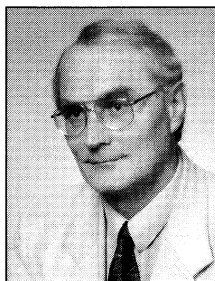


Piotr PAJZDERSKI ¹⁾, Tadeusz IGLANTOWICZ ²⁾

Dokładność metody pomiarowej a niepewność pomiaru - próba analizy

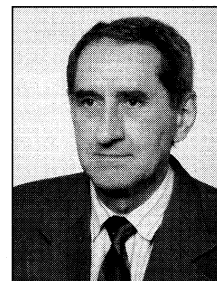
Mgr inż. Piotr PAJZDERSKI

– ukończył Wydział Mechaniczno-Technologiczny Politechniki Poznańskiej. Pracuje w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Obrabiarek i Urządzeń Specjalnych w Poznaniu na stanowisku specjalisty badawczo-technicznego jako kierownik laboratorium badawczego. Jest audytorem systemów jakości Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji i Głównego Urzędu Miar oraz wykładowcą PCBC w zakresie systemów jakości, szczególnie zastosowań metod statystycznych w zapewnieniu jakości. Główne zainteresowania naukowe to wykorzystanie metod i narzędzi statystycznych w doborze i nadzorowaniu wyposażenia kontrolno-pomiarowego.



Dr hab. inż. Tadeusz IGLANTOWICZ

– profesor nadzwyczajny Politechniki Szczecińskiej, kierownik Zespołu Metrologii i Organizacji Wytwarzania w Instytucie Technologii Mechanicznej na Wydziale Mechanicznym PS. Stopnie naukowe uzyskuje w latach; doktora nauk technicznych - 1969, doktora habilitowanego - w 1984 r. Jest autorem publikacji związanych badaniami doświadczalnymi dynamicznych właściwości obrabiarek a ostatnio z metrologią i analizą wymiarowania w zagadnieniach dotyczących zarządzania i zapewniania jakości w technologii budowy maszyn.



Streszczenie

W referacie omówiono pojęcia dokładności metody pomiarowej i niepewności wyników. Rozpatrzono różnice dotyczące tych pojęć. Analizę oparto o normę ISO 5725 [2] i Przewodnik do wyrażania niepewności pomiarów [3]. Wskazano na zakres zastosowań obu pojęć.

Abstract

The terms „accuracy of measurement methods” and „uncertainty of measurements” were discussed in the paper.

Differences between these terms were considered. The analysis based on the ISO 5725 standard and Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. The range of application both terms was indicated.

Wprowadzenie

Coraz powszechniejsze stosowanie znormalizowanych systemów jakości powoduje zwiększone zainteresowanie dbałością o wiarygodność wyników badań i pomiarów, na podstawie których oceniane są produkowane wyroby i procesy. Normy związane z systemami jakości (np. ISO 9000, EN 45001, Przewodnik ISO/IEC 25, AQAP, QS 9000, itp.), stawiają rygorystyczne wymagania dotyczące m.in. dokładności stosowanego wyposażenia i niepewności wyników pomiarowych.

Ze względu na brak w Polsce jednoznacznych uregulowań i interpretacji oraz istnienie rozdzźwięku pomiędzy wymaganiami norm „jakościowych” a normami „metrologicznymi” oraz bardzo długi cykl wdrożenia norm i przewodników międzynarodowych, instytucje wdrażające systemy jakości stają przed poważnymi problemami interpretacyjnymi. Rozwiązują je często intuicyjnie, czasami wyłącznie dla uczynienia zadość wymaganiom normy.

Wymagania dotyczące wyposażenia do pomiarów, kontroli i badań zawarte w powszechnie stosowanej normie dotyczącej modeli zapewnienia jakości (PN-ISO 9001) stwierdzają:

4.11.1 [...] „Wyposażenie do kontroli, pomiarów i badań, powinno być używane w sposób, który zapewnia, że niepewność pomiaru jest znana i zgodna z wymaganą zdolnością pomiarową.” [...]

