



## KARTY KONTROLNE PRZY OCENIE LICZBOWEJ W STEROWANIU PROCESAMI – ZAŁOŻENIA I ANALIZA

*dr inż. Tomasz Greber, Politechnika Wroclawska, Instytut Organizacji i Zarządzania*

### Wprowadzenie

Metody statystycznego sterowania procesami (ang. SPC - Statistical Process Control) swój początek zawdzięczają Amerykaninowi Walterowi Shewhartowi. Pierwsze zastosowanie tego typu metod datuje się na lata dwudzieste ubiegłego wieku (w roku 1931 Shewhart wydał pierwszą książkę traktującą o metodach SPC „Economic Control of Quality Manufacturing Product”). Shewhart stworzył narzędzie mające mu służyć do nadzorowania procesów produkcyjnych. Narzędziem tym była karta kontrolna, będąca do dziś wykorzystywana jako najpopularniejszy sposób sterowania i doskonalenia procesów produkcyjnych. Wykorzystanie tej karty polega na analizie zbieranych systematycznie z procesu wyników pomiarów produkowanych wyrobów i odnoszeniu otrzymanych wartości do specjalnie wyznaczonych granic kontrolnych informujących o ewentualnych rozregulowaniach procesu.

Koncepcja Shewharta została w latach trzydziestych rozwinięta przez Dodge’a i Rominga, którzy zajęli się sterowaniem procesami w przypadkach, gdy produkty można oceniać jedynie alternatywnie. W roku 1941 wydali oni pozycję „Sampling Inspection Tables”.

Kolejny etap rozwoju metod statystycznych zawdzięczamy Edwardowi Demingowi, który w latach 50. pojechał do Japonii, ratować tamtejszą zrujnowaną w czasie wojny gospodarkę i rozpropagował tam te metody. Dzięki metodom statystycznym produkty japońskie już niedługo potem zaczęły być utożsamiane z bardzo wysoką jakością. Sytuacja taka trwa do dzisiaj. Po sukcesach Japonii, także pozostałe kraje sięgnęły po metody statystyczne. Zaczęto je wykorzystywać w Stanach Zjednoczonych, a później w Europie Zachodniej.

Ważne z punktu widzenia rozwoju i popularności kart kontrolnych okazały się standardy zawierające wymagania związane z systemami zarządzania jakością. Takie standardy jak ISO 9001: 2000, QS 9000, VDA 6.1 czy TS/ISO 16949 wymagają stosowania pewnych narzędzi do nadzorowania realizowanych procesów.

Metody statystyczne wykorzystywane w zarządzaniu jakością są często postrzegane jako metody bardzo skomplikowane i przez to nie cieszą się w polskich przedsiębiorstwach dużą popularnością. Nie jest to do końca opinia słuszna, chociaż oczywiście metody te wymagają przeprowadzenia pewnych elementarnych obliczeń. O wiele łatwiej jest te



metody wykorzystywać przy użyciu odpowiedniego oprogramowania komputerowego. Na rynku znaleźć można wiele produktów wspomagających ten element zarządzania przedsiębiorstwem, ale od wielu lat we wszystkich porównaniach wygrywa pakiet *STATISTICA* firmy StatSoft. Oprogramowanie to w swojej ostatniej wersji oznaczonej jako *STATISTICA 6 PL* (w wersji polskojęzycznej) udostępnia, wśród wielu innych narzędzi wspomagających zarządzanie jakością, tzw. *sześć wykresów z kartami X-średnie i R*. Te sześć wykresów pozwala na kompletną analizę monitorowanego procesu i pomaga uniknąć wielu błędów popełnianych często w przedsiębiorstwach podczas prowadzenia takich analiz. Wykresy te oraz problemy związane zwykle z analizą danych dotyczących przebiegu procesu opisane zostaną w dalszej części artykułu.

