

3. Narzędzia zarządzania jakością

3.1. Schematy blokowe

Proces wytwarzania stanowi uporządkowany zestaw celowych działań wykonywanych w toku produkcji począwszy od pobrania materiału wejściowego z magazynu poprzez wszystkie operacje technologiczne, transportowe, kontrolne, magazynowe aż do wytworzenia gotowego wyrobu włącznie. W działaniach tych wykorzystywane są określone zasoby do przekształcania danych wejściowych w dane wyjściowe. Jednym z podstawowych narzędzi zarządzania jakością stosowanych do prezentacji procesów wytwarzania są schematy blokowe.

Schemat blokowy (ang. *flowchart, block diagram, block scheme, flow diagram*) stanowi graficzne przedstawienie ustalonej procedury postępowania. Idea sporządzania schematów blokowych w procesach wytwarzania związana jest z ich transparentnością oraz możliwością efektywnego wykorzystania w praktyce przemysłowej jak również przeniesienia do formuły elektronicznej ich zawartości w znacznej ilości dostępnych programów komputerowych czy specjalistycznych systemów z zakresu zarządzania. Schemat blokowy to narzędzie analityczne i komunikacyjne.

Schematy blokowe charakteryzuje prosta zasada budowy oparta o zestaw znaków zaprezentowanych w tabelicy 4, tu w oparciu o symbole graficzne stosowane w schematach blokowych według PN-75/E-01226. Stosowany w przedsiębiorstwie zestaw znaków graficznych może być oparty o ustalone specyficzne formy graficzne prezentacji, poszerzone lub odmienne niż zaprezentowane w tabelicy 4. Poszczególne kroki procesu przedstawiane są w postaci symboli, zaś przebieg procesu przy pomocy strzałek.

Stosowane w budowie schematów blokowych znaki graficzne wyrażają przede wszystkim kolejność czynności/działań, w tym możliwość realizacji czynności/działań równocześnie, kierunek przepływu informacji oraz kierunek przepływu materiału.

Opracowywanie schematów blokowych rządzi się kilkoma zasadniczymi zasadami, schemat powinien być prosty i czytelny, bardzo często w praktyce arkusz przedstawiania schematu dzielony jest na trzy kolumny, gdzie kolumna środkowa zarezerwowana jest dla głównego ciągu kolejnych operacji, a kolumny zewnętrzne wykorzystywane są w zakresie prezentacji informacji dotyczących towarzyszących operacjom dokumentach i zapisach, oraz tzw. pętlach zwrotnych, takie opracowywanie schematów blokowych pozwala na uzyskanie ich transparentności.

Schematy blokowe powinny być tak opracowane w ramach danego przedsiębiorstwa, by ich interpretacja, co do użytych znaków graficznych nie budziła wątpliwości.

Tablica 4. Symbole graficzne stosowane w schematach blokowych według PN-75/E-01226

	<p>Blok graniczny Oznacza początek, koniec, przerwanie lub wstrzymanie procesu/działań.</p>
	<p>Blok wejścia-wyjścia Oznacza operację wprowadzania danych i przyporządkowania ich zmiennym używanym w dalszej części procesu albo czynność wyprowadzania wyników dot. procesu. Napis wewnątrz bloku określa rodzaj czynności oraz nazwy zmiennych i kolejność, w jakiej będą one występowały w operacji wejścia-wyjścia.</p>
	<p>Blok zadaniowy Oznacza wykonanie operacji lub grupy operacji, wewnątrz bloku określa się rodzaj czynności.</p>
	<p>Blok decyzyjny Oznacza wybór jednego z dwóch wariantów dalszego wykonywania procesu, dokonywany na podstawie sprawdzenia warunku wypisanego wewnątrz bloku. Strzałki wychodzące z bloku powinny być opatrzone opisami <i>Tak</i> oraz <i>Nie</i>. Strzałki te wskazują, który z wariantów zostanie wybrany przy spełnionym, a który przy niespełnionym warunku.</p>
	<p>Blok wywołanie podprocesu Oznacza zmianę w przebiegu wykonywania procesu na skutek tzw. wywołania podprocesu. Wewnątrz bloku podaje się nazwę podprocesu oraz spis parametrów aktualnych.</p>
	<p>Blok fragmentu Oznacza fragment procesu (ciąg czynności) zdefiniowany odrębnie. Wewnątrz bloku podaje się nazwę fragmentu.</p>
	<p>Blok komentarza Służy do umieszczania ewentualnych wyjaśnień dla użytkownika schematu, ułatwiających zrozumienie przeznaczenia poszczególnych jego części.</p>
	<p>Łącznik wewnętrzny Służy do łączenia odrębnych części schematu procesu znajdujących się na tym samym arkuszu papieru i ułatwia zachowanie przejrzystej postaci schematu. Komplementarne łączniki oznaczone są tym samym napisem wewnętrznym (zwykle liczbą naturalną).</p>
	<p>Łącznik zewnętrzny Służy do łączenia części schematu procesu umieszczonych na odrębnych arkuszach i ułatwia konstruowanie obszernych schematów działań. Napis wewnątrz łącznika powinien określać zarówno numer strony (arkusza), jak i numer łącznika na stronie.</p>

W trakcie opracowywania schematów należy umieścić na arkuszach wszelkie zaprojektowane operacje procesu zgodnie z ustaloną ich kolejnością wykonywania. Należy unikać rysowania przecinających się połączeń między operacjami, co może wprowadzać w błąd użytkowników schematów. Podczas opracowywania schematów należy unikać zarówno zbyt dużej szczegółowości jak i zbyt ogólności schematów, gdyż może to stanowić powód złej realizacji procesów.

Schematy blokowe stanowią narzędzie dające możliwość nie tylko zrozumienia i analizy przebiegu procesu, ale przede wszystkim przyczyniające się do poprawy zarządzania jakością procesu.

Schematy blokowe używane są najczęściej w procesach planowania i kontroli. Możliwość określenia punktów procesu warunkujących jego dalszy, prawidłowy przebieg jest niewątpliwie zaletą tego narzędzia.

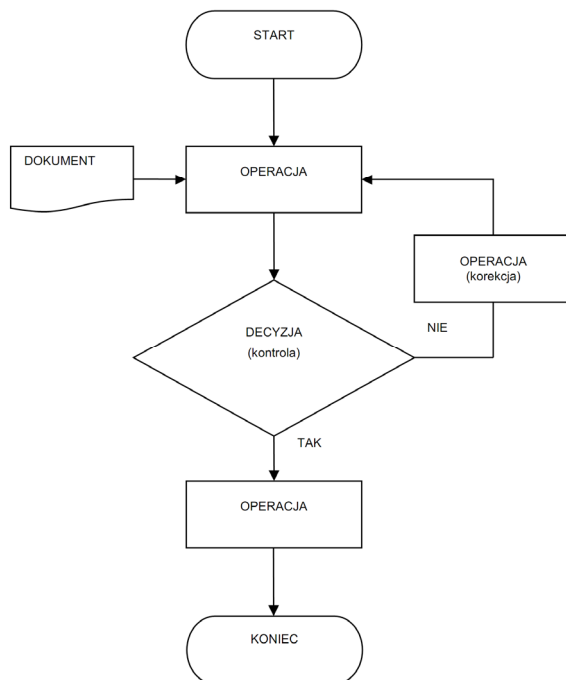
Na schematach blokowych wprowadzane są następujące główne typy przepływów:

- materiały – zapis czynności przetwarzania, kontrolowania, transportu i magazynowania,
- zasoby ludzkie – zapis czynności pracowników lub klientów,
- wyposażenie – zapis wykorzystania maszyn i narzędzi,
- informacja – zapis zbierania, przetwarzania i przekazywania informacji, a także opis procesu podejmowania decyzji.

Efektywne konstruowanie schematu blokowego obejmuje:

- nazwanie procesu – najlepiej za pomocą jednego zdania,
- określenie granic procesu, czyli sytuacji początkowej (wejścia) i końcowej (wyjścia),
- określenie poszczególnych operacji w procesie,
- narysowanie schematu,
- wprowadzenie opisu poszczególnych elementów,
- połączenie elementów graficznych,
- wprowadzenie komentarzy.

W praktyce zaleca się opracowanie najpierw całego schematu, a dopiero potem uzupełnianie szczegółów. Schemat powinien mieć wyraźny główny wątek, szczegóły można uzupełnić w dodatkowych schematach. W przypadku wystąpienia alternatywnych przebiegów w pierwszej kolejności należy opisać alternatywę najistotniejszą. W schemacie powinno wprowadzić się pewną liczbę komentarzy ułatwiających zrozumienie. Zazwyczaj konieczne jest określenie czasu potrzebnego na każdą operację. Po opracowaniu projektu schematu należy przedyskutować go z osobami zaangażowanymi w przebieg procesu w celu wyeliminowania zbędnych kroków – rysunek 19.



Rysunek 19. Przykład schematu blokowego

W obecnej chwili do dyspozycji użytkowników jest wiele programów komputerowych wspomagających tworzenie schematów blokowych.

Schematy blokowe stosowane są do tzw. mapowania procesów, ta funkcjonalność schematów blokowych w pełni pozwala wykorzystać je w zakresie realizacji koncepcji zarządzania procesowego.

Zastosowanie schematów blokowych dotyczy przede wszystkim w procesach produkcyjnych działań zarządczych związanych z optymalizacją procesów oraz ich standaryzacją.

Stosowanie w praktyce inżynierskiej schematów blokowych ułatwia sterowanie procesami, a także pozwala uzyskać nową jakość w ich prezentacji.

3.2. Wykres Ishikawy

Złożoność problemów występujących w procesach wytwarzania powoduje, że poszukiwanie odpowiedzi dotyczących przyczyny skutków występowania tych problemów nie jest zadaniem o konstrukcji prostej ale wymaga zastosowania pewnej systematyki jego rozwiązywania.

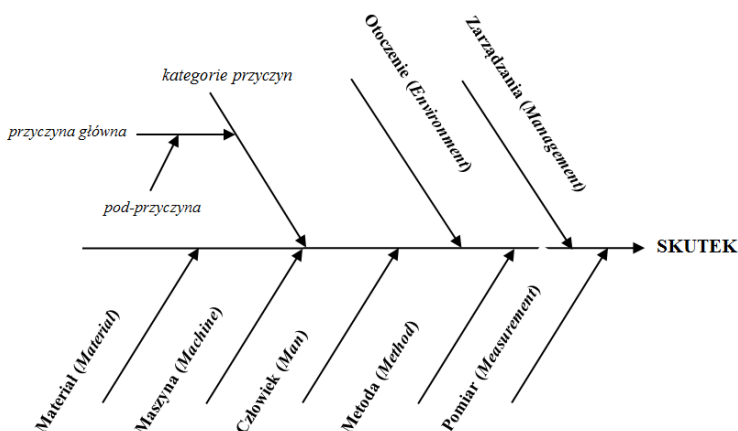
Jednym z narzędzi służącym do rozwiązywania problemów jakościowych jest diagram K. Ishikawy, pozwala na rozpoznanie i zidentyfikowanie najczęściej występujących niezgodności i przyczyn ich powstawania, jest on graficznym schematem prezentującym oddziaływanie czynników, które powodują skutki mające miejsce w danym procesie. Diagram porządkuje logicznie i chronologicznie przyczyny lub czynności ze względu na zdefiniowany problem.

Pojedynczy proces jest sekwencją czynności przekształcającą mierzalne wejścia w mierzalne wyjścia. Uzyskiwany efekt jest wynikiem działania kilku czynników – rysunek 20:

- materiałowego (ang. *material*) – właściwości obrabianego materiału,
- człowieka (ang. *manpower*) – umiejętności pracownika,
- maszyny (ang. *machine*) – możliwości technologicznych,
- metod (ang. *method*) – techniki wytwarzania,
- zarządzania (ang. *management*) – metody zarządzania,
- środowiska (ang. *environment*) – warunki produkcyjne, czynniki środowiskowe, otoczenia,
- pomiar (ang. *measurement*) – metoda pomiaru.

Obecnie obowiązuje układ czynników na wykresie Ishikawy oznaczonych symbolem 6M+E – pochodzących od liter początkowych nazw angielskich czynników stanowiących kategorie prowadzonej analizy.

Zaproponowane rozwiązania dotyczące wykresu Ishikawy umożliwiają nie tylko jakościowe, ale i ilościowe dokonanie analizy przyczyn występujących niezgodności tzw. wykres Ishikawy ważony.



Rysunek 20. Wykres Ishikawy

Zastosowanie wykresu Ishikawy zasadne jest nie tylko na etapie procesu wytwarzania, ale także jako skuteczna metoda analizy problemów w fazie projektowania i technologicznego przygotowania produkcji, a więc na tych etapach, na których efektywność podejmowanych działań jest największa dla osiągnięcia stawianego celu. Zastosowanie diagramu Ishikawy stanowi pierwszy krok w procesie analizowania zebranych danych źródłowych.

Opracowywanie wykresu Ishikawy składa się z kilku faz:

- określenie przyczyn głównych (ogólnych),
- zdefiniowanie przyczyn szczegółowych,
- wybór czynnika krytycznego.

Wybór przyczyn należy za każdym razem dobierać do problemu, który chcemy rozwiązać. Przyczyny ogólne zostają zapisane na osiach skierowanych do głównej osi diagramu. Określenie przyczyn szczegółowych (drugo-, trzeciorzędowych, i kolejnych poziomów uszczegółowienia) jest połączone z przyczynami głównymi. Przyczyny te stanowią rozwinięcie przyczyn głównych. Nie ma określonej liczby tych przyczyn, jednak ze względu na czytelność diagramu zaleca się ich ograniczenie od 3 do 5. Narzędzie to wymaga pracy zespołowej, najlepiej interdyscyplinarnej.

Ostatnią fazą podczas tworzenia diagramu jest wybór przyczyny krytycznej, najbardziej prawdopodobnej.

Analizy z wykorzystaniem wykresu Ishikawy stosowane są do usprawniania procesu, zwłaszcza w przypadku istnienia niezgodności i podejmowania działań korygujących, mających na celu:

- identyfikację rodzaju pojawiających się problemów,
- określenie miejsc ich wstępowania,
- analizę przyczyn,
- przedstawienie propozycji usuwania niezgodności,
- wybór i wdrożenie najlepszego rozwiązania i ocena skuteczności.

W praktyce inżynierskiej można spotkać różne zasady grupowania przyczyn podczas budowy wykresu Ishikawy:

- przyczyny zmienności czasu wykonywania operacji podzielone na przyczyny składające się na charakterystyki czynników wytwórczych – tzw. układ 5 M,
- przyczyny decydujące o częstotliwości uszkodzenia całego układu – tzw. układ strukturalny przyczyn,
- przyczyny wadliwości wyrobu podzielone na przyczyny wadliwości wywoływane w trakcie różnych operacji technologicznych – tzw. układ technologiczny.

Ujęcie technologiczne wykresu Ishikawy w sposób zasadniczy odnosi się do wady wyrobu (określony skutek), jednocześnie wskazując na korelację z poszczególnymi operacjami technologicznymi, w których określa się potencjalne przyczyny, ma szczególne zastosowanie w praktyce inżynierskiej.

Narzędzie jakie stanowi wykres Ishikawy pozwala w praktyce inżynierskiej na podstawie analizy współzależnych powiązań przyczyn wywołujących określony skutek określać najbardziej prawdopodobną przyczynę. Szczególną wartością tego narzędzia jest ujęcie danego problemu w sposób całościowy, czytelny, prosty i łatwy do opracowania, co na etapie diagnozowania przyczyn problemu jest bardzo ważne.

Kolejne etapy opracowywania wykresu Ishikawy obejmują:

- analizę zdefiniowanego problemu – omówienie wszystkich możliwych przyczyn oraz ustalenie głównych kategorii możliwych przyczyn;
- opracowywanie wykresu – do każdej kategorii przyczyn przyporządkowane są poziome strzałki, które symbolizują główne przyczyny badanego problemu. Wykres rozbudowywany jest przez dołączanie kolejnych przyczyn i podprzyczyn;
- sprawdzenie kompletności wykresu i analiza wykresu – należy sprawdzić czy wszystkie potencjalne przyczyny zostały zawarte w wykresie. Należy zidentyfikować przyczynę, która prawdopodobnie ma największy wpływ na skutek oraz przeanalizować, czy zidentyfikowana „istotna” przyczyna rzeczywiście kształtuje rozważany problem. Kolejno określić sposób wyeliminowania najbardziej prawdopodobnego procesu powstawania badanej niezgodności.

Wykres przyczynowo-skutkowy stanowi narzędzie pozwalające rozwiązywać problemy poprzez metodyczne podejście w określeniu zależności pomiędzy ogólnym jego określeniem a konkretyzacją propozycji rozwiązania.

3.3. Wykres Pareto-Lorenza

Określenie obszarów, zakresów i czynników, które mają podlegać doskonaleniu stanowi wynik analiz, które muszą zostać przeprowadzone na wstępie podejmowanych działań doskonalących. Diagnoza stanu oraz określenie obszarów i zakresów, które powinny być doskonalone kieruje podejmowanie dalszych działań. Przydatnym i popularnym narzędziem jest w tym zakresie zastosowanie wykresów Pareto-Lorenza.

Analiza Pareto opiera się na stwierdzonej empirycznie prawidłowości przez ekonomistę V. Pareto, że w przyrodzie, technice, działalności człowieka zazwyczaj 20-30% przyczyn decyduje o około 70-80% skutków. Występowanie zasady Pareto – 20/80 nie jest regułą.

