

21

Pomiar temperatury oraz kalibracja



Opracował: mgr. inż. Wojciech Judt

I. Opracowanie teoretyczne

Temperatura obok ciśnienia i objętości jest parametrem określającym stan termodynamiczny ciała i stopień jego nagrzania. Określa ona intensywność ruchu cząsteczek. W przypadku cieczy i gazów, cząsteczki znajdują się w nieustannym ruchu, a zatem mają określoną energię kinetyczną, związana z ich średnią prędkością i masą. W przypadku ciała stałego cząsteczki są w ruchu drgającym i związaną z tym energią. Miarą energii ruchu cząsteczki cieczy, gazu lub ciała stałego jest temperatura bezwzględna. Im większa jest energia ruchu cząsteczek tym większa jest temperatura. J.C. Maxwell sformułował temperaturę następująco: „temperatura ciała jest stanem cieplnym rozpatrywanym w odniesieniu do jego zdolności przekazywania ciepła innym ciałom.” Jednym ze sposobów przekazywania ciepła jest stykanie się ciał, na przykład cieczy lub gazu z ciałem stałym lub ciał stałych ze sobą. Jeśli dwa ciała nie przekazują sobie ciepła, czyli są w stanie równowagi cieplnej, to mają taką samą temperaturę. Będzie to wykorzystane w metodzie stykowej pomiaru temperatury. Jeśli pojęcie styku w przypadku ciał stałych jest oczywiste, to w przypadku styku cieczy lub gazu z ciałem stałym ciecz lub gaz mogą być w stanie spoczynku względem ciała stałego lub w stanie ruchu.

Innym sposobem przekazywania ciepła jest promieniowanie, gdzie nie dochodzi do styku ciał.

Te dwa sposoby przekazywania będą podstawą do ustalenia metod pomiaru temperatury, jako metod pośrednich. Ta pośredniość związana będzie z tym, że zmiana energii kinetycznej ruchu drobin, czyli zmiana temperatury ciała, powoduje zmiany innych właściwości ciała jak: wymiarów liniowych, objętości, gęstości, sprężystości, oporności elektrycznej, napięcia termoelektrycznego, promieniowania lub innych. Zmiana jednej z tych właściwości może być wykorzystana do pomiaru temperatury jeśli znana jest zależność danej właściwości od temperatury. Tę wybraną właściwość nazywamy wielkością termometryczną.

Termometr jest to przyrząd stykowy, który służy do pomiaru temperatury w przypadku równowagi cieplnej między mierzonym ciałem i termometrem. W termometrze, zasadniczą jego częścią jest ciało termometryczne. Dla tego ciała wybiera się właściwość, która posłuży do określenia temperatury. Powyższe pojęcia będą uszczegółowione na przykładzie wybranych termometrów stykowych.

Pirometrem będziemy nazywali przyrząd bezstykowy, którego zasada pomiaru oparta jest na promieniowaniu.

o Skale termometryczne

Aby jednoznacznie określić wartość temperatury, trzeba przyjąć pewną skalę termometryczną. Można to zrobić przypisując określonym stanom energii kinetycznej drobin pewną wartość temperatury. Opiera się to na pewnej umowie.

Najpowszechniej stosowana jest skala stustopniowa termometru rtęciowego opracowana w 1742r przez Celsjusza. Oparta ona była na dwóch punktach stałych – topnienia lodu oraz wrzenia wody. Ustalono, że topnienie lodu pod ciśnieniem 1013,25 hPa zachodzi przy temperaturze 0°C a wrzenie pod tym samym ciśnieniem zachodzi w temperaturze 100°C . Założono też, że istnieje liniowa zależność zmiany wysokości słupa rtęci termometru, stąd jeden stopień Celsjusza – 1°C jest jedną setną słupka rtęci między 0°C i 100°C . Tak otrzymano tak zwaną skalę Celsjusza.

W 1847 roku lord Kelvin, opierając się na II zasadzie termodynamiki wprowadził inną skalę, zwaną termodynamiczną skalą temperatur lub bezwzględną skalą temperatur. W tej skali punktem zerowym, czyli temperaturą zera absolutnego jest stan, przy którym zanika ruch cieplny cząsteczek. Drugim punktem stałym może być punkt topnienia lodu, czyli 0°C . Temu punktowi przypisano wartość temperatury $273,15\text{K}$, czyli stopni Kelvina. Jeśli określimy, że punkt zera absolutnego wynosi minus $273,15^{\circ}\text{C}$, to jeden stopień Kalwina równa się jednemu stopniowi Celsjusza – $1\text{K}=1^{\circ}\text{C}$.

Między temperaturami mierzonymi w skali Celsjusza i Kelvina istnieje zależność

$$T_{\text{K}}=t_{\text{C}}+273,15. \quad (1)$$

o **Termometry**

Rodzajów termometrów jest bardzo wiele. Mamy tu na myśli termometry stykowe. Budowa ich zależy od rodzaju wybranego zjawiska fizycznego wykazującego zmienność od temperatury. Ogólnie termometry możemy podzielić na nieelektryczne i elektryczne. Termometry nieelektryczne działają na przykład na zasadzie zmiany objętości – rozszerzalnościowe lub na zasadzie zmiany ciśnienia – manometryczne. Termometry elektryczne działają między innymi na zasadzie ogniwa termoelektrycznego – zwanym termoelementem lub zmiany oporu elektrycznego (rezystancji).

Tutaj ograniczymy się do termometrów najczęściej stosowanych w technice, a mianowicie do szklanych rozszerzalnościowych oraz do termometrów termoelektrycznych i oporowych.

o **Termometry szklane i rozszerzalnościowe**

W tych termometrach wykorzystuje się zjawisko zmiany objętości pod wpływem temperatury. Ciałem termometrycznym najczęściej jest rtęć. Zasadniczymi elementami termometru rtęciowego jest zbiorniczek o stosunkowo dużej objętości a do niego podłączona jest rurka o bardzo małej średnicy wewnętrznej (kapilara) - rys.1. Wzdłuż kapilary usytuowana jest podziałka z naniesioną częścią skali temperatury.

Zmianę objętości rtęci zawartej w zbiorniczku można wyliczyć ze wzoru

$$\Delta V = V_0 \alpha \Delta t \quad (2)$$

gdzie: V_0 – objętość początkowa rtęci
 α – współczynnik rozszerzalności
 Δt – zmiana temperatury.

Pomija się tutaj rozszerzalność cieplną szkła ponieważ jest ona mała w stosunku do rozszerzalności rtęci. Stosunek ich wynosi około $1/6000$. Dane zmiany objętości można przeliczyć na wysokość słupka rtęci

$$\Delta l = \frac{\Delta V}{A} \quad (3)$$

gdzie A polem przekroju kapilary.

