

Dr Agnieszka Mazur-Dudzińska
Politechnika Łódzka, Katedra Zarządzania
Dr inż. Jacek Dudziński
Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Mechatroniki

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.268

ZASTOSOWANIE KART SHEWHARTA DO KONTROLI JAKOŚCI PRODUKCJI ELEMENTÓW UZBROJENIA

Streszczenie: Celem artykułu jest charakterystyka oraz zastosowanie kart kontrolnych Shewharta do badania prawidłowości przebiegu procesu produkcyjnego. Wykorzystanie metod statystycznych w zarządzaniu jakością daje możliwość znacznego poprawienia jakości produkcji. Podstawowymi narzędziami statystycznej kontroli jakości są karty kontrolne Shewharta, które pozwalają na szybkie wykrywanie sygnałów rozregulowania procesu produkcji. W artykule omówiono przykładowe zastosowanie tych kart w małej firmie produkcyjnej.

SHEWHART CHARTS APPLICATION TO QUALITY CONTROLLING OF PRODUCTION OF AMMUNITION DETAILS

Abstract: The paper aims to characterize and application of Shewhart Control Charts to study correctness of production process course. The usage of statistical methods in quality management gives a possibility to improve significantly the quality of production. Basic tools of statistical quality control are Shewhart Control Charts which enable to detect quickly signals of interruptions in production process. In the paper were reviewed examples of Shewhart Control Charts in a small production company.

Słowa kluczowe: statystyczne metody kontroli jakości, karty kontrolne Shewharta, zarządzanie jakością, proces produkcyjny
Keywords: statistical quality control methods, Shewhart Control Charts, quality management, production process

1. WSTĘP

Pojęcie jakości było znane już w czasach starożytnych. Każdy producent dbał o to, aby jego wyroby były zgodne z przyjętymi wymogami oraz spełniały oczekiwania odbiorców. Oczywiście, nie znano jeszcze dzisiejszych metod zarządzania jakością, które przy stosunkowo niewielkich rozmiarach produkcji nie były wtedy nawet potrzebne. Dopiero rozwój nauk matematycznych, teorii rachunku prawdopodobieństwa i metod statystycznych w ciągu następnego stulecia umożliwiły powstanie i rozwój metod statystycznej kontroli jakości. Dynamiczny rozwój możliwości produkcyjnych na przełomie XIX i XX wieku spowodował, że pojawiła się potrzeba praktycznego zastosowania metod statystycznych w kontroli jakości. Pierwsze systemy kontroli jakości produkcji wprowadzono na początku XX wieku. Obecnie statystyczne metody zarządzania jakością są bardzo popularne. Ich stosowanie stało się koniecznością w procesie ciągłego podnoszenia jakości wytwarzanych produktów, a tym samym dostosowania się do coraz bardziej wymagających warunków na rynku.

Celem artykułu jest charakterystyka metod statystycznej kontroli jakości produkcji oraz przykładowe zastosowanie kart kontrolnych Shewharta do badania prawidłowości przebiegu procesu produkcyjnego w niewielkiej firmie z branży uzbrojeniowej.

2. CHARAKTERYSTYKA KART KONTROLNYCH SHEWHARTA

Skutecznymi metodami oceny i poprawy jakości wytwarzanych produktów są metody statystyczne stosowane w sterowaniu procesami produkcyjnymi. W literaturze wyróżnia się siedem narzędzi statystycznego sterowania jakością (SPC), do których zalicza się: diagram przebiegu, arkusz analityczny, diagram przyczynowo-skutkowy (diagram Ishikawy), wykres Pareto, histogram, diagram korelacyjny oraz karty kontrolne (których twórcą jest W. A. Shewhart) [1].

Kluczową zasadą metod statystycznego sterowania jakością jest zasada Pareto mówiąca, że „*stosunkowo niewiele przyczyn pociąga za sobą katastrofalnie wiele niepowodzeń*” [2]. Na podstawie doświadczeń stwierdza się, że w złożonych procesach jakimi są procesy produkcyjne aż około 80% wszystkich wad jest powodowanych przez tylko 20% przyczyn.

