

Wyznaczanie współczynnika
przewodnictwa cieplnego metalowego pręta

1 Oznaczenia

- c_p - ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu, $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
- c_{p-w} - ciepło właściwe wody przy stałym ciśnieniu, $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
- d - średnica, m
- F - powierzchnia przekroju metalowego pręta, m^2
- l - długość, m
- \dot{m}_p - strumień masy przepływającego powietrza, $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$
- \dot{m}_w - strumień masy przepływającej wody, $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$
- p_a - ciśnienie atmosferyczne, Pa
- s - grubość przegrody, m
- t_1 - temperatura wody wpływającej do chłodnicy, $^{\circ}\text{C}$
- t_2 - temperatura wody wypływającej z chłodnicy, $^{\circ}\text{C}$
- t_a - temperatura powietrza otoczenia, $^{\circ}\text{C}$
- t_{wx} - temperatura metalowego pręta w punkcie x, $^{\circ}\text{C}$
- t_{wy} - temperatura metalowego pręta w punkcie y, $^{\circ}\text{C}$
- \dot{V}_p - strumień objętości powietrza (rzeczywisty), $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- \dot{V}_w - strumień objętości przepływającej wody, $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- q - gęstość strumienia ciepła, $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
- \dot{Q}_g - strumień ciepła wytwarzany przez grzałkę, W
- \dot{Q}_{ot} - strumień ciepła tracony do otoczenia, W
- \dot{Q}_p - strumień ciepła przejmowany przez przepływające powietrze, W
- \dot{Q}_w - strumień ciepła przejmowany przez wodę chłodzącą, W
- λ - współczynnik przewodzenia ciepła, $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$
- ρ_p - gęstość powietrza, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- ρ_w - gęstość wody, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- ϕ - wilgotność względna powietrza, %

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie mechanizmów transportu energii cieplnej, w szczególności zjawiska przewodnictwa cieplnego wraz z prawem Fouriera. Doświadczalne wyznaczenie współczynnika przewodnictwa cieplnego metalowego pręta oraz wyznaczenie rozkładu temperatury na jego długości.

2. Wprowadzenie teoretyczne

Przewodzenie ciepła to zjawisko zachodzące w ciałach stałych, polegające na przekazywaniu ciepła przez stale stykające się ze sobą te same cząsteczki ciała. Gęstość przewodzonego strumienia ciepła określa **prawo Fouriera**

$$q = \frac{\lambda}{s} (t_{wx} - t_{wy}) \quad (1)$$

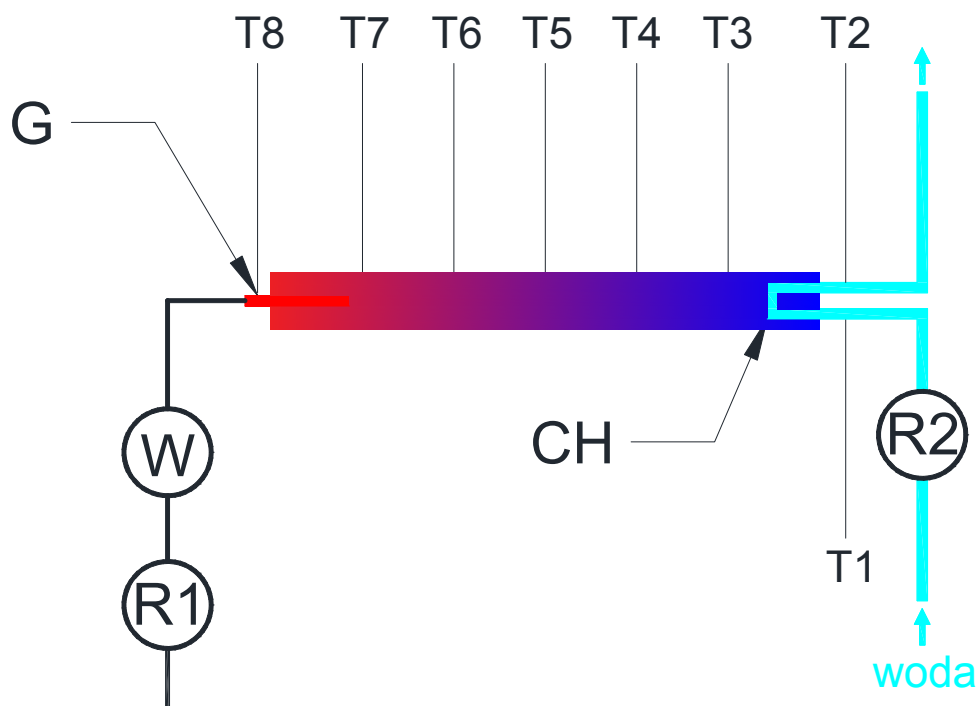
Za pomocą **współczynnika przewodzenia ciepła λ** charakteryzuje się materiały pod względem możliwości przewodzenia ciepła i określa wartość mocy cieplnej przewodzonej przez przegrodę o powierzchni 1 m^2 na długości 1 m przy jednostkowym spadku temperatury [1].

3. Eksperymentalne wyznaczanie współczynnika przewodzenia ciepła

3.1. Stanowisko pomiarowe

Stanowisko pomiarowe zostało przedstawione schematycznie na rys. 1. Głównym jego elementem jest pręt metalowy o średnicy $d = 22 \text{ mm}$. Do jednego końca pręta przymocowana jest grzałka elektryczna, a do drugiego chłodnica wodna. Taki układ zapewnia transport ciepła tylko w jednym kierunku (wzdłuż pręta). Dodatkowo w celu ograniczenia strat ciepła do otoczenia pręt umieszczono w izolacji cieplnej wykonanej z teflonu. Prąd płynący przez grzałkę elektryczną G regulowany jest przy użyciu regulatora R1, natomiast strumień objętości wody przepływającej przez chłodnicę regulowany jest za pomocą zaworu regulacyjnego R2. Do pomiaru temperatury wykorzystano termoelementy typu T. Termoelementy: T1 i T2 - mierzą temperaturę wody wpływającej i wypływającej z chłodnicy, T3 do T7 temperaturę powierzchni pręta na jego długości, a T8 - mierzy temperaturę

grzałki. Termoelementy mierzące temperaturę na powierzchni metalowego pręta są rozłożone na jego długości w odstępach, co 35 mm.



Rys. 1 Schemat stanowiska pomiarowego

T1-T8 - czujniki temperatury, R1 - regulator mocy grzałki, R2 - regulacja natężenia przepływającej wody przez chłodnicę, W - pomiar mocy, G - grzałka elektryczna, CH - chłodnica.

3.2. Wykonanie pomiarów

Przed każdą serią pomiarową należy zapisać temperaturę powietrza t_a panującą w laboratorium. W trakcie pomiaru należy zwracać szczególną uwagę na stabilność przepływu i w razie konieczności korygować strumień objętości przepływającej wody za pomocą zaworu regulacyjnego R2. Rejestracji danych można dokonać dopiero po uzyskaniu stanu ustalonego, a więc po czasie, gdy mierzona temperatura powierzchni ścianki pręta oraz przyrost temperatury wody w chłodnicy nie zmienia się w czasie.

3.3. Opracowanie wyników pomiarów

W celu wyznaczenia współczynnika przewodzenia ciepła metalowego pręta należy wcześniej obliczyć strumień ciepła odbierany przez wodę chłodzącą koniec pręta korzystając z zależności

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w c_{p_w} (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Strumień masowy wody oblicza się natomiast z zależności:

$$\dot{m}_w = \dot{V}_w \cdot \rho_w \quad (3)$$

Kolejnym krokiem jest wyliczenie strat ciepła do otoczenia korzystając z bilansu cieplnego

$$\dot{Q}_{ot} = \dot{Q}_g - \dot{Q}_w \quad (4)$$

Teraz korzystając z prawa Fouriera można policzyć współczynnik przewodzenia ciepła metalowego pręta

$$\lambda = \frac{\dot{Q}_w \cdot l}{F(t_{wx} - t_{wy})} \quad (5)$$

4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Cel ćwiczenia;
- Schemat stanowiska pomiarowego;
- Zestawienie wyników pomiarów;
- Przedstawienie toku obliczeń z przykładowymi podstawieniami do wzorów;
- Na podstawie otrzymanej wartości współczynnika przewodzenia ciepła określić, z jakiego metalu był wykonany badany pręt.
- Wykres pokazujący rozkład temperatury na długości pręta $t_w = f(l)$;
- Uwagi i wnioski.

