

WZORCOWANIE PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH

1. CEL ĆWICZENIA

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie się z procedurą wzorcowania wybranych przyrządów do pomiaru podstawowych wielkości elektrycznych. Szczególną uwagę przywiązano do wzorcowania multimetru cyfrowego, będącego obecnie najbardziej popularnym i wszechstronnym przyrządem do pomiarów wielkości elektrycznych.

2. WPROWADZENIE

Zapewnienie wiarygodności wskazań dowolnego narzędzia pomiarowego wymaga porównania wyników pomiarów, wykonanych tym przyrządem z pewną wartością wzorcową. Wielkością wzorcową może być np. wartość odczytana z przyrządu o odpowiednio większej dokładności. Takie porównania (lub też odniesienia) dokonywane są na różnych szczeblach dokładności (niepewności), poczynając od najmniej dokładnych przyrządów użytkowych, przez przyrządy o dużej dokładności, aż po wzorce utrzymywane w laboratoriach akredytowanych i Krajowych Instytutach Metrologicznych¹. Porównania te służą zachowaniu tzw. spójności pomiarowej. Podstawą zapewnienia spójności pomiarowej jest wzorcowanie urządzenia pomiarowego przez kompetentne organizacje, takie jak Krajowe Instytuty Metrologiczne, Instytuty Desygnowane czy akredytowane laboratoria wzorcujące.

Wzorcowanie (lub kalibracja) to proces porównania wartości wielkości zmierzonej przez badany przyrząd (lub obiekt, np. wzorzec) z wartością wzorcową o odpowiedniej dokładności. Międzynarodowy słownik metrologiczny definiuje też wzorcowanie jako działanie, które w określonych warunkach, ustala zależność pomiędzy odwzorowywanymi przez wzorzec pomiarowy wartościami wielkości wraz z ich niepewnościami pomiaru, a odpowiadającymi im wskazaniami obiektu badanego wraz z ich niepewnościami. Wzorcowania nie należy mylić z adiustacją układu pomiarowego, potocznie nazywaną „samowzorcowaniem” (*ang. self-calibration, auto-calibration*). Funkcja taka jest czynnością realizowaną programowo i obecnie jest dostępna w wielu przyrządach pomiarowych.

Adiustacja (z *ang. adjust- dostroić, doregulować*) to zbiór czynności wykonanych przy układzie pomiarowym zapewniających, że wartościom wielkości, które mają być mierzone, odpowiadają prawidłowe wskazania. Wśród typów adiustacji układu pomiarowego wymienić należy: adiustację zera układu pomiarowego, adiustację przesunięcia i adiustację zakresu (czasem zwaną adiustacją wzmocnienia).

Wzorcowania nie należy mylić również z legalizacją. **Legalizacja** przyrządu pomiarowego to procedura oceny zgodności, w wyniku której następuje naniesienie tzw. cechy legalizacyjnej albo wydanie świadectwa legalizacji. Można ją zdefiniować również jako zespół czynności obejmujących sprawdzenie, stwierdzenie i poświadczenie dowodem legalizacji, że przyrząd spełnia wymagania. Legalizacji podlegają tylko wybrane grupy wyposażenia pomiarowego używane m.in. w obrocie publicznym do wyznaczania ilości oraz

¹ Krajowy Instytut Metrologiczny (*ang. NMI – National Metrology Institute*) to instytut utrzymujący wzorce państwowe różnych wielkości fizycznych. W Polsce taką instytucją jest Główny Urząd Miar w Warszawie

jakości rzeczy lub usług w celu uzyskania prawidłowej podstawy do rozliczeń (np. wodomierz, gazomierz, taksometr, licznik energii).

Potwierdzeniem przeprowadzonego wzorcowania jest świadectwo wzorcowania. Świadectwa wzorcowania wydawane przez akredytowane laboratoria wzorcujące są dowodem zachowania spójności pomiarowej pod warunkiem, że wzorcowane urządzenia pomiarowe i wielkości zawarte są w zakresie akredytacji. Świadectwa wzorcowania wydane przez NMI są wystarczającym potwierdzeniem spójności pomiarowej [1]. Wiele laboratoriów i zakładów wykonuje tzw. wzorcowanie wewnętrzne, czyli takie w którym wykorzystuje się własne wzorce odniesienia. Dla wzorcowań wewnętrznych akredytacja nie jest konieczna. Podstawą spójności pomiarowej w takim przypadku jest wzorcowanie własnych wzorców pomiarowych odniesienia w laboratoriach akredytowanych lub Krajowych Instytutach Metrologicznych.

