

Szanowni Państwo, Profesorowie, Doktorzy, Doktoranci



Zdjęcie: pixabay

Na łamach kwartalnika „Szkło i Ceramika” publikowane są artykuły naukowe tematycznie związane z szeroko pojętymi zagadnieniami materiałowymi odnoszącymi się do szkła i ceramiki – z zakresu nauk ścisłych, a także humanistycznych.

Kwartalnik „Szkło i Ceramika” znajduje się w wykazie czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych MNiSW i MEiN pod numerem 201195.

Od grudnia 2021 r. za publikację w kwartalniku „Szkło i Ceramika” autor otrzymuje 20 punktów w ocenie MEiN.

Każdy opublikowany artykuł naukowy jest recenzowany.

ZACHĘCAMY PAŃSTWA DO NADSYŁANIA SWOICH PUBLIKACJI.

Kontakt do redakcji: sekretarz@szklo-ceramika.pl

Szczegółowe wytyczne dotyczące tekstów naukowych znajdują się na stronie www.szklo-ceramika.pl w zakładce „Dla autorów”.



Badanie rekuperatora ciepła wykorzystującego wkłady ceramiczne w okresie zimowym i letnim

Dr inż. Andrzej Grzebielec, Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa,
ORCID: 0000-0003-3320-5929

Słowa kluczowe

wentylacja, rekuperacja, regenerator

Keywords

ventilation, recuperation, regenerator

Streszczenie

Zgodnie z warunkami technicznymi, którym powinny odpowiadać budynki w Polsce, systemy wentylacji mechanicznej wymagane są w coraz większej liczbie nowo powstających budynków. Z tego powodu coraz więcej rozwiązań na rynku stara się odzyskiwać energię w ramach systemu wentylacji mechanicznej. Kiedy w latach ubiegłych porównano zużycie energii elektrycznej przez systemy rekuperacji do zużycia energii przez systemy wentylacji grawitacyjnej, nie dawało się ekonomicznie uzasadnić wyboru tych pierwszych. Dziś, gdy systemy wentylacji mechanicznej są wymagane, rekuperacja jest zawsze korzystna dla inwestora. Jedną z technicznych rekuperacji jest urządzenie wykorzystujące regenerator. W niniejszym artykule postanowiono skupić się na badaniach eksperymentalnych rekuperatora wykorzystującego regenerator w formie złoża ceramicznego. Sam proces rekuperacji, jak i uzyskiwane wydatki powietrza, zdecydowanie przewyższają pod względem efektywności inne rozwiązania w tego segmencie. W ramach badań wyznaczono osiągnięte strumienia powietrza oraz wpływ działania rekuperacji na poziom stężenia CO₂ w pomieszczeniu.

Summary

Heat recuperator experimental measurement using ceramic beds in winter and summer season

According to the technical conditions to be met by buildings in Poland, mechanical ventilation systems are required in an increasing number of newly constructed buildings. For this reason, more and more solutions on the market are trying to recover energy as part of a mechanical ventilation system. In previous years, when the electricity consumption of recuperation systems was compared to the energy consumption of gravity ventilation systems, it was not possible to economically justify the choice of the former. Today, when mechanical ventilation systems are required, recuperation is always beneficial for the investor. One of the technical recuperation is a device using a regenerator. In this article, it was decided to focus on experimental studies of a recuperator using a regenerator in the form of a ceramic bed. The recuperation process itself, as well as the obtained air expenses, definitely exceed other solutions in this segment in terms of effectiveness. As part of the research, the achieved air flow and the effect of recuperation on the level of CO₂ concentration in the room were determined.

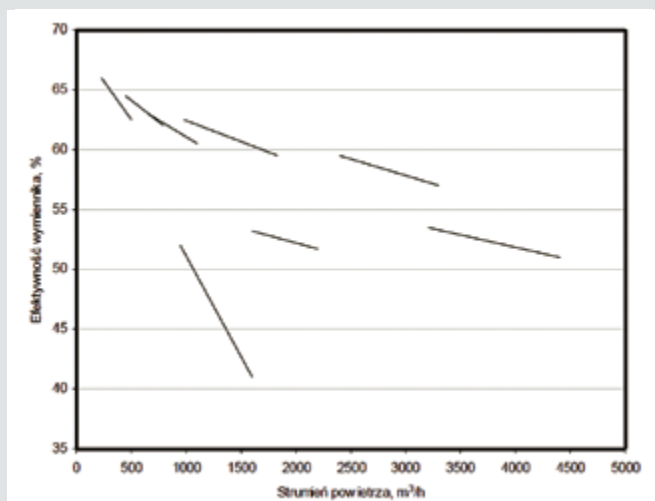
Przez wiele lat rekuperacja ciepła w budynkach mieszkalnych była nieopłacalna ze względu na konieczność dostarczenia dużych ilości energii pomocniczej. Wynikało to z faktu, że działanie systemu wentylacji wraz z rekuperacją było porównywane do działania systemu wentylacji grawitacyjnej, która działa bezkosztowo. Dodanie zatem wentylatorów nawiewnych i wywiewnych powodowało, że ilość zużywanej energii przez budynki rosła i nie pomagało nawet stosowanie systemów rekuperacji, gdyż do napędu wentylatorów stosowana jest energia elektryczna, a rekuperatory odzyskiwały ciepło. Relacja pomiędzy ciepłem a energią elektryczną z punktu widzenia kosztów i ekologii wypada zdecydowanie na niekorzyść prądu elektrycznego.

Sytuacja zmieniła się w momencie, w którym regulacje prawne zmuszają inwestorów do stosowania wentylacji mechanicznej w budynkach zarówno użyteczności publicznej, jak i w budynkach mieszkalnych. Spowodowało to, że punktem odniesienia dla obliczeń ekonomicznych jest system wentylacji mechanicznej (już wyposażony w wentylatory), a nie system wentylacji grawitacyjnej. W takim przypadku większość systemów rekuperacji ciepła jest ekonomicznie opłacalna. Tym samym regulacje prawne przyczyniają się także do rozwoju rynku rekuperatorów¹.

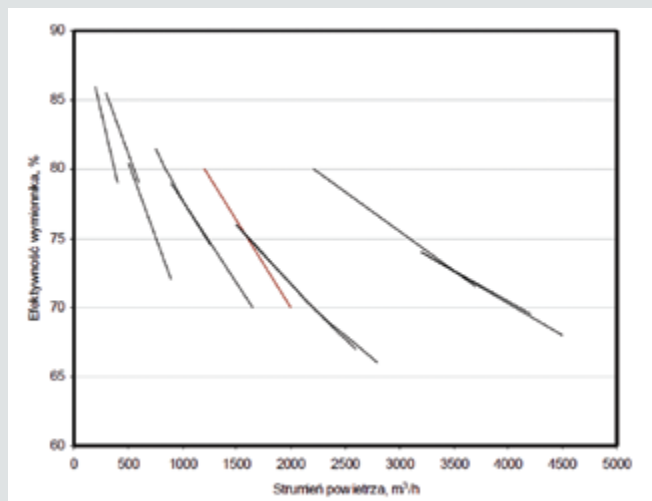
Rodzaje rekuperatorów

Na rynku systemów wentylacji rekuperatory dostępne są od wielu lat. Najpopularniejsze to rekuperatory krzyżowe i obrotowe^{2,4,5,6}. Oba rozwiązania są przeznaczone do pracy w trybie ciągłym. Efektywność energetyczna tego typu rozwiązań w specyficznych warunkach pogodowych i w specyficznych warunkach przepływu wynosi 60–90%. Kluczowym pojęciem jest tutaj określenie „w specyficznych warunkach”^{7,8,9}. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wartości efektywności przebadanych rekuperatorów krzyżowych i obrotowych z wybranych typszeregów.

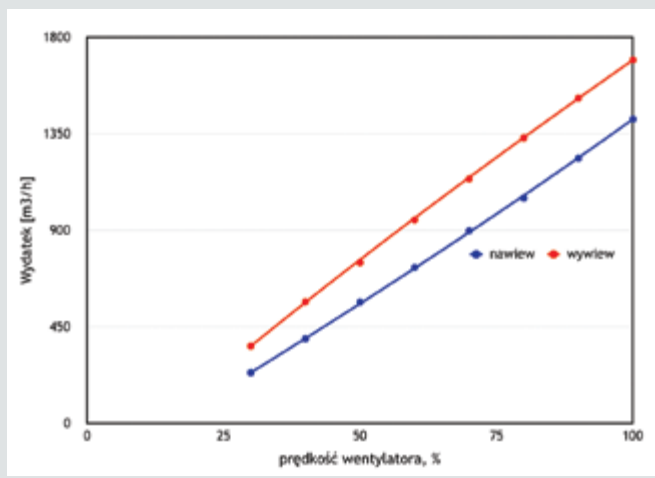
Z zaprezentowanych wyników badań wyraźnie widać, że najwyższa efektywność uzyskiwana jest, gdy strumienie przepływającego powietrza są jak najmniejsze. Dodatkowym problemem w tego typu rozwiązaniach jest możliwość zamarzania wody w strumieniu powietrza usuwanego z pomieszczenia. Może to spowodować zniszczenie wymiennika. Problem ten rozwiązuje się poprzez montowanie grzałek elektrycznych przed rekuperatorem, po stronie napływającego świeżego powietrza. Zadaniem tych grzałek jest niedopuszczenie, aby temperatura powietrza dopływającego do rekuperatora była niższa niż 0°C. Rozwiązanie takie po pierwsze obniża efektywność rekuperatora (efektywność jest wyższa, gdy różnica temperatury pomiędzy strumieniami jest większa),



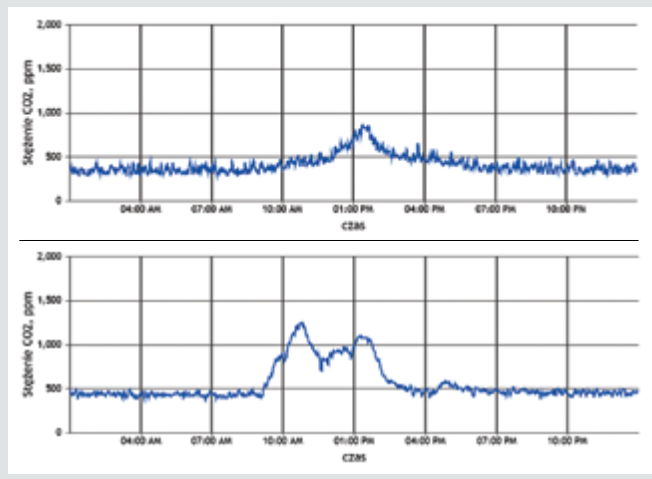
Rys. 1. Efektywność wymienników krzyżowych (z badanego typszeregu) w funkcji strumienia powietrza



Rys. 2. Efektywność wymienników obrotowych (z badanego typszeregu) w funkcji strumienia powietrza



Rys. 3. Wydatek powietrza dla nawiewu i wywiewu w dla różnych prędkości wentylatora



Rys. 4. Porównanie zmierzonych stężeń CO₂ w pomieszczeniu z działającą rekuperacją (górną) z pomieszczeniem bez działającej rekuperacji (dół)

a po drugie powoduje zwiększone zużycie energii w sezonie zimowym (i znowu jest to energia elektryczna).

Innym rozwiązaniem, oprócz przedstawionych typów rekuperatorów, są urządzenia wykorzystujące regeneratory. Rozwiązania te polegają na zastosowaniu wkładu (używane są różne materiały akumulujące ciepło), przez który powietrze przepływa cyklicznie raz w jedną, raz w drugą stronę. W okresie zimowym ciepło oddawane jest przez usuwany strumień ciepła do złoża akumulującego, a następnie to ciepło jest odzyskiwane przez strumień świeżego powietrza. Latem złoże akumulacyjne może akumulować chłód⁹.

Stanowisko pomiarowe

Badaniom zostało poddane urządzenie z wkładem ceramicznym znajdujące się w sali wykładowej jednej ze szkół podstawowych. Działające urządzenie zostało przedstawione na zdjęciu 1. Urządzenie ma dwie dysze nawiewno-wywiewne dalekiego zasięgu. Wkład ceramiczny ma postać długich płaskich kanałików, a jego masa wynosi 150 kg. Kształt wkładu uwarunkowany został minimalizacją strat ciśnienia.

Spadek ciśnienia w urządzeniu jest jednym z istotniejszych parametrów, gdyż wpływa na:

- zużycie energii (czym większy spadek ciśnienia, tym większe zużycie energii);
- strumień świeżego powietrza (czym większy spadek ciśnienia, tym mniejszy strumień przepływającego powietrza dla dobranego wentylatora);
- hałas (czym większy spadek ciśnienia, tym większy hałas).

Na zdjęciu 2 zostało zaprezentowane urządzenie w trakcie badań wydatku strumieni powietrza.

Metoda badawcza

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą PN-EN ISO 5167:2005. Pomiarów strumienia płynu dokonano za pomocą zwęzek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym¹⁰.

Wydatek objętościowy został wyznaczony zgodnie z zależnością

$$q_v = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \epsilon \cdot \sqrt{\frac{m^2}{1-m^2} \cdot \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

gdzie moduł zwężki

$$m = \frac{d^2}{D^2}$$

współczynnik ściśliwości powietrza

$$\epsilon = 1 - (0,3707 + 0,3184 \cdot m^2) \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta p}{p_1} \right)^k \right]^{0,935}$$

współczynnik k dla powietrza wynosi

$$k = 1,4$$

Wykorzystano następującą aparaturę badawczą:

- zwężki pomiarowe IRIS 250;
- przetwornik różnicy ciśnienia DPT HK Instruments;
- czujniki temperatury PT100, klasa dokładności A.

Pomiary zostały przeprowadzone osobno dla trybu nawiewu powietrza do pomieszczenia i w trybie wywiewu powietrza z pomieszczenia. W tabeli 1 oraz 2 zostały zaprezentowane wyniki dla pojedynczych dysz wraz z ich sumą dla całego urządzenia.

Urządzenie jest w stanie pracować w zakresie od 0 do 100% wydajności wentylatora. Automatyka została tak opracowana, aby w momencie, w którym stężenie CO₂ w pomieszczeniu nie osiąga 1000 ppm, urządzenie pracowało zgodnie z wymagania-



Fot. 1. Widok urządzenia poddanego badaniom



Fot. 2. Urządzenie w trakcie prowadzonych badań

mi higienicznymi. Natomiast w momencie, gdy stężenie CO₂ zbliża się do 1000 ppm, prędkość wentylatora wzrasta, aby dostarczyć więcej świeżego powietrza i nie przekroczyć tej wartości.

Zawartość CO₂ w powietrzu powyżej 1000 ppm jest uznawana za poziom, który powoduje senność i zmęczenie. Z tego powodu szczególnie istotne jest, aby w pomieszczeniach, w których przebywają uczniowie, nie przekraczać tej wartości. Na rysunku 4 został przedstawiony pomiar stężenia CO₂ w sali dydaktycznej, w której urządzenie rekuperacyjne pracowało w porównaniu z identycznym pomieszczeniem, w którym urządzenie rekuperacyjne nie pracowało.

Obroty [%]	Różnica ciśnienia [Pa]	Wydatek [m ³ /h]	Wydatek [m ³ /h]
100	150	720,97	1417,52
	140	696,55	
90	114	628,62	1234,80
	106	606,18	
80	82	533,21	1049,92
	77	516,71	
70	60	456,15	896,84
	56	440,69	
60	40	372,48	725,85
	36	353,37	
50	24	288,54	564,80
	22	276,26	
40	11	198,87	394,23
	11	195,35	
30	4	117,81	235,61
	4	117,81	

Tabela 1. Wyniki pomiarów w trybie nawiewu

Obroty [%]	Różnica ciśnienia [Pa]	Wydatek [m ³ /h]	Wydatek [m ³ /h]
100	206,0	844,71	1693,51
	208,0	848,80	
90	164,0	753,82	1515,41
	167,4	761,59	
80	127,2	663,98	1330,04
	128,0	666,06	
70	93,0	567,82	1138,69
	94,0	570,87	
60	64,4	472,57	948,07
	65,2	475,50	
50	40,0	372,48	748,66
	40,8	376,18	
40	23,2	283,69	566,16
	23,0	282,47	
30	9,4	180,59	359,25
	9,2	178,66	

