

Zastosowanie modelu macierzy przepływu błędów w sterowaniu jakością wyrobów w zakładzie produkcyjnym

Angelina Rajda-Tasior

Katowice, Poland

Abstrakt

Każde przedsiębiorstwo musi dostarczać produktów o wysokim poziomie jakości, aby kupujący był zainteresowany danym wyrobem. Wydaje się oczywistym, że oczekiwania oraz zadowolenie nabywcy są w takiej sytuacji najbardziej istotne. Należy wobec tego przełożyć oczekiwania nabywcy na parametry projektowanego wyrobu. Zatem istnieje konieczność aktywnego oddziaływania na jakość i wymaga ona rozwiązania problemu z obszaru sterowania jakością w przedsiębiorstwie. Sterowanie jakością obejmuje monitorowanie procesów (działań) oraz eliminowanie przyczyn błędów na wszystkich etapach cyklu życia produktu.

W opracowaniu zaproponowano opis przepływu błędów w procesach cyklu życia produktu za pomocą modelu macierzy. Na podstawie przeprowadzonej analizy przedstawiono rozwiązanie pozwalające przekształcić proces reklamacyjny w narzędzie doskonalenia. W artykule dokonano charakterystyki pojęcia błędu występującego w poszczególnych etapach cyklu życia produktu jako odchylenia od wymagań jakościowych. Wyznaczono również parametry odporności wyrobu na zakłócenia. Problem przedstawiony w artykule jest spotykany w zagadnieniach z obszaru sterowania jakością. W artykule zwrócono również uwagę na korzyści ekonomiczne wynikające ze sterowania produkcją przy zastosowaniu proponowanego modelu przepływu błędów. Badania przeprowadzono z użyciem pakietu R.

Słowa kluczowe: Sterowanie jakością, Wadliwość, Analiza reklamacji, Cykl życia produktu

1. Wprowadzenie

Zagadnienie wytwarzania produktów o wysokim poziomie jakości dotyczą odpowiedniego pomiaru procesów i związane są z wyrażonymi lub niewyrażonymi oczekiwaniami nabywcy. Należy przełożyć oczekiwania nabywcy na parametry projektowanego wyrobu. Istnieje zatem konieczność aktywnego oddziaływania na jakość i wymaga ona rozwiązania problemu z obszaru sterowania jakością. Sterowanie jakością obejmuje monitorowanie procesów (działań) oraz eliminowanie przyczyn błędów na wszystkich etapach cyklu życia produktu. Obok tradycyjnych technik zarządzania jakością, do których zalicza się między innymi popularne diagramy Ishikawy i Pareto–Lorenza, zaliczyć można diagramy macierzowe. Są to narzędzia, które w swoich założeniach uwzględniają możliwość rozwiązań w obszarach związanych z procesem realizacji wyrobów, rozeznaniem rynku, projektowaniem, dystrybucją i sprzedażą czy obsługą posprzedażną, a także z unicestwieniem produktu. Diagramy macierzowe, umożliwiają określenie związków i zależności pomiędzy różnymi charakterystykami jakości, składającymi się na wartość oferowaną klientowi. Mogą to być na przykład powiązania między przyczynami i skutkami nieodpowiedniej jakości, czy wymaganiami klienta a możliwościami wytwórczymi producenta.

2. Wadliwość a niezgodność. Charakterystyka błędów

Z cyklem życia produktu nierozłącznie związane jest pojęcie **wadliwości**. W procesie kreowania wartości produktu mogą pojawiać się błędy (tabela. 1), których rozmieszczenie w procesie decyduje o ich wielkości. Z tego względu należy zidentyfikować umiejscowienie błędów i dokonać pomiaru ich wartości w celu ewentualnej zmiany ich rozmieszczenia na bardziej korzystne, możliwe do wychwycenia w procesie kontroli. Termin **produkt wadliwy** nie obejmuje swoim zakresem wyłącznie fazy produkcji, ale wykracza daleko poza przedsiębiorstwo (producenta). **Wadliwość** produktu obejmuje również jego wpływ na środowisko oraz wytworzenie i degradację zgodnie z zasadą poszanowania zasobów Ziemi. Produkt wadliwy w innowacyjnym ujęciu może więc być niezgodny z wymaganiami w poszczególnych fazach jego rozwoju i obejmować błędy marketingowe, rozwojowe, projektowania i wykonania a także informacyjne oraz dotyczące zarządzania.