Obowiązek okresowego sprawdzania przyrządów pomiarowych ciąży na użytkowniku. Częstotliwość (tzw. czasookres) wzorcowania jest ustalana przez użytkownika i zależy od rodzaju przyrządu pomiarowego, jego przeznaczenia i warunków pracy. Dla przyrządów podlegających legalizacji czasookresy regulują przepisy krajowe. Dokumenty sprawdzania tracą swoją ważność w momencie zauważenia nieprawidłowej pracy przyrządu pomiarowego.

3. SPRAWDZANIE PRZYRZĄDÓW ANALOGOWYCH

Cechą charakteryzującą analogowe przyrządy do pomiaru napięcia i prądu (mierniki napięcia i prądu, mierniki uniwersalne, multimetry) jest ciągłość wskazania w funkcji wartości wielkości mierzonej. Konstrukcja takich mierników zgodnie z przepisami metrologicznymi powinna spełniać szereg wymagań szczegółowo opisanych w [2]. Ważniejsze z tych wymagań to:

- ze względu na zasadę działania mierniki powinny być wykonane jako magnetoelektryczne, magnetoelektryczne prostownikowe, elektromagnetyczne, elektrodynamiczne, ferrodynamiczne, indukcyjne lub elektrostatyczne,
- wskazanie miernika uzyskuje się za pomocą podziałki i wskazówki, która powinna poruszać się płynnie zarówno przy zwiększaniu, jak i przy zmniejszaniu wartości wielkości mierzonej,
- elementy regulacyjne i przełączające powinny umożliwiać niezawodne wybranie funkcji i zakresu pomiarowego, a zastosowane złącza, gniazda i zaciski pozwalać na dołączenie typowych przewodów,
- elementy służące do adiustacji powinny być niedostępne po naniesieniu cech zabezpieczających,
- oznaczenie miernika powinno być trwałe, czytelne i zawierać co najmniej : nazwę i typ miernika, klasę dokładności, symbole wielkości mierzonych, nazwę i symbol wytwórcy, numer fabryczny, napisy i symbole graficzne identyfikujące elementy służące do obsługi, oznaczenia i symbole ostrzegawcze.

Klasa dokładności miernika powinna być dobrana z następującego szeregu: 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 i 5. Przyrządy uniwersalne i multimetry mogą mieć różne klasy dla różnych zakresów lub funkcji.

Podstawowy błąd względny miernika analogowego δ definiuje się wg zależności:

$$\delta = \frac{(W_w - W_r)}{W_m} \quad (1)$$

gdzie:

W_w - wartość wskazywana wielkości mierzonej

W_r - wartość rzeczywista wielkości mierzonej (na podstawie miernika stosowanego do sprawdzania lub wartości ustalonej kalibratorem),

W_m - górna granica zakresu pomiarowego.

Dla sprawnego miernika powinien być spełniony warunek:

$$|\delta| \leq k \quad (2)$$

gdzie k oznacza klasę dokładności miernika.

Zastosowana do sprawdzania miernika metoda pomiarowa i stosowane do sprawdzania przyrządy pomiarowe powinny zapewniać co najmniej trzykrotnie mniejszą niepewnością wyniku pomiaru w stosunku do błędu podstawowego sprawdzanego miernika. Za źródła niepewności pomiaru uważa się: błąd podstawowy przyrządu pomiarowego, stosowanego do sprawdzania i niepowtarzalność wyników pomiaru. Rozdzielczość wskazań przyrządu pomiarowego (wzorcowego), stosowanego do sprawdzania, powinna być co najmniej pięciokrotnie lepsza od rozdzielczości miernika sprawdzanego.

