



ZAPEWNIANIE WIARYGODNOŚCI ANALIZOWANYCH DANYCH - PODSTAWY ANALIZY MSA

Roman Tabisz, Politechnika Rzeszowska; Laboratorium Badań i Kalibracji „LABBiKAL”

Przedstawiono uzasadnienie konieczności zapewniania odpowiedniego poziomu wiarygodności analizowanych danych pomiarowych wykorzystywanych w przemyśle do podejmowania decyzji dotyczących sterowania jakością wyrobów i procesów wytwarzania. Podano przyczyny niedoskonałości przemysłowych systemów pomiarowych oraz opisano zasady analizy MSA [ang: *Measurement Systems Analysis*] pozwalające na praktyczne wyznaczenie liczbowych wartości parametrów systemu pomiarowego decydujących o wiarygodności zbieranych za jego pomocą danych. W zakończeniu podano powszechnie stosowane kryteria oceny przydatności przemysłowych systemów pomiarowych. Zwrócono uwagę na to, że ustalanie tych kryteriów powinno uwzględniać konkretny cel, dla którego zbierane są dane pomiarowe, oraz założone warunki poprawnej realizacji tego celu.

Wprowadzenie

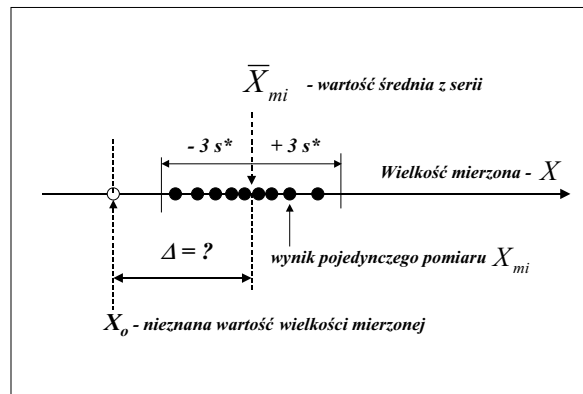
Sterowanie jakością wyrobów i procesów wytwarzania prowadzone jest w oparciu o dane pomiarowe zbierane podczas produkcji lub podczas odbiorów jakościowych wytworzonych partii wyrobów. W procesach produkcji „masowej”, charakterystycznych dla takich przemysłów jak: samochodowy, elektroniczny, farmaceutyczny itp., ilość danych potrzebnych do analiz, których wyniki są podstawą podejmowanych decyzji, jest bardzo duża. Jeżeli zebrane dane nie będą wystarczająco wiarygodne, to w konsekwencji podejmowane decyzje nie mogą być wystarczająco trafne. Dane zbierane są za pomocą przemysłowych systemów pomiarowych, które podobnie jak inne produkty ludzkiej aktywności nie są ani identyczne, ani idealne. Oznacza to w praktyce, że każdy wynik pomiaru – \mathbf{X}_m uzyskany za pomocą przemysłowego systemu pomiarowego w mniejszym lub większym stopniu odwzorowuje w postaci liczby rzeczywistą wartość – \mathbf{X}_o mierzonego parametru wyrobu lub procesu. Można więc powiedzieć, że im mniejsza jest różnica $\Delta = \mathbf{X}_m - \mathbf{X}_o$, tym wynik pomiaru jest bardziej wiarygodny, i odwrotnie im różnica ta jest większa, tym wynik pomiaru jest mniej wiarygodny. Świadomość tego faktu prowadzi do oczywistego wniosku:

W celu określenia poziomu wiarygodności wyniku pomiaru należało by w pierwszej kolejności wyznaczyć wartość różnicy Δ (bezwzględny błąd pomiaru).

Problem w praktyce polega jednak na tym, że w rzeczywistości przemysłowej mierzymy wartości, których nie znamy. Tak więc **wartości prawdziwe** - X_0 nie są znane i nie ma możliwości wyznaczenia wartości Δ (*bezwzględny błąd pomiaru*). Dodatkowym utrudnieniem jest to, że realny system pomiarowy składa się z wielu czynników, z których najważniejsze to: **metoda pomiarowa, procedura pomiarowa, procedura wzorcowania, aparatura, operator, otoczenie**. Czynniki te nie są stabilne w czasie i powodują losową zmienność wyniku pomiaru, co daje się zauważyć w sytuacji, gdy kilkakrotnie mierzony jest ten sam parametr tego samego badanego obiektu (wyrobu lub procesu).

Wyniki pomiarów są więc zmiennymi losowymi, które należy analizować statystycznie i przedstawiać, podając ich miary położenia i rozproszenia. W najprostszym przypadku gdy rozkład zmienności wyników pomiarów można opisać normalnym rozkładem prawdopodobieństwa $N(\mu, \sigma)$, miarą położenia wszystkich możliwych do uzyskania wyników pomiarów jest wartość średnia - μ , a miarą rozproszenia wartość odchylenia standardowego - σ . Ponieważ w praktycznych działaniach możemy dysponować jedynie skończoną ilością wyników powtarzanych pomiarów (*serią wyników pomiarów*), to oszacowaniem miary ich położenia będzie wartość średnia z serii - \bar{X}_{mi} , a oszacowaniem ich miary rozproszenia będzie eksperymentalne odchylenie standardowe z serii, które można oznaczyć symbolem - s^* .