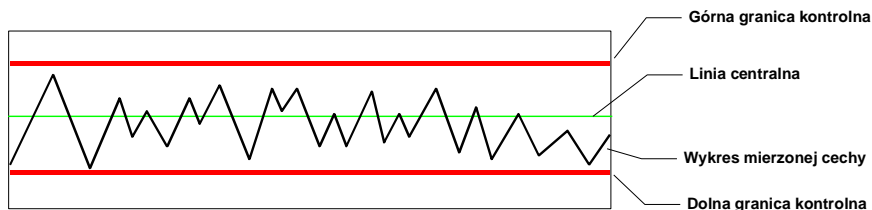
## Karta kontrolna – narzędzie do sterowania procesem

Żaden proces nie przebiega w warunkach idealnych, nie zakłócany przez żadne czynniki. Nigdy nie udaje się wyprodukować dwóch wyrobów o identycznych parametrach (udowodnienie tej tezy jest tylko kwestią przyjęcia odpowiedniej dokładności pomiarów przy zastosowaniu ciągłej skali pomiarowej). Na każdy proces oddziałują bowiem dwa rodzaje zakłóceń:

- ◆ zakłócenia losowe – naturalne, wbudowane w proces,
- ◆ zakłócenia specjalne – działające na proces z zewnątrz.

Zadaniem karty kontrolnej jest oddzielenie w monitorowanym procesie tych dwóch rodzajów zakłóceń.

Najważniejszym elementem karty kontrolnej jest wykres pokazujący zachowanie się monitorowanego parametru procesu (np. długości, szerokości, wagi, ilości wyrobów niezgodnych z wymaganiami) w czasie. Wykres ten (a często dwa wykresy) odzwierciedla zachowanie się monitorowanego procesu. Na jego podstawie można ocenić, czy przebiega on prawidłowo, czy też może zaburzony zakłóceniami specjalnymi wymaga ingerencji nadzorującej go osoby. Na wykresie tym zawsze znajdują się cztery podstawowe linie (rys. 1).



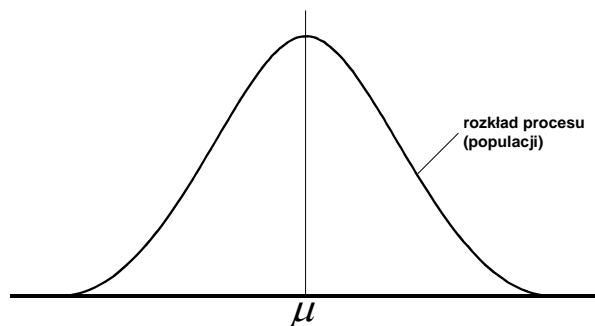
Rys. 1. Podstawowe linie na karcie kontrolnej.

Linia centralna przedstawia wartość średnią ze wszystkich umieszczonych na karcie kontrolnej wyników. Górna granica kontrolna (ang. UCL - Upper Control Limit) oraz dolna granica kontrolna (ang. LCL - Lower Control Limit) są obliczone na podstawie specjalnie opracowanych wzorów i - w uproszczeniu mówiąc – pokazują granice, w jakich powinny mieścić się wartości obserwowanych charakterystyk (np. wartości średnich) dla ustabiliz-

zwanego i poprawnie przebiegającego procesu. Wykres mierzonej cechy odwzorowuje mierzone wartości. Kolejne punkty to albo bezpośrednio wyniki pomiarów, albo wartości średnie z pomiarów poszczególnych kilkuelementowych próbek.

## Rozkład normalny – ważne założenie

Dane pochodzące z pomiarów dokonywanych przy sterowaniu procesami rozkładają się zawsze w pewien określony sposób, zwany rozkładem zmiennej losowej. Zazwyczaj rozkład ten jest zgodny z rozkładem normalnym (rys. 2).



Rys. 2. Rozkład normalny zmiennej losowej.

Rozkład ten ma dwie podstawowe cechy:

- ◆ jest rozkładem jednomodalnym (jest jedna wartość występująca najczęściej),
- ◆ jest symetryczny.

