



## NIESTANDARDOWE KARTY KONTROLNE – CZYLI JAK SOBIE RADZIĆ W NIETYPOWYCH SYTUACJACH

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

### Wprowadzenie

SPC (statystyczne sterowanie procesami) jest bardzo dobrym sposobem na doskonalenie lub choćby samo tylko monitorowanie realizowanych w organizacji procesów. Karty kontrolne, będące podstawowym narzędziem używanym w ramach SPC pozwalają na gromadzenie i analizowanie wyników pochodzących z bardzo różnych, w tym także nietypowych procesów. Bardzo ważne jest więc to, aby potrafić dobrać właściwą kartę kontrolną dla danej sytuacji. Jeżeli karta taka nie będzie uwzględniała specyfiki sterowanego procesu, może nie tylko nie pomóc w jego doskonaleniu, ale wręcz spowodować jego rozregulowanie.

### Typowe i nietypowe sytuacje

Można postawić tezę, że z punktu widzenia statystycznego sterowania procesami nie ma, a na pewno niewiele jest *typowych* sytuacji. Każda firma jest inna i w każdej realizowane są inne procesy. Często oczywiście można znaleźć w literaturze stwierdzenia, że w *typowej sytuacji zawsze można zastosować kartę wartości średniej i rozstępu (X-R)*. Cóż jednak wtedy należy mieć na myśli? Chyba jedynie firmę produkującą dziennie 10 000 gwoździ tego samego rozmiaru. Wtedy mierząc na przykład długość tych gwoździ faktycznie bez zastanowienia można zastosować kartę *X-R*. Jak wiele jest jednak takich firm? Pracownicy wielu przedsiębiorstw bardzo często muszą się głęboko zastanawiać, jaką kartę kontrolną mogą zastosować, bo standardowe *X-R* albo w żaden sposób nie przystaje do specyfiki produkcji, albo daje całkowicie niezrozumiałe i błędne wyniki. Trzeba więc często wykraczać poza pewne standardowe rozwiązania, które przestają po prostu w pewnym momencie wystarczać.

Najczęstsze problemy, z którymi spotykają się początkujący w dziedzinie SPC to:

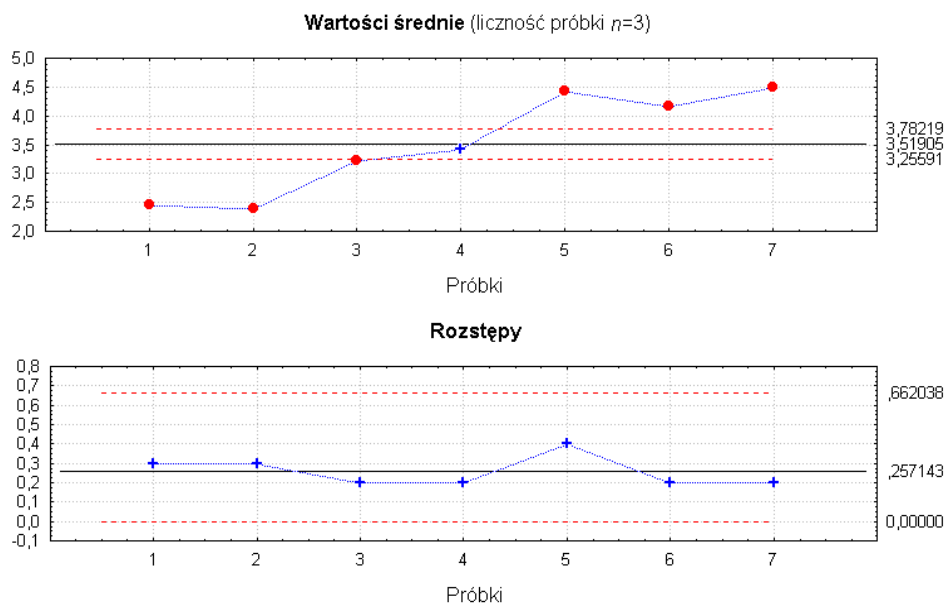
- ◆ występują krótkie serie produkcyjne,
- ◆ potrzebne są narzędzia do wykrywania niewielkich przesunięć wartości średniej procesu,
- ◆ dane nie mają rozkładu normalnego.