Na rysunku 1 przedstawiono graficzną interpretację statystycznego opisu sytuacji, w której kilkakrotnie powtarzane były pomiary tej samej wielkości o nieznaney wartości - X_0 .



Rys. 1. Graficzna interpretacja statystycznego opisu serii wyników pomiarów tej samej nieznaney wartości - X_0 tego samego obiektu.

W opisywanej sytuacji możliwe jest wykorzystanie do analizy, a następnie wnioskowania o stanie badanego obiektu (wyrobu lub procesu), liczbowych wartości: miary położenia, czyli wartości średniej z serii, oraz miary rozproszenia, czyli odchylenia standardowego eksperymentalnego. Wartość tego odchylenia pozwala także na oszacowanie maksymalnego rozrzutu wyników pomiaru, a więc przedziału wartości:

$$\left\{ \bar{X}_{mi} - 3s^*, \bar{X}_{mi} + 3s^* \right\}$$



w którym z prawdopodobieństwem 0,997 powinny mieścić się kolejne wyniki powtarzalnych pomiarów. Liczbowa wartość różnicy pomiędzy krańcami tego przedziału jest największą różnicą, jaka może wystąpić pomiędzy kolejno powtarzаныmi pomiarami tej samej wielkości tego samego obiektu.

Łatwo zauważyć, że w tej sytuacji, gdy wartość błędu bezwzględnego $\Delta = ?$ nie jest znana, ocena wiarygodności zbieranych danych pomiarowych nie jest w pełni możliwa.

Mimo tego oczywistego faktu w praktyce przemysłowej długi czas stosowano taką strategię, w której zakładano, że objęcie odpowiednim nadzorem metrologicznym wyposażenia pomiarowego [1], [2] jest wystarczającym warunkiem do tego, aby można było przyjąć, że decydująca o wiarygodności zbieranych danych wartość błędu bezwzględnego - Δ jest równa lub bliska zeru. W związku z tym błąd ten uważano za możliwy do pominięcia. Prawdopodobnie z tego powodu w większości komercyjnych pakietów oprogramowania zawierającego procedury tak zwanych „statystyk przemysłowych” umieszczano jedynie procedurę R&R, przeznaczoną do analizy powtarzalności i odtwarzalności wyników pomiarów. W stosunkowo niedawno wydanej wersji 6 programu *STATISTICA* w module statystyki przemysłowe jest wkomponowana tylko procedura analizy R&R (Powtarzalności i Odtwarzalności). Dopiero ostatnio wydana wersja 7 tego oprogramowania zawiera dodatkową i niezwykle potrzebną procedurę - analizy liniowości systemu pomiarowego. Ta nowa procedura pozwala na szacowanie wartości błędu bezwzględnego - Δ w całym użytecznym zakresie pomiarowym. Dzięki temu możliwa jest pełna ocena wiarygodności uzyskiwanych wyników pomiarów.

Powszechnie i od dawna stosowana procedura analizy R&R jest bardzo użyteczna w praktyce przemysłowej, ponieważ umożliwia analizę wpływu składowych przemysłowego systemu pomiarowego na zmienność uzyskiwanych wyników pomiarów. Procedura ta pozwala także na dokonanie ważnej oceny tego, w jakim stopniu zmienność wyników pomiarów zniekształca zaobserwowaną zmienność badanego procesu wytwarzania. Można także za jej pomocą ustalić, jaka część zmienności wyników pomiarów wprowadzana jest przez stosowaną aparaturę pomiarową, a jaka wynika z niestaranności operatora. Te niezwykle istotne dla procesu sterowania jakością informacje z pewnością zadecydowały o powszechności stosowania w przemyśle analizy R&R. Doszło nawet do tego, że często analiza R&R utożsamiana jest z analizą systemów pomiarowych – **MSA** [Measurement Systems Analysis], mimo tego że jest tylko jej częścią.

Istota analizy R&R (Analizy Powtarzalności i Odtwarzalności)

Istotą eksperymentu R&R [3] pozwalającego na wykonanie bardzo użytecznej w praktyce przemysłowej analizy jest powtarzanie sytuacji przedstawionej na rysunku 1, ale w takim układzie eksperymentu, w którym tę samą próbkę wybranych wyrobów reprezentującą zmienność badanego procesu wytwarzania mierzy kilkakrotnie kilku operatorów. Podczas wykonywania analizy R&R nie jest istotna znajomość nieznanych wartości błędów bezwzględnych $-\Delta$ wnoszonych przez poszczególne przyrządy pomiarowe, którymi dysponują operatorzy. Układ eksperymentu zapewnia jednak to, że błędy bezwzględne $-\Delta$,



mimo że nie są znane, zostaną uwzględnione w końcowym efekcie, jakim jest wyznaczenie wartości przedziału R&R będącego rezultatem łącznego wpływu wszystkich losowych i systematycznych błędów. Wyznaczenie wartości przedziału R&R pozwala obliczyć współczynniki zdolności pomiarowej – MCI [ang: Measurement Capability Index], których wartość decyduje o tym, czy badany system pomiarowy może być stosowany do realizacji danego zadania przemysłowego czy też nie powinien być stosowany, ponieważ dostarcza niewystarczająco wiarygodnych danych.