Ze statystycznego punktu widzenia ocena całego produktu lub jego części jest wyrażana często poprzez wskazanie występujących w nim niezgodności

Rodzaje błędów	Charakterystyka błędów
Marketingowe	Dotyczą niekompletności wyspecyfikowanych wymagań klienta, niedoboru odpowiednich metod badania jego satysfakcji czy nieprzeprowadzenia rachunku rentowności klient [1]. Są związane z niewłaściwym rozpoznaniem cech produktu konkurencyjnego, co może uniemożliwić jego doskonalenie.
Rozwojowe	Inaczej błędy ryzyka postępu[2] dotyczą tych właściwości produktu, które - uznane w czasie t za zgodne z wymaganiami - stają się wadliwe w czasie $t + 1$ na skutek rozwoju nauki i techniki (materiały z azbestem, telefony komórkowe).
Projektowania	Inaczej konstrukcyjne, dotyczące wzorca produktu. Zgodnie z zasadami przyjętymi w fazie projektowania produkt powinien spełniać funkcje, do których jest przeznaczony, a jednocześnie nie stwarzać niebezpieczeństwa dla otoczenia. W przeciwnym razie mogą pojawić się błędy z zakresu niezawodności, obsługi produktu, możliwości eksploatacji produktu w warunkach ekstremalnych (katastrofy np. samochodowe).
Produkcyjne	Inaczej wykonania. Postęp nauki i techniki pozwolił na mechanizację i robotyzację faz wytwórczych produktu, co zmniejszyło prawdopodobieństwo zaistnienia błędu (braku produkcyjnego). Także zarządzanie produktem wadliwym było zapoczątkowane właśnie w procesach wytwórczych z tego względu, że każdy egzemplarz wytworzonego produktu można porównać z wzorcem – produktem niewadliwym. Błędy wykonania dotyczą wadliwości zarówno w procesach technologicznych, jak i magazynowania, transportowania oraz kontroli jakości.
Informacyjne	Związane są z etykietami informacyjnymi i ostrzeżeniami przed ewentualnym niebezpieczeństwem wynikającym z użytkowania produktu. Należą do nich niekomunikatywne informacje, niejasne, nieprzejrzyste, i niezrozumiałe instrukcje dołączone do produktu lub jego dokumentacji. Problem błędów informacyjnych wiąże się z wiedzą konsumenta na temat produktu. Dobitnie podkreśla ten problem L. Wasilewski, pisząc: <i>Sprawność (konsumenta) jest zmienną losową, z której rozkładu nie można wykluczyć skrajnego niedbalstwa lub skrajnej nieudolności</i> [3].
Zarządzania	Związane są z nietrafnością i opóźnieniem w procesie podejmowania decyzji. Wynikają przede wszystkim z braku faktów, na których powinny być oparte działania decyzyjne. Wiedza i technologie (cyfrowe) są w tym względzie szczególnymi elementami wspierającymi decyzje zarządzających przedsiębiorstwem.

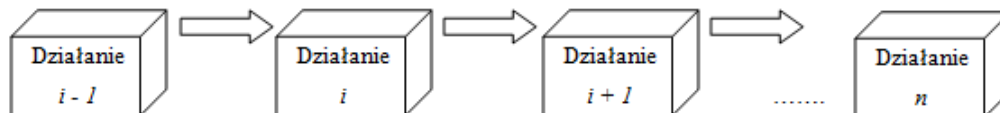
Tabela 1: Rodzaje i charakterystyki błędów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [4]

lub poprzez zakwalifikowanie produktu jako jednostki niezgodnej. **Niezgodność** jest to stan cechy, który oznacza niespełnienie wymagania. Wystąpienie w wyrobie niezgodności nie musi jednak kwalifikować go jako jednostki niezgodnej. Jednostka niezgodna jest to produkt obciążony liczbą niezgodności większą od przyjętej za dopuszczalną lub też wadą, czyli niezgodnością, która wyklucza pełną wartość użytkową wyrobu.

