

6

Badanie wymiennika ciepła typu „rura w rurze”



1. Podstawowe wiadomości

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 przeponowe, 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).

Obliczenia cieplne wymiennika mogą mieć charakter projektowy lub sprawdzający. Nowoczesne metody projektowania kompletnych instalacji technologicznych polegają na wyborze najodpowiedniejszego typu konstrukcji wymiennika i złożeniu ich z typowych elementów (np. wymiennik płytowy w oparciu o dane katalogowe i obliczenia sprawdzające. Celem obliczeń sprawdzających jest wyznaczenie mocy cieplnej wymiennika i temperatur końcowych płynu.

W przypadku budowy pojedynczych wymienników o dużej mocy (np. kocioł energetyczny, reaktor jądrowy) lub masowej produkcji wymienników małej mocy (np. grzejniki centralnego ogrzewania, chłodnice samochodowe) opłacalne staje się przeprowadzenie optymalizacji parametrów przepływowych i wymiarów geometrycznych konstrukcji opartej na obliczeniach projektowych. Celem obliczeń projektowych jest wyznaczenie powierzchni wymiany ciepła.

2. Prawa rządzące wymianą ciepła

Przewodzenie ciepła w ciałach stałych, cieczech i gazach odbywa się zgodnie z prawem Fouriera

$$\dot{Q} = \lambda A \frac{t_1 - t_2}{\delta} \quad (1)$$

które mówi, że ilość przewodzonego ciepła jest proporcjonalna do pola przekroju A , różnicy temperatur $(t_1 - t_2)$ a odwrotnie proporcjonalna do grubości ścianki δ . Współczynnik proporcjonalności λ nazywa się współczynnikiem przewodzenia ciepła i ma wymiar

$$\lambda \left[\frac{W}{m K} \right]. \quad (2)$$

Przejmowanie ciepła od lub do ścianki zachodzi na drodze unoszenia (konwekcji) oraz przewodzenia w płynie. Przejmowanie ciepła opisuje prawo Newtona

$$\dot{Q} = \alpha A (t_p - t_{śc}) \quad (3)$$

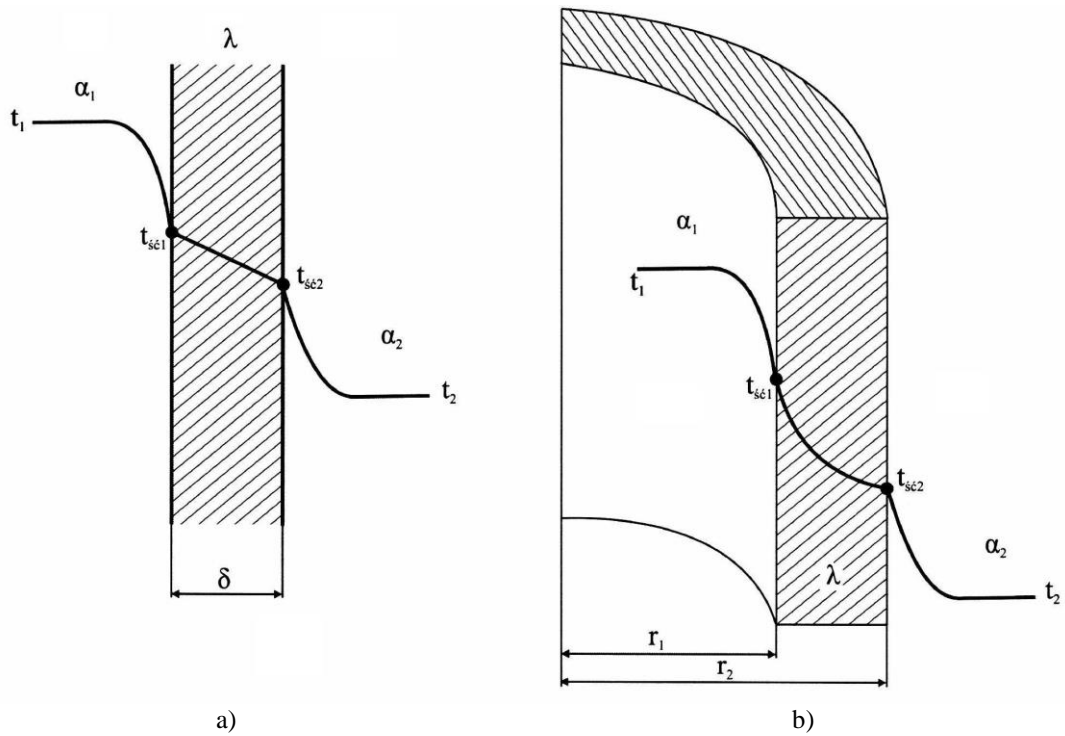
które mówi, że strumień ciepła przepływający na drodze przejmowania jest proporcjonalny do pola powierzchni A oraz różnicy temperatur płynu t_p i ścianki $t_{śc}$. Współczynnik proporcjonalności α nazywa się współczynnikiem przejmowania ciepła i ma wymiar

$$\alpha \left[\frac{W}{m^2 K} \right]. \quad (4)$$

Przenikanie ciepła dotyczy przypadku, w którym obie strony ścianki omywane są płynem – rys. 1. Przy czym jeden z płynów ma temperaturę t_1 , natomiast drugi temperaturę t_2 .

Przenikanie ciepła dzielimy na następujące etapy:

- przejmowanie ciepła od płynu ciepłego do ścianki
- przewodzenie ciepła przez ściankę
- przejmowanie ciepła od ścianki do płynu zimnego.



Rys. 1 Przenikanie ciepła przez ścinę: a) płaską b) cylindryczną

Wykorzystując zależności dla przewodzenia i przyjmowania ciepła otrzymamy zależność na strumień ciepła

$$\dot{Q} = k A (t_1 - t_2) \quad (6)$$

gdzie współczynnik proporcjonalności k nazywamy współczynnikiem przenikania:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (7)$$

gdzie α_1 i α_2 są współczynnikami przyjmowania ciepła z jednej i drugiej strony ścianki, λ jest współczynnikiem przewodzenia ścianki.

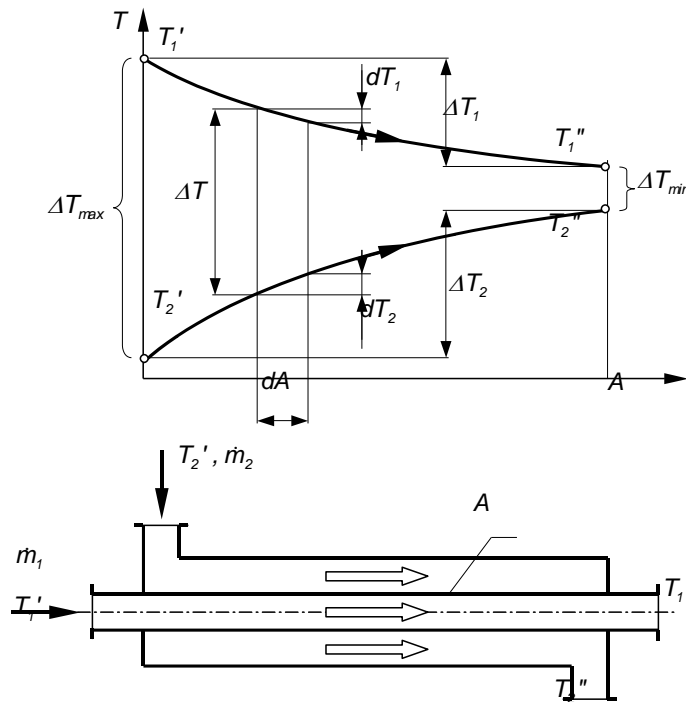
3. Wymienniki ciepła

Przeponowe wymienniki ciepła, biorąc pod uwagę charakter przepływu płynu dzielimy na: współprądowe, przeciwpładowe i krzyżowe.

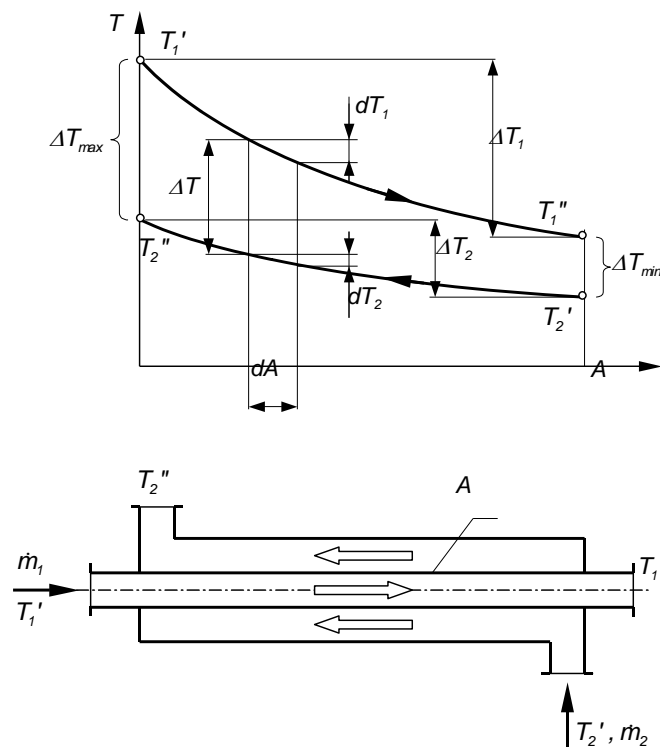
W wymiennikach współprądowych każdy z płynów przemieszcza się w tym samym kierunku. Natomiast w wymiennikach przeciwpładowych płyny poruszają się względem siebie

w kierunku przeciwnym - rys. 2 i 3.

Badaniom poddany zostanie wymiennik ciepła typu „rura w rurze”. Przy czym na rys. 2 i 3 przedstawiono dodatkowo przebiegi temperatur wzdłuż powierzchni tego rodzaju wymienników. Wymienniki współprądowe i przeciwpładowe pod względem termodynamicznym różnią się głównie końcową różnicą temperatur czynnika podgrzewanego. Wyższą temperaturę końcową uzyskuje czynnik podgrzewany w wymienniku przeciwpładowym, natomiast w wymiennikach współprądowych końcowa temperatura czynnika podgrzewanego jest zawsze niższa od temperatury czynnika podgrzewającego.



Rys. 2 Schemat i rozkłady temperatur w współprądowym wymienniku ciepła typu „rura w rurze”



Rys. 3 Schemat i rozkłady temperatur w przeciwnieprądowym wymienniku ciepła typu „rura w rurze”

Obliczenia cieplne wymienników przepływowych polegają na rozwiązaniu równań bilansu cieplnego (energii) oraz równań przenikania ciepła.

Równanie bilansu cieplnego odniesione do elementarnej powierzchni współprądowego wymiennika ciepła opisuje poniższy wzór:

$$dQ = -m_1 di_1 = m_2 di_2, \quad (8)$$

natomiast dla całkowitej powierzchni wymiany ciepła:

$$Q = m_1 (i_1' - i_1'') = m_2 (i_2'' - i_2') \quad (9)$$

Ponieważ $di = c_p dT$ dla $c_p = \text{const}$, otrzymujemy:

$$Q = m_1 c_{p1} (T_1' - T_1'') = m_2 c_{p2} (T_2'' - T_2') \quad (10)$$

W celu obliczenia mocy cieplnej wymiennika za pomocą równania przenikania ciepła, niezbędne jest określenie średniej różnicy temperatur $\overline{\Delta T}$

$$Q = k A \overline{\Delta T} \quad (11)$$

Ponieważ różnica temperatur ΔT zmienia się wzdłuż powierzchni wymiennika według funkcji eksponencjalnej, stąd konieczne jest zastosowanie wzoru na tzw. logarytmiczną różnicę temperatur:

$$\overline{\Delta T} = \Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (12)$$

Powyższy wzór jest słuszny zarówno dla wymienników współprądowych jak i przeciwprądowych. Przy czym ΔT_{max} i ΔT_{min} oznaczają maksymalną i minimalną różnicę temperatur pomiędzy płynem gorącym i zimnym odpowiednio na dopływie i odpływie wymiennika (Rys. 2 i 3)

4. Efektywność wymienników ciepła

Oceniając efektywność rzeczywistego wymiennika ciepła, jako punkt odniesienia przyjmujemy idealny przeciwprądowy wymiennik o powierzchni A , w którym opory cieplne są równe zero. Lokalna różnica temperatur pomiędzy płynem gorącym i zimnym ΔT jest wtedy również równa zero i z termodynamicznego punktu widzenia realizowany jest proces odwracalny. Oznaczało by to, że zimny płyn po przejściu przez wymiennik opuszcza go o temperaturze równej temperaturze początkowej płynu gorącego. W rzeczywistym wymienniku ciepła jest to oczywiście niemożliwe i stopień jego doskonałości, czyli tzw. efektywność wymiennika ciepła definiowana jest jako stosunek mocy cieplnej wymiennika rzeczywistego do mocy cieplnej wymiennika idealnego.

