

Niekonwencjonalne metody analizy błędów pomiaru różnicy temperatury czujnikami platynowymi

Tadeusz Goszczyński

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

Streszczenie: W artykule przedstawiono metody wyznaczania błędu pomiaru różnicy temperatury dla par czujników platynowych. Szczególnie dotyczy to ciepłomierzy składanych, w których taka para jest poddawana procesowi legalizacji. Przedstawione sposoby analizy, chociaż same nie są dopuszczone przez odpowiednie normy, mogą być zastosowane jako pomocnicze. Takie zastosowanie tych metod w procesie legalizacji ciepłomierzy może znacznie skrócić czas wykonywania tej procedury i zmniejszyć jej koszt.

Słowa kluczowe: pary platynowych czujników temperatury, błąd maksymalny, niepewność, metoda Monte Carlo

1. Wprowadzenie

Ciepłomierze są przyrządami służącymi do rozliczeń finansowych między dostawcami ciepła i jego odbiorcami. W związku z tym powinny być poddawane legalizacji na specjalnych stanowiskach spełniających wymagania normy [1]. Ciepłomierze składane zawierają trzy elementy: parę czujników temperatury, wodomierz oraz przelicznik – każdy z nich jest legalizowany oddzielnie.

W artykule przedstawiono metodę obliczania błędu pomiaru różnicy temperatury wody zasilania i powrotu przez parę czujników temperatury. Ponieważ charakterystyka czujnika platynowego jest określona równaniem drugiego stopnia, w każdym punkcie charakterystyki dla wartości obydwu jej parametrów zmienianych ze skokiem 0,1 °C wylicza się dwie wartości temperatury i ich różnicę, którą porównuje się z wartością różnicy wyliczonej dla parametrów czujników zgodnych z normą. Następnie wyznacza się błąd maksymalny z wszystkich obliczonych w ten sposób, w pełnym znamionowym zakresie pomiarowym legalizowanego ciepłomierza.

Metoda obliczeniowa przedstawiona w artykule pozwala na zmniejszenie liczby punktów obliczeniowych przez określenie położenia obszarów, w których może występować poszukiwany błąd maksymalny. Natomiast zastosowanie metody Monte Carlo umożliwia symulowanie charakterystyk dla różnych wartości parametrów czujników. Podstawowy cel jej zastosowania to utworzenie reprezentatywnego zestawu próbek możliwych wartości wyjściowych i zbadanie ich rozkładu częstotliwości. Dla dużej liczby próbek ten rozkład częstotliwości umożliwia przedstawienie w postaci liczbowej funkcji rozkładu prawdopodobieństwa dla wartości wyjściowych. Zestaw próbek możliwych wartości wyjściowych uzyskuje się przez zastosowanie modelu dla sposobu ich pomiaru do próbek możliwych wartości wejściowych. W przypadku platynowych czujników temperatury badanie ich charakterystyk jest symulowane przez wytwarzanie próbek możliwych wartości współczynników ich charakterystyki temperaturowej.

2. Charakterystyka

Obydwa czujniki każdej pary w procesie legalizacji są zanurzone w łaźniach termostatycznych i mierzone są ich rezystancje w trzech różnych punktach charakterystyki temperaturowej, zgodnie z wymaganiami normy [1]. Pozwala to na obliczenie parametrów charakterystyki każdego czujnika, co następnie umożliwia obliczenie charakterystyki pomiaru różnicy temperatury w funkcji dwóch zmiennych: temperatury wody zasilania i temperatury wody powrotu. Postępując zgodnie z wymaganiami normy należy następnie wyznaczyć maksymalny błąd tej charakterystyki w odniesieniu do charakterystyki wzorcowej wyznaczonej na podstawie parametrów platynowych czujników temperatury określonych w normie.

3. Analiza błędu

W wymaganych normą [1] obliczeniach należy dla trzech różnych wartości temperatury wody w łaźni pomierzyć rezystancję każdego czujnika, a następnie podstawić te wartości do standardowego równania czujnika platynowego budując układ trzech równań z trzema niewiadomymi R_{0x} , A_x i B_x i wyznaczyć je dla każdego czujnika.