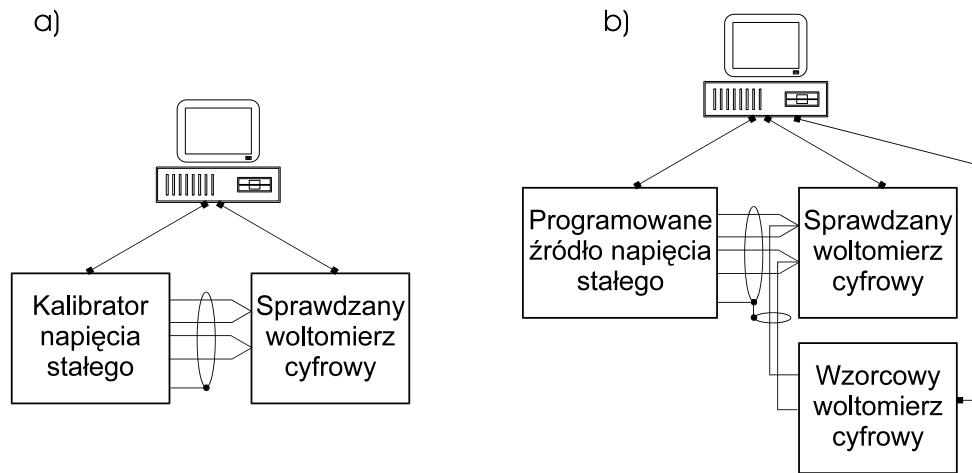
Błędy przyrządów analogowych należy wyznaczyć dla wartości wielkości mierzonych odpowiadających ocyfrowanym kreskom podziałki dla wszystkich zakresów pomiarowych. Zaleca się sprawdzanie mierników w temperaturze $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ i przy wilgotności $(40 \div 60)\%$, odpowiednio prądem lub napięciem stałym lub sinusoidalnie przemiennym o wartości napięcia nie przekraczającej 1 kV. Szczegółowe wymagania odnośnie napięcia zasilającego (t.j. niestabilność, tętnienia przy napięciu stałym, zmiany częstotliwości) podano w [2].

4. WZORCOWANIE MULTIMETRÓW CYFROWYCH

4.1. Sposób postępowania

Pierwszym etapem przed przystąpieniem do wzorcowania multimetru jest sprawdzenie czy przyrząd nie ma widocznych uszkodzeń, a także sprawdzenie działania przełącznika zakresów i wyświetlacza. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości, należy odstąpić od dalszego sprawdzania przyrządu. Wzorcowanie polega na wyznaczeniu błędów podstawowych przyrządu. Zaleca się przeprowadzić sprawdzenie w temperaturze $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ i przy wilgotności $(45 \div 75)\%$ [3]. Metodę pomiaru błędów podstawowych oraz zastosowane przyrządy należy tak dobrać, aby niepewność rozszerzona wyniku pomiaru była co najmniej trzykrotnie mniejsza od błędu podstawowego przyrządu sprawdzanego. Niepewność pomiaru błędów podstawowych zdeterminowana jest przede wszystkim niepewnością przyrządu wzorcowego (jest to niepewność typu B) oraz powtarzalnością wyników pomiaru (niepewność typu A). Rozdzielczość wskazań przyrządów pomiarowych, służących do sprawdzania powinno być co najmniej pięciokrotnie lepsza od rozdzielczości przyrządu sprawdzanego. Współcześnie najczęściej stosowanym przyrządem wzorcowym do sprawdzania multimetrów jest tzw. **kalibrator** wielofunkcyjny. Kalibratory wytwarzają wzorcowe napięcie i prąd stały i przemienny oraz wzorcową rezystancję. Starsze konstrukcje posiadały tylko jedną funkcję (np. kalibratory napięcia stałego wytwarzały tylko wzorcowe napięcie stałe).

Pomiar błędów podstawowych cyfrowego woltomierza napięcia stałego może być zrealizowany w układzie przedstawionym na rys. 1a. W razie braku kalibratora można zastosować układ z rys.1b. Programowane źródło napięcia stałego powinno charakteryzować się odpowiednio dużą stabilnością krótkoterminową napięcia wyjściowego.



Rys. 1 Schemat układu do wyznaczenia błędów podstawowych woltomierza napięcia stałego
a) z wykorzystaniem kalibratora napięcia stałego (zalecane), b) z wykorzystaniem woltomierza wzorcowego

Jeśli w instrukcji przyrządu pomiarowego nie określono inaczej, należy włączyć zasilanie przyrządu przynajmniej 0,5 godziny przed pomiarem błędów podstawowych (np. niektóre wysokiej klasy multimetry należy włączyć do sieci 4 godziny przed pomiarem).

