

WPLYW WENTYLACJI HIGROSTEROWALNEJ NA OBNIŻENIE ZUŻYCIA ENERGII WIELORODZINNYCH BUDYNKÓW MIESZKALNYCH

Bronisława ANTONIEWICZ, Halina KOCZYK

Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań,
e-mail: halina.koczyk@put.poznan.pl
bronislawa.antoniewicz@put.poznan.pl

Streszczenie: W referacie przedstawiono wyniki analizy zmienności strumienia powietrza wentylacyjnego dla budynku mieszkalnego w oparciu o bilans wilgoci w cyklu tygodniowym. Obliczenia przeprowadzono dla czterech różnych temperatur zewnętrznych: -18°C , -10°C , 0°C , 10°C dla założonego programu użytkowania mieszkań. Otrzymane wyniki porównano z wynikami badań wentylacji higrosterowalnej przeprowadzonych we Francji. Oszacowano oszczędności energii wynikające z wprowadzenia wentylacji higrosterowalnej w budynku mieszkalnym.

Słowa kluczowe: Fizyka budowli, wentylacja, zużycie energii, budownictwo mieszkalne.

1. WPROWADZENIE

Efektywnym sposobem poprawy jakości powietrza wewnętrznego w budynkach mieszkalnych z wentylacją grawitacyjną i szczelnymi oknami jest wyposażenie pomieszczeń w elementy wentylacji higrosterowalnej [1]. Zapewnia to uzależnienie ilości przepływającego powietrza od wilgotności powietrza wewnętrznego, a więc aktualnych zysków wilgoci.

2. ANALIZA ZMIENNOŚCI STRUMIENIA POWIETRZA WENTYLACYJNEGO DLA WYBRANEGO MIESZKANIA

Oszczędności energetyczne dla higrosterowalnego systemu wentylacji można wyznaczyć w oparciu o tygodniowy bilans wilgoci dla założonego programu użytkowania mieszkań. W obliczeniach zysków wilgoci uwzględniono następujące źródła wilgoci: ludzie w zależności od charakteru czynności, kąpiele i natryski, procesy gotowania, czyszczenie i prania wraz z suszeniem, zyski wilgoci od roślin znajdujących się w pomieszczeniu oraz parowania ze swobodnego zwierciadła wody.

Dane dotyczące emisji pary wodnej wynikającej z czynności wykonywanych przez użytkowników pomieszczeń zestawiono w tablicy 1 według [4].

Tabela 1. Emisja pary wodnej dla wybranych czynności [4].
Table 1. Water vapour emission for the selected activities.

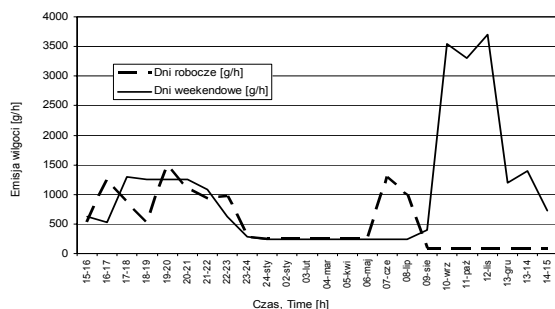
Czynność	Emisja pary	Jednostka
Prysznic	2500	g/h
Kąpiel w wannie	1200	g/h
Suszenie prania 4,5kg	1800	g
Pranie w pralce automatycznej	2100	g/h
Prasowanie	400	g/h
Parzenie kawy w ekspresie	100	g/h
Gotowanie 3 posiłków	1000	g
Smażenie na ruszcie (3000W)	500	g/h
Zmywanie naczyń 3 posiłki	600	g
Opiekanie pieczywa (500W)	70	g/h
Suszenie włosów (suszarka 1000W)	240	g/h
Mycie podłogi (12m ²)	1700	g
Schnięcie drewna do kominka	200	g/h
Proces spalania (kuchnia gazowa i inne urządzenia bez odprowadzenia spalin)	ok. 1000	g/kg paliwa
Spalanie gazu potrzebnego do zagotowania czajnika z wodą	55	g

Obliczenia przeprowadzono dla wybranego mieszkania składającego się z dwóch pokoi, kuchni i łazienki bez okna, zamieszkanego przez rodzinę czteroosobową.

Założono określony sposób użytkowania mieszkania w dni robocze oraz w dni weekendowe [5].

