

WPLYW OPORNOŚCI CIEPLNEJ PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH BUDYNKU NA INTENSYWNOŚĆ NATURALNEJ WYMIANY POWIETRZA

Dorota BZOWSKA

*Politechnika Warszawska, Instytut Budownictwa
Lukasiewicza 17, 09-400 Plock,
E-mail address: dbzow@ippt.gov.pl*

Streszczenie: analizowano wpływ oporu termicznego przegród zewnętrznych na intensywność wymiany powietrza w budynkach wyposażonych w wentylację naturalną. Symulowane były kierunki przepływu powietrza przez budynek zarówno przy wietrze wspomagającym jak i przeciwnym. Przedstawiane w artykule procesy wyznaczane były dla średnich wartości temperatury i prędkości wiatru w lipcu w Warszawie.

Słowa kluczowe: wentylacja naturalna, przepływy odwrotne powietrza wentylacyjnego, opór cieplny obudowy budynku

1. WSTĘP

Budynki z warstwowymi przegrodami zewnętrznymi z wyróżnionym materiałem termoizolującym cechuje w stosunku do obiektu nieocieplanego:

- obniżone zapotrzebowanie energii w sezonie grzewczym,
- potrzeba ogrzewania pomieszczeń poza sezonem grzewczym,
- proces „wyhamowania” przenikania ciepła z wnętrza budynku,

stąd podczas lata, może występować konieczność wspomagania naturalnej wymiany powietrza.

Z budynków o szczelnych obudowach i wysokim oporze przenikania ciepła, wyposażonych w naturalne systemy wymiany powietrza, usunięcie nadwyżki ciepła poprzez przegrody zewnętrzne, szczególnie w okresie gorącego lata, jest w rzeczywistości niemożliwe [3]. Taka sytuacja jest szczególnie uciążliwa w okresach bezwietrznej pogody. Poza słonecznymi zyskami energetycznymi, które są pozyskiwane przez przegrody przezroczyste i nieprzezroczyste budynku, występują wewnętrzne źródła ciepła. Są one wynikiem wyposażenia budynków w liczne urządzenia zasilane elektrycznie. Dlatego też, przy wysokich letnich temperaturach, wentylacja naturalna,

szczególnie w zwartej zabudowie miejskiej, nie jest w stanie zapewnić pożądanego komfortu. Brak wspomagających systemów wentylacyjnych lub wentylacji hybrydowej, narzuca drogie rozwiązania w postaci np. klimatyzatorów. Pojawia się więc potrzeba odpowiedzi na pytanie jak często uciążliwe warunki występują w budynku. Jeżeli występują rzadko, można zaniechać modyfikacji systemu wentylacyjnego. Nie mniej aby podjąć właściwą decyzję należy posiadać pełną informację dotyczącą tego zagadnienia. Symulacje numeryczne umożliwiają analizę zjawiska i zdobycie wiedzy pozwalającej na podjęcie poprawnych decyzji na podstawie szerokiego materiału porównawczego. Decyzje te mogą dotyczyć niekoniecznie systemu wentylacji. Mogą dotyczyć doboru oszklenia. Dla standardowego budynku powinna istnieć możliwość przeprowadzenia obliczeń, za pomocą prostego w obsłudze programu, który umożliwi szybką i łatwą zmianę danych wejściowych charakteryzujących budynek i jego otoczenie.

2. NIEUSTALONY PRZEPŁYW CIEPŁA I POWIETRZA W DWUSTREFOWYCH OBIEKTACH

Procesy wymiany ciepła oraz wymiany powietrza pomiędzy budynkiem a jego otoczeniem powiązane są globalnym bilansem entalpii pomieszczenia i całkowitego masowego strumienia powietrza wpływającego z zewnątrz przez otwory wentylacyjne [3, 6].

Źródłem strumieni ciepła wpływających i wypływających z budynku są: urządzenia zasilane elektrycznie, w które wyposażony jest obiekt, użytkownicy budynku, krótkofalowe promieniowanie słoneczne pozyskiwane

przez przegrody nieprzezroczyste i przezroczyste, straty do gruntu.

