

**POLITECHNIKA**



**BIAŁOSTOCKA**

**WYDZIAŁ**



**INŻYNIERII**

**ZARZĄDZANIA**

**KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ**

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

***FIZYKA***

Kod przedmiotu: **IS01137; IN01137**

**Ćwiczenie Nr 6**

**WYZNACZANIE ZMIAN  
TERMICZNYCH REZYSTANCJI  
METALI I PÓŁPRZEWODNIKÓW**

Autor:

dr inż. Arkadiusz Łukjaniuk

Białystok 2022

*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:** Celem ćwiczenia jest zapoznanie się studentów z metodami pomiaru zmian rezystancji metali i półprzewodników w funkcji temperatury oraz wyznaczenie charakterystyk temperaturowych zmian rezystancji platyny, niklu, półprzewodników typu p i n.

## 1. WPROWADZENIE

Temperatura jest wielkością fizyczną wpływającą na zmiany parametrów ciał stałych, cieczy i gazów. Jest 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). Czułość termometrów można dobierać w szerokim zakresie poprzez odpowiednie zastosowanie stosunku objętości bańki zawierającej rtęć do średnicy kapilary. Granice czułości 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:

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

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:

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

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.

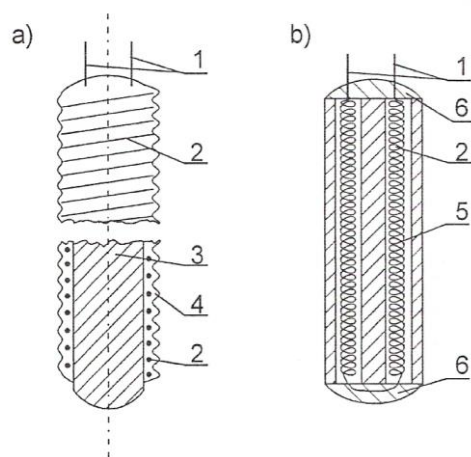
Metalem najlepiej spełniającym powyższe wymagania jest czysta platyna. Ponadto do budowy czujników termorezystancyjnych metalowych wykorzystuje się nikiel i miedź. Podstawowe parametry tych metali związane z ich zastosowaniem w pomiarach temperatury podano w tabeli 1.

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

### ***Termistory***

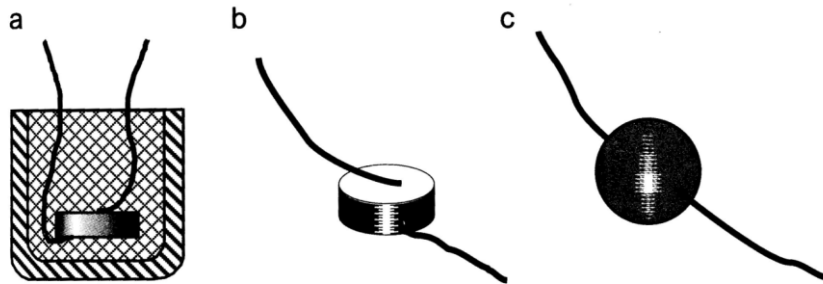
Są elementy półprzewodnikowe wykonane z mieszaniny sproszkowanych tlenków spiekanych w temperaturze ok. 1000°C. Spiekanie wymaga rygorystycznych warunków technologicznych (zwłaszcza atmosfery, w której są formowane). Do termistorów dolutowane są odprowadzenia wykonane z drucików platynowych o średnicy 50 $\mu$ m.

Rodzaje termistorów:

PTC – positive thermally coefficient – dodatni współczynnik zmian rezystancji;

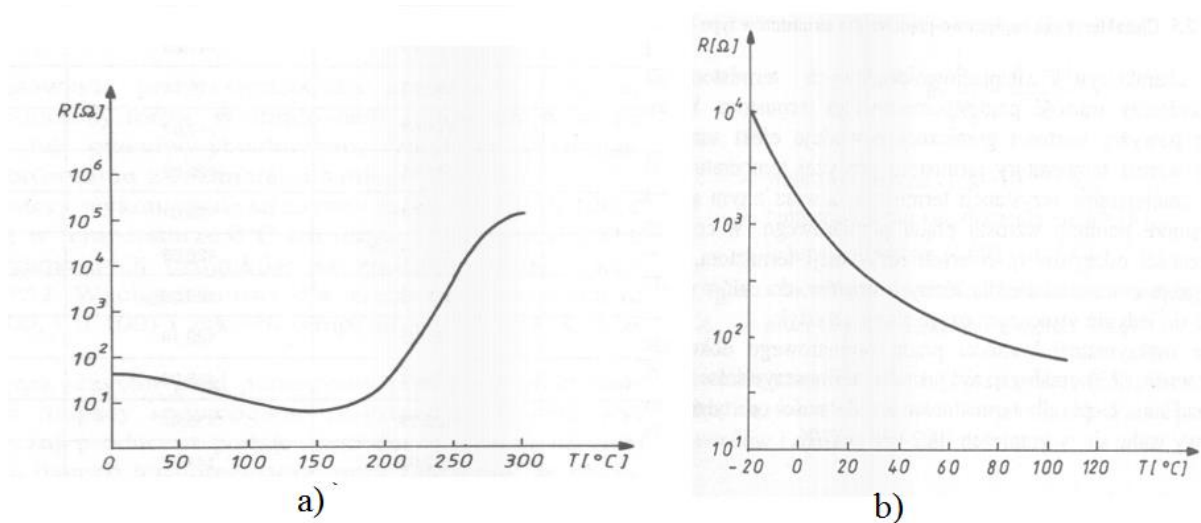
NTC – negative thermally coefficient - ujemny współczynnik zmian rezystancji.

Na rys. 2 przedstawione są w powiększeniu rodzaje wykonania termistorów.



Rys. 2. Rodzaje wykonania termistorów: a) kubkowe, b) pastylkowe, c) perełkowe.

Charakterystyki zmian rezystancji termistorów w funkcji temperatury przedstawione są na rysunku 3.



Rys. 3. Charakterystyki zmian rezystancji termistorów: a) PTC, b) NTC [6].

Zależności zmian rezystancji termistorów  $R_T$  są nieliniowe i dla typu NTC opisane są równaniem:

$$R_T = R_{T_0} e^{B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)},$$

gdzie:  $R_{T_0}$  – rezystancja termistora w temperaturze odniesienia  $T_0$ ;

$B$  – stała zależna od materiału termistora w [K].



Zależności temperaturowe zmian rezystancji termistorów PTC zostawiam studentom do samodzielnych studiów literaturowych.

Zalety termistorów:

- duży temperaturowy współczynnik rezystancji (rzędu 3-4%/K);
- duża rezystywność;
- bardzo małe wymiary (perełki o średnicy 0,3-1mm).

Wady termistorów:

- mała powtarzalność i stałość parametrów (zwłaszcza w temperaturach ponad 200°C);
- niestabilność czasowa;
- bardzo duża nieliniowość;

Najczęstsze zastosowania termistorów:

- pomiar małych różnic temperatury (w pobliżu pokojowej);
- kompensacja wpływu zmian temperatury otoczenia.

### ***Pomiary rezystancji termorezystorów i termistorów***

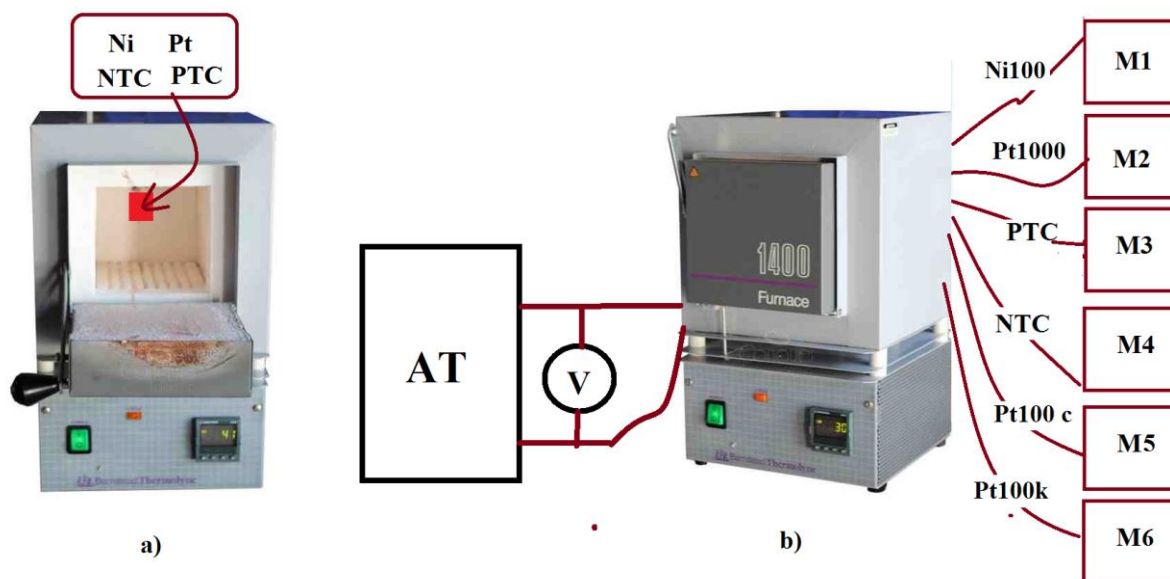
Ponieważ w przetwornikach termorezystorowych temperatura mierzona przetwarzana jest na rezystancję (zmianę rezystancji), zachodzi konieczność dokładnego pomiaru rezystancji (jej zmiany). Pomiary rezystancji termorezystorów odbywają się przy pomocy:

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

Poznanie zasad pomiaru rezystancji wspomnianymi metodami pozostawiam studentom do samodzielnych studiów literaturowych.

## 2. PRZEBIEG POMIARÓW

Pomiary dokonywane są w układzie, którego schemat przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Schemat układu pomiarowego: a) wnętrze pieca z zaznaczeniem umieszczenia badanych czujników Ni, Pt, PTC i NTC, b) AT – autotransformatorek; M1,M2,M3,M4 – multimetry cyfrowe (pomiar rezystancji); V – voltomierz mierzący napięcie zasilające piec laboratoryjny.

W piecu laboratoryjnym umieszczone jest sześć przetworników:

- rezystancyjny platynowy Pt100 w obudowie z korundu;
- półprzewodnikowy o dodatnim współczynniku zmian rezystancji PTC;
- półprzewodnikowy o ujemnym współczynniku zmian rezystancji NTC;
- cienkowarstwowe przetworniki rezystancyjne: platynowy Pt1000, platynowy Pt100 i niklowy Ni100

Ćwiczący nastawiają przy pomocy autotransformatora napięcie zasilające piec laboratoryjny. Wskazana przy tej czynności jest konsultacja ćwiczących z osobą prowadzącą ćwiczenie.

*Chodzi m. in. o to, aby napięcie zasilające nie było zbyt duże, a co za tym idzie, aby temperatura pieca nie wzrastała zbyt szybko, uniemożliwiając jednoczesne dokonanie wszystkich niezbędnych odczytów i pomiarów w danym punkcie zdejmowanych charakterystyk. Z drugiej zaś strony temperatura pieca nie powinna narastać zbyt wolno z racji ograniczonego czasu trwania ćwiczenia (należy dokonać ok. 25 pomiarów).*

Pomiary rozpoczynają się w chwili włączenia napięcia zasilającego piec. Od tej chwili należy w równych odstępach czasu (ustalonych wcześniej z prowadzącym ćwiczenie) dokonywać odczytów wskazań omomierzy cyfrowych

(multimetrów). Ważne jest tu dobre zorganizowanie pracy i podział czynności między poszczególnych członków grupy studenckiej. Wyniki poszczególnych odczytów i pomiarów należy zapisywać w tabeli 3.

Tabela 3.

Lp.	czas	T	$R_{Pt100}$	Cienkowarstwowe			$R_{NTC}$	$R_{NTC}$
				$R_{Pt100}$	$R_{Pt1000}$	$R_{Ni100}$		
	min.	°C	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								
10.								
11.								
12.								
13.								
14.								
15.								
16.								
17.								
18.								
19.								
20.								
21.								
22.								
23.								
24.								
25.								

Objaśnienia do tabeli 3:

T - temperatura odczytana ze wskazań termoelementu kontrolnego pieca;

$R_{Pt100}$ ,  $R_{Pt1000}$  – rezystancje termorezystorów platynowych;

$R_{Ni100}$  - rezystancja termorezystora niklowego;

$R_{NTC}$  - rezystancja termistora NTC;

$R_{PTC}$  - rezystancja termistora PTC;

***W sprawozdaniu należy:***

1. Wykreślić charakterystyki:  $R_{Pt1000} = f(T)$ ,  $R_{Pt100c} = f(T)$ ,  $R_{Pt100k} = f(T)$ ,  $R_{Ni100} = f(T)$ ,  $R_{PTC} = f(T)$  oraz  $R_{NTC} = f(T)$ .
2. Wyznaczyć współczynniki temperaturowe rezystancji dla każdego z termorezystorów i termistorów. Porównać je ze współczynnikami podanymi w literaturze – wyniki zamieścić w tabeli 4.
3. Określić zakresy liniowości uzyskanych charakterystyk - wyniki zamieścić w tabeli 4.
4. Przedstawić wnioski, jakie nasunęło wykonywane ćwiczenie.

Tabela 4.

Wartości współczynnika	$R_{Pt100}$	Cienkowarstwowe			$R_{PTC}$	$R_{NTC}$
		$R_{Pt100}$	$R_{Pt1000}$	$R_{Ni100}$		
jednostka	$\Omega/\text{deg}$	$\Omega/\text{deg}$	$\Omega/\text{deg}$	$\Omega/\text{deg}$	$\Omega/\text{deg}$	$\Omega/\text{deg}$
literaturowe						
pomiary						
Zakresy liniowości [deg]						
pomiary						

### 3. PYTANIA I ZADANIA KONTROLNE

1. Narysować i opisać budowę oraz zasadę działania termorezystorów metalowych.
2. Narysować i opisać budowę oraz zasadę działania cienkowarstwowych termorezystorów.
3. Wyjaśnij przyczyny zmiany rezystancji metali w funkcji temperatury.
4. Wyjaśnij przyczyny zmiany rezystancji termistorów w funkcji temperatury.
5. Narysować oraz opisać budowę i zasadę działania termistorów.

6. Wymień metody pomiaru rezystancji termorezystorów i omów jedną z nich.
7. Wymień przyczyny błędów pomiaru rezystancji termorezystorów i termistorów w trakcie wykonywania ćwiczenia.

#### 4. LITERATURA

1. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. pod red. Ireny Lasockiej i Jana Zambrzyckiego. Wydaw. Politechniki Białostockiej. Białystok 2004.
2. Zbiór zadań z fizyki dla studentów uczelni technicznych. red. Wojciech Jarmoc. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej Białystok 2011.
3. M. Kucharski: Fizyka dla studentów wydziałów mechanicznych, Wydaw. Politechniki Białostockiej, Białystok 1994.
4. Michalski A., Tumański S., Żyła B.: *Laboratorium miernictwa wielkości nieelektrycznych*, oficyna wydawnicza Pol. Warszawskiej, W-wa 1999.
5. M. Miłek: *Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi*. Pol. Zielonogórska 1998.
6. 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 przelączeń 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.*