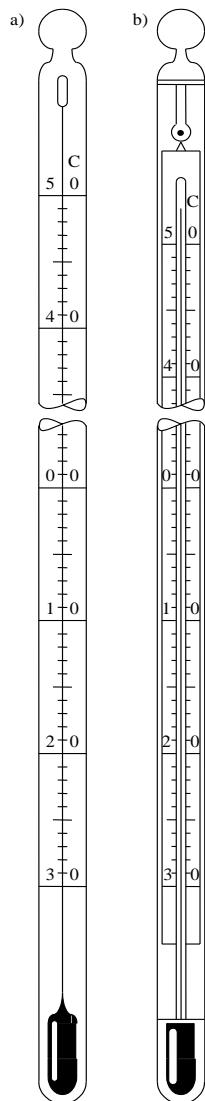
Wybór rtęci na ciało termometryczne wynika z jej właściwości fizycznych:

- przebieg współczynnika rozszerzalności cieplnej jest prawie liniowy, stąd podziałka na skali może być równomierna
- wartość α jest stosunkowo duża
- wyraźny menisk, co ma wpływ na błąd odczytu
- łatwość uzyskania rtęci w stanie czystym czyli o ustalonym współczynniku α
- szeroki zakres występowania jako ciecz – temperatura krzepnięcia $-38,87^{\circ}\text{C}$ a temperatura wrzenia $+356,58^{\circ}\text{C}$. Te temperatury można zmienić do -60°C i $+750\div 800^{\circ}\text{C}$ wypełniając kapilary odpowiednimi gazami.

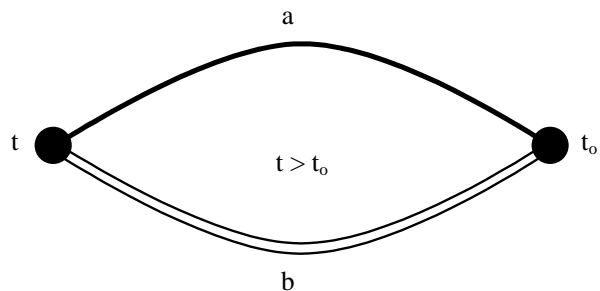
Poza rtęcią do napełniania termometrów stosuje się także:

- alkohol etylowy – zakres stosowania od -80°C do $+70^{\circ}\text{C}$
- toluen – zakres stosowania od -80°C do $+100^{\circ}\text{C}$
- pentan – zakres stosowania od -200°C do $+30^{\circ}\text{C}$.

Te ciecze zabarwia się odpowiednio dla ułatwienia odczytu.



Rys. 1. Termometry cieczowe szklane ogólnego zastosowania: a) termometr pałeczkowy, b) termometr rurkowy [10]



Rys. 2. Schemat obwodu termoelektrycznego

Termometry cieczowe stosuje się w różnych wykonaniach – rys. 1 – czyli jako pałeczkowe i rurkowe. Termometr pałeczkowy stanowi grubościenna kapilara z naciętą na niej skalą. Termometr rurkowy stanowi cienka kapilara umocowana do płaskiej płytki, na której zaznaczona jest skala. Kapilara wraz ze skalą umieszczona jest w cylindrycznej osłonie.

o Termometry termoelektryczne

W tych termometrach wykorzystuje się występowanie siły elektromotorycznej prądu stałego w obwodzie elektrycznym złożonym z przewodów o różnych materiałach. Zjawisko to odkrył T. Seebeck w 1821 roku.

Jeśli stworzymy obwód elektryczny z dwóch różnych przewodników połączonych ze sobą spoinami, które będą miały różne temperatury, to w obwodzie tym powstanie różnica potencjałów elektrycznych i popłynie prąd – rys. 2.

To zjawisko, odkryte przez J. Seebeck'a jest wynikiem jednoczesnego działania dwóch innych zjawisk:

- zjawiska (efektu) Peltiera, polegające na powstaniu napięcia stykowego w miejscu gdzie stykają się dwa różne metale,
- zjawiska Thomsona, polegającego na powstaniu różnicy potencjałów elektrycznych w przewodniku, którego końce umieszczono w ośrodkach o różnych temperaturach.

Zbudowany, w sposób jak podano powyżej, układ nazywamy ogniwem termoelektrycznym, lub termoelementem, popularnie zwanym termoparą. Powstała w tym ogniwie siłę termoelektryczną oznaczamy w skrócie przez STE. Jedna spoina ogniwa umieszczona jest w ośrodku o mierzonej temperaturze t , a druga w ośrodku odniesienia t_0 .

Przewody a i b tworzące termoelement nazywa się elektrodami, przy czym jako elektrodę dodatnią, uznano tę, w której płynie prąd od spoiny pomiarowej do spoiny odniesienia, jeśli $t > t_0$.

Pomiar termoelementem polega na pomiarze siły termoelektrycznej, która zależy od rodzaju materiałów elektrod oraz od temperatur spoin. Można to opisać zależnością

$$E = f(t, t_0) \quad (4)$$

a dla celów technicznych z wystarczającą dokładnością

$$E = f(t - t_0). \quad (5)$$

Jeśli da się utrzymać temperaturę odniesienia t_0 stałą w czasie pomiaru, to siła elektromotoryczna jest funkcją temperatury mierzonej t

$$E = f(t, t_0 = \text{const}). \quad (6)$$

Zależność tę nazywa się charakterystyką termoelektryczną termoelementu.

Ostatecznie pomiar temperatury termoelementem sprowadza się do następujących czynności [7]:

- spoinę pomiarową umieszcza się w ośrodku, którego temperaturę mamy zmierzyć
- spoinę odniesienia umieszcza się w ośrodku o stałej temperaturze t_0 , którą przyjęto za temperaturę odniesienia
- dokonujemy pomiaru siły termoelektrycznej
- z charakterystyki zastosowanego termoelementu odczytuje się mierzoną wartość temperatury t .

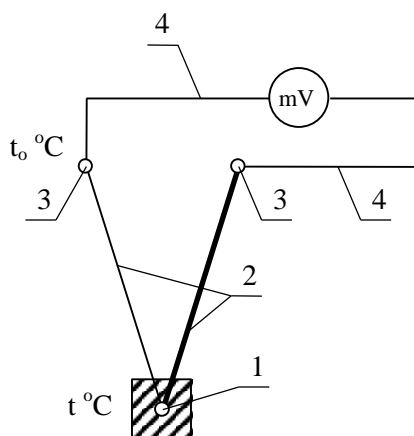
Dla wygody miernik siły elektromotorycznej – miliwoltomierz, może być wyskalowany bezpośrednio w $^{\circ}\text{C}$.

Najprostszy układ połączeń do pomiaru temperatur termoelementem pokazano na rys. 3. W skład tego układu wchodzi: termoelement, przewody połączeniowe oraz miliwoltomierz. W wyniku powstania siły termoelektrycznej w obwodzie płynie prąd, który opisuje zależność

$$I = \frac{E}{R_t + R_p + R_m} \quad (7)$$

gdzie: R_t – rezystancja termoelementu, R_p – rezystancja przewodów połączeniowych, R_m – rezystancja miliwoltomierza. Miliwoltomierz wskazuje spadek napięcia na swojej rezystancji, który określa prawo Ohma

$$U = I R_m. \quad (8)$$



Rys. 1.3. Układ połączeń do pomiaru temperatury termoelementem: 1 – spoina pomiarowa, 2 – termoelement, 3 – spoina odniesienia, 4 – przewody łączeniowe [10]

Z wzorów (7) i (8) otrzymujemy zależność na siłę elektromotoryczną jeśli mamy wskazania miliwoltomierza U

