

Spójność pomiarowa jeden z determinantów wiarygodności wyników badań

Wyniki badań będące źródłem obiektywnej wiedzy niezbędnej dla oceny wyrobu, winny być wiarygodne, dokładne i adekwatne. Jednym z podstawowych determinantów wiarygodności wyników badań jest wymaganie dotyczące zachowania przez laboratoria spójności pomiarowej stosowanej aparatury w odniesieniu do wzorców metrologicznych. Spełnianie tego wymagania sprowadza się w praktyce do właściwego nadzorowania i wzorcowania aparatury pomiarowej. Artykuł ma na celu przybliżenie pojęcia spójności pomiarowej decydom i użytkownikom aparatury pomiarowej stosowanej w procesach badawczych, których wyniki są podstawą certyfikacji pojazdów szynowych.

1. Wstęp

Naturalne dążenie do zachowania maksymalnej precyzji pomiarów, zostało sformalizowane w punkcie 5.6 normy [1] pod hasłem zapewnienia spójności pomiarowej. Nadano mu status wymagania systemowego, determinującego uzyskanie akredytacji przez laboratoria badawcze.

Przez spójność pomiarową rozumie się udokumentowane formalnie powiązanie metrologiczne pomiędzy stosowanym w praktyce laboratoryjnej sprzętem pomiarowym a wzorcami wielkości mierzonej. Powiązanie to posiada zwykle charakter „łańcuszkowy” rozpoczynający się od wzorca o randze międzynarodowej, poprzez wzorce państwowe, regionalne do wzorca lokalnego i wreszcie do miernika użytkowego. Warto w tym miejscu przytoczyć podział metrologii na prawną i laboratoryjną. Metrologia prawna potwierdza przydatność przyrządu w zastosowaniach do czynności urzędowych, rozliczeń finansowych, ochrony zdrowia i ekologii [2]. Formalnym potwierdzeniem jest świadectwo legalizacji, określające spełnienie określonych wymagań w zakresie dokładności pomiaru. Metrologia laboratoryjna w zastosowaniu do badań naukowych i technicznych, opiera się na wzorcowaniu czyli spełnianiu spójności pomiarowej. Formalnym potwierdzeniem wzorcowania jest świadectwo, identyfikujące wzorec oraz obiekt wzorcowania, zapisy wyników wskazań obu mierników oraz wyznaczoną niepewność rozszerzoną wzorcowania. Do wystawiania świadectw wzorcowania uprawnione są tylko akredytowane laboratoria wzorcujące [3].

2. Nadzorowanie aparatury pomiarowej

Określenie potrzeb w zakresie aparatury pomiarowej, następuje w oparciu o wymagania definiowane przez klientów w obszarze badań, wymagania normatywne i prawne, plany rozwojowe laboratorium, oferty dostawców, wymagania metrologiczne.

Laboratoria prowadzą rejestry kwalifikowanych dostawców wyposażenia pomiarowego i badawczego oraz na bieżąco monitorują ich oferty. W wyniku analiz sporządza się specyfikacje, określające nazwę, typ, rodzaj, wyposażenia, parametry techniczne, rodzaj wykonania, warunki pracy, wymagania metrologiczne (legalizacja, zatwierdzenie typu, wzorcowanie, sprawdzanie).

Warunkiem profesjonalnego zarządzania wyposażeniem pomiarowym, jest jego nadzorowanie [4].

Dla zapewnienia identyfikacji, przyrząd otrzymuje numer identyfikacyjny, oznaczony trwale, jest wpisany do ewidencji wyposażenia, oraz posiada „Kartotekę wyposażenia.”

W oparciu o instrukcje obsługi producenta, dokonuje się uruchomienia i testowania zakupionego przyrządu. Jeżeli uruchomienie i testowanie daje wynik pozytywny, laboratorium dokonuje kwalifikacji metrologicznej wyposażenia, ustalając częstość wzorcowania lub sprawdzania, zależnie od intensywności i warunków jego eksploatacji, sposobu wykorzystywania oraz dostępności odpowiednich wzorców.