Następnie w każdym badanym punkcie charakterystyki temperatury wody: na zasilaniu t_1 i na powrocie t_2 obliczyć wartości rezystancji badanych czujników pary: czujnika 1 i czujnika 2.

$$R_{t1} = R_{01} (1 + A_1 t_1 + B_1 t_1^2) \quad (1)$$

$$R_{t2} = R_{02} (1 + A_2 t_2 + B_2 t_2^2) \quad (2)$$

Przelicznik ciepłomierza w trakcie pracy mierzy tylko te rezystancje czujników i na ich podstawie stosując wartości stałych równania zgodnych z normą [2]: R_0 , A i B oblicza wartości temperatury.

Aby obliczyć błąd pary wynikający z różnicy parametrów rzeczywistych czujników i parametrów określonych w normie należy podstawić obliczone wartości do równań z parametrami wg normy:

$$R_{t1} = R_0 (1 + A t_{1M} + B t_{1M}^2) \quad (3)$$

$$R_{t2} = R_0 (1 + A t_{2M} + B t_{2M}^2) \quad (4)$$

i obliczyć, jak to wykonywane jest w przeliczniku ciepłomierza, jego pierwiastki: t_{1M} i t_{2M} .

Wtedy błąd względny może być obliczony z równania:

$$e_t = \frac{(t_{1M} - t_{2M}) - \Delta t}{\Delta t} \quad (5)$$

gdzie: $\Delta t = t_1 - t_2$

Ponieważ obliczenia pierwiastków równań muszą być wykonywane dla każdego egzemplarza ciepłomierza w kilku milionach punktów charakterystyki ciepłomierza dla dwu zmiennych t_1 i t_2 , ten sposób jest bardzo czasochłonny i kłopotliwy dla producenta ciepłomierzy.

4. Inne metody wykonywania obliczeń

Obliczenia błędu można znacznie uprościć, gdy wykonuje się je w odniesieniu do błędu liczonego dla rezystancyjnych charakterystyk czujników platynowych [3].

Wtedy różnica rezystancji obliczona dla badanych czujników wynosi:

$$\Delta r_{sp} = R_{01} (1 + A_1 t_1 + B_1 t_1^2) - R_{02} (1 + A_2 t_2 + B_2 t_2^2) \quad (6)$$

a różnica rezystancji obliczona dla czujnika idealnego o parametrach zgodnych z normą:

$$\Delta r_{st} = R_0 (1 + A t_1 + B t_1^2) - R_0 (1 + A t_2 + B t_2^2) \quad (7)$$

i błąd względny:

$$e_r = \frac{\Delta r_{sp} - \Delta r_{st}}{\Delta r_{st}} \quad (8)$$

W tym przypadku nie trzeba obliczać pierwiastków równań kwadratowych. Sposób taki nie jest jednak dopuszczony do stosowania przy legalizacji ciepłomierzy, ze względu na niewielkie różnice w wartości błędu liczonego tą metodą i metodą opisaną powyżej dla błędu dla temperatury.

Metoda przedstawiona w artykule polega na wykorzystaniu wzorów dotyczących błędu pomiaru ciepłomierza dla rezystancji czujników do określenia przestrzeni w polu charakterystyki temperaturowej ciepłomierza, w której mogą wystąpić największe wartości błędu.

W tym celu oblicza się:

$$\begin{aligned} \Delta r_{sp} - \Delta r_{st} = & (R_{01} - R_{02}) + (R_{01}A_1 - R_{02}A_2)t + \\ & (R_{01}A_1 - R_0A)\Delta t + (R_{01}B_1 - R_{02}B_2)t^2 + \\ & (R_{01}B_1 - R_0B)2t\Delta t + (R_{01}B_1 - R_0B)\Delta t^2 \end{aligned} \quad (9)$$

gdzie:

$$\Delta t = t_1 - t_2 \quad \text{i} \quad t = t_2 \quad (10)$$

Dla uproszczenia wzoru zaproponowano zmienne w_1, w_2, w_3, w_4, w_5

$$\begin{aligned} R_{01} - R_{02} = w_1; \quad R_{01}A_1 - R_{02}A_2 = w_2; \quad R_{01}A_1 - R_0A = w_3; \\ R_{01}B_1 - R_{02}B_2 = w_4; \quad R_{01}B_1 - R_0B = w_5 \end{aligned} \quad (11)$$