W obliczeniach pominięto procesy sorpcji i desorpcji pary wodnej w przegrodach budowlanych, materiałach wykończeniowych i wyposażenia wnętrza oraz dyfuzji pary wodnej przez przegrody budowlane.

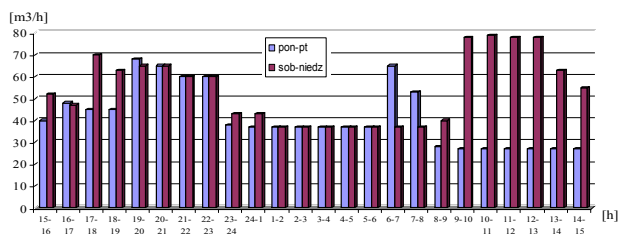
Na rysunku 1 przedstawiono przebiegi dobowe zysków wilgoci dla dni roboczych i weekendowych.



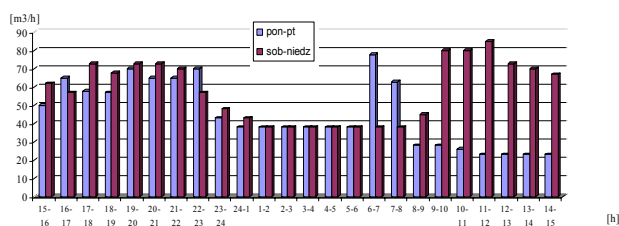
Rys. 1. Przebiegi dobowe zysków wilgoci dla mieszkania [2].
Fig. 1. 24-hour graph of humidity emission changes in an apartment [2].

Łączne dobowe zyski wilgoci wynoszą dla przeciętnego dnia roboczego w tygodniu 12,25 kg/dobę, a w dniu weekendowym 24,4 kg/dobę. Zyski te charakteryzują się silną zmiennością w czasie i przykładowo dla dnia roboczego zmienność może być w zakresie 80 – 1500 g/h, a w dniu weekendowym 240 – 3700 g/h.

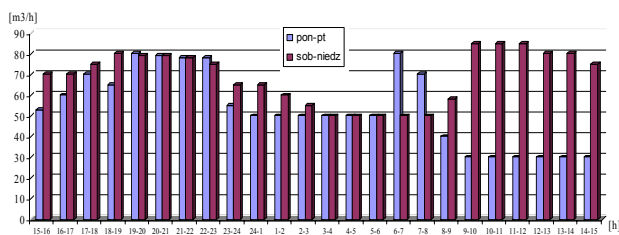
W oparciu o przyjęte przebiegi dobowe zysków wilgoci dla mieszkania oraz charakterystykę przepływową nawiewnika higrosterowalnego i parametry powietrza zewnętrznego $t_e = -18^\circ\text{C}$, $t_e = 0^\circ\text{C}$ i $t_e = +10^\circ\text{C}$ wykonano obliczenia strumieni powietrza wentylacyjnego dopływającego do każdego z pokoi i kuchni oraz mieszkania jako całości. Obliczenia prowadzono dla każdej godziny oddzielnie, analizując bilans wilgoci i zmiany zawartości pary wodnej x [g/kg p.s.] w celu wyznaczenia wymaganej ilości powietrza świeżego, dostarczonego przez nawiewnik higrosterowalny. Na rysunkach 2 ÷ 4 przedstawiono przebiegi dobowe zmienności strumienia powietrza wentylacyjnego doprowadzonego do mieszkania.



Rys. 2. Strumienie powietrza wentylacyjnego doprowadzonego do mieszkania przy temperaturze -18°C .
Fig. 2. Changes of ventilation airflow supplied to an apartment at the temperature $t_e = -18^\circ\text{C}$.



Rys. 3. Strumienie powietrza wentylacyjnego doprowadzonego do mieszkania przy temperaturze 0°C .
Fig. 3. Changes of ventilation airflow supplied to an apartment at the temperature $t_e = 0^\circ\text{C}$.

