Danuta TURZENIECKA

POLITECHNIKA POZNAŃSKA
INSTYTUT ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI

Zakresy stosowania przybliżonych metod oceny niepewności całkowitej

Dr hab. inż. Danuta TURZENIECKA – profesor nadzwyczajny Politechniki Poznanskiej. Przez wiele lat kierowała pracami Zakładu Metrologii Elektrycznej w Instytucie Elektroniki i Telekomunikacji na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej. Stopnie naukowe uzyskuje w latach: doktora nauk technicznych w 1971 roku, doktora habilitowanego nauk technicznych w 1979 roku. Jest autorką rozpraw, monografii, publikacji i podręczników akademickich dotyczących tematyki związanej z elektrycznymi układami pomiarowymi i analizą dokładności pomiarów. Przez wiele lat przewodniczyła pracom Komisji Kształcenia, Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej PAN, którego jest członkiem. Organizowała coroczne krajowe seminarium naukowe, poświęcone problemom kształcenia w zakresie metrologii.

Streszczenie

W oparciu o przeprowadzoną analizę dokładności przybliżonych metod oceny niepewności całkowitej, przedstawiono zakresy stosowania tych metod, przy przyjętym kryterium nieprzekraczania założonej wartości błędu oceny.

Abstract

Basing on the method's accuracy analysis, the scope of application of the approximate methods of the expanded uncertainty estimation has been presented; the criterion of not-exceeding a preset value of the error has been implemented.

Wprowadzenie

Ocena niepewności całkowitej wyniku pomiaru jest zawsze oceną przybliżoną. Celowym wydaje się aby eksperymentator, który podejmuje decyzję o wyborze metody oceny niepewności całkowitej miał świadomość skutków określonego wyboru metody z punktu widzenia jej dokładności. Aby można było ocenić dokładność stosowanych przybliżonych metod oceny niepewności całkowitej konieczne jest przyjęcie metody, którą można uznać za metodę dokładną .

Przyjęto, że metoda oceny niepewności całkowitej, którą można uznać za metodę dokładną, bazuje na znajomości rozkładu prawdopodobieństwa błędów będącego splotem rozkładów błędów składowych. Jest to metoda, która nie budzi merytorycznych zastrzeżeń, jest to ponadto metoda ogólnie dostępna w sensie możliwości obliczeń szukanych splotów rozkładów. Biorąc jednak pod uwagę bardzo czasochłonną procedurę obliczania splotów, oraz fakt, że wyniki takich obliczeń są na ogół rzadko publikowane, stosuje się ogólnie i zaleca metody przybliżone [2, 3, 4, 5].

Analizie poddano pomiar bezpośredni w którym występują dwa niezależne błędy, z których jeden jest błędem losowym a drugi błędem aparaturowym. Jest to sytuacja pomiarowa, z którą spotykamy się często dokonując bezpośredniego pomiaru przyrządem pomiarowym, a powtarzanie pomiarów wskazuje na istnienie rozrzutu.

Zgodnie z przyjętym założeniem, że znajomość splotu rozkładów składowych pozwala na ocenę niepewności całkowitej, którą można uznać za ocenę dokładną, przyjęto, że miarą rozbieżności między metodą przybliżoną a metodą dokładną będzie błąd, którego bezwzględną wartość opisuje zależność:

$$\delta = \frac{|u_c - u_{cd}|}{u_{cd}} 100\% \tag{1}$$

gdzie:
- niepewność całkowita u_c oceniona jest za pomocą metody przybliżonej

$$u_c = k(\alpha) \cdot u_ł \tag{2}$$

- niepewność całkowita u_{cd} jest oceniona „dokładnie", w oparciu o znajomość rozkładu, który dla rozpatrywanej sytuacji pomiarowej, przy założeniu, że liczba stopni swobody m.=n-1 jest mała (m.<30), jest splotem rozkładu Studenta i rozkładu jednostajnego. Zmienna standaryzowana takiego rozkładu, zwana dalej współczynnikiem rozszerzenia $k_{SJ}(\alpha)$ jest wartością uznaną za wartość dokładną.