W takich sytuacjach należy stosować *specjalne* karty kontrolne.



## Karty kontrolne przy krótkich seriach produkcyjnych

Podstawowym problemem przy krótkich seriach produkcyjnych jest to, że nie można zebrać wymaganych 20-30 próbek do wypełnienia karty i obliczenia granic kontrolnych. Jeżeli produkcja przebiega na przykład w ten sposób, że wytwarza się kilkanaście wyrobów o pewnej długości, później kilkanaście takich samych ale już o zmienionej długości, a następnie znowu kilka o jeszcze innych wymiarach itd. zastosowanie standardowej karty kontrolnej (np.  $X-R$ ) dałoby wyniki przedstawione na rys. 1.



**Rys. 1. Karta  $X-R$  dla danych z krótkich serii produkcyjnych**

Na przedstawionej karcie wartości średniej wyraźnie widać trzy grupy próbek: próbki nr 1-2, nr 3-4 oraz nr 5-7. Dla grup tych wartość celowa mierzonego parametru wynosiła odpowiednio 2,5; 3,3 oraz 4,5 jednostki. Użycie karty  $X-R$  w takim przypadku prowadzi więc do absurdalnego wniosku, że proces jest bardzo rozregulowany (tylko jedna próbka mieści się w granicach kontrolnych!) i należy natychmiast podjąć działania naprawcze. Nie jest to oczywiście prawda. W przypadku krótkich serii produkcyjnych stosować należy *specjalne* karty kontrolne. Dwie najprostsze to:

- ◆ karta wartości średniej,
- ◆ karta proporcjonalna.

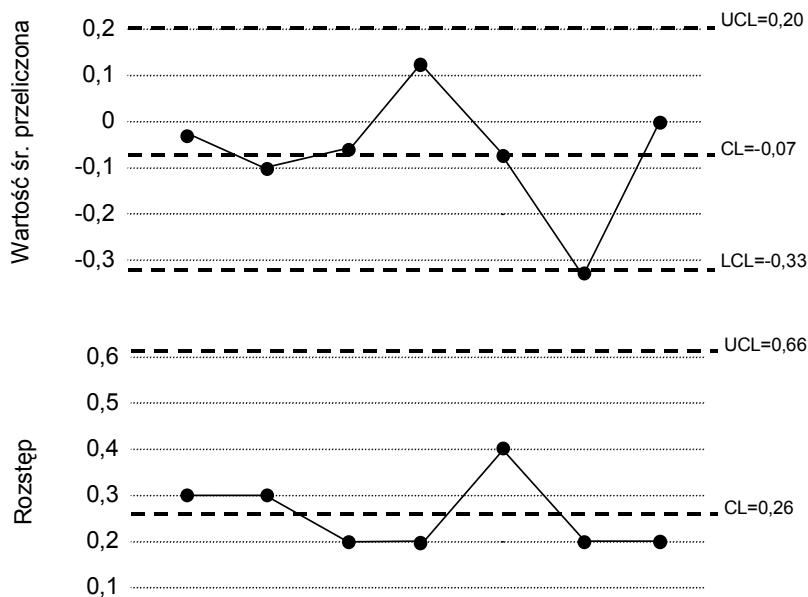
Karta wartości średniej uwzględnia nie wartości poszczególnych pomiarów, ale ich odchylenie od zadanej wartości celowej. Wykreślane punkty nie są więc średnimi z pomiarów w kolejnych próbkach, ale tzw. średnimi przeliczonymi, tworzonymi przez odjęcie od obliczonych średnich wartości celowej odpowiedniej dla danej próbki. Za pomocą karty wartości celowej nie monitoruje się więc wartości mierzonej właściwości wyrobu, ale wielkość jej odchylenia od wartości zadanej. Wzory wykorzystywane przy prowadzeniu karty tego typu są właściwie identyczne jak w przypadku standardowej karty  $X-R$  (wzory te można znaleźć m.in. w PN-ISO 8258+AC1) z tą różnicą, że zamiast wartości



średniej, do wzorów podstawia się wartość średnią przeliczoną. Na rys. 2 przedstawiono przykład karty kontrolnej dla wartości celowej. Bardzo łatwo zauważyć różnicę pomiędzy sporządzonym na niej wykresem wartości średniej przeliczonej, a wykresem przedstawionym na rys. 1 (są to wykresy dla tych samych danych) i nie trzeba chyba jej dodatkowo komentować.