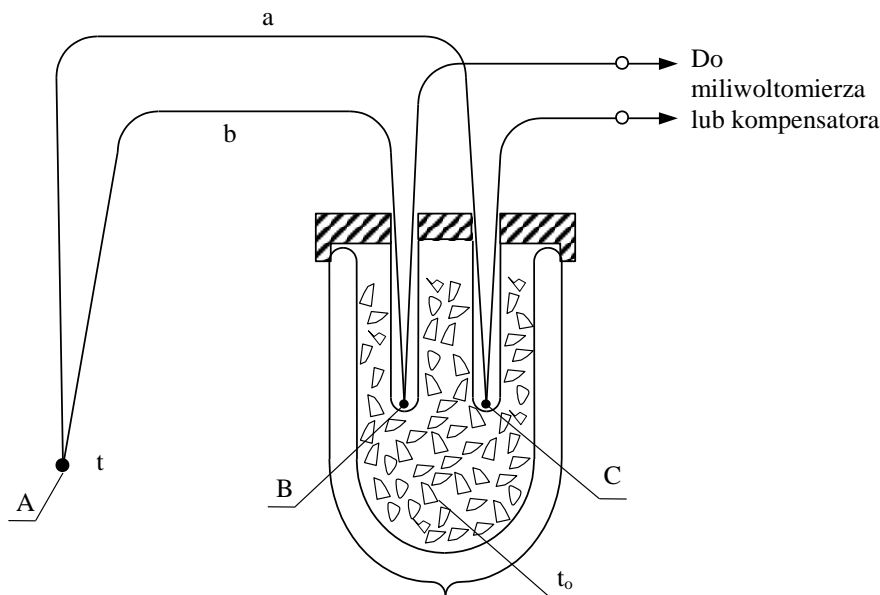
$$E = U \left(1 + \frac{R_p + R_t}{R_m} \right). \quad (9)$$

Zwykle $R_p + R_t \ll R_m$, to wtedy wskazania miliwoltomierza są w przybliżeniu równe sile termoelektrycznej

$$E \approx U. \quad (10)$$

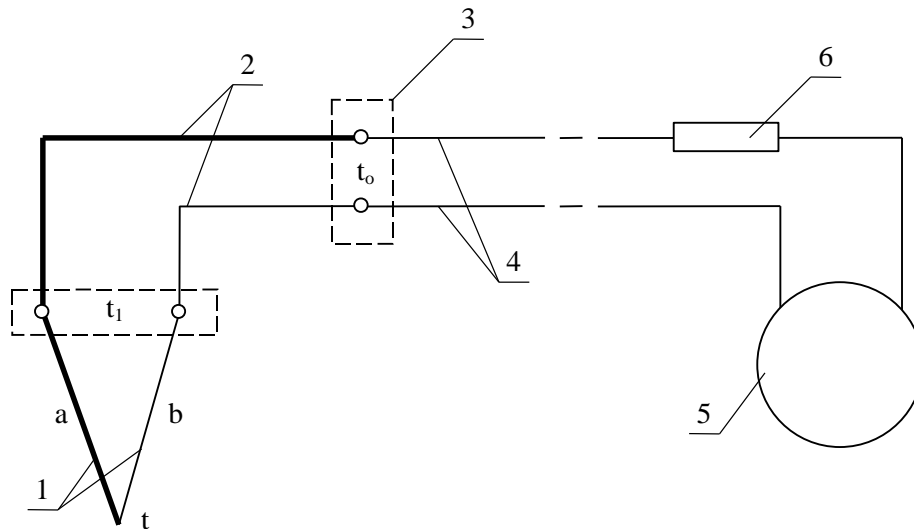
Aby zapewnić dobrą dokładność pomiarów dobiera się miliwoltomierz o dużej rezystancji własnej R_m .

Problemem w pomiarach temperatur jest utrzymanie stałej temperatury odniesienia t_0 . W pomiarach laboratoryjnych można to zrobić umieszczając zimne końce termoelementu w termostacie – rys. 4. Może to też być naczynie z lodem.



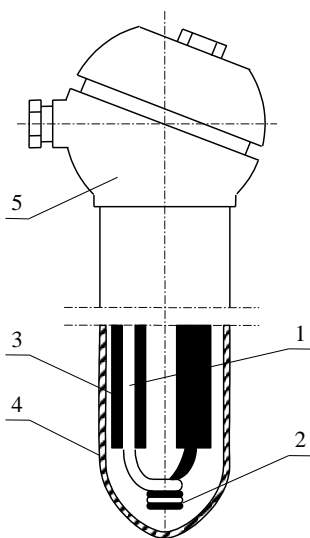
Rys. 4. Schemat układu termometru termoelektrycznego ze spoinami odniesienia umieszczonymi w termostacie: A – spoina, B i C – wolne końce, a, b – termoelement [7]

W pomiarach technicznych trudno jest utrzymać stałą temperaturę t_0 . Stosuje się wtedy sposób przesunięcia przewodami 2 końca elektrod z miejsca o zmiennej temperaturze t_1 – rys. 5, do miejsca gdzie temperatura jest stała lub mało się zmienia $t_0 \approx \text{const}$. Dalej przewodami 4 łączy się termoelement z miernikiem 5. Jednak przewody 2, których końce znajdują się w różnych temperaturach t_1 i t_0 tworzą drugi termoelement i dodatkowe siły elektromotoryczne. Przewody te muszą mieć charakter kompensacyjny, to znaczy muszą być tak dobrane aby w przypadku powstania STE między termoelektrodami i przewodami, siły te powinny się znosić przy jednakowej temperaturze złąc.

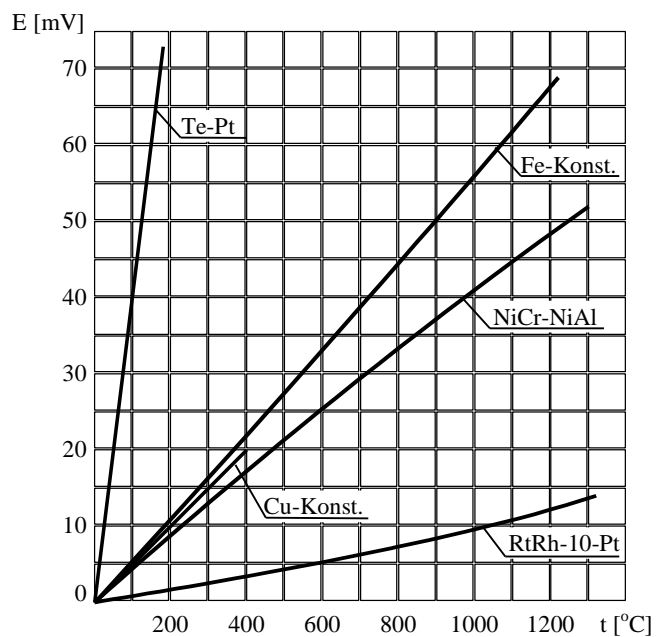


Rys. 5. Schemat technicznego termometru termoelektrycznego: a, b (1) – termoelement, t_1 – temperatura zmienna, t_0 – temperatura stała, 2 – przewody kompensacyjne, 3 – urządzenie kompensujące, 4 – przewody połączeniowe, 5 – miernik, 6 – opornik wyrównawczy [7]

Przykład konstrukcji czujnika termometru termoelektrycznego pokazano na rys. 6. Natomiast na rys. 7. przedstawiono charakterystyki najczęściej stosowanych termoelementów.



Rys. 6. Czujnik termometru termoelektrycznego (typowe rozwiązanie przemysłowe) [7]



Rys. 7. Charakterystyki termoelektryczne najczęściej spotykanych w praktyce termoelementów. Temperatura spoin odniesienia $t_0 = 0^\circ\text{C}$ [7]

o Termometry oporowe (rezystancyjne)

działanie czujników rezystancyjnych oparte jest na zjawisku zmian oporu elektrycznego od temperatury przewodnika lub półprzewodnika. Zależność ta nazywa się charakterystyką termometryczną i ogólnie określona jest zależnością

$$R_t = f(R_0, t) \quad (11)$$

gdzie: R_t – rezystancja czujnika w temperaturze t

R_0 – rezystancja czujnika w temperaturze odniesienia, np. $t_0=0^{\circ}\text{C}$.

Tę zależność można zapisać następująco

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(t - t_0) + \beta(t - t_0)^2 + \gamma(t - t_0)^3 + \dots] \quad (12)$$

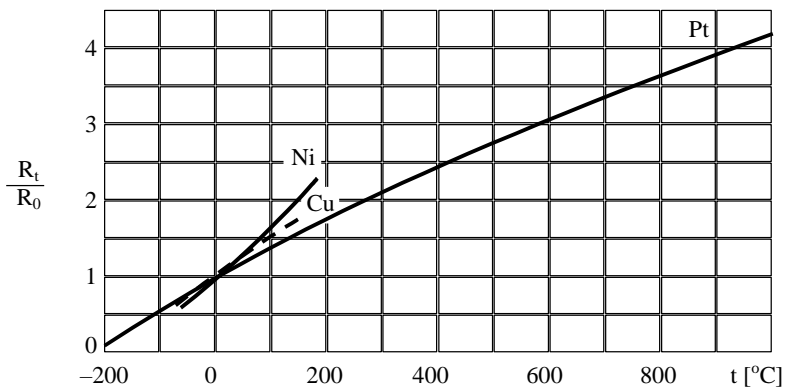
gdzie α, β, γ są stałymi współczynnikami.

Dla ograniczonego zakresu temperatur wzór (12) można zapisać w postaci

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(t - t_0)] \quad (13)$$

gdzie α jest współczynnikiem termicznej zmiany rezystancji z temperaturą. Wzór ten wskazuje na liniową zależność zmian rezystancji od temperatury.

Jak wykazuje doświadczenie metale mają wartości współczynnika α dodatnie a półprzewodniki ujemne. W zależności od wartości α przebiega stosunek R_t/R_0 . Z metali używa się czujniki z niklu, miedzi i platyny. Na rysunku 8 pokazano przebiegi R_t/R_0 w funkcji temperatury tych metali. Widać, że platyna ma w dużym zakresie przebieg liniowy co jest korzystne pomiarowo.



Rys. 8. Zależność względnej rezystancji R_t/R_0 czujnika rezystorowego w funkcji temperatury t dla różnych materiałów czujnika; R_t – rezystancja czujnika w temperaturze t , R_0 – rezystancja czujnika w temperaturze $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$ [2]

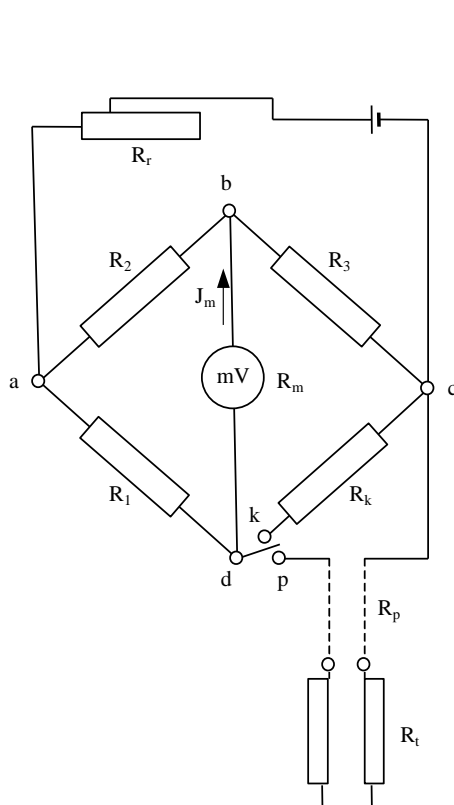
Czujniki rezystancyjne półprzewodnikowe (termistory), mają duży i ujemny współczynnik α , dużo większy niż czujniki z metali. Termistory wykonane są z mieszanin tlenków (siarczków, krzemianów) różnych metali w postaci proszków. Po sprasowaniu i nadaniu im różnych kształtów spieka się je w wysokiej temperaturze.

Pomiar temperatury termometrem rezystancyjnym sprowadza się do zmierzenia rezystancji czujnika umieszczonego w ośrodku badanym. Różne są metody pomiaru. Tutaj ograniczymy się do jednej opartej na mostku Wheatstone'a – rys. 9. W mostku tym trzy ramiona stanowią stałe opory R_1, R_2, R_3 . Gałąź czwartą tworzy opór czujnika R_t oraz opór przewodów połączeniowych R_p . Opory stałe są tak dobrane, aby przy ustawieniu przełącznika P w położeniu p mostek był w stanie równowagi w temperaturze czujnika 0°C . Wtedy wskazówka miliwoltomierza wskazuje zero, czyli po przekątnej $b-d$ nie płynie prąd.

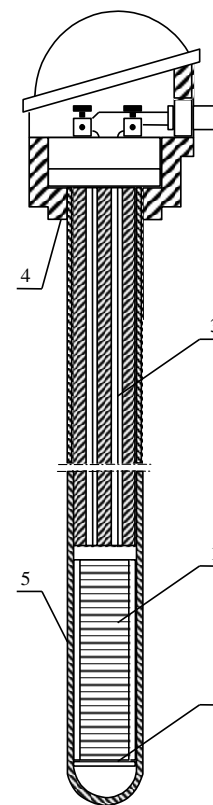
Wraz ze zmianą temperatury czujnika zmienia się opór R_t a równowaga mostka zostaje zachwiana i po przekątnej płynie prąd. Miliwoltomierz można wycechować bezpośrednio w stopniach Celsjusza lub w jednostkach oporności Ω .

Mostek zasilany jest prądem stałym (ogniwo suche, akumulator) lub z sieci prądu zmiennego przez transformator, prostownik i stabilizator napięcia. Opornikiem R_t reguluje się stałe napięcie w czasie pomiaru U_{ac} .

Wykonanie czujników rezystancyjnych może być różne. Na ogół na rdzeń 1 z materiału o właściwościach izolacyjnych – mika, szkło, porcelana, nawinięty jest opornik z cienkiego drutu ($0,05 \pm 0,1\text{mm}$) – rys. 10 i dalej połączony z przewodami w osłonie 3. Przewody te przymocowane są do głowicy 4. Cały czujnik umieszczony jest w osłonie 5.



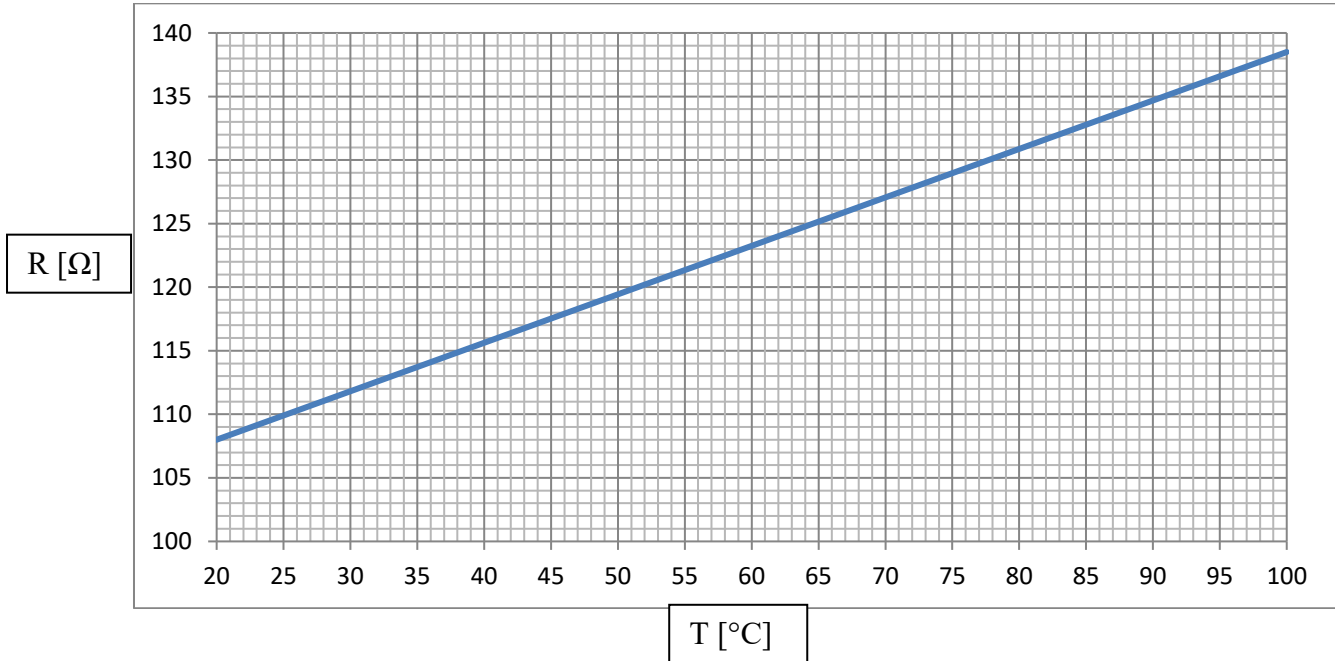
Rys. 9. Schemat termometru oporowego w układzie mostkowym niezrównoważonym



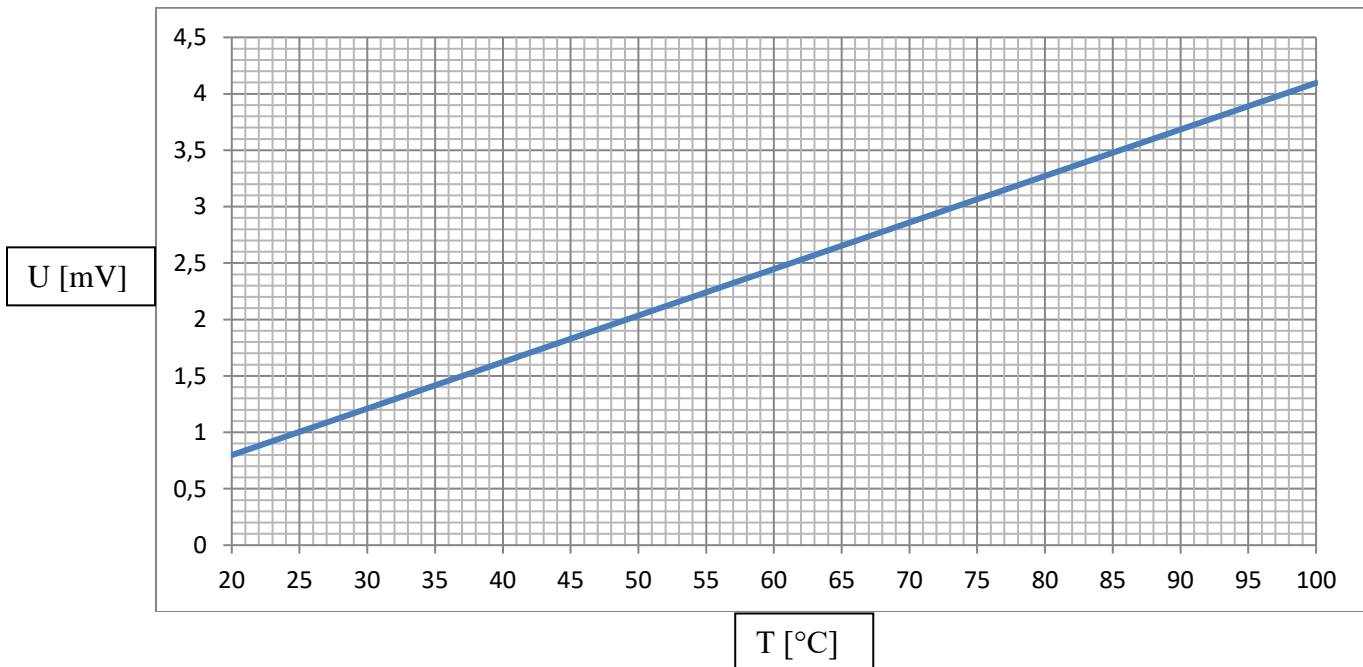
Rys. 10. Przedstawienie czujnika termometru oporowego

- **Charakterystyki umożliwiające przeliczenie uzyskanych wartości na stopnie Celsjusza**

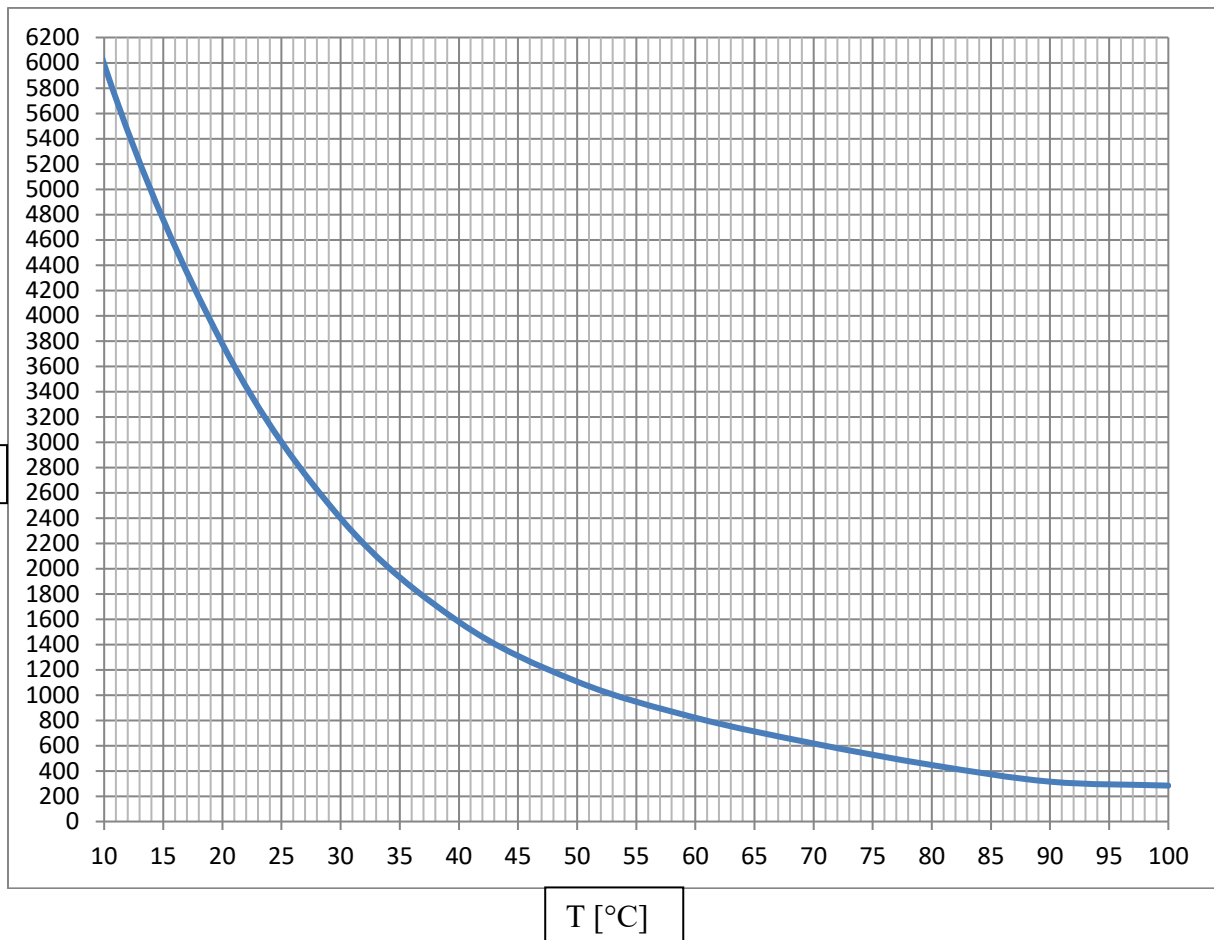
Charakterystyka dla przemysłowego termometru rezystancyjnego PT100 niskoprądowego



Charakterystyka dla termopary typu K



Charakterystyka dla termistora



- **Cel ćwiczenia**

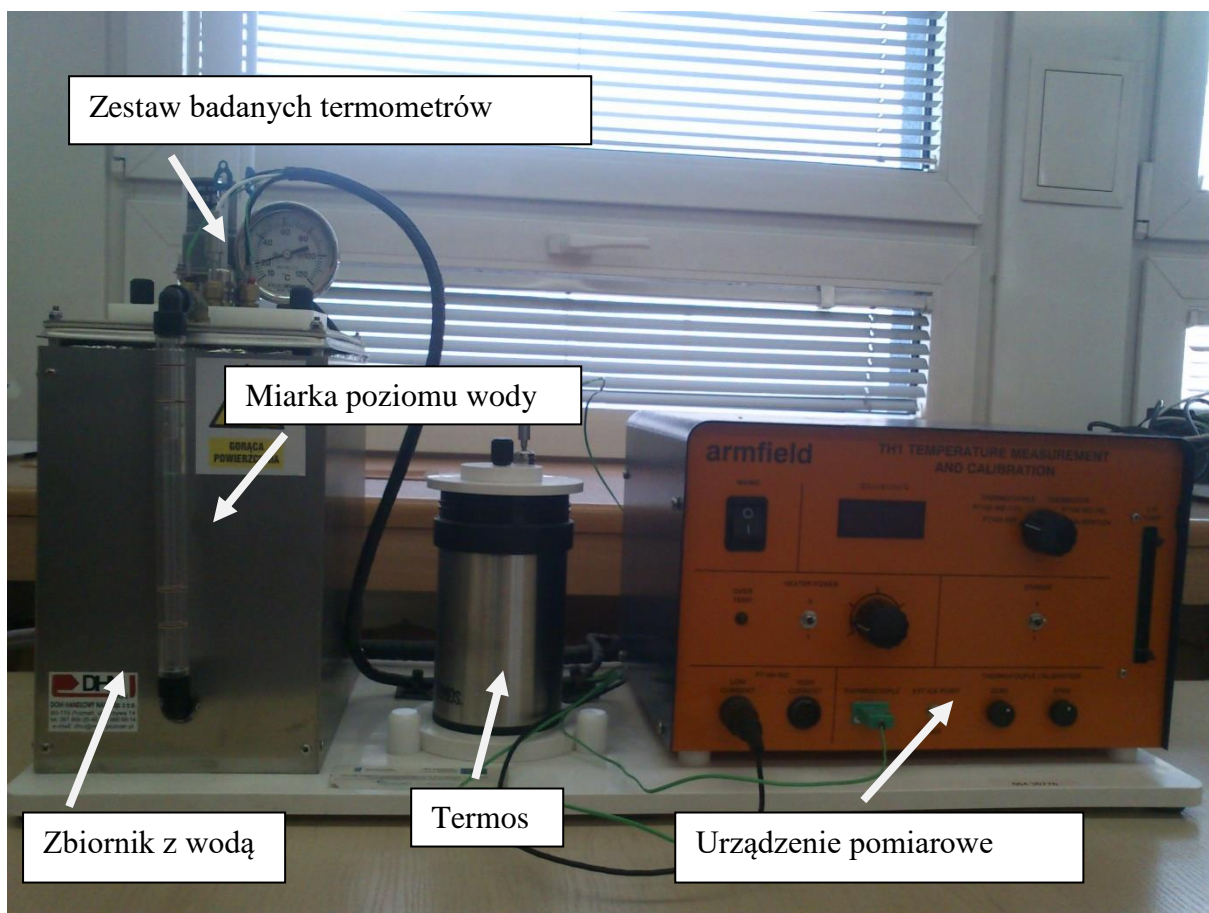
Celem ćwiczenia jest zbadanie sposobu pomiaru temperatury przy zastosowaniu: termometru rezystancyjnego PT100 wykonanego z platyny, termopary oraz termistora. Ponadto w czasie wykonywania ćwiczenia dokonuje się oceny właściwości pomiarowych termometru cieczowego oraz termometru bimetalowego.

