

Laboratorium Wentylacji i Klimatyzacji
Ćwiczenie nr 14
Problemy sterowania i optymalizacji
w układach VAV

Politechnika Wrocławska

6 maja 2022



Spis treści

1	Informacje podstawowe	2
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
2	Realizacja ćwiczenia	4
2.1	Przygotowanie do pracy	4
2.1.1	Sterowanie wymiennikiem obrotowym	5
2.1.2	Sterowanie nagrzewnicą wodną	5
2.1.3	Sterowanie chłodnicą wodną	6
2.1.4	Sterowanie wentylatorami	6
2.1.5	Sterowanie regulatorami VAV	6
2.1.6	Sterowanie nagrzewnicami elektrycznymi	7
2.2	Przeprowadzanie badań i eksperymentów	7
2.2.1	Co ustala prowadzący?	8
2.2.2	Co robią uczestnicy?	8
2.2.3	Czym są wyniki?	8
2.3	Opracowanie wyników	9

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 modelem instalacji wentylacyjnej przygotowanym w oprogramowaniu MATLAB.

1.2 Cel ćwiczenia

Przeprowadzenie ćwiczenia wiąże się z realizacją następujących celów:

1. wypracowanie (doskonalenie) intuicji uczestników dotyczącej sterowania układami wentylacyjnymi, w szczególności układami VAV;
2. ugruntowanie wiedzy i technicznych umiejętności do przeprowadzania podstawowych analiz instalacji wentylacyjnych (np. szacowanie mocy urządzeń, dobór parametrów powietrza nawiewanego);
3. zdobywanie nowych doświadczeń przy pracy z oprogramowaniem MATLAB, a tym samym rozwój umiejętności z zakresu komputerowego przeprowadzania obliczeń i symulacji.

1.3 Problematyka, przebieg ćwiczenia

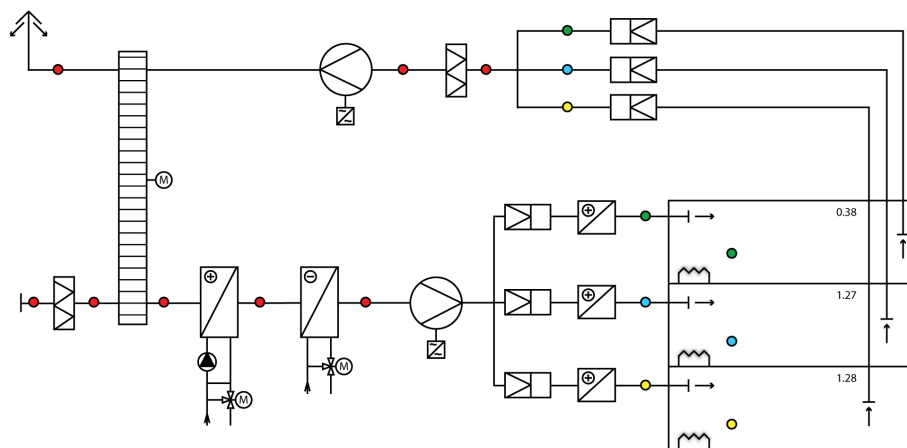
Uczestnicy ćwiczenia stają przed problemem, w jaki sposób zapewnić utrzymanie zadanej temperatury powietrza, w obliczu faktu, że **automatyczne sterowanie uległo awarii i istnieje wyłącznie możliwość ręcznego sterowania** poszczególnymi elementami instalacji wentylacyjnej. Schemat badanej instalacji wentylacyjnej został zamieszczony na rysunku 1.

Istnieje praktycznie nieskończona ilość możliwości odpowiedniego wystęrowania urządzeń w badanej instalacji, aby w pomieszczeniach utrzymywać zadaną temperaturę. Podczas ćwiczenia należy więc **możliwie konkretnie wyróżnić odmienne strategie sterowania** i próbować je zastosować na modelu.

Ważne

Podczas ćwiczenia należy wyróżnić odmienne strategie sterowania.

