

# Wpływ recyrkulacji powietrza wywiewanego na działanie central wentylacyjnych z odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego

Effect of exhaust air recirculation on the operation of air handling units with heat recovery from exhaust air

EDWARD PRZYDRÓŻNY, SYLWIA SZCZĘŚNIAK

DOI 10.36119/15.2021.4.3

W artykule przedstawiono zmienność temperatury powietrza oraz sprawności układu: odzysk ciepła-recyrkulacja powietrza wywiewanego dla dwóch typowych konfiguracji central wentylacyjnych stosowanych obecnie w projektach realizowanych w Polsce. Wybór prawidłowej konfiguracji centrali wentylacyjnej ma ogromny wpływ na zapotrzebowanie na energię niezbędną do przygotowania powietrza nawiewanego. W świetle coraz większych wymagań energetycznych jakie są stawiane instalacjom wentylacyjnym i klimatyzacyjnym rozważenie właściwej konfiguracji centrali ma bardzo duże znaczenie i nie powinno być kształtowane tylko przez producentów central wentylacyjnych, ale również przez świadomych projektantów instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych.

*Słowa kluczowe: sprawność odzysku ciepła, wentylacja centralna, pozyskiwanie energii z powietrza*

The article presents temperature variation and system efficiency: heat recovery-recirculation of exhaust air for two typical air handling units (AHUs) configuration used nowadays in Poland. The selection of the proper AHU configuration is critical from the perspective of energy consumption necessary for fresh air treatment. In light of the ever-increasing energy requirements for AHU's, consideration of the configuration of the units is very important and should not be shaped by equipment manufacturers, but by conscious designers of ventilation and air conditioning systems.

*Keywords: heat recovery efficiency, central ventilation, air energy obtaining*

## Wstęp

Szybki wzrost gospodarczy zarówno w Europie jak i na Świecie jest jednym z powodów występującego aktualnie globalnego ocieplenia. Od lat 50. ubiegłego wieku do roku 2000 temperatura powierzchni Ziemi wzrosła o około 0,9°C [1]. Wpłynęło to na dużą dynamikę zmian pogodowych oraz coraz częściej występujące i nieprzewidywalne anomalie pogodowe. To z kolei miało wpływ na zwiększenie świadomości zagrożeń, których przyczyną jest ogólnie pojęte zużycie energii. Z drugiej strony ludzie żyjąc w coraz lepszych warunkach zwracają szczególną uwagę na wpływ warunków otoczenia na jakość ich życia. Stąd coraz częściej pojawiające się wytyczne i zalecenia dotyczące jakości powietrza w pomieszczeniach [2]. Ogólnie pojęta jakość powietrza w pomieszczeniach najczęściej związana jest bezpośrednio z instalacjami wentylacyjnymi, klimatyzacyjnymi, grzewczymi, itp. montowanymi w budynkach. Energia potrzebna do zapewniania wymaganej jakości powietrza w pomieszczeniach stanowi 40–60% całkowitego zużycia energii w budynku [3]. Dlatego zgodnie z zaleceniami Komisji Europejskiej [4] wszystkie systemy dwukierunkowe (nawiewno-wywiewne) muszą posiadać urządzenie do odzysku ciepła. Jednakże, co jest niezmiernie istotne, recyrkulacja powietrza z pomieszczenia nie jest sklasyfikowana jako urządzenie do odzysku ciepła. Musimy jednak pamiętać, że pozwala ona na pozyskiwanie zarówno energii z ciepła jawnego

jak i utajonego. Ma to szczególne znaczenie w kształtowaniu warunków wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniach.

Zarówno recyrkulacja powietrza wywiewanego jak i odzysk ciepła z powietrza wywiewanego są metodami wpływającymi na ograniczenie zapotrzebowania na energię do procesów uzdatniania powietrza w całorocznym cyklu eksploatacji urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Od dawna są one powszechnie stosowane w procesach kształtowania parametrów powietrza nawiewanego do pomieszczeń [5, 6]. Zazwyczaj jednak podczas pracy urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych stosowana jest jedna z powyższych metod, nawet pomimo możliwości równoczesnego ich wykorzystania (centrale wentylacyjne z komorą mieszania i sekcją wymiennika do odzysku ciepła). Jednoczesne umiejętne zastosowanie recyrkulacji i odzysku ciepła z powietrza wywiewanego pozwala na dodatkowe ograniczenie zapotrzebowania na całoroczną energię niezbędną do uzdatniania powietrza nawiewanego do pomieszczenia. Dla uzyskania dodatkowych efektów ograniczenia zapotrzebowania na energię, niezbędna jest celowo dedykowana konfiguracja central klimatyzacyjnych bądź wentylacyjnych. Konfiguracja ta powinna zapewniać:

- maksymalne wykorzystanie energii zawartej w powietrzu wywiewanym,
- odpowiednie kształtowanie zmiennego ciśnienia powietrza w centrali. Zmienny rozkład ciśnienia powietrza w centrali

dr hab. inż. Edward Przydróżny, <https://orcid.org/0000-0001-8722-8654>; dr inż. Sylwia Szczęśniak, <https://orcid.org/0000-0003-4358-0263>; osoba do kontaktu: [sylwia.szczesniak@pwr.edu.pl](mailto:sylwia.szczesniak@pwr.edu.pl) – Politechnika Wroclawska, Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Wrocław

może wynikać ze zmiennych warunków jej pracy oraz zmiennych parametrów powietrza zewnętrznego i w pomieszczeniu - zarówno w cyklu dobowym jak i rocznym.

