



SPC W BRANŻY MOTORYZACYJNEJ – WYMAGANIA A DOBRA PRAKTYKA INŻYNIERSKA

Ewa Golińska

University of Bielsko-Biala, Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, Poland

Corresponding author:

Ewa Golińska

University of Bielsko-Biala

Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science

Department of Industrial Engineering

Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland

phone: (+48) 33 827253

e-mail: egolinska@ath.bielsko.pl

SPC IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY – REQUIREMENTS VS. GOOD ENGINEERING PRACTICE

ABSTRACT

In the article one of methods of the quality management – statistical process control (SPC) has been discussed in the article. On the example of the car headrests producing enterprise benefits from applying this method has been presented. Correctly implemented SPC and correctly analyzed data from control cards result not only in the stabilization of production processes, but can also have a beneficial effect on reducing production costs.

KEYWORDS

SPC, statistical methods, IATF, VDA, automotive industry, control card.

1. Wprowadzenie

Wobec przybierającej na sile tendencji do redukcji kosztów wytwarzania coraz ważniejsze staje się planowanie procesów w aspekcie ekonomicznym. Każde działanie w organizacji, w tym również działania w odniesieniu do nadzorowania zgodności procesów i wyrobów, powinny być uzasadnione ekonomicznie.

W branży motoryzacyjnej istnieje szereg metod, które służą zapewnieniu, że proces prowadzony jest zgodnie z wymaganiami. Co więcej metody te – zarówno FMEA (analiza ryzyka), Plan Kontroli, MSA (analiza systemów pomiarowych), PPAP (proces zatwierdzania części) jak i SPC (statystyczna kontrola procesów) – są obligatoryjne. Wytyczne do postępowania w ramach stosowania tych metod opisane są w stosownych podręcznikach manualnych. W odróżnieniu do FMEA AIAG&VDA na dzień dzisiejszy nie ma wspólnego stanowiska i opracowania wytycznych do prowadzenia SPC (obecnie mamy: dla AIAG – SPC 2nd edition, dla VDA – VDA 4 2nd revision oraz dla VW Group Formel Q konkret version 5 oraz CSR z 2017 r. dla Ford Motor Company).

SPC – którego dotyczą rozważania w artykule – jest strategią, która umożliwia redukcję zmienności – przyczynę wielu problemów jakościowych. SPC bada wszelkie odchylenia od standardu i daje możliwość zareagowania jeszcze przed pojawieniem się problemów, czyli przed pojawieniem się produktów niezgodnych [1]. Jest

to więc metoda, która umożliwia ocenę stabilności procesu. Olbrzymi potencjał SPC w zakresie oszczędności kosztów, poprawy jakości, produktywności i udziału rynku tworzy ogromny popyt na wiedzę, naukę i zrozumienie oraz zastosowanie SPC.

W wielu polskich przedsiębiorstwach stosowanie metod statystycznych budzi obawy. Są one na ogół kojarzone z metodami skomplikowanymi, trudnymi do zrozumienia czy zastosowania, a także niełatwymi w samej interpretacji otrzymanych wyników, stąd generalnie mało przydatnymi w praktyce produkcyjnej [1, 4, 10, 13]. Statystyczne sterowanie procesem stosowane jest niejako z przymusu – organizacje nie postrzegają stosowania tej metody w kontekście generowania wartości dodanej, a jedynie widzą ją jako formalny wymóg do spełnienia, związany z koniecznością certyfikacji na zgodność z wymaganiami standardu systemu zarządzania jakością w przemyśle motoryzacyjnym, czy też w konsekwencji realizacji specyficznych wymagań klientów.

W artykule zaprezentowano przykład z praktyki produkcyjnej, który jednoznacznie ukazuje korzyści ze stosowania SPC. Jednak wartość dodaną dla organizacji ze stosowania tej metody otrzymujemy wyłącznie w sytuacji, kiedy jest ona skutecznie wdrożona, a wnioskowanie o procesie nie opiera się wyłącznie na analizie wskaźników zdolności jakościowych. Prawidłowo wdrożone SPC i poprawnie analizowane dane z kart kontrolnych skutkują nie tylko stabilizacją procesów produk-

cyjnych, ale również mogą mieć korzystny wpływ na obniżenie kosztów wytwarzania.