Karty kontrolne Shewharta są najczęściej stosowanymi narzędziami sterowania jakością. Umożliwiają szybkie wychwycenie nieprawidłowości prowadzących do rozregulowania procesu, a tym samym natychmiastowe wyeliminowanie błędów mogących prowadzić do pogorszenia jakości wyrobów. Karta kontrolna jest graficznym przedstawieniem przebiegu procesu produkcyjnego w czasie. Na osi odciętych wykresu zaznaczone są numery próbek (lub pojedynczych obserwacji) a na osi rzędnych – wartości parametru badanej charakterystyki produktu. Na wykresie zaznacza się linię centralną (LC) oraz linie kontrolne – górną (UCL) i dolną (LCL). Na taką kartę nanoszone są wyniki pomiarów badanej charakterystyki zmiennej (np. wartość średnia próby, zakres zmienności, odchylenie standardowe, frakcja itp.) dla kolejnych próbek. Ułożenie naniesionych punktów (wyników) pozwala określić, czy badany proces produkcyjny jest ustabilizowany (wszystkie punkty znajdują się pomiędzy liniami kontrolnymi) czy proces nie jest stabilny (wyniki wychodzą poza granice kontrolne) i należy podjąć działania prowadzące do jego ustabilizowania. Linia centralna oraz linie kontrolne wyznaczane są na podstawie pomiarów wykonanych dla prawidłowo przebiegającego procesu lub mogą być ustalone na podstawie posiadanych informacji technologicznych, jaka powinna być średnia procesu i jego rozrzut [3]. Położenie linii centralnej określa wartość średnia procesu a linie kontrolne umieszcza się najczęściej w odległości plus/minus trzy odchylenia standardowe od położenia linii centralnej [1].

Idea kart kontrolnych jest podobna do idei testowania hipotez statystycznych. Należy wziąć pod uwagę możliwość popełnienia dwóch rodzajów błędów. Błąd I rodzaju polega na odrzuceniu hipotezy prawdziwej, natomiast błąd II rodzaju – na przyjęciu hipotezy fałszywej [4]. W analizie kart kontrolnych błąd I rodzaju to uznanie procesu za rozregulowany, gdy faktycznie przebiega zgodnie z założeniami. Błąd II rodzaju pojawia się wtedy, gdy proces niestabilny uznaje się jako ustabilizowany.

Najczęściej stosowanymi kartami są karta dla wartości średniej procesu $X_{\bar{x}}$ oraz karta rozstępu R^1 . Przy wyznaczaniu granic kontrolnych karty $X_{\bar{x}}$ wykorzystuje się znane własności krzywej normalnej, dlatego istnieje wymóg aby dane pomiarowe miały rozkład przynajmniej zbliżony do rozkładu normalnego. Linia centralna karty $X_{\bar{x}}$ jest na poziomie wartości parametru μ , natomiast granice kontrolne (wyznaczone na podstawie reguły 3 sigma) są następujące:

¹ Dla małych próbek. Przy próbkach powyżej 9 elementów stosuje się odchylenie standardowe jako miarę zróżnicowania.

$$\begin{aligned}
 UCL &= \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\
 LCL &= \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Przy tak określonych przez Shewharta granicach kontrolnych, prawdopodobieństwo że na karcie kontrolnej dla uregulowanego procesu pojawi się sygnał znajdujący się poza liniami kontrolnymi wynosi około 0,0013. Obecnie często do wyznaczenia odległości linii kontrolnych od linii centralnej wykorzystuje się wartości kwantyli u_α (odpowiedniego rzędu $1-\alpha$) rozkładu normalnego [1].

Jeżeli parametry procesu μ (wartość średnia) oraz σ (odchylenie standardowe) nie są znane, należy je oszacować. Jako estymator średniej przyjmuje się średnią obliczoną ze średnich uzyskanych dla poszczególnych k prób n – elementowych, a jako estymator odchylenia standardowego przyjmujemy średni rozstęp k prób n – elementowych \bar{R} (lub odchylenie standardowe z próby S – dla większych próbek):

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i}{k} ; \quad \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k} ; \quad S = \frac{\bar{R}}{d_n}
 \tag{2}$$

gdzie: d_n – współczynnik statystyczny.

