



Politechnika Wroclawska

Katedra Techniki Ciepłej W9/K51

**Miernictwo i systemy pomiarowe – lab.**

# **Pomiary temperatur za pomocą termoelementów metodą kompensacyjną**

**Instrukcja do ćwiczenia nr 2**

*Opracował: dr inż. Wiesław Wędrychowicz*

Wrocław, 2021.

## Wstęp teoretyczny

Termopara (nazywana również termoogniwem, termoelementem lub ogniwnem termoelektrycznym) wyróżnia się wieloma zaletami w porównaniu do innych rodzajów czujników temperatury.

W początkach XIX wieku (1821 r.) niemiecki fizyk Thomas Johann Seebeck odkrył, że styk pomiędzy dwoma metalami generuje napięcie będące funkcją temperatury. Termopara to po prostu praktyczne wykorzystanie zjawiska Seebecka.

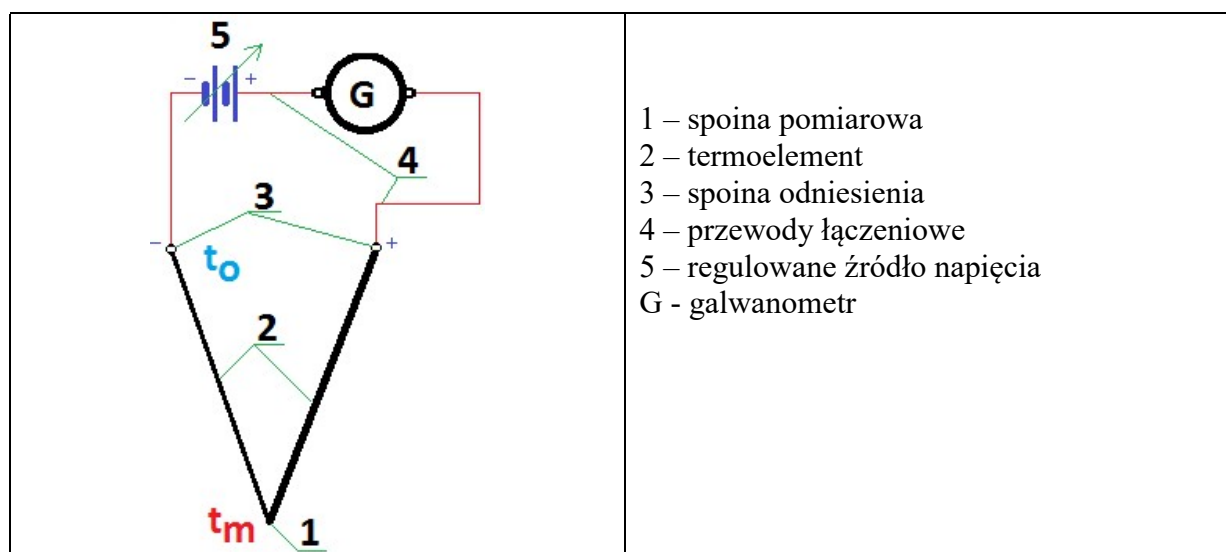
Termopara jest zatem elementem obwodu elektrycznego składającego się z dwóch przewodów wykonanych z różnych metali (mogą być metale czyste lub stopy metali).

Miejsce łączenia nazywa się „spoiną pomiarową” zaś pozostałe końce - zimnymi końcami. Przewody termoelementu nazywamy „termoelektrodami”. W tak utworzonym termoelemencie składającym się z różnych materiałów, powstaje siła termoelektryczna wtedy, gdy spoina i zimne końce utrzymywane są w różnych temperaturach. Czułość termoelementu zależy od siły termoelektrycznej materiałów, z których wykonane są termoelementy. Na termoelementy wybiera się zestawy materiałów, które w szeregu termoelektrycznym znajdują się daleko od siebie, co zapewnia występowanie dużych sił termoelektrycznych przy określonej różnicy temperatur. Właściwości typowych metali stosowanych w termoparach dają przewidywalne napięcia wyjściowe. Pozwala to użytkownikom wykorzystywać termopary w wielu zastosowaniach, w tym w środowiskach agresywnych chemicznie.