4.11.2 [...] Dostawca powinien:

a) określić pomiary, które mają być wykonywane i ich wymaganą

dokładność oraz dobrać odpowiednie wyposażenie do kontroli, pomiarów i badań odznaczające się wymaganą dokładnością i precyzją [...].

Już w tych fragmentach normy występują pojęcia, których interpretacja jest wieloznaczna i sprawia wiele problemów.

Problem ten cechuje się wysokim stopniem złożoności. W chwili obecnej nie istnieje oficjalna polska wersja dokumentów dotyczących określania dokładności metod pomiarowych [2] a dokument precyzujący zasady wyznaczania i wyrażania niepewności. [3] dopiero co się ukazał i nie jest powszechnie znany. Z drugiej strony wciąż ważną jest norma PN-71/N-02050 bazująca na klasycznej teorii błędów.

Niniejsza praca jest próbą analizy różnic pomiędzy pojęciami dokładności (metody pomiarowej) i niepewności (wyników) i obszarów ich stosowania, przede wszystkim z punktu widzenia osób odpowiedzialnych za dobór wyposażenia do pomiarów, kontroli i badań oraz interpretację wyników badań.

Analizę oparto na dwóch podstawowych dokumentach: normie ISO 5725 [2] oraz na Przewodniku do wyrażania niepewności pomiarów [3].

Podstawowe pojęcia

Dokładność

Dokładność zdefiniowana w [4] i przyjęta w [2] to: *Stopień zgodności pomiędzy wynikiem badania i przyjętą wartością odniesienia.*

Termin ten obejmuje zarówno składniki losowe jak i systematyczne. Warto zwrócić na ten fakt uwagę, albowiem w niektórych publikacjach dokładność utożsamiana była tylko z błędami systematycznymi.

W normie ISO 5725 [2] w pojęciu dokładności metody pomiarowej mieszczą się dwa terminy „poprawność” i „precyzja”, co wyeksponowano nawet w tytule normy.

Niepewność pomiaru

Wg [4] niepewność to:

Oszacowanie związane z wynikiem badania, charakteryzujące zakres wartości, wewnątrz którego należy spodziewać się wartości prawdziwej.

¹⁾ OŚRODEK BADAWCZO-ROZWOJOWY OBRABIAREK I URZĄDZEŃ SPECJALISTYCZNYCH W RADOMIU

²⁾ POLITECHNIKA SZCZECIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNO-TECHNOLOGICZNY, INSTYTUT TECHNOLOGII MECHANICZNEJ

Definicja ta różni się od przyjętej w [3]:

Parametr, związany z wynikiem pomiaru, charakteryzujący rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wartości mierzonej.

Widoczne jest, że obie definicje nie są identyczne i mogą doprowadzić do niejednoznacznych wniosków. Istnieją ponadto inne definicje niepewności [5], których zastosowanie prowadzić może do różnych wyników.

Szacowanie niepewności bazować może na metodach statystycznych (niepewność typu A) lub na wykorzystaniu dostępnych informacji o czynnikach mogących mieć wpływ na niepewność pomiaru - dane z wcześniejszych pomiarów, znajomość zjawisk, właściwości przyrządów, itp. (niepewność typu B).

Dokładność a niepewność

W zagadnieniach związanych z dokładnością wykorzystuje się powszechnie model określający wynik badania jako:

wynik = wartość poprawna + błąd systematyczny + błąd losowy

Norma [2] podaje ogólne zasady stosowane przy ocenie dokładności systemów pomiarowych. Definiuje wielkości określające zdolność metody do podania prawidłowego wyniku (poprawność) i do powtarzania tego wyniku (precyzja). Omawia podstawowe warunki badań dokładności metody pomiarowej.

