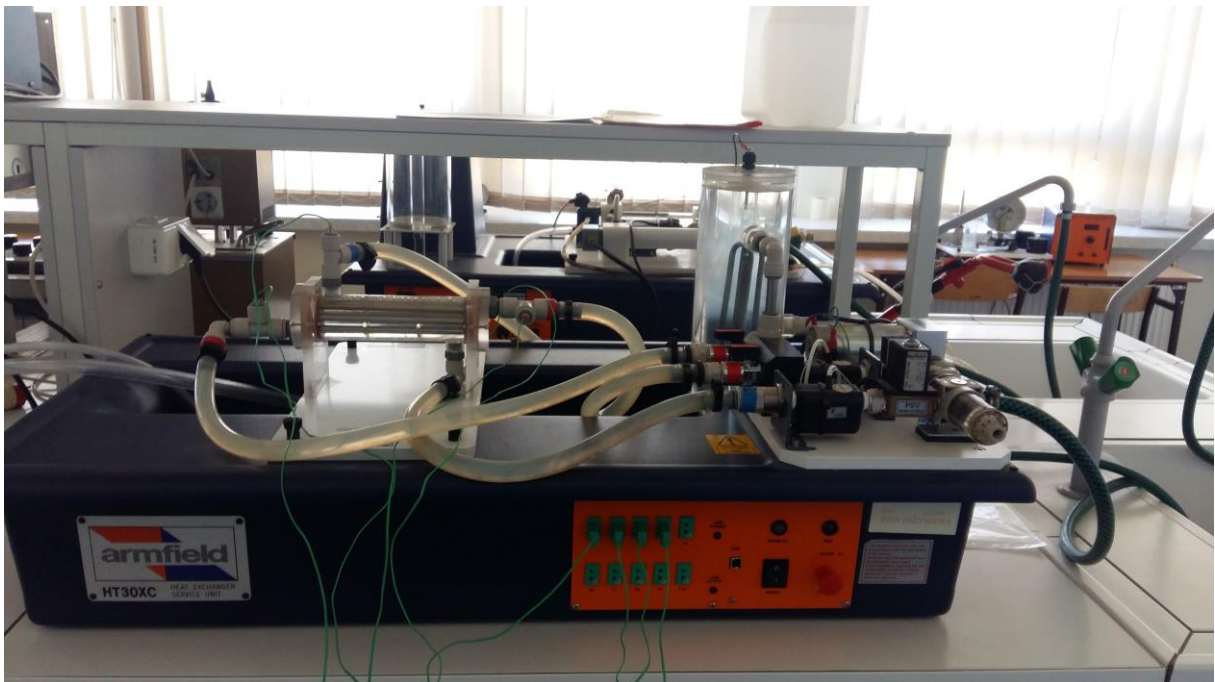


## Badanie wymiennika ciepła typu „płaszczowo-rurowy”



## 1. Rodzaje wymienników ciepła.

Wymiennik ciepła (przenośnik ciepła) jest to urządzenie, w którym ciepło przekazywane jest od jednego płynu o temperaturze wyższej (gorącego) do drugiego płynu (zimnego) o temperaturze niższej. Znajduje on zastosowanie w różnego rodzaju technologiach i w zależności od przeznaczenia posiada zróżnicowane nazwy np.. podgrzewacz, grzejnik, chłodnica, wytwornica pary, przegrzewacz, skraplacz, parownik, regenerator i wiele innych.

Ze względu na zasadę działania rozróżnić możemy następujące grupy wymienników ciepła:

- a) Wymienniki przepływowe, gdzie dwa płyny (gorący i zimny) oddzielone są od siebie ścianką (przeponą) wykonaną z materiału zapewniającego długotrwałe działanie.
- b) Wymienniki powierzchniowe (regeneratory), gdzie powierzchnia tych samych elementów (ceramicznych lub metalowych) wypełniających wymiennik jest na przemian omywana przez płyn gorący ( np. gorące spaliny) i płyn zimny ( np. świeże powietrze), które po ogrzaniu wykorzystywane jest do celów technologicznych.
- c) Wymienniki mieszalnikowe, w których następuje bezpośrednie mieszanie się płynu gorącego i zimnego. Wymienniki tego typu stosowane są w przypadkach, gdy oba płyny mogą być mieszane np. (woda – woda, para wodna – powietrze, powietrze – powietrze) lub jeśli za wymiennikiem można łatwo je rozdzielić np. (powietrze – woda). W ostatnim przypadku procesowi przekazywania ciepła towarzyszy zjawisko wymiany masy (parowanie wody).
- d) Wymienniki z wewnętrznymi źródłami ciepła posiadają tylko jeden płyn spełniający rolę nośnika ciepła. Płyn ten omywa powierzchnię elementów, elementów których wydziela się ciepło( np. elementy paliwowe reaktorów jądrowych, elementy nagrzewane energią elektryczną).

Cel i zakres badań.