3. Model przepływu błędów

Tworzenie produktu wymaga odpowiedniego pomiaru procesów, w którym jest on tworzony. Każdy proces składa się z działań (rysunek 1), które wyodrębnione zostały w kolejnych procesach.



Rysunek 1: Activities at the sequence process

Do określonego działania w procesie są dopuszczone błędy (wadliwe części), w tym działaniu powstają także błędy (wadliwe części). Zarówno jedne, jak i drugie nie zawsze są wykrywane i przepływają do dalszych działań procesu (także jako wadliwe części). Wśród wymienionych działań można znaleźć działania związane z niezgodnościami. Jest to bliskie podejściu Taichiego Ohno [5], który opracował model siedmiu rodzajów działań, które nie tworzą wartości dla klienta. Są to działania związane z nadprodukcją, z oczekiwaniem (np. opóźnione dostawy), ze zbędnym transportem, ze zbędnym magazynowaniem, z nieodpowiednim przygotowaniem produkcji, z nieodpowiednim przygotowaniem warsztatu pracy oraz z **niezgodnościami dotyczącymi wymagań jakościowych (błędami)**.

3.1. Macierzowy model przepływu błędów

Niech kolejne wiersze macierzy X określają liczbę błędów powstałych w działaniu i , a wykrytych zarówno w działaniu i , jak i w dalszych działaniach ($i + 1, i + 2, \dots, n$). Kolumny natomiast – liczbę błędów powstałych w poprzednich działaniach ($i - 1, i - 2, \dots, 1$) i w działaniu i , a wykrytych w działaniu i . Macierz X o wymiarach $(n - 1)n$:

$i \backslash j$	1	2	...	n
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
...
$n - 1$	0	0	...	$x_{(n-1)n}$

Tabela 2: Diagram macierzy przepływu błędów dla procesów produkcyjnych

$$X = [x_{ij}] \quad (1)$$

gdzie:

x – liczba błędów

i – działania, w których powstają błędy

j – działania, w których są wykrywane błędy

3.2. Parametry mierników przepływu błędów

Na podstawie proponowanej macierzy przepływu błędów możliwe jest wyliczenie zestawu parametrów określających zależności między poszczególnymi miernikami ich przepływu. Zgodnie z (Rysunek 2) wyznacza się parametry według wzorów (2-12).