5. Literatura

- [1] Krystyna Krygier, Tomasz Klinke, Jerzy Sewerynik „Ogrzewnictwo, wentylacja, klimatyzacja” Warszawa : Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 2000
- [2] Hobler Tadeusz "Ruch ciepła i wymienniki"
- [3] Pudlik Wiesław "Wymiana i wymienniki ciepła"

Załącznik 1 - Właściwości powietrza suchego przy ciśnieniu atmosferycznym

Tab. 1 Właściwości powietrza suchego przy ciśnieniu atmosferycznym [2, 3]

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\rho, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ | $c_p, \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ | $\lambda, \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ | $\mu, \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$ | $\nu, \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ |
|---------------------|--------------------------------------|--|---|--|------------------------------------|
| -50 | 1,534 | 1013,2 | 0,02030 | 0,000014612 | 0,00000923 |
| -20 | 1,365 | 1009,0 | 0,02250 | 0,000016279 | 0,00001161 |
| 0 | 1,252 | 1009,0 | 0,02366 | 0,000017168 | 0,00001328 |
| 10 | 1,206 | 1009,0 | 0,02448 | 0,000017751 | 0,00001416 |
| 20 | 1,164 | 1013,2 | 0,02517 | 0,000018224 | 0,00001506 |
| 30 | 1,127 | 1013,2 | 0,02575 | 0,000018668 | 0,00001600 |
| 40 | 1,092 | 1013,2 | 0,02645 | 0,000019224 | 0,00001696 |
| 50 | 1,056 | 1017,4 | 0,02714 | 0,000019613 | 0,00001795 |
| 60 | 1,025 | 1017,4 | 0,02796 | 0,000020113 | 0,00001897 |
| 70 | 0,996 | 1017,4 | 0,02854 | 0,000020390 | 0,00002002 |
| 80 | 0,968 | 1021,6 | 0,02923 | 0,000020974 | 0,00002109 |
| 90 | 0,942 | 1021,6 | 0,02993 | 0,000021585 | 0,00002210 |
| 100 | 0,916 | 1021,6 | 0,03062 | 0,000021779 | 0,00002313 |
| 120 | 0,870 | 1025,8 | 0,03190 | 0,000022751 | 0,00002545 |
| 140 | 0,827 | 1025,8 | 0,03318 | 0,000023530 | 0,00002780 |
| 160 | 0,789 | 1029,9 | 0,03434 | 0,000024113 | 0,00003009 |
| 180 | 0,755 | 1034,1 | 0,03561 | 0,000025002 | 0,00003249 |
| 200 | 0,723 | 1034,1 | 0,03689 | 0,000025891 | 0,00003485 |

Załącznik 2 - Właściwości wody przy ciśnieniu atmosferycznym

Tab. 2 Właściwości wody przy ciśnieniu atmosferycznym [2]

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\rho, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ | $c_p, \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ | $\lambda, \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ | $\mu, \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$ | $\nu, \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ |
|---------------------|--------------------------------------|--|---|--|------------------------------------|
| 0 | 998,8 | 4237,04 | 0,551 | 0,001 789 | 0,000 001 792 |
| 10 | 999,6 | 4211,92 | 0,575 | 0,001304 | 0,000 001 308 |
| 20 | 998,2 | 4203,54 | 0,599 | 0,001 000 | 0,000 001 007 |
| 30 | 995,6 | 4199,36 | 0,618 | 0,000 801 | 0,000 000 804 |
| 40 | 992,2 | 4199,36 | 0,634 | 0,000 653 | 0,000 000 661 |
| 50 | 988,0 | 4199,36 | 0,648 | 0,000 549 | 0,000 000 556 |
| 60 | 983,2 | 4203,55 | 0,659 | 0,000 471 | 0,000 000 477 |
| 70 | 977,7 | 4211,92 | 0,668 | 0,000 406 | 0,000 000 415 |
| 80 | 971,8 | 4216,11 | 0,675 | 0,000 356 | 0,000 000 667 |
| 90 | 965,3 | 4224,48 | 0,680 | 0,000 315 | 0,000 000 328 |
| 100 | 958,3 | 4228,67 | 0,683 | 0,000 282 | 0,000 000 296 |