$$u_{cd} = k_{SJ}(\alpha) \cdot u_ł \tag{3}$$

Dla większości rozpatrywanych sytuacji pomiarowych błąd opisany zależnością (1), będzie błędem oceny nieznanej wartości współczynnika rozszerzenia k(α), który przyjmuje postać:

$$\delta_k = \frac{|k(\alpha) - k_{SJ}(\alpha)|}{k_{SJ}(\alpha)} 100\% \tag{4}$$

Stosując różne metody przybliżone oceny niepewności całkowitej, przyporządkowuje się różne wartości współczynnikowi rozszerzenia k(α). Przyjęto, że graniczna wartość błędu oceny współczynnika rozszerzenia nie powinna przekraczać 20%.

Błędy metod przybliżonych

Metoda większej niepewności standardowej

Metodą oceny niepewności całkowitej, często stosowaną w rozpatrywanym przypadku pomiaru bezpośredniego jest metoda przybliżona, która bazuje na hipotezie, że nieznany splot rozkładów składowych można uznać za zbieżny do rozkładu o większym odchyleniu standardowym, co jest równoważne warunkowi większej niepewności standardowej [2, 3, 4, 5].

Zgodnie z tą definicją współczynnik rozszerzenia k(α) będzie przyjmować wartości zmiennej standaryzowanej $k_S(\alpha)$ rozkładu Studenta albo $k_J(\alpha)$ rozkładu jednostajnego, jeżeli spełnione są relacje między niepewnościami standardowymi takie, że:

jeżeli $u_A \geq u_B$ wtedy $k(\alpha) = k_S(\alpha)$ (5)

jeżeli $u_B > u_A$ wtedy $k(\alpha) = k_J(\alpha)$ (6)

Tak postawiona hipoteza nie rozstrzyga jednak o sytuacji, kiedy wartości niepewności standardowych są sobie równe albo są bliskie równości. W takich sytuacjach ocena staje się oceną niejednoznaczną w sensie braku informacji o dokładności stosowanego przybliżenia.

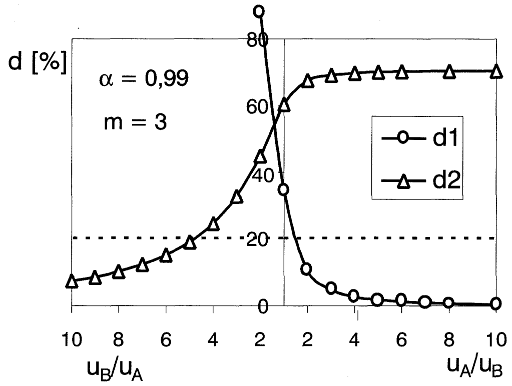
Wniosek taki potwierdzają charakterystyki zmian wartości współczynników rozszerzenia rozkładów, będących splotem wybranych rozkładów składowych, wyrażone w funkcji zmian wartości stosunku niepewności standardowych tych rozkładów [4]

Znając splot rozkładu Studenta i rozkładu jednostajnego, znamy również wartości współczynnika rozszerzenia $k_{SJ}(\alpha)$ dla splotu S*J. Pozwala to na obliczenie błędów: δ_1, gdy $k(\alpha)$ przyjmuje wartości $k_S(\alpha)$ i δ_2, gdy $k(\alpha)$ przyjmuje wartości $k_J(\alpha)$. Są to błędy oceny współczynnika $k(\alpha)$, które zgodnie z zależnością (4) są definiowane jako:

$$\delta_1 = \frac{|k_S(\alpha) - k_{SJ}(\alpha)|}{k_{SJ}(\alpha)} \cdot 100\% \tag{7}$$

$$\delta_2 = \frac{|k_J(\alpha) - k_{SJ}(\alpha)|}{k_{SJ}(\alpha)} \cdot 100\% \tag{8}$$

Na rysunku 1 pokazano wartości błędów δ_1 i δ_2 wyrażone w funkcji stosunku zmian wartości niepewności standardowych u_B/u_A oraz u_A/u_B, dla wybranej liczby stopni swobody m. = 3 oraz dla prawdopodobieństwa α = 0,99. Linią przerywaną zaznaczono obszar błędów dopuszczalnych, czyli nie przekraczających założonej wartości 20 %..



