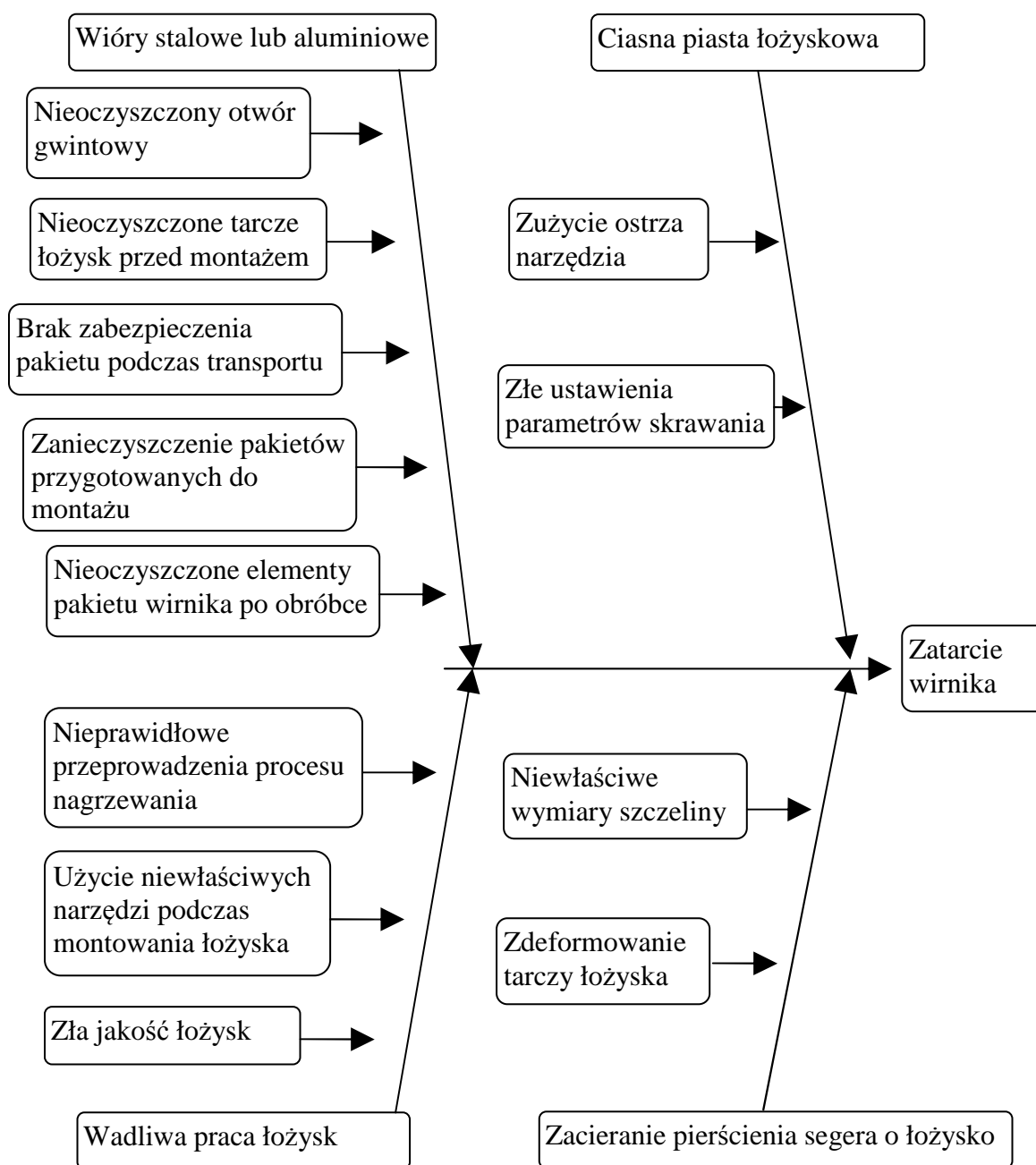
Rys. 6. Wykres Ishikawy dla przyczyn zwarcia do obudowy

