



**ĆWICZENIE
20**

**SKALOWANIE TERMOPARY I WYZNACZANIE TEMPERATURY
KRZEPNIĘCIA STOPU**

Instrukcja wykonawcza

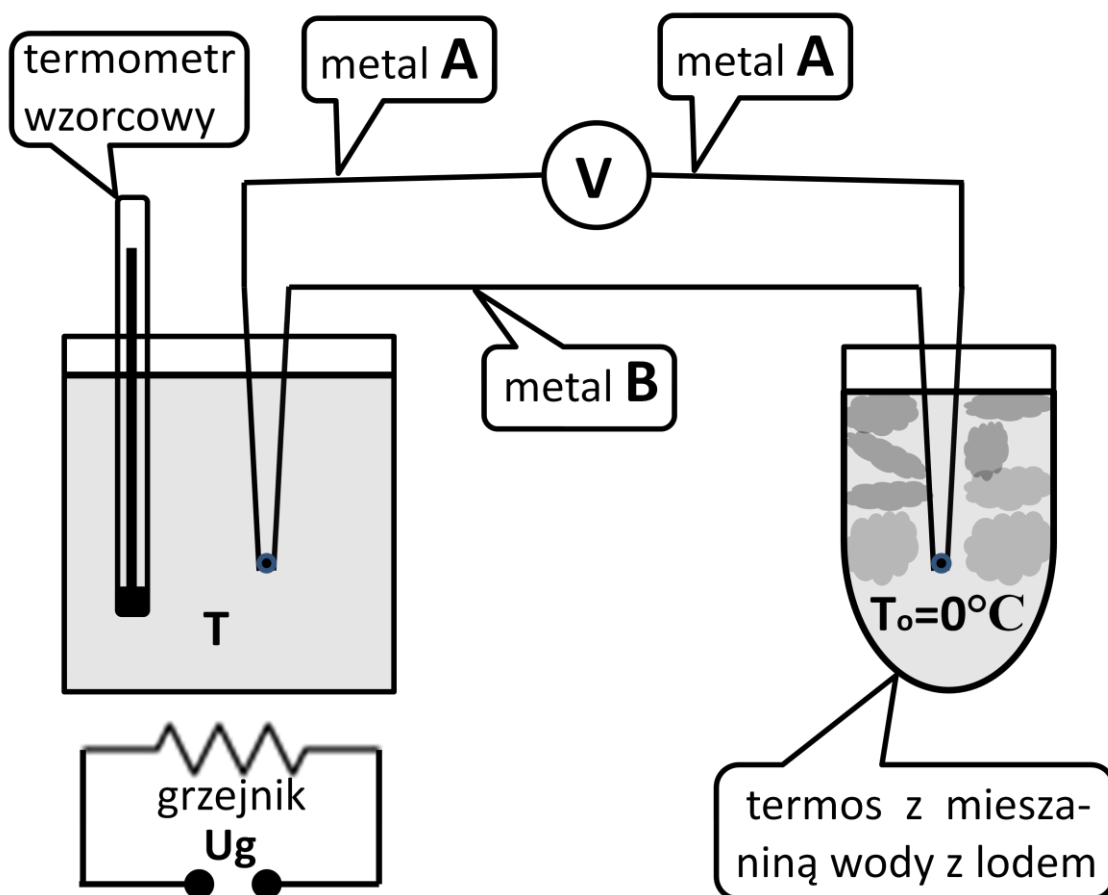
1. Wykaz przyrządów

- 1) Kuchenka elektryczna
- 2) Termometry (o zakresie od 0 do 100 °C) lub miernik temperatury
- 3) Naczynie do podgrzewania wody (czasem z elektrycznym mieszadłem)
- 4) Termos
- 5) Termopara
- 6) Tygiel ze stopem Wooda (50% Bi, 25% Pb, 12,5%Cd, 12,5% Sn)
- 7) Stoper