### Centralne wentylacyjne z możliwością recyrkulacji i odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego

W centralach klimatyzacyjnych i wentylacyjnych z odzyskiem energii z powietrza wywiewanego i recyrkulacją powietrza wywiewanego przewiduje się możliwość pracy na powietrzu obiegowym tylko w okresach, gdy obsługiwane pomieszczenie nie jest użytkowane a urządzenie wentylacyjne bądź klimatyzacyjne utrzymuje tzw. dyżurne parametry powietrza. Oznacza to, że urządzenie w okresie zimowym nie dopuszcza do wychłodzenia pomieszczenia a w okresie letnim do nadmiernego wzrostu temperatury powietrza w pomieszczeniu.

W praktyce stosowane są różne rozwiązania technologiczne (konfiguracje) central, w których realizowana jest idea jednoczesnego wykorzystania odzysku energii z powietrza wywiewanego oraz jego recyrkulacja. W stosowanych rozwiązaniach automatycznej pracy i regulacji central klimatyzacyjnych przyjmowane są stałe bądź zmienne udziały powietrza zewnętrznego i obiegowego w wentylującym.

Prawidłowa praca urządzeń z jednoczesnym odzyskiem ciepła oraz recyrkulacją powietrza wywiewanego z pomieszczenia wymaga zastosowania rozwiązań uwzględniających utrzymywanie układu ciśnień w centrali wentylacyjnej i instalacjach na poziomie umożliwiającym stabilną pracę centrali oraz prawidłową pracę przepustnic regulacyjnych. Aby to osiągnąć wymagane jest zastosowanie odpowiedniej konfiguracji centrali jak też uwzględnianie rzetelnie obliczonych oporów przepływu powietrza w instalacjach rozprowadzających po stronach ssawnej i tłocznej zarówno układu nawiewnego jak i wywiewnego. W coraz powszechniej stosowanych urządzeniach ze zmiennymi strumieniami powietrza (VAV) układy ciśnienia powietrza w centralach zmieniają się w sposób naturalny w zależności od chwilowych strumieni powietrza oraz wyposażenia instalacji wentylacyjnych w elementy regulacyjne.

W centralach wentylacyjnych z odzyskiem ciepła i recyrkulacją powietrza wywiewanego udział powietrza zewnętrznego w wentylującym najczęściej jest utrzymywany na stałym poziomie. Jest to spowodowane:

- ograniczonymi możliwościami architektoniczno-budowlanymi doprowadzenia do centrali z zewnątrz całego strumienia powietrza wentylującego - co skutkuje koniecznością doprowadzenia tylko minimalnego strumienia powietrza zewnętrznego (np. modernizowane obiekty istniejące dostosowane do innego przeznaczenia, obiekty zabytkowe pod ochroną konserwatorską),
- niestandardowymi wymaganiami dotyczącymi parametrów powietrza w pomieszczeniach, dużej krotności wymian powietrza i wysokich wymaganiach odnośnie do czystości (np. pomieszczenia czyste, przemysł elektrotechniczny, farmacja, produkcja szyb klejonych),
- minimalizacją kosztów inwestycyjnych związanych z wykonaniem instalacji powietrznych oraz centrali wentylacyjnej bądź klimatyzacyjnej.

Rozwiązania takie ograniczają możliwości racjonalnego wykorzystania zdolności asymilacyjnych powietrza zewnętrznego, zwłaszcza w okresie przejściowym. Niemniej jednak w wybranych przypadkach (np. przy dużych krotnościach wymian powietrza w pomieszczeniach i stosunkowo dużych strumieniach powietrza zewnętrznego, wymaganej niskiej zawartości

pary wodnej w powietrzu nawiewanym) mogą być nie dość, że poprawnymi ale nawet wskazanymi.

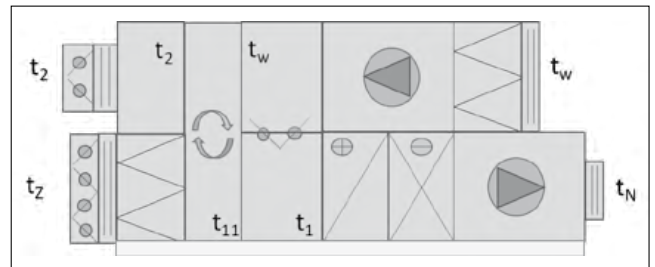
W przypadku kształtowania niestandardowych parametrów powietrza w pomieszczeniach technologicznych konfiguracje central wentylacyjnych i klimatyzacyjnych projektowane są indywidualnie i są dostosowywane do wymagań wynikających z planowanych procesów uzdatniania powietrza w cyklu całorocznym. Natomiast w przypadku pomieszczeń bytowych i wielu różnych lecz typowych pomieszczeń przemysłowych konfiguracja central jest standardowa, proponowana przez producentów central. Nierzadko projektant nie ma wpływu na jej konfigurację.

W dobie poszukiwania oszczędności energii pierwotnej należy szukać nowych rozwiązań technicznych central wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, które zapewnią zwiększenie efektywności ich pracy zarówno pod kątem eksploatacji stacjonarnej jak i tymczasowej. Racjonalne wykorzystanie układów z jednoczesnym zastosowaniem odzysku energii z powietrza wywiewanego oraz jego recyrkulacja do powietrza nawiewanego daje spore możliwości ograniczenia energii niezbędnej do prawidłowego przygotowania powietrza nawiewanego.

### Wpływ konfiguracji układu odzysk ciepła-recyrkulacja na parametry pracy centrali

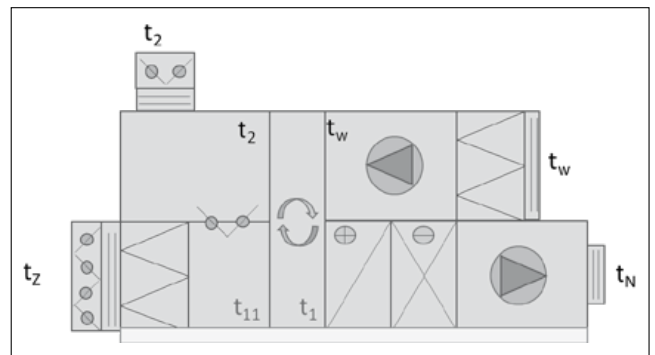
Na rys. 1 i 2 przedstawiono dwa różne rozwiązania konfiguracji central wentylacyjnych, w których możliwe jest zwiększenie efektywności energetycznej ich pracy przez jednoczesne zastosowanie recyrkulacji i odzysku energii z powietrza wywiewanego.

Rys. 1 przedstawia rozwiązanie stosowane w typowych układach wentylacji/klimatyzacji pomieszczeń „komfortu cieplnego”. Rys. 2 przedstawia rozwiązanie stosowane do wentylacji hal



Rys. 1. Schemat centrali wentylacyjnej z odzyskiem ciepła w wymienniku obrotowym oraz recyrkulacją powietrza wywiewanego z pomieszczenia.

Fig. 1. Diagram of an air handling unit with heat recovery on a rotary exchanger and recirculation of the exhaust air from the room.



Rys. 2. Schemat centrali wentylacyjnej z recyrkulacją powietrza wywiewanego z pomieszczenia oraz powietrza zewnętrznego i wymiennikiem obrotowym do odzysku ciepła z powietrza wywiewanego z pomieszczenia oraz powietrza za komorą mieszania.

Fig. 2. Diagram of an air handling unit with recirculation of the exhaust air from the room and heat recovery on a rotary exchanger.

basenowych oraz pomieszczeń ze znaczącymi oraz zmiennymi w czasie zyskami wilgoci.

Przedstawione rozwiązania różnią się usytuowaniem sekcji mieszania względem sekcji wymiennika do odzysku ciepła. W konsekwencji różnią się parametrami mieszaniny powietrza obiegowego oraz napływającego na wymiennik do odzysku ciepła.

Dla zobrazowania różnic w pracy obu układów, które można wykorzystywać do oceny możliwości uzyskania efektów energetycznych rozwiązań przedstawionych na rys. 1 i 2, przeprowadzono analizę pracy układu wymiennik ciepła – recyrkulacja powietrza wywiewanego. Z uwagi na znane problemy związane ze szronieniem wymienników do odzysku ciepła, które pojawiają się w warunkach zimowych oraz znaczną różnicę temperatury i zawartości wilgoci dla powietrza zewnętrznego i w pomieszczeniu, analizę przeprowadzono dla warunków obliczeniowych okresu zimowego przy następujących założeniach:

- $M_N = M_W$  strumienie masowe powietrza nawiewanego i wywiewanego są stałe co do wartości i niezmiennie w czasie,
- temperatura powietrza zewnętrznego:  $t_z = -20$  °C,
- wilgotność względna powietrza zewnętrznego:  $\phi_z = 100$  %,
- temperatura powietrza w pomieszczeniu:  $t_p = 20$  °C,
- wilgotność względna powietrza w pomieszczeniu:  $\phi_p = 20$  %,
- sprawność temperaturowa wymiennika do odzysku ciepła:  $\eta_i = 75\%$  i  $\eta_i = 60\%$ ,
- udział powietrza zewnętrznego w wentylującym:  $a_z^w$  w zakresie od 0 do 100 %,
- sprawność temperaturowa układu wymiennik ciepła-recyrkulacja  $\eta_{tc}$  zdefiniowana zależnościami:

$$\eta_c = \frac{t_1 - t_z}{t_w - t_z}$$

w której:

$t_1$  – temperatura powietrza nawiewanego po odzysku ciepła i recyrkulacji, °C,

$t_z$  – temperatura powietrza zewnętrznego, °C,

$t_w$  – temperatura powietrza wywiewanego z pomieszczenia, °C.

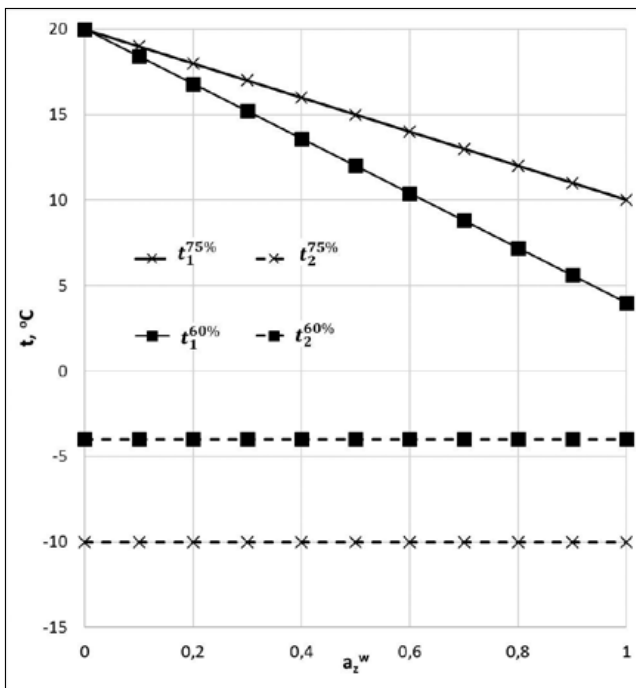
Wyniki analizy zmienności temperatury powietrza oraz sprawności temperaturowej układu odzysk ciepła-recyrkulacja przedstawiono na wykresach zamieszczonych na rys. 3 ÷ 7. Ponadto na rys. 8 ÷ 11, na wykresach i-x Moliera, zobrazowano termodynamiczne przemiany powietrza, które są realizowane w układzie odzysk ciepła-recyrkulacja dla przyjętego udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym na poziomie  $a_z^w = 0,3$ .