Zakłada się, że wewnętrzne źródła ciepła budynku są równomiernie rozłożone na powierzchni podłogi i sumują się z tymi pochodzącymi z promieniowania słonecznego, powodując wzrost temperatury powietrza jest wywołany parciem wiatru i różnicą gęstości powietrza zewnętrznego i wewnętrznego.

Powietrze traktowane jest jako płyn nieściśliwy. Różnica pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną gęstością powietrza jest zastąpiona przez różnicę temperatur zgodnie z przybliżeniem Boussinesque [5, 6]. Strumień powietrza wentylacyjnego będący wynikiem oddziaływania wiatru i różnicy temperatur opisuje wyrażenie (10) w [6].

3. MODEL TEORETYCZNY I WARUNKI BRZEGOWE

3.1. Równanie przewodnictwa ciepła

Nieustalone pole temperatury w ścianie jak również w ścianie wielowarstwowej z termofizycznymi własnościami: λ W/(m·K), ρ kg/m³ i c_p J/(kg·K) definiującymi: przewodność cieplną, ciepło właściwe i gęstość każdej kolejnej warstwy materiału jest opisywane przez jednowymiarowe równanie przewodnictwa ciepła

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

z nieustalonymi warunkami brzegowymi:

- Temperatura w budynku jest parametrem skupionym. Wartość jej jest wynikiem wszystkich omawianych oddziaływań energetycznych. Warunek brzegowy powyższego równania na wewnętrznej powierzchni określony jest następująco:

$$h_i \cdot [T_{sc1} - T_i] = -\lambda_1 \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_1 \quad (2)$$

indeks "1" oznacza pierwszą warstwę

- Dla wielowarstwowej przegrody warunek brzegowy na granicy warstw jest następujący:

$$-\lambda_j \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_j = -\lambda_{j+1} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{j+1} \quad (3)$$

- Po stronie zewnętrznej zastosowano warunek brzegowy z dodatkowym członem, uwzględniającym padający na ścianę i przez nią pochłaniany strumień promieniowania słonecznego. Strumień promieniowania słonecznego, uwzględniający jego zmienny w czasie kąt padania na ścianę q_β jest absorbowany przez zewnętrzną

wewnętrzną i ciepła akumulowanego w przegrodach budynku. Wszystkie źródła ciepła generują strugi konwekcyjne, które doprowadzają do wymieszania powietrza w obiekcie i ustalania temperatury [7]. Budynek jest wyposażony w system naturalnej wymiany powietrza, stąd przepływ przegrodę o współczynniku absorpcji α_s . Niezależnie uwzględniane jest promieniowanie przenikające przez okna budynku i ogrzewające wewnętrzne elementy obiektu. Zarówno strumień promieniowania, jak i temperatura otoczenia, są funkcjami czasu.

$$\alpha_s \cdot q_\beta - h_o \cdot [T_{scn} - T_o] = -\lambda_n \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_n \quad (4)$$

indeks "n" oznacza ostatnią, kontaktującą się z otoczeniem warstwę przegrody

Równanie przewodnictwa rozwiązywane było z warunkami początkowymi:

- temperatura wewnątrz wszystkich warstw przegród i stropu wynosiła 20°C,
- wartości wszystkich parametrów, zależnych od czasu, odpowiadały godzinie 0.

Temperatura zewnętrzna oraz składowa normalna prędkość wiatru wyrażona jest przez odpowiednią dla danego miesiąca funkcję trygonometryczną [1, 2].

Podstawowa powierzchnia otworów wentylacyjnych została dobrana jak dla jednej wymiany na godzinę w styczniu, przy średniej miesięcznej temperaturze zewnętrznej i temperaturze wewnętrznej równej 20°C [3].

Z uwagi na numeryczną symulację wszystkie zewnętrzne i wewnętrzne ściany były dzielone na 20 warstw. W granicznym przypadku każda z warstw może być scharakteryzowana przez inne własności termiczne. Pole temperatury w przegrodach budynku było obliczane metodą różnic skończonych. Temperatury były wyznaczone w środku każdej warstwy. Krok czasowy był przyjmowany zgodnie z kryterium zbieżności von Neumanna.

