



## STATYSTYCZNE STEROWANIE PROCESAMI – PRAKTYCZNE PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA

*Tomasz Greber, Politechnika Wroclawska, Instytut Organizacji i Zarządzania,  
Zakład Zarządzania Jakością; Magazyn „ZARZĄDZANIE JAKOŚCIĄ”*

W opracowaniu przedstawione zostały praktyczne przykłady wykorzystania wybranych narzędzi SPC w różnych branżach i w odniesieniu do różnych rodzajów danych. Zaprezentowane jest wykorzystanie kart kontrolnych do obniżenia kosztów procesów w przemyśle spożywczym. Przedstawiono także wykorzystanie karty CUSUM do nadzorowania czasu pracy maszyny.

### Wprowadzenie – podstawy teoretyczne

W ramach statystycznych metod kontroli jakości można wyróżnić dwie podstawowe grupy:

- ♦ statystyczną kontrolę jakości (kontrolę odbiorczą),
- ♦ statystyczne sterowanie procesami (SPC).

Na SPC składają się różne działania mające na celu (przy wykorzystaniu statystyki) ustabilizowanie procesu produkcyjnego, co pozwala na ujednoclenie jakości produkowanych wyrobów i zmniejszenie poziomu ich wadliwości.

Karty kontrolne pozwalają na stały nadzór nad realizowanym procesem oraz umożliwiają jego sterowanie na bieżąco (*on-line*) dzięki dostarczaniu informacji o jego przebiegu. Mogą one być stosowane w przypadku dwóch rodzajów danych: danych liczbowych i danych alternatywnych (atrybutowych).

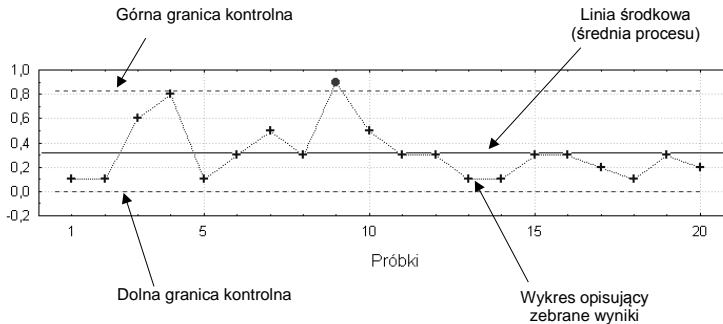
Dane liczbowe występują w przypadku szeroko rozumianych pomiarów (np. długości, lepkości, masy itp.). Są to zazwyczaj dane występujące na tzw. skali ciągłej, czyli możliwe jest uzyskanie każdego wyniku w określonym zakresie.

Dane alternatywne (atrybutowe) to dane pochodzące z kontroli, gdzie wyroby klasyfikuje się jako dobre lub złe, albo zlicza się liczbę usterek w kontrolowanych wyrobach. Są to na przykład dane uzyskiwane przy kontroli wzrokowej lub przy kontroli z wykorzystaniem sprawdzianów.

Dane alternatywne są stosunkowo proste do zbierania i nie wymagają wysokich kwalifikacji personelu, ale dostarczają tylko ogólnych informacji o procesie. Wymagane są też stosunkowo duże wielkości próbek.

## Karta kontrolna – budowa i zastosowanie

Karty kontrolne, mimo tego, że jest ich wiele rodzajów, zbudowane są w większości w ten sam sposób. Na rys. 1 przedstawiono typowy wykres na karcie kontrolnej z zaznaczonymi jej podstawowymi elementami.



Rys. 1. Karta kontrolna i jej elementy

Na kartach kontrolnych wykreślane są cztery podstawowe linie:

- ♦ górna granica kontrolna (UCL – ang. *Upper Control Limit*),
- ♦ dolna granica kontrolna (LCL – ang. *Lower Control Limit*),
- ♦ linia środkowa przedstawiająca wartość średnią procesu oraz
- ♦ linia przedstawiająca zachowanie się procesu w czasie (pokazuje zmiany wartości średnich, median, rozstępów lub innych miar wykorzystanych w danej karcie).

Granice kontrolne wyznaczają obszar, w jakim powinny się mieścić wykreślane wartości opisujące proces, aby można go było uznać za stabilny. Granice te wyznaczane są w przypadku poszczególnych kart kontrolnych według różnych wzorów, ale najczęściej „ustawiane” są w odległości  $3s$  od wartości średniej lub nominalnej procesu. Zgodnie z własnościami rozkładu normalnego w takich granicach powinno więc mieścić się 99,73% wyników pochodzących z procesu stabilnego.

