



MSA DLA CHARAKTERYSTYK ATRYBUTOWYCH W BRANŻY MOTORYZACYJNEJ

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

MSA FOR ATTRIBUTE CHARACTERISTICS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

ABSTRACT

The article discusses the requirements for measurement systems in the automotive industry. Meeting these requirements is possible, among others, through the use of the PPAP procedure, which includes the analysis of measurement systems – the so-called MSA (8 points PPAP). The overriding goal of analyzing measurement systems is improvement. The measurement system fulfills an important function in the production process, because each decision of the operator (assessor) entails a specific benefit or loss for the organization. MSA for non-measurable features, described in this article based on the Kappa method, is used when the product is assessed and not measured (most often there are two categories in the assessment according to the adopted criteria: 0 – non-conforming product, 1 – compliant product).

KEYWORDS

MSA, Kappa, IATF, AIAG, PPAP.

1. Wprowadzenie

Specyfika branży motoryzacyjnej, jej innowacyjność a także charakter produkcji, który ma za zadanie pogodzić dwa skrajnie odmienne podejścia do wytwarzania – masowość produkcji oraz uwzględnienie indywidualnych potrzeb klienta stawiają przed współczesnymi producentami samochodów (OEM – *Original Equipment Manufacturer*), a także przed wszystkimi dostawcami w łańcuchu logistycznym wiele wyzwań. Najistotniejsze problemy, z którymi boryka się nie tylko ta gałąź przemysłu, to ograniczenie kosztów oraz minimalizacja strat przy jednoczesnym zapewnieniu wymaganej jakości i dostępności wyrobów.

Pod naporem globalizacji świat ulega gwałtownym zmianom. Producenci z branży motoryzacyjnej starają się wykorzystać nadarzające się szanse – między innymi związane z pojawieniem się nieograniczonego, międzynarodowego łańcucha dostaw. Możliwości takie, poza obniżeniem kosztów dostaw, niosą za sobą także szereg zagrożeń. Poza problemami związanymi z terminowością dostaw, pojawiają się również zagrożenia związane przede wszystkim z dużym prawdopodobieństwem niespełnienia wymagań przez dostawcę. Branża motoryzacyjna znalazła sposób na rozwiązanie zaistniałego problemu i z sukcesem stosuje metodę zapewniającą ja-

kość dostaw z różnych zakątków świata. Metoda ta nosi nazwę PPAP (*Production Part Approval Process*, tłumaczone jako Zatwierdzanie Części do Produkcji).

PPAP jest obszerną, 18-punktową procedurą, która w skrócie przybliżona została czytelnikowi w pkt. 2 niniejszej publikacji. Jeden z punktów procedury PPAP – punkt 8 dotyczący systemów pomiarowych został zaprezentowany szerzej, jako ważny czynnik weryfikujący zdolności produkcyjne dostawców. Autorka skupiła się na prezentacji oceny systemów pomiarowych dla charakterystyk atrybutowych, ponieważ temat często stanowi problem w praktyce produkcyjnej. Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na metodę Kappa oraz zaprezentowanie wyników uzyskanych w ramach analizy przypadku przedsiębiorstwa z branży motoryzacyjnej, w którym przeprowadzono ocenę systemu pomiarowego dla cech niemierzalnych przy ocenie spoilera.

2. Weryfikacja zdolności produkcyjnych dostawców na bazie procedury PPAP

Procedura PPAP, opracowana przez przemysł motoryzacyjny, stanowi element amerykańskiej metodologii APQP (*Advanced Product Quality Planning*, tłumaczone jako Proces Rozwoju Produktu) opartej na podejściu procesowym. Nadrzędnym celem APQP jest stworze-

nie takiego planu jakości, który będzie wspierał rozwój produktu/usługi, umożliwi spełnienie wymagań klienta i wpłynie na jego satysfakcję. Wymagania odnośnie zarówno PPAP jak i APQP opisane zostały w podręcznikach opracowanych przez AIAG (*Automotive Industry Action Group*, tłumaczone jako Grupa Robocza Przemysłu Motoryzacyjnego) i są dostępne odpłatnie na ich stronie internetowej [1].

