

OGRANICZENIE ZAPOTRZEBOWANIA ENERGII DO UZDATNIANIA I TRANSPORTU POWIETRZA W URZĄDZENIACH WENTYLACYJNYCH Z RECYRKULACJĄ LUB ODZYSKIEM ENERGII

Aleksandra PRZYDRÓŻNA*

Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Streszczenie: W artykule omówiono możliwe do uzyskania oszczędności energii w procesach uzdatniania i transportu powietrza w urządzeniach wentylacyjnych przez zastosowanie recykulacji powietrza wywiewanego, bądź stosowanie odzysku energii z powietrza wywiewanego. Uzyskiwane efekty odniesiono do całorocznej pracy urządzeń wentylacyjnych przy średnich parametrach powietrza zewnętrznego występujących we Wrocławiu oraz jedno-, dwu- i trzymianowej pracy urządzeń. Otrzymane efekty przedstawiono przy różnych minimalnych udziałach powietrza zewnętrznego w urządzeniach i różnych sprawnościach temperaturowych układów do odzysku energii.

Słowa kluczowe: wentylacja, odzysk energii, podgrzewanie i ochładzanie powietrza.

1. Wstęp

W przypadku pomieszczeń w których przebywają ludzie dostarczanie powietrza zewnętrznego jest niezbędne. Powietrze w pomieszczeniach powinno zapewniać, co najmniej minimalne warunki higieniczne niezbędne do funkcjonowania człowieka. Zazwyczaj temperatura powietrza zewnętrznego różni się od wymaganej temperatury w pomieszczeniach. Aby powietrze zewnętrzne napływające do strefy przebywania ludzi w pomieszczeniach nie powodowało niekorzystnego odczucia, poddawane jest procesom uzdatniania. W okresie zimowym powietrze – wentylujące jest podgrzewane, zaś w okresie letnim powietrze to może być ochładzane.

W przypadku wentylacji mechanicznej istnieją możliwości ograniczania zapotrzebowania energii do procesów uzdatniania i transportu powietrza. Zmniejszenie zapotrzebowania energii do procesów uzdatniania powietrza można uzyskać przez:

- częściową recykulację powietrza wywiewanego;
- odzysk energii z powietrza wywiewanego, która wykorzystywana jest do wstępnego uzdatniania ciepłego powietrza nawiewanego;
- ograniczenie czasu eksploatacji urządzeń w cyklu dobowym.

Odzysk energii z powietrza wywiewanego realizowany może być w wymiennikach rekuperacyjnych i regeneracyjnych, bądź w układach dwóch wymienników z krążącym czynnikiem pośredniczącym.

Ograniczenie zapotrzebowania energii do transportu powietrza można uzyskać przez:

- zmniejszenie strat ciśnienia (oporów przepływu) powietrza w instalacjach-kanalach i kształtkach oraz elementach do uzdatniania powietrza i elementach kończących instalacje (elementy nawiewne i wywiewne, czerpnie, wyrzutnie);
- stosowanie urządzeń wentylacyjnych ze zmiennymi strumieniami powietrza;
- ograniczanie czasu eksploatacji urządzeń wentylacyjnych w cyklach dobowym, tygodniowym, rocznym.

Poniżej przedstawione zostaną możliwe do uzyskania efekty ograniczenia zapotrzebowania energii do procesów uzdatniania i transportu powietrza, które odniesione zostaną do urządzeń wentylacyjnych z otwartym przepływem powietrza (Przydróżny, 1991). Przy wyznaczeniu zapotrzebowania energii założono:

- strumień powietrza $v = 1 \text{ m}^3/\text{s}$;
- opory przepływu powietrza w urządzeniach z otwartym przepływem w układzie nawiewnym są równe 950 Pa, zaś wywiewnym 450 Pa;
- dodatkowe opory przepływu powietrza w układzie nawiewnym przez wymiennik ciepła do odzysku 250 Pa, zaś w układzie wywiewnym przez filtr i wymiennik ciepła 350 Pa;
- minimalny udział powietrza zewnętrznego w wentylującym 15% i 50%;
- sprawność temperaturowa odzysku energii z powietrza wywiewanego 40% i 75%;
- pracę jedno-, dwu- i trzymianową;
- przyrost temperatury powietrza nawiewanego w pomieszczeniu w warunkach obliczeniowych 1°C

