

STATYSTYCZNA KONTROLA PROCESU UTRZYMANIA RUCHU

Michał ZASADZIEN
Politechnika Śląska

WPROWADZENIE

Statystyczna kontrola procesu

Żaden proces czy to produkcyjny, czy usługowy nie przebiega w sposób idealny. Zarówno produkt jak i usługa nie są całkowicie powtarzalne. Przyczyną tego są zakłócenia, które determinują zmienności parametrów i wskaźników procesów. Literatura przedmiotu wyróżnia dwa typy zakłóceń: losowe oraz specjalne [1]. Zakłócenia losowe to, wg. PN-ISO 3534-2:2010: „Czynniki występujące zwykle w dużej liczbie, przy czym każda z nich ma względnie małe znaczenie, prowadzące do zmienności...” [10]. Należy więc rozumieć je jako nieodłączne elementy każdego procesu, których nie jesteśmy w stanie przewidzieć i które wpływają na „naturalną” zmienność procesu. Ta sama norma [10] opisuje zakłócenia specjalne jako: „Czynnik (zwykle systematyczny), który może być wykryty i zidentyfikowany jako powodujący zmiany właściwości jakościowej lub zmiany poziomu procesu”. Doskonalenie procesów powinno więc skupić się na identyfikacji przyczyn powodujących zakłócenia specjalne i próbować je wyeliminować lub przynajmniej ograniczyć ich wpływ. Najpopularniejszą metodą wykorzystywaną do identyfikacji zakłóceń specjalnych jest statystyczna kontrola procesu (SPC) opierająca się na tzw. kartach kontrolnych Shewharta [12].

Od czasu pierwszego zastosowania w 1924 r. karty kontrolne ewoluowały i obecnie znanych jest wiele ich modyfikacji [13]. Ze względu na rodzaj danych możliwych do uzyskania z procesu karty kontrolne możemy podzielić na dwie podstawowe grupy: karty kontrolne dla cech mierzalnych (np. długość, waga itp.) i karty kontrolne dla cech niemierzalnych (policzalnych, np. ilość wad) [11]. W pierwszej grupie możemy wyróżnić następujące rodzaje kart: karta średniej i rozstępu, karta średniej i odchylenia standardowego, karta mediany i rozstępu, karta pojedynczych obserwacji, ruchomego rozstępu i inne. Karty kontrolne dla cech policzalnych to, przede wszystkim: karta liczby jednostek niezgodnych w próbkę (karta np.), karta frakcji jednostek niezgodnych w próbkę (karta p), karta liczba niezgodności na jednostkę wyrobu (karta u) i inne.

Wybór odpowiedniej karty uzależniony jest od wielu czynników, z których najważniejszym jest ilość i częstotliwość pobierania próbek do badań. Bez względu na to, jaką kartę wybierzemy, aby dokonywać analiz oraz prawidłowo interpretować wyniki, konieczne jest aby dane użyte w kartach miały rozkład zbliżony do normalnego. W przypadku, gdy rozkład danych nie wykazuje cech rozkładu normalnego należy korzystać z innych rodzajów kart, np. kart Burra [7].

Utrzymanie ruchu

Procesy utrzymania ruchu to typowe procesy wspomagające mające charakter usługowy [3]. Podstawowymi celami tych procesów są: konserwowanie, ulepszanie,

naprawianie i przygotowanie środków technicznych [8]. Realizacja wszystkich, założonych celów wymaga odpowiednich zasobów oraz czasu. Jedną z dróg prowadzących do doskonalenia procesów eksploatacyjnych jest skrócenie czasu trwania przestołów spowodowanych awariami. Ogólnie czas trwania usuwania awarii można podzielić na następujące elementy:

- czas pasywny (zwłoka administracyjna, czas oczekiwania na pracowników, części zamienne i materiały eksploatacyjne, a także niezbędne przerwy w pracy),
- czas aktywny (diagnostyka, naprawa, ponowne uruchomienie maszyny i sprawdzenie jej funkcjonowania) [6].