Rozkład ten jest o tyle ważny w sterowaniu procesami, że większość stosowanych kart kontrolnych zakłada, że zebrane wyniki pomiarów są zgodne z tym właśnie rozkładem. Konsekwencją tego jest określona postać wzorów pozwalających określić granice kontrolne. W przypadku, gdy rozkład zebranych wyników wyraźnie odbiega od rozkładu normalnego (np. jest znacząco skośny), zastosowanie standardowych kart kontrolnych może skutkować dwoma niekorzystnymi sytuacjami:

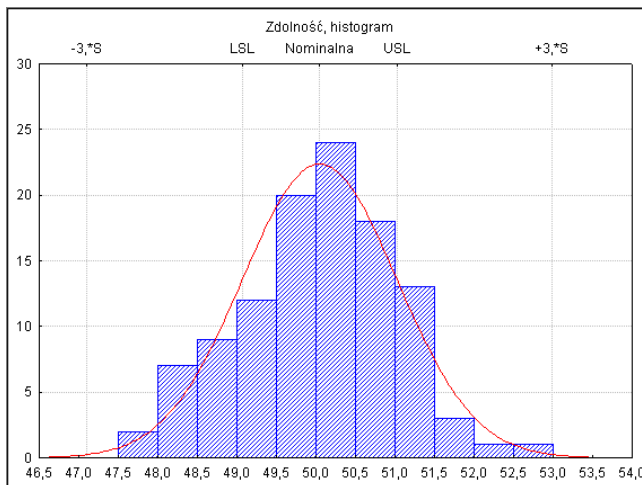
- ◆ na karcie pojawi się wiele fałszywych sygnałów o rozregulowaniu nadzorowanego procesu lub
- ◆ karta kontrolna nie będzie wykazywała rozregulowań procesu.

Obie sytuacje będą powodować pewne koszty niepotrzebnie obciążające przedsiębiorstwo. Aby tego uniknąć, przed wykorzystaniem karty kontrolnej do sterowania wybranym procesem, niezbędne jest zweryfikowanie hipotezy o normalności rozkładu wyników pomiarów. Zrobić to można na trzy sposoby.

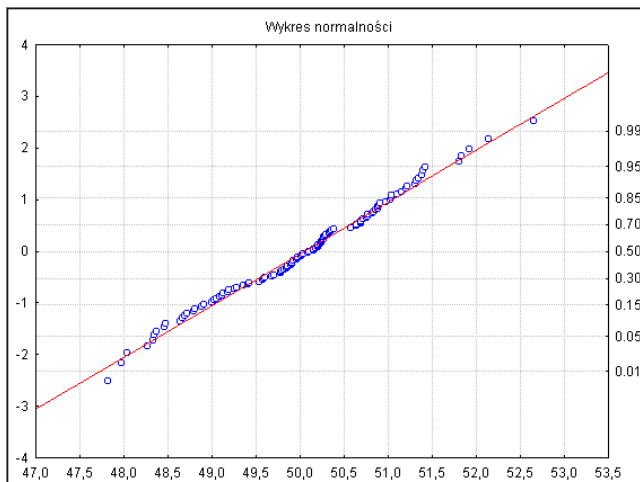
1. Analiza danych przedstawionych za pomocą histogramu – po kształcie histogramu można wstępnie ocenić normalność rozkładu. Metoda ta jest jednak bardzo zawodna,

ponieważ sterując szerokością przedziałów w histogramie można uzyskać różne jego kształty (histogram jest jednym z sześciu wykresów z kartami  $X$ -średnie i  $R$  – rys. 3),

2. Wykorzystanie odpowiednich testów statystycznych do sprawdzania normalności rozkładu danych - testy takie, np. W Shapiro-Wilka, dostępne są w menu Statystyki podstawowe i tabele; testy pozwalają na uzyskanie precyzyjnej i jednoznacznej weryfikacji normalności, wymagają jednak pewnego poziomu wiedzy z zakresu podstaw statystyki,
3. Wykorzystanie graficznej metody sprawdzania normalności rozkładu – za pomocą prostego do odczytania wykresu można ocenić normalność analizowanej zmiennej (wykres taki jest jednym z sześciu wykresów z kartami  $X$ -średnie i  $R$  – rys. 4).



