

**ĆWICZENIE
20a**

**SKALOWANIE TERMOPARY I WYZNACZANIE TEMPERATURY
KRZEPNIĘCIA WODY**

Instrukcja wykonawcza

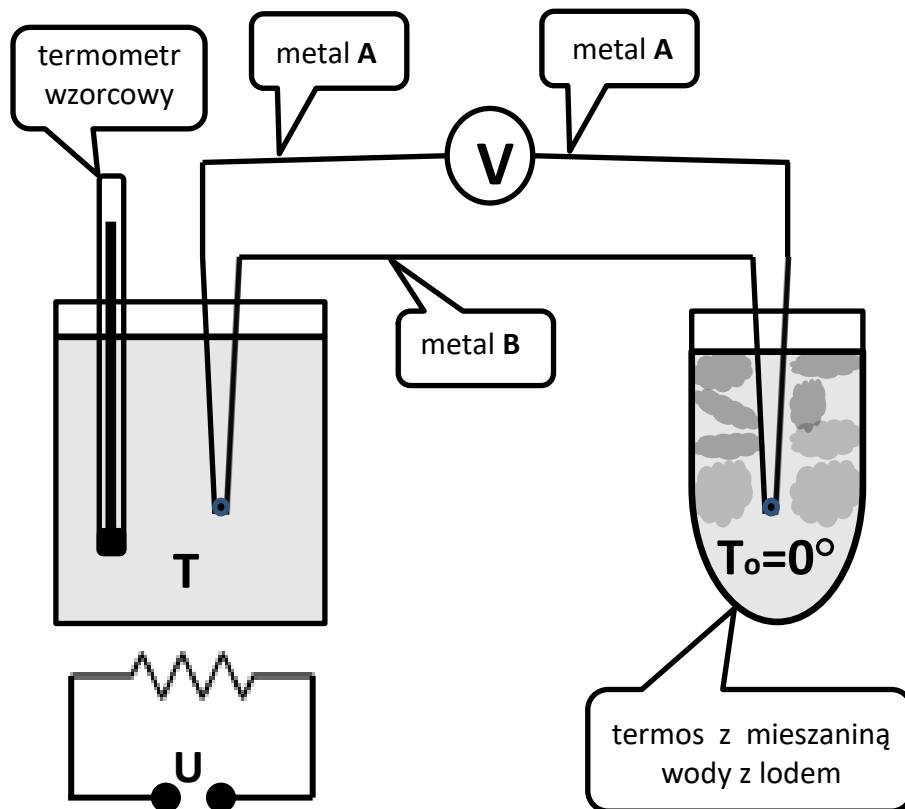
1. Wykaz przyrządów

- 1) kuchenka elektryczna
- 2) termometr
- 3) naczynie do podgrzewania wody
- 4) termos z roztworem lodu i wody
- 5) termopara
- 6) woltomierz
- 7) naczynie na roztwór lodu z wodą i solą kuchenną
- 8) naczynie na wodę/lód
- 9) strzykawka
- 10) stoper

2. Cel ćwiczenia

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

3. Schemat układu pomiarowego



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



Rys.2. Stanowisko pomiarowe

4. Przebieg pomiarów

4.1. Wyznaczenie temperatury krzepnięcia wody:

- Napełnić termos mieszaniną wody z lodem.
- Naczynie termiczne napełnić w 1/3 zimną wodą, dodać dwie płaskie łyżki soli kuchennej i poczekać aż się rozpuści (zamieszać). Naczynie dopełnić do 3/4 lodem z zamrażarki (z pokoju nr 51).
- Nabrać do strzykawki ok. 5 ml ciepłej wody z kranu. Przełożyć wodę do szklanego naczynka pomiarowego. Naczynko zatkać korkiem.
- Spojenie termopary umieścić w naczynku z ciepłą wodą tak, by termopara była zanurzona w wodzie, ale nie dotykała naczynka.
- Delikatnie zamocować naczynko w statywie i zanurzyć w roztworze lodu z wodą i solą.
- Uruchomić stoper i w czasie procesu chłodzenia wody (ok. 25 minut) co **20 s** notować czas i napięcie termoelektryczne.

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

- Do stalowego garnka nalać wodę do około 3 cm poniżej górnej krawędzi. Ustawić garnek na kuchence elektrycznej i przykryć pokrywką.
- Jedno spojenie termopary umieścić w termosie, a drugie przez otwór w pokrywie garnka zanurzyć w wodzie.
- Włączyć cyfrowy termometr i przez drugi otwór w pokrywie 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 ok. 60°C notować co 2°C wartości temperatury i odpowiadające im wartości napięcia.
- Po skończonym skalowaniu wyłączyć kuchenkę.
- Zanotować niepewności użytych mierników.

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 ($y = Ax - B$) 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 $u(\alpha)$:

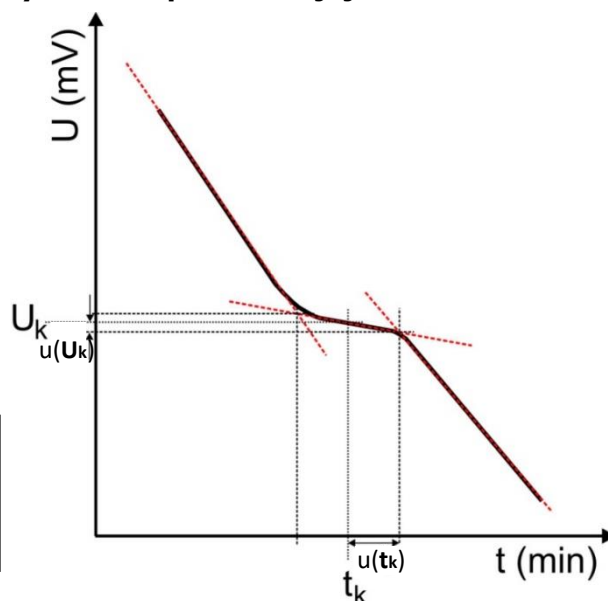
$$\alpha = A, \quad u(\alpha) = u(A). \quad (1)$$

5.2. Wyznaczenie temperatury krzepnięcia wody oraz niepewności jej wyznaczenia

1. Sporządzić wykres zależności siły termoelektrycznej od czasu schładzania wody $U = f(t)$.
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 wody T_k ze wzoru:

$$T_k = \frac{U_k + B}{\alpha}, \quad (5)$$

gdzie α jest współczynnikiem termoelektrycznym a B współczynnikiem równania liniowego otrzymanym z regresji liniowej (punkt 5.1.3).

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

6. Proponowane tabele pomiarowe

6.1. Skalowanie termopary

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

6.2. Wyznaczenie temperatury krzepnięcia wody

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]	[%]
...					