W przypadku badań o charakterze podstawowym mającym na celu sprawdzenie istniejących teorii i ustalenie ilościowych związków opisujących procesy ciepło – przepływowe opory cieplne i hydrauliczne) pomiary przeprowadza się zwykle w warunkach laboratoryjnych, gdzie modeluje się poszczególne elementarne procesy cieplne i przepływowe.

W oparciu o podstawowe i uogólnione dane doświadczalne i teoretyczne powstają metody i procedury obliczeń konkretnych konstrukcji wymienników ciepła. Ostateczne sprawdzenie

tych metod obliczeniowych odbywa się najczęściej na rzeczywistych konstrukcjach w warunkach eksploatacyjnych.

Jak z powyższego wynika możemy rozróżnić dwa rodzaje badań wymienników ciepła. Pierwszy bardziej szczegółowy i wymagający pomiaru rozkładu temperatury, lokalnych gęstości strumienia ciepła, naprężeń stycznych na powierzchni ścianki (przepony) oraz pomiaru pól temperatur i prędkości płynu w kanałach wymiennika ciepła. Umożliwia to wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła  $k$ , współczynnika poprawkowego  $\epsilon_{\Delta T}$  oraz strat ciśnienia w funkcji masowych natężeń przepływu płynu „gorącego”  $m_1$  lub „zimnego”  $m_2$ . Ze względu na konieczność wbudowania w powierzchnię ścianki wymiennika czujników takie badania mają charakter modelowy i przeprowadzone są w warunkach laboratoryjnych.

Drugi rodzaj badań przeprowadzane są w warunkach eksploatacyjnych i wymaga jedynie pomiaru strumienia masy płynu „gorącego”  $m_1$  i „zimnego”  $m_2$  oraz temperatur płynów na wlocie i wylocie wymiennika ciepła.

Umożliwia to jedynie wyznaczenie mocy cieplnej wymiennika  $Q$  funkcji masowych natężeń przepływu, oraz średniej wartości współczynnika przenikania ciepła. Wyniki badań mogą być przedstawione w postaci wykresów.

$$Q = f ( m_1, m_2 - \text{parametr} )$$

oraz dla wymienników w układzie współprądowym i przeciwaprądowym w postaci np.

$$k = Q / A \Delta T = ( m_1, m_2 - \text{parametr} )$$

a dla wymienników w układach złożonych w postaci np.

$$(\epsilon_{\Delta T} k) = Q / A \Delta T_{\text{przeciwaprąd}} = f(m_1, m_2 - \text{parametr})$$

Badania eksperymentalne wymienników ciepła dostarcza zarówno wielu informacji podstawowych jak również ma ogromne znaczenie praktyczne. Ponieważ teoretyczne obliczenia mocy cieplnej lub powierzchni wymiennika nie są najczęściej dostatecznie dokładne. Bardzo często niedokładność obliczeń sięga  $\pm 25\%$ . Wymienić można następujące przyczyny niedokładności obliczeń:

- 1) niedokładność wzorów na współczynniki przejmowania ciepła ( rzędu  $\pm 3 - 15\%$  )
- 2) rozbieżność pomiędzy sytuacją, przy której ustalono wzory na współczynniki przejmowania ciepła i rzeczywistym zjawiskiem zachodzącym w wymienniku ciepła ( od kilku do kilkudziesięciu procent ).
- 3) niedokładność danych fizycznych płynów ( rzędu  $0.5 - 5\%$  )

- 4) niedokładność wykonania wymiennika ciepła
- 5) wpływ zanieczyszczeń powierzchni wymiany ciepła
- 6) zmienność współczynnika przenikania ciepła wzdłuż powierzchni wymiennika, która w teorii wymiennika ciepła jest pomijana
- 7) niedokładność wyznaczania współczynnika poprawkowego  $\epsilon_{\Delta T}$ .

#### Przygotowanie i wykonanie pomiarów

Po ustaleniu zakresu badań, określa się mierzone wielkości i wymaganą dokładność pomiarów. Następnie po określeniu technik pomiarowych ustala się punkty zabudowy czujników i dobiera mierniki. Wykonuje się również schemat badanego układu i ustala dane techniczne i wymiary wymiennika ciepła.

#### I Wymiennik ciepła „płaszczowo-rurowy” (rys. 2)

Urządzenie wykonano specjalnie do celów dydaktycznych. zespół umożliwia zrealizowanie przepływu współprądowego lub przeciwproudowego uzyskując w rezultacie takie przebiegi temperatur jakiego pokazano przykładowo na rys. 4.

Powierzchnia wymiany ciepła – rura miedziana niklowana o wymiarach:

- średnica  $d_{zewn.} = 6,35$  mm, średnica  $d_{wewn.} = 5,15$  mm
- długość pojedynczej rury  $l = 144$  mm

Płaszcz zewnętrzny stanowi rura wykonana ze szkła organicznego

Temperatury są mierzone termoparami typu K i rejestrowane w funkcji czasu. Umożliwia to dokładne ustalenie czy wymiennik po uruchomieniu lub zmianie parametrów pracy osiągnął stan równowagi cieplnej.