i nową formę wzoru:

$$\Delta r_{sp} - \Delta r_{st} = w_1 + w_2 t + w_3 \Delta t + w_4 t^2 + 2w_5 t \Delta t + w_5 \Delta t^2 \quad (12)$$

oraz wzór na największy błąd względny:

$$e_{rr} = \frac{e_r}{|E_{rMPE}|} \quad (13)$$

gdzie E_r to maksymalny dopuszczalny błąd względny według normy:

$$E_{MPE} = \pm(0,5 + \frac{3\Delta t_{min}}{\Delta t}) \quad (14)$$

a dla rezystancji można określić:

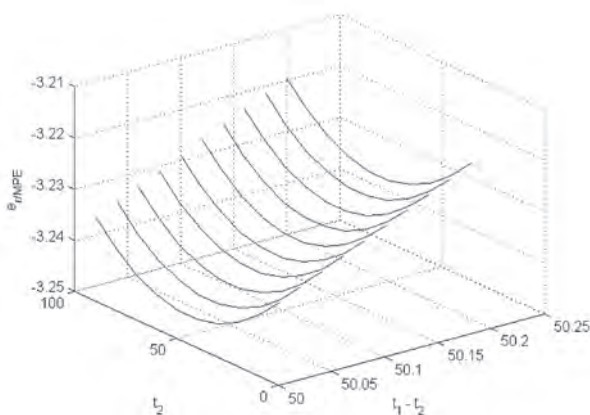
$$E_{rMPE} = \pm(0,5 + \frac{3\Delta r_{min}}{\Delta r_{st}}) \quad (15)$$

gdzie: $\Delta r_{min} = 0,385\Delta t_{min}$ po podstawieniu tych wartości uzyskuje się:

$$e_{rr} = \frac{2w_1 + 2w_2 t + 2w_3 \Delta t + 2w_4 t^2 + 4w_5 t \Delta t + 2w_5 \Delta t^2}{6\Delta r_{min} + R_0 (1 + A t_1 + B t_1^2) - R_0 (1 + A t_2 + B t_2^2)} \quad (16)$$

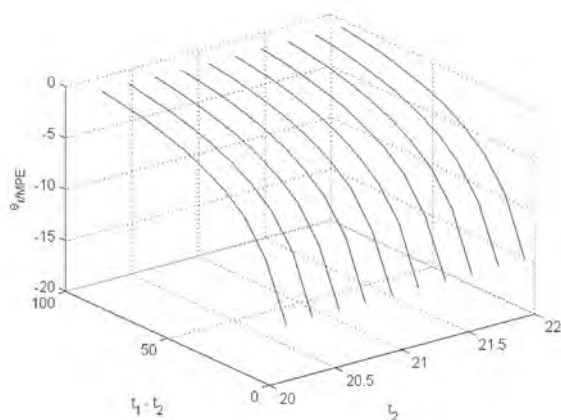
5. Określenie miejsc położenia największych błędów

Jak widać na wykresach przedstawionych na rys. 1 i 2 charakterystyki błędu mają charakter rowu lub garbu, zależnie od wartości parametrów czujników temperatury wyższej i niższej ciepłomierza. Mają one jednak cha-



Rys. 1. Charakterystyka błędu pomiaru różnicy temperatury dla $\Delta t = \text{const}$

Fig. 1. Temperature difference error characteristic for $\Delta t = \text{const}$



Rys. 2. Charakterystyka błędu pomiaru różnicy temperatury dla $t_2 = \text{const}$