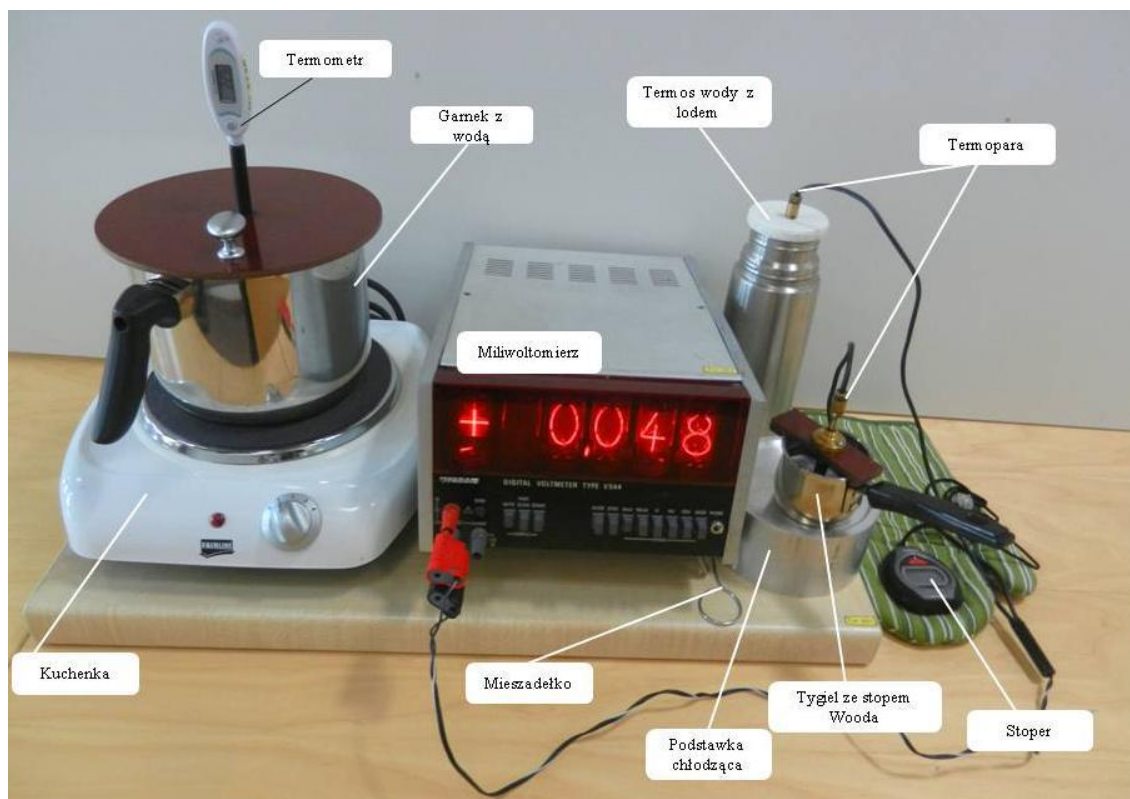
2. Cel ćwiczenia

- 1) Skalowanie termopary oraz wyznaczenie współczynnika termoelektrycznego termopary.
- 2) Wyznaczenie temperatury krzepnięcia stopu metali.

3. Schemat układu pomiarowego



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego służącego do skalowania termopary.



Rys.2. Stanowisko pomiarowe

4. Przebieg pomiarów

4.1. Skalowanie termopary, tzn. wyznaczenie zależności $U = f(T)$, czyli zależności napięcia termoelektrycznego U mierzonego w układzie termopary od zmienianej temperatury T jednego ze złącz podczas gdy drugie złącze utrzymywane będzie w stałej temperaturze odniesienia $T_0 = 0^\circ\text{C}$:

- Napełnić termos mieszaniną wody z lodem.
- Do stalowego garnka nalać wodę do około 2 cm poniżej górnej krawędzi. Ustawić garnek na kuchenke elektrycznej i przykryć pokrywką.
- Jedno spojenie termopary umieścić w termosie, a drugie przez otwór w pokrywce garnka zanurzyć w wodzie.
- Włączyć cyfrowy termometr i przez drugi otwór w pokrywce garnka zanurzyć jego czujnik w wodzie.
- Zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1 podłączyć termoparę do miliwoltomierza i włączyć go.
- Włączyć kuchenkę elektryczną do sieci.
- Przeprowadzić skalowanie, tzn. w zakresie od temperatury pokojowej do 90°C notować co 2°C wartości temperatury i odpowiadające im wartości napięcia.
- Po skończonym skalowaniu zmniejszyć grzanie kuchenki do minimum, by **woda nie zagotowała się**.
- Zanotować niepewności użytych mierników.

4.2. Wyznaczenie temperatury krzepnięcia stopu metali:

- Spojenie termopary wyjąć z pokrywki garnka i umieścić w tyglu ze stopem metali. Zdjąć pokrywkę z garnka

- b) Umieścić tygiel na garnku z gorącą wodą stojącym na kuchence, tak by tygiel był do połowy zanurzony w gorącej wodzie i ogrzewać stop dopóki nie uzyska płynnego stanu w całej objętości.

Uwaga:

- **w trakcie topienia stopu Wooda utrzymywać temperaturę wody w ok. 90°C przez zmniejszenie lub zwiększenie mocy kuchenki, ale nie doprowadzając do wrzenia wody**
 - **wartość napięcia na miliwoltomierzu nie powinna przekraczać wartości odpowiadającej temperaturze 85°C zanotowanej podczas skalowania termopary.**
- c) **Wyłączyć kuchenkę**, Zdjąć tygiel garnka i umieścić go na metalowej podstawie. W czasie procesu chłodzenia stopu co **30 s** notować czas i napięcie termoelektryczne do wartości napięcia odpowiadającej temperaturze ok. **40°C** zanotowanej podczas skalowania termopary.