Wykorzystując analizę Pareto można w sposób graficzny uporządkować i przedstawić rozkład problemów i przyczyn. Wykorzystuje się ją do uporządkowania częstotliwości występowania lub przyczyny największej straty związanej z badanym procesem, a to umożliwia hierarchizację czynników wpływających na badany proces. W praktyce inżynierskiej stosuje się dwa kierunki analizy Pareto, ze względu na częstotliwość występowania wad oraz ze względu na koszt tych wad.

Zidentyfikowanie przyczyn w trakcie analizy Pareto przyczynia się do doskonalenia procesów i podnoszenia poziomu jakości wyrobów, jak i procesów.

Świadomość istnienia zasady Pareto w praktyce inżynierskiej stanowi punkt wyjścia do podejmowania działań doskonalących. Stosując zasadę Pareto należy wybierać takie czynności, operacje, które przynoszą największe efekty. Wybór optymalny pozwala na osiągnięcie wyższych efektów, gdyż bierzemy pod uwagę tylko najważniejsze operacje, czynności.

W procesie wyznaczenia przyczyn niepowodzeń pozwala określić kierunki działania zmierzające do poprawy jakości produkowanych wyrobów. Wykres Pareto-Lorenza może zostać wykonany na podstawie np. zebranych informacji uzyskanych w arkuszu analitycznym.

Wykres Pareto-Lorenza przygotowuje się w kilku etapach: pierwszą czynnością jest zbieranie informacji o procesie, w którym występują problemy, kolejno na podstawie zebranych danych określa się wielkości, którymi można mierzyć wyniki poddanego analizie procesu. Kolejnym krokiem jest ustalenie siły oddziaływania przyczyn na wynik procesu oraz określenie skumulowanych wartości procentowych każdej występującej w procesie przyczyny oraz wykreślenia krzywej skumulowanej. Ostatnim elementem tworzącym budowę diagramu Pareto jest wyciągnięcie odpowiednich wniosków z przeprowadzonej analizy wykresu polegającej na wyznaczeniu przyczyn, które powinny być usunięte, ograniczone itp. w pierwszej kolejności.

Diagram Pareto-Lorenza jest rodzajem wykresu składającego się zarówno z wykresu kolumnowego i wykresu liniowego. Przedstawia on graficzną częstotliwość występowania pewnych czynników (np. przyczyn reklamacji czy usterek). Stosuje się go głównie w kontroli jakości, aby pokazać, na czym głównie się skupić, aby uzyskać najlepsze efekty (np. wyeliminowanie jednej usterki może zmniejszyć ilość reklamacji o połowę).

Stosując analizę należy pamiętać że:

- proporcji 80/20 nie należy traktować jako jedynie słusznej, jest ona tylko najczęściej pojawiającą się w obserwacjach, równie dobrze może to być inna proporcja,

- słuszne w tej zasadzie jest to, że nie zdarza się aby 100% nakładów przynosiło 100% efektów,
- kierując się tą zasadą należy wyszukiwać te czynności w procesie, które przynoszą największe efekty pomijając inne mniej wartościowe, optymalizując w ten sposób działania/procesy.

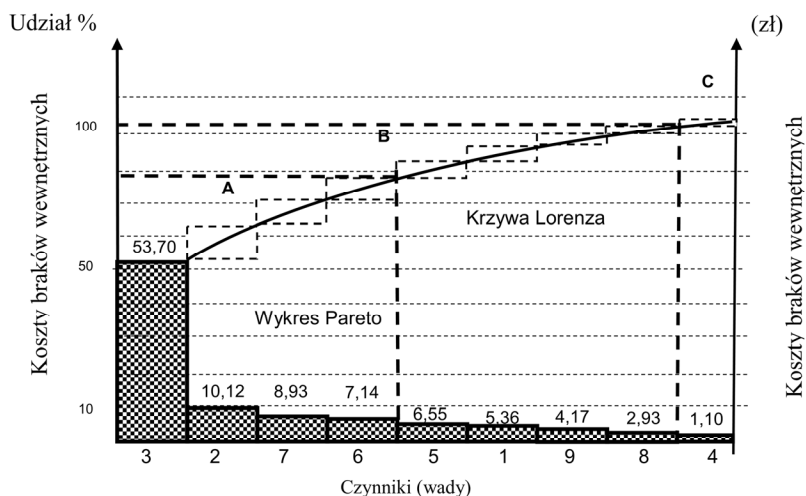
Analiza wykresu Pareto-Lorenza służy do sprecyzowania, które z przyczyn są najważniejsze ze względu na negatywny skutek ich oddziaływania na proces i powinny zostać usunięte bądź ograniczone w pierwszej kolejności. Należy jednak pamiętać, że mimo takiej interpretacji pozostałe czynniki wpływające na proces też powinny zostać usunięte jedynie można zastosować w stosunku do nich prolongatę czasu realizacji działań korygujących.

Z analizą Pareto-Lorenza wiąże się z tak zwaną metodą ABC. Polega ona na podziale wykresu Pareto na trzy obszary, co przedstawiono na rysunku 21, oznaczone odpowiednio literami (A,B,C):

A – w przypadku 20% przyczyn, grupujących 80% skumulowanej wartości cech (skutków),

B – w przypadku kolejnych 30% przyczyn, grupujących następne 10% skumulowanych wartości cech,

C – w przypadku pozostałych przyczyn (50%), która grupuje 10% skumulowanej wartości cech.



Rysunek 21. Wykres Pareto-Lorenza dla analizy występowania wad

Podział na trzy obszary (A, B, C) pomaga w określeniu zakresu działań korygujących. W sytuacji, gdy dany element analizy należy do obszaru A, jest on szczególnie istotny należy niezwłocznie podjąć akcję korygującą. Gdy element analizy należy do obszaru B można podjąć

akcję korygującą, ale nie jest konieczny szczególny pośpiech. W przypadku, gdy element należy do obszaru C, podjęcie akcji korygującej nie jest konieczne – co nie znaczy, że nie można tego zrobić, gdy jest to uwarunkowane jakimiś innymi względami.

3.4. Histogram

Histogram jest jednym z najczęściej stosowanych narzędzi statystycznych w praktyce. Histogram prezentuje w sposób graficzny (najczęściej jako wykres słupkowy) częstość występowania zmiennej losowej w określonym przedziale czasowym, w określonym procesie.