Przykład 1 (analiza R&R).

W celu ustalenia wpływu, jaki mają operatorzy oraz stosowane przez nich przyrządy pomiarowe na zmienność ocenianego procesu wytwarzania rezystorów, wykonano następujący eksperyment: wybrano ze strumienia wytwarzanych rezystorów 5 sztuk reprezentujących zmienność procesu wytwarzania. Każdy z 5 wybranych rezystorów był czterokrotnie mierzony przez każdego z 4 operatorów. Każdy z operatorów miał własny przyrząd pomiarowy tego samego typu i tej samej dokładności deklarowanej przez producenta przyrządu. Jedynie operator 4 dysponował multimetrem dokładniejszym i posiadającym 10 razy większą rozdzielczość. Zostało to celowo wkomponowane w przykład, aby można było przekonać się, czy nieznane wartości błędów bezwzględnych $-\Delta$ uwzględniane są w procedurze R&R oraz jaki jest ich wpływ na obliczane wskaźniki decydujące o ocenie przydatności badanego systemu pomiarowego.

Wyniki zapisano w odpowiednim arkuszu i wykonano analizy R&R, korzystając z procedury dostępnej w module *Statystyki przemysłowe i 6 sigma* programu *STATISTICA 7*.

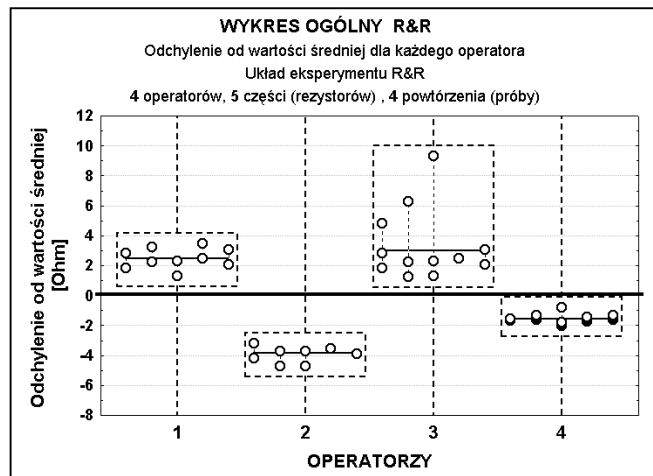
Tabela 1. Komplet danych pomiarowych zebranych w wykonanym eksperymencie R&R (w układzie: 4 operatorów, 5 części, 4 powtórzenia).

		1	2	3	4	5
		Rez_1	Rez_2	Rez_3	Rez_4	Rez_5
Oper. 1_M_830_1	Próba 1	1518,00	1532,00	1466,00	1514,00	1488,00
	Próba 2	1518,00	1531,00	1466,00	1513,00	1488,00
	Próba 3	1518,00	1531,00	1465,00	1513,00	1487,00
	Próba 4	1517,00	1531,00	1466,00	1513,00	1487,00
Oper. 2_M_830BUZ	Próba 1	1511,00	1525,00	1459,00	1507,00	1481,00
	Próba 2	1511,00	1525,00	1460,00	1507,00	1481,00
	Próba 3	1511,00	1524,00	1460,00	1507,00	1481,00
	Próba 4	1512,00	1525,00	1460,00	1507,00	1481,00
Oper. 3_M_830_2	Próba 1	1518,00	1530,00	1473,00	1513,00	1487,00
	Próba 2	1520,00	1531,00	1465,00	1513,00	1488,00
	Próba 3	1517,00	1535,00	1466,00	1513,00	1488,00
	Próba 4	1518,00	1531,00	1465,00	1513,00	1488,00
Oper. 4_M4650CR	Próba 1	1513,60	1527,30	1462,90	1508,80	1483,30
	Próba 2	1513,50	1527,20	1461,80	1509,00	1483,50
	Próba 3	1513,30	1527,10	1461,70	1508,90	1483,40
	Próba 4	1513,50	1527,40	1461,90	1509,10	1483,60

Zebrane dane przedstawiono w tabeli 1, która stanowi bezpośredni obraz danych wpisanych do arkusza R&R programu *STATISTICA 7*. Program umożliwia zastosowanie innego układu wpisywania danych, bardziej zbliżonego do standardowego arkusza danych stosowanego podczas wykonywania innych typowych procedur statystycznych. Nie ma to jednak żadnego wpływu na uzyskiwane wyniki analizy R&R.