Jak podaje AIAG [1] standardowo procedurę PPAP prowadzi się w następujących sytuacjach: nowe uruchomienie, przerwa w produkcji dłuższa niż 12 miesięcy, poprawa niezgodności z poprzedniego PPAP, zmiana poddostawcy komponentów lub surowego materiału, modyfikacja narzędzia lub maszyny, zmiana ustawień maszyn, zmiana lokalizacji fabryki, zmiana technologii, zmiana metod kontroli [7].

Aby zminimalizować ryzyko wystąpienia dostawy niezgodnej z wymaganiami w organizacjach stosuje się 5 poziomów szczegółowości dokumentacji (tzw. *submission level* – poziom przedłożeń), które musi dostarczyć dostawca [7, 8]. Najczęściej każdy producent określa oczekiwany poziom PPAP bazując na historii współpracy z danym dostawcą (jakość dostawcy), a także krytyczność zamawianego detalu (w szczególności uwzględniając charakterystyki bezpieczeństwa). Najmniej wymagający jest pierwszy poziom PPAP, który wymaga przedłożenia do klienta jedynie gwarancji PSW (*Part Submission Warrant*, tzw. Gwarancja Przedłożonej Części – najważniejszy dokument PPAP, w którym dostawca stwierdza, że zna, akceptuje i gwarantuje, że spełnia wszystkie wymagania klienta). Najczęściej stosowanym, domyślnym poziomem dla każdego przedłożenia jest poziom trzeci, potocznie zwany *full PPAP* – gwarancja PSW poszerzona o próbki detalu oraz z kompletnymi danymi potwierdzającymi (pełną dokumentacją) [1].

We wszystkich sektorach przemysłu zaobserwować można stały wzrost standaryzacji w obszarze metod zapewnienia jakości dostaw i dostawców. W wielu branżach wymagany jest przynajmniej certyfikowany system zarządzania jakością wg wymagań ISO 9001, w innych klient wymaga, aby dostawca certyfikował się na zgodność z wymaganiami w sektorze branżowym. Dla sektora motoryzacyjnego obszar branżowy opisany jest na bazie specyfikacji technicznej IATF 16949, jednak zawarte w tym dokumencie wymagania odnośnie weryfikacji dostaw są zbyt ogólne, aby zagwarantować producentowi powtarzalność działań dostawcy. W związku z powyższym klienci sami formułują wymagania szczegółowe, które muszą spełnić ich dostawcy jeszcze przed przystąpieniem do produkcji seryjnej [8]. Z praktyki produkcyjnej wynika, że popularną opcją wymagań szczegółowych jest wykorzystanie metodologii PPAP na dowolnym, wybranym przez organizację, poziomie przedłożenia. Na chwilę obecną standard zatwierdzenia wyrobów jest procedurą obowiązkową wyłącznie dla wszystkich bezpośrednich dostawców (tzw. dostawców I-go rzędu) dla producentów samochodów (OEM). Coraz częściej procedura ta wymagana jest jednak od

dostawców niższych rzędów (dostawcy I-go rzędu egzekwują jej przeprowadzenie wobec swoich dostawców). Skuteczność metody została doceniona przez przedstawicieli innych gałęzi przemysłu – w ostatnich latach zainteresował się nią przemysł lotniczy [7].

