

KLASYFIKACJA NOWOCZESNYCH KART KONTROLNYCH

Izabela D. CZABAK-GÓRSKA

Streszczenie: W artykule opisano ideę prowadzenia, najważniejsze założenia i podział klasycznych kart kontrolnych Shewharta, a także propozycję podziału nowoczesnych kart kontrolnych, które wychodzą naprzeciw potrzebom aktualnie wykorzystywanych typów produkcji. Praca zawiera również syntetyczny opis wybranych kart kontrolnych oraz zagrożeń wynikających z niewłaściwego ich doboru.

Słowa kluczowe: SPC, podział kart kontrolnych, karty Shewharta, karty nowej generacji, karty sekwencyjne, karty standaryzowane, karty adaptacyjne, karty specjalne

1. Wstęp

Głównym celem procesu produkcyjnego jest wytworzenie wyrobu, przy wsparciu m.in. kontroli jakości, której głównym zadaniem jest wyodrębnienie i odrzucenie jednostek niezgodnych, nie spełniających określonych kryteriów (wymagań). Aby identyfikacja tych jednostek była opłacalna należy przyjąć strategię zapobiegawczą, która uniemożliwi produkcję bezużytecznych wyrobów, a w konsekwencji uchroni przedsiębiorstwo przed niepotrzebnymi stratami finansowymi, a także czasowymi. W tym celu wykorzystuje się m.in. karty kontrolne, które stanowią podstawowe narzędzie Statystycznego Sterowania Procesem (SPC) i bazują na graficznej oraz statystycznej analizie. Ideą kart kontrolnych jest monitorowanie oraz regulacja procesu w czasie rzeczywistym (tzw. sterowanie on-line), co pozwala na usystematyzowaną obserwację kontrolowanego procesu [1]. Umożliwiają one, w stosunkowo łatwy sposób, odróżnić zmienność losową (przypadkową) od zmienności specjalnej [2]. Wówczas osoba nadzorująca proces produkcyjny może, na podstawie stanu kontrolowanych cech wyrobu, śledzić jego przebieg, a także ocenić, czy ewentualne wahania miary statystycznej (wybieranej na podstawie typu prowadzonej karty kontrolnej np. średnia, odchylenie standardowe) kontrolowanych cech są na tyle znaczne, że wskazują na deregulację procesu.

Skuteczność stosowania tego narzędzia opiera się głównie na właściwym doborze karty i dostosowaniu jej do charakteru i przebiegu procesów (również z uwzględnieniem uwarunkowań ekonomicznych), od tych najbardziej typowych (np. charakterystycznych dla produkcji masowej) do procesów nietypowych (np. produkcji jednostkowej czy też wieloseryjnej). Badania naukowe przeprowadzane w przedsiębiorstwach, a także własne doświadczenia autorki wskazują, że niewłaściwe wykorzystywanie kart kontrolnych prowadzi do powstawania poważnych błędów w ich prowadzeniu. Pierwszy podstawowy błąd wynika z wykorzystywania specyfikacji w celu ustalenia granic ingerencji w proces produkcyjny, co przyczynia się jedynie do kontroli procesu bez możliwości jego poprawy [3]. W tej sytuacji karty kontrolne traktowane są jako swoiste „koło ratunkowe”, które będzie wykorzystywane w przypadku reklamacji (analiza kluczowych charakterystyk z wykorzystaniem kart kontrolnych jedynie w sytuacjach „kryzysowych”, jako udokumentowanie poprawnego przebiegu procesu). Kolejnym błędem jest bagatelizowanie roli pracownika produkcyjnego, którego zadaniem jest prowadzenie kart kontrolnych bez

jakiegokolwiek przygotowania merytorycznego (pracownik otrzymuje konkretne wytyczne do których musi się stosować, bez możliwości podejmowania jakichkolwiek decyzji np. o zatrzymaniu procesu bądź zasygnalizowania potrzeby wprowadzenia działań korygujących) [3]. W tego typu sytuacjach SPC sprowadza się do sztywnego wyznaczania odpowiednich statystyk i tworzenia dokumentacji, która ostatecznie okazuje się bezużyteczna.

Jak wcześniej wspomniano, klasyczne karty kontrolne zostały wprowadzone w latach 20-tych XX wieku, gdy dominującym modelem była produkcja masowa i wielkoseryjna. Stale postępujące przemiany gospodarcze oraz społeczne, globalizacja i unifikacja rynku, ale także rozwój technologiczny, w sposób naturalny zmieniły typ produkcji w przedsiębiorstwach. W konsekwencji okazuje się, że tradycyjne narzędzia SPC (w tym również karty Shewharta), z uwagi na pewne założenia, nie mogą zostać wykorzystywane praktycznie w sposób właściwy.