Bezpośrednim celem ćwiczenia jest wyznaczenie mocy cieplnej wymiennika w kilku punktach pracy - czyli fragmentu jego charakterystyki. Porównując otrzymane rezultaty z wynikami obliczeń sprawdzających opartych o dane literaturowe dokonujemy analizy metody obliczeniowej z pomiarami.

Instrukcja wykonania ćwiczenia laboratoryjnego.

- 1) Zapoznanie się z literaturą i katalogami dotyczącymi wymienników ciepła.
- 2) Zapoznanie się z budową i działaniem stanowisk badawczych.
- 3) Uruchomienie stanowiska

- a) wymiennik ciepła „płaszczowo-rurowego” zrealizować układ współprądowy i przeciwprądowy
  - b) uruchomić przepływ płynów, odpowietrzyć układ, uruchomić rejestrację pomiaru.
- 4) Po osiągnięciu równowagi cieplnej dokonać odczytu wskazań.
  - 5) W oparciu o odczyty wykonać obliczenia wyników pomiaru
  - 6) W oparciu o zmierzone temperatury początkowe płynów (  $T_1'$ ,  $T_2'$  ) i strumienie objętości (  $V_1$ ,  $V_2$  ) oraz dane literaturowe wykonać obliczenia „teoretyczne” mocy wymiennika ciepła a wyniki obliczeń porównać z wynikami pomiarów.
  - 7) Wykonać wykres:  $Q = f ( m_1, m_2 )$
  - 8) W oparciu o uzyskane wyniki opracować wnioski dotyczące dokładności pomiarów i teoretycznej metody obliczeniowej oraz prawidłowości działania urządzenia i położenia punktów pracy wymiennika.
  - 9) Sporządzić sprawozdanie, które powinno zawierać:
    - a) cel badania
    - b) schemat pomiarowy i dane techniczne badanego urządzenia
    - c) wykaz i dane techniczne użytej aparatury
    - d) wypełnioną tabelę pomiarowo – obliczeniową
    - e) obliczenia teoretyczne mocy cieplnej wymiennika
    - f) ocenę dokładności i wnioski wypływające z wyników badań
    - g) wykaz literatury ( w tym „źródeł” własności fizycznych)

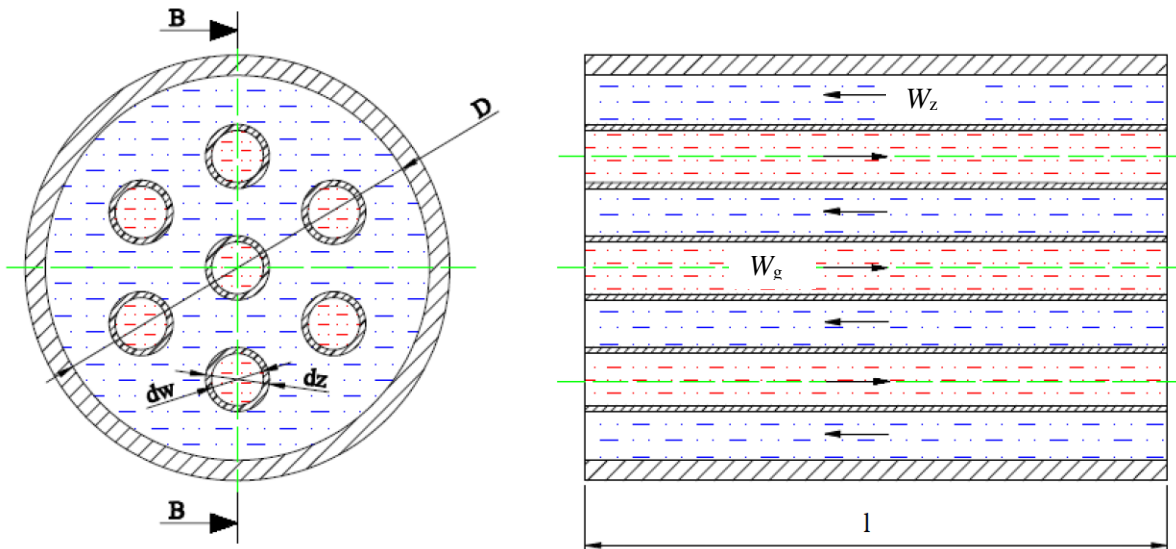
## LITERATURA

- 1) **S. WIŚNIEWSKI, Wymiana ciepła, WNT**
- 2) **W. GOGÓŁ, Wymiana ciepła, Tablice i wykresy, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej,**
- 3) **T. HOBLER, Ruch ciepła i wymienniki, PWT**
- 4) F. J. BALEY, J. M. OWEN, A. B. TURNER: Heat Transfer. Thomas Nelson and Sons LTD 1972.
- 5) N. AFGAN, E.U. SCHLUNDER Editors: Heat Exchangers: Design and Theo Sourcebook. McGraw – Hill Book Company 1974.
- 6) K. BRODOWICZ: Wymienniki ciepła i masy. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1977.
- 7) W. P. ISACZENKO, W. A. OSIPOWA, A. S. SUKOMIEŁ: Tęplotieredacza, Energia – Moskwa 1969.
- 8) J. MADEJSKI: Teoria wymiany ciepła. PWN 1963.
- 9) Katalogi: Typowe wymienniki ciepła płaszczowo – rurowe i „rura w rurze”. Zakłady Urządzeń Chemicznych i Aparatury Przemysłowej CHEMAR, Kielce 1973.
- 10) Katalog Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, SPOMASZ, 1974.