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: aleksandraprzydrozna@gmail.com

- w okresie zimowym i 7°C w okresie letnim;
- temperatura powietrza w pomieszczeniu w okresie zimowym 20°C, w okresie letnim nadająca temperatura komfortu;
- parametry powietrza zewnętrznego oraz czas trwania temperatur zewnętrznych przyjęto dla Wrocławia (Pelech, 2008; Przydróżny, 1991);
- stałą sprawność wentylatorów $\eta_w = 0,75$;
- sprawność silnika $\eta_s = 0,95$;
- sprawność napędu silnik-wentylator $\eta_{sw} = 1,0$;
- roczny czas eksploatacji urządzenia wentylacyjnego 8760 h/rok przy pracy trzy zmianowej, 5840 h/rok przy pracy dwu zmianowej, 3650 h/rok przy pracy jedno zmianowej.

Do porównania całorocznego zapotrzebowania energii niezbędnego do procesów uzdatniania i transportu powietrza wyznaczone zostaną chwilowe moce grzewcze i chłodnicze niezbędne w procesach obróbki powietrza w całorocznym cyklu eksploatacji urządzeń wentylacyjnych.

Chwilową moc Q_i^N nagrzewnicy powietrza przy i-tej temperaturze zewnętrznej w kW oblicza się ze wzoru:

$$Q_i^N = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t_i^N \quad (1)$$

gdzie V jest strumieniem powietrza wentylującego w m³/s; ρ jest gęstością powietrza uzdatnianego w kg/m³; c_p jest ciepłem właściwym powietrza w kJ/kgK; Δt_i^N jest przyrostem temperatury powietrza w nagrzewnicy przy i-tej temperaturze zewnętrznej w K.

Całoroczne zapotrzebowanie energii E_N do podgrzewania powietrza wentylującego w kWh/rok oblicza się ze wzoru:

$$E_N = \sum_{i=1}^n Q_i^N \cdot \Delta \tau_i \quad (2)$$

gdzie Q_i^N jest chwilową mocą nagrzewnicy przy i-tej temperaturze zewnętrznej w kW; $\Delta \tau_i$ jest rocznym czasem trwania i-tej temperatury zewnętrznej w h/rok.

Chwilową moc chłodniczą w kW do obniżenia temperatury powietrza uzdatnionego Q_j^{CH} , przy j-tej temperaturze zewnętrznej, oblicza się ze wzoru:

$$Q_j^{CH} = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t_j^{CH} \quad (3)$$

gdzie V jest strumieniem powietrza wentylującego w m³/s; ρ jest gęstością powietrza uzdatnianego w kg/m³; c_p jest ciepłem właściwym powietrza w kJ/(kgK); Δt_j^{CH} jest spadkiem temperatury powietrza ochładzanego przy j-tej temperaturze zewnętrznej w K.

Całoroczne zapotrzebowanie energii do obniżania temperatury powietrza uzdatnianego E_{CH} w kWh/rok oblicza się ze wzoru:

$$E_{CH} = \sum_{j=1}^m Q_j^{CH} \cdot \Delta \tau_j \quad (4)$$

gdzie Q_j^{CH} jest chwilową mocą do obniżenia temperatury powietrza uzdatnianego przy j-tej temperaturze zewnętrznej w kW; $\Delta \tau_j$ jest rocznym czasem trwania j-tej temperatury zewnętrznej w h/rok.

Moc silników do napędu wentylatorów w kW oblicza się ze wzoru:

$$N = \frac{V \cdot \Delta p \cdot 10^{-3}}{\eta_w \cdot \eta_s \cdot \eta_{sw}} \quad (5)$$

gdzie V jest strumieniem powietrza wentylującego w m³/s; Δp jest sprężeniem wentylatora (oporem przepływu powietrza) w Pa; η_w jest sprawnością wentylatora; η_s jest sprawnością silnika; η_{sw} jest sprawnością napędu silnik wentylator.