W efekcie uczestnicy powinni opracować kilka strategii sterowania, dostępnymi w modelu urządzeniami HVAC. W opracowaniu końcowym (sprawozdaniu) uczestnicy powinni dokonać **porównania wszystkich zaproponowanych** przez siebie strategii pod względem zapotrzebowania na energię.



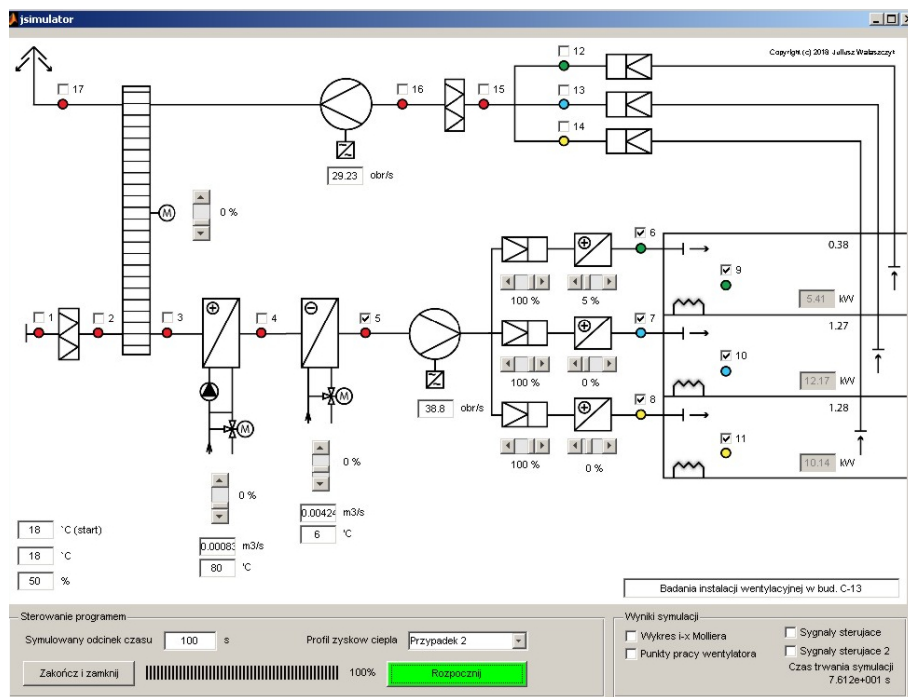
Rysunek 1: schemat badanej instalacji.

1.4 Jak się przygotować do ćwiczenia?

Warto zapoznać się z dalszą częścią instrukcji, w szczególności należałoby przed ćwiczeniem przemyśleć, jak ręczne sterowanie (nie ma automatycznej regulacji!) poszczególnymi urządzeniami będzie wpływało na pracę całej instalacji HVAC. Na przykład z czym może się wiązać obniżenie prędkości obrotowej wentylatorów? Czy wpłynie to na temperatury powietrza za wymiennikami?

Dodatkowo warto przypomnieć sobie, jak dobierać (wyznaczać) parametry powietrza nawiewanego w zależności od znanych zysków ciepła w pomieszczeniu (jednoczesne sterowanie strumieniem powietrza i temperaturą).

Ponadto podczas ćwiczenia pomocne będzie szybkie i sprawne szacowanie zapotrzebowania na moc elektryczną (wentylatory, nagrzewnice elektryczne) oraz chłodniczą.



Rysunek 2: okno główne symulacji.