Fig. 2. Temperature difference error characteristic for $t_2 = \text{const}$

rakter jednostajnie rosnący lub opadający do nieskończoności, a więc nie mają określonego punktu ekstremum błędu w funkcji temperatury powrotu i różnicy temperatury. Aby to jednak wykazać dla wybranych parametrów tej funkcji błędu należy sprawdzić, czy funkcja błędu względem temperatury powrotu przy różnicy temperatury $t_1 - t_2 = \text{const}$ ma ekstremum oraz czy funkcja błędu względem różnicy temperatury ma ekstremum dla $t_2 = \text{const}$. W równaniu (16) określono zależność wartości stosunku błędu względnego pary czujników do maksymalnego błędu dopuszczalnego określonego w normie [1] od dwu zmiennych. Te zmienne to temperatura powrotu t_2 i różnica temperatury Δt . W pracy [4] przedstawiono sposób wyznaczania punktów ekstremum dla tej funkcji. Należy w tym celu względem każdej z tych dwu zmiennych kolejno wyznaczyć wzór na pochodną i przyrównać jej wartość do zera. Po wyznaczeniu pochodnej dla temperatury t_2 należy więc dla każdej wybranej wartości Δt obliczyć wartości t_2 , dla której występują ekstrema funkcji. Na przykład dla linii ograniczającej największe wartości Δt na 100 °C, po podstawieniu tej wartości do wzoru na pochodną, uzyskamy (jeśli delta będzie dodatnia) dwie wartości t_2 dla dwóch punktów ekstremum funkcji. Jeżeli ekstremum istnieje, to należy sprawdzić czy występuje ono na odcinku linii w polu pomiarowym, czy poza nim. Jeżeli poza nim, to błąd maksymalny ciepłomierza na tej linii znajduje się na jej przecięciu z linią ograniczającą pole pomiarowe. Wtedy wartość w punkcie przecięcia się linii ograniczających pole pomiarowe należy obliczyć. Dlatego należy zbadać wszystkie punkty przecięć linii ograniczających zakres pomiarowy jako potencjalne miejsca maksymalnego błędu. Podobnie należy postąpić dla pochodnej funkcji błędu względem różnicy temperatury, by obliczyć wartości Δt w punktach ekstremum błędu na liniach ograniczających wartość temperatury powrotu t_2 .

6. Obliczenie ekstremum funkcji

W celu określenia położenia ekstremum należy wyznaczyć pochodną względem temperatury:

$$e_{rr}'(t) = \frac{4w_4t + 2(w_2 + 2w_5\Delta t)}{6\Delta r_{\min} + R_0A\Delta t + R_0B\Delta t^2 + 2R_0B\Delta tt} - \frac{2R_0B\Delta t(2w_4t^2 + 2(w_2 + 2w_5\Delta t)t + 2(w_1 + w_3\Delta t + w_5\Delta t^2))}{(6\Delta r_{\min} + R_0A\Delta t + R_0B\Delta t^2 + 2R_0B\Delta tt)^2} \quad (17)$$

Następnie przyrównać ją do zera i obliczyć pierwiastki równania:

$$t = \frac{-4w_4(6\Delta r_{\min} + R_0A\Delta t + R_0B\Delta t^2) \pm \sqrt{\text{del1}}}{8w_4R_0B\Delta t} \quad (18)$$

gdzie:

$$\text{del1} = 16w_4^2(6\Delta r_{\min} + R_0A\Delta t + R_0B\Delta t^2)^2 - 16w_4R_0B\Delta t((2w_2 + 4w_5\Delta t)(6\Delta r_{\min} + R_0A\Delta t + R_0B\Delta t^2) - 4R_0B\Delta t(w_1 + w_3\Delta t + w_5\Delta t^2)) \quad (19)$$

Pochodna względem różnicy temperatury:

$$e_{rr}'(\Delta t) = \frac{4w_5\Delta t + 2(w_3 + 2w_5t)}{6\Delta r_{\min} + R_0A\Delta t + R_0B\Delta t^2 + 2R_0B\Delta tt} - \frac{(2w_5\Delta t^2 + 2(w_3 + 2w_5t)\Delta t + 2(w_1 + w_2t + w_4t^2))(R_0A + 2R_0Bt + 2R_0B\Delta t)}{(6\Delta r_{\min} + R_0A\Delta t + R_0B\Delta t^2 + 2R_0B\Delta tt)^2} \quad (20)$$

i pierwiastki równania:

$$\Delta t = \frac{-4w_56\Delta r_{\min} + 4R_0B(w_1 + w_2t + w_4t^2) \pm \sqrt{\text{del2}}}{2(2w_5(R_0A + 2R_0Bt) - 2R_0B(w_3 + 2w_5t))} \quad (21)$$

gdzie:

$$\text{del2} = (4w_56\Delta r_{\min} - 4R_0B(w_1 + w_2t + w_4t^2))^2 - 4(2w_5(R_0A + 2R_0Bt) - 2R_0B(w_3 + 2w_5t))(2(w_3 + 2w_5t)6\Delta r_{\min} - 2(w_1 + w_2t + w_4t^2)(R_0A + 2R_0Bt)) \quad (22)$$