Błędy podstawowe przyrządu wyznacza się w określonych punktach kontrolnych, nastawianych na wyświetlaczu przyrządu sprawdzanego. Błąd podstawowy jest różnicą między nastawą urządzenia wskazującego a nastawą przyrządu wzorcowego (np. kalibratora). Jeśli sprawdzany przyrząd oraz aparatura zastosowana do jego sprawdzania są przyrządami programowanymi, to zaleca się zbudowanie i oprogramowanie systemu pomiarowego, który umożliwia zautomatyzowanie procedury wyznaczenia błędów podstawowych.

W zależności od możliwości przyrządu wzorcowanego i od wymagań klienta możliwe są trzy następujące sposoby postępowania przy wzorcowaniu multimetrów:

- 1) wzorcowanie wstępne przed adiustacją → adiustacja → wzorcowanie końcowe,
- 2) adiustacja → wzorcowanie,
- 3) samo wzorcowanie.

W wielu sytuacjach praktycznych laboratorium wzorcuje nie ma możliwości wykonania adiustacji sprawdzanego multimetru zatem możliwy jest tylko wariant nr 3.

4.2. Punkty pomiarowe

Zgodnie z zaleceniami europejskiej organizacji metrologicznej EURAMET błędy podstawowe multimetrów wyznacza się dla następujących nastaw (czyli punktów pomiarowych): [4]:

Tabela 1. Punkty pomiarowe dla multimetrów o rozdzielczości poniżej 4 i $\frac{3}{4}$ cyfry (maksymalna wartość na wyświetlaczu równa 39 999)

Funkcja multimetru	Punkty pomiarowe ²
Napięcie stałe	0 ³ /+10%, ±90% na wszystkich zakresach ±10%, +50%, ±90% na jednym wybranym środkowym zakresie
Prąd stały	0 ³ /+10%, +90% na wszystkich zakresach +10%, +50% ⁴ , ±90% na jednym wybranym środkowym zakresie
Rezystancja przy prądzie stałym	0 ³ /+10%, +90% na wszystkich zakresach
Napięcie przemienne (również AC+DC)	10% 50Hz lub 1kHz dla najmniejszego zakresu 10%, 50% i 90% dla wybranego środkowego zakresu 90% 20 Hz, 50 Hz, 1 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz na wszystkich zakresach
Prąd przemienny	10% 50Hz lub 1kHz dla najmniejszego zakresu 90% 20 Hz, 50 Hz, 1 kHz, 5 kHz na wszystkich zakresach
Inne wielkości (np. częstotliwość, pojemność)	0 ³ /10%, 90% na wszystkich zakresach

Tabela 2. Punkty pomiarowe dla multimetrów o rozdzielczości powyżej 4 i $\frac{3}{4}$ cyfry

Funkcja multimetru	Punkty pomiarowe ²
Napięcie stałe	0 ³ /+10%, ±90% na wszystkich zakresach ±10%, +50%, ±90% na jednym wybranym środkowym zakresie
Prąd stały	0 ³ , +90% na wszystkich zakresach +10%, +50% ⁴ , ±90% na jednym wybranym środkowym zakresie
Rezystancja przy prądzie stałym	0 ³ /+10%, +90% na wszystkich zakresach
Napięcie przemienne (również AC+DC)	10% 50 Hz lub 1 kHz dla najmniejszego zakresu 10%, 50% i 90% 50 Hz i 1 kHz dla wybranego środkowego zakresu 90% 20 Hz, 50 Hz, 1 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz na wszystkich zakresach
Prąd przemienny	10% 50Hz lub 1kHz dla najmniejszego zakresu 90% 20 Hz, 50 Hz, 1 kHz, 5 kHz na wszystkich zakresach
Inne wielkości (np. częstotliwość, pojemność)	0 ³ /10%, 90% na wszystkich zakresach

4.3. Błędy graniczne przyrządu sprawdzanego i niepewność wzorcowania

Granice dopuszczalne błędów podstawowych δ_{dop} przyrządów z odczytem cyfrowym (kalibratorów napięcia, prądu, mocy i rezystancji, multimetrów oraz mierników napięcia, prądu i mocy) wyraża się w jednej z następujących postaci:

$$\pm (A \% \text{ wartości wskazanej} + B \% \text{ górnej granicy podzakresu pomiarowego} + C)$$