2 Realizacja ćwiczenia

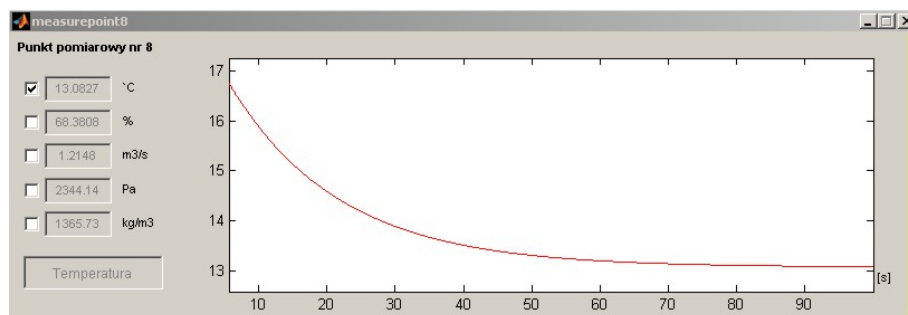
W sekcji *realizacja ćwiczenia* opisano bardziej szczegółowo kluczowe kwestie związane z przeprowadzaniem ćwiczenia. Część tekstu powstała w oparciu o doświadczenia uczestników poprzednich edycji ćwiczeń, aby eliminować najczęstsze błędy popełniane podczas realizacji ćwiczenia.

2.1 Przygotowanie do pracy

Model instalacji wentylacyjnej (widok okna na rys. 2) został przygotowany w taki sposób, aby zapewnić maksymalną zgodność z możliwościami obserwacji w warunkach rzeczywistych. Oznacza to, że użytkownicy modelu mogą zmieniać takie parametry pracy instalacji, jak mogłoby to przebiegać w rzeczywistości.

Na przykład operator modelu ma możliwość ustawienia prędkości obrotowej wentylatora¹, ale nie ma bezpośredniej możliwości ustawienia strumienia powietrza w instalacji, ani sprężu wentylatora. Punkt pracy wentylatora ustabilizuje się automatycznie z uwzględnieniem charakterystyki instalacji, dokładnie tak, jak miałyby to miejsce w rzeczywistości.

¹Model zakłada pewne uproszczenia, m.in. pomija występowanie zjawiska poślizgu w silnikach indukcyjnych.



Rysunek 3: okno podglądu punktu pomiarowego nr 8, czyli podgląd parametrów powietrza w nawiewanego do pomieszczenia 1.28.

Główne opcje sterowania poszczególnymi urządzeniami HVAC mogą być kontrolowane poprzez kontrolki (pola tekstowe, paski przewijania, itp.) umieszczone w pobliżu tych urządzeń. Kontrolki sterujące dostępne są w głównym oknie programu symulacyjnego (rys. 2).

Kolorowe punkty na rys. 1 i 2 to punkty pomiarowe, w których można (z wyjątkami) podejrzeć temperaturę, wilgotność względną, strumień powietrza oraz **sumaryczną stratę ciśnienia od początku instalacji**². Po kliknięciu pola wyboru (ang. checkbox) dowolnego punktu pomiarowego, otworzy się okno (przykład na rys. 3), w którym wypisane będą wartości parametrów powietrza z ostatniej sekundy symulacji. W lewej części okna z rys. 3 będzie możliwość wyboru parametru, dla którego w prawej części okna będzie utworzony wykres przebiegu tego parametru w całym czasie trwania symulacji.

2.1.1 Sterowanie wymiennikiem obrotowym

Posługując się paskiem przewijania umieszczonym obok wymiennika obrotowego, istnieje możliwość sterowania wydajnością tego wymiennika. Ustawienie wartości 100% spowoduje, że wymiennik będzie pracował z pełną wydajnością, natomiast nie oznacza to, że sprawność odzysku będzie 100%. Ustawienie 0% to całkowite zatrzymanie urządzenia - brak odzysku energii z powietrza wywiewanego.