Te równania mogą być następnie wykorzystane do wyznaczenia położenia punktów ekstremum na poziomych liniach ograniczających wartości różnicy temperatury wg równania (18) i pionowych wg równania (21), ograniczających wartość temperatury t_2 oraz na linii skośnej wyznaczonej wg normy [1] dla:

$$\Delta t = t_{\max} - t \quad (23)$$

Podstawiając (23) do (16) uzyskujemy:

$$e_{rrs} = \frac{2(w_4 - w_5)\Delta t^2 + 2(-w_2 + w_3 - 2w_4t_{\max} + 2w_5t_{\max})\Delta t + 2(w_1 + w_2t_{\max} + w_4t_{\max})}{-R_0B\Delta t^2 + (R_0A + 2R_0Bt_{\max})\Delta t + 6\Delta r_{\min}} \quad (24)$$

pochodna:

$$e_{rrs}'(\Delta t) = \frac{4w_5\Delta t + 2(w_3 + 2w_5t)}{6\Delta r_{\min} + R_0A\Delta t + R_0B\Delta t^2 + 2R_0B\Delta tt} - \frac{(2w_5\Delta t^2 + 2(w_3 + 2w_5t)\Delta t + 2(w_1 + w_2t + w_4t^2))(R_0A + 2R_0Bt + 2R_0B\Delta t)}{(6\Delta r_{\min} + R_0A\Delta t + R_0B\Delta t^2 + 2R_0B\Delta tt)^2} \quad (25)$$

a punkty ekstremum są:

$$\Delta t = \frac{-2w_46\Delta r_{\min} + 2w_56\Delta r_{\min} - 4R_0B(w_1 + w_2t_{\max} + w_4t_{\max}) \pm \sqrt{\text{del3}}}{2((w_4 - w_5)(R_0A + 2R_0Bt_{\max}) + 2R_0B(-w_2 + w_3 - 2w_4t_{\max} + 2w_5t_{\max}))} \quad (26)$$

gdzie:

$$\text{del3} = (2w_46\Delta r_{\min} - 2w_56\Delta r_{\min} + 4R_0B(w_1 + w_2t_{\max} + w_4t_{\max}))^2 - 4((w_4 - w_5)(R_0A + 2R_0Bt_{\max}) + 2R_0B(-w_2 + w_3 - 2w_4t_{\max} + 2w_5t_{\max})) \cdot 12\Delta r_{\min}(-w_2 + w_3 - 2w_4t_{\max} + 2w_5t_{\max}) - 2(w_1 + w_2t_{\max} + w_4t_{\max})(R_0A + 2R_0Bt_{\max}) \quad (27)$$

Korzystając z powyższych wzorów wypro-
wadzonych dla charakterystyk rezystancyj-
nych czujników, można w prosty sposób wy-
znaczyć przybliżone miejsca położenia maksy-
malnych błędów dla charakterystyki tempera-
turowej czujników tworzących parę. Natomiast
aby spełnić wymagania normy [1] należy na-
stępnie obliczyć błędy pomiaru różnicy tempe-
ratury dla kolejnych punktów charakterystyki
temperaturowej każdego czujnika tworzące-
go parę z odstępem 0,1 °C w pobliżu wyzna-
czonych miejsc ekstremum charakterystyk re-
zystancyjnych.

W praktyce wystarcza obliczenie błędów
w kilkunastu punktach zamiast w kilku mi-
lionach punktów. Pozostaje natomiast do roz-
wiązania problem udowodnienia, że ekstre-
mum błędu nie występuje w zakresie pomia-
rowym temperatury ciepłomierza. Dotąd ba-
zujemy w tej dziedzinie na przytoczonych wy-
kresach. W dalszej części artykułu zostanie
przedstawiona metoda, która może być po-
mocna w rozwiązaniu tego zagadnienia meto-
dami statystycznymi.

