

Błąd a Niepewność – Nieporozumienia w Praktyce Laboratoryjnej

W niniejszym opracowaniu przedstawiono trudności na jakie napotyka laboratorium akredytowane w stosowaniu odpowiednich norm. które zawierają sformułowania nie mające jednoznacznego przełożenia odnośnie pojęć stosowanych w Przewodniku [2], gdzie podane są ogólne zasady szacowania i wyrażania niepewności. Występująca metodyka opracowywania norm stosowana przez lata, narzuciła określony zbiór pojęć i metod szacowania błędu zgodny z normą PN/71-02050 [3], która do chwili obecnej jest aktualną. W wyniku tego nasuwa się pytanie - jak należy postępować, gdy normy mają swoje pojęcia a Przewodnik sugeruje nowe nie zawsze spójne z normami. Stwierdza się, że w praktyce laboratoryjnej i przemysłowej, a także w piśmiennictwie metrologicznym, termin „niepewność” również jest stosowany w znaczeniu „błędu pomiaru”. Nazwę „błąd” zastępuje się wprost nazwą „niepewność”, pozostawiając bez zmiany samo pojęcie „błędu”. W ten sposób powstają terminy: „niepewność pomiaru” „niepewność systematyczna pomiaru” „niepewność przypadkowa pomiaru” w znaczeniu błędów pomiaru. W pracy tej dokonujemy próby przedstawienia trudności w przyjmowaniu ww. pojęć i potrzeby ich porządkowania.

Error and Uncertainty – the Disagreements in the Laboratory Practice

In the following elaboration are presented the difficulties which encountered in the laboratory empowered in the adaptation of adequate norms. They comprise formulations which do not have an unequivocal transfer regarding the notions applied in the Guide [2], where the general rules of the valuation and formulation of uncertainty are given. The occurring methodology of the elaboration of the norms, that has been applied for years, has forced a determined class of notions and methods of the valuation of error, according to the norm PN/71-02050 [3], which is valid till now. As the result a question arises: How to act, when the norms have their own notions and the Guide suggests some new, not always compact with the norms? It is ascertained that in the laboratory and industrial practice as well as in the metrological writings, the term “uncertainty” is also applied in the meaning of “error of measurement”. The appellation “error” is directly replaced by the name “uncertainty”, whereas the nation “error” itself is left without change. In this way two term arise: “uncertainty of measurement”, “systematic uncertainty of measurement”, “random uncertainty of measurement” in the meaning of error of measurement. In this research we make an attempt to present the difficulties in the reception of the above mentioned notions. We refer also to the need of putting them into order.

1. WPROWADZENIE

Praktyka badań laboratoryjnych wymaga jasności określeń i pełnej jednoznaczności. Niedopuszczalny jest zamęt w podstawowych pojęciach, szczególnie tych, które uznawane są za podstawowe i powinny być utrzymywane i pielęgnowane, dopóki nie „dojrzeją” nowe określenia do użycia. Metrologia prawna ma swoją ponad stuletnią historię bo już w 1889r. była I Generalna Konferencja Miar. Wobec tego faktu powstaje pytanie co z tego dorobku usunąć a co zostawić, gdy aktualnie zarzucani jesteśmy nowymi pojęciami, które niosą normy zagraniczne a praktyka laboratoryjna ma swoje doświadczenie i tempo. A normy zagraniczne zaczynają nas obowiązywać, a krajowe jeszcze obowiązują.

2. POMIAR

Między wynikiem pomiaru a wartością wielkości mierzonej występuje zawsze pewna rozbieżność zwana błędem pomiaru (lub błędem wyniku pomiaru), będąca skutkiem strat informacji nieuniknionych w procesie pomiarowym. Proces pomiarowy jest aktem tworzenia zarówno wyniku pomiaru jak i błędu pomiaru. Błąd pomiaru zawiera na ogół wiele składowych, z których część ma charakter zdeterminowany, część zaś przypadkowy-losowy. Ogólnie więc błąd pomiaru można traktować jako wielkość losową o niezerowej wartości oczekiwanej. Auditorów sprawdzających laboratorium interesuje często ocena tego błędu.