W [2] przyjęto, głównie w aspekcie badań międzylaboratoryjnych, że wynik badania y :

$$y = m + B + e$$

gdzie:

- m – wartość oczekiwana mierzonej wartości, wartość m nie musi odpowiadać wartości prawdziwej μ
- B – wielkość uznawana jako stała dla każdej serii pomiarów w warunkach powtarzalności, ale różna dla badań prowadzonych w różnych warunkach (operator, laboratorium)
- e – zmienność w warunkach powtarzalności.

Wartości B i e , w rozumieniu [2], są zmiennymi losowymi, stąd też związana jest z nimi wariancja:

- wariancja składnika B obejmuje zmienności pomiędzy laboratoriami (a więc co najmniej różni operatorzy i urządzenia pomiarowe) i wpływa na parametr odtwarzalności,
- wariancja składnika e charakteryzuje zmienność własną metody w warunkach powtarzalności.

W normie przyjęto dwie miary precyzji: powtarzalność i odtwarzalność.

Przy rozpatrywaniu **dokładności metody** pomiarowej możliwe jest następujące rozumowanie:

- wynik uzyskany z danej metody pomiarowej obciążony jest błędem systematycznym (obciążeniem) i losowym (błąd precyzji),
- rozkład błędów związanych z precyzją może być traktowany jako pewna charakterystyka metody pomiarowej, określana liczbowo przez wariancję lub odchylenie standardowe miar precyzji (np. powtarzalności, odtwarzalności),
- określenie tych parametrów pozwala na wnioskowanie w jakim przedziale rozrzutu przypadkowego charakterystycznego dla danej metody znajdzie się przyszły wynik uzyskany z pomiaru daną metodą.

Tak więc analiza metody pomiarowej pod względem jej dokładności polegać może na identyfikacji modelu statystycznego opisującego dany proces pomiarowy. Parametry tego modelu (błąd systematyczny, powtarzalność, odtwarzalność, R&R) mogą być podstawą decyzji o doborze metody pomiarowej do konkretnego celu, a więc jej walidacji.

Określenie dokładności metody pomiarowej służy głównie oszacowaniu przypuszczalnego (przyszłego) błędu tej metody.

W przypadku rozpatrywania **niepewności wyników** przyjęty w rozważaniach metrologicznych i podany wyżej model nie znajduje zastosowania. Przewodnik [3] traktuje każdy wynik pomiaru nie jako jednoznaczną wartość, lecz jako rozkład możliwych wartości zmiennej losowej:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

gdzie zmienna losowa Y jest funkcją wielu zmiennych losowych x_i . Różnica w przyjętych modelach jest źródłem wielu nieporozumień interpretacyjnych. Niepewność w ujęciu [3] nie posługuje się pojęciem wartości prawdziwej ani błędu - jest to parametr charakteryzujący rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wartości mierzonej.

Niepewność wyniku jest rezultatem uwzględnienia niepewności wyników pośrednich x_i . Sposób przyporządkowania niepewności zależy od typu i sposobu uzyskania danych cząstkowych [5], którą określać można np.:

- dla pomiarów wielokrotnych – poprzez odchylenie standardowe średniej z próby,
- dla pojedynczego pomiaru, dla którego znana jest funkcja rozkładu w warunkach powtarzalności – poprzez odchylenie standardowe powtarzalności metody,
- dla pojedynczego pomiaru o nieznanym rozkładzie – poprzez oszacowanie na podstawie wcześniejszych doświadczeń, danych producenta, itp.

Niepewność może być traktowana jako wskaźnik jakości wyniku. Często niepewność charakteryzowana jest jako miara niewiary w uzyskany już wynik lub oszacowanie braku wiedzy o rzeczywistej wartości mierzonej wielkości [6]. Uzyskana wartość może być równa wielkości prawdziwej ale nie wiemy o tym f niepewność stanowi miarę tej naszej niewiedzy.

Niepewność jako oszacowanie parametrów rozkładu zmiennej losowej „wynik pomiaru” jest czasem rozumiana, przy pewnych założeniach, jako przedział, w którym z określonym prawdopodobieństwem znajdzie się wartość prawdziwa.

Niepewność wyniku pomiaru jest miarą „niewiary w wynik” i nie może być traktowana jako oszacowanie przypuszczalnego błędu metody pomiarowej.

Różnicę w interpretacji dokładności i niepewności zilustrować można następującym przykładem:

Na podstawie wielokrotnych pomiarów w takich samych warunkach (warunki powtarzalności) uzyskano następujące wyniki:

10,9; 11,0; 10,8; 11,1; 11,2; 10,8; 11,0; 11,1; 11,1; 10,9

$$\text{stąd: } \bar{x} = 10,99$$

$$s = 0,137$$

Zakładając normalność rozkładu, wyniki te mogą być wykorzystane w różny sposób:

- dla określenia parametru powtarzalności metody pomiarowej
- Wielkości s jest estymatorem odchylenia standardowego powtarzalności $\hat{\sigma}_r$.

W wyniku tak przeprowadzonych obliczeń możemy stwierdzić, że następny wynik uzyskany w tych samych warunkach znajdzie się, z prawdopodobieństwem np. 99%, w przedziale

$$10,54 \leq x \leq 11,44$$

- dla oceny niepewności wyniku.

Zakładając, że dokonujemy oszacowania typu A i nie znamy przy tym odchylenia standardowego rozkładu wyników, bazować musimy na rozkładzie t-Studenta. Zakładając, że miarą niepewności będzie 99% przedział ufności wartości średniej, dla której

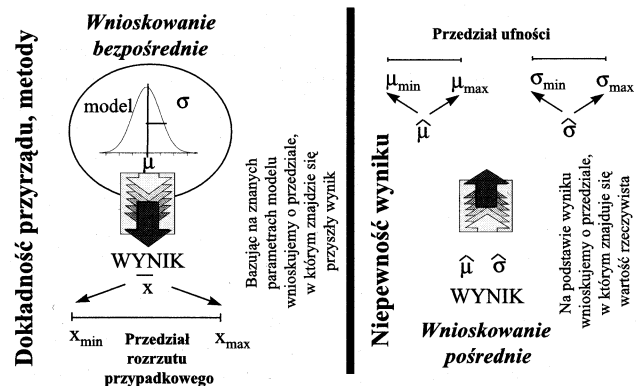
odchylenie standardowe wyniesie $\frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,137}{\sqrt{10}} = 0,043$, otrzymamy:

$$10,85 \leq \bar{x} \leq 11,13$$

Na tej podstawie możemy stwierdzić, że wartość prawdziwa mierzonej wartości mieści się, z prawdopodobieństwem 99%, w podanym wyżej przedziale.

Powyższy przykład można przenieść na dwa podstawowe sposoby wnioskowania statystycznego.

Rozpatrując proces pomiarowy, staramy się zidentyfikować model wyniku i określić jego parametry, aby na jego podstawie można było oszacować w jakim przedziale będzie mieścić się przyszły wynik – o ile będzie różnił się od wartości przyjętej za prawdziwą. Jest to wnioskowanie bezpośrednie.



Rys. 1. Różnice w podejściu do dokładności metody pomiarowej i niepewności wyników w aspekcie wnioskowania statystycznego

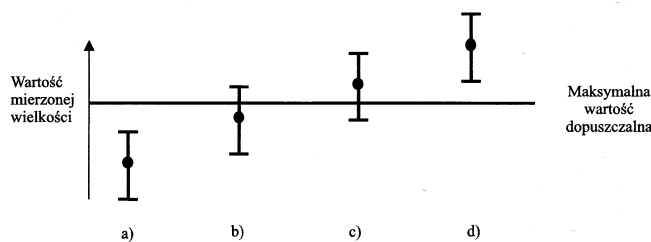
Oceniając wyniki serii pomiarów jako narzędzie do określenia wartości prawdziwej mierzonej wielkości, mamy do czynienia z wnioskowaniem pośrednim - na podstawie tych wyników szacujemy przedział, w którym znajdzie się wartość prawdziwa.

Rys. 1 przedstawia oba sposoby wnioskowania, które wykorzystywane są w praktyce.