Dzięki zastosowaniu statystycznej kontroli procesu możliwe jest monitorowanie czasu trwania przestołów i identyfikacja tych awarii, dla których przestoje są zbyt długie oraz obserwację innych anomalii czasu trwania przestołów. W następnej kolejności konieczne jest poznanie źródłowych przyczyn nieprawidłowości oraz opracowanie działań doskonalących i zapobiegawczych.

PRZYKŁAD ANALIZY WYBRANYCH PRZESTOŁÓW

Założenia metodyczne

W omawianym przypadku elementem do doskonalenia procesu utrzymania ruchu jest czas trwania przestołu maszyny spowodowanego awarią. Implementację metody SPC do doskonalenia procesów utrzymania ruchu dokonano na podstawie danych dotyczących awarii w jednym ze śląskich przedsiębiorstw produkcyjnych. Dane pochodzą z systemu wspomagającego utrzymanie ruchu i zawierają informacje z okresu trzech lat. Analizowane awarie dotyczą kluczowych maszyn dla przedsiębiorstwa, czyli ekstruderów tworzyw sztucznych. Do dalszej analizy wybrano przypadki awarii dmuchawy ekstrudera ręcznego wykorzystywanego przy procesie łączenia rur wykonanych z polietylenu. W omawianym okresie wystąpiły 52 takie awarie. Poszczególne czasy przestołów (w porządku chronologicznym) prezentuje tabela 1.

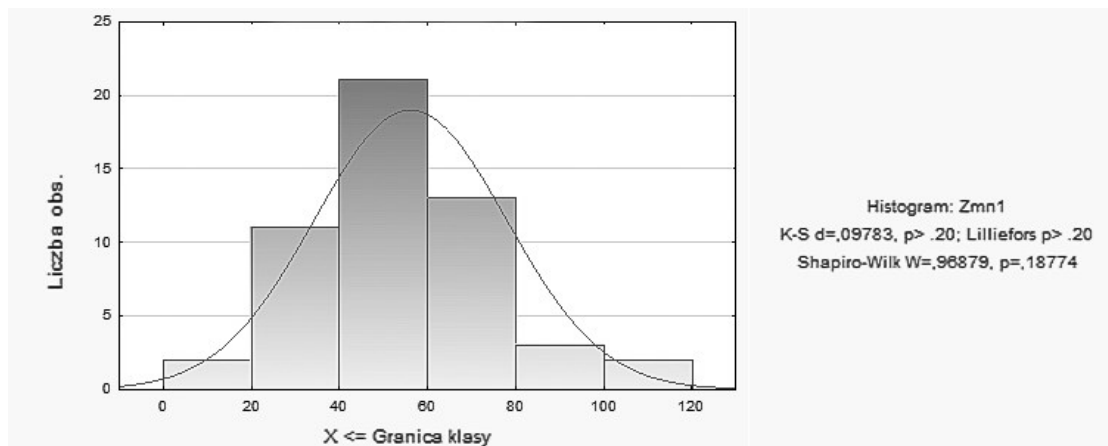
Tabela 1 Czasy przestołów

Nr awarii	Czas przestołu [h]	Nr awarii	Czas przestołu [h]	Nr awarii	Czas przestołu [h]	Nr awarii	Czas przestołu [h]
1	60	14	65	27	50	40	44
2	15	15	50	28	60	41	90
3	35	16	75	29	70	42	110
4	20	17	100	30	75	43	45
5	65	18	25	31	50	44	25
6	60	19	30	32	55	45	50
7	75	20	40	33	60	46	55
8	60	21	90	34	70	47	60
9	50	22	25	35	65	48	75
10	115	23	55	36	35	49	55
11	40	24	50	37	45	50	35
12	70	25	65	38	25	51	50
13	75	26	45	39	75	52	35

Ponieważ awaria jest zjawiskiem jednostkowym zastosowano kartę typu Xi-MR czyli kartę pojedynczych obserwacji i ruchomego rozstępu wykorzystywaną na badania próbek pojedynczych, np. w przypadku, gdy badanie wyrobu jest bardzo drogie lub w produkcji małoseryjnej ma możliwości zebrania próbek o większej liczebności.