Fizyczna konstrukcja termopary jest prosta – spoiny wykonane są poprzez skręcenie, lutowanie lub spawanie drutów termoelektrod. Wszystkie metody dają podobny rezultat.

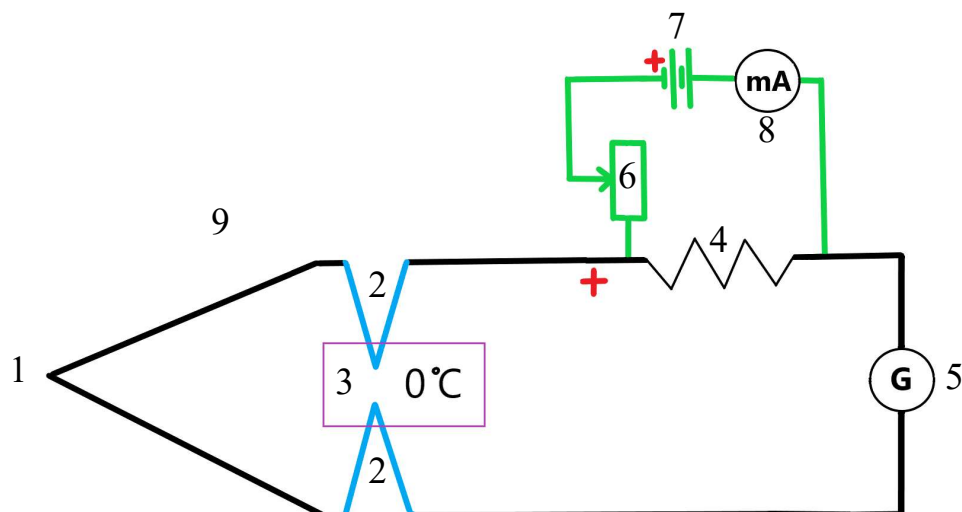
Termopary pokrywają szeroki zakres mierzonych temperatur, rozciągający się od  $-100^{\circ}\text{C}$  aż do ponad  $2500^{\circ}\text{C}$ . Typowa dokładność pomiaru wynosi  $\pm 1 - 2^{\circ}\text{C}$ , co jest wystarczające w większości zastosowań przemysłowych. Więcej informacji w instrukcji do ćw. 1 pn. „Charakterystyki wybranych termoelementów przy różnych temperaturach spoiny odniesienia”

Do wad termopar należy zaliczyć to, że napięcie wyjściowe termopary jest rzędu kilku mikrowoltów na stopień Celsjusza. Ponadto wyjście z termopary jest nieliniowe, więc konieczne jest stosowanie metod linearyzacyjnych stosowanych do konwersji napięć termopary na odczyty temperatury. Bardzo niskie napięcia powodują, że dokładny pomiar wymaga zastosowania metody wykluczającej przepływ prądu przez termoogniwo. Przepływ nawet najmniejszego prądu jest bowiem źródłem spadku napięcia. Dlatego w bardzo dokładnych pomiarach stosuje się metodę kompensacyjną zerową do której schemat ideowy przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat podłączenia termopary

Aby zapewnić dokładny pomiar napięcia kompensującego napięcie termoelektryczne zastosowano układ pokazany na schemacie 2.



## 2. Schemat połączeń na stanowisku pomiarowym

Układ pomiarowy składa się z dwóch obwodów. Pierwszy główny obwód z termoparą ze spoiną pomiarową (1), termoparami ze spoinami odniesienia (2) umieszczonymi w termosie z mieszaniną wody i lodu (3), galwanometrem połączonym szeregowo (5). W układ ten włączony jest szeregowo dodatkowy rezystor wzorcowy  $1 \Omega$  (4). Na końcach rezystora dołączony jest obwód pomocniczy (kolor zielony) w którym znajduje się opornica dekadowa (6), źródło prądu stałego nieregulowane (7), miliamperomierz (8) oraz rezystor wzorcowy wspólny z obwodem głównym (4).