3. Analiza zdolności systemów pomiarowych jako jeden z etapów PPAP

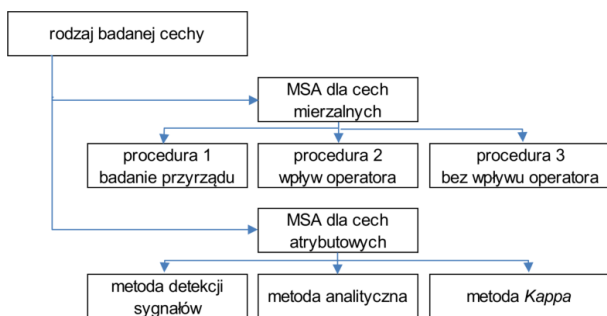
Wiedza zgromadzona w postaci dokumentacji PPAP ma na celu ograniczyć lub całkowicie wyeliminować zdarzenia potencjalnie niezgodne. Wykorzystywane są w tym celu metody i narzędzia jakościowe – zaczynając od *Flow Chart* (diagramu przepływu procesu), przez FMEA (analiza potencjalnych zagrożeń wraz z miejscami ich występowania i propozycjami działań minimalizujących ryzyka w tych obszarach), aż do umieszczenia zidentyfikowanych zagrożeń w Planie Kontroli, gdzie w sposób szczegółowy opisane są procesy kontrolne wybranych charakterystyk. To dzięki skutecznemu procesowi kontroli wyroby niezgodne nie będą miały szans na opuszczenie fabryki dostawcy, a inżynierowie procesu będą mogli odpowiednio szybko reagować podejmując działania korekcyjne czy korygujące. Istotnym obszarem w tym procesie jest sprawdzenie zasadności ustalonej w Planie Kontroli techniki pomiarowej za pomocą analizy zdolności systemów pomiarowych. Badania mogą dotyczyć powtarzalności i odtwarzalności, błędu systematycznego, liniowości, stabilności i zdolności systemów pomiarowych [8]. W związku z powyższym przedsiębiorstwa powinny walidować nie tylko swoje procesy, ale także metody pomiarowe dotyczące tych procesów. W celu badania zmienności występującej w wynikach otrzymywanych dla każdego rodzaju systemu wyposażenia do kontroli, pomiarów i badań, powinna być prowadzona analiza statystyczna, zidentyfikowana w planie kontroli. Stosowane metody analityczne oraz kryteria przyjęcia wyrobu powinny być zgodne z wymienionymi w dokumentach referencyjnych dotyczących analizy systemów pomiarowych [4].

Podręcznik MSA (*Measurement Systems Analysis* – Analiza Systemu Pomiarowego) [5] wydany przez AIAG podobnie jak VDA 5 Procesy pomiarowe i kontrolne [10] opisują zagadnienia związane z dziedziną zajmującą się analizą systemów pomiarowych. Celem procesu pomiarowego jest poznanie prawdziwej wartości mierzonej części. Jest pożądane, aby każdy indywidualny odczyt był na tyle bliski tej wartości, na ile jest to możliwe i ekonomicznie uzasadnione. Wiadomo, że wartość prawdziwa może nigdy nie zostać poznana z całkowitą pewnością, jednak istniejąca niepewność może być zminimalizowana przez użycie wartości odniesienia opartej na dobrze określonej definicji operacyjnej charakterystyki i przy użyciu wyników systemu pomiarowego z najwyższą założoną rozróżnialnością i identyfikowalnością. Standard MSA, zgodnie z podręcznikiem AIAG, *skupia się przede wszystkim na zrozumieniu procesu pomiarowego, określeniu ilości występującego w nim błędu*

oraz ocenie adekwatności tego systemu pomiarowego do kontroli produktu i procesu. MSA promuje zrozumienie procesu pomiarowego i jego doskonalenie (zmniejszanie zmienności). Z kolei ocena niepewności skupia się na wyznaczeniu zakresu wartości, definiowanych przy pomocy przedziału ufności, w których należy oczekiwać prawdziwego wyniku pomiaru. [5]. Analiza systemu pomiarowego obciążona jest zmiennością, która oddziałuje na indywidualne pomiary i w konsekwencji, na decyzje oparte na takich danych.

4. Analiza zdolności systemów pomiarowych dla cech atrybutowych

W praktyce produkcyjnej MSA przeprowadza się najczęściej dla cech mierzalnych (rys. 1).



Rys. 1. Rodzaje MSA, opracowanie własne na bazie [9].