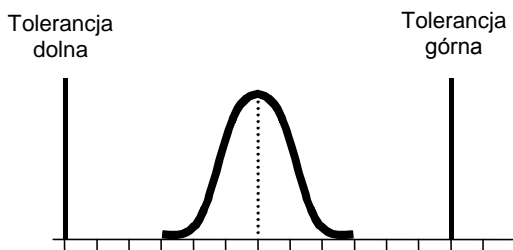
Zastosowanie karty kontrolnej polega na bieżącym pobieraniu z procesu wyrobów (co ustalony czas), mierzeniu ich, nanoszeniu wyników na wykres karty kontrolnej i podejmowaniu decyzji, czy należy ingerować w proces, gdyż przebiega on w sposób nieustabilizowany, czy też nie podejmować żadnych akcji – w przypadku procesu ustabilizowanego.

Wyróżnia się co najmniej kilka podstawowych rodzajów kart kontrolnych oraz wiele kart specjalnych, które służą zwykle do specjalnych celów lub stosowane są przy specyficznych

procesach, np. karty do wykrywania niewielkich przesunięć wartości średniej w procesie lub karty kontrolne dla krótkich serii produkcyjnych.

## Wskaźniki zdolności procesu $C_p$ i $C_{pk}$

Przy wykorzystywaniu do sterowania procesem karty kontrolnej, można odnosić otrzymane wyniki do obliczonych granic kontrolnych i oceniać jego stabilność. Jednak na karcie takiej zazwyczaj nie można nanosić granic tolerancji, co uniemożliwia ocenę jego zdolności do spełniania wymagań klienta. Chcąc ocenić zdolność procesu, należy odnieść bezpośrednio jego rozrzut (szacowany zazwyczaj w oparciu o rozstęp lub odchylenie standardowe) do szerokości założonego pola tolerancji (rys. 2).



Rys. 2. Istota wyznaczania zdolności procesu

Im szerokość procesu jest mniejsza w odniesieniu do szerokości pola tolerancji, tym proces jest bardziej zdolny. Zakładając, że „szerokość” procesu można wyrazić jako 6 odchyżeń standardowych (założenie to jest właściwe dla rozkładu zgodnego z rozkładem normalnym, przy innych rozkładach stosuje się inne wzory), można skonstruować wzór na podstawowy wskaźnik oceny zdolności procesu nazywany  $C_p$ :

$$C_p = \frac{T_g - T_d}{6\sigma} \quad (1)$$

gdzie:

$T_g$  – górna wartość tolerancji,

$T_d$  – dolna granica tolerancji,

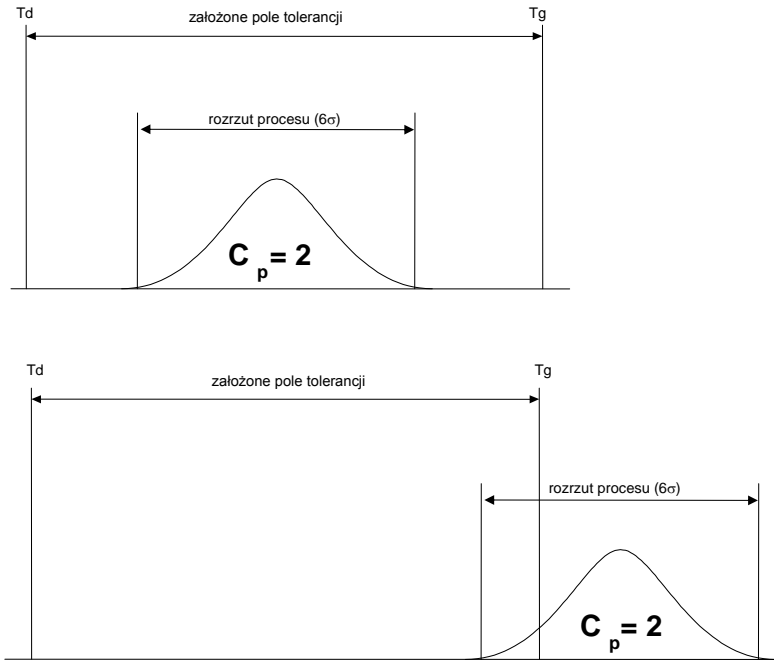
$\sigma$  – odchylenie standardowe.