2. Statystyczna kontrola procesów

2.1. Metoda SPC

Za ojców SPC uznaje się dwójkę pionierów zarządzania jakością Shewarta i Deminga. Shewart opracował narzędzia do badania procesu i sterowania nim. Zauważył, że procesy produkcyjne zachowują się często inaczej niż procesy naturalne (nie podlegają rozkładowi Gaussa). Dla tych, dla których ta prawidłowość działała, opracował zbiór działań, które nazwał SPC. Metodę z dużym sukcesem rozpropagował Deming w latach 50 i 60 ubiegłego stulecia głównie w Japonii, a później USA [1]. Współcześnie metoda jest powszechnie stosowana i szeroko opisywana w literaturze.

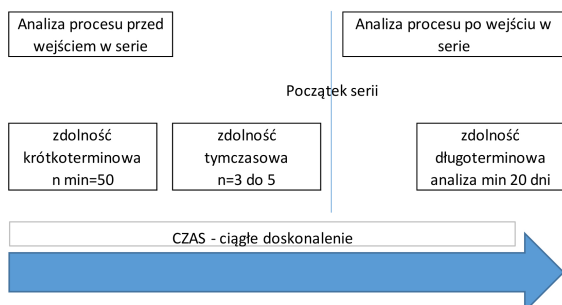
SPC bazuje na statystyce i jest metodą prewencyjną. Monitorując proces, organizacje są w stanie dostrzec odchylenia, zmiany i zareagować na nie jeszcze przed pojawieniem się niezgodności, co istotnie wpływa na koszty jakości.

Autorka nie zdecydowała się przedstawiać podstaw metody SPC, a jedynie skupić się na najważniejszych elementach jej wdrożenia oraz samego doskonalenia procesów na bazie analizy otrzymanych wyników.

2.2. Wdrażanie SPC

SPC można wdrożyć w każdej firmie produkcyjnej czy usługowej, bez względu na fakt, czy stosowanie metody powiązane jest ze spełnieniem wyspecyfikowanych wymagań. Najlepiej sprawdza się przy nadzorowaniu charakterystyk mierzalnych, które podlegają rozkładowi normalnemu.

Kwalifikacja procesu może odbywać się zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w VDA 4 [14], gdzie uwzględniono analizę zdolności procesu przed i po wejściu w serię produkcyjną (stąd analizie podlega zdolność krótkoterminowa, tymczasowa, długoterminowa) – zgodnie z rys. 1.



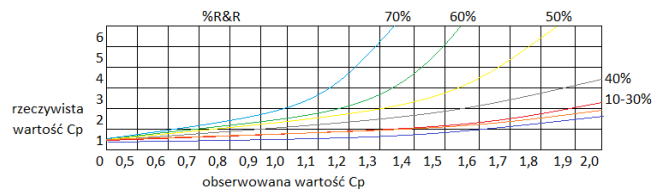
Rys. 1. Analiza zdolności procesu na różnych etapach wdrożenia [14].

Pierwszym krokiem jest określenia charakterystyk do monitorowania. Najczęściej monitoruje się:

- S.C./s – charakterystyki specjalne związane z bezpieczeństwem,

- S.C./a – charakterystyki specjalne mające wpływ na wymagania prawne,
- S.C./f – charakterystyki specjalne mające wpływ na funkcjonalność (montowalność, dopasowanie, właściwości, osiągi, itp.),
- cechy powodujące istotny wzrost kosztów w przypadku powstania niezgodności,
- cechy określone jako krytyczne przez klienta,
- cechy wynikające ze złożoności procesu [9].