### Karta celu

Nr. próbki	1	2	3	4	5	6	7
Pomiary	2,6	2,2	3,1	3,3	4,5	4,1	4,5
	2,5	2,5	3,3	3,5	4,6	4,1	4,6
	2,3	2,5	3,3	3,5	4,2	4,3	4,4
$\bar{X}$	2,46	2,4	3,24	3,43	4,43	4,16	4,5
cel	2,5	2,5	3,3	3,3	4,5	4,5	4,5
$\bar{X}$ -cel	-0,04	-0,1	-0,06	0,13	-0,07	-0,34	0
R	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2



**Rys. 2. Przykład zastosowania karty kontrolnej dla wartości celowej**

Warunkiem stosowania karty kontrolnej wartości celowej, oprócz zapewnienia stałej liczności kolejnych próbek jest to, że średnie rozstępy dla kolejnych części są podobne. W analizowanym przykładzie oznaczać to więc powinno, że rozstępy dla wyrobów (próbek) o wartości nominalnej 2,5; 3,3 oraz 4,5 nie różnią się znacznie.

Bardzo podobną do omawianej jest karta kontrolna proporcjonalna. Różnica między nimi polega jedynie na tym, że wartość średnią przeliczoną uzyskuje się w tym przypadku poprzez podzielenie obliczonej wartości średniej przez wartość celową. Bez zmian pozostają tu stosowane wzory. Warunkiem stosowanie takiej karty (oprócz tych



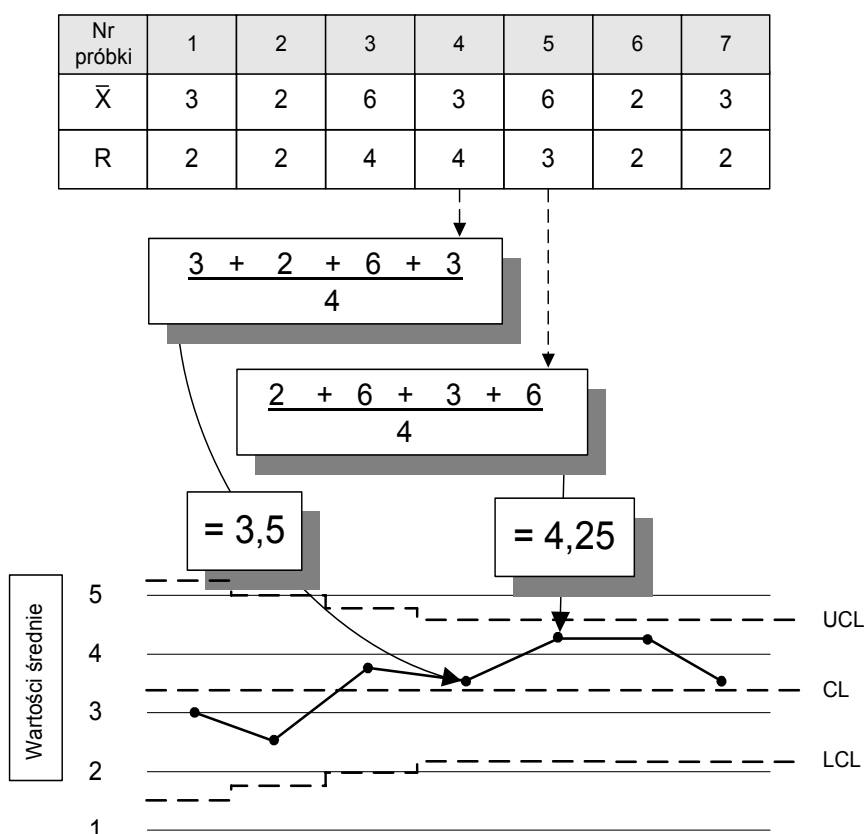
oczywistych) jest to, że zmiany rozstępu powinny być proporcjonalne do zmian wartości nominalnej. Karta ta może więc być stosowana jako zamiennik karty wartości celowej, w przypadku, gdy specyfika procesu nie pozwala na wykorzystanie tej pierwszej.