2.1.2 Sterowanie nagrzewnicą wodną

Nagrzewnicą wodną w centrali wentylacyjnej można sterować poprzez procent otwarcia zaworu trójdrogowego, w zakresie 0-100%. Ustawienie 0% to pełna cyrkulacja i brak dopływu czynnika do nagrzewnicy. Ustawienie

²Przez początek instalacji rozumie się tutaj czerpienie w przypadku części nawiewnej i pomieszczenie w przypadku części wywiewnej

100% to brak cyrkulacji i zasilanie nagrzewnicy niepodmieszanym czynnikiem. Czynnikiem ma stałą temperaturę, którą można zadeklarować w polu tekstowym, domyślnie 80°C. Ponadto można zadeklarować strumień czynnika przepływający przez nagrzewnicę, który pozostaje stały przez cały czas trwania pojedynczego przebiegu symulacji³

Należy mieć na uwadze, że samo podgrzewanie powietrza będzie następowało w wyniku przepływu tego powietrza przez nagrzewnicę, dlatego opisane wcześniej ustawienia nie gwarantują utrzymywania stałej, konkretnej temperatury powietrza na wyjściu z nagrzewnicy. Stała temperatura na wyjściu z nagrzewnicy będzie zawsze efektem konkretnego strumienia powietrza oraz faktu pracy w stanie ustalonym, który może być osiągnięty w różnym czasie, w zależności od warunków.

W momencie uruchomienia pojedynczej symulacji (czas = 0s), temperatura powietrza i czynnika w nagrzewnicy ma wartość temperatury powietrza zewnętrznego. Dlatego zawsze należy ustawiać odpowiedni czas symulacji, aby doprowadzić nagrzewnicę do pracy w stanie ustalonym, czyli do momentu, aż temperatura powietrza na wyjściu nie będzie ulegała zmianom.

2.1.3 Sterowanie chłodnicą wodną

Model chłodnicy został przygotowany w oparciu o model nagrzewnicy, dlatego wszystkie uwagi dotyczące obsługi nagrzewnicy, mają zastosowanie również w przypadku chłodnicy. Mimo, że stanowi to pewne uproszczenie, dzięki odpowiedniemu skalibrowaniu modelu, komputerowa chłodnica dość dobrze odwzorowuje działanie rzeczywistego elementu.

2.1.4 Sterowanie wentylatorami

W celu wysterowania prędkości obrotowej wentylatora, należy w pole tekstowe, pod symbolem przekształtnika częstotliwości, wpisać konkretną wartość prędkości obrotowej w *obr/s*. Wartości domyślne, które pojawiają się w polach tekstowych podczas uruchamiania okna symulacji (rys. 2), to maksymalne prędkości obrotowe, inne dla wentylatora nawiewnego i wywiewnego. Pole tekstowe akceptuje działania matematyczne, dlatego w prosty sposób można np. obniżyć obroty do 90%, korzystając ze znaku mnożenia przy domyślnych prędkościach (byłoby wtedy $38.8 * 0.9$ i $29.23 * 0.9$).

2.1.5 Sterowanie regulatorami VAV

Każdy regulator zmiennego przepływu posiada pasek przewijania, na którym można ustawić żądany procent strumień powietrza. Ustawienie 100% zawsze

³Model uprasza rzeczywistość, ponieważ w zależności od stopnia otwarcia zaworu trójdrogowego, strumień czynnika ulegałby pewnym zmianom ze względu na zmianę oporów przepływu.

Tablica 1: Dopuszczalne zakresy strumieni powietrza dla pomieszczeń obsługiwanych przez badaną instalację.

Pomieszczenie	Strumień minimalny m^3/s	Strumień maksymalny m^3/s
0.38	50% maksymalnego	1.035
1.27	50% maksymalnego	1.941
1.28	50% maksymalnego	2.329

wymusza maksymalny (ale nie większy) strumień powietrza dla danego pomieszczenia.

Maksymalne wartości strumieni powietrza dla poszczególnych pomieszczeń zostały zebrane w tabeli 1. Regulatory w części nawiewnej są sprzężone z tymi w części wywiewnej, więc wszelkie ustawienia wystarczy wykonywać w części nawiewnej instalacji.

