



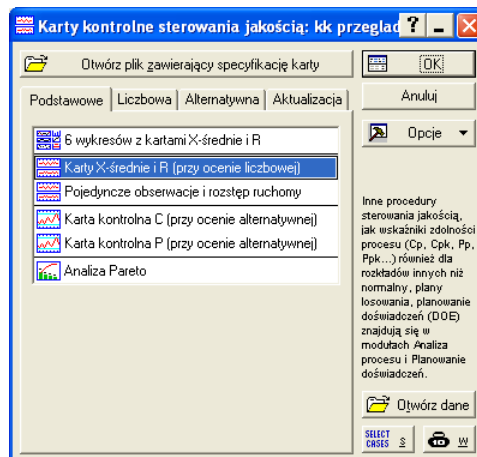
PRZYKŁAD TWORZENIA KART KONTROLNYCH W STATISTICA

Tomasz Demski, StatSoft Polska Sp. z o.o.

Karty kontrolne są jednym z najczęściej wykorzystywanych narzędzi analizy danych. Zaproponowane w latach dwudziestych XX wieku, okazały się niezwykle użyteczne w wielu dziedzinach i są fundamentem statystycznego sterowania jakością (ang. *Statistical Process Control* – SPC). Podstawowe zastosowanie kart kontrolnych to wykrywanie nielosowych zmian w procesach. Innymi słowy chcemy odróżnić własną zmienność procesu (wynikająca z przyczyn losowych) od zmienności powodowanej przez przyczyny specjalne, takie które możemy usunąć, aby proces był bardziej stabilny i przewidywalny. Opracowano wiele rodzajów kart kontrolnych dostosowanych do różnych zadań; opis różnych typów kart i szczegóły obliczeniowe przedstawiono w podręczniku [1] oraz artykułach [2] i [3].

Przedstawimy kilka przykładów tworzenia kart kontrolnych, ilustrujących niektóre możliwości *STATISTICA* w tej dziedzinie.

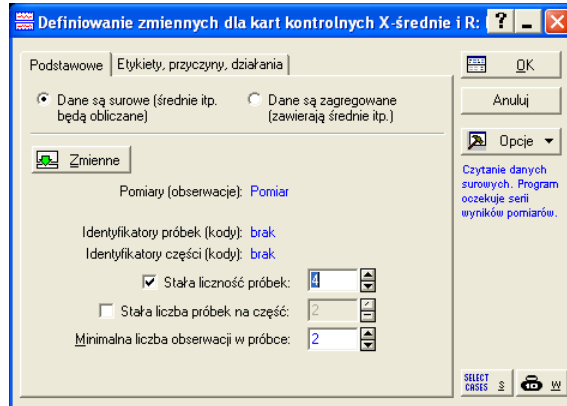
Naszym celem jest zbadanie, czy pewien proces jest stabilny. Z procesu pobierane były czteroelementowe próbki jego właściwości. Proces jest na etapie projektowania, tzn. położenie linii centralnej i linii kontrolnych nie jest ustalone. Na początek zastosujemy najpopularniejszą kratę X-średnie i R. Przyjmiemy (zgodnie z sugestią norm, por. [4]), że linie kontrolne leżą w odległości $\pm 3\sigma$ od linii centralnej odpowiadającej średniej wartości badanej właściwości.



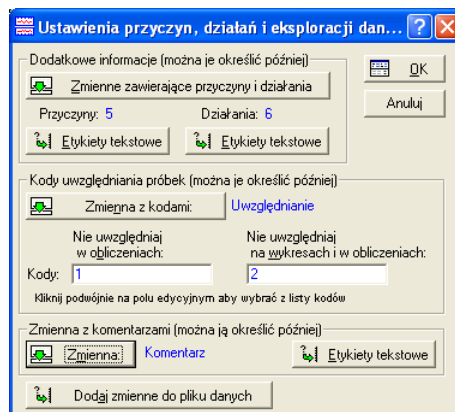


Po uruchomieniu programu *STATISTICA* i otwarciu pliku danych z menu *Statystyka* wybieramy polecenie *Statystyki przemysłowe – Karty kontrolne*. Na ekranie otworzy się okno *Karty kontrolne sterowania jakością*, w którym zaznaczamy *Karty X-średnie i R przy ocenie liczbowej* (tak jak na rysunku powyżej) i naciskamy *OK* (lub klawisz *Enter*).

