

**POLITECHNIKA**



**BIAŁOSTOCKA**

**WYDZIAŁ**



**INŻYNIERII  
ZARZĄDZANIA**

**KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ**

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

***Systemy kontrolno-pomiarowe***

Kod przedmiotu: **KSU011012, KNU011012**

**Ćwiczenie Nr 6**

**POMIARY ROZKŁADU  
TEMPERATURY**

Autor:

dr inż. Arkadiusz Łukjaniuk

Białystok 2020

*Wszystkie prawa zastrzeżone*

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

**Cel ćwiczenia:** zapoznanie się studentów z różnymi metodami pomiaru temperatury (metody stykowe - za pomocą systemu National Instruments – czujniki termoelektryczne i RTD i bezstykowe – pirometry i kamera termowizyjna) oraz wyznaczenie rozkładu temperatury w badanym obiekcie.

## 1. WPROWADZENIE

Temperatura to jedna z najczęściej mierzonych wielkości nieelektrycznych. Pomiaru 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.  $-200^{\circ}\text{C}$  do ponad  $3000^{\circ}\text{C}$ . 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) które mierzą temperaturę ciała lub ośrodka za pośrednictwem emitowanego promieniowania termicznego.

### ***Termometry szklane***

Termometry szklane odgrywają znaczną rolę nie tylko w życiu codziennym, ale także w technice. Termometry napełnione rtęcią mają zakres pomiarowy od  $-35^{\circ}\text{C}$  do  $+500^{\circ}\text{C}$ . Do pomiaru temperatur do ok.  $-200^{\circ}\text{C}$  termometry napełnia się cieczami organicznymi (alkohole, pentan, eter). Czulość termometrów można dobierać w szerokim zakresie poprzez odpowiednie zastosowanie stosunku objętości bańki zawierającej rtęć do średnicy kapilary. Granice czulości wynoszą od  $0,002^{\circ}\text{C}$  na działkę do  $10^{\circ}\text{C}$  na działkę.

Niedokładność wskazań termometrów określić można za pomocą błędu bezwzględnego dla całego zakresu pomiarowego, a nie za pomocą klasy

dokładności, co uzasadnione jest charakterem źródeł błędów. Na błąd wskazań wpływa niedokładność wykonania skali, zmienność średnicy kapilary (niejednakowa średnica rurki na całej jej długości), błędy wzorcowania. Niedokładności te utrzymuje się przy precyzyjnych termometrach laboratoryjnych zazwyczaj w granicach jednej działki elementarnej.

### ***Termorezystory***

Za początki termometrii rezystancyjnej można uważać rok 1887, kiedy to C.W.Siemens opublikował pracę pod tytułem „On the practical measurement of temperature”.

***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. Dla większości metali zależność tą można określić za pomocą funkcji:

$$R_T = R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3),$$

gdzie:  $R_T$  – rezystancja przetwornika w temperaturze T;  
 $R_0$  – rezystancja przetwornika w temperaturze 0°C;  
T – temperatura mierzona;  
A, B, C – współczynniki.

W pewnych zakresach temperatur i dla niektórych metali współczynniki B i C mogą przybrać wartości pomijalnie małe. Dlatego można przyjąć, że zmiana rezystancji jest liniową funkcją temperatury.

Zmiana rezystancji termorezystora pod wpływem temperatury jest określona przez tzw. współczynnik temperaturowy rezystancji  $\alpha$ , określający względną zmianę rezystancji przypadającą na jeden stopień zmiany temperatury:

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R_0} \frac{1}{\Delta T \text{ deg}},$$

gdzie:  $R_0$  – rezystancja przetwornika przed zmianą temperatury.

Przyrost rezystancji czujnika pod wpływem temperatury jest określany przez średni współczynnik temperaturowy rezystancji  $\alpha_{sr}$ , podawany zwykle dla zakresu zmian temperatury w granicach od 0°C do 100°C, przedstawia to następująca zależność:

$$\alpha_{sr} = \frac{R_{100} - R_0}{100^\circ C} = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{R_{100} - R_0}{100} \frac{1}{1^\circ C}$$

gdzie:  $R_0$ ,  $R_{100}$  – rezystancja przewodnika odpowiednio w temperaturach  $0^\circ C$  i  $100^\circ C$ .

Metale stosowane do budowy czujników rezystancyjnych temperatury powinny w żądanym jej zakresie charakteryzować się następującymi właściwościami:

- dużym termicznym współczynnikiem rezystywności;
- dużą rezystywnością, co ułatwia konstrukcję czujników o małych rozmiarach;
- stałością właściwości fizycznych i brakiem histerezy temperaturowej;
- łatwością odtwarzalności metalu o identycznych właściwościach, co umożliwia wymienialność czujników;
- odpornością na korozję;
- wysoką temperaturą topnienia;
- dostateczną ciągliwością i wytrzymałością.

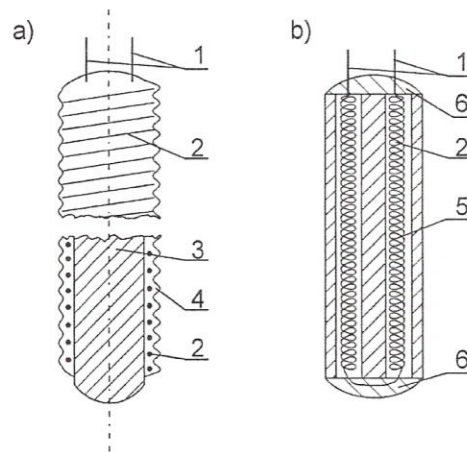
Metalem najlepiej spełniającym powyższe wymagania jest czysta platyna. Ponadto do budowy czujników termorezystancyjnych metalowych wykorzystuje się nikiel i miedź. Podstawowe parametry tych metali związane z ich zastosowaniem w pomiarach temperatury podano w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry techniczne termorezystorów [1]

Metal	Zakres stosowania		Rezystywność	$\frac{R_{100}}{R_0}$
	typowy	graniczny		
	$^\circ C$	$^\circ C$	$\mu\Omega \cdot m$	–
Platyna	-200 ÷ +850	-250 ÷ +1000	0,1	1,385
Nikiel	-60 ÷ +150	- 60 ÷ + 180	0,1	1,617
Miedź	-50 ÷ +150	–	0,017	1,426

Stosowane w technice przetworniki rezystancyjne temperatury składają się z termorezystora oraz odpowiedniej osłony. Osłona jest wykonana z materiału dobrze przewodzącego ciepło (np. z metalu) i ma za zadanie chronić delikatny rezystor przed urazami mechanicznymi lub też przed korozyjnym oddziaływaniem środowiska. Konstrukcje osłon mogą być różne, zależnie od warunków pracy czujnika. Sam termorezystor ma najczęściej postać rezystora

pałeczkowego, tzn. uzwojenia nawiniętego na pręc (rys.1) lub rurce ze szkła, kwarcu czy ceramiki. Po nawinięciu uzwojenia nasuwa się na nie zewnętrzną rurkę z tego samego materiału co korpus, na którym nawinięto uzwojenie. Stapiając tę rurkę w odpowiedniej temperaturze powoduje się zalanie zwojów rezystora, co izoluje go od wpływów chemicznych i chroni przed uszkodzeniami mechanicznymi. W niektórych wykonaniach izolację zewnętrzną uzwojenia stanowi taśma z włókna szklanego lub teflonu albo lakier. Znane są też konstrukcje oporników termoelektrycznych w postaci spirali szczelnie zamkniętej wewnątrz rurki ceramicznej (rys.1b). Spotyka się również termorezystory z dwoma, a nawet z trzema niezależnymi uzwojeniami. Wykorzystuje się je, gdy np.: zachodzi potrzeba jednoczesnego pomiaru i regulacji temperatury.



Rys.1. Konstrukcja rezystora termometrycznego: a) z uzwojeniem nawiniętym na pręt szklany lub kwarcowy; b) z uzwojeniem umieszczonym wewnątrz ceramicznej rurki: 1-końcówki wyjściowe, 2 - uzwojenie, 3 - pręt, 4 - warstwa ochronna, 5 - rurka, 6 – glazura [2].

Średnice rezystorów pałeczkowych wynoszą od jednego do kilku milimetrów, długości od kilkunastu do kilkudziesięciu milimetrów. Znacznie mniejsze wymiary mają nowoczesne termorezystory, tzw. cienkowarstwowe, czyli wykonane techniką warstw cienkich. Są to płaskie rezystory platynowe, napyłane na ceramiczne płytki o wymiarach np. 10x3x1 mm, a nawet mniejszych. Rezystory te charakteryzują się bardzo małą bezwładnością cieplną.

Rezystancją znamionową termorezystora jest jego rezystancja w temperaturze 0°C. Wynosi ona z reguły 100Ω, aczkolwiek spotyka się też rezystory o innych wartościach rezystancji znamionowej (np. 10Ω, 25Ω, 50Ω).

Zgodne z PN-83/M-53852 charakterystyki termoelektryczne rezystorów platynowych, niklowych i miedzianych, czyli zależność ich rezystancji od

temperatury, wraz z dopuszczalnymi tolerancjami podane są w postaci odpowiednich tabel.

Tabela 2. Zależność rezystancji od temperatury dla wybranych termorezystorów [2].

Temperatura [°C]	Rezystancja [ $\Omega$ ]		
	Pt 100	Ni 100	Cu 100
0	100,00	100,00	100,00
5	101,95	102,77	102,13
10	103,90	105,56	104,26
15	105,85	108,39	106,39
20	107,79	111,25	108,52
25	109,73	114,14	110,65
30	111,67	117,07	112,78
35	113,61	120,02	114,91
40	115,54	123,01	117,04
45	117,47	126,03	119,17
50	119,40	129,09	121,30
55	121,32	132,18	123,43
60	123,24	135,30	125,56
65	125,16	138,47	127,69
70	127,07	141,67	129,82
75	128,98	144,91	131,95
80	130,89	148,19	134,08
85	132,80	151,50	136,21
90	134,70	154,86	138,34
95	136,60	158,27	140,47
100	138,50	161,71	142,60

### ***Pomiary rezystancji termorezystorów metalowych***

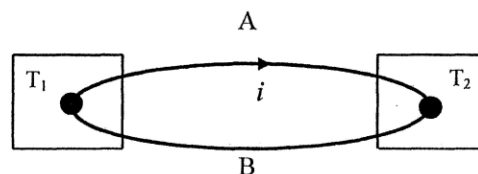
Ponieważ w przetwornikach termorezystorowych temperatura mierzona przetwarzana jest na rezystancję (zmianę rezystancji), zachodzi konieczność

dokładnego pomiaru rezystancji (jej zmiany). Pomiar rezystancji termorezystorów odbywają się przy pomocy:

- laboratoryjnych kompensatorów i mostków Wheatstone’a;
- omomierzy ilorazowych (tzw. logometrów);
- mostków niezrównoważonych;
- automatycznych mostków zrównoważonych;
- multimetrów z funkcją pomiaru rezystancji.

### ***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. 2). Ilościowe opisanie tego zjawiska było wówczas niemożliwe, gdyż prawo Ohma, stanowiące jego podstawę, zostało sformułowane dopiero w 1826 roku przez G.S. Ohma.



Rys 2. 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.

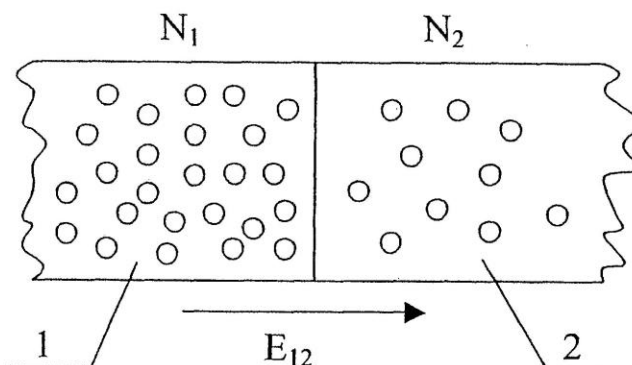
Zjawisko Thomsona można rozważać jako zjawisko występowania pewnej siły termoelektrycznej na długości poszczególnych przewodów obwodu elektrycznego. Przyczyną zjawiska Thomsona jest różny stopień zagęszczenia elektronów swobodnych wzdłuż przewodnika, na którego długości występuje pewien gradient temperatury.

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. 3. Złącze dwóch różnych metali

Na złączu (spoinie) dwóch różnych metali (rys.3) 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;

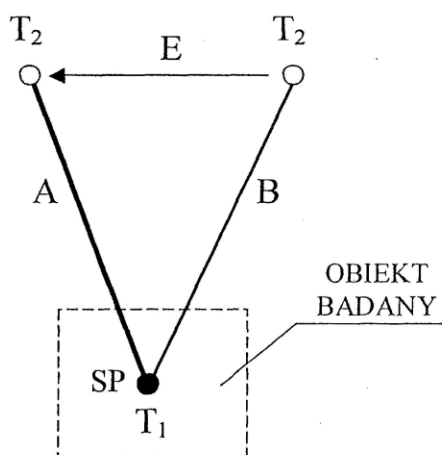
$e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  C (ładunek elektronu);

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

$T$  – 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. 4), wykonane z różnych metali (stopów lub czystych metali) zespolonych ze sobą jednym końcem. Miejsce spojenia 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. 4. 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  $\Delta T$ , to znaczy:

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

gdzie:  $k$  jest współczynnikiem czułości termoelementu:

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

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  $T_2$ :

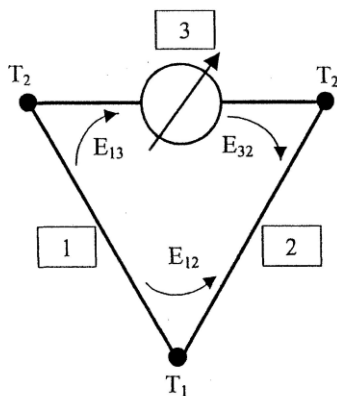
$$T_1 = \frac{E}{k} + T_2 \text{ deg} . \quad (2)$$

Ostatnia zależność wykorzystywana jest (tabeli 3) do wyznaczania temperatury wewnątrz żeliwnej bryły, która w ćwiczeniu występuje w roli obiektu badanego.

### ***Prawo trzeciego metalu***

Pomiar siły elektromotorycznej  $E$  związany jest z pojawieniem się w układzie trzeciego metalu (oprócz dwóch metali stanowiących termoelement), jakim jest np.: miedziane uzwojenie cewki miliwoltomierza

magnetoelektrycznego (rys. 5). Na stykach trzeciego metalu z termoelektrodami powstają dodatkowe siły termoelektryczne. Wykazuje się jednak, że nie wpływają one na wartość mierzonej siły termoelektrycznej, gdy tylko oba końce trzeciego metalu znajdują się w takiej samej temperaturze.



Rys. 5. Złącze trzech metali 1, 2 z metalem trzecim – 3.

Tabela 3. 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

















W omawianym ćwiczeniu wolne końce termoelektrod 1, 2 doprowadzone są bezpośrednio do zacisków modułu NI 9211 (rys. 7), tak więc układ

przedstawiony na rysunku 5 odpowiada pod względem elektrycznym rzeczywistemu układowi pomiarowemu.

Najbardziej popularne termoelementy:

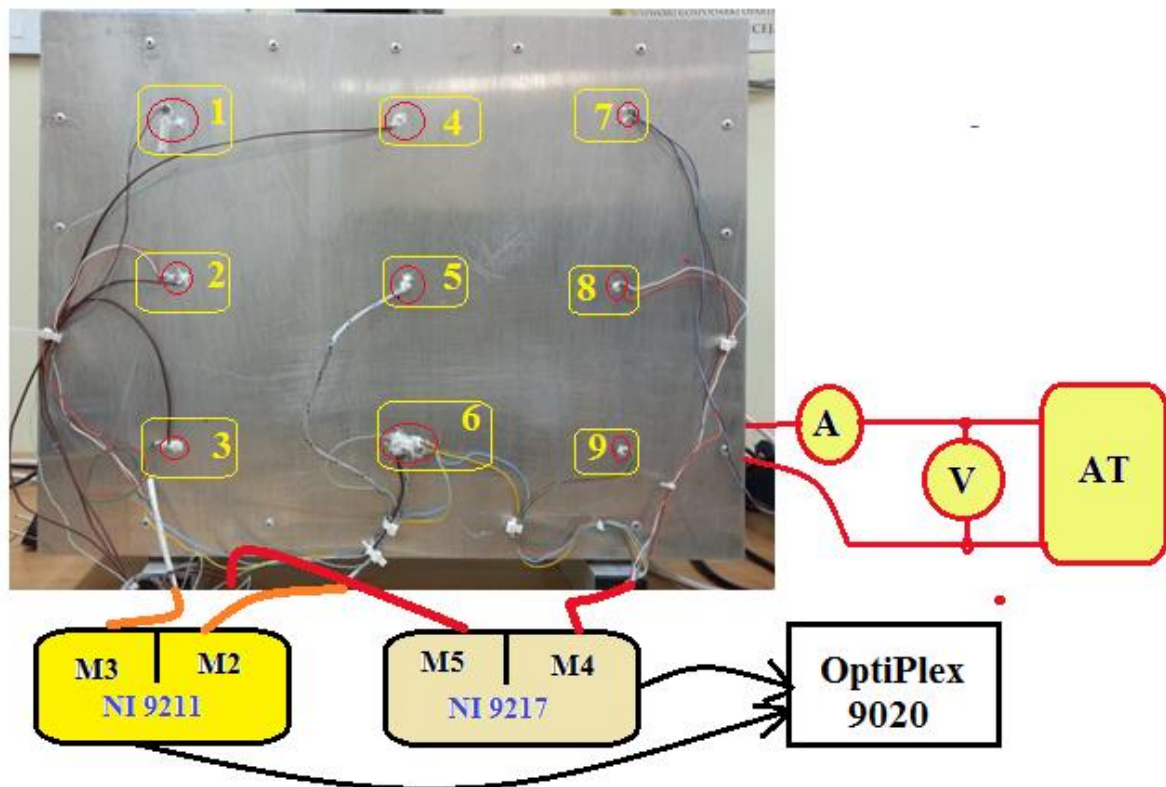
- typ **J** żelazo – konstantan (Fe – Cu-Ni);
- typ **T** miedź – konstantan (Cu – Cu-Ni);
- typ **E** nikiel-chrom – konstantan (Ni-Cr – Cu-Ni);
- typ **K** nikiel-chrom – nikiel-aluminium (Ni-Cr – Ni-Al);
- typ **N** nikiel-chrom-krzem – nikiel-krzem (Ni-Cr-Si – Ni-Si).

Tabela 4. Oznaczenia wybranych typów termoelementów wg PN-EN 60584.

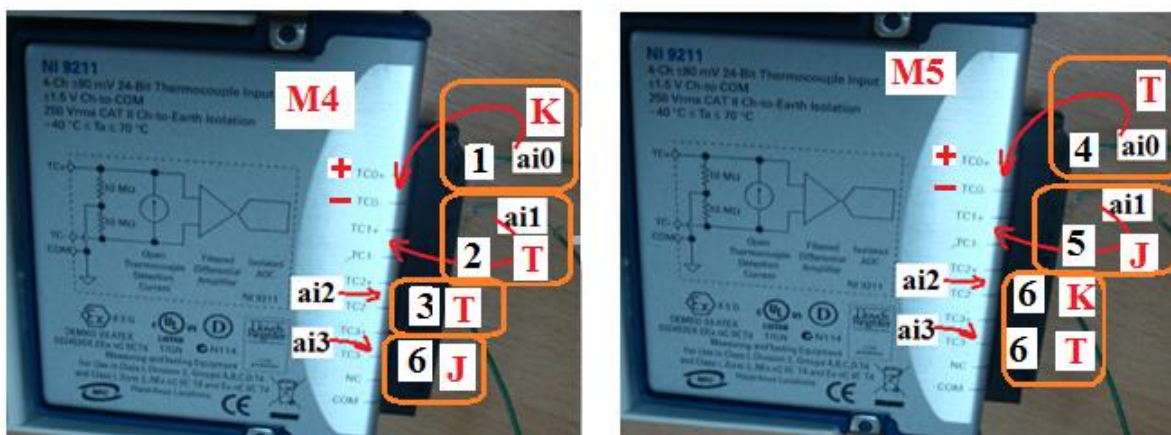
Typ			Typ			
Standard	Do stref zagrożonych wybuchem	Kolor oplotu	Standard	Do stref zagrożonych wybuchem	Kolor oplotu	
			<b>S</b>			<b>J</b>
	<b>platynorod – platyna</b> (10% Rh-Pt – 90% Pt) $6,4 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$		<b>żelazo – konstantan</b> (Fe – Cu-Ni) $51,7 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$		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

## 2. PRZEBIEG POMIARÓW

Stanowisko pomiarowe zbudowane jest z aluminiowego prostopadłościanu wewnątrz którego umieszczona jest grzałka zasilana z autotransformatora (rys. 6). Do kontroli prądu zasilania grzałki służy amperomierz A. Na czołowej ścianie prostopadłościanu naklejone są czujniki cienkowarstwowe Pt100 (punkty 1,6,7,8,9) i Ni100 (punkty 1,2,3,6) oraz termoelementy typu K (NiCr-NiAl) (punkty 1,6), typu J (punkty 5,6) i typu T (punkty 2,3,4,6). W punktach 1,2,3 i 6 zdublowanie czujników temperatury pozwoli na porównanie dokładności pomiaru temperatury w analizowanych punktach. Termoelementy są podłączone do modułów NI 9211 (rys. 7), a termorezystory – do modułów NI 9217 (rys. 8). Numeracja czujników temperatury na rys. 7 i 8 jest zgodna z miejscami ich rozmieszczeń na rys. 6.



Rys. 6. Widok stanowiska pomiarowego z zaznaczonymi miejscami zamocowań czujników temperatury

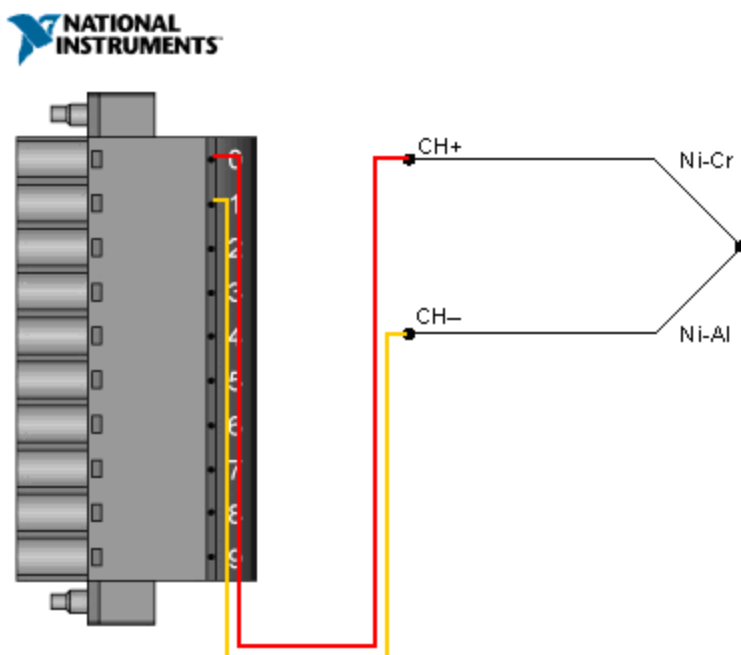


Rys. 7. Widok modułów NI 9211 z zaznaczonymi miejscami podłączeń czujników do kanałów (ai0-ai3), numerami punktów pomiarowych i rodzajami termoelementów.



Rys. 8. Widok modułów NI 9217 z zaznaczonymi miejscami podłączeń czujników do kanałów (ai0-ai3), numerami punktów pomiarowych i rodzajami termorezystorów.

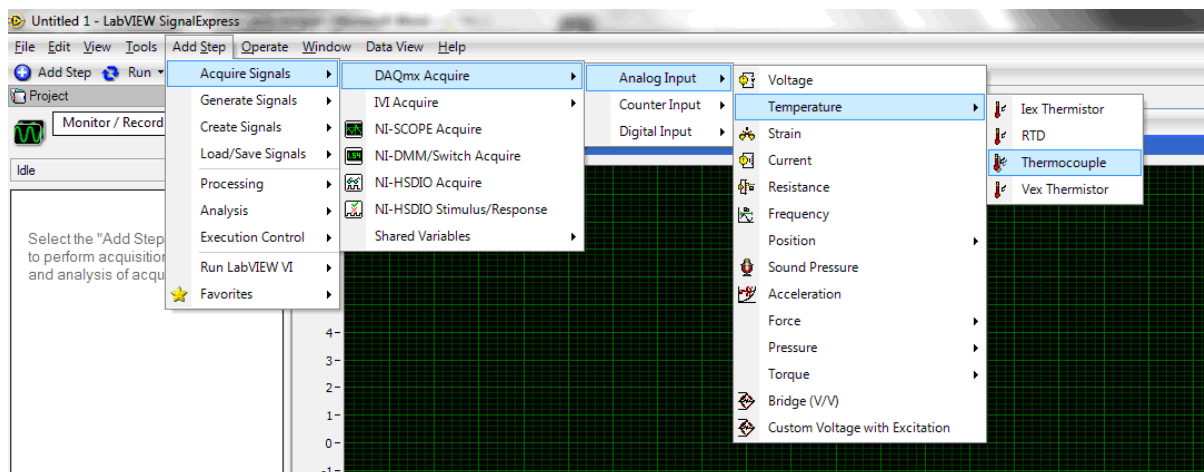
Przed rozpoczęciem pomiarów należy połączyć układ elektryczny zgodny ze schematem przedstawionym na rys. 6. Następnie podłączyć (wskazane przez prowadzącego ćwiczenie) termorezystory i termoelementy do odpowiednich modułów NI, a potem - zestaw używanych modułów poprzez USB do komputera. Po wykonaniu tych czynności włączyć komputer i uaktywnić program LabVIEW SignalExpress. Przykład podłączenia termoelementu typu K jest pokazany na rysunku 9.



Rys. 9. Sposób podłączania termoelementu do wejścia modułu NI9211.

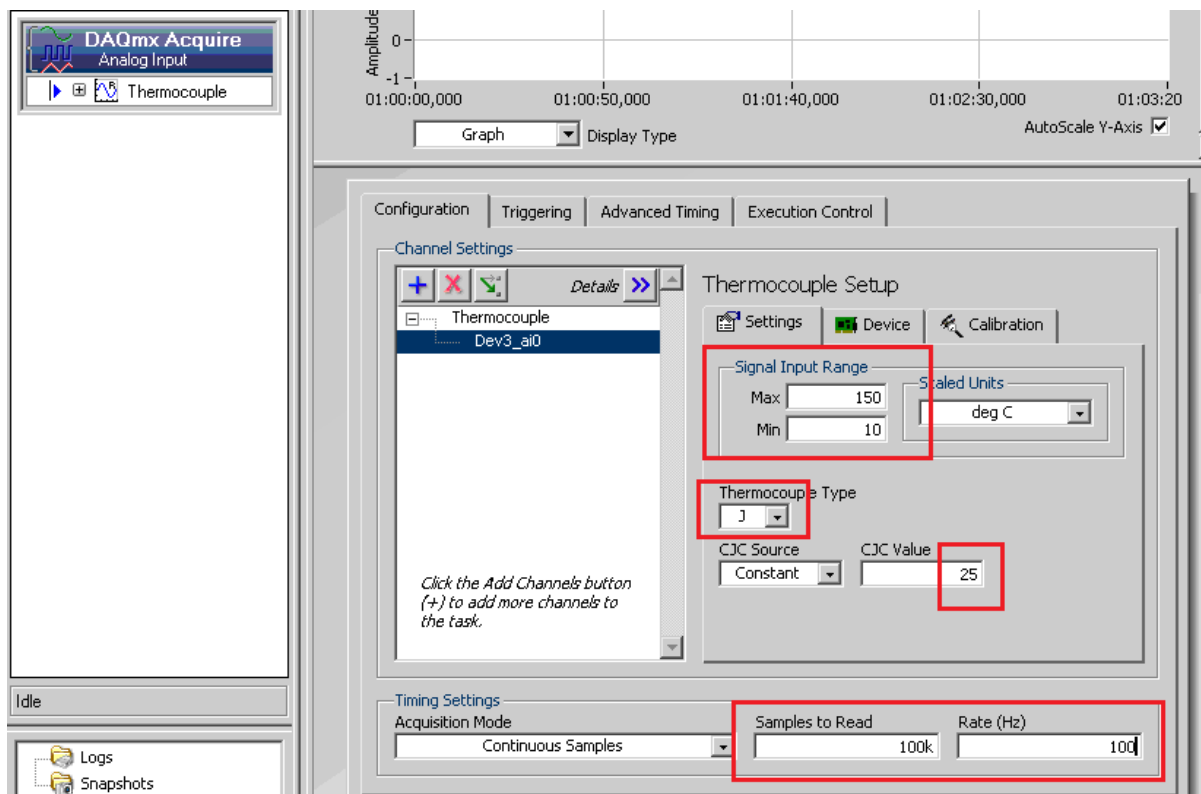
Kolejność operacji przy konfiguracji programu LabVIEW SignalExpress:

- a) wybrać zgodnie z rysunkiem 10 rodzaj używanych czujników temperatury – thermocouple;



Rys. 10. Kolejność operacji przy wyborze rodzaju czujnika temperatury – termoelementy

- b) ustawić (rys.11) rodzaj termoelementu (typ K), minimalną i maksymalną temperaturę, temperaturę odniesienia oraz czas pomiaru  $t_p = \text{sample to read} / \text{rate}$  (informacje u prowadzącego ćwiczenie);



Rys. 11. Operacje niezbędne do konfiguracji karty czujnika temperatury – termoelement.

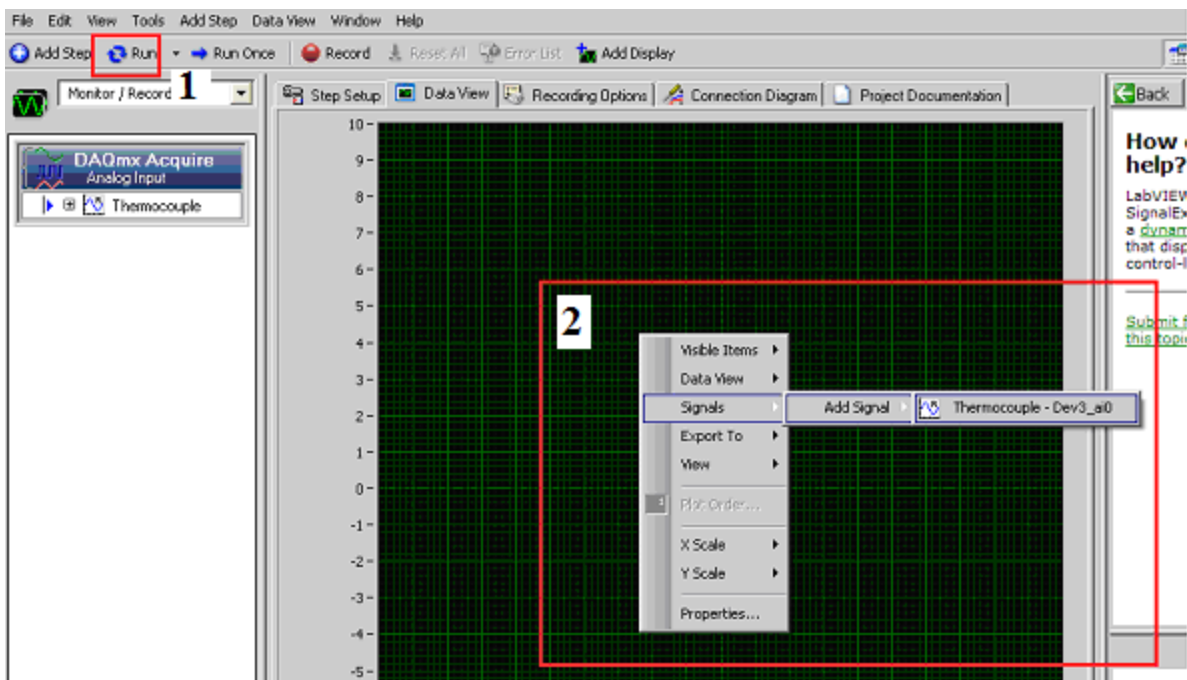
- c) uaktywnić kanały pomiarowe dla pozostałych termoelementów;
- d) wybrać zgodnie z rysunkiem 10 rodzaj używanych czujników temperatury – termorezystory (RTD) i przeprowadzić odpowiednią konfigurację kanałów pomiarowych;
- e) włączyć pomiary (run – rys. 12), a następnie uaktywnić wizualizację wszystkich kanałów pomiarowych (rys. 12 - cyfra 2);
- f) po upływie przyjętego czasu pomiaru  $t_p$  na ekranie powinny pojawić się przebiegi temperatury w funkcji czasu (rys. 13);

Po przygotowaniu programu do akwizycji danych należy wykonać pomiary kamerą termowizyjną i pirometrami temperatury w punkcie Nr6, a wyniki pomiarów zapisać w tabeli 6 (to także dotyczy pomiarów za pomocą LabVIEW SignalExpress).

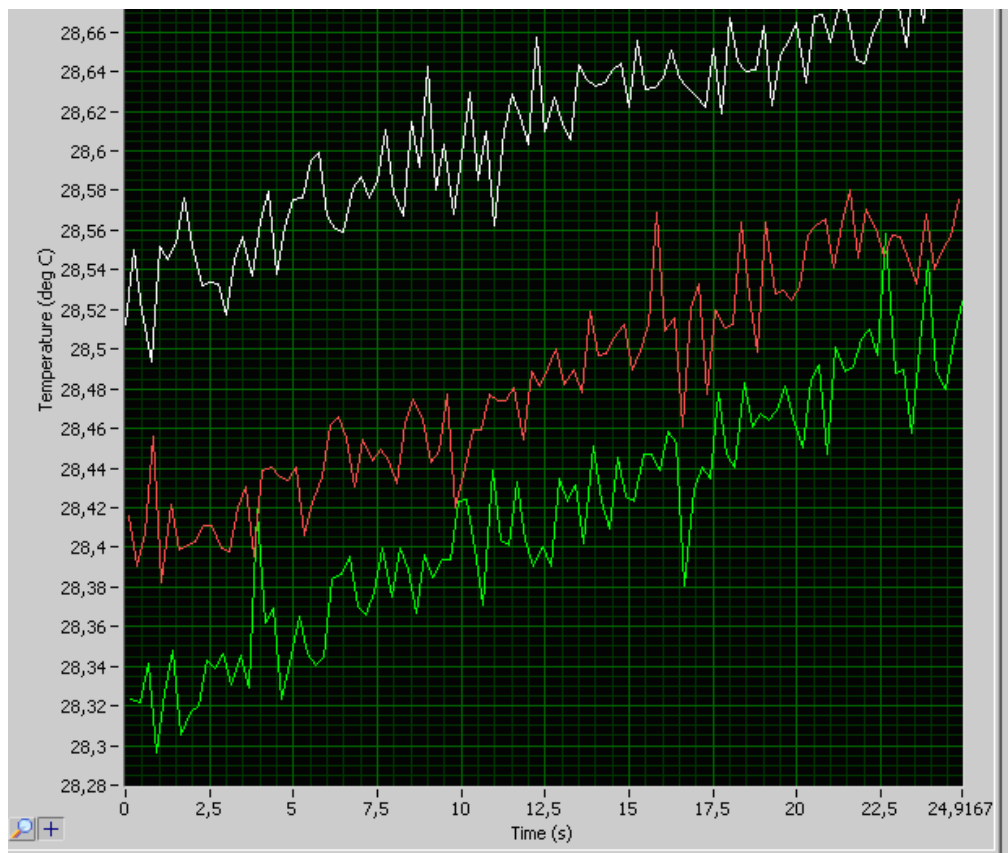
***Po uzyskaniu zgody prowadzącego ćwiczenie włączyć zasilanie i ustawić poprzez regulację napięcia autotransformatora prąd grzałki około 3A (nie przekraczać tej wartości!!!). Rozpocząć pomiary (należy wykonać 20 pomiarów – czas trwania jednego pomiaru był ustalony w punkcie b). Wyniki każdego z pomiarów zapisywać w arkuszu Excel. Po zakończeniu pomiarów***



wyłączyć zasilanie grzałki (zrobić to po wyrażeniu zgody przez prowadzącego ćwiczenie).



Rys. 12. Uruchomienie pomiarów i wizualizacji badanych przebiegów.



Rys. 13. Przykładowe przebiegi temperatury.

Tabela 5. Wyniki pomiarów rozkładu pola temperatury

Lp.	Czas pomiaru	Numer punktu pomiarowego															
		1		2		3		4	5	6					7	8	9
		Pt	K	Ni	T	Ni	T	T	J	Pt	Ni	K	J	T	Pt	Pt	Pt
min	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1.																	
2.																	
3.																	
4.																	
5.																	
6.																	
7.																	
8.																	
9.																	
10.																	
11.																	
12.																	
13.																	
14.																	
15.																	
16.																	
17.																	
18.																	
19.																	
20.																	

Tabela 6. Zestawienie wyników pomiarów różnymi metodami w punkcie Nr6

Lp	Czas pomiaru	NI punkt pomiarowy 6					KT	pirometr	
		Pt	Ni	K	J	T	FLIR .....	P1	P2
	min	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1.	0								
2.									
3.									
4.									

Objaśnienia do tabeli 5 i 6:

- K - temperatura zmierzona termoelementem typu K;
- T - temperatura zmierzona termoelementem typu T;
- J - temperatura zmierzona termoelementem typu J;
- Pt - temperatura zmierzona termorezystorem platynowym Pt100;
- Ni - temperatura zmierzona termorezystorem niklowym Ni100;
- KT – kamera termowizyjna FLIR;
- P1 – pirometr RAYTEMP 4;
- P2 – pirometr OPTRIS LS lub ThermoSpot-Vision.

***W sprawozdaniu należy:***

1. Na jednym wykresie narysować charakterystyki:  $T_n = f(t)$ , gdzie  $T_n$  – temperatura n-tego punktu pomiarowego i przeprowadzić analizę uzyskanych przebiegów.
2. Obliczyć różnicę wskazań temperatury w punktach 1, 2, 3 i 6 według zależności:  $\Delta T_n = T_{Kn} - T_{RTDn}$  i wyniki obliczeń zilustrować wykresem  $\Delta T_n = f(t)$  (RTD – to czujnik Pt100 lub Ni100).
3. Wyjaśnić przyczyny występujących różnic we wskazaniach temperatury otrzymanych w punkcie Nr6 za pomocą kamery termowizyjnej, pirometrów i czujników typu K, J, T, Ni100 i Pt100.
4. Wykreślić charakterystyki przestrzennego rozkładu temperatury  $T = f(x, y, t)$  (punkty wskaże prowadzący ćwiczenie).
5. Przedstawić wnioski, jakie nasunęło wykonywane ćwiczenie.

### **3. PYTANIA I ZADANIA KONTROLNE**

1. Omów zasadę działania termorezystorów metalowych.
2. Omów zasadę działania przetworników termoelektrycznych.
3. Wyjaśnij zjawiska: Peltiera, Thomsona, Seebeka.
4. Omów proces konfiguracji karty pomiarowej i pomiaru temperatury za pomocą LabVIEW SignalExpress.
5. Omów sposób podłączania czujników Pt100 i termoelementów do modułów pomiarowych NI.
6. Omów przyczyny błędów pomiaru temperatury termorezystorami.
7. Omów przyczyny błędów pomiaru temperatury termoelementami.
8. Wymień metody stabilizacji temperatury spoiny odniesienia termoelementów i omów jedną z nich.

9. Wymień rodzaje pirometrów i opisz budowę, zasadę działania jednego z nich.
10. Wymień przyczyny błędów pomiaru pirometrami.
11. Wyjaśnij zasadę pomiaru temperatury za pomocą termowizji, podaj wady i zalety tej metody.

#### **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 braki 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.*