7. Badanie niepewności pomiaru różnicy temperatury metodą Monte Carlo

W pracy [5] autorzy przedstawili porównanie wyników nie-
pewności pomiaru różnicy temperatury liczonych meto-
dą analityczną oraz stosując metodę Monte Carlo. W tej
metodzie proces kalibracji pary czujników jest symulowany
biorąc jednocześnie pod uwagę niepewności dla temperatu-
ry w łaźni kalibracyjnej i pomiarów elektrycznych – rezy-
stancji czujników.

Oznacza to, że wartości temperatury i rezystancji rów-
nania

$$\begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 \\ 1 & t_2 & t_2^2 \\ 1 & t_3 & t_3^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_0 \\ R_0 A \\ R_0 B \end{pmatrix} \quad (28)$$

są zastępowane przez zestaw próbek możliwych wartości (τ_1 ,
 τ_2 , τ_3) dla temperatury i (ρ_1 , ρ_2 , ρ_3) dla rezystancji. Możliwe
wartości temperatury są uzyskiwane przez zsumowa-
nie odpowiedniej wartości wskazanej i wartości uzyskanych
z funkcji rozkładu prawdopodobieństwa dla jednorodności
i stabilności łaźni, czujnika wzorcowego temperatury i prze-
wodnictwa ciepła: odpowiednio oznaczonych: T_{Ho} , T_S , T_{RS} ,
 T_{HC} , i pomnożonych przez odpowiednie powiązane niepew-
ności podane w tab. 1. Analogicznie uzyskuje się wartości
dla możliwych wartości rezystancji. Równanie pomiaru dla
czujnika wody zasilania przedstawione jest jako:

$$\begin{aligned} \tau_{i,in} &= t_{i,in} + u_{HO,i} \rho_{R,HO,i,in} + u_{S,i} \rho_{R,S,i,in} + u_{HC,i} \rho_{G,RS} + u_{HC,i} \rho_{R,HC} \\ \rho_{i,in} &= r_{i,in} + u_{T,i} \rho_{R,T,i,in} + u_{EM,i} \rho_{G,EM} \end{aligned} \quad (29)$$

Tab. 1. Niepewności związane z pomiarem różnicy temperatury

Tab. 1. Measurement uncertainties for temperature difference in baths

	Opis	Temperatura w łaźni			PDF
		20 °C	70 °C	120 °C	
T_{Ho}	Jednorodność łaźni	1,73 mK	1,73 mK	1,39 mK	P, u
T_S	Stabilność łaźni	1,15 mK	1,15 mK	0,92 mK	P, u
T_{RS}	Norma – wymagania	4,30 mK	4,30 mK	6,90 mK	N, c
T_{HC}	Przewodnictwo cieplne	1,44 mK	1,44 mK	1,15 mK	P, c
R_T	Napięcia generowane termicznie	0,23 mΩ	0,23 mΩ	0,37 mΩ	P, u
R_{EM}	Pomiary elektryczne	0,56 mΩ	0,56 mΩ	0,92 mΩ	N, c

PDF – Funkcja rozkładu prawdopodobieństwa: P – prostokątna, N – normalna,
u – nieskorelowana, c – skorelowana

gdzie $i \in [1, 3]$ oznacza temperaturę kalibracji a ‘in’ ozna-
cza „na zasilaniu”. Odczyty temperatury i rezystancji ozna-
czone są jako $t_{i,in}$ i $r_{i,in}$.

Pozostałe indeksy są opisane w tab. 1, na przykład u_{Ho}
to niepewność spowodowana jednorodnością temperatu-
rową łaźni a $\rho_{R,HO,i,in}$ to próbka dla prostokątnego rozkładu
prawdopodobieństwa. Korelacja, wskazana jako ‘c’ jest re-
alizowana przez branie tej samej próbki z odpowiedniego
rozkładu prawdopodobieństwa. Każdy taki zestaw możli-
wych wartości temperatury i rezystancji jest wtedy użyty
do obliczenia zestawu możliwych wartości współczynników
czujników platynowych uzyskanych przez odwrócenie ma-
cierzy obydwu czujników. Te zestawy wartości są nastę-
pnie użyte do symulowania możliwych wartości rezystancji
obliczonej na podstawie rezystancji (mierzonej przez prze-
licznik), także tu z uwzględnieniem wszystkich koniecznych
niepewności. Następnie są one przeliczane na wartości tem-
peratury z zastosowaniem standardowych współczynników
z normy [2] oraz uwzględnieniem niepewności związanych
z pomiarami elektrycznymi.