Wykonanie histogramu pozwala:

- dokonać wstępnej oceny zdolności procesu,
- dokonać oceny poziomu przeciętnego,
- dokonać oceny rozrzutu zmiennej diagnostycznej,
- na wizualną ocenę zgodności z rozkładem normalnym albo innym rozkładem wchodzącym w założenia technologiczne procesu.

Rysunek 22 przedstawia najczęściej spotykane w praktyce typy histogramów a tablica 6 ich interpretację.

Procedura opracowania histogramu obejmuje następujące kroki:

1. Posortowanie danych w porządku od najmniejszej do największej.
2. Wyznaczenie wartości najmniejszej i największej.
3. Obliczenie szerokości zakresu, w jakim pojawiają się dane czyli tzw. rozstępu:

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

4. Wyznaczenie liczby przedziałów – liczba przedziałów w histogramie jest bardzo ważna, ponieważ wpływa na jego kształt tym samym podjęciu tej decyzji należy poświęcić szczególną uwagę. Zazwyczaj zostaje przyjęta liczba przedziałów (k) między 5-15. Biorąc pod uwagę większą liczbę danych należy pamiętać, że liczba przedziałów powinna być wyższa. Wartościami granicznymi liczby przedziałów jest wartość minimalna równa 5 i wartość maksymalna równa 25. Jedną z przyjętych metod ustalania przybliżonej liczby przedziałów jest obliczenie pierwiastka kwadratowego z liczby zebranych pomiarów:

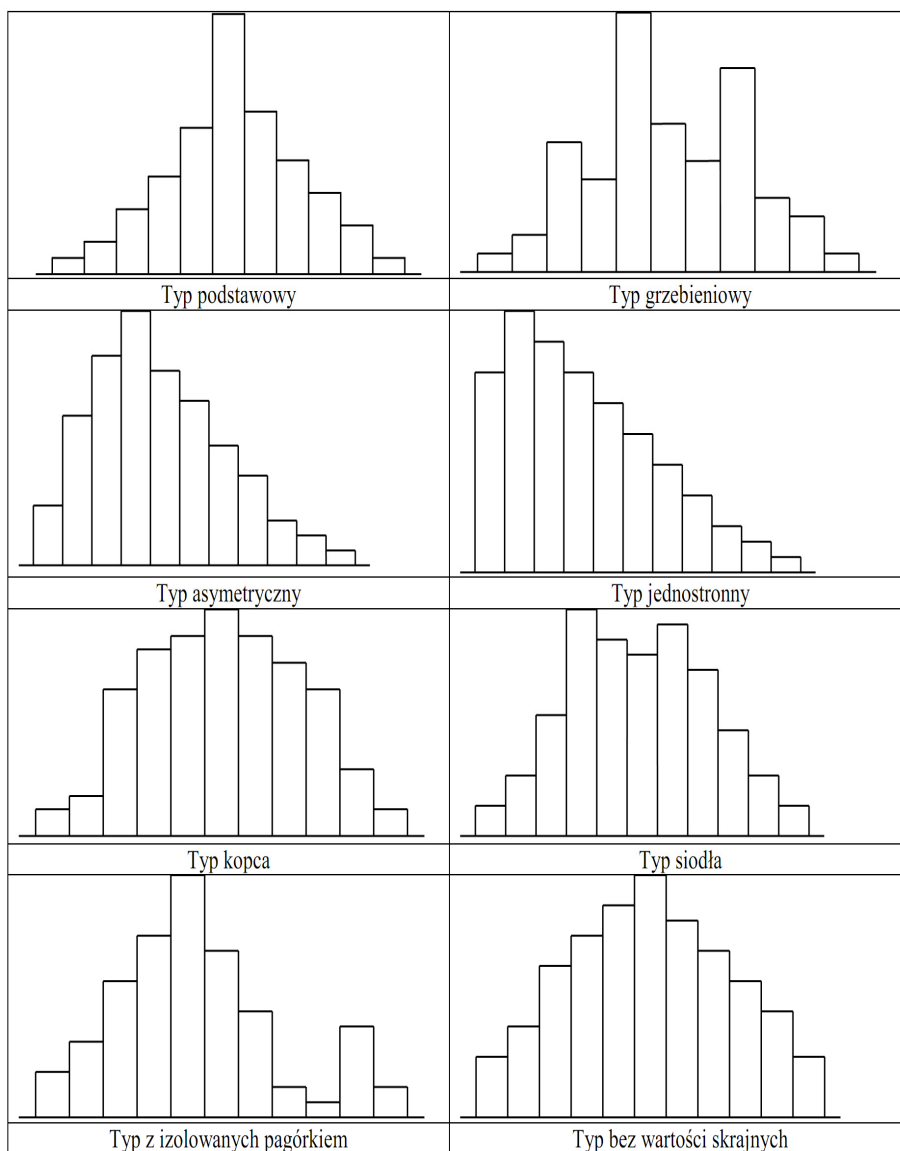
$$k = \sqrt{n}$$

gdzie: k – ilość przedziałów, n – liczba danych.

Można przy wyznaczaniu ilości przedziałów skorzystać z kryteriów podanych w tablicy 5.