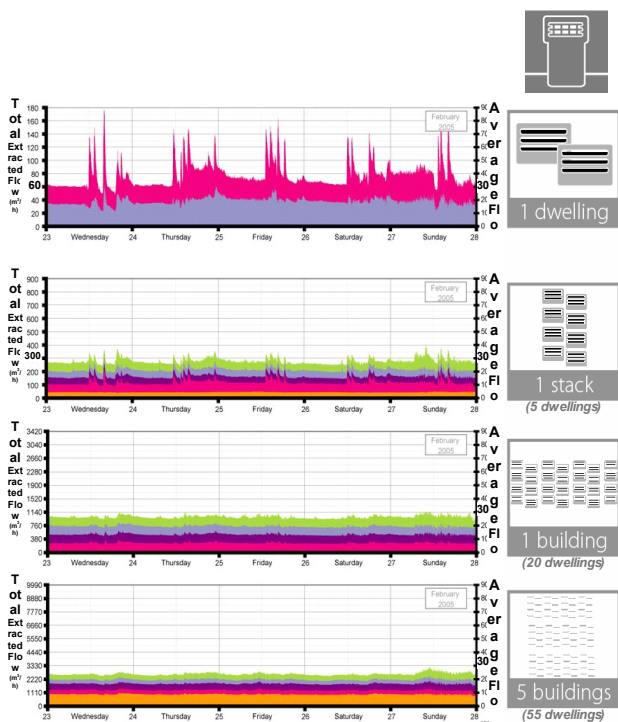


Rys. 4. Strumienie powietrza wentylacyjnego doprowadzonego do mieszkania przy temperaturze 10°C .
Fig. 4. Changes of ventilation airflow supplied to an apartment at the temperature $t_e = 10^\circ\text{C}$.

Na podstawie przedstawionych przebiegów można stwierdzić, że wartości strumieni powietrza wentylacyjnego zależą od temperatury zewnętrznej i przy założonym trybie użytkowania pomieszczeń i emisji wilgoci charakteryzują się dużą zmiennością w cyklu tygodniowym. Przykładowo średnie strumienie powietrza wentylacyjnego dla dni weekendowych wynoszą dla $t_e = -18^\circ\text{C}$ - $54 \text{ m}^3/\text{h}$, $t_e = 0^\circ\text{C}$ - $58 \text{ m}^3/\text{h}$, a dla $t_e = +10^\circ\text{C}$ - $69 \text{ m}^3/\text{h}$. Dla temperatury zewnętrznej zbliżonej do średniej temperatury sezonu grzewczego tj. $t_e = 0^\circ\text{C}$, dla dni roboczych średni strumień powietrza wentylacyjnego wynosi $45 \text{ m}^3/\text{h}$ i waha się w przedziale od 23 do $70 \text{ m}^3/\text{h}$, natomiast w dniach weekendowych zmienność strumienia powietrza wentylacyjnego jest od 38 do $80 \text{ m}^3/\text{h}$.

3. WYNIKI BADAŃ FIRMOWYCH

Uzyskane wyniki obliczeń porównano z wynikami badań prowadzonymi przez firmę Aereco w Nagis we Francji w różnych budynkach mieszkalnych wyposażonych w elementy wentylacji higrosterowanej i hybrydowej [3]. Badania prowadzone były na 5 różnych budynkach posiadających od 3 do 5 kondygnacji. Badania prowadzone były przez 730 dni (od stycznia 2004 do grudnia 2005 roku), pomiary temperatury, wilgotności, ciśnienia oraz przepływu powietrza wykonywane były co minutę. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowy przebieg ilości powietrza wentylacyjnego i wilgotności względnej dla okresu zimowego.



Rys. 5. Strumienie powietrza wywiewanego z mieszkań w okresie zimy.

Fig. 5. Changes of ventilation airflow and relative humidity of the air for the winter season based on the research results.

Na podstawie zaprezentowanych wyników badań przeprowadzonych we Francji można stwierdzić, że średni strumień powietrza wentylacyjnego dla jednego mieszkania w okresie zimy wynosi około $60 \text{ m}^3/\text{h}$.

4. OPLACALNOŚĆ TERMOMODERNIZACJI POLEGAJĄCEJ NA WYMIANIE OKIEN I ZASTOSOWANIU WENTYLACJI HIGROSTEROWALNEJ

Do oceny opłacalności kompleksowego działania termomodernizacyjnego wykorzystano zależności obliczeniowe podane w Rozporządzeniu [5] zmodyfikowane dla potrzeb analizy wentylacji higrosterowalnej. Najprostszym wskaźnikiem oceny opłacalności przedsięwzięcia jest prosty czas zwrotu nakładów SPBT. Jest to okres (w latach), w którym wpływy (oszczędności) zrównoważą poniesione nakłady inwestycyjne. Wyraża się on wzorem:

$$SPBT = \frac{N}{\Delta O} \quad (1)$$

gdzie:

N – nakład inwestycyjne [zł],

ΔO – suma rocznych oszczędności [zł/rok].