## PROCEDURA OBLICZENIOWA MOCY CIEPLNEJ WYMIENNIKA

typu „płaszczowo-rurowy”.

### 1. Geometria wymiennika



średnica wewnętrzna korpusu wymiennika

$$D = 38 \text{ [mm]}$$

średnica wewnętrzna rurki wymiennika

$$d_w = 5,15 \text{ [mm]}$$

średnica zewnętrzna rurki wymiennika

$$d_z = 6,35 \text{ [mm]}$$

średnica obliczeniowa

$$d_o = \frac{d_z - d_w}{2} \text{ [m]}$$

$d_o$  możemy użyć, kiedy spełniony jest warunek  $d_z / d_w < 2$

Długość wymiennika ciepła

$$L = l \cdot n$$

$n=7$  - liczba rur wymiennika

$l= 144 \text{ mm}$  – długość pojedynczej rury

Powierzchnia wymiany ciepła

$$A_o = \pi d_o L$$

### 2. Równanie opisujące przejmowanie ciepła po stronie wewnętrznej i zewnętrznej przepływu

#### 2.1. Równania dla płynu płynącego w pęczku rur

W zakresie  $R_f < 2000$

$$Nu_f = 0.15 Re_f^{0.33} Pr_f^{0.43} Gr_f^{0.1} (Pr_f / Pr_w)^{0.25}$$

W zakresie  $2000 < Re_f < 10^4$

$$Nu_f = K_0 Pr_f^{0.43} (Pr_f / Pr_w)^{0.25}$$

Wartość  $K_0$  dla przepływu przejściowego podano w poniższej tabeli

$Re_f \cdot 10^{-3}$	2,2	2,3	2,5	3,0	3,5	4	5	6	7	8	9	10
$K_0$	2,2	3,6	4,9	7,5	10	12,2	16,5	20	24	27	30	33

W zakresie  $10^4 < Re_f < 5 \cdot 10^3$

$$Nu_f = 0.021 Re_f^{0.8} Pr_f^{0.43} (Pr_f / Pr_w)^{0.25}$$

## 2.2. Równania dla płynu opływającego pęczek rur.

W zakresie  $10 < Re_f < 1000$

$$Nu_f = 0.5 K Re_f^{0.5} Pr_f^{0.38} (Pr_f / Pr_w)^{0.25}$$

W zakresie  $1000 < Re_f < 200000$

$$Nu_f = 0.25 K Re_f^{0.6} Pr_f^{0.35} (Pr_f / Pr_w)^{0.25}$$

Gdzie:

Współczynnik konfiguracji przepływu wody zimnej  $K = \frac{1,5}{w_z^{0,5}}$

Liczba Reynoldsa  $Re = \frac{w d_h}{\nu}$

Liczba Nusselta  $Nu = \frac{\alpha d_h}{\lambda}$

Liczba Grashofa  $Gr = \frac{g \cdot d_h^3 \cdot \beta \cdot (T_w - T_f)}{\nu^2}$

$\beta$  – współczynnik rozszerzalności

$T_w$  – temperatura przepływu wymiennika

$w$  – prędkość wody

indeksy:

g – woda gorąca

z – woda zimna

f – parametry dla temperatury płynu

w – parametry dla temperatury przepływu wymiennika

Indeksy:

f - dotyczy średniej temperatury płynu gorącego lub zimnego

w - dotyczy średniej temperatury przepływu wymiennika



Średnia temperatura wody:

- gorącej

$$T_g = \frac{(T'_1 + T''_1)}{2}$$

- zimnej

$$T_z = \frac{(T'_2 + T''_2)}{2}$$

Średnia temperatura przepływu wymiennika:

$$T_w = \frac{(T_g + T_z)}{2}$$

$\nu$  – lepkość kinematyczna

$\lambda$  – przewodność cieplna

$\beta$  – współczynnik rozszerzalności termicznej

#### A Metoda dokładna

3a Współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę cylindryczną odniesionej do jednostkowej długości.

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_w \alpha_w} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_z}{d_w} + \frac{1}{r_z \alpha_z}} \quad \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

gdzie:

$\lambda$  – współczynnik przewodzenia ciepła dla materiału przepływu. W badanym wymienniku na materiał przepływu zastosowano stal nierdzewną.

4a Logarytmiczna różnica temperatur

$$\Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}} \quad [K]$$

5a Moc cieplna przekazywana przez przepływ wymiennika.

$$Q = L \cdot k \cdot \Delta T_{\ln} \quad [W]$$

## B Metoda przybliżona

W przypadku spełnienia warunku  $d_z / d_w < 2$  przegrodę cylindryczną można obliczyć przy wykorzystaniu zależności dla przegrody płaskiej przyjmując obliczeniową powierzchnię przepływu ciepła.

$$A_o = \pi d_o L \quad \text{gdzie:}$$

$$d_o = d_w \quad \text{jeśli} \quad \alpha_z \gg \alpha_w$$

$$d_o = d_z \quad \text{jeśli} \quad \alpha_w \gg \alpha_z$$

$$d_o = (d_w + d_z) / 2 \quad \text{jeśli} \quad \alpha_w \cong \alpha_z$$

Współczynnik przenikania ciepła

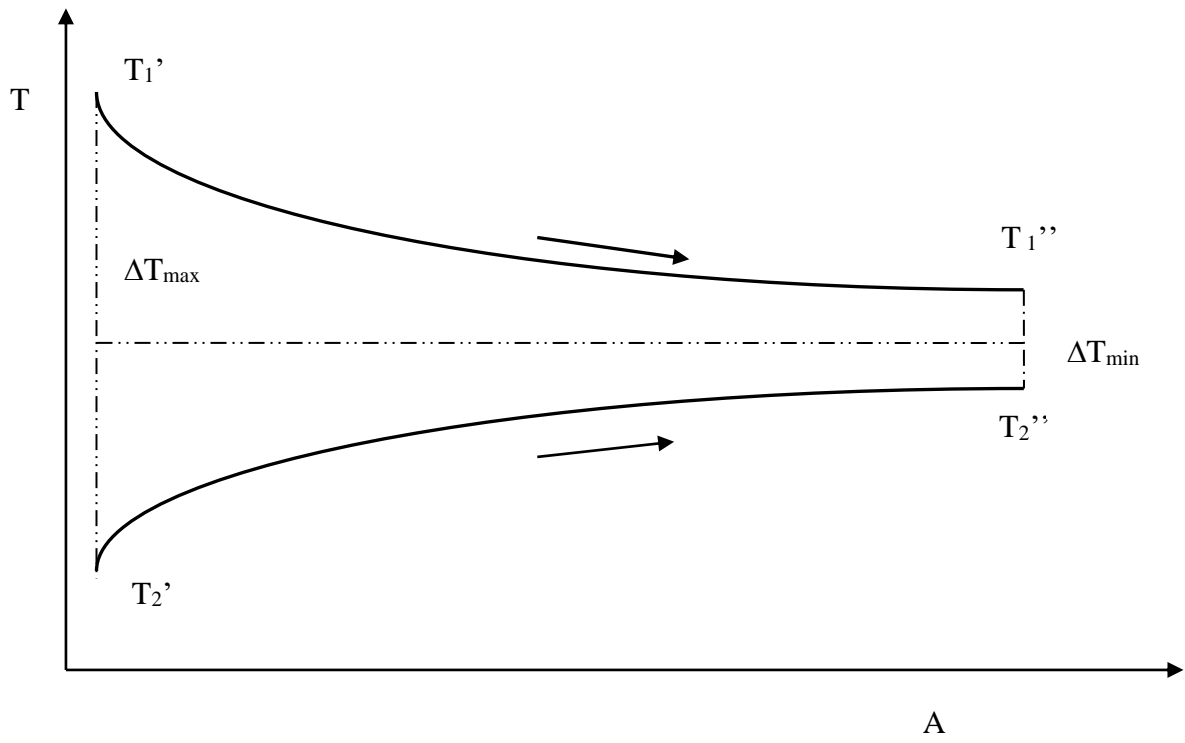
$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_w} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_z}} \quad \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

Logarytmiczna różnica temperatur

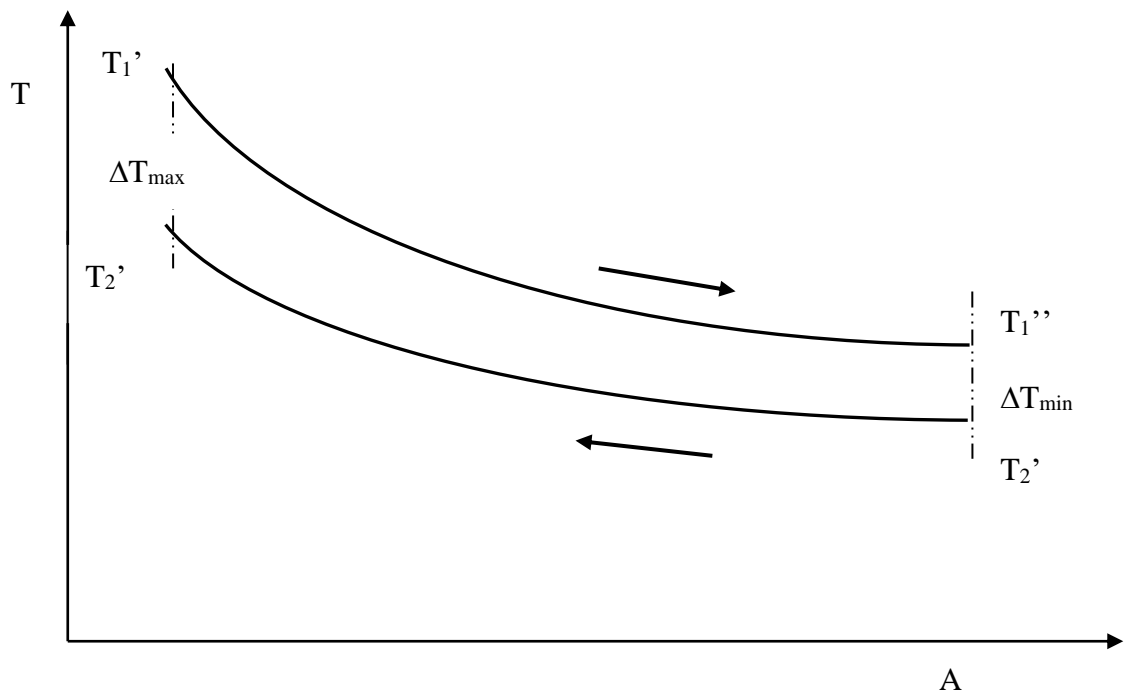
$$\Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}} \quad [K]$$