Rys. 1. Bezwzględne wartości błędów δ_1 i δ_2, dla m=3 oraz dla α = 0,99

Badanie charakterystyk błędu oceny współczynnika rozszerzenia wykazało, że istnieje zakres zmian stosunku niepewności standardowych, w którym błąd oceny współczynnika rozszerzenia jest znacznie większy od ogólnie dopuszczalnych 20%. Maksymalną wartość tego błędu wyznacza punkt przecięcia się krzywych δ_1 i δ_2. Można wykazać, że błąd ten jest silnie zależny od prawdopodobieństwa α oraz od liczby stopni swobody m. Wartości błędów rosną wraz ze wzrostem wartości α i są tym mniejsze, im większe jest m. Punkt przecięcia się krzywych błędów, wyznaczający błąd maksymalny występuje z reguły w zakresie, gdzie $u_B > u_A$ i sytuuje się w obszarze, gdzie $u_B/u_A \approx 1{,}5 \div 2$. Różne są natomiast zakresy zmian stosunku niepewności standardowych, w których błąd oceny przekracza założoną wartość.

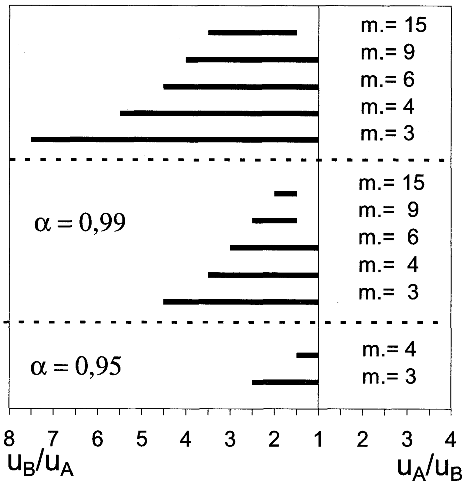
Na rysunku 2 przedstawiono graficzny obraz tych zakresów.

Wnioski ogólne wynikające z przeprowadzonych badań są następujące:

- W całym badanym zakresie prawdopodobieństw α oraz stopni swobody m. metoda „większej niepewności standardowej" może być stosowana w obszarze, gdzie $u_A/u_B > 1$.
- Dla prawdopodobieństw α=0,95 metoda ta może być stosowana w całym badanym zakresie stosunku niepewności standardowych, kiedy m. > 4.

Metoda narzuconych wartości

Międzynarodowy dokument [1] zaleca, między innymi, stosowanie arbitralnie narzuconych wartości współczynników rozszerzenia równych odpowiednio:



Rys. 2. Graficzny obraz zakresów zmian stosunku niepewności standardowych, w którym błąd oceny wartości współczynnika rozszerzenia metodą „większej niepewności standardowej" przekracza założoną wartość 20%

$$k(\alpha) = 3 \quad \text{dla} \quad \alpha = 0{,}99 \tag{9}$$

oraz

$$k(\alpha) = 2 \quad \text{dla} \quad \alpha = 0{,}95 \tag{10}$$

Można przyjąć, że jest to równoważne przyjęciu założenia o zbieżności nieznanego splotu rozkładów składowych do rozkładu normalnego, przy założeniu upraszczającym, że $k(\alpha)$ przyjmuje nieco większe wartości, niż te, które odpowiadają zmiennej standaryzowanej *Z* rozkładu normalnego dla przyjętego prawdopodobieństwa α . W rzeczywistości bowiem zmienna standaryzowana *Z* rozkładu normalnego przyjmuje wartości odpowiednio:

$$z = k_N(\alpha) = 1{,}960 \quad \text{dla} \quad \alpha = 0{,}95$$

oraz

$$z = k_N(\alpha) = 2{,}576 \quad \text{dla} \quad \alpha = 0{,}99$$

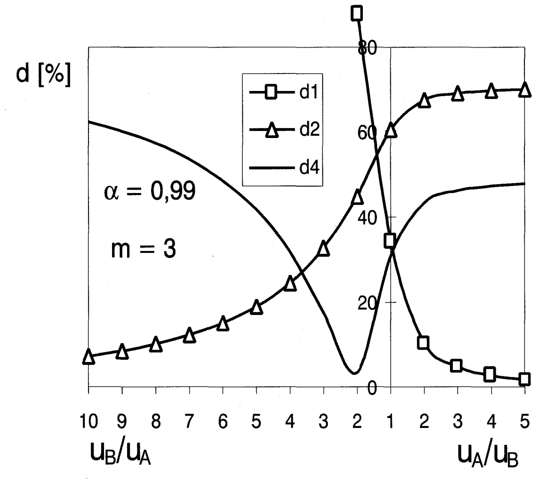
Takie założenie upraszczające powoduje określone błędy, których bezwzględne wartości można obliczyć z przedstawionych niżej zależności [4, 5]:

$$\delta_3 = \frac{|2 - k_{SJ}(0{,}95)|}{k_{SJ}(0{,}95)} 100\% \tag{11}$$

$$\delta_4 = \frac{|3 - k_{SJ}(0{,}99)|}{k_{SJ}(0{,}99)} 100\% \tag{12}$$

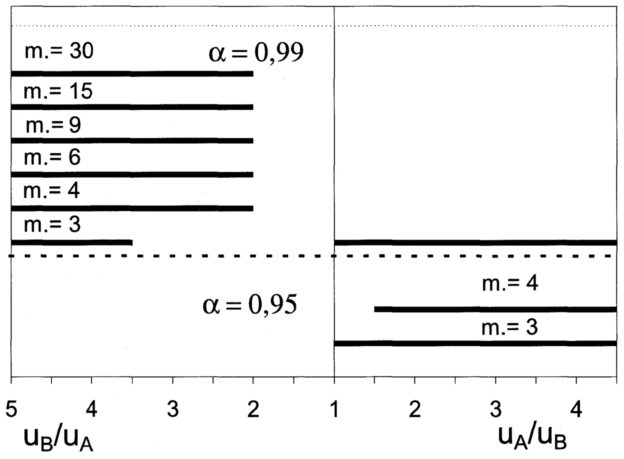
Na rysunku 3 pokazano przebieg zmian bezwzględnej wartości błędu δ_4, opisanego zależnością (12), na tle błędów δ_1 i δ_2, opisanych zależnościami (7) i (8) , dla wybranej wartości m = 3 oraz α=0,95.

Błąd metody „narzuconych wartości" ma swoje minimum w zakresie, gdzie występują maksymalne błędy metody „większej niepewności standardowej". W pozostałej części zakresu, błąd oceny jest znacznie większy. Wraz ze wzrostem liczby stopni swobody *m* punkty wyznaczające maksymalne i minimalne wartości błędów przesuwają się w kierunku zakresu, gdzie u_A/u_B. Wzrost liczby *m* powoduje zmniejszenie błędów w tym obszarze oraz zwiększenie błędów w obszarze, gdzie u_B/u_A. Podobnie jak w pierwszej metodzie błąd wzrasta wraz ze wzrostem prawdopodobieństwa.



Rys. 3. *Bezwzględne wartości błędu δ_4 metody „narzuconych wartości", dla m=3, na tle błędów δ_1 i δ_2 metody „większej niepewności standardowej", dla α = 0,99*

Na rysunku 4 przedstawiono graficzny obraz zakresów, w których błąd przekracza dopuszczalną założoną wartość 20%.



Rys. 4. *Graficzny obraz zakresów zmian stosunku niepewności standardowych, w którym błąd oceny niepewności całkowitej metodą „narzuconych wartości" przekracza założoną wartość 20%*

Wnioski wynikające z przedstawionych charakterystyk są następujące:

- Dla prawdopodobieństw α=0,95 , w obszarze, gdzie $u_B/u_A \geq 1$, metoda „narzuconych wartości" może być stosowana dla wszystkich badanych wartości stopni swobody m. W obszarze, gdzie $u_A/u_B>1$ metoda ta może być stosowana dla $m \geq 4$.
- Dla prawdopodobieństwa α=0,99 stosowanie metody „narzuconych wartości" w całym badanym zakresie wartości stosunków niepewności standardowych jest ograniczone i silnie zależne od wartości stopni swobody m. W zakresie, gdzie $u_A \geq u_B$ metoda ta może być stosowana w całym badanym zakresie zmian niepewności standardowych dla m.>3