Jak można wywnioskować z konstrukcji tego wzoru, im wskaźnik ten ma wyższą wartość, tym proces jest lepszy. Ogólnoświatowym standardem jest tu wartość 1,33, przy której wadliwość wynosi około 0,0063%.

Przedstawiony wzór na wartość  $C_p$  jest bardzo prosty i wręcz intuicyjny, jednak niestety niewystarczający do jednoznacznej oceny procesu. Proces może mieć bowiem „szerokość” równą przedziałowi tolerancji, czyli  $C_p=1$ , ale zamiast wspomnianych 0,27% wytwarzać

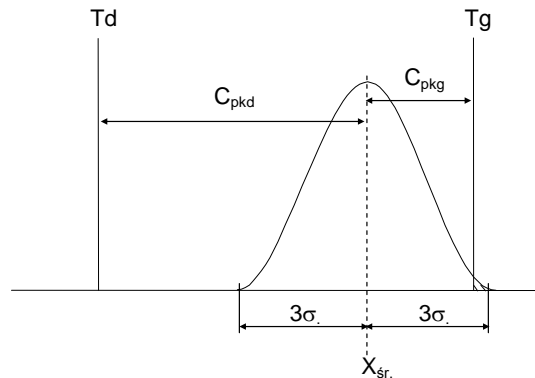


np. 90% wyrobów niezgodnych, gdy jest przesunięty daleko poza pole tolerancji. Wskaźnik  $C_p$  nie reaguje bowiem na przesunięcie procesu (rys. 3).



Rys. 3. Wartości wskaźnika  $C_p$  przy różnym położeniu procesu

W celu nadzorowania wycentrowania procesu wykorzystywany jest wraz z  $C_p$  drugi wskaźnik, oznaczany jako  $C_{pk}$ . Wskaźnik ten ma konstrukcję podobną do  $C_p$ , z tym że uwzględnia wartość średnią procesu i oddzielnie ocenia zdolność obu „połówek” procesu. Oddzielnie wyznacza się zdolność procesu w odniesieniu do górnej i dolnej granicy tolerancji obliczając  $C_{pkg}$  i  $C_{pkd}$  (rys. 4). Wartość  $C_{pk}$  jest wartością mniejszą (czyli gorszą) z  $C_{pkg}$  i  $C_{pkd}$ .



Rys. 4. Idea wyznaczania wskaźnika  $C_{pk}$



Wzory wykorzystywane przy obliczaniu  $C_{pk}$  są następujące:

$$C_{pkd} = \frac{\bar{X} - T_d}{3\sigma}$$

$$C_{pkg} = \frac{T_g - \bar{X}}{3\sigma}$$

Jak można wywnioskować po przeanalizowaniu przedstawionych wzorów, wartość  $C_p$  może się zmieniać w zakresie  $(0, +\infty)$ . Wartość  $C_{pk}$  zmieniać się może w przedziale  $(-\infty, +\infty)$ , przy czym jego wartość nie może nigdy przekroczyć wartości  $C_p$  dla danego procesu, czyli w praktyce będzie się on zmieniał w przedziale  $(-\infty, C_p)$ . Wskaźniki  $C_p$  i  $C_{pk}$  będą sobie równe, gdy proces będzie położony dokładnie na środku pola tolerancji [1].

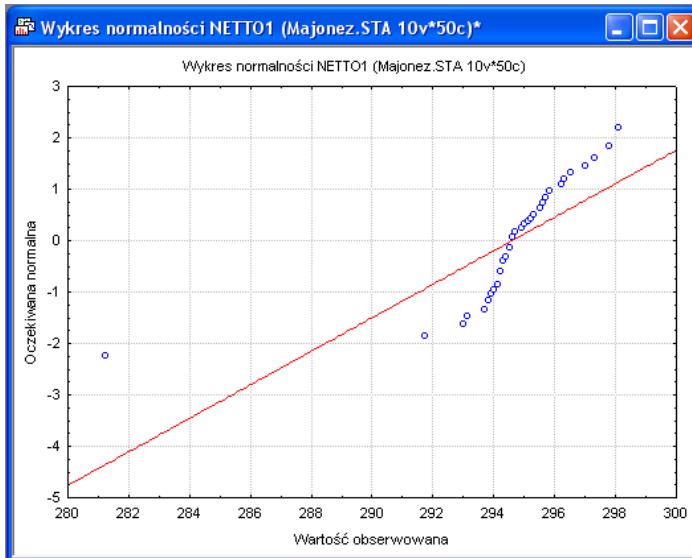
## SPC w przemyśle spożywczym

Przemysł spożywczy jest bardzo dobrym przykładem, gdzie wykorzystanie statystycznego sterowania procesami nie tylko pozwala stabilizować procesy, ale także wyraźnie wpływać może na redukcję kosztów wytwarzania. Jest to związane przede wszystkim z towarami paczkowanymi, które zgodnie z ustawą o towarach paczkowanych muszą mieć odpowiednią minimalną wagę.