## Wykrywanie niewielkich przesunięć procesu

Prawidłowo powinno się mówić nie o przesunięciach procesu, ale o przesunięciach wartości średniej procesu. W niektórych sytuacjach przede wszystkim takie właśnie przesunięcia muszą być wychwytywane i eliminowane. Standardowo stosowane karty nie zawsze potrafią jednak wskazać na ich wystąpienie.

### Karty z ruchomą średnią

Najbardziej popularną z omawianej grupy kart jest karta kontrolna z ruchomą średnią *MA*. Jej podstawową cechą jest to, że wykreślany dla danej próbki punkt jest wartością średnią z *n* ostatnich średnich w kolejnych próbkach (a nie średnią pomiarów z danej próbki). Istotę karty *MA* przedstawiono na rys. 3.

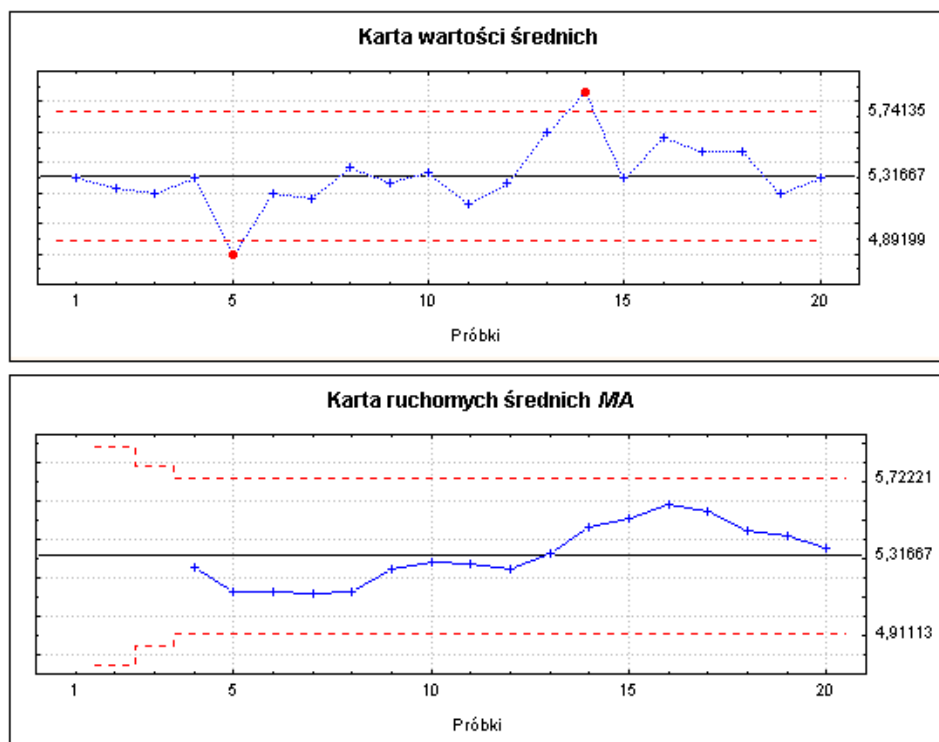


Rys. 3. Istota prowadzenia karty *MA*

Wykres na karcie *MA* jest zawsze „wygładzony” w porównaniu z wykresem z karty *X-R*. Dzięki temu łatwiej jest zaobserwować pojawiające się trendy lub przesunięcia wartości średniej procesu (rys. 4). Wykres taki jest tym bardziej „wygładzony”, im szersze będzie



ustalone okno (średnia będzie liczona z większej liczby próbek). Im jednak szersze okno, tym mniej czuła jest karta na chwilowe rozregulowania procesu. Należy to zawsze mieć na uwadze projektując kartę kontrolną *MA*.