Wzorcowanie kluczowej aparatury np. wzorców kontrolnych, winno być wykonywane przez akredytowane laboratoria wzorcujące, co stanowi gwarancję zachowania spójności pomiarowej, wymaganej w punkcie 5.6 normy [1], [3]. Pozostała aparatura pomiarowa może być wzorcowana przez użytkownika a więc laboratorium badawcze, które winno posiadać potwierdzone kompetencje metrologiczne w ramach posiadanej akredytacji.

Każdy rodzaj potwierdzenia metrologicznego niezależnie od wykonawcy usługi musi nosić cechy wzorcowania. Laboratorium prowadzi rejestr kwalifikowanych i akredytowanych dostawców usług metrologicznych. Rejestr jest aktualizowany, a dostawcy

usług okresowo oceniani wg kryteriów jakości, terminowości i kosztów usług.

Laboratorium zamawia usługi żądając podania przy świadectwie odniesienia do wzorca (typ, nr identyfikacyjny), zapisów z wzorcowania oraz wyznaczenia niepewności. Świadectwo potwierdzenia metrologicznego identyfikujące wzorzec oraz zapisy i niepewność jest podstawą nadania wyposażeniu statusu zgodności (zielona nalepka), co jest odnotowywane w kartotece wyposażenia.

Uruchomione i metrologicznie potwierdzone wyposażenie wraz z nalepką statusu i dokumentami towarzyszącymi może być stosowane w laboratorium.

Bieżące nadzorowanie wyposażenia pomiarowego dla spełnienia wymagań punktu 5.6 normy [1] jest realizowane poprzez **wzorcowanie** (niezależnie od wymagań metrologii prawnej, które dotyczą wyposażenia, stosowanego w rozliczeniach finansowych, czynnościach urzędowych oraz testach medycznych i ochronie środowiska - legalizacja).

Wzorcowanie (kalibracja) jest to zbiór operacji ustalających, w określonych warunkach, relacje między wartościami wielkości mierzonej, wskazywanymi przez obiekt wzorcowania a odpowiednimi wskazaniem wzorca [5].

Wzorcowanie wykonuje się także niezależnie od ustalonej częstości w przypadku stwierdzenia niesprawności wyposażenia lub podejrzenia co do poprawności jego pracy.

W odniesieniu do przyrządów o drugorzędnym znaczeniu dla badań (np. wskaźniki pomocnicze) lub jeżeli klient nie wymaga wielkiej precyzji pomiaru, lub gdy wzorcowanie jest niemożliwe ze względów fizycznych, organizacyjnych lub ekonomicznych, zamiast wzorcowania można dokonywać **sprawdzanie [6], [7].**

Sprawdzanie jest to zbiór czynności stwierdzających zgodność wskazań przyrządu sprawdzanego z wymaganiami określonymi wartością błęd granicznego podanego przez producenta. Polega ono na porównaniu wskazań miernika sprawdzanego z innym miernikiem wcześniej wzorcowanym /zielona nalepka/ lub uczestnictwie z wynikiem pozytywnym w badaniach porównawczych. Protokół potwierdzający pozytywny wynik sprawdzenia wg kryterium spełnienia wymagań ($\pm 2\sigma$ – podwójnego odchylenia standardowego) jest podstawą do nadania miernikowi statusu zgodności (zielona nalepka z napisem „sprawdzony”). Częstość sprawdzeń ustala użytkownik wg kryteriów jak przy wzorcowaniu.

Przegląd techniczny dotyczy tej części wyposażenia Laboratorium, która nie podlega wzorcowaniu bądź sprawdzaniu (w tym też innym potwierdzeniom metrologii prawnej) ale może mieć wpływ na jakość prowadzonych badań oraz ich wyniki.

W zakres przeglądu technicznego urządzeń i maszyn, stanowisk badawczych i oprzyrządowań wchodzi: oględziny, sprawdzenie zużycia części, luzów i zabezpieczeń, sprawdzenie funkcjonalne, pomiary parametrów deklarowanych na zgodność z dokumentacją producenta,

sprawdzenie stanu bezpieczeństwa.

Każdy przegląd kończy się protokołem i jest odnotowywany w kartotece z której wynika zakres i częstość przeglądów. Przegląd jest wykonywany także niezależnie od ustalonej częstości w przypadku stwierdzenia niesprawności lub podejrzenia co do poprawności działania wyposażenia. Status wyposażenia sprawnego oznacza się zieloną nalepkę z naniesioną datą ważności.