Na rys. 4 przedstawiono wykres zmian temperatury  $t_1$  powietrza nawiewanego po odzysku energii i recyrkulacji oraz temperatury  $t_2$  powietrza wywiewanego za wymiennikiem do odzysku energii w funkcji udziału powietrza zewnętrznego w nawiewanym, dla urządzenia przedstawionego na rys. 1.

Na rys. 6 przedstawiono wykres zależności sprawności temperaturowej układu wymiennik ciepła-recyrkulacja  $\eta_{tc}$  od udziału powietrza zewnętrznego w nawiewanym przy różnych sprawnościach temperaturowych wymiennika do odzysku energii, dla urządzenia przedstawionego na rys. 1.

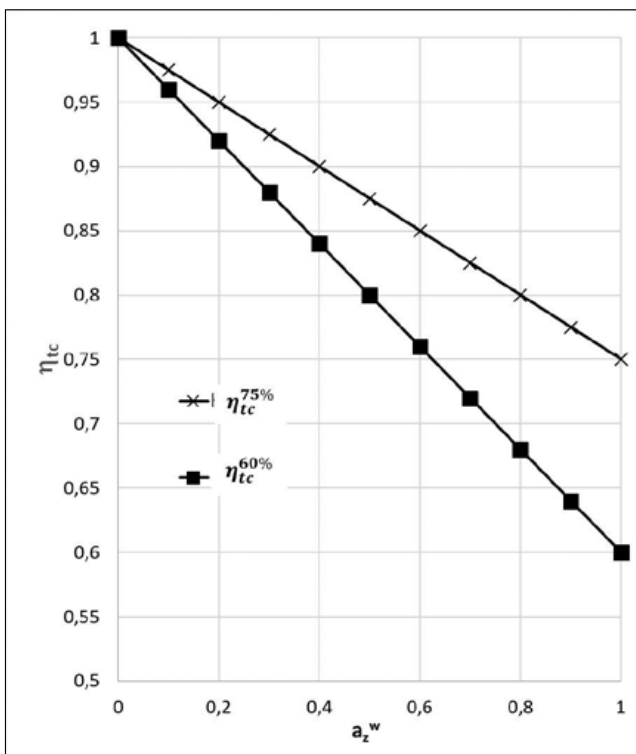
Z wykresu wynika, że zmienność sprawności temperaturowej układu odzysk ciepła-recyrkulacja dla centrali przedstawionej na rys. 1 jest liniowa. Najmniejsze wartości sprawności osiągane są przy braku recyrkulacji. Wraz ze wzrastającym stopniem recyrkulacji powietrza obiegowego liniowo rośnie sprawność całego układu.

Na rys. 5 zamieszczono wykres zależności temperatury  $t_{11}$



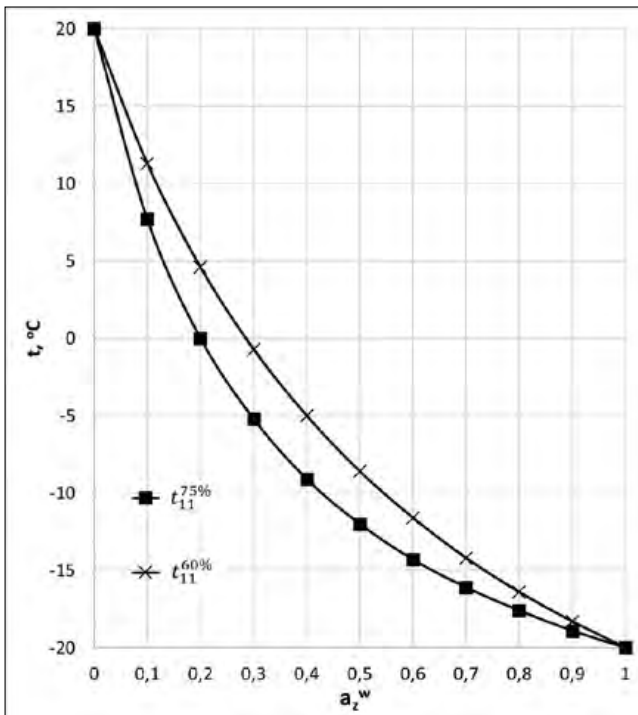
Rys. 3. Zmiany temperatury  $t_1$  powietrza nawiewanego po odzysku ciepła i recyrkulacji oraz temperatury  $t_2$  powietrza wywiewanego za wymiennikiem do odzysku ciepła w funkcji udziału powietrza zewnętrznego w nawiewanym, dla urządzenia przedstawionego na rys. 1.

Fig. 3. Temperature changes of supplied air after energy recovery and recirculation ( $t_1$ ), and of exhaust air temperature ( $t_2$ ) downstream of the heat recovery exchanger as a function of supply air, for unit shown in Fig. 1.



Rys. 4. Sprawność temperaturowa układu wymiennik do odzysku ciepła-recyrkulacja powietrza wywiewanego w funkcji udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym przy sprawności temperaturowej wymiennika do odzysku ciepła odpowiednio 75% i 60% dla urządzenia przedstawionego na rys. 1.

