

WYKORZYSTANIE KART KONTROLNYCH SHEWHARTA DO DIAGNOZOWANIA STANÓW STATYSTYCZNEGO UREGULOWANIA PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Jerzy SZKODA

Katedra Eksploatacji Pojazdów i Maszyn Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego
ul. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn, tel./fax (0-PREFIX-89) 523-34-63, e-mail: rychter@uwm.edu.pl

Streszczenie

Przedstawiono charakterystyki Karty Kontroli Shewharta do diagnozowania stanów procesów produkcyjnych wartościami liczbowymi oraz według ocen alternatywnych. Opisano symptomy zmienności systematycznej na Kartach Kontroli Shewharta, oraz diagnozowanie na ich podstawie stanów statycznego uregulowania procesów produkcyjnych.

Słowa kluczowe: diagnostyka, proces produkcyjny, Karta Kontrolna Shewharta, statystyka, jakość.

SHEWHART CONTROL CHARTS APPLICATION IN DIAGNOSING THE STATES OF STATISTICAL REGULATION OF PRODUCTION PROCESSES

Summary

The paper presents characteristics and types of Shewhart Control Charts. The paper defines the principles of designing Shewhart Control Charts in diagnosing the states of production processes by means of numerical values as well as alternative evaluation. The paper describes the symptoms of systematical variability in the Shewhart Control Charts and diagnosing their basis the states of statistical regulation of production processes.

Keywords: diagnostics, production process, Shewhart Control Chart, statistics, quality.

1. WSTĘP

Jakość wyrobów kształtowana jest w procesie ich produkcji. W celu zmniejszenia kosztów jakości dąży się do diagnozowania stanów procesów produkcyjnych, aby usunąć przyczyny potencjalnych wad wyrobów już u źródła ich powstawania.

Tradycyjna metoda diagnozowania procesu produkcyjnego na podstawie zapisu wartości mierzonej cechy procesu, na arkuszach lub w zeszytach, prowadzi do tworzenia nieuporządkowanego i nieczytelnego zbioru liczb, który trudno jest analizować.

Ta wada nie występuje w metodzie statystycznej kontroli procesu w której wykorzystuje się Karty Kontroli Shewharta (KKS).

2. CHARAKTERYSTYKI KKS

Podstawowymi parametrami Kart Kontroli Shewharta, dla cech procesu ocenianych liczbowo, są:

- parametry charakteryzujące położenie rozkładu cechy procesu,
- parametry charakteryzujące rozrzut cechy procesu.

Do charakteryzowania położenia rozkładu cechy procesu wykorzystuje się w KKS wartość średnią cechy - \bar{X} lub medianę - M.

Mediana M jest parametrem łatwo wyznaczalnym, lecz jest parametrem mniej dokładnym w porównaniu do wartości średniej \bar{X} w charakteryzowaniu położenia rozkładu cechy diagnozowanego procesu. Nie mniej jednak w praktyce, posługiwanie się medianą M jest czasem wystarczające w diagnozowaniu statystycznego uregulowania niektórych procesów.

Rozrzut cechy procesu można charakteryzować rozstępem - R lub odchyleniem standardowym - S.

Wyznaczenie rozstępu R jest bardzo proste, ale mniej dokładne w porównaniu do odchylenia standardowego S w charakteryzowaniu rozrzutu cechy procesu. Odchylenie standardowe S jest bardziej dokładnym parametrem rozrzutu cechy procesu, ale z kolei jest trudniejszym do wyznaczenia niż rozstęp R. Przy wykorzystaniu techniki komputerowej trudność w obliczaniu odchylenia standardowego S można w dużym stopniu zmniejszyć.

Diagnozowanie procesów produkcyjnych można dokonywać na podstawie oceny alternatywnej lub oceny liczbowej.

Alternatywna ocena procesów w przeciwieństwie do oceny liczbowej cech procesu ma zastosowanie w sytuacjach, kiedy chcemy kontrolować różne cechy jakościowe procesu, takie jak liczba uszkodzonych sztuk w próbie, liczba wad na 100 m materiału,

liczba jednostek nie spełniających wymaganych kryteriów.