Przy ocenie opłacalności przedsięwzięcia polegającego na wymianie okien oraz poprawie systemu wentylacji wzór (1) przekształca się do postaci:

$$SPBT = \frac{N_{ok} + N_w}{O_{rok} + \Delta O_{rw}} \quad [\text{lata}] \quad (2)$$

gdzie:

N_{ok} – planowane koszty związane z wymianą okien lub drzwi, [zł],

N_w – planowane koszty związane z modernizacją wentylacji, [zł],

ΔO_{rok} – roczna oszczędność kosztów energii wynikająca z wymiany okien lub drzwi, [zł/rok],

ΔO_{rw} – roczna oszczędność kosztów energii wynikająca z modernizacji wentylacji, [zł/rok].

Łączne roczne oszczędności kosztów energii oblicza się według wzoru:

$$\Delta O_{rok} + \Delta O_{rw} = (Q_o \cdot O_{oz} - Q_l \cdot O_{lz}) + 12 (q_{ou} \cdot O_{om} - q_{lu} \cdot O_{lm}) + 12 (Ab_o - Ab_l) \quad [\text{zł/rok}]$$

gdzie:

Q_o, Q_l – roczne zapotrzebowanie na ciepło na pokrycie strat ciepła przez przenikanie oraz infiltrację, przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego, dla przypadku gdy okna i drzwi nie pełnią funkcji doprowadzenia powietrza; w przypadku gdy pełnią taką funkcję (doprowadzenie powietrza przez szczelności okien i drzwi, nawiewniki okienne i ścienne), jest to zapotrzebowanie na pokrycie strat ciepła przez przenikanie i ogrzanie powietrza wentylacyjnego, [GJ/rok],

q_o, q_l – zapotrzebowanie na moc cieplną odpowiednio na pokrycie strat ciepła przez przenikanie lub infiltrację lub na pokrycie strat przez przenikanie i ogrzanie powietrza wentylacyjnego, przed i po wykonaniu usprawnienia termomodernizacyjnego, [MW].

Wartość rocznego zapotrzebowania na ciepło w przypadku, gdy doprowadzenie powietrza wentylacyjnego odbywa się przez okna lub drzwi, oblicza się według wzoru:

$$Q_o, Q_l = (8,64 \cdot S_d \cdot A_{ok} \cdot U + 2,94 \cdot c_r \cdot c_w \cdot \dot{V}_{nom} \cdot S_d) \cdot 10^{-5} \quad [\text{GJ/rok}]$$

gdzie:

\dot{V}_{nom} – strumień objętości powietrza wentylacyjnego w warunkach projektowych dla wentylacji naturalnej, w przypadku braku danych należy przyjąć minimalny strumień powietrza usuwanego v , obliczony wg zasad podanych w PN dotyczącej wentylacji, [m^3/h],

A_{ok} – powierzchnia całkowita okien, [m^2],

U – współczynnik przenikania ciepła okien, [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$],

c_r – współczynnik korekcyjny zależny od szczelności okien i rozwiązania wentylacji,

c_w – współczynnik korekcyjny uwzględniający stopień wyeksponowania budynku na działanie wiatru.

Wartość zapotrzebowania na moc cieplną oblicza się ze wzoru.

$$q_o, q_t = 10^{-6} \cdot A_{ok} (t_{io} - t_{eo}) \cdot U + 3,4 \cdot 10^{-7} \cdot \dot{V}_{obl} \cdot (t_{io} - t_{eo}) \quad [\text{MW}]$$

gdzie:

\dot{V}_{obl} – strumień objętości powietrza wentylacyjnego odniesiony do warunków obliczeniowych dla instalacji grzewczych; w przypadku braku danych należy przyjąć minimalny strumień objętości powietrza wentylacyjnego ψ obliczony wg zasad zawartych w PN dotyczących wentylacji, pomnożony przez współczynnik c_m , [m^3/h],

t_{io} – obliczeniowa temperatura powietrza wewnętrznego, [$^{\circ}\text{C}$],

t_{eo} – obliczeniowa temperatura powietrza zewnętrznego, [$^{\circ}\text{C}$].