Całoroczne zapotrzebowanie energii do transportu powietrza E_E w kWh/rok oblicza się ze wzoru:

$$E_E = N \cdot \tau_a \quad (6)$$

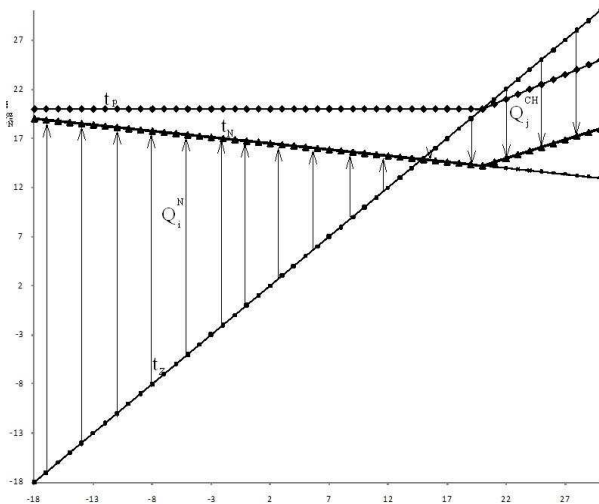
gdzie N jest mocą silników do napędu wentylatorów (nawiewnego i wywiewnego) w kW; τ_a jest rocznym czasem pracy wentylatora w h/rok.

Obliczając całoroczne zapotrzebowanie energii do procesów uzdatniania i transportu jednostkowego strumienia powietrza (1 m³/s) można porównywać energochłonność urządzeń wentylacyjnych w zależności od ich rozwiązań. Przyjęto, że bazowym do porównania poszczególnych rozwiązań będzie urządzenie wentylacyjne nawiewno-wywiewne z otwartym przepływem powietrza (Przydróżny, 1991; Przydróżny i Ferencowicz, 1988).

2. Urządzenia wentylacyjne z otwartym przepływem powietrza

Powietrzem nawiewanym jest uzdatnione powietrze zewnętrzne, które po przewietrzeniu (przewentylowaniu) pomieszczenia usuwane jest na zewnątrz. W urządzeniu tym do procesów uzdatniania powietrza energia dostarczana jest ze źródeł zewnętrznych.

Procesy uzdatniania powietrza wentylującego, w cyklu całorocznym, przedstawiono na wykresie t-t_z zamieszczonym na rys. 1.

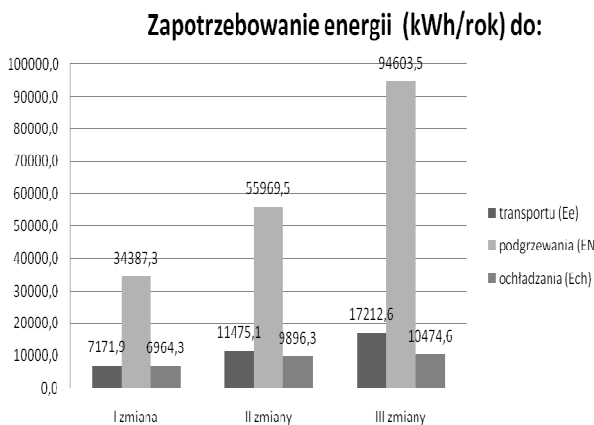


Rys. 1. Wykres $t-t_z$ z procesami uzdatniania powietrza wentylującego, w urządzeniu z otwartym przepływem powietrza, w funkcji temperatury zewnętrznej

Dla jednostkowego strumienia powietrza $1 \text{ m}^3/\text{s}$ oraz jedno-, dwu-, i trzymianowej pracy urządzenia przeprowadzono obliczenia:

- całorocznego zapotrzebowania energii grzewczej (ze wzorów (1) i (2));
- całorocznego zapotrzebowania energii chłodniczej (ze wzorów (3) i (4));
- całorocznego zapotrzebowania energii do transportu powietrza (ze wzorów (5) i (6)).