Do oceny alternatywnej cech procesów produkcyjnych wykorzystuje się następujące parametry:

- frakcje jednostek niezgodnych – p ,
- liczby jednostek niezgodnych – np ,
- liczby niezgodności – c ,
- liczby niezgodności na jednostkę – u .

Diagnoza stanu procesu na podstawie oceny alternatywnej jest mniej dokładna od liczbowej oceny cechy procesu. Nie mniej jednak ze względów technicznych i ekonomicznych czasem jedynie możliwa.

W zależności od obszaru zastosowań i wymaganej precyzji diagnozowania procesów można stosować różne typy Karty Kontroli Shewharta (tab. 1) [1].

Tabela 1. Typy KKS i ich charakterystyki

Typ Karty	Charakterystyka karty	Obszar zastosowania
Karta $\bar{X} - R$	Duża czułość na zmiany stanu procesu.	Do oceny jakości procesów produkcji seryjnej wyrobów.
Karta $\bar{X} - s$	Większa prędkość obliczeń, muszą być duże próbki. Dokładniejsza diagnoza w stosunku do Karty $\bar{X} - R$.	Do oceny jakości procesów produkcji seryjnej wyrobów precyzyjnych.
Karta $M - R$	Łatwość obliczeń, jest mniej precyzyjna w stosunku do Kart $\bar{X} - R$ i $\bar{X} - s$.	Do oceny jakości procesów produkcji małych serii.
Karta X_i (pojedynczych obserwacji)	Prostota w prowadzeniu, mała precyzja.	Gdy koszty pobierania próbek są duże (np. badania niszczące).
Karta - p	Nie jest czuła na zmienną licznosc próbek.	Diagnozowanie jakości procesu na podstawie frakcji jednostek niezgodnych.
Karta - np	Daje dobre rezultaty gdy zachowana jest stała licznosc próbek.	Diagnozowanie jakości procesu na podstawie frakcji jednostek niezgodnych.
Karta - c	Daje dobre rezultaty gdy zachowana jest jednakowa licznosc próbek badanych elementów	Diagnozowanie jakości procesów na podstawie liczby niezgodności na jednostkę wyrobu.
Karta - u	Nie musi być zachowany warunek Karty - c . Jest to Karta proporcji, stosunek liczby wad do liczby badanych jednostek.	Diagnozowanie procesu na podstawie liczby niezgodności w wyrobie.

3. PROJEKTOWANIE KKS

W Karcie Kontrolnej Shewharta wyznacza się dwie określone statystycznie granice kontrolne oraz linię centralną (rys. 1):

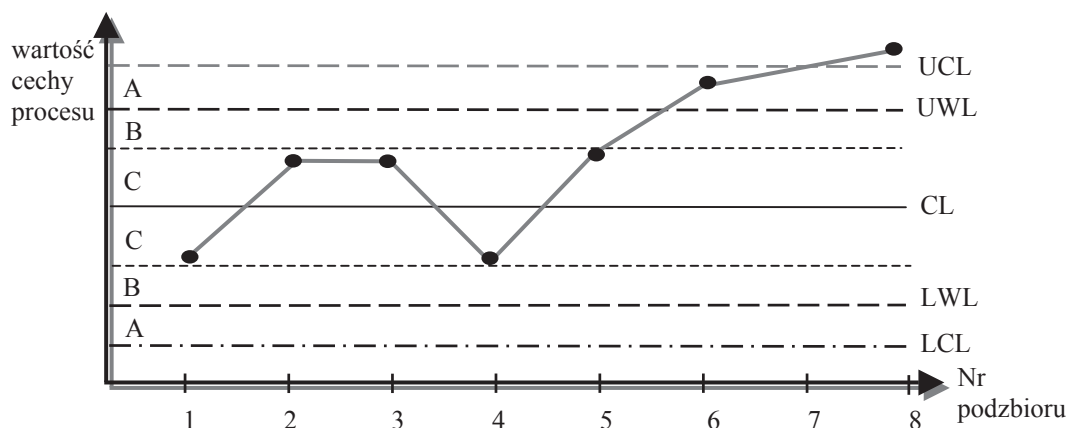
- górną linię kontrolną – UCL,
- dolną linię kontrolną – LCL,

- linię centralną – CL.

W wielu przypadkach warto zaznaczyć na Karcie:

- górną linię ostrzegawczą UWL,
- dolną linię ostrzegawczą LWL.

oraz strefy oznaczone etykietami A, B, C, oddalone co 1 s od linii centralnej CL.



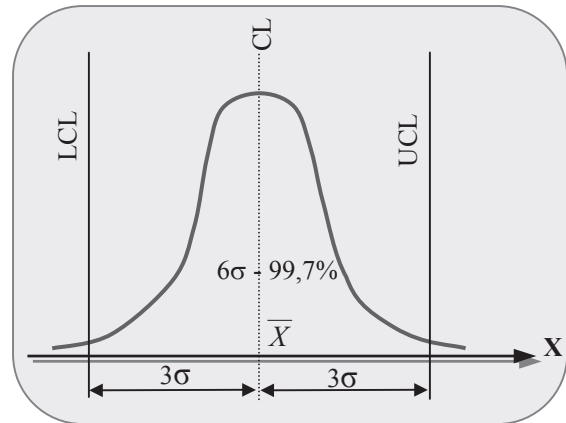
Rys. 1. Schemat Karty Kontrolnej Shewharta

Granice kontrolne na karcie Shewharta znajdują się w odległości $3s$ lub 3σ (gdzie: s – odchylenie standardowe obliczone na podstawie wyników pomiarów, zaś σ – odchylenie standardowe znane lub zadane) po każdej stronie linii centralnej CL.

Granice 3σ określają, że wartości cechy diagnozowanego procesu, (jeśli proces jest statystycznie uregulowany) znajdują się w 99,7% w obszarze wyznaczonym przez linie kontrolne (rys.2). Granice linii ostrzegawczych znajdują się w odległości $2s$ od linii centralnej CL.

W praktyce projektowania KKS wykorzystuje się wzory obliczania granic według zaleceń normy PN-ISO 8258 + AC1 [4].

Wzory do obliczania granic na kartkach kontrolnych Shewharta przy liczbowej ocenie cech procesów produkcyjnych przedstawiono w tab. 2 i tab. 3.



Rys. 2. Obszar zmienności cechy procesu – X w granicach linii kontrolnych CL

Linie kontrolne na karcie cech alternatywnych oblicza się przybliżając rozkład dwumianowy rozkładem normalnym, co ułatwia praktyczne wyznaczanie linii kontrolnych dla cech alternatywnych.

Przy spotykanych zazwyczaj wadliwościach popelnia się tym przybliżeniem niewielki błąd i w praktyce takie postępowanie jest zalecane.

Wzory do obliczania granic kontrolnych Shewharta przy alternatywnej ocenie procesu przedstawiono w tab. 4.

4. DIAGNOZOWANIE STANU PROCESU PRODUKCYJNEGO Z WYKORZYSTANIEM KKS

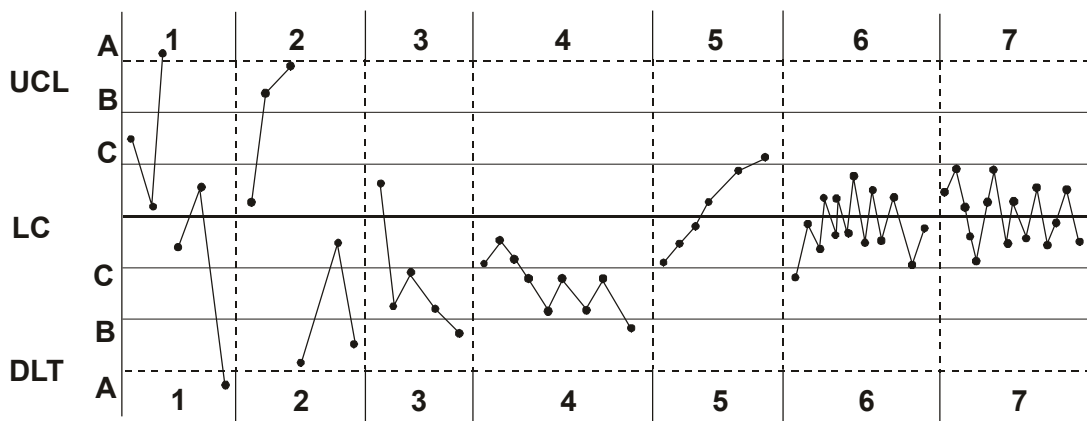
Istota wykorzystania KKS do diagnozowania procesów produkcyjnych polega na obserwacji oddziaływań losowych i nielosowych na proces i wyciąganiu wniosków na podstawie zmian położenia przyjętej statystyki w obszarze objętym liniami kontrolnymi.

Na stan procesu produkcyjnego mają wpływ oddziaływania:

- **losowe**, które są na ogół bardzo liczne, mają zanedbywalny wpływ na proces, i są trudne do wyznaczenia, oddziaływania te czasem określane są jako „szum”;
- **systematyczne (sporadyczne)**, są to oddziaływania nielosowe dające się odróżnić od oddziaływań losowych ze względu na ich widoczne i znaczne skutki np. stępienie się narzędzia skrawającego, wyłamanie się płytki skrawającej z narzędzia, powstanie nadmiernego luzu w maszynie, niewłaściwy proces technologiczny.

Diagnozowanie stanu procesu produkcyjnego z wykorzystaniem Karty Kontrolnej Shewharta odbywa się na podstawie testów oddziaływań sporadycznych przy założeniu, że wartości cechy procesu mają rozkład normalny (rys. 3).

Na rys. 3 przedstawiono osiem testów stosowanych do rozpoznawania symptomów oddziaływań sporadycznych [3].



Rys. 3. Testy oddziaływań sporadycznych. Źródło: [3]

Tabela 2. Wzory do obliczania granic na kartach kontrolnych Shewharta przy liczbowej ocenie właściwości

Statystyka	Bez zadanych wartości normatywnych Linia centralna		Zadanymi wartościami normatywnymi Linia centralna	
	UCL i LCL	N_0	UCL i LCL	N_0
\bar{X}	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ or $\bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{s}$	\bar{X}_0 or μ	$X_0 \pm A\sigma_0$
R	\bar{R}	$D_3 \bar{R}, D_4 \bar{R}$	R_0 or $d_2\sigma_0$	$D_1\sigma_0, D_2\sigma_0$
s	\bar{s}	$B_3 \bar{s}, B_4 \bar{s}$	S_0 or $c_4\sigma_0$	$B_5\sigma_0, B_6\sigma_0$

UWAGA – X_0, R_0, S_0, μ i σ_0 są zadanymi wartościami normatywnymi

Tabela 3. Współczynniki do obliczania linii na kartach kontrolnych

Obserwacje w podzbiore	Współczynniki dla granic kontrolnych										Współczynniki dla linii centralnej				
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	C ₄	I/C ₄	d ₂	I/d ₂
2	2,121	1,880	0,000	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,7979	1,2533	1,128	0,8865
3	1,732	1,023	0,000	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,8862	1,1284	1,693	0,5907
4	1,500	0,729	0,000	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,9213	1,0854	2,059	0,4857
5	1,342	0,577	0,000	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,9400	1,0638	2,326	0,4299

Tabela 4. Wzory do obliczania granic kontrolnych dla kart kontrolnych Shewharta przy alternatywnej ocenie właściwości

Statystyka	Bez zadanych wartości normatywnych Linia centralna		Zadanymi wartościami normatywnymi Linia centralna	
	UCL i LCL	3σ	UCL i LCL	3σ
p	\bar{p}	$\bar{p} \pm \sqrt{p(1-p)/n}$	p_0	$p_0 \pm 3\sqrt{p_0(1-p_0)/n}$
np	$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	np_0	$np_0 \pm 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$
c	\bar{c}	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$	c_0	$c_0 \pm 3\sqrt{c_0}$
u	\bar{u}	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/n}$	u_0	$u_0 \pm 3\sqrt{u_0/n}$

UWAGA – X_0, R_0, S_0, μ i σ_0 są zadanymi wartościami normatywnymi

Proces produkcyjny jest nieregulowany statystycznie, jeżeli zachodzi jedna z przedstawionych na rys. 3 sytuacji, a mianowicie:

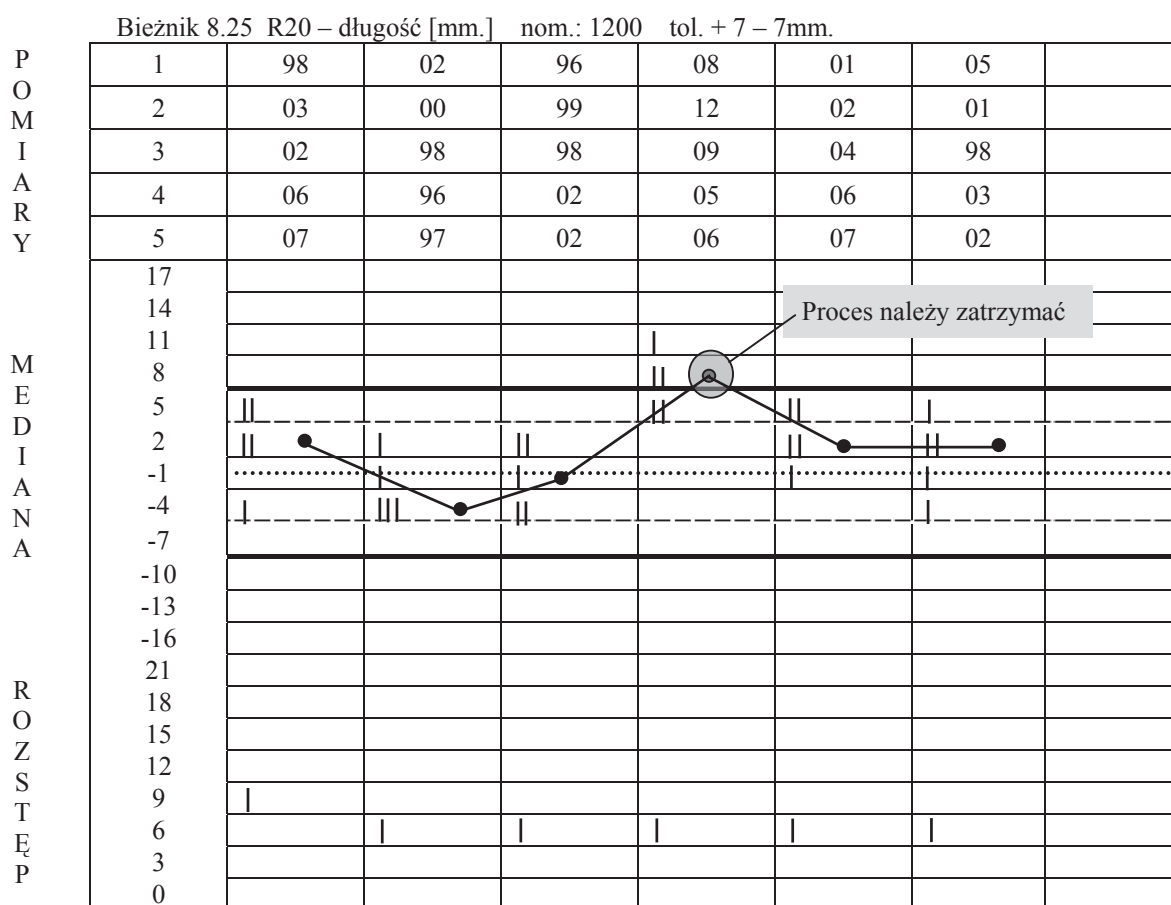
1. Jeden lub więcej punktów wypada poza linie kontrolne.
2. Dwa z trzech kolejnych punktów wypadają po tej samej stronie w strefie A.
3. Cztery z pięciu kolejnych punktów znajdują się w strefie B, lub na zewnątrz od niej.
4. Dziewięć kolejnych punktów znajduje się po tej samej stronie średniej.
5. Istnieje sześć kolejnych punktów o wartości rosnącej lub malejącej (trend).
6. Istnieje czternaście kolejnych punktów o wartościach naprzemiennie rosnących i malejących.