3.2. Promieniowanie słoneczne

Poziome i pionowe przegrody budynku poddane były oddziaływaniu całkowitego promieniowania słonecznego. Założono, że promieniowanie bezpośrednie jest tłumione proporcjonalnie do cosinusa kąta zenitu. Przyjęto brak zacienienia dla powierzchni poziomych tj. stropodachu budynku i przegród pionowych. Współczynnik refleksyjności podłoża wynosi 0,2 a współczynnik korekcyjny dla promienia odbitego 0,5.

4. METODYKA OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Obliczenia prezentowane w pracy zostały wykonane z zastosowaniem algorytmu, w którym temperatura wewnętrzna obliczona z równania wymiany ciepła jest wprowadzona do równań przepływu powietrza w następnym kroku czasowym. Zabieg ten pozwala na wyznaczenie w kolejnym kroku, temperatury wewnętrznej uwzględniającej zarówno wymianę ciepła jak i powietrza.

Metodologia wyznaczania charakterystyki cieplno-przepływowej obiektów budowlanych, w której oba równania, opisujące wymianę ciepła i wymianę powietrza są rozwiązywane jednocześnie proponowana była po raz pierwszy przez Orme [8].

5. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW

Rozpatrywane były dwa dwustrefowe budynki z wentylacją naturalną. Budynek jest dzielony przegrodą tworzącą dwie strefy dolną i górną. Wymiary wewnętrzne każdej ze stref budynku wynosiły 5m x 5m x 3m. Obie strefy posiadają masę termiczną zwiększającą akumulację ciepła. Powietrze przepływa swobodnie z niższej do wyższej strefy poprzez niezabudowaną klatkę schodową. Otwór w stropie ma powierzchnię 2m². Kalibrowane otwory wentylacyjne zostały umieszczone w przeciwległych ścianach. Dolny otwór wentylacyjny ulokowany jest w ścianie o orientacji północnej, na wysokości 1m nad ziemią. Górny, w ścianie południowej, 7m nad poziomem gruntu. Przy wietrze północnym, którego rzeczywistą prędkość wyraża składowa normalna, otworem dopływowym powietrza do budynku, jest otwór ulokowany 1m nad gruntem. Otwór górny-południowy stanowi wylot. Przy wietrze południowym funkcję otworów są odwrotne o ile wypór termiczny powietrza nie góruje nad spadkiem ciśnienia wywołwanym parciem wiatru południowego. W każdej sytuacji, wiatr działający na przegrodę budynku z dolnym otworem dopływowym intensyfikuje przepływ powietrza a parcie wiatru na ścianę z otworem górnym osłabia lub wręcz odwraca przepływ powietrza przez budynek.

Pierwszy budynek jest typowym obiektem wznoszonym w poprzednich dekadach. Ściany budynku są wykonane z cegieł o grubości 38 cm. Stropodach jak i strop wewnętrzny analizowanego budynku jest murowany a stropodach zaizolowano 4 cm wełny mineralnej pokrytej papą. Opór przenikania stropodachu wynosi 1.144m²·K/W, przegrody międzystrefowej 0.970m²·K/W a podłogi na gruncie 2.30m²·K/W. Równoważny współczynnik oporu przenikania obudowy budynku wynosi 0.664m²·K/W. Wewnętrzna warstwa akumulacyjna jest odpowiednikiem przegrody ceglanej o grubości 20 cm. Podane wartości przenikania ciepła nie

spełniają wymogów dotyczących izolacyjności cieplnej przegród. Stąd ściany zewnętrzne budynku docieplano warstwą 10cm styropianu a stropodach warstwą 16cm wełny mineralnej. Przegrody zewnętrzne zorientowane były na południe, północ, wschód i zachód. Okna o powierzchni 1,5 m² znajdowały się na południowej, wschodniej i zachodnie ścianie każdej kondygnacji. Współczynnik przenikania ciepła dla okien U równa się 1.6W/(m²·K). Przyjęta moc cieplna, pochodząca z zainstalowanych urządzeń i od mieszkańców w każdej strefie, wynosi 300 W.

6. WYNIKI OBLICZEŃ

Charakterystyki cieplno przepływowe obu budynków przeprowadzono dla lipca. Cykl obliczeniowy obejmuje cały miesiąc z codziennymi wydrukami 746 godzin. Wykresy przedstawione w artykule obejmują 61 godzin z przedziału pomiędzy 679 a 740 godziną.