W przypadku kart kontrolnych do oceny liczbowej, a do takich zalicza się karty Xi-MR wymogiem jest, aby wyniki posiadały rozkład możliwie najbardziej zbliżony do normalnego.

Do sprawdzenia hipotezy o normalności rozkładu zmiennych wybrano test Shapiro-Wilka, który stosowany jest do próbek o małej liczebności. Na potrzeby testu przyjęto hipotezę H_0 mówiącą, że rozkład badanych danych ma rozkład normalny. Do sprawdzenia tej hipotezy użyto oprogramowania STATISTICA 12.5, a wyniki prezentuje rysunek 1.



Rys. 1 Test Shapiro-Wilka

Jak widać z rysunku 1 hipoteza H_0 o normalności rozkładu wyników została potwierdzona.

Dane uzyskane w przedsiębiorstwie pozwoliły na obliczenie następujących wielkości niezbędnych do utworzenia karty kontrolnej:

- wartość średnia wyników:

$$\bar{X} = \frac{x_i}{n} = 56,13 \text{ h} \quad (1)$$

- wartość rozstępu ruchomego:

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \quad (2)$$

- wartość średnią rozstępu:

$$\overline{MR} = \frac{MR_i}{n} = 23,27 \text{ h} \quad (3)$$

- wartość górnej granicy kontrolnej karty X:

$$UCL_X = \bar{X} + (2,66 \times \overline{MR}) = 118,04 \text{ h} \quad (4)$$

- wartość górnej granicy kontrolnej kart MR:

$$UCL_{MR} = 3,27 \times \overline{MR} = 76,11 \text{ h} \quad (5)$$

gdzie:

i – numer awarii,

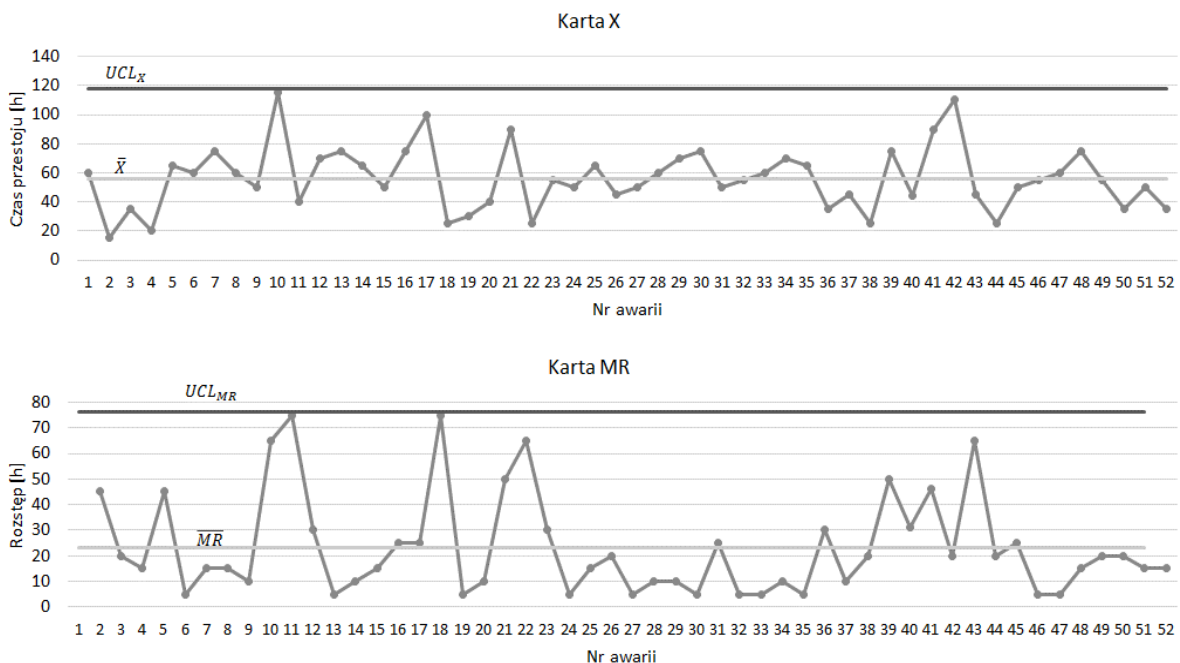
x – długość przestoju,

n – ilość awarii,

2,66 oraz 3,27 – wartości tablicowe zależne od ilości pomiarów.

Obliczone wielkości umożliwiły wykreślenie karty Xi-MR składającej się z wykresu długości czasu trwania pojedynczych przestojów oraz z wykresu ruchomego rozstępu tych czasów. Otrzymane wyniki zaprezentowano na rysunku 2.

Celem doskonalenia procesu utrzymania ruchu jest przede wszystkim skrócenie do minimum czasu przestojów spowodowanych awariami czyli średniej wartości X . W związku z tym zrezygnowano z zaznaczenia na karcie dolnej linii kontrolnej UCL dla karty X , która w tym przypadku będzie bezużyteczna.



Rys. 2 Karta Xi-MR

Analiza wyników

Do wyznaczenia zdolności procesu zastosowano wskaźnik zdolności procesu C_p , wylicza się wg wzoru:

$$C_p = \frac{|UCL_X - LCL_X|}{6\sigma} \quad (6)$$

W omawianym przypadku wskaźnik C_p wynosi 0,94 i oznacza, że proces posiada zbyt dużą wartość rozrzutu poszczególnych wyników (szerokość pola ograniczonego liniami UCL i LCL jest mniejsza niż wartość 6σ – należy dążyć do osiągnięcia wartości ok. 1,33.

Przystępując do doskonalenia analizowanego procesu należy przede wszystkim:

1. Zidentyfikować przyczyny bardzo długich czasów przestojów (punkty przekraczające lub położone bardzo blisko linii UCL_X – awarie nr 10, 17 oraz 42.

2. Zidentyfikować przyczyny bardzo dużych wahań w długości czasu trwania przestojów (punkty przekraczające bądź leżące bardzo blisko linii UCL_{MR} – awarie 10 i 11 oraz 17 i 18).

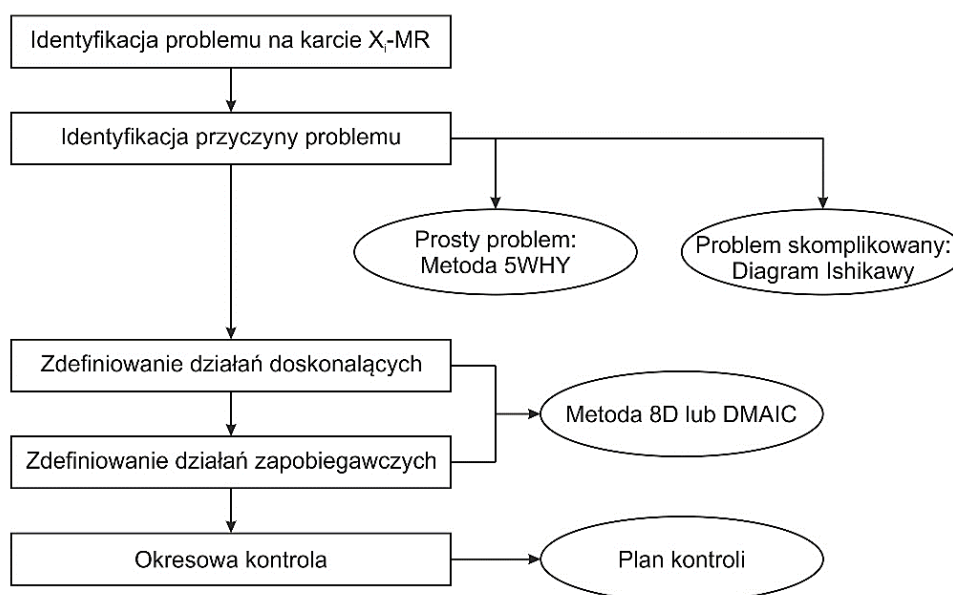
W dalszej kolejności, gdy wszystkie przyczyny wyżej wymienionych przypadków zostaną wyeliminowane należy zwrócić uwagę na inne anomalie w przebiegu wykresów na kartach Xi-MR, takie jak:

1. Trendy czyli występujące sekwencje punktów (rosnące lub malejące) na wykresie X, np. punkty od 26 do 30 (rys. XX.2).
2. Kilka punktów leżących powyżej lub poniżej linii centralnej (\bar{X} średnie).

Wyżej wymienione anomalie mogą wskazywać również na występowanie w procesie zakłóceń specjalnych.

Doskonalenie procesu

Prawidłowo prowadzona karta kontrolna pokazuje anomalie w analizowanym procesie, które powinny zostać wyeliminowane w kolejnych etapach doskonalenia. Przykładowy algorytm postępowania zaprezentowano na rysunku 3.



Rys. 3 Algorytm doskonalenia

Do identyfikacji przyczyn niezgodności należy zastosować narzędzia zarządzania jakością. Do problemów prostych można zaproponować narzędzie 5WHY [5, 2], jeżeli poznanie przyczyn anomalii jest procesem bardziej złożonym można zastosować diagram Ishikawy (5M lub 6M) lub diagram relacji [9].

W celu opracowania i wdrożenia działań doskonalących i zapobiegawczych mogą posłużyć metody, takie jak 8D czy DMAIC, których metodyka gwarantuje także utrwalenie działań zapobiegawczych w przyszłości dzięki systemowym rozwiązaniom oraz zaimplementowaniu ich wyników w planie kontroli [4].

PODSUMOWANIE

Wykorzystanie do doskonalenia procesu utrzymania ruchu metodyki zawartej w założeniach do statystycznej kontroli procesu może:

- zapewnić stały i systematyczny monitoring procesu usuwania awarii,
- zagwarantować możliwość szybkiej reakcji w przypadku wystąpienia zakłóceń specjalnych.

Dzięki połączeniu wyników pochodzących z kart kontrolnych z narzędziami i metodami zarządzania jakością służącymi identyfikacji przyczyn problemów manager utrzymania ruchu otrzymuje potężny, efektywny i skuteczny instrument, pozwalający na szybkie opracowanie i wdrożenie działań poprawiających wydajność procesu.

