

POLITECHNIKA



BIAŁOSTOCKA

WYDZIAŁ



**INŻYNIERII
ZARZĄDZANIA**

KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

Podstawy techniki i technologii

Kod przedmiotu: ISO02123, INO02123

Ćwiczenie Nr 16

**BEZSTYKOWE POMIARY
TEMPERATURY**

Autor:

dr inż. Arkadiusz Łukjaniuk

Białystok 2023

Wszystkie prawa zastrzeżone

Wszystkie nazwy handlowe i towarów występujące w niniejszej instrukcji są znakami towarowymi zastrzeżonymi lub nazwami zastrzeżonymi odpowiednich firm odnośnych właścicieli.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z metodyką pomiaru temperatury za pomocą pirometrów, określenie przyczyn błędów pomiaru temperatury tymi urządzeniami oraz nabycie umiejętności poprawnej obsługi wybranych typów pirometrów, a także zapoznanie się studentów z innymi metodami pomiaru temperatury.

1. WPROWADZENIE

Temperatura to jedna z najczęściej mierzonych wielkości nieelektrycznych. Pomiary temperatury należą do metod pośrednich, wykorzystującymi zmiany właściwości fizycznych ciał pod wpływem zmian temperatury. Zmiany temperatur wywołują zmianę objętości ciał, ich rezystancji lub wartości różnicy potencjałów. Metody pomiaru takich zmian dzielą się na nieelektryczne, elektryczne i radiacyjne. Temperatura jest mierzona w zakresie od ok. -200°C do ponad 3000°C . Tak szeroki zakres mierzonej wielkości, jak i różnorodność celów, warunków oraz wymaganych dokładności pomiarów sprzyjał powstaniu ogromnej liczby różnego rodzaju przetworników temperatury.

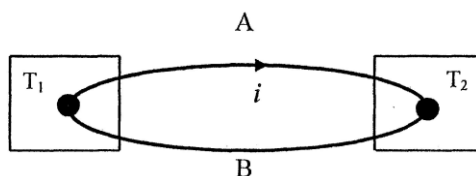
Ogólnie przetworniki takie można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- *przetworniki stykowe* (termometry) do których zaliczają się także termorezystory i termoelementy, które podczas dokonywania pomiarów pozostają w bezpośrednim kontakcie z ciałem lub ośrodkiem, którego temperaturę się mierzy.
- *przetworniki bezstykowe* (pirometry, kamery termowizyjne) które mierzą temperaturę ciała lub ośrodka za pośrednictwem emitowanego promieniowania termicznego.

Termorezystor metalowy stanowi uzwojenie wykonane z metalu (platyny, niklu, miedzi), nawinięte na kształtce z materiału izolacyjnego. Zasada działania termorezystorów, czyli przetworników rezystancyjnych, polega na wykorzystaniu zjawiska zależności rezystywności metali od temperatury. Powstałe w ten sposób zmiany rezystancji są mierzone i stanowią miarę temperatury.

Termoelementy

W 1821 roku T. Serbek stwierdził, że w zamkniętym obwodzie składającym się z dwóch różnych metali, o ile miejsca styku tych metali znajdują się w różnych temperaturach, obserwuje się przepływ prądu elektrycznego (rys. 1). Ilościowe opisanie tego zjawiska było wówczas niemożliwe, gdyż prawo Ohma, stanowiące jego podstawę, zostało sformułowane dopiero w 1826 roku przez G.S. Ohma.



Rys 1. Ilustracja zjawiska zaobserwowanego przez Seebeka

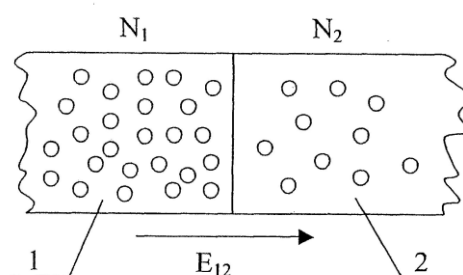
W roku 1834 I.C.A. Peltier stwierdził, że gdy prąd przepływa przez miejsce złączenia dwóch różnych metali, to zależnie od kierunku przepływu prądu, złącze to nagrzewa się lub oziębia (nie uwzględniając oczywiście ciepła Joule'a wydzielającego się w każdym przewodzie $Q = cRI^2$).

