

Dr inż. Wiesław CZADER

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.222

Inż. Edyta SZPOCZEK

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

KOMPUTEROWO WSPOMAGANE STATYSTYCZNE STEROWANIE PROCESU

Streszczenie: W pracy został przeanalizowany problem, jakim jest rozregulowanie procesu produkcji wałka, z wykorzystaniem metody Statystycznego Sterowania Procesem (SPC). Na początku zostały wyjaśnione najważniejsze oznaczenia i definicje. Wprowadzenie obrazuje znaczenie pojęcia jakości w powszechnym rozumieniu. Zakres pracy objaśnia główne założenia projektu, z wykorzystaniem Statystycznego Sterowania Procesem.

STATISTICAL PROCESS CONTROL BY A COMPUTER SUPPORTED

Abstract: In this thesis there was analyzed a problem, of deregulation of process of production, by using the SPC method. At the beginning there are explanations the most important of terms and definitions. The introduction depicts the importance of quality in the common meaning. The purpose and range of the paper explains the main assumption of the project, using the statistical process control. The layout is a concise description of the construction of the paper and its parts.

Słowa kluczowe: analiza przyczyn i skutków wad, komputer, wspomaganie, statystyczne sterowanie procesem, komputerowo wspomagane zapewnienie jakości

Keywords: failure mode and effects analysis, computer, supported, statistical process control, computer aided quality – assurance

1. WPROWADZENIE

Jakość to pojęcie, które nurtuje ludzkość od dawna. Od najdawniejszych czasów człowiek wykonując różne czynności, dążył do tego, aby były one wykonane w jak najwyższej jakości. Do dziś ten termin towarzyszy nam w niemal każdej dziedzinie życia. Takie rozumowanie i postępowanie zainteresowało wielu specjalistów, co doprowadziło do opracowania narzędzi i metod doskonalenia jakości. W literaturze związanej z tematyką zarządzania jakością można spotkać się z definicją jakości, która mówi, że jest to stopień, w jakim zostały spełnione oczekiwania użytkowników [1, 2, 5, 6]. Wykorzystanie statystycznych metod doskonalenia jakości, w tym również Statystycznego Sterowania Procesu (SPC), staje się obecnie coraz bardziej popularne i powszechnie stosowane w przedsiębiorstwach produkcyjnych [3, 4]. Pomaga ono usprawnić wiele procesów, a co za tym idzie polepszyć jakość oferowanych wyrobów [2, 3]. Dążenie do doskonałości, czyli w rozumieniu wielu – do jak najwyższej jakości – jest wyzwaniem dla teoretyków i praktyków zajmujących się tym zagadnieniem [2].

Celem koncepcji komputerowo wspomaganego Statystycznego Sterowania Procesem (SPC) było poprawienie i udoskonalenie etapu produkcyjnego wyrobu, w badanym przypadku wałka zębniaka stożkowego. W wyniku tych badań znaleziono nieprawidłowości, ich źródła, a co za tym idzie wyeliminowano powstałe niezgodności przy produkcji wyżej wymienionego obiektu badań. Przeprowadzone działania miały na celu uniknięcie podobnych zdarzeń w przyszłości, a tym samym dążenie do zasady „zero defektów”. Zasada ta była wspomagana narzędziami doskonalenia jakości, takimi jak: karty kontrolne, diagramy przyczynowo-skutkowe (Ishikawy) czy histogramy [1, 2]. Po ich wykorzystaniu i zapoznaniu się z osiągniętymi rezultatami zostały wprowadzone działania, które pozwoliły na usprawnienie procesu i eliminację przyczyn niezgodności. To podejście spowodowało uzyskiwanie lepszych wyników oraz obniżenie kosztów wytwarzania. Pozwoliło również na wysunięcie tezy badań o stwierdzeniu, że przedsiębiorstwa, które w swoich działaniach wykorzystują Statystyczne Sterowanie Procesami (SPC), nie popełniają tych samych błędów, a także ciągle doskonalą procesy. Pozwala to na uzyskanie mniejszej liczby wadliwych wyrobów.