Tablica 5. Kryteria ustalania liczby przedziałów

Liczba danych, n	Liczba przedziałów, k
do 50	5-7
51-100	7-10
100-250	7-12
ponad 500	10-20

**Rysunek 22. Typy histogramów w praktyce przemysłowej**

Tablica 6. Interpretacja histogramów

Typ podstawowy, symetryczny, o kształcie dzwonu	Wartość średnia leży w środku rozstępu. Częstości obserwacji są największe w części środkowej i silnie zmniejszają się w miarę zbliżania do granic rozkładu. Jest najczęściej spotykanym typem rozrzutu sugerującym rozkład normalny. Występuje on wówczas, gdy na zmienność wpływa nieskończenie wiele przyczyn, a żadna z nich nie ma znaczenia dominującego.
Typ grzebieniowy	O kilku wartościach modalnych (modą nazywa się wartości zmiennej, której częstość występowania jest wyższa niż wartości średnich). Występuje wówczas, gdy o rozkładzie liczby obserwacji w poszczególnych przedziałach decyduje jedna lub kilka dających się wykryć przyczyn.
Typ asymetryczny	Wartość średnia występuje wyraźnie w lewej lub prawej części rozkładu, w której koncentruje się większość obserwacji. Występuje wówczas, gdy pod kontrolą staramy się utrzymać jedną, dolną lub górną granicę tolerancji, określoną teoretycznie lub narzuconą wymaganiami. Ma również miejsce, gdy niemożliwe jest pojawienie się obserwacji mniejszych (lub większych) od pewnej wartości (np. zawartość siarki nie może być mniejsza od zera).
Typ jednostronny	Wartość średnia usytuowana jest w przedziale granicznym. Występuje jako skutek 100%-owej segregacji innego rozkładu, mającej na celu wyselekcjonowanie lub odrzucenie wartości powyżej (lub poniżej) pewnej granicy. Może być również granicznym przypadkiem poprzedniego typu asymetrycznego.
Typ kopca	Częstości w wielu przedziałach środkowych są zbliżone i spadają dopiero na granicach rozkładu. Występuje wskutek zmieszania kilku zbliżonych, co do liczebności zbiorów o różnych wartościach średnich. Wskazuje na występowanie pewnych dominujących przyczyn anormalności.
Typ siodła	O dwóch wartościach modalnych. Najczęściej jest mieszaniną dwóch rozkładów o znacznej różnicy wartości średnich. Wskazuje na anomalie, które łatwo wykryć.
Typ z izolowanym pagórkem	Obok rozkładu podstawowego pojawia się odrębny rozkład, ukształtowany przez odmienną strukturę przyczyn.
Typ bez wartości skrajnych	Najczęściej jest skutkiem 100%-owej uprzedniej segregacji innego rozkładu, z którego odrzucono wartości skrajne.

5. Ustalenie granic przedziałów – na wstępie ustala się szerokość przedziału, dzieląc wyznaczony zakres występowania danych przez liczbę przedziałów. Szerokość przedziału powinna wynosić:

$$\text{dla } 50 \leq n \leq 400 \quad z = \frac{R}{k}$$

$$\text{dla } n > 400 \quad z = \frac{R}{20}$$

Otrzymaną wartość należy zaokrąglić.

6. Rozpisanie przedziałów i obliczenie, ile w każdym z nich znajduje się wyników.
7. Opracowanie histogramu i interpretacja wyników.

Histogram stanowi proste narzędzie pozwalające w szybki sposób przeanalizować dane z procesu, prezentując ich zmienność oraz umożliwia wstępną interpretację zmienności bazując na faktach.

3.5. Karty kontrolne

Karty kontrolne stanowią podstawowe narzędzie statystycznego sterowania procesami. Karty kontrolne zostały opracowane przez W.A. Shewharta i praktycznie zastosowane w 1924 roku.

Karty kontrolne stanowią graficzną formę prezentacji informacji dotyczących bieżącego stanu procesu.

Karty kontrolne są narzędziem stabilizacji procesu poprzez ograniczenie zmienności do ustalonych granic.

Swoją popularność karty kontrolne zawdzięczają ich prostej konstrukcji i łatwości zastosowania. Dobrze dobrane i przygotowane w sposób właściwy karty kontrolne stosowane są do ciągłej kontroli procesu.

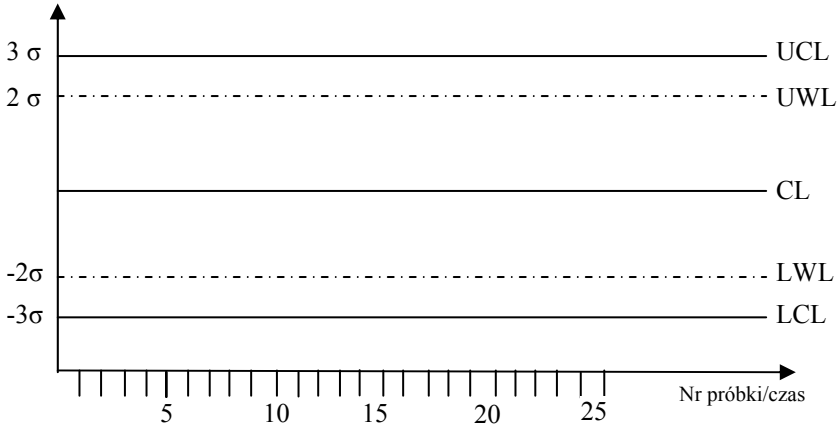
Zastosowanie kart kontrolnych służy:

- zapewnieniu regularnego i planowanego przebiegu procesu,
- poprawie stabilności procesu,
- odpowiednio szybkiemu reagowaniu na zmienność.

Zaproponowana przez W.A. Shewharta metoda monitorowania i regulacji procesów z wykorzystaniem kart kontrolnych stanowi graficzną procedurę, w której główną rolę odgrywa odpowiednio zaprojektowana karta (ang. *chart*) pozwalająca obserwować w sposób usystematyzowany przebieg kontrolowanego procesu, dając możliwość oceny odstępstw procesu od wartości docelowej.

Rysunek 23 przedstawia konstrukcję karty kontrolnej. Karta kontrolna jest wykresem, w którym na osi odciętych umieszcza się numery kolejnych próbek lub czas ich pobrania a na osi rzędnych znajduje się parametr monitorowany. Na karcie zaznacza się następujące linie:

- UCL (ang. *upper control limit*) – górną granicę kontrolną,
- CL (ang. *center line*) – linię centralną,
- LCL (ang. *lower control limit*) – dolną granicę kontrolną,
- UWL (ang. *upper warning limit*) – górną granicę ostrzegawczą,
- LWL (ang. *lower warning limit*) – dolną granicę ostrzegawczą.