W przypadku karty R linia kontrolna dolna jest ograniczona przez zero. Linie centralną oraz linie kontrolne górną i dolną wyznacza się według następujących wzorów [5]:

$$LC = \bar{R} ; \quad LCL = D_3 \bar{R} ; \quad UCL = D_4 \bar{R} ;
 \tag{3}$$

gdzie: D_3 i D_4 – stałe odczytywane z tablic statystycznych.

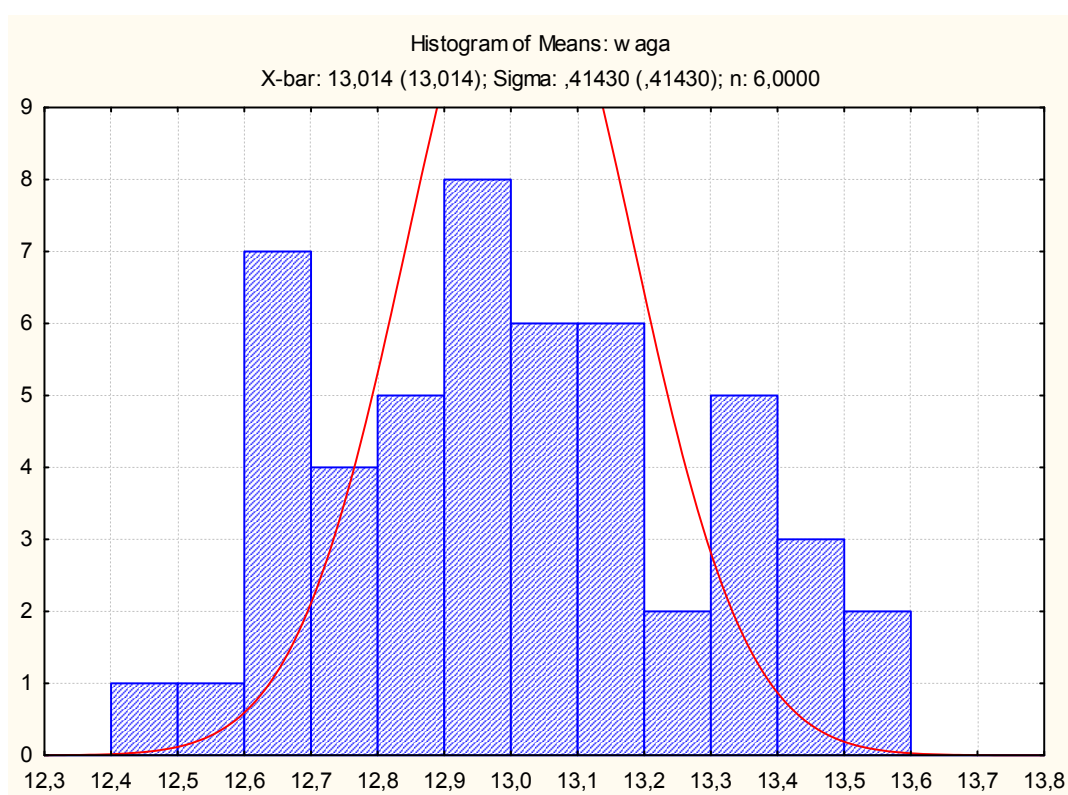
W praktycznych zastosowaniach oprócz linii UCL i LCL na karcie kontrolnej umieszcza się tzw. linie ostrzegawcze – górną i dolną, które znajdują się w odległości plus/minus dwa odchylenia standardowe od położenia linii centralnej, a także linie w odległości plus/minus sigma od linii centralnej. Taki schemat karty pozwala zidentyfikować inne sygnały (poza przekroczeniem UCL i LCL) świadczące o pojawiających się nieprawidłowościach w przebiegu procesu. Do sygnałów takich zalicza się między innymi [1, 5]:

- dwa z kolejnych trzech punktów znajdujące się powyżej górnej lub poniżej dolnej linii ostrzegawczej,
- cztery z pięciu kolejnych punktów leżące powyżej linii średnia plus odchylenie standardowe lub poniżej linii średnia minus odchylenie standardowe,
- osiem kolejnych punktów leżących po jednej stronie linii centralnej,
- sześć kolejnych punktów ułożonych rosnąco lub malejąco,
- piętnaście kolejnych punktów pomiędzy liniami średnia plus/minus sigma,
- osiem kolejnych punktów poza liniami średnia plus/minus sigma
- czternaście kolejnych punktów ułożonych naprzemiennie poniżej i powyżej sąsiedniego.

3. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA KART KONTROLNYCH SHEWHARTA

Jako przykład zastosowania metod statystycznych w kontroli jakości produkcji podjęto próbę stworzenia i analizy kart kontrolnych Shewharta w niewielkiej firmie produkcyjnej z branży uzbrojeniowej. Firma ta zajmuje się wytwarzaniem palnych osłon mózdzierzowych ładunków miotających. Proces produkcyjny jest seryjny i przebiega na półautomatycznych liniach produkcyjnych, a pracownicy zapisują na bieżąco wartości parametrów charakteryzujących wyprodukowany detal. Na podstawie zebranych obserwacji (50 próbek 6-elementowych) uzyskanych z procesu produkcyjnego zbudowano kartę kontrolną \bar{X}_{sr} oraz R dla podstawowej charakterystyki produktu, którą jest waga (w gramach).

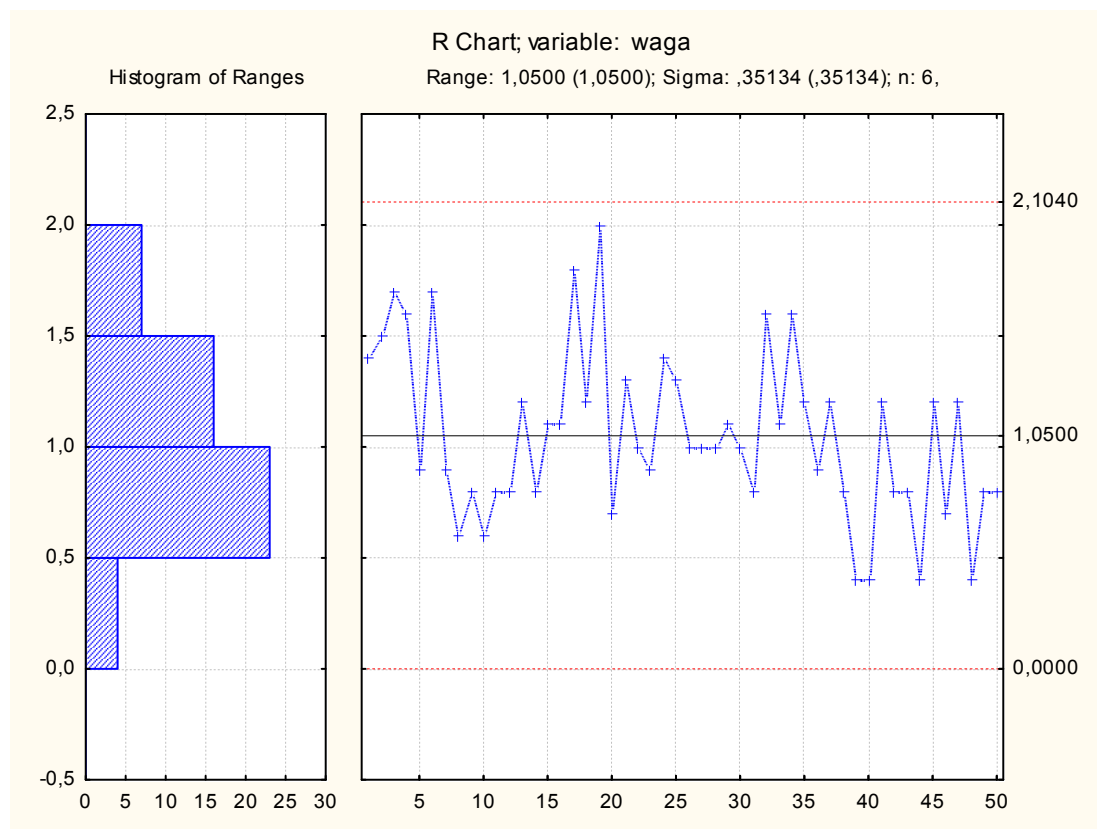
We wstępnej analizie danych zbudowano histogram (rys. 1), który graficznie przedstawia rozkład wagi produktu. Można również zaobserwować dopasowanie tego rozkładu do rozkładu normalnego. Wyznaczona została wartość przeciętna wagi (13,014 g) oraz rozrzut (0,4143 g).