3. NIEPEWNOŚĆ POMIARU (NP)

Losowość błędu pomiaru sprawia, że wynik pomiaru nie daje jednoznacznej informacji o wartości wielkości mierzonej. Ta niedoskonałość wyniku pomiaru nazywana jest niepewnością (lub niepewnością wyniku). Jako miarę NP przyjmuje się przy tym przedział wartości wielkości mierzonej, obejmujący z określonym prawdopodobieństwem wartość prawdziwą wielkości mierzonej. W [1] podano w p.3.9 NP – parametr, związany z wynikiem pomiaru charakteryzujący rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej (uncertainty of measurement). Natomiast w [2] w trzech uwagach podano że: takim parametrem może być: odchylenie standardowe (lub jego wielokrotność), połowa szerokości przedziału mającego ustalony poziom ufności. Składniki niepewności można wyznaczyć na podstawie rozkładu statystycznego a priori, lub na podstawie rozkładów prawdopodobieństwa a posteriori, opartych na doświadczeniach lub innych informacjach. Wszystkie składniki niepewności, włącznie z tymi, które pochodzą od efektów systematycznych, jak na przykład składniki związane z poprawkami lub wzorcami odniesienia, wnoszą swój udział do rozrzutu. W [4] w p.3.7. podano: „ Niepewność pomiaru: Wynik postępowania mającego na celu oszacowanie przedziału, wewnątrz którego znajduje się wartość prawdziwa wielkości mierzonej, zwykle z daną wiarygodnością, gdy w tej samej normie tylko z 1993r użyto sformułowania „ zwykle z podanym prawdopodobieństwem”. O ile „ prawdopodobieństwo” określono w normie [5], to jednak „ wiarygodność ” nie jest zdefiniowana. Natomiast Uwaga 8 w p.3.7. [4] stwierdza:
” Zwykle niepewność pomiaru zawiera w sobie wiele składowych. Niektóre z nich mogą być oszacowane na podstawie statystycznego rozkładu wyników serii pomiarów i scharakteryzowane odchyleniem eksperymentalnym. Oszacowanie innych składowych może być dokonane na podstawie nabytego doświadczenia lub innych informacji.” Wobec tej uwagi pozostaje otwartym pytanie czy niepewność to „ oszacowanie przedziału czy „przedział”? A norma [5] podaje – oszacowanie – wartość estymatora otrzymana jako wynik estymacji. Jeżeli estymator – to statystyka służąca do estymacji parametru populacji – to o jakiej populacji powinniśmy mówić przy określaniu populacji. Dokładność estymacji związana jest

z licznością populacji. W przypadku pomiarów elementarnych charakterystyk – którą definicję powinniśmy przyjąć.

4. PRÓBA OCENY DEFINICJI - NP.

Sformułowania definicyjne NP. w praktyce laboratoryjnej budzą swoiste wątpliwości, które mogą z czasem doprowadzać do kontrowersji z auditorami. Sformułowanie w definicji z [1] na które zwrócono uwagę w [2] (s.4) wykazuje, że mamy do czynienia z pewną dowolnością, bo cóż to znaczy w definicji NP. „uzasadniony sposób przypisywania wielkości mierzonej”. Sądzone, że wprowadzenie pojęcia NP. miało uporządkować pewne wątpliwe sprawy związane z teorią błędów i ich różnych odmian. Pojęć dokładności i niedokładności. Jednak okazuje się, że NP. nie jest pojęciem jednoznacznym i nie zadawała wszystkich. W [2] pp.2.3.1, 2.3.3, 2.3.4, występują pojęcia: niepewność standardowa, złożona niepewność standardowa, niepewność rozszerzona.