Procedura analizy R&R realizowana w programie *STATISTICA 7*, podobnie jak w poprzednich wersjach tego programu, wyposażona jest w możliwość wykorzystania dwóch metod: metody rozstępów oraz metody analizy wariancji. Pierwsza z tych metod jest łatwiejsza do wykonania „ręcznego” i była przez długi czas wykorzystywana w przemyśle. Druga jest bardziej skomplikowana i raczej przeznaczona do komputerowej realizacji. Najważniejsze jest jednak to, że istnieje możliwość szybkiego porównywania wyników uzyskanych obydwoma metodami oraz wyliczonych na ich podstawie współczynników zdolności pomiarowej ocenianych systemów. Autorzy programu *STATISTICA* wyposażyli procedurę w bogaty zestaw graficznych prezentacji wyników eksperymentu R&R, co pozwala na bardziej wnikliwe analizy wspomagające decyzje o dopuszczaniu systemów pomiarowych do przemysłowych zastosowań lub o kierowaniu poszczególnych operatorów na specjalistyczne szkolenia, a w skrajnych przypadkach na zmianę miejsca ich zatrudnienia i zastąpienia operatorami gwarantującymi staranne wykonywanie pomiarów.

Najważniejszym graficznym rezultatem analizy R&R jest ogólny wykres zmienności wyników przedstawiający zgrupowane wartości odchyłeń każdego wyniku od wypadkowej wartości średniej. Odchylenia zgrupowane są odrębnie dla każdego operatora, ale z uwzględnieniem każdej zmierzonej „części” (w przykładzie 1 - każdego mierzonego rezystora). Na rysunku 2 przedstawiono ten ogólny wykres analizy R&R wykonany w programie *STATISTICA 7* dla danych zebranych w tabeli 1.



Rys. 2. Ogólny wykres analizy R&R (odchylenia od średniej w funkcji operatorów) wykonany w programie *STATISTICA 7* dla danych zebranych w tabeli 1.

Z wykresu można wywnioskować, że każdy z przyrządów wnosi nieznaną co do wartości błąd systematyczny - Δ , ale wyraźnie widać, że przyrządy operatorów 1 i 3 zawyżają wyniki pomiarów, natomiast przyrządy operatorów 2 i 4 zaniżają wyniki pomiarów. Można też zauważyć, że największy rozrzut wyników pomiarów wystąpił u operatora 3, mimo że miał przyrząd pomiarowy tej samej klasy co operatorzy 1 i 2. Można więc podejrzewać, że



operator 3 wykonuje pomiary tych samych rezystorów najmniej starannie i powinien przejść dodatkowe szkolenie.

Najistotniejszym rezultatem analizy R&R jest wyznaczenie wskaźników zdolności pomiarowej **MCI** [ang: *Measurement Capability Index*], które obliczane są na dwa sposoby:

1. jako % udział łącznej zmienności R&R wprowadzanej przez system pomiarowy w wyznaczonej zmienności badanego procesu:

$$MCI_1 = \frac{R \& R}{2 \times 3 \sigma_{PROCESU}} * 100\%$$

2. jako % udział łącznej zmienności R&R wprowadzanej przez system pomiarowy w strefie tolerancji projektowej wytwarzanego wyrobu:

$$MCI_2 = \frac{R \& R}{T} * 100\%$$

gdzie: **T** - strefa tolerancji projektowej wytwarzanego wyrobu.

Dla przykładu 1. **T = 150 Ω**, ponieważ wytwarzane rezystory mają nominalną wartość 1500 Ω, a ich granice tolerancji projektowej określone są jako +/- 5% wartości nominalnej.

W tabeli 2 przedstawiono rezultaty obliczeń metodą rozstępów obydwu rodzajów wskaźników **MCI** wyznaczonych dla danych przedstawionych w tabeli 1.

Tabela. 2. Rezultaty analizy R&R wykonanej metodą rozstępów w programie *STATISTICA 7* dla danych zebranych w tabeli 1.

Obliczenia metodą rozstępów	Wyznaczone wartości	% Zmienności procesu	Ogólny % udział	% Strefy Tolerancji
Powtarzalność (zmienność aparatury)	3,99	2,52	0,06	2,66
Odtwarzalność (zmienność od operatora)	18,33	11,56	1,34	12,22
Zmienność mierzonych części (rezystorów)	157,36	99,30	98,60	104,91
Łączny przedział (R&R) (0,997)	18,76	11,84	1,40	12,50
Ogólna zmienność procesu	158,48	100,00	100,00	105,65
Strefa tolerancji projektowej	150,00			100,00