$$W_1 = \frac{a_i}{A_i} \quad (2)$$

$$W_2 = \frac{b_i}{A_i} \quad (3)$$

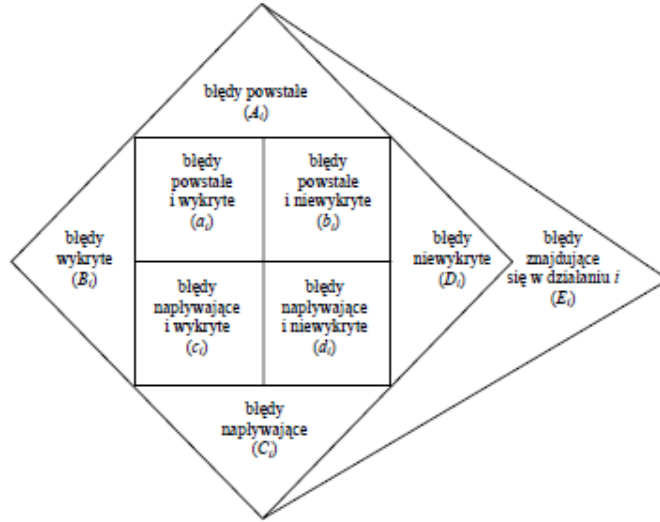
$$W_3 = \frac{c_i}{C_i} \quad (4)$$

$$W_4 = \frac{d_i}{C_i} \quad (5)$$

$$W_5 = \frac{a_i}{B_i} \quad (6)$$

$$W_6 = \frac{c_i}{B_i} \quad (7)$$

$$W_7 = \frac{b_i}{D_i} \quad (8)$$



Rysunek 2: Synthetic figure of matrix diagram types referred to the measures of defect flow

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6]

$$W_8 = \frac{d_i}{D_i} \quad (9)$$

$$W_9 = \frac{A_i}{E_i} \quad (10)$$

$$W_{10} = \frac{C_i}{E_i} \quad (11)$$

$$W_{11} = \frac{B_i}{E_i} \quad (12)$$

gdzie:

a_i - błędy powstałe i wykryte w działaniu i .

b_i - błędy powstałe w działaniu i , a wykrytymi w następnych działaniach ($i+1, i+2, \dots, n$).

c_i - błędy powstałymi w poprzednich działaniach ($i-1, i-2, \dots, 1$), a wykrytymi w działaniu i .

d_i - błędy powstałymi w poprzednich działaniach ($i-1, i-2, \dots, 1$), a wykrytymi w następnych działaniach ($i+1, i+2, \dots, n$).

- A_i - błędy powstałymi w działaniu i .
- B_i - błędy wykrytymi w działaniu i .
- C_i - błędy przechodzącymi do działania i .
- D_i - błędy niewykrytymi w działaniu i .
- E_i - błędy znajdującymi się w działaniu i w czasie t .

4. Weryfikacja proponowanego rozwiązania

Koncepcję macierzowego ujęcia przepływu błędów poddano próbie weryfikacji w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Rozpatrywany proces dotyczył produkcji wyrobów z branży meblowej (sofy, narożniki, fotele, łóżka, materace). W procesie tym rozróżniono kilkanaście działań, które przyporządkowano procesom innowacyjnym, operacyjnym i obsługi po-sprzedażnej. Wykorzystano przy tym informacje pochodzące z działu kontroli jakości i reklamacji. Do budowy tablicy macierzowej przepływu błędów wykorzystano diagram typu L uwzględniający relacje dwóch zbiorów charakterystyk jakości: 9 działań, w których powstają błędy i oraz 12 działań, w których wykrywa się błędy j . Działania i , w których błędy mogą powstać:

1. rozwój produktu
2. wzorcownia
3. stolarnia
4. montownia
5. szwalnia
6. tapicernia
7. pakownia
8. magazyn
9. transportowanie

Działania j , w których błędy mogą zostać wykryte:

- 1-9 działania z grupy i oraz:
10. kontrola jakości (na tapicerni)
11. użytkowanie u klienta
12. kontrola wyrywkowa miesięczna na magazynie

Z kart kontrolnych oraz zgłoszeń reklamacyjnych wyodrębniono błędy jakie popełniano w konkretnych działaniach, kolejno miejsca, w których je wykryto oraz ich liczebności. Analiz błędów dotyczyła jednego miesiąca. Ujęcie ilościowe zaprezentowano w tabeli 3.

Analiza diagramu pozwala na ustalenie działań obejmujących identyfikację przyczyn niezgodności, określenie koniecznych działań korygujących

$i \backslash j$	RW	W	S	M	SZ	T	P	MA	TR	KJ	KJM	H	KL	Błędy powstałe
RW	0	2	0	0	0	0	4	0	2	1	0	0	1	10
W	0	0	5	4	6	8	2	0	0	1	0	0	2	28
S	0	0	0	5	0	2	0	0	0	3	2	0	5	17
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	5
SZ	0	0	0	0	0	70	0	0	0	25	35	0	15	145
T	0	0	0	0	0	12	4	0	0	70	40	0	50	176
P	0	0	0	0	0	0	0	13	27	0	15	50	41	146
MA	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	30	0	37
TR	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	99	66	168
Błędy wykryte	0	2	5	9	6	92	10	13	37	100	97	179	182	732