Rys. 3. Przykładowy wygląd histogramu.



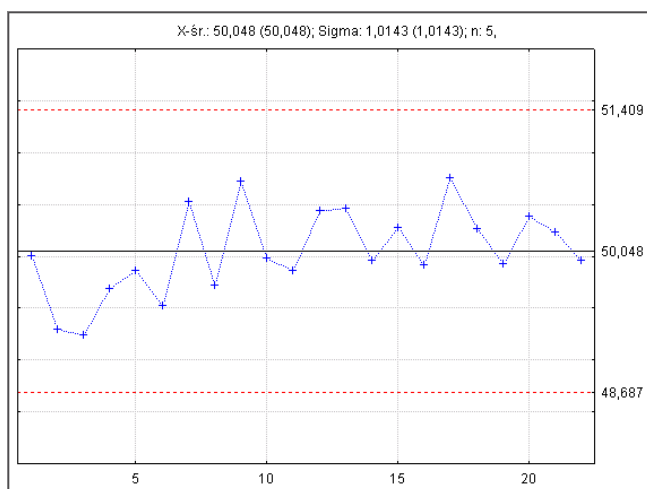
Rys. 4. Przykładowa analiza normalności za pomocą metody wykresłej.

Sprawdzenie, czy zebrane wyniki pomiarów mają rozkład normalny, powinno być jedną z pierwszych czynności przy rozpoczynaniu analizy zachowania się monitorowanego procesu. Jak wynika jednak z doświadczeń autora, ten etap jest notorycznie opuszczany i praktycznie nigdy nie występuje w przedsiębiorstwach, które nie wspomagają sterowania procesami odpowiednim oprogramowaniem komputerowym, ułatwiającym takie analizy.

## Analiza stabilności procesu

Karta kontrolna jest podstawowym narzędziem wykorzystywanym do nadzorowania realizowanych w organizacji procesów, szczególnie procesów produkcyjnych.

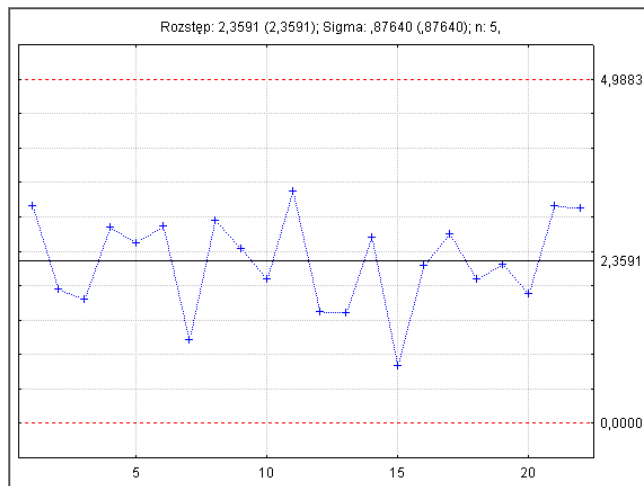
W uproszczeniu mówiąc, proces uznaje się za stabilny, jeżeli statystyka opisująca ten proces (np. wartość średnia z pomiarów, odchylenie standardowe czy procent wyrobów niezgodnych z wymaganiami – w zależności od typu karty kontrolnej) mieści się w określonym przedziale, określonym przez specjalnie wyznaczone granice kontrolne. W zależności od typu karty kontrolnej monitoruje się jeden lub dwa parametry opisujące proces i tyle też wykresów się analizuje. Na rys. 5 przedstawiono przykładowy wykres wartości średnich w próbkach o licznosci  $n=5$ .



Rys. 5. Przykładowa karta wartości średnich.

Jak widać, wartości średnie nie wykazują rozregulowania procesu – nie ma punktów poza granicami kontrolnymi ani innych nielosowych przebiegów.

Na rys. 6 przedstawiono wykres obrazujący rozstępy mówiące o rozrzucie wyników w kolejnych próbkach.