W pewnej firmie z branży spożywczej podjęto działania na rzecz monitorowania i ustabilizowania prowadzonych procesów polegających na pakowaniu w różne opakowania takich wyrobów, jak: musztarda, ketchup czy majonez. Szczególnie ciekawe i zarazem niepokojące dyrekcję firmy wyniki uzyskano po rozpoczęciu oceny procesu naważania majonezu, który był najbardziej kosztownym produktem produkowanym w firmie (znacznie droższym od np. bardzo taniej w produkcji musztardy). Monitorując proces, zdecydowano na początek na pobieranie co godzinę jednego napełnionego opakowania i wyznaczenie wagi netto majonezu.

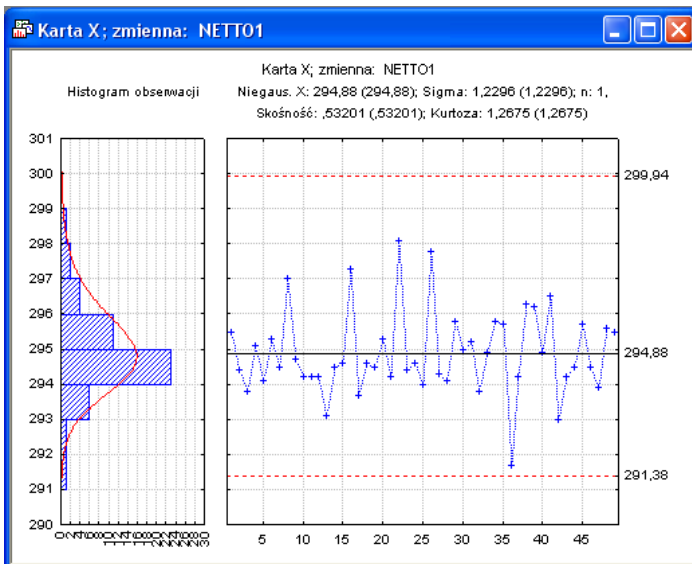
Pierwszą czynnością przy analizie zebranych danych była ocena ich normalności. Analizę tę przeprowadzono z wykorzystaniem metody graficznej (rys. 5).

Z analizy wynika, że występuje jeden wyraźnie odstający wynik (będzie to rozważane dalej przy wykorzystaniu karty kontrolnej). Pozostałe dane wykazują zbieżność z rozkładem normalnym, na co wskazuje ułożenie ich w przybliżeniu w linii prostej. Niestety przeprowadzony test Shapiro-Wilka pozwolił na odrzucenie hipotezy o normalności rozkładu (wyznaczona w teście wartość  $p=0,02$  jest niższa od  $0,05$ , powyżej której rozkład można uznać za normalny). Zatem w dalszych rozważaniach stosowane będą metody statystyczne dla rozkładu innego niż normalny.



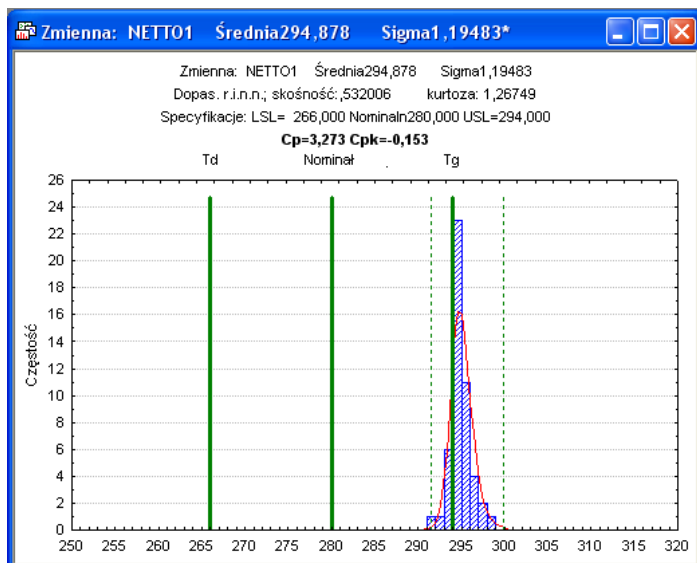
Rys. 5. Analiza normalności danych dotyczących wagi majonezu