Rys 1. Histogram rozkładu wagi produktu

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych firmy (przy wykorzystaniu pakietu Statistica)

Na początku dokonano analizy karty kontrolnej dla rozstępu wagi produktu (rys.2). Na podstawie obserwacji położenia linii centralnej (LC = 1,05) oraz linii kontrolnych – dolnej (LCL = 0) i górnej (UCL = 2,1040) a także naniesionych na kartę wyników pomiarów rozstępu wagi w próbkach można wnioskować, że zmienność procesu jest statystycznie ustabilizowana.

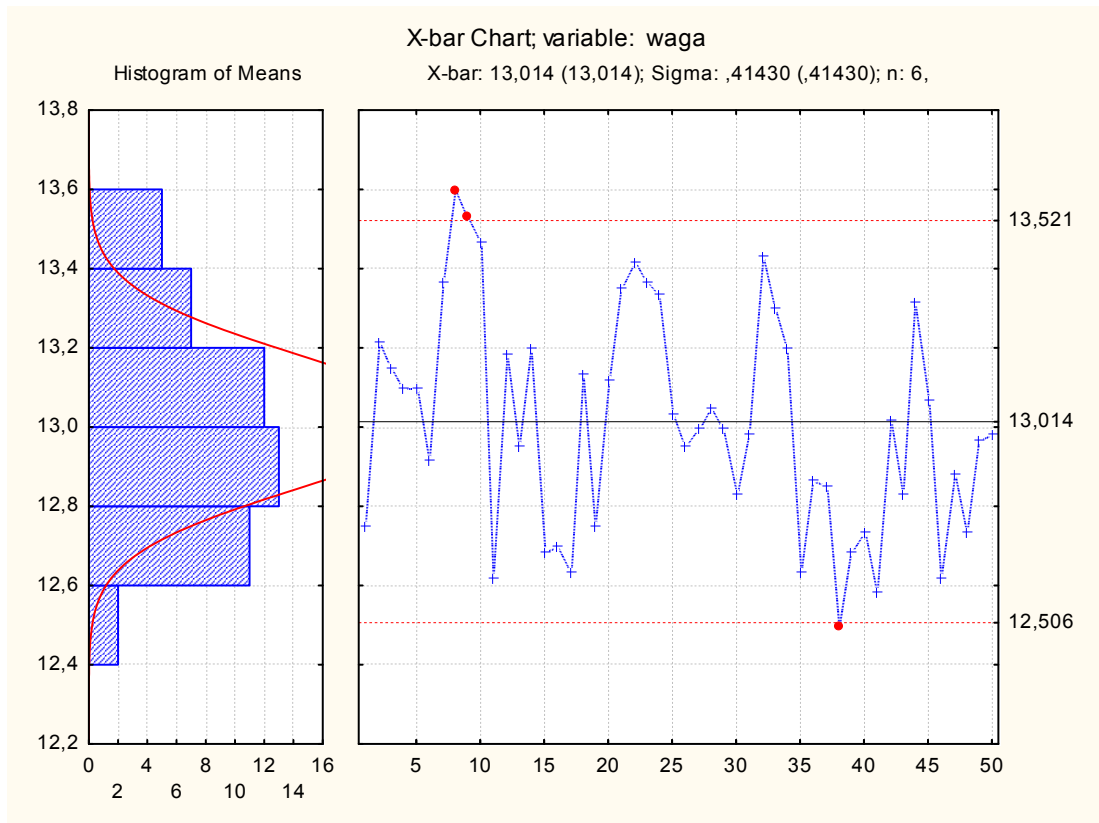


Rys.2. Karta kontrolna dla rozstępu wagi produktu

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych firmy (przy wykorzystaniu pakietu Statistica)

