

Dwudziestolecie Przewodnika wyrażania niepewności pomiaru

Twentieth anniversary of the Guide to Uncertainty in Measurement

Paweł Fotowicz (GUM)

The Guide to Uncertainty in Measurement presents the rules of evaluation and expression measurement uncertainty applicable to a broad spectrum of metrology fields. The method of the Guide for evaluating and expressing the uncertainty of measurement result is universal, consistent and transferable. The method is applicable to all kinds of measurements and to all types of input data used in measurements. The Guide presents practicable procedure of measurement uncertainty evaluation, including mathematical model of measurand, law of uncertainty propagation, input quantities, uncertainty budget, calculation of expanded uncertainty, and recording of measurement result.

Przewodnik przedstawia podstawowe zasady wyznaczania niepewności pomiaru mogące mieć zastosowanie we wszystkich dziedzinach pomiarowych. Metoda zalecana przez Przewodnik ma charakter uniwersalny, spójny i przechodni, umożliwiając wykorzystanie jej przy opracowywaniu wyników pomiarów wykonywanych w nauce, technice, handlu i przemyśle. Dokument rekomenduje praktyczną procedurę postępowania obejmującą model pomiaru, prawo propagacji niepewności, opis wielkości wejściowych, tworzenie budżetu niepewności, obliczenie niepewności rozszerzonej i wyrażanie wyniku pomiaru.

W tym roku mija już dwadzieścia lat od drugiego i poprawionego wydania podstawowego dokumentu w dziedzinie opracowania danych pomiarowych, firmowanego przez Międzynarodowe Biuro Miar (BIPM), a mianowicie Przewodnika GUM (akronim od Guide to Uncertainty in Measurement), dotyczącego wyrażania niepewności pomiaru. Przewodnik stał się fundamentalnym standardem w dziedzinie opracowania danych pomiarowych we wszystkich obszarach zastosowań metrologii. Dokument wychodzi poza tradycyjne podejście w tej dziedzinie, polegające jedynie na analizie statystycznej tylko danych pochodzących z samego pomiaru przy opracowaniu jego wyniku, ponieważ zaleca uwzględnianie, obok informacji płynącej bezpośrednio z pomiaru, również informacji o pomiarze, ale pochodzących z innych źródeł. Takie podejście pozwala, przy opracowywaniu wyniku pomiaru, brać pod uwagę, obok wpływu oddziaływań przypadkowych na pomiar, również wpływu oddziaływań systematycznych, wymykające się tradycyjnej analizie statystycznej. Przedstawia jednolity sposób traktowania tych oddziaływań w postaci tzw. prawa propagacji niepewności. Jest to jedno z fundamentalnych rozwiązań w dziedzinie teorii niepewności pomiaru.

Krótką historią powstania Przewodnika

Historia Przewodnika rozpoczyna się od listu, jaki w 1977 r. ówczesny Dyrektor NBS (National Bureau of Standards) przesłał na ręce Dyrektora BIPM, podkreślając w nim potrzebę jednolitego sposobu wyrażania niepewności pomiaru, sugerując jednocześnie powołanie przez Międzynarodowy Komitet Miar (CIPM) grupy roboczej, która mogłaby zająć się opracowaniem odpowiednich zasad postępowania.

CIPM, wiedząc, że brakuje zgodności poglądów co do jednolitego sposobu wyrażania niepewności pomiaru, zobowiązał BIPM, aby w porozumieniu z krajowymi instytucjami metrologicznymi zajął się tym problemem i opracował odpowiednie zalecenia. BIPM przygotował w tej sprawie odpowiedni szczegółowy kwestionariusz, który rozesłało do krajowych i międzynarodowych instytucji metrologicznych. Większość z nich odpowiedziała pozytywnie na przedłożoną inicjatywę. Na podstawie przesłanych odpowiedzi można było dojść do wniosku, że istnieje silna potrzeba opracowania jednolitej procedury postępowania w dziedzinie opracowania danych pomiarowych. Jednakże nie było zgodności co do metody, jaką należy zastosować. Dlatego BIPM zorgani-