Status niezgodności oznacza się nalepką czerwoną, a status wyłączenia z eksploatacji (zawieszenia) nalepką żółtą.

Przed rozpoczęciem badań dokonuje się pomiaru kontrolnego celem upewnienia się czy zastosowany przyrząd działa poprawnie. Pomiar wykonuje się zgodnie z zastosowaną procedurą pomiarową a z przeprowadzonego pomiaru sporządza się zapis potwierdzający pomiar kontrolny.

Po zakończeniu badań dokonuje się pomiaru kontrolnego celem upewnienia się czy zastosowany przyrząd nadal działa poprawnie a z przeprowadzonego pomiaru sporządza się zapis potwierdzający pomiar kontrolny.

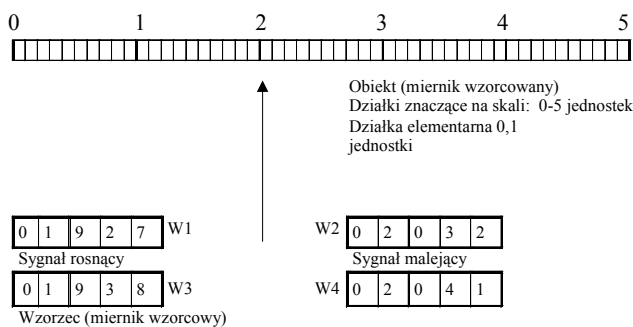
Diagnozowanie wyposażenia niezgodnego polega na organoleptycznym lub pomiarowym stwierdzeniu przyczyny i zakresu niezgodności. Diagnozowanie kończy się protokołem podającym zalecenia w zakresie naprawy lub sugestie dotyczące likwidacji.

3. Proces wzorcowania przyrządu pomiarowego.

Dla wykonania wzorcowania przyrządu pomiarowego, niezbędne jest znalezienie relacji pomiędzy działkami odczytowymi na jego skali a wskazaniem wzorca. Oba mierniki podłączone są do tego samego źródła wielkości mierzonej o regulowanej wartości (np. stabilizowanego źródła napięcia regulowanego). Nasuwa się pytanie, ile odczytów porównawczych wykonać? Odpowiedź zależy od dwóch czynników: liniowości charakterystyki przyrządów i od osobliwości wartości średniej, której rozrzut znacznie maleje ze wzrostem ilości pomiarów [6]. W praktyce wystarczające jest już wykonywanie do około 10 pomiarów na zakresie wskazań, jeżeli założyć, że wzorzec jest liniowy, a obiekt wzorcowania posiada także charakterystykę zbliżoną do liniowej. Przy obiektach nieliniowych ilość pomiarów należy zwiększyć tak, aby w pełni odwzorować charakterystykę miernika i uzyskać niepewność wzorcowania poniżej błędów granicznych obiektu, określonych przez wytwórcę. Praktycznie, przyjęta ilość pomiarów winna odpowiadać ilości działek znaczących (opisanych) na skali miernika, nie

pomijając zera. Wskazania obu mierników porównuje się, ustawiając wskazanie dla danej działki znaczącej na skali obiektu wzorcowanego i odczytuje się wskazanie wzorca. Dla uwiarygodnienia wzorcowania, dla każdej działki znaczącej należy wykonać więcej niż jedno porównanie (pomiar); narastająco i malejąco dla uwzględnienia histerezy oraz powtarzalności wskazań obiektu wzorcowanego. Przy dwukrotnym takim zabiegu, uzyskuje się cztery wartości, z których oblicza się wartość średnią.