Kolejnym krokiem jest dobór i ocena stosowanego systemu pomiarowego. Ten etap ma kluczowe znaczenie w powodzeniu wdrożenia SPC. Wdrożenie SPC bez wcześniejszej analizy MSA – np. na bazie metody R&R (dla charakterystyk mierzalnych) mijają się z celem – w skrajnych przypadkach można otrzymać zgodne wyniki pomiarów dla niezgodnych produktów. Nawet najbardziej skuteczny system prewencyjnego zarządzania jakością nie pomoże, jeżeli systemy pomiarowe nie będą wiarygodne. Kluczowy jest tu odpowiedni dobór przyrządu pomiarowego dla mierzonej cechy – jego rozdzielczości, a także łatwości dokonania pomiaru i odczytu. W pomiarze należy uwzględnić również dokładność, powtarzalność i odtwarzalność. Zależność pomiędzy C_p (zdolnością jakościową procesu) rzeczywistą a obserwowaną w zależności od uzyskanej wartości R&R przedstawia podręcznik VDA 4 (rys. 2). Wartości te należy uwzględnić w prowadzonej analizie.



Rys. 2. Zdolność jakościowa procesu a wyniki MSA R&R [14].

Kolejnym etapem wdrożenia SPC jest ustalenie strategii próbkowania. Na ten etap istotny wpływ będzie mieć analiza czynników zakłócających proces (np. na bazie zastosowania metody 5M).

Co również istotne, analiza SPC powinna być poprzedzona nie tylko kwalifikacją systemów pomiarowych metodami MSA, a także wykonaniem analizy ryzyka FMEA i opracowaniem Planu Kontroli.

Korzyści z działań powiązanych z SPC:

- analiza FMEA zapewnia redukcję ryzyka do poziomu akceptowalnego (lub możliwie najniższego),
- stworzony na bazie FMEA Plan Kontroli definiuje wszystkie wymagane w procesie kontrole (wraz z charakterystykami specjalnymi),
- badanie systemów pomiarowych (MSA) wykazuje zdolność dobranych w Planie Kontroli systemów pomiarowych do realizacji przewidzianych dla nich zadań pomiarowych.

Dopiero analizując wszystkie wymienione czynniki można uznać, że proces produkcyjny jest gotowy do wstępnej oceny jego zdolności i stabilności.

2.3. SPC w branży motoryzacyjnej

Dynamika zmian otoczenia nie ominęła branży motoryzacyjnej i sprawiła, że nawet tak ustabilizowane gałęzie przemysłu – zestandaryzowane, zorientowane na jakość, z wysoko ustawioną poprzeczką wymagań na wejściu – stają przed koniecznością redefinicji kluczowych czynników sukcesu i dopasowania swojego działania do wymagań rynku [5, 8]. Producenci samochodów zmagają się ze zmiennym popytem, coraz bardziej restrykcyjnymi wymaganiami legislacyjnymi, czy zindywidualizowanymi oczekiwaniami klientów. Przed produkcją w branży motoryzacyjnej, stoją dwa podstawowe wyzwania: ograniczenie kosztów (ujmując w tym minimalizację strat związanych z powstającymi wyrobami niezgodnymi z wymaganiami) przy jednoczesnym zapewnieniu wymaganej jakości i dostępności wyrobów.

Obecnie cały łańcuch dostaw związany z branżą motoryzacyjną obowiązuje czwarta już nowelizacja specyfikacji technicznej IATF 16949:2016 *Wymagania względem systemów zarządzania jakością dla produkcji seryjnej oraz produkcji części serwisowych w przemyśle motoryzacyjnym* [6]. Do dnia dzisiejszego jest podstawowym, choć dobrowolnym, standardem w obszarze branży motoryzacyjnej, który można określić jako wypracowany kompromis producentów samochodów. W związku z tym nie uwzględnia on wszystkich wymagań każdego z producentów, a jedynie kładzie nacisk na spełnienie indywidualnych wymagań klienta. Dlatego to właśnie klient i jego wymagania determinują całokształt wdrażanego w przedsiębiorstwie systemu zarządzania jakością. Odnosi się to przykładowo do konieczności bądź nie stosowania podręczników standardu QS 9000 [2, 5]. Producenci pojazdów (OEM – *Original Equipment Manufacturer*) stanowią bardzo wymagającą grupę klientów, szczególnie w zakresie standardów jakościowych. Mimo wdrożenia i stosowania się do wymagań wynikających z normy IATF 16949 często pojawiają się specyficzne dla danej organizacji zestawy wymagań (CRS – *Customer Specific Requirements*), które poszerzają wymagania znormalizowane. Ze względu na mnogość indywidualnych wymagań klientów wymagania stawiane wobec dostawców z branży motoryzacyjnej nie są zbiorem ograniczonym. Do głównych wymagań w ramach CSR można zaliczyć [3, 7]:

- zaawansowane planowanie jakości wyrobu (APQP),
- zatwierdzanie detali produkcyjnych (PPAP),
- globalne zarządzanie utrzymaniem ruchu (TPM),
- narzędzie ciągłego doskonalenia – 5S,
- audyty systemu zarządzania jakością – wyrobu i procesu,
- plany postępowania awaryjnego oraz plany ciągłości działania,
- rozmieszczenie stanowisk produkcyjnych (*layouts*),
- komunikacja z klientem,
- metody rozwiązywania problemów,
- szacowanie ryzyka (FMEA),
- plany kontroli,
- analiza systemów pomiarowych (MSA),
- **statystyczne sterowanie procesem (SPC),**

- charakterystyki specjalne,
- ocena wskaźnikowa dostawcy.

Wymienione wymagania – w tym wymóg prowadzenia analiz SPC – stanowią najistotniejszą grupę wymagań, jakie należy brać pod uwagę przy wdrażaniu, utrzymaniu i doskonaleniu systemu zarządzania jakością zarówno przez dostawców w branży motoryzacyjnej jak i samych producentów samochodów [3, 7, 11, 12].

3. Przykład zastosowania SPC w praktyce produkcyjnej

Badania prowadzono w jednym z bielskich przedsiębiorstw branży motoryzacyjnej, z którym współpracuje autorka. Firma produkuje zagłówki samochodowe. Przedsiębiorstwo corocznie certyfikowane jest na zgodność z wymaganiami IATF 16949, a także pracuje według standardów VDA (niemiecki standard branżowy), ponieważ większość wyrobów produkowana jest dla grupy VW. Zarówno według jednych jak i drugich wymagań przeprowadzanie metody SPC jest obligatoryjne i w związku z tym na bieżąco prowadzone w przedsiębiorstwie.

Do celów niniejszego opracowania przedstawiono wycinek danych z analizy wyników uzyskanych z procesu produkcyjnego. Analiza dotyczyła jednej z charakterystyk specjalnych związanych z bezpieczeństwem (S.C./s) i dotyczyła pomiaru twardości pianki zagłówka (metoda Shore'a, zakres pomiarowy 0–100 jednostek, rozdzielczość 0,1 dokładność $+/-1$). W ramach ustaleń wymagana twardość $3,6+/-0,2$ (twardość pianki wyrażona możliwym ugięciem w milimetrach). Analiza wyników miała tym większe znaczenie dla organizacji, że została zapoczątkowana z uwagi na informacje od klienta w zakresie zaobserwowanej różnicy twardości pianki w wynikach kontroli dostaw.

Zgodnie z metodyką postępowania w metodzie SPC określono liczbę analizowanych próbek. Zebrano 150 wyników pomiarów (50 zagłówek, po 3 pomiary na każdym), próbkowano co 25 wyprodukowany zagłówek.

Jednym z pierwszych etapów metodologii SPC oraz ogólnie jednym z wielu podejść do statystyki jest zbudowanie histogramu, który w przejrzysty sposób przedstawia położenie badanych parametrów procesu względem określonego poprzez rysunek konstrukcyjny czy też przez klienta pola tolerancji. Z histogramu łatwo również wyczytać wielkość rozrzutu według częstotliwości występowania. W przypadku prowadzonej analizy zauważono, że wyniki zebranych pomiarów znajdują się poniżej wartości średniej. Wyciągnięto pierwszy wniosek – mniejsze wartości (wartości poniżej średniej) pojawiające się na histogramie wskazują na mniejsze „zatożenie się” się czujnika do pomiaru twardości, co świadczy o tym, że pianka jest za twarda, choć nadal – w przypadku wszystkich wykonanych pomiarów – mieści się w granicach tolerancji.

