

Mgr inż. M. Skwarczyński  
Mgr inż. T. Cholewa



# Laboratorium: Ogrzewnictwa i wentylacji

**Specjalność:**  
**Ogrzewnictwo, wentylacja i klimatyzacja (OWK) - 30 godzin**

Lp.	Wykaz ćwiczeń
1	Wyznaczanie charakterystyki wentylatora i instalacji wentylacyjnej
2	Pomiar natężenia hałasu w pomieszczeniu oraz pomiar natężenia hałasu instalacji wentylacyjnej
3	Pomiar mocy nagrzewnicy elektrycznej oraz prędkości powietrza na kratce wywiewnej
4	Rozkład ciśnień i prędkości przepływu powietrza w przewodzie wentylacyjnym
5	Wyznaczanie charakterystyki cieplnej grzejnika
6	Wyznaczanie mocy grzejnika podłączonego do instalacji w sposób jednostronny boczny, krzyżowy, siodłowy oraz odwrotny
7	Wyznaczanie pola temperatury na powierzchni grzejnika w zależności od jego mocy
8	Wyznaczanie charakterystycznych parametrów grzejnika podłogowego
9	Wyznaczanie charakterystycznych parametrów cieplnych instalacji c.w.u. zasilanej z systemu solarnego i pompy ciepła

## Literatura:

1. Kwiatkowski J., Cholewa L.: Centralne ogrzewanie. Pomoce projektanta. Arkady, Warszawa 1980
2. Szymański W., Bukowska M.: Ogrzewnictwo. Laboratorium. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 1984.
3. Praca zbiorowa pod redakcją M. Mieszkowskiego: Pomiary cieplne i energetyczne. WNT, Warszawa 1981.
4. Opaliński S., Olesiewicz R.: Wentylacja i klimatyzacja. Laboratorium wentylacji. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 1986.
5. Kołodziejczyk L, Mańkowski S., Rubik M.: Pomiary w inżynierii sanitarnej. Arkady, Warszawa 1980.
6. Pełech A.: Wentylacja i klimatyzacja. Podstawy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2008.
7. Przydróżny S.: Wentylacja. Wrocław 1991.
8. Przydróżny S., Ferencowicz J.: Klimatyzacja. Wrocław 1988.
9. Malicki M.: Wentylacja i klimatyzacja. PWN, Warszawa 1980.
10. Jones P.: Klimatyzacja. Arkady, Warszawa 2001.

# Ćwiczenie nr 1

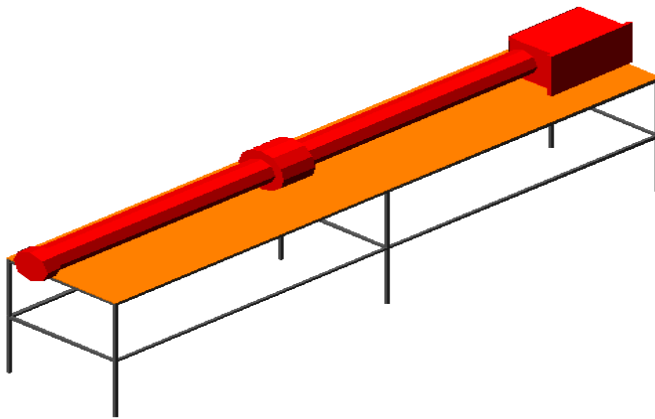
## Wyznaczanie charakterystyki wentylatora i instalacji wentylacyjnej

### 1. Cel ćwiczenia

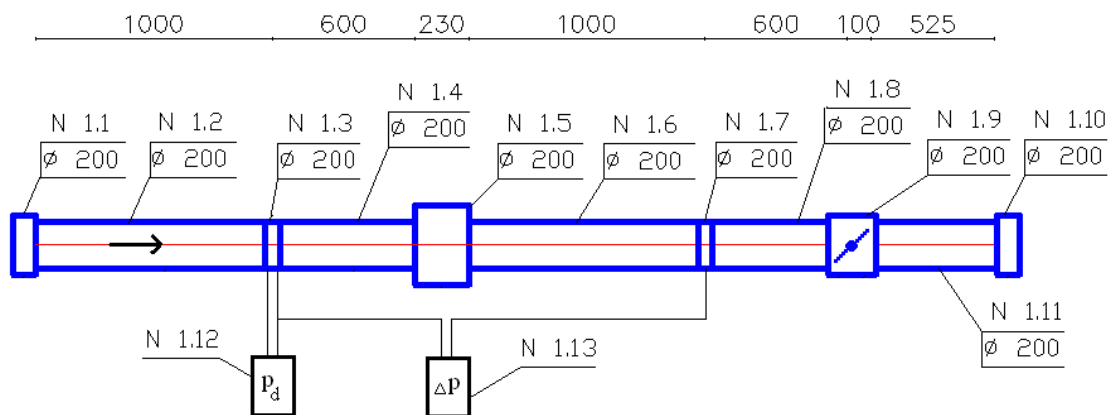
Celem ćwiczenia jest:

- wyznaczenie charakterystyki wentylatora
  - wydanie-spręż
  - wydanie-moc
  - wydanie-sprawność
- wyznaczenie charakterystyki instalacji przy różnych ustawieniach przepustnicy powietrza

### 2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 1.1. Model instalacji doświadczalnej w 3D



Rys. 1.2. Schemat stanowiska doświadczalnego

Stanowisko pomiarowe (rys. 1.2) zbudowane jest z elementów zestawionych w tabeli 1.1.

Tabela. 1.1. Elementy składowe stanowiska doświadczalnego

Lp.	Nazwa	Producent	Szt.
N 1.1	Czerpnia IGC $\phi = 200$	Systemair	1
N 1.2	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; $l = 400$ mm	Systemair	1
N 1.3	Element pomiarowy DEBIMO $\phi = 200$	KIMO	1
N 1.4	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; $l = 1000$ mm	Systemair	1
N 1.5	Wentylator do kanałów o przekroju kołowym K 200L	Systemair	1
N 1.6	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; $l = 600$ mm	Systemair	1
N 1.7	Element pomiarowy DEBIMO $\phi = 200$	KIMO	1
N 1.8	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; $l = 500$ mm	Systemair	1
N 1.9	Przepustnica powietrza FMU $\phi = 200$	Smay	1
N 1.10	Wyrzutnia IGC $\phi = 200$	Systemair	1
N 1.11	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; $l = 500$ mm	Systemair	1
N 1.12	Rejestrator różnicy ciśnień C200	KIMO	1
N 1.13	Rejestrator różnicy ciśnień C200	KIMO	1

Doświadczalne wyznaczenie strat ciśnienia przy przepływie powietrza odbywa się na stanowisku przedstawionym na powyższym rysunku. Powietrza zasysane jest przez wentylator (N 1.5), odcinkami prostych przewodów (N 1.2 i N 1.4), między którymi wbudowano elementy pomiarowe Debimo (N 1.4). Element pomiarowy Debimo stanowi urządzenie wymienne i może być zastąpione termomanometrem, rurką Pitota, dostępnymi w laboratorium elementami pomiarowymi Lindab i Systemair. Strona tłoczna instalacji wyposażona została w odcinki proste przewodów (N 1.6 i N 1.8), między które również zainstalowano wymienny element pomiarowy Debimo (N 1.7). Na początku odcinka pomiarowego zainstalowano czerpnię powietrza (N 1.1). Pomiar ciśnienia prowadzony jest za pomocą przetwornika różnicy ciśnień KIMO. Do urządzenia za pomocą gumowych wężyków podłączone są elementy pomiarowe Debimo, dzięki którym pomiar dokonywany jest jednocześnie w kilkunastu punktach przekroju przewodu.

### 3. Przebieg ćwiczenia

- I. Instrukcje ogólne
  1. Zapoznać się z budową stanowiska, rozmieszczeniem i zakresami punktów pomiarowych
  2. Podłączyć rejestratory różnicy ciśnień
  3. Uruchomić wentylator wyłącznie na polecenie prowadzącego zajęcia.
- II. Wyznaczanie podstawowej charakterystyki wentylatora wydatek-spręż
  1. Ustawić napięcie zasilające wentylator za pomocą regulatora prędkości obrotowej wentylatora
  2. Dławić przepływ powietrza w przewodzie przy pomocy przepustnicy w taki sposób, aby uzyskać na rejestratorze N1.12 ciśnienie dynamiczne o wartościach zestawionych w tabeli 1.2
  3. Obliczyć przepływ w przewodzie wentylacyjnym wykorzystując wzór dla elementów Debimo:

$$V = K \cdot \sqrt{\frac{574,2 \cdot t_p + 156842,77}{p_0}} \cdot \sqrt{p_d} \quad [\text{m/s}]$$

gdzie:

K – współczynnik przeliczeniowy Debimo

$t_p$  – temperatura powietrza [°C],

$p_0$  – ciśnienie barometryczne [Pa].

$p_d$  – ciśnienie dynamiczne [Pa].

4. Odczytać spręż wentylatora  $\Delta p$
  5. Dane pomiarowe opracować w tabeli 1.2
  6. Sporządzić wykres pracy wentylatora  $Q = f(\Delta p)$
- III. Wyznaczanie hydraulicznej charakterystyki instalacji
1. Ustawić napięcie zasilające wentylator za pomocą regulatora prędkości obrotowej wentylatora
  2. Dla różnych stopni otwarcia przepustnicy dokonać pomiar ciśnienia dynamicznego na rejestratorze N1.12 oraz odczytać spadek ciśnienia w instalacji za pomocą rejestratora N1.13
  3. Powtórzyć pomiar dla kilkunastu wartości napięcia
  4. Dane pomiarowe opracować w tabeli 1.3
  5. Sporządzić wykres charakteryzujący opory hydrauliczne instalacji  $Q = f(\Delta p)$
- IV. Wyznaczanie charakterystyki wentylatora wydajność-moc oraz wydajność-sprawność
1. Ustawić napięcie zasilające wentylator za pomocą regulatora prędkości obrotowej wentylatora
  2. Wykonać pomiar napięcia i prądu elektrycznego wentylatora, sprężu wentylatora i ciśnienie dynamiczne przepływającego powietrza
  3. Powtórzyć pomiar dla kilkunastu wartości napięcia zestawionych w tabeli
  4. Dane pomiarowe opracować w tabeli 1.4
  5. Sporządzić wykres zależności wydajność- moc wentylatora  $Q = f(P)$  oraz wykres wydajność- sprawność  $Q = f(\eta)$

Tabela 1.2. Pomiar charakterystyki wentylatora

Dla napięcia 100 V				Dla napięcia 140 V			Dla napięcia 180 V			Dla napięcia 220 V		
Przepływ			Spręż	Przepływ		Spręż	Przepływ		Spręż	Przepływ		Spręż
$p_d$ [Pa]	$V$ [m/s]	$q$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta p$ [Pa]	$V$ [m/s]	$q$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta p$ [Pa]	$V$ [m/s]	$q$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta p$ [Pa]	$V$ [m/s]	$q$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta p$ [Pa]
2												
4												
6												
8												
10												
12												
14												
16												
18												
20												
22												
24												
26												
28												
30												
32												
34												
36												
38												
40												
42												
44												
46												
48												
50												
52												
54												
56												
58												
60												

Tabela 1.3. Pomiar charakterystyki instalacji

Napięcie zas. went.	Stop. otw. przepustnicy			Stop. otw. przepustnicy			Stop. otw. przepustnicy					
	Przepływ			Opór	Przepływ			Opór	Przepływ			Opór
$U$ [V]	$\Delta p$ [Pa]	$V$ [m/s]	$q$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p$ [Pa]	$V$ [m/s]	$q$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p$ [Pa]	$V$ [m/s]	$q$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta p$ [Pa]
220												
210												
200												
190												
180												
170												
60												
150												
140												
130												
120												
110												
100												
90												
80												
70												
60												
50												
40												

Tabela 1.4. Pomiar mocy i sprawności wentylatora

Moc wentylatora			Przepływ (Debimo)			Spręż	Sprawność
$U$ [V]	$I$ [A]	$P$ [W]	$p_d$ [Pa]	$V$ [m/s]	$q$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta p$ [Pa]	$\eta$ [ - ]
40							
50							
60							
70							
80							
90							
100							
110							
120							
130							
140							
150							
160							
170							
180							
190							
200							
210							
220							

## Ćwiczenie nr 2

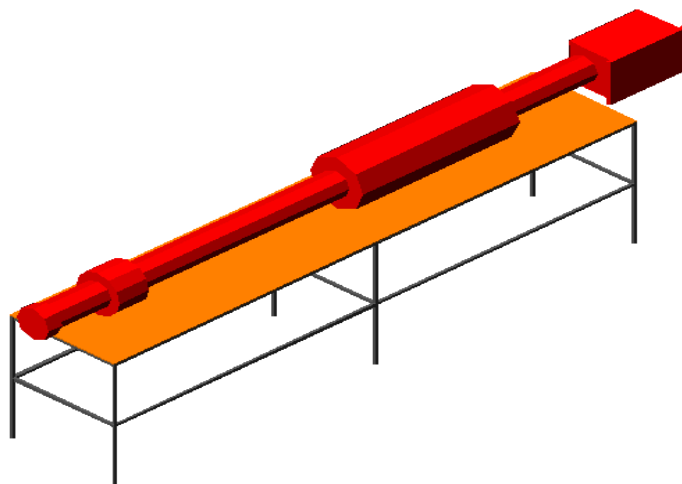
### Pomiar natężenia hałasu w pomieszczeniu oraz pomiar natężenia hałasu instalacji wentylacyjnej

#### 1. Cel ćwiczenia

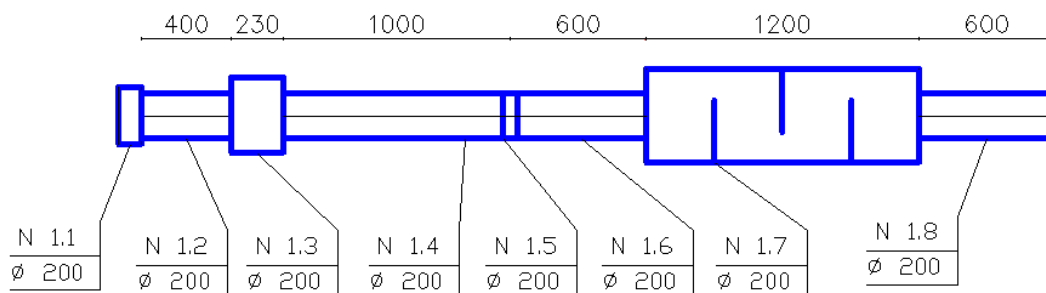
Celem ćwiczenia jest:

- zapoznanie z metodami tłumienia hałasu w instalacji wentylacyjnej,
- pomiar natężenia hałasu w instalacji wentylacyjnej przy zastosowaniu tłumików różnych producentów, o zmiennych parametrach geometrycznych (Smay, Lindab; długość elementu 600 i 900 mm),
- wyznaczenie zasięgu  $l_{02}$  dla danego typu nawiewnika.

#### 2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 2.1. Model instalacji doświadczalnej w 3D



Rys. 2.2. Schemat stanowiska doświadczalnego

Stanowisko pomiarowe (rys. 2.2) zbudowane jest z elementów zestawionych w tabeli 2.1.

Tabela. 2.1. Elementy składowe stanowiska doświadczalnego

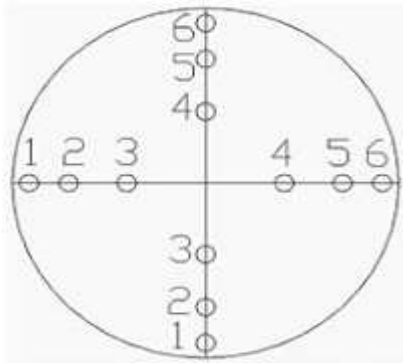
Lp.	Nazwa	Producent	Szt.
N 1.1	Czerpnia IGC $\phi = 200$	Systemair	1
N 1.2	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; l= 400 mm	Systemair	1
N 1.3a	Wentylator do kanałów o przekroju kołowym K 200L	Systemair	1
N 1.4	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; l= 1000 mm	Systemair	1
N 1.5	Element pomiarowy DEBIMO $\phi = 200$	KIMO	1
N 1.6	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; l= 600 mm	Systemair	1
N 1.7	Tłumik kanałowy LDC 200/315; l=600 mm	Systemair	1
N 1.8	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; l= 600 mm	Systemair	1

Pomiar natężenia hałasu w instalacji wentylacji, przy przepływie powietrza odbywa się na stanowisku laboratoryjnym nr 2. Powietrze zasysane jest przez wentylator (N 1.3), odcinkiem prostego przewodu (N 1.2). Strona tłoczna instalacji została wyposażona w tłumik akustyczny (N 1.7) obniżający hałas w instalacji. Został on poprzedzony odcinkami prostych przewodów (N 1.4 i N 1.6), między które wbudowano element pomiarowy Debimo (N 1.5). Instalację wyposażono również w czerpnię powietrza (N 1.1). Tłumik akustyczny stanowi element wymienny instalacji i dla potrzeb badań może być zastąpiony tłumikami innych producentów o odmiennych parametrach technicznych.

Wyznaczenie prędkości strumienia powietrza nawiewanego do pomieszczenia określić należy przy pomocy termooanemometru lub sondy skrzydełkowej firmy KIMO. Przy wykorzystaniu metrówki należy następnie określić zasięg strumienia wypływającego z nawiewnika.

### 3. Przebieg ćwiczenia

1. Zapoznać się z budową stanowiska, rozmieszczeniem i zakresami punktów pomiarowych.
2. Wyznaczyć punkty pomiarowe zgodnie z danymi zamieszczonymi poniżej (rys. 2.3 oraz tab. 2.2).



Rys.2.3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w przewodzie wentylacyjnym

Tabela 2.2. Odległości punktu pomiarowego od ścianki przewodu

Punkt	Odległość punktu pomiarowego od ścianki przewodu
1	0,044 D
2	0,146 D
3	0,296 D
4	0,704 D
5	0,854 D
6	0,956 D

3. Uruchomić wentylator wyłącznie na polecenie prowadzącego zajęcia.
4. Ustawić napięcie zasilające wentylator, zadane przez prowadzącego zajęcia za pomocą regulatora prędkości obrotowej wentylatora.
5. Powtórzyć pomiaru dla kilkunastu wartości napięcia.
6. Przy użyciu rejestratora różnicy ciśnień odczytać wartości ciśnienia, a następnie obliczyć wydajności i prędkości przy wykorzystaniu:
  - a. przepustnicy typu IRIS firmy Systemair:

$$q = k \cdot \sqrt{p_i} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

gdzie:

$k$  – współczynnik korekcyjny,

$p_i$  – wartość ciśnienia wskazanego przez element pomiarowy [Pa].

- b. elementów Debimo:

$$V = K \cdot \sqrt{\frac{574,2 \cdot t_p + 156842,77}{p_0}} \cdot \sqrt{p_d} \quad [\text{m/s}]$$

gdzie:

$K$  – współczynnik przeliczeniowy Debimo

$t_p$  – temperatura powietrza [°C],

$p_0$  – ciśnienie barometryczne [Pa].

$p_d$  – ciśnienie dynamiczne [Pa].

- c. termooanemometru – odczyt z przetwornika KIMO,
  - d. rurki Pitota – odczyt z przetwornika KIMO.
7. Wykonać pomiar hałasu ( dB A) przed i za tłumikiem dla zadanych wartości prędkości obrotowych wentylatora (tab. 2.3).
  8. Określić za pomocą sondy skrzydełkowej ( zamiennie termooanemometru) prędkości oraz zasięgu strumienia nawiewanego powietrza. Prędkość graniczną strumienia przyjąć na poziomie 0,25 [m/s].
  9. Przy pomocy metrówki określić zasięg strumienia [m].
  10. Pomiary wykonać w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach – w płaszczyźnie osi nawiewnika co 0,2 m do zaniku strumienia, oraz w płaszczyźnie prostopadłej do osi strumienia (nawiewnika) i równoległej do nawiewnika co 0,2 m aż do zaniku strumienia.
  11. Wyłączyć wentylator.
  12. Przy sporządzaniu sprawozdania podać odległości od nawiewnika (kratki) wentylacyjnej i prędkości w danych punktach pomiarowych według tabeli 2.4.
  13. Opracowanie wyników w postaci tabel zaprezentowanych poniżej.



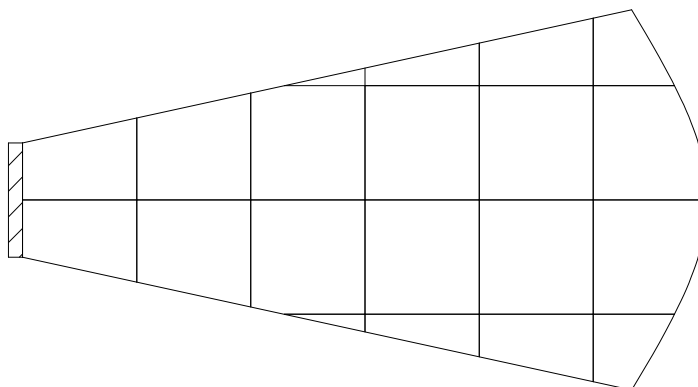
Tabela 2.3.. Pomiar hałasu (dBA) dla instalacji wentylacji w zależności od prędkości obrotowej wentylatora

L.p.	Prędkość obrotowa	Pomiar ciśnienia statycznego		Pomiar dźwięku	
		przed	za	przed	za
	[obr/min]	[Pa]	[Pa]	[dBA]	[dBA]
1					
2					
3					
...					
n					

Tabela 2.4. Pomiar prędkości strumienia powietrza wypływającego z nawiewnika (kratki nawiewnej)

L.p.	Napięcie	Pomiar prędkości na wypływie z kratki
	[V]	[m/s]
1		
2		
3		
...		
n		

NAWIEWNIK



Rys. 2.4. Rozkład punktów pomiarowych

## Ćwiczenie nr 3

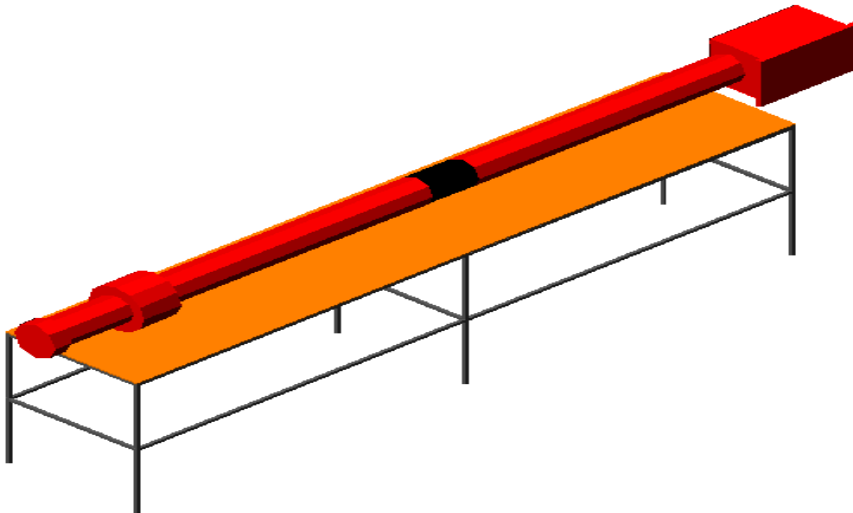
### Pomiar mocy nagrzewnicy elektrycznej oraz prędkości powietrza na kratce wywiewnej

#### 1. Cel ćwiczenia

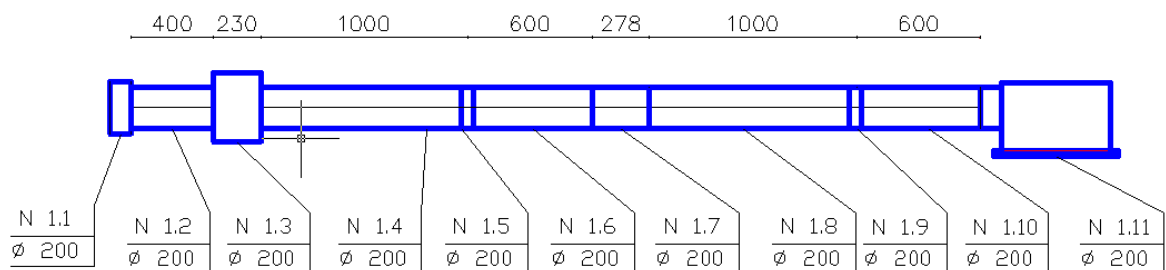
Celem ćwiczenia jest:

- pomiar mocy nagrzewnicy elektrycznej,
- wyznaczenie prędkości powietrza mierzonej na kratce wywiewnej,
- zapoznanie z elementem instalacji wentylacyjnej, zabezpieczającym przed wystąpieniem pożaru – kłapa przeciwpożarowa.

#### 2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 3.1. Model instalacji doświadczalnej w 3D



Rys. 3.2. Schemat stanowiska doświadczalnego

Stanowisko pomiarowe (rys. 3.2) zbudowane jest z elementów zestawionych w tabeli 3.1.

Tabela. 3.1. Elementy składowe stanowiska doświadczalnego

Lp.	Nazwa	Producent	Szt.
N 1.1	Czerpnia $\phi = 200$	Systemair	1
N 1.2	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; l= 400 mm	Systemair	1
N 1.3	Wentylator do kanałów o przekroju kołowym K 200L	Systemair	1
N 1.4	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; l= 1000 mm	Systemair	1
N 1.5	Kłapa przeciwpożarowa		1
N 1.6	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; l= 600 mm	Systemair	1
N 1.7	Nagrzewnica kanałowa z wbudowanym elektronicznym regulatorem temperatury $\phi = 200$ ; l= 278 mm	Systemair	1
N 1.8	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; l= 1000 mm	Systemair	1
N 1.9	Element pomiarowy DEBIMO $\phi = 200$	KIMO	1
N 1.10	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; l= 600 mm	Systemair	1
N 1.11	Skrzynka rozprężna PRG 200/250 Systemair	Systemair	1

Do napędu stanowiska, służącego do pomiaru mocy nagrzewnicy elektrycznej, przewidziano wentylator K 200L firmy Systemair (N 1.3). Na wlocie przewodu ssawnego o średnicy 200 mm (N 1.2) zainstalowano czerpnię powietrza (N 1.1). Strona tłoczna instalacji wyposażona została przewody wentylacyjne Spiro (N 1.4, N 1.6, N1.8, N 1.10) o średnicy 200 mm, między którymi zainstalowano kolejno: kłapę przeciwpożarową (N 1.5), nagrzewnicę kanałową z wbudowanym elektronicznym regulatorem temperatury (N 1.7) oraz element pomiarowy Debimo (N 1.9). Całość instalacji po stronie tłocznej zakończono skrzynką rozprężną PRG 200/250 produkcji Systemair (N 1.11).

Do przeprowadzenia ćwiczenia zastosowano nagrzewnicę kanałową z wbudowanym elektronicznym regulatorem temperatury, przeznaczoną do montażu w kanałach o przekroju kołowym. Urządzenia wyposażono w dwa termostaty zabezpieczające przed przegrzaniem:

- pierwszy termostat – samoczynny, wyzwała się przy temperaturze 70°C,
- drugi – resetowany ręcznie, przy temperaturze 120°C.

Zadziałanie każdego z termostatów powoduje natychmiastowe wyłączenie zasilania grzałek. Prawidłowa praca nagrzewnicy wymaga zapewnienia minimalnej wartości prędkości przepływu równej 1,5 [m/s]. Podczas montażu należy zwrócić szczególną uwagę na kierunek przepływu powietrza oraz położenie powierzchni czołowej skrzynki przyłączeniowej. Pokrywa skrzynki może znajdować się w pozycji skierowanej w górę lub bok, pod kątem do pionu nie większym niż 90°, niedozwolony jest montaż do dołu. Zmiana temperatury nawiewu odbywa się za pomocą pokrętła znajdującego się na pokrywie skrzynki rozprężnej.

W przypadku zadziałania termostatu pożarowego należy wykonać następującą procedurę:

- wyłączyć zasilanie nagrzewnicy,
- sprawdzić poprawności pracy układu wentylacyjnego oraz analizę przyczyn zadziałania termostatu pożarowego,
- po analizie błędu usunąć go, a następnie zresetować termostat poprzez naciśnięcie czerwonego guzika termostatu.

### 3. Przebieg ćwiczenia

1. Zapoznać się z budową stanowiska oraz wytycznymi obsługi nagrzewnicy elektrycznej.
2. Uruchomić wentylator wyłącznie na polecenie prowadzącego zajęcia.
3. Ustawić napięcie zasilające wentylator, zadane przez prowadzącego zajęcia za pomocą regulatora prędkości obrotowej wentylatora.
4. Powtórzyć pomiaru dla kilkunastu wartości napięcia.
5. Dokonać pomiaru temperatury w pomieszczeniu za pomocą termooanemometru ( tego samego, którym będą wykonywane dalsze pomiary, aby uniknąć błędów spowodowanych różną dokładnością przyrządów).
6. Przy użyciu elektronicznego regulatora temperatury nastawić zadaną temperaturę powietrza nawiewanego ( temperatura powietrza nawiewanego  $> 0,5^{\circ}\text{C}$  od temperatury w pomieszczeniu).
7. Określić za pomocą termooanemometru prędkości, temperaturę oraz zasięg strumienia nawiewanego powietrza. Prędkość graniczną strumienia przyjąć na poziomie 0,25 [m/s].
8. Przy pomocy metrówki określić zasięg strumienia [m].
9. Pomiary wykonać w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach – w płaszczyźnie osi nawiewnika co 0,2 m do zaniku strumienia, oraz w płaszczyźnie prostopadłej do osi strumienia (nawiewnika) i równoległej do nawiewnika co 0,2 m aż do zaniku strumienia.
10. Wyłączyć wentylator.
11. Przy sporządzaniu sprawozdania podać odległości od kratki wentylacyjnej i prędkości w danych punktach pomiarowych według tabeli 3.2.
12. Opracowanie wyników w postaci tabeli 3.2 oraz tabeli 3.3.

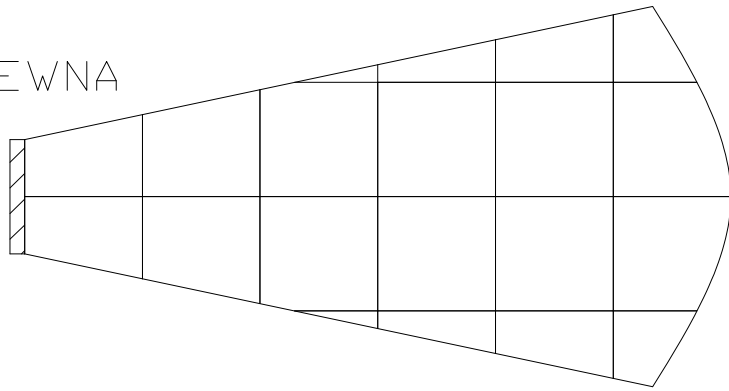
Tabela 3.2. Pomiar prędkości i zasięgu strumienia powietrza wypływającego z wywiewnika (kratki wywiewnej)

L.p.	Napięcie	Pomiar prędkości na wypływie z kratki	Pomiar zasięgu strumienia	Temperatura powietrza
	[V]	[m/s]	[m]	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
1				
2				
3				
...				
n				

Tabela 3.3. Pomiar mocy nagrzewnicy elektrycznej w zależności od wydatku i prędkości powietrza

L.p.	Napięcie	Wydatek powietrza	Prędkość powietrza	Moc nagrzewnicy
	[V]	[ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	[m/s]	[m]
1				
2				
3				
...				
n				

KRATKA WYWIEWNA



*Rys. 3.3. Rozkład punktów pomiarowych*

## Ćwiczenie nr 4

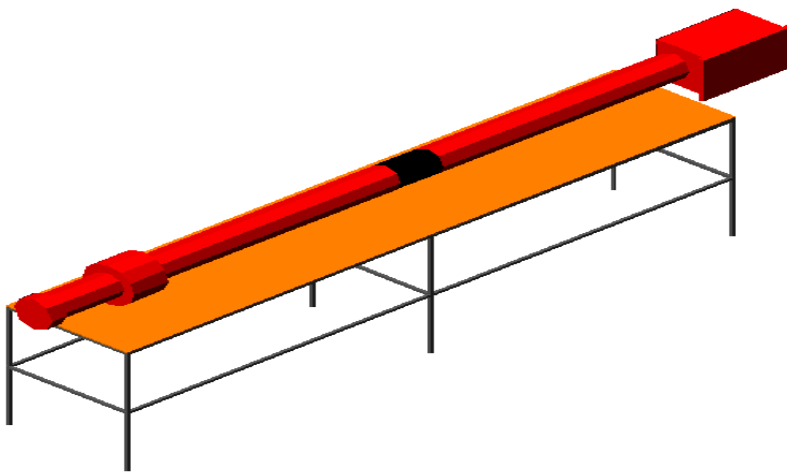
### Rozkład ciśnień i prędkości przepływu powietrza w przewodzie wentylacyjnym

#### 1. Cel ćwiczenia

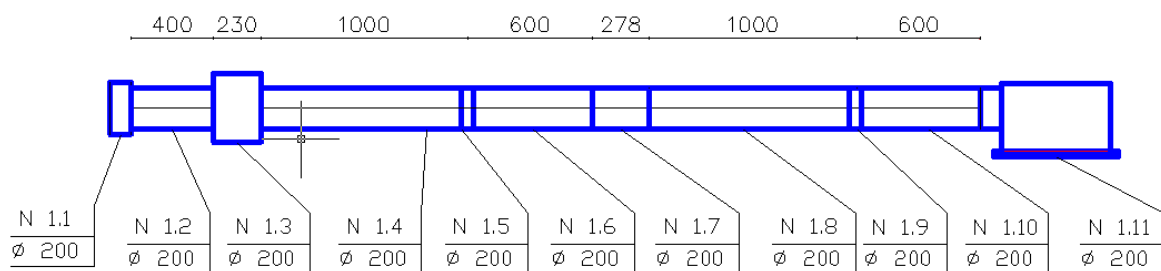
Celem ćwiczenia jest:

- zapoznanie z metodami pomiaru ciśnień i przepływów w przewodzie wentylacyjnym, przy zastosowaniu:
  - regulatora przepływu VAV,
  - regulatora stałego przepływu,
  - przepustnicy typu IRIS firmy Systemair,
  - przepustnicy czteropłaszczyznowej,
  - termomanometru, rurki Pitota, elementów Debimo i KIMO,
- wyznaczenie profilu prędkości w przewodzie wentylacyjnym.

#### 2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 4.1. Model instalacji doświadczalnej w 3D



Rys. 4.2. Schemat stanowiska doświadczalnego

Stanowisko pomiarowe (rys. 4.2) zbudowane jest z elementów zestawionych w tabeli 4.1.

Tabela. 4.1. Elementy składowe stanowiska doświadczalnego

Lp.	Nazwa	Producent	Szt.
N 1.1	Czerpnia $\phi = 200$	Systemair	1
N 1.2	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; $l = 400$ mm	Systemair	1
N 1.3	Wentylator do kanałów o przekroju kołowym K 200L	Systemair	1
N 1.4	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; $l = 1000$ mm	Systemair	1
N 1.5	Element pomiarowy DEBIMO $\phi = 200$	KIMO	1
N 1.6	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; $l = 600$ mm	Systemair	1
N 1.7	Regulator przepływu powietrza	Smay	1
N 1.8	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; $l = 1000$ mm	Systemair	1
N 1.9	Element pomiarowy DEBIMO $\phi = 200$	KIMO	1
N 1.10	Kanał wentylacyjny Spiro $\phi = 200$ ; $l = 600$ mm	Systemair	1
N 1.11	Nawiewnik $\phi = 200$	Systemair	1

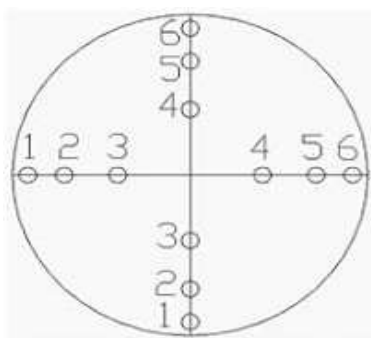
Do napędu stanowiska pomiarowego służy wentylator K 200L firmy Systemair (N 1.3). Na wlocie przewodu ssawnego o średnicy 200 mm (N 1.2) zainstalowano czerpnię powietrza (N 1.1). Strona tłoczna instalacji wyposażona została przewody wentylacyjne Spiro (N 1.4, N 1.6, N1.8, N 1.10) o średnicy 200 mm, między którymi zainstalowano kolejno: regulator stałego wydatku (N 1.5) oraz element pomiarowy Debimo (N 1.9). W zależności od charakteru przeprowadzanego pomiaru regulator stałego wydatku można zastąpić:

- regulatorem zmiennego wydatku,
- filtrem – pomiar straty ciśnienia przy przepływie powietrza,

Całość instalacji po stronie tłocznej zakończono skrzynką rozprężną PRG 200/250 produkcji Systemair (N 1.11). Pomiar ciśnienia prowadzony jest za pomocą przetwornika różnicy ciśnień KIMO. Do urządzenia za pomocą gumowych wężyków podłączone są elementy pomiarowe Debimo, dzięki którym pomiar dokonywany jest jednocześnie w kilkunastu punktach przekroju przewodu. Element pomiarowy Debimo stanowi część wymienna instalacji, dla potrzeb doświadczenia może być zastąpiony: termomanometrem, rurką Pitota, przepustnicą typu IRIS lub przepustnicą czteropłaszczyznową.

### 3. Przebieg ćwiczenia

1. Zapoznać się z budową stanowiska, rozmieszczeniem i zakresami punktów pomiarowych.
2. Wyznaczyć punkty pomiarowe zgodnie z danymi zamieszczonymi poniżej.



Rys.4.3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w przewodzie wentylacyjnym

Tabela 4.2. Odległości punktu pomiarowego od ścianki przewodu

Punkt	Odległość punktu pomiarowego od ścianki przewodu
1	0,044 D
2	0,146 D
3	0,296 D
4	0,704 D
5	0,854 D
6	0,956 D

3. Uruchomić wentylator wyłącznie na polecenie prowadzącego zajęcia.
4. Ustawić napięcie zasilające wentylator, zadane przez prowadzącego zajęcia za pomocą regulatora prędkości obrotowej wentylatora.
5. Powtórzyć pomiar dla kilkunastu wartości napięcia.
6. Przy użyciu rejestratora różnicy ciśnień odczytać wartości ciśnienia, a następnie obliczyć wydajności i prędkości przy wykorzystaniu:
  - a) przepustnicy typu IRIS firmy Systemair

$$q = k \cdot \sqrt{p_i} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

gdzie:

$k$  – współczynnik korekcyjny,

$p_i$  – wartość ciśnienia wskazanego przez element pomiarowy [Pa].

- b) elementów Debimo

$$V = K \cdot \sqrt{\frac{574,2 \cdot t_p + 156842,77}{p_0}} \cdot \sqrt{p_d} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

gdzie:

$K$  – współczynnik przeliczeniowy Debimo

$t_p$  – temperatura powietrza [°C],

$p_0$  – ciśnienie barometryczne [Pa].

$p_d$  – ciśnienie dynamiczne [Pa].

- c) rurki Pitota – odczyt z przetwornika KIMO,
  - d) termoanemometru – odczyt z przetwornika KIMO,
  - e) przepustnicy czteropłaszczyznowej – odczyt z przetwornika KIMO.
7. Wyłączyć wentylator.
  8. Wyznaczyć wartości liczby Reynoldsa dla otrzymanych wartości przepływu:

$$\text{Re} = \frac{w_{sr} \cdot d}{\nu}$$

gdzie:

$w_{sr}$  – prędkość przepływu płynu [m/s],

$d$  – średnica przewodu [m],  $d=0,2$  [m]

$\nu$  – współczynnik lepkości [m<sup>2</sup>/s],  $\nu=15,1 \cdot 10^{-6}$  [m<sup>2</sup>/s]

9. Sporządzić wykres profilu prędkości w zależności od wartości liczby Reynoldsa  $v = f(\text{Re})$  na podstawie otrzymanych wyników.



10. Sporządzić wykres profilu prędkości w zależności od odległości punktu pomiarowego w stosunku do ścianki przewodu  $v = f(x)$  na podstawie otrzymanych wyników.
11. Sporządzić wykres wydajności w zależności od wartości różnicy ciśnień oraz napięcia zasilającego wentylator dla danego elementu pomiarowego  $Q = f(\Delta p)$ ,  $Q = f(\Delta U)$ .
12. Opracować wyniki w postaci tabeli 4.3. oraz tabeli 4.4.

Tabela 4.3. Pomiar wydajności i prędkości w przewodzie wentylacyjnym w zależności od napięcia zasilającego wentylator oraz jego prędkości obrotowej.

Pomiar wydajności i prędkości w przewodzie wentylacyjnym													
Napięcie	40				...				n				
Prędkość obrotowa [obr/min]													
Numer punktu pomiarowego	Strumień objętości												
	Qsr [m <sup>3</sup> /h]												
	Re [-]												
	$\Delta p$ [Pa]	Q [m <sup>3</sup> /h]	v [m/s]	v <sub>sr</sub> [m/s]	$\Delta p$ [Pa]	Q [m <sup>3</sup> /h]	v [m/s]	v <sub>sr</sub> [m/s]	$\Delta p$ [Pa]	Q [m <sup>3</sup> /h]	v [m/s]	v <sub>sr</sub> [m/s]	
1													
2													
3													
4													
5													
6													

Tabela 4.4. Strata ciśnienia na filtrze przy przepływie powietrza w instalacji wentylacyjnej

L.p.	Napięcie	Wydatek powietrza		Prędkość powietrza		Strata ciśnienia na filtrze
		Przed filtrem	Za filtrem	Przed filtrem	Za filtrem	
	[V]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[m/s]	[m/s]	[Pa]
1						
2						
3						
...						
n						

## Ćwiczenie nr 5

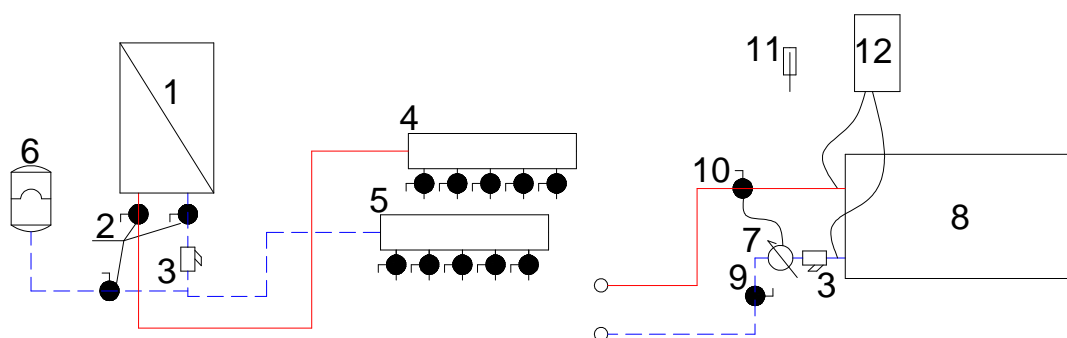
### Wyznaczanie charakterystyki cieplnej grzejnika

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest opracowanie charakterystyki cieplnej grzejnika, określającej zależności pomiędzy:

- wydajnością cieplną grzejnika ( $Q$ ) a średnią różnicą temperatur  $\Delta T$  pomiędzy czynnikiem grzewczym i otoczeniem,
- wydajnością cieplną grzejnika ( $Q$ ) a masowym natężeniem przepływu czynnika grzewczego ( $m$ ),
- spadkiem ciśnienia czynnika grzewczego przy przepływie tego czynnika przez grzejnik a masowym natężeniem przepływu.

#### 2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 5.1. Schemat stanowiska doświadczalnego

Stanowisko pomiarowe (rys. 5.1) zbudowane jest z elementów zestawionych w tabeli 5.1.

Tabela. 5.1. Elementy składowe stanowiska doświadczalnego

Lp.	Nazwa	Szt.
1	Kocioł elektryczny typu EPCO.L2	1
2, 9	Zawór odcinający kulowy Ø15	4
3	Filtr siatkowy Ø15	2
4, 5	Rozdzielacz z zaworami odcinającymi	2
6	Naczynie wzbiorcze przeponowe	1
7	Ciepłomierz M-CAL Ø15 z otworem do montażu czujnika	1
8	Grzejnik stalowy płytowy C22 450/600	1
10	Zawór odcinający kulowy Ø15 z otworem do montażu czujnika	1
11	Termometr elektryczny	1
12	Manometr różnicowy	1

Do zaopatrzenia stanowiska pomiarowego w ciepło służy kocioł elektryczny typu EPCO.L2 (1). Podgrzany czynnik instalacyjny poprzez rozdzielacz (4) dopływa do grzejnika stalowego płytowego C22 450/600 (8), gdzie następuje użyteczne oddanie ciepła, którego ilość jest mierzona za pomocą ciepłomierza M-CAL (7). Ciepłomierz składa się z przepływomierza skrzydełkowego oraz pary czujników Pt500, których zadaniem jest pomiar różnicy temperatur wody na zasileniu i powrocie. Podczas przepływu przez grzejnik występuje również spadek ciśnienia czynnika grzejnego, którego wartość można wyznaczyć za pomocą manometru różnicowego (12). Ochłodzony czynnik grzewczy powraca przewodem powrotnym poprzez rozdzielacz (5) do kotła, gdzie następuje ponowny jego podgrzew. Przepływ w instalacji pomiarowej wymuszony jest dzięki działaniu pompy obiegowej, umieszczonej w kotle. Instalacja badawcza zabezpieczona jest za pomocą naczynia wzbiorczego przeponowego (6) oraz zaworu bezpieczeństwa umieszczonego w kotle (1). W każdej chwili możliwe jest odcięcie dopływu ciepła do instalacji za pomocą zaworów odcinających (2) umieszczonych przy kotle. W celu pomiaru temperatury otoczenia przewidziano termometr elektroniczny.

### 3. Przebieg ćwiczenia

1. Zapoznać się z budową stanowiska oraz wytycznymi obsługi kotła elektrycznego i ciepłomierza M-CAL.
2. Włączyć kocioł elektryczny wyłącznikiem na polecenie prowadzącego zajęcia.
3. Ustawić temperaturę czynnika grzejnego na zasileniu w kotle elektrycznym według zaleceń prowadzącego zajęcia.
4. Otworzyć odpowiednie zawory odcinające na rozdzielaczach (4,5), aby skierować czynnik grzejny do właściwego obiegu przez grzejnik C22 450/600.
5. Następnie dla pięciu różnych natężeń przepływu ustalanych za pomocą zaworu (9) dokonać odczytów wartości temperatur czynnika grzejnego na zasileniu i powrocie, natężenia przepływu oraz spadku ciśnienia ( $\Delta p$ ). Przy każdym natężeniu przepływu temperatura zasilania powinna być jednakowa.
6. Odczyty dla poszczególnych wartości natężenia przepływu należy wykonać kilkunastokrotnie i przyjąć wartość średnią.
7. Odczytane wartości należy wpisać do tabeli 5.2.
8. Wykonać obliczenia wydajności cieplnej grzejnika za pomocą wzoru 5.1.  

$$Q = m \cdot c_w \cdot \Delta T_{zp} \quad [W] \quad (5.1)$$
 gdzie:  
 m- masowe natężenie przepływu, kg/s,  
 $c_w$  – ciepło właściwe wody, J/kg·K,  
 $\Delta T_{zp}$  – różnica temperatury czynnika grzejnego na zasileniu i powrocie, brana jako średnia wartość pomiarów danej serii przy stałym „m”, K.
9. Następnie, aby wyznaczyć zależność mocy cieplnej grzejnika (Q) od różnicy temperatury  $\Delta T$ , należy utrzymywać stałe natężenie przepływu przez grzejnik za pomocą zaworu odcinającego (9) a zmieniać temperaturę na zasileniu na kotle elektrycznym.
10. Dokonać odczytów wartości temperatur czynnika grzejnego na zasileniu i powrocie, natężenia przepływu oraz temperatury otoczenia dla pięciu różnych temperatur na zasileniu.
11. Odczyty dla poszczególnych wartości temperatury na zasileniu należy wykonać kilkunastokrotnie i przyjąć wartość średnią.
12. Odczytane wartości należy wpisać do tabeli 5.2.
13. Wyłączyć kocioł za zgodą prowadzącego zajęcia.

14. Wykonać obliczenia średniej różnicy pomiędzy temperaturą czynnika grzewczego a temperaturą otoczenia za pomocą wzoru 5.2.

$$\Delta T = [(T_{z\acute{s}r} + T_{p\acute{s}r}) / 2] - T_o \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5.2.)$$

gdzie:

$T_{z\acute{s}r}$  - średnia wartość temperatury czynnika grzejnego na zasileniu w danej serii,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$T_{p\acute{s}r}$  - średnia wartość temperatury czynnika grzejnego na powrocie w danej serii,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$T_o$  - średnia wartość temperatury otoczenia w danej serii,  $^{\circ}\text{C}$ .

15. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów należy graficznie przedstawić podstawowe zależności badanego grzejnika, a mianowicie:

$$Q = f(m),$$

$$\Delta p = f(m),$$

$$Q = f(\Delta T).$$

15. Sformułować wnioski.

Tabela 5.2. Odczytane wartości oraz charakterystyczne parametry cieplne grzejnika

L.p.	V	m	T <sub>z</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>o</sub>	Δp	ΔT	Q
-	dm <sup>3</sup> /h	kg/s	°C	°C	°C	Pa	°C	W
1								
2								
3								
...								
n								

## Ćwiczenie nr 6

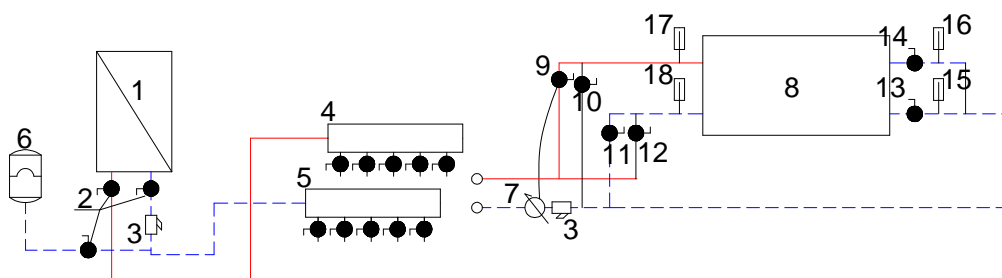
Wyznaczanie mocy grzejnika podłączonego do instalacji w sposób jednostronny boczny, krzyżowy, siodłowy oraz odwrotny

### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest pomiar mocy grzejnika podłączonego do instalacji w sposób:

- jednostronny boczny,
- krzyżowy,
- siodłowy,
- odwrotny.

### 2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 6.1. Schemat stanowiska doświadczalnego

Stanowisko pomiarowe (rys. 6.1) zbudowane jest z elementów zestawionych w tabeli 6.1.

Tabela. 6.1. Elementy składowe stanowiska doświadczalnego

Lp.	Nazwa	Szt.
1	Kocioł elektryczny typu EPCO.L2	1
2, 10, 11, 12, 13, 14	Zawór odcinający kulowy Ø15	8
3	Filtr siatkowy Ø15	2
4, 5	Rozdzielacz z zaworami odcinającymi	2
6	Naczynie wzbiorcze przeponowe	1
7	Ciepłomierz M-CAL Ø15 z otworem do montażu czujnika	1
8	Grzejnik stalowy płytowy C11 600/1000	1
9	Zawór odcinający kulowy Ø15 z otworem do montażu czujnika	1
15, 16, 17, 18	Termometr bimetaliczny tarczowy	4

Do zaopatrzenia stanowiska pomiarowego w ciepło służy kocioł elektryczny typu EPCO.L2 (1). Podgrzany czynnik instalacyjny poprzez rozdzielacz (4) dopływa do grzejnika stalowego płytowego C11 600/1000 (8), gdzie następuje użyteczne oddanie ciepła, którego ilość jest mierzona przy wykorzystaniu ciepłomierza M-CAL (7). Ciepłomierz składa się z przepływomierza skrzydełkowego oraz pary czujników Pt500, których zadaniem jest pomiar różnicy temperatur między przewodem zasilającym i powrotnym. W przewody doprowadzające czynnik grzejny do grzejnika wmontowano szereg zaworów odcinających, aby umożliwić zasilenia grzejnika na kilka różnych sposobów. Jeśli zasilenie grzejnika ma być jednostronne boczne to otwarte są zawory odcinające (9, 11), pozostałe są zamknięte. Jeśli zasilenie grzejnika ma być krzyżowe to otwarte są zawory odcinające (9, 13), pozostałe są zamknięte. Jeśli zasilenie grzejnika ma być siodłowe to otwarte są zawory odcinające (12, 13), pozostałe są zamknięte. Natomiast jeśli zasilenie grzejnika ma być odwrotne to otwarte są zawory odcinające (10, 12), pozostałe są zamknięte. Temperatura czynnika grzewczego zasilającego oraz powrotnego, w poszczególnych wariantach podłączenia grzejnika mierzona jest za pomocą termometrów bimetalicznych tarczowych (15, 16, 17, 18). Ochłodzony czynnik grzewczy powraca przewodem powrotnym poprzez rozdzielacz (5) do kotła, gdzie następuje ponowny jego podgrzew. Przepływ w instalacji pomiarowej wymuszony jest dzięki działaniu pompy obiegowej, umieszczonej w kotle. Instalacja badawcza zabezpieczona jest za pomocą naczynia wzbiorczego przeponowego (6) oraz zaworu bezpieczeństwa umieszczonego w kotle (1). W każdej chwili możliwe jest odcięcie dopływu ciepła do instalacji za pomocą zaworów odcinających (2) umieszczonych przy kotle.

### 3. Przebieg ćwiczenia

1. Zapoznać się z budową stanowiska oraz wytycznymi obsługi kotła elektrycznego i ciepłomierza M-CAL.
2. Włączyć kocioł elektryczny wyłącznie na polecenie prowadzącego zajęcia.
3. Ustawić temperaturę czynnika grzejnego na zasileniu w kotle elektrycznym według zaleceń prowadzącego zajęcia.
4. Otworzyć odpowiednie zawory odcinające na rozdzielaczach (4,5), aby skierować czynnik grzejny do właściwego obiegu przez grzejnik C11 600/1000.
5. Dokonać kilkakrotnie odczytów wartości temperatur czynnika grzejnego na zasileniu i powrocie oraz natężenia przepływu dla grzejnika podłączonego jednostronnie bocznie.
6. Zmienić sposób podłączenia grzejnika na krzyżowy i dokonać kilkakrotnie odczytów wartości temperatur czynnika grzejnego na zasileniu i powrocie oraz natężenia przepływu.
7. Zmienić sposób podłączenia grzejnika na siodłowy i dokonać kilkakrotnie odczytów wartości temperatur czynnika grzejnego na zasileniu i powrocie oraz natężenia przepływu.
8. Zmienić sposób podłączenia grzejnika na odwrotny i dokonać kilkakrotnie odczytów wartości temperatur czynnika grzejnego na zasileniu i powrocie oraz natężenia przepływu.
9. Odczyty opisane w punktach 5÷8 wykonać przy stałym natężeniu przepływu czynnika grzejnego, a następnie powtórzyć powyższe odczyty dla jeszcze dwóch innych natężeń przepływu, które jest ustalane za pomocą zaworów odcinających umieszczonych przy rozdzielaczach dla tego obiegu.
10. Odczytane wartości należy wpisać do tabeli 6.2.

11. Odczyty dla poszczególnych wartości natężenia przepływu oraz rodzajów połączeń grzejnika należy uśrednić.
12. Wyłączyć kocioł za zgodą prowadzącego zajęcia.
13. Wykonać obliczenia wydajności cieplnej grzejnika dla poszczególnych rodzajów połączeń za pomocą wzoru 6.1.  

$$Q = m \cdot c_w \cdot \Delta T_{zp} \quad [W] \quad (6.1.)$$
 gdzie:  
 m- masowe natężenie przepływu, kg/s,  
 c<sub>w</sub> – ciepło właściwe wody, J/kg·K,  
 ΔT<sub>zp</sub> – różnica temperatury czynnika grzejnego na zasileniu i powrocie, brana jako średnia wartość pomiarów danej serii przy stałym „m”, K.
14. Sporządzić wykresy, dla poszczególnych wartości natężenia przepływu (3 warianty), przedstawiające porównanie wydajności cieplnej grzejnika w zależności od rodzaju połączenia.
15. Sformułować wnioski.

Tabela 6.2. Odczytane wartości oraz wydajności cieplne grzejnika

Lp.	Rodzaj połączenia	V	m	T <sub>z</sub>	T <sub>p</sub>	ΔT <sub>zp</sub>	Q
-	-	dm <sup>3</sup> /h	kg/s	°C	°C	°C	W
1							
2							
3							
...							
n							

## Ćwiczenie nr 7

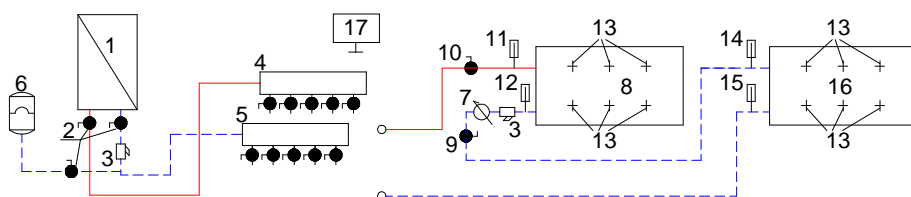
### Wyznaczanie pola temperatury na powierzchni grzejnika w zależności od jego mocy

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

- pomiar temperatury powierzchni grzejników w układzie jednorurowym przepływowym za pomocą 12 czujników,
- wyznaczenie pola temperatur na powierzchni grzejników,
- wykreślenie linii izotermicznych na powierzchni grzejników,
- przedstawienie zależności między średnią temperaturą na powierzchni grzejnika, a masowym natężeniem przepływu.

#### 2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 7.1. Schemat stanowiska doświadczalnego

Stanowisko pomiarowe (rys. 7.1) zbudowane jest z elementów zestawionych w tabeli 7.1.

Tabela. 7.1. Elementy składowe stanowiska doświadczalnego

Lp.	Nazwa	Szt.
1	Kocioł elektryczny typu EPCO.L2	1
2, 9	Zawór odcinający kulowy Ø15	2
3	Filtr siatkowy Ø15	2
4, 5	Rozdzielacz z zaworami odcinającymi	2
6	Naczynie wzbiorcze przeponowe	1
7	Ciepłomierz M-CAL Ø15 z otworem do montażu czujnika	1
8, 16	Grzejnik stalowy płytowy C11 450/600	2
10	Zawór odcinający kulowy Ø15 z otworem do montażu czujnika	1
11, 12, 14, 15	Termometr bimetaliczny tarczowy	4
13	Czujniki temperatury KTY81-2	12
17	Komputer z kartą pomiarową	1



Do zaopatrzenia stanowiska pomiarowego w ciepło służy kocioł elektryczny typu EPCO.L2 (1). Podgrzany czynnik instalacyjny poprzez rozdzielacz (4) dopływa do grzejników stalowych płytowych C11 450/600 (8, 16), gdzie następuje użyteczne oddanie ciepła, którego ilość jest mierzona przy wykorzystaniu ciepłomierza M-CAL (7). Ciepłomierz składa się z przepływomierza skrzydełkowego oraz pary czujników Pt500, których zadaniem jest pomiar różnicy temperatur między przewodem zasilającym i powrotnym. Czynnik grzejny po oddaniu części ciepła ( $Q_1$ ) w grzejniku (8) przepływa do następnego grzejnika (16), gdzie oddaje również ciepło ( $Q_2$ ). Temperatura czynnika grzewczego zasilającego oraz powrotnego, dla poszczególnych grzejników mierzona jest za pomocą termometrów bimetalicznych tarczowych (11, 12, 14, 15). Temperatura powierzchni grzejników mierzona jest za pomocą 12 czujników typu KTY81-2 (13), które pozwalają, po podpięciu ich do karty pomiarowej (17), na zapis wartości temperatury w pamięci komputera. Ochłodzony czynnik grzewczy powraca przewodem powrotnym poprzez rozdzielacz (5) do kotła, gdzie następuje ponowny jego podgrzew. Przepływ w instalacji pomiarowej wymuszony jest dzięki działaniu pompy obiegowej, umieszczonej w kotle. Instalacja badawcza zabezpieczona jest za pomocą naczynia wzbiorczego przeponowego (6) oraz zaworu bezpieczeństwa umieszczonego w kotle (1). W każdej chwili możliwe jest odcięcie dopływu ciepła do instalacji za pomocą zaworów odcinających (2) umieszczonych przy kotle.

### 3. Przebieg ćwiczenia

1. Zapoznać się z budową stanowiska oraz wytycznymi obsługi kotła elektrycznego i ciepłomierza M-CAL.
2. Włączyć kocioł elektryczny wyłącznie na polecenie prowadzącego zajęcia.
3. Ustawić temperaturę czynnika grzejnego na zasileniu w kotle elektrycznym według zaleceń prowadzącego zajęcia.
4. Otworzyć odpowiednie zawory odcinające na rozdzielaczach (4,5), aby skierować czynnik grzejny do właściwego obiegu przez grzejniki C11 450/600 w układzie jednorurowym.
5. Dla pięciu różnych natężeń przepływu ustalanych za pomocą zaworu (9) dokonać odczytów wartości temperatur czynnika grzejnego na zasileniu i powrocie, natężenia przepływu oraz temperatur na powierzchni każdego z dwóch badanych grzejników. Przy każdym natężeniu przepływu temperatura zasilania powinna być jednakowa.
6. Odczyty dla poszczególnych wartości natężenia przepływu należy wykonać kilkunastokrotnie i przyjąć wartość średnią.
7. Odczytane wartości należy wpisać do tabeli 7.2 oraz tabeli 7.3.
8. Wyłączyć kocioł za zgodą prowadzącego zajęcia.
9. Wykonać obliczenia wydajności cieplnej grzejników za pomocą wzoru 7.1.
 
$$Q = m \cdot c_w \cdot \Delta T_{zp} \quad [W] \quad (7.1)$$
 gdzie:  
 m- masowe natężenie przepływu, kg/s,  
 $c_w$  – ciepło właściwe wody, J/kg·K,  
 $\Delta T_{zp}$  – różnica temperatury czynnika grzejnego na zasileniu i powrocie, brana jako średnia wartość pomiarów danej serii przy stałym „m”, K.
10. Przedstawić w sposób graficzny przebieg linii izotermicznych na powierzchni badanych grzejników.
11. Sporządzić wykres przedstawiający zależność między średnią temperaturą na powierzchni grzejnika, a masowym natężeniem przepływu.
12. Sformułować wnioski.

Tabela 7.2. Odczytane wartości oraz wydajności cieplne grzejników

L.p.	V	m	T <sub>z1</sub>	T <sub>p1</sub>	T <sub>z2</sub>	T <sub>p2</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>
-	dm <sup>3</sup> /h	kg/s	°C	°C	°C	°C	W	W
1								
2								
3								
...								
n								

Tabela 7.3. Odczytane wartości temperatur na powierzchni grzejników

L.p.	m	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	T <sub>16</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>22</sub>	T <sub>23</sub>	T <sub>24</sub>	T <sub>25</sub>	T <sub>26</sub>
-	kg/s	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1													
2													
3													
...													
n													

## Ćwiczenie nr 8

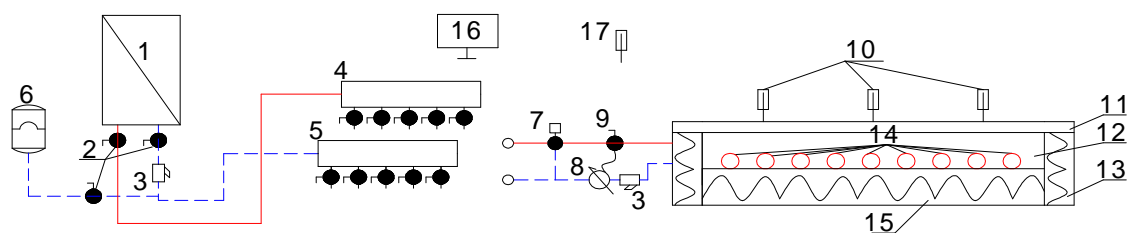
### Wyznaczanie charakterystycznych parametrów grzejnika podłogowego

#### 1. Cel ćwiczenia

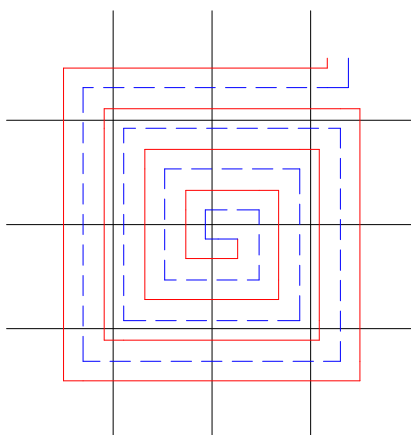
Celem ćwiczenia jest:

- pomiar temperatury powierzchni grzejnika podłogowego w 9 punktach,
- pomiar ilości ciepła dostarczanego do grzejnika podłogowego,
- wyznaczenie zależności między ciepłem dostarczanym do grzejnika podłogowego a ciepłem oddawanym przez ten grzejnik,
- wyznaczenie zależności między średnią temperaturą grzejnika podłogowego a czasem jego nagrzewania.

#### 2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 8.1. Schemat stanowiska doświadczalnego



Rys. 8.2. Układ węzownicy grzejnika podłogowego oraz rozkład punktów pomiarowych

Stanowisko pomiarowe (rys. 8.1) zbudowane jest z elementów zestawionych w tabeli 8.1.

Tabela. 8.1. Elementy składowe stanowiska doświadczalnego

Lp.	Nazwa	Szt.
1	Kocioł elektryczny typu EPCO.L2	1
2	Zawór odcinający kulowy Ø15	3
3	Filtr siatkowy Ø15	2
4, 5	Rozdzielacz z zaworami odcinającymi	2
6	Naczynie wzbiorcze przeponowe	1
7	Zawór trójdrogowy mieszający	1
8	Ciepłomierz M-CAL Ø15 z otworem do montażu czujnika	1
9	Zawór odcinający kulowy Ø15 z otworem do montażu czujnika	1
10	Czujniki temperatury KTY81-2	9
11	Element grzejnika podłogowego- terakota - grubość 0,02 m	-
12	Element grzejnika podłogowego- jastrych - grubość 0,07 m	-
13	Element grzejnika podłogowego- styropian - grubość 0,05 m	-
14	Element grzejnika podłogowego- przewody – Ø 14 mm	32 m
15	Element grzejnika podłogowego- styropian - grubość 0,07 m	-
16	Komputer z kartą pomiarową	1
17	Termometr elektryczny	1

Do zaopatrzenia stanowiska pomiarowego w ciepło służy kocioł elektryczny typu EPCO.L2 (1). Podgrzany czynnik instalacyjny poprzez rozdzielacz (4) dopływa do zaworu trójdrogowego mieszającego (7), w którym następuje zmieszanie czynnika grzejnego zasilającego grzejnik podłogowy z czynnikiem powracającym. Dzięki temu temperatura czynnika zasilającego grzejnik podłogowy nie przekracza 55°C. Ilość ciepła dostarczanego do grzejnika podłogowego mierzona jest przy wykorzystaniu ciepłomierza M-CAL (8). Ciepłomierz składa się z przepływomierza skrzydełkowego oraz pary czujników Pt500, których zadaniem jest pomiar różnicy temperatur między przewodem zasilającym i powrotnym. Grzejnik podłogowy składa się, zaczynając od jego dolnej części, z warstwy izolacji cieplnej (styropian o grubości 0,07 m), warstwy jastrychu o grubości 0,07 m, w której umieszczone są przewody grzejnika podłogowego (14) oraz warstwy wykończeniowej (terakota o grubości 0,02 m). Przewody grzejnika podłogowego są wykonane z tworzywa sztucznego i są ułożone w spirale, co zostało pokazane na rys. 8.2. Grzejnik podłogowy na swoim obwodzie zaizolowany jest za pomocą styropianu (13) o grubości 0,05 m. W wierzchniej warstwie jastrychu cementowego zatopionych jest 9 czujników temperatury typu KTY81-2 (10), dzięki którym można wyznaczyć wartość średnią temperatury podłogi po podpięciu ich do kart pomiarowej. Ochłodzony czynnik grzewczy powraca przewodem powrotnym poprzez rozdzielacz (5) do kotła, gdzie następuje ponowny jego podgrzew. Przepływ w instalacji pomiarowej wymuszony jest dzięki działaniu pompy obiegowej, umieszczonej w kotle. Instalacja badawcza zabezpieczona jest za pomocą naczynia wzbiorczego przeponowego (6) oraz zaworu bezpieczeństwa umieszczonego w kotle (1). W każdej chwili możliwe jest odcięcie dopływu ciepła do instalacji za pomocą zaworów odcinających (2) umieszczonych przy kotle.

### 3. Przebieg ćwiczenia

1. Zapoznać się z budową stanowiska oraz wytycznymi obsługi kotła elektrycznego i ciepłomierza M-CAL.
2. Włączyć kocioł elektryczny wyłącznie na polecenie prowadzącego zajęcia.
3. Ustawić temperaturę czynnika grzejnego na zasileniu w kotle elektrycznym według zaleceń prowadzącego zajęcia.

4. Otworzyć odpowiednie zawory odcinające na rozdzielaczach (4,5), aby skierować czynnik grzewczy do właściwego obiegu przez grzejnik podłogowy.
5. Przystąpić do wykonywania odczytów ciepła dostarczonego do grzejnika podłogowego za pomocą ciepłomierza M-CAL, temperatury grzejnika podłogowego za pomocą 9 czujników temperatury typu KTY81-2.
6. Odczyty z pkt. 5 wykonywać co 5 minut i zapisywać w tabeli 8.2.
7. Wyłączyć kocioł za zgodą prowadzącego zajęcia.
8. Wykonać obliczenia wartości średniej temperatury powierzchni podłogi z danego czasookresu pomiarowego według wzoru 8.1.  

$$T_p^{sr} = (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + T_9)/9 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (8.1.)$$
gdzie:  
 $T_{1-2}$ - temperatura powierzchni podłogi odczytana z poszczególnych punktów pomiarowych.
9. Wykonać obliczenia ilości ciepła oddawanego przez grzejnik podłogowy w poszczególnych okresach pomiarowych przy wykorzystaniu wzoru 8.2.  

$$Q_{rz} = [11,2 \cdot (T_p^{sr} - T_i) \cdot F] \cdot (t_o \cdot 60) \quad [\text{J}] \quad (8.2.)$$
gdzie:  
 $T_p^{sr}$  – średnia temperatura powierzchni grzejnika podłogowego z danego czasookresu pomiarowego,  $^{\circ}\text{C}$ ,  
 $T_i$ - temperatura otoczenia z danego czasookresu pomiarowego,  $^{\circ}\text{C}$ ,  
 $F$  – powierzchnia grzejnika podłogowego,  $F=4 \text{ m}^2$ ,  
 $t_o$ - czas między odczytami,  $t_o=5 \text{ min}$ .
10. Sporządzić wykres przedstawiający zależność w czasie między ciepłem dostarczanym do grzejnika podłogowego a ciepłem oddawanym przez ten grzejnik.
11. Przedstawić w sposób graficzny zmianę średniej temperatury powierzchni grzejnika podłogowego w czasie jego nagrzewania.
12. Sformułować wnioski.

Tabela 8.2. Odczytane wartości oraz wydajności cieplne grzejników

L.p.	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$	$T_7$	$T_8$	$T_9$	$T_p^{sr}$	$T_i$	$Q_{rz}$	$Q_{odczyt}$
-	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	J	J
1													
2													
3													
...													
n													

## Ćwiczenie nr 9

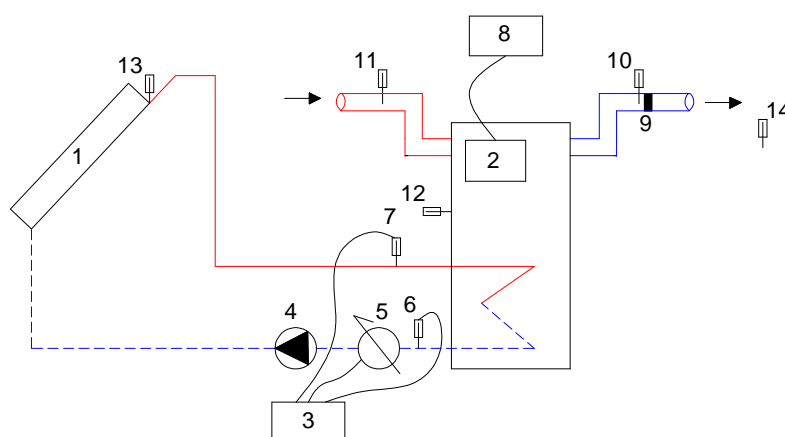
### Wyznaczanie termodynamicznych parametrów instalacji c.w.u. zasilanej z systemu solarnego i pompy ciepła

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

- pomiar ilości ciepła dostarczanej przez kolektor słoneczny do instalacji ciepłej wody użytkowej,
- obliczenie ilości ciepła uzyskiwanego w pompie ciepła ze źródła dolnego,
- obliczenie współczynnika COP dla pompy ciepła,
- wyznaczenie zależności między zmianą temperatury c.w.u. w zasobniku, a temperaturami czynnika w obiegu solarnym oraz współczynnikiem COP pompy ciepła.

#### 2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 9.1. Schemat stanowiska doświadczalnego

Stanowisko pomiarowe (rys. 9.1) zbudowane jest z elementów zestawionych w tabeli 9.1.

Tabela. 9.1. Elementy składowe stanowiska doświadczalnego

Lp.	Nazwa	Szt.
1	Kolektor płaski SOL 27	1
2	Sprężarkowa pompa ciepła LWA 252 SOL powietrze-woda	1
3	Miernik ciepła SOM WMZ	1
4	Pompa obiegu solarnego SOKI plus	1
5	Przepływomierz V40	1
6, 7, 12, 13	Czujnik temperatury PT1000	4
8	Licznik energii elektrycznej	1
9	Przepływomierz	1
10, 11	Czujnik temperatury	2
14	Czujnik temperatury powietrza zewnętrznego typu PT 1000	1

Instalacja badawcza służy do podgrzewu ciepłej wody użytkowej w zasobniku o pojemności 290 dm<sup>3</sup> do zadanej temperatury. Podgrzew c.w.u. odbywa się w pierwszej kolejności za pomocą ciepła uzyskiwanego z promieniowania słonecznego za pomocą płaskiego kolektora słonecznego SOL 27 (1). Ilość tego ciepła jest rejestrowana za pomocą miernika ciepła SOM WMZ (3), w skład którego wchodzi przepływomierz (5) oraz czujniki temperatury typu PT1000 (6, 7). Przepływ w obiegu solarnym zapewnia pompa SOKI plus (4) zlokalizowana na zasileniu kolektora. Temperatura ciepłej wody w zasobniku mierzona jest za pomocą czujnika temperatury typu PT1000 (12). Istnieje także możliwość podgrzewu c.w.u. za pomocą sprężarkowej pompy ciepła typu powietrze woda (2), która umieszczona jest w urządzeniu nad zasobnikiem. Pompa pracuje na powietrzu obiegowym. Temperatura powietrza zasysanego przez pompę ciepła mierzona jest za pomocą czujnika (11), natomiast ilość powietrza opuszczającego pompę ciepła oraz jego temperatura mierzona jest za pomocą przepływomierza (9) i czujnika (10). Ilość energii elektrycznej dostarczanej do pompy ciepła (2) oraz pompy obiegu solarnego (4) mierzona jest za pomocą licznika energii elektrycznej (8).

### 3. Przebieg ćwiczenia

1. Zapoznać się z budową stanowiska oraz wytycznymi obsługi urządzenia do wentylacji i ogrzewania wody użytkowej przy pomocy wbudowanej pompy ciepła typu LWA 252 SOL.
2. Włączyć pompę ciepła za pomocą regulatora według wytycznych prowadzącego zajęcia.
4. Ustawić zadaną temperaturę c.w.u. oraz zadaną różnicę temperatur między temperaturą kolektora i temperaturą w zasobniku według zaleceń prowadzącego zajęcia.
5. Nastawić na regulatorze stopień wentylacji na wartość I.
6. Przystąpić do wykonywania odczytów: ilości ciepła dostarczonego do zasobnika z instalacji kolektorów słonecznych na podstawie wskazań licznika ciepła (3); temperatury czynnika grzejącego w obiegu solarnym na zasileniu i powrocie za pomocą czujników temperatury (7, 6); temperatury wody w zasobniku –  $t_w$ - na podstawie czujnika temperatury (12); temperatury powietrza na zasileniu pompy ciepła –  $t_z$ - za pomocą czujnika temperatury (11); temperatury powietrza opuszczającego pompę ciepła –  $t_p$ - za pomocą czujnika temperatury (10); przepływ powietrza wentylacyjnego –  $V$ - za pomocą przepływomierza (9); ilość energii elektrycznej zużytej przez sprężarkę pompy ciepła oraz pompy obiegu solarnego na podstawie wskazań licznika energii elektrycznej (8).
7. Odczyty przedstawione w pkt. 6 wykonywać co 5 minut i zapisywać w tabeli 9.2.
8. Następnie, za zgodą prowadzącego zajęcia należy nastawić na regulatorze stopień wentylacji na wartość III i wykonać odczyty według zaleceń zawartych w pkt. 6 i 7.
9. Wyłączyć urządzenia do wentylacji i ogrzewania wody użytkowej przy pomocy wbudowanej pompy ciepła typu LWA 252 SOL.
10. Wykonać obliczenia ilości ciepła uzyskiwanego przez pompę ciepła z dolnego źródła ciepła w poszczególnych okresach pomiarowych przy wykorzystaniu wzoru 9.1.

$$Q_o = [(V/\rho) \cdot c_p \cdot (t_z - t_p)] \cdot (t_o \cdot 60) \quad [J] \quad (9.1.)$$

gdzie:

$V$  - przepływ objętościowy powietrza, m<sup>3</sup>/s,

$\rho$  - gęstość powietrza, kg/m<sup>3</sup>,

$c_p$  - ciepło właściwe powietrza, J/kg·K,

$t_z$  – temperatura powietrza na wlocie do pompy ciepła, °C,

$t_p$  – temperatura powietrza na wylocie z pompy ciepła, °C,

$t_o$  - czas między odczytami,  $t_o=5$  min.

11. Wykonać obliczenia stopnia efektywności energetycznej pompy ciepła (COP) z poszczególnych okresów pomiarowych przy wykorzystaniu wzoru 9.2.

$$\text{COP} = (Q_o + N)/N \quad [-] \quad (9.2.)$$

gdzie:

$Q_o$ - ilość ciepła uzyskiwanego przez pompę ciepła z dolnego źródła w poszczególnych okresach pomiarowych, J,

N- ilość energii elektrycznej zużytej do napędu sprężarkowej pompy ciepła w poszczególnych okresach pomiarowych, J.

12. Przedstawić graficzny przebieg temperatury czynnika solarnego na zasileniu i powrocie oraz temperatury c.w.u. w czasie.

13. Sporządzić wykres przedstawiający zależność COP pompy ciepła od temperatury c.w.u. oraz natężenia przepływu powietrza w czasie.

14. Sformułować wnioski.

Tabela 9.2.

L.p.	Stopień wentylacji	V	$t_z$	$t_p$	$t_w$	N	N	$Q_o$	COP
-	-	m <sup>3</sup> /h	°C	°C	°C	kWh	J	J	-
1									
2									
3									
...									
n									