2. PRZYDATNOŚĆ STATYSTYCZNEGO STEROWANIA PROCESEM

Wszystkie procesy, także te o charakterze technologicznym, w okolicznościach wyraźnej stabilności, charakteryzują się możliwością ilościowego określenia zmienności parametrów procesów oraz właściwości wyrobów. W związku z tym, przydatność technik statystycznych, wykorzystywanych do oceny zmienności, podczas realizacji procesu technologicznego wydaje się bardzo wartościowa [1, 5]. Celem ich zastosowania jest niedopuszczenie do zachwiania stabilności, która powoduje produkowanie wyrobów niezgodnych z założonymi wymaganiami. Analiza przebiegu procesu technologicznego, z wykorzystaniem technik statystycznych, umożliwia wykryć w porę zachwiania procesu. Daje to szansę na jego regulację, a co za tym idzie – można zapobiec powstawaniu właściwości, które nie są zgodne z wymaganiami [3, 5].

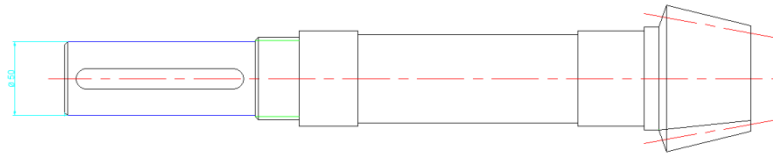
Odnosząc się do procesów technologicznych, jest możliwe utworzenie systemu kontroli, nie nawiązującego do kontroli stuprocentowej. System ten pozwala uzyskiwać dostatecznie wiarygodne dane o poprawnym, czyli ustabilizowanym poziomie jakości, który byłby uznany za optymalny bądź też sygnalizowałby potrzebę regulacji procesu. Jest on znany pod pojęciem Statystycznego Sterowania Procesem (ang. *Statistical Process Control*). Odnosi się do metod oraz technik statystycznych, które są wykorzystywane celem usprawnienia przebiegu procesu, w głównej mierze przez redukcję występujących odchyleń [5].

Statystyczne Sterowanie Procesem (SPC), w przeciwieństwie do Statystycznej Kontroli Odbiorczej (SKO), nie charakteryzuje się inercją. W przypadku SPC, które ma charakter ciągły, prowadzi się ją w czasie rzeczywistym (online). Główne założenie nie opiera się na finalnej kontroli jakości wyrobów, ale na nadzorowaniu bieżącego stanu procesu, co oznacza badanie jego zdolności jakościowej oraz kontrolę właściwości statystycznej. Jej podstawę stanowią wskaźniki zdolności jakościowej, a także karty kontrolne. Jeżeli będą zaprojektowane oraz prowadzone prawidłowo, pozwolą na odpowiednio szybkie rozpoznanie destabilizacji procesu. Daje to czas na podjęcie właściwych działań korygujących czy też zapobiegawczych. W razie braku reakcji na zaistniałą sytuację, rośnie zagrożenie, iż na wyjściu procesu pojawią się niezgodności. Jest to zależne od zdolności jakościowej procesu. Im jest wyższa, maleje zagrożenie, a co za tym idzie – ze spokojem można realizować działania korygujące [3].

3. ZASTOSOWANIE SPC DO UDOSKONALENIA BADANEGO PROCESU

3.1. Przedmiot i koncepcja badań

Przedmiotem badań była analiza wałków stożkowych wykonanych z żeliwa sferoidalnego, jako odlewy, poddanych obróbce skrawaniem (rys. 1).



Rys. 1. Wałek stożkowy – przedmiot badań. Opracowanie własne

Projekt, z wykorzystaniem SPC został przeprowadzony według poniższej koncepcji:

- określenie celu analizy,
- prezentacja aktualnych danych,
- wykonanie niezbędnych obliczeń,
- opracowanie kart kontrolnych,
- zdefiniowanie przyczyn powstawania wad przy użyciu diagramu Ishikawy oraz podjęcie stosownych działań korygujących.