MCI₁

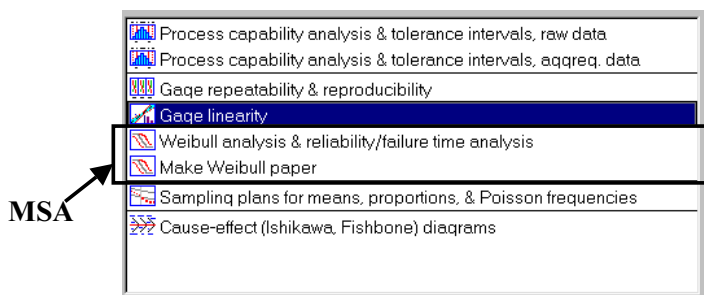
MCI₂

Podobny zestaw wyników można uzyskać, wykorzystując do obliczeń metodę analizy wariancji. Z przeprowadzonych metodą analizy wariancji obliczeń dla danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że współczynnik **MCI₁ = 13,20%**, natomiast współczynnik **MCI₂ = 13,87%**. Wartości te są zbliżone do odpowiednich wartości wskazanych strzałkami w tabeli 2 i wyznaczonych metodą rozstępów.

Metoda analizy wariancji ze statystycznego punktu widzenia jest metodą bardziej zaawansowaną. Pozwala ona na uzyskanie z tego samego eksperymentu większej ilości informacji. Umożliwia między innymi szacowanie przedziałów ufności, w których znajdują się wskaźniki wyznaczone w analizie R&R. Dzięki temu możliwe jest rozpatrywanie najbardziej optymistycznej i najbardziej pesymistycznej sytuacji, jaka może zaistnieć podczas stosowania systemu pomiarowego w warunkach przemysłowych.

Stosowanie analizy R&R w typowych sytuacjach jest wystarczającym narzędziem do oceny przydatności przemysłowych systemów pomiarowych. Taką typową sytuacją jest na przykład wyznaczanie wskaźników zdolności procesu wytwarzania. Jednak dla wielu innych zadań realizowanych w procesach sterowania jakością, takich na przykład jak ocena zgodności właściwości wyrobu lub procesu z wymaganiami specyfikacji technicznej w pobliżu granic tolerancji projektowej, wykonanie samej analizy R&R nie jest wystarczające.

Z tego też powodu konieczne jest w warunkach przemysłowych prowadzenie pełnej analizy MSA, obejmującej także analizę liniowości odchyłeń eksperymentalnych. Uwzględniając tego rodzaju potrzeby, w programie *STATISTICA 7* w module *Statystyki przemysłowe i 6 sigma/Analiza Procesu* wprowadzono procedurę **analizy liniowości** odchyłeń eksperymentalnych [ang: *Bias*] jako ważne z metrologicznego punktu widzenia uzupełnienie analizy R&R. Na rysunku 3 przedstawiono okno sterowania modulem *Statystyki przemysłowe i 6 sigma/Analiza Procesu* programu *STATISTICA 7*, zawierające przyciski uruchamiające obydwie procedury niezbędne do wykonywania pełnej analizy MSA.



Rys. 3. Okno modułu *Statystyki przemysłowe i 6 sigma/Analiza Procesu* zawierające przyciski dwóch procedur pozwalających na wykonanie pełnej analizy MSA za pomocą programu *STATISTICA 7*.

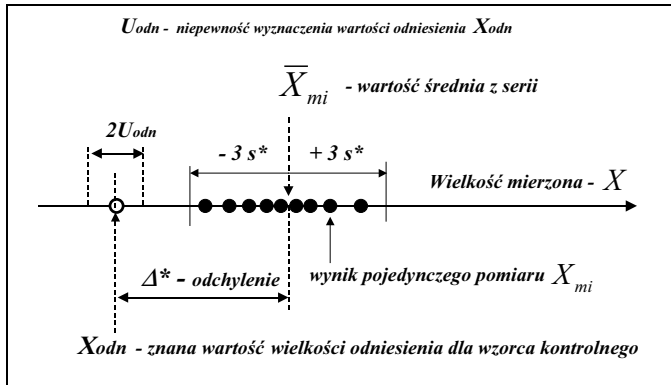
Fakt wprowadzenia tej procedury do programu *STATISTICA 7* może być przyjęty jako potwierdzenie rosnącego w przemyśle zapotrzebowania na jej stosowanie w praktyce. Jest to niewątpliwie rezultat nieustannego wpływu, jaki w dziedzinie MSA odgrywa cieszący się dużym uznaniem specjalistów podręcznik MSA [4], wydawany i okresowo nowelizowany przez grupę roboczą AIAG pracującą z inicjatywy i na rzecz trzech wielkich koncernów samochodowych, tzw. „wielkiej trójki”: Daimler-Chrysler Corporation, Ford Motor Company i General Motors Corporation.