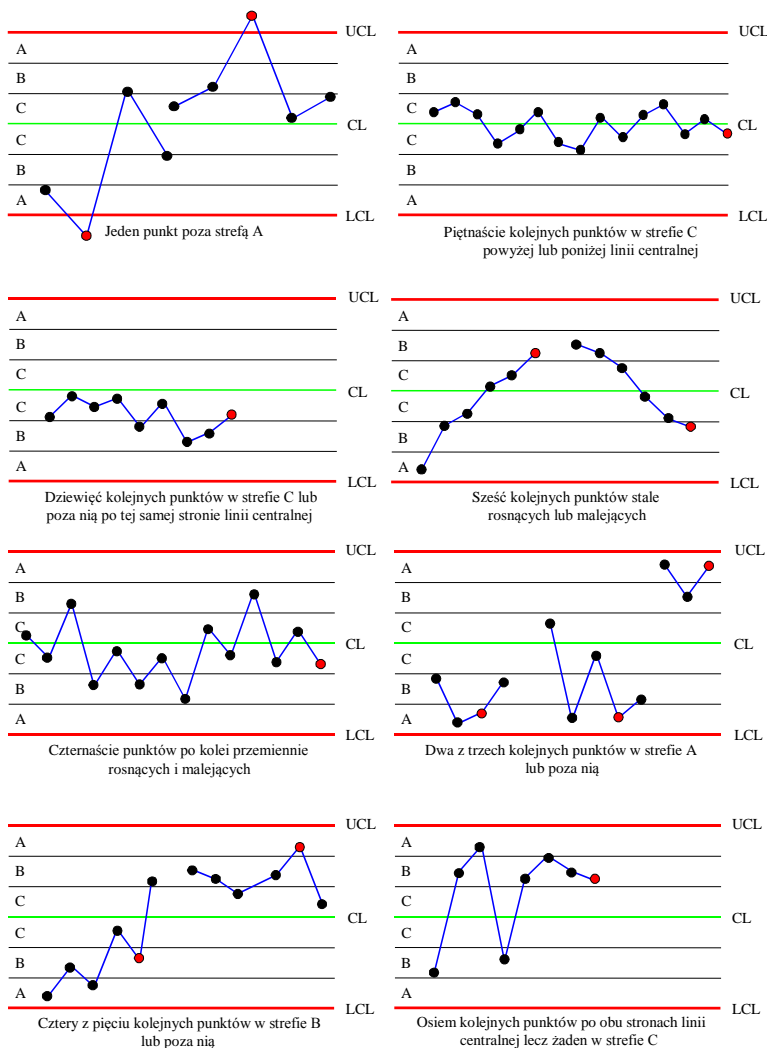


Rys. 6. Przykładowy wykres wartości rozstępów.

Jak widać, także ten wykres nie wskazuje na rozregulowania procesu. Proces można więc uznać za proces statystycznie ustabilizowany.

Bezpośrednie odniesienie monitorowanego parametru do wartości wyznaczonych granicami kontrolnymi jest tylko jednym z elementów analizy stabilności procesu. Podczas pełnej analizy zachowania się procesu uwzględnia się osiem tzw. testów wzorca przebiegu, które wskazują na większość przypadków rozregulowania procesu. Testy te (rys. 7) podane są m.in. w Polskiej Normie PN-ISO 8258 + AC1 poświęconej kartom kontrolnym Shewharta oraz w wielu publikacjach z zakresu tematyki SPC. W celu wykorzystania tych testów dzieli się umownie pole między granicami kontrolnymi na sześć równych stref nazywanych A, B i C.

Niektóre z tych nielosowych zachowań procesu jest bardzo łatwe do zauważenia na analizowanej karcie kontrolnej (np. trend lub przesunięcie wartości średniej procesu). Niektóre jednak wymagają żmudnego liczenia punktów – np. test *cztery punkty z pięciu w strefie B lub poza nią*. Chcąc mieć pewność, że żadne nielosowe zachowania procesu nie umkną uwadze analityka, warto wspomóc się odpowiednimi narzędziami. Z pomocą przychodzi tu pakiet *STATISTICA*. Oferuje on wszystkie osiem testów do analizy procesu, które dodatkowo można modyfikować w przypadku nietypowych potrzeb (np. trend procesu będzie sygnalizowany dopiero po dziewiątym, a nie standardowo po szóstym punkcie wznoszącym lub opadającym).