Różnica temperatury każdej takiej symulowanej pary dla
wskazanych wartości temperatury dwu czujników jest przed-
stawiana zgodnie z jej rozkładem częstotliwości jako wy-
kres, który przy dużej liczbie próbek asymptotycznie dąży
do charakterystyki funkcji dystrybucji prawdopodobieństwa
dla różnicy temperatury. Autorzy uzyskali wyniki niepewno-
ści zbliżone do obliczonych metodą analityczną dla liczności
próbek $M = 10^4$. Stosując odpowiednie metody statystycz-
ne można następnie wyznaczyć wartości oczekiwane, które
dobrze oddają wartość różnicy temperatury oraz standar-
dowych odchyśleń, które dobrze oddają nie-
pewność związaną z tymi wartościami. Moż-
na tą metodą także obliczyć położenie i szerokość wymaganego przedziału rozszerze-
nia, przy czym dokument [6] zaleca stosowa-
nie liczności próbek $M = 10^6$.

8. Podsumowanie

Przedstawione sposoby obliczania błędów i niepewności pomiarów różnicy temperatury, szczególnie w zastosowaniu do ciepłomierzy pozwalają na znaczne skrócenie czasu wykonywania obliczeń w procesie ich legalizacji co ma duże znaczenie przy seryjnej produkcji. Przedstawiono też zalecane metody Monte Carlo do sprawdzania poprawności wyników rozwiązań analitycznych problemów fizycznych, szczególnie tam gdzie istnieje konieczność stosowania pewnych aproksymacji funkcji. Metoda ta pozwala na symulowanie równoczesnego wzorcowania obydwu czujników połączonych w parę i przeznaczonych do pomiaru różnicy temperatury. W dalszych pracach planowane jest zastosowanie metody Monte Carlo do analizy położenia punktów charakterystyki dla maksymalnych błędów pomiaru różnicy temperatury w zastosowaniu do ciepłomierzy.

Bibliografia

1. European Standard BS EN 1434-5:2007 *Heat meters. Initial verification tests*. 31.05.2007, London, United Kingdom.
2. European Standard BS EN 60751 *Industrial platinum resistance thermometer sensors*. 15.03.1996, London, United Kingdom.
3. Korytkowski J., Goszczyński T., Jachczyk E., *Komputerowy system pomiarowy do badania dokładności par czujników temperatury*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, 10/1997, 17–19.
4. Goszczyński T., *Error Determination for Heat Meter Validation.*, “Heat Transfer Engineering”, Vol. 31, 1/2010, 83–89.
5. Tegeler E., Heyer D. Siebert B., *Uncertainty of the calibration of paired temperature sensors for heat meters*, Tempmeko 2007 Conf. [www.tempmeko2007.org].
6. Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the „Guide to the expression of uncertainty in measurement” – *Propagation of distributions using a Monte Carlo method*, BIPM JCGM 101:2008. ■

Unconventional methods of measurement errors analysis for pairs of platinum temperature sensors

Abstract: Methods of measurement errors analysis for pairs of platinum temperature sensors are presented. The methods are especially actual for heat meters with a pair of temperature sensors which must be separately validated. Presented methods are not allowed for validation purposes but can be helpful in shortening procedures of validation.

Keywords: pairs of platinum temperature sensors, maximum error value, measurement uncertainty, Monte Carlo Method

mgr inż. Tadeusz Goszczyński

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej. Od 1971 r. pracuje w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów PIAP. Autor ponad 30 publikacji w czasopismach technicznych i jednego podręcznika. Główny wykonawca trzech projektów celowych dotyczących zautomatyzowanych stanowisk pomiarowych. Autor 15 patentów, laureat Zespołowej Nagrody Państwowej II st. oraz Mistrza Techniki – Warszawa 2002, NOT.

e-mail: tgoszczyński@piap.pl