Metoda efektywnej liczby stopni swobody

Międzynarodowy dokument [1] proponuje, dla rozpatrywanej sytuacji pomiarowej metodę, zgodnie z którą współczynnik rozszerzenia k(α) przyjmuje wartości zmiennej standaryzowanej rozkładu Studenta, $k_{Se}(\alpha)$, odczytywane z tablic tego rozkładu dla efektywnej liczby stopni swobody m_e.

Zgodnie z formułą Welcha-Satterthwaite'a [1], jeżeli łączna niepewność standardowa jest pierwiastkiem z sumy dwóch lub więcej wariancji ocenionych na podstawie wyników mało licznych prób o nieznanym odchyleniu standardowym σ, nieznany rozkład szukanej zmiennej standaryzowanej może być przybliżony rozkładem Studenta dla efektywnej liczby stopni swobody m_e.

W rozpatrywanym przypadku pomiaru bezpośredniego efektywna liczba stopni swobody jest opisana zależnością (13) wynikającą z ogólnej formuły Welcha-Satterthwaite'a [4]:

$$m_e = \frac{u_I^4}{\frac{1}{m_A}u_A^4 + \frac{1}{m_B}u_B^4} \qquad (13)$$

gdzie:

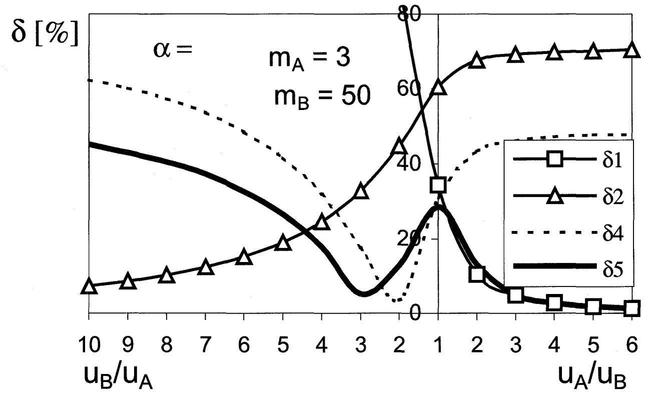
- liczba stopni swobody $m_A = n - 1$
- liczba stopni swobody m_B jest oceniana na podstawie wiarygodności składowej niepewności typu B.

W sytuacji gdy niepewność standardowa typu B oceniana jest na podstawie znajomości rozkładu jednostajnego, którego granice wyznacza błąd graniczny aparatury pomiarowej, można przyjąć, że jest to niepewność dobrze znana o znikomo małej niepewności. Do dalszych rozważań przyjmuje się zatem względną niepewność wartości niepewności typu B, równą 0,1, co odpowiada liczbie stopni swobody m_B=50.

Miarą rozbieżności między przybliżoną metodą „efektywnej liczby stopni swobody" oceny niepewności całkowitej a metodą, która została przyjęta jako dokładna, będzie błąd δ_5, który w rozpatrywanej sytuacji będzie równy [2, 3, 4, 5, 6]:

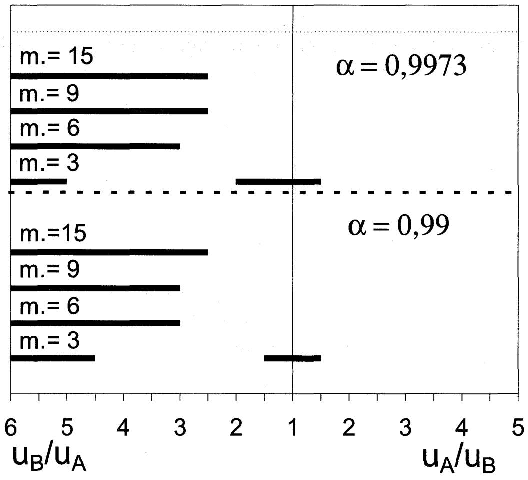
$$\delta_5 = \frac{\left|k_{Se}(\alpha) - k_{SJ}(\alpha)\right|}{k_{SJ}(\alpha)} \cdot 100\% \qquad (14)$$