zował spotkanie mające na celu opracowanie jednolitej procedury określania niepewności pomiaru. W spotkaniu uczestniczyli eksperci z Krajowych Instytucji Metrologicznych (NMI's), powołując Grupę Roboczą ds. Określania Niepewności (Working Group on the Statement of Uncertainties), która sformułowała w 1980 r. Zalecenie INC-1 pt. *Wyrażanie niepewności eksperymentalnych*. Zalecenia te stały się podstawą opracowania Przewodnika. Pracę nad nim powierzono specjalnie utworzonej grupie roboczej TAG 4 (Technical Advisory Group on Metrology), w skład której wchodziłi, oprócz BIPM, przedstawiciele sześciu międzynarodowych organizacji metrologicznych. Instytucje te to: Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO), Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (IEC), Międzynarodowa Federacja Chemii Klinicznej (IFCC), Międzynarodowa Unia Chemii Czystej i Stosowanej (IUPAC), Międzynarodowa Unia Fizyki Teoretycznej i Stosowanej (IUPAP) i Międzynarodowa Organizacja Metrologii Prawnej (OIML). Efektem pracy tej grupy było pierwsze wydanie Przewodnika w 1993 r. i jego ponowienie w 1995 r. Skorygowane wydanie z 1995 r. stało się podstawą do opracowania wersji elektronicznej, opublikowanej na stronie internetowej BIPM w 2008 r.



Okładka wersji elektronicznej Przewodnika dostępnej na stronie internetowej BIPM

Zalecenia dotyczące wyrażania niepewności eksperymentalnych

Grupa Robocza ds. Określania Niepewności sformułowała pięć założeń, uznając, że niepewność wyniku pomiaru utworzona jest z szeregu składowych, które można podzielić na dwie kategorie, w zależności od przyjętej metody obliczeniowej. Założenia te sprowadzają się do następujących stwierdzeń:

1. Obliczanie niepewności składowych może być wykonywane metodą typu A i B;
2. Metoda typu A polega na analizie statystycznej serii obserwacji;
3. Metoda typu B polega na analizie innej niż statystyczna;
4. Niepewność złożona otrzymywana jest metodą składania wariancji;
5. Niepewność całkowita jest powiększona w stosunku do niepewności złożonej.

Podział składowych na niepewności obliczane metodą typu A i B sankcjonuje tradycyjny, stosowany w metrologii, podział na niepewności przypadkowe i systematyczne, lecz ich tak nie nazywa, ponieważ może być to mylące. Pierwsze z tych składowych obliczane są tradycyjną metodą statystyczną wyrastającą z analizy wariancji eksperymentalnej, której podstawy na początku XX w. sformułował Ronald Fisher. Drugie to składowe wyznaczane na podstawie wiedzy o pomiarze, których analiza statystyczna nie obejmuje. Tu stosowane jest podejście probabilistyczne, polegające na przypisaniu określonego rozkładu prawdopodobieństwa i wyznaczaniu niepewności w postaci parametru takiego rozkładu, którym jest odchylenie standardowe. W obu przypadkach można łączyć niepewności standardowe metodą składania wariancji, a powstała w ten sposób niepewność złożoną i stosownie powiększoną o określony współczynnik należy związać z wynikiem pomiaru. Zalecenia powyższe stały się podstawą sformułowania zasad wyznaczania niepewności wyrażoną na kartach Przewodnika.

Zasady Przewodnika

Podstawową zasadą postępowania wyrażonego w Przewodniku jest modelowanie pomiaru. Model pomiaru bowiem jednoznacznie określa wielkość, która ma być zmierzona. Wielkość ta nazywana jest menzurandem. Menzurand, traktowany jako wiel-

kość wyjściowa, opisywany jest w postaci liniowej funkcji pomiaru. Argumentami tej funkcji są wielkości wejściowe, stanowiące poszczególne składowe niepewności pomiaru. Z każdą z takich składowych należy związać niepewność standardową. Niepewność standardowa wyrażana jest w postaci odchylenia standardowego. W przypadku metody typu A jest to zawsze odchylenie standardowe eksperymentalne średniej, obliczane na podstawie próby losowej. W przypadku metody typu B jest to odchylenie standardowe rozkładu przypisywanego wielkości wejściowej na podstawie dostępnej informacji. Otrzymane w ten sposób niepewności standardowe sumuje się przy użyciu formuły nazywanej prawem propagacji niepewności, wyznaczając w ten sposób złożoną niepewność standardową. Zastosowana formuła powstała na bazie rozwinięcia funkcji pomiaru w szereg Taylora o wyrazach pierwszego rzędu zawierających pochodne cząstkowe, nazywane współczynnikami wrażliwości. W obliczeniach uwzględnić można również niezbędne korelacje pomiędzy poszczególnymi parami wielkości wejściowych. Jednakże w podstawowym podejściu, na ogół, przyjmuje się założenie o braku korelacji pomiędzy wielkościami wejściowymi.

