

- Ponad strzałkami zapisujemy rodzaj wykonywanej pracy wraz z czasem jakiego wymaga

W ten sposób zaplanować możemy realizację każdego projektu, czy też dzienny rozkład pracy.

Przedstawione „Nowe narzędzia” nie stanowią rewolucji w zestawieniu z dotychczas dobrze znanymi technikami, a raczej stanowią ich modyfikację. W konstrukcji niektórych z nich odnajdujemy elementy zapożyczone z metod wykorzystywanych w innych obszarach zarządzania, np. w marketingu. W efekcie stanowią użyteczne uzupełnienie tradycyjnych technik zarządzania jakością. Szczególnie skuteczne wydają się być w procesie projektowania, stąd też często nazywane są narzędziami QFD - rozwoju funkcjonalnego jakości. Z równym powodzeniem także mogą być wykorzystywane przy rozwiązywaniu bieżących problemów. Analizy dokonywane z ich pomocą mogą dotyczyć wszystkich obszarów organizacji, ich uniwersalność pozwala stosować je tak w przemyśle jak również w sektorze usług.

Rozdział VII

WPROWADZENIE DO SPC (Statistical Process Control)

Zmienność jest charakterystycznym zjawiskiem w odniesieniu do każdego procesu. Stwarza ona wiele problemów kiedy zostają przekroczone dopuszczalne granice masy próbki, wilgotności, długości, itd. Aby uniknąć strat spowodowanych wytwarzaniem błędnych projektów, niewłaściwych wyrobów, usług nie odpowiadających postawionym wymaganiom, każdy powtarzalny proces powinien podlegać monitorowaniu. Z pomocą przychodzi tu narzędzia SPC - statystycznego sterowania procesem. SPC to nie tylko zbiór technik, ale strategia służąca ograniczeniu zmienności i przez to eliminowaniu przyczyn problemów wynikających z doświadczeń, materiałów, urządzeń produkcyjnych, błędów ludzkich, itd.

Wykorzystywanie metod SPC pozwala:

- przekonać się, czy proces jest zdolny do wypełniania wymagań?
- przekonać się, czy proces spełnia wymagania w każdym czasie?
- przedsięwziąć właściwe działania korygujące, kiedy proces nie spełnia stawianych wymagań.

Punktem wyjściowym do wykorzystywania SPC jest zdefiniowanie procesu, materiałów wyjściowych, wyjściowych oraz wymagań wobec jego efektów. Ciągły monitoring każdego procesu pozwoli odpowiedzieć na proste pytania:

- Czy możemy wykonywać daną pracę właściwie?
- Czy wykonujemy pracę właściwie?
- Czy wykonaliśmy pracę właściwie?
- Czy możemy wykonać ją lepiej?

1. Przyczyny zmienności procesu

Każdy proces cechuje występowanie odchyień od wartości pożądaney. Nawet najprecyzyjniejsza maszyna nie wyprodukuje dwóch identycznych przedmiotów, muzyk nie wykona tego samego utworu identycznie na dwóch koncertach, itd. Różnice te mogą być duże, bez trudu zauważalne, chociaż najczęściej są nieznaczne, rejestrowalne przez najczulsze urządzenia pomiarowe. Odchylenia będą istniały zawsze, bowiem nie ma dwóch identycznych rzeczy. Istnieje wiele potencjalnych przyczyn odchyień w procesie pracy, np. w procesie produkcyjnym są to m.in.:

- system zarządzania,
- dobór narzędzi,
- technologia,
- surowce,
- maszyny,
- błędy pracowników, itp.

Przyczyny odchyień w dowolnym procesie można podzielić na dwie grupy:

- stanowiące integralną część procesu - systemowe (zwykłe).
- nie będące integralną częścią procesu - wyjątkowe.

Przyczyny systemowe wynikają z istoty samego procesu, pracy danej maszyny, urządzenia, wykorzystywanej technologii, natomiast przyczyny należące do drugiej grupy mają charakter wyjątkowy, warunkowane są przez czynniki otoczenia.