Ustawienie regulatora VAV, to tak naprawdę żądanie od niego, aby utrzymywał konkretną wartość strumienia powietrza. Dokładnie w taki sam sposób, w przeważającej większości, obsługiwane są rzeczywiste regulatory VAV. Należy mieć na uwadze, że standardowy regulator VAV posiada tylko jeden element wykonawczy - przepustnicę powietrza - dlatego nie ma żadnej gwarancji, że żądany strumień rzeczywiście został ustawiony. Każdorazowo należałoby to sprawdzać korzystając z punktów pomiarowych na kanałach, na których zamontowane są regulatory VAV.

2.1.6 Sterowanie nagrzewnicami elektrycznymi

Strefowe nagrzewnice elektryczne są sterowane w zakresie 0 - 100% ich nominalnej mocy elektrycznej, przy czym 0% to wyłączenie elementu, natomiast 100% to jego pełna moc.

Należy pamiętać, że w każdym kanale może być (i najczęściej jest) inny strumień powietrza, dlatego ustawienie tej samej mocy elektrycznej za każdym razem będzie skutkowało inną temperaturą powietrza na wyjściu z nagrzewnicy.

Przed przystąpieniem do właściwej realizacji ćwiczenia warto doświadczalnie oszacować moc elektryczną nagrzewnic w modelu, co w przyszłości z pewnością się zwróci jako krótszy czas realizacji ćwiczenia.

2.2 Przeprowadzanie badań i eksperymentów

Każdorazowe wciśnięcie przycisku *Rozpocznij* (rys. 2) uruchamia obliczenia, których efektem jest pełny obraz pracy instalacji przez zadany odcinek czasu. Niektóre urządzenia potrzebują pewnego czasu, aby zacząć pracować w stanie ustalonym, natomiast w momencie startu symulacji (czas = 0s) są w pewnym określonym stanie początkowym. Należy mieć to na uwadze,

aby nie wyciągać wniosków dotyczących stanu pracy instalacji HVAC, jeżeli zadany odcinek czasu pracy instalacji był zbyt krótki, żeby cała instalacja mogła zacząć pracować w stanie ustalonym. Np. z rys. 3 można wnioskować, że stan ustalony występuje po ponad 100 sekundach.

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 prowadzący może wprowadzać istotne zmiany w stosunku do niniejszej instrukcji.

Przy standardowym przebiegu ćwiczenia prowadzący powinien zadeklarować parametry powietrza zewnętrznego oraz rozmieszczenie zysków ciepła pomiędzy pomieszczeniami. Zyski ciepła pozostają stałe w czasie.

2.2.2 Co robią uczestnicy?

Uczestnicy laboratorium powinni w taki sposób ręcznie wysterować dostępne urządzenia (najlepiej w sposób przemyślany), aby we wszystkich pomieszczeniach była utrzymywana temperatura 20°C. Temperatura powietrza nawiewanego powinna mieścić się w granicach 13 - 27°C. Do każdego z pomieszczeń powinien dopływać strumień powietrza mieszczący się w zakresach zebranych w tabeli 1.

Jeżeli proces ręcznego sterowania przebiegł poprawnie i wszystkie warunki zostały spełnione to należy nazwać zastosowaną strategię sterownia.

Ważne

Dobór nazwy i przygotowanie krótkiego opisu, to bardzo ważna czynność. **Za pomocą samej nazwy lub krótkiego opisu, dowolna osoba z branży HVAC (np. inny student) powinna być w stanie, dokładnie w taki sam sposób, wysterować instalację.**

Na tym etapie można zweryfikować, czy wcześniejsze działania były przemyślane i czy w ogóle można konkretnymi słowami ująć podejście, które zostało zastosowane.

Kiedy okaże się, że zastosowana strategia sterowania jest nie tylko skuteczna, ale też daje opisać się konkretnymi słowami, można przystąpić do zapisywania wyników.

2.2.3 Czym są wyniki?

Wyniki to zapis stanu pracy instalacji VAV. Należy zapisywać tylko te parametry pracy, które będą stanowiły element rozróżniający strategię sterownia, a ponadto pozwalają szacować moce urządzeń.

Tzew		1B																			
Strategia	Chłodnica		Went. Nawiewny			Went. Wywiewny			Pomieszczenie 0.38			Pomieszczenie 1.27			Pomieszczenie 1.28						
	Nastawa zaworu	T na wyjściu	Obroty	Spręż	Strumień	Obroty	Spręż	Strumień	Nastawa W/V	Strumień	Nastawa N. strat.	T nawiew	Nastawa W/V	Strumień	Nastawa N. strat.	T nawiew	Nastawa W/V	Strumień	Nastawa N. strat.	T nawiew	
	%	°C	obr/s	Pa	m ³ /s	obr/s	Pa	m ³ /s	%	m ³ /s	%	°C	%	m ³ /s	%	°C	%	m ³ /s	%	°C	
Strategia 1																					
Strategia 2																					
Strategia 3																					
Strategia 4																					
Strategia 5																					

Rysunek 4: przykład tabeli do zapisu stanu pracy badanej instalacji HVAC w szczególnym przypadku, gdy w żadnej strategii sterowania nie wykorzystywano wymiennika obrotowego, ani nagrzewnicy.

Gdy w pełni uda się zapisać stan pracy zastosowanej strategii sterowania, należy zastanowić się nad kolejną, inną strategią i proces ręcznej regulacji wykonać ponownie.

2.3 Opracowanie wyników

Po zrealizowanym ćwiczeniu uczestnicy powinni dysponować materiałami dotyczącymi kilku strategii sterowania, przy czym do każdej strategii powinien należeć zestaw danych:

- nazwa,
- krótki opis,
- parametry pracy instalacji pozwalające
 - różnicować proponowane strategie sterowania⁴,
 - oszacować (obliczyć) moce urządzeń.

Przykład tabeli z danymi, w przypadku gdy w żadnej strategii sterowania nie wykorzystywano wymiennika obrotowego, ani nagrzewnicy, mogłyby wyglądać tak, jak zamieszczony na rys. 4.

W dalszej kolejności należałoby oszacować⁵ moce urządzeń. Kontynuując szczególny przypadek z wcześniejszego opisu, obliczenia mocy mogłyby zostać zebrane w tabelę, której przykład został zamieszczony na rys. 5.

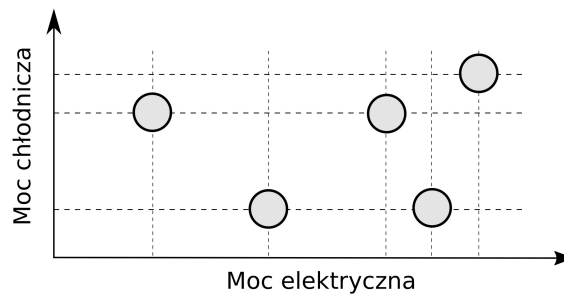
Do tabeli 5 należy przygotować graficzną reprezentację, która mogłaby wyglądać jak ta, zamieszczona na rysunku 6. W kołka z rys. 6 należałoby wpisać numer konkretnej strategii sterowania lub tak skonfigurować wykres punktowy w programie komputerowym, aby nie łączył punktów i obok każdego z punktu wstawić pole tekstowe z numerem strategii.

⁴Nie ma potrzeby wypisywania parametrów, które w żadnej strategii nie ulegają zmianie, np. domyślnych wartości temperatury czynników.

⁵Słowo oszacować jest tutaj użyte tylko dlatego, że uproszczone obliczenia zawsze należałoby traktować jako szacowanie. Oczywiście w zadaniu należy zawsze dokonywać obliczeń.

Strategia	Moc	
	kW	
	Chłodnica	Wentylatory + nagrzewnice stref.
Strategia 1		
Strategia 2		
Strategia 3		
Strategia 4		
Strategia 5		

Rysunek 5: przykład tabeli do zapisu mocy urządzeń.



Rysunek 6: przykład graficznego przedstawienia zapotrzebowania na moc poszczególnych strategii sterowania.