W projekcie dokonano pomiarów i analizy średnicy o wartości nominalnej równej 50 mm, (rys. 1). W wyniku przeprowadzonych pomiarów średnic wałków z wpustem uzyskano informacje na temat przyczyn występowania wady, jaką była nieprawidłowa średnica wyrobu gotowego. W tym celu wykorzystano metodę SPC. Narzędziami wspomagającymi przeprowadzenie analizy były: diagram Ishikawy, histogram oraz karty kontrolne.

3.2. Analiza uzyskanych informacji

Podczas badań dokonano losowego pomiaru wałków o średnicy nominalnej równej 50 mm. Tolerancja dla tego wymiaru została ustalona na poziomie $\pm 0,075$ mm. Analizie zostało poddanych 100 sztuk wyrobu. Wszystkie badane przedmioty zostały podzielone na 10 serii. Każda z serii zawiera 10 sztuk wyrobów. Wszystkie wałki zostały poddane pomiarowi. Zostały one wykonane za pomocą mikrometru cyfrowego, o rozdzielczości 0,001 mm i niepewności pomiaru 0,002 mm. Wyniki badania zostały zamieszczone w tabeli 1. Podkreśleniem zostały zaznaczone wartości, które wykraczają poza tolerancję. Wyniki zostały zaokrąglone do trzech miejsc po przecinku. Część tysięczna została zaokrąglona do wartości 0 lub 5. Literami A–J zostały oznaczone grupy poddane analizie. Cyfry od 1 do 10 obrazują numer kolejnej, badanej próbki. Po dokładnym przyjrzeniu się tabeli zauważamy, że niewiele jest elementów, które przyjmują wartość nominalną. Co gorsza są trzy elementy, które wykraczają poza wartość nominalną. Dalsza diagnostyka pozwoli poznać przyczyny takiego stanu.

Wykorzystując uzyskane dane, wykonano poniższe obliczenia w celu zobrazowania sytuacji. Przedstawiony poniżej tok obliczeń odnosi się do grupy A, reszta rachunków została przeprowadzona analogicznie.

Tabela 1. Pomiary średnicy wałka w mm. Opracowanie własne

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	50,025	50,000	50,020	50,050	49,980	50,020	50,030	49,980	50,000	50,020
2	49,950	49,980	50,060	50,020	50,020	50,055	50,010	50,020	49,970	50,030
3	50,010	50,030	50,045	50,025	49,950	49,990	50,030	50,010	49,930	50,010
4	50,010	50,010	50,010	49,970	49,980	50,030	50,030	49,990	50,020	49,975
5	50,035	49,980	50,040	50,040	50,000	50,035	50,000	50,060	49,930	50,030
6	49,990	50,000	49,975	49,980	50,055	49,975	50,020	49,980	50,025	49,975
7	<u>50,080</u>	50,020	<u>50,080</u>	50,060	50,020	50,010	50,025	50,020	49,980	50,045
8	49,965	<u>49,920</u>	50,010	50,010	50,000	49,975	50,030	50,010	50,030	50,060
9	49,990	49,990	49,990	50,025	49,980	49,975	49,970	50,055	50,000	50,020
10	50,000	49,980	50,020	50,015	50,000	49,990	49,990	50,020	49,960	49,970

Przez x zostały oznaczone kolejne próby:

- średnia arytmetyczna \bar{x} w grupie A:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad \bar{x} = \frac{500,055}{10} = 50,006 \text{ mm} \quad (1)$$

- średnia arytmetyczna z wartości średnich \bar{x} w poszczególnych grupach A–J:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum \bar{x}}{k} \quad \bar{\bar{x}} = \frac{500,071}{10} = 50,007 \text{ mm} \quad (2)$$

- rozstęp R dla grupy A:

$$R = x_{max} - x_{min} \quad R = 50,080 - 49,950 = 0,130 \text{ mm} \quad (3)$$

- wartość średnia z rozstępów \bar{R} w badanych grupach:

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{k} \quad \bar{R} = \frac{0,950}{10} = 0,095 \text{ mm} \quad (4)$$

- odchylenie standardowe s dla grupy A:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad s = \sqrt{\frac{0,012}{9}} = 0,037 \quad (5)$$

- wartość średnia \bar{s} z odchyżeń standardowych w poszczególnych grupach:

$$\bar{s} = \frac{\sum s}{n} \quad \bar{s} = \frac{0,301}{10} = 0,030 \quad (6)$$

gdzie:

x – kolejne badane przedmioty, n – liczba próbek w grupie,

k – ilość badanych grup, d_2 – współczynnik statystyczny dobrany z tabeli.

