
Niepewność pomiaru, jej wyznaczanie i wyrażanie (1)

Błąd a niepewność pomiaru

Doc. dr inż. Jan BEK
Instytut Metrologii i Systemów Pomiarowych
Politechniki Warszawskiej

W artykule przedstawiono analizę i porównanie pojęć „błąd pomiaru”, „niepewność pomiaru” i „błąd graniczny pomiaru” na tle stosownych zaleceń BIPM i CIPM oraz przewodnika ISO w sprawie wyrażania niepewności pomiaru. Zaproponowano rozwiązanie pozwalające uniknąć nieporozumień przy stosowaniu wymienionych pojęć do przedstawiania wyników pomiarów.

Między wynikiem pomiaru a wartością wielkości mierzonej występuje zawsze pewna rozbieżność zwana błędem pomiaru (lub ściślej - błędem wyniku pomiaru), będąca skutkiem nieuniknionych strat informacji w procesie pomiarowym. Proces pomiarowy jest zatem aktem kreacji zarówno wyniku pomiaru, jak i błędu pomiaru.

Błąd pomiaru zawiera na ogół wiele składowych, z których część ma charakter zdeterminowany, część zaś losowy (przypadkowy). Część błędu obejmująca składowe o charakterze zdeterminowanym nazywana jest systematycznym błędem pomiaru, zaś część obejmująca składowe o charakterze losowym - przypadkowym błędem pomiaru. Ogólnie więc błąd pomiaru można traktować jako wielkość losową o niezerowej wartości oczekiwanej.

Losowość błędu pomiaru sprawia, że wynik pomiaru nie daje pewnej i jednoznacznej informacji o war-

tości wielkości mierzonej. Ta niedoskonałość wyniku pomiaru nazywana jest niepewnością pomiaru (lub niepewnością wyniku pomiaru). Jako miarę niepewności pomiaru przyjmuje się przy tym przedział wartości wielkości mierzonej, obejmujący z określonym prawdopodobieństwem wartość prawdziwą wielkości mierzonej.

Z uwagi na złożoność problemu wyznaczania i wyrażania niepewności wyników pomiarów, w różnych ośrodkach metrologicznych panowała duża różnorodność podejścia do tego problemu. W celu wyeliminowania tej różnorodności i ujednoczenia sposobu wyznaczania i wyrażania niepewności wyników pomiarów Międzynarodowe Biuro Miar (BIPM), z inspiracji Międzynarodowego Komitetu Miar (CIPM), podjęło w końcu lat 70-tych szeroko zakrojone prace w tym zakresie [1]. W wyniku tych prac powołana przez BIPM Grupa Robocza przedstawiła CIPM zale-

cenie INC-1 (1980) w sprawie wyrażania niepewności eksperymentalnych, którego treść przytacza się niżej za [1]:

1. Niepewność wyniku pomiaru zawiera na ogół wiele składników, które można podzielić na dwie kategorie w zależności od metody stosowanej do oszacowania ich wartości liczbowej:

a) takie, które wyznacza się za pomocą metod statystycznych,

b) takie, które wyznacza się za pomocą innych metod. Nie zawsze istnieje prosta odpowiedniość między podziałem na kategorie A lub B i podziałem na charakter „losowy” lub „systematyczny”, stosowany dawniej do klasyfikacji niepewności. Wyrażenie „niepewność systematyczna” może prowadzić do mylnej interpretacji; należy go unikać.

Każdy szczegółowy opis niepewności powinien zawierać kompletny spis składników i wskazywać dla każdego z nich metodę stosowaną przy przypisywaniu im wartości liczbowej.

2. Składniki kategorii A charakteryzuje się wariancjami w próbce s_f^2 (lub „odchyleniami standardowymi” w próbce s_j) i liczbami j stopnia swobody. W pewnych przypadkach należy podawać kowariancje w próbce.

3. Składniki kategorii B należy charakteryzować za pomocą wyrazów u_j^2 , które można traktować jako przybliżenie odpowiednich wariancji, co do których zakłada się, że istnieją. Wyrazy u_j^2 można uważać za wariancje, a wyrazy u_j - za odchylenia standardowe. W pewnych przypadkach kowariancje należy traktować w sposób analogiczny.

4. Niepewność łączną należy charakteryzować wartością uzyskaną przez zastosowanie zwykłej metody składania wariancji. Niepewność łączną, jak również jej składniki należy wyrażać w postaci „odchylen standardowych”.

5. Jeżeli w szczególnych zastosowaniach należy pomnożyć przez pewien czynnik niepewność łączną chcąc uzyskać niepewność globalną, to zawsze należy podawać wartość liczbową tego czynnika.