Na rysunku 5 pokazano przebieg wartości błędu δ_5, oraz dla porównania przebiegi wartości błędów δ_1, δ_2 i δ_4, opisanych zależnościami (7), (8) i (12). Na rysunku 6 przedstawiono graficzny obraz zakresów w których błąd przekracza dopuszczalną założoną wartość 20%.



Rys. 5. *Bezwzględne wartości Błędu δ_5 przybliżone metody „efektywnej liczby stopni swobody", na tle błędów δ_1, δ_2 metody „większej niepewności standardowej" i δ_4 metody „narzuconych wartości", dla α=0,99*

Jak wynika z rysunku 5, krzywa błędu δ_5 pokrywa się z krzywymi błędów δ_1 i δ_4. Metoda ta wykorzystuje zatem w ocenie niepewności całkowitej zarówno rozkład Studenta jak i rozkład normalny. Nie uwzględnia natomiast rozkładu jednostajnego. Łączy ocenę współczynnika rozszerzenia zmiennymi standaryzowanymi rozkła-



Rys. 6. *Graficzny obraz zakresów zmian stosunku niepewności standardowych, w którym błąd oceny niepewności całkowitej metodą „efektywnej liczby stopni swobody" przekracza założoną wartość 20%*

du Studenta i rozkładu normalnego. Jej charakterystyczną cechą jest to, że w obszarze, gdzie rośnie wpływ rozkładu jednostajnego, wykazuje ona zbieżność do rozkładu normalnego, co dla rosnących wartości niepewności standardowej typu B, powoduje znaczne zwiększenie błędu oceny niepewności całkowitej. Błędy w tym zakresie są nieco tylko mniejsze od błędów metody „narzuconych wartości".

Metoda „efektywnej liczby stopni swobody„ mimo obszarów, gdzie błąd oceny przekracza założone dopuszczalne wartości, jest niewątpliwie oceną najdokładniejszą z trzech rozpatrywanych metod oceny. Jest ponadto metodą pokrywającą największy zakres zmian stosunku niepewności standardowych z błędem oceny nie przekraczającym założonej wartości 20%. Metoda ta pozwala na ocenę niepewności całkowitej zarówno w pomiarach bezpośrednich, jak i w pomiarach pośrednich. gdy dysponujemy wynikami z prób małolicznych. Ponieważ metoda ta zalecana jest przez międzynarodowy dokument [1], jako metoda dokładna, niezmiernie istotne jest poznanie zakresów jej stosowalności z punktu widzenia nie przekraczania założonej wartości błędu oceny niepewności całkowitej.

Metoda sumy geometrycznej

Metoda przybliżona zwana metodą sumy geometrycznej [2, 3, 4] polega na ocenie niepewności całkowitej w oparciu o sumę geometryczną całkowitych niepewności składowych, zgodnie z zależnością:

$$u_c = \sqrt{u_{c_1}^2 + u_{c_2}^2} \tag{15}$$

Międzynarodowy dokument [1] metody tej nie zaleca ale również jej nie neguje, ograniczając się jedynie do krótkiej uwagi, że metody takie można spotkać w literaturze przedmiotu. Z merytorycznego punktu widzenia ocena taka jest słuszna jedynie dla przypadku, kiedy oba niezależne błędy składowe, w wyniku których powstają niepewności składowe u_{c1} i u_{c2}, mają takie same rozkłady. Mimo takiego formalnego uwarunkowania, metoda ta była i jest stosowana bardzo często, w różnych sytuacjach pomiarowych.