Rysunek 23. Schemat karty kontrolnej z parametrami: UWL – górna granica ostrzegawcza, UCL – górna granica interwencji, LWL – dolna granica ostrzegawcza, LCL – dolna granica interwencji, CL – linia centralna

Na kartę kontrolną nanoszone są uzyskane wartości kontrolowanego parametru pochodzące z próbek pobieranych w regularnych odstępach z procesu podawanego kontroli.

Zasadniczo w praktyce inżynierskiej wykorzystuje się dwa rodzaje kart kontrolnych:

- karty kontroli cech ilościowych (ang. *variables control*),
- karty kontroli cech alternatywnych (ang. *attributes control*).

Karty kontroli cech ilościowych mają kilka odmian:

- karta wartości średniej (\bar{x} - średnie) i rozstępu (R) – karta (\bar{x} -R),
- karta wartości średniej (\bar{x} - średnie) i odchylenia standardowego (s) – karta (\bar{x} -s),
- karta pojedynczych obserwacji (x_i) i ruchomego rozstępu (R) – karta (x_i -R),
- karta mediany (Me) i rozstępu (R) – karta (Me-R),
- karta sum skumulowanych – karta *CUSUM*,
- karta średniej ruchomej \bar{x}_R .

Rodzaje karty kontrolnej cech alternatywnych są następujące:

- karta udziału jednostek wadliwych w próbce statystycznej, *p*,
- karta ilości jednostek wadliwych w próbce statystycznej, *np*,
- karta liczby wadliwości w próbce statystycznej, *c*,
- karta udziału wadliwości w próbce statystycznej, *u*.

Najpopularniejszą w zastosowaniu kartą kontrolną dla cech liczbowych (mierzalnych) jest karta średnia – rozstęp (karta dwutorowa), jest ona zwana kartą kontrolną położenia. Na kartę

nanoszone są wartości średnie wyników pomiaru elementów próbek, pobieranych w regularnych odstępach czasu z procesu poddawanego kontroli. Analiza średnich na karcie polega na przeprowadzeniu testu istotności dla wartości oczekiwanej procesu, której estymatorem jest wartość średnia procesu. Wartość ta jest przyjmowana na podstawie danych konstrukcyjnych (wartość nominalna, środek pola tolerancji) – karta z zadanymi wartościami docelowymi (podejście projektowe) lub wyznaczona z pomiarów uzyskanych w próbie pilotowej, czyli bez zadanych wartości normatywnych (podejście stabilizacyjne). Popularność karty wynika z jej dobrej czułości na sygnały o rozregulowaniu procesu, pod warunkiem że zmiana wartości średniej jest stosunkowo duża.

Wartość średnią w próbce, linię centralną oraz granice kontrolne karty \bar{x} określają dla metody stabilizacyjnej zależności:

$$\begin{aligned}\bar{\bar{x}} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{x}_{ij} \\ CL = \bar{\bar{x}} &= \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{\bar{x}}_j \\ UCL &= \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{\bar{R}} \\ LCL &= \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{\bar{R}}\end{aligned}$$

Natomiast wartość rozstępu w próbce, linię centralną oraz granice kontrolne karty R określają zależności:

$$\begin{aligned}R &= x_{\max} - x_{\min} \\ CL = \bar{\bar{R}} &= \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{R}_j \\ UCL &= D_4 \bar{\bar{R}} \\ LCL &= D_3 \bar{\bar{R}}\end{aligned}$$

gdzie: $\bar{\bar{x}}$ – wartość średnia cechy w próbce,

$\bar{\bar{x}}$ – wartość średnia z wartości średnich w poszczególnych próbkach,

$\bar{\bar{R}}$ – wartość średnia z rozstępów w próbkach,

n – liczność próbki,

k – liczba próbek,

A_2, D_3, D_4 – współczynniki statystyczne dobierane z tablicy 7.

R – rozstęp,

x_{\max} – wartość największa w próbce,
 x_{\min} – wartość najmniejsza w próbce.

Tablica 7. Wartości współczynników kart kontrolnych dla cech ciągłych w zależności od liczności próbki n (wg PN-ISO 8258+ACI)

n	A_2	A	D_3	D_4	D_1	D_2	d_2
2	1,880	2,121	0	3,267	0,000	3,686	1,128
3	1,023	1,732	0	2,574	0,000	4,358	1,693
4	0,729	1,500	0	2,282	0,000	4,698	2,059
5	0,577	1,342	0	2,114	0,000	4,918	2,326
6	0,483	1,225	0	2,004	0,000	5,078	2,534
7	0,419	1,134	0,076	1,924	0,204	5,204	2,704
8	0,373	1,061	0,136	1,864	0,388	5,306	2,847
9	0,337	1,000	0,184	1,816	0,547	5,393	2,970
10	0,308	0,949	0,223	1,777	0,687	5,469	3,078

W metodzie projektowe linie kontrolne wyznacza się za pomocą następujących wzorów, dla toru wartości średniej:

$$UCL = \mu + A \sigma$$

$$LCL = \mu - A \sigma$$

$$CL = \mu$$

gdzie: μ – wartość nominalna,

σ – odchylenie standardowe procesu (wartość znana lub wyznaczana w próbie pilotowej /w badaniu zdolności procesu/),

dla toru rozstępu:

$$UCL = D_2 \sigma$$

$$LCL = D_1 \sigma$$

$$CL = d_2 \sigma$$

Przyjmując, że rozkład kontrolowanej cechy jest rozkładem normalnym linie UCL i LCL ograniczają na karcie kontrolnej obszar, w którym leży 0,9973 wartości średnich z próbek. Więc poza liniami UCL i LCL , może znaleźć się jedynie 1 na 270 średnich. Metoda ta jest odporna na pojawienie się fałszywego sygnału o wystąpieniu w procesie zmian systematycznych. Na kartę kontrolną nanosi się również linie ostrzegania (LWL i UWL), które są pomocne przy wizualnej analizie kart.

Zastosowanie karty \bar{x} -R wymusza spełnienie kilku podstawowych warunków:

- dane muszą mieć rozkład normalny,

- za pomocą jednej karty może być nadzorowany tylko jeden parametr, chcąc mierzyć i monitorować kilka właściwości wyrobu, należy prowadzić kilka kart kontrolnych,
- należy zmierzyć co najmniej 20-25 próbek, zanim obliczy się i wykreśli granice kontrolne i linię środkową,
- próbki muszą mieć stałą licznosc (można wprowadzić prowadzić kartę przy różnej licznosci, ale wymaga to wielu dodatkowych obliczeń).

W tablicy 8 podano charakterystykę zastosowania kart kontrolnych dla cech ilościowych.

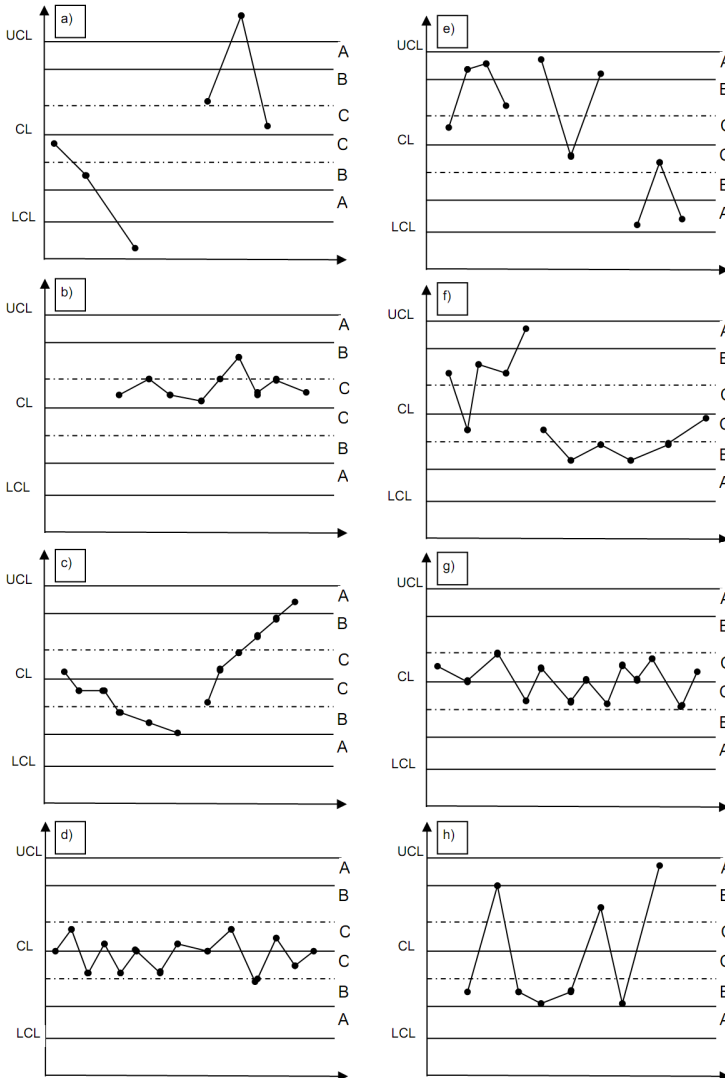
Tablica 8. Charakterystyka zastosowania kart kontrolnych dla cech ilościowych

Typ karty kontrolnej	Charakterystyka karty	Obszar zastosowania
Karta \bar{x} -R (wartość średnia-rozstęp)	<ul style="list-style-type: none"> • oparta na średniej arytmetycznej wartości cechy w próbce oraz na różnicy pomiędzy największą i najmniejszą wartością w próbce, • dla każdej cechy musi być prowadzona oddzielna karta, • duża czułość na zmiany stanu procesu. 	głównie w produkcji seryjnej elementów policzalnych
Karta \bar{x} -s (wartość średnia-odchylenie standardowe)	<ul style="list-style-type: none"> • jak wyżej, ale zamiast rozstępu w próbce oblicza się odchylenie standardowe, • większa pracochłonność obliczeń niż dla karty \bar{x}-R, • preferowane są duże próbki. 	głównie w produkcji seryjnej elementów policzalnych
Karta M-R (mediana-rozstęp)	<ul style="list-style-type: none"> • oparta na medianie (wartość środkowa) oraz rozstępie w próbce, • w stosunku do kart \bar{x}-R oraz \bar{x}-s charakteryzuje się łatwością obliczeń, • mniej precyzyjna niż karty \bar{x}-R oraz \bar{x}-s. 	głównie w produkcji seryjnej elementów policzalnych
Karta x_i (pojedynczych obserwacji)	<ul style="list-style-type: none"> • oparta na pierwotnych danych pomiarowych, • prostota prowadzenia, • mała precyzja, • należy ją stosować w wyjątkowych przypadkach. 	w produkcji mało-seryjnej, w produkcji nierytmicznej, dla procesów ciągłych
Karta \bar{x}_R (średnia ruchoma)	<ul style="list-style-type: none"> • oparta na średniej ważonej (linowa lub wykładnicza) z ostatnich – k pomiarów indywidualnych, • mało wrażliwa na zakłócenia sporadyczne, • stosunkowo pracochłonne obliczenia. 	dla procesów ciągłych (procesy odlewania, walcowania itp.), w których nie można pobierać próbek kilkuelementowych
Karta sum skumulowanych	oparta na sumie odchyleń mierzonej cechy od wartości nominalnej (celowej, średniej).	dla procesów, w których zmiany są niewielkie

Rysunek 24 przedstawia przykładowe trendy linii na kartach kontrolnych, które mogą świadczyć o rozregulowaniu procesu.

Analiza układu punktów na karcie stanowi podstawę do wnioskowania o uregulowaniu procesu. Do analizy kart kontrolnych należy posłużyć się rysunkiem 24.

Analizę kart dwutorowych (średnia-rozstęp) rozpoczyna się zawsze od analizy karty dotyczącej rozproszenia-rozstępu.



Rysunek 24. Charakterystyczne przypadki naruszenia stabilności procesu monitorowanego za pomocą karty kontrolnej