5. PRZEWODNIK A NORMA

W [2] nie spotykamy już określenia błędu. Jednak w aneksie B w [2] znajdziemy określenia błędu pomiaru, względnego, przypadkowego czy systematycznego. Natomiast w dodatku do [2] J. Jaworskiego mamy rozwijany temat, niedokładność, błąd, niepewność. Widać wyraźnie że wydawca [2] zdawał sobie sprawę z niejednoznaczności pojęć i wprowadził brakujące określenia i je uzupełnił. Pozostaje pytanie – jaka jest definicja niedokładności. Dokładność pomiaru – stopień zgodności wyniku pomiaru z wartością rzeczywistą wielkości mierzonej, czy niedokładność to stopień niezgodności? Brak określenia budzi wątpliwości. Dalej nasuwa się pytanie jak Przewodnik [2] ma się do normy: „Metrologia Nazwy i określenia” [3] i czy w ogóle takie porównanie należy dokonywać. Jeżeli norma nie jest unieważniona i nie ma żadnych nowych projektów, to powstaje pytanie co z niej wybieramy a co usuwamy, kto o tym ma decydować? Norma jest dokumentem z tradycją, na którym wykształciło się całe pokolenie metrologów. W sposób konsekwentny w p.9 określa błędy wyników i narzędzi pomiarowych. Wprowadza pojęcie niepewności pomiaru, jako rozrzut wyników pomiaru wyznaczony przez błędy graniczne. Wprowadza określenie niedokładności pomiarów – wyrażone przez zespół błędów granicznych zawierający wszystkie błędy systematyczne oraz graniczne błędy przypadkowe. Wobec tego - nasuwają się pewne pytania: – czy laboratorium ma uwzględniać obowiązującą normę krajową czy nie? - czy laboratorium aby uzyskać akredytację ma uwzględniać pojęcia Przewodnika [2] (ponieważ te uznają auditorzy PCBC) ? Jak stwierdziliśmy Przewodnik [2] i norma [3] posiadają określenia tych samych pojęć ale różne. Jak laboratorium powinno reagować gdy występują różne dokumenty niespójne.

6. KLASA PRZYRZĄDU

W opracowaniu [1] w p.5.19 wprowadzono klasę dokładności – jako klasę przyrządów pomiarowych spełniających określone wymagania metrologiczne, których błędy zawarte są w wyznaczonych granicach. Jeżeli spojrzymy na pojęcie klasy przez pryzmat normy [3] wtedy możemy napisać:

$$\delta = \frac{(\bar{V}_i - V_c) \pm t \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)^2}{n-1}}}{W_{\max}} \leq 100\%$$

Gdzie:

δ - klasa przyrządu, W_{\max} - największe wskazanie jakie daje przyrząd, V_i - kolejne wskazania, \bar{V}_i - średnia arytmetyczna wskazań, V_c - wartość poprawnej wielkości mierzonej, $e_i = \bar{V}_i - V_c$ - błąd poprawności

Wprowadzone oznaczenia rozumiane są wg. [3] p.10.18, natomiast średni błąd kwadratowy wierności wskazań daje nam drugi człon licznika, ten błąd to błąd wierności, jeden z wskaźników rozrzutu. Jak widać z ww. zależności w pojęciu klasy mamy zawarty błąd systematyczny (błąd poprawności), błąd związany z rozrzutem to błąd wierności. Wprowadzenie maksymalnych wartości błędów - błędów granicznych wchodziło w pojęcie klasy. Jeżeli tę relację porównamy z pojęciem niepewności to zauważymy, że w liczniku w wyrażeniu pod pierwiastkiem mamy estymatę wariancji i jej dodatni pierwiastek kwadratowy nazywany odchyleniem standardowym eksperymentalnym.

Jak widzimy pojęcie klasy zawiera w sobie pojęcie niepewności rozszerzonej. Jeżeli tak to powstaje pytanie dlaczego pojęcie klasy nie figuruje w Przewodniku. Przecież jest ono prawdziwe, niezależnie jaki rodzaj rozkładu będzie przyjęty do rozważań. Nasuwa się pytanie czy nie prościej było wprowadzać pojęcia niepewności wychodząc z definicji klasy przyrządu, a potem wprowadzać pojęcia błędów związanych z klasą pojęciowo tylko, dla innych błędów niż graniczne, dla różnych rozkładów itp. Wprowadzone określenie niepewności nie pozwala na jednoznaczne powiązanie z klasą przyrządu, którego określenia w Przewodniku brakuje, a przecież wiadomo wszystkim, że praktyka laboratoryjna wymaga klasyfikacji używanych przyrządów i najczęściej wykorzystywano w tym celu pojęcie klasy przyrządu. Wiadomo było, że gdy wzorzec posiadał klasę wielokrotnie większą od sprawdzanego przyrządu, to analiza błędu była bezprzedmiotowa. Wobec tego powstaje pytanie, czy dla celów praktycznych nie należy zostawić pojęcie „błąd graniczny” a zrezygnować z pojęcia „niepewność pomiaru”. Czy w laboratoriach nie powinna istnieć możliwość wyboru takich czy innych ocen, które nie podlegałyby prądom „mody”? Natomiast żądanie od wszystkich używania głównie „niepewności” wydaje się, że jest niezgodne z tradycją pomiarową w Polsce, która ma swoje ponad sto lat istnienia. Dowodem na to, że jest możliwe używanie zamiennie pojęć niepewności i błędu, to fakt, że autor opracowania [5] pojęcie błędu utożsamia z pojęciem niepewności i nie przeszkadza mu ten fakt w rozważaniach ogólnych i obliczeniach.