7. W strefie C (poniżej i powyżej średniej procesu) znajduje się piętnaście kolejnych punktów.

4. PRZYPADEK DIAGNOZY STANU PROCESU PRODUKCJI BIEŻNIKÓW OPON

Jako przykład wykorzystania karty kontroli Shewharta do diagnozowania procesu produkcji przedstawiono pomiary długości nakładanych bieżników opon produkowanych w Zakładach Stomil-Olsztyn [2].

Wyniki pomiarów oraz kartę kontroli przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Karta kontroli Shewharta dla procesu produkcji bieżników. Źródło: [2]

Przy czwartym pomiarze długości bieżnika uwidoczniło się oddziaływanie sporadyczne, spowodowane rozregulowaniem się urządzenia dozującego masę. Wartość mediany wyszła poza górną granicę kontrolną. Proces został zatrzymany, naprawiono urządzenie dozujące, usunięto oddziaływanie sporadyczne i przywrócono stan statystycznego uregulowania procesu.

5. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie Kart Kontrolnych Shewharta jest jedną z najskuteczniejszych metod diagnozowania procesów produkcyjnych, zalecaną i wymaganą przez wiele norm międzynarodowych zarządzania jakością, takich między innymi jak ISO 9000, QS 9000, VDA 6.1 oraz AQAP.

Wykrywanie przyczyn zmienności sporadycznej za pomocą Kart Kontroli Shewharta doprowadza

proces do stanu statystycznego uregulowania, przez co jego funkcjonowanie staje się przewidywalne.

Monitorowanie procesów produkcyjnych z wykorzystaniem Kart Kontroli Shewharta umożliwia diagnozowanie aktualnego stanu procesu produkcyjnego oraz prognozowanie stanu procesu na podstawie trendów symptomów zmienności sporadycznej.

6. LITERATURA

- [1] Hamrol A., Mantura W.: Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka. PWN, Warszawa-Poznań, 1998.
- [2] Januskiewicz A.: Zastosowanie metod statystycznych w sterowaniu procesem

produkcyjnym. Wyd. Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemysle „ORGMASZ”, Warszawa, 1994.

- [3] Nelson L.S.: Interpreting Shewhart \bar{X} Control Chart. Journal of Quality Technology, 17.No.2, April 1985, pp. 114-116.
- [4] PN-ISO 2859-1+AC1:1996. Procedury kontroli wrywkowej metodą alternatywną. Plany badania na podstawie akceptowalnego poziomu jakości (AQL) stosowane podczas kontroli partii za partią.



Prof. dr hab. inż. **Jerzy Szkoda** jest pracownikiem naukowym Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie oraz Wojskowego Instytutu Techniki Pancernej i Samochodowej w Sulejówku. Jest członkiem Sekcji Podstaw Eksploatacji KBM Polskiej Akademii Nauk, Polskiego Towarzystwa Naukowego Motoryzacji. Jego zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia dotyczące eksploatacji maszyn i urządzeń technicznych oraz systemów zarządzania jakością i sterowania jakością produkcji maszyn.