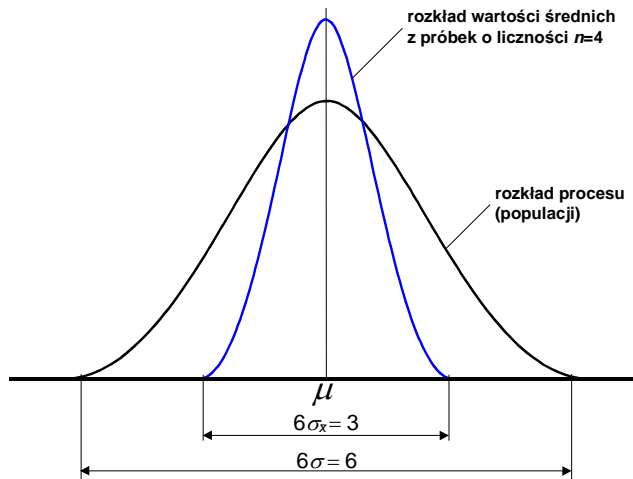
Rys. 7. Testy wzorca przebiegu, źródło: PN-ISO 8258 + AC1.

## Granice kontrolne a granice tolerancji

Fakt, że proces jest procesem ustabilizowanym statystycznie, nie świadczy jeszcze o tym, że wyroby pochodzące z takiego procesu są zgodne z wymaganiami klienta. Aby to sprawdzić, należy otrzymane wyniki odnieść do określonych przez klienta (czasami przez klienta wewnętrznego) granic tolerancji.

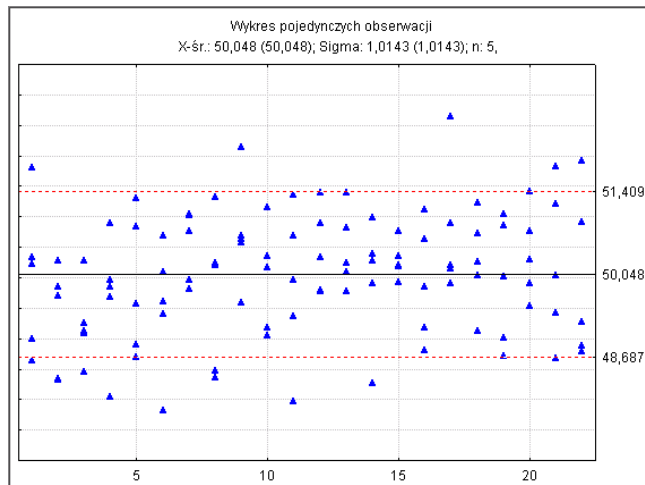
Czasami zaobserwować można w różnych przedsiębiorstwach, jak na karcie wartości średniej oprócz granic kontrolnych zaznaczane są właśnie granice tolerancji. Jest to postępowanie bardzo naganne, gdyż przy braku podstawowej wiedzy z zakresu statystyki

prowadzić ono może do bardzo nieprawidłowych wniosków. Po pierwsze pamiętać należy, że rozkład wartości średnich z kilkuelementowych próbek jest rozkładem węższym niż rozkład populacji, z której te próbki były pobrane (rys. 8).



Rys. 8. Rozkład całej populacji i rozkład wartości średnich.

Na jednym z sześciu wykresów z kartami *X-średnie* i *R* pokazana jest karta kontrolna z zaznaczonymi granicami kontrolnymi oraz poszczególnymi pomiarami, zamiast tylko wartościami średnimi jak na standardowej karcie. Jak widać, mimo że wszystkie wartości średnie mieściły się w granicach kontrolnych, wiele z poszczególnych pomiarów leży poza tymi granicami (rys. 9).