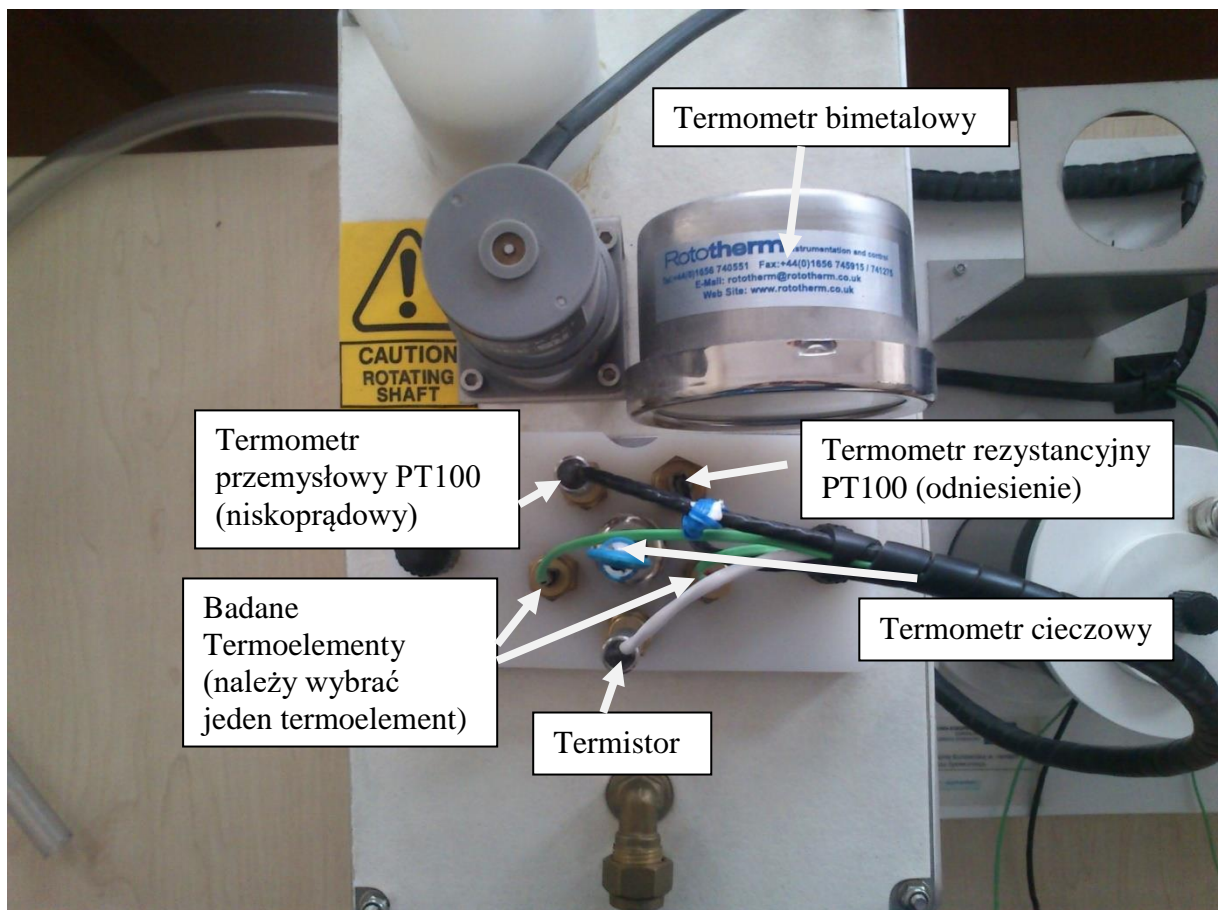
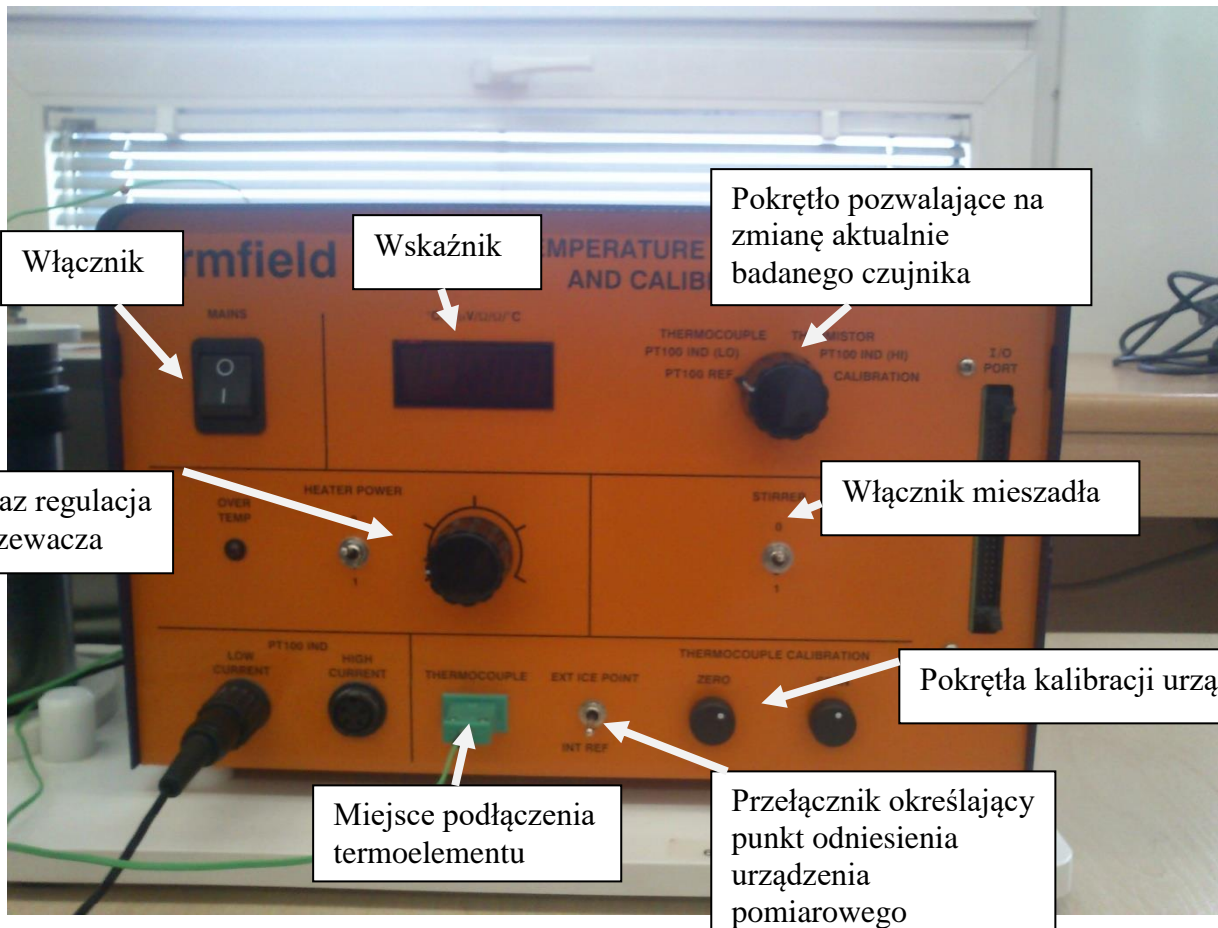
II. Instrukcja przeprowadzenia ćwiczenia