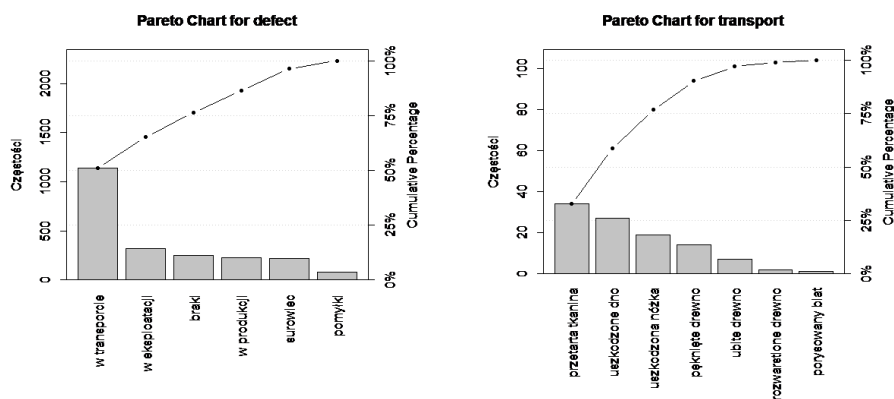
Tabela 3: Macierz przepływu błędów dla procesów produkcyjnych

$i \backslash j$	RW	W	S	M	SZ	T	P	MA	TR	KJ	KJM	H	KL	Błędy powstałe
RW	0	2	0	0	0	0	4	0	2	1	0	0	1	10
W	0	0	5	4	6	8	2	0	0	1	0	0	2	28
S	0	0	0	5	0	2	0	0	0	3	2	0	5	17
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	5
SZ	0	0	0	0	0	70	0	0	0	25	35	0	15	145
T	0	0	0	0	0	12	4	0	0	70	40	0	50	176
P	0	0	0	0	0	0	0	13	27	0	15	50	41	146
MA	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	30	0	37
TR	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	99	66	168
Błędy wykryte	0	2	5	9	6	92	10	13	37	100	97	179	182	732

Tabela 4: Macierz przepływu błędów dla procesów produkcyjnych

oraz zaplanowanie działań zapobiegających powtórnemu wystąpieniu niezgodności. Na podstawie analizy macierzy przepływu błędów zaznaczone zostały działania, w których błędów powstaje najwięcej (Tabela 3). Za 70 % wad odpowiadają wady powstałe podczas **tapicerowania i transportowania**. Błędy jakie powstają na tapicerni wykrywane są w działaniach: tapicerowanie, pakowanie, kontrola jakości stuprocentowa, kontrola jakości wyrzykowa i podczas użytkowania u klienta. Dla zobrazowania skali wszystkich wad skonstruowano diagram Pareto – Lorenza. Drugi diagram informuje, że 60 % wszystkich wad jakie powstają w transporcie dotyczy przetartej tkaniny i uszkodzonego drewna.

W tabeli 4 zaznaczono działania, których wykrywa się najwięcej błędów. Podczas składowania na hurtowni oraz w czasie użytkowania produktów u klientów uwidacznia się najwięcej wad. W celu podkreślenia działania **kontrola jakości stuprocentowa**, w czasie którego powinno zostać wykryte