LITERATURA

1. I. D. Czabak-Górska, A. Kucińska-Landwójtowicz, „Identyfikacja zaburzeń procesu produkcyjnego w oparciu o analizę błędów grubych – studium przypadku,” in *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, vol. 2, R. Knosala, Ed. Opole: Oficyna Wydawnicza PTZP, 246 -256, 2015.
2. B. Gajdzik and J. Sitko, “Steel mill products analysis using qualities methods,” *Metalurgija*, vol. 55, iss. 4, pp. 807-810, 2016.
3. M. Kruczek and Z. Żebrucki, „Doskonalenie procesów utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie branży hutniczej,” *Logistyka*, no. 2, 2012.
4. M. L. Ligarski, “Conditions and barriers in improvement of the quality management system,” in *Kvalita a spoahlivost technických systemov. Zbornik vedeckých prac*. Nitra: Slovenska Požnohospodarska Univerzita, 2013
5. K. Midor, “An analysis of the causes of product defects using quality management tools,” *Management Systems in Production Engineering*, no. 4, pp. 162-167, 2014.
6. J. Mikler: „Dostępność i wykorzystanie urządzeń,” *Inżynieria i Utrzymanie Ruchu*, Czerwiec, 2005.
7. A. M. Olszewska, „Dobór kart kontrolnych jako istotny element sterowania jakością w procesie produkcyjnym,” *Ekonomia i Zarządzanie*, vol. 2, no. 4, 171-180, 2010.
8. S. Piersiala and S. Trzcieliński, „Systemy utrzymania ruchu,” in *Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi*, M. Fertsch, S. Trzcieliński, Eds. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2005.
9. B. Skotnicka-Zasadzień, *Zastosowanie inżynierii jakości i niezawodności do analizy awaryjności obiektów technicznych na przykładzie maszyn i urządzeń górniczych*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2014.
10. *Statystyka - Słownik i symbole - Część 2: Statystyka stosowana*, PN-ISO 3534-2:2010, 2010.
11. J. Szkoda, *Sterowanie jakością procesów produkcyjnych. Teoria i praktyka*, Olsztyn: Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, 2004.
12. J. Szymshal, A. Smoliński, and F. Binczyk, „Zastosowanie kart kontrolnych do liczbowej oceny procesu wytwarzania masy formierskiej,” *Archiwum Odlewnictwa*, no. 19, pp. 363-370, 2006.
13. N. R. Tague, *The Quality Toolbox*, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press, 2010.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 04.2017

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 05.2017

dr inż. Michał Zasadzien

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

Instytut Inżynierii Produkcji

ul. Roosevelta 26-28, 41-800 Zabrze, Polska

tel.: +4832 277 73 50, e-mail: michal.zasadzien@polsl.pl

STATYSTYCZNA KONTROLA PROCESU UTRZYMANIA RUCHU

Streszczenie: *Doskonalenie procesów związanych z utrzymaniem ruchu jest istotne z punktu widzenia produktywności przedsiębiorstwa. Od sprawnie działających służb odpowiedzialnych za utrzymanie w sprawności środków technicznych zależy wydajność produkcji, bezpieczeństwo obsługujących, jakość wyrobów oraz skuteczność realizacji planów produkcyjnych. Jednym z najważniejszych zadań utrzymania ruchu jest minimalizowanie długości trwania przestojów spowodowanymi awariami. W artykule zaprezentowano propozycję zastosowania narzędzi SPC do ciągłego doskonalenia procesu utrzymania ruchu. Implementacja statystycznej kontroli procesu umożliwiła identyfikację najważniejszych problemów wpływających na przedłużanie czasu usuwania awarii oraz stały monitoring procesu usuwania awarii. Opracowanie opiera się na danych o awariach zbieranych w jednym z przedsiębiorstw produkcyjnych w okresie trzech lat.*

Słowa kluczowe: *utrzymanie ruchu, doskonalenie, proces, SPC, awaria, przestój*

STATISTICAL PROCESS CONTROL IN THE MAINTENANCE

Abstract: *Improvement of processes connected with maintenance is important from the perspective of the company's productivity. The proper functioning of the departments responsible for maintaining technical assets in working order affects the production efficiency, safety of the operating personnel, quality of the products and the effectiveness of realisation of the production plans. One of the most important tasks of the maintenance department is minimising the length of stoppages caused by breakdowns. The article presents a proposal of using SPC tools for the constant improvement of the maintenance process. Implementation of static process control allowed for identifying the major problems which lengthen the breakdown removal time, as well as continuously monitoring the breakdown removal process. The study is based on breakdown data gathered in a production company over the period of three years.*

Key words: *maintenance, improvement, process, SPC, failure, downtime*