W roku 1854 Lord Kelvin (W. Thomson) doszedł do wniosku, że poza zjawiskami termoelektrycznymi występującymi w spoinach, również na końcach pojedynczego jednorodnego przewodu, na którego długości występuje gradient temperatury, zależnie od rodzaju metalu i kierunku przepływu prądu, następuje wydzielanie się lub pochłanianie ciepła.

Zjawisko Thomsona można rozważać jako zjawisko występowania pewnej siły termoelektrycznej na długości poszczególnych przewodów obwodu elektrycznego. Przyczyną zjawiska Thomsona jest różny stopień zagęszczenia elektronów swobodnych wzdłuż przewodnika, na którego długości występuje pewien gradient temperatury.

Przyczyną zjawiska Peltiera jest różna koncentracja swobodnych elektronów po obu stronach styku dwóch różnych metali w określonej temperaturze. To powoduje powstanie w miejscu styku pewnej różnicy potencjałów o wartości zależnej od temperatury.

Zasada działania przetwornika termoelektrycznego



Rys. 2. Złącze dwóch różnych metali

Na złączu (spoinie) dwóch różnych metali (rys.2) powstaje niewielka siła elektromotoryczna E_{12} . Jest ona skierowana od metalu o większej koncentracji

swobodnych elektronów (N_1) do metalu o mniejszej koncentracji elektronów (N_2). Wartość tej siły elektromotorycznej określa następujący wzór.

$$E_{12} = \frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{N_1}{N_2},$$

gdzie: A_1, A_2 – prace wyjścia elektronów z tych metali;

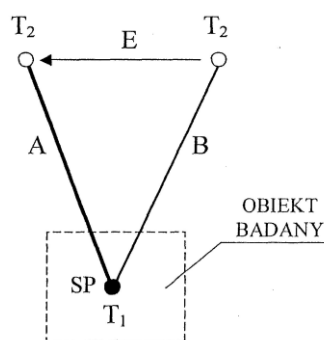
$e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C (ładunek elektronu);

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K – stała Boltzmann;

T – temperatura bezwzględna spoiny;

N_1, N_2 – koncentracja swobodnych elektronów w jednostce objętości każdego z metali.

Termoelement tworzą dwie elektrody **A**, **B**, nazywane termoelektrodami (rys. 3), wykonane z różnych metali (stopów lub czystych metali) zespolonych ze sobą jednym końcem. Miejsce spoiny przybiera najczęściej kształt niewielkiej kuleczki, która stanowi tak zwaną spoinę pomiarową. Spoinę pomiarową umieszcza się w miejscu, gdzie mierzona jest temperatura. Jeżeli temperatury T_1, T_2 różnią się między sobą, to między wolnymi końcami termoelementu powstaje siła elektromotoryczna **E**, nazywana siłą termoelektryczną (**STE**). Przyjmuje ona na ogół niewielkie wartości wynoszące kilka, kilkadziesiąt lub kilkaset miliwoltów.



Rys. 3. Termoelement czyli złącze dwóch różnych metali A, B (np. A jest stopem metali: NiCr; B stopem metali: NiAl)

Wartość siły termoelektrycznej **E** z dobrym przybliżeniem można przyjmować za wprost proporcjonalną do różnicy temperatur ΔT , to znaczy:

$$E = k \cdot \Delta T = k \cdot (T_1 - T_2), \quad (1)$$

gdzie: k jest współczynnikiem czułości termoelementu:

$$k = \frac{\Delta E}{\Delta T} \quad \frac{mV}{deg}$$

Na przykład dla stosowanego w ćwiczeniu termoelementu typu **K** (NiCr–NiAl) współczynnik $k = 0,041 \text{ mV/K}$. Dla drugiego termoelementu typu **J** (Fe–CuNi), współczynnik $k = 0,054 \text{ mV/deg}$.

Dokładną zależność siły termoelektrycznej od temperatury odczytuje się z odpowiednich tablic, które udostępnione są ćwiczącym. Zależność (1) pozwala na wyznaczenie temperatury T_1 wewnątrz obiektu badanego, gdy znana jest temperatura otoczenia T_2 :

$$T_1 = \frac{E}{k} + T_2 \quad (2)$$

Ostatnia zależność wykorzystywana jest do wyznaczania temperatury na podstawie zmierzonego napięcia na zaciskach termoelementu (tabela 1).

Tabela 1 Zależność siły termoelektrycznej od temperatury (typu K) [2]





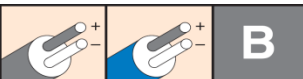
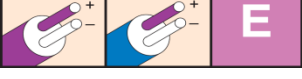


T [K]	E [μV]									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
273,16	0	39	79	119	158	198	238	277	317	357
283,16	397	437	477	517	557	597	637	677	718	758
293,16	798	838	879	919	960	1000	1041	1081	1122	1163
303,16	1203	1244	1285	1326	1366	1407	1448	1489	1530	1571
313,16	1612	1653	1694	1735	1776	1817	1858	1899	1941	1982
323,16	2023	2064	2106	2147	2188	2230	2271	2312	2354	2395
333,16	2436	2478	2519	2561	2602	2644	2685	2727	2768	2810
343,16	2851	2893	2934	2976	3017	3059	3100	3142	3184	3225
353,16	3267	3308	3350	3391	3433	3474	3516	3557	3599	3640
363,16	3682	3723	3765	3806	3848	3889	3931	3972	4013	4055
373,16	4096	4138	4179	4220	4262	4303	4344	4385	4427	4468
383,16	4509	4550	4591	4633	4674	4715	4756	4797	4838	4879
393,16	4920	4961	5002	5043	5084	5124	5165	5206	5247	5288
403,16	5328	5369	5410	5450	5491	5532	5572	5613	5653	5694
413,16	5735	5775	5815	5856	5896	5937	5977	6017	6058	6098
423,16	6138	6179	6219	6259	6299	6339	6380	6420	6460	6500

Najbardziej popularne termoelementy:

- typ **J** żelazo – konstantan (Fe – Cu-Ni);
- typ **T** miedź – konstantan (Cu – Cu-Ni);
- typ **E** nikiel-chrom – konstantan (Ni-Cr – Cu-Ni);

- typ **K** *nikiel-chrom – nikiel-aluminium* (Ni-Cr – Ni-Al);
- typ **N** *nikiel-chrom-krzem – nikiel-krzem* (Ni-Cr-Si – Ni-Si).

Tabela 2. Oznaczenia wybranych typów termoelementów wg PN-EN 60584.

Typ			Typ		
Standard	Do stref zagrożonych wybuchem	Kolor opłotu	Standard	Do stref zagrożonych wybuchem	Kolor opłotu
					
	platynorod – platyna (10%Rh-Pt – 90%Pt) 6,4 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$			żelazo – konstantan (Fe – Cu-Ni) 51,7 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
					
	platynorod – platyna (13%Rh-Pt – 87%Pt) 6,4 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$			miedź – konstantan (Cu – Cu-Ni) 42,8 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
					
	platynorod – platynorod (30%Rh-70%Pt – 6%Rh-94%Pt)			nikiel-chrom – konstantan (Ni-Cr – Cu-Ni) 60,9 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
					
	nikiel-chrom – nikiel-aluminium (Ni-Cr – Ni-Al) 40,5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$			nikiel-chrom-krzem – nikiel-krzem (Ni-Cr-Si – Ni-Si)	

Pirometry dzielą się na:

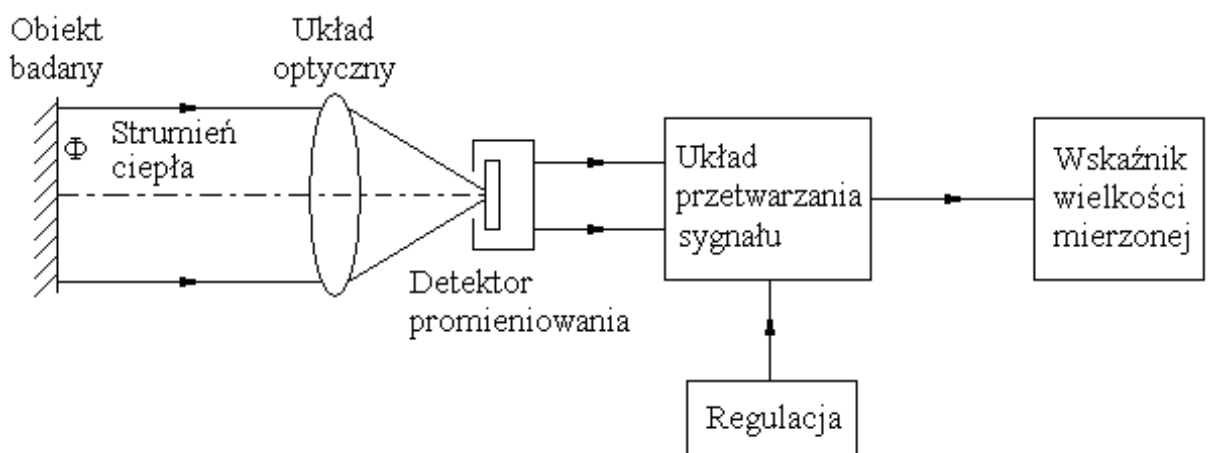
- **ręczne:** monochromatyczne z zanikającym włóknem i barwne (dwubarwowe);
- **samoczynne:** radiacyjne (całkowitego promieniowania) i fotoelektryczne (pasmowe, dwupasmowe, wielopasmowe).

W pirometrach ręcznych to operator decyduje o momencie poprawnego odczytu temperatury (np. w pirometrach monochromatycznych operator decyduje o momencie zaniku włókna żarówki na tle obiektu temperatura którego jest mierzona). Natomiast w pirometrach samoczynnych rola operatora jest

ograniczona do poprawnych ustawień wstępnych informacji o obiekcie i otoczeniu oraz wybraniu odpowiedniej odległości pirometru od mierzonego obiektu. Dalej informacja o zmierzonej temperaturze jest wyświetlana samoczynnie po przetworzeniu danych pomiarowych przez układy elektroniczne

Pirometr jest zbudowany z (rysunek 4):

- ❖ układu optycznego, który skupia promieniowanie na detektorze;
- ❖ detektora promieniowania;
- ❖ układu przetwarzania sygnału;
- ❖ wskaźnika wielkości mierzonej.



Rys. 4. Schemat budowy pirometru.

Układ optyczny powinien charakteryzować się:

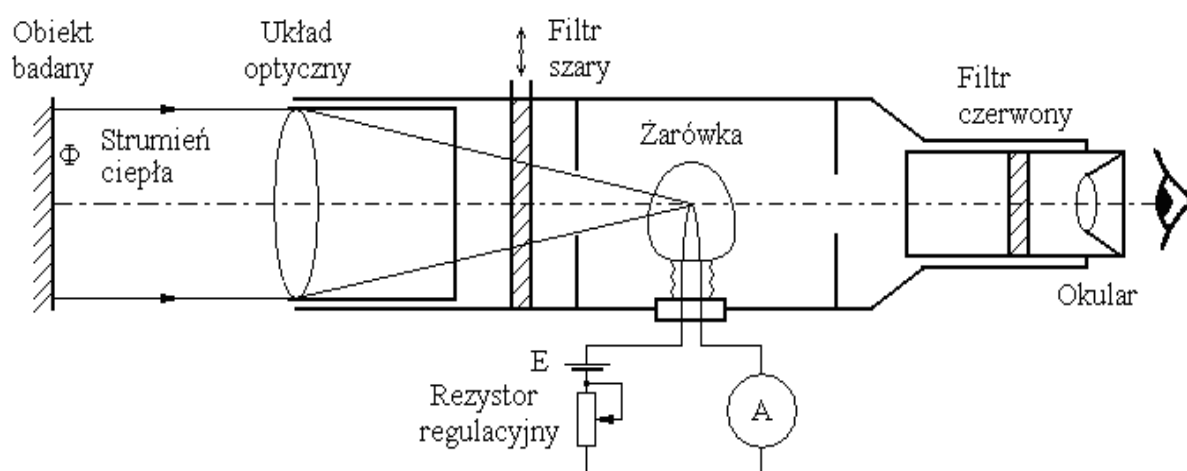
- dużym współczynnikiem przepuszczania w możliwie szerokim zakresie długości fal;
- możliwością pracy w szerokim zakresie temperatur;
- dobrą wytrzymałością mechaniczną;
- dobrą odpornością na ścieranie;
- wytrzymałością na wpływy atmosferyczne (para wodna) i chemiczne,
- odpornością na szybkie zmiany temperatury.

Materiały stosowane do budowy układów optycznych:

- german (Ge);
- szkło fluorytowe (CaF_2);
- szkła arsenowo-siarkowe (As_2S_3) cynkowo-siarkowe (ZnS);
- szkło szafirowe (Al_2O_3);
- szkło kwarcowe;
- szkło ołowiowe;

- zwierciadlane (przy $T_p = -50^\circ\text{C}$, wypolerowane stopy srebra).

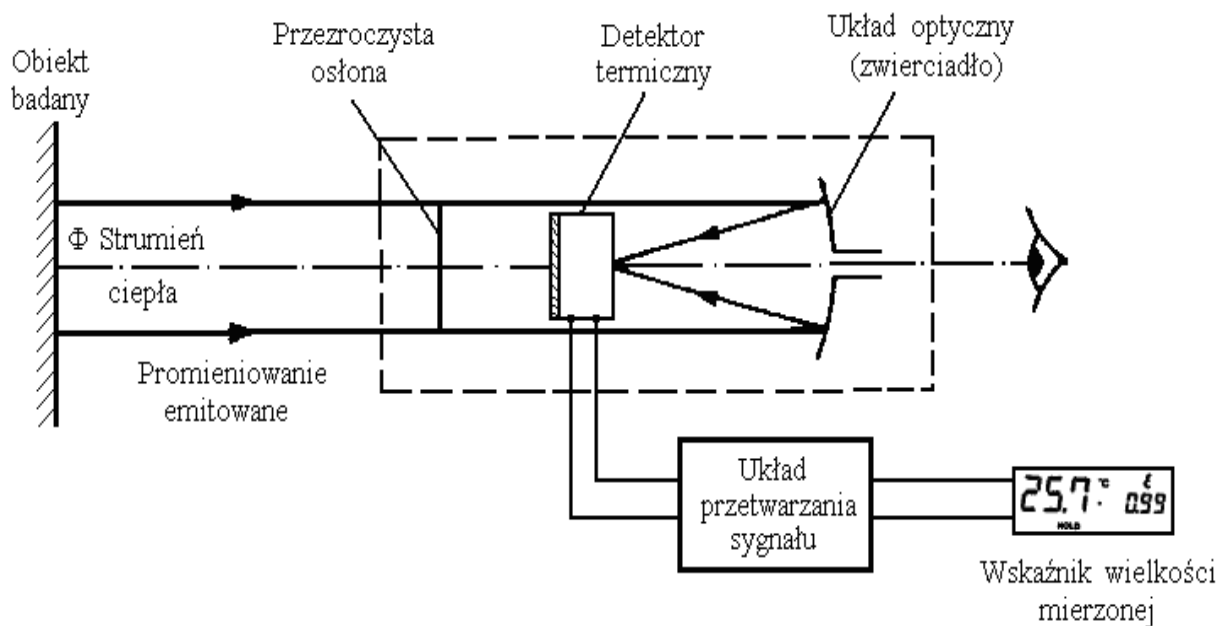
Pirometr monochromatyczny (rys. 5) porównuje jasność źródła promieniowania z jasnością źródła wzorcowego w przyrządzie pomiarowym przy jednej długości fali. Zasada działania pirometru z zanikającym włóknem polega na obserwacji włókna żarówki, przez które przepływa prąd elektryczny nastawiany za pomocą rezystora regulacyjnego. Prąd żarówki nastawia się w taki sposób, aby obserwując przez okular i filtr czerwony (o efektywnej długości fali $\lambda = 0.65\mu\text{m}$) badane ciało i włókno żarówki, obraz włókna zanikł na tle badanego ciała, co jest równoznaczne ze zrównaniem się luminancji ciała i włókna.



Rys. 5. Schemat budowy pirometru z zanikającym włóknem.

Wartość mierzonej temperatury odczytujemy na amperomierzu wywzorcowanym w jednostkach temperatury. W konstrukcji tego typu pirometrów stosuje się stopniowany filtr szary połączony mechanicznie ze wskazówką, która wskazuje wartość temperatury mierzonej. Zastosowanie takiego filtru, pochłaniającego część promieniowania umożliwi poszerzenie zakresu pomiarowego pirometru. Zastosowanie filtru powoduje zmianę zakresu pomiarowego z $600\text{--}1500^\circ\text{C}$ do zakresu $1400\text{--}3000^\circ\text{C}$. Dokładność pomiaru ($\pm 1.5\text{...}\pm 15$) $^\circ\text{C}$. Pirometry tego typu wzorcowane są dla ciała doskonale czarnego.

Pirometr radiacyjny (rys. 6) zwany też piometrem całkowitego promieniowania wykorzystuje zależność natężenia promieniowania cieplnego emitowanego w szerokim zakresie długości fal od temperatury. Temperatura obiektu badanego jest określana na podstawie pomiaru mocy promieniowania w całym paśmie, od podczerwieni do nadfioletu.



Rys. 6. Schemat budowy pirometru radiacyjnego.

Promieniowanie ciepłe badanego ciała skupiane jest za pomocą układu optycznego (soczewki, zwierciadła lub światłowodu) na termicznym czujniku promieniowania. Wskazania tego typu pirometru nie są zależne od odległości, jeżeli obiekt pokrywa całe pole widzenia przyrządu. Zakłócający wpływ na pomiar może mieć obecność pochłaniających promieniowanie ciepłe gazów pomiędzy badaną powierzchnią a przyrządem. Przyrządy tego typu mogą być stosowane do pomiarów ciągłych.

Przyczyny błędów pomiaru temperatury pirometrami:

- emisyjność ciała badanego;
- promieniowanie odbite od ścian otaczających;
- pochłanianie promieniowania przez atmosferę (ośrodek pomiędzy przedmiotem, a przyrządem);
- emisja własna zanieczyszczonej atmosfery;
- pochłanianie promieniowania przez okno wziernika;
- obecność ciał stałych, przesłaniających drogę promieni wewnątrz stożka widzenia pirometru;
- temperatura otoczenia pirometru;
- promieniowanie rozproszone z poza stożka widzenia pirometru.

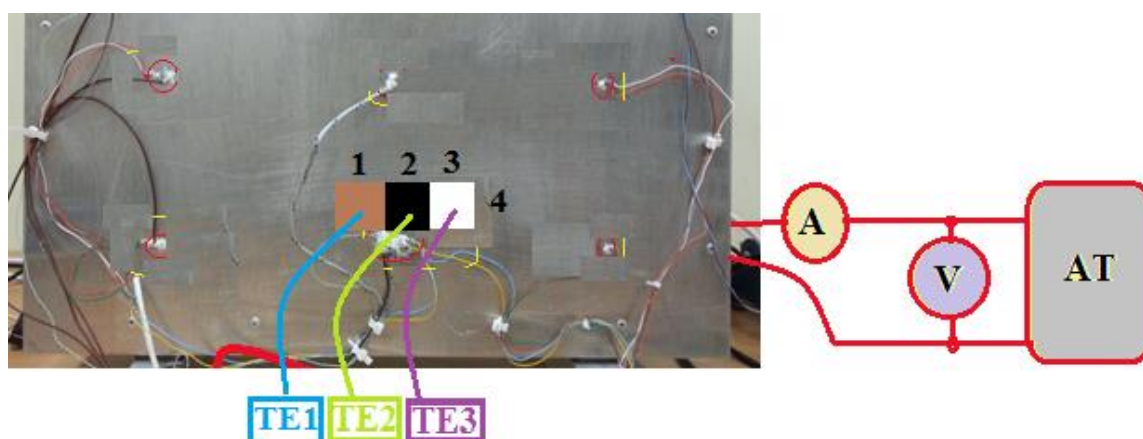
W tabeli 3 przedstawione są wartości emisyjności różnych materiałów w zależności od stanu powierzchni i temperatury.

Tabela 3. Wartości współczynnika emisyjności różnych materiałów

Materiał	Temperatura [°C]	ε
Aluminium: polerowane powierzchnia szorstka utlenione	225 ... 575	0,039 ... 0,057
	26	0,055
	200 ... 600	0,11 ... 0,19
Brąz: polerowany powierzchnia szorstka	50	0,1
	50 ... 150	0,55
Chrom	100 ... 1000	0,08 ... 0,26
Chromonikiel	125 ... 1034	0,64 ... 0,76
Cyna, blacha stalowa cynowana błyszcząca	25	0,043 ... 0,064
Cynk: polerowany utleniony blacha blacha stalowa ocynkowana utleniona	225 ... 325	0,045 ... 0,053
	400	0,11
	50	0,2
	24	0,276
Miedź: polerowana handlowa obrobiona do połysku utleniona płynna	50 ... 100	0,02
	22	0,072
	200 ... 600	0,57 ... 0,87
	1100 ... 1300	0,13 ... 0,15
Mosiądz: polerowany powierzchnia matowa utleniony	200	0,03
	200 ... 350	0,22
	200 ... 600	0,59 ... 0,61
Nikiel: polerowany utleniony	100	0,045
	200 ... 600	0,37 ... 0,48
Ołów: błyszczący utleniony, szary	250	0,08
	20	0,28
Platyna: polerowana	1000 ... 1500	0,14 ... 0,18
	200 ... 600	0,05 ... 0,1
Rtęć	0 ... 100	0,09 ... 0,12
Srebro polerowane	200 ... 600	0,02 ... 0,03
Staliwo polerowane	770 ... 1040	0,52 ... 0,56
Stal: blacha walcowana blacha z błyszczącą warstwą tlenku o chropowatej powierzchni zardzewiała utleniona silnie utleniona świeżo obrobiona stopowa (8% Ni, 18% Cr) nierdzewna po toczeniu po piaskowaniu	50	0,056
	20	0,82
	50	0,95 ... 0,98
	20	0,69
	200 ... 600	0,8
	50 ... 500	0,88 ... 0,98
	20	0,24
	500	0,35
	700	0,45
	700	0,7