(a) rodzaje defektów

(b) wady w transporcie

Rysunek 3: Diagram Pareto – Lorenza

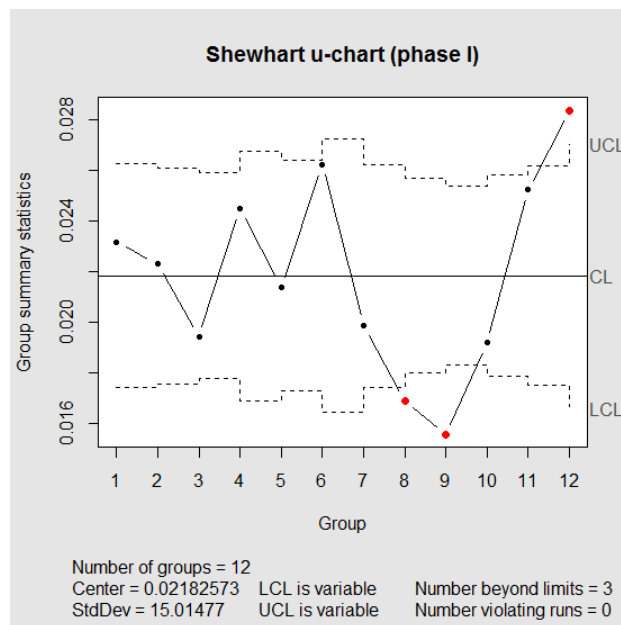
$i \backslash j$	RW	W	S	M	SZ	T	P	MA	TR	KJ	KJM	H	KL	Błędy powstałe
RW	0	2	0	0	0	0	4	0	2	1	0	0	1	10
W	0	0	5	4	6	8	2	0	0	1	0	0	2	28
S	0	0	0	5	0	2	0	0	0	3	2	0	5	17
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	5
SZ	0	0	0	0	0	70	0	0	0	25	35	0	15	145
T	0	0	0	0	0	12	4	0	0	70	40	0	50	176
P	0	0	0	0	0	0	0	13	27	0	15	50	41	146
MA	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	30	0	37
TR	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	99	66	168
Błędy wykryte	0	2	5	9	6	92	10	13	37	100	97	179	182	732

Tabela 5: Macierz przepływu błędów dla procesów produkcyjnych

najwięcej błędów, a dużo błędów przepływa do działań kolejnych (KJ). Jest to sytuacja niepokojąca i należy przyrzeć się temu działaniu w celu jego poprawy.

W celu monitorowania miesięcznego poziomu wadliwości zastosowana została **karta kontrolna u** (rysunek 4). Koncepcja polegała na uznaniu, że średnia liczba wad to stosunek liczby sprzedanych produktów oraz ilości złożonych reklamacji w danym miesiącu.

Linie kontrolne dla każdego miesiąca zostały wyznaczone osobno. Dla miesięcy sierpień i wrzesień oznaczono wychylenie parametrów poniżej DLK, co oznacza poprawę parametrów produkcji i w tej sytuacji linie te nie są liniami regulacji w przeciwieństwie do charakterystyki w miesiącu grudniu.



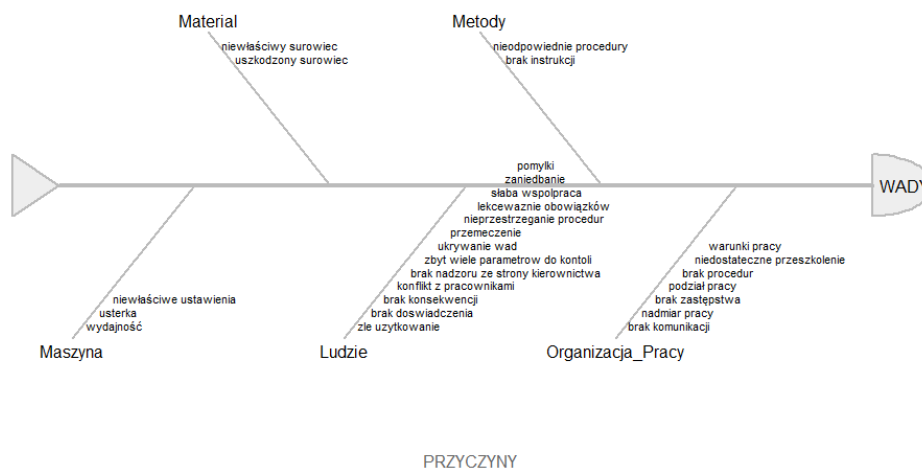
Rysunek 4: Shewhart u – karta kontroli jakości