Zebrane dane po obliczeniach zostały zapisane w tabeli 2.

Na podstawie uzyskanych informacji można określić górną linię tolerancji (GTL) oraz dolną linię tolerancji (DTL).

$$\text{GTL} = 50,075 \text{ mm} \quad (7)$$

$$\text{DTL} = 49,925 \text{ mm} \quad (8)$$

Tabela 2. Obliczenia parametrów średnicy wałka w mm. Opracowanie własne

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
\bar{x}	50,006	49,991	50,025	50,020	49,999	50,006	50,014	50,015	49,985	50,014
$\bar{\bar{x}}$	50,007									
R	0,130	0,110	0,105	0,090	0,105	0,080	0,060	0,080	0,100	0,090
\bar{R}	0,095									
s	0,037	0,030	0,032	0,028	0,029	0,029	0,021	0,028	0,037	0,031
\bar{s}	0,019									

3.3. Narzędzia jakości wykorzystane do SPC

Analiza toczenia średnicy wałków, przedstawionego na rys. 1, była wspomagana narzędziami doskonalenia jakości, takimi jak: histogramy, karty kontrolne oraz diagramami przyczynowo-skutkowymi (Ishikawy).

W sporządzeniu histogramu była pomocna tabela 3, przedstawiająca rozkład danych pomiarowych. Uzyskano z niej informacje o liczbie danych, które znalazły się w poszczególnych przedziałach. Przedział liczb, między którymi znalazły się dane został podzielony na 8 klas. Szerokość klasy wynosi 0,025 mm. Do każdej klasy zostały przypisane wartości, które mieszczą się w jej granicach. Każdy znak X oznacza jedną zmienną występującą w klasie. W ostatniej kolumnie zsumowano częstości występowania zmiennych w danej klasie.

Tabela 3. Częstość występowania zmiennej w danym przedziale. Opracowanie własne

GRANICA KLAS		CZĘSTOŚĆ BEZWZGLĘDNA																												
DOLNA	GÓRNA																													
49,900	49,925	X																												1
49,925	49,950	X	X	X	X																									4
49,950	49,975	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
49,975	50,000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	27
50,000	50,025	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	31
50,025	50,050	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	17
50,050	50,075	X	X	X	X	X	X																						6	
50,075	50,100	X	X																										2	

Z układu rozmieszczenia zmiennych zauważono, że proces charakteryzuje rozkład normalny. Następnym narzędziem wykorzystanym w analizowanym SPC były karty kontrolne, zwane również kartami Shewarta. Wykorzystano tu karty typu $\bar{x} - R$ i $\bar{x} - s$, czyli średniej procesu i rozstępu oraz średniej i odchylenia standardowego próbki.

- Karta $\bar{x} - R$

Dla karty \bar{x} (rys. 2a):

$$\bar{\bar{x}} = \frac{500,055}{10} = 50,006 \text{ mm}; \text{ CL} = \bar{\bar{x}} = \frac{500,071}{10} = 50,007 \text{ mm} \quad (9)$$