$$E = \frac{\dot{Q}_{rzecz}}{\dot{Q}_{ideal}} \quad (13)$$

Biorąc pod uwagę wartości temperatur w przekrojach wlotowych i wylotowych przeciwprądowego wymiennika ciepła, jego efektywność możemy wyznaczyć przy użyciu poniższej zależności:

$$E_p = \frac{T_1' - T_1''}{T_1' - T_2'} \quad (14)$$

Definicja efektywności będąca stosunkiem mocy cieplnej wymiennika rzeczywistego do mocy cieplnej wymiennika idealnego dotyczy również wymienników współprądowych. Jeżeli opory cieplne w tego rodzaju wymienniku są równe zero to oznacza że końcowa różnica temperatur ΔT pomiędzy płynem gorącym i zimnym dąży do zera ($\Delta T_{min} \rightarrow 0$)

$$E_w = 1 - \frac{\Delta T_{min}}{\Delta T_{max}} \quad (15)$$

5. Cel i zakres badań.

W przypadku badań o charakterze podstawowym mającym na celu sprawdzenie istniejących teorii i ustalenie ilościowych związków opisujących procesy cieplno – 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 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 przeciwprądowym w postaci np.

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

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

6. 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.

Wymiennik ciepła „rura w rurze” (rys. 2)

Urządzenie wykonano specjalnie do celów dydaktycznych. zespół umożliwia zrealizowanie przepływu współprądowego lub przeciwprądowego uzyskując w rezultacie takie przebiegi temperatur jakie pokazano przykładowo na rys. 2 i 3.

Powierzchnia wymiany ciepła – rura miedziana niklowana o wymiarach:

- średnica $d_{zewn.} = 16.0$ mm, średnica $d_{wewn.} = 14$ mm,

- długość $L = 1230$ mm,

Płaszcz zewnętrzny stanowi rura wykonana ze szkła organicznego o wymiarach:

średnica: $d_{zewn.} = 40.0$ mm, $d_{wewn.} = 31.6$ mm

7. Procedura wykonania ćwiczenia laboratoryjnego.

- 1) Zapoznanie się z literaturą i katalogami dotyczącymi wymienników ciepła.
- 2) Zapoznanie się z budową i działaniem stanowiska badawczego.
- 3) Uruchomienie stanowiska
 - a) wymiennik ciepła „rura w rurze” (rys. 2) za pomocą zaworów 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 dane techniczne i odczyty wykonać obliczenia wyników pomiaru.
- 6) W oparciu o zmierzone temperatury początkowe płynów i strumienie masy (m_1 , m_2) oraz dane literaturowe wykonać obliczenia „teoretyczne” mocy wymiennika ciepła a wyniki obliczeń porównać z wynikami pomiarów.
- 7) 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)

W oparciu o uzyskane wyniki opracować wnioski dotyczące dokładności pomiarów i teoretycznej metody obliczeniowej oraz prawidłowości działania urządzenia i położenia punktów pracy wymiennika.

Tab. 1 Gęstość wody w zależności od temperatury

Temp. water °C	Temp. water K	Density water kg / m ³	Temp. water °C	Temp. water K	Density water kg / m ³
1	274.15	999.9015	46	319.15	989.7944
2	275.15	999.9429	47	320.15	989.3657
3	276.15	999.9672	48	321.15	988.9303
4	277.15	999.9750	49	322.15	988.4881
5	278.15	999.9668	50	323.15	988.0393
6	279.15	999.9432	51	324.15	987.5839
7	280.15	999.9045	52	325.15	987.1220
8	281.15	999.8512	53	326.15	986.6537
9	282.15	999.7838	54	327.15	986.1791
10	283.15	999.7026	55	328.15	985.6982
11	284.15	999.6081	56	329.15	985.2111
12	285.15	999.5004	57	330.15	984.7178
13	286.15	999.3801	58	331.15	984.2185
14	287.15	999.2474	59	332.15	983.7132
15	288.15	999.1026	60	333.15	983.2018
16	289.15	998.9460	61	334.15	982.6846
17	290.15	998.7779	62	335.15	982.1615
18	291.15	998.5986	63	336.15	981.6327
19	292.15	998.4082	64	337.15	981.0981
20	293.15	998.2071	65	338.15	980.5578
21	294.15	997.9955	66	339.15	980.0118
22	295.15	997.7735	67	340.15	979.4603
23	296.15	997.5415	68	341.15	978.9032
24	297.15	997.2995	69	342.15	978.3406
25	298.15	997.0479	70	343.15	977.7726
26	299.15	996.7867	71	344.15	977.1991
27	300.15	996.5162	72	345.15	976.6203
28	301.15	996.2365	73	346.15	976.0361
29	302.15	995.9478	74	347.15	975.4466
30	303.15	995.6502	75	348.15	974.8519
31	304.15	995.3440	76	349.15	974.2520
32	305.15	995.0292	77	350.15	973.6468
33	306.15	994.7060	78	351.15	973.0366
34	307.15	994.3745	79	352.15	972.4212
35	308.15	994.0349	80	353.15	971.8007
36	309.15	993.6872	81	354.15	971.1752
37	310.15	993.3316	82	355.15	970.5446
38	311.15	992.9683	83	356.15	969.9091
39	312.15	992.5973	84	357.15	969.2686
40	313.15	992.2187	85	358.15	968.6232
41	314.15	991.8327	86	359.15	967.9729
42	315.15	991.4394	87	360.15	967.3177
43	316.15	991.0388	88	361.15	966.6576
44	317.15	990.6310	89	362.15	995.9927
45	318.15	990.2162	90	363.15	965.3230