Fig. 6. Ishikawa diagram of the reasons for shorting to the frame

Tabela 7

Charakterystyka przyczyn zwarcia do obudowy

Przyczyna	Opis	Typ
Uszkodzenie mechaniczne narzędzi w uzwojarce	W przypadku uszkodzenia przewodnic w czasie procesu uzwojania może dojść do przetarcia izolującej warstwy emalii, którą są pokryte przewody nawojowe. W rezultacie może dojść do zwarcia.	N
Zastosowanie drutu o zbyt dużej sztywności	W przypadku zastosowania podczas procesu uzwojania przewodów o zbyt dużej sztywności może dochodzić do przetarcia izolacji, co może prowadzić do zwarcia.	M
Niedokładne oczyszczenie stojana z zadziórów	W przypadku występowania w stojanie niemczyszczonych zadziórów oraz ostrych krawędzi może dojść do przetarcia izolacji przewodów, co może prowadzić do zwarcia.	C
Wypchnięcie przewodów	W wyniku zużycia tulei używanych do prasowania czoła kształt czoła nie odpowiada wymogom technologicznym. Zdeformowana ściana boczna czoła uzwojenia może wypychać żłobka druty uzwojenia wraz z klinopodkładką. W trakcie obrabiania powierzchni wewnętrznej korpusu silnika może dojść do przetarcia klinopodkładki i znajdujących się pod nią drutów uzwojenia. W rezultacie może dojść do zwarcia do obudowy.	N
Niewłaściwe ułożenie przewodów wyprowadzających	W przypadku gdy przewody wyprowadzające wystają poza korpus silnika, mogą zostać przykręcone tarczą łożyskową montowaną na późniejszym etapie. W wyniku tego może dojść do zmiżdżenia izolacji przewodów, co może skutkować zwarcie do obudowy.	C
Brak stosowania podkładek technologicznych	W przypadku braku stosowania podkładek technologicznych w procesie formowania uzwojenia może dojść do jego zniekształcenia, w wyniku czego może dojść do przetarć powodujących zwarcie.	C
Brak odpowiednich zabezpieczeń podczas transportu	W przypadku braku zastosowania podczas transportu stojanów do impregnacji odpowiednich przekładek zabezpieczających może dojść do zdeformowania uzwojenia, w wyniku czego mogą powstać przetarcia powodujące zwarcie.	C
Transport zbyt dużej liczby stojanów	W przypadku przekroczenia dopuszczalnej liczby warstw stojanów podczas transportu do impregnacji może dojść do zniekształcenia uzwojenia, co może się przyczynić do powstania przetarć powodujących zwarcie.	C



Rys. 7. Wykres Ishikawy dla przyczyn zatarcia wirnika

Fig. 7. Ishikawa diagram of the reasons for rotor seizure

Tabela 8

Charakterystyka przyczyn zatarcia wirnika

Przyczyna	Opis	Typ
Nieoczyszczony otwór gwintowy	W korpusie jest wiercony i gwintowany otwór pod uszak. Jeżeli wióry powstałe w wyniku wiercenia zostaną niedokładnie usunięte z korpusu, mogą doprowadzić do zatarcia silnika.	C
Nieoczyszczone tarcze łożysk przed montażem	W wyniku wiercenia, toczenia i skrawania na tarczach pozostają wióry. Jeżeli proces oczyszczania zostanie przeprowadzony niedokładnie, mogą one doprowadzić do zatarcia wirnika.	C
Brak zabezpieczenia pakietu podczas transportu	Na skutek braku odpowiedniego zabezpieczenia w trakcie transportu wewnątrzpakietowego poszczególne pakiety mogą się przemieszczać. Wynikiem tego może być pojawienie się wewnątrz pakietów wiórów metalowych i innych zanieczyszczeń z nieoczyszczonych palet.	C
Zanieczyszczenie pakietów przygotowanych do montażu	Pakiety są czyszczone sprężonym powietrzem; jeżeli wcześniej oczyszczone sztuki nie zostaną odgradzone od aktualnie czyszczonego pakietu, to wydmuchiwane wióry mogą osiąść na wcześniej czyszczonych pakietach.	C
Nieoczyszczone elementy pakietu wirnika po obróbce	Po wyjęciu z formy oraz po procesie toczenia na elementach może pozostać nadmiar materiału, a także mogą występować luźne fragmenty, które doprowadzają do zatarcia silnika.	C
Zużycie ostrza narzędzia	Nadmierne zużycie noża w tokarce lub trzpienia wieloostrowego w maszynie honującej powoduje zmianę wymiarów obrabianego elementu.	N
Złe ustawienia parametrów skrawania	Ustawienia parametrów skrawania są wykonywane przez pracowników obsługujących tokarkę. Istnieje niebezpieczeństwo błędnej konfiguracji, co powoduje odstępstwo od wymaganych wymiarów.	C
Nieprawidłowe przeprowadzenia procesu nagrzewania	W celu uniknięcia zbędnego tarcia przed zamontowaniem łożyska są nagrzewane. Instrukcja stanowiskowa zawiera dokładne wytyczne odnośnie do czasu i temperatury tego procesu. Jeżeli parametry nie zostaną dotrzymane, w trakcie nakładania w wyniku tarcia może dojść do uszkodzenia mechanicznego łożyska.	C
Zła jakość łożysk	Łożyska pochodzą od dostawców zewnętrznych. Istnieje niebezpieczeństwo, że ich jakość nie jest zgodna z przyjętymi założeniami. Najczęstszym problemem występującym w przypadku łożysk jest niewystarczająca ilość smaru w ich wnętrzu.	M
Użycie niewłaściwych narzędzi podczas montowania łożyska	Do zamontowania łożyska jest używana specjalna tuleja. Jeżeli pracownik użyje tulei o zbyt dużej średnicy w stosunku do średnicy wałka, może dojść do uszkodzenia łożyska.	C
Niewłaściwe wymiary szczeliny	Skrzynki tarczy są zaciskane przez pracownika dociskarkami pneumatycznymi; jeżeli docisk będzie zbyt słaby szczelina, w której znajduje się pierścień segera, może nie spełniać wymiarów technologicznych.	C

5. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań określono dwie główne przyczyny odrzutów wśród wyprodukowanych silników. Dla każdej z nich przeprowadzono pogłębione badania, które pozwoliły na identyfikację szczegółowych przyczyn występującego problemu. Zaprezentowane przyczyny można podzielić na: związane z błędem człowieka, niewłaściwymi materiałami oraz niewłaściwym stanem narzędzi. Spośród dziewiętnastu rozpoznanych przyczyn aż czternaście można zaliczyć do przyczyn związanych z czynnikiem ludzkim, trzy spośród nich są związane z nieprawidłowym stanem narzędzi, a jedynie dwie z niewłaściwymi materiałami. Zidentyfikowane przyczyny stanowią dobry punkt wyjścia do prac mających na celu zaproponowanie konkretnych działań zapobiegawczych, których wdrożenie powinno pozwolić na ograniczenie liczby silników negatywnie weryfikowanych po zakończeniu całego procesu produkcyjnego.

Bibliografia

1. Borkowski S., Mierzenie poziomu jakości; Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania i Marketingu, Sosnowiec 2004.
2. Dahlggaard J.J., Kristensen K., Kanji G.K., Podstawy zarządzania jakością, PWN, Warszawa 2004.
3. Hamrol A., Mantura W., Zarządzanie jakością: teoria i praktyka. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Poznań 2011.
4. Sęp J., Techniki wspomagania zarządzania jakością, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2006.
5. Jazdon A., Doskonalenie zarządzania jakością, Wydawnictwo OPO, Bydgoszcz 2001.
6. Juran J.M., Gryna F.M., Jakość, projektowanie, analiza, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1974.
7. Kreier E., Łuczak J., ISO 9000. Łatwy i skuteczny sposób uzyskania certyfikatu jakości, FORUM, Poznań 2003.
8. Krzemień E., Zintegrowane zarządzanie – aspekty towaroznawcze: jakość środowisko, technologia, bezpieczeństwo, Wydawnictwo Śląsk, Katowice-Warszawa 2004.

9. Podstawy inżynierii jakości, praca zbiorowa pod redakcją Adama Hernasa, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1996.
10. Sarjusz-Wolski Z., Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2000.
11. Sierpińska M., Niedbała B., Controlling operacyjny w przedsiębiorstwie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
12. Szczęśniak B., Zastosowanie arkusza kalkulacyjnego do wspomaganie metody ABC, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 50, Gliwice 2010.
13. Tague N.R., The Quality Toolbox, ASQ Quality Press, Milwaukee 2005.
14. Urbaniak M., Zarządzanie jakością, teoria i praktyka, Difin, Warszawa 2004.
15. Vollmuth H.J., Controlling, instrumenty od A do Z, analizy operacyjne, analizy strategiczne, Placet, Warszawa 1995.
16. Wolniak R., Skotnicka B., Metody i narzędzia zarządzania jakością, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
17. Zalewski R., Zarządzanie jakością w zakładach przetwórstwa rolno-spożywczego, Dom Organizatora TNOiK, Toruń 1998.

Abstract

The problem of quality of the products manufactured is currently one of the most crucial aspects of corporate management. When dealing with complex production processes, preparation and implementation of solutions aimed at ensuring the appropriate quality may prove to be expensive and labour consuming. Consequently, it is necessary to identify the spheres in which such activities are the most efficient. In order to determine them, one can apply the appropriate quality management tools. In this respect, the methods particularly worth mentioning are the Ishikawa diagram and the Pareto analysis. The former, through appropriate visualisation and structuring of the phenomenon being examined, contributes to more comprehensive and effective identification of the problem. The latter enables arrangement of the particular elements in order to determine the most crucial ones. Based on the investigations conducted and described in the literary sources referenced, the author of the article has discussed both the aforementioned tools. Another problem discussed in the paper is also their application for the sake of identification of the most important reasons for the

occurrence of flaws in electric motors. Using the Pareto analysis, two main direct causes of the motor manufacturing rejects have been identified, namely the “short-circuit on the housing” and the “motor seizure”. For both the direct causes, successive levels of causes have been determined, for which, by means of brain storming and the Ishikawa diagrams, in-depth investigations have been conducted. Consequently, 19 detailed causes have been established. The structure identified constitutes a sufficient starting point for further actions aimed at developing specific preventive measures to be implemented in order to reduce the number of motors negatively verified after the production process.