$$\text{UCL} = 50,007 + 0,308 \cdot 0,095 = 50,036 \text{ mm} \quad (10)$$

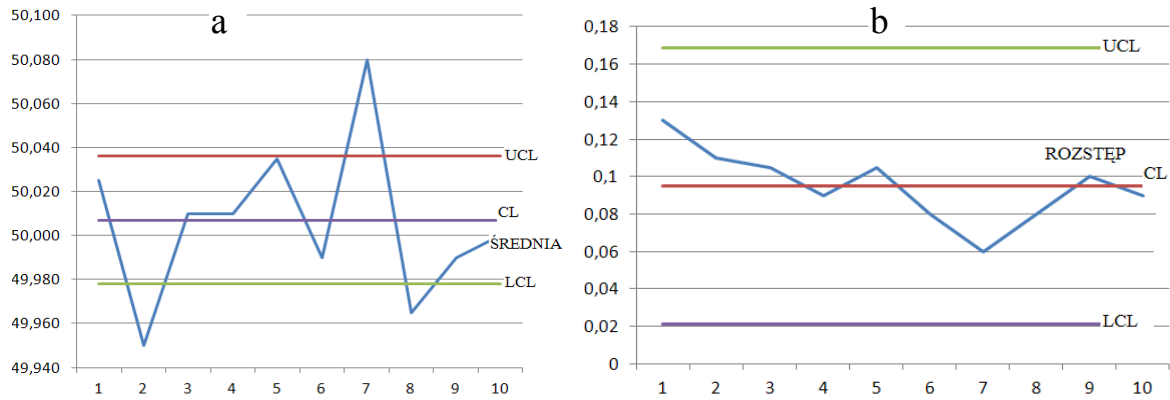
$$\text{LCL} = 50,007 - 0,308 \cdot 0,095 = 49,978 \text{ mm} \quad (11)$$

Dla karty R (rys. 2b):

$$\text{CL} = \bar{R} = 0,095 \text{ mm} \quad (12)$$

$$\text{UCL} = 1,777 \cdot 0,095 = 0,169 \text{ mm} \quad (13)$$

$$\text{LCL} = 0,223 \cdot 0,095 = 0,021 \text{ mm} \quad (14)$$

Rys. 2. a – Karta kontrolna \bar{x} , b – karta kontrolna R. Opracowanie własne

Na wykresie (rys. 2a) wyraźnie widać, że proces jest niewyregulowany. Kilka punktów wykracza poza granice interwencji.

- Karta $\bar{x} - s$

Dla karty \bar{x} (rys. 3a):

$$\bar{\bar{x}} = \frac{500,055}{10} = 50,006 \text{ mm}; \quad CL = \bar{\bar{x}} = \frac{500,071}{10} = 50,007 \text{ mm} \quad (15)$$

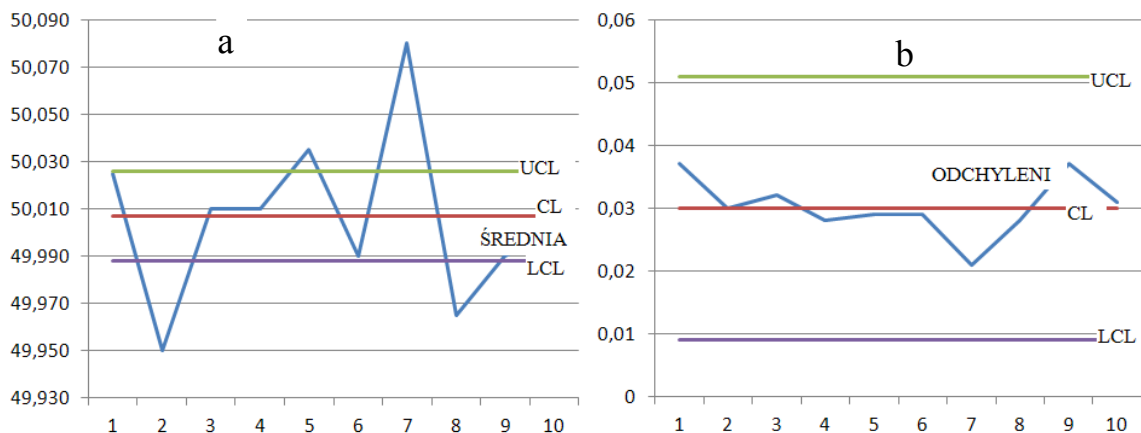
$$UCL = 50,007 + 0,975 \cdot 0,019 = 50,026 \text{ mm} \quad (16)$$

$$LCL = 50,007 - 0,975 \cdot 0,019 = 49,988 \text{ mm} \quad (17)$$

Dla karty s (rys. 3b):

$$CL = \bar{s} = \frac{0,301}{10} = 0,030 \text{ mm} \quad (18)$$

$$UCL = 1,716 \cdot 0,030 = 0,051 \text{ mm}; \quad LCL = 0,284 \cdot 0,030 = 0,009 \text{ mm} \quad (19)$$

Rys. 3. a – Karta kontrolna \bar{x} , b – karta kontrolna s. Opracowanie własne

Na karcie kontrolnej \bar{x} (rys. 3a) zauważono, że istnieją wartości wykraczające poza granice interwencji. Karty te wykorzystano do badania wskaźnika zdolności procesu C_p i wskaźnika wycentrowania C_{pk} .