² wyrażone w % zakresu pomiarowego

³ zero ustawia się tylko na najmniejszym zakresie, dla innych „+10%”

⁴ przy zakresie powyżej 1A

$\pm (A \% \text{ wartości wskazanej} + B \% \text{ górnej granicy podzakresu pomiarowego})$

$\pm (A \% \text{ wartości wskazanej} + C)$

Liczby A i B powinny mieć postać $a \cdot 10^n$, gdzie:

a - jedna z liczb 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,9; 2; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,7; 2,8; 3; 3,4; 3,5; 4; 5; 5,5; 6; 7; 8; 9,

n - liczba naturalna.

Liczba C jest cyfrą związaną z rozdzielczością przyrządu, wyrażoną w jednostkach miar wielkości mierzonych.

Błędy podstawowe przyrządów pomiarowych nie powinny przekraczać granic dopuszczalnych podanych w instrukcji obsługi. Jeśli warunek ten nie jest spełniony, należy dokonać lub zlecić dokonanie adiustacji.

Niepewność pomiarowa powinna być oszacowana dla każdego punktu pomiarowego zgodnie z ogólnymi zasadami szacowania niepewności pomiaru [5-7]. Zdeterminowana jest ona przede wszystkim niepewnością przyrządu wzorcowego (jest to niepewność typu B) oraz powtarzalnością wyników pomiaru (niepewność typu A).

4.4. Świadectwo wzorcowania

Laboratorium wykonujące wzorcowanie sporządza i wydaje klientowi świadectwo wzorcowania. Na świadectwie powinny znajdować się następujące informacje [8]:

- 1) nagłówek, czyli nazwa świadectwa wraz z numerem identyfikującym,
- 2) nazwa i adres laboratorium wykonującego wzorcowanie,
- 3) dane przyrządu sprawdzanego: nazwa, typ, producent, numer fabryczny, zakresy pomiarowe, właściciel (np. multimetr cyfrowy V542.1 produkcji ZEAP MERATRONIK, nr fabr. 3045, o zakresach pomiarowych od 100 mV do 1000 V, zgłoszony przez Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej),
- 4) warunki środowiskowe występujące w czasie wykonania wzorcowania (np. temperatura, wilgotność),
- 5) data wykonania wzorcowania
- 6) metoda wzorcowania (np. wskazanie normy, procedury lub instrukcji opisującej sposób wzorcowania),
- 7) informacje o spójności pomiarowej, np. wskazanie własnego wzorca i jego wzorca odniesienia,
- 8) wyniki wzorcowania wraz z jednostkami,
- 9) niepewność wzorcowania,
- 10) podpis osoby dokonującej sprawdzenia.

Wzór świadectwa wzorcowania wydawanego przez akredytowane laboratorium wzorcujące można znaleźć na stronie Polskiego Centrum Akredytacji.

Zaleca się zamieszczać wyniki wzorcowania w formie tabelarycznej. W tabelach dla każdego punktu kontrolnego powinna być zamieszczona wartość wielkości mierzonej W_w wskazana przez przyrząd pomiarowy sprawdzany, odpowiadająca jej wartość rzeczywista W_r wielkości mierzonej, określona na podstawie wskazań przyrządu wzorcowego, błąd bezwzględny $W_w - W_r$, oraz granice dopuszczalne błędów podstawowych δ_{dop} obliczone w sposób podany w punkcie 4.3. Fragment przykładowej tabeli dla podzakresu 10 V podano poniżej.