Prosty przykład powinien pomóc w lepszym zrozumieniu powyższego podziału. Oglądając program TV w pewnym odbiorniku telewizyjnym, nagle nastąpił zanik obrazu na około 10 sekund. W chwilę później wszystko powróciło do normy. W tym przypadku miało miejsce zdarzenie wyjątkowe, zachodzące bardzo rzadko. Stało się coś dziwnego, coś całkowicie odmiennego od zwykłych odchyień, wynikających z charakteru dotychczasowej pracy odbior-

nika. Być może zanik obrazu spowodowany został przepięciem w sieci, zanikiem sygnału antenowego, może także wskazywać to na pierwsze symptomy degradacji kineskopu. Na pewno jednak było to zdarzenie różne od typowych dla tego odbiornika, który od początku miał nieostry obraz w narożnikach, długo się nagrzewał, itp. Wiadomo jednak, że te niedomagania są typowe dla tego typu telewizorów, można zatem przypisać je przyczynom systemowym. Na ich wyeliminowanie użytkownik odbiornika nie ma wpływu. Natomiast odchylenia wynikające z przyczyn wyjątkowych można wykluczyć przez ich identyfikację i wypracowanie rozwiązań. Odchylenia systemowe są integralną częścią procesu, jedynym sposobem ich ograniczenia jest zmiana procesu, co wymaga decyzji kompetentnych osób. Natomiast identyfikacja i eliminowanie wyjątkowych przyczyn odchyień należy do zadań ludzi biorących udział w procesie. Nieocenione w tej pracy wydają się być techniki SPC.

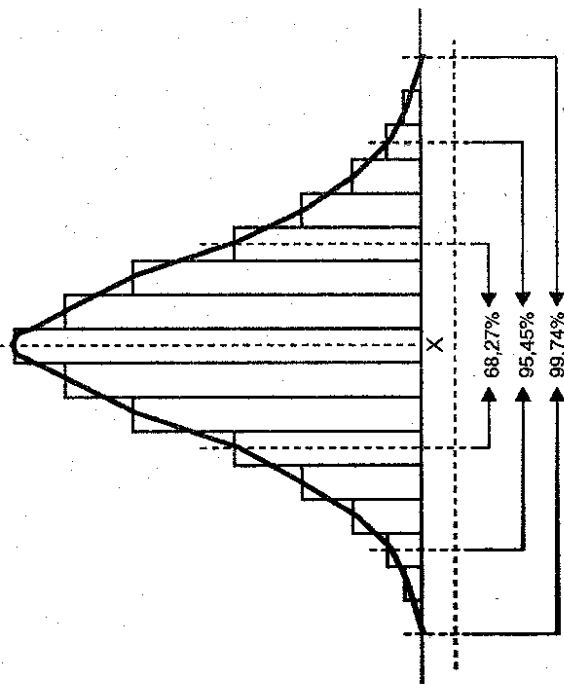
2. Charakterystyka zbiorowości

Przystępując do analizy procesu stajemy przed doбором odpowiedniej wielkości próbki. Nie musimy i najczęściej nie jesteśmy w stanie uzyskać danych o każdym obiekcie. Dlatego właśnie wybieramy próbkę - małą grupę reprezentantów. Celem próbkowania jest zatem uzyskanie danych na temat całej populacji, przez badanie możliwie najmniejszej liczby jej reprezentantów. Najczęstszym błędem w tej kwestii jest wnioskowanie na podstawie zbyt małej liczby próbek. Z drugiej jednak strony, próba wiarygodna i reprezentatywna to niekonicznie badanie pełne (100% populacji). Próbkowanie jest właściwą metodą w przypadku gdy:

- badanie pełne jest zbyt kosztowne,
- musimy być pewni poprawności wyników,
- badanie jest niszczące,
- wielka liczba obiektów uniemożliwia badanie ich wszystkich.

Dlatego właśnie często konieczne jest opracowanie procedury próbkowania, opierającej się najczęściej na próbie losowej „na chybił-trafił”, lub systematycznej z odpowiednią wielkością próby.

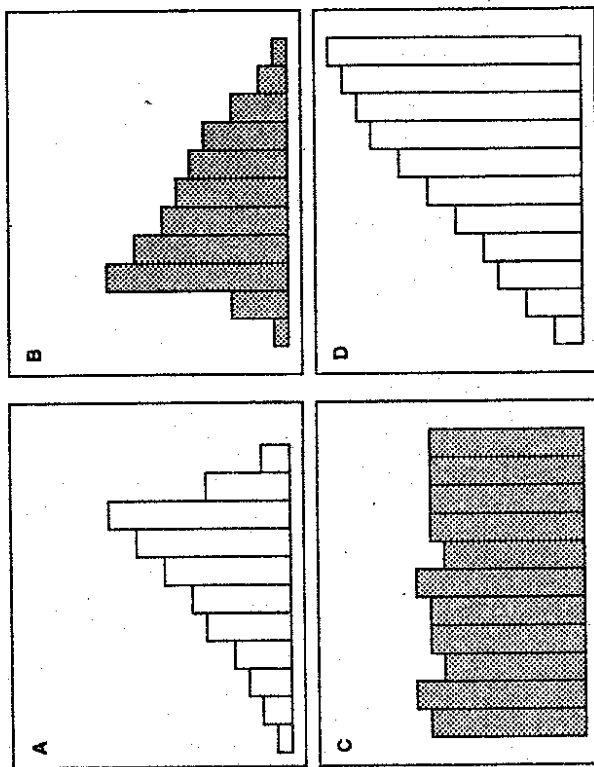
W znacznej przewadze, szczególnie w procesach przemysłowych, mamy do czynienia ze zbiorowościami podlegającymi rozkładowi normalnemu. Jest on typowy dla zmiennych ciągłych, takich jak masa, objętość, czas, temperatura i inne. Zmienność procesu powoduje, że wytwarzając np. pręty o długości 2400 mm powstaje także pewna ilość dłuższych i krótszych od pożądaných. Obserwacje te najlepiej przedstawić graficznie w postaci histogramu (rodzaj wykresu słupkowego, bez przerw między kolumnami). Przy reprezentatywnej próbie obserwacji nakreśli on krzywą Gaussa (Rys. 65).



Powierzchnia pod krzywą reprezentuje prawdopodobieństwo równe 1, wystąpienia danego zdarzenia. Z rozkładem normalnym związana jest reguła 3 δ (3 odchylenia standardowe), mówiąca że w przedziałach:

- $\bar{X} \pm 3 \delta$ mieści się 99,74% obserwacji,
- $\bar{X} \pm 2 \delta$ mieści się 95,45% obserwacji,
- $\bar{X} \pm 1 \delta$ mieści się 68,27% obserwacji.

Często rozkłady charakteryzujące analizowane procesy odbiegają od wzorcowych krzywych Gaussa (Rys. 66). Może być to wynikiem niereprezentatywności próbki, może wskazywać także na znaczne rozregulowanie procesu. Spotyka się rozkłady wykazujące znaczne asymetrie, tak ujemne (A) jak również dodatnie (B), w skrajnych przypadkach mogą mieć postać prostokąta (C), czy trójkąta (D).



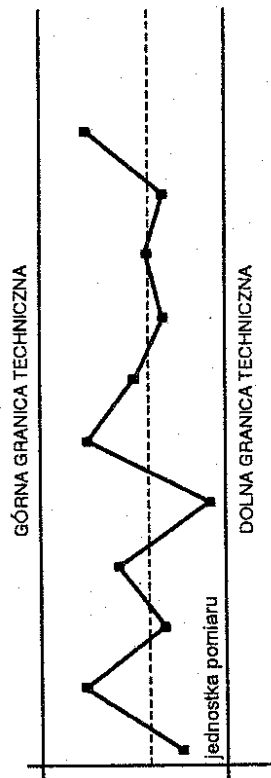
Rys. 66.