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma} \quad (20)$$

$$C_{pk} = \min \{C_{pl}, C_{pu}\} \quad (21)$$

$$C_{pl} = \frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3\sigma} \quad C_{pu} = \frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3\sigma} \quad (22)$$

gdzie: USL – górna granica specyfikacji; LSL – dolna granica specyfikacji; σ – odchylenie standardowe zmienności procesu.

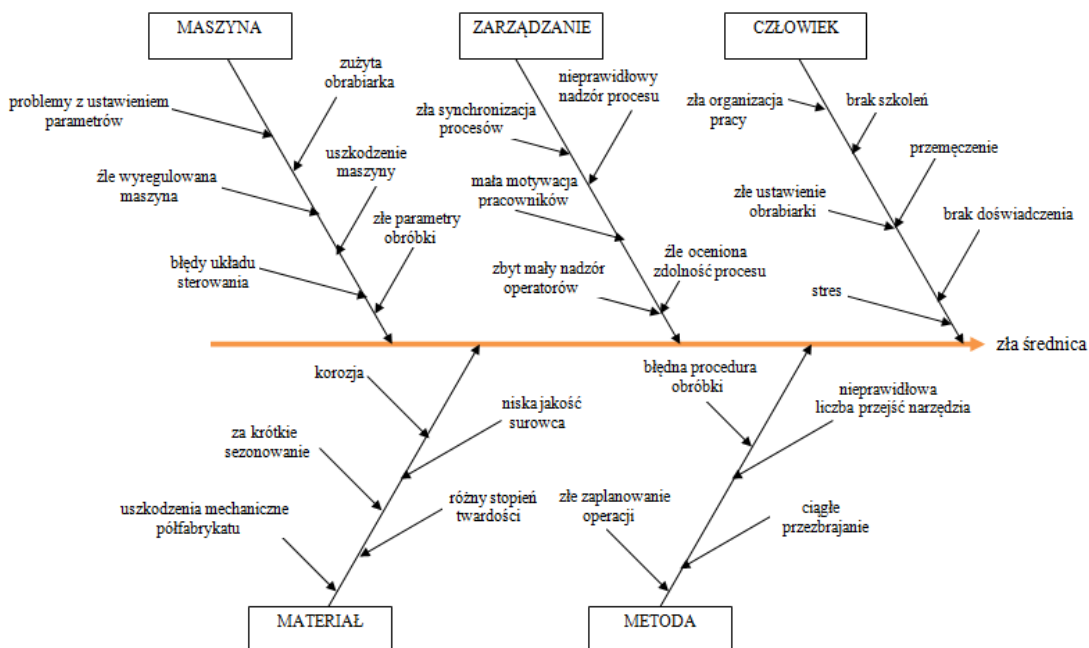
$$C_p = \frac{50,075 - 49,925}{6 \cdot 0,026} = \frac{0,150}{0,156} = 0,962; \quad C_{pl} = \frac{50,007 - 49,925}{3 \cdot 0,026} = \frac{0,082}{0,078} = 1,051 \quad (23)$$

$$C_{pu} = \frac{50,075 - 50,007}{3 \cdot 0,026} = \frac{0,068}{0,078} = 0,872; \quad C_{pk} = 0,872 \quad (24)$$

Szerokość pola rozproszenia procesu wynosi $C_p = 0,962$. Jest to wartość mniejsza niż oczekiwane 1,33. Oznacza to, że sterowanie procesem nie jest opanowane. Współczynnik C_{pk} równy 0,872 jest także mniejszy niż pożądane 1,33. W związku z tym wymagane jest nadzorowanie procesu oraz centrowanie wartości średniej względem granic tolerancji. Współczynniki te nie są równe, co oznacza że wartość średnia leży poza środkiem tolerancji. Uzyskane rezultaty nie są satysfakcjonujące. W związku z tym podjęto kroki, które pozwoliły ustabilizować proces oraz wyeliminować przyczyny niezgodności. Analizowaną wadą, która występowała w projekcie, jest średnica wałka. W czasie pomiarów zostały uzyskane trzy wartości wykraczające poza tolerancję. W dalszym etapie analizy określono potencjalne przyczyny powstania wady za pomocą diagramu Ishikawy (rys. 4).