W porównywaniu wskazań wzorca N i obiektu wzorcowanego W , może być niekiedy przydatne wykorzystywanie ich cech indywidualnych. Wzorzec jest z zasady miernikiem o dużej stabilności wskazań, dobrej klasie dokładności i skali o dużej rozdzielczości, umożliwiającej precyzyjny odczyt. Obiekt wzorcowania, bywa zwykle miernikiem o mniejszej stabilności wskazań, gorszej klasie dokładności i skali o mniejszej rozdzielczości a więc także mniejszej dokładności odczytu. Zatem wydaje się być korzystnym, dokonywanie wyboru punktów wzorcowania na skali obiektu wzorcowanego (działek znaczących – zwykle grubszych i dokładniej zaznaczonych). Jest to szczególnie istotne w przypadku mierników analogowych, wskazówkowych – uchylnych. Wówczas odczyt na wybranych działkach znaczących skali obiektu wzorcowanego może być liczbą całkowitą, bardziej czytelną i jednoznaczną, wyrażaną w działkach lub jednostkach skali. W ten sposób, zadając wartość wskazań obiektowi wzorcowania, umożliwia się najdokładniejsze określenie jego wskazań rzeczywistych. Porównanie wskazań obiektu wzorcowanego i wzorca przedstawia rys. 1



Rys. 1. Przykładowa relacja pomiędzy miernikiem wzorcowym (cyfrowe pole odczytowe) a miernikiem wzorcowanym (skala analogowa) podczas wzorcowania. Odczyty wykonuje się dla każdej działki znaczącej na skali miernika wzorcowanego.

Z wyników czterech pomiarów wzorcowania, odczytanych na wzorcu, a odnoszących się do wybranej działki znaczącej obiektu wzorcowanego, wyznacza się wartość średnią, a więc najbardziej zbliżoną do wartości poprawnej. Cała operacja odbywa się przez kolejne zadawanie wartości wskazania na kolejnych wybranych działkach skali obiektu wzorcowanego. Wyniki odczytów podlegają udokumentowaniu (zapis techniczny). Różnica wskazań określana jest jako

błąd systematyczny a wzięta ze znakiem przeciwnym jest zwana poprawką [6], [8].

Poprawka podlega także rozkładowi prawdopodobieństwa o charakterze przypadkowym [9] a więc posiada element niepewności, zatem:

$$P_w = (N - \bar{W}) \pm U(P_w) \quad (1)$$

gdzie: P_w - poprawka – wartość dodana do wskazania miernika, w celu uzyskania wartości poprawnej

N - wskazanie wzorca

\bar{W} - wskazanie obiektu wzorcowanego (wartość średnia z odczytów dla danego punktu skali).

$U(P_w)$ - niepewność rozszerzona wyznaczenia poprawki.

Jest to wartość niepewności wypadkowej standardowej, $u(P_w)$ pomnożona (rozszerzona) przez współczynnik rozszerzenia k , który uwzględnia bezpieczeństwo pomiaru ze względu na propagację rozrzutu wyników.

Różne wartości współczynnika rozszerzenia podano w tabeli.1.

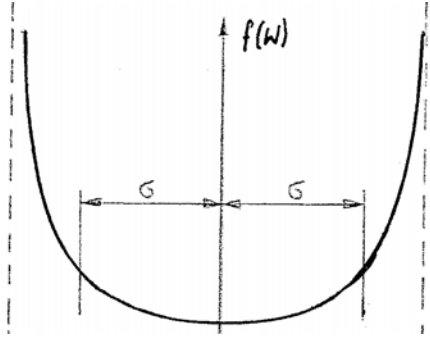
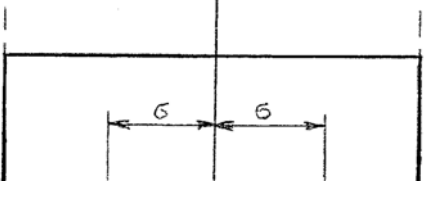
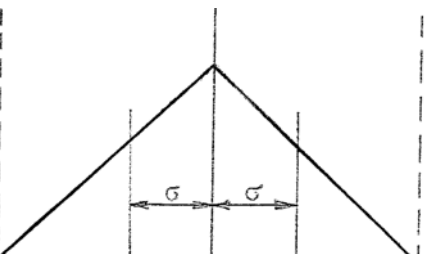
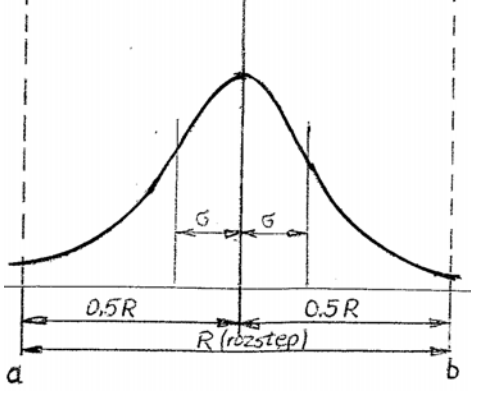
Na podstawie zapisanych wyników wzorcowania wyznacza się najpierw niepewność standardową wyrażoną przez odchylenie standardowe wg metody A, następnie określa się pozostałe czynniki wpływające na niepewność wzorcowania w celu wyznaczenia złożonej niepewności standardowej [6] wg wzoru (2). Każdy czynnik wpływający na niepewność wzorcowania może posiadać inną propagację do której należy dobrać adekwatny rozkład prawdopodobieństwa. W tabeli 1 przedstawiono cztery przykładowe, najczęściej stosowane rozkłady z których trzy pierwsze należą formalnie do rozkładów innych niż statystyczne (metoda typu B) a czwarty jest rozkładem statystycznym- normalnym-Gausa (metoda typu A). W przypadku małej ilości odczytów, zamiast rozkładu Gaussa korzystniej jest stosować rozkład Studenta z tabelą współczynników korygujących [9].