Dla rozpatrywanej sytuacji pomiarowej niepewność całkowita jest równa pierwiastkowi z sumy kwadratów całkowitych niepewności składowych typu A i typu B.,

$$u_c = \sqrt{u_{Ac}^2 + u_{Bc}^2} \tag{16}$$

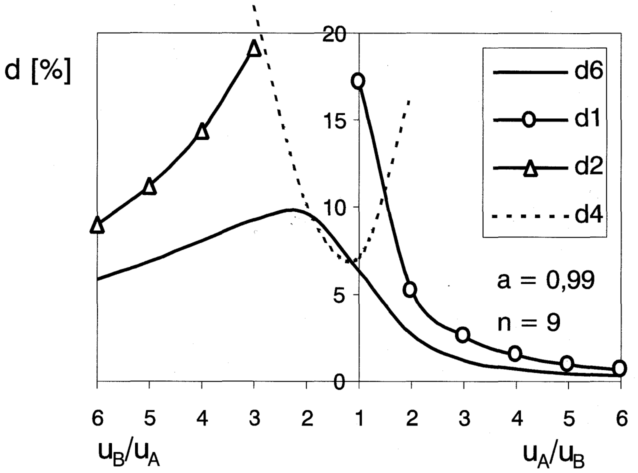
gdzie:

$$u_{Ac} = k_S(\alpha) \cdot u_A \tag{17}$$

$$u_{Bc} = k_J(\alpha) \cdot u_B \tag{18}$$

Błąd δ_6 tej metody, opisany jest zależnością

$$\delta_6 = \frac{|u_c - k_{SJ}(\alpha) \cdot u_ł|}{k_{SJ}(\alpha) \cdot u_ł} 100\% \tag{19}$$



Rys. 7. *Błąd δ_6 przybliżonej metody „sumy geometrycznej" na tle błędów δ_1 i δ_2 metody „większej niepewności standardowej" i błędu δ_4 metody „narzuconych wartości", dla α=0,99 i n=9*

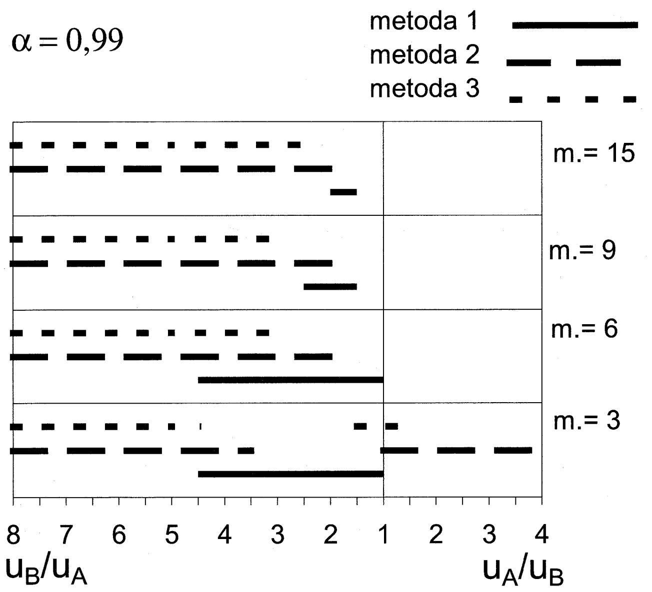
Na rysunku 7 pokazano wartości błędu δ_6 przybliżonej metody „sumy geometrycznej" na tle błędów metody „większej niepewności standardowej" i metody „narzuconych wartości" dla α=0,99 i m=9. W całym badanym zakresie prawdopodobieństwa α i liczności serii *n* błąd nie przekracza 14%

Wnioski

Przedstawiona charakterystyka błędów rozpatrywanych metod pomiarowych pozwala na sformułowanie pewnych wniosków.
- Dla m.>4 wszystkie badane metody oceny mogą być stosowane w zakresie, gdzie $u_A > u_B$
- Dla α = 0,95 oraz dla m $\geq$ 4 wszystkie rozpatrywane metody mają błąd , którego wartość nie przekracza założonej wartości 20% w całym zakresie zmian wartości stosunku niepewności standardowych.
- Metoda „sumy geometrycznej" charakteryzuje się największą dokładnością oceny. Błąd tej oceny w całym badanym zakresie nie przekracza założonej wartości 20%.