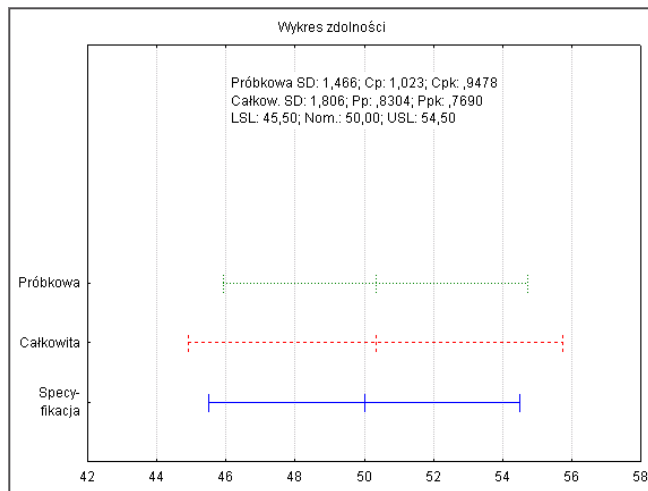
Rys. 9. Wykres przebiegu procesu z zaznaczonymi wartościami pojedynczych pomiarów.



Jest to sytuacja całkowicie normalna. Problem jednak występuje wtedy, gdy niedoszkoleni pracownicy nanoszą na kartę kontrolną wartości średnich granice tolerancji, i kierując się tym, że średnie mieszczą się w tych granicach wyciągają wniosek o prawidłowym przebiegu procesu, tzn. niewystępowaniu wyrobów niezgodnych z wymaganiami. Takie postępowanie może pociągnąć za sobą znaczne koszty.

Oczywiste jest, że nadzorując proces produkcyjny, pracownicy za niego odpowiedzialni przede wszystkim dbają o to, żeby wyroby mieściły się w polu wyznaczonym granicami tolerancji, a nie granicami kontrolnymi. Karta kontrolna pokazuje tylko, czy proces jest stabilny, ale nic nie mówi o jego zdolności do spełnienia stawianych przez klienta wymagań. Dlatego karty kontrolne powinny być zawsze uzupełniane wartościami wskaźników zdolności jakościowej, które jednoznacznie podają, na ile analizowany proces „mieści się” w zadanych tolerancjach. Ogólnie mówiąc, wskaźnik zdolności podaje stosunek pola tolerancji do rozrzutu procesu. Im wskaźnik ten ma większą wartość, tym mniejszy jest rozrzut procesu w polu tolerancji, czyli tym lepszy jest proces. Szersze omówienie wskaźników zdolności procesów znaleźć można w literaturze przedmiotu np. [1], [2], [3], [4].

Zdolności procesów poświęcone są dwa z sześciu wykresów z kartami  $X$ -średnie i  $R$ . Pierwszy z nich to histogram przedstawiony wcześniej na rys. 3. Oprócz rozkładu wyników zaznaczone są na nim granice tolerancji (USL i LSL) oraz szerokość procesu ( $\pm 3 \cdot S$ ). Pozwala to na wstępne określenie wadliwości procesu. Drugi wykres (rys. 10) pozwala już na jednoznaczne określenie, czy proces spełnia zadane tolerancje.



Rys. 10. Analiza zdolności procesu z występującymi rozregulowaniami.

Na wykresie tym podane są bardzo ważne z punktu widzenia oceny procesu dane:

- ♦ ustalone granice tolerancji,
- ♦ odchylenie standardowe wyznaczone z próbek oraz wskaźniki zdolności procesu Cp i Cpk,
- ♦ odchylenie standardowe całkowite oraz wskaźniki wykonania procesu Pp i Ppk.