7. METROLOGIA A WARUNKI TECHNICZNE ODBIORU

Jak wiadomo w praktyce pewne warunki tolerancji i odbioru narzucają odpowiednie ustosunkowanie się do wymagań metrologii. Szczególnie jest to interesujące, gdy chcemy wykorzystać [2]. W opracowaniu tym nie ma pojęć takich jak: precyzja, powtarzalność, odtwarzalność.

Definicje tych pojęć w [1] wykazują, że miarą ich może być rozrzut. Niepewności też rozrzut. Czy wobec tego możemy ww. pojęcia określać poprzez taką czy inną niepewność. Np. niepewność odtwarzalności, niepewność powtarzalności itp. Gdyby urządzenia pomiarowe były doskonałe, a przeprowadzenie pomiaru - idealnie bezbłędne, byłoby możliwe bezpośrednie ustalenie zmienności mierzonej cechy. W rzeczywistości jednak pomierzona wartość odzwierciedla zarówno wahania mierzonej wielkości, jak i błędy pomiaru. Termin metoda pomiaru może być rozumiany jako obejmujący nie tylko urządzenia pomiarowe i przepisany sposób ich użycia, lecz również sposób posługiwania się nimi przez wykonującego pomiar. Przez pojęcie precyzji metody pomiaru rozumiemy zmienność wyników, wtedy gdy stosuje się ją przy pomiarach powtarzanych wielokrotnie w tych

samych, ściśle kontrolowanych warunkach. Tam gdzie jest to praktycznie możliwe – należy powtarzać pomiar na tym samym wyrobie. Miarą liczbową precyzji jest odchylenie standardowe w rozkładzie częstości otrzymanym z tak powtarzanych pomiarów.

Wszelkie metody oceny precyzji opierają się na milczącym założeniu, że metoda jest odtwarzalna. Przez odtwarzalność metody pomiaru rozumiemy stałość jej modelu zmienności. Przez dokładność metody – rozumiemy zgodność wyników pomiaru z rzeczywistą wartością mierzonej właściwości. Praktyczna trudność oceny dokładności polega na tym, że rzeczywistą wartość można znaleźć jedynie za pomocą innej metody pomiaru, precyzyjniejszej metody pomiaru. Sumując – można powiedzieć: precyzja ma związek z podstawową zmiennością stosowanej metody, odtwarzalność z modelem zmienności, dokładność ze średnim poziomem zmienności.

8. PODSTAWOWE ZALEŻNOŚCI

Występuje zależność między zmiennością mierzonych wartości i precyzją metody

Analizę zmienności przeprowadzamy – traktując wartości pomiaru jako sumy dwóch zmiennych – istotnej wartości i błędu pomiaru. Ponieważ można przyjąć, że te dwie zmienne są od siebie niezależne wtedy wzór na odchylenie standardowe dwóch zmiennych niezależnych będzie miał postać:

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_3^2}$$

gdzie: σ_1 – odchylenie standardowe zmierzonej wartości, σ_2 – odchylenie standardowe rzeczywistej wartości, σ_3 – odchylenie standardowe błędu pomiaru.