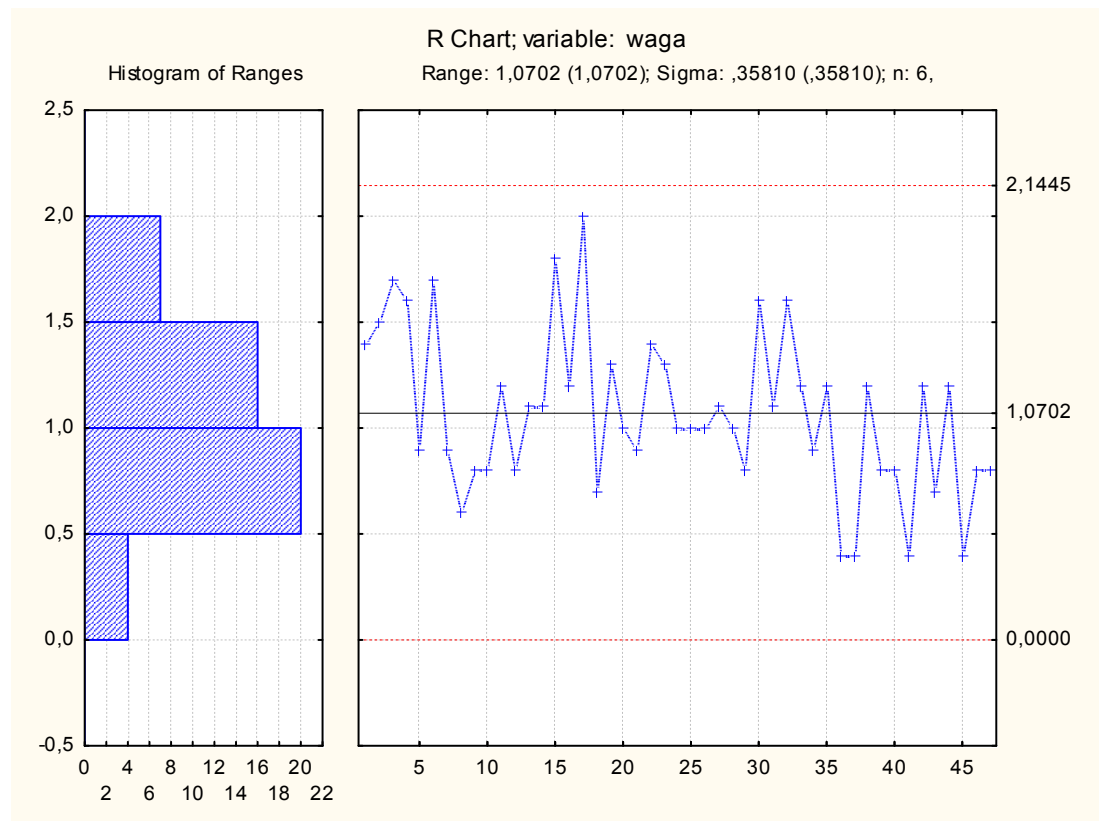
Na rysunku 3 przedstawiono kartę kontrolną dla średniej wagi produktu. Wyznaczona i narysowana została linia centralna ($LC = 13,014$ g) oraz linie kontrolne – dolna ($LCL = 12,506$ g) i górna ($UCL = 13,521$ g). Naniesione na kartę wyniki pomiarów (średniej wagi w próbkach) pozwalają zauważyć, że proces nie jest uregulowany. O rozregulowaniu procesu świadczą trzy sygnały, które znajdują się poza granicami kontrolnymi (oznaczone na rysunku na czerwono – dwa powyżej UCL i jeden poniżej LCL). W takiej sytuacji podjęto działania prowadzące do uregulowania procesu produkcyjnego. Po dokładnej analizie sygnałów błędu, nadzorujący produkcję znalazł prawdopodobne przyczyny ich wystąpienia (zmiana stężenia masy papierniczej w kadzi maszynowej, utrata szczelności pompy próżniowej na skutek przegrzania cieczy chłodzącej), które zostały wyeliminowane.

