

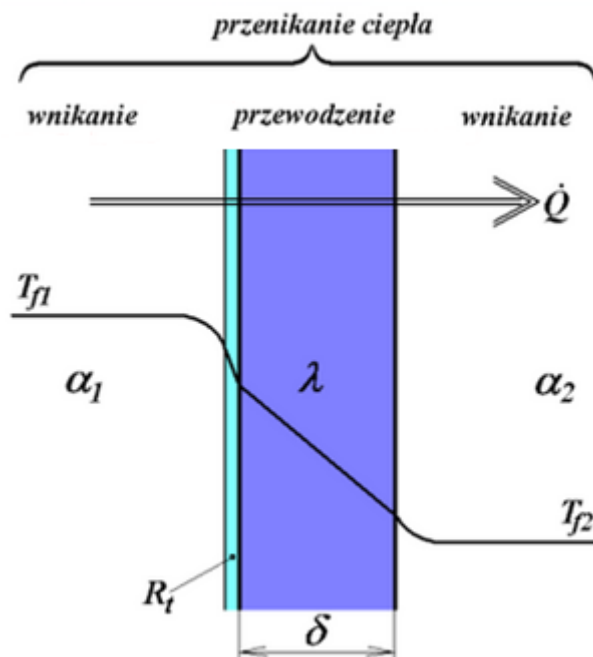
WYMIENNIK CIEPŁA TYPU „RURA W RURZE” – WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW WNIKANIA I PRZENIKANIA CIEPŁA

1. Wprowadzenie

Wymiennik ciepła typu „rura w rurze” jest zbudowany z rur o dwóch różnych średnicach, przy czym rura o średnicy mniejszej jest umieszczona centrycznie w rurze o średnicy większej. Jeden czynnik przepływa więc rurą wewnętrzną, a drugi – przestrzenią pierścieniową między rurami. W przypadku gdy płynący przewodem płyn (gaz lub ciecz) ma temperaturę różną od temperatury ściany przewodu wówczas występuje ruch (przenoszenie) ciepła pomiędzy ścianą przewodu i płynem. Rozróżniamy trzy rodzaje ruchu ciepła:

- **Przewodzenie** – zachodzi w obrębie ciała stałego lub w nieruchomych płynach i odbywa się na zasadzie przekazywania energii między cząstkami ciała (λ).
- Przepływ ciepła przez **konwekcję** zachodzi w płynach i odbywa się w ten sam sposób, że ciepło jest transportowane razem z będącym w ruchu czynnikiem i przekazywane ścianie o innej niż płyn temperaturze (lub pobierane przez czynnik od ściany). Proces taki nazywa się wnikaniem (przejmowaniem) ciepła.
- **Promieniowanie** polega na emisji i absorpcji energii promienistej, którą jedno ciało oddaje drugiemu poprzez warstwę ośrodka.

W praktyce najczęściej występuje złożony przypadek ruchu ciepła między dwoma czynnikami oddzielonymi od siebie przegrodą zwany **przenikaniem** ciepła.



Ruch ten występuje na powierzchni międzyfazowej ciało stałe-płyn. Intensywność tego ruchu jest proporcjonalna do iloczynu powierzchni międzyfazowej (równej powierzchni ściany przewodu) i charakterystycznej różnicy temperatur ściany i płynu. Zależność tę wyraża równanie Newtona:

$$\dot{Q} = \alpha A \Delta T \quad (1)$$

gdzie:

\dot{Q} - strumień cieplny, którego kierunek jest zgodny z kierunkiem gradientu temperatury [W],

A - powierzchnia wymiany ciepła [m²],

ΔT - różnica temperatur ścianki wymiennika i płynu (lub odwrotnie) [K],

α - współczynnik wnikania ciepła [W/m²·K].

Liczbowe wartości współczynników wnikania ciepła (α) oraz ich charakter są bezpośrednio związane z definicjami powierzchni wymiany ciepła (A) i charakterystycznej różnicy temperatur (ΔT). Dla rur okrągłych o jednolitym przekroju poprzecznym, które są całkowicie wypełnione płynącą cieczą, powierzchnia wymiany ciepła jest definiowana jako powierzchnia zwilżana, przez którą ciepło jest transportowane. Jest ona równa:

$$A = \pi DL \quad (2)$$

gdzie:

D - średnica [m],

L - długość rury [m].

Charakterystyczna różnica temperatur może być definiowana w różny sposób lecz najczęściej jest wyrażana jako średnia logarytmiczna:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (3),$$

gdzie:

ΔT_1 - różnica temperatur na wlocie do wymiennika [K],

ΔT_2 - różnica temperatur na wylocie z wymiennika [K].

Dla ustalonego przepływu płynu strumień cieplny określa równanie:

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_1 - T_2) \quad (4),$$

gdzie:

\dot{m} - masowe natężenie przepływu płynu [kg/s],

c_p - ciepło właściwe płynu [J/kg·K],

T_1 - średnia temperatura płynu w przekroju „1” wymiennika [K],

T_2 - średnia temperatura płynu w przekroju „2” wymiennika [K].

Wyprowadzenie korelacji (5) oparte jest na założeniu, że własności fizyczne płynącego medium są w badanym zakresie temperatur stałe.

$$Nu = f\left(\text{Re}, \text{Pr}, \text{Br}, \frac{L}{D}\right) \quad (5).$$

Tabela 1. Liczby bezwymiarowe

Liczba	Wzór	Oznaczenia
liczba Nusselta	$Nu = \frac{\alpha D}{\lambda}$	gdzie: α - współczynnik wnikania ciepła [W/m ² ·K], D - wewnętrzna średnica rury [m],
liczba Reynoldsa	$Re = \frac{wD\rho}{\eta}$	λ - współczynnika przewodzenia ciepła [W/m·K], w - prędkość płynu [m/s],
liczba Prandtla	$Pr = \frac{c_p \eta}{\lambda}$	ρ - gęstość płynu [kg/m ³], η - lepkość dynamiczna płynu [Pa·s],
liczba Brinkmana	$Br = \frac{\eta w^2}{\lambda \Delta T_m}$	ΔT_m - średnia logarytmiczna różnica temperatur [K].

W większości praktycznych przypadków energia wytwarzana w wyniku tarcia wewnętrznego płynu (lepkościowa dyssypacja energii) jest mała i dlatego liczba Brinkmana może być zaniedbana. Wtedy równanie (5) sprowadza się do postaci:

$$Nu = f\left(Re, Pr, \frac{L}{D}\right) \quad (6).$$

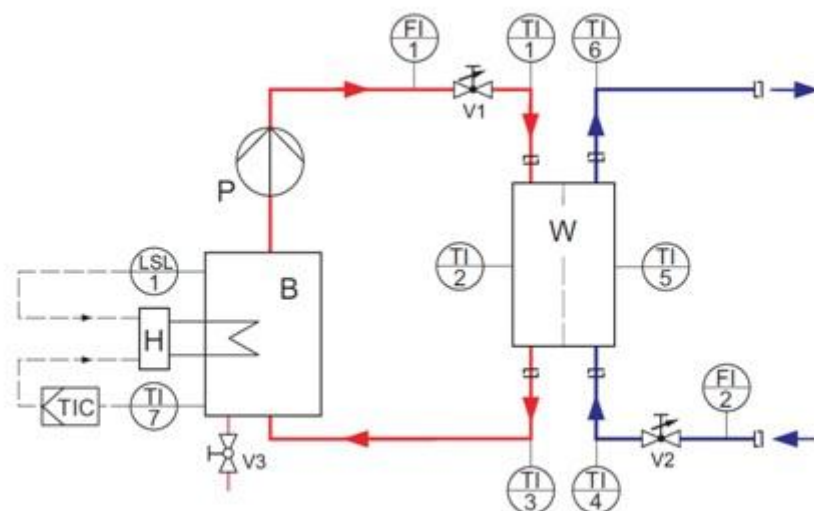
Jeżeli jest znany gradient temperatury płynu przepływającego przewodem, to można określić dokładną postać funkcji (6). Szczegółowe korelacje dla wnikania ciepła w warunkach przepływu laminarnego i burzliwego podano w literaturze.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynników wnikania i przenikania ciepła w przeciwprądowym i współprądowym wymienniku ciepła typu „rura w rurze” oraz porównanie wartości doświadczalnych z obliczonymi teoretycznie za pomocą odpowiednich korelacji.

3. Aparatura i metodyka pomiarów

Schemat aparatury doświadczalnej przedstawiono na rys.1. Zasadniczym elementem stanowiska jest wymiennik ciepła typu „rura w rurze”. Powierzchnię grzejną wymiennika stanowi rura wewnętrzna ze stali nierdzewnej ($\lambda = 58$ W/m·K) o średnicy wewnętrznej $d_1 = 10$ mm i grubości ścianki $s_1 = 1$ mm. Średnica wewnętrzna rury zewnętrznej z poli(metakrylan)metylu wynosi $d_2 = 16$ mm, zaś grubość ścianki $s_2 = 2$ mm. Długość rur wynosi $L = 360$ mm. Rurą wewnętrzną przepływa woda gorąca, w przekroju pierścieniowym natomiast woda zimna. Temperaturę wody gorącej na wlocie **TI1** i wylocie **TI3** oraz zimnej na wlocie **TI4** i na wylocie **TI6** mierzy się termometrami elektronicznymi, a regulacja i pomiary natężenia przepływów dokonywane są za pomocą przepływomierzy **FI1** i **FI2**, zainstalowanych na przewodach zasilających i wyskalowanych w l/min.



Rys. 1. Schemat aparatury wymiennika ciepła typu "rura w rurze"

B – zbiornik wody gorącej; H – podgrzewacz wody gorącej; P – pompa wody gorącej;
 W – wymiennik ciepła; V1 – zawór regulujący wodę gorącą; V2 – zawór regulujący wodę zimną; V3 – zawór kulowy; FI1 – przepływ wody gorącej; FI2 – przepływ wody zimnej;
 TI1 – temperatura wody gorącej na wlocie; TI2 – temperatura wody gorącej w wymienniku;
 TI3 – temperatura wody gorącej na wylocie; TI4 – temperatura wody zimnej na wlocie;
 TI5 – temperatura wody zimnej w wymienniku; TI6 – temperatura wody zimnej na wylocie.

Metodyka pomiarów:

Badania nad wnikaniem i przenikaniem ciepła w wymienniku typu „rura w rurze” obejmują określenie zależności współczynników wnikania i przenikania ciepła od natężenia przepływu cieczy zarówno w rurze wewnętrznej, jak i w przekroju pierścieniowym. Przed rozpoczęciem pomiaru należy wykonać następujące czynności:

- włączyć główne zasilanie;
- ustalić jak będzie przepływała woda w wymienniku (przeciwprąd czy współprąd),
- uruchomić pompę P;
- włączyć sterowanie podgrzewaniem wody H;
- ustalić zaworami przepływomierzy FI1 i FI2 podane przez prowadzącego natężenia przepływu wody gorącej i zimnej.

Właściwy pomiar rozpoczyna się wówczas, gdy w aparaturze doświadczalnej ustali się stan równowagi cieplnej. Stan ten charakteryzuje się stałością temperatur wody gorącej i zimnej na wlocie i wylocie z wymiennika.

W chwili rozpoczęcia pomiaru należy zanotować temperatury wody gorącej i zimnej na wlocie i wylocie z wymiennika TI1, TI3, TI4 i TI6 oraz natężenia przepływu wody gorącej i zimnej. Następnie zmienić natężenia przepływu, odczekać 10 min i wykonać pomiar.

Po wykonaniu pomiarów dla wymiennika ciepła pracującego w przeciwprądzie/współprądzie zamienić na współprąd/przeciwprąd. I powtórzy pomiary.

Po zakończeniu pomiarów należy zakręcić zawory, wyłączyć podgrzewanie wody oraz pompę, a na końcu zasilanie główne.

4. Opracowanie wyników

Doświadczalne wartości współczynników przenikania ciepła k_d oblicza się ze wzoru Pecleta:

$$\dot{Q} = k_d A_m \Delta T_m \quad (7),$$

gdzie:

A_m – średnia logarytmiczna powierzchnia wymiany ciepła [m^2],

ΔT_m – średnia logarytmiczna różnica temperatur [K].

W warunkach przepływu ustalonego strumień cieplny wyznacza się z bilansu wody gorącej:

$$\dot{Q} = \dot{m}_g c_p (T_1 - T_3) \quad (8).$$

Obliczenia teoretycznych wartości współczynników przenikania ciepła należy przeprowadzić wg równania (9):

$$\frac{1}{k_t} = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_z} \quad (9).$$

Współczynniki wnikania ciepła dla wody gorącej i zimnej należy obliczyć wg odpowiednich korelacji.