**Rys. 4. Karty wartości średnich i karty średnich ruchomych dla tych samych danych**

Inną kartą z ruchomą średnią jest karta *EWMA* (z wykładniczo ważoną ruchomą średnią). W karcie *MA* wszystkie wyniki zawarte w ustalonej szerokości oknie mają taki sam wpływ na średnią, czyli tak samo wpływają na wykreślany punkt. W karcie *EWMA* wyniki „starsze” mają mniejszy wpływ niż „młodsze”. Wpływ poszczególnych wyników regulować można zgodnie ze wzorem:

$$z_i = \lambda \cdot \bar{X}_i + (1 - \lambda) \cdot z_{i-1}$$

gdzie:

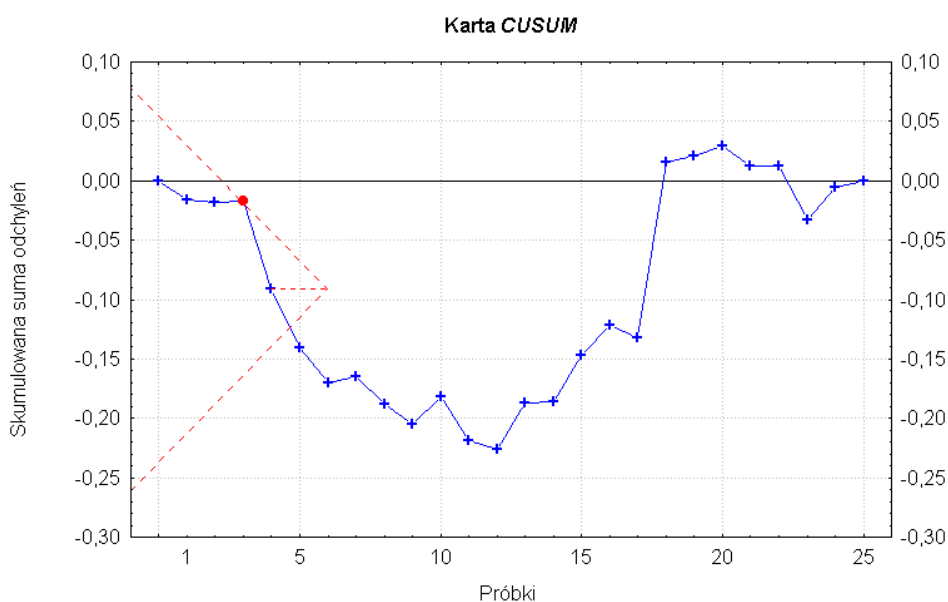
- $\lambda$  – (lambda) parametr karty kontrolnej,
- $z_i$  – wartość wykładniczo ważonej średniej ruchomej dla  $i$ -tej próbki,
- $z_{i-1}$  – wartość wykładniczo ważonej średniej ruchomej dla próbki  $i-1$ ,
- $\bar{X}_i$  – wartość średnia w  $i$ -tej próbce.

Im więc większą wartość będzie miał parametr  $\lambda$ , tym większy wpływ będzie miał wynik ostatni. W przypadku ekstremalnym, gdy  $\lambda=1$ , będziemy mieli do czynienia ze zwykłym wykresem wartości średniej jak przy karcie *X-R*. Wszystko zależy od tego, jakiego rzędu odchylenia wartości średniej procesu chcemy wykrywać za pomocą prowadzonej karty *EWMA*.



## Karta CUSUM

Karty *CUSUM* służą przede wszystkim do wykrywania pojawiających się przesunięć wartości średniej procesu, szczególnie tych niewielkich, na które inne karty nie są czułe. W polskiej literaturze nazywane są one też *kartami sum skumulowanych* (tłumaczenie z języka angielskiego skrótu *CUSUM*), co oddaje w pełni istotę ich działania. Na karcie tej każdy wykreślany punkt jest sumą odchyłeń wartości zmierzonych we wszystkich dotychczasowych próbkach od wartości nominalnej, celowej. Wygląd kart *CUSUM* jest bardzo specyficzny. Nie ma na niej tradycyjnych równoległych granic kontrolnych, nie ma też linii centralnej pokazującej wartość średnią. Jedyna linia pozioma umieszczona jest na poziomie 0 i odzwierciedla brak odchylenia od wartości nominalnej. Granice kontrolne zastąpione są tzw. maskownicą w kształcie litery V. „Przykłada” się ją do kolejno wykreślanych punktów i sprawdza, czy żadne wcześniejsze za nią nie wykraczają – jeżeli tak się zdarzy, świadczyć to będzie o rozregulowaniu procesu. Z uwagi na stosunkowo skomplikowane obliczenia potrzebne do ustalenia kształtu maskownicy (głównie kąta rozwarcia jej ramion) praktycznie nie prowadzi się jej bez pomocy komputera. Przykładową kartę *CUSUM* przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Przykładowa karta *CUSUM*