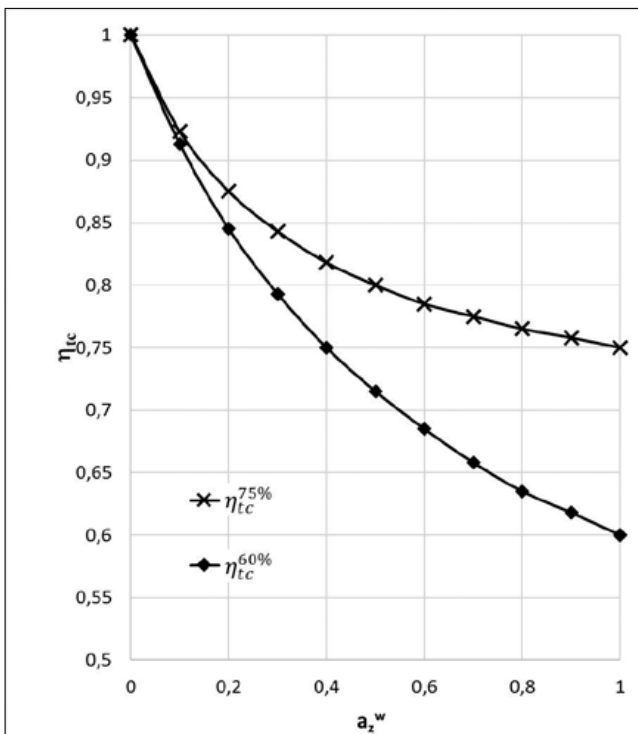
Fig. 4. Temperature efficiency of the heat recovery exchanger-exhaust air recirculation as a function of the proportion of external air in the ventilating air with the temperature efficiency of the heat recovery exchanger - 75% and 60% respectively for the unit shown in fig. 1.



Rys. 5.

Zmianność temperatury  $t_{11}$  mieszaniny powietrza zewnętrznego i ochłodzonego powietrza wywiewanego przy sprawności temperaturowej wymiennika do odzysku ciepła 75% i 60% w funkcji udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym dla urządzenia przedstawionego na rys. 2.

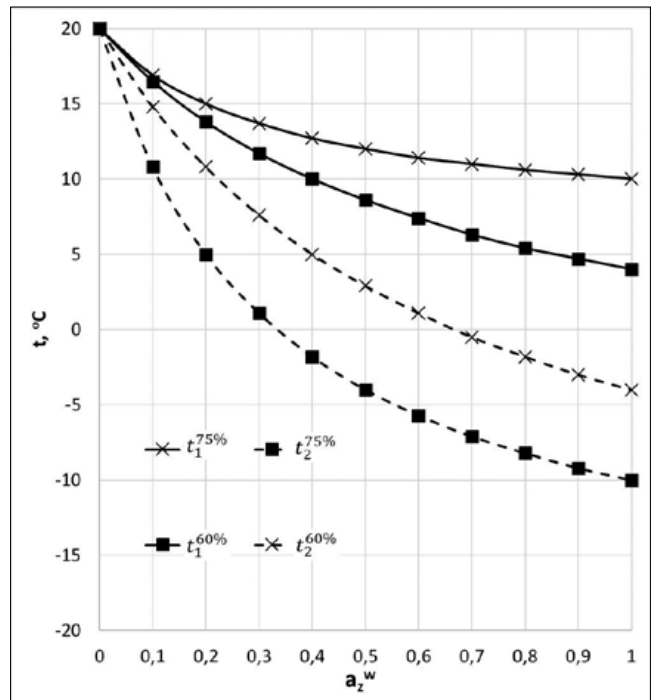
Fig. 5. Temperature variation of the mixture of outdoor air and exhaust air ( $t_{11}$ ) as a function of the proportion of outdoor air in the ventilation air at the temperature efficiency of the heat recovery exchanger of 75% and 60% device for the device shown in fig. 2.



Rys. 6.

Sprawność temperaturowa układu wymiennik do odzysku ciepła-recyrkulacja powietrza wywiewanego w funkcji udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym dla sprawności temperaturowej wymiennika do odzysku ciepła odpowiednio 75% i 60% dla urządzenia przedstawionego na rys. 2.

Fig. 6. Temperature efficiency of the heat recovery exchanger-exhaust air recirculation as a function of the proportion of external air in the ventilating air with the temperature efficiency of the heat recovery exchanger - 75% and 60% respectively for the unit shown in fig. 2.



Rys. 7.

Temperatura powietrza za zespołem do odzysku ciepła po stronie powietrza nawiewanego ( $t_1$ ) oraz po stronie powietrza wywiewanego ( $t_2$ ) dla dwóch różnych wartości sprawności temperaturowej wymiennika do odzysku ciepła (odpowiednio 75% i 60%) w funkcji udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym dla urządzenia przedstawionego na rys. 2.

Fig. 7. Air temperature downstream of the energy recovery exchanger on the supply air side ( $t_1$ ) and on the exhaust air side ( $t_2$ ) for two different values of temperature efficiency of the heat recovery exchanger (75% and 60% respectively) as a function of the proportion of external air in the ventilation air for the unit presented in fig. 2.

mieszaniny powietrza zewnętrznego z ochłodzonym (w wymienniku do odzysku ciepła) powietrzem wywiewanym od udziału powietrza zewnętrznego w nawiewanym przy różnych sprawnościach temperaturowych wymiennika do odzysku ciepła, dla urządzenia przedstawionego na rys. 2.

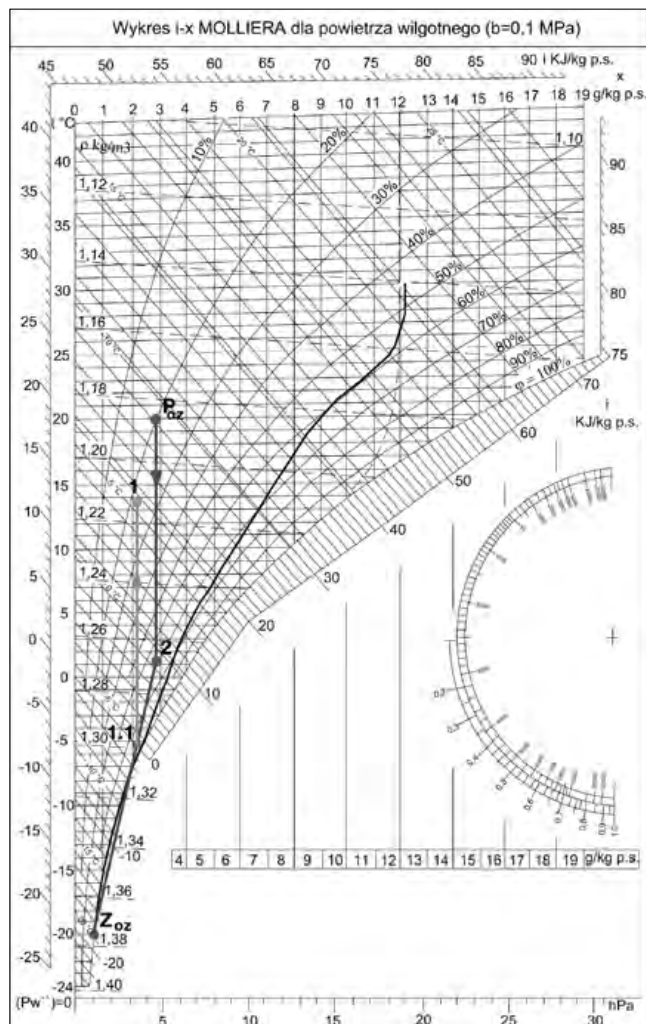
Na rys. 6 przedstawiono wykres zależności sprawności temperaturowej układu wymiennik ciepła-recyrkulacja od udziału powietrza zewnętrznego w nawiewanym przy różnych sprawnościach temperaturowych wymiennika do odzysku ciepła, dla urządzenia przedstawionego na rys. 2.

Z wykresów przedstawionych na rys. 5 i rys. 6 wynika, że zmienność temperatury powietrza za komorą mieszania nie jest liniowa i zależy od udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym. Wpływa to na nieliniową zależność sprawności temperaturowej układu odzysk ciepła-recyrkulacja, co można zauważyć na rys. 10.

Na rys. 7 zamieszczono wykres temperatury  $t_1$  mieszaniny powietrza wywiewanego z powietrzem zewnętrznym po jej podgrzaniu w wymienniku do odzysku ciepła oraz temperatury powietrza wywiewanego na zewnątrz  $t_2$  za wymiennikiem do odzysku ciepła w zależności od udziału powietrza zewnętrznego w nawiewanym przy różnych sprawnościach temperaturowych wymiennika do odzysku ciepła, dla urządzenia przedstawionego na rys. 2.

Na rys. 8 ÷ 11 przedstawiono termodynamiczne przemiany powietrza, jakie zachodzą w układzie pozyskiwania energii w układzie odzysk ciepła – recyrkulacja powietrza wywiewanego dla przyjętego udziału powietrza w wentylującym  $a_z^w = 0,3$  i sprawności temperaturowej wymiennika do odzysku ciepła odpowiednio 75% i 60%. Przemiany te zobrazowano dla dwóch





Rys. 8.

Przemiany termodynamiczne powietrza zachodzące w układzie odzysk ciepła-recykulacja powietrza wywiewanego przedstawionego na rys. 2 dla wymiennika pracującego ze sprawnością temperaturową odzysku wynoszącą 75% i udziale powietrza zewnętrznego  $a_2^* = 0,3$ .

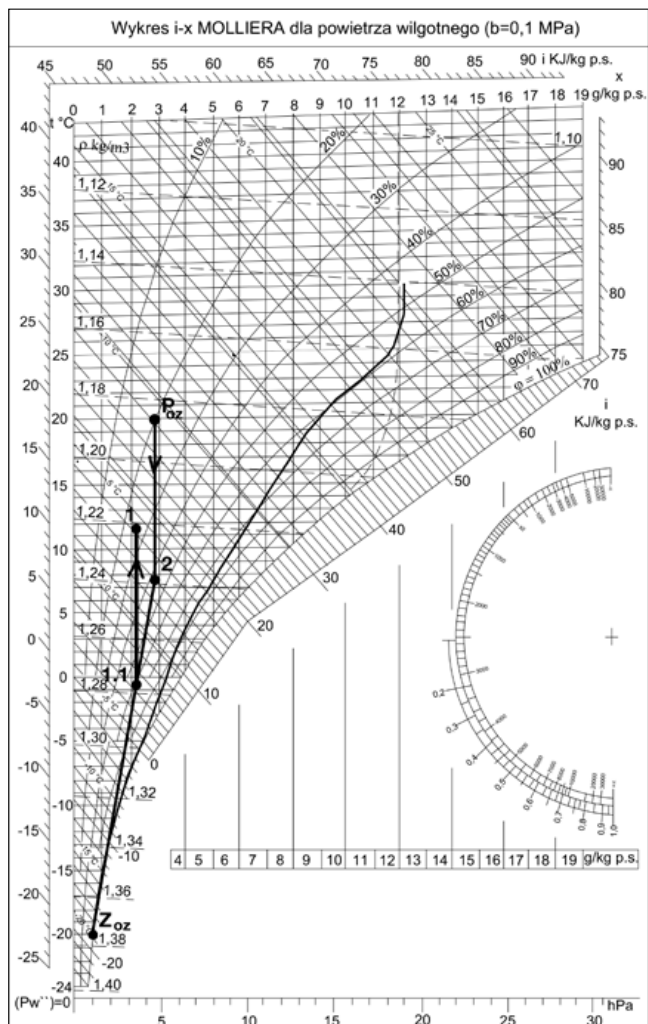
Fig. 8. Thermodynamic changes in air occurring in the heat recovery-exhaust air recirculation system shown in fig. 2. Chart for recovery temperature efficiency of 75% and the proportion of outside air in ventilation air amount to 0,3.

omawianych konfiguracji central wentylacyjnych przedstawionych odpowiednio na rys. 2. i rys. 1.

## Wnioski

Zastosowanie proponowanego rozwiązania central wentylacyjnych z jednoczesnym odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego i jego recykulacją jest możliwe dla kształtowania temperatury powietrza w pomieszczeniach, dla których dopuszcza się recykulację powietrza wywiewanego w czasie pracy stacjonarnej. Efektem takiej konfiguracji central wentylacyjnych jest poprawa efektywności wykorzystania ciepła zawartego w powietrzu wywiewanym. Analizując przedstawione na wykresach zależności można stwierdzić, że:

- w centrali przedstawionej na rys. 1 można uzyskać wyższą efektywność energetyczną układu odzysk ciepła – recykulacja w porównaniu do konfiguracji centrali przedstawionej na rys. 2,
- efektywność energetyczna układu zależy od sprawności temperaturowej wymiennika do odzysku ciepła i udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym,

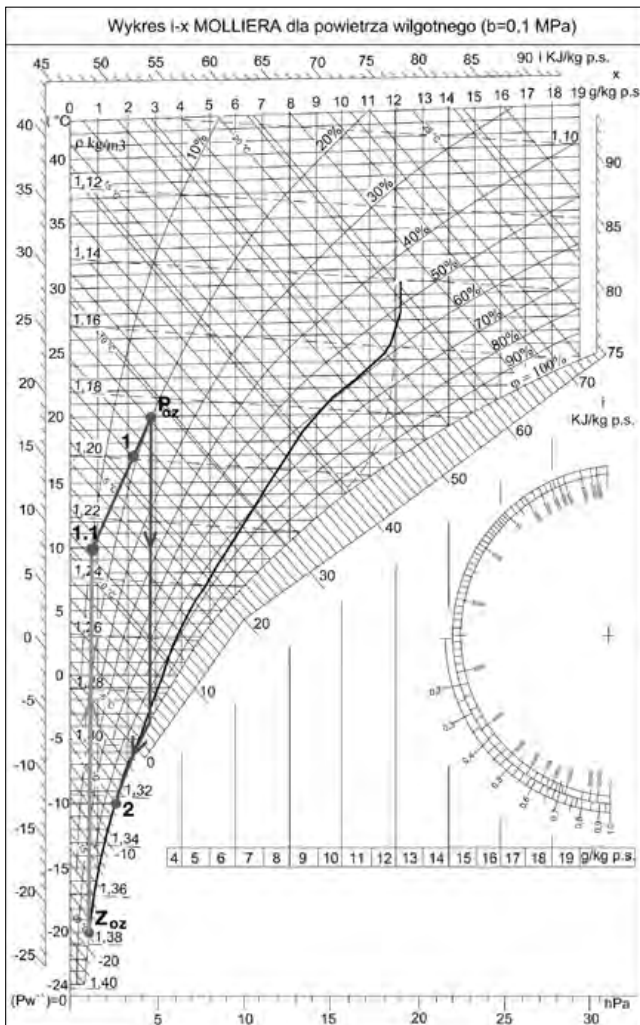


Rys. 9.

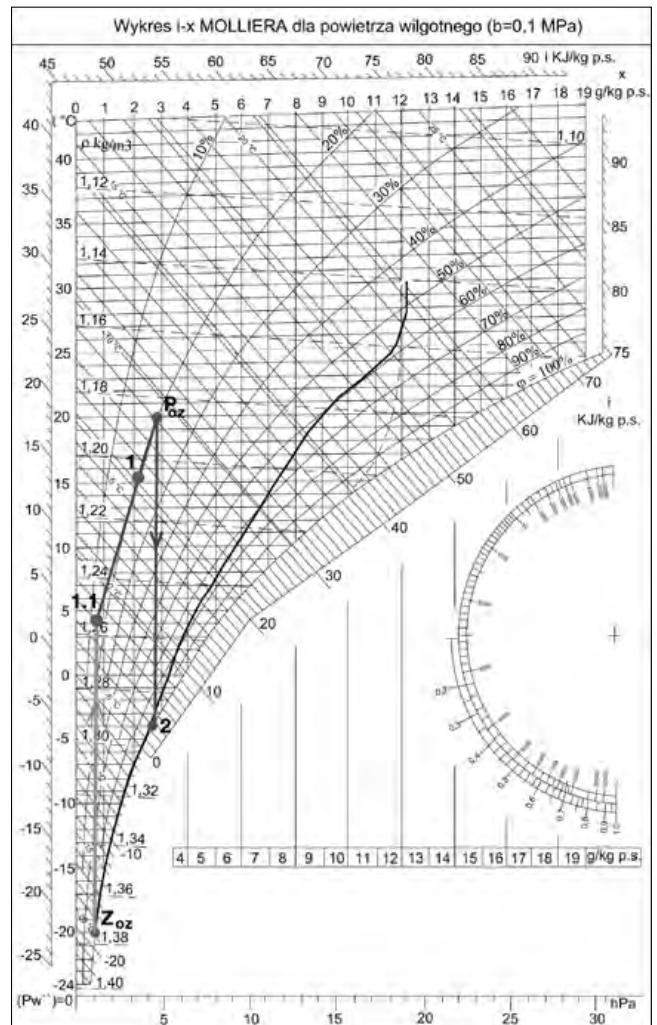
Przemiany termodynamiczne powietrza zachodzące w układzie odzysk ciepła-recykulacja powietrza wywiewanego przedstawionego na rys. 2 dla wymiennika pracującego ze sprawnością temperaturową odzysku wynoszącą 60% i udziale powietrza zewnętrznego  $a_2^* = 0,3$ .

Fig. 9. Thermodynamic changes in air occurring in the heat recovery-exhaust air recirculation system shown in fig. 2. Chart for recovery temperature efficiency of 60% and the proportion of outside air in ventilation air amount to 0,3.

- przy stałym strumieniu powietrza wentylującego w urządzeniu pokazanym na rys. 1 temperatura powietrza napływającego do wymiennika do odzysku ciepła nie zależy od udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym, a strumień powietrza zewnętrznego i wywiewanego na zewnątrz zależą od udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym,
- przy stałym strumieniu powietrza wentylującego w urządzeniu pokazanym na rys. 2 temperatura strumieni powietrza napływającego do wymiennika do odzysku ciepła po stronie powietrza nawiewanego zależy od sprawności wymiennika do odzysku energii oraz udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym, a strumień powietrza napływające do wymiennika zarówno po stronie powietrza nawiewanego jak i wywiewanego są stałe i nie zależą od udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym,
- w urządzeniu przedstawionym na rys. 2 temperatura powietrza napływającego do wymiennika do odzysku ciepła po stronie powietrza nawiewanego jest wyższa, w porównaniu do urządzenia przedstawionego na rys. 1, co wpływa na możliwość ograniczenia oszraniania powierzchni wymiennika do odzysku ciepła przy najniższych temperaturach powie-



**Rys. 10.** Przemiany termodynamiczne powietrza zachodzące w układzie odzysk ciepła-recykulacja powietrza wywiewanego przedstawionego na rys. 1 dla wymiennika pracującego ze sprawnością temperaturową odzysku wynoszącą 75% i udziale powietrza zewnętrznego  $a_2=0,3$ .  
**Fig. 10.** Thermodynamic changes in air occurring in the heat recovery-exhaust air recirculation system shown in fig. 1. Chart for recovery temperature efficiency of 75% and the proportion of outside air in ventilation air amount to 0,3.



**Rys. 11.** Przemiany termodynamiczne powietrza zachodzące w układzie odzysk ciepła-recykulacja powietrza wywiewanego przedstawionego na rys. 1 dla wymiennika pracującego ze sprawnością temperaturową odzysku wynoszącą 60% i udziale powietrza zewnętrznego  $a_2=0,3$ .  
**Fig. 11.** Thermodynamic changes in air occurring in the heat recovery-exhaust air recirculation system shown in fig. 1. Chart for recovery temperature efficiency of 60% and the proportion of outside air in ventilation air amount to 0,3.

trza zewnętrznego,

- w urządzeniu przedstawionym na rys. 2 możliwa jest regulacja temperatury powietrza napływającego do wymiennika do odzysku ciepła po stronie powietrza nawiewanego. Stwarza to możliwość zabezpieczenia wymiennika do odzysku ciepła przed oszranianiem jego powierzchni nawet przy najniższych temperaturach powietrza zewnętrznego,
- z termodynamicznych przemian powietrza przedstawionych na wykresach i-x wynika, że wymiennik do odzysku ciepła w urządzeniu wentylacyjnym przedstawionym na rys. 2 pracuje w zdecydowanie korzystniejszych warunkach cieplno-wilgotnościowych niż wymiennik zamontowany w urządzeniu wentylacyjnym przedstawionym na rys. 1,
- w urządzeniu wentylacyjnym przedstawionym na rys. 2 w okresie zimowym możliwe jest utrzymanie stałej sprawności wymiennika do odzysku ciepła. Dla zabezpieczenia przed oszranianiem powierzchni wymiennika wymagane jest zastosowanie zmiennej udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym.

**BIBLIOGRAFIA:**

- [1] R. Rohde, R. Muller, R. Jacobsen i et al., „A new estimate of the average earth surface land temperature spanning 1753 to 2011.,” Geoinfor Geostat: An Overview, pp. 1-7, 2013.
- [2] Kwok WaiTham, „Indoor air quality and its effects on humans—A review of challenges and developments in the last 30 years,” Energy and Buildings, pp. 637-650, 2016.
- [3] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz i C. Pout, „A review on buildings energy consumption information,” Energy and Buildings, pp. 394-398, 2008.
- [4] ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) NR 1253/2014 z dnia 7 lipca 2014 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla systemów wentylacyjnych.
- [5] A. Pełech, Wentylacja i Klimatyzacja. Podstawy, Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2009.
- [6] S. Przydrożny, Wentylacja, Wrocław: Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 1991.
- [7] E. Przydrożny, S. Szczęśniak i M. Sompoliński, „Ograniczanie kosztów uzdatniania powietrza w systemach ze zmiennymi strumieniami powietrza,” Instal, pp. 2-6, 2011.