



Wrocław University
of Science and Technology

Symulacje CFD urządzeń energetycznych

Laboratorium 6

Obliczenia CFD wymiennika ciepła

Wrocław 2024

Wprowadzenie

Cel

Celem tego ćwiczenia jest analiza numeryczna działania wymiennika ciepła membranowego oraz walidacja modelu na podstawie danych eksperymentalnych.

Zadanie

Analizowany wymiennik ciepła typu „rura w rurze” ma wymiary: rura wewnętrzna $d_z/d_w = 15/13$ mm, rura zewnętrzna $d_z/d_w = 22/20$ mm, oraz całkowita długość $L = 6$ m. Wymiennik jest podzielony na cztery identyczne sekcje, z których każda jest wyposażona w gniazda do pomiaru temperatury płynów gorącego i zimnego, jak pokazano na Rysunku 1. Każdą sekcję można traktować jako osobny wymiennik ciepła. Rury wykonane są z miedzi (Cu), a rura zewnętrzna jest izolowana termicznie od otoczenia.

Pomiary przeprowadzono z wykorzystaniem wody jako czynnika roboczego. Wymiennik pracował zarówno w trybie współprądowym, jak i przeciwpłądowym, w dwóch konfiguracjach:

1. Zimna woda w rurze wewnętrznej, gorąca woda w rurze zewnętrznej (konfiguracja nieprawidłowa).
2. Gorąca woda w rurze wewnętrznej, zimna woda w rurze zewnętrznej (konfiguracja prawidłowa).

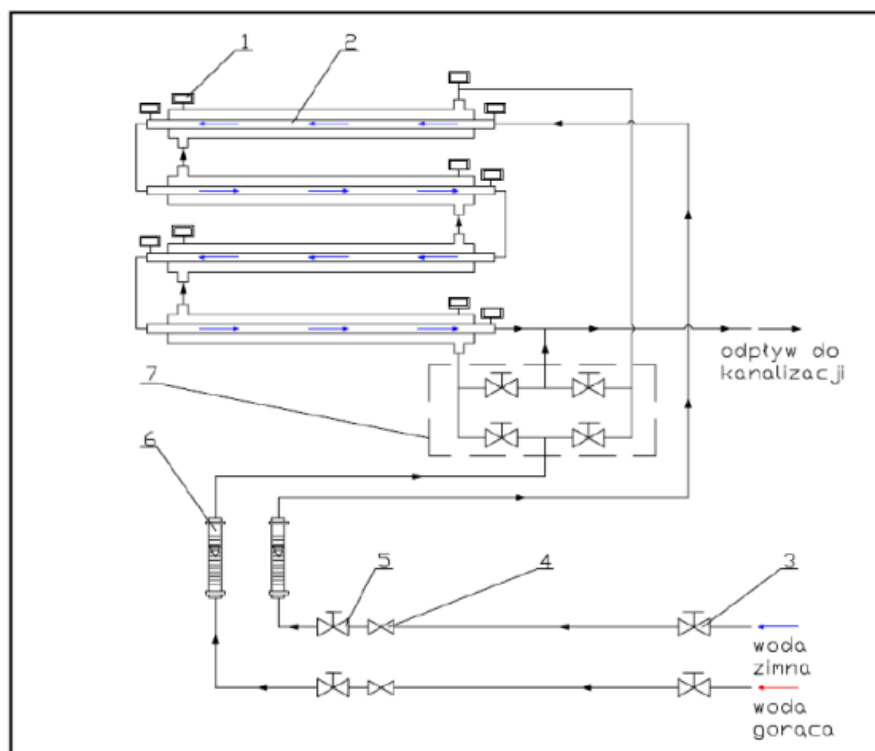


Fig. 1 Analizowany wymiennik ciepła z rozmieszczeniem gniazd pomiarowych.

1 - czujnik temperatury, 2 - wymiennik ciepła, 3 - zawory kulowe do otwierania przepływu wody, 4 - zawory zwrotne, 5 - zawory regulacji przepływu wody, 6 - rotametry, 7 - zespół zaworów kierunkowych

Przepływy obu płynów, w każdym z czterech przypadków, wynosiły $300 \frac{l}{h}$. Wyniki pomiarów temperatury przedstawiono w Tabelach 1-4.

Tab. 1 Wyniki pomiaru temperatury dla układu przeciwpądowego w konfiguracji nieprawidłowej.

t_w [°C]	13.9	17.6	29.3	30.4	35.8
t_z [°C]	31.3	36.3	41.5	47.4	52.8

Tab. 2 Wyniki pomiaru temperatury dla układu współpądowego w konfiguracji nieprawidłowej.

t_w [°C]	12.2	20.9	26.7	28.7	31.2
t_z [°C]	56.4	43.8	38.1	36.0	34.2

Tab. 3 Wyniki pomiaru temperatury dla układu przeciwpądowego w konfiguracji prawidłowej.

t_w [°C]	50.9	45.3	40.9	36.5	31.4
t_z [°C]	34.1	28.5	22.8	17.6	12.3

Tab. 4 Wyniki pomiaru temperatury dla układu współpądowego w konfiguracji prawidłowej.

t_w [°C]	50.8	42.8	38.2	36.3	34.9
t_z [°C]	12.0	20.8	26.7	29.4	30.6

Zadania do Wykonania

1. Wprowadzenie geometrii sekcji wymiennika do projektu Workbench (Fluid Flow CFX).
2. Utworzenie siatki numerycznej dla zadanej sekcji wymiennika.
3. Zdefiniowanie obszarów obliczeniowych (płyn w rurze wewnętrznej, płyn w rurze zewnętrznej oraz membrana).
4. Ustawienie warunków brzegowych i interfejsów niezbędnych do odtworzenia warunków przepływu badanych w układzie eksperymentalnym.
 - (a) Ponieważ model CFD obejmuje tylko dwie z czterech sekcji wymiennika, należy wybrać sekcje do symulacji i odpowiednio dobrać temperatury wlotowe płynów na podstawie danych pomiarowych.
5. Przeprowadzenie obliczeń modelowych dla wszystkich czterech konfiguracji i trybów pracy wymiennika.
6. Analiza wyników symulacji.

- (a) Przedstawienie konturów ciśnienia, prędkości oraz rozkładu temperatury w przekroju wymiennika.
- (b) Przedstawienie konturów gęstości strumienia ciepła przez membranę wymiennika.
- (c) Zgłoszenie obliczonych temperatur płynów. Określenie błędu względnego między wartościami modelowymi a zmierzonymi.
- (d) Wykreślenie temperatury obu płynów wzdłuż długości wymiennika z uwzględnieniem zmierzonych wartości z kreskami niepewności (założyć dokładność pomiaru ± 1 °C).
- (e) Obliczenie i porównanie z wartościami pochodzącymi z danych eksperymentalnych:
 - Całkowite ciepło przekazane przez płyn gorący: $\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_{in} - T_{out})$.
 - Całkowite ciepło pochłonięte przez płyn zimny.
 - Logarytmiczna średnia różnica temperatur w modelowanych sekcjach.
 - Średni współczynnik wymiany ciepła.

7. Powtórzenie obliczeń dla wybranego przypadku. Tym razem zdefiniowanie właściwości wody (gęstość, ciepło właściwe, przewodność cieplna i lepkość) jako funkcji temperatury w modelu (patrz Tabela 5).

- (a) Użycie funkcji użytkownika (User Function).
- (b) Porównanie wyników z obliczeniami z użyciem stałych parametrów fizycznych wody według wytycznych z punktu 6.

Tab. 5 Właściwości cieplne wody przy ciśnieniu nasycenia

t [°C]	ρ [kg/m ³]	c_p [kJ/(kg K)]	λ [W/(m K)]	$\eta \cdot 10^6$ [Pa s]
0	999.9	4.226	0.558	1788.82
5	1000	4.206	0.568	1535.00
10	999.7	4.195	0.577	1299.61
15	999.1	4.187	0.587	1144.97
20	998.2	4.182	0.597	1004.19
25	997.1	4.178	0.606	881.44
30	996.7	4.176	0.615	802.34
35	994.1	4.175	0.624	720.72
40	992.2	4.175	0.633	652.87
45	990.2	4.176	0.640	654.52
50	988.1	4.178	0.647	549.38
55	985.7	4.179	0.652	509.61
60	983.2	4.181	0.658	469.97
65	980.6	4.184	0.663	435.39
70	977.8	4.187	0.668	405.79
75	974.9	4.190	0.671	356.81
80	971.8	4.194	0.673	353.74
85	968.7	4.198	0.676	328.39
90	965.3	4.202	0.678	314.68
95	961.9	4.206	0.680	298.19