

Udział pracowników GUM w XII Sympozjum „Niepewność Pomiarów”

W dniach od 11 do 15 lutego 2013 roku w Świnoujściu odbyło się kolejne XII Sympozjum, poświęcone problematyce niepewności pomiarów. Jak co roku uczestniczyła w nich liczna reprezentacja Głównego Urzędu Miar. Wśród 22 wygłoszonych na Sympozjum referatów aż 7 zostało przygotowanych przez pracowników naszego urzędu. Aby przybliżyć omawiane w nich zagadnienia zamieszczamy poniżej streszczenia wystąpień.



kowana norma ISO. Pozostałe cztery opracowania to plan pracy JCGM, ujawniany publicznie od 2008 roku w postaci elektronicznej. Dokumenty te zawierają nowe podejście w dziedzinie opracowania danych pomiarowych. Kierują się zasadą propagacji rozkładów jako alternatywnym sposobem postępowania przy obliczaniu niepewności pomiaru, w stosunku do klasycznie stosowanego prawa propagacji niepewności. Podejście to zmusiło autorów opracowań do zmodyfikowania dotychczas stosowanych definicji i terminologii w dziedzinie wyrażania niepewności pomiaru. Niepewność pomiaru została związana z mierzandem, czyli wielkością, która ma być zmierzona, a wyrażana jest poprzez matematyczny model pomiaru. Model matematyczny jest podstawą wyznaczania rozkładu, którego parametry opisują wynik pomiaru, czyli to co mierzymy. Niepewność rozszerzona, pojęcie znane metrologom z klasycznego Przewodnika, zostało zastąpione pojęciem przedziału rozszerzenia, a poziom ufności pojęciem prawdopodobieństwa rozszerzenia. Pojawiło się też wiele nowych definicji i terminów. Jako przykłady niech posłużą takie określenia, jak: rzeczywista i zespolona wielkość wektorowa, mierzand wektorowy, rzeczywisty, zespolony, wielostopniowy i wielowymiarowy model pomiaru czy obszar rozszerzenia w formie hiperelipsy

1. Paweł Fotowicz: *Niepewność pomiaru w dokumentach międzynarodowych JCGM*

Na stronach internetowych Międzynarodowego Biura Miar BIPM można zapoznać się już z wieloletnim dorobkiem Wspólnego Komitetu ds. Przewodników w Metrologii JCGM, publikowanym pod wspólnym tytułem *Evaluation of measurement data*. Publikacje obejmują pięć oddzielnych opracowań. Pierwsze z nich to znany metrologom „Przewodnik. Wyrażanie niepewności pomiaru”, pierwotnie wydany w 1993 i 1995 roku jako dru-



lub hipprostokąta. Pojawienie się tych pojęć wynika z potrzeby wdrożenia nowych technik obliczeniowych, szczególnie Monte Carlo, mogących mieć zastosowanie w różnych nowych dziedzinach pomiarowych, wychodzących daleko poza klasyczne obszary metrologii. Można zaryzykować tezę, że jest to odejście od standardowego podejścia statystycznego na rzecz podejścia probabilistycznego. W tym też duchu powstał najnowszy dokument, wydany pod koniec 2012 roku, będący ukłonem w stronę metrologii prawnej, gdyż dotyczy roli niepewności pomiaru przy ocenie zgodności.

2. Jerzy Borzymiński: *Zagadnienia niepewności i wyniku pomiaru w pracach terminologicznych BIPM*

Wśród Komitetów Wspólnych przy Międzynarodowym Biurze Miar ważną rolę odgrywa Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), którego zadaniem – jak określono to w jego statucie – jest opracowanie i promocja dwóch ważnych publikacji o zasięgu międzynarodowym, tj. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM) i *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology* (VIM). Międzynarodowy Słownik Podstawowych i Ogólnych Terminów Metrologii, tj. VIM, zastąpiony został przez Międzynarodowy Słownik Metrologii. *Pojęcia Podstawowe i Ogólne oraz Terminy z Nimi Związane* i uważany jest za kolejną wersję VIM, oznaczaną VIM 3.