Ocenę opłacalności wprowadzenia wentylacji higrosterowalnej połączonej z wymianą okien przedstawiono dla następujących danych wyjściowych:

- stan wyjściowy przed termomodernizacją, warunki wentylacji normalne, okna szczelne $0,5 < a < 1 \text{ m}^3/(\text{h m daPa}^{2/3})$, $U_0 = 2,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $c_r = 1$, $c_m = 1$,
- stan po termomodernizacji, okna szczelne, $U_1 = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, wentylacja higrosterowalna, strumień objętości powietrza według obliczeń teoretycznych z punktu 2.

Obliczenia wykonano dla wielorodzinnego budynku mieszkalnego z 16-toma mieszkaniami średniej wielkości (normatywny strumień powietrza usuwanego z mieszkania $\dot{V}_{obl} = 120 \text{ m}^3/\text{h}$).

Budynek usytuowany jest w Poznaniu (liczna stopniodni okresu ogrzewania $SD_{20} = 3685,5 \text{ K}\cdot\text{d}$). Powierzchnia wymiennych okien w budynku wynosi $A_{ok} = 206,4 \text{ m}^2$. Źródłem ciepła dla budynku jest węzeł cieplny zasilany z miejskiej sieci ciepłej. Nakłady inwestycyjne oraz koszty energii cieplnej przyjęto na poziomie cen z roku 2006. Prosty czas zwrotu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego polegającego na wymianie okien i zastosowaniu wentylacji higrosterowalnej dla przyjętych założeń wynosi około 11 lat.

Zgodnie z przyjętymi regułami przy ocenie opłacalności działania takie nie są opłacalne, jednak z punktu widzenia jakości powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach są korzystne.

Zmniejszenie strumienia powietrza wentylacyjnego następuje głównie w okresach nie użytkowania pomieszczeń i nie powoduje warunków dyskomfortu dla użytkowników.

5. PODSUMOWANIE

Wykonane obliczenia i zaprezentowane wyniki badań przeprowadzonych we Francji wyraźnie wskazują na zmniejszenie strumienia powietrza wentylacyjnego o po-

nad połowę i tym samym uzyskanie znaczących oszczędności energetycznych [2, 3].

Uwzględniając zmniejszenie ilości powietrza wentylacyjnego doprowadzonego do budynku mieszkalnego w sposób pośredni wpływa na ocenę opłacalności działań termomodernizacyjnych polegających na wymianie okien z równoczesną poprawą wentylacji. Przykładowo dla typowego budynku mieszkalnego czterokondygnacyjnego z 16-toma mieszkaniami działanie termomodernizacyjne polegające na wymianie okien na nowe o współczynniku $U = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ i zastosowaniu wentylacji higrosterowalnej charakteryzuje się prostym czasem zwrotu SPBT = 11 lat [2, 5].

THE INFLUENCE OF HUMIDITY CONTROLLED VENTILATION ON ENERGY CONSUMPTION DECREASE IN MULTI-FAMILY RESIDENTIAL BUILDINGS.

Summary: The paper presents the analysis results of changes in ventilation airflow for a residential building. The analysis is based on humidity balance in a weekly cycle. The calculation has been made for four different outdoor temperatures: -18°C , -10°C , 0°C , 10°C for an assumed apartments occupation scheme. The obtained results have been compared to the results of humidity controlled ventilation research done in France. The energy savings due to application of humidity-controlled ventilation in the building have been estimated.

Literatura

- [1] Antoniewicz B., Basińska M., Górka A., Koczyk H.: *Ogrzewnictwo. Podstawy projektowania cieplnego i termomodernizacji budynków*. Politechnika Poznańska (2000).
- [2] Bigos M.: *Analiza termomodernizacji budynku mieszkalnego polegające na wymianie okien i poprawie wentylacji*. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Poznańska (2006).
- [3] Berthin S., Jerdiner M., Savin J.L. and Siret F.: *Hygrothermal behavior of humidity controlled air inlet Aeroeco S.A.*, 9 allée du Clos des Charmes, Collegien F – 77615 Marne La Vallee Cedex 3 (2004).
- [4] Mijakowski M.: *Emisja wilgoci w pomieszczeniach mieszkalnych, problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2001*, Wydawnictwo Instytutu Ogrzewnictwa i Wentylacji. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 15 stycznia 2002 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego. Dz. U. nr 12, poz. 114 (2002).