Moc cieplna przekazywana przez przeponę wymiennika

$$Q = k A_o \Delta T_{\ln}$$



Przepływ współprądowy



Przepływ przeciwprądowy

Tablica 12. Właściwości fizyczne wody przy ciśnieniu nasycenia

Temperatura	Ciśnienie	Gęstość	Ciepło właściwe	Współczynnik przewodzenia ciepła	Współczynnik dyfuzyjności cieplnej	Współczynnik lepkości dynamicznej	Współczynnik lepkości kinematycznej	Współczynnik rozszerzalności	Napięcie powierzchniowe	Liczba Prandtla
t	p	$\rho$	$c_p$	$\lambda \cdot 10^2$	$a \cdot 10^8$	$\mu \cdot 10^6$	$\nu \cdot 10^6$	$\beta \cdot 10^4$	$\sigma \cdot 10^4$	Pr
°C	MPa	kg/m <sup>3</sup>	kJ/(kg·K)	W/(m·K)	m <sup>2</sup> /s	N·s/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /s	1/K	N/m	–
0,01	0,00061	999,9	4,212	55,1	13,1	1788,0	1,789	-0,63	756,4	13,67
10	0,00123	999,7	4,191	57,4	13,7	1306,0	1,306	0,70	741,6	9,52
20	0,00234	998,2	4,183	59,9	14,3	1004,0	1,006	1,82	726,9	7,02
30	0,00424	995,7	4,174	61,8	14,9	801,5	0,805	3,21	712,2	5,42
40	0,00737	992,2	4,174	63,5	15,3	653,3	0,659	3,87	696,5	4,31
50	0,01234	988,1	4,174	64,8	15,7	549,4	0,556	4,49	676,9	3,54
60	0,01992	983,2	4,179	65,9	16,0	469,9	0,478	5,11	662,2	2,98
70	0,03117	977,8	4,187	66,8	16,3	406,1	0,415	5,70	643,5	2,55
80	0,04736	971,8	4,195	67,4	16,6	355,1	0,365	6,32	625,9	2,21
90	0,07011	965,3	4,208	68,0	16,8	314,9	0,326	6,95	607,2	1,95
100	0,1013	958,4	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	0,143	951,0	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	0,198	943,1	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,47
130	0,270	934,8	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	0,361	926,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	0,476	917,0	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	0,618	907,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	0,792	897,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	1,003	886,9	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	1,255	876,0	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	1,555	863,0	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	1,908	852,8	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	2,320	840,3	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	2,798	827,3	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	3,348	813,6	4,756	62,8	16,2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	3,978	799,0	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	18,1	261,9	0,86
260	4,694	784,0	4,949	60,5	15,6	105,9	0,135	19,7	237,4	0,87
270	5,505	767,9	5,070	59,0	15,1	102,0	0,133	21,6	214,8	0,88
280	6,419	750,7	5,230	57,4	14,6	98,1	0,131	23,7	191,3	0,90
290	7,445	732,3	5,485	55,8	13,9	94,2	0,129	26,2	168,7	0,93
300	8,592	712,5	5,736	54,0	13,2	91,2	0,128	29,2	144,2	0,97
310	9,870	691,1	6,071	52,3	12,5	88,3	0,128	32,9	120,7	1,03
320	11,290	667,1	6,574	50,6	11,5	85,3	0,128	38,2	98,10	1,11
330	12,865	640,2	7,244	48,4	10,4	81,4	0,127	43,3	76,71	1,22
340	14,608	610,1	8,165	45,7	9,17	77,5	0,127	53,4	56,70	1,39
350	16,537	574,4	9,504	43,0	7,88	72,6	0,126	66,8	38,16	1,60
360	18,674	528,0	13,984	39,5	5,36	66,7	0,126	109,0	20,21	2,35
370	21,053	450,5	40,321	33,7	1,86	56,9	0,126	264,0	4,71	6,79

Dla  $t < 100$  °C właściwości fizyczne wody podano przy  $p = 0,1013$  MPa

## Przebieg ćwiczenia

Kolejne punkty przebiegu ćwiczenia pokazane są na schemacie okna programu sterowania stanowiskiem.