Przepływający prąd w obwodzie pomocniczym wywołuje spadek napięcia na rezystorze, który jest różnicą potencjałów w obwodzie głównym. Ponieważ polaryzacja jest skierowana przeciwnie do polaryzacji termopary napięcia termopary  $E$  i powstające na rezystorze  $U_R$  równoważą się. Układ ten nazywa się kompensatorem Lindebecka. Gdy spełniony jest warunek  $E = U_R$  prąd w obwodzie głównym nie płynie – wskazanie galwanometru (bardzo czułego amperomierza) równe jest 0. Wartość napięcia zrównoważenia  $U_R$  wyznaczana jest z prawa Ohma.

$$U_R = I \cdot R$$

$I$  – prąd w obwodzie pomocniczym,

$R$  – rezystancja rezystora wzorcowego [ $1 \Omega$ ]

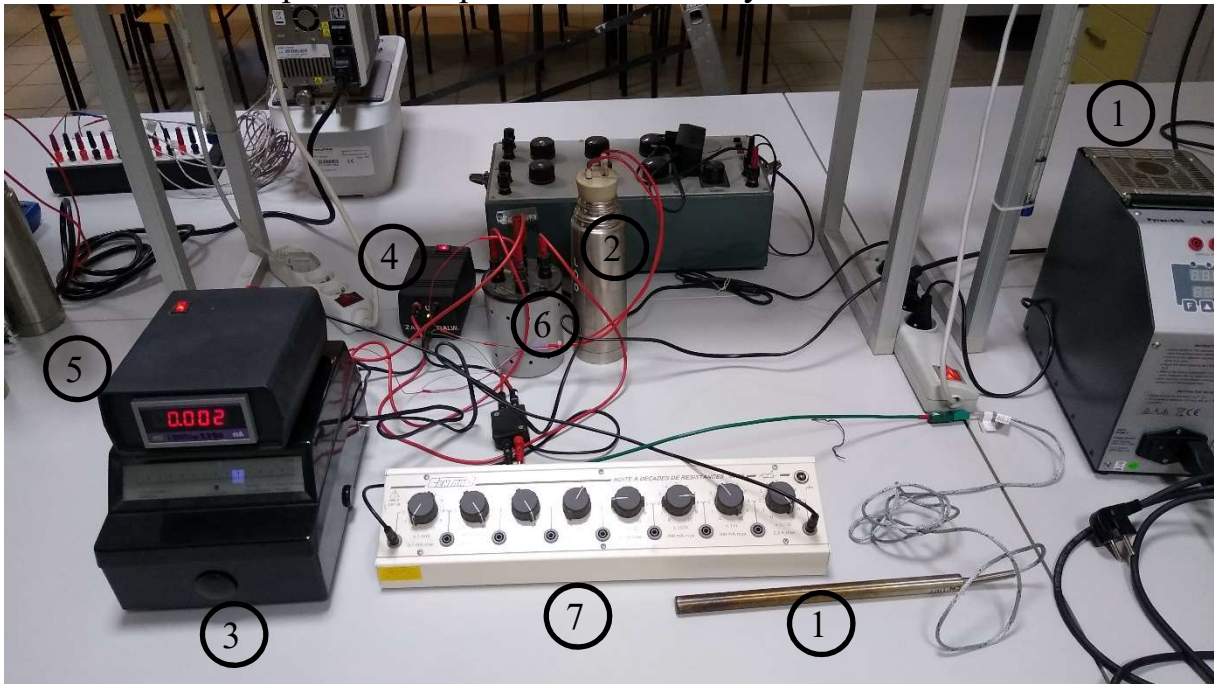
$U_R$  – spadek napięcia na rezystorze

Łatwo zauważyć, że jeżeli  $R=1$  to zgodnie z prawem Ohma co do wartości

$$U_R = I$$

## Stanowisko pomiarowe

Stanowisko pomiarowe przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 3. Stanowisko pomiarowe