Histogram można zbudować bez użycia jakiegokolwiek wsparcia programu komputerowego, lecz jest to zajęcie żmudne i bardzo uciążliwe z uwagi na mogą-

ce się pojawić bardzo duże zakresy danych. W praktyce produkcyjnej spotkać można wiele programów do wspomagania badań statystycznych, jednak nie każda organizacja może pozwolić sobie na ich zakup z przyczyn ekonomicznych. Najtańszym i prostym sposobem na zbudowanie histogramu jest wykorzystanie arkusza kalkulacyjnego EXCEL (*Analysis ToolPack*) oraz zawartych w jego budowie formuł (takie postępowanie wykorzystywane jest w organizacji).

Na podstawie zabranych danych obliczono wartości współczynników jakościowej zdolności procesu C_p i C_{pk} . Obliczenia wykazały że zdolność C_p wynosi 4,34, a C_{pk} wynosi 3,58.

Minimalne wartości wskaźników C_p i C_{pk} dla odpowiednich charakterystyk stanowią wymagania klienta, np. dla klienta grupy VW charakterystyki specjalne dla analizowanego przykładu muszą mieć zdolność procesu na poziomie minimum 1,67.

Działania korygujące dla przedstawionej analizy nie były konieczne ponieważ wyniki mierzonych wartości znajdowały się w polu tolerancji określonej przez klienta.

Wiele organizacji wyciąga wnioski na temat procesu już na tym etapie, pomijając szczegółowe analizy samych kart kontrolnych. Analizowane przedsiębiorstwo, w ramach omawianego projektu, dokonało jednak takiej analizy. Ważnym etapem był już sam proces projektowania karty kontrolnej, a w szczególności nanieśnięcie wartości granicznych oraz wartości granic ustalonych wewnątrz organizacji, tzw. granic ostrzeżenia. Wprawdzie przekroczenie granic wewnętrznych nie powoduje pogorszenia jakości produkowanych charakterystyk (nadal są zgodne z wymaganiami klienta), ale może zostać wykorzystane jako sygnalizacja sytuacji potencjalnie niebezpiecznych. Szybkie zareagowanie na takie ostrzeżenie daje duże szanse, że proces nie wyjdzie poza granice wymagań klienta. W zależności od tego ile punktów i w jakich obszarach znajduje się na wykresie, podejmowane są różnego typu działania zmierzające do tego, aby wyniki wartości średniej z otrzymanych wyników były bliskie wartości średniej na wykresie. Klienci oraz organizacje w różny sposób definiują sytuacje, w których następuje konieczność prowadzenia dodatkowych analiz i na ich bazie podjęcia działań naprawczych. Sytuacje podlegające analizie to również takie przypadki, gdzie wszystkie zmierzone punkty leżą w granicach ostrzeżenia, lecz ułożone są powyżej lub poniżej wartości średniej – taka sytuacja miała miejsce w analizowanym przypadku.

Pomimo zadowolających wskaźników C_p i C_{pk} organizacja zareagowała na zaistniałą sytuację i dokonała zmian w procesie, które zbliżyły wartość średnią twardego wytwarzanych zagłówków do wartości nominalnej (obniżono twardość pianki), przy czym wyniki pomiarów w dalszym ciągu znajdowały się w granicach pola ostrzeżenia. Zmiany spowodowały nieznaczny spadek wskaźników zdolności jakościowej (C_p spadło z 4,34 do 4,12, a C_{pk} wynosi 3,12 – było 3,58). Pomimo tej sytuacji, firma po wprowadzeniu zmian poprawiła swoje wyniki ekonomiczne.

Finalnym efektem projektu SPC w analizowanym obszarze było przeprowadzenie ponownej analizy pracochłonności na stanowiskach ubierania pokrowców na zagłówki samochodowe. Po wprowadzeniu zmian udało się istotnie skrócić czasy cyklu, co przełożyło się korzystnie na koszty wytwarzania produktu.