W interpretacji rozkładu analizowanej zbiorowości, np. długości prętów wytwarzanych w monitorowanym procesie, użyteczne jest wykorzystanie określonych miar statystycznych, przede wszystkim bardzo obrazowe są:

- ◆ Miary klasyczne:
 - **średnia arytmetyczna** - określa przeciętny poziom cech.
 - ◆ Miary pozycyjne:
 - **modalna** - wartość najczęstsza, dominująca, typowa; odpowiada jej maksymalna liczba sprostżeń lub wartość wokół której najczęściej grupują się sprostżenia,
 - **mediana** - wielkość środkowa, jest to wartość wyrazu znajdującego się po środku szeregu statystycznego. Dzieli szereg na dwie równe części,
 - **kwartyle** - dzielią szereg w określonych proporcjach 1/4 i 3/4.
 - ◆ Miary dyspersji - określają różnice występujące w badanej próbie zbiorowości:
 - **rozstęp** - mówi o rozpiętości między wielkościami skrajnymi w zbiorowości,
 - **odchylenie standardowe** - określa o ile przeciętnie poszczególne jednostki badanej zbiorowości odchylają się od wartości średniej.

3. Wymagania techniczne

Założywszy, że odchylenia występujące w każdym procesie są nieuniknione, środkiem zaradczym jest określenie dopuszczalnych granic, które nie mogą zostać przekroczone. Naniesienie ich na wykres tendencji danego procesu ukaże, czy proces spełnia oczekiwania (Rys. 67).



Rys. 67. Wykres tendencji z granicami technicznymi

Określone w ten sposób warunki techniczne umożliwią odpowiedź na pytania:

- *Czy odchylenia w procesie zawierają się w dopuszczalnych granicach?*
- *Czy proces przebiega zgodnie z oczekiwaniami?*

Nie zawsze będą to dwie granice techniczne, bowiem np. w rachunkowości, przy podliczaniu procentu nie zapłaconych należności, gdzie dolna granica wynosi zero, lub w przypadku licytacji gdzie górna granica jest nieokreślona - zwykle stosuje się jedną linię (oznaczającą górną lub dolną wartość dopuszczalną). Wykres tendencji z naniesionymi warunkami technicznymi może być ważnym narzędziem kontrolnym, bowiem bardzo szybko pozwala stwierdzić zgodność z oczekiwaniami, ze specyfikacjami Klienta, wymaganiami norm technicznych. Nie daje on jednak odpowiedzi na pytanie, czy odchylenia w procesie są systemowe, czy też wyjątkowe.

4. Wykresy kontrolne (karty kontrolne)

Na tak postawione pytanie odpowie wykres kontrolny z naniesionymi granicami kontrolnymi (karta kontrolna). Granice w tym przypadku określają typowy przebieg procesu, określony na podstawie przebiegu procesu w przeszłości. Tak więc karta kontrolna jest to wykres tendencji z naniesionymi granicami kontrolnymi w postaci dwóch poziomych linii. Jedną z nich jest GGK - górna granica kontrolna, a drugą DGK - dolna granica kontrolna.

Granice kontrolne zasadniczo różnią się od granic technicznych, bowiem:

- wymagania techniczne reprezentują standard, cel, wymagania klienta, opisują pożądany stan rzeczy,
- granice kontrolne obliczane są matematycznie, na podstawie rzeczywistego przebiegu procesu w przeszłości; reprezentują stopień stabilności procesu.

Innymi słowy wymagania techniczne są wyznacznikiem tego co pożądane, granice kontrolne mówią o tym czego należy się spodziewać.

Omówienie poniższe będzie dotyczyło dwóch podstawowych kart kontrolnych:

- karty kontrolnej średniej (X),
- karty kontrolnej rozstępu (R).