Istota analizy liniowości (Analizy liniowości odchyłeń [ang: *Bias*])

W analizie liniowości wykorzystuje się informacje o stosowanym systemie pomiarowym, jakie można uzyskać, realizując eksperyment odmienny od tego, który wykorzystywany jest w analizie R&R. Istota tego eksperymentu polega na wielokrotnym wykonywaniu

pomiarów kilku wzorców kontrolnych o znanych (z określoną niepewnością) wartościach odniesienia $-X_{odn}$. Wzorce kontrolne powinny być tak dobrane, aby ich wartości odniesienia pokrywały w równomiernych odstępach zakres nominalny ocenianego systemu pomiarowego lub zakres użyteczny, na przykład taki, który obejmuje granice strefy tolerancji projektowej ocenianego wyrobu.

Na rysunku 4 przedstawiono graficzną interpretację statystycznego opisu serii wyników pomiarów uzyskanych w tego rodzaju eksperymencie dla jednego z wzorców kontrolnych w jednym punkcie badanego zakresu pomiarowego.



Rys. 4. Graficzna interpretacja statystycznego opisu serii wyników pomiarów znanej wartości odniesienia X_{odn} wzorca kontrolnego.

Mierząc każdy kontrolny wzorec kilkakrotnie, uzyskuje się serię wyników pomiarów pozwalającą na obliczenie wartości odchylenia eksperymentalnego - Δ^* [ang: *Bias*] ponieważ znane są (z określoną niepewnością - U) wartości odniesienia - X_{odn} .

$$\Delta_i^* \text{ [ang: Bias]} = X_{mi} - X_{odn}$$

Dysponując dla każdego zastosowanego w eksperymencie wzorca kontrolnego serią wartości - Δ_{ik}^* , można zastosować analizę regresji i badać liniowość wyznaczonych wartości odchyżeń eksperymentalnych w badanym zakresie wskazań przemysłowego systemu pomiarowego.

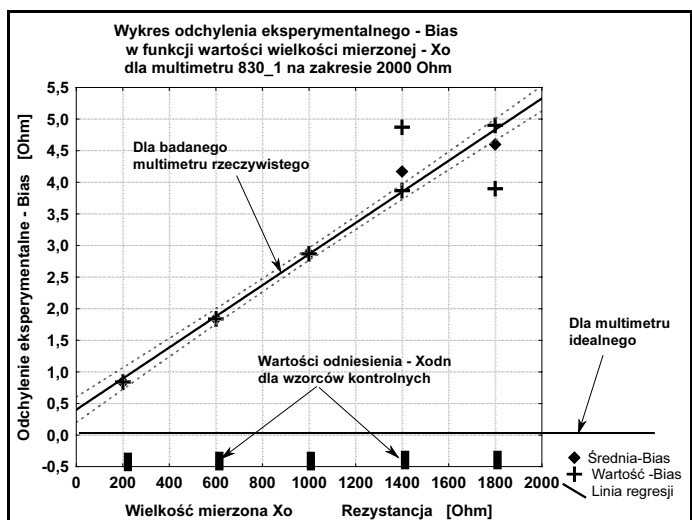
Przykład 2 (analiza liniowości odchyżeń [ang: Bias])

W celu zbadania wartości oraz liniowości odchyżeń eksperymentalnych multimetrów wykorzystanych w przykładzie 1 wybrano 5 kontrolnych wzorców rezystancji o wartościach równomiernie pokrywających zakres nominalny 2000[Ω] i wykonano serię pomiarów po 10 powtórzeń dla każdego wzorca kontrolnego i dla każdego badanego multimetru. Wartości odniesienia - X_{odn} wyznaczono z niepewnością $U = 100\text{ppm}$. W tabeli 3 przedstawiono fragment zebranych wyników pomiarów.

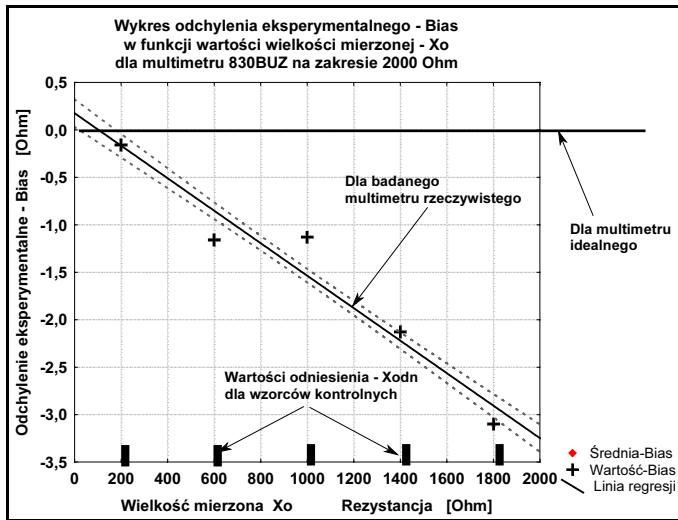
Tabela 3. Fragment zestawienia wyników pomiarów uzyskanych w eksperymencie wykonanym podczas realizacji procedury - analiza liniowości odchyień - *Bias* w programie *STATISTICA 7*.