4. Podsumowanie

Przemysł samochodowy jest od wielu lat jednym z najbardziej innowacyjnych i znaczących sektorów wolnorynkowej gospodarki. Wiodący producenci kształtują techniki produkcji oraz stale doskonałą jakość swoich wyrobów, kreując tym samym standardy dla wielu organizacji, również spoza sektora. O skuteczności i efektywności metody SPC świadczy fakt, że coraz częściej, mimo braku formalnego wymogu, jest ona z powodzeniem stosowana w przedsiębiorstwach spoza branży motoryzacyjnej.

Biorąc pod uwagę złożoność i różnorodność procesów oraz olbrzymi nacisk kładziony na spełnienie wymagań klienta, zapewnienie jakości w całym łańcuchu logistycznym w przemyśle samochodowym, musi odbywać się w sposób ściśle kontrolowany. Z całą pewnością metoda SPC pełni rolę działania prewencyjnego, szczególnie na tych etapach wytwarzania, które charakteryzują się produkcją seryjną.

Warunkiem traktowania statystycznej kontroli procesu nie tylko jako wymogu systemu, któremu należy się bezwzględnie podporządkować ze względu na potrzebę certyfikacji w tym zakresie, ale również jako cennego zestawu narzędzi do sterowania procesami, jest prawidłowe wdrożenie tej metody. Istotne jest przestrzeganie fundamentalnych zasad dotyczących postępowania, które zapewnią, że wskaźniki zdolności jakościowej będą pokazywały prawdziwe informacje o kondycji badanych procesów. Tylko wówczas informacje wygenerowane z analizy SPC, oparte na faktach, będą cenną wskazówką w procesie decyzyjnym prowadzonym na najwyższych szczeblach organizacji.

Dobra praktyka produkcyjna wskazuje również na potrzebę szerszej analizy wyników – opartej przynajmniej o analizę kart kontrolnych, nawet w sytuacjach, gdy wskaźniki jakościowe procesu są na zadowalającym poziomie. Działania takie, jak pokazał omówiony w artykule przykład, mogą istotnie poprawić ekonomikę procesu.

Literatura

- [1] Blog ekspercki, <https://inzynierjakosci.pl/2018/09/spc/> (stan na 23.01.2023).
- [2] Bovas A., Beecroft D., *Understanding QS-9000 with its preventive and statistical focus*, Statistics for Industry and Technology, 2012.
- [3] Golińska E., *Ewolucja sposobów rozwiązywania problemów jakościowych w branży motoryzacyjnej*, Zaawan-

- sowane Metody i Narzędzia Inżynierii Przemysłowej, Inżynieria Produkcji, 2022.
- [4] Golińska E., Kulesz A., *Statystyczne sterowanie procesem (SPC) w branży motoryzacyjnej – wymóg czy potrzeba?*, Mechanik, 2014.
- [5] Hanh Tran P., Ahmadi Nadi A., Hien Nguyen T., Duc Tran T., Phuc Tran K., *Application of machine learning in statistical process control charts: A survey and perspective*, Springer Series in Reliability Engineering, 2021.
- [6] IATF 16949:2016, Standard zarządzania jakością w przemyśle motoryzacyjnym, 2016.
- [7] Łuczak B., *Geneza zmian w normie ISO 9001:2008*, Problemy Jakości, 5/2011.
- [8] Łuczak M., Małys Ł., *Współczesne koncepcje i trendy w branży motoryzacyjnej*, Poznań, 2016.
- [9] Materiały szkoleniowe Team Prevent (obecnie SQD Alliance), <https://sqda.pl/systemy-zarzadzania/> (stan na 23.01.2023).
- [10] Oakland J., *Statistical process control*, Ebook, 2007 (stan na 23.01.2023).
- [11] Pascu C., Didu A., Gheorghe S., *Study about the application of statistical process control for process quality improvement in automotive industry*, Applied Mechanics and Materials, 2020.
- [12] Radu G., João M., *Statistical Process Control Accuracy Estimation of a Stamping Process in Automotive Industry*, Innovations Induced by Research in Technical Systems, 2016.
- [13] Sałaciński T., *Statystyczne sterowanie procesami produkcji*, Ebook, 2016 (stan na 23.01.2023).
- [14] VDA4 – *Zapewnienie jakości na mapie procesów*, Wydanie 3, sierpień 2020.