Tabela 1. Przykładowa tabela z wynikami pomiaru błędów podstawowych woltomierza napięcia stałego

Podzakres 10 V			
W_w	W_r	$W_w - W_r$	$ \Delta $
V	V	V	V
1,0000	1,00017	-0,00017	0,00031
-1,0000	-1,00025	0,00025	0,00031
5,0000	5,00016	-0,00016	0,00065
9,0000	9,00036	-0,00036	0,00120
-9,0000	-9,00047	0,00047	0,00120

5. STANOWISKO LABORATORYJNE

Stanowisko laboratoryjne wyposażone jest w kalibrator napięcia stałego Meratronik Z183 (rys. 1) i w zestaw oporników wzorcowych od 0,01 Ω do 10 M Ω . Stanowisko przystosowane jest zatem do sprawdzania woltomierzy analogowych i cyfrowych napięcia stałego w zakresie od 0 do 1000 V, a także sprawdzania omomierzy. Możliwe jest sprawdzenie multimetrów cyfrowych na zakresach pomiaru napięć stałych i pomiaru rezystancji

Kalibrator Z183 połączony jest interfejsem GPIB z komputerem. Za sterownię kalibratorem odpowiada wirtualny przyrząd utworzony w środowisku LabVIEW.

Przed uruchomieniem komputera należy włączyć kalibrator, a jego nastawy napięć ustawić w pozycjach zero. Zakres napięciowy kalibrатора należy włączyć w pozycji odpowiadającej największemu zakresowi, który będzie wzorcowany w badanym woltomierzu. Następnie należy podłączyć do zacisków kalibratora woltomierz napięcia stałego lub multimetr na zakresie napięcia stałego. W modułach panelu sterowania kalibratorem – rys. 2: CURRENT i CONTROL wcisnąć białe przyciski włączając zielone lampki sygnalizacyjne. Od tego momentu kalibrator, który połączony jest interfejsem GPIB z komputerem, jest przygotowany do odbioru sygnałów sterujących z komputera.



Rys. 2 Panel sterowania kalibratora

6. PROGRAM ĆWICZENIA

1. Zapoznać się z dokumentacją sprawdzanych przyrządów i kalibratora Z183.
2. Dokonać oględzin zewnętrznych oraz sprawdzenia wstępnego przyrządów wskazanych przez prowadzącego ćwiczenie.
3. Połączyć układ pomiarowy do sprawdzenia zakresów stałonapięciowych multimetru wskazanego przez Prowadzącego ćwiczenie.
4. Dokonać pomiaru błędów podstawowych sprawdzanego przyrządu.
5. Pkt. 2-4 powtórzyć dla innych przyrządów sprawdzanych.
6. Dokonać identyfikacji rezystorów wzorcowych na stanowisku.
7. Wykorzystując rezystory wzorcowe dokonać wzorcowania omomierzy wskazanych przez Prowadzącego ćwiczenie.

7. PYTANIA KONTROLNE

1. Zdefiniować pojęcia: wzorcowanie, adjustacja, legalizacja
2. Opisać metodę sprawdzania wybranego przyrządu analogowego.
3. Opisać metodę wzorcowania multimetru.
4. Jakie są kryteria doboru przyrządu wzorcowego do sprawdzania przyrządów analogowych i cyfrowych?
5. Jak ocenić zgodność przyrządu wzorcowanego z wymaganiami metrologicznymi?

8. LITERATURA

- [1] DA 06 – Polityka dotycząca zapewnienia spójności pomiarowej, PCA, wyd. 5, Warszawa, 2015.
- [2] Zarządzenie nr 155 Prezesa Głównego Urzędu Miar z dnia 9.10 1996 w sprawie wprowadzenia instrukcji sprawdzania mierników napięcia, prądu i mocy – analogowych oraz mierników uniwersalnych i multimetrów – analogowych (D.U.M i P nr 26/1996).
- [3] Zarządzenie nr 157 Prezesa Głównego Urzędu Miar z dnia 9.10 1996 w sprawie wprowadzenia instrukcji sprawdzania kalibratorów napięcia, prądu, mocy i oporu, mierników napięcia, prądu i mocy –cyfrowych, multimetrów –cyfrowych oraz mostków RLC (D.U.M i P nr 26/1996).
- [4] Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters, EURAMET cg-15 ver. 3.0, 2015.
- [5] JCGM series on Evaluation of measurement data, or ISO Guide 98 series, in particular GUM: - JCGM 100:2008, Evaluation of measurement data – Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections) - ISO/IEC 98-3:2008, Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).
- [6] EA 4/02 M:2013, Expressions of the Uncertainty of Measurements in Calibration, September, 2013.
- [7] Wyrażanie niepewności pomiaru – Przewodnik. Główny Urząd Miar 1999.
- [8] ISO/IEC 17025.