5. Opracowanie wyników

5.1. Skalowanie termopary i wyznaczenie współczynnika termoelektrycznego α

1. Sporządzić wykres cechowania termopary $U = f(T)$ przedstawiający zależność napięcia termoelektrycznego od temperatury spiny zanurzonej w podgrzewanej wodzie.
2. Dla kilku wybranych punktów narysować prostokąt niepewności przyjmując za niepewności U oraz T dokładności mierników.
3. Metodą regresji liniowej wyznaczyć współczynnik kierunkowy A prostej najlepiej dopasowanej do wykresu $U = f(T)$ oraz jego niepewność $u(A)$. Ponieważ napięcie termoelektryczne U zależy od temperatury T zgodnie z równaniem $U = \alpha \cdot (T - T_0)$, to zauważamy, że wyznaczony współczynnik kierunkowy A jest jednocześnie współczynnikiem termoelektrycznym α , więc niepewność współczynnika kierunkowego $u(A)$ jest też niepewnością współczynnika termoelektrycznego $u(\alpha)$:

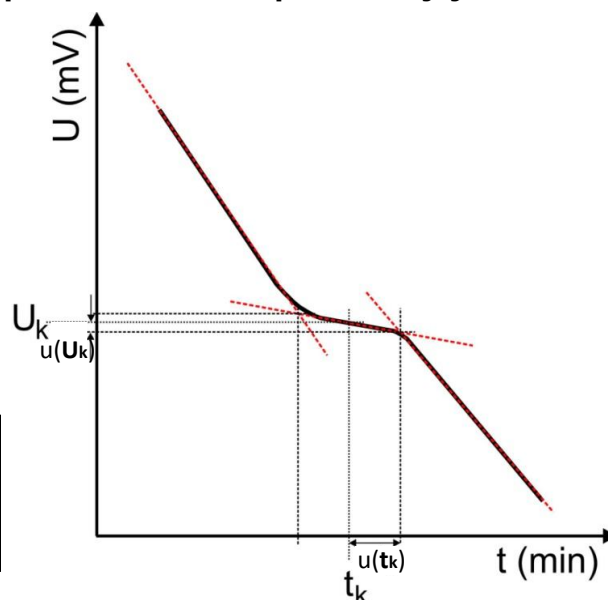
$$\alpha = A, \quad u(\alpha) = u(A). \quad (1)$$

5.2. Wyznaczenie temperatury krzepnięcia stopu metali oraz niepewności jej wyznaczenia

1. Sporządzić wykres zależności siły termoelektrycznej od czasu schładzania badanego stopu $U = f(t)$.
2. Jeżeli prowadzący nie wskaże metody ustalenia wartości napięcia krzepnięcia U_k oraz niepewności jej wyznaczenia $u(U_k)$, to można wykorzystać jeden z poniższych sposobów:

Sposób 1 (graficzny)

Napięcie U_k odczytać z wykresu tak jak przedstawiono na rys. 3.
Niepewność $u(U_k)$ wyznaczyć tak jak przedstawiono na z rys. 3.



Rys.3. Wyznaczenie wartości napięcia U_k oraz niepewności $u(U_k)$. Rzeczywisty wykres może się różnić od przedstawionego. W trakcie krzepnięcia mierzona temperatura może nawet nieznacznie wzrastać.

Sposób 2 (rachunkowy)

Napięcie U_k obliczyć jako średnią arytmetyczną napięć mieszczących się w obszarze plateau.

Niepewność $u(U_k)$ obliczyć wyznaczając najpierw niepewność standardową typu A wartości średniej napięć mieszczących się w obszarze plateau:

$$u_A(\bar{U}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}{n \cdot (n-1)}}, \quad (2)$$

a następnie niepewność standardową typu B:

$$u_B(U) = \frac{\Delta_p U}{\sqrt{3}}, \quad (3)$$

gdzie $\Delta_p U$ jest niepewnością pomiaru woltomierzem (lub wartością średnią niepewności mierzonych napięć mieszczących się w obszarze plateau).

Niepewność napięcia krzepnięcia obliczyć ze wzoru:

$$u(U_k) = \sqrt{(u_A(\bar{U}))^2 + (u_B(U))^2}. \quad (4)$$

3. Wyznaczyć temperaturę krzepnięcia stopu metali T_k ze wzoru:

$$T_k = \frac{U_k}{\alpha}. \quad (5)$$

4. Znając niepewności $u(U_k)$ i $u(\alpha)$ obliczyć niepewność złożoną temperatury krzepnięcia stopu $u_c(T_k)$.

6. Proponowane tabele pomiarowe

6.1. Skalowanie termopary

T	$u(T)$	U	$u(U)$	α	$u(\alpha)$	$\frac{u(\alpha)}{\alpha} \cdot 100\%$
[°C]	[°C]	[mV]	[mV]	[mV/°C]	[mV/°C]	[%]
...		...				

6.2. Wyznaczenie temperatury krzepnięcia stopu

t	U	$u(U)$	U_k	$u(U_k)$	T_k	$u_c(T_k)$	$\frac{u_c(T_k)}{T_k} \cdot 100\%$
[s]	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]	[°C]	[°C]	[%]
...					