- a) Sprawdź, czy stanowisko badawcze jest podłączone do źródła zasilania oraz czy zostało włączone przy zastosowaniu przełącznika
- b) Sprawdź, czy mieszadło i podgrzewacz są wyłączone i czy woda w zbiorniku jest zimna.
- c) Zdejmij kominiek pary i uzupełnij stan wody w zbiorniku, obserwuj poziom na wskaźniku znajdującym się z przodu urządzenia.
- d) Podnieś pokrywę termosu i sprawdź czy znajduje się w nim mieszanina wody z lodem w ilości umożliwiającej zanurzenie się termoelementu. Umożliwi to przeprowadzenie kalibracji urządzenia pomiarowego.
- e) Sprawdź, czy wszystkie czujniki temperatury są odpowiednio zamocowane. Nakrętki dławików powinny być dokręcone. Należy uważać aby nie uszkodzić czujników jak i innych elementów stanowiska.
- f) Sprawdź, czy czujniki są podłączone do odpowiednich gniazdek na konsoli. Termoelement przeznaczony do kalibracji stanowiska mierzący temperaturę mieszaniny wody z lodem powinien być podłączony do gniazda „ICE POINT THERMOCOUPLE” znajdującego się z tyłu urządzenia pomiarowego. Przemysłowy termometr PT100 powinien być podłączony do gniazda "LOW". Przełącznik termopary powinien być ustawiony w pozycji "EXT ICE POINT".
- g) Umieść podstawkę z czujnikami na górze zbiornika z wodą, delikatnie wsuwając czujniki przez otwór uszczelki.
- h) Przeprowadź kalibrację urządzenia poprzez przestawienie górnego pokręta do pozycji „CALIBRATION”. Następnie przy wykorzystaniu dolnych pokręteł „ZERO” oraz „SPAN” dokonaj kalibracji stanowiska w taki sposób, aby wskazywana temperatura dla pokręta w pozycji „CALIBRATION” była równa temperaturze dla pozycji „PT100 REF”.
- i) Dokonaj początkowego odczytu temperatury. Użyj przełącznika znajdującego się u góry urządzenia pomiarowego, aby na wyświetlaczu cyfrowym wyświetlić wyniki pomiarów z poszczególnych czujników. Wartości temperatury z termometru cieczowego i bimetalowego odczytaj bezpośrednio z czujnika. Wartości zanotuj w tabeli.
- j) Ustaw przełącznik w pozycji "PT100 REF". Włącz mieszadło (ustaw przełącznik STIRRER w pozycji 1) i podgrzewacz (ustaw przełącznik HEATER POWER w pozycji 1 oraz pokręta znajdujące się obok przełącznika w 3/4 zakresu). Gdy temperatura wody wzrośnie o 5°C przestaw przełącznik HEATER POWER do pozycji 0. Przełącznik należy wyłączać około 1,5 °C przed uzyskaniem wymaganej temperatury ze względu na bezwładność stanowiska badawczego. Po odczekaniu czasu potrzebnego na ustabilizowanie się zaistniałych wartości na czujnikach uzyskane wartości należy zanotować w tabeli. Następnie dokonaj kolejnych odczytów. Powtarzaj tę czynność do momentu aż woda zacznie wrzeć.
- k) Para wydostająca się z kominka oznacza, że woda w zbiorniku zaczęła wrzeć. Wyłącz podgrzewacz. Następnie dokonaj odczytu z czujników z okresem próbkowania równym 2 minuty. Dokonaj 5 pomiarów. Sprawdź czy poziom wody w zbiorniku nie jest zbyt niski.

- l) Po zakończeniu wykonywania ćwiczenia dokonaj wyłączenia mieszalnika oraz odłącz zasilanie stanowiska przy pomocy przełącznika.
- m) Zanotowane wartości wskazań z czujników przelicz na wartości temperatury wyrażone w stopniach Celsjusza oraz wykreśl uzyskane wartości temperatury na wykresie.
- n) Wyciągnij wnioski do przeprowadzonego ćwiczenia.

o **Przedstawienie stanowiska badawczego**





POLITECHNIKA POZNAŃSKA			
Instytut Energetyki Ciepłej			
ite.put.poznan.pl			
Pomiar temperatury oraz kalibracja			
Imię Nazwisko:	Nr indeksu:	Rok akademicki/ grupa	
Data oddania:	Data zaliczenia:	Ocena:	Podpis prowadzącego:

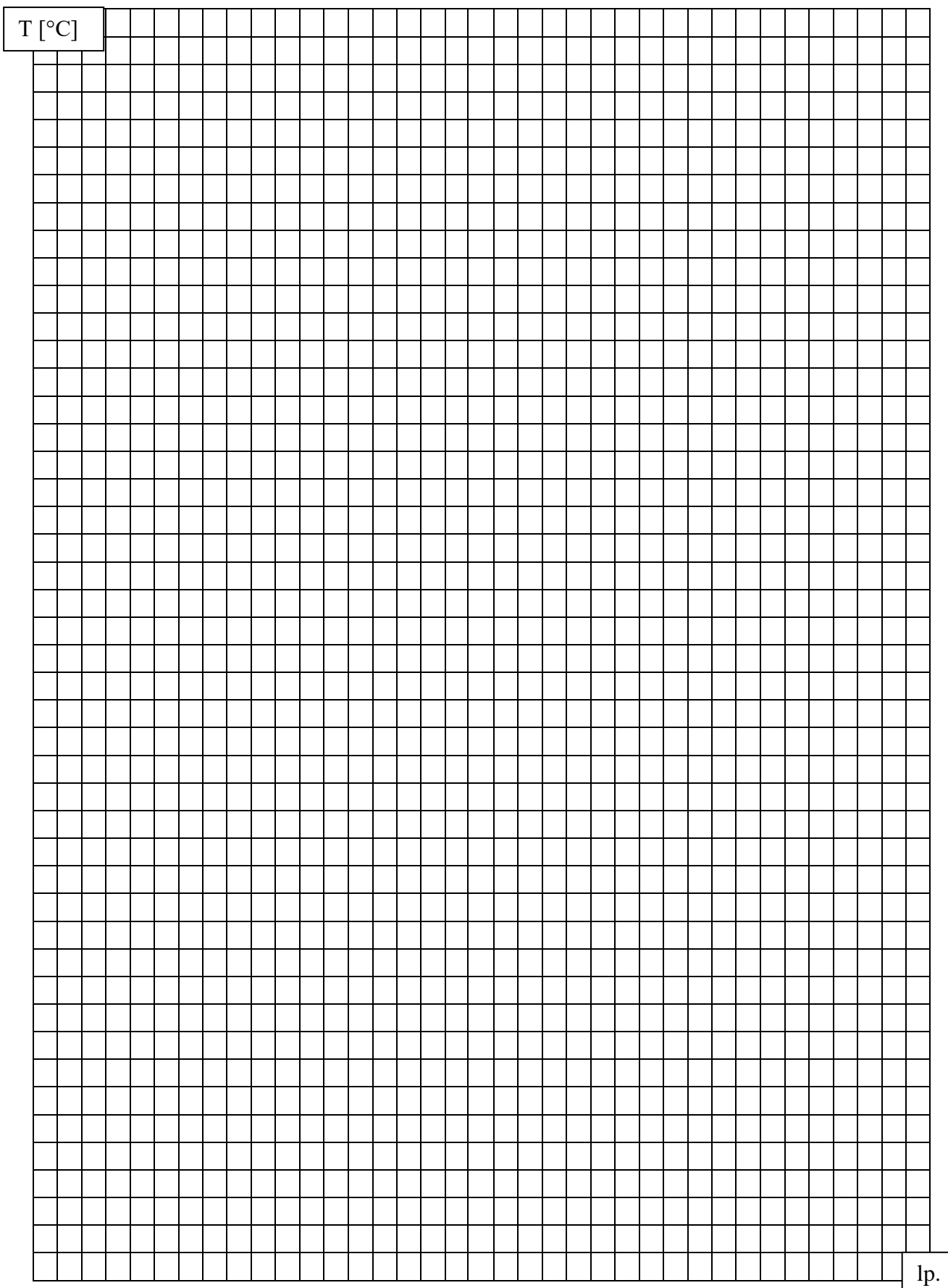
1. Tabela odczytów

Lp.	PT100 Odniesienia [°C]	PT100 Przemysłowy [Ω]	Termopara [μV]	Termistor [Ω]	Termometr Cieczowy [°C]	Termometr Bimetalowy [°C]
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						
26						
27						

2. Tabela uzyskanych wartości temperatury

Lp.	PT100 Odniesienia [°C]	PT100 Przemysłowy [°C]	Termopara [°C]	Termistor [°C]	Termometr Cieczowy [°C]	Termometr Bimetalowy [°C]
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						
26						
27						

3. Sporządź wykresy wskazań temperatury każdego z badanych termometrów



4. Wnioski:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....