Tab. 2 Ciepło właściwe wody w zależności od temperatury

Temp. water °C	Temp. water K	Specific heat water J/kg/K	Temp. water °C	Temp. water K	Specific heat water J/kg/K
1	274.15	4.2141	46	319.15	4.1797
2	275.15	4.2107	47	320.15	4.1799
3	276.15	4.2077	48	321.15	4.1802
4	277.15	4.2048	49	322.15	4.1804
5	278.15	4.2022	50	323.15	4.1807
6	279.15	4.1999	51	324.15	4.1810
7	280.15	4.1977	52	325.15	4.1814
8	281.15	4.1957	53	326.15	4.1817
9	282.15	4.1939	54	327.15	4.1820
10	283.15	4.1922	55	328.15	4.1824
11	284.15	4.1907	56	329.15	4.1828
12	285.15	4.1893	57	330.15	4.1832
13	286.15	4.1880	58	331.15	4.1836
14	287.15	4.1869	59	332.15	4.1840
15	288.15	4.1858	60	333.15	4.1844
16	289.15	4.1849	61	334.15	4.1849
17	290.15	4.1840	62	335.15	4.1853
18	291.15	4.1832	63	336.15	4.1858
19	292.15	4.1825	64	337.15	4.1863
20	293.15	4.1819	65	338.15	4.1868
21	294.15	4.1813	66	339.15	4.1874
22	295.15	4.1808	67	340.15	4.1879
23	296.15	4.1804	68	341.15	4.1885
24	297.15	4.1800	69	342.15	4.1890
25	298.15	4.1796	70	343.15	4.1896
26	299.15	4.1793	71	344.15	4.1902
27	300.15	4.1790	72	345.15	4.1908
28	301.15	4.1788	73	346.15	4.1915
29	302.15	4.1786	74	347.15	4.1921
30	303.15	4.1785	75	348.15	4.1928
31	304.15	4.1784	76	349.15	4.1935
32	305.15	4.1783	77	350.15	4.1942
33	306.15	4.1783	78	351.15	4.1949
34	307.15	4.1782	79	352.15	4.1957
35	308.15	4.1782	80	353.15	4.1964
36	309.15	4.1783	81	354.15	4.1972
37	310.15	4.1783	82	355.15	4.1980
38	311.15	4.1784	83	356.15	4.1988
39	312.15	4.1785	84	357.15	4.1997
40	313.15	4.1786	85	358.15	4.2005
41	314.15	4.1787	86	359.15	4.2014
42	315.15	4.1789	87	360.15	4.2023
43	316.15	4.1791	88	361.15	4.2032
44	317.15	4.1792	89	362.15	4.2042
45	318.15	4.1797	90	363.15	4.2051

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Instytut Energetyki Ciepłej

ite.put.poznan.pl

Temat:

Badanie wymiennika ciepła

typu „rura w rurze”

Imię i Nazwisko:

Rok akademicki:

Grupa:

Data wykonania ćwiczenia:

Data zaliczenia:

Ocena zaliczenia:

Ocena ćwiczenia:

1. Schemat stanowiska pomiarowego wymienników ciepła.

a) wymiennik przeciwprądowy

b) wymiennik współprądowy

2. Tabela pomiarowo-obliczeniowa

Lp.	Wielkość mierzona lub obliczana	Ozna - czenia	Jednostka	Pomiar				
				1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Powierzchnia wymiany ciepła	A	m ²					
2.	Przekrój poprzeczny kanału płynu „gorącego”	A₁	m ²					
3.	Przekrój poprzeczny kanału płynu „zimnego”	A₂	m ²					
4.	Pomiar temperatury płynu „gorącego” T₁'	T₁'	°C					
5.	Pomiar temperatury płynu „gorącego” T₁''	T₁''	°C					
6.	Pomiar temperatury płynu „zimnego” T₂'	T₂'	°C					
7.	Pomiar temperatury płynu „zimnego” T₂''	T₂''	°C					
8.	Pomiar strumienia objętości płynu „gorącego”	V₁	m ³ /s					
9.	Pomiar strumienia objętości płynu „zimnego”	V₂	m ³ /s					
10.	Spadek temperatury płynu „gorącego” ΔT₁ = T₁' - T₁''	ΔT₁	K					
11.	Średnia temperatura płynu „gorącego” T_{1,śr} = (T₁' + T₁'')/2	T_{1,śr}	°C					
12.	Ciepło właściwe płynu „gorącego” dla temperatury T_{1,śr}	c_{p1}	kJ/kg K					
13.	Gęstość płynu „gorącego” dla temperatury T_{1,śr}	ρ₁	kg/m ³					
14.	Strumień masy płynu „gorącego” m₁ = ρ₁ V₁	m₁	kg/s					
15.	Przyrost temperatury płynu „zimnego” ΔT₂ = T₂'' - T₂'	ΔT₂	K					
16.	Średnia temperatura płynu „zimnego” T_{2,śr} = (T₂' + T₂'')/2	T_{2,śr}	°C					
17.	Ciepło właściwe płynu „zimnego” dla temperatury T_{2,śr}	c_{p2}	kJ/kg K					
18.	Gęstość płynu „zimnego” dla temperatury T_{2,śr}	ρ₂	kg/m ³					
19.	Strumień masy płynu „zimnego” m₂ = ρ₂ V₂	m₂	kg/s					
20.	Maksymalna różnica temperatur między płynem „gorącym” i „zimnym”	ΔT_{max}	K					
21.	Minimalna różnica temperatur między płynem „gorącym” i „zimnym”	ΔT_{min}	K					

22.	Logarytmiczna różnica temperatur między płynem „gorącym” i „zimnym” $\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}}$	ΔT_{ln}	K					
23.	Moc cieplna wymiennika jako: - podgrzewacza $\dot{Q}_2 = m_2 c_{p2} \Delta T_2$ - chłodnicy $\dot{Q}_1 = m_1 c_{p1} \Delta T_1$	\dot{Q}_2 \dot{Q}_1	kW					
24.	Suma strat ciepła do otoczenia i błędów pomiarów $\Delta Q = Q_1 - Q_2$	ΔQ	kW					
25.	Obciążenie jednostkowe powierzchni wymiany ciepła $q = Q/A$	q	kW/m ²					
26.	Współczynnik przenikania ciepła $k = \frac{\dot{Q}}{A \Delta T_{ln}}$	k	kW/m ² K					
27.	Efektywność wymiennika ciepła: - przeciwprądowego $E_p = \frac{T_1' - T_1''}{T_1' - T_2'}$ - współprądowego $E_w = 1 - \frac{\Delta T_{min}}{\Delta T_{max}}$	$E...$	-					
28.	Prędkość przepływu płynu „gorącego” $v_1 = \dot{V}_1/A_1$	v_1	m/s					
29.	Prędkość przepływu płynu „zimnego” $v_2 = \dot{V}_2/A_2$	v_2	m/s					
30.	Obliczeniowy współczynnik przenikania ciepła	k_{obl}	kW/m ² K					
31.	Obliczeniowa moc wymiennika ciepła $\dot{Q}_{obl} = k_{obl} A \Delta T_{ln}$	\dot{Q}_{obl}	kW					
32.	Względna różnica mocy cieplnych otrzymanych z pomiarów i obliczeń $\Delta Q = \frac{ \dot{Q}_{obl} - \dot{Q}_{1,(2)} }{\dot{Q}_{1,(2)}} 100\%$	ΔQ	%					

3. Wnioski