

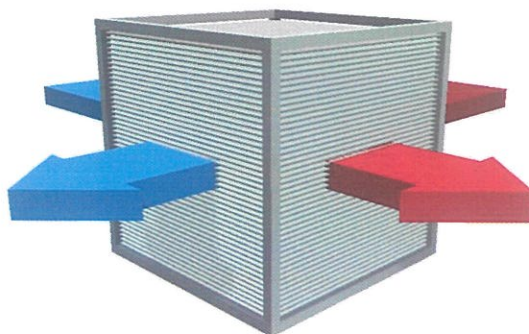


Ekspertyza nr 01/02/2026

Centrala wentylacyjna CWP 360

Na zlecenie: **ECS Piotr Paruszewski**
Ul. Stawowa 3
63-500 Ostrzeszów

Wykonawca: **Sieć Badawcza ŁUKASIEWICZ - Instytut Technologii Eksploatacji**
Ul. Pułaskiego 6/10
26-600 Radom



Badania wykonano: **24.02.2026**

Prowadzący badania:



inż. Łukasz Łożyński

Ekspertyzę sporządził:



inż. Łukasz Łożyński

Ekspertyza zawiera 13 stron

Radom, luty 2026 r.



1. Przedmiot ekspertyzy

Przedmiotem ekspertyzy jest centrala wentylacyjna CWP 360 wyposażona w wymiennik krzyżowy.

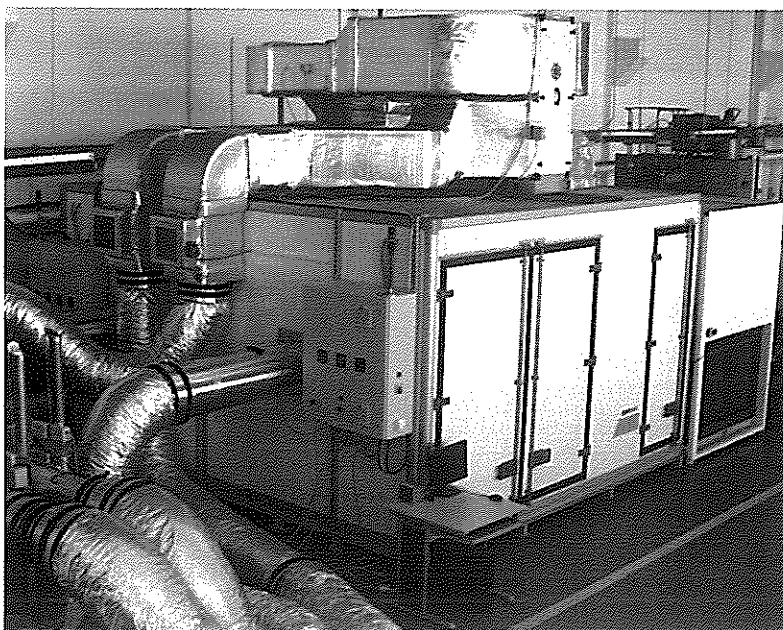
2. Cel badań

Celem badań było wyznaczenie efektywności odzysku ciepła oraz wydajności cieplnej wymiennika przy temperaturach:

- powietrza na czerpni 7°C, powietrza w pomieszczeniu 20°C

3. Stanowisko badawcze

Badania ciepłno-przepływowe zostały zrealizowane w laboratorium Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu. Dwie niezależne komory kalorymetryczne pozwoliły na wytworzenie warunków klimatycznych symulujących wymagane parametry powietrza zewnętrznego oraz parametry powietrza usuwanego z pomieszczenia (Rys. 1).



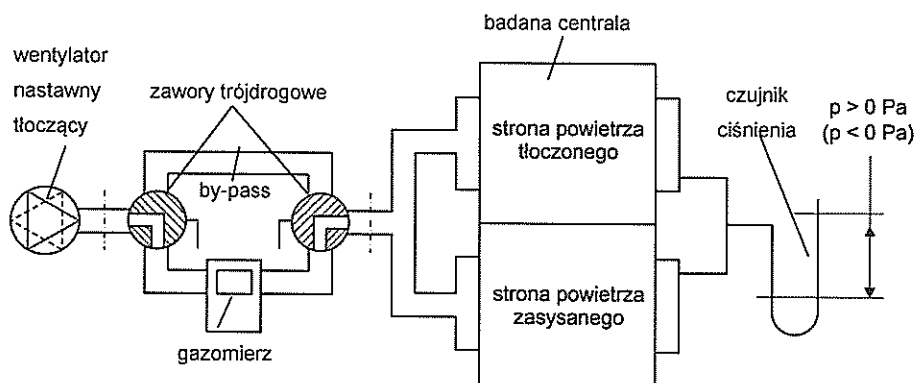
Rys. 1. Widok ogólny stanowiska do badań central wentylacyjnych

Centrala, do której doprowadzane zostało powietrze przygotowane przez komory kalorymetryczne, umieszczona była w hali laboratoryjnej, w której utrzymywana była temperatura powietrza na poziomie 22 +/- 1[°C].

4. Badanie szczelności rekuperatora

4.1. Metoda pomiaru przecieku zewnętrznego i wewnętrznego

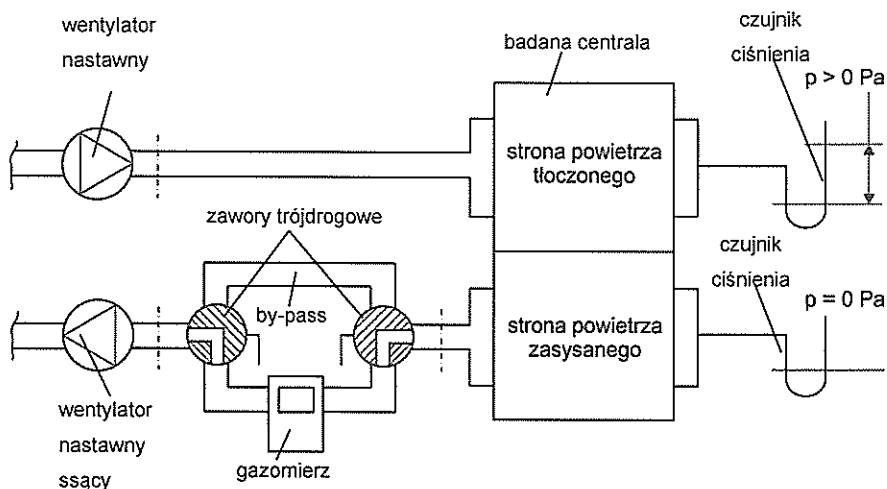
Badanie przecieku zewnętrznego jest wykonywane w układzie, którego schemat przedstawiono na rys. 2. Po jednej stronie powietrza zasysanego i tłoczonego jest przyłączony przyrząd do pomiaru ciśnienia, z drugiej zaś wentylator, którego zadaniem jest wywołanie różnicy ciśnienia między wnętrzem obudowy, a otoczeniem. Między wentylatorem, a centralą znajduje się miernik do pomiaru wartości przecieku.



Rys. 2. Schemat układu do badania szczelności zewnętrznej central wentylacyjnych z odzyskiem ciepła

Przeciek zewnętrzny jest mierzony przy różnicy ciśnienia wynoszącej 400 Pa osobno dla nadciśnienia i podciśnienia. W przypadku urządzeń przeznaczonych do stosowania w instalacjach o ciśnieniu statycznym 250 Pa lub mniejszym pomiaru dokonuje się przy ciśnieniu 250 Pa. Zmierzone strumienie masy przecieków przelicza się jako procent nominalnego przepływu powietrza centrali.

Przeciek wewnętrzny powietrza tłoczonego, czyli przeciek ze strony powietrza usuwanego z budynku do powietrza świeżego jest mierzony w układzie, którego schemat przedstawiono na rys. 3. Po stronie powietrza tłoczonego jest utrzymywane nadciśnienie równe 250 Pa lub 100 Pa dla urządzeń przeznaczonych do instalacji o ciśnieniu statycznym 250 Pa. Po stronie powietrza zasysanego wentylator wyciągowy utrzymuje ciśnienie równe 0 Pa. Miernik przepływu umieszczony między stroną powietrza zasysanego, a wentylatorem określa wartość przecieku. Wynik badania przedstawiany jest jako procent nominalnego przepływu centrali.



Rys. 3. Schemat układu do badania szczelności wewnętrznej central wentylacyjnych z odzyskiem ciepła

4.2. Przyrządy pomiarowe

Układ wykorzystuje czujniki ciśnienia i regulatory wentylatorów zabudowane na stałe w instalacji do badania sprawności odzysku ciepła. Pomiar ciśnienia wykonywany był przy użyciu przetwornika do pomiaru niskich i różnicowych ciśnień Model DP-10. Do pomiaru przepływu powietrza zastosowano przemysłowy gazomierz miechowy G25 o zakresie pomiarowym od 0,25 do 40 m³/h i klasie dokładności 1,5. Pierwsza rolka bębnekowa mechanicznego liczydła gazomierza posiada magnes impulsowy, który współpracuje z kontaktronowym nadajnikiem impulsów elektrycznych o rozdzielczości 0,1 m³/imp. Impulsy są zliczane przez rejestrator MacR2, który standardowo jest wykorzystywany do zliczania objętości przepływającego medium. Oprócz rejestracji stanu licznika i jego przyrostów, rejestrator na bieżąco oblicza strumień objętości gazu.

4.3. Badanie przecieków

Ciśnienie P_{STAT} [Pa]	Przeciek zewnętrzny		Przeciek wewnętrzny	
	Przeciek [kg/s]	[%]	Przeciek [kg/s]	[%]
250	0,0018	1,50		
-250	0,0018	1,50		
100			0,0012	1,0

5. Procedura badań

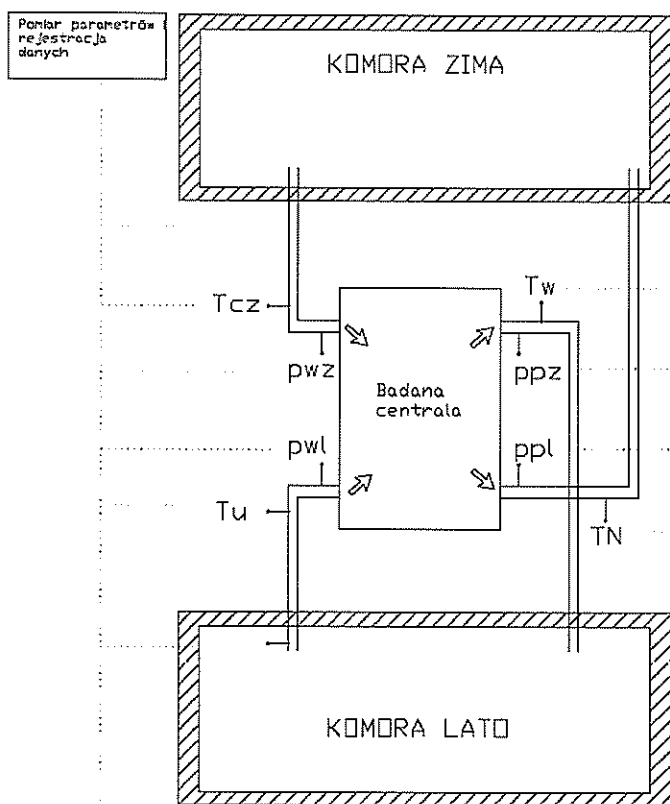
- Zadanie warunków temperaturowych i wilgotnościowych w komorze kalorymetrycznej
- Stabilizacja zadanych warunków (t_U , t_{Cz} , ϕ_{Cz} , ϕ_U)
- Włączenie centrali
- Stabilizacja warunków w komorze kalorymetrycznej
- Badania przy parametrach serii pierwszej
- Zmiana parametrów powietrza
- Stabilizacja warunków w komorze kalorymetrycznej
- Badania przy parametrach serii drugiej
- Zmiana parametrów powietrza

W komorze zimnej, gdzie utrzymywano warunki temperaturowe powietrza zewnętrznego znajdował się króciec powietrza czerpanego do centrali oraz króciec powietrza wyrzucanego na zewnątrz z centrali (Rys.1).

Podczas testu rejestrowano wszystkie wartości mierzonych temperatur oraz wilgotności względnych powietrza oraz kontrolowano spadek ciśnienia na regeneratorach.

- t_{Cz} - powietrze zewnętrzne (symulujące parametry powietrza zewnętrznego) [°C]
 t_N - powietrza nawiewane do pomieszczenie po uprzednim przejściu przez centrale [°C]
 t_W - powietrze wywiewane z pomieszczenia po przejściu przez rekuperator [°C]
 t_U - powietrze usuwane z pomieszczenia (symulujące warunki w pomieszczeniu) [°C]
 ϕ_{Cz} - wilgotność względna powietrza zewnętrznego [%]
 ϕ_N - wilgotność względna powietrza nawiewanego do pomieszczenia [%]
 ϕ_W - wilgotność względna powietrza wywiewanego [%]
 ϕ_U - wilgotność względna powietrza usuwanego z pomieszczenia [%]

6. Schemat stanowiska



7. Przyrządy pomiarowe

Pomiar temperatury powietrza

Temperatura powietrza wpływającego do centrali i wypływającego z centrali mierzona była przy pomocy czujników temperatury Geneza GPE-D-A-160-Pt100-kIA

W każdym króćcu umieszczony był czujnik pomiarowy w miejscach zaznaczonych na schemacie stanowiska (powyżej), z których otrzymywano sygnał temperatury w danym przekroju (t_N , t_U , t_W , t_{Cz}).

Pomiar temperatury powietrza w komorze ciepłej (lato) t_{Wl} realizowany był przy pomocy czujnika temperatury Geneza GPE-D-A-160-Pt100-kIA

Pomiar temperatury w komorze zimnej(zima) t_{Wz} t_{ko} realizowano przy pomocy czujników temperatury Geneza GPE-D-A-160-Pt100-kIA

Pomiar wilgotności względnej powietrza

Do pomiaru wilgotności względnej powietrza w króćcach centrali (ϕ_U , ϕ_N , ϕ_W , ϕ_{Cz}) oraz w komorze zimnej ϕ_{KO} użyto przetworników wilgotności względnej Introl typ: EE31 charakteryzujący się dużą dokładnością i stabilnością, małą histerezą.

Rejestracja danych pomiarowych

Do rejestracji wartości temperatur powietrza, ciśnień oraz wilgotności względnej użyto zakładowego rejestratora danych. Mierzone wartości zapisywane były co 2,5 sekundy.

Pomiar strumienia powietrza

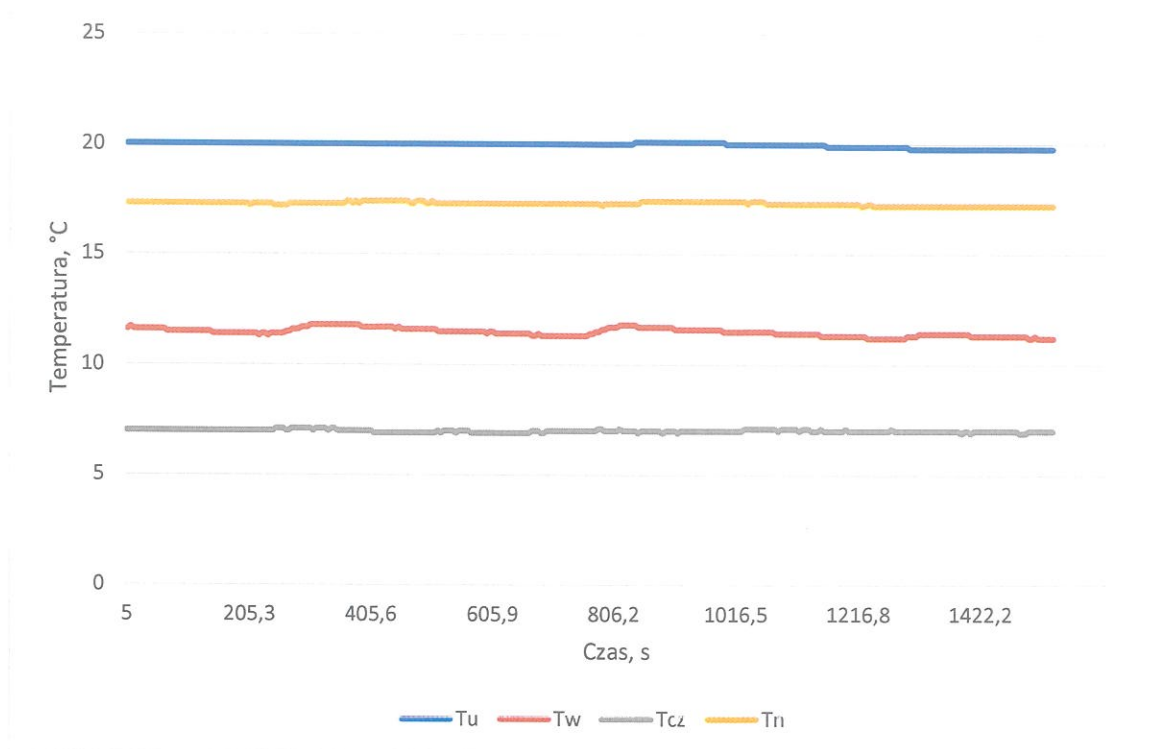
Do pomiaru strumienia powietrza przepływającego przez wymienniki badania były wykonywane przy pomocy miernika wraz zamontowanymi króćcami do pomiaru różnicy ciśnień. Cały układ wykonany został zgodnie z normą PN-81/M-42364.

8. Serie pomiarowe

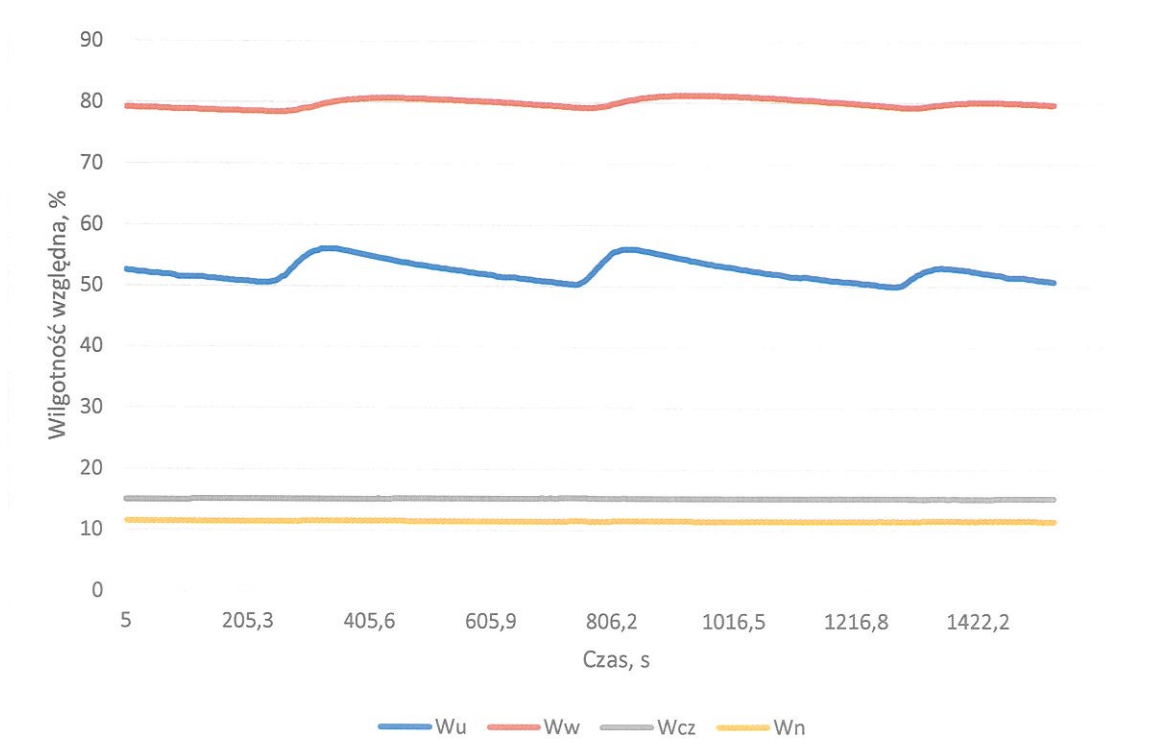
Lp.	Badanie (norma, parametry powietrza wlotowego, strumień powietrza)	Osoba odpowiedzialna
1	PN-EN 13141-7, $t_{Cz}=7^{\circ}\text{C}$, $t_U=20^{\circ}\text{C}$ $q_{v22}=210[\text{m}^3/\text{h}]$	Ł. Łożyński
1	PN-EN 13141-7, $t_{Cz}=7^{\circ}\text{C}$, $t_U=20^{\circ}\text{C}$ $q_{v22}=210[\text{m}^3/\text{h}]$	Ł. Łożyński

9. Zarejestrowane przebiegi

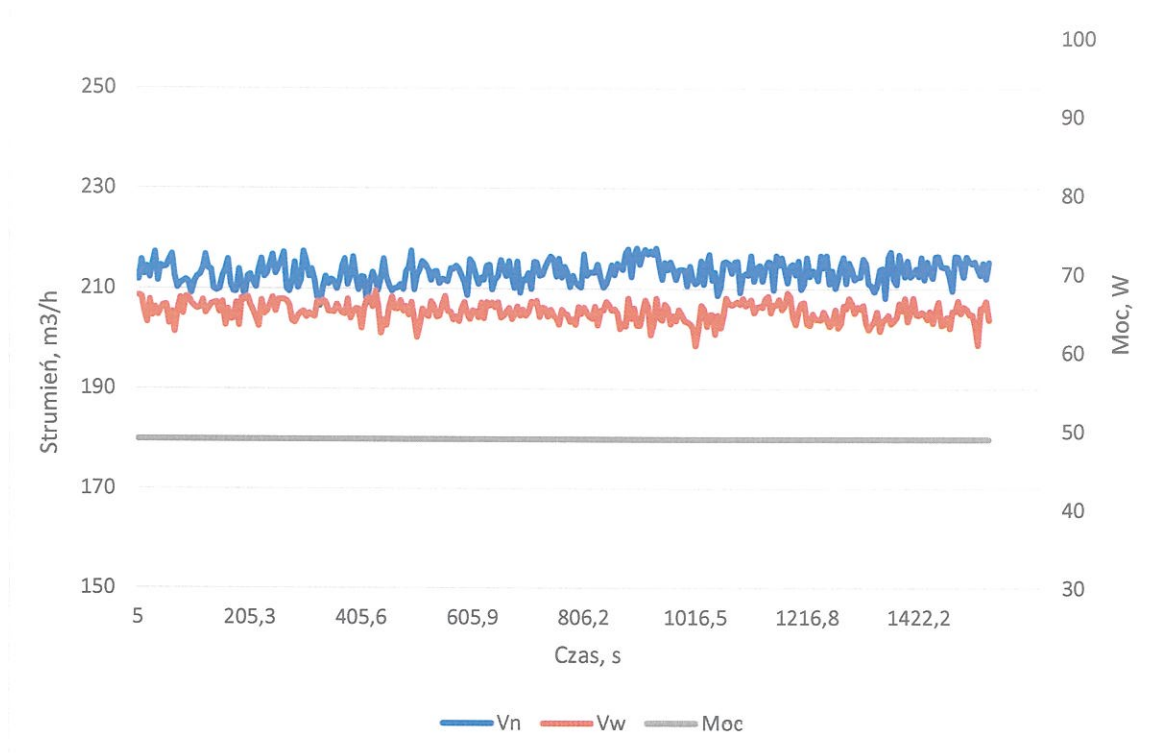
9.1. Seria pomiarowa nr 1



Wyk.1. Przebieg zmian temperatury powietrza dla serii pomiarowej nr 1.

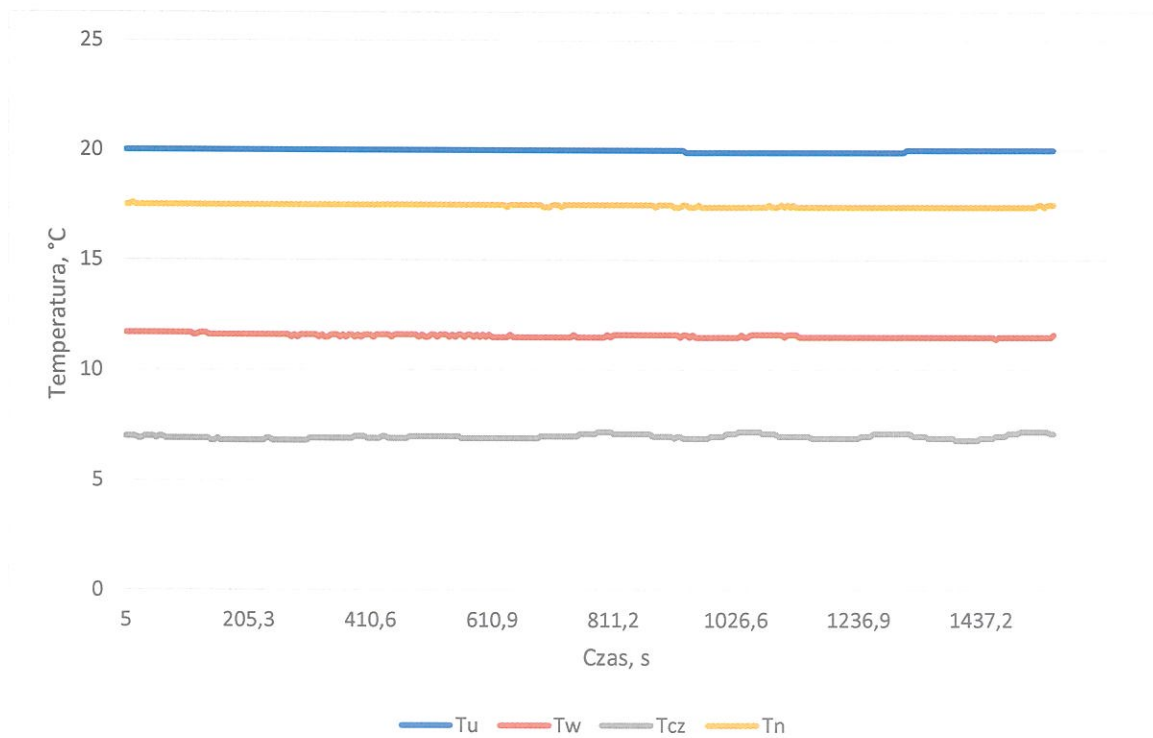


Wyk.2. Przebieg zmian wilgotności powietrza dla serii pomiarowej nr 1.

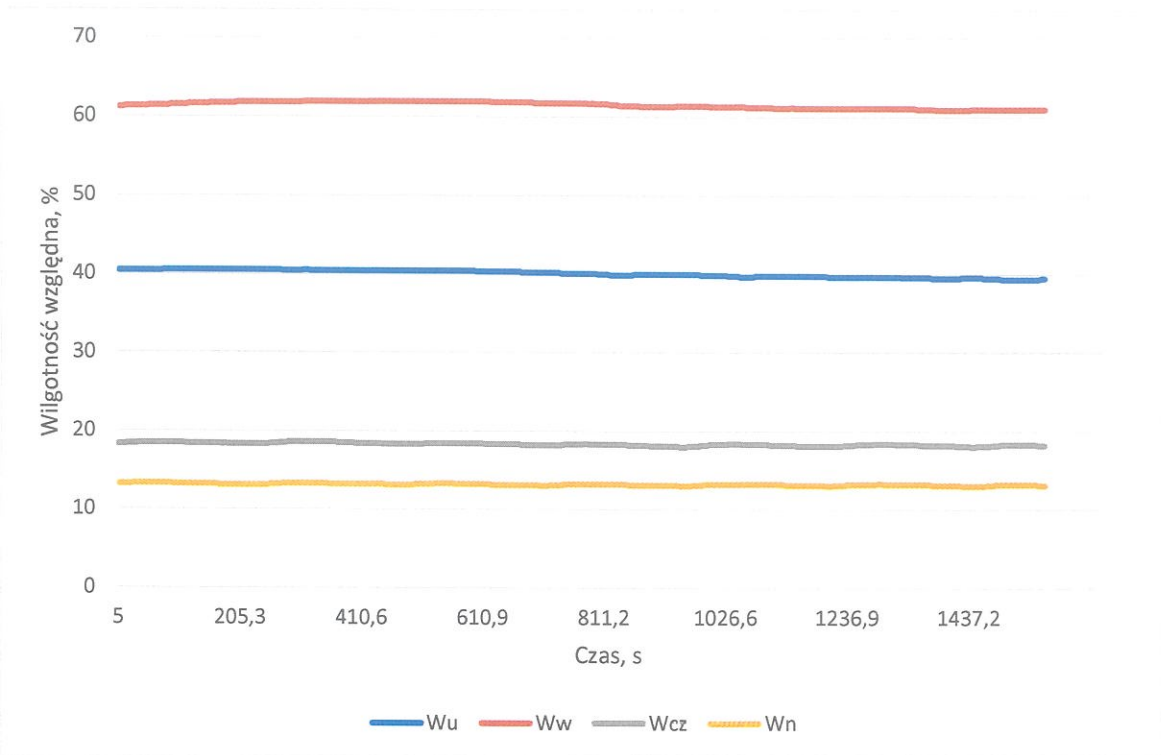


Wyk.3. Przebieg zmian strumieni powietrza oraz mocy dla serii pomiarowej nr 1.

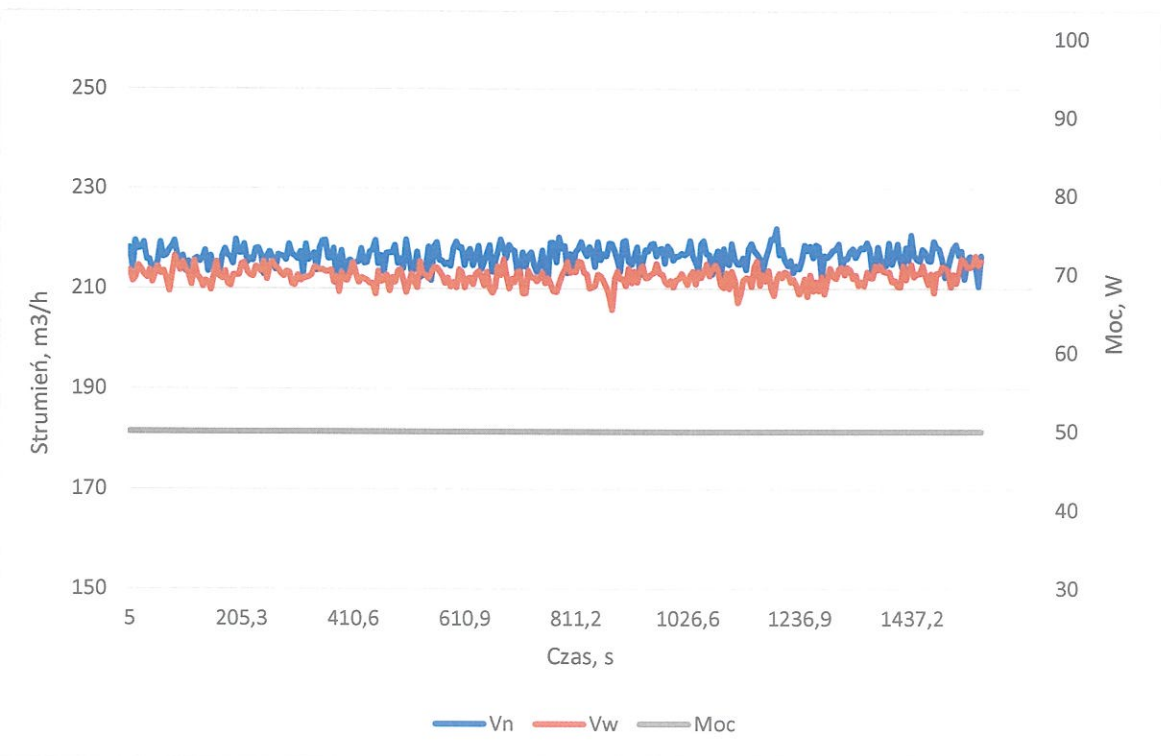
9.2 Seria pomiarowa nr 2



Wyk.4. Przebieg zmian temperatur powietrza dla serii pomiarowej nr 2.



Wyk.5. Przebieg zmian wilgotności powietrza dla serii pomiarowej nr 2.



Wyk.6. Przebieg zmian strumieni powietrza oraz mocy dla serii pomiarowej nr 2.

10. Przemiany powietrza na wykresie Molliera

Do analizy przemian powietrza wilgotnego posłużono się psychrometrycznym wykresem Molliera. Charakterystyczne punkty opisujące zmianę własności powietrza podlegającego obróbce w centrali wentylacyjnej były średnimi wartościami temperatur i wilgotności względnych uzyskanych podczas testów.

11. Zestawienie wielkości odczytanych z wykresu Molliera.

W tabeli Tab.3 zestawiono wartości wielkości odczytanych z wykresów h-x, które w dalszej części wykorzystywane były do obliczeń.

Tab.2. Wartości średnie temperatury oraz wilgotności względnej.

Nr serii pomiarowej	t_U [°C]	W_U [%]	t_N [°C]	W_N [%]	t_{Cz} [°C]	W_{Cz} [%]	t_w [°C]	W_w [%]
1	20,0	52,5	17,3	11,5	7,0	15,2	11,5	80,0
2	20,0	40,1	17,5	13,2	7,0	18,3	11,6	61,5

Tab.3. Entalpia i wilgotność bezwzględna punktów z wykresów.

Nr serii pomiarowej	x_U	x_N	x_{Cz}	x_w	h_U	h_N	h_{Cz}	h_w
	[g/kg]	[g/kg]	[g/kg]	[g/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
1	7,63	1,4	0,94	6,74	39,4	20,9	9,4	28,5
2	5,81	1,62	1,13	5,2	34,8	21,7	9,9	24,7

12. Obliczenie efektywności odzysku ciepła

Zakładając, że strumienie objętościowe powietrza czerpanego z zewnątrz i usuwanego z pomieszczenia są w przybliżeniu równe:

- efektywność odzysku ciepła jawnego określa zależność:

$$\eta_t = \frac{t_N - t_{Cz}}{t_U - t_{Cz}} \cdot 100 [\%], \quad (1)$$

- efektywność odzysku ciepła całkowitego określa zależność:

$$\eta_h = \frac{h_N - h_{Cz}}{h_U - h_{Cz}} \cdot 100 [\%], \quad (2)$$

Tab.4. Efektywność odzysku ciepła jawnego

Nr serii pomiarowej	t_U [°C]	W_U [%]	t_N [°C]	W_N [%]	t_{Cz} [°C]	W_{Cz} [%]	t_w [°C]	W_w [%]	η_t [%]
1	20,0	52,5	17,3	11,5	7,0	15,2	11,5	80,0	79,4
2	20,0	40,1	17,5	13,2	7,0	18,3	11,6	61,5	80,7

Tab.5. Efektywność odzysku ciepła całkowitego

Nr serii pomiarowej	x_U	x_N	x_{Cz}	x_W	h_U	h_N	h_{Cz}	h_W	η_h
	[g/kg]	[g/kg]	[g/kg]	[g/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[%]
1	7,63	1,4	0,94	6,74	39,4	20,9	9,4	28,5	38,33
2	5,81	1,62	1,13	5,2	34,8	21,7	9,9	24,7	47,39

13. Obliczenie wydajności cieplnej wymiennika

Biorąc pod uwagę główne zadanie stawiane badanej centrali, polegające na odzysku ciepła od powietrza usuwanego z pomieszczenia wydajność cieplną wymiennika obliczono w oparciu o strumień energii dostarczany do powietrza czerpanego z zewnątrz:

$$\dot{Q}_r = \dot{V}_{Cz} \cdot \rho_{pCz} \cdot (h_N - h_{Cz}),$$

gdzie:

\dot{Q}_r - wydajność cieplna regeneratora [kW],

\dot{V}_{Cz} - objętościowy strumień powietrza czerpanego z zewnątrz [m³/s],

ρ_{pCz} - gęstość powietrza wyznaczona jako średnia gęstość powietrza w punkcie Cz oraz N [kg/m³]

h_N - entalpia powietrza nawiewanego do pomieszczenia [kJ/kg],

h_{Cz} - entalpia powietrza czerpanego z zewnątrz do centrali [kJ/kg].

Tab.6. Wydajność cieplna regeneratora

Nr serii pomiarowej	\dot{V}_{Cz}	ρ_{pCz}	h_{Cz}	h_N	\dot{Q}_r
	[m ³ /s]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kW]
1	0,083	1,234	9,4	20,9	1,18
2	0,083	1,234	9,9	21,7	1,21

14. Pobór mocy i współczynnik SFP

Tab.7. Współczynnik sprawności instalacji wentylacyjnej

Nr serii pomiarowej	Średnia moc pobrana przez rekuperator, W	q_{\max} , m ³ /h	SFP, W/(m ³ /h)
1	49	218	0,2247
2	50	222	0,2251