Wyniki obliczeń, w postaci wykresu słupkowego, dla pracy jedno-, dwu-, i trzymianowej urządzenia wentylującego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Całoroczne zapotrzebowanie energii do transportu, podgrzewania i ochładzania powietrza wentylującego w urządzeniu wentylacyjnym nawiewno-wywiewnym z otwartym przepływem powietrza

3. Urządzenia wentylacyjne z recyrkulacją powietrza wywiewanego

W urządzeniach wentylacyjnych z recyrkulacją energia powietrza wywiewanego wykorzystywana jest, w procesie mieszania z powietrzem zewnętrznym, do:

- zmniejszenia przyrostu temperatury powietrza

- wentylującego w nagrzewnicy;
- ograniczenia obniżenia temperatury powietrza wentylującego w chłodnicy.

Do obliczeń całorocznego zapotrzebowania energii do procesów uzdatniania i transportu powietrza przyjęto dwa przypadki minimalnych udziałów powietrza zewnętrznego w wentylującym równe $a_z^w = 0,15$ i $a_z^w = 0,5$.

Udział powietrza zewnętrznego w wentylującym zdefiniowany jest wzorem:

$$a_z^w = \frac{V_z}{V} \quad (7)$$

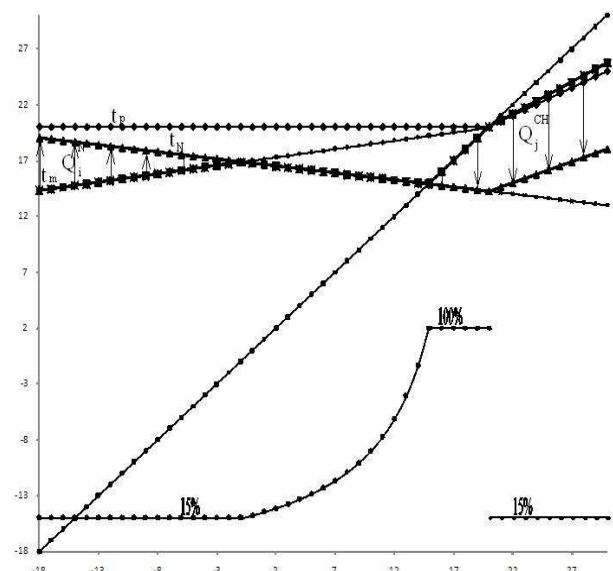
gdzie V_z jest strumieniem powietrza zewnętrznego w m^3/s ; V jest strumieniem powietrza wentylującego w m^3/s .

Temperatura mieszaniny powietrza zewnętrznego i obiegowego obliczana jest ze wzoru:

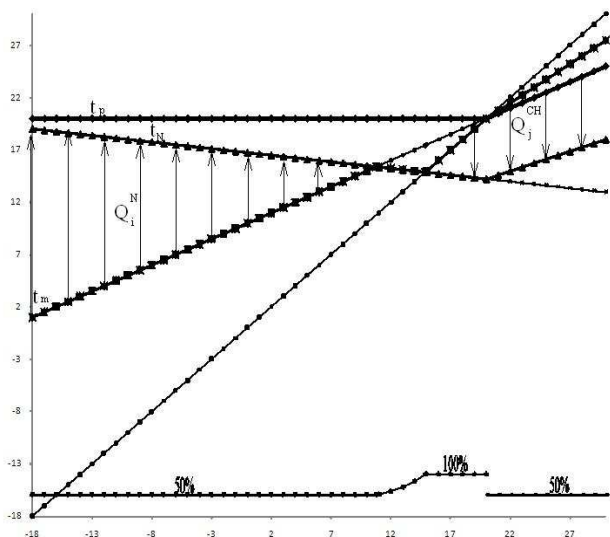
$$t_m = a_z^w \cdot t_z + (1 - a_z^w) \cdot t_p \quad (8)$$

gdzie a_z^w jest udziałem powietrza zewnętrznego w wentylującym; t_z jest temperaturą powietrza zewnętrznego w $^{\circ}\text{C}$; t_p jest temperaturą powietrza wywiewanego (w pomieszczeniu) w $^{\circ}\text{C}$.

Całoroczne procesy uzdatniania powietrza wentylującego w urządzeniach wentylujących z recyrkulacją powietrza wywiewanego przedstawiono na wykresach $t-t_z$ (rys. 3 i 4). Na rys. 3 zobrazowano procesy uzdatniania powietrza przy minimalnym udziale powietrza zewnętrznego $a_z^w = 0,15$, zaś na rys. 4 przy minimalnym udziale $a_z^w = 0,5$.



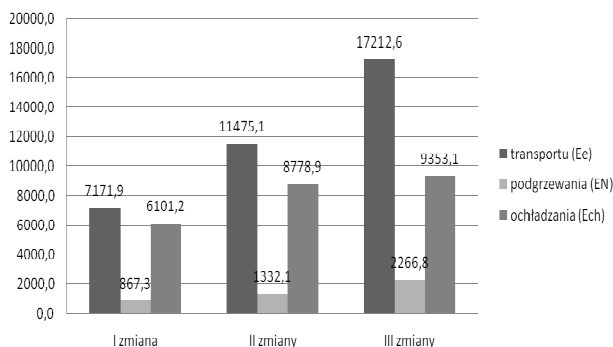
Rys. 3. Wykres $t-t_z$ z procesami uzdatniania powietrza wentylującego w urządzeniu z recyrkulacją powietrza wywiewanego i minimalnym udziałem powietrza zewnętrznego $a_z^w = 0,15$



Rys. 4. Wykres $t-t_z$ z procesami uzdatniania powietrza wentylującego w urządzeniu z recyrkulacją powietrza wywiewanego i minimalnym udziałem powietrza zewnętrznego $a_z^w = 0,5$

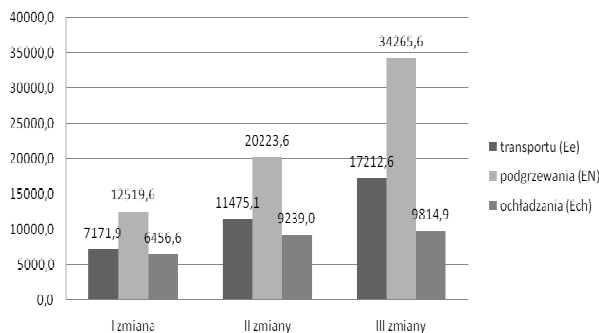
Dla omawianych urządzeń obliczone całoroczne zapotrzebowanie energii do procesów podgrzewania, ochładzania i transportu $1 \text{ m}^3/\text{s}$ powietrza przedstawiono na wykresach słupkowych zamieszczonych na rys. 5 (dla $a_z^w = 0,15$) i rysunku 6 (dla $a_z^w = 0,5$).

Zapotrzebowanie energii (kWh/rok) do:



Rys. 5. Całoroczne zapotrzebowanie energii do transportu, podgrzewania i ochładzania powietrza uzdatnionego w urządzeniu wentylacyjnym z recyrkulacją powietrza wywiewanego, przy $a_z^w = 0,15$

Zapotrzebowanie energii (kWh/rok) do:



Rys. 6. Całoroczne zapotrzebowanie energii do transportu, podgrzewania i ochładzania powietrza uzdatnionego w urządzeniu wentylacyjnym z recyrkulacją powietrza wywiewanego, przy $a_z^w = 0,5$