Coraz częściej obserwuje się trend podejmowania przez przedsiębiorstwa produkcji małych partii i w krótkich przebiegach produkcyjnych (co jest szczególnie widoczne w mikro i małych przedsiębiorstwach). Produkcja wieloasortymentowa oraz krótkie przebiegi produkcyjne bardzo często wiążą się z częstym przebrojeniem maszyn w obrębie tylko jednego procesu produkcyjnego. To z kolei prowadzi do sytuacji w której nie ma możliwości (również z punktu widzenia braku dostatecznej ilości czasu) pobrania odpowiednio dużej próby w celu stwierdzenia stabilności procesu produkcyjnego. Duża ilość różnych typów i konfiguracji produkowanych wyrobów prowadzi do zakładania „niezliczonej” liczby kart kontrolnych za każdym razem, gdy następuje zmiana asortymentowa [4]. Dodatkowo badania rzeczywistych procesów produkcyjnych wskazują, że założenie o normalności rozkładu danych pomiarowych nie zawsze jest zachowane [4-5]. Wykorzystanie kart Shewharta w tego typu sytuacjach może prowadzić m.in. do pojawiania się fałszywych alarmów wskazujących na deregulację procesu, niewykrzycie zakłóceń specjalnych czy pogorszenia przebiegu procesu [4].

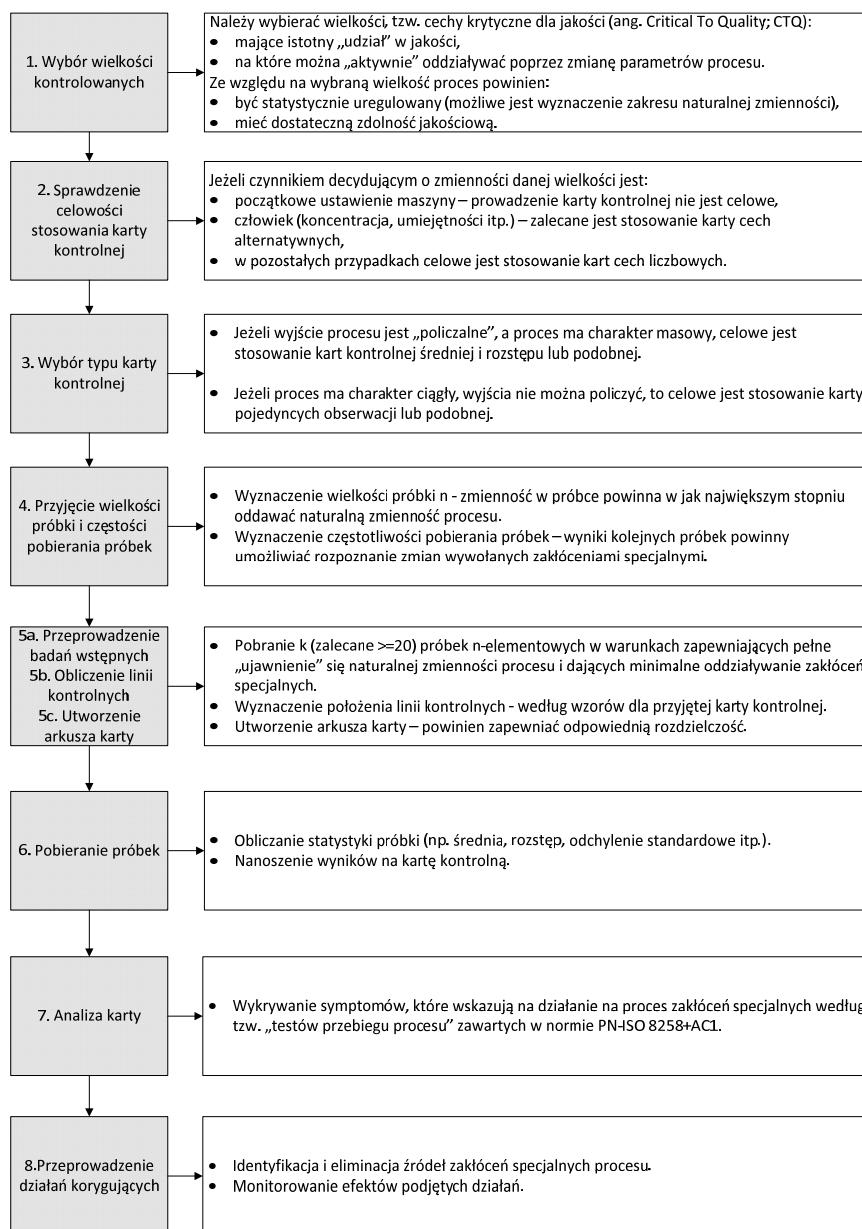
W związku z powyższym pojawiło się szereg prac naukowych związanych z nowymi kartami kontrolnymi [np.5-7], które zostały dostosowane do specyficznych sytuacji, które występują w procesach produkcyjnych. Zatem istnieje realna potrzeba opracowania ich klasyfikacji. Celem artykułu jest aktualizacja podziału i syntetyczny opis wybranych kart kontrolnych, które uwzględniają najnowsze wyniki badań naukowych oraz trendy rynkowe.