W skład stanowiska pomiarowego wchodzi następujące elementy i urządzenia:

1. Badane termopara w osłonie metalowej umieszczona w piecyku kalibracyjnym.
2. Termopary odniesienia umieszczona w termosie zawierającym mieszaninę wody i lodu.
3. Galwanometr (bardzo czuły amperomierz)
4. Nieregulowane źródło prądu
5. Miliamperomierz
6. Rezystor wzorcowy  $1 \Omega$  o klasie dokładności 0,01
7. Opornica dekadowa laboratoryjna.



Rys. 4. Włącznik galwanometru.

## Przebieg ćwiczenia

1. Zmierzyć temperaturę otoczenia.
2. Sprawdzić czy temperatura w termosie oznaczonym jako „Lód” wynosi  $0^{\circ}\text{C}$ ,
3. Sprawdzić czy galwanometr jest wyłączony (rys. 4.).
4. Włączyć piecyk kalibracyjny (pod nadzorem prowadzącego) i nastawić temperaturę  $40^{\circ}\text{C}$ .

**Uwaga:** Wszystkich odczytów należy dokonać każdorazowo po ustaleniu się temperatury w piecyku sygnalizowane sygnałem dźwiękowym.

5. Po ustabilizowaniu się nastawionej temperatury piecyka kalibracyjnego na krótko włączyć galwanometr i obserwować ruch wskaźnika. W przypadku szybkiego ruchu wyłączyć galwanometr i zmniejszyć rezystancję na opornicy. Ponownie na krótko włączyć galwanometr. W przypadku szybkiego ruchu postąpić j/w. Przy powolnym wychyleniu pozostawić galwanometr włączony i doregulować opornicą dekadową w taki sposób, by galwanometr wskazywał „0”.

6. Wykonać odczyt wartości prądu w obwodzie pomocniczym.

7. Wyłączyć galwanometr.

8. Wykonywać ponownie punkty 5-8 zmieniając nastawę temperatury w piecyku kalibracyjnym wg. schematu:

( $t_{wz}$ ):  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $80^{\circ}\text{C}$ ,  $100^{\circ}\text{C}$ ,  $120^{\circ}\text{C}$ ,  $140^{\circ}\text{C}$ ,  $160^{\circ}\text{C}$ .

Wyniki pomiarów zebrać w tabeli pomiarowej wg wzoru zamieszczonego w załączniku.

### Sprawozdanie:

Na podstawie prawa Ohma wyliczyć spadek napięcia  $U_R$  na rezystorze wzorcowym wiedząc że jego opór wynosi  $1\Omega$  i znając prąd płynący w obwodzie.

Napięcie to jest napięciem równoważącym  $E$  termopary  $E=U_R$ .

Sporządzić charakterystykę  $E(t)$  dla badanej termopary.

Na tym samym wykresie narysować charakterystykę termopary wg danych zaczerpniętych z normy (załącznik 1).

Sporządzić wykres błędu pomiaru temperatury w funkcji temperatury.

Wnioski z pomiarów.

## Załącznik 1

Charakterystyka termometryczna termopar typu K (NiCr-Ni). Siła elektromotoryczna  $e_{mf}$  [mV] w funkcji temperatury. Norma PN-EN 60584-1 ( $T_0 = 0$ ).

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.075	0.114	0.154	0.193	0.233	0.273	0.313	0.352	0.392	0.432
10	0.432	0.472	0.512	0.552	0.592	0.632	0.672	0.713	0.753	0.793	0.833
20	0.833	0.874	0.914	0.954	0.995	1.035	1.076	1.117	1.157	1.198	1.238
30	1.238	1.279	1.320	1.361	1.402	1.442	1.483	1.524	1.565	1.606	1.647
40	1.647	1.688	1.729	1.770	1.811	1.852	1.893	1.935	1.976	2.017	2.058
50	2.058	2.100	2.141	2.182	2.223	2.265	2.306	2.347	2.389	2.430	2.472
60	2.472	2.513	2.555	2.596	2.637	2.679	2.720	2.762	2.803	2.845	2.886
70	2.886	2.928	2.970	3.011	3.053	3.094	3.136	3.177	3.219	3.260	3.302
80	3.302	3.343	3.385	3.426	3.468	3.510	3.551	3.593	3.634	3.676	3.717
90	3.717	3.759	3.800	3.842	3.883	3.924	3.966	4.007	4.049	4.090	4.131
100	4.131	4.173	4.214	4.255	4.297	4.338	4.379	4.421	4.462	4.503	4.544
110	4.544	4.585	4.627	4.668	4.709	4.750	4.791	4.832	4.873	4.914	4.955
120	4.955	4.996	5.037	5.078	5.119	5.160	5.200	5.241	5.282	5.323	5.364
130	5.364	5.404	5.445	5.486	5.526	5.567	5.608	5.648	5.689	5.729	5.770
140	5.770	5.810	5.851	5.891	5.932	5.972	6.012	6.053	6.093	6.133	6.174
150	6.174	6.214	6.254	6.294	6.335	6.375	6.415	6.455	6.495	6.535	6.575
160	6.575	6.616	6.656	6.696	6.736	6.776	6.816	6.856	6.896	6.936	6.976
170	6.976	7.016	7.056	7.096	7.136	7.176	7.216	7.255	7.295	7.335	7.375
180	7.375	7.415	7.455	7.495	7.535	7.575	7.615	7.655	7.695	7.734	7.774
190	7.774	7.814	7.854	7.894	7.934	7.974	8.014	8.054	8.094	8.134	8.174
200	8.174	8.214	8.254	8.294	8.334	8.374	8.414	8.454	8.494	8.534	8.574
210	8.574	8.614	8.654	8.694	8.734	8.774	8.814	8.855	8.895	8.935	8.975
220	8.975	9.015	9.056	9.096	9.136	9.176	9.217	9.257	9.297	9.338	9.378
230	9.378	9.418	9.459	9.499	9.539	9.580	9.620	9.661	9.701	9.742	9.782
240	9.782	9.823	9.863	9.904	9.945	9.985	10.026	10.067	10.107	10.148	10.189
250	10.189	10.229	10.270	10.311	10.352	10.392	10.433	10.474	10.515	10.556	10.597
260	10.597	10.637	10.678	10.719	10.760	10.801	10.842	10.883	10.924	10.965	11.006
270	11.006	11.047	11.088	11.129	11.170	11.212	11.253	11.294	11.335	11.376	11.417
280	11.417	11.459	11.500	11.541	11.582	11.623	11.665	11.706	11.747	11.789	11.830
290	11.830	11.871	11.913	11.954	11.995	12.037	12.078	12.119	12.161	12.202	12.244
300	12.244	12.285	12.327	12.368	12.410	12.451	12.493	12.534	12.576	12.617	12.659

## Ćwiczenie nr 2.

Miernictwo i systemy pomiarowe

Protokół pomiarowy z dnia .....

Temperatura otoczenia: .....°C , badana termopara: typ K, spoina odniesienia  $t_{no} = 0$  °C

lp.	$t_{wz}$ °C	$I_p$ mA	Wykonawcy:	
1.	40		1. ....	7. ....
2.	60		2. ....	8. ....
3.	80		3. ....	9. ....
4.	100		4. ....	10. ....
5.	120		5. ....	11. ....
6.	140		6. ....	12. ....
7.	160			
Uwagi:				