Na rys. 6 przedstawiono kartę kontrolną pojedynczych pomiarów dla zebranych wyników z granicami obliczonymi na podstawie kurtozy i skośności rozkładu. Z danych wyłączono już wynik o wartości 281, który wykroczył znacznie poza przyjęte granice kontrolne i może być traktowany jako zakłócenie i po opisaniu wykluczony z dalszych obliczeń (w tym przypadku był to błąd pomiaru).



Rys. 6. Karta kontrolna dla wagi majonezu

Jak widać, proces jest ustabilizowany statystycznie – żaden wynik nie wykracza poza obliczone granice kontrolne. Martwić powinna jednak wysoka wartość średnia. W procesie tym wartość nominalna wynosiła 280 gram z obustronną tolerancją 5%. Porównanie zebranych wyników z przyjętymi tolerancjami przedstawiono na histogramie na rys. 7.



Rys. 7. Badanie zdolności procesu

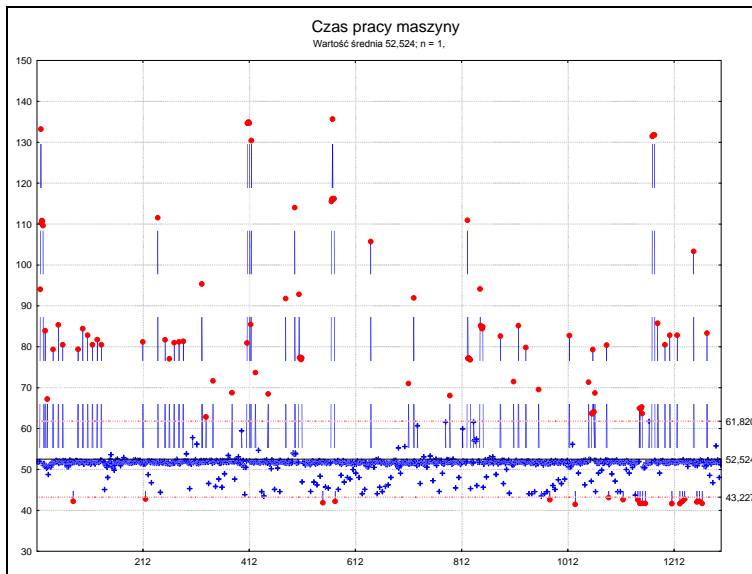
Obliczony wskaźnik zdolności procesu  $C_p$  ma wartość powyżej 3, co oznacza, że proces ma ponad trzy razy mniejszy rozrzut od przyjętych granic tolerancji. Świadczy to bardzo dobrze o wykorzystywanym w analizowanym procesie napełniania parku maszynowym. Niestety proces jest bardzo przesunięty w stronę wartości większych od nominalnej ( $C_{pk} < 0$ ), przez co firma ponosi niepotrzebne koszty związane z przeważaniem ilości sprzedawanego klientom majonezu. Prowadzone przed wykorzystaniem kart kontrolnych badania polegały na rzadkich, codziennych kontrolach napełnianych opakowań i ocenie, czy nie są zdecydowanie lżejsze od założonego nominalu. Nie były nawet prowadzone żadne zapisy z takich badań, trudno więc było wykryć opisany problem, prowadzący do poważnych strat. Po zastosowaniu kart kontrolnych proces „obniżono” do wartości nominalnej tak, że część opakowań jest powyżej, a część poniżej nominalnej wartości 280. Dzięki zastosowaniu metod statystycznych koszty produkcji majonezu zostały obniżone, a firma mogła na bieżąco kontrolować, czy proces mieści się w przyjętym 5-procentowym polu tolerancji.

## Nietypowe zastosowanie karty CUSUM

Karta kontrolna CUSUM jest z założenia przeznaczona do wychwytywania w procesie niewielkich, ale długotrwałych przesunięć wartości średniej. Są procesy, gdzie takie

przesunięcia są szczególnie niekorzystne i istotne jest, żeby odpowiednio szybko informować o nich osoby nadzorujące te procesy.