Niepewność wypadkową (złożoną) standardową dla poprawki $u(P_w)$, wyznacza się jako sumę geometryczną niepewności standardowych, pochodzących od poszczególnych czynników wpływających na niepewność wzorcowania [6].

$$u(P_w) = \sqrt{u^2(\bar{W}) + \dots + u^2(N)} \quad (2)$$

Na niepewność wypadkową standardową wzorcowania mogą mieć wpływ różne czynniki w tym zjawiska zewnętrzne i wewnętrzne o charakterze przypadkowym. Czynniki te nie zawsze dają się precyzyjnie zdefiniować i ująć liczbowo (np. wpływ zakłóceń elektromagnetycznych, zmian ciśnienia atmosferycznego, drgań). Dla przejrzystości procesu wzorcowania, zaleca się stosowanie tzw. budżetu niepewności [8].

Tabela.1. Wybrane metody wyznaczania niepewności pomiaru

Metoda	Przebieg funkcji rozkładu prawdopodobieństwa	Współczynnik rozszerzenia na poziomie ufności $p = 0,95$	Preferencje
Metoda typu B Rozkłady prawdopodobieństwa inne niż statystyczne	Rozkład arc sin 	$\sigma^2 = \frac{R^2}{8}$ $u(W) = \frac{0,5R}{\sqrt{2}}$ $k = 1,34$	Jeżeli rozrzut wyników w rozstępie R jest duży na skrajach zbioru i maleje w środku zbioru wyników.
	Rozkład prostokątny równomierny 	$\sigma^2 = \frac{R^2}{12}$ $u(W) = \frac{0,5R}{\sqrt{3}}$ $k = 1,65$	Jeżeli rozrzut wyników w rozstępie R jest mały i równomierny w całym zbiorze wyników.
	Rozkład trójkątny Simpsona 	$\sigma^2 = \frac{R^2}{24}$ $u(W) = \frac{0,5R}{\sqrt{6}}$ $k = 2,33$	Jeżeli rozrzut wyników w rozstępie R jest mały na skrajach zbioru i rośnie w środku zbioru wyników.
Metoda typu A Rozkład statystyczny	Rozkład normalny 	$\sigma^2 = \frac{\sum (W_i - \bar{W})^2}{n(n-1)}$ $u(W) = \frac{0,5R}{\sqrt{9}}$ $k = 2$	Jeżeli rozrzut wyników w rozstępie R jest duży w całym obszarze zbioru a przyczyny rozrzutu nie dają się jednoznacznie zdefiniować, posiadają zatem charakter przypadkowy.

