Politechnika Wrocławska

Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa

Wydział Inżynierii Środowiska

Politechnika Wrocławska

Wyznaczanie charakterystyki regulatora zmiennego przepływu

Systemy VAV

Systemy ze zmiennym strumieniem powietrza wentylującego (ang. *Variable Air Volume*) powstały na początku lat czterdziestych ubiegłego stulecia, dużą popularność zyskały w latach siedemdziesiątych, w okresie kryzysu spowodowanego wzrostem cen ropy naftowej. Koszty eksploatacyjne urządzeń VAV okazały się znacznie niższe od systemów ze stałym strumieniem powietrza (CAV) oraz popularnych w tamtym okresie urządzeń dwuprzewodowych [1].

Idea rozwiązania VAV opiera się na interpretacji znanych zależności strumienia powietrza wentylującego lub klimatyzacyjnego od zysków ciepła i różnicy temperatur (entalpii) pomiędzy powietrzem nawiewanym i wywiewanym:

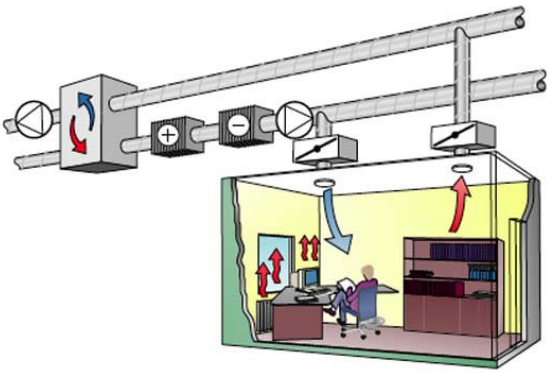
$$V = \frac{Q_{zf}}{\rho c_p (t_w - t_n)} \quad lub \quad V = \frac{Q_{zc}}{\rho (i_w - i_n)}$$

W klasycznych rozwiązaniach temperatura powietrza nawiewanego zmienia się reagując na zmiany chwilowego obciążenia cieplnego pomieszczeń. W przypadku systemów VAV temperatura nawiewu jest stała w okresie całorocznym (zazwyczaj +15…+16^{o}C), zmianie ulega natomiast strumień powietrza nawiewanego.

Strumień nawiewany, uzdatniony uprzednio w centrali, kierowany jest do pomieszczeń poprzez sieć kanałów. Przed każdym nawiewnikiem (lub grupą nawiewników) w poszczególnych pokojach montowany jest regulator zmiennego przepływu (skrzynka VAV). Jego zadaniem jest dostosowanie wielkości strumienia nawiewanego w zależności od chwilowych obciążeń cieplnych, tak by temperatura w strefie przebywania ludzi utrzymywana była na założonym poziomie. W sytuacji zwiększonych zysków ciepła, regulator otwiera przepustnicę, powodując spadek oporów instalacji, na co reaguje wentylator w centrali, zwiększając strumień powietrza. W przypadku zmniejszenia się obciążeń cieplnych urządzenie przymyka przepustnicę, opory instalacji rosną i ilość dostarczanego powietrza zmniejsza się.

Systemy VAV znajdują zastosowanie w obiektach biurowych, handlowych oraz budynkach użyteczności publicznej (szkoły, szpitale, hotele itp.) Ponadto są popularnym rozwiązaniem w obiektach, które wymagają precyzyjnej regulacji ciśnienia w obsługiwanych pomieszczeniach, takich jak laboratoria, izolatki czy zakłady produkcyjne z salami GMP (ang. *Good Manufacturing Practice*) [2].

Regulatory VAV dla kanałów prostokątnych i okrągłych

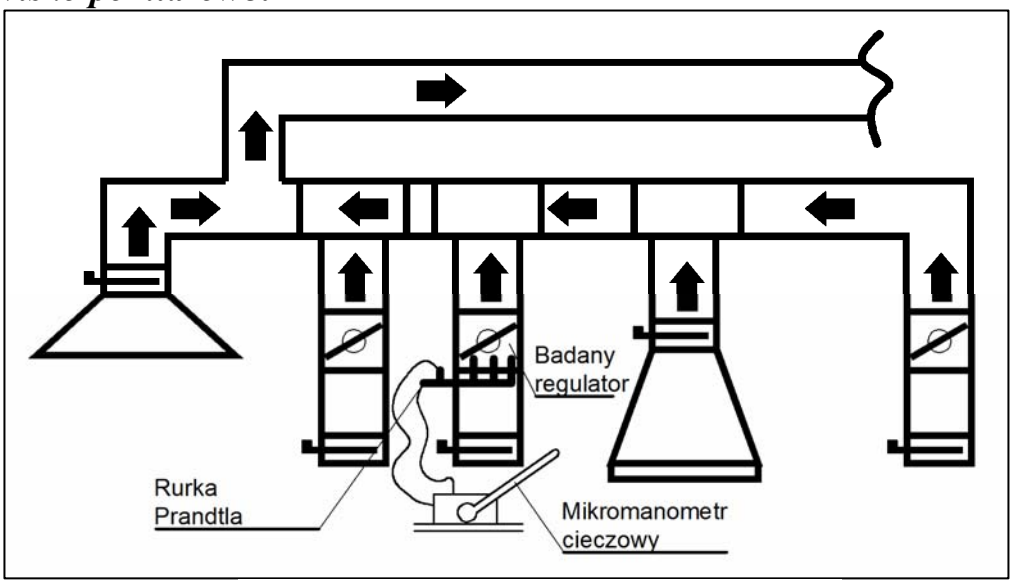


Schemat systemu VAV

Cel ćwiczenia:

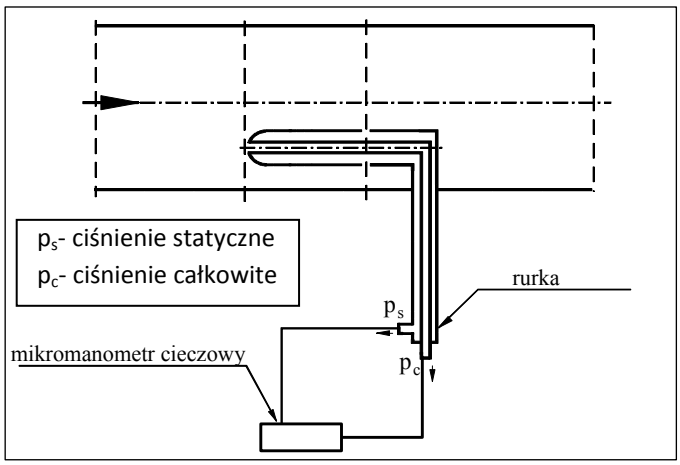
- Wyznaczenie charakterystyki regulatora zmiennego przepływu dla różnych charakterystyk instalacji wentylacyjnej

Stanowisko pomiarowe:



Schemat stanowiska pomiarowego w Sali 342

Pomiary przeprowadza się na stanowisku zlokalizowanym w sali 342 w budynku C6. Badany regulator jest częścią instalacji składającej się z podłączonych równolegle okapu, ssawki szczelinowej oraz przewodów odciętych zasuwami. Ciśnienie dynamiczne mierzone jest za pomocą wbudowanej w kanale rurki Prandtla, podłączonej do mikromanometru różnicowego. Pomiary przeprowadza się dla różnych charakterystyk instalacji: na początku wszystkie kanały są odcięte, z wyjątkiem przewodu z regulatorem, następnie kolejno otwierane są zasuwy przy poszczególnych urządzeniach.



Zasada pomiaru ciśnienia dynamicznego rurką Prandtla

Opis ćwiczenia i sposób opracowania danych pomiarowych

Przy podstawowej charakterystyce instalacji (wszystkie kanały z wyjątkiem kanału z regulatorem odcięte) dla różnych kątów otwarcia przepustnicy w regulatorze mierzone jest ciśnienie dynamiczne.

$$p_d = k \cdot \rho \cdot g \cdot h, \mathrm{Pa}$$

gdzie:
k- przełożenie manometru
ρ- gęstość cieczy manometrycznej, kg/m^3
g- przyspieszenie ziemskie g=9,81 m/s^2
h- wysokość wychylenia cieczy manometrycznej, m

Na podstawie ciśnienia dynamicznego wyznaczana jest prędkość przepływu powietrza w kanale.

$$p_d = \frac{\rho_p \cdot w^2}{2}, \mathrm{Pa}$$

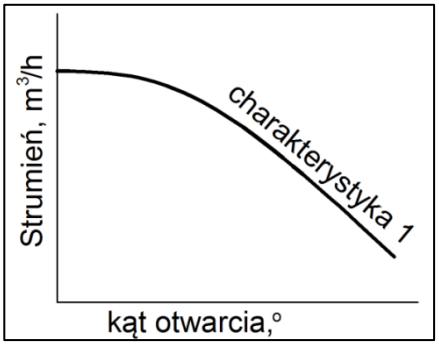
gdzie:
ρ_p- gęstość powietrza, kg/m^3
w- prędkość przepływu powietrza

Następnie mierzone są wymiary kanału i wyznaczane jest jego pole powierzchni. Znając prędkość i powierzchnię przepływu można wyznaczyć strumień objętości dla poszczególnych kątów otwarcia przepustnicy.

$$V = w \cdot A, \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$$

gdzie:
A- Pole powierzchni kanału, m^2

Dla uzyskanych wartości strumieni wykreśla się charakterystykę regulatora w zależności od kąta otwarcia przepustnicy.



Następnie pomiary są powtarzane dla kolejnej charakterystyki instalacji, po otworzeniu kolejnych zasuw odcinających podłączone do systemu urządzenia wentylacyjne.

Literatura:

[1] Przydróżny S., *Podstawy obliczeniowe i analiza pracy klimatyzacyjnych urządzeń indukcyjnych,* COW nr 2/1969
[2] Sudoł W., Hendiger J., *Systemy VAV- poradnik*, Kraków, 2009

[3] Pełech A., *Wentylacja i klimatyzacja podstawy*, Wrocław, 2009

Politechnika Wrocławska

Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa

Wydział Inżynierii Środowiska

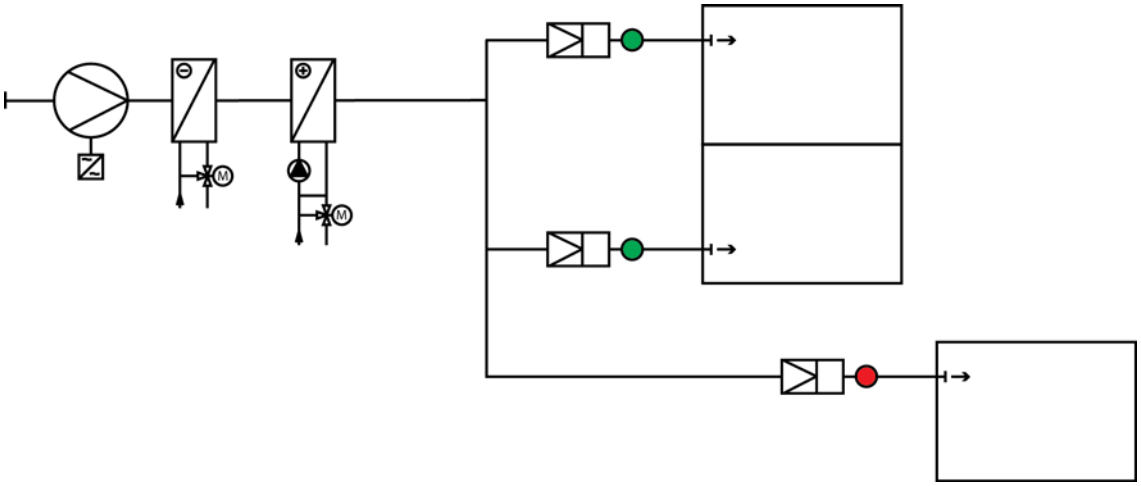
Politechnika Wrocławska

Analizy wydajności systemów VAV

Dodatek do instrukcji podstawowej

Skuteczność systemów VAV

Projektując systemy ze zmiennymi przepływami należy zwracać uwagę na maksymalne możliwe zapotrzebowanie na strumień powietrza, uwzględniając w szczególności sytuację, w której wszystkie regulatory będą pracowały przy pełnym otwarciu. Nieuważne opracowanie hydrauliki układu może spowodować, że w kanale o największych oporach przepływu strumień będzie niewystarczający.

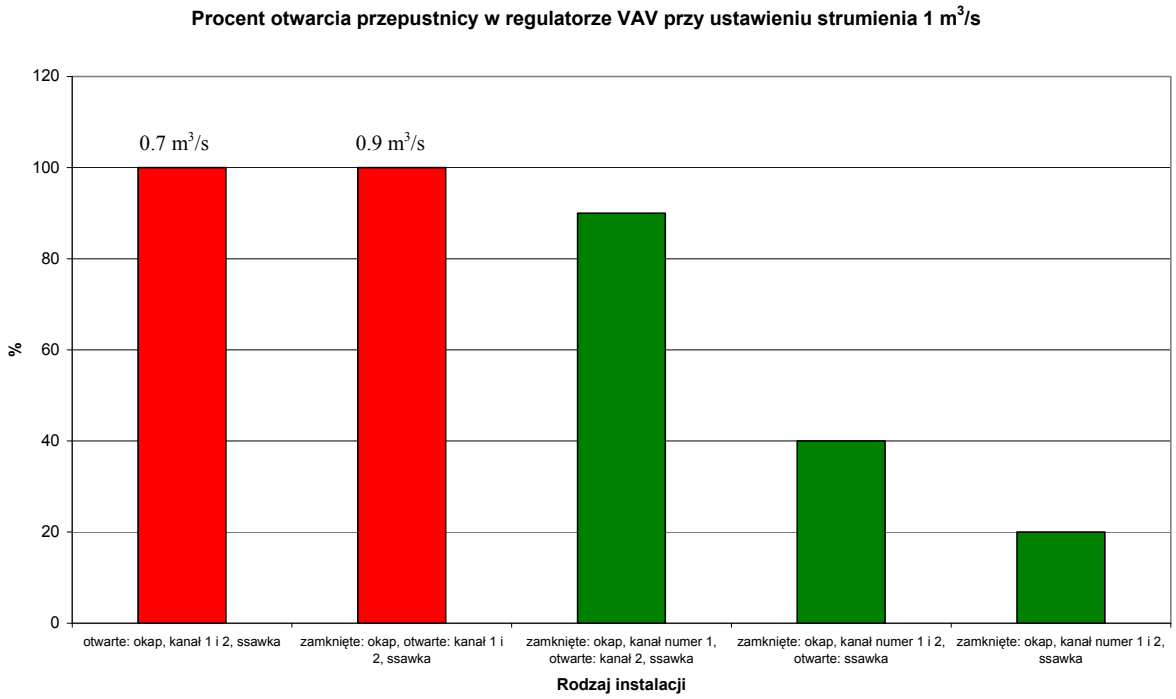


Strumień w miejscu oznaczonym kolorem czerwonym jest zbyt niski. Regulator, mimo całkowitego otwarcia przepustnicy, nie może zapewnić wymaganego strumienia. Całkowicie otwarte przepustnice w regulatorach oznaczonych kolorem zielonym, zmieniły układ ciśnień w całej instalacji w ten sposób, że do kanału o największych oporach przepływu nie dociera wymagana ilość powietrza.

W ćwiczeniu zostanie przebadany wpływ zmiany hydrauliki instalacji na skuteczność funkcjonowania układów ze zmiennymi strumieniami.

1. Ustalić z prowadzącym strumień, jaki należy utrzymywać na badanym regulatorze.
2. Przeliczyć wartość strumienia na wysokość słupa cieczy w mikromanometrze.
3. Przygotować i opisać stan instalacji wentylacyjnej w pomieszczeniu, na przykład: okap zamknięty, kanał numer 1 i 2 zamknięty, ssawka zamknięta.
4. Przygotować odpowiednio mikromanometr, aby w momencie włączenia wentylatora nie przekroczyć dopuszczalnej wartości ciśnienia dynamicznego dla ustawionej przekładni. Uruchomić wentylator.
5. Ręcznie ustawić przepustnicę, aby uzyskać ustalony na początku ćwiczenia strumień. Wysokość cieczy w mikromanometrze powinna odpowiadać wartości obliczonej w punkcie 2.

6. Odnotować kąt, pod jakim znajduje się przepustnica. Przeliczyć otrzymany kąt na procent otwarcia przepustnicy. Zmieniając kilkukrotnie charakterystykę instalacji, odnotowywać procent otwarcia przepustnicy w regulatorze.
7. Utworzyć wykres słupkowy reprezentujący procent otwarcia regulatora, w zależności od charakterystyki instalacji. Oznaczyć wyraźnie słupki na wykresie, gdy nawet przy całkowitym otwarciu regulatora, wymagany strumień nie osiągał żądanej wartości. Przykładowy wykres został przedstawiony na rysunku 1.



Rysunek 1. Procent otwarcia przepustnicy w regulatorze VAV.

Wykonać kilkukrotnie badania, zmieniając za każdym razem wymagany strumień – wartość zadaną dla regulatora. Liczba wykresów zamieszczonych w sprawozdaniu powinna odpowiadać ilości przebadanych ustawień strumienia.

Analiza pracy systemów VAV w zależności od charakterystyki instalacji

W ćwiczeniu zostanie przebadane zachowanie się systemu wentylacyjnego z jednym regulatorem zmiennego przepływu, w zależności od zmiany charakterystyki instalacji.

1. Odpowiednio przygotowując instalację, przy włączonym wentylatorze, wyznaczyć maksymalny strumień, jaki może płynąć przez badany w ćwiczeniu regulator VAV.
2. Przyjąć jako **wartość zadaną** dla regulatora 50% wartości strumienia maksymalnego. Przy pomocy przepustnicy badanego regulatora VAV ustawić żądany strumień powietrza płynącego przez regulator.
3. Zmieniać charakterystykę instalacji wykorzystując dostępne przepustnice wyposażone w skalę kątową, w ślad za tym nastawę przepustnicy w regulatorze VAV (należy utrzymywać wartość zadaną strumienia) oraz w efekcie mierzyć parametry instalacji: strumień całkowity, kąt otwarcia przepustnicy regulatora VAV, strumień na regulatorze.
4. Zmienić charakterystykę instalacji poprzez częściowe otwarcie okapu, lub ssawki. Ponownie wykonać punkt 3, odtwarzając dokładnie stany otwarcia przepustnic wyposażonych w skalę kontową.
5. Powtórzyć ćwiczenie dla innej wartości zadanej, na przykład 70% strumienia maksymalnego.

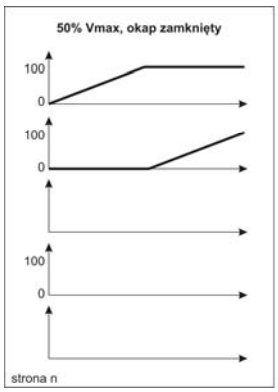
Zmian charakterystyki instalacji w punkcie 3 można dokonywać przy pomocy dwóch przepustnic wyposażonych w skalę kątową. Przykładowo pierwszy pomiar powinien być wykonany, gdy obie przepustnice będą ustawione na 0°. Kolejny pomiar przy pierwszej przepustnicy otwartej na 10°, przy drugiej przepustnicy ustawionej ciągle na 0°. Następnie analogicznie, przy pierwszej przepustnicy otwartej na 20°, przy drugiej przepustnicy ustawionej w dalszym ciągu na 0°. Gdy pierwsza przepustnica będzie już całkowicie otwarta (90°), należy zacząć otwierać drugą przepustnicę, również co 10°. Sposób otwierania przepustnic został uwzględniony w tabeli pomiarowej.

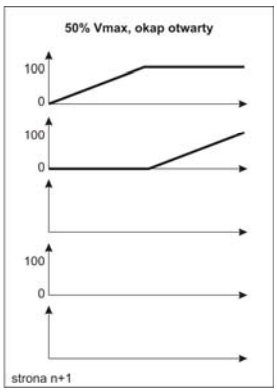
Tabela 1. 50% V_{max}; okap otwarty / zamknięty

Lp	Kąt otwarcia przepustnicy nr 1	Kąt otwarcia przepustnicy nr 2	Strumień całkowity	Kąt otwarcia przepustnicy w regulatorze VAV	Strumień płynący przez regulator VAV
1	0°	0°			
2	10°	0°			
3	20°	0°			
4	30°	0°			
5	40°	0°			
6	50°	0°			

7	60°	0°			
8	70°	0°			
9	80°	0°			
10	90°	0°			
11	90°	10°			
12	90°	20°			
13	90°	30°			
14	90°	40°			
15	90°	50°			
16	90°	60°			
17	90°	70°			
18	90°	80°			
19	90°	90°			

Prawidłowo sporządzone sprawozdanie powinno zawierać dla każdego badanego strumienia 2 strony A4 wykresów, po 5 wykresów na każdej stronie. Oś pozioma na wszystkich wykresach powinna być identyczna (argumentami powinna być liczba porządkowa pomiaru), podobnie jak dwa pierwsze wykresy na każdej stronie.





- Pierwszy wykres przedstawia procent otwarcia przepustnicy nr 1.
- Drugi wykres przedstawia procent otwarcia przepustnicy nr 2.
- Trzeci wykres przedstawia strumień całkowity w instalacji.
- Czwarty wykres przedstawia procent otwarcia przepustnicy w regulatorze VAV.
- Piąty wykres przedstawia strumień płynący przez regulator.

Należy pamiętać, że procent otwarcia przepustnicy nie jest tym samym pojęciem, co kąt otwarcia. Oprócz wykresów, w sprawozdaniu należy zamieścić własne wnioski dotyczące uzyskanych wyników. Wartości mierzone mogą być w pewnych przedziałach argumentów (lub dla wszystkich argumentów) stałe, rosnące, malejące, nierosnące, skorelowane, etc. Stosując te i inne pojęcia należy jednak przytoczyć ich znaczenie i opisać skalę zjawiska, na przykład podając wartość pochodnej wykresu, lub obliczony współczynnik korelacji. Warto poszukać przyczyn wszelkich prawidłowości zaobserwowanych na wykresach.