2. PRZEBIEG POMIARÓW

Stanowisko pomiarowe zbudowane jest z aluminiowego prostopadłościanu wewnątrz którego umieszczona jest grzałka zasilana z autotransformatora (rys. 7). Do kontroli prądu zasilania grzałki służy amperomierz A. Na czołowej ścianie prostopadłościanu naklejone są płytki: aluminiowa poczerniona - 1, stalowa lekko skorodowana – 2, stalowa pokryta oksydowana – 3 i stalowa niklowana - 4. Pod płytkami są zmontowane termoelementy typu K służące do kontroli temperatury.



Rys. 7. Widok stanowiska pomiarowego z zaznaczonymi miejscami pomiarów pirometrami (1,2,3 i 4) oraz połączeń termoelementów kontrolnych (TE1, TE2 i TE3)

Przed rozpoczęciem pomiarów należy połączyć układ elektryczny zgodny ze schematem przedstawionym na rys. 7. Następnie podłączyć termoelementy do odpowiednich mierników i przygotować pirometry do pomiarów. Instrukcje obsługi tych przyrządów są w laboratorium. Do pomiarów zostaną użyte trzy rodzaje pirometrów: RayTemp 4, Optris i Laserliner (rys. 8).



Rys. 8. Pirometry używane w laboratorium: a) RayTemp 4; b) Optris; c) Laserliner.

2.1. Porównanie dokładności pomiarów temperatury pirometrami

Przebieg pomiarów:

- ustawić jednakową wartość emisyjności na wszystkich pirometrach;
- wykonać pomiary przy wyłączonym zasilaniu grzałki –wyniki zamieścić w tabeli 4;
- włączyć zasilanie (**nie przekraczać wartości prądu 3A!!!!!!**);
- wykonać pozostałe pomiary w odstępach czasu wskazanych przez prowadzącego.

Tabela 4. Wyniki pomiarów temperatury

	Nr punktu pomiarowego															
	1				2				3				4			
Czas	T _{E1}	P1	P2	P3	T _{E2}	P1	P2	P3	T _{E3}	P1	P2	P3	T _{E4}	P1	P2	P3
min	°C				°C				°C				°C			
0																

Tabela 5. Wartości błędu względnego

	Nr punktu pomiarowego											
	1			2			3			4		
Czas	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
min	%											
0												

Uzupełnić tabelę 5 obliczając wartość błędu względnego według zależności:

$$\delta = \frac{T_{En} - P_n}{T_{En}} 100\% ,$$

gdzie: T_{En} – wartość temperatury zmierzone n-tym termoelementem;

P_n - wartość temperatury zmierzone n-tym pirometrem.

2.2. Wpływ zmian współczynnika emisyjności na pomiar temperatury pirometrami

Przebieg pomiarów:

- ustawić we wskazanym przez prowadzącego pirometrze wartość emisyjności 0,1;
- wykonać pomiary w czterech punktach i zapisać wyniki w tabeli 6;
- zmieniając wartości emisyjności wykonać pozostałe pomiary.

Tabela 6. Wpływ wartości współczynnika emisyjności

	Nr punktu pomiarowego							
	1		2		3		4	
	T_{E1}	P	T_{E2}	P	T_{E3}	P	T_{E4}	P
Emisyjność	°C							
0,1								
0,2								
0,3								
0,4								
0,5								
0,6								
0,7								
0,8								
0,9								
0,99								

Należy uzupełnić tabelę 7 wyliczając wartość błędu bezwzględnego pomiaru temperatury ΔT_{En-P} według zależności:

$$\Delta T_{En-P} = T_{En} - T_P ,$$

gdzie: T_{En} – temperatura odczytana ze wskazań termoelementu w n-tym punkcie pomiarowym, T_P - temperatura odczytana ze wskazań pirometru w tym samym punkcie pomiarowym.

Tabela 7. Wartości błędu bezwzględnego pomiaru temperatury

	Nr punktu pomiarowego			
	1	2	3	4
	ΔT_{E1-P}	ΔT_{E2-P}	ΔT_{E3-P}	ΔT_{E4-P}
Emisyjność	°C			
0,1				
0,2				
0,3				
0,4				
0,5				
0,6				
0,7				
0,8				
0,9				
0,99				

W sprawozdaniu należy:

1. Narysować wykresy kolumnowe zmian temperatury dla każdego punktu pomiarowego: $T_n = f(t)$, gdzie T_n – temperatura zmierzona n-tym miernikiem (pirometrem i termoelementem) i przeprowadzić analizę uzyskanych przebiegów.
2. Narysować wykresy kolumnowe zmian temperatury w funkcji współczynnika emisyjności: $T_n = f(\epsilon)$ i przeprowadzić analizę uzyskanych przebiegów.
3. Wyjaśnić przyczyny występujących różnic we wskazaniach temperatury tego samego miernika otrzymanych w różnych punktach pomiarowych.

4. Narysować wykresy różnic temperatury w funkcji współczynnika emisyjności: $\Delta T_{En-P}=f(\varepsilon)$ i na podstawie tych przebiegów określić wartości współczynnika emisyjności badanych płytek oraz przeprowadzić analizę uzyskanych przebiegów.
5. Przedstawić wnioski, jakie nasunęło wykonywane ćwiczenie.

3. PYTANIA I ZADANIA KONTROLNE

1. Omów zasadę działania przetworników termoelektrycznych.
2. Wyjaśnij zjawiska: Peltiera, Thomsona, Seebeka.
3. Omów przyczyny błędów pomiaru temperatury termoelementami.
4. Wymień metody stabilizacji temperatury spoiny odniesienia termoelementów i omów jedną z nich.
5. Wymień rodzaje pirometrów oraz opisz procedurę pomiaru temperatury pirometrem.
6. Wymień przyczyny błędów pomiaru pirometrami.
7. Opisz budowę i zasadę działania pirometru radiacyjnego.
8. Opisz budowę i zasadę działania pirometru z zanikającym włóknem.

4. LITERATURA

1. Chwaleba A. i inni: *Przetworniki pomiarowe wielkości elektrycznych*. Wydawnictwa PW, Warszawa 1993.
2. Michalski A., Tumański S., Żyła B.: *Laboratorium miernictwa wielkości nieelektrycznych*, oficyna wydawnicza Pol. Warszawskiej, W-wa 1999.
3. M. Miłek: *Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi*. Pol. Zielonogórska 1998.
4. Chwaleba A. i inni: *Metrologia elektryczna* WNT, Warszawa 1994.
5. L. Michalski, K. Eckersdorf, J. Kucharski: *Termometria, przyrządy i metody*. Pol. Łódzka 1998.

Wymagania BHP

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciwpożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych. Wybrane urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym mogą posiadać instrukcje stanowiskowe. Przed rozpoczęciem pracy należy zapoznać się z instrukcjami stanowiskowymi wskazanym i przez prowadzącego.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad!

- *Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie.*
- *Sprawdzić prawidłowość połączeń urządzeń.*
- *Załączenie napięcia do układu pomiarowego może się odbywać po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.*
- *Przyrządy pomiarowe należy ustawić w sposób zapewniający stałą obserwację, bez konieczności nachylania się nad innymi elementami układu znajdującymi się pod napięciem.*
- *Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń oraz wymiana elementów składowych stanowiska pod napięciem.*
- *Zmiana konfiguracji stanowiska i połączeń w badanym układzie może się odbywać wyłącznie w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.*
- *W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć wszystkie urządzenia.*
- *Stwierdzone wszelkie brak w wyposażeniu stanowisk oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.*
- *Zabrania się samodzielnego włączania, manipulowania i korzystania z urządzeń nie należących do danego ćwiczenia.*
- *W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym należy niezwłocznie wyłączyć zasilanie stanowisk laboratoryjnych za pomocą wyłącznika bezpieczeństwa, dostępnego na każdej tablicy rozdzielczej w laboratorium. Przed odłączeniem napięcia nie dotykać porażonego.*