σ – odchylenie standardowe dla serii odczytów
 W – przedział zmienności wartości odczytywanej
 $u(W)$ – niepewność wyznaczenia wartości poprawnej (oczekiwanej)
 R – rozstęp
 a, b – granice rozstępu (zbioru wyników)
 k – współczynnik rozszerzenia
 $f(W)$ – funkcja rozkładu prawdopodobieństwa

Tabela. 2. Przykład budżetu niepewności wzorcowania

Czynniki wpływające na niepewność wzorcowania	Źródła niepewności	Definicja	Sposób wyznaczania
2	3	4	5
Rozrzut (niepowtarzalność) wskazań obiektu wzorcowanego w obrębie wybranej działki znaczącej z odczytów podczas wzorcowania	1. Niestabilność ustroju pomiarowego obiektu. 2. Wpływ czynników przypadkowych trudnych do zdefiniowania	Miarą rozrzutu jest odchylenie standardowe wyznaczenia wartości średniej (zbliżonej do poprawnej, oczekiwanej)	$u(\bar{W}) = \sqrt{\frac{\sum(W_i - \bar{W})^2}{n(n-1)}}$ lub $u(\bar{W}) = \text{wg tabeli 1}$
Niedokładność odczytów na skali obiektu	1. Rozdzielczość skali odczytowej obiektu 2. Technika odczytu	Rozrzut wyników ze względu na rozdzielczość skali odczytowej obiektu.	$u(d) = \text{wg tabeli 1}$ <i>d</i> – działka elementarna na skali lub miejsce znaczące w polu odczytu cyfrowego
Wrażliwość na niestabilność sygnału wzorcowego do którego są przyłączone obydwie mierniki: obiekt i wzorzec	Niestabilność wynikająca z konstrukcji lub wykonawstwa źródła sygnału wzorcowego	Zakres oddziaływania niestabilności sygnału wzorcowego na niepewność wzorcowania.	$u(c) = \frac{\partial f}{\partial W}$
Niepewność standardowa wypadkowa wzorca (miernika wzorcowego)	Niedoskonałość konstrukcyjna i wykonawcza miernika wzorcowego	Niepewność rozszerzona podana w świadectwie wzorcowania miernika wzorcowego podzielona przez współczynnik rozszerzenia <i>k</i> dla przyjętego poziomu ufności.	$u(N) = \frac{U(N)}{k}$
Wypadkowa niepewność standardowa wzorcowania obiektu	Łączny wpływ czynników niekorzystnych na niepewność wzorcowania	Suma geometryczna składowych budżetu niepewności wzorcowania	$u(P_w) = \sqrt{u(\bar{w})^2 + u(d)^2 + u(c)^2 + u(N)^2}$
Niepewność wzorcowania rozszerzona	Propagacja niepewności	Niepewność wypadkowa pomnożona przez współczynnik rozszerzenia <i>k</i> dla przyjętego poziomu ufności.	$U(W) = u(P_w) k$ Przy pomiarach technicznych, przyjmuje się najczęściej poziom ufności 0,95 oraz współczynnik rozszerzenia <i>k</i> odpowiedni dla przyjętego rozkładu prawdopodobieństwa wg tabeli 1.
Odniesienie do błędu granicznego E_g , deklarowanego przez producenta miernika	Struktura obiektu (miernika wzorcowanego)	$U(W) \leq E_g$	Kryterium praktyczne $U(W) \leq (0,1 \div 0,5) E_g$

Jeżeli rozrzut wskazań *W* podczas wzorcowania jest dominujący w stosunku do innych czynników (np. sposobu odczytu, rozdzielczości skali czy wrażliwości na zmiany sygnału wzorcowego) to można uznać go za główne znaczące źródło niepewności, pomijając pozostałe. Przeświadczenie takie winno być poprzedzone analizą. W tym celu w budżecie niepewności, wyszczególnia się kolejno wszystkie, możliwe do przewidzenia czynniki mogące mieć niekorzystny wpływ na niepewność wzorcowania. Każdy z czynników winien być przeanalizowany, zdefiniowany i w miarę możliwości opisany ilościowo. Jeżeli nie jest to możliwe, dokonuje się oszacowania w oparciu o ana-

logie z dotychczasowej praktyki, literaturę lub najlepszą wiedzę i doświadczenie kompetentnego personelu. Ostatnim czynnikiem wpływającym na niepewność wzorcowania jest niepewność wskazań zastosowanego wzorca $u(N)$. Każdy wzorec jest zdefiniowany w świadectwie wzorcowania, poprzez typ, numer identyfikacyjny oraz wartość niepewności rozszerzonej. Niepewność rozszerzona jest iloczynem niepewności wzorcowania wzorca i współczynnika rozszerzenia, który zależy od charakteru rozkładu prawdopodobieństwa niepewności wzorcowania wzorca. Dla potrzeb metrologii laboratoryjnej, na poziomie ufności równym 0,95, wartości współczynnika rozszerzenia *k* w

zależności od charakteru rozkładu przedstawia tabela 1.