1. Po podłączeniu stanowiska i komputera uruchom program dla wymiennika przeciwprądowego (countercurrent).
2. Uruchom stanowisko zmieniając wartość w polu „Power On” na 1
3. Uruchom pompę w zakresie wydajności  $\dot{V}_1 = 2 \div 3 \left[ \frac{\text{l}}{\text{min}} \right]$  w konfiguracji pracy automatycznej.
4. Nastawić przepływ zimnej wody w zakresie  $\dot{V}_2 = 1,9 \div 3,4 \left[ \frac{\text{l}}{\text{min}} \right]$ .
5. Odkręcić zawór zimnej wody.
6. Nastawić w okienku HEATER temperaturę wody gorącej w zakresie  $T_1 = 30 \div 55 \text{ [}^\circ\text{C]}$  w konfiguracji pracy automatycznej.
7. Odczekać chwilę, aż wymiennik ciepła uzyska równowagę cieplną, czyli temperatury wody  $T_1, T_2, T_3, T_4$  będą miały stałą wartość.
8. W trakcie wykonywania pomiarów należy ustalić wartości  $\dot{V}_1, T_1$ , a następnie regulować strumień objętości wody zimnej  $\dot{V}_2$ .
9. Podczas dokonywania kolejnego odczytu dla nowej nastawy strumienia objętości wody zimnej  $\dot{V}_2$  należy odczekać chwilę, aż temperatura wody zimnej i ciepłej na wlocie i wylocie z wymiennika ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ) się ustabilizuje.