Obliczenia prowadzono uwzględniając lub pomijając istnienie wewnętrznej masy akumulacyjnej. Praca prezentuje wyniki symulacji uwzględniającej wpływ masy akumulacyjnej.

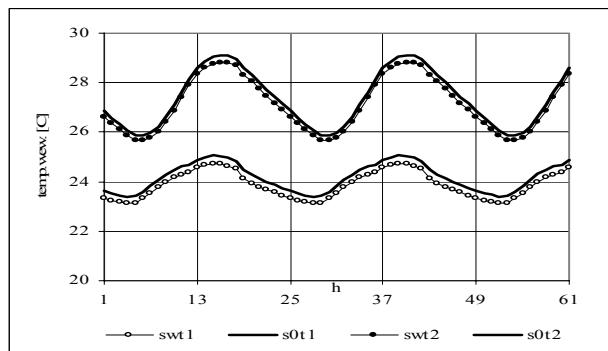
Na wykresach przyjęto następujące oznaczenia:

„swt” oznacza oddziaływanie: „s”- całkowitego promieniowania słonecznego, „w”- wiatru a „t”- oznacza wypór termiczny, który wynika z różnicy gęstości powietrza.

Znak „0” w miejscu „w” oznacza brak oddziaływania wiatru. Znak „-” oznacza przepływ powietrza wentylacyjnego przez budynek przy oddziaływaniu wiatru południowego-przeciwnego tj. wiatru działającego na górny otwór wentylacyjny.

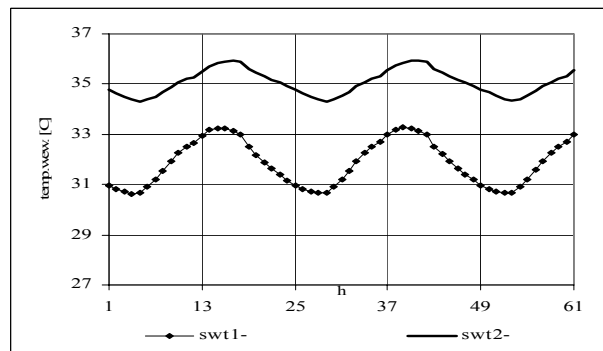
Przebiegi dobowe temperatury wewnętrznej w badanych budynkach wykazują oczywistą własność. A mianowicie, temperatura w budynku z podwyższonym oporem cieplnym ścian zewnętrznych jest wyższa rys. 2 zarówno w strefie dolnej -1, jak i górnej -2 w porównaniu z tą panująca w obu strefach budynku nieocieplanego - rys. 1.

Temperatura wewnętrzna w obu budynkach jest w strefie drugiej wyższe niż w strefie pierwszej bo w strefie górnej zlokalizowane są także wewnętrzne źródła ciepła o mocy 300 W. Ponadto występują zyski słoneczne pozyskiwane przez okna i ściany i stropodach górnej kondygnacji – rys. 1 i 2 przypadek swt i s0t. Temperatury w strefach obu budynków, niezależnie od oporu cieplnego ich przegród, są niższe przy wietrze północnym tj. wspomagającym przepływ powietrza – rys. 1 i 2 przypadek swt, od tych które występują przy braku wiatru – rys. 1 i 2, przypadek s0t.



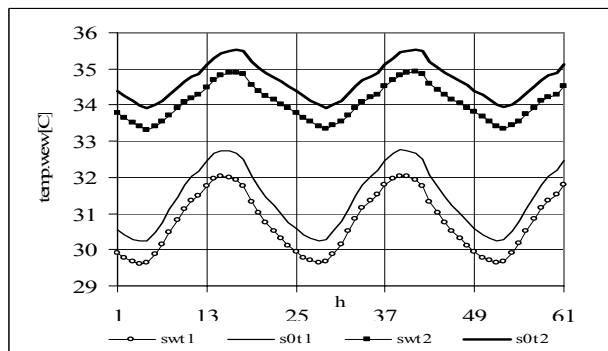
Rys. 1. Przebieg dobowy temperatury wewnętrznej w strefie 1-dolnej i 2-górnej budynku, przy wietrze wspomagającym, przed ociepleniem.

Fig. 1. Time history for the indoor temperature: t1-bottom and t2-top zone at the assisting wind in the thermally uninsulated building.



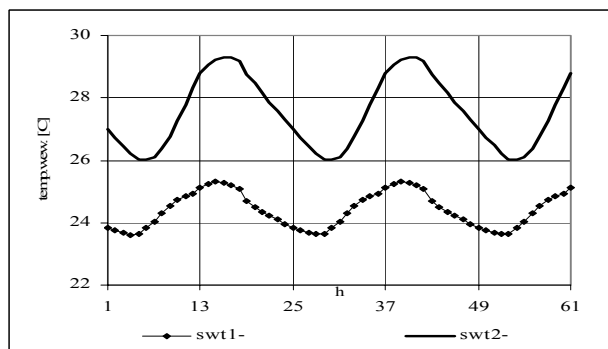
Rys. 4. Przebieg dobowy temp. wewnętrznej w strefie 1-dolnej i 2-górnej budynku, przy wietrze przeciwnym, po ociepleniu.

Fig. 4. Time history for the indoor temperature: t1-bottom and t2-top zone at the opposing wind in the thermally insulated building.



Rys. 2. Przebieg dobowy temperatury wewnętrznej w strefie 1-dolnej i 2-górnej budynku, przy wietrze wspomagającym, po ociepleniu.

Fig. 2. Time history for the indoor temperature: t1-bottom and t2-top zone at the assisting wind in the thermally insulated building.



Rys. 3. Przebieg dobowy temperatury wewnętrznej w strefie 1-dolnej i 2-górnej budynku, przy wietrze przeciwnym, przed ociepleniem.

Fig.3. Time history for the indoor temperature: t1-bottom and t2-top zone at the opposing wind in the thermally uninsulated building.

Podobne relacje zachodzą pomiędzy temperaturami w strefie dolnej i górnej oraz pomiędzy temperaturami w budynku niez izolowanym cieplnie i docieplonym przy parciu wiatru na przegrodę południową – rys. 3 i 4, przypadek swt-.

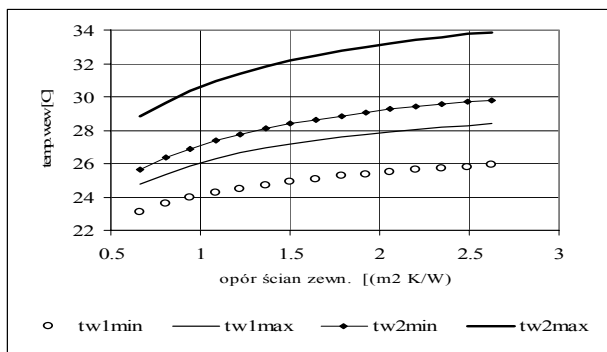
Wiatr północny oddziałujący na otwór dopływowy, jest istotnym czynnikiem wyrównującym przepływ powietrza. Najniższe temperatury w budynku są obserwowane właśnie przy wietrze wspomagającym a w szczególności przy braku promieniowania bezpośredniego [3]. Charakterystyki cieplno przepływowe obu budynków przeprowadzono dla lipca. Dla wybranej lokalizacji temperatura otoczenia nie jest wysoka. Jej najwyższa wartość wynosi 21,28°C. Wartość składowej normalnej wiatru na wysokości wentylacyjnego otworu dopływowego i odpływowego tj. północnego i południowego wynosi 1,28 m/s, 1,92m/s odpowiednio. Współczynnik szorstkości gruntu równy jest 0,35.

Maksymalna wartość temperatury występuje o godzinie 2,23 po południu. Prędkość wiatru północnego osiąga maksimum dwie godziny później niż wiatr południowy. Prędkość wiatru południowego na wysokości 7m powyżej gruntu jest 50% wyższa niż prędkość północnego wiatru na wysokości 1m nad ziemią. Oznacza to, iż wiatr północny słabiej wspomaga przepływ powietrza niż wiatr południowy go osłabia lub doprowadza do zmiany jego kierunku przepływu. Proces ten zależy od pory dnia bo maksymalne wartości obu składowych normalnych wiatru są względem siebie przesunięte.

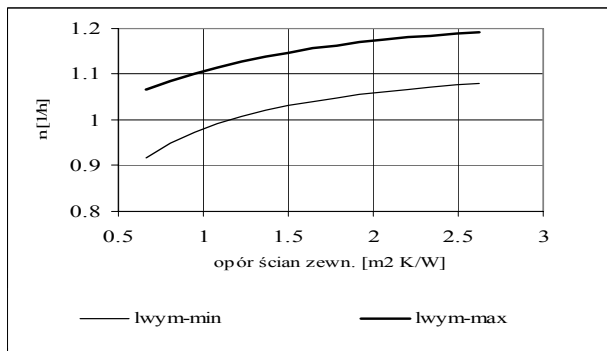
Wykresy na rys. 1 dotyczące temperatur wewnętrznych na które wpływa wiatr wspomagający wskazują, że temperatury w strefie dolnej nie przekraczają temperatury komfortu swt. W górnej niekorzystne warunki panują w godzinach okołopołudniowych. Natomiast w budynku zaizolowanym -rys. 2 i przy wietrze przeciwnym -rys. 3 i rys. 4 sytuacja nie jest do zaakceptowania. Przedstawione przebiegi temperatur otrzymano dla wartości średnich

parametrów pogody. Oczywistym jest zatem, że w budynkach o wysokim oporze cieplnym przegród, dla upalnego lata, projekt powinien uwzględniać rozwiązania chroniące wnętrze przed przegrzaniem. Poprawnym rozwiązaniem wydają się być m.in. okna o selektywnych powłokach. Literatura przedmiotu dostarcza na ten temat szerokich informacji [4, 5].

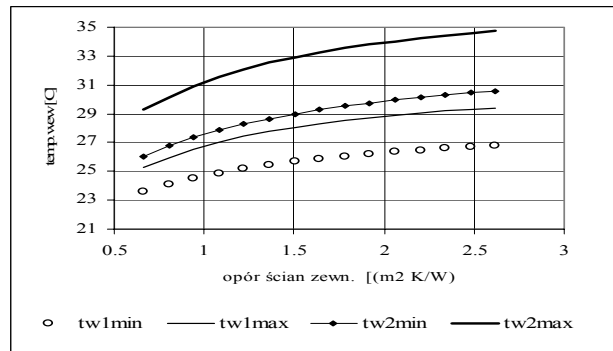
Otrzymane z symulacji komputerowych informacje upoważniają do zaproponowania modeli regresji do wyznaczania: temperatur wewnętrznych – minimalnych i maksymalnych oraz liczby wymian powietrza w odniesieniu do oporu przenikania ciepła ścian budynku przy powierzchni okien równej 15% powierzchni podłogi i standardowych mocach wewnętrznych zysków ciepła. Rys. 5 dotyczy modelu regresji dla temperatury minimalnej i maksymalnej a rys. 6 modelu regresji dla liczby wymian powietrza w przypadku działania wiatru wspomagającego przepływ powietrza wentylacyjnego. Natomiast rys. 7 i rys. 8 dotyczy analogiczne modelu regresji przy działaniu wiatru przeciwnego.



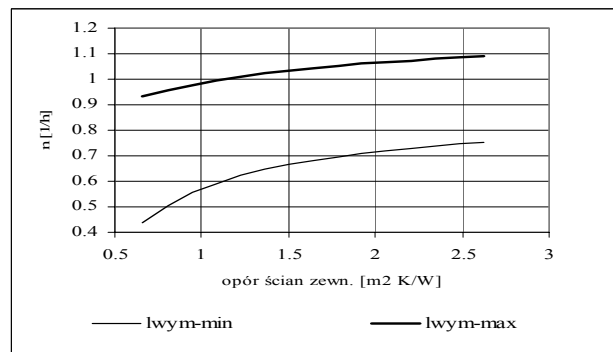
Rys. 5. Krzywa regresji dla temperatury wew. tmax i tmin w obu strefach przy wietrze wspomagającym.
Fig. 5 Regression model for the indoor temperature tmