



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ CHEMICZNY

LABORATORIUM ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

Katedra Aparatury i Maszynoznawstwa Chemicznego

Wydział Chemiczny Politechniki Gdańskiej

INSTRUKCJA LABORATORYJNA NR 6-WC

WYMIENNIK CIEPŁA



Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania wymiennika ciepła i sposobem obliczania wymienników.

WPROWADZENIE:

Przenoszenie ciepła towarzyszy przebiegowi różnych zjawisk. Jest także niezwykle ważnym elementem w procesach technologicznych. W zastosowaniach technicznych procesy wymiany ciepła realizowane są celowo w urządzeniach, zwanych wymiennikami ciepła.

Wymiennikiem ciepła nazywamy aparat, służący do wymiany ciepła pomiędzy dwoma czynnikami bez konieczności mieszania ich.

Teoria rekuperatora przeciwprądowego:

Dla uproszczenia przyjmiemy, że w procesie wymiany ciepła uczestniczą dwa czynniki, a współczynnik przenikania ciepła k jest stały w czasie.

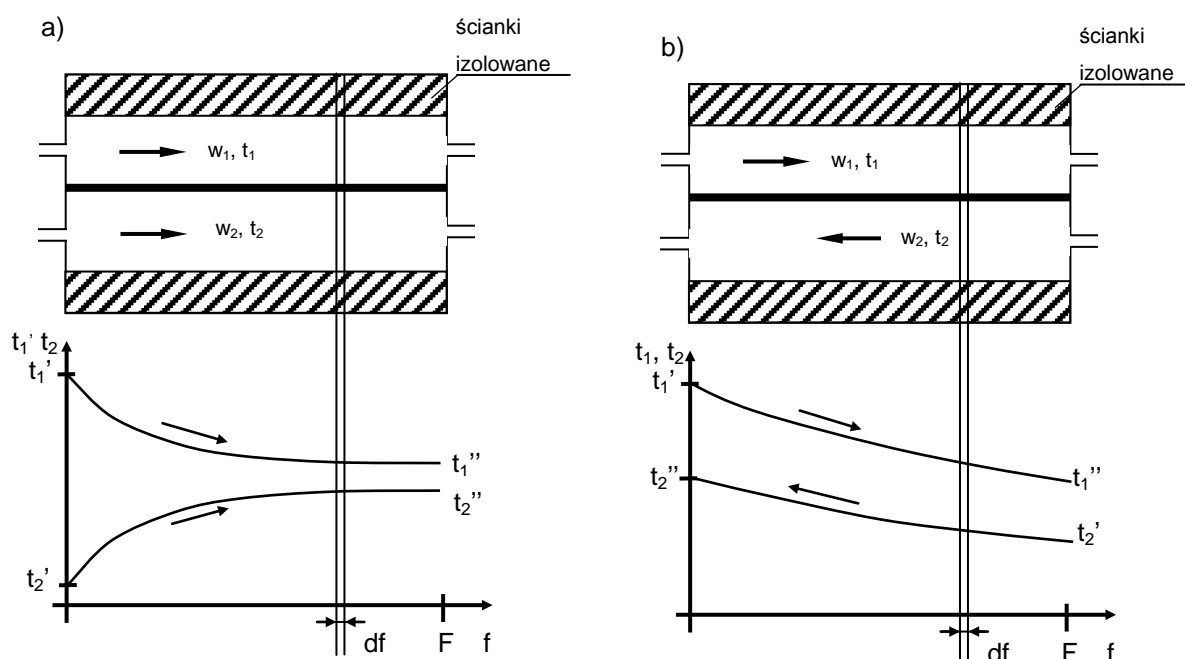
W rekuperatorach możliwy jest przepływ czynników w tym samym kierunku – *współprąd* lub w kierunkach przeciwnych – *przeciwprąd*.

Wprowadzamy oznaczenia:

t_1, t_2 – miejscowe temperatury czynników (indeks ' – na wlocie, indeks '' – na wylocie),

c_{p1}, c_{p2} – wartości ciepła właściwego czynników,

f – powierzchnia omywana przez czynnik, liczona od wlotu.



Rys.1. Rozkład temperatury w rekuperatorze: a) współprądowym, b) przeciwprądowym

Analizując rysunek 1 można stwierdzić, że w przypadku wymiennika współprądowego czynnik przejmujący ciepło może się ogrzać co najwyżej do najniższej temperatury czynnika grzejącego, a w przypadku przeciwprądu – do jego najwyższej temperatury.

Wniosek:

Wymiennik przeciwprądowy jest wydajniejszy (z punktu widzenia użytej powierzchni) niż wymiennik współprądowy.

Założenie: Wymiana ciepła odbywa się tylko przez ściankę nieizolowaną, oddzielającą czynniki.

Strumień ciepła wymienianego przez ściankę płaską:

$$d\dot{Q} = qdf = k(t_1 - t_2)df \quad (1)$$

więc:
$$\dot{Q} = \int_0^F qdf = \int_0^F k(t_1 - t_2)df = k\overline{(t_1 - t_2)}F, \quad (2)$$

gdzie: $\overline{\Delta t} = \overline{(t_1 - t_2)} = \frac{1}{F} \int_0^F (t_1 - t_2)df$ jest średnim spadkiem temperatury.

Strumień ciepła, wymieniany izobarycznie na powierzchni f , obliczamy na podstawie bilansu, zgodnie z rysunkiem 1:

$$\dot{Q} = -\dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot (t_1 - t_1') = \dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_2 - t_2'). \quad (3)$$

Wprowadzając pojęcie pojemności cieplnej (właściwie: strumienia pojemności cieplnej) obu czynników:

$$W_1 = \dot{m}_1 \cdot c_{p1} \quad \text{i} \quad W_2 = \dot{m}_2 \cdot c_{p2} \quad (4)$$

i różniczkując równanie (1) otrzymujemy:

$$d\dot{Q} = -W_1 dt_1 = W_2 dt_2, \quad (5)$$

z czego: $dt_1 = -\frac{d\dot{Q}}{W_1}$ i $dt_2 = \frac{d\dot{Q}}{W_2}$ oraz: $d(t_1 - t_2) = dt_1 - dt_2 = -d\dot{Q} \left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2} \right)$. (6)

Oznaczając $M = \frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2}$ i biorąc pod uwagę wzór (1), otrzymujemy ze wzoru (6):

$$d(t_1 - t_2) = -kM(t_1 - t_2)df. \quad (7)$$

Rozwiązaniem równania (7), zapisanego w postaci:

$$\frac{d(\Delta t)}{\Delta t} = -kMdf \quad (8)$$

z uwzględnieniem warunku brzegowego: $f=0$, wówczas $\Delta t = \Delta t'$, jest:

$$\ln(\Delta t) + C = -kMf \quad \text{i} \quad \ln(\Delta t') + C = 0, \quad \text{czyli} \quad C = -\ln(\Delta t') \quad (9)$$

więc:
$$\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'} = -kMf, \quad (10)$$

czyli:
$$\Delta t = \Delta t' \cdot \exp(-kMf)$$

$$t_1 - t_2 = (t_1' - t_2') \cdot \exp(-kMf). \quad (11)$$

Następnie obliczamy wartość średnią różnicy temperatury (t_1-t_2):

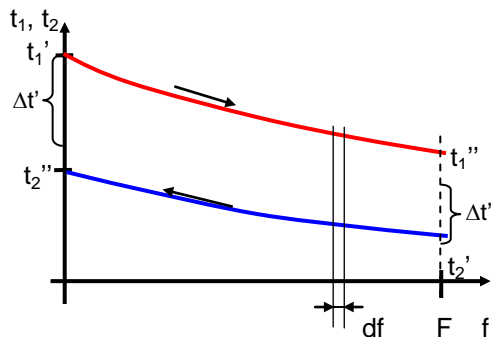
$$\overline{\Delta t} = \overline{(t_1 - t_2)} = \frac{1}{F} \int_0^F (\Delta t) df = \frac{\Delta t'}{F} \int_0^F \exp(-kMf) df = \frac{\Delta t'}{-kMF} [\exp(-kMF) - 1] \quad (12)$$

Uwzględniając równanie (10) oraz (11) otrzymujemy z równania (12):

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t'}{\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'}} \left[\exp \left(\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'} \right) - 1 \right] = \frac{\Delta t'}{\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'}} \cdot \left[\frac{\Delta t}{\Delta t'} - 1 \right] = \frac{\Delta t - \Delta t'}{\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'}} \quad (13)$$

W szczególności: $\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln \frac{\Delta t'}{\Delta t''}}$ i ostatecznie, ponieważ: $\Delta t' = t_1' - t_2''$ i $\Delta t'' = t_1'' - t_2'$ (rys.2), to:

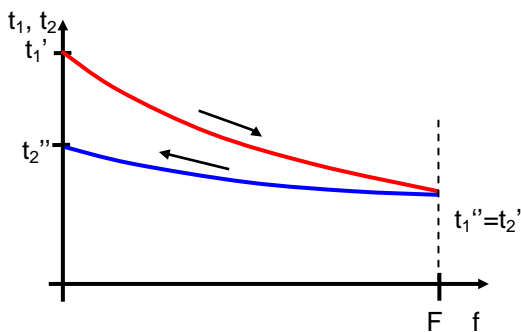
$$\overline{\Delta t} = \overline{(t_1 - t_2)} = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}} \quad (14)$$



Rys.2. Ilustracja definicji różnicy temperatury czynników w rekuperatorze przeciwbieżnym

Obliczanie rekuperatorów sprowadza się do ustalenia średniego spadku temperatury, przy założeniu: $k = \text{const}$, $W_1 = \text{const}$, $W_2 = \text{const}$ (14).

Efektywność rekuperatorów przeciwbieżnych



Podstawową wielkością, charakteryzującą rekuperator, jest efektywność (sprawność) rekuperatora:

$$\Phi = \frac{t_1' - t_1''}{t_1' - t_2'} \quad (15)$$

Rys.3. Ilustracja hipotetycznego przypadku rekuperatora o jednostkowej efektywności

Współczynnik efektywności wynosiłby 1, gdyby czynnik cieplejszy został ochłodzony do początkowej temperatury czynnika zimniejszego ($t_1''=t_2$) (Rys.3), co wymaga nieskończonej powierzchni wymiany ciepła, a zatem zawsze: $\Phi < 1$.

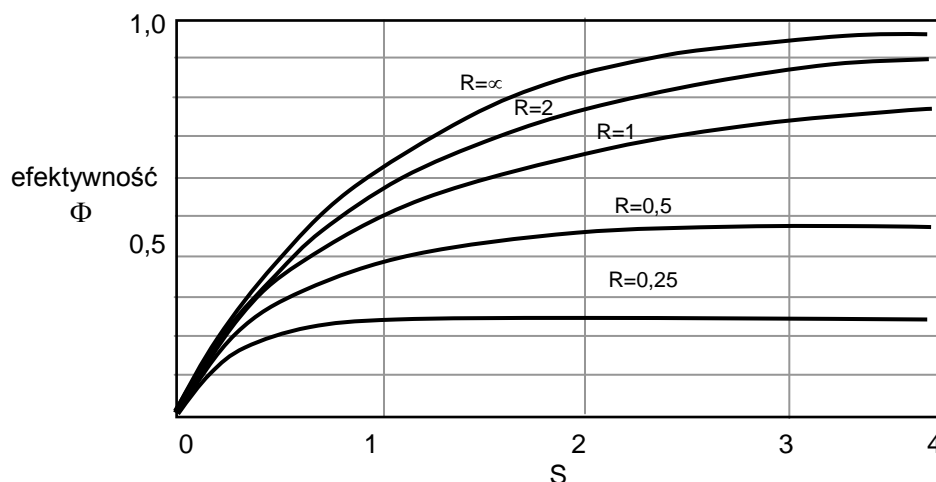
Efektywność rekuperatora można wyrazić jako funkcję parametrów R i S , zdefiniowanych następująco:

$$R = \frac{W_2}{W_1}, \quad S = \frac{kF}{W_1}, \quad (16)$$

postaci:

$$\Phi = \frac{1 - e^{-\left(1 - \frac{1}{R}\right)S}}{1 - \frac{1}{R} e^{-\left(1 - \frac{1}{R}\right)S}}. \quad (17)$$

Zależność efektywności rekuperatora przeciwprądowego $\Phi(S)$ dla różnych wartości R przedstawia Rysunek 4.