Podstawą podawania wyniku pomiaru jest określanie odpowiedniego przedziału jego zmienności nazywanego przedziałem rozszerzenia. Przedział ten wyznacza odpowiednio powiększona złożona niepewność standardowa, przy użyciu współczynnika rozszerzenia, nazywana niepewnością rozszerzoną. Ona jest właściwą i zalecaną miarą niepewności związaną z wynikiem pomiaru. Współczynnik rozszerzenia natomiast określany jest na podstawie rozkładu prawdopodobieństwa związanego z menzurandem i przyjętej umownie wartości prawdopodobieństwa rozszerzenia, na ogół 95 %.

Znaczenie Przewodnika

Przewodnik ustala ogólne zasady obliczania i wyrażania niepewności pomiaru, które mogą znaleźć zastosowanie przy opracowywaniu wyników pomiarów o dowolnej dokładności i we wszystkich dziedzinach, od pomiarów handlowych do pomiarów naukowych w badaniach podstawowych. Jest pierwszym tego rodzaju dziełem, stworzonym przez międzynarodową wspólnotę metrologiczną. Wychodzi naprzeciw powszechnemu oczekiwaniu dotyczącemu ujednoczeniu zasad dotyczących opracowania danych pomiarowych

i przedstawienia wyniku pomiaru w uzgodnionej postaci. Ma to istotne znaczenie dla zapewnienia spójności pomiarowej w skali globalnej.

Zasady postępowania przedstawione w Przewodniku są przeznaczone do stosowania w szerokim zakresie pomiarów, a w szczególności do pomiarów niezbędnych przy: kontroli i sterowaniu jakością w produkcji, przestrzeganiu i wprowadzaniu zarządzeń i przepisów, prowadzeniu badań podstawowych i wdrożeniowych oraz wykorzystywaniu ich wyników w nauce i technice, wzorcowaniu przyrządów pomiarowych i w ten sposób zapewnieniu spójności pomiarowej oraz rozwijaniu, utrzymywaniu i porównywaniu wzorców międzynarodowych i państwowych, z materiałami odniesienia włącznie.

Przedstawiona w Przewodniku metoda obliczania i wyrażania niepewności wyniku pomiaru jest uniwersalna, czyli może być stosowalna do wszystkich rodzajów pomiarów i do wszystkich typów danych wejściowych używanych w pomiarach. Wyznaczona niepewność pomiaru ma charakter wewnętrznie spójny, czyli zbudowana jest z szeregu składowych i niezależna od sposobu pogrupowania tych składowych oraz jest przechodnia, czyli możliwa do bezpośredniego zastosowania jako składowa przy obliczaniu niepewności kolejnego pomiaru, w którym wykorzystywany jest jej wynik.

Ujednoczenie zasad obliczania i wyrażania niepewności pomiaru umożliwia jednoznaczną interpretację wyników pomiarów wykonywanych w różnych miejscach i w różnym czasie na całym świecie. Jest to szczególnie istotne w pracy laboratoriów pomiarowych, a także ma istotne znaczenie dla wszystkich eksperymentatorów, którzy korzystają z wyników pomiarów wykonanych przez innych i którzy chcą, aby ich wyniki były też wykorzystywane. Ujednoczenie, w skali światowej, podejścia do obliczania i wyrażania niepewności pomiarów, umożliwia pełne zrozumienie i właściwą interpretację wyników pomiarów wykonywanych w nauce, technice, handlu i przemyśle. Pozwala także na łatwe ich porównywanie. Można zaryzykować twierdzenie, że Przewodnik dotyczący wyrażania niepewności pomiaru stał się, obok spójnego układu jednostek miar SI, fundamentalnym dokonaniem metrologii.

Wersja elektroniczna Przewodnika dostępna jest na stronie internetowej BIPM:

http://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf