

Stanisław KOZIOŁ, Andrzej ZBROWSKI

Instytut Technologii Eksploatacji PIB, Radom

Kazimierz WOJTAS, Jan WRONA

Politechnika Krakowska

KONCEPCJA SYSTEMU DO BADANIA SPRAWNOŚCI I BEZPIECZEŃSTWA WENTYLACYJNYCH UKŁADÓW ODZYSKU CIEPŁA

Słowa kluczowe

Rekuperator, wentylacja, sprawność, odzysk ciepła.

Streszczenie

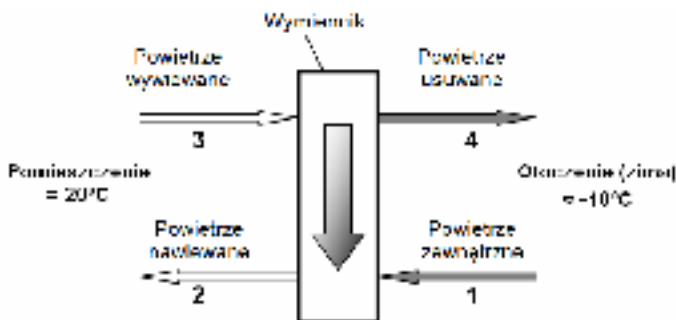
W artykule przedstawiono koncepcję systemu do badania wymienników stosowanych do odzysku ciepła w układach wentylacji i klimatyzacji budynków. Składa się on z dwóch klimatyzowanych komór odtwarzających parametry atmosfery znajdującej się na zewnątrz budynku i wewnątrz oraz odpowiednich układów sterujących i pomiarowych. Służy do wyznaczania sprawności temperaturowej i wilgotnościowej rekuperatorów w różnych warunkach pracy oraz charakterystyk przepływowych i szczelności.

Wprowadzenie

W nowoczesnych budynkach o dobrej izolacyjności termicznej, wyposażonych w instalacje wentylacji mechanicznej lub klimatyzacji, największymi stratami energii cieplnej są strumienie ciepła usuwane z pomieszczeń wraz z wywiewanym powietrzem. W przypadku budynków mieszkalnych mogą one stanowić nawet 60% całkowitych strat ciepła [1]. Kluczową rolę w minimalizowa-

niu strat energetycznych związanych z wentylacją odgrywa wykorzystanie strumienia powietrza usuwanego w celu ogrzewania lub chłodzenia powietrza dostarczanego do pomieszczeń – odzysk ciepła [2].

Różnicę temperatury powietrza zużytego i zewnętrznego wykorzystuje się do wymiany ciepła pomiędzy tymi dwoma strumieniami, instalując sekcję odzysku energii cieplnej zawierającą wymiennik ciepła powietrze–powietrze.



Rys. 1. schemat działania układu odzysku ciepła (strzałka pionowa ilustruje kierunek przepływu ciepła)

Mogą one mieć następujące rozwiązania konstrukcyjne:

- rekuperatory krzyżowo-płytkowe, przeciwprądowo-płytkowe, spiralne,
- regeneratory obrotowe i nieobrotowe,
- wymienniki z medium pośredniczącym.

Całkowitą sprawność wymiany ciepła można określić jako stosunek strumienia ciepła odzyskiwanego w układzie do strumienia ciepła potencjalnie możliwego do odzyskania.

$$\eta_c = \frac{\dot{m}_1 \cdot (h_2 - h_1)}{\dot{m}_1 \cdot (h_3 - h_1)} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

gdzie:

\dot{m} – strumień masy powietrza,

h – entalpia jednostkowa,

1 – powietrze zewnętrzne przed wymiennikiem wg rys. 1,

2 – powietrze nawiewane za wymiennikiem wg rys. 1,

3 – powietrze wywiewane przed wymiennikiem wg rys. 1.

Jeżeli porównanie dwóch strumieni ciepła („odzyskanego” do „niezbędnego”) ograniczymy tylko do ciepła jawnego (nie uwzględniając wody zawartej w powietrzu) oraz założymy równość strumieni masowych natężenia przepływu

powietrza zewnętrznego i wywiewanego, możemy posługiwać się określeniem sprawności temperaturowej odzysku ciepła:

$$\eta_t = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

gdzie: t – temperatura odpowiednich strumieni powietrza.

W przypadku odzysku jedynie ciepła jawnego, temperaturowa sprawność odzysku ciepła w przybliżeniu odpowiada sprawności całkowitej. Gdy odzyskiwane jest również ciepło utajone wynikające z wykraplania wilgoci z powietrza, sprawność temperaturowa nie uwzględnia w pełni zachodzących procesów i do oceny sprawności należy stosować pierwszą zależność. Stopień odzysku wilgoci w układzie charakteryzuje sprawność wilgotnościowa:

$$\eta_x = \frac{X_2 - X_1}{X_3 - X_1} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

gdzie: X – zawartość wilgoci w powietrzu (wilgotność właściwa).

Najprostszymi w obsłudze, najtańszymi i najczęściej stosowanymi wymiennikami są rekuperatory płytowe i spiralne wykonane ze stali nierdzewnej, aluminium lub tworzyw sztucznych. Sprawność odzysku ciepła w rekuperatorze zależy od ukształtowania płyt, ich rozstawu, natężenia przepływu powietrza, stosunku natężenia przepływu powietrza nawiewanego i wywiewanego oraz od różnicy temperatury pomiędzy oboma strumieniami. W zależności od wartości tych parametrów, sprawność odzysku ciepła może zmieniać się w szerokim zakresie. Podając wartość sprawności, należy zaznaczyć, w jakich warunkach jest ona uzyskiwana.

Przy projektowaniu, ocenie i badaniu instalacji wentylacyjnych z odzyskiem ciepła należy, poszukując oszczędności związanych ze zmniejszeniem zapotrzebowania na energię, pamiętać o potrzebie doprowadzenia właściwej ilości powietrza wentylacyjnego do obiektu. Wentylacja w budynkach powinna zapewnić odpowiednią wymianę powietrza w pomieszczeniach w celu:

- doprowadzenia odpowiedniej ilości świeżego powietrza do oddychania dla ludzi,
- zapewnienia prawidłowego procesu spalania paliw w domowych urządzeniach gazowych,
- usunięcia zanieczyszczeń gazowych oraz produktów przemiany materii,
- doprowadzenia pary wodnej wytwarzanej w pomieszczeniach.

Nie można dopuszczać do zmniejszenia ilości powietrza wentylacyjnego w celu uzyskania oszczędności energetycznych i ekonomicznych w zakresie wentylacji, gdyż prawidłowa ilość powietrza jest konieczna dla zapewnienia właściwych warunków higienicznych i zdrowotnych.

W przypadku instalacji wentylacyjnych wykorzystujących rekuperacyjne wymienniki ciepła, wpływ na sprawne funkcjonowanie i bezpieczeństwo wentylowanego obiektu, oprócz sprawności wymiennika mają jego szczelność, opory przepływu powietrza i zjawisko zamarzania wykroplonej wilgoci przy ujemnych temperaturach powietrza zewnętrznego, powodujące zmniejszenie strumienia powietrza wywiewanego lub całkowite zalodzenie wymiennika. W celu zabezpieczenia wymiennika przed zamarzaniem wody stosuje się różnego rodzaju zabezpieczenia.

Złożona zależność sprawności wentylacyjnych wymienników ciepła od ich budowy, parametrów konstrukcyjnych i warunków pracy oraz znaczący wpływ na bezpieczeństwo użytkowania budynków przeznaczonych do ciągłego przebywania ludzi sprawia, że przed dopuszczeniem ich do zastosowania niezbędne jest przeprowadzanie badań sprawdzających zgodnie z normatywnymi zaleceniami [3, 4]. Dane techniczne podawane przez producentów tych urządzeń, z powodu braku możliwości sprawdzenia, są najczęściej niepełne i dotyczą optymalnych warunków pracy, kiedy występują np. najwyższe sprawności lub nie ma niebezpieczeństwa znacznego ograniczenia przepływu. Badania rekuperatorów w całym zakresie warunków i uzyskanie pełnych charakterystyk eksploatacyjnych wymagają zbudowania specjalnego układu badawczego symulującego możliwie szeroki zakres rzeczywistych parametrów klimatycznych.

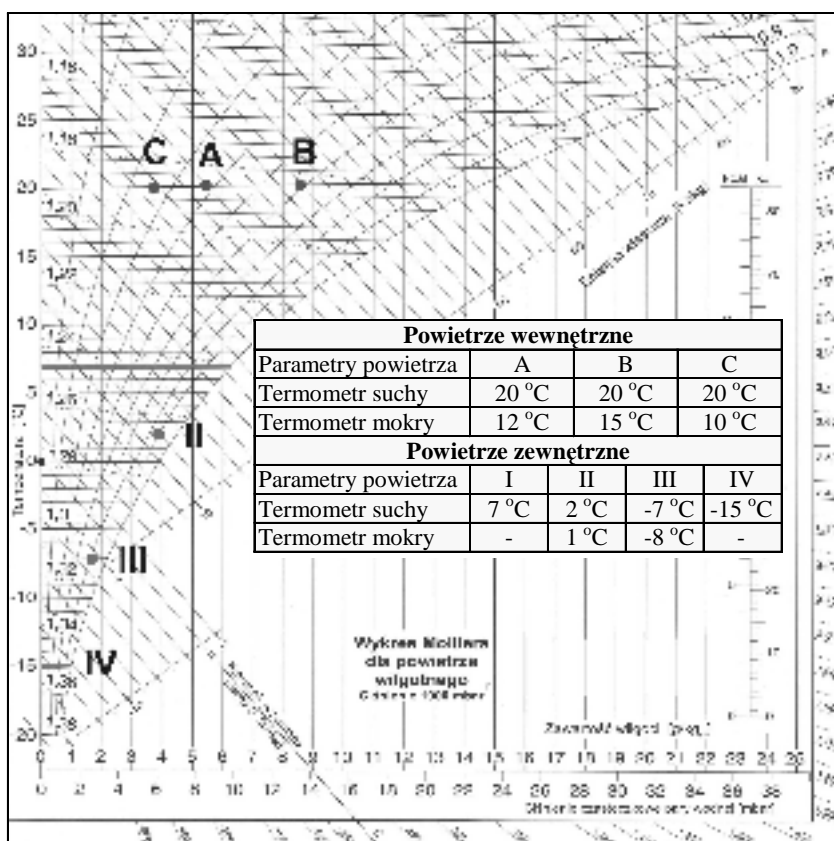
1. Założenia systemu pomiarowego

System odzysku ciepła, który ma być zastosowany we współpracy z wentylacją budynku, a w szczególności z wentylacją pożarową, musi spełnić odpowiednie wymagania. Wymagania te to przede wszystkim:

- potwierdzona badaniami odpowiednia efektywność odzysku ciepła w określonych warunkach termicznych,
- efektywna praca także w przypadku wysokich wilgotności powietrza wywiewanego oraz niskich temperatur powietrza zewnętrznego (problem obładzania się w przypadku niektórych przeponowych wymienników stosowanych do odzysku ciepła),
- efektywność odzysku chłodu w przypadku wyższych temperatur powietrza zewnętrznego w okresach letnich,
- odpowiednia szczelność – określenie przecieków pomiędzy powietrzem nawiewanym i wywiewanym.

Program badań rekuperatorów na planowanym eksperymentalnym stanowisku daje możliwość przeprowadzenia testów oraz symulacji wszystkich warun-

ków temperaturowych i wilgotnościowych, jakie mogą wystąpić w klimacie polskim i mających wpływ na działanie wentylacji bytowej czy też klimatyzacyjnej. Szczególnie ważne jest ustalenie rzeczywistych wartości odzysku ciepła i chłodu dla różnych parametrów powietrza nawiewanego oraz wywiewanego. Drugim bardzo istotnym zagadnieniem jest, w warunkach skrajnie niskich temperatur, efekt obładzania się w przypadku niektórych systemów stosowanych do odzysku ciepła w instalacjach wentylacyjnych lub klimatyzacyjnych. Zjawisko to bezpośrednio wpływa na sprawność temperaturową odzysku ciepła, a także, co jest równie krytyczne, powoduje dławienie przepływu powietrza przez układ. Nie bez znaczenia dla wyników badań jest także wartość przecieku powietrza ze strony wywiewnej na nawiewną przez badany system odzysku ciepła.



Rys. 2. Parametry powietrza po stronie wywiewanej z pomieszczenia i powietrza zewnętrznego przedstawione na wykresie Molliera

Podstawowe założenia, jakie przyjęto w koncepcji stanowiska pomiarowego do badania modułów rekuperatorów ciepła z powietrza wentylacyjnego, to:

- zgodność z normami, które obowiązują i dotyczą zagadnień pomiarowych będących przedmiotem opracowania [3, 4, 5, 6],
- zakres strumieni powietrza, które mogą występować w trakcie badań: 200 do 700 m³/h z możliwością wzajemnego różnicowania $\pm 30\%$,
- minimalna sprawność badanego rekuperatora: 40%,
- możliwość badania pracy rekuperatora w „warunkach jego szronienia” dla wydajności powietrza do 400 m³/h,
- standardowy sposób badania rekuperatora dla „warunków zimowych” z możliwością badania w „warunkach letnich” po odwróceniu centrali wentylacyjnej (zamienione kierunki przepływu powietrza) oraz badanie w trakcie procesu zasrzaniania i odszraniania,
- możliwość badania modułów wentylacyjnych z rekuperatorami i regenera-torami ciepła, w tym wyposażonych we własne wentylatory i filtry lub samych rekuperatorów,
- badanie charakterystyk modułów rekuperacyjnych w dolnym zestawie parametrów powietrza po stronie „wywiewanej z pomieszczenia” i po stronie „powietrza zewnętrznego” zgodnych z normą [4] (rys. 2),
- zakres możliwych parametrów pomiarowych dla powietrza zewnętrznego: od $-15^{\circ}\text{C}/100\%$ zimą do $+30^{\circ}\text{C}/45\%$ latem,
- zakres możliwych parametrów pomiarowych dla powietrza wywiewanego (od $20^{\circ}\text{C}/30\%$ – zimą do $26^{\circ}\text{C}/55\%$ latem,
- stabilizacja parametrów termicznych i przepływowych w określonych zakresach z dokładnością wymaganą normami (tabela 1),
- badanie charakterystyk szczelności zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych za pomocą dodatkowego modułu pomiarowego,
- badania cieplne rekuperatorów w celu wyznaczenia, zgodnie z normami sprawności temperaturowej i wilgotnościowej z jednoczesnym pomiarem strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego,
- temperatura otoczenia (temperatura w pomieszczeniu laboratoryjnym) w zakresie od $+15^{\circ}\text{C}$ do $+25^{\circ}\text{C}$.

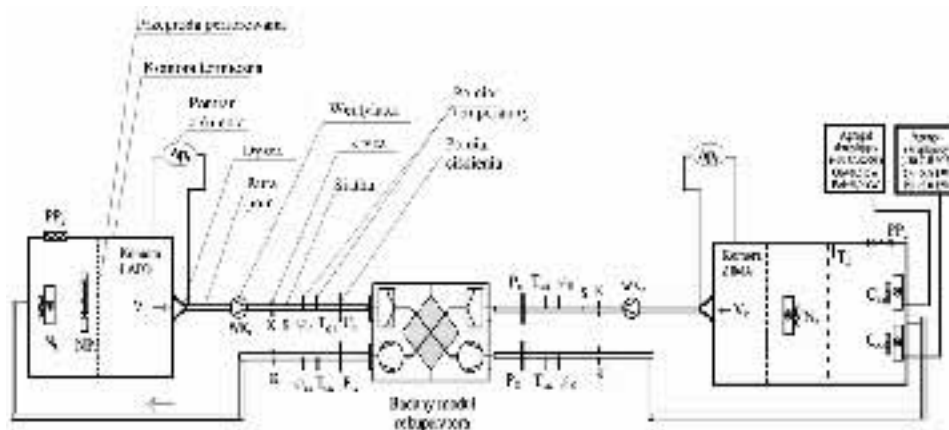
Tabela 1. Wymagane dokładności pomiarów poszczególnych wielkości niezbędnych do określenia charakterystyk cieplnych rekuperatorów zgodnie z normą [4]

Wielkość mierzona	Przedział dokładności
Temperatura termometru suchego	$\pm 0,2$ K
Temperatura termometru mokrego	$\pm 0,3$ K
Strumień objętościowy powietrza	$\pm 3\%$

2. Schemat stanowiska badawczego

Główne elementy stanowiska pomiarowego (rys. 3) stanowią 2 komory ze szczelnymi drzwiami wejściowymi, izolowane termicznie wełną mineralną lub pianką poliuretanową o grubości nie mniejszej niż 50 mm.

Zadaniem komór jest stabilizacja parametrów termicznych i przepływowych w czasie trwania serii pomiarowej dwóch badanych strumieni powietrza („wewnętrzne” i „zewnętrzne”), tak aby istniała możliwość spełnienia wymagań normatywnych.



Rys. 3. Schemat ideowy stanowiska pomiarowego do badania charakterystyk wentylacyjnych układów odzysku ciepła

Komora „ZIMA” KZ ma na celu uzyskanie stabilnych w czasie badań parametrów powietrza zewnętrznego dla warunków zimowych, określonych na rys. 2 punktami I, II, III, i IV. Musi więc ona zapewnić osuszanie powietrza oraz jego ochłodzenie do warunków: $t < -15^{\circ}\text{C}$. W tym celu komora jest wyposażona w następujące elementy:

- wlot powietrza z badanego wymiennika doprowadzony pomiędzy chłodnicę powietrza,
- przepustnica PP_Z o wysokiej klasie szczelności wyposażona w siłownik o ciągłym sygnale sterującym, łącząca wnętrze komory w jej części wlotowej z powietrzem otaczającym w celu zrównoważenia ciśnienia w KZ do ciśnienia otoczenia,
- dwie chłodnice wentylatorowe z bezpośrednim odparowaniem C_{Z1} i C_{Z2} o wydajności chłodniczej 8,5 kW każda, stanowiące element systemu chłodniczego z agregatem ziębniczym i własnym podukładem regulacji i sterowania oraz możliwości ciągłej regulacji wydajności chłodniczej w zakresie 30 do 100%,

- nagrzewnica elektryczna N_Z o mocy grzewczej 6 kW z wentylatorem o wydajności nie mniejszej niż 3000 m³/h zamontowana w środkowej części komory z regulowaną w sposób ciągły mocą grzałek (0–100%),
- nagrzewnica elektryczna o mocy grzewczej 1 kW z jednym lub dwoma wentylatorami o wydajności nie mniejszej niż 1000 m³/h każdy z regulowaną w sposób ciągły mocą grzałek zainstalowaną w końcowej części komory; wentylatory wywołują poprzeczny i wirowy ruch powietrza w celu osiągnięcia dokładność i stabilność parametrów atmosfery,
- przegrody „spiętrzające” pozwalające na uzyskanie homogeniczności parametrów powietrza na wylocie z komory KZ.

Komora „LATO” KL ma na celu uzyskanie stabilnych w czasie badań parametrów powietrza wewnętrznego, określonych na wykresie Molliera punktami A, B lub C (rys. 2) lub powietrza zewnętrznego dla warunków letnich. Zapewnia więc nawilżanie powietrza oraz jego podgrzewanie do warunków: + 30°C i 50% RH. W tym celu komora jest wyposażona w następujące elementy:

- wlot powietrza z badanego wymiennika doprowadzony w okolice wstępnej nagrzewnicy powietrza N_L z wentylatorem o dużej wydajności,
- nagrzewnica elektryczna o regulowanej mocy grzewczej 6,0 kW z wentylatorem o wydajności nie mniejszej niż 3000 m³/h zamontowana w początkowej części komory,
- przepustnica PP_L o wysokiej klasie szczelności wyposażona w siłownik o ciągłym sygnale sterującym, łącząca wnętrze komory w jej części wlotowej z powietrzem otaczającym w celu zrównoważenia ciśnienia w KL do ciśnienia otoczenia,
- adiabatyczny nawilżacz wodny NP o specjalnej konstrukcji, z dwiema dyszami „rezonansowymi” zasilanymi sprężonym powietrzem i zamontowanymi w środkowej części komory pozwalający na stabilną regulację wydajności nawilżania w zakresie 0,5 do 6 kg/h,
- nagrzewnica elektryczna o mocy grzewczej 1,5 kW z wentylatorami zainstalowana w środkowej części komory w celu osiągnięcia dokładności i stabilności parametrów atmosfery,
- przegroda „spiętrzająca” pozwalająca na uzyskanie homogeniczności parametrów powietrza na wylocie z komory KL.

Pomiędzy każdą z komór (KZ i KL) i wlotem do badanego wymiennika lub centrali wentylacyjnej z rekuperatorem znajdują się odcinki przewodów wentylacyjnych izolowanych warstwą izolacji termicznej „zimnochronnej” (nie wchłaniającej wilgoci) o grubości nie mniejszej niż 50 mm. Nominalna średnica wszystkich przewodów wentylacyjnych łączących komory z modułem badanego rekuperatora wynosi 200 mm. Przewody są wyposażone w następujące elementy:

- moduł pomiaru strumienia objętościowego powietrza z dyszą dopływową kwadrantową wraz zamontowanymi króćcami do pomiaru różnicy ciśnień zainstalowany na wylotach z obu komór, do którego jest podłączony laboratoryjny przetwornik ciśnienia Δp_z lub Δp_L połączony z układem sterowania,
- wentylator wspomagający WK_Z i WK_L promieniowy lub promieniowo-osioły o charakterystyce nominalnego punktu pracy: $V = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta p = 1000 \text{ Pa}$ z silnikiem 3-fazowym o płynnej regulacji prędkości obrotowej,
- kryzy soczewkowe K o regulowanym stopniu otwarcia,
- czujniki ciśnienia p, czujniki temperatury T, wilgotności powietrza ϕ i wymienne siatki oporowe S do symulacji oporów instalacji.

Układ sterowania pracą stanowiska jest połączony z systemem zbierania i obróbki danych pomiarowych, tak aby mógł realizować następujące zadania podstawowe:

- odczyt i weryfikacja pracy wszystkich czujników pomiarowych na stanowisku,
- współpraca z podukładami i elementami wykonawczymi stanowiska (układ żiębniczy, siłowniki, nagrzewnice, nawilżacz, wentylatory itp.),
- niezależna stabilizacja strumieni przepływu powietrza z każdej strony rekuperatora z możliwością ich różnicowania $\pm 30\%$,
- niezależna stabilizacja temperatur i wilgotności powietrza dopływającego do każdej ze stron rekuperatora.

3. Rodzaje wykonywanych badań

Podstawowym zadaniem stanowiska badawczego jest wyznaczenie współczynników sprawności temperaturowej oraz sprawności odzysku wilgoci w badanym rekuperatorze określonych wzorami przytoczonymi we wprowadzeniu. W każdym przypadku niezbędne jest dokonanie z wymaganą dokładnością pomiarów w stanach ustalonych, parametrów termodynamicznych powietrza zarówno na wlocie, jak i na wylocie każdego z dwóch masowych strumieni powietrza przepływającego przez rekuperator (rys. 1).

Regulacja temperatury powietrza w komorze KZ odbywa się trójstopniowo. We wlotowej części temperatura uzyskiwana przez system żiębniczy i wskazywana przez czujnik, tzn. wg rys. 3 powinna być niższa o ok. 3–5 K od temperatury przewidywanej dla serii pomiarowej. Nagrzewnice o regulowanej wydajności oznaczone wspólnym symbolem N_Z mają za zadanie dwustopniowo podwyższać temperaturę w komorze do żądanej wartości temperatury serii pomiarowej t_{11} wskazywanej przez czujnik umieszczony w odcinku pomiarowym przewodu wentylacyjnego.

Temperatura powietrza w komorze KL jest osiągana za pomocą nagrzewnicy wstępnej wyregulowanej za pomocą własnego czujnika temperatury z możliwością nastawy do 1,5 K niższej od wartości temperatury t_{21} . Ostateczna regulacja żądanej temperatury wskazywanej przez czujnik umieszczony w kanale pomiarowym dokonuje się za pośrednictwem nagrzewnicy uzupełniającej o regulowanej wydajności.

Wydajność nawilzacza adiabatycznego NP jest regulowana ciągłym sygnałem z systemu sterowania w zależności od wskazań czujników: temperatury t_{21} i wilgotności φ_{21} . Wentylatory wspomagające WK_Z i WK_L są zasilane za pomocą przetwornic częstotliwości i mają możliwość regulacji obrotów z dwóch niezależnych pętli regulujących mierzone wielkości w zależności od tego czy sygnałem sterującym jest różnica ciśnień pomiędzy zdefiniowanymi punktami pomiarowymi, czy strumienie powietrza na wlocie do badanego wymiennika.

W programie systemu sterowania jest umieszczona procedura automatycznego obliczania wartości przepływów objętościowych i masowych obydwu strumieni powietrza V_Z i V_L (q_Z i q_L) jako funkcji odczytywanych różnic ciśnień: Δp_Z i Δp_L .

Badanie charakterystyk przepływowych polega na obliczeniu strumieni objętościowych $V_Z = f(\Delta p_Z)$ i $V_L = f(\Delta p_L)$ przy założonych programem badań wartościach temperatur i innych parametrów strumieni powietrza. W badaniu tym bardzo ważne jest uzyskanie założonych punktów pracy wentylatorów zabudowanych w wymienniku określonych wydatkami objętościowymi i spadkami ciśnienia. Regulację tych parametrów przeprowadza się wykorzystując krzywe soczewkowe K i wentylatory wspomagające WK_L i WK_Z .

Badania cieplne modułów wentylacyjnych z wymiennikami ciepła mogą być przeprowadzane w trzech wariantach:

- zrównoważone strumienie masowe powietrza q_{11} i q_{21} lub zrównoważone strumienie objętościowe V_L i V_Z ,
- strumień q_{11} jest mniejszy od q_{21} nie więcej niż o 30%,
- strumień q_{11} jest większy od q_{21} nie więcej niż o 30%.

W trakcie badań zgodnie z procedurą badawczą są stabilizowane wymagane wydatki strumieni powietrza z wykorzystaniem, oprócz wentylatorów własnych wymiennika, wentylatorów wspomagających WK_Z i WK_L oraz przepustnic PP_Z i PP_L . Regulowane są zgodnie z programem badań temperatury t_{11} i t_{21} oraz wilgotność powietrza φ_{21} . Po osiągnięciu stanów ustalonych dokonuje się pomiarów wszystkich parametrów strumieni powietrza w określonym przedziale czasowym. Zarejestrowane wyniki pomiarów obrabia się statystycznie i na podstawie wartości średnich oblicza współczynniki sprawności, efektywności oraz inne wielkości wymagane przez normy lub wynikające z celu prowadzonych badań.

Podsumowanie

Systemy odzysku ciepła stosowane w układach wentylacji i klimatyzacji budynków służą do ograniczania zużycia energii cieplnej przez te układy oraz zapewnienia bezpieczeństwa poprzez utrzymywanie parametrów atmosfery odpowiednich do stałego przebywania ludzi. Mogą one ponadto być wykorzystywane jako elementy współpracujące z innowacyjnymi systemami wentylacji pożarowej zabezpieczającej przed zadymieniem [7]. Zapewnienie wymaganych parametrów technicznych wymiennikom ciepła stosowanym w układach odpowiedzialnych za bezpieczeństwo ludzi oraz dostarczenie wiarygodnych danych do kalkulacji opłacalności inwestycji związanych z ich wykorzystaniem wymaga rzetelnej weryfikacji za pomocą odpowiednich badań. W tym celu niezbędne jest wykonanie opisanego systemu badawczego pozwalającego na przeprowadzenie testów sprawności temperaturowej i wilgotnościowej wymienników do odzysku ciepła oraz zbadanie charakterystyk przepływowych i szczelności.

Badania systemów odzysku ciepła mogą przyczynić się do rozwoju rynku oraz rzetelnie zweryfikowanej oferty producentów tego typu systemów. Budowa eksperymentalnego systemu badawczego umożliwiającego wykonywanie testów kalorymetrycznych rekuperatorów przyczyni się także do podniesienia standardów i poziomu technicznego polskich producentów takich urządzeń, gdyż będzie to pierwsze i jedyne tego typu stanowisko w Polsce dające możliwość przebadania oraz weryfikacji parametrów technicznych systemów odzysku ciepła.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn. „Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

Bibliografia

1. Maludziński B.: Centrale wentylacyjne rekuperacyjne – odzysk energii cieplnej. Chłodnictwo i klimatyzacja, 2006/10.
2. Targański W.: Odzysk ciepła – przegląd metod. Materiały seminaryjne Forum Wentylacja Salon Klimatyzacja 2009, s. 3–19.
3. PN-EN 308 Wymienniki ciepła. Procedury badawcze wyznaczania wydajności urządzeń do odzyskiwania ciepła w układzie powietrze–powietrze i powietrze–gazy spalinowe (wrzesień 2001).
4. EN-13141-7 Ventilation form buildings Performance testing of components/products for residential buildings – Part 7: Performance testing of mechanical supply and exhausted ventilation unit (including heat recovering) for mechanical ventilation systems intended for single family dwellings.

5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75/2002 poz. 690 ze zm.).
6. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 21 kwietnia 2006 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. nr 80 poz. 563).
7. Kozioł S., Zbrowski A.: Metoda poprawy bezpieczeństwa budynków poprzez zastosowanie odzysku ciepła w układach wentylacji pożarowej. Bezpieczeństwo i technika pożarowa, 2011 (przyjęte do druku).

Recenzent:
Sławczo DENCZEW

The concept of the system for testing the efficiency and safety of the ventilation systems for heat recuperation

Key words

Recuperator, ventilation, efficiency, heat recuperation.

Sumamry

The article presents the concept of the system for testing the recuperators used for recuperation of heat in the ventilation and air-conditioning systems of buildings. It consists of two air-conditioned chambers that recreate the parameters of the atmosphere in and out of the building and of relevant systems for control and measurement. It is used for estimation of the temperature and humidity efficiency of the recuperators in different work conditions and for calculation of the flow and tightness characteristics.