Po usunięciu ze zbioru danych obserwacji wykraczających poza granice kontrolne utworzono ponownie kartę kontrolną rozstępu (rys. 4) oraz średniej procesu (rys. 5).



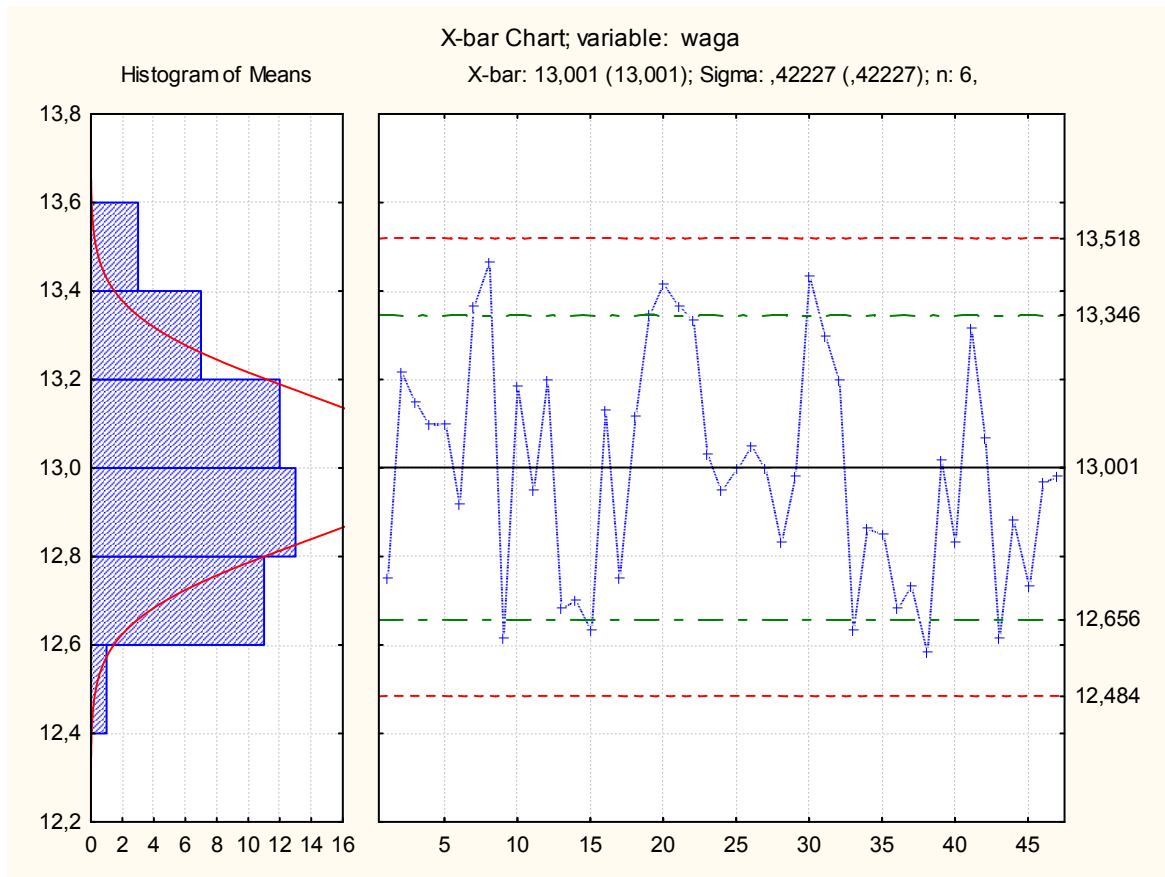
Rys.3. Karta kontrola dla średniej wagi produktu

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych firmy (przy wykorzystaniu pakietu Statistica)



Rys. 4. Karta kontrola dla rozstępu wagi produktu po modyfikacji zbioru danych

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych firmy (przy wykorzystaniu pakietu Statistica)



Rys. 5. Karta kontrolna dla średniej wagi produktu po modyfikacji zbioru danych
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych firmy (przy wykorzystaniu pakietu Statistica)

Jak widać na rysunku 5, po zmodyfikowaniu zbioru danych wyznaczone zostały nowe parametry karty kontrolnej \bar{X}_{sr} , linia centrala LC na poziomie 13,001, linia kontrolna dolna na poziomie 12,484, a górna - 13,518. Tym razem nie ma sygnałów wykraczających poza granice kontrolne, a zatem proces jest uregulowany. Jednak występowanie sygnałów wychodzących poza granice ostrzegawcze (oznaczone na rysunku na zielono), znajdujące się w odległości plus/minus dwa odchylenia standardowe od położenia linii centralnej, wymagają jeszcze dokładnej analizy i podjęcia przez specjalistę decyzji o kryterium ich dopuszczalności w tym konkretnym procesie produkcyjnym. Dobrze opracowana karta kontrolna może być wykorzystana do monitorowania procesu produkcyjnego i szybkiego wykrywania sygnałów świadczących o pojawieniu się nieprawidłowości, co ma na celu zapobieganie powstawaniu błędów i polepszenie jakości wytwarzanych produktów.

4. PODSUMOWANIE

Metody statystyczne odgrywają bardzo dużą rolę w zarządzaniu jakością. Konkurencja rynkowa zmusza producentów do poszukiwania i stosowania rozwiązań, które pozwolą na szybki rozwój i wzrost pozycji firmy na rynku, zwiększenie zysków, zdobywanie nowych klientów i utrzymanie ich zaufania. Przedsiębiorcy zdają sobie sprawę, że warunkiem osiągnięcia sukcesu jest zagwarantowanie najwyższej jakości wytwarzanych i sprzedawanych produktów. Stąd ogromne zainteresowanie metodami statystycznej kontroli jakości produkcji, wśród których najpopularniejsze są karty kontrolne Shewharta.

W artykule przedstawiono przykład zastosowania kart kontrolnych w firmie z branży uzbrojeniowej, która dopiero zaczyna wprowadzać statystyczne metody kontroli jakości produkcji. Sama konstrukcja karty nie jest czynnością bardzo skomplikowaną, szczególnie

przy obecnych możliwościach wykorzystania odpowiednich narzędzi komputerowych, jednak wymaga wcześniejszego przygotowania (ustalenie częstotliwości pobierania i liczebności próbek, precyzyjne pomiary charakterystyk i ich zapisywanie itp.) i przede wszystkim poprawnej, rzetelnej i zgodnej z przyjętymi założeniami technologicznymi, analizy dokonanej przez doświadczonego specjalistę znającego specyfikę produkcji w firmie.

Korzyści wynikające ze stosowania kart kontrolnych, prowadzące do obniżenia kosztów poprzez ustabilizowanie procesów produkcyjnych, przyczyniają się do ich stosowania, nie tylko tam gdzie istnieje taki wymóg formalny. Raczej niechętnie stosowane przez przedsiębiorców metody statystyczne, postrzegane często jako zbyt trudne, zyskują coraz większą popularność dzięki możliwości wykorzystania łatwodostępnych oraz stosunkowo niedrogich narzędzi komputerowych.

LITERATURA

- [1] Kończak G.: *Metody statystyczne w sterowaniu jakością produkcji*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2007, s. 48, 59, 73, 62-65.
- [2] Thomson J.R, Koronacki J., Nieckuła J.: *Techniki zarządzania jakością. Od Shewharta do metody „Six Sigma”*, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa 2005, s. 11.
- [3] Greber T.: *Statystyczne sterowanie procesami – doskonalenie jakości z pakietem Statistica*, StatSoft Polska Sp. z o. o, Kraków 2000, s. 85-86.
- [4] Sobczyk M.: *Statystyka matematyczna*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2010, s. 118.
- [5] Aczel A. D.: *Statystyka w Zarządzaniu*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2000, s. 684, 682.