Wówczas, bazując na wytycznych podręczników, można bazować na trzech procedurach:

- Procedura 1 – stosowana w celu wstępnego określenia zdolności systemu przed użyciem go w trakcie rutynowej produkcji, która wymaga uwzględnienia rzeczywistych warunków pomiaru zależnych od otoczenia, rozrzutu składników systemu, liczby operatorów itd. (tzw. SPC – *Statistical Process Control*, Statystyczna Kontrola Procesu – jeden z etapów postępowania PPAP).
- Procedura 2 – dotyczy oceny systemu pomiarowego poprzez analizę powtarzalności, odtwarzalności i rozrzutu całkowitego z uwzględnieniem wpływu użytkownika. Pomiary wykonywane są z wyrobów seryjnych wybierane tak, aby pokryły w miarę możliwości cały zakres procesu.
- Procedura 3 – stosowana jest w ocenie przydatności systemu pomiarowego, w którym nie występuje wpływ użytkownika (badana jest wyłącznie powtarzalność). Badanie to wykonuje się przy pomiarach w pełni zautomatyzowanych, w których wpływ pracownika na pomiar jest praktycznie zerowy. W tej procedurze wykonuje się 2 serie pomiarów po 25 wyrobów [9].

Wszystkie wymienione procedury analizy zgodności systemów pomiarowych dla cech mierzalnych są szeroko opisywane w literaturze i nie będą analizowane w niniejszym opracowaniu. W dalszej części pracy autorka skupi się na ocenach atrybutowych, a w szczególności przedstawi MSA metodą *Kappa*.

5. Ocena skuteczności systemu pomiarowego na bazie metody *Kappa* – analiza przypadku

5.1. Założenia do prowadzenia analizy

Podsumowując poprzedni rozdział wspomniano, że analiza systemu pomiarowego dla cech ciągłych jest tematem dosyć dobrze zidentyfikowanym i utrwalonym w systemach zarządzania jakością. W przypadku systemów atrybutowych, do których należą przede wszystkim sprawdziany oraz kontrole wzrokowe, odpowiednie narzędzia nie we wszystkich przedsiębiorstwach są właściwie rozpoznane, a co za tym idzie, ocena tych systemów pomiarowych nie zawsze jest właściwa. Sytuacji nie ułatwia sam podręcznik MSA, który prezentuje w sumie trzy metody oceny atrybutowych systemów pomiarowych (rys. 1), nie wyjaśniając jednoznacznie, w jakich sytuacjach mogą i powinny być one stosowane.

Przedstawiając podstawowe założenia stosowania metod dla cech atrybutowych należy pamiętać, że dwie z tych metod – metoda analityczna i metoda detekcji sygnałów – w swoim postępowaniu wymagają znajomości wartości odniesienia metodą pomiaru. Są one odpowiednie na przykład do weryfikacji sprawdzianów pierścieniowych i trzpieniowych, ponieważ badaną charakterystykę można również zmierzyć przyrządem pomiarowym – suwmiarką lub mikrometrem. Jeżeli jednak ocenianą charakterystyką są cechy wizualne, wówczas wyznaczenie wartości pomiarowej jest często trudne lub wręcz niemożliwe. W takiej sytuacji zamiast zmierzonej wartości odniesienia można posłużyć się decyzją eksperta. Metoda *Kappa* jest w tej sytuacji jedyną metodą zgodną z podręcznikiem MSA, którą można zastosować [2].

Metoda *Kappa* jest metodą czasochłonną, wymagającą odpowiedniego przygotowania próbek – między 30 a 50 sztuk, a w tym około 20% wyrobów powinno być wcześniej odrzucone przez eksperta podczas kontroli wzrokowej. W badaniu standardowo udział bierze trzech operatorów, którzy oceniają próbki w trzech seriach. Zapisy prowadzą osoby niezależne, a operatorzy nie znają poprzednich wyników, ani kolejności ocenianych sztuk. Ocena dokonywana jest w rzeczywistych warunkach produkcyjnych (ani czas kontroli, ani warunki środowiskowe nie są w żaden sposób modyfikowane).

Kryteria akceptacji dla systemu pomiarowego związane są z wieloma aspektami:

- wyznaczenie współczynnika *kappa*, określającego poziom zgodności operatorów między sobą oraz z wartością odniesienia (decyzją eksperta) – zaleca się, aby współczynnik ten był wyższy niż 0,7 dla każdej pary porównań,
- wyznaczenie współczynników efektywności systemu pomiarowego – zalecana efektywność powyżej 80% zgodności,
- udział niezgodnych wyrobów uznanych za zgodne (w odniesieniu do decyzji eksperta) – nie większy niż 5%,

– udział zgodnych wyrobów uznanych za niezgodne (w odniesieniu do decyzji eksperta) – nie większy niż 10% [1, 3, 5, 6, 10, 11].

