

## 1. POMIAR TEMPERATURY PIROMETRAMI

### 1.1. Cel ćwiczenia:

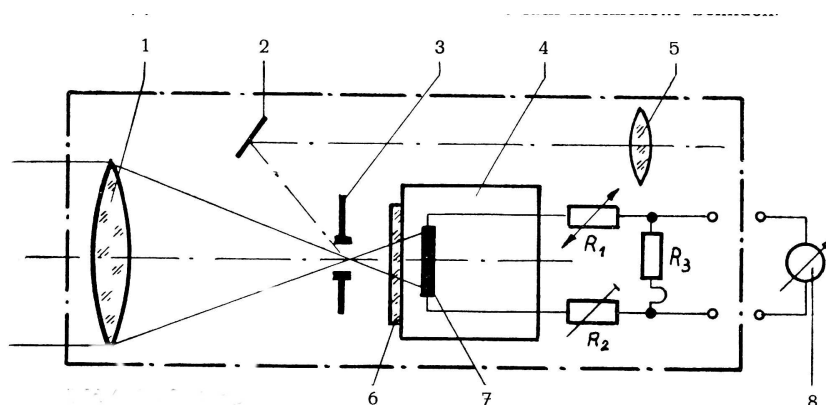
- zapoznanie się z budową i rodzajami pirometrów,
- określenie warunków prawidłowego pomiaru temperatury pirometrami.

### 1.2. Wiadomości podstawowe

Pirometr jest bezstykowym optycznym urządzeniem reagującym na promieniowanie temperaturowe (cieplne) wysyłane przez ciało materialne, służącym do pomiaru temperatury powierzchni tego ciała. Innymi słowy pirometr jest bezstykowym (zdalnym) miernikiem temperatury (przyrządem do pomiaru temperatury). Pirometr składa się z (rys. 1.1):

- systemu optycznego,
- przetwornika termometrycznego (detektora),
- układu pomiarowego z wyświetlaczem.

Zadaniem systemu optycznego (1-6) jest skupienie promieniowania emitowanego z obserwowanej powierzchni na jego detektorze (7). Zadaniem detektora (np.: termoelementu, opornika cienkowarstwowego, termistora, fotoelementu lub oka ludzkiego) jest najczęściej (z wyjątkiem oka ludzkiego) przetworzenie energii padającego promieniowania na elektryczny sygnał użyteczny. Układ pomiarowy (8) przetwarza sygnał elektryczny na wskazania wielkości mierzonej.



Rys.1.1. Przykładowy schemat budowy pirometru

Główną zaletą pirometrów jest możliwość pomiaru zdalnego (bezstykowego). Dlatego też pirometrami mierzy się temperaturę powierzchni trudno dostępnych, będących w ruchu, agresywnych chemicznie i odległych. Dodatkowymi zaletami pirometrycznych pomiarów temperatury są: brak zakłóceń pola temperatury powierzchni mierzonej, szeroki zakres pomiarów temperatury i pomiar temperatury ciał o najwyższych wartościach.

Natomiast główne wady pirometrów to

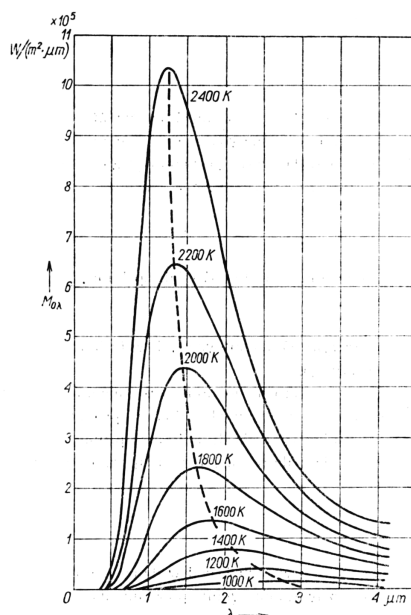
- zależność wyniku pomiarów od emisyjności i kierunkowości promieniowania powierzchni,
- konieczność zachowania, przy określaniu temperatury obserwowanej powierzchni, odpowiedniej relacji pomiędzy polem tej powierzchni a odległością obserwacji,
- duża wrażliwość na zakłócenia pochodzące od promieniowania postronnego odbitego od obserwowanego ciała,
- wysoka cena.

Każde ciało nagrzane do temperatury wyższej niż  $T=0\text{K}$  jest źródłem promieniowania temperaturowego (cieplnego). Widmowy (zależny od długości fali  $\lambda$ ) rozkład gęstości monochromatycznej mocy promienistej (emitancji) powierzchni ciała doskonale czarnego o temperaturze  $T$  przedstawiono na rysunku 1.2.

Moc promienista  $P$  (w W), wysyłana z powierzchni  $S$  ciała nagrzanego do temperatury  $T$  (w K) określa prawo Stefana-Boltzmann'a:

$$P = \epsilon \sigma S T^4$$

gdzie  $\epsilon$  jest wartością kierunkowej emisyjności całkowitej, a  $\sigma$  stałą Stefana równą  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .



Rys. 1.2 Zależność monochromatycznej emitancji promienistej  $m_{cc}$  ciała czarnego od długości fali  $\lambda$  wg Plancka.

Wśród pirometrów, w zależności od zakresu wykorzystywanego przez nich widma promieniowania (zob. rys. 1.2), można wyróżnić następujące ich typy:

- pirometry całkowitego promieniowania (radiacyjne), wykorzystujące dosyć szerokie pasmo promieniowania i służące do pomiaru temperatury o wartościach od ok.  $0^{\circ}\text{C}$  do przeszło  $2000^{\circ}\text{C}$ ,
- pirometry pasmowe, wykorzystujące wąskie pasmo promieniowania i służące do pomiaru temperatury o wartościach od kilkudziesięciu do przeszło  $2000^{\circ}\text{C}$ ,
- pirometry monochromatyczne (luminancyjne), reagujące na energię promienistą o jednej długości fali i służące do pomiaru temperatury o wartościach od ok. kilkuset do przeszło  $2000(5000)^{\circ}\text{C}$ ,
- pirometry wielobarwowe (najczęściej dwubarwowe), reagujące na energię promienistą o kilku (dwóch) długościach fali i służące do pomiaru temperatury o wartościach od ok. kilkuset do przeszło  $2000^{\circ}\text{C}$ .

Wszystkie pirometry wzorcowane są dla ciała doskonale czarnego o emisyjności  $\epsilon_{\lambda} = \epsilon_{\Delta\lambda} = \epsilon = 1$  charakteryzującego się lambertowskim rozsyłem promieniowania ( $\epsilon = \epsilon_n = \epsilon_{\phi} = 1$ ), a pirometry dwubarwowe – także dla ciał szarych. Rzeczywiste ciała nie są ciałami doskonale czarnymi, więc po przeprowadzeniu pomiaru temperatury  $T_p$  należy uwzględnić poprawkę wynikającą z rzeczywistej kierunkowej (zależnej do kąta obserwacji ciała) emisyjności monochromatycznej ( $\epsilon_{\phi\lambda}$ ), pasmowej (widmowej) ( $\epsilon_{\phi\Delta\lambda}$ ) lub całkowitej ( $\epsilon_{\phi}$ ). Gdy pirometr nie jest wyposażony w układ automatycznej korekcji temperatury  $T_p$  – reagujący na nastawioną wartość odpowiedniej emisyjności mierzonego ciała – temperaturę rzeczywistą  $T_r$  wyznacza się np. z zależności:

- dla pirometrów całkowitego promieniowania (radiacyjnych):

$$T_r = T_p \sqrt[4]{\frac{1}{\epsilon_{\phi}}}$$

- dla pirometrów pasmowych:

$$T_r = T_p \sqrt[4]{\frac{1}{\epsilon_{\phi\Delta\lambda}}}$$

gdzie:  $5 < n < 12$ , przy czym dla malejących wartości  $\Delta\lambda$  wykładnik  $n$  wzrasta, a dla szerokości widma  $\Delta\lambda \rightarrow 0$ , kiedy to  $n \rightarrow 12$ , poprawki można obliczać jak dla pirometrów monochromatycznych,

- dla pirometrów monochromatycznych:

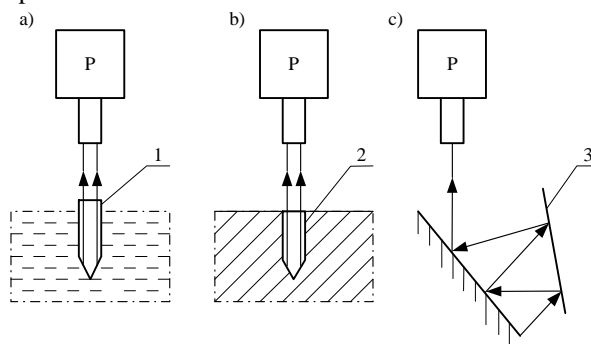
$$T_r = \frac{1}{\frac{1}{T_p} + \frac{\lambda}{c_2} \ln \epsilon_{\phi\lambda}}$$

gdzie:  $\lambda$  – pomiarowa długość fali (w  $\mu\text{m}$ ) (najczęściej  $\lambda = 0,655 \mu\text{m}$ ),  $c_2 = 14\,388 \mu\text{m} \cdot \text{K}$  – druga stała wzoru Plancka.

Określanie temperatury ciała z wykorzystaniem powyższych wzorów jest możliwe wtedy, gdy znane są w miarę dokładne, zmieniające się wraz z temperaturą wartości odpowiedniej emisyjności ciała, a będzie poprawne jedynie wtedy, gdy w pobliżu tego ciała nie znajdują się inne ciała, szczególnie o dużych wartościach emisyjności oraz o wartościach temperatury porównywalnych z temperaturą mierzoną. I tak np. w występujących często w elektrotermii układach pomiarowych, utworzonych ze wsadu o emisyjności  $\epsilon$ , otoczonego ścianami komory o temperaturze  $T_s$  i o emisyjności  $\epsilon_s \approx 1$ , rzeczywistą temperaturę wsadu, mierzoną pirometrem radiacyjnym, można obliczyć ze wzoru:

$$T_r \approx T_p \sqrt[4]{\frac{1}{\epsilon} \left( 1 - (1 - \epsilon) \left( \frac{T_s}{T_p} \right)^4 \right)}$$

W praktyce podczas pomiaru pirometrami temperatury ciał nieczarnych o nieznanymi wartościami emisyjności stwarza się często warunki (buduje się układy), w których właściwości promienne (głównie emisyjność ekwiwalentna  $\epsilon_{ek}$ ) tych ciał zbliżone są do właściwości ciała doskonale czarnego, tzn.  $\epsilon_{ek} \approx 1$ , więc  $T_r = T_p$ . Przykładami takich układów są przedstawione na rysunku 2.3 układy z rurami pośredniczącymi zanurzonymi w płynach, których temperaturę się mierzy, z otworami wywierconymi w ciałach stałych lub z dodatkowymi płytkami o dużym współczynniku odbicia promieniowania.



Rys. 1.3. Wysokoemisyjne układy pirometrycznego pomiaru temperatury: a) płynów; b) ciał stałych; c) cieczy i ciał stałych; 1 – rura pośrednicząca, 2 – wywiercony otwór, 3 – płytka o dużym współczynniku odbicia, P – pirometr

### 1.3. Charakterystyki badanych pirometrów

#### 1.3.1. Pirometr PT 3LF

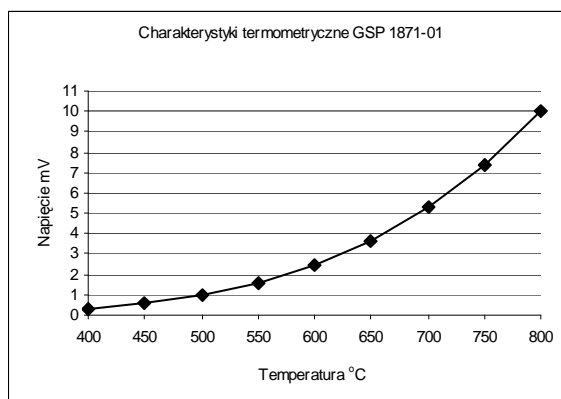
Zakres mierzonych temperatur:  $-20^{\circ}\text{C} \div +400^{\circ}\text{C}$ , emisyjność: nastawiana 0.95 (max) lub 0.70 (normal), pasmo pomiarowe:  $8 \div 14 \mu\text{m}$ , czas pomiaru 1s, celownik laserowy, (średnica pola obserwacji)/(odległość obserwacji) około (1)/(30) [(20mm)/(500mm), (30mm)/(1000mm), (60mm)/(2000mm), (100mm)/(3000mm)].

#### 1.3.2. Pirometr IR Miniray 100

Zakres mierzonych temperatur:  $-23^{\circ}\text{C} \div +520^{\circ}\text{C}$ , emisyjność nastawiana od 0,30 do 1 z krokiem co 0,01 ( $2nd + Lamp = set\epsilon + 2nd$ ), pasmo pomiarowe:  $8 \div 14 \mu\text{m}$ , czas pomiaru 0,5s, celownik laserowy i laserowo wskazywane pole obserwacji, (średnica pola obserwacji)/(odległość obserwacji) około (1)/(30) [(23mm)/(625mm), (35mm)/(1000mm), (67mm)/(2000mm), (100mm)/(3000mm)].

#### 1.3.3. Pirometr GSP 1871-01

Zakres mierzonych temperatur:  $400^{\circ}\text{C} \div 800^{\circ}\text{C}$ , emisyjność równa 1, pasmo pomiarowe:  $0,3 \div 2,7 \mu\text{m}$ , czas pomiaru 0,2 s, (średnica pola obserwacji)/(odległość obserwacji): (do ok. 20mm)/(1000mm), (45mm)/1500mm, (70mm)/(2000mm), (100mm)/(2500mm). Charakterystykę (termometryczną)  $U=f(t)$  skalowania pirometru przedstawiono na poniższym rysunku.



#### 1.3.4. Pirometr optyczny EP-7

Pirometr optyczny EP-7 jest piometrem monochromatycznym z zanikającym włóknem (luminancyjnym i subiektywnym). Pomiar temperatury odbywa się poprzez zrównanie obserwowanej luminancji powierzchni świecącej i luminancji świecącego włókna metalowego, nagrzewanego do różnych temperatur w zależności od wartości przepływającego przez niego prądu. Zakresy mierzonych temperatur: 800°C ÷ 1400°C i 1200°C ÷ 2000°C, emisyjność równa 1, pomiarowa długość fali 0,655µm.

#### 1.4. Program ćwiczenia:

- mierzyć temperaturę (pomiarową)  $t_p$  (w °C) ekranu (pełnego) o (założonej) emisyjności  $\epsilon_\phi=0,8$  i temperaturze równej około 300°C: piometrem PT 3LF o nastawionych emisyjnościach  $\epsilon_n=0,7$  (normal) i  $\epsilon_n=0,95$  (max), piometrem IR Miniray 100 o nastawionych emisyjnościach  $\epsilon_n=1$ ,  $\epsilon_n=0,75$  i  $\epsilon_n=0,5$ ,
- mierzyć temperaturę (pomiarową)  $t_p$  (w °C) ekranu (pełnego) o (założonej) emisyjności  $\epsilon_\phi=0,8$  i temperaturze równej około 500°C piometrem GSP 1871-01 o „nastawionej” emisyjności (emisyjności skalowania)  $\epsilon_n=1$ ,
- mierzyć piometrem monochromatycznym z zanikającym włóknem (piometrem EP-7) temperaturę (pomiarową)  $t_p$  (w °C) elementu grzejnego sylitowego o zastępczej emisyjności  $\epsilon_\phi=1$ ,
- obliczyć temperatury rzeczywiste  $t_r$  (w °C) obiektów, wykorzystując wzory:

$$T_r = T_p \sqrt[4]{\frac{\epsilon_n}{\epsilon_\phi}} \qquad T = t + 273$$

gdzie: T (w K), t (w °C).

#### 1.5. Przebieg ćwiczenia

- wstawić metalowy ekran w otwór drzwiowy sylitowego pieca oporowego,
- rozgrzać sylitowy piec komorowy przy nastawie regulatora temperatury pieca równej 350°C i przeprowadzić pomiary temperatury ekranu piometrami PT 3LF i IR Miniray 100,
- rozgrzać sylitowy piec komorowy przy nastawie regulatora temperatury pieca równej 600°C i przeprowadzić pomiary temperatury ekranu piometrem GSP 1871-01,
- wyjąć metalowy ekran i przeprowadzić pomiar temperatury elementu grzejnego sylitowego piometrem EP-7.

#### 1.6. Zawartość sprawozdania:

- schemat oraz zwięzły opis badanego układu,
- opis stosowanych piometrów,
- zestawienie wszystkich pomiarów i obliczeń,
- przytoczenie wzorów stosowanych do obliczeń,
- analiza uzyskanych wyników.

#### Literatura

1. Michalski L., Eckersdorf K., Kucharski J.: Termometria. Przyrządy i metody. Wyd. Pol. Łódzkiej, 1998.
2. Michalski L., Eckersdorf K.: Pomiary temperatury. WNT, Warszawa, 1986 wyd. III.
3. Hauser J.: Elektrotechnika. Podstawy elektrotermii i techniki świetlnej. Wyd. Pol. Poznańskiej, 2006.