

# Zdolność pomiarowa przyrządu

Paweł Fotowicz

Główny Urząd Miar

**Streszczenie:** Zdolność pomiarowa jest wskaźnikiem umożliwiającym ocenę jakości metrologicznej przyrządu. Miarą zdolności pomiarowej przyrządu jest niepewność rozszerzona obliczana po wykonaniu pomiaru na wzorcu pomiarowym. W budżecie niepewności uwzględnia się obok składowej przypadkowej również składową systematyczną w postaci odchylenia pomiarowego. Skumulowaną niepewność odnosi się do wartości granicznej, którą może być największy błąd dopuszczalny.

**Słowa kluczowe:** zdolność pomiarowa, niepewność pomiaru

## 1. Wprowadzenie

Zdolność pomiarową bada się przy użyciu wzorców pomiarowych, a sama czynność zbliżona jest do wzorcowania. W najprostszym badaniu można zastosować jeden wzorec, na którym należy wykonać serię pomiarową o określonej liczności w warunkach powtarzalności. Wartość średnią z tej serii porównuje się z wartością wzorca, a otrzymaną różnicę traktuje jako jedną ze składowych niepewności. Uwzględnia się również składowe niepewności związane z wzorcem pomiarowym. Skumulowaną niepewność w postaci niepewności rozszerzonej odnosi się do wartości granicznej. Może nią być największy błąd dopuszczalny. Wskaźnik zdolności pomiarowej na ogół wyrażany jest procentowo, jako część wartości tego błędu.

## 2. Zdolność pomiarowa

Wskaźnik zdolności pomiarowej przyrządu można zdefiniować następująco [1]:

$$Q_{MS} = \frac{U_{MS}}{E_{max}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

gdzie  $U_{MS}$  oznacza niepewność rozszerzoną dla prawdopodobieństwa 95 %, a  $E_{max}$  największy błąd dopuszczalny. Na ogół przyjmuje się, że niepewność rozszerzona powinna stanowić 1/3 wartości błędu dopuszczalnego. Przy ocenie zdolności pomiarowej przyrządu należy brać pod uwagę następujące składowe: rozrzut wskazań przyrządu, rozdzielczość wskazań przyrządu, odchylenie pomiarowe, niedokładność wzorca pomiarowego oraz wpływ warunków środowiskowych na wzorec.

Pierwsza ze składowych związana jest bezpośrednio z przyrządem pomiarowym i dotyczy rozrzutu jego wskazań na wzorcu pomiarowym wykonywanych w warunkach powtarzalności. Miarą niepewności standardowej tej składowej jest odchylenie standardowe eksperymentalne poje-

dynczego wskazania  $q_i$  uzyskiwanego na podstawie serii  $n$  odczytów:

$$u_{rep} = s(q) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2} \quad (2)$$

Zgodnie z zaleceniami [1] minimalna seria obserwacji powinna mieć  $n = 30$  obserwacji.

Drugą rozważaną składową jest rozdzielczość pomiaru. Niepewność standardową wyznaczamy na podstawie kwantu wskazania  $R$ :

$$u_{res} = \frac{R}{2\sqrt{3}} \quad (3)$$

Trzecią składową jest odchylenie pomiarowe, traktowane jako różnica pomiędzy średnią serii obserwacji  $\bar{q}$  na wzorcu i wartością odniesienia  $q_w$ :

$$B = |\bar{q} - q_w| \quad (4)$$

Wartością odniesienia jest w tym wypadku wartość wielkości reprezentowana przez wzorec. Odchylenie pomiarowe  $B$  traktowane jest jako składowa niepewności, a przypisana mu niepewność standardowa wynosi [1]:

$$u_{bias} = \frac{B}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

Kolejne składowe niepewności związane są z wzorcem pomiarowym. Pierwsza z nich wyraża niedokładność wzorca. Miarą jej jest niepewność rozszerzona  $U$  dla poziomu ufności ok. 95 %, a niepewność standardowa wynosi:

$$u_{cal} = \frac{U}{k} \quad (6)$$

gdzie  $k$  jest współczynnikiem rozszerzenia, którego wartość wraz z niepewnością rozszerzoną podana jest w świadectwie wzorcowania.

Ostatnią rozważaną składową jest wpływ warunków środowiskowych na wzorec pomiarowy. Na ogół jest nim wpływ temperatury. W takim wypadku należy wyznaczyć zmianę wartości wzorca pod wpływem temperatury. Zmiana wartości wzorca (np. długości płytki wzorcowej) określona będzie zależnością:

$$\Delta L = \Delta t \cdot \alpha \cdot L \quad (7)$$

gdzie  $\Delta t$  to dopuszczalna zmiana temperatury w trakcie badań zdolności pomiarowej, to współczynnik rozszerzalności termicznej wzorca, a  $L$  to wartość reprezentowana przez wzorec. W ten sam sposób można wyznaczyć np. zmianę rezystancji opornika wzorcowego przy badaniach zdolności pomiarowej omomierza. Niepewność standardowa wynosi [1]:

$$u_{\text{temp}} = \frac{\Delta L}{\sqrt{3}} \quad (8)$$

### 3. Niepewność rozszerzona

Możliwe są dwa sposoby obliczenia niepewności rozszerzonej związanej ze zdolnością pomiarową przyrządu. Pierwszy może być oparty na prawie propagacji niepewności [2]. W metodzie tej oblicza się niepewność rozszerzoną jako iloczyn współczynnika rozszerzenia  $k=2$  (dla poziomu ufności ok. 95 %) i złożonej niepewności standardowej  $u_c$ :

$$U_{\text{MS}} = k \cdot u_c \quad (9)$$

gdzie złożona niepewność standardowa wyznaczana jest na podstawie prawa propagacji niepewności:

$$u_c^2 = u_{\text{rep}}^2 + u_{\text{res}}^2 + u_{\text{bias}}^2 + u_{\text{cal}}^2 + u_{\text{temp}}^2 \quad (10)$$

Drugim sposobem obliczeniowym jest zastosowanie metody propagacji rozkładów przy użyciu metody Monte Carlo [3]. Można wówczas wyznaczyć niepewność rozszerzoną jako połowę przedziału rozszerzenia, pod warunkiem że rozkład związany z wielkością wyjściową jest symetryczny:

$$U_{\text{MS}} = \frac{y_{\text{high}} - y_{\text{low}}}{2} \quad (11)$$

gdzie  $y_{\text{high}}$  to górna granica przedziału rozszerzenia, a  $y_{\text{low}}$  to dolna granica przedziału rozszerzenia wielkości wyjściowej. Równanie pomiaru wielkości wyjściowej ma postać:

$$y = \delta x_{\text{rep}} + \delta x_{\text{res}} + \delta x_{\text{bias}} + \delta x_{\text{cal}} + \delta x_{\text{temp}} \quad (12)$$

gdzie wielkości wejściowe  $\delta x$  reprezentują możliwe zbiory wartości dla poszczególnych składowych niepewności. Należy przyjąć dla nich określone rozkłady prawdopodobieństwa. Pierwsza składowa to rozrzut wskazań, z którym, ze względu na dużą liczbę obserwacji, można związać rozkład normalny. Druga składowa to rozdzielczość, z którą zyczajowo wiąże się rozkład prostokątny [2]. Podobnie z odchyleniem pomiarowym można związać rozkład prostokątny. Niedokładność wzorca pomiarowego określa się na podstawie informacji ze świadectwa wzorowania, w którym niepewność wyrażana jest dla poziomu ufności ok. 95 % i współczynnika rozszerzenia  $k=2$ , co uzasadnia przyjęcie rozkładu normalnego. Ostatnia składowa, związana z wpływem temperatury na wzorec, opisana jest rozkładem

prostokątnym. Mamy więc do czynienia z dwoma typami rozkładów prawdopodobieństwa dla wielkości wejściowych. Rozkłady te można w prosty sposób wygenerować przy użyciu podstawowego generatora liczb losowych, dostępnego w każdym środowisku programowym.

### 4. Podsumowanie

Zdolność pomiarowa przyrządu jest największą niepewnością pomiaru jaką można związać z przyrządem, gdyż zawiera obok składowej przypadkowej również składową systematyczną oraz niepewność wzorca. Pomiar wykonany na wzorcu pomiarowym służy do jej oceny. Aby można było porównywać zdolności pomiarowe przyrządów należy określić składowe niepewności. Zadanie to ułatwiają wskazówki zawarte w odpowiednich normach. Projekty takich norm uzgadniane są międzynarodowo [1].

### Bibliografia

1. *Statistical methods in process management – Capability and performance – Part 7: Capability of measurement processes.* ISO/FDIS 22514-7, 2012.
2. *Guide to the expression of uncertainty in measurement.* JCGM 100:2008.
3. *Supplement 1 to the Guide to the expression of uncertainty in measurement – Propagation of distributions using a Monte Carlo method.* JCGM 101:2008. ■

### Capability of measurement instrument

**Abstract:** Capability of measurement instrument is an indicator enabling evaluation of metrological quality of instrument. The measure of the capability is an expanded uncertainty calculating after measurement on the standard. The uncertainty budget consists both random and systematic effects as a bias. The aggregated uncertainty is related to limited value. This limited value may be a maximum permissible error.

**Keywords:** measurement capability, uncertainty

#### dr inż. Paweł Fotowicz

Absolwent Politechniki Warszawskiej. Studia ukończył na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej w 1981 roku. Do 1999 roku pracował w Instytucie Metrologii i Systemów Pomiarowych PW, specjalizując się w problematyce laserowych technik pomiarowych, będąc autorem sześciu patentów. Od 1999 roku pracuje w Głównym Urzędzie Miar, zajmując się zagadnieniami teoretycznymi metrologii, głównie niepewnością pomiaru. Jest autorem ponad stu publikacji w postaci referatów i artykułów w czasopiśmie krajowych i zagranicznych.

e-mail: [uncert@gum.gov.pl](mailto:uncert@gum.gov.pl)