2. Podejście klasyczne – karty Shewharta

Pierwsze karty kontrolne zostały opracowane w 1924 r. przez W.A. Shewharta, w celu określenia granic, w którym powinien mieścić się proces produkcyjny (tzw. kontrola zmienności) [8]. Jak powszechnie wiadomo, żaden proces produkcyjny nie przebiega w sposób idealnie stabilny, z uwagi na występujące, wspomniane wcześniej, zakłócenia losowe oraz specjalne, których definicje zgodnie z normą PN-ISO 3534-2 brzmią [9]:

- losowe/przypadkowe (ang. Common Cause) – „czynniki występujące zwykle w dużej liczbie, przy czym każda z nich ma względnie małe znaczenie, prowadzące do zmienności, które muszą być koniecznie zidentyfikowane ”,
- specjalne (ang. Special Cause) – „czynniki (zwykle systematyczne), które mogą być wykryte i zidentyfikowane jako powodujące zmiany właściwości jakościowej lub zmiany poziomu procesu”.

Należy wyodrębnić, w odpowiednim czasie, przyczyny łatwo usuwalnych zakłóceń, a następnie wyeliminować je z procesu i przystąpić do dalszego monitorowania jego przebiegu (w razie potrzeby wprowadzić odpowiednie działania korygujące bądź doskonalące). Ogólny schemat wdrażania, kontroli i sterowania procesem przedstawiony został na rys. 1.

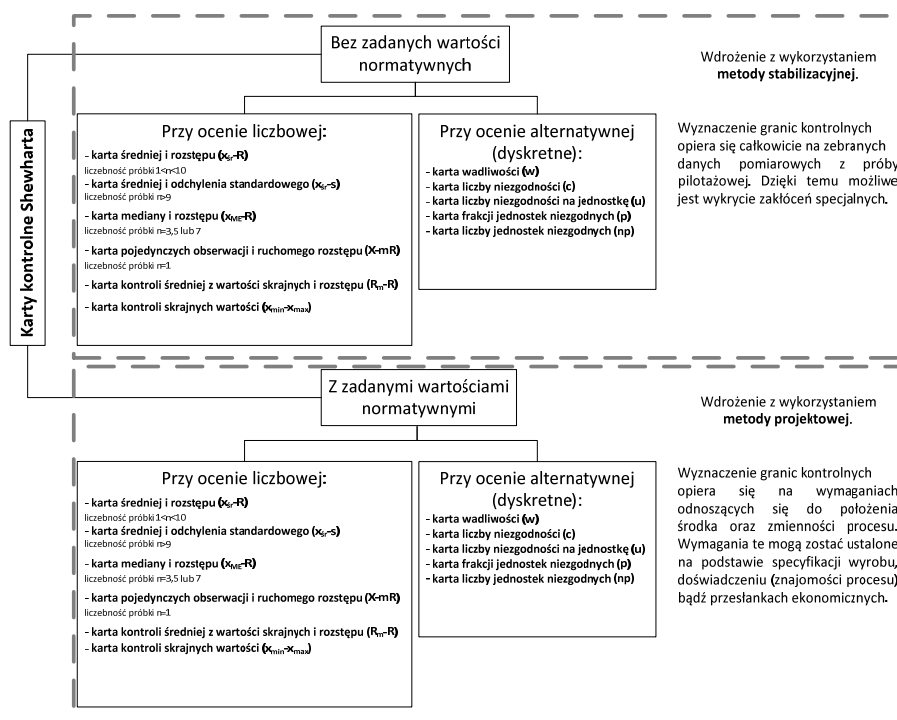


Rys. 1. Ogólny schemat wdrażania, kontroli oraz sterowania procesem przy wykorzystaniu kart kontrolnych Shewharta [10]

W przypadku wykorzystywania klasycznych kart kontrolnych Shewharta ważne jest zachowanie założenia o normalności rozkładu danych pomiarowych bądź zbliżonego do niego, co oznacza, że proces jest statystycznie uregulowany (rys. 1, pkt. 1) [10]. Niespełnienie tego założenia determinuje konieczność zastosowania innego typu karty kontrolnej, z uwagi na pojawiające się zagrożenia, które zostaną opisane w kolejnym rozdziale.

Aby sprawdzić czy rozkład danych pomiarowych ma charakter rozkładu normalnego bądź zbliżonego do niego, należy przeprowadzić próbę pilotażową dla co najmniej 100 obserwacji (dane te odczytywane są z reguły z arkusza kontrolnego). Następnie na podstawie histogramu bądź odpowiedniego testu statystycznego następuje weryfikacja założenia o rozkładzie normalnym. Dalej dokonuje się oceny zdolności jakościowej procesu, która w zależności od branży powinna utrzymywać się na poziomie $c_p \geq 1,33$ \vee $c_p \geq 1,66$.