Z diagramu wytypowano następujące przyczyny: problemy z ustawieniem parametrów, błędna procedura obróbki, brak doświadczenia pracownika, uszkodzenia mechaniczne półfabrykatu, ciągle przezbrajanie obrabiarki. Po zastosowaniu się do wszystkich działań zaradczych, poprzez działania korygujące dokonano kolejnych pomiarów na przestrzeni sześciu miesięcy.

Wyniki zestawiono w sposób tabelaryczny.



Rys. 4. Diagram Ishikawy dla analizowanej wady. Opracowanie własne

Następnie algorytm postępowania powtórzono jak wyżej. Wskaźnik centrowania wyniósł $C_{pk} = 1,5 > 1,33$.

Na podstawie obliczeń wyraźnie było widać, że wskaźniki procesu uległy zmianie. Proces można już było uznać za w pełni opanowany.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zastosowanie komputerowo wspomaganego statystycznego sterowania procesem oraz narzędzi zarządzania jakością przyniosło wiele korzyści w odniesieniu zarówno do procesu produkcyjnego, jak i jego wyniku. Jednakże nie zawsze takie działania kompleksowo rozwiążą występujące problemy. Często okazuje się, że konieczne jest wykorzystanie specjalistycznej wiedzy z zakresu technologii lub innej dziedziny wiedzy. Dlatego też warto, aby cały personel znał misję przedsiębiorstwa oraz posiadał wymagane kwalifikacje i ciągle je powiększał. Wykorzystanie metody SPC komputerowo wspomaganą wykazało, że przedsiębiorstwa, które z niej skorzystały uzyskują lepsze parametry produkowanych wyrobów. Lepsze w tym przypadku oznaczają bliższe wartości docelowej. W związku z tym jakość produktów jest wyższa i ciągle doskonała. Następstwem tego jest zwiększenie zadowolenia klienta, a co za tym idzie mniejsza liczba zwrotów i reklamacji. Trafne i szybkie rozpoznanie przyczyn powstawania niezgodności pozwala na wygenerowanie oszczędności, które można przeznaczyć na inne cele.

Przeprowadzone działania w ramach projektu udowodniły zasadność i nieraz konieczność wdrażania oraz stosowania metod zarządzania jakością w przedsiębiorstwach, jaką jest m.in. SPC. Wykorzystanie jednej z metod może być punktem wyjścia do użycia innej metody, w celu ciągłego doskonalenia organizacji oraz oferowanych wyrobów. Kroki podjęte w niniejszej pracy nie są jednak wystarczające. Są jeszcze słabe punkty oraz niedoskonałości, które wymagają ulepszenia oraz wprowadzenia zmian. W tym celu warto przeanalizować, która z metod będzie optymalna i pomoże zwiększyć jakość produkowanych wyrobów, a co za tym idzie zadowolenie klientów. Wykorzystanie metody SPC w środowisku produkcyjnym niesie za sobą wiele zalet, jak również wad. Jej skuteczne i efektywne zastosowanie wymaga dużej wiedzy, zaangażowania i czasu.

LITERATURA

- [1] Hamrol A.: *Zarządzanie jakością z przykładami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [2] Zymonik Z., Hamrol A., Grudowski P.: *Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.
- [3] Sałaciński T.: *SPC statystyczne sterowanie procesami produkcji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [4] Koronacki J., Mielniczuk J.: *Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.
- [5] Maciąg J.: *System zarządzania jakością usług: zasady i metody*, Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, Katowice 2010.
- [6] Karpiński T.: *Inżynieria produkcji*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.