## Karty dla rozkładów innych niż normalne

Standardowe karty kontrolne opracowane w latach 20-tych przez W. Shewharta przeznaczone są do monitorowania procesów w przypadku, gdy dane z dokonywanych pomiarów mają rozkład normalny lub zbliżony do normalnego. Jest to bardzo istotne założenie, które rzutuje na poprawność wyników otrzymanych podczas stosowania kart kontrolnych. Rozkład normalny jest rozkładem najczęściej występującym w praktyce statystycznego sterowania jakością. Zdarzyć się jednak może, że dane będą znacznie odbiegały od tego rozkładu, a wtedy standardowe karty kontrolne są nieprzydatne. Istnieją



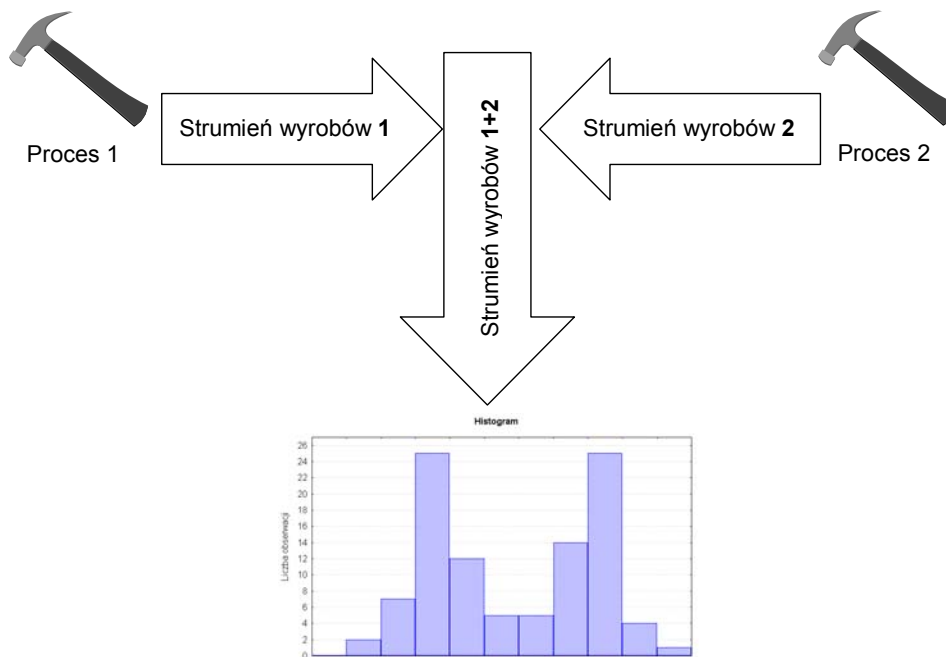
jednak określone procedury, pozwalające na sterowanie procesami w takich właśnie przypadkach.

Podstawowym zadaniem jest na początku określenie, jak wygląda rozkład analizowanych wyników. Bardzo uogólniając można powiedzieć, że spotkać można dwa przypadki:

- ◆ dane mają rozkład inny niż normalny (np. bardzo skośny),
- ◆ dane mają rozkład wielomodalny, czyli mamy do czynienia z dwoma lub więcej połączonymi rozkładami normalnymi.

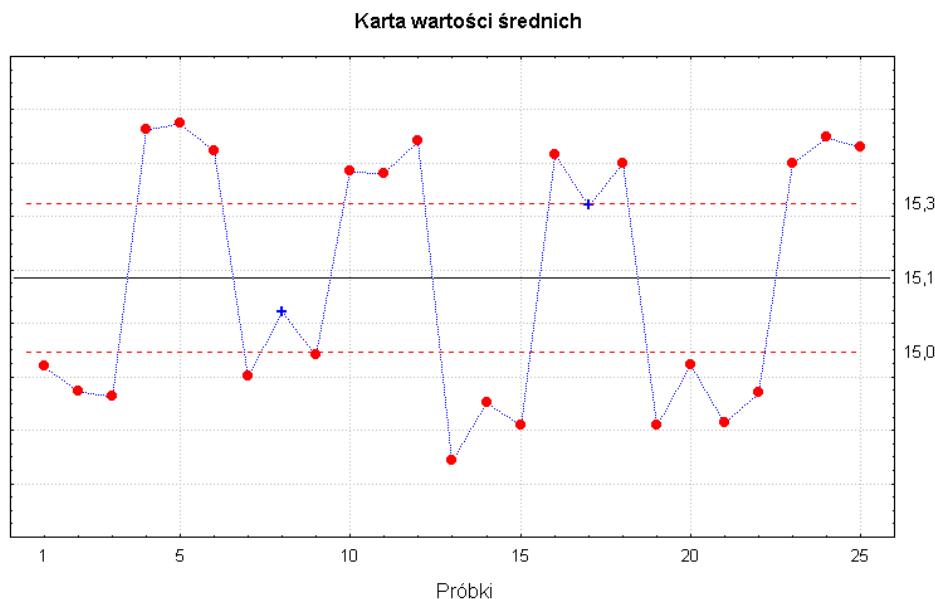
## Rozkład dwumodalny

Bardzo często zdarza się, że na początku wdrażania SPC popełniane są proste błędy, nazwijmy to „logiczne”, polegające na tym, że zbiera się jakieś nieprzemyślane dane i próbuje je dalej analizować. Daje to czasami bardzo dziwne i nieoczekiwane wyniki. Klasycznym przykładem takiej sytuacji jest prowadzenie jednej karty kontrolnej (np.  $X-R$ ) zbierając na niej wyniki pochodzące z dwóch potoków produkcyjnych (np. dwóch maszyn). Mamy wtedy właśnie zwykle do czynienia z dwoma połączonymi rozkładami normalnymi (rys. 6). Karty kontrolne sporządzone w takiej sytuacji dają bardzo dziwne, trudne nawet do skomentowania wyniki (rys. 7).



**Rys. 6. Histogram dwóch strumieni wyrobów**

W takiej sytuacji niezbędne jest przeprowadzenie stratyfikacji, czyli rozwarstwienia danych. Oddzielnie należy zacząć analizować wyniki (wyroby) pochodzące z różnych źródeł. Wtedy dopiero można zacząć wykorzystywać karty kontrolne do doskonalenia jakości.



**Rys. 6. Karta wartości średnich dla rozkładu podwójnego**

## Rozkład inny niż normalny

Zdarzyć się może, że dane zbierane w ramach SPC w sposób znaczący będą odbiegały od rozkładu normalnego. Standardowe karty kontrolne Shewharta nie mają wtedy, jak już napisano, zastosowania. Można jednak w takich przypadkach zastosować specjalne karty kontrolne, zaprojektowane dla rozkładów innych niż normalne.

Pierwszym krokiem w takiej sytuacji, jest określenie podstawowych własności rozkładu zebranych danych. W tym celu oblicza się tzw. *skośność* oraz *kurtozę* opisujące analizowany rozkład.

*Skośność*, mówiąc bardzo opisowo pokazuje, w którą stronę „ciągnie” się wydłużony „ogon” wykresu rozkładu, czyli określa jego asymetrię. *Kurtoza* określa na ile spłaszczony (lub smukły) jest wykres rozkładu. Za punkt odniesienia przyjmuje się tutaj rozkład normalny, który jest idealnie symetryczny (*skośność* wynosi 0), a jego *kurtoza* równa jest 0. Dla rozkładów mających te dwa parametry znacznie odbiegające od wartości zero, granice kontrole na karcie kontrolnej oblicza się wg specjalnych procedur wykorzystując obliczone wartości *skośności* i *kurtozy* oraz opierając się o pertencyle rozkładu.