Istotnym obszarem w całokształcie prac terminologicznych jest problematyka niepewności i wyniku pomiaru. Bez uwzględnienia tej tematyki w pracach terminologicznych wdrożenie GUM oraz systematyzacja pojęć metrologii i ich harmonizacja w skali międzynarodowej byłaby niemożliwa. VIM 3 stanowi przełom w dotychczasowych pracach nad terminologią metrologiczną, gdyż wcześniejsza koncepcja polegająca na swego rodzaju porządkowaniu zbioru terminów zastąpiona została przez analizę pojęć i budowę kompletnego ich systemu. W rezultacie dodano szereg pojęć nowych i większość terminów zdefiniowano na nowo. Tak się stało w przypadku grupy pojęć związanych z pojęciem „wielkości” (pomiar, menzurand, wynik pomiaru, wartość wielkości prawdziwa, wartość wielkości, wartość wielkości umowna), gdzie opracowano nowe definicje. Ponadto dodano pojęcie „wartość wielkości zmierzona”. W uporządkowany sposób przedstawiono rozmaite podejścia w zakresie analizy wyniku pomiaru. W przypadku tzw. Error Approach, uważa się, że istnieje tylko jedna wartość wielkości praw-

dziwa, która – w praktyce – jest niewyznaczalna. W opisie wg tzw. Uncertainty Approach uznaje się, że w sposób nieunikniony definicja wielkości jest niewystarczająco szczegółowa i z tego powodu nie ma jednej wartości wielkości prawdziwej, ale istnieje raczej zbiór wartości wielkości prawdziwych zgodnych z definicją. Jednakże ten zbiór wartości jest – w zasadzie i w praktyce – niepoznawalny. Inne podejścia obywają się bez pojęcia wartości wielkości prawdziwej i opierają się na kompatybilności metrologicznej wyników pomiarów w celu oceny ich prawidłowości.

Uwzględniając istnienie różnych podejść zmieniono definicje pojęć odnoszących się do wyniku pomiaru, w szczególności „dokładności pomiaru”. Wprowadzono do VIM 3 pojęcia „poprawność pomiaru” i „precyzja pomiaru” wraz z ich miarami: odpowiednio „obciążenie” i „odchylenie standardowe”. Wprowadzono nową definicję pojęcia „błąd pomiaru”, ale bez użycia „wartości prawdziwej”. Zmieniono definicje pojęć „błąd pomiaru systematyczny” oraz „błąd pomiaru przypadkowy”. Jeśli chodzi o pojęcia odnoszące się bezpośrednio do niepewności to w VIM 3 jest ich 17 (w VIM 2 zaledwie jedno.) Istotnym elementem VIM 3 są pojęcia odnoszące się do pomiaru rozumianego jako proces poznawczy, tzn. nie tylko „wyznaczanie wartości”. M.in. włączono do słownika pojęcia: „model pomiaru”, „funkcja pomiaru”, „wielkość wejściowa w modelu pomiaru”, „wielkość wyjściowa w modelu pomiaru” oraz zmieniono definicję pojęcia „wielkość wpływająca”.

Zasięg metrologicznych słowników międzynarodowych będzie ulegał poszerzeniu. Kolejnym takim słownikiem będzie *International Vocabulary of Nominal Properties* (VIN).

3. Patrycja Ruśkowska: *Stałe fizyczne a jednostki miar*

Tematem referatu jest przedstawienie idei redefinicji podstawowych jednostek miar Międzynarodowego układu SI na wybranych przykładach. Nowe podejście definicyjne, oparte na uniwersalnych stałych fizycznych, jest efektem wyników wieloletnich badań wzorców pomiarowych. Wzorce, czyli narzędzia pomiarowe odtwarzające jednostki miar, powinny charakteryzować się niezmiennością w czasie, dużą dokładnością oraz w miarę prostym sposobem odtwarzania i stosowania. Istotne zmiany parametrów fizyko-chemicznych wzorców pomiarowych rejestrowane na przestrzeni lat, a także postęp techniczny oraz technologiczny, doprowadziły w rezulta-