Date: MSA_LINIOWOSC_MUL_1_2_3_4* (6v by 50c)						
	1	2	3	4	5	6
	NR Wzorca Kontrolnego	Wartość Odniesienia	Wskazania multimetru 830_1	Wskazania multimetru 830BUZ	Wskazania multimetru 830_2	Wskazania multimetru M-4650CR
5	1	200,1600000	201	200	201	200,3
6	1	200,1600000	201	200	201	200,2
7	1	200,1600000	201	200	201	200,3
8	1	200,1600000	201	200	201	200,2
9	1	200,1600000	201	200	201	200,3
10	1	200,1600000	201	200	201	200,2
11	2	600,1600000	602	599	602	600,1
12	2	600,1600000	602	599	602	600,2
13	2	600,1600000	602	599	602	600,1
14	2	600,1600000	602	599	602	600,2
15	2	600,1600000	602	599	602	600,1
16	2	600,1600000	602	599	602	600,2
17	2	600,1600000	602	599	602	600,1
18	2	600,1600000	602	599	602	600,2
19	2	600,1600000	602	599	602	600,1
20	2	600,1600000	602	599	602	600,2

Korzystając z procedury badania liniowości dostępnej w najnowszej wersji programu *STATISTICA 7*, wykonano analizę dla danych, których fragment przedstawia tabela 3. Główne wyniki tej analizy przedstawione są na rysunkach 5 i 6. Dla podkreślenia wyraźnych różnic pomiędzy zastosowanymi w przykładzie 1 multimetrami na rysunkach zaprezentowano wykresy odchylenia eksperymentalnego - *Bias* w funkcji wartości mierzonej wielkości - X_0 dla multimetru, z którego korzystał operator 1 (rys. 5) oraz dla multimetru, z którego korzystał operator 2.



Rys. 5. Wykres odchylenia eksperymentalnego - Δ^* [ang: *Bias*] w funkcji wartości wielkości mierzonej - X_0 dla multimetru 830-1 wykorzystywanego w przykładzie 1 przez operatora 1 (wyznaczona prosta regresji $\Delta^* = 0,4011 + 0,0025 \cdot X_0$).



Rys. 6. Wykres odchylenia eksperymentalnego - Δ^* [ang: *Bias*] w funkcji wartości wielkości mierzonej - X_o dla multimetru 830BUZ wykorzystywanego w przykładzie 1 przez operatora 2 (wyznaczona prosta regresji $\Delta^* = 0,1768 - 0,0017 \cdot X_o$).

Szczegółowa analiza rysunków 5 i 6 oraz rysunku 2 pozwala stwierdzić, że procedura R&R uwzględnia odchylenia – Δ , jakie wprowadzają poszczególne multimetry wykorzystywane przez poszczególnych operatorów. Wykazuje także ogólny kierunek tych przesunięć, ale nie można na tej podstawie ustalić ich bezwzględnej wartości. Procedura analizy liniowości dostępna w nowej wersji programu *STATISTICA 7* pozwala wyznaczyć regresję odchylenia eksperymentalnego: $\Delta^* = a + b \cdot X_o$ dla całego zakresu stosowanego systemu pomiarowego. Dysponując tą zależnością, można zastosować korektę wyników pomiarów i dla tego samego systemu pomiarowego ich lepszą wiarygodność.

Powtarzając eksperyment opisany w przykładzie 2, w odpowiednich odstępach czasu można zebrać dane pozwalające na prowadzenie karty kontrolnej X-R dla wartości odchylen eksperymentalnych - Δ_{ik}^* i uzyskiwać w ten sposób **ocenę stabilności** systemu pomiarowego, stanowiącą istotny składnik pełnej analizy MSA.

Interesujące i pouczające wyniki można uzyskać dla przykładu 1, dokonując korekty wszystkich wyników pomiarów przedstawionych w tabeli 1, korzystając z prostych regresji wyznaczonych procedurą „analiza liniowości” dla każdego multimetru zastosowanego w przykładzie 1. W tabeli 4 przedstawiono proste regresji odchylen eksperymentalnych wyznaczonych dla poszczególnych multimetrów użytych w przykładzie 1.

Tabela 4. Proste regresji odchyłeń eksperymentalnych wyznaczone dla poszczególnych multimetrów.

Operator	Multimetr	Wyznaczona prosta regresji $\Delta^* = a + b \cdot X_o$
1	830-1	$0,4011 + 0,0025 \cdot X_o$
2	830BUZ	$0,1768 - 0,0017 \cdot X_o$
3	830-2	$0,6011 + 0,0021 \cdot X_o$
5	MC-4650CR	$0,0675 - 0,00005 \cdot X_o$

Uzyskany wynik końcowy będzie rezultatem pełnej analizy MSA!!!