Jeżeli powyższe założenia są spełnione należy dobrać odpowiednią kartę kontrolną, przy uwzględnieniu rodzaju badanej cechy/charakterystyki wyrobu (mieralne bądź niemieralne), a także wielkości pobieranych próbek o których najczęściej decydują względy ekonomiczne (rys. 2).



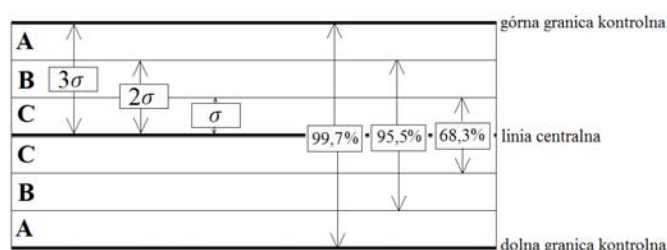
Rys. 2. Podział kart Shewharta (opracowanie własne na podstawie [11-13])

Powyższy podział determinuje dwie metody wdrażania i projektowania kart kontrolnych – projektową oraz stabilizacyjną. Pierwsza z nich dotyczy kart z zadanyimi wartościami normatywnymi, dzięki czemu możliwe jest sprawdzenie, czy badana cecha różni się znacząco od określonych wartości normatywnych, o wartości większe niż oczekiwane (przy czym zakłada się, że na proces produkcyjny działają zakłócenia losowe)

[3]. Z kolei metoda stabilizacyjna polega na stwierdzeniu czy pomiary badanej charakterystyki różnią się między sobą o wartość większą niż ta, która powinna być przypisana jedynie zakłóceniu losowemu [3].

W prowadzeniu kart kontrolnych równie ważna jest umiejętność odczytania stabilności procesu oraz interpretacji wykresów (rys.1, pkt. 7). Generalnie, monitorując proces przy wykorzystaniu kart kontrolnych oczekuje się, że kolejne punkty na wykresie będą ułożone symetrycznie wokół linii centralnej.

Obszar pomiędzy granicami kontrolnymi podzielono na 6 pasm (rys. 3), każdy o szerokości σ (odchylenia standardowego), przy czym dwie przylegające strefy do linii centralnej są oznaczone jako C, dwie dalsze po obu stronach linii centralnej jako B, a dwie kolejne jako A. Opierając się na właściwościach rozkładu normalnego widać wyraźnie, że około 68,3% wyników powinno zawierać się w strefach C, a tylko nieliczne wyniki (ok. 31,4%) powinny znajdować się w strefach poza C (w tym 27,2% w strefie B oraz 4,2% w strefie A).



Rys. 3. Procentowy rozkład danych pomiarowych między dolną i górną granicą kontrolną procesu stabilnego [14]

W normie PN-ISO 8258+AC1 wyróżniono 8 sytuacji, które mogą świadczyć o rozregulowaniu procesu, są to tzw. testy konfiguracji procesu [11]:

- jeden punkt poza strefą A,
- piętnaście punktów w strefie C powyżej lub poniżej linii centralnej,
- dziewięć kolejnych punktów w strefie C lub poza nią po tej samej stronie linii centralnej,
- sześć kolejnych punktów stale rosnących lub malejących,
- czternaście punktów po kolei przemiennie rosnących i malejących,
- dwa z trzech kolejnych punktów w strefie A lub poza nią,
- cztery z pięciu kolejnych punktów w strefie B lub poza nią,
- osiem kolejnych punktów po obu stronach linii centralnej lecz żaden w strefie C.

Wymienione powyżej konfiguracje nie determinują w stu procentach deregulacji procesu. Stanowią one jedynie informację o występujących i niepokojących symptomach rozregulowania [15].

3. Nowoczesne karty kontrolne

Słownik Języka Polskiego określa słowo „nowoczesny” jako „właściwy nowym czasem” [16], w związku z czym autorka przedstawiła propozycję podziału kart kontrolnych, wychodzących naprzeciw potrzebom XXI wieku i określiła je mianem nowoczesnych kart kontrolnych (rys. 4). Wyszczególniono dwie główne kategorie kart: klasyczne Shewharta (w dalszym ciągu tego typu karty mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle) oraz nowej generacji (które stanowią karty dla których nie jest możliwe

spełnienie założeń dopuszczających wykorzystanie kart Shewharta, a także identyfikujących znacznie szybciej, nawet niewielki, wpływ zakłóceń specjalnych [15]). Z kolei karty nowej generacji zgrupowano w cztery podkategorie: sekwencyjne, adaptacyjne, standaryzowane oraz specjalne (podział kart Shewharta jest zgodny z rys. 2).

Karty sekwencyjne wykazują się większą czułością na zmienność procesu [17] i wykorzystuje się je do wykrywania pojawiających się trendów oraz niewielkich przesunięć wartości średniej procesu produkcyjnego. Dzieje się tak dlatego, że klasyczne karty wykorzystują informacje na temat procesu z ostatniej obserwacji próbki i ignorują wszelkie informacje podane przez cały ciąg punktów, co z kolei sprawia, że stają się one mało wrażliwe na niewielkie zmiany np. technologiczne [18]. Wśród kart sekwencyjnych można wyróżnić karty: sum skumulowanych (ang. Cumulative Sum Control Chart, CUSUM), średniej ruchomej (ang. Move Average, MA) oraz wykładniczo ważoną średnią ruchomą (ang. Exponentially Weighted Moving Average, EWMA). Ich opis i przykłady zastosowań opisał np. Sałaciński [19].

Karty adaptacyjne stanowią alternatywę dla sekwencyjnych kart kontrolnych, gdyż również są bardzo czułe na niewielkie zmiany w procesie [15]. Ogólnie rzecz biorąc, konstrukcja i działanie kart kontrolnych wymaga określenia trzech parametrów: częstość próbkowania, wielkość próby, współczynnik dla granic kontrolnych (określa on odległość odpowiednio dolnej i górnej granicy tolerancji od linii centralnej i jest wyrażona w liczbie odchyłeń standardowych). Kartę kontrolną uważa się za adaptacyjną, jeżeli co najmniej jeden z parametrów może zmieniać się w czasie rzeczywistym, w zależności od położenia obserwacji z poprzednich próbek względem granic kontrolnych. Adaptacyjne karty kontrolne są bardziej efektywne niż karty Shewharta, ponieważ wykorzystują dane archiwalne do określenia przyszłego schematu przebiegu procesu [20]. Jeżeli bieżący pomiar znajduje się zbyt daleko od linii centralnej, to istnieje podejrzenie, że proces uległ przesunięciu. W przeciwnym razie można uznać, że proces przebiega w sposób właściwy. Dlatego też, jeśli pomiar znajduje się wewnątrz granic kontrolnych i równocześnie blisko nich, uzasadnione jest zwiększenie wielkości próby przy jednoczesnym zmniejszeniu częstości próbkowania. Natomiast w sytuacji, w której pomiar znajduje się w pobliżu linii centralnej możliwe jest zmniejszenie wielkości próby przy jednoczesnym zwiększeniu częstości próbkowania [20]. Zasada wyprowadzania granic kontrolnych zarówno dla rozkładu normalnego (np. karty ang. Variable Sample Size chart - VSS, Variable Sampling Interval chart - VSI, Variable Parameters chart - VP) jak i innego niż normalny (np. symetryczne i asymetryczne karty Burra) została opisana np. przez Olszewską [15].

Karty standaryzowane mają zastosowanie w przypadku produkcji charakteryzującej się krótkimi seriami [3,21]. Są one uniwersalne w zastosowaniu i nie wymagają praktycznie żadnych wstępnych założeń [21]. Przykładowymi kartami standaryzowanymi są karta Z i Z^* (obie najczęściej prowadzone są z ruchomym rozstępem mR), u^* oraz p^* . Kartę Z lub Z^* używa się w sytuacji, w której wartości liczbowe tolerancji znacznie różnią się z produktu na produkt [22]. Niewątpliwą zaletą tego typu rozwiązania jest możliwość analizy produktów o różnych parametrach na jednej karcie (co skłoniło autorkę do wyszczególnienia tej grupy w osobną podkategorie) [3,21], a także możliwość standaryzowania kart przy ocenie alternatywnej (np. karta p^* , u^*) [22].

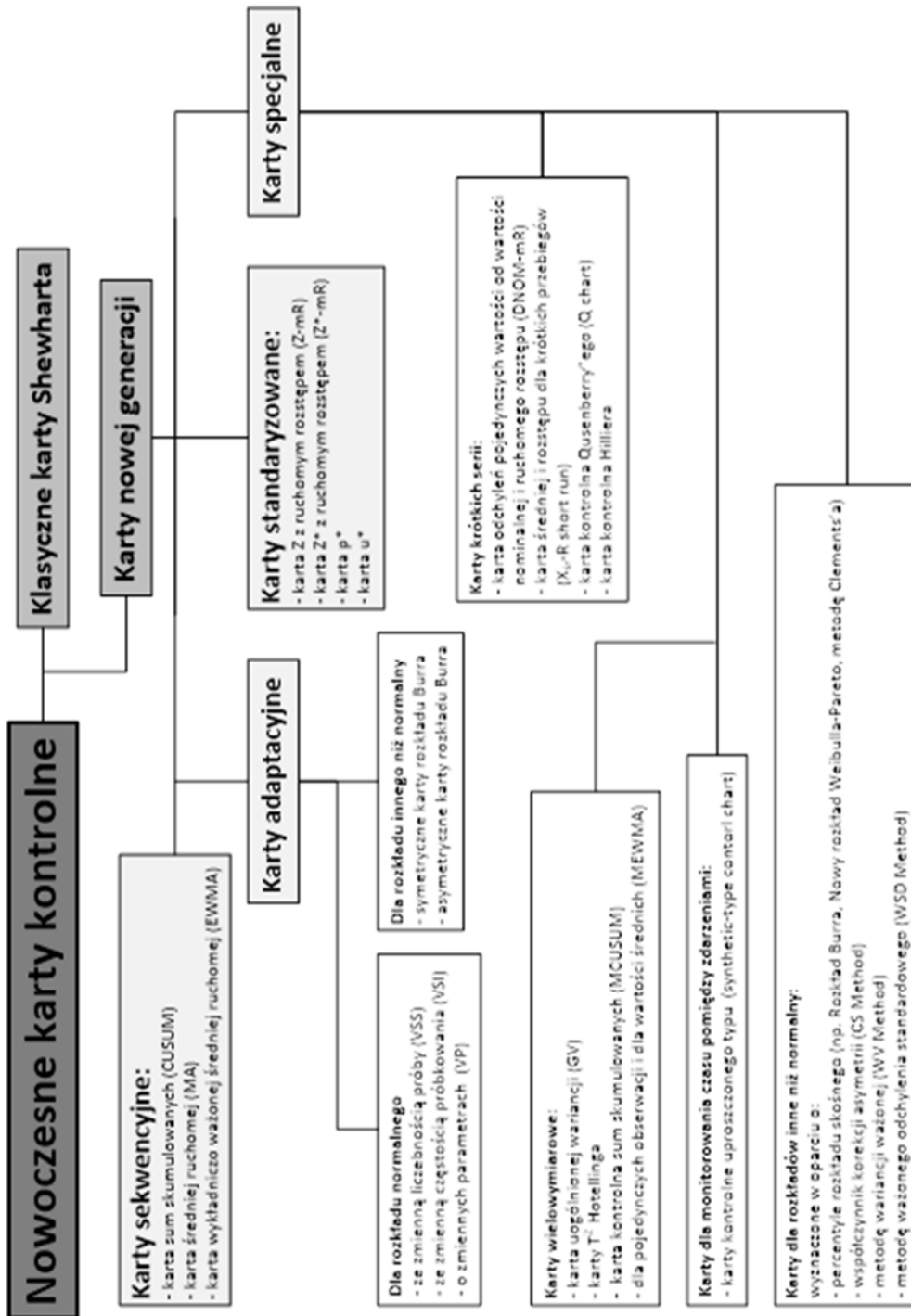
Karty specjalne z kolei podzielono na karty: krótkich serii, wielowymiarowe, dla monitorowania czasu pomiędzy zdarzeniami oraz dla rozkładów innych niż normalny. W przypadku krótkich przebiegów produkcyjnych zwykle brakuje danych do wyznaczenia granic kontrolnych, gdyż proces jest zakończony zanim zostaną one oszacowane, co prowadzi do sytuacji, w której ocena stabilności następuje po fakcie [4]. Z kolei

w przypadku, gdy uda się zebrać odpowiednią liczbę danych, następuje przebrojenie maszyn i zmiana asortymentu, co wiąże się z koniecznością założenia nowej karty [4]. W tego typu sytuacjach dobrze sprawdzają się takie karty jak np. odchyłeń pojedynczych wartości od wartości nominalnej i ruchomego rozstępu (ang. Deviations from Nominal; DNOM-mR), średniej i rozstępu dla krótkich przebiegów (X \bar{r} -R short run), Qusenberry'ego (Q chart) czy Hillera. Dwie ostatnie propozycje zdecydowanie najrzadziej wykorzystywane są w praktyce, choć konstruowane są w oparciu o kilka wstępnych pomiarów [16]. Sposób wyznaczania granic kontrolnych zostały opisane odpowiednio przez Qusenberry'ego [23-24] oraz Hillera [25-26]. Kartę DNOM używa się w sytuacji, gdy zmienność procesu w odniesieniu do poszczególnych serii jest jednakowa (co należy zweryfikować) [4,16]. Sposób wyznaczania granic kontrolnych opisał np. Montgomery [18].

W celu kontroli wysokojakościowych procesów produkcyjnych, które wymagają bardzo niskiego poziomu wadliwości (wyrażonego najczęściej w sztukach na milion wyprodukowanych) charakterystycznych dla produkcji automatycznych (np. systemy zbrojeniowe, układy scalone) wykorzystuje się tzw. karty monitorowania czasu pomiędzy zdarzeniami (ang. Time Between-Events charts; TBE charts) [6]. Zamiast kontroli liczby zdarzeń mających miejsce w określonym przedziale próbkowania, wykresy TBE monitorują czas pomiędzy kolejnymi wystąpieniami zdarzeń. Określenie „zdarzenia” odnosi się do pojawienia się niezgodnych elementów w procesie produkcyjnym np. niepowodzenia w analizie niezawodności, wypadków, przybycia klienta itp. [2]. Natomiast „czas” może dotyczyć innych zmiennych (zarówno typu dyskretnego jak i ciągłego) monitorujących ilość obserwacji pomiędzy kolejnymi zdarzeniami [2]. Są to tzw. karty kontrolne uproszczonego typu (ang. synthetic-type control charts). Przykłady ich zastosowania zostały opisane np. przez Yen, Vhong, Ha [2] czy też Ali, Pievatolo., Göb [6].

Istnieje wiele sytuacji, w których jednoczesne monitorowanie i sterowanie dwoma lub większą liczbą powiązanych ze sobą cech/charakterystyk jakościowych jest konieczne, a niezależna ich kontrola może okazać się myląca. Jest to spowodowane tym, że zarówno błąd I-go rodzaju (uznanie, że proces jest rozregulowany w przypadku jego stabilności), jak i prawdopodobieństwo pojawienia się obserwacji w granicach kontrolnych nie są takie same jak w przypadku jednoczynnikowej karty kontrolnej [18]. Odpowiedź na tego typu potrzeby stanowią wielowymiarowe karty kontrolne tj. uogólnionej wariancji (ang. Generalized Variance control chart; GV control chart), T² Hotellinga, sum skumulowanych (MCUSUM), dla pojedynczych obserwacji i dla wartości średnich (MEWMA). Ich opis można znaleźć np. w pracy Montgomery [18].

Najczęściej występującymi rozkładami danych pomiarowych, poza rozkładem normalnym, są rozkłady skośne. Dla skośnych populacji, ryzyko wystąpienia fałszywego sygnału na karcie kontrolnej wzrasta wraz ze wzrostem wartości wskaźnika asymetrii k_3 przyczyną jest rozbieżność zmienności rozkładu normalnego oraz rozkładu asymetrycznego [27]. W literaturze można znaleźć szereg metod heurystycznych wykorzystywanych do wyznaczania granic kontrolnych w przypadku rozkładów innych niż normalny (w tym również skośnych), z wykorzystaniem np. percentyli rozkładów skośnych, współczynnika korekcji asymetrii (ang. Skewness Correction method; SC metod), wariancji ważonej (Weighted Variance method; WV method) czy też ważne odchylenie standardowe (Weighted Standard Deviations method; WSD method). Ideę wyznaczania granic kontrolnych dla tego typu kart opisali np. Karagöz i Hamurkaroglu [27] oraz Czabak-Górska [28].



Rys. 4. Podział nowoczesnych kart kontrolnych

4. Podsumowanie

Odpowiedni dobór kart kontrolnych do określonego typu produkcji oraz uwarunkowań ekonomicznych stanowi istotny element monitorowania i doskonalenia procesów produkcyjnych. Zignorowanie założeń, które stanowią integralną całość z konkretnym typem karty kontrolnej, może doprowadzić m.in. do sytuacji w której ocena stabilności procesu jest niewłaściwa, co ostatecznie może spowodować wręcz jego deregulację. Nieodpowiednio dobrana do przebiegu procesu, karta kontrolna może wskazywać fałszywe sygnały sugerujące pojawianie się zakłóceń specjalnych bądź w skrajnych sytuacjach nawet je „maskować”, co może również prowadzić do przesunięcia ustawień procesu.

Zmiana typu produkcji nowoczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych (wychodzącym naprzeciw oczekiwaniom klientów) z masowej na małoseryjnej prowadzi do braku możliwości pobrania wystarczającej (często wieloelementowej) próby np. w celu przeprowadzenia próby pilotażowej, co ostatecznie prowadzi do porzucenia idei sterowania procesem przy wykorzystaniu kart kontrolnych. W tego typu przypadkach ocena stabilności najczęściej następuje po fakcie, a pracownicy i kierownictwo nie mają możliwości podjęcia odpowiednich kroków, w odpowiednim czasie, aby zapobiec i wyeliminować powstawanie błędów. Z kolei brak możliwości monitorowania procesów przy użyciu jednej karty kontrolnej w przypadku np. produkcji wieloasortymentowej powoduje duże zamieszanie i prowadzi do tworzenia bezużytecznej dokumentacji oraz pociąga za sobą ogromnie koszty i jest całkowicie nieopłacalne.

W przeciągu ostatnich lat karty kontrolne na nowo przeżywają rozkwit. Wielu naukowców podjęło się dostosowania klasycznej idei prowadzenia kart kontrolnych do nowoczesnych uwarunkowań produkcyjnych tj. Reynolds, Zimmer, Costa, Calvin, Chan [4, 6, 15, 20]. Dzięki temu możliwe jest unikanie popełniania podstawowych błędów implikujących powstawanie powyżej wymienionych sytuacji. Nowoczesne karty kontrolne tj. sekwencyjne, adaptacyjne, standaryzowane czy też określone przez autorkę jako karty specjalne mogą okazać się dużo bardziej skuteczne niż tradycyjne karty Shewharta, jednakże wymagają bardzo dobrego rozpoznanania natury przebiegu procesu tzn. czy rozkład danych pomiarowych ma charakter rozkładu normalnego czy też innego niż normalny typ produkcji itp.

Literatura

1. Greber T.: Niestandardowe karty kontrolne – czyli jak radzić sobie w nietypowych sytuacjach. StatSoft Polska, 1999.
2. Yen F.Y., Chong K.M.B., Ha L.M.: Synthetic-Type Control Charts for Time-Between-Events Monitoring, PLoS ONE, 8(6), e65440, 2013, pp. 1-13.
3. Kowalczyk A.: Ocena implementacji i skuteczności metod zarządzania jakością w opinii dostawców branży motoryzacyjnej. Praca doktorska, Poznań 2012.
4. Kujawińska A., Więcek-Janka E.: Statystyczna ocena procesów w mikro i małych przedsiębiorstwach. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Ekonomiczne Problemy Usług nr 51, nr 588, 2010, s.421-431.
5. Boyapati S.R., Nasiru S., Lakshmi K.N.V.R.: Variable Control Charts Based on Percentiles of the New Weibull-Pareto Distribution. Pakistan Journal of Statistics and Operation Research, Vol.XI, No.4, 2015, pp. 631-643.
6. Ali S., Pievatolo A., Göb R.: An Overview of Control Charts for High-quality Processes. Quality and Reliability Engineering International, 32, 2016, pp. 2171-2189.
7. Mohammed M.A., Panesar J.S., Laney D.B, Wilson R.: Statistical process control charts

- for attribute data involving very large sample sizes: a review of problems and solutions. *BMJ Qual Saf*, 22, 2013, pp. 362-368.
8. Dahlgard J.J., Kristesen K., Gopal K. K.: *Podstawy zarządzania jakością*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
 9. PN-ISO 3534-2. *Statystyka. Statystyczne sterowanie jakością. Terminologia i symbole*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1994.
 10. Hamrol A.: *Zarządzanie jakością z przykładami*, PWN, Warszawa 2007.
 11. PN-ISO 8258+AC1: *Karty kontrolne Shewharta*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1996.
 12. Greber T.: *Statystyczne sterowanie procesami – doskonalenie jakości z pakietem STATISTICA*. StatSoft Polska, Kraków, 2000.
 13. Szkoda J.: *Sterowanie jakością procesów produkcyjnych. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Olsztyn, 2004.
 14. Greber T.: *Jak czytać kart kontrolne Shewharta*, *Normalizacja* 1999, nr 11, s. 17-22.
 15. Olszewska M.: *Karty kontrolne nowej generacji w zarządzaniu jakością produkcji*. Rozprawa doktorska, Warszawa 2008.
 16. Nowoczesny, w: *Słownik Języka Polskiego*, PWN, 2017, <http://sjp.pwn.pl/sjp/nowoczesny;2491022.html> [odczyt z dnia: 04.01.2017r.].
 17. Bartkowiak M.: *Karty kontrolne obrazem zmienności procesu*. *Kwartalnik nauk o przedsiębiorstwie*, nr 3, 2011, s. 63-71.
 18. Montgomery D.C.: *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons, Inc., 6th Edition, USA 2009.
 19. Sałaciński T.: *SPC-statystyczne sterowanie procesami produkcji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
 20. Psarakis S.: *Adaptive Control Charts: Recent Developments and Extensions*, *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 31, Issue 7, 2015, pp. 1265–1280.
 21. *Nowoczesna Firma: Statystyczne Sterowanie Procesem*. <http://archiwum.nf.pl/10507-statystyczne-sterowanie-procesem/> [odczyt z dnia: 07.12.2016r.].
 22. Oakland, J. S.: *Oakland on quality management*. Butterworth-Heinemann, Oxford 2004.
 23. Quesenberry C.P.: *SPC Q Charts for Start-Up Processes and Short or Long Runs*. *Journal of Quality Technology*, Vol. 23, No. 3, 1991, pp. 213-224.
 24. Quesenberry C.P.: *SPC Q Charts for a Binomial Parameter p: Short or Long Runs*. *Journal of Quality Technology*, Vol. 23, No. 3, 1991, pp. 239-246.
 25. Hiller, F.S.: *X and R Chart Control Limits Based on a Small Number of Subgroups*. *Journal of Quality Technology*, 1, 1969, pp. 17-26.
 26. Hillier, F. S.: *Small Sample Probability Limits for the Range Chart*. *Journal of the American Statistical Association*, 62, 1967, pp. 1488-1493.
 27. Karagöz D., Hamurkaroglu C.: *Control Charts for Skewed Distributions: Weibull, Gamma, and Lognormal*. *Metodološki zvezki*, vol. 9, no. 2, 2012, pp. 95-106.
 28. Czabak-Górska I.D.: *Karty kontrolne X i R dla rozkładów skośnych – studium przypadku*, *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, 4/2016, s. 10-17.

Mgr Izabela CZABAK-GÓRSKA

Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Katedra Inżynierii Jakości Produkcji i Usług
Politechnika Opolska

45-370 Opole ul. Ozimska 75

tel./fax: (0-77) 449 8848

e-mail: i.czabak-gorska@po.opole.pl