Zależność ww. daje dobry pogląd na problemy związane z błędami pomiaru. Przydatność do obliczeń przy rozwiązywaniu praktycznych problemów zależy od możliwości znalezienia miarodajnego szacunku wartości odchylenia standardowego przypadkowych błędów pomiaru. Zależność pozwala na określenie granic tolerancji, które dawałyby wspólne odchyłki, dopuszczalne zarówno z tytułu błędów pomiaru jak i wahań rzeczywistych wartości pewnej cechy jakości. Precyzja ma związek z podstawową zmiennością, odtwarzalność z modelem zmienności, dokładność – ze średnim poziomem. Powstaje pytanie – jak ww. pojęcia wiążą się z niepewnością, a może już są niepewnością, przecież cały czas przecież operujemy pojęciem rozrzutu.

9. PODSUMOWANIE

W końcu spróbujmy określić pewne pytania i uwagi:

1. Czy ze względów praktycznych nie powinny laboratoria posiadać możliwości wyboru między „niepewnością pomiarów” a „błędem pomiaru”, w zależności od potrzeb.
2. Czy ww. zastrzeżenia nie powinny dotyczyć również wskazań narzędzi pomiarowych?
3. Błąd graniczny w porównaniu z „niepewnością” obejmuje zarówno błędy przypadkowe, jak systematyczne, podczas gdy niepewność wiąże się przeważnie z losowością, a więc powinna się odnosić głównie do błędów przypadkowych. Powstaje pytanie- czy „błąd graniczny” nie jest bardziej uniwersalnym terminem niż niepewność?
4. W odniesieniu do tego co podano w [2] s.178 p.4.1 wymaga wyjaśnienia stwierdzenie w jakim stopniu „niepewność” może być zastąpiona „błędem granicznym” szczególnie jest to istotne w rozmowach z auditorami.

5. Wymaga bliższego wyjaśnienia miejsce normy [3] w praktyce laboratoryjnej w odniesieniu do Przewodnika [2].
6. Istnieje potrzeba wyjaśnienie pojęcia klasy przyrządu w „dodatku” do wydania polskiego Przewodnika [2], i jego miejsca gdy używamy pojęcia „niepewność”.
7. W całokształcie wskazań Przewodnika istotne byłyby zalecenia praktyczne odnośnie stwierdzenia: w jakich rodzajach badań należy przyjmować taki a nie inny rozkład z odpowiednimi parametrami.
8. Jak wiadomo EA – European Cooperation for Accreditation tworzy procedury obliczeniowe niepewności uszczegółowiające zalecenia podane w [2]. Powstaje pytanie na ile te zalecenia są wiążące laboratoria w Polsce i jaka pozostaje rola GUM w ich realizacji.
9. W przypadkach szczególnych - nasuwa się pytanie – jak niepewność pewnego wyniku pomiaru odpowiednio oszacowana, mogłaby być wykorzystana do innych celów: porównywania wyników, określania granic tolerancji, przyjmowania optymalnych metod szacowania itp.?
10. Gdzie szukać odpowiedzi na postawione pytania gdy ich w Przewodniku [2] nie ma?
11. Statystyczna kontrola jakości wyrobów posiada określoną metodologię i normy. Związana jest z oceną utrzymania statystycznej stabilności produkcji w aspekcie takich problemów jak; przewidywane zużycie narzędzi, dotrzymania wymagań warunków wejściowych, materiałów itp. Wobec tego powstaje pytanie jak należy używać terminu „niepewność” w ocenie statystycznej wyrobów. Gdy mówimy o dokładności, precyzji i odtwarzalności produkcji lub wyrobu – czy też stabilności produkcji. Czy należy się spodziewać, że termin „tolerancja” zostanie zastąpiony przez „niepewność”? Szczególnie, gdy występuje analiza zmian tolerancji w oparciu o określone rozkłady.

LITERATURA

- [1] Międzynarodowy Słownik Podstawowych i Ogólnych Terminów Metrologia, GUM 1993.
- [2] Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik., GUM 1999.
- [3] PN-71/N-02050 – Metrologia Nazwy i określenia.
- [4] PN-ISO 10012- 1 z września 1998r. Wymagania dotyczące zapewnienia jakości wyposażenia pomiarowego
- [5] PN-90/N – 01051 – Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. Terminologia
- [6] Taylor J. – Wstęp do Analizy Błędu Pomiarowego, PWN, Warszawa 1999.