Następnie w oknie *Definiowanie zmiennych dla kart kontrolnych* określamy zmienne oraz licznosc próbek.

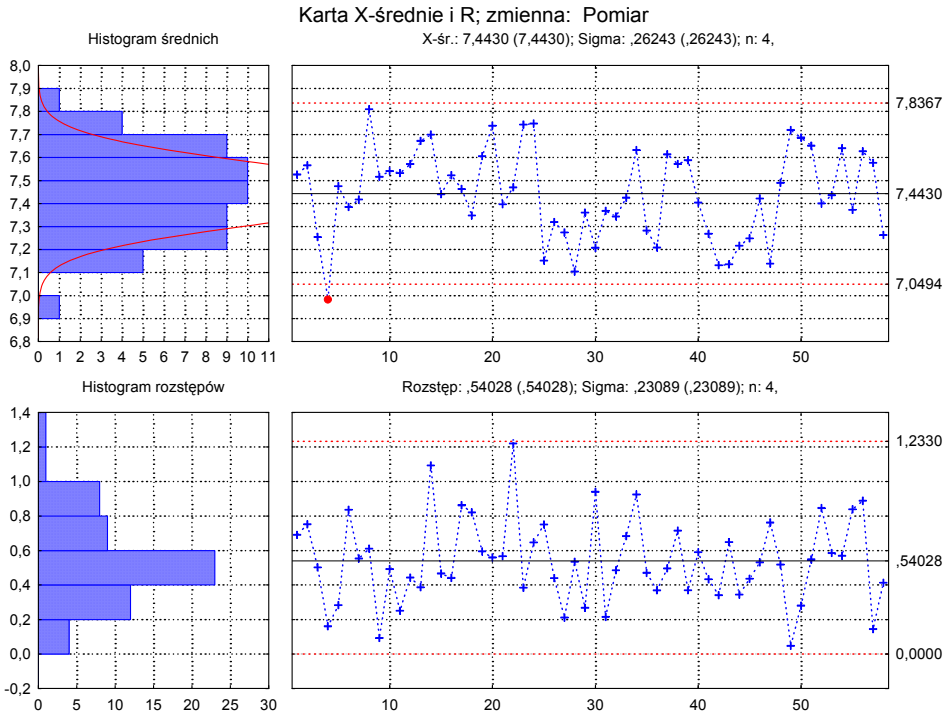


Program *STATISTICA* umożliwia umieszczanie na kartach kontrolnych dodatkowych informacji: przyczyn, działań, komentarzy oraz pomijania wskazanych próbek w obliczeniach i na kartach kontrolnych. Informacje te zapisywane są razem z pomiarami w pliku danych, w zmiennych wskazanych przez użytkownika. Ułatwia to prowadzenie dalszych analiz, np. badanie częstości poszczególnych przyczyn rozregulowań i zapewnia dokumentację analiz (zwróćmy uwagę, że dodatkowe informacje w przypadku systemu *SEWSS*, są zapisywane w centralnej bazie danych). Zmienne do zapisu dodatkowych informacji wskazujemy po kliknięciu przycisku *Ustawienia przyczyn, działań, komentarzy i uwzględniania próbek* na karcie *Etykiety, przyczyny, działania* okna *Definiowanie zmiennych dla kart kontrolnych*. Na ekranie pojawi się (widoczne poniżej) okno *Ustawienia przyczyn, działań i eksploracji danych*, w którym wskazujemy zmienne dla dodatkowych informacji.





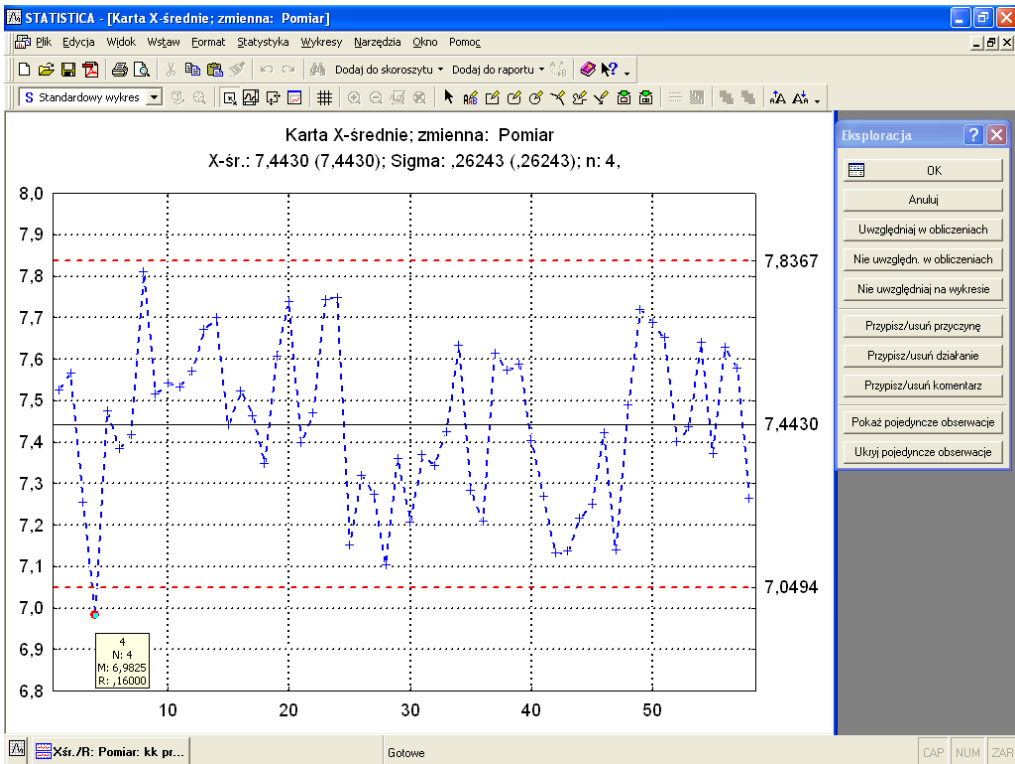
Po wskazaniu zmiennych klikamy *OK* w oknie *Definiowanie zmiennych dla kart kontrolnych*. Utworzona zostanie karta kontrolna z domyślnymi ustawieniami odpowiadającymi zaleceniom polskiej normy (por. [4]) – właśnie taka, jakiej potrzebujemy.



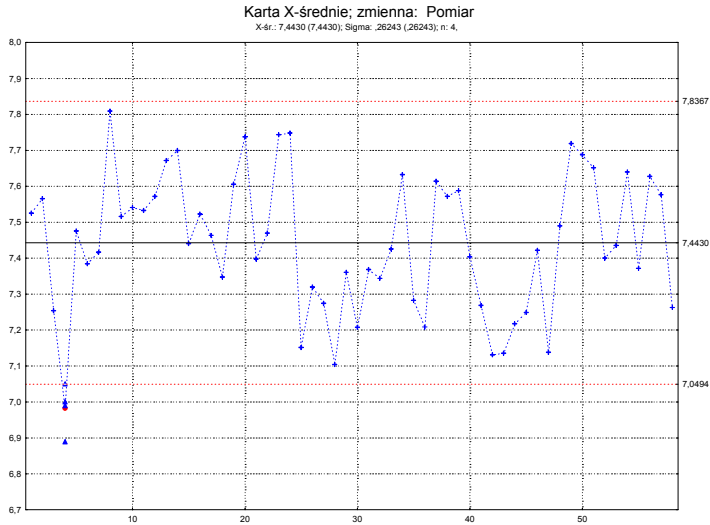


Ustawienia domyślne kart kontrolnych są zgodne z sugestiami norm, jednak równie ważną zaletą jest możliwość dobrania odpowiednich ustawień niemal każdego parametru kart kontrolnych. Karty kontrolne konfigurujemy w oknie wyników $X\text{-}\bar{x}/R$ towarzyszącym utworzonej karcie kontrolnej.

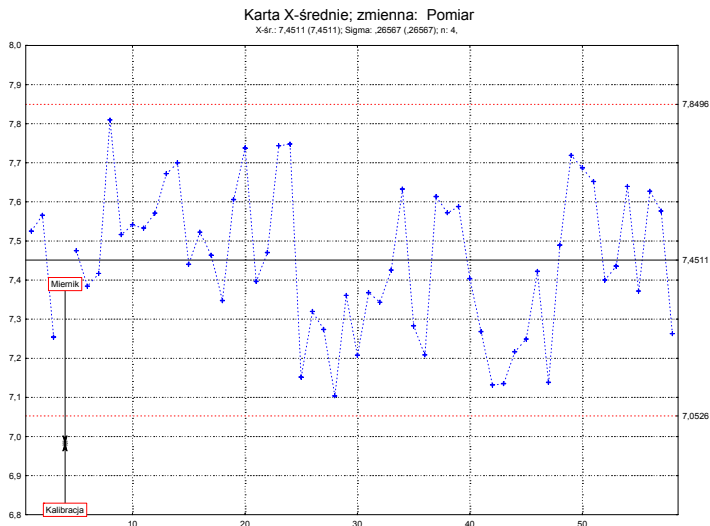
Na karcie mamy jeden sygnał o rozregulowaniu: na torze średniej dla czwartej próbki. Przyjrzymy się bliżej temu sygnałowi. W tym celu tworzymy niezależną kartę $X\text{-}\bar{x}$ i włączamy tryb eksploracji karty, klikając przycisk *Eksploruj* w oknie wyników kart kontrolnych. Po wskazaniu punktu sygnalizującego rozregulowanie uzyskujemy podstawowe statystyki dla próbki: liczbę pomiarów w próbce, średnią i rozstęp (zob. rysunek poniżej).



Rozkład poszczególnych pomiarów tworzących próbkę może ułatwić nam zdiagnozowanie problemu. W panelu *Eksploracja* klikamy *Pokaż pojedyncze obserwacje*, wynikowa karta widoczna jest poniżej. Poszczególne pomiary są sobie bliskie, wydaje się jakby cała próbka została przesunięta w dół. Może być wiele przyczyn takiego zjawiska, w tym konkretnym wypadku okazało się, że zwinilo złe ustawienie miernika, które zostało zresztą skorygowane przed następnymi pomiarami.



Informację o przyczynie i podjętym działaniu umieszczamy na karcie, klikając odpowiednie przyciski panelu *Eksploracja*. W przypadku znalezienia przyczyny rozregulowania zaleca się, aby próbka nie była brana pod uwagę przy wyliczaniu położenia linii kontrolnych (zob. np. [5]).

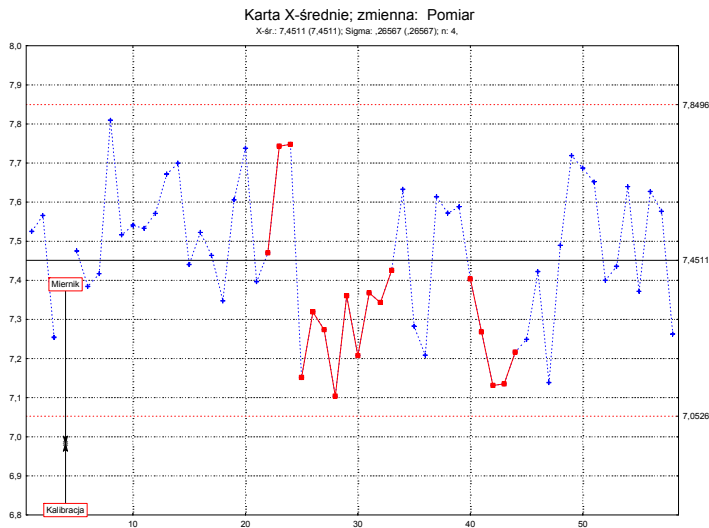


Po sprawdzeniu podstawowego testu, tj. próbek poza liniami kontrolnymi, powinniśmy sprawdzić, czy nie pojawiają się nielosowe sekwencje punktów na karcie kontrolnej. Zastosujemy do tego testy konfiguracji (zwane też testami wzorca przebiegu, ang. *runs tests*, zob. [1]). Wyniki zastosowania testów wzorca przebiegu widzimy w tabeli poniżej.



	Testy konfiguracji Karta X-średnie	
	od próbki	do próbki
Strefy A/B/C: 3,000/2,000/1,000 *Sigma		
9 po tej samej stronie l. centralnej	25	33
6 w trendzie rosnącym/malejącym	OK	OK
14 naprzemiennie w górę i w dół	OK	OK
2 z 3 w strefie A lub dalej	22	24
	41	43
4 z 5 w strefie B lub dalej	40	44
15 w strefie C	OK	OK
8 poza strefą C	OK	OK

Testy konfiguracji możemy pokazać na karcie kontrolnej (zob. rysunek poniżej). Podejrzane sekwencje punktów są na wykresie wyróżniane ciągłą linią i innym kształtem znacznika punktów.



Testy konfiguracji unaoczniają nam, iż od pewnego momentu mamy jakby za dużo niskich wartości właściwości. Sugeruje to przesunięcie średniej. Do sprawdzenia, czy wystąpiło przesunięcie średniej procesu wykorzystamy kratę EWMA.

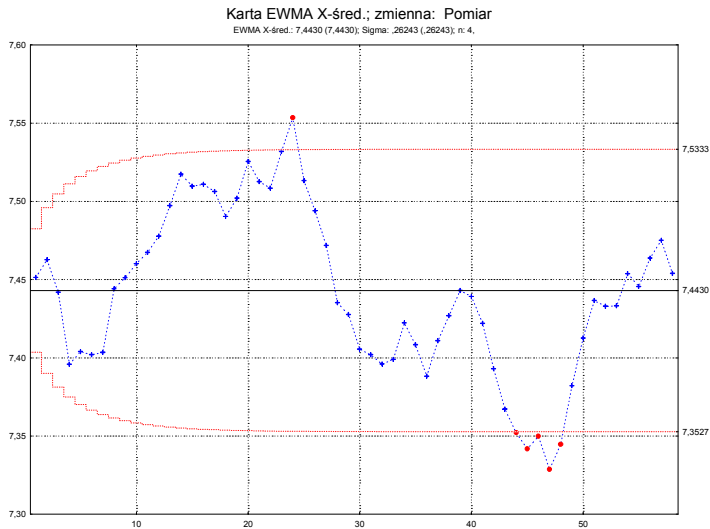
Karta EWMA pokazuje, jak bieżąca próbka i wcześniejsze od niej odchylają się od linii centralnej. Położenie punktu na karcie wyliczane jest według wzoru:

$$z_i = \lambda x_i + (1-\lambda)z_{i-1}$$

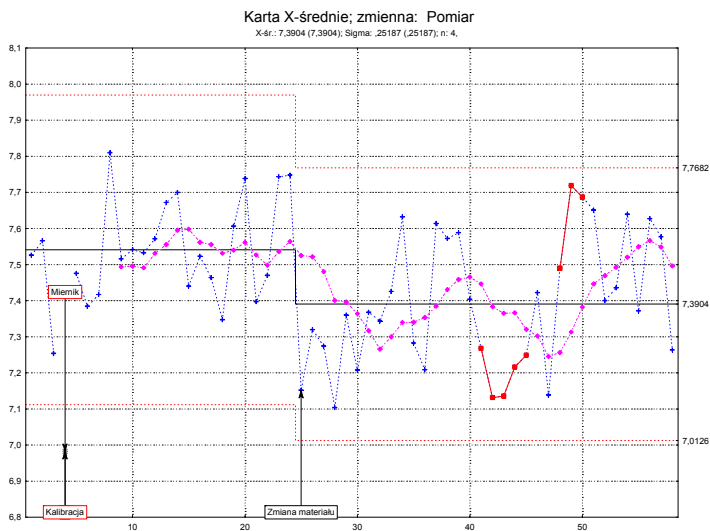
We wzorze z oznacza położenie punktu na karcie EWMA, x wartość średnią w próbce, a λ to parametr karty (w *STATISTICA* domyślnie przyjmowana jest wartość 0,1). Wzór ten można odczytać w ten sposób, że badamy, jak zmienia się wartość w bieżącej próbce, ale również w poprzedzających ją obserwacjach, przy czym wpływ coraz wcześniejszych obserwacji jest coraz mniejszy. Takie podejście eliminuje szum losowy i umożliwia zauważenie nawet niewielkich przesunięć średniej i trendów. Więcej informacji o karcie EWMA przedstawiono w podręczniku [1].



Kartę EWMA określamy podobnie jak kartę X-średnie i R. Widzimy ją na rysunku poniżej. Karta wykazała kilka sygnałów o rozregulowaniu, mamy też wyraźną tendencję: najpierw stały wzrost od 4 do 24 próbki, a potem gwałtowny spadek od próbki 24 do 32. Takie zachowanie ma miejsce, jeśli wartość oczekiwana właściwości uległa trwałemu przesunięciu. Zadaniem inżyniera jest teraz znalezienie przyczyny tej zmiany, co ułatwia przybliżone określenie momentu jej wystąpienia, przez czas zajścia sygnału o rozregulowaniu (zazwyczaj karta EWMA reaguje z pewnym opóźnieniem).



W naszym przypadku zmiana nastąpiła dokładnie dla 25 próbki, a było nią zastosowanie nowego materiału. Tę zmianę o specjalnej przyczynie (nielosową) uwzględnimy, definiując na karcie zbiory. Dzięki temu na jednym wykresie mamy karty o różnych specyfikacjach.





Taką właśnie kartę widzimy powyżej. Istotnie, począwszy od próbki nr 25 nastąpiło zauważalne zmniejszenie średniej procesy. Moment zmiany materiału oznaczyliśmy na karcie wprowadzając komentarz.

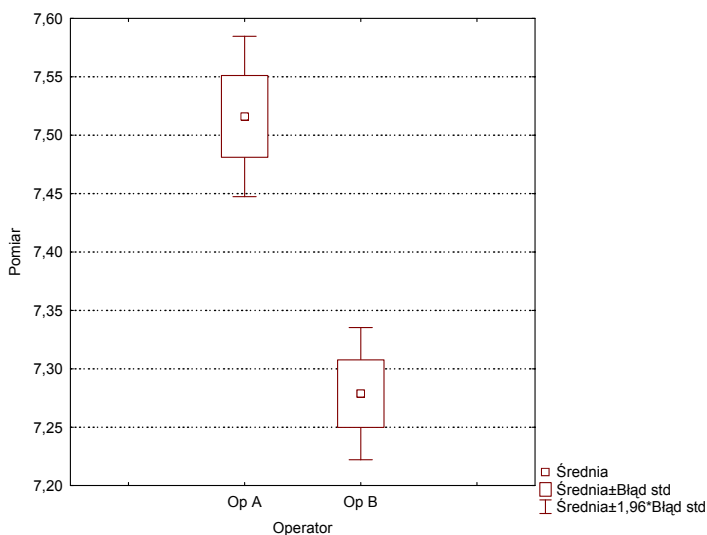
Na karcie nie ma próbek poza granicami kontrolnym (poza próbką nr 4, którą zajęliśmy się na początku), jednak gdy włączymy testy konfiguracji, to pojawią się sygnały o rozregulowaniu. Aby wykryć ich przyczynę zastosujemy dodatkową linię średniej ruchomej nanieśioną na kartę. Na karcie powyżej ośmiopunktowa linia średniej ruchomej oznaczona jest rombami. Rzuca się w oczy, że po zmianie materiału linia średniej ruchomej przebiega bardzo regularnie, przypomina falę. Takie zachowanie jest typowe, jeśli mamy pewną przyczynę pojawiającą się w regularnych odstępach czasu. W naszym przypadku przyczyną „falowania” okazali się operatorzy.

W tabeli poniżej widzimy statystyki opisowe pomiarów dokonywanych przez operatorów. Widzimy, że średnia dla operatora B jest niższa niż dla operatora A, natomiast różnica w odchyleniach standardowych jest niewielka.

Operator	Średnia	Liczność	Odchylenie standardowe
Op A	7,52	64	0,28
Op B	7,28	72	0,25
Ogół grp.	7,39	136	0,29

Wykres jest zwykle łatwiejszy w interpretacji i przemawia mocniej od tabeli. Poniżej widzimy wykres ramka-wąsy, prezentujący średnie i błędy standardowe dla operatorów: różnica średniej pomiarów jest bardzo wyraźna.

Dla pewności istotność różnicy średnich sprawdzimy jeszcze testem ANOVA (lub testem t, w przypadku dwóch grup są one sobie równoważne). Test ANOVA pozwala odrzucić hipotezę o równości średnich dla obu operatorów na poziomie istotności równym nawet 0,01.





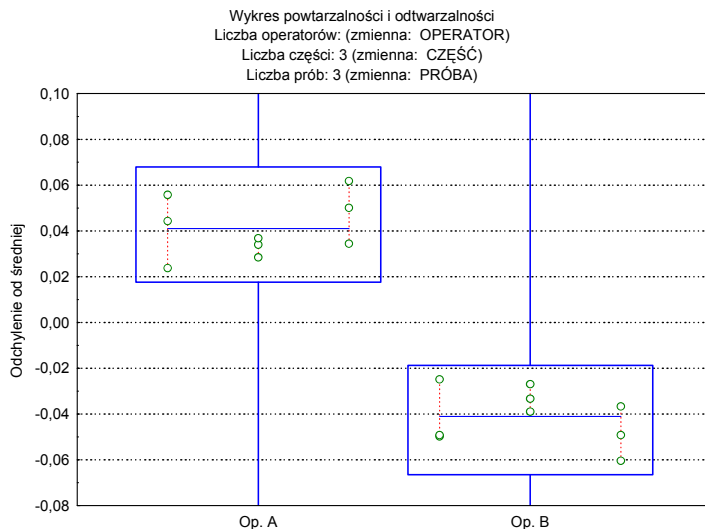
Narzuca się teraz pytanie: co powoduje różnicę w średnich z pomiarów? Mogą być co najmniej dwie przyczyny: operator B wytwarza nieco inny produkt (o mniejszej średniej wartości właściwości) albo nieco inaczej wykonuje pomiary.

Do sprawdzenia, czy obaj operatorzy wykonują pomiary tak samo, służą badania *Powtarzalności i odtwarzalności* (ang. *Gage R&R*). W dużym skrócie polegają one na tym, że operatorzy kilkakrotnie mierzą pewną liczbę tych samych obiektów (części), dzięki czemu możemy ocenić dokładność pomiarów, a także odnieść je do zmienności wytwarzanych elementów. Więcej informacji o tej metodzie można znaleźć w artykule [7].

Zauważmy, że w zasadzie badanie powtarzalności i odtwarzalności pomiarów należy przeprowadzić przed uruchomieniem kart kontrolnych, a potem regularnie powtarzać je, tak aby zapewnić poprawność pomiarów.

Program *STATISTICA* umożliwia nam przygotowanie arkusza dla potrzeb badania powtarzalności i odtwarzalności pomiarów oraz przeprowadzenie analizy wyników (funkcje te dostępne są w pakiecie *Analiza procesu*).

Wykres poniżej przedstawia wyniki analizy powtarzalności i odtwarzalności pomiarów. Pokazuje on wyraźnie, że operator B dostawał inne, niższe wyniki pomiarów tych samych części, co było źródłem zmienności widocznej na karcie kontrolnej.



W niniejszym przykładzie wykorzystaliśmy tylko niektóre karty kontrolne i związane z nimi analizy. Jednak naszą intencją było pokazanie, jak pomagają one w wykrywaniu przyczyn zmienności procesu i poprawianiu jego stabilności. Więcej przykładów można znaleźć w zaproponowanej literaturze (zob. poniżej).



Literatura

1. T. Greber, *Statystyczne sterowanie procesami*, StatSoft 2000.
2. J. Koronacki, *Statystyka w kompleksowym zarządzaniu jakością*, www.statsoft.pl/czytelnia/jakosc/wprowjak.html.
3. J. Koronacki, *Metody statystycznego sterowania jakością*, www.statsoft.pl/czytelnia/jakosc/wprowjak.html.
4. Polska norma, *Karty kontrolne Shewharta*, PN-ISO 8258+AC1.
5. *Statistical Process Control. Reference Manual*, A.I.A.G 1991.
6. O. Hryniewicz, *Efektywne statystyczne sterowanie procesami (SPC) z wykorzystaniem pakietu STATISTICA*, www.statsoft.pl/czytelnia/jakosc/wprowjak.html.
7. R. Tabisz, *Zapewnianie wiarygodności analizowanych danych – Podstawy analizy MSA w Statystyka i data mining w praktyce*, StatSoft 2004.