Warto zaznaczyć tu kolejną zaletę umieszczenia omawianych sześciu wykresów obok siebie. Samo wyznaczenie standardowych wskaźników zdolności procesu  $C_p$  i  $C_{pk}$  nie wystarcza. Bardzo ważne jest sprawdzenie założeń koniecznych do spełnienia przy ich stosowaniu. Pierwszym z nich jest, podobnie jak przy standardowych kartach kontrolnych, normalność rozkładu wyników pomiarów. Drugim, często zaniechanym jest to, że dane użyte do obliczeń pochodzą z procesu statystycznie ustabilizowanego, to znaczy takiego, na który nie wpływają tzw. zakłócenia specjalne. Jest to bardzo ważne założenie wynikające z tego, że zmienność procesu w przypadku tych właśnie wskaźników ustala się za pomocą odchylenia standardowego, estymowanego zwykle z rozstępów z kilkuelementowych próbek pobieranych w czasie monitorowania procesu za pomocą karty kontrolnej. Przy procesie niestabilnym jego zmienność byłaby niedoszacowana i wskaźnik wskazywałby na wyższą zdolność procesu niż jest ona faktycznie. Przy procesach niestabilnych powinno się obliczać wskaźniki oparte na odchyleniu standardowym, obliczanym przy uwzględnieniu wartości wszystkich pojedynczych pomiarów. Są to wskaźniki  $P_p$  i  $P_{pk}$ , których wartości podane są też na omawianym wykresie. Im proces jest bardziej stabilny, tym bardziej podobne wartości mają te dwie grupy wskaźników. Przy procesie niestabilnym wartości  $P_p$  i  $P_{pk}$  są zdecydowanie niższe niż wartości  $C_p$  i  $C_{pk}$ .

Wskaźniki zdolności są więc bardzo potrzebnym uzupełnieniem kart kontrolnym, pozwalają bowiem na określenie faktycznej zdolności procesu do spełnienia wymagań klientów.

## Podsumowanie

Podsumowując, jeszcze raz należy zaznaczyć bezsprzeczną korzyść płynącą z zastosowania umieszczonych obok siebie *sześciu wykresów z kartami  $\bar{X}$ -średnie i  $R$* . Pozwalają one nie tylko na dogłębną analizę danych opisujących monitorowany proces, ale wymuszają też na analitykach weryfikację założeń, będących bardzo istotnymi dla wykorzystywanych narzędzi doskonalenia jakości. Takie podejście do prezentowania wyników obliczeń nie uchroni oczywiście przed błędami wynikającymi z niewiedzy, kiedy analityk nie ma pojęcia, co jest pokazane na poszczególnych dodatkowych wykresach. Wzbudzi to może jednak chociaż zainteresowanie u niektórych i zmotywuje do pogłębienia swojej wiedzy na temat sterowania procesami za pomocą metod statystycznych.

Karta wartości średniej i rozstępu nie wyczerpuje gamy kart możliwych do wykorzystania przy sterowaniu procesami. W grupie kart kontrolnych stosowanych przy ocenie liczbowej są jeszcze m.in. karty oparte na odchyleniu standardowym, karty pojedynczych pomiarów, karty stosowane przy krótkich seriach produkcyjnych czy karty specjalne CUSUM lub karty z ruchomą średnią. Istnieją jeszcze poza tym karty stosowane przy monitorowaniu procesów za pomocą np. liczby wyrobów niezgodnych lub liczby niezgodności w badanych próbkach, czyli bez danych liczbowych opisujących parametry poszczególnych wyrobów. Rodzajów kart kontrolnych jest więc bardzo dużo, a ich dobór zależy przede wszystkim od specyfiki procesu, który ma być nadzorowany.



## Literatura

1. Hryniewicz O., *Nowoczesne metody statystycznego sterowania jakością*, Omnitech Press, Warszawa, 1996 r.
2. Iwasiewicz A., *Metody statystyczne w zarządzaniu jakością*, [w:] *Metody statystyczne w zarządzaniu jakością*, materiały seminaryjne StatSoft, Warszawa 2000 r.
3. Montgomery D. C., *Introduction to Statistical Quality Control*, John Wiley & Sons, New York, 1991 r.
4. Ryan T. P., *Statistical Methods for Quality Improvement*, 2nd edition, A Wiley-Interscience Publication, New York, 2000 r.