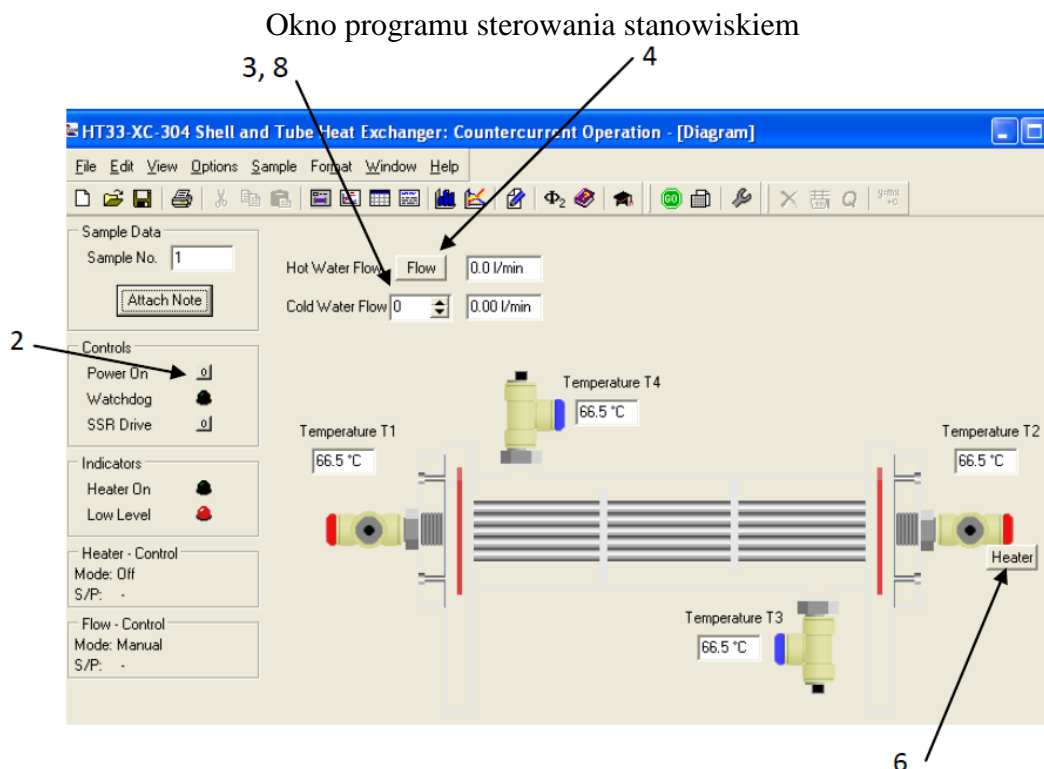




Tabela pomiarowo-obliczeniowa										
Lp		Wielkość mierzona i obliczona	Oznaczenia	Jednostki	Pomiar					
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Powierzchnia wymiany ciepła:		A	m <sup>2</sup>						
2a	Strumień objętości płynu "gorącego"		V <sub>1</sub>	l/min						
				m <sup>3</sup> /s						
2b	Strumień objętości płynu "zimnego"		V <sub>2</sub>	l/min						
				m <sup>3</sup> /s						
3	Temperatura płynu "zimnego" na dolocie		T <sub>3</sub> =T' <sub>2</sub>	°C						
4	Temperatura płynu "zimnego" na wylocie		T <sub>4</sub> =T'' <sub>2</sub>	°C						
5	Średnia temperatura płynu "zimnego"	$T_z = \frac{T_3 + T_4}{2}$	T <sub>z</sub>	°C						
6	Ciepło właściwe płynu "zimnego" dla temperatury T <sub>z</sub> (tabela)		Cp <sub>2</sub>	kJ/kg K						
7	Gęstość płynu "zimnego" dla temperatury T <sub>z</sub> (tabela)		ρ <sub>2</sub>	kg/m <sup>3</sup>						
8	Strumień masy płynu "zimnego"	$\dot{m}_2 = \rho \cdot \dot{V}_2$	m <sub>2</sub>	kg/s						
9	Temperatura płynu "gorącego" na dolocie		T <sub>1</sub> =T' <sub>1</sub>	°C						
10	Temperatura płynu "gorącego" na wylocie		T <sub>2</sub> =T'' <sub>1</sub>	°C						
11	Średnia temperatura płynu "gorącego"	$T_g = \frac{T_1 + T_2}{2}$	T <sub>g</sub>	°C						
12	Ciepło właściwe płynu "gorącego" dla temperatury T <sub>g</sub>		Cp <sub>1</sub>	kJ/kg K						
13	Gęstość płynu "gorącego" dla temperatury T <sub>g</sub>		ρ <sub>1</sub>	kg/m <sup>3</sup>						
14	Strumień masy płynu "gorącego"	$\dot{m}_1 = \rho \cdot \dot{V}_1$	m <sub>1</sub>	kg/s						
15	Maksymalna różnica temperatur między płynem "gorącym" a "zimnym"		ΔT <sub>max</sub>	K						
16	Minimalna różnica temperatur między płynem "gorącym" a "zimnym"		ΔT <sub>min</sub>	K						

17	Logarytmiczna różnica temperatur między płynem "gorącym" a "zimnym"	$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}}$	$\Delta T_{ln}$	K						
18	Moc wymiennika ciepła jako chłodnicy	$Q_1 = \dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot \Delta T_{ln}$	$Q_1$	kW						
19	Sprawność temperaturowa wody ciepłej $\eta_h$									
a)	wymiennik współprądowy	$\eta_h = (T_2 - T_1) / (T_2 - T_3)$	$\eta_h$	%						
b)	wymiennik przeciwprądowy	$\eta_h = (T_1 - T_2) / (T_1 - T_3)$	$\eta_h$	%						
20	Sprawność temperaturowa wody zimnej $\eta_h$									
a)	wymiennik współprądowy	$\eta_h = (T_4 - T_3) / (T_2 - T_3)$	$\eta_h$	%						
b)	wymiennik przeciwprądowy	$\eta_h = (T_4 - T_3) / (T_1 - T_3)$	$\eta_h$	%						
21	Prędkość przepływu płynu "gorącego" $w_1 = V_1/A_1$ ; $D_z =$ , $D_w =$		$w_1$	m/s						
22	Prędkość przepływu płynu "zimnego" $w_2 = V_2/A_2$ ; $D_z =$ , $D_k =$		$w_2$	m/s						
23	Obciążenie jednostkowe powierzchni wymiany ciepła	$\dot{q} = \frac{Q_1}{A}$	$\dot{q}$	kW/m <sup>2</sup>						
<b>Wyniki obliczeń teoretycznych</b>										
	<b>obliczenia po stronie wody gorącej dla temperatury obliczeniowej <math>T_g</math></b>									
24	Wsp. Lekkości kinematycznej		$v_1$	m <sup>2</sup> /s						
25	Liczba Reynoldsa		$Re_1$	–						
a)	Liczba Prandtla		$Pr_1$	–						
b)	Współczynnik rozszerzalności		$\beta_1$	–						
26	Liczba Granshofa		$Gr_1$	–						
27	Liczba Nusselta		$Nu_1$	–						



28	Wsp. przewodzenia ciepła		$\lambda_1$	W/m <sup>2</sup> K						
29	Wsp. przyjmowania ciepła		$\alpha_1$	W/mK						
	<b>obliczenia dla wody zimnej o temperaturze obliczeniowej <math>T_z</math></b>									
30	Wsp. Lekkości kinematycznej		$\nu_2$	m <sup>2</sup> /s						
31	Liczba Reynoldsa		Re <sub>2</sub>	–						
32	Liczba Prandtla		Pr <sub>2</sub>	–						
33	Współczynnik rozszerzalności		$\beta_2$	–						
34	Liczba Granshofa		Gr <sub>2</sub>	–						
35	Wsp. konfiguracji przepływu		K	–						
36	Liczba Nusselta		Nu <sub>2</sub>	–						
37	Wsp. przewodzenia ciepła		$\lambda_2$	W/m <sup>2</sup> K						
38	Wsp. przyjmowania ciepła		$\alpha_2$	W/mK						
	<b>Teoretyczna moc cieplna wymiennika</b>									
39	Wsp. przewodzenia ciepła dla materiału przepony wymiennika		$\lambda_p$	W/mK						
40	Wsp. Przenikania ciepła przez przeponę		k	W/m <sup>2</sup> K						
41	Teoretyczna moc cieplna wymiennika		Q <sub>T</sub>	W						