Tabela 2. Wyniki w trybie wywiewu powietrza

Podsumowanie

W ramach badania wyznaczono uzyskiwane wydatki powietrza dla urządzenia zamontowanego w jednej ze szkół podstawowych. W klasie lekcyjnej zamontowane są dwa takie urządzenia. Stwierdzono, że maksymalny wydatek powietrza dla trybu wywiewu wyniósł 1693,51 m³/h, a w trybie nawiewu 1417,52 m³/h. Różnica spowodowana jest innymi spadkami ciśnienia w obu trybach. Podczas nawiewu wykorzystywany jest inny filtr powietrza niż podczas wywiewu. Aby w klasie nie tworzyć podciśnienia, należy wydłużyć czas nawiewu w stosunku do czasu wywiewu.

Przeprowadzono także analizę zmiany stężenia CO₂ w pomieszczeniu. Stwierdzono, że jest możliwe utrzymanie stężenia na poziomie poniżej 1000 ppm z wykorzystaniem urządzenia rekuperacyjnego, które dostosowuje prędkość wentylatora do aktualnych wymagań. Jest to bardzo istotne w miejscach przebywania ludzi, a zwłaszcza w miejscach, gdzie przebywają uczniowie.

Zastosowanie ceramiki jako wkładu akumulacyjnego ciepła jest bardzo dobrym rozwiązaniem, gdyż eliminuje zagrożenie zamrażania strumienia powietrza usuwanego (w okresie zimowym). Spowodowane jest to korzystnym rozkładem temperatury wzdłuż złoża. Gradient temperatury jest na tyle duży (ze względu na małe przewodnictwo cieplne ceramiki), że temperatura złoża nigdy nie spada poniżej kilkunastu stopni powyżej zera.

Finansowanie

Prace zostały wykonane w ramach projektu badawczego „Opinia techniczna urządzenia wentylacyjnego Respireco” realizowanego dla firmy Stropex Sp. J. ■

PRZYPISY

- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, w: DZ.U. Nr XX z 7 czerwca 2019, poz. 1065.
- H.D. Goodfellow, Y. Wang, *Industrial Ventilation Design Guidebook* (Second Edition), Academic Press, 2021.
- A. Grzebielec, A. Szelągowski, K. Bruzi, *Wykorzystanie wkładów ceramicznych w systemach rekuperacji ciepła*, „Szkło i Ceramika” 2021, nr 2, ss. 32–36.
- A. Jedlikowski, S. Anisimov, J. Danielewicz, M. Karpuk, D. Pandelidis, *Frost formation and freeze protection with bypass for counter-flow recuperators*, 2017, p. 108, pp. 585–613.
- H. Manz, H. Huber, A. Schälín, A. Weber, M. Ferrazzini, M. Studer, *Performance of single room ventilation units with recuperative or regenerative heat recovery*, Energy and Buildings 2000, p. 31, pp. 37–47.
- L. Schibuola, *High-efficiency recovery for air-conditioning applications in a mild climate, a case study*, Applied Thermal Engineering 1997 nr 17, pp. 447–454.
- L. Schibuola, Ch. Tambani, *Performance comparison of heat recovery systems to reduce viral contagion in indoor environments*, Applied Thermal Engineering 2021, nr 190, 116843.
- K.M. Smith, S. Svendsen, *Development of a plastic rotary heat exchanger for room-based ventilation in existing apartments*, Energy and Buildings 2015, nr 107, pp. 1–10.
- K.M. Smith, S. Svendsen, *The effect of a rotary heat exchanger in room-based ventilation on indoor humidity in existing apartments in temperate climates*, Energy and Buildings 2016, nr 116, pp. 349–361.
- PN-EN ISO 5167:2005 Pomiary strumienia płynu za pomocą zwęzków pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym.

Dr inż. Andrzej Grzebielec

Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny
Energetyki i Lotnictwa



Zdjęcie: archiwum autora

W swoich pracach naukowych skupia się na instalacjach związanych z chłodnictwem, klimatyzacją i pompami ciepła używanymi w dużych zakładach przemysłowych.

andrzej.grzebielec@pw.edu.pl