Technolog i/lub konstruktor zainteresowany będzie parametrami dokładnościowymi, które pomogą mu właściwie dobrać wyposażenie do pomiarów i kontroli. W fazie planowania produkcji i zakupu wyposażenia, jak również w ramach nadzoru nad wyposażeniem podstawową sprawą są parametry określające z jakim błędem należy się liczyć przy ich wykorzystaniu.

Osoby korzystające z wyników badań, mające podjąć na ich podstawie decyzje lub działania, muszą brać pod uwagę niepewność tych wyników. Widoczne to jest szczególnie w przypadkach, w których wynik uzyskany np. z laboratorium jest podstawą nałożenia kar administracyjnych, co przedstawiono na rys. 2.

Sytuacja a) i d) nie stanowi problemu – wartości średnie wraz z przedziałami niepewności znajdują się po jednej stronie wartości granicznej. Sytuacja b) i c) natomiast jest odzwierciedleniem klasycznego problemu błędów wnioskowania statystycznego - uznaniu sytuacji za prawidłową mimo, że w rzeczywistości wartość mierzo-



Rys. 2. Możliwe sytuacje związane z porównaniem wyników badania z wymaganiami

na przekracza wartość dopuszczalną (wartość rzeczywista może mieścić się w zaznaczonym na rysunku przedziale niepewności wyniku) albo uznania za przekroczenie, gdy w rzeczywistości wartość mierzona znajduje się poniżej wartości dopuszczalnej. To samo rozumowanie obowiązuje przy minimalnej wartości mierzonej wielkości.

Większość norm z dziedziny ochrony zdrowia i środowiska nie uwzględnia niepewności wyników i w przypadku c) naliczane są często kary. Warto tutaj podkreślić, że niepewność wyników uzyskanych w badaniach środowiskowych sięgać może 20% wartości mierzonej, a czasami i więcej. Podobne wartości uzyskuje się również przy pomiarach chropowatości.

Podsumowania

Przy rozważaniach związanych z metodami pomiarowymi mamy do czynienia z pojęciami ich dokładności i niepewności wyników uzyskanych przy ich pomocy.

Dokładność metody pomiarowej związana jest z pojęciami przedziału rozrzutu przypadkowego wartości rzeczywistej, poprawności metody (błędu systematycznego) i jej precyzji (błędu losowego).

Niepewność ma kilka znaczeń [5,3] i charakteryzuje brak zaufania do uzyskanego wyniku pomiaru.

Stosowanie obu pojęć zależne jest od obszaru ich wykorzystania.

Parametry dokładności stosowane są, m.in. przy:

- doborze wyposażenia do badań i metod badawczych,
- badaniach zdolności maszyn i procesów,
- nadzorowaniu wyposażenia i metod badawczych,
- sterowania procesem.

Pojęcia niepewności wyników wykorzystywane są m.in. do:

- oceny i analizy uzyskanych wyników,
- porównania wyników pomiarów i badań z wymaganiami.

Literatura

- [1] P. PAJZDERSKI: Dobór wyposażenia do kontroli, pomiarów i badań. Mat. V Sympozjum Klubu Polskie Forum ISO 9000 „Metrologia w systemach jakości - 2”. Mikołajki 1997, s. IV.B/1, 13
- [2] ISO 5725 (Pr PN-ISO 5725) 5725 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results, Parts 1-6 (Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów
- [3] Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik 1995, Publikacja w imieniu BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. Wydanie polskie GUM 1999
- [4] Pr-PN-ISO 3534-1 Statystyka. Terminologia i symbole. Ogólne terminy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki
- [5] C.E. GRANADOS: Porównanie kilku dokumentów na temat wyrażania niepewności pomiaru. Biuletyn informacyjny Pollab, nr 2(2), 1993, s.7-22
- [6] C. RANSON: Wprowadzenie do „Przewodnika do wyrażania niepewności pomiaru”. Biuletyn Informacyjny Pollab, nr 3(8) 1994, s.5-11