5.2. Analiza przypadku

W analizowanym przedsiębiorstwie z branży motoryzacyjnej przeprowadzono ocenę systemu pomiarowego dla cech niemierzalnych przy ocenie spoilera. W przykładzie weryfikowano dokładność wykonania w odniesieniu do wzorca. Do badania przygotowano próbkę 50 sztuk, zgodnie z założeniami przedstawionymi w podrozdziale 5.1. W badaniu wzięło udział trzech operatorów, wykonano trzy serie oceny. Ze względu na obszerność wyników, do celów analizy, przedstawiono

wyłącznie podsumowanie wskazań poszczególnych operatorów (tabela 1).

W kolejnym kroku zbudowano tabele krzyżowe dla poszczególnych par operatorów (tabela 2) i obliczono stopień zgodności pomiędzy parami operatorów we wszystkich seriach pomiarów (tabela 3).

Analogicznie zbudowano tabele krzyżowe dla poszczególnych par operator-ekspert, zestawienie zbiorcze stopnia zgodności operatorów z wartością odniesienia (oceną eksperta) przedstawiono w tabeli 4.

Analizując wyłącznie współczynniki Kappa w danym przypadku obserwuje się wysoki stopień zgodności, czyli można wnioskować o dopuszczenia analizowanego systemu pomiarowego.

Tabela 1
Podsumowanie decyzji operatorów dla każdej oceny.

Operator	Przyjęte wyroby zgodne	Odrzucone wyroby niezgodne	Prawidłowe decyzje	Falszywe alarmy (odrzucone zgodne)	Brak detekcji (przyjęte niezgodne)	Razem ocen
A	97	45	142	5	3	150
B	93	42	135	9	6	150
C	93	42	135	9	6	150

Tabela 2
Tabele krzyżowe dla poszczególnych par operatorów.

Porównanie A*B			Operator B		
			0	1	Suma
Operator A	0	Liczba decyzji oczekiwana	44	6	50
			17	33	50
Operator A	1	Liczba decyzji oczekiwana	7	93	100
			34	66	100
Suma	Liczba decyzji oczekiwana		51	99	150
			51	99	150

Porównanie B*C			Operator C		
			0	1	Suma
Operator B	0	Liczba decyzji oczekiwana	45	6	51
			17,34	33,66	51
Operator B	1	Liczba decyzji oczekiwana	6	93	99
			33,66	65,34	99
Suma	Liczba decyzji oczekiwana		51	99	150
			51	99	150

Porównanie A*C			Operator C		
			0	1	Suma
Operator A	0	Liczba decyzji oczekiwana	46	4	50
			17	33	50
Operator A	1	Liczba decyzji oczekiwana	5	95	100
			34	66	100
Suma	Liczba decyzji oczekiwana		51	99	150
			51	99	150

Tabela 3
Stopień zgodności pomiędzy poszczególnymi parami operatorów.

Kappa A-B-C	A	B	C
A	–	0,80597	0,865672
B	0,80597	–	0,821747
C	0,865672	0,821747	–

Tabela 4
Stopień zgodności pomiędzy poszczególnymi parami operator-ekspert.

Kappa ABC	A	B	C
Wynik prawidłowy	0,878788	0,77396	0,77396

Tabela 5
Ocena końcowa analizowanego systemu pomiarowego.

Opis	Ocena końcowa		
	Zgodność między operatorami [%]	Fałszywe alarmy [%]	Brak detekcji wad [%]
A	84	4,901960784	6,25
B	80	8,823529412	12,5
C	80	8,823529412	12,5

Wytyczne do oceny systemu pomiarowego	Efektywność [%]	Fałszywe alarmy [%]	Niewłaściwa detekcja [%]
Akceptowalny dla operatora	≥ 90	≤ 5	≤ 2
Warunkowo akceptowalny dla operatora – może wymagać doskonalenia	≥ 80	≤ 10	≤ 5
Nieakceptowalny dla operatora – wymaga doskonalenia	< 80	> 10	> 5

Analizując wyłącznie współczynniki Kappa w danym przypadku obserwuje się wysoki stopień zgodności, czyli można wnioskować o dopuszczenia analizowanego systemu pomiarowego.

W dalszej części badań autorka przeanalizowała kolejne wytyczne do oceny systemu pomiarowego (kryteria akceptacji systemu pomiarowego na podstawie MSA 4th edition) – procentową efektywność systemu, procentową efektywność względem wartości odniesienia oraz wskaźniki procentowe fałszywych alarmów (nieprawidłowe odrzucenie wyroku zgodnego) i braku detekcji wad (nieprawidłowe akceptacje). Wyniki przedstawiono zbiorczo w tabeli 5.

Analizując otrzymane wyniki, pomimo zadowalającego poziomu współczynnika Kappa, analizowany system charakteryzuje się warunkowo akceptowalnym poziomem efektywności oraz warunkowo akceptowalnym poziomem fałszywych alarmów (poza wynikami operatora A – tu wynik jest akceptowalny). Natomiast w odniesieniu do niewłaściwych detekcji – czyli sytuacji, kiedy operator akceptuje niezgodny element – system pomiarowy wymaga doskonalenia.

6. Podsumowanie

Ocena systemu pomiarowego na bazie MSA dla charakterystyk atrybutowych z wykorzystaniem metody Kappa nie jest metodą powszechnie stosowaną w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Samo wyznaczenie współczynnika Kappa nie daje jednoznacznej odpowiedzi na temat systemu pomiarowego. Aby przyjąć lub odrzucić dany system – w tym operatorów dokonujących oceny – należy przeanalizować dodatkowe kryteria oceny. Po przeanalizowaniu wyników organizacja może dojść do słusznych wniosków, że najsłabszym ogniwem systemu jest czynnik ludzki. W związku z powyższym działania doskonalące będą odnosić się nie tylko i wyłącznie do szkoleń operatorów, ale również do skutecznego doboru takich pracowników na stanowiska kontrolne.

Na koniec autorka pragnie podkreślić użyteczność metody – ocena skuteczności systemów pomiarowych dla charakterystyk atrybutowych przeprowadzana metodą Kappa może być z powodzeniem wykorzystywana w odniesieniu do charakterystyk mierzalnych, szczególnie w sytuacjach, kiedy pomiar jest utrudniony lub ekonomicznie nieuzasadniony.

Literatura

- [1] Advanced Product Quality Planning and Control Plan (APQP). Reference Manual. 2nd Edition. AIAG 2008; Production Part Approval Process (PPAP). Reference Manual. 4th Edition. AIAG 2006.
- [2] <https://www.pronost.pl/#articles>, Pronost sp. z o.o. – materiały szkoleniowe (stan na 23.01.2023).
- [3] <https://sqda.pl/systemy-zarzadzania/>, materiały szkoleniowe Team Prevent (obecnie SQD Alliance) (stan na 23.01.2023).
- [4] IATF 16949:2016, *Standard zarządzania jakością w przemyśle motoryzacyjnym*, 2016.
- [5] Measurement Systems Analysis Reference Manual, 4th Edition Reference Manual, AIAG, Michigan, USA, 2010.
- [6] Montgomery D.C., *Introduction to Statistical Quality Control* (7th ed.), John Wiley and Sons, 2013.
- [7] Mydlarz A., *PPAP automotive – proces który ułatwił globalizację*, Zarządzanie Jakością, Grudzień 8, 2017.
- [8] Rewalik J., Tokaj T., *Procedura procesu zatwierdzania części do produkcji (PPAP) jako standard zapewnienia jakości dostawców (SQA) w przedsiębiorstwach produkcyjnych*, Zarządzanie Przedsiębiorstwem, Nr 2, 2012.
- [9] TÜV AKADEMIA POLSKA sp. z o.o., *Analiza systemów pomiarowych*, materiały szkoleniowe, 2009.
- [10] VDA 5 – Measurement and Inspection, Processes VDA 5 Procesy pomiarowe i kontrolne, wydanie 3, 2021.
- [11] Wheeler D., *EMP III: Evaluating the Measurement Process & Using Imperfect Data*, SPC Press, 2006.