Stosuje je się do przedstawiania odchyleń ciągłych, mierzonych w jednostkach ilościowych (temperatura, długość, grubość itp.). Wskazane jest wykorzystywanie kart X i R równoległe, bowiem tylko wtedy zapewniają one stałą i kompleksową kontrolę nad procesem, nad:

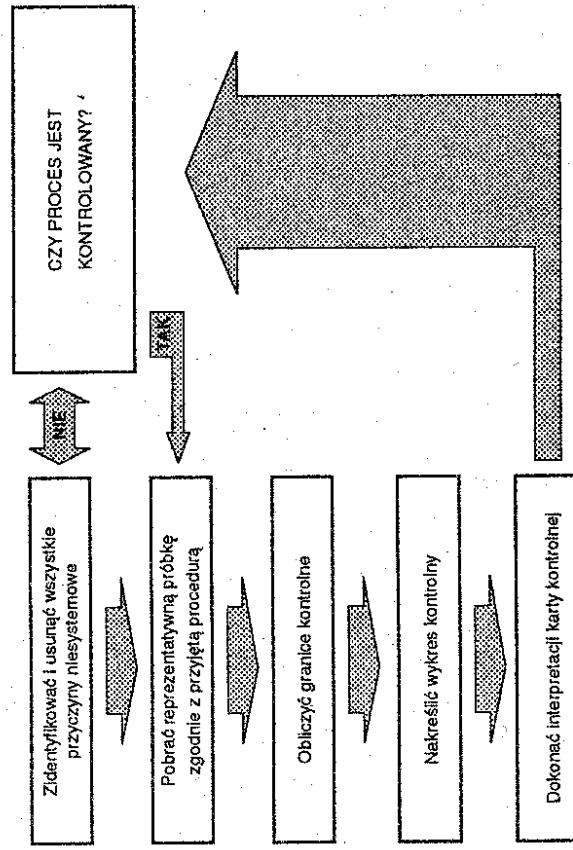
- **dokładnością** - wskazującą na zgodność produktu z wzorcem (idealnym produktem), ilustrującą stopień scentrowania próbek wokół średniej procesu.

- precyzją - miarą rozrzutu, wskazującą na stopień rozrzutu największych i najmniejszych pomiarów wokół średniej wartości rozstępu.

Wykorzystując karty kontrolne, szybko można ocenić rodzaj odchylenia występującego w procesie. Czy zmienność procesu wynika z oddziaływania tylko czynników systemowych, czy wpływają na niego również przyczyny wyjątkowe (przekroczone GGK lub DGK). Na tej podstawie wnioskujemy czy proces jest sterowalny, czy też wymknął się spod kontroli.

A. Budowa kart kontrolnych

Praca z kartami kontrolnymi realizowana jest w etapach przedstawionych na rysunku nr 68.



Rys. 68.

Źródło: Opracowanie własne.

Podstawowym warunkiem jaki musi zostać spełniony dla poprawnej budowy karty kontrolnej jest stabilność procesu. Oznacza to, że nie mogą na jego przebieg wpływać inne przyczyny poza systemowymi. Jeśli warunek ten nie jest spełniony, przyczyny wyjątkowe muszą zostać zdefiniowane i usunięte. Na tym etapie bardzo pomocne mogą okazać się inne narzędzia zarządzania jakością, np. burza mózgów, analiza sił pola, schemat jodełkowy, analiza oddziaływań i inne.

Następnie możemy przejść do obliczenia granic kontrolnych, dokonując obliczeń przedstawionych poniżej:

- Obliczyć średnią (\bar{X}) i rozstęp (R) dla każdej próby.

$$\bar{X} = \frac{(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{n}$$

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

n - liczba próbek

- Obliczyć średni poziom procesu dla średnich i rozstępów.

$$\bar{X} = \frac{(X_1 + X_2 + \dots + X_k)}{k}$$

$$R = \frac{(R_1 + R_2 + \dots + R_k)}{k}$$

k - liczba podgrup

- Obliczyć górną i dolną granicę kontrolną dla średniej:

$$GGK = \bar{X} + A_2R$$

$$DGK = \bar{X} - A_2R$$

- Obliczyć górną i dolną granicę dla rozstępu:

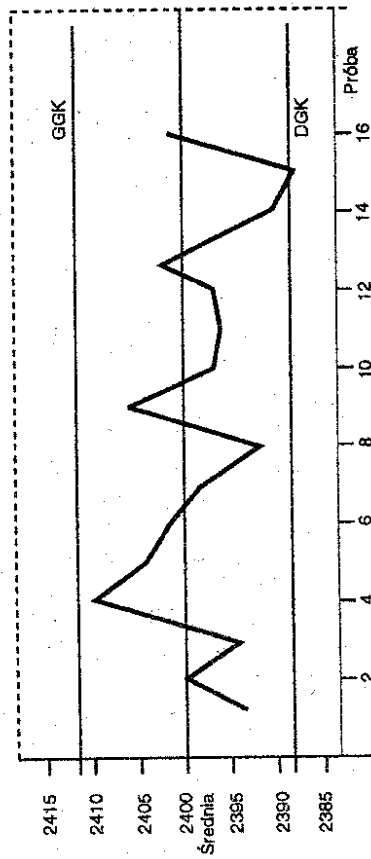
$$GGK = D_4R$$

$$DGK = D_3R$$

A_2, D_3, D_4 - wielkości z tablic statystycznych

Obliczone granice stanowią podstawę dla przygotowania karty kontrolnej. W tym celu odpowiednio skalujemy oś pionową, rysujemy poziomą linię przedstawiającą średnią procesu (dla karty średnich) i rozstępu (dla karty rozstępu). Kreślimy na odpowiednim poziomie obliczone granice kontrolne odpowiednio dla każdego rodzaju karty.

Na tak przygotowane karty kontrolne nanosimy dane z procesu w postaci punktów i łączymy je. Przykładową kartę kontrolną średnich przedstawia rysunek nr 69.



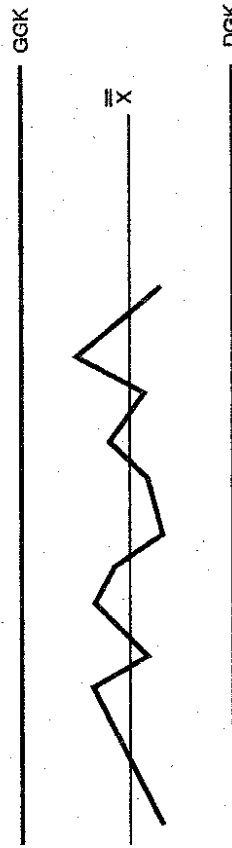
Rys. 69.

Przedstawiona procedura konstruowania kart kontrolnych może wydawać się dosyć skomplikowana, jednak obecnie prace te najczęściej wykonywane są automatycznie z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania komputerowego.

B. Interpretacja kart kontrolnych

Najważniejszą jednak kwestią jest umiejętność prawidłowej interpretacji i wnioskowania w oparciu o wypełnioną kartę kontrolną. Interpretacja wykresów kontrolnych polega na rozpoznaniu sygnałów, które przekazują proces. Bardzo często dokonuje się tego w kategoriach świateł drogowych. Dla wszystkich sygnały jakie one przekazują są jednoznaczne i reagujemy na nie automatycznie, taki stan rzeczy pożądanym jest również przy analizie procesu.

- **Zielone światło** oznacza, że proces przebiega w sposób kontrolowany, wykazuje jedynie nieznaczne odchylenia (Rys. 70). Oznacza to, że:
 - wszystkie punkty mieszczą się w granicach kontrolnych,
 - w przybliżeniu połowa punktów znajduje się ponad poziomem średnim i połowa poniżej tego poziomu,
 - większość punktów znajduje się bliżej poziomu średniego niż granic kontrolnych,
 - nie można zauważyć żadnego powtarzającego się układu.

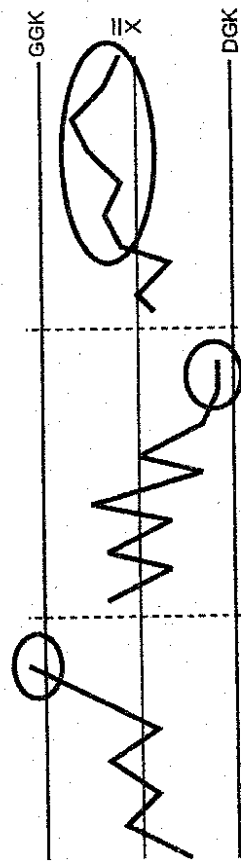


Rys. 70. Wykres kontrolny sygnalizowany przez zielone światło

- **Czerwone światło** oznacza, że proces przebiega w sposób niekontrolowany (Rys. 71), wpływa na niego jakaś przyczyna wyjątkowa. Prawdopodobieństwo wystąpienia

tego typu odchylenia jest bardzo małe, dlatego możemy przypuszczać, że coś jest nie w porządku. Diagnozę taką możemy postawić w przypadku, gdy:

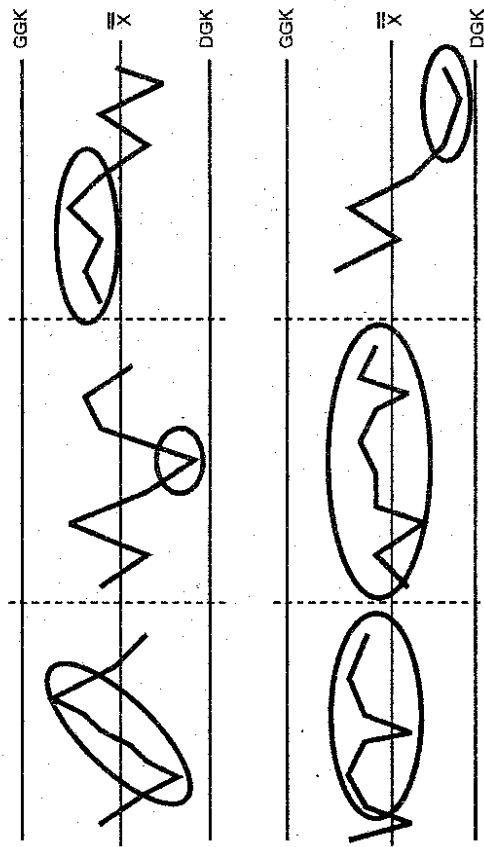
- jeden punkt jest poza granicą kontrolną,
- dwa kolejne punkty znajdują się w pobliżu jednej granicy kontrolnej (bliżej niż 1/3 odległości pomiędzy poziomem średnim a granicą kontrolną),
- siedem kolejnych wyników jest większych lub mniejszych od średniego poziomu.



Rys. 71. Wykresy kontrolne sygnalizowane przez czerwone światło

- **Żółte światło** oznacza prawdopodobieństwo przyszłych kłopotów. Nawet jeśli proces nie sygnalizuje przy pomocy czerwonego światła, że coś jest nieprawidłowo, może to sygnalizować światłem żółtym. Żółte światło ostrzega, że proces może wymknąć się spod kontroli. Wskazują na to występujące powtarzające się układy - trendy, odpowiednio wcześniej odczytane dają ostrzeżenie. Oto niektóre z takich sekwencji (Rys. 72):
 - każdy układ punktów sugerujący tendencję (można przewidzieć lokalizację następnego punktu),
 - jeden punkt w pobliżu granicy kontrolnej (bliżej niż 1/3 odległości między poziomem średnim i granicą),

- pięć kolejnych punktów po jednej stronie poziomu średniego,
- sześć z ostatnich siedmiu punktów po jednej stronie poziomu średniego,
- osiem z ostatnich dziesięciu punktów po jednej stronie poziomu średniego,
- ostatnie trzy punkty w odległości większej niż 1/3 odległości między poziomem średnim i granicą kontrolną.



Rys. 72. Wykresy kontrolne sygnalizowane przez żółte światło

Wykres kontrolny sygnalizowany czerwonym światłem pozwoli stwierdzić, że proces przebiega w sposób niekontrolowany. Nie odpowie jednak na pytania, dlaczego tak się dzieje i jakie należy podjąć działania korygujące? Dlatego właśnie bardzo ważne jest prowadzenie, przez personel obsługujący dany proces szczegółowych zapisów dotyczących prac konserwacyjnych, zmiany materiałów wsadowych, czyszczenia maszyny, zmiany w metodzie

pobierania próbek, przestoju w pracy, nadprogramowej pracy urzędzenia, itd. Być może właśnie któraś z tych przyczyn spowodowała niepokojące symptomy wykazane w karcie kontrolnej. I znowu przy tych ustaleniach bardzo pomocna będzie praca zespołowa z wykorzystaniem takich narzędzi jak burza mózgów, schemat jodefkowy, schemat blokowy, analiza oddziaływań, wykres Pareto i innych.

Jak już wcześniej zostało powiedziane, karty kontrolne średniej i rozstępu to najpowszechniej stosowane tego typu narzędzia SPC. Nie zawsze jednak mamy do czynienia ze zmiennymi ciągłymi, mierzalnymi i zastanawiamy się czy dany proces posiada określone własności lub cechy? W takich przypadkach nabierają znaczenia inne typy kart kontrolnych, tak zwane karty kontrolne własności, jak chociażby p, np, c, u.

5. Zdolność procesu / maszyny

Jakość wyrobów finalnych to tylko jeden z aspektów pozwalających zaspokoić oczekiwania klientów. W świetle kompleksowego zapewnienia jakości dużego znaczenia nabiera stabilność całego procesu w długim okresie czasu.

Szacując zdolność jakościową procesu i maszyny wykorzystuje się dwa współczynniki: C_p i C_{pk} .

- C_p - określa ogólną zdolność jakościową procesu lub maszyny, zależność między zakresem tolerancji a odchyleniem standardowym.
- C_{pk} - określa położenie rozkładu cech względem średniej.

W praktyce niezbędne jest szacowanie obydwu wskaźników, bowiem wartość C_p nie określa jednoznacznie, czy zmienność procesu nie jest większa od zakresu tolerancji.

Zakładając, że proces podlega rozkładowi normalnemu, współczynnik C_p oblicza się wg wzoru:

$$C_p = \frac{GGT - DGT}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma}$$

GGT - górna granica tolerancji

DGT - dolna granica tolerancji

T - tolerancja zgodna z wymaganiami klienta, normami, ry-sunkami, itd.

σ - odchylenie standardowe

Współczynnik C_{pk} szacowany jest za pomocą dwóch wzorów, uwzględniających tolerancję górną i dolną osobno.

$$C_{pk} = \frac{GGT - x}{3\sigma}$$

$$C_{pk} = \frac{x - DGT}{3\sigma}$$

Należy jednak zauważyć, że dla procesów o dwustronnej tolerancji analizuje się C_{pk} o mniejszej wartości.

Najważniejszą umiejętnością w analizie jest właściwa interpretacja obliczonych wskaźników. Podobnie jednak jak w przypadku kart kontrolnych często nie można tutaj mówić o jednoznacznych stwierdzeniach - proces jest dobry (zdatny), proces jest zły (wadliwy).

Wraz ze zwiększającymi się wymaganiami, tak ze strony klientów jak też odbiorców w łańcuchu produkcyjnym, znacznym prze-wartościowaniem ulegają akceptowalne wartości współczynników. Widać, że procesy przyjmowanym przez producentów, czy też akcep-

towanym przez odbiorców marginesem bezpieczeństwa mieszczącego się w polu tolerancji. I tak jeśli:

- $C_p = C_{pk} = 1$ nie ma marginesu bezpieczeństwa,
- $C_p = C_{pk} = 1,33$ istnieje 25% margines bezpieczeństwa,
- $C_p = C_{pk} = 2$ istnieje 50% margines bezpieczeństwa.

Niewiarygodny w takim świetle wydaje się fakt, że w latach siedemdziesiątych akceptowany był w niektórych przedsiębiorstwach C_p na poziomie 0,67, co było jednoznaczne z brakiem kontroli nad procesem. Od tego czasu tolerancja wobec procesu znacząco się zmniejszyła, bowiem $C_p = 1$ jest niedopuszczalne. Wystąpienie jakichkolwiek przyczyn wyjątkowych lub nawet systemowych wynikających ze zmiany surowca, operatorów, zużyciem maszyny, przy takich założeniach spowodowałoby przekroczenie tolerancji.

Przez długi okres magiczną wartością C_p było 1,33, chociaż obecnie za wymagane minimum uważa się 2, niekiedy 4 i wyższe.