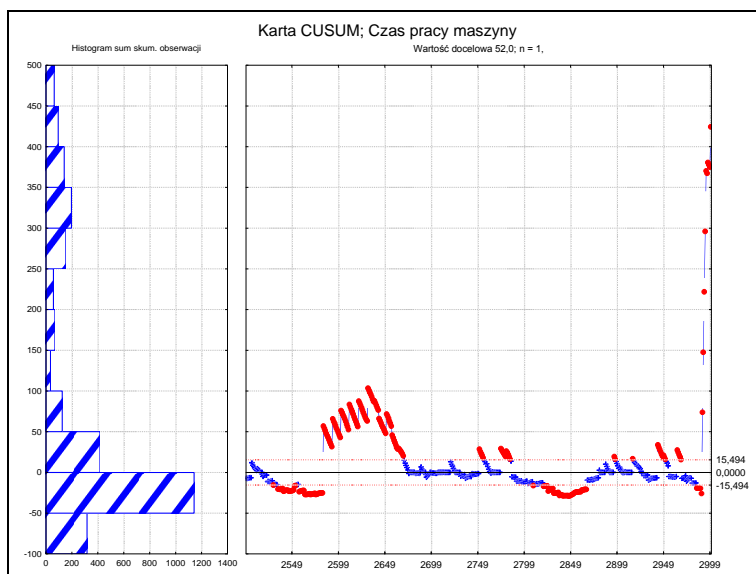
Karta CUSUM – z uwagi m.in. na swoją postać – może także znaleźć zastosowanie w innych przypadkach. Można ją np. wykorzystać do prezentowania czasu (taktu) pracy maszyny. W pewnej firmie produkującej sprzęt AGD zbierano dane przedstawiające taki właśnie czas pracy maszyny tłoczącej elementy obudowy. Na rys. 8 zaprezentowano takie dane z wykorzystaniem standardowej karty kontrolnej IX-MR.



Rys. 8. Dane o pracy maszyny na karcie IX-MR

Jak widać na zaprezentowanej karcie, maszyna pracuje niestabilnie i pojawia się m.in. wiele cykli trwających nielosowo długo. Jest to oczywiście strata dla firmy i warto z takim zjawiskiem walczyć, gdyż powoduje ono znaczny spadek wskaźnika OEE. Przedstawiona karta nie obrazuje jednak wystarczająco czytelnie zebranych danych. O wiele ciekawszym narzędziem jest tu właśnie karta CUSUM, która przedstawia, o ile zmierzone wartości odbiegały od wartości nominalnej (założonej) i jak to „odstępstwo” kumuluje się w trakcie trwania procesu. Na rys. 9 przedstawiono fragment przygotowanej w firmie karty.

Z przedstawionej karty wyraźnie widać, jak przebiegał monitorowany proces. Na początku występowały drobne, losowe zmiany czasu pracy maszyny. Następnie maszyna pracowała poniżej założonego taktu 52 sekundy. Później występowały powtarzające się co pewien czas dłuższe takty, po których następowała seria taktów poniżej 52 sekundy itd. Tak przedstawione informacje można bardzo skutecznie wykorzystać do sterowania procesami.



Rys. 9. Karta CUSUM dla taktu pracy maszyny

## Podsumowanie

W podsumowaniu warto wskazać dwa bardzo ważne zagadnienia.

Po pierwsze nie powinno się rozpoczynać stosowania metod SPC bez odpowiedniego przygotowania merytorycznego. Bardzo często Autor w swojej praktyce konsultanckiej zastaje w firmach karty kontrolne (głównie karty X-R) wykorzystywane w przeróżny sposób, daleki od tego, co mieli zapewne na myśli twórcy tych kart. Źle wykorzystane karty po pierwsze powodują pojawianie się nieprawdziwych informacji o procesie, a po drugie zniechęcają w ogóle do stosowania tego typu metod, ponieważ i tak nic z takiego stosowania nie wynika.

Drugą istotną informacją jest rada, aby nie oczekiwać od razu zbawiennych skutków rozpoczęcia monitorowania procesów z wykorzystaniem kart kontrolnych. Karty kontrolne powinny stać się narzędziem w doskonaleniu i elementem pewnej kultury organizacji. Bez tego wypełniane „na siłę” karty nic nie pomogą. Jestem jednak pewien, że odpowiednio wdrożone, zaakceptowane przez pracowników najniższego szczebla karty kontrolne mogą stać się bardzo wartościowym elementem systemu zarządzania jakością każdej organizacji.

## Literatura

1. Greber T., Badanie zdolności procesu - niebezpieczne wskaźniki, Zarządzanie Jakością 2005, nr 1.