

Laboratorium Wentylacji i Klimatyzacji  
Ćwiczenie nr 13  
Podstawy modelowania elementów HVAC

Politechnika Wrocławska

21 września 2021



## Spis treści

<b>1</b>	<b>Informacje podstawowe</b>	<b>2</b>
1.1	Sprzęt i narzędzia wykorzystywane podczas ćwiczenia . . . . .	2
1.2	Cel ćwiczenia . . . . .	2
1.3	Problematyka, przebieg ćwiczenia . . . . .	2
1.4	Jak się przygotować do ćwiczenia? . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Realizacja ćwiczenia</b>	<b>4</b>
2.1	Model urządzenia . . . . .	4
2.2	Parametry rzeczywistych urządzeń . . . . .	5
2.2.1	Co ustala prowadzący? . . . . .	5
2.3	Jak przygotować sprawozdanie? . . . . .	6
2.3.1	Wykresy . . . . .	6
2.3.2	Wnioski . . . . .	7

# 1 Informacje podstawowe

W sekcji *informacje podstawowe* zebrano wyłącznie najważniejsze i bardzo skondensowane informacje dotyczące ćwiczenia. Warto bardzo dokładnie zapoznać się z tym krótkim fragmentem tekstu.

## 1.1 Sprzęt i narzędzia wykorzystywane podczas ćwiczenia

Podczas ćwiczenia studenci będą pracowali z oprogramowaniem do przeprowadzania symulacji komputerowych. Uczestnicy zajęć będą wykorzystywali program MATLAB (oprogramowanie komercyjne) lub SCILAB (oprogramowanie o otwartym kodzie źródłowym).

## 1.2 Cel ćwiczenia

Przeprowadzenie ćwiczenia wiąże się z realizacją następujących celów:

1. ugruntowanie wiedzy dotyczącej obliczania mocy urządzeń;
2. nabycie praktyki w korzystaniu z wykresu Molliera;
3. zdobycie rozeznania w tematyce przemian termodynamicznych zachodzących w wymiennikach ciepła.

## 1.3 Problematyka, przebieg ćwiczenia

Ćwiczenie polega na badaniu dwóch modeli: nagrzewnicy wodnej i chłodnicy wodnej. Oba badane modele powstały na bazie tych samych zależności matematycznych, ale zostały odmiennie skalibrowane. Kalibrację przeprowadzono w oparciu o rzeczywiste wymienniki zainstalowane w układzie wentylacji NW3. Instalacja NW3 znajduje się w budynku C13 Politechniki Wrocławskiej.

Podczas ćwiczenia uczestnicy wielokrotnie przeprowadzają symulacje komputerowe, a wyniki gromadzą w odpowiednich tabelach. Gdy wszystkie symulacje zostaną przeprowadzone, studenci przygotowują wnioski według ściśle określonego schematu zamieszczonego w podrozdziale 2.3.2 niniejszej instrukcji.

Wykorzystując wiedzę nabytą podczas studiów, uczestnicy ćwiczenia powinni krytycznie odnieść się do rezultatów wszystkich symulacji. Należy konkretnie wskazać, w jakich aspektach użyte modele wiernie odzwierciedlają rzeczywistość oraz w jakim zakresie modele pozostają nieużyteczne.

### Ważne

Rzetelna wypowiedź na temat użyteczności modeli powinna zawierać **konkretny opis**, niekiedy wzbogacony o proste zależności matematyczne. Jak modele działają? Jak powinny działać?

## 1.4 Jak się przygotować do ćwiczenia?

Warto zapoznać się z dalszą częścią instrukcji, w szczególności należałoby przed ćwiczeniem przemyśleć, w jaki sposób powinno się obliczać chwilowe zapotrzebowanie na moc nagrzewnicy i chłodnicy wodnej. Podczas ćwiczenia będzie analizowana chwilowa moc, czyli wymiennik ciepła będzie pracował w konkretnych warunkach - „na konkretnych parametrach”<sup>1</sup>.

Przy szacowaniu mocy chłodnicy z pewnością przyda się wykres Molliera. W zależności od warunków, w jakich przeprowadzane będzie ćwiczenie, uczestnicy powinni mieć do dyspozycji program MATLAB/SCILAB i arkusz kalkulacyjny (lub jego wydruk), w którym będą gromadzone wyniki.

---

<sup>1</sup>W ćwiczeniu nie chodzi o dobór wymiennika, tylko o analizę pracy wymiennika w konkretnych warunkach.