Przykład budżetu niepewności wzorcowania przedstawiono w tabeli.2.

Ilość czynników w budżecie może być znaczna szczególnie przy wzorcowaniu złożonych układów pomiarowych, zawierających wiele członów przetwarzających, pracujących w trudnych warunkach otoczenia. Należy je wówczas wprowadzić do wzoru (2). W tabeli.2 wpisano przykładowo w poz.1-3 czynniki dotyczące obiektu wzorcowanego a w poz. 4 niepewność pochodzącą od wzorca w formie przystosowanej dla zastosowania w obliczeniach pokazanych w poz. 5. W poz. 6 wyznaczono niepewność rozszerzoną wzorcowania obiektu w formie stosowanej w świadectwach wzorcowania zgodnie z wymaganiami [3]. Poz. 7 budżetu zawiera kryterium błędu granicznego, pozwalające ocenić niepewność wskazań miernika na tle jego potencjalnych możliwości. Wg [5] niepewność wzorcowania winna być kilkakrotnie mniejsza od błędu granicznego określonego przez wytwórcę miernika.

4. Podsumowanie

1)Wynik pomiaru jako źródło prawdy obiektywnej winien być uzyskiwany z wiarygodnej aparatury.

2)Wiarygodność aparatury uzyskuje się poprzez jej wzorcowanie, czyli okresowe porównanie z uznawanymi wzorcami metrologii krajowej i międzynarodowej na zasadzie nieprzerwanego łańcucha porównań (pojęcie trasabilności).

3)Ponadto aparatura pomiarowa winna być chroniona przed destruktywnymi narażeniami i okresowo przeglądana oraz nadzorowana [10].

4)Aparatura pomiarowa winna posiadać aktualne parametry pozwalające na bieżące określenie niepewności wykonanego pomiaru [11].

5)Spełnienie wymienionych warunków wypełnia postulat spójności pomiarowej zawarty w wymaganiach punktu 5.6 normy [1].

Literatura:

- [1] Norma PN-EN ISO/IEC 17025:2005. *Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.*
- [2] *Prawo o miarach. Ustawa z dnia 11 maja 2001 z późniejszymi zmianami.*
- [3] *Polityka Polskiego Centrum Akredytacji dotycząca zapewnienia spójności pomiarowej. Wydanie 3. Warszawa, 20.06.2007.*
- [4] Norma PN-EN ISO 10012:2004. *Systemy zarządzania pomiarami. Wymagania dotyczące procesów pomiarowych i wyposażenia pomiarowego.*
- [5] *Wzorcowanie aparatury pomiarowej. Podstawy teoretyczne i trasabilność według norm ISO 9000 i zaleceń międzynarodowych. Janusz Piotrowski, Krystyna Kostyrko. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.*
- [6] *Jerzy Arendarski, Niepewność pomiarów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003.*
- [7] *Międzynarodowy Słownik Podstawowych i Ogólnych Terminów Metrologii. Główny Urząd Miar, Warszawa, 1996.*
- [8] *Dokument EA-4/02, Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu. Grudzień 1999.*
- [9] *Przewodnik, Wyrażanie niepewności pomiaru. Główny Urząd Miar, Warszawa, 1999.*
- [10] *Roch Tarczewski, System jakości stosowany w IPS „TABOR” i kompetencje techniczne gwarancją utrzymania wiarygodności współpracy z klientami. Pojazdy Szynowe nr 2/2007*
- [11] *Roch Tarczewski, Certyfikacja pojazdów szynowych narzędziem spełniania wymagań bezpieczeństwa i interoperacyjności. Pojazdy Szynowe nr 4/2008.*