Rys. 4. Efektywność rekuperatora przeciwprądowego $\Phi(R,S)$

Stanowisko eksperymentalne:

Stanowisko składa się z rekuperatora JAD XK 2.11.08.68 produkcji SeCeS-Pol sp. z o.o., o powierzchni wymiany ciepła $0,6 \text{ m}^2$, wyposażonego w czujniki temperatury czynników na wlocie i wylocie oraz dwa przepływomierze. Wymiennik podłączony jest do węzła cieplnego, zasilanego przez kocioł gazowy. Zadaniem wymiennika jest schłodzenie wody podgrzanej przez kocioł. Czynnikiem chłodzącym jest woda wodociągowa.

Przebieg ćwiczenia:

Ćwiczenie wykonuje się po uruchomieniu i ustabilizowaniu pracy kotła.

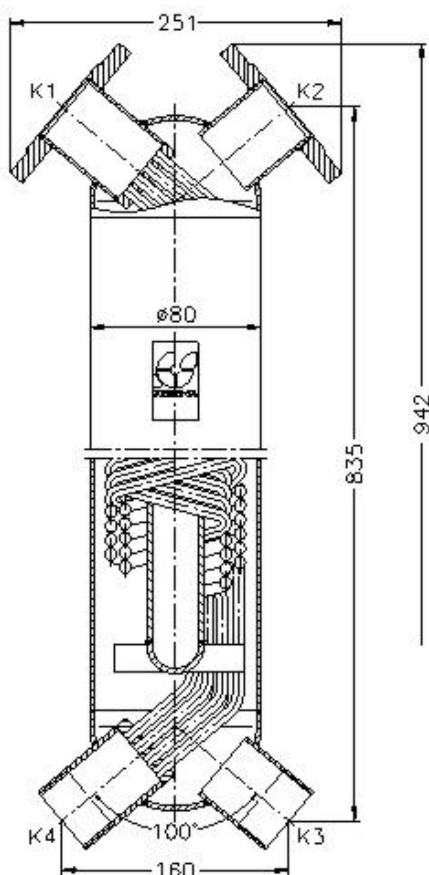
1. Włączenie obiegu: czynnika gorącego i chłodzącego.
2. Pomiar temperatur obu czynników na wlocie i wylocie co 5 min.
3. Pomiar natężenia przepływu obu czynników co 5 min.

Pomiary notujemy w tabeli:

τ [min]	t_1 [°C]	t_2 [°C]	t_3 [°C]	t_4 [°C]	\dot{m}_1 [$\frac{kg}{s}$]	\dot{m}_2 [$\frac{kg}{s}$]

4. Obliczenie średniej wartości różnicy temperatury i efektywności rekuperatora na podstawie wzorów (14) i (15).
5. Obliczenie współczynnika R i sprawdzenie zgodności obliczeń z nomogramem (Rys.4).
6. Wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła k i współczynnika S na podstawie wzorów (17) i (16).

Opis wymiennika:



PARAMETRY PRACY JAD XK 2.11.08.68	
MAX. CIŚNIENIE:	1,6; 2,5 MPa
MAX. TEMPERATURA:	203; 250 deg. C
PARAMETRY KONSTRUKCYJNE	
POWIERZCHNIA WYMIANY CIEPŁA:	0,6 m ² , rura karbowana 8mm
OBJĘTOŚĆ STR. RUREK:	1,2 l
OBJĘTOŚĆ STR. PŁASZCZA:	1,2 l
WAGA Z PRZYŁĄCZAMI GWINTOWANYMI:	8,0 kg
WAGA Z PRZYŁĄCZAMI KOŁNIERZOWYMI:	16,0 kg
STANDARDOWA LOKALIZACJA PRZYŁĄCZY	
K1 - wlot czynnika grzewczego K2 - wylot czynnika ogrzewanego K3 - wlot czynnika ogrzewanego K4 - wylot czynnika grzewczego	
TYPY PRZYŁĄCZY	
K1, K2, K3, K4: G 1 ½ " gwint zewnętrzny; DN40 kołnierz płaski	