## 2 Realizacja ćwiczenia

W sekcji *realizacja ćwiczenia* opisano bardziej szczegółowo kluczowe kwestie związane z przeprowadzaniem ćwiczenia. Część tekstu powstała w oparciu o doświadczenia uczestników poprzednich edycji ćwiczeń, aby eliminować najczęstsze błędy popełniane podczas realizacji ćwiczenia.

### 2.1 Model urządzenia

Model każdego urządzenia został przygotowany w oparciu o układ 2 równań różniczkowych (zmiennie zależne od czasu) opisujących wymianę ciepła między komorami wymiennika (między komorą z czynnikiem opisaną równaniem 1, a komorą powietrzną opisaną równaniem 2).

$$k_v \rho_m c_m \dot{T}_{out(m)} = \rho_m c_m f_m (T_{in(m)} - T_{out(m)}) - k k_{size} (T_{out(m)} - T_{out}) \quad (1)$$

$$l h w \rho c \dot{T}_{out} = \rho c V_{in} (T_{in} - T_{out}) + k k_{size} (T_{out(m)} - T_{out}) \quad (2)$$

W zależności od różnicy temperatur na wyjściu wymiennika ( $T_{out(m)} - T_{out}$ ) następuje przekazywanie ciepła od komory, której temperatura na wyjściu jest wyższa, do komory, której temperatura na wyjściu jest niższa. Obowiązuje założenie o idealnym mieszaniu w każdej komorze. Oznacza to, że temperatura w całej objętości komory jest zawsze taka sama.

Ilość ciepła „przepływającego” z jednej komory do drugiej jest zależna od użytego w opisie matematycznym współczynnika przenikania ciepła, który został przyjęty jako stała.

Już z tego krótkiego opisu wynika, że model wymiennika został skonstruowany z uwzględnieniem wielu uproszczeń. Jednak należy pamiętać, że likwidacja każdego założenia upraszczającego wiąże się z bardziej skomplikowanym opisem matematycznym. W następstwie czego model może być na tyle skomplikowany, że nawet wysokiej klasy komputer będzie potrzebował bardzo długiego czasu na przeprowadzenie symulacji. Nie bez znaczenia jest również fakt, że wraz ze wzrostem złożoności opisu matematycznego wydłuża się sam proces przygotowywania symulacji przez użytkownika.

W świetle powyższych rozważań podczas laboratorium zostaną przebadane proste modele wymienników ciepła. Na podstawie wyników symulacji należy dokonać oceny użyteczności uproszczonych modeli w ogólnie pojętej branży sanitarnej (podczas etapu projektu, wykonania, odbioru, tworzenia układu sterowania, lub podczas normalnej eksploatacji).

Należy pamiętać, że model odwzorowuje rzeczywistość na tyle dokładnie, że model wymiennika, podobnie jak rzeczywisty wymiennik, posiada swój stan początkowy w momencie rozpoczęcia symulacji. Tak jak rzeczywisty wymiennik od momentu uruchomienia układu (np. centrali) osiąga swoje

1	<b>Nagrzewnica wodna</b>	<b>31527205</b>	
	Wariant mocy	2	
	Ilość rzędów	3	
	Ilość sekcji	34	
	Średnica króćców	40	gwint
	<b>zewn.</b>		
	Odstęp lamel	1.6	mm
	Spadek ciśnienia	125	Pa
	Prędkość powietrza	3.6	m/s
	Temperatura powietrza	9.4	20.0 °C
	Wilgotność względna	11.0	5.0 %
	Wymagana wydajność		68.10 kW
	Rezerwa wydajności		308 %
	Temperatura wody	80.0	60.0 °C
	Przepływ wody		0.831 l/s
	Opory przepływu wody		2.4 kPa
	Pojemność wodna		15 l
1	<b>Chłodnica wodna</b>	<b>31537734 - 18</b>	
1	Syfon wodny	BCXZ-1-71-1	
1	Odkraplacz	BCXZ-1-020-01	
	31725907		
	Ilość rzędów	4	
	Ilość sekcji	18	
	Średnica króćców	50	gwint zewn.
	Odstęp lamel	2.0	mm
	Spadek ciśnienia, przy suchej chłodnicy	190	Pa
	Spadek ciśnienia, przy mokrej chłodnicy	221	Pa
	Prędkość powietrza	3.4	m/s
	Temperatura powietrza	26.4	16.0 °C
	Wilgotność względna	55.0	90.0 %
	Wymagana wydajność		95.30 kW
	Rezerwa wydajności		16 %
	Ilość wykraplanej wody		0.6 l/min
	Temperatura wody	6.0	12.0 °C
	Przepływ wody		4.240 l/s
	Opory przepływu wody		28.0 kPa
	Pojemność wodna		40 l
	Glikol etylenowy		35 %/kg

Rysunek 1: fragment rzeczywistej dokumentacji układu NW3 (archiwum Politechniki Wrocławskiej).

nominalne parametry pracy po pewnym czasie, tak modelowany wymiennik znajduje się w stanie ustalonym także po pewnym czasie.

## 2.2 Parametry rzeczywistych urządzeń

Na rysunku 1 zamieszczono fragment dokumentacji rzeczywistego układu NW3, który dotyczy nagrzewnicy i chłodnicy zainstalowanej w centrali wentylacyjnej. Rzeczywista dokumentacja jest cennym źródłem wiedzy przy krytycznej ocenie modeli.

### 2.2.1 Co ustala prowadzący?

Prowadzący moderuje ćwiczenie w taki sposób, aby uczestnicy mogli zdobyć jak największą wiedzę w czasie trwania ćwiczenia. Dlatego zawsze prowa-

dzący może wprowadzać istotne zmiany w stosunku do niniejszej instrukcji.

Przy standardowym przebiegu ćwiczenia prowadzący powinien zadeklarować, dla jakich strumieni powietrza należy przeprowadzać symulacje.

## 2.3 Jak przygotować sprawozdanie?

Sprawozdanie to tak naprawdę raport dotyczący modelu nagrzewnicy i chłodnicy. Sprawozdanie powinno składać się z kilku wyraźnie oddzielonych części (najlepiej, aby każda część zajmowała dokładnie jedną stronę A4):

**część 1** - imię i nazwisko uczestnika zajęć, numer indeksu studenta, wnioski (patrz podrozdział 2.3.2),

**część 2** - wykresy dotyczące nagrzewnicy (patrz podrozdział 2.3.1);

**część 3** - tabele z wynikami dotyczące nagrzewnicy oraz przykłady obliczeń<sup>2</sup>;

**część 4** - wykresy dotyczące chłodnicy (patrz podrozdział 2.3.1);

**część 5** - tabele z wynikami dotyczące chłodnicy oraz przykłady obliczeń.

### 2.3.1 Wykresy

Podczas zajęć warto utworzyć następujące wykresy (wszystkie w funkcji strumienia powietrza):

1. Straty ciśnienia powietrza,
2. Temperatury powietrza na wyjściu,
3. Temperatury czynnika na wyjściu,
4. Wilgotności względnej,
5. Zawartości wilgoci w powietrzu wywiewanym,
6. Moc po stronie powietrza liczonej z różnicy temperatur,
7. Moc po stronie powietrza liczonej z różnicy entalpii,
8. Moc po stronie czynnika.

O najwyższym poziomie edycyjnym będzie świadczył fakt, że wszystkie wykresy, dotyczące jednego wymiennika, zostaną rozmieszczone na jednej stronie A4.

---

<sup>2</sup>Warto w sprawozdaniu zamieścić przykłady obliczeń, np. jak obliczano moc z różnicy temperatury? Jak obliczano moc z różnicy entalpii? Takie przykłady mają na celu wyłącznie pokazanie metodologii obliczeń, co pozwala prowadzącemu rzetelnie oceniać sprawozdanie. Nie należy mnożyć przykładów obliczeń ponad konieczne minimum.

### 2.3.2 Wnioski

Przygotowując wnioski warto posłużyć się poniższym schematem.

#### Ważne

W zależności od przypadku, można jednocześnie wypowiadać się na temat nagrzewnicy i chłodnicy lub przeciwnie, jeżeli znajdzie taka konieczność, należy osobno skomentować przypadek nagrzewnicy i osobo przypadek chłodnicy.

1. W jaki sposób strata ciśnienia zmienia się wraz ze wzrostem prędkości powietrza (strumienia powietrza)? Czy model dobrze odwzorowuje rzeczywistość w tym aspekcie?
2. Zakładając pracę wymienników w obliczeniowych warunkach, jak zmienia się temperatury powietrza nawiewanego, jeżeli filtry powietrza w centrali ulegną znacznemu zabrudzeniu? Czy model dobrze odwzorowuje rzeczywistość w tym aspekcie?
3. Dlaczego wilgotność względna powietrza za wymiennikami jest inna niż przed wymiennikami? Czy model dobrze odwzorowuje rzeczywistość w tym aspekcie?
4. Czy model dobrze odwzorowuje rzeczywistość w aspekcie bilansu mocy (moc po stronie czynnika w porównaniu do mocy po stronie powietrza)?