Zalecenie to spotkało się z aprobatą Międzynarodowego Komitetu Miar, który potwierdził to własnym zaleceniem 1 (CI - 1981) CIPM w sprawie wyrażania niepewności eksperymentalnych. Treść tego zalecenia CIPM przytacza się niżej również za [1]:

Międzynarodowy Komitet Miar biorąc pod uwagę

- konieczność uzgodnienia jednolitych sposobów dotyczących wyrażania niepewności w metrologii,
- wieloletnie wysiłki podejmowane w tym celu przez różne jednostki organizacyjne,

- zachęcające postępy zmierzające w kierunku możliwego rozwiązania, które wyniknęły z dyskusji na temat wyrażania niepewności, prowadzonych w łonie Grupy Roboczej, która zebrała się w BIPM w 1980 roku,

stwierdza, że propozycje Grupy Roboczej mogą stanowić bazę ewentualnego uzgodnienia dotyczącego wyrażania niepewności,

zaleca:

- aby propozycje tej Grupy Roboczej były szeroko rozpowszechnione wśród zainteresowanych,

- aby BIPM postarało się zastosować zasady zawarte w tych propozycjach do komparacji, które będzie ono organizować w nadchodzących latach,

- aby inne zainteresowane jednostki organizacyjne przestudiowały i poddały próbom te propozycje oraz przekazały swoje obserwacje do BIPM,

- aby w ciągu dwóch lub trzech lat BIPM dokonało ustalenia dotyczącego wdrożenia do praktyki tych propozycji.

Po kilku latach „próbego” stosowania powyższych zaleceń i zbierania doświadczeń w tym zakresie Międzynarodowy Komitet Miar w 1986 r. wydał zalecenie 1 (CI - 1986) CIPM w sprawie wyrażania niepewności w pracach wykonywanych pod auspicjami CIPM, w którym potwierdził poprzednie zalecenia, ograniczając je jednak (jak wynika z tytułu zalecenia) tylko do prac „wykonywanych pod auspicjami CIPM”.

Zalecenie Grupy Roboczej BIPM i zalecenia CIPM zawierają tylko ogólne sformułowania i nie rozstrzygają wielu praktycznych kwestii, występujących przy wyznaczaniu i wyrażaniu niepewności wyników pomiarów. Z tej racji Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO) podjęła się opracowania i opublikowania przewodnika, który zawierałby wytyczne do praktycznego stosowania zaleceń BIPM i CIPM wraz ze stosownymi przykładami. Przewodnik taki ukazał się w 1993 r. [4], opracowana została również (w Głównym Urzędzie Miar) pierwsza wersja polskiego tłumaczenia przewodnika. Z przykrością trzeba jednak stwierdzić, że przewodnik zawiódł pokładane w nim nadzieje, gdyż zawiera szereg mankamentów i nieścisłości, które ograniczają możliwość powszechnego i poprawnego stosowania go w praktyce.

Mimo tak szeroko prowadzonych prac na szczeblu międzynarodowym, wyznaczanie i wyrażanie niepewności wyników pomiarów nadal nastrocza wiele trudności, i to nawet w poprawnym rozumieniu samego pojęcia „niepewność”. W praktyce laboratoryjnej i przemysłowej, a także w literaturze termin „niepewność” nadal stosowany bywa również w znaczeniu błędu pomiaru. Nazwę „błąd” zastępuje się wprost nazwą „niepewność”, pozostawiając bez zmiany samo pojęcie błędu. Powstają w ten sposób terminy: „niepewność pomiaru”, „niepewność systematyczna pomiaru”, „niepewność przypadkowa pomiaru” w znaczeniu błędów pomiarów.

Tego rodzaju praktyka jest o tyle niebezpieczna, że zatracą się różnicę między istotą pojęcia „błąd” i pojęcia „niepewność”, a także miesza się znaczenie obu tych pojęć, mimo że one wyraźnie różnią się od siebie (patrz np. [3]). Niepewność jest przecież następstwem błędu, a ściślej jego losowego charakteru,

a więc następstwem tylko składowej przypadkowej błędności. Błąd systematyczny zaś jest z natury rzeczy wielkością wyznaczalną albo na drodze teoretycznej, albo na drodze eksperymentalnej. Wyznaczona wartość błędności systematycznego lub też wzięta z odwrotnym znakiem poprawka nie jest, oczywiście, bezbłędna i w tym sensie z błędem systematycznym także może wiązać się określona niepewność. Jest to jednak tylko drobna część błędności systematycznego, której nie można wyznaczyć wskutek błędów przypadkowych wchodzących - w końcowym rozrachunku - do składowej przypadkowej błędności pomiaru.

Błąd systematyczny nie zawsze może być dobrze poznany, np. co do praw nim rządzących. Nie zawsze też umiemy wyznaczyć błąd systematyczny albo też jego wyznaczenie jest - z różnych względów - nieoptymalne. Nasza wiedza o błędzie systematycznym lub określone podejście do jego wyznaczania nie zmienia jednak charakteru błędności - zawsze pozostaje on błędem systematycznym.