4. Urządzenia wentylacyjne z odzyskiem energii z powietrza wywiewanego

Do ograniczenia zapotrzebowania energii w procesach uzdatniania powietrza wentylującego wykorzystywana jest, w wymiennikach do odzysku, energia z powietrza wywiewanego. Powietrze wywiewane po oddaniu, do powietrza nawiewanego, energii usuwane jest na zewnątrz. Efektywność wstępnego podgrzania (w okresie zimowym), bądź wstępnego ochładzania (w okresie letnim) powietrza uzdatnianego przez powietrze wywiewane zależy od sprawności η_t wymienników do odzysku ciepła zdefiniowanej wzorem:

$$\eta_t = \frac{t_z - t_z'}{t_z - t_p} \quad (9)$$

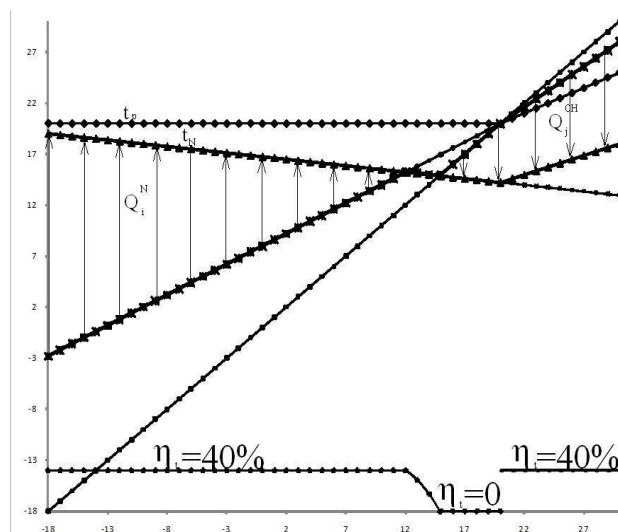
gdzie t_z' jest temperaturą powietrza zewnętrznego podgrzewanego lub ochłodzonego w wymienniku do odzysku energii w $^{\circ}\text{C}$; t_z i t_p jak we wzorze (8).

Temperaturę powietrza zewnętrznego t_z' za wymiennikiem do odzysku energii oblicza się ze wzoru:

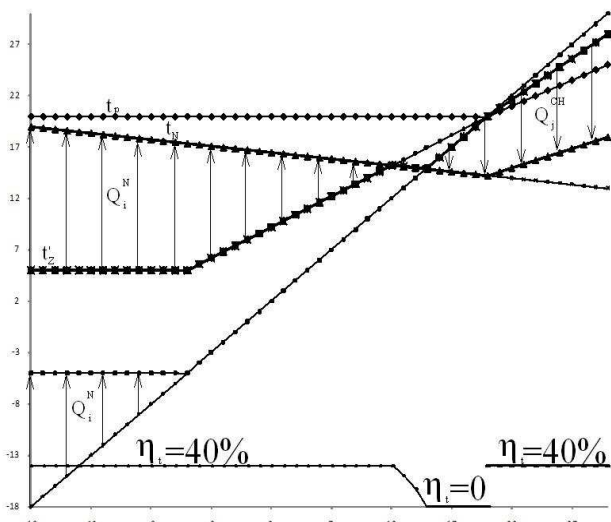
$$t_z' = t_z + \eta \cdot (t_z - t_p), ^{\circ}\text{C} \quad (10)$$

Przebieg procesów uzdatniania powietrza, w cyklu całorocznym, w urządzeniach wentylacyjnych z odzyskiem energii z powietrza wywiewanego przedstawiona na wykresach $t-t_z$ zamieszczonych na rys. 7, 8, 9. Na rys. 7 i 8 zobrazowano procesy uzdatniania powietrza przy sprawności odzysku energii $\eta_t = 0,4$, zaś na rys. 9 przy sprawności odzysku $\eta_t = 0,75$.

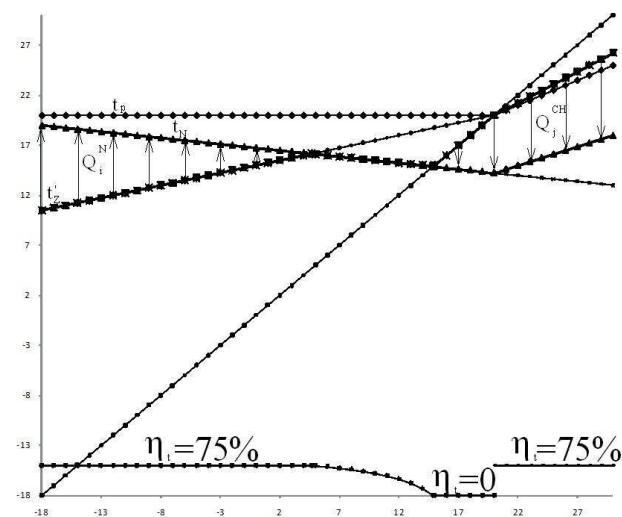
Dla przedstawionych na wykresach $t-t_z$, zamieszczonych na rys. 7, 8 i 9, procesów całorocznego uzdatniania $1 \text{ m}^3/\text{s}$ powietrza wentylującego w urządzeniach z odzyskiem energii obliczono całoroczne zapotrzebowanie energii do procesów uzdatniania i transportu powietrza, które przedstawiono na wykresach słupkowych odpowiednio na rys. 10, 11 i 12.



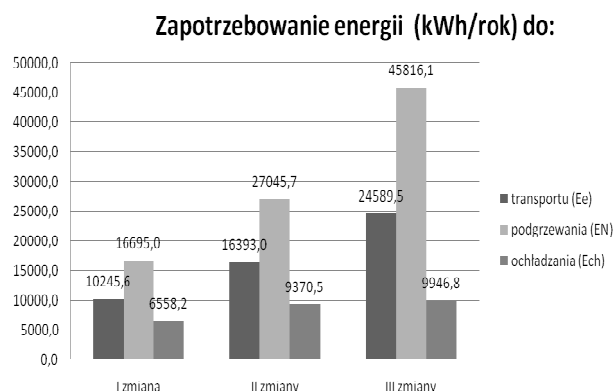
Rys. 7. Wykres $t-t_z$ z procesami uzdatniania powietrza wentylującego w urządzeniach wentylacyjnych z odzyskiem energii i sprawnością odzysku $\eta_t = 0,4$



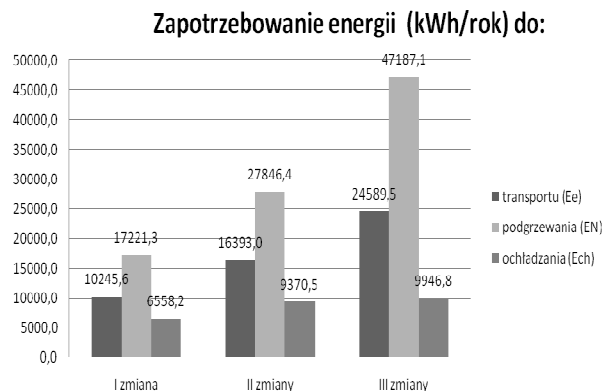
Rys. 8. Wykres t-t_z z procesami uzdatniania powietrza wentylującego w urządzeniach wentylacyjnych z odzyskiem energii, wstępny podgrzaniem powietrza zewnętrznego do temperatury -5°C i sprawnością odzysku η_t = 0,4



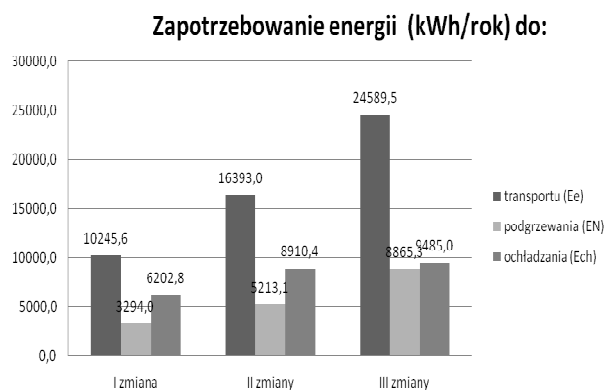
Rys. 9. Wykres t-t_z z procesami uzdatniania powietrza wentylującego w urządzeniach wentylacyjnych z odzyskiem energii i sprawnością odzysku η_t = 0,75



Rys. 10. Całoroczne zapotrzebowanie energii do transportu, podgrzewania i ochładzania powietrza uzdatnianego w urządzeniu wentylacyjnym z odzyskiem energii o sprawności η_t = 0,4



Rys. 11. Całoroczne zapotrzebowanie energii do transportu, podgrzewania i ochładzania powietrza uzdatnianego w urządzeniu wentylacyjnym z odzyskiem energii o sprawności η_t = 0,4 i wstępnym podgrzaniem powietrza zewnętrznego



Rys. 12. Całoroczne zapotrzebowanie energii do transportu, podgrzewania i ochładzania powietrza uzdatnianego w urządzeniu wentylacyjnym z odzyskiem energii o sprawności η_t = 0,75

5. Podsumowanie

Analizując wykresy słupkowe z całorocznym zapotrzebowaniem energii można stwierdzić, że zapotrzebowanie energii do uzdatniania i transportu powietrza istotnie zależy od dobowego czasu eksploatacji urządzeń wentylacyjnych. Zapotrzebowanie energii do transportu powietrza zależy również od rozbudowy układu do uzdatniania powietrza. Urządzenia wentylacyjne z otwartym przepływem powietrza oraz z recyrkulacją powietrza wywiewanego wymagają najmniejszego zapotrzebowania energii do transportu powietrza. Natomiast zastosowanie w urządzeniach wentylacyjnych wymienników do odzysku energii powoduje wzrost zapotrzebowania energii do transportu powietrza nawet o 40%. Stosowanie recyrkulacji powietrza wywiewanego pozwala na ograniczenie zapotrzebowania energii cieplnej o 65-97%, zaś przy stosowaniu odzysku energii o 50-74%. Zapotrzebowanie energii ziemniczej można ograniczyć przez zastosowanie recyrkulacji o 7-12%, zaś przez zastosowanie wymiennika do odzysku o 5-9%.

Stosując recyrkulację powietrza wywiewanego, bądź odzysk energii z powietrza wywiewanego, można ograniczyć całoroczne zapotrzebowanie energii do

uzdatniania i transportu powietrza. Efektywność tych działań zależy od minimalnego udziału powietrza zewnętrznego w wentylującym, bądź sprawności zastosowanych wymienników do odzysku energii. Przez zastosowanie recyrkulacji można ograniczyć zapotrzebowanie energii do eksploatacji urządzeń wentylacyjnych w zakresie 50-76%, zaś przez zastosowanie odzysku energii 43-65%. Przedstawione dane pomimo, że otrzymano dla przyjętych konkretnych założeń, obrazują jednak możliwe do uzyskania ograniczenia zapotrzebowania energii do uzdatniania i transportu powietrza, przez zastosowanie recyrkulacji, bądź odzysku energii z powietrza wywiewanego.

Literatura

- Petech A. (2008). Wentylacja i klimatyzacja - podstawy. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*. Wrocław.
- Przydróżny St. (1991). Wentylacja. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*. Wrocław.
- Przydróżny St., Ferencowicz J. (1988). Klimatyzacja. *Oficyna Politechniki Wrocławskiej*. Wrocław.

THE REDUCTION OF ENERGY DEMAND FOR AIR TREATMENT AND TRANSPORT IN VENTILATING PLANT WITH RECIRCULATION OR HEAT RECOVERY

Abstract: The paper presents the possible energy reduction in processes of air treatment and its transport in ventilating plants due to the application of exhaust air recirculation or heat recovery from exhaust air. The obtained results are related to yearly work of ventilating plants for average external air parameters occurring in Wrocław and to one-, two- and three-shift work of the devices. The received effects are presented for diverse minimal portions of external air in ventilating air and diverse temperature efficiency of heat recovery systems. The application of heat recovery exchangers in ventilation plants causes the increase of energy demand for air transport for even 40% in comparison to devices with open air flow or with air recirculation. The application of recirculation or heat recovery is especially effective when taking into account the thermal energy, the demand of which can be reduced even for ~ 95%.