Ogólne kryteria akceptacji systemów pomiarowych

Najbardziej ogólnym i powszechnie zalecanym [3],[4] kryterium akceptacji przemysłowego systemu pomiarowego jest porównanie wyznaczonych podczas analizy R&R wskaźników zdolności systemu pomiarowego MCI_i z dopuszczalną wartością ustaloną dla danego zadania, do realizacji którego ma być wykorzystywany oceniany system pomiarowy. Dla typowego zadania, jakim jest wyznaczanie wskaźników zdolności procesu wytwarzania, system pomiarowy może być zaakceptowany, jeżeli wyznaczone za pomocą analizy R&R wskaźniki spełniają następujące kryterium:

$$MCI \leq 20\%$$

Wskaźniki MCI wyznaczone w przykładzie 1 spełniają to kryterium.

To samo kryterium można zastosować, korzystając ze wskaźnika MCI_3 zaproponowanego w publikacji [5]. Może okazać się to szczególnie użyteczne na etapie wyboru i przygotowania zakupu nowego systemu pomiarowego.

Podsumowanie

Wyniki uzyskane podczas realizacji eksperymentów wykonanych i opisanych jako przykład 1 i przykład 2 potwierdzają korzyści, jakie można uzyskać, stosując pełną analizę MSA. Analiza taka pozwala bowiem na uwzględnienie podczas weryfikacji systemu pomiarowego czynników wpływających na błędy losowe (rozrzut wyników) oraz tych wpływających na błędy systematyczne (odchylenia wyników). Stosowanie pełnej analizy MSA ułatwiają procedury dostępne w programie *STATISTICA 7*, takie jak:

- ◆ analiza R&R,
- ◆ analiza liniowości,
- ◆ karty kontrolne.

Oceniając systemy pomiarowe na podstawie wyników pełnej analizy MSA, należy jednak zwrócić szczególną uwagę na przyjmowane kryteria akceptacji systemów. Należy pamiętać o tym, że powszechnie znane i zalecane kryterium: $MCI \leq 20\%$ jest najbardziej słuszne dla



typowych sytuacji, takich jak wyznaczanie wskaźników zdolności procesu wytwarzania. Matematyczne uzasadnienie tego kryterium można znaleźć w [4]. W każdym innym przypadku należy sprawdzić słuszność korzystania z tego powszechnie stosowanego kryterium. Jeżeli okaże się, że kryterium tego nie można stosować, to należy opracować inne najlepiej odpowiadające sytuacji, w której wykorzystywany jest system pomiarowy. Kryterium takie powinno uwzględniać cel, dla którego zbierane są dane pomiarowe (na przykład: odbiór jakościowy partii wytwarzanego wyrobu, ocena zgodności wyrobu z wymaganiami specyfikacji technicznej itp.) oraz dopuszczalny poziom prawdopodobieństwa popełnienia błędów kwalifikacji. Podejście takie ma istotne znaczenie dla wszystkich firm stosujących i utrzymujących certyfikowane systemy jakości zgodne z wymaganiami norm ISO-9001:2000 [6]. Postulowana przez te normy zasada podejmowania decyzji opartej na faktach może być bowiem zrealizowana w praktyce tylko w przypadku, gdy w wystarczający sposób zostanie uzyskany i utrzymany status potwierdzenia metrologicznego dla wszystkich systemów pomiarowych stosowanych w danej firmie. Pod wpływem takiego podejścia dokonano w skali międzynarodowej nowelizacji norm [1] i [2] i wydano jedną spójną normę [7]. Norma ta przedstawia warunki i metodę uzyskiwania potwierdzenia metrologicznego systemu pomiarowego, który ma być stosowany w systemie sterowania jakością. Z normy tej jasno wynika, że nie jest wystarczające określenie parametrów metrologicznych systemu pomiarowego, nawet gdy do tego celu zastosowana zostanie pełna analiza MSA. Konieczna jest także weryfikacja tych parametrów w odniesieniu do konkretnego zadania, podczas realizacji którego dane pomiarowe są zbierane i analizowane.

Literatura

1. PN-ISO 10012-1 (1992) Wymagania dotyczące zapewnienia jakości wyposażenia pomiarowego. Cz. 1 - System potwierdzania metrologicznego wyposażenia pomiarowego (tłumaczenie na j. polski - PKN - 1998).
2. PN-ISO 10012-2 (1997) *Wymagania dotyczące zapewnienia jakości wyposażenia pomiarowego. Cz. 2 - Wytyczne do sterowania procesami pomiarowymi (tłumaczenie na j. polski - PKN - 2002).*
3. Larry B. Barrentine, *Concept for R&R Studies. Second Edition.* ASQ Quality Press (2003).
4. *Measurement Systems Analysis MSA-Third Edition.* (2002) - Reference manual. AIAG-Work Group. Daimler-Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation.
5. R. Tabisz, (2003), *The Capability Evaluating of Industrial Measurement Systems*, Proceedings of the XVII IMEKO World Congress. Dubrovnik, Croatia, June 2003 pp. 2185-2188.
6. ISO-9001 (2000) Systemy zarządzania jakością. Wymagania. (tłumaczenie na j. polski - PKN - 2001).
7. ISO-10012 (2003) Measurement management systems - Requirements for measurement processes and measuring equipment. (First edition - 2003-04-15).