Należy jednak poszukiwać przyczyn, które spowodowały tę poprawę rezultatów, aby utrwalić ten stan procesu. Należy jednak podkreślić, że punkty te mogą również świadczyć o braku uwagi osoby kontrolującej, czy o innych działaniach niepożądanych. Czynniki wpływające na powstawanie wad zaprezentowano na rysunku 5. Można zatem uznać, że jest to syntetyczny zbiór informacji na temat potencjalnych przyczyn powstawania a także i wykrywania błędów.

5. Wnioski

Zaproponowane rozwiązanie w postaci macierzowego ujęcia utraty jakości w procesie posiada wiele zalet. Po pierwsze porządkuje informacje o ekonomicznej utracie jakości, a tym samym o kosztach marnotrawionych zasobów (np. ludzi, maszyn, materiałów). Po drugie wskazuje na związki i zależności między działaniami, w których powstają błędy a działaniami, w których one są wykrywane. Kolejno informuje, ile kosztuje nie w porę wykryty błąd, a tym samym umożliwia oszacowanie wielkości utraty wartości konsumenckiej. Daje również przejrzysty i logiczny obraz umiejscowienia błędów w działaniach dotyczących procesu a także umożliwia graficzne ujęcie działań

Six Sigma Cause-and-effect Diagram



Rysunek 5: Diagram Ishikawy

innowacyjnych, operacyjnych i obsługi klienta jeżeli takie zostaną wyodrębnione.

Na podstawie przeprowadzonej analizy przedstawiono rozwiązanie pozwalające przekształcić proces reklamacyjny w narzędzie doskonalenia. Ponieważ klient jest bezwzględnym sędzią oceniającym jakość produktu, uznano reklamacje za dobre narzędzie do analizy błędów / wad / niezgodności.

W tej koncepcji potraktowano działalność przedsiębiorstwa jako zbiór działań, w ramach którego można rozróżnić działania, w których błędy powstają i działania, w których są one wykrywane. Są to działania zawsze związane z odchyleniami od wymagań jakościowych (błędy). Koszty jakości, jako niezgodności z wymaganiami jakościowymi, obniżają całkowitą wartość dla klienta i wiążą się z działaniami, za które klient nie zechce zapłacić. Dlatego proponowano odniesienie do błędów związanych z całym cyklem rozwoju i trwania produktu.

Takie ujęcie problemu powstawania i wykrywania błędów wymagało zastosowania odpowiedniego instrumentu jakim jest model macierzy przepływu błędów. Narzędzie to może być pomocne w decyzjach dotyczących zmiany rozkładu błędów w danym procesie działalności przedsiębiorstwa.

- [1] R. S. Kaplan, D. P. Norton, Strategiczna karta wyników, Jak przełożyć strategię na działanie (Balanced scorecard. How to translate strategy into action). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa (2000).
- [2] W. von Marschall, Z zagadnień odpowiedzialności za produkt, 1988.
- [3] L. Wasilewski, Modele strategii jakości firm przemysłowych, Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemysle" ORGMASZ", 1996.
- [4] Z. Zymonik, A. Hamrol, P. Grudowski, Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2013.
- [5] H. Drummond, N. Baryłko-Pikielna, Z. Zielińska, W pogoni za jakością- Total Quality Management, 1998.
- [6] Z. Zymonik, P. Wrocławska, Koszty jakości w zarządzaniu przedsiębiorstwem, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2003.
- [7] G. Kończak, Metody statystyczne w sterowaniu jakością produkcji, Prace Naukowe/Akademia Ekonomiczna w Katowicach (2007).
- [8] A. Iwasiewicz, Statystyczna kontrola jakości w toku produkcji: systemy i procedury, Państwowe Wydaw. Naukowe, 1985.