cie do przeprowadzenia weryfikacji Międzynarodowego Układu Jednostek Miar. Zgodnie z rekomendacjami Rezolucji 1 XXIV Generalnej Konferencji Miar (Paryż, 2011), podstawowe jednostki miar będą definiowane na podstawie numerycznych wartości uniwersalnych stałych fizycznych. Uchwała ta powstała w efekcie długotrwałych dyskusji, toczonych w komitetach doradczych CIPM oraz kręgach naukowych i jest wyrazem poparcia dla idei redefinicji kilograma, ampera, kelwina i mola. Z powodu niewystarczającego jednak stopnia zaawansowania badań, zwłaszcza nad redefinicją jednostki masy, niemożliwym jest określenie terminu ukończenia weryfikacji całego układu jednostek SI. Dodatkowo, sytuację komplikuje fakt, iż zmiana definicji kilograma może wpłynąć na definicje innych jednostek fizycznych, w tym jednostek podstawowych. Trzy jednostki tego układu są bezpośrednio powiązane z definicją kilograma: amper odnosi się do jednostki siły (niuton), kandela związana jest z jednostką mocy (wat) i mol – do pewnej ilości materii układu zawierającego liczbę cząstek równą liczbie atomów w masie 0,012 kg izotopu węgla C¹².

4. Albin Czubla:

Niepewność kalibracji i poprawki kalibracyjnej systemów do transferu czasu metodą GPS CV

Metoda transferu czasu GPS CV (Common-View) polega na jednoczesnej obserwacji tych samych satelitów systemów nawigacyjnych w odniesieniu do lokalnych skal czasu przez różne, zwykle odległe od siebie laboratoria, i służy do zdalnych porównań skal czasu utrzymywanych przez te laboratoria. Systemy do transferu czasu tą metodą mogą pracować w różnych konfiguracjach. Posiadają nieznaną sumaryczne wewnętrzne opóźnienia, które podlegają kalibracji najczęściej poprzez porównanie wskazań z systemem kalibracyjnym, którego opóźnienie wewnętrzne uznaje się za znane lub stałe.

Pomiary z systemem kalibracyjnym są zwykle skrócone do niezbędnego minimum, tj. do 3-5 dni, i powinny być powtarzane co kilka lat. Natomiast, w istocie, wartość wewnętrznego opóźnienia kalibrowanego systemu podlega szybszym zmianom sezonowym – w części związanej z anteną i końcówką kabla antenowego umieszczonych na zewnątrz budynku, oraz krótko- i długookresowym – związanym z lokalnymi zmianami warunków środowiskowych w laboratorium. Dzięki równoległemu stosowaniu kilku systemów do transferu czasu metodą GPS CV przez to samo laboratorium, czy dodatkowo wprowa-

dzaniu technologii światłowodowych do precyzyjnego transferu czasu pomiędzy różnymi laboratoriami, możliwa jest ocena poprawności przyjęcia danej wartości poprawki kalibracyjnej oraz określenie przybliżonego faktycznego zakresu jej zmienności. Za każdym razem mamy jednak do czynienia z parą systemów do transferu czasu pracujących w różnych konfiguracjach. Stąd pojawiają się liczne trudności interpretacyjne: któremu systemowi czy elementowi systemu należy przypisać obserwowaną zmianę, jakie jest jej źródło, czy zmiany w obu systemach nie są skorelowane, itd.

Niniejszy referat jest próbą zarysowania problematyki tego zagadnienia z perspektywy doświadczeń Laboratorium Czasu i Częstotliwości Zakładu Elektrycznego Głównego Urzędu Miar.

5. Adam Urbanowicz:

Niepewność pomiaru przy wzorcowaniu instalacji pomiarowych do cieczy innych niż woda

Instalacja pomiarowa jest to przyrząd pomiarowy składający się z licznika oraz urządzeń do zapewnienia poprawnego pomiaru lub przeznaczonych do ułatwienia operacji pomiarowych, przeznaczony do ciągłego i dynamicznego pomiaru ilości (objętości lub masy) cieczy innych niż woda. W skład instalacji wchodzi m.in.:

- urządzenia eliminujące gaz (separatory),
- zawory różnicowe,
- przezierniki,
- urządzenia do utrzymywania stałego poziomu odniesienia,
- urządzenia współpracujące np. gęstościomierze, ciśnieniomierze, czujniki temperatury.

Mnogosc urządzeń wchodzących w skład instalacji i możliwości ich wzajemnej konfiguracji powoduje, że praktycznie każda instalacja jest inna i cechuje się inną charakterystyką metrologiczną. Ponadto wpływ na tę charakterystykę ma rodzaj cieczy przepływającej przez instalację. Wobec powyższego możemy wyróżnić m.in.:

- instalacje pomiarowe w rurociągach,
- instalacje odbiorcze i wydawcze do mleka,
- odmierzacze gazu ciekłego propan-butan,
- odmierzacze paliw ciekłych,
- instalacje do napełniania cystern,
- instalacje do cieczy kriogenicznych.