## Możliwości pakietu STATISTICA

Nie trzeba chyba nikogo specjalnie przekonywać, że wykorzystywanie komputera przy rozwiązywaniu nietypowych problemów pojawiających się podczas statystycznego sterowania procesami jest właściwie nieodzowne. O ile można „ręcznie” prowadzić kartę *X-R*, to nie ma praktycznie możliwości robienia tego w przypadku kart bardziej skomplikowanych obliczeniowo, w tym np. karty *CUSUM*. Sam komputer oczywiście nie wystarczy, trzeba jeszcze mieć do niego odpowiednie oprogramowanie. Należy je dobrać bardzo starannie, zwracając uwagę na jego możliwości oraz zakres zagadnień, które

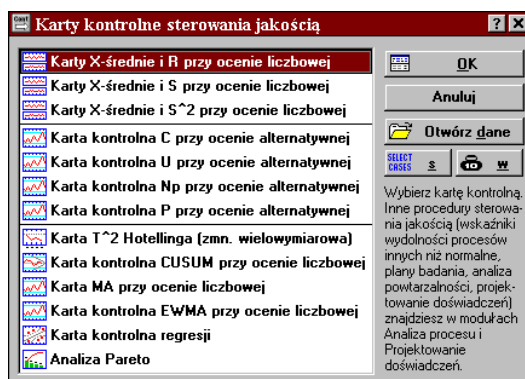


obejmuje. Według wielu niezależnych testów przeprowadzonych na całym świecie, przodujący w tej dziedzinie jest pakiet *STATISTICA*. Obejmuje on bardzo wiele narzędzi statystycznych, wśród których wiele wykorzystywanych może być przy statystycznym sterowaniu procesami.

Opcje wykorzystywane do rozwiązywania problemów opisanych w niniejszym referacie zawarte są właściwie w trzech modułach (częściach) pakietu *STATISTICA*. Dzięki podstawowemu modułowi *Podstawowe statystyki* obliczyć można takie wielkości jak *skośność* czy *kurtoza*, można sprawdzić czy rozkład danych jest normalny oraz uzyskać bardzo wiele informacji na temat analizowanych danych.

Z punktu widzenia SPC kluczowym jest moduł *Sterowanie jakością - karty kontrolne*. W module tym dostępne są praktycznie wszystkie karty kontrolne wykorzystywane w praktyce, od tych bardzo prostych, po skomplikowane (rys. 7).

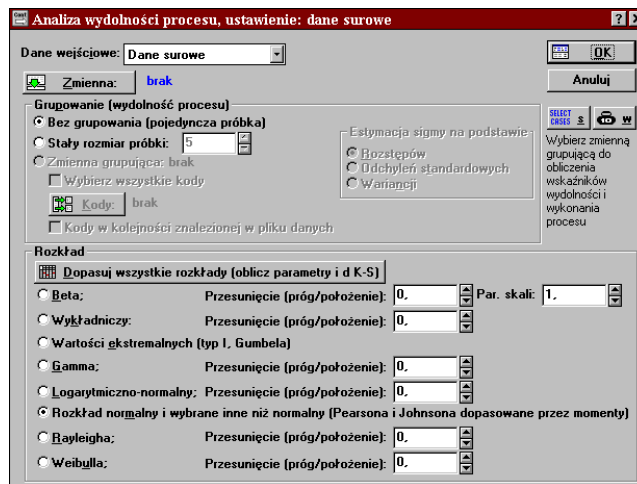
To w tym właśnie module można wykreślać karty kontrolne dla rozkładów innych niż normalne i to czyni się to jednym ruchem myszki, podczas gry „ręcznie” prowadzone obliczenia zajmowałyby dużo cennego czasu. Nie bez znaczenia jest także fakt, że pakiet nie tylko wykreśla karty, ale poddaje je także od razu analizie, szukając wszelkich sygnałów świadczących o rozregulowaniu się procesu (sygnały te opisane są m.in. w PN-ISO 8258+AC1).



Rys. 7. Karty kontrolne dostępne w pakiecie *STATISTICA*

Innym bardzo ważnym modułem pakietu *STATISTICA* jest moduł *Analiza procesu*. Jest on szczególnie przydany w przypadku występowania rozkładów innych niż normalne. W module tym bowiem umieszczonych jest wiele narzędzi umożliwiających dopasowanie do danych odpowiedniego, wybranego przez użytkownika rozkładu danych (rys. 8). Można też oczywiście ponadto przeprowadzić pełną analizę procesu, który opisują zgromadzone dane.

Pakiet *STATISTICA* dostarcza jeszcze wielu innych cennych narzędzi doskonale wspierających początkowo prace wdrożeniowe, a później już samo wykorzystywanie statystycznego sterowania procesami.



Rys. 8. Okno dialogowe w module *Analiza procesu*