

Ćwiczenie Nr 8

Temat: **WYZNACZANIE WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA  
PRZEWODZENIA CIEPŁA „λ” DLA IZOLACJI PRZEWODU**

**Celem ćwiczenia** jest zapoznanie studentów z metodą pomiaru strat ciepła w instalacji ogrzewczej w przewodach izolowanych i nieizolowanych. Znajomość tego zagadnienia jest przydatna w określaniu i doborze izolacji termicznej przewodów.

*A. Zakres przygotowania teoretycznego obowiązującego studentów przed przystąpieniem do ćwiczenia.*

1. Materiały i wyroby termoizolacyjne [1, 6]
  - 1.1. terminologia:
    - pojęcia ogólne,
    - rodzaje materiałów lub wyrobów,
    - własności charakterystyczne.
  - 1.2. klasyfikacja:
    - kryteria klasyfikacji,
    - podział materiałów i wyrobów termoizolacyjnych w zależności od: surowców wyjściowych, struktury, kształtu, zawartości lepiszcza, palności.
2. Wybrane problemy wymiany ciepła [5, 6]:
  - ustalone przewodzenie ciepła przez przegrodę płaską, walcową i kulistą [6],
  - przenikanie ciepła przez przegrodę płaską, walcową, kulistą [6].
3. Definicje wielkości fizycznych stosowanych w dziedzinie izolacji cieplnej [3, 4]:
  - strumień cieplny,
  - współczynnik przewodzenia ciepła,
  - opór cieplny liniowy i powierzchniowy,
  - współczynnik przenikania ciepła,
  - ciepło właściwe,
  - współczynnik wyrównania temperatur.
4. Własności materiałów do izolacji cieplnej przewodów i armatury [2]:
  - wymagania ogólne,
  - wymagania dotyczące izolacji właściwej,
  - wymagania dotyczące płaszcza ochronnego,
  - minimalna grubość izolacji.
5. Wymagania dotyczące wykonywania izolacji cieplnych [2]:
  - izolacja właściwa przewodów i urządzeń,
  - izolacja armatury i połączeń kołnierzowych,
  - płaszcz ochronny,
  - konstrukcje wsporcze.

6. Zakres stosowania izolacji cieplnych w instalacjach i sieciach [2]:
  - instalacje centralnego ogrzewania,
  - instalacje ciepłej wody użytkowej,
  - sieci ciepłownicze.
7. Grubość izolacji termicznej przewodów rurowych [6]:
  - straty ciepła w przewodach izolowanych,
  - określenie grubości izolacji,
  - krytyczna grubość izolacji,
  - optymalna (ekonomiczna) grubość izolacji cieplnej.

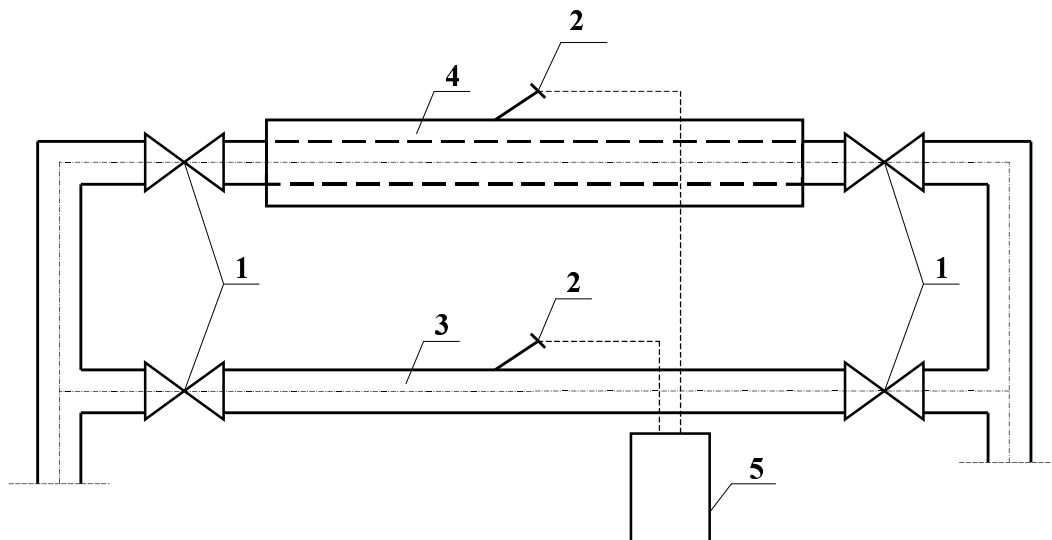
**B. Część doświadczalna ćwiczenia.**

1. Wykonanie pomiarów

Część doświadczalna ćwiczenia odbywa się na stanowisku pomiarowym w węzła wielofunkcyjnego budynku Wydziału. Dokonuje się pomiaru temperatury otoczenia i czynnika wewnątrz w przewodzie izolowanym i nieizolowanym instalacji c.o.

2. Wielkości mierzone [2]

- średnice przewodów izolowanego i nieizolowanego,
- temperatura otoczenia,
- temperatura czynnika wewnątrz przewodu izolowanego i nieizolowanego w stanie równowagi,
- temperatura czynnika wewnątrz przewodu izolowanego i nieizolowanego w trakcie jego stygnięcia w określonych odstępach czasu.



1. Zawory odcinające
2. Czujniki PT 100
3. Przewód nieizolowany
4. Przewód izolowany
5. Rejestrator

Rys 1. Schemat stanowiska pomiarowego

---

3. Tabela wyników pomiarów oraz wielkości obliczonych

Przewód nieizolowany:

Lp.	$d_r$	$d_i$	$t_e$	$t_p$	$t_{i1}$	$\tau$	$K_l$	$\lambda_r$
	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>s</i>	<i>W/mK</i>	<i>W/mK</i>

Przewód izolowany:

Lp.	$d_{izol}$	$d_r$	$d_i$	$l_1$	$l_2$	$t_e$	$t_p$	$t_{i2}$	$\tau$	$K_{l-izol}$	$\lambda_{izol}$
	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>s</i>	<i>W/mK</i>	<i>W/mK</i>

Oznaczenia:

- $d_{pl} = d_{izol}$  - średnica zewnętrzna izolacji przewodu, płaszcza izolacji [m];
- $d_i$  - średnica wewnętrzna przewodu, [m];
- $d_r$  - średnica zewnętrzna przewodu, (średnica wewnętrzna izolacji termicznej przewodu) [m];
- $l_1$  - długość odcinka pomiarowego przewodu izolowanego (część bez izolacji termicznej), [m];
- $l_2$  - długość odcinka pomiarowego przewodu izolowanego (część z izolacją termiczną), [m];
- $\tau$  - czas pomiaru (stygnięcia), [s];
- $t_e$  - temperatura otoczenia [K];
- $t_p$  - temperatura czynnika wewnątrz przewodu w stanie równowagi, [K];
- $t_{i1}$  - temperatura czynnika wewnątrz przewodu bez izolacji, [K];
- $t_{i2}$  - temperatura czynnika wewnątrz przewodu izolowanego, [K];
- $c_w$  - ciepło właściwe wody dla temperatury średniej  $\frac{t_p + t_i}{2}$ , [J/kg K];
- $K_l$  - współczynnik przenikania ciepła przewodu nieizolowanego odniesiony do długości, [W/mK];
- $K_{l-izol}$  - współczynnik przenikania ciepła przewodu izolowanego odniesiony do długości, [W/mK];
- $\lambda_r$  - wartość współczynnika przewodzenia ciepła przewodu stalowego, [W/mK];
- $\lambda_{izol}$  - wartość współczynnika przewodzenia ciepła izolacji termicznej przewodu, [W/mK]

4. Opracowanie wyników pomiarów

4.1. Graficzne wyznaczenie rozkładu temperatury w izolacji termicznej przewodu

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów należy wyznaczyć rozkład temperatury w izolacji termicznej (pianka poliuretanowa) przewodu badanego w stanie równowagi – wyjściowym.

Wyznaczenie rozkładu temperatury wzdłuż grubości izolacji przewodu.

Strumień ciepły dla ścianki cylindrycznej dla warunków stacjonarnych:

$$Q = -\lambda F \frac{dt}{dr} = -\lambda (2 \pi r l) \frac{dt}{dr}$$

gdzie:

$F = 2 \pi r l$  – rozpatrywane pole wymiany ciepła ścianki cylindrycznej;

$r_r / r_{izol}$  – promień rozpatrywanej powierzchni (wewnętrzny / zewnętrzny);

$l$  – długość przewodu.

Stąd po rozdzieleniu zmiennych:

$$dt = -\frac{Q}{2 \pi \lambda l r} dr$$

po obustronnym scałkowaniu dla warunków granicznych  $t: t_i \rightarrow t_e$  i  $r: r_r \rightarrow r_{izol}$ :

$$t_i - t_e = \frac{Q}{2 \pi \lambda l} \ln \frac{r_{izol}}{r_r}$$

Wzór ogólny zmiany temperatury wzdłuż grubości izolacji termicznej rurociągu:

$$t(r) = t_i - \frac{(t_i - t_e)}{\ln \frac{r_{izol}}{r_r}} \ln \frac{r}{r_r}$$

4.2. Określenie wartości współczynnika przenikania ciepła

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów obliczyć wartości współczynnika przenikania ciepła dla przewodu izolowanego i nieizolowanego.

Bilans wymiany ciepła:

$$\left\{ \begin{array}{l} dQ = -m c_w dt \\ dQ = K F (t_i - t_e) d\tau \end{array} \right.$$

$F$  - powierzchnia wymiany ciepła między przewodem a otoczeniem na długości odcinka pomiarowego, [m<sup>2</sup>];

$t_i$  - temperatura czynnika wewnątrz przewodu, [K].

Bilans wymiany ciepła dla przewodu rurowego z izolacją termiczną:

$$\left\{ \begin{array}{l} dQ = -\frac{\pi d_i^2}{4} \rho (l_1 + l_2) c_w dt \\ dQ = (K_1 \pi d_i l_1 (t_i - t_e) + K_2 \pi d_i l_2 (t_i - t_e)) d\tau \end{array} \right.$$

$$-\frac{\pi d_i^2}{4} \rho (l_1 + l_2) c_w dt = (K_l l_1 + K_{l-izol} l_2) (t_i - t_e) d\tau$$

Po rozdzieleniu zmiennych:

$$\frac{-\rho \pi d_i^2 (l_1 + l_2) c_w}{4(K_l l_1 + K_{l-izol} l_2)} \frac{dt}{t_i - t_e} = d\tau$$

Po obustronnym scałkowaniu:

$$\frac{-\rho \pi d_i^2 (l_1 + l_2) c_w}{4(K_l l_1 + K_{l-izol} l_2)} \ln(t_i - t_e) = \tau + C$$

Dla warunku  $\tau = 0 \quad t_i = t_p$  otrzymujemy:

$$\frac{-\rho \pi d_i^2 (l_1 + l_2) c_w}{4(K_l l_1 + K_{l-izol} l_2)} \ln(t_p - t_e) = C$$

$$\frac{-\rho \pi d_i^2 (l_1 + l_2) c_w}{4(K_l l_1 + K_{l-izol} l_2)} \ln(t_i - t_e) + \frac{\rho \pi d_i^2 (l_1 + l_2) c_w}{4(K_l l_1 + K_{l-izol} l_2)} \ln(t_p - t_e) = \tau$$

$$\frac{\rho \pi d_i^2 (l_1 + l_2) c_w}{4(K_l l_1 + K_{l-izol} l_2)} \ln \frac{t_p - t_e}{t_i - t_e} = \tau$$

Stąd współczynnik przenikania ciepła przewodu rurowego z izolacją termiczną w odniesieniu do jego średnicy wewnętrznej  $d_i$  określony jest zależnością:

$$K_{l-izol} = \frac{\rho \pi d_i^2 (l_1 + l_2) c_w}{4\tau l_2} \ln \frac{t_p - t_e}{t_i - t_e} - K_l \frac{l_1}{l_2}$$

Współczynnik przenikania ciepła przewodu rurowego bez izolacji termicznej w odniesieniu do jego średnicy wewnętrznej  $d_i$  określony jest zależnością:

$$K_l = \frac{\rho \pi d_i^2 c_w}{4\tau} \ln \frac{t_p - t_e}{t_i - t_e}$$

Obliczyć wartość współczynnika przenikania ciepła  $K_{l-izol}$  przewodu z izolacją termiczną oraz  $K_l$  przewodu bez izolacji termicznej przy wychłodzeniu czynnika wewnątrz przewodów np.:  $t_p - t_i = 10^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$ .

- 4.3. Określenie teoretycznej wartości współczynnika przenikania ciepła dla przewodu nieizolowanego w odniesieniu do 1mb przewodu.

Dla przewodu bez izolacji termicznej:

$$\frac{1}{K_l} = \frac{1}{\Pi \alpha_1 d_i} + \frac{1}{2\Pi \lambda_r} \ln \frac{d_r}{d_i} + \frac{1}{\Pi \alpha_2 d_r}$$

- 4.4. Określenie teoretycznej wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji termicznej przewodu w odniesieniu do 1mb.

Dla przewodu izolowanego termicznie:

$$\frac{1}{K_{l-izol}} = \frac{1}{\Pi \alpha_1 d_i} + \frac{1}{2\Pi \lambda_r} \ln \frac{d_r}{d_i} + \frac{1}{2\Pi \lambda_{izol}} \ln \frac{d_{izol}}{d_r} + \frac{1}{2\Pi \lambda_{pl}} \ln \frac{d_{pl}}{d_{izol}} + \frac{1}{\Pi \alpha_{2-izol} d_{pl}}$$

Ponieważ  $d_{pl} \cong d_{izol}$ , stąd:

$$\frac{1}{K_{l-izol}} = \frac{1}{\Pi \alpha_1 d_i} + \frac{1}{2\Pi \lambda_r} \ln \frac{d_r}{d_i} + \frac{1}{2\Pi \lambda_{izol}} \ln \frac{d_{izol}}{d_r} + \frac{1}{\Pi \alpha_{2-izol} d_{pl}}$$

Wg literatury wartość współczynnika przejmowania ciepła dla przewodu izolowanego w pomieszczeniu można przyjąć  $\alpha_{2-izol} = 9,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  a dla nieizolowanego  $\alpha_2 = 6 - 8 \text{ W/m}^2\text{K}$  oraz  $\alpha_1 = 800 - 1200 \text{ W/m}^2\text{K}$  dla badanego układu.

Na podstawie powyższego wzoru wyznaczyć wartość współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda_{izol}$  dla izolacji termicznej.

## 5. Analiza błędów

Porównanie wartości współczynnika  $K_{l-izol}$  obliczonego oraz wyznaczonego z pomiarów dla przewodu izolowanego.

Porównanie wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji termicznej  $\lambda_{izol}$  obliczonego oraz podanego przez producenta izolacji.

Analiza opisowa i wyjaśnienie przyczyn różnic wartości obliczonych na podstawie pomiarów i wartości określonych na podstawie literatury.

### Literatura:

1. PN-89/B-04620; „Materiały i wyroby termoizolacyjne. Terminologia i klasyfikacja”.
2. PN-B-02421: 2000, „Izolacja cieplna przewodów, armatury i urządzeń. Wymagania i badania odbiorcze”.
3. PN-EN ISO 7345: 1998; „Izolacja cieplna. Własności fizyczne i definicje”.
4. PN-EN ISO 8497: 1999; „Określenie właściwości w zakresie przepływu ciepła w stanie ustalonym przez izolacje cieplne przewodów rurowych”.
5. PN-EN ISO 9251: 1998; „Warunki wymiany ciepła i właściwości materiałów. Słownik”.
6. Górzyński J. „Przemysłowe izolacje cieplne”, Sorus Poznań 1996r, rozdział 3 (str.56-94), rozdział 5 (str.149-159, 163-166, 196-199), pkt 7.5.3 (str.250-251);
7. Pieńkowski K., Krawczyk D., Tumel W. „Ogrzewnictwo tom 1”, Białystok, 1999r, rozdział 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 (str.11-31, 39-42);
8. Katalogi producentów: GULLFIBER-ISOVER, ARMACELL