Widzimy więc, że używanie terminu „niepewność” zamiast „błąd”, zwłaszcza w odniesieniu do błędności systematycznego i tworzenie w ten sposób nowego terminu np. „niepewność systematyczna” nie znajduje uzasadnienia. Wyraźnie to podkreślono zarówno w zaleceniu BIPM, jak i w przewodniku ISO.

Można przypuszczać, że jedną z przyczyn nazywania błędności pomiaru niepewnością, a także mylenia obu tych pojęć jest bardzo szerokie rozpowszechnienie terminu „błąd graniczny” (lub „błędy graniczne”) i to nie tylko w odniesieniu do wyników pomiarów, ale także w odniesieniu do wskazań narzędzi pomiarowych. Termin „błąd graniczny” (lub „błędy graniczne”) jest w sensie znaczeniowym bardzo bliski terminowi „niepewność”. W obu przypadkach mamy bowiem do czynienia z przedziałem, który z określonym prawdopodobieństwem, zwykle bliskim jedności, obejmuje: w przypadku błędności granicznej - prawdziwą wartość błędności, zaś w przypadku niepewności - prawdziwą wartość wielkości mierzonej. W istocie rzeczy są to takie same - co do długości - przedziały, różniące się tylko położeniem na osi liczbowej. Przedział błędności granicznej położony jest w pobliżu zera, zaś przedział niepewności - w pobliżu wartości prawdziwej wielkości mierzonej.

Ponieważ wynik pomiaru np. wartości a wielkości mierzonej, podaje się zwykle w postaci

$$a = w \pm e$$

gdzie:

w - skorygowany wynik pomiaru,
 e - połowa przedziału niepewności pomiaru
 równa połowie przedziału granicznej błędności pomiaru,

to w praktyce ztraca się różnica między pojęciami niepewności i błędności granicznej, chociaż nie są to pojęcia tożsame.

Przedstawione wyżej rozważania prowadzą do wniosku, że ze względów praktycznych można by, albo nawet należałoby zrezygnować z równoczesnego stosowania terminów „niepewność pomiaru” i „błąd graniczny pomiaru”. Autor wypowiada się przy tym za zrezygnowaniem ze stosowania terminu „niepewność pomiaru” i pozostawieniem tylko terminu „błąd graniczny pomiaru”. Takie samo rozwiązanie należałoby przyjąć również w odniesieniu do wskazań narzędzi pomiarowych.

Przyjęcie powyższej propozycji nie przyniosłoby - zdaniem autora - żadnego uszczerbku na poprawności i ścisłości rozwiązań w zakresie prezentacji wyników pomiarów lub charakterystyk narzędzi pomiarowych. Pozwoliłoby natomiast uniknąć mylenia pojęć „niepewność” i „błąd” lub też niewłaściwego stosowania nazwy „niepewność” w odniesieniu do błędności, zwłaszcza systematycznych.

Warto również podkreślić, że termin „niepewność” w sensie ogólnym oznacza wątpliwość, w rozpatrywanym przypadku wątpliwość co do poprawności wyniku pomiaru (patrz np. [4]). Tak rozumiana niepewność (wątpliwość) wyrażana jest zwykle w procentach, zaś niepewność pomiaru (w sensie bezwzględny) wyraża się w jednostkach wielkości mierzonej. Dopiero niepewność względną (odniesioną np. do wyniku pomiaru) można wyrazić w procentach. Okoliczność ta również może prowadzić do nieporozumień, których uniknie się stosując termin „błąd graniczny”.

Wreszcie należy podkreślić, że termin „błąd graniczny” w porównaniu z „niepewnością” ma jeszcze jedną zaletę - może obejmować zarówno błędy przypadkowe, jak i systematyczne, podczas gdy niepewność wiąże się zawsze z losowością, a więc może się odnosić tylko do błędności przypadkowych. „Błąd graniczny” jest więc bardziej uniwersalnym terminem niż „niepewność”, a przez uzupełnienie go dodatkowymi określeniami może być z powodzeniem stosowany w wielu różnych sytuacjach bez obawy o nieporozumienie.

Bibliografia

- [1] Biuletyn Informacyjny Instytutu Łączności nr 1-2 (223-224)/1984. Warszawa 1984
- [2] Biuletyn Informacyjny Instytutu Łączności nr 11-12 (285-286)/1990. Warszawa 1990
- [3] International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM). Second edition, ISO 1993
- [4] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. First edition, ISO 1993.

Abstracts

Error of measurement and uncertainty of measurement

Jan Bek p. 21

The paper presents analysis and comparison of the notions "error of measurement", "measurement uncertainty" and "error of measurement at a requested confidence level" considering the recommendation of BIPM and CIPM as well as the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement". A proposal is presented that makes possible to avoid misunderstandings at applying the mentioned notions to report the measurement results.