



PRZYKŁAD WDROŻENIA KART KONTROLNYCH KROK PO KROKU

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

Przykład przedstawia tworzenie karty kontrolnej p dla nowego procesu, określanie wartości granic kontrolnych i linii centralnej, wykrywanie próbek wskazujących na rozregulowanie, a następnie stosowanie karty do monitorowania procesu i badania skutków zmian wprowadzanych do procesu. Przedstawione zostaną również podstawowe wskazówki odnośnie właściwego doboru liczności próbki dla karty p oraz wykorzystanie karty kontrolnej do optymalizacji procesu. Na koniec omówimy, jak stosować karty kontrolne przy małej frakcji elementów wadliwych. Karty kontrolne tworzone będą na bieżąco w *STATISTICA*, będzie można zobaczyć m.in.: jak określić kartę, przypisać przyczyny do próbek i utworzyć kartę dla procesu, w którym wprowadzono zmianę specyfikacji.

Krótkie omówienie zagadnienia i danych

Niniejszy artykuł bazuje na przykładzie przedstawionym w podręczniku [1]. Zadanie dotyczy wytwarzania kartonowych opakowań na soki. Po wyprodukowaniu opakowania sprawdzano, czy istnieje ryzyko wycieku soku z pudełka. Proces jest na początkowym etapie, nie jest jeszcze ustabilizowany i zoptymalizowany. Celem jest uzyskanie „dobrego” procesu: uregulowanego i dającego najmniej wadliwych opakowań.

Do rozwiązania naszego zadania użyjemy kart kontrolnych Shewharta, ponieważ jak wiadomo z doświadczenia, bardzo dobrze nadają się one do tego typu zadań. W szczególności karty kontrole umożliwiają rozróżnianie zmienności parametrów procesów (właściwości) wywołane przez pewne konkretne przyczyny (np. błąd operatora, awaria maszyny, surowiec niespełniający wymogów jakościowych) od naturalnej, czysto losowej zmienności procesu.

Karta kontrolna to wykres przedstawiający wartości właściwości dla kolejnych próbek z naniesionym trzema liniami (zob. rys. 1):

- ◆ Linia centralną (CL): pokazuje ona typową (średnią) wartość właściwości.
- ◆ Dolną granicą kontrolną (LCL): wystąpienie wartości poniżej LCL sygnalizuje rozregulowanie procesu.
- ◆ Górną granicą kontrolną (UCL) wystąpienie wartości powyżej UCL sygnalizuje rozregulowanie procesu.



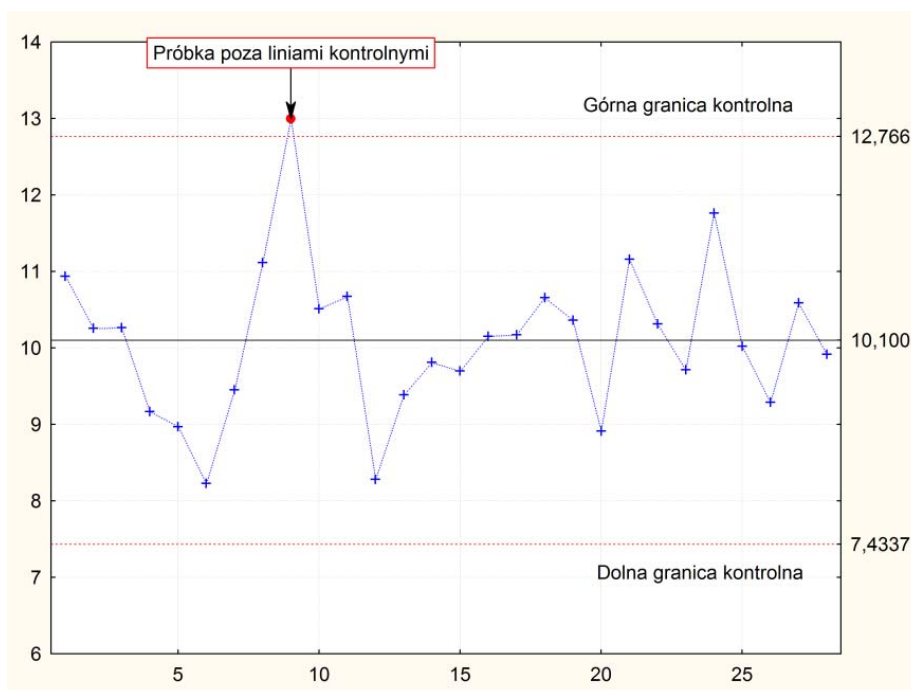
Najczęściej położenie tych linii wyznaczamy z poniższych wzorów:

$$UCL = \mu + L\sigma$$

$$CL = \mu$$

$$LCL = \mu - L\sigma$$

Gdzie μ to średnia wartość właściwości, a σ oznacza odchylenie standardowe właściwości. L to stała, którą najczęściej przyjmujemy równą 3 (inne sposoby wyznaczania granic kontrolnych opisano w [1] i [2]).



Rys. 1. Przykład karty kontrolnej.

Jeśli wyniki pomiarów dla próbki wykrócą poza granice kontrolne, to mamy sygnał o rozregulowaniu, sugerujący, że wystąpiło zdarzenie, któremu można przypisać przyczynę. Po znalezieniu przyczyn możemy ją wyeliminować (lub zmniejszyć częstość jej występowania), a co za tym idzie uzyskać proces o mniejszej zmienności, bardziej stabilny oraz przewidywalny.

Karty kontrolne w praktyce wykazały swoją skuteczność w monitorowaniu procesów produkcyjnych i w usługach. Ich stosowanie daje możliwości polepszenia jakości, przy stosunkowo niewielkich kosztach (bez porównania mniejszych niż np. modernizacja maszyn). Najważniejsze korzyści ze stosowania kart kontrolnych to [1]:

- ◆ Poprawa wydajności: dzięki kartom kontrolnym można zmniejszyć liczbę wadliwych produktów i poprawek.
- ◆ Zapobieganie problemom: karty kontrolne ułatwiają wykrywanie trendów i zmian w procesie, czyli możemy wykryć, że proces zaczął się psuć, zanim zaczną być wytwarzane wadliwe produkty.



- ◆ Uniknięcie zbędnych poprawek: karty kontrolne umożliwiają odróżnienie przypadkowych zmian od zmian, którym można przypisać przyczynę dającą się wyeliminować.
- ◆ Określenie średniej wartości wskaźników jakości produktu (lub usługi) i przedziału ich zmienności: dzięki temu możemy np. określić, jaka będzie spodziewana frakcja wadliwych produktów, wybrać lepszy sposób wytwarzania.

Jedną z najważniejszych zalet kart kontrolnych to łatwość ich stosowania i rozumienia: jest to narzędzie, które rzeczywiście można stosować na hali produkcyjnej. Dokładniejszy opis kart kontrolnych można znaleźć w [1] i [2].

W naszym przypadku będziemy badać frakcję niezgodnych jednostek wyprodukowanych w danej partii produktu o ustalonej liczności. Dodatkowo mamy do czynienia z nowym procesem, dla którego nie znamy standardowej frakcji jednostek niezgodnych i musimy ją oszacować z danych. W takim wypadku stosujemy tzw. kartę p, dla której podane wcześniej wzory przyjmują postać:

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{p}}$$
$$CL = \bar{p}$$
$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{p}}$$

Gdzie \bar{p} oznacza średnią frakcję niezgodnych jednostek w zbadanych próbkach. Przyjmuje się, że do wyznaczenia granic kontrolnych i linii centralnej potrzeba od 20 do 25 próbek (zob. [1]).

Tworzenie i analiza karty kontrolnej

Najpierw powinniśmy ustalić położenie granic kontrolnych. W tym celu sprawdzono 30 próbek złożonych z 50 opakowań. Dane zapisano w arkuszu danych *STATISTICA* przy czym liczba wadliwych jednostek dla próbki znajduje się w zmiennej *Nd*.

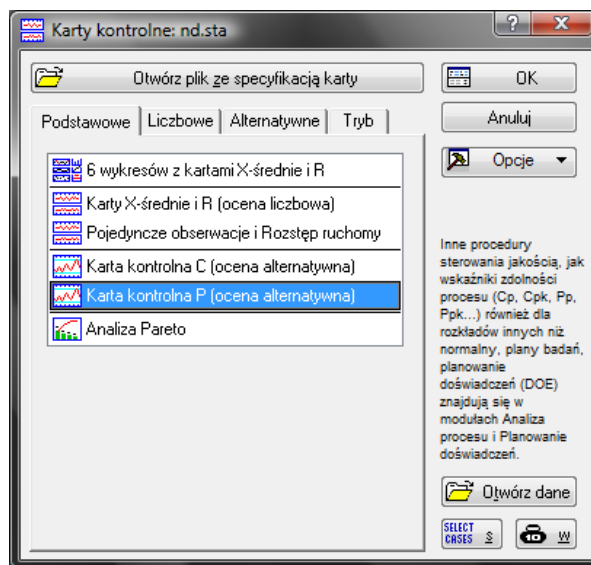
Kartę kontrolną tworzymy w *STATISTICA* poleceniem *Karty kontrolne* umieszczonym na zakładce *Statystyka* wstążki (zob. rys. 2).



Rys. 2. Wstążka programu *STATISTICA*.

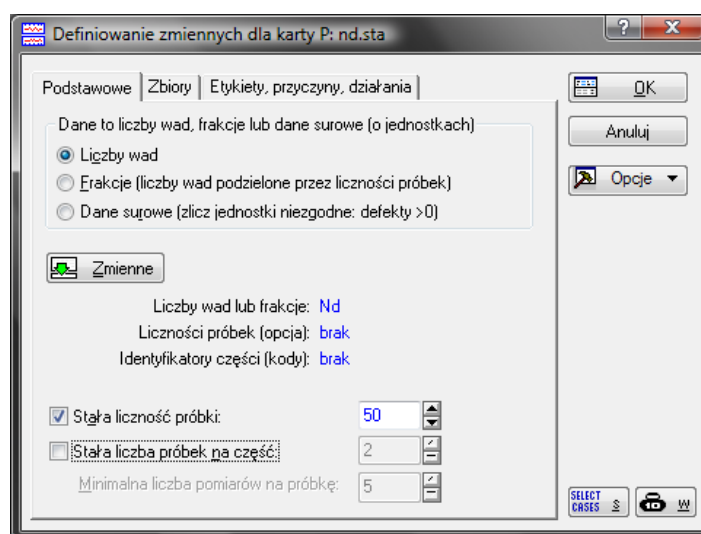


Po uruchomieniu modułu *Karty kontrolne* wskazujemy odpowiedni rodzaj karty, tj. kartę p (rys. 3).



Rys. 3. Wybór karty.

Następnie w oknie ustawień dla karty kontrolnej jako zmienną z liczbą wad wybieramy *Nd*, a w polu *Stała liczność próbki* wpisujemy 50.



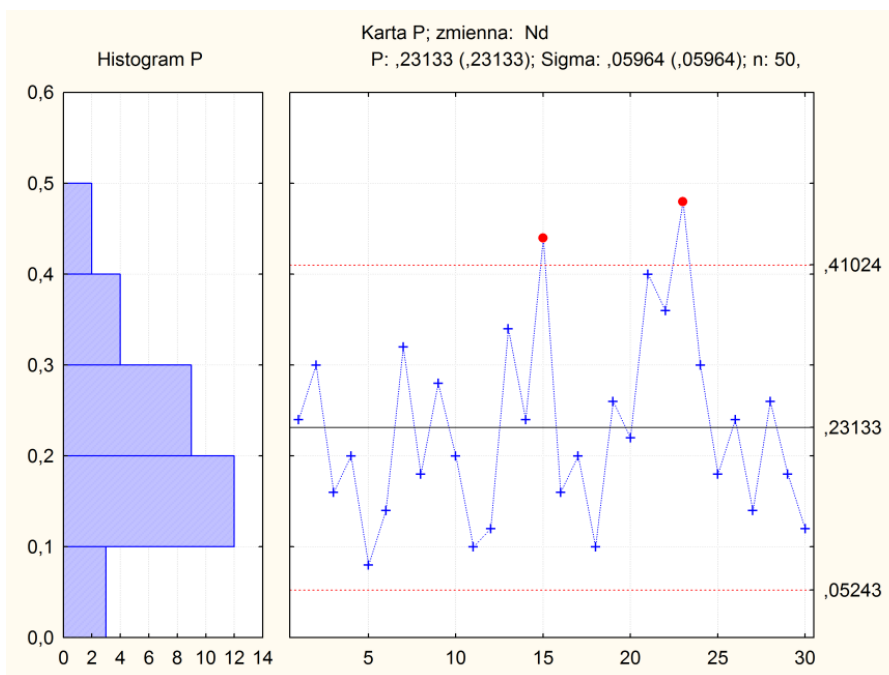
Rys. 4. Ustawienia karty p.

Po naciśnięciu przycisku *OK* na ekranie pojawi się karta kontrolna (rys. 5). Widzimy na niej, jak zmieniała się frakcja wadliwych produktów dla kolejnych próbek. W nagłówku karty umieszczona jest nazwa zmiennej, położenia linii centralnej, średnia frakcja wadliwych i sigma procesu (odchylenie standardowe). W naszym przypadku średnia frakcja wadliwych elementów i zarazem linia centralna ma wartość 0,23133, a sigma procesu 0,05964.

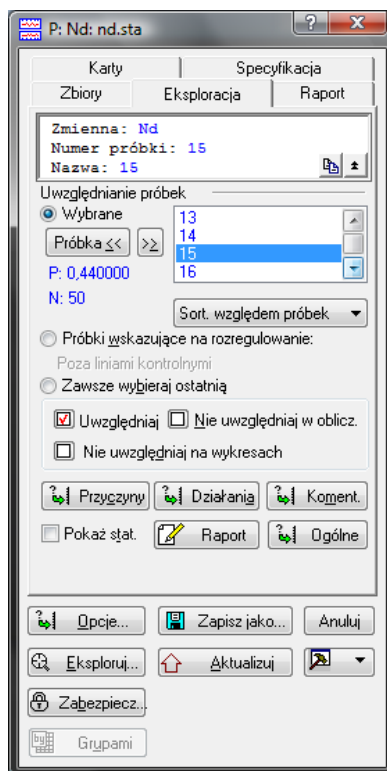
Na karcie mamy dwa punkty wyraźnie ponad górną granicą kontrolną (oznaczono je kółkiem). Dla punktów tych przeprowadzono poszukiwanie przyczyny rozregulowania.



Okazało się, że pierwszy z nich (próbka nr 15) odpowiada partii wytworzonej tuż po zmianie materiału. Natomiast druga podejrzana próbka (nr 23) została wytworzona przez niedoświadczonego operatora.



Rys. 5. Wstępna karta kontrolna.

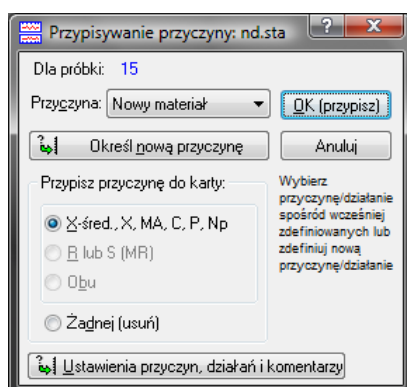


Rys. 6. Karta Eksploracja.



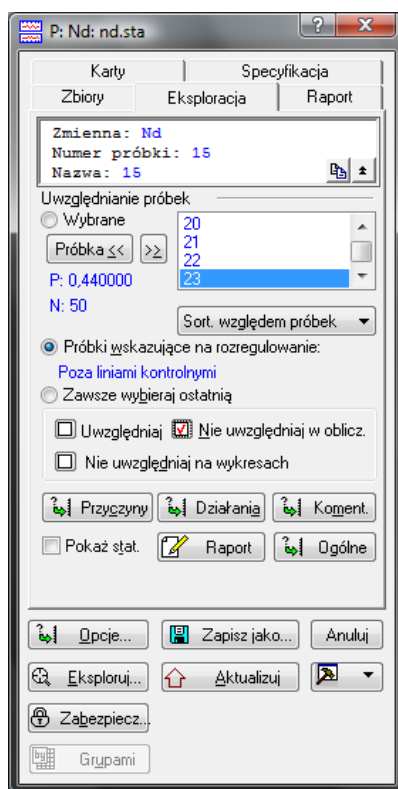
W programie *STATISTICA* możemy umieścić nazwę przyczyny rozregulowania na karcie kontrolnej i w pliku danych. W tym celu przywołujemy okno wyboru wyników (o nazwie *P: Nd.sta*), klikając odpowiedni przycisk na dole okna *STATISTICA* (możemy też na karcie *Podstawowe* wstążki nacisnąć przycisk *Analizy* i wybrać polecenie *Wznów*), po czym przechodzimy na kartę *Ekploracja*. Na karcie tej w grupie *Uwzględnianie próbek* zaznaczamy *Wybrane* i wskazujemy próbkę nr 15 (zob. rys. 6 powyżej).

Następnie klikamy przycisk *Przyczyny*. Na ekranie pojawi się okno, w którym wskazujemy zmienną przechowującą kody przyczyn. Następnie wyświetlone zostanie okno *Przypisywanie przyczyn*.



Rys. 7. Okno *Przypisywanie przyczyn*.

W oknie tym klikamy *Określ nową przyczynę* i wpisujemy *Nowy materiał*, po czym klikamy *OK (przypisz)*.

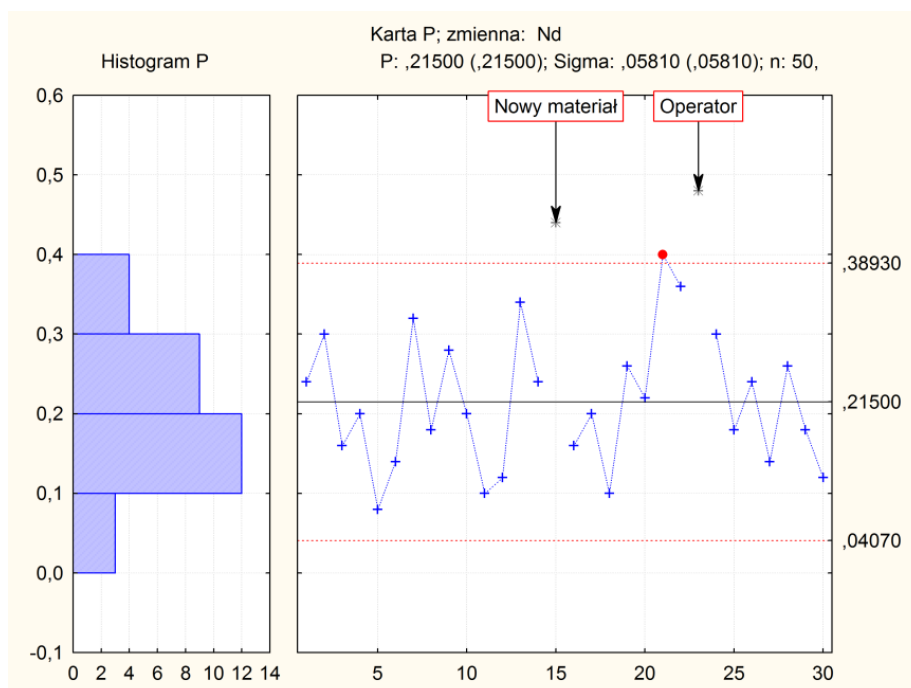


Rys. 8. Karta *Ekploracja*.

W analogiczny sposób postępujemy dla próbki nr 23: przypisując jej przyczynę *Operator*.

Bardzo często zaleca się, aby próbki wskazujące na rozregulowanie, zwłaszcza te, dla których znaleźliśmy przyczynę odchylenia, wyłączyć z obliczania linii centralnej i granic kontrolnych na karcie. My również tak postąpimy: wracamy na kartę *Eksploracja* i w grupie *Uwzględnianie próbek* zaznaczamy *Próbki wskazujące na rozregulowanie*, po czym zaznaczamy pole *Nie uwzględniaj w obliczeniach*, tak jak na rys. 8.

Program automatycznie zastosuje nowe ustawienia do karty kontrolnej. Granice kontrolne zbliżyły się do siebie, a średnia frakcja wadliwych spadła do 0,215. Zauważmy, że pojawił się nowy sygnał o rozregulowaniu dla próbki nr 21. Tym razem nie udało się znaleźć przyczyny tego sygnału o rozregulowaniu i w związku z tym zdecydowano, że próbka ta będzie brana pod uwagę przy wyznaczaniu granic kontrolnych. Dla dalszego stosowania karty kontrolnej ustalono wartość linii centralnej równą 0,215.



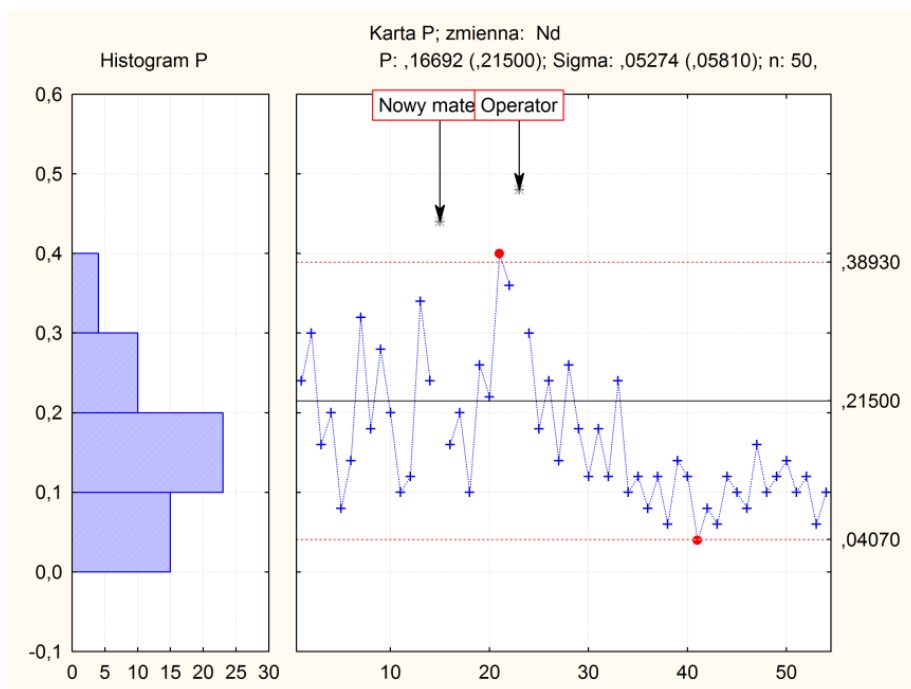
Rys. 9. Karta kontrolna po wyłączeniu próbek z obliczeń.

Na podstawie karty kontrolnej możemy powiedzieć, że proces jest uregulowany. Niestety średnia frakcja wadliwych produktów jest zdecydowanie za wysoka. W takiej sytuacji konieczne jest zaangażowanie kierownictwa i zasadnicza zmiana samego procesu: zmiana sposobu wytwarzania, ustawień maszyny lub nawet jej wymiana. Tak też postąpiono w omawianym przypadku: stworzona została grupa technologów, która dokładnie zbadała proces i zaproponowała kilka udoskonaleń.

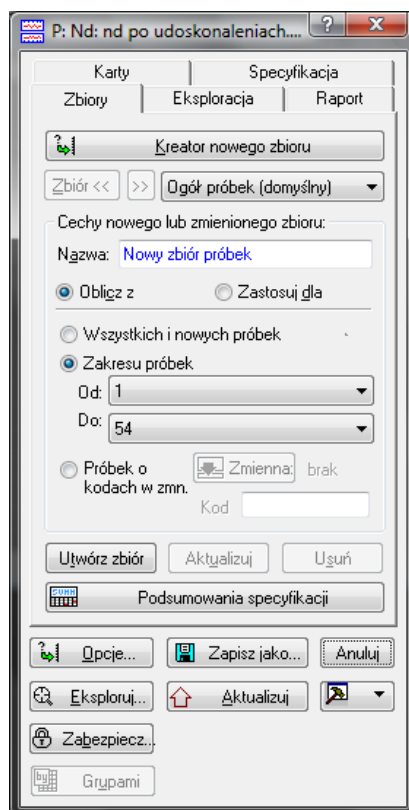
Po wprowadzeniu udoskonaleń procesu wytwarzania opakowań zebrano dane o kolejnych 24 próbkach i wykreślono je na karcie kontrolnej. Jak widać na rys. 10, udoskonalenia rzeczywiście doprowadziły do wyraźnego zmniejszenia frakcji wadliwych jednostek. Zauważmy, że dla próbki nr 40 mamy sygnał o rozregulowaniu: ma ona za małą frakcję wadliwych w porównaniu z wcześniejszym procesem. Chociaż z praktycznego punktu widzenia



zmniejszenie frakcji wadliwych jednostek jest korzystne, to taki spadek frakcji wadliwych poniżej dolnej granicy kontrolnej informuje nas o rozregulowaniu procesu, o tym, że zaszła w nim zmiana.



Rys. 10. Karta kontrolna po udoskonaleniu procesu.

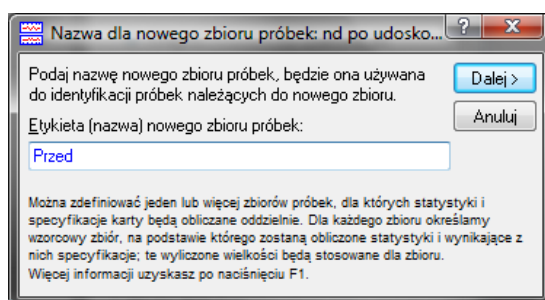


Rys. 11. Karta Zbiory.



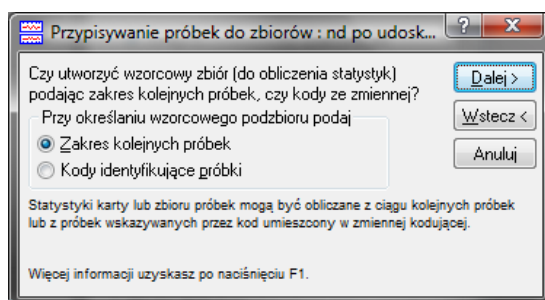
W programie *STATISTICA* możemy utworzyć kartę uwzględniającą podział danych na zbiory próbek. Aby utworzyć kartę dla zbiorów, przywołujemy okno wyboru wyników (o nazwie *P: Nd.sta*), klikając odpowiedni przycisk na dole okna *STATISTICA* (możemy też na karcie *Podstawowe* wstążki nacisnąć przycisk *Analizy* i wybrać polecenie *Wznów*), po czym przechodzimy na kartę *Zbiory* (rys. 11).

Aby utworzyć nowy zbiór, naciskamy przycisk *Kreator nowego zbioru*. Na ekranie pojawi się okno, w którym nadajemy nazwę nowemu zbiorowi próbek: *Przed*.



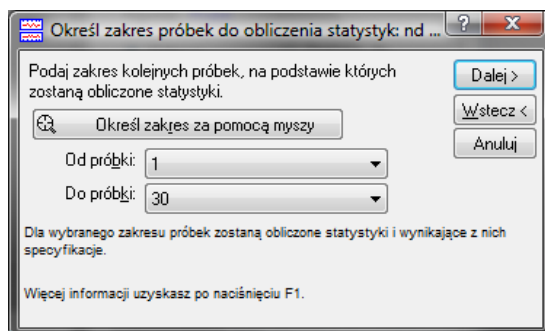
Rys. 12. Nadawanie nazwy zbiorowi.

W następnym oknie ustalamy sposób przypisywania próbek do zbioru, na podstawie którego będą obliczane statystyki (m.in. położenie granic kontrolnych i linii centralnej). W naszym przypadku odpowiedni będzie wybór *Zakres kolejnych próbek*.



Rys. 13. Przypisywanie próbek do zbioru.

Pierwszy zbiór próbek odpowiadający procesowi przed wprowadzeniem zmian tworzą próbki od 1 do 30.



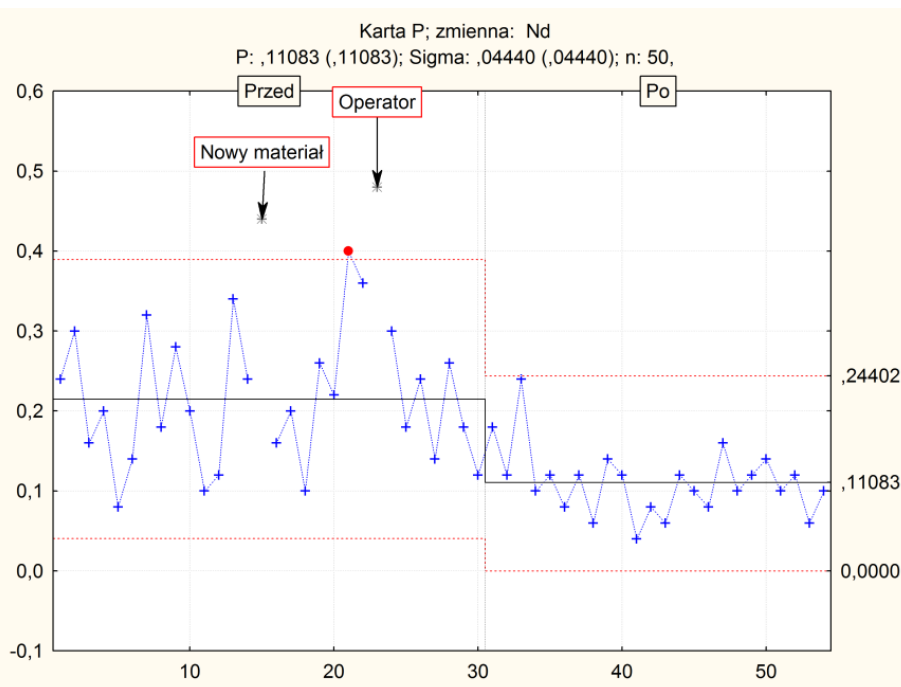
Rys. 14. Określanie zakresu próbek.



Kolejne kroki to określenie zakresu próbek, dla którego mają być stosowane statystyki wyznaczone dla próbek od 1 do 30. Podobnie jak w przypadku zbioru do wyznaczenia statystyk określamy zbiór do ich stosowania jako próbki od 1 do 30.

Po zdefiniowaniu zbioru dla próbek przed modyfikacją procesu, w taki sam sposób określamy zbiór dla próbek po wprowadzeniu zmian. Będą go stanowiły próbki od 31 do 54.

Na rysunku poniżej widzimy kartę z podziałem na zbiory dla procesu przed i po udoskonaleniach. Jak widać, średnia frakcja wad spadła z 0,215 do 0,11083, ponadto granice procesu zwężyły się. Podsumowując, wprowadzone poprawki rzeczywiście poprawiły proces.



Rys. 15. Karta kontrolna po udoskonaleniu procesu.

Karta kontrolna nie wskazuje na rozregulowanie procesu, również w dalszym ciągu procesu był on uregulowany. Niestety średnia frakcja wadliwych opakowań równa 0,11083 była za wysoka. Aby uzyskać lepszy proces, należy wykonać działania na poziomie zarządczym, w szczególności warto zaplanować i przeprowadzić doświadczenie, korzystając z technik *Planowania doświadczeń*. Techniki te przedstawiono w artykule G. Harańczyka „Planowanie doświadczeń jako droga do innowacyjności - przykład optymalizacji procesu produkcyjnego”.

Uwagi o konstruowaniu kart p

Karta p ma trzy parametry konstrukcyjne:

- ◆ Liczność próbek.
- ◆ Częstość pobierania i badania próbek.
- ◆ Odległość między granicami kontrolnymi a linią centralną.

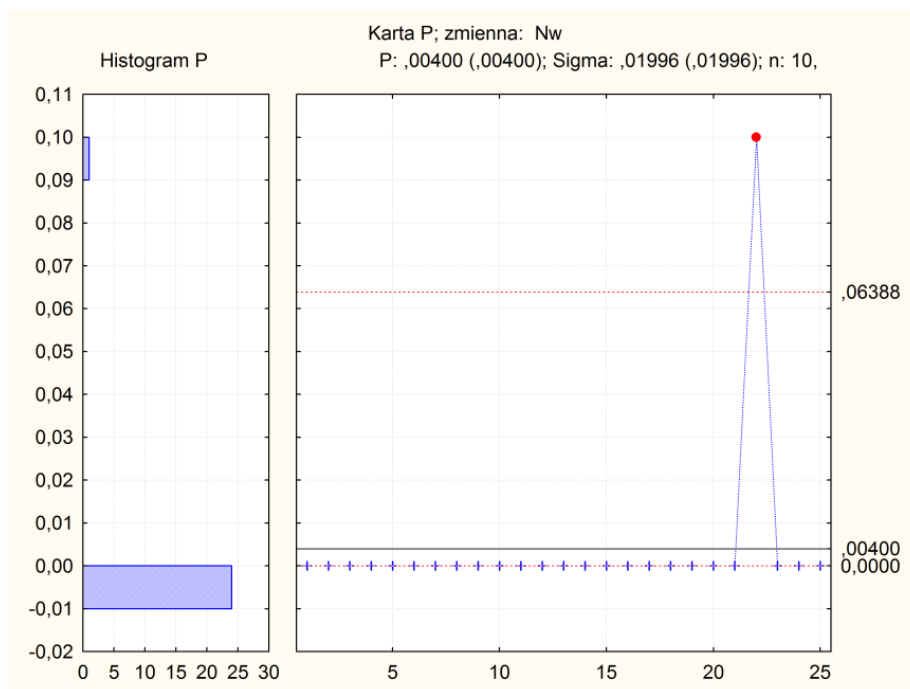


Odległość między granicami kontrolnymi a linią centralną zazwyczaj przyjmujemy równą 3 sigma (zob. str. 48).

Często kartę p tworzy się na podstawie badania wszystkich wyprodukowanych jednostek w pewnym okresie (najczęściej wybieramy zmianę lub dzień). W takim wypadku dwa pierwsze parametry określone są w naturalny sposób przez przebieg i wydajność procesu. Trzeba tu tylko pamiętać, aby uwzględnić możliwe różnice między okresami. Jeśli produkt wytwarzany jest na różnych zmianach (przez różne osoby), to nie powinniśmy łączyć danych z różnych zmian: czyli okres, z którego pochodzą próbki, powinien być mniejszy niż czas pracy zmiany.

Jeśli nie badamy wszystkich wytworzonych jednostek, tylko pewną ich część, należy dobrać odpowiednią licznosc próbki. Jeśli prawdopodobieństwo wystąpienia wadliwego elementu jest małe, to przy niewielkich licznosciach próbki w zdecydowanej większości nie wystąpi ani jeden wadliwy produkt. W takim wypadku będziemy mieli problem z ustaleniem właściwej średniej frakcji jednostek niezgodnych, z fałszywymi sygnałami o rozregulowaniu (bo każde wystąpienie wadliwej jednostki będzie sygnałem o rozregulowaniu), a także z wykryciem faktycznego rozregulowania (bo dla zbyt małej próbki, nawet jeśli prawdopodobieństwo wytworzenia wadliwej jednostki wzrośnie dwukrotnie, to i tak praktycznie dla wszystkich próbek będziemy mieli 0 jednostek wadliwych).

Na rysunku poniżej widzimy przykładową kartę kontrolną dla uregulowanego procesu dla próbki dziesięcioelementowej przy prawdopodobieństwie wytworzenia wadliwej jednostki równym 0,01. Jak widać, mamy fałszywy sygnał o rozregulowaniu i kartę, która bardzo mało mówi o procesie.



Rys. 16. Karta kontrolna dla małej frakcji wadliwych.



Zaleca się (por. [1]), aby przyjąć pewne prawdopodobieństwo wystąpienia co najmniej jednej niezgodności w próbie i na tej podstawie wyznaczyć licznosc próbki. Przykładowo jeśli przyjmiemy, że prawdopodobieństwo zaobserwowania co najmniej jednej jednostki wadliwej w próbce ma być równe 0,95, to minimalna licznosc próbki n_{\min} wyniesie w przybliżeniu:

$$n_{\min} = 3/p$$

Gdzie p oznacza prawdopodobieństwo wytworzenia wadliwej jednostki. W przypadku prawdopodobieństwa wytworzenia wadliwej jednostki równego 0,01 licznosc próbki powinna wyniesić 300 (na rys. 16 widzimy, jak nieużyteczna jest karta p jeśli licznosc próbki wyniesie 10).

Zauważmy, że jeśli mamy dobry proces, w którym p jest mniejsze niż 1%, to powyższy wymóg stawia pod znakiem zapytania możliwość wykorzystania karty p : dla każdej próbki musimy przebadać 30 tysięcy elementów. Rozwiązaniem tego problemu zajmiemy się kolejnym rozdziale.

Kolejny wymóg odnośnie minimalnej licznosci próbki to przyjęcie, że mamy 50% szansy na wykrycie próbki, jeżeli nastąpiło przesunięcie frakcji o pewną wielkość δ . W takim wypadku minimalna licznosc próbki dana jest wzorem (zob. [1]):

$$n_{\min} = \frac{L^2}{\delta^2} p(1-p)$$

Gdzie L oznacza odległość od linii centralnej do granicy kontrolnej podzieloną przez sigma procesu (najczęściej przyjmuje się 3). Przykładowo: jeśli p wynosi 0,05 i chcemy wykryć przesunięcie o 0,05 (czyli skok frakcji wadliwych jednostek do 0,1), to n_{\min} wyniesie 171.

Przykład karty dla małej frakcji jednostek wadliwych

W podręczniku [1] zaproponowano, aby w przypadku małej frakcji jednostek wadliwych stosować kartę monitorującą odstęp pomiędzy wystąpieniami jednostek wadliwych. Czas pomiędzy wystąpieniami wad ma rozkład wykładniczy. Można oczywiście stworzyć kartę dla takiego rozkładu, ale w praktyce często wygodniejsza i łatwiejsza do zrozumienia jest karta dla zmiennej o rozkładzie normalnym. Aby sprowadzić zmienną z czasem t do rozkładu normalnego wykonujemy przekształcenie (zob. [2]):

$$t_{norm} = t^{0,277}$$

Zobaczmy jak tworzenie takiej karty wygląda w praktyce. Nasze dane to odstępy czasu między wadliwymi działaniami ważnego zaworu w pewnej izolacji (zob. rys. 17).



	1
	Czas
3	536
4	124
5	816
6	729
7	4
8	143
9	431
10	8
11	2837
12	596
13	81
14	227
15	603
16	492
17	1199
18	1214
19	2831
20	96

Rys. 17. Dane o odstępach czasu między awariami zaworu.

Najpierw dodamy do arkusza nową zmienną z przekształconym czasem. W tym celu na karcie *Dane* wstążki klikamy przycisk *Zmienne* i wybieramy polecenie *Dodaj*. Na ekranie pojawi się okno *Dodaj zmienne*, w którym dokonujemy ustawień przedstawionych na rys. 18.

Dodaj zmienne

Ile zmiennych: 1 Aby wstawić przed pierwszą zmienną wpisz 0 w polu "Wstaw po". Kliknij podwójnie to pole lub naciśnij F2 aby wybrać zmienną z listy.

Wstaw po: Czas

Nazwa: CzasNorm Typ: Podw. precyzji

Kod BD: -999999998 Długość: 8

Format wyświetlania

- Ogólny
- Liczby
- Data
- Czas
- Naukowy
- Waluta
- Procent
- Ułamek
- Użytkownika

W przypadku dużego zbioru danych i obliczania nowych zmiennych mniej czasu zajmie jednoczesne dodanie zmiennych i wyznaczenie ich wartości za pomocą polecenia Przekształcenia wielu zmiennych z menu Dane.

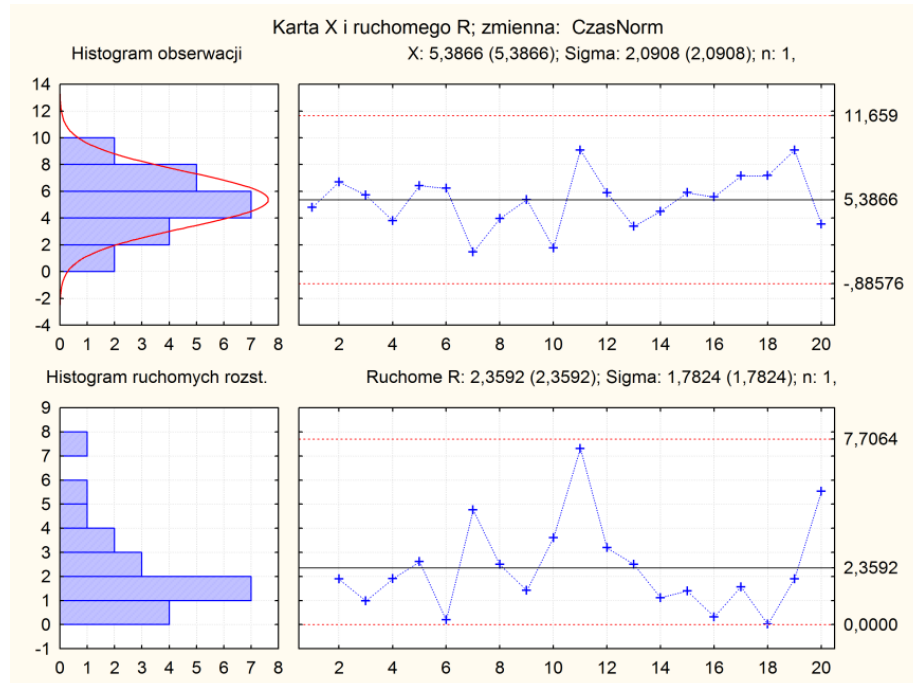
Długa nazwa (etykieta lub formuła z funkcją):
=Czas^0,2777

Formuły: użyj nazw zmiennych albo v1, v2, ..., v0 oznacza przypadek #.
Przykłady: (a) = mean(v1:v3, sqrt(v7), WIEK) (b) = v1+v2; komentarz (po.)

OK Anuluj

Rys. 18. Dodawanie zmiennej.

Po kliknięciu *OK* w oknie *Dodaj zmienne* nowa zmienna zostanie dodana do arkusza, a jej wartości wyliczone wg wzoru wpisanego w polu *Długa nazwa lub formuła* w oknie *Dodaj zmienne*.



Rys. 19. Karta dla przekształconego odstępu między awariami.

Po przekształceniu zmiennej tworzymy kartę kontrolną. Klikamy przycisk poleceniem *Karty kontrolne* umieszczonym na zakładce *Statystyka* wstążki (zob. rys. 2), a potem w oknie *Karty kontrolne* (zob. rys. 3) wybieramy *Pojedyncze obserwacje i rozstęp ruchomy*. Następnie jako zmienną z pomiarami wskazujemy *CzasNorm* i klikamy *OK*. Na ekranie pojawi się karta kontrolna widoczna na rys. 19. Proces jest uregulowany. Zauważmy też, że po transformacji istotnie uzyskaliśmy rozkład normalny – wskazuje na to histogram z naniesionym dopasowaniem normalnym.

Literatura

1. Montgomery D.C., *Introduction to Statistical Quality Control*, Third Ed., John Wiley & Sons, 1997.
2. Greber T., *Statystyczne sterowanie procesami - doskonalenie jakości z pakietem STATISTICA*, StatSoft Polska, 2000.