Wzorcowanie instalacji pomiarowych metodą objętościową polega na określeniu błędów względnego wskazań

licznika instalacji przy danym strumieniu przepływu cieczy. Ilość cieczy, jaka przepłynęła przez licznik instalacji, porównuje się z ilością, która wpłynęła do wzorca objętości, jakim jest kolba metalowa II rzędu. Wyrażenie opisujące błąd względny stanowi równanie pomiaru dla takiego układu i na jego podstawie określane jest równanie niepewności pomiaru.

Szczególnym przykładem są instalacje do wydawania paliw ciekłych. Na ich przykładzie szczegółowo omówione jest równanie pomiaru i składowe niepewności złożonej w zależności od typu wzorca. Przedstawione są również praktyczne aspekty obliczania niepewności pomiaru i często spotykane błędy.

6. Mikołaj Woźniak:

Szacowanie niepewności pomiaru siłomierzy zgodnie z nowymi zaleceniami normy PN-EN ISO 376:2011

W 2011 roku ukazało się nowe wydanie normy PN-EN ISO 376:2011 *Wzorcowanie siłomierzy kontrolnych stosowanych do sprawdzania jednoosiowych maszyn wytrzymałościowych*. Jest to Polska Norma napisana w języku angielskim i jeden z podstawowych dokumentów międzynarodowych, wykorzystywany przez laboratoria zajmujące się pomiarami siły. W nowym wydaniu zaszły dwie zasadnicze zmiany w porównaniu z poprzednią edycją: zdefiniowane zostało nowe kryterium oceny siłomierza – błąd pełzania, a w formie dodatku do normy zaprezentowana została zalecana, ale nieobowiązkowa metoda szacowania niepewności wzorcowania siłomierzy. Metoda ta znacznie różni się od metody stosowanej wcześniej w Laboratorium Siły i Ciśnienia GUM, opartej na podstawie dokumentu EAL-G22. Zostały wprowadzone m.in. nowe składowe niepewności złożonej (pochodzące od temperatury i pełzania). Zmieniony został także sposób szacowania składowych niepewności pochodzących od odtwarzalności, rozdzielczości, interpolacji i wskazania zerowego. Dodatkowo, sporządzana jest zależność wyznaczonych wartości niepewności złożonej od siły wzorcowej,

która jest dopasowywana odpowiednio dobraną krzywą. Zalecenia opisane dodatku normy PN-EN ISO 376:2011 są jednak w kilku miejscach niejasne i mogą być różnie interpretowane.

Celem referatu jest przybliżenie zaleceń normy dotyczących szacowania niepewności wzorcowania siłomierzy oraz przedstawienie metody opracowanej w Laboratorium Siły i Ciśnienia GUM na ich podstawie oraz po skonsultowaniu niejasnych zapisów z autorami zmian.

7. Roman Osmyk:

Analiza szacowania niepewności pomiaru w porównaniu międzylaboratoryjnym M44-TF.1a-I w dziedzinie czasu i częstotliwości

W porównaniu międzylaboratoryjnym M44-TF.1a-I z 2011 r. w dziedzinie czasu i częstotliwości wykorzystano nowy wzorzec przenośny: generator z symulatorem sygnału z silnika krokowego zegara elektronicznego, charakteryzujący się zdecydowanie lepszą stabilnością i dokładnością wskazań od wcześniej używanego, jako wzorca przenośnego, stopera elektronicznego HS-1000. Dzięki temu możliwa była dokładniejsza weryfikacja stosowanych przez uczestników porównania sposobów szacowania niepewności przy wykonywaniu pomiarów za pomocą chronokomparatora. Szczególnie istotny wpływ ma sposób uwzględniania w niepewności wyniku pomiaru niestabilności przyrządu kontrolnego, odczytywanej ze świadectwa wzorcowania chronokomparatora w postaci zakresu zmian błędu zera.

W referacie omówione są sposoby szacowania niepewności pomiaru stosowane przez poszczególne laboratoria i wynikające z ich przyjęcia konsekwencje. Przedstawione są również przykłady charakterystyk błędu zera, problem rozrzutu wyników pomiaru w kontekście poprawności zestawienia układu pomiarowego oraz nieco zmienione podejście do podawania wyników wzorcowania chronokomparatorów w świadectwach wzorcowania wystawianych przez GUM.