Jak wykazały badania zakresy stosowalności prezentowanych tu trzech pierwszych metod, są różne i wydaje się, że w wielu przypadkach mogą się wzajemnie uzupełniać. Na rysunku 8 przedstawiono zakresy stosowalności tych metod dla wybranego prawdopodobieństwa i różnych wartości stopni swobody m.

Jak wynika z rysunku 8, rozpatrywane metody tylko częściowo uzupełniają się. Istnieją bowiem obszary, szczególnie w zakresie, gdzie $u_B > u_A$, w których błąd oceny niepewności całkowitej przekracza założoną wartość 20%. Najszerszym zakresem określonym



Rys. 8. *Graficzny obraz zakresów zmian stosunku niepewności standardowych, w którym błąd oceny niepewności całkowitej przekracza założoną wartość 20% dla trzech rozpatrywanych metod*

wartością błędu oceny, nie przekraczającą założonej wartości 20 %, charakteryzuje się metoda „efektywnej liczby stopni swobody". Jednak, nawet ta metoda uznana przez międzynarodowy dokument za metodę dokładną ma obszary, w których błąd oceny przekracza założoną wartość.

Wnioski wynikające z przeprowadzonego badania można rozszerzyć na pomiary pośrednie, charakteryzujące się znacznie większą liczbą składowych niepewności standardowych. W pomiarach pośrednich najczęściej stosuje się metodę „narzuconych wartości" i metodę „efektywnej liczby stopni swobody"

Zgodnie z centralnym twierdzeniem granicznym można przyjąć, że ocena współczynnika rozszerzenia, zgodna z drugą przybliżoną metodą, będzie tym dokładniejsza, im większa będzie liczba składowych niepewności standardowych.

Dla sytuacji pomiarowej w której dysponujemy małolicznymi próbami, a składowe niepewności standardowych typu B nie są niepewnościami dominującymi, lepszą ocenę uzyskamy stosując metodę „efektywnej liczby stopni swobody.

Literatura

[1] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement": Geneva, International Organisation for Standardisation, 1993.

[2] D. TURZENIECKA, S. KUBISA: The measures of imperfection of chosen approximated methods of combined expanded uncertainty estimation in measurement, Metrologia i Systemy Pomiarowe, t.III, Z. 3 - 4/1996, WN PWN, Warszawa 1996, pp. 143 - 155.

[3] D. TURZENIECKA: Analiza dokładności przybliżonych metod oceny niepewności, Monografia, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.

[4] D. TURZENIECKA: Comments on the accuracy of some approximate methods of evaluation of expanded uncertainty, Metrologia, Volume 36, Number 2, Bureau International des Poids et Measures, Sevres 1999, pp 113 - 116

[5] D. TURZENIECKA: Errors in the evaluation of the coverage factor as a criterion of applications of approximate methods of evaluation of expanded uncertainty, MEASUREMENT, Elsevier Science, Kidlington, Oxford 1999.

Artykuł recenzowany

MKM'2000

XXXII MIĘDZYUCZELNIANA KONFERENCJA METROLOGÓW

W dniach 11 – 15 września 2000r. w WZW „Jawor" nad Zalewem Solińskim będzie organizowana przez Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Rzeszowskiej XXXII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów.

Konferencji towarzyszyć będzie wystawa poświęcona promocji firm zajmujących się tematyką metrologiczną, a w szczególności: czujnikami, przetwornikami, przetwarzaniem sygnałów, komputerowymi systemami pomiarowymi i aparaturą kontrolno-pomiarową do zastosowań laboratoryjnych, przemysłowych oraz dydaktycznych.

Proponowane formy promocji:

- plakaty i materiały reklamowe,
- ekspozycja wyrobów,
- krótkie wystąpienia na sesjach konferencji,
- publikacja osiągnięć w materiałach pokonferencyjnych.

Zainteresowane Firmy zapraszamy do udziału w wystawie.

Szczegółowych informacji udziela Sekretariat Konferencji:
tel. (017) 865-1575 lub e-mail: ppot@prz.rzeszow.pl
fax: (0-17) 865-1575

Adres do korespondencji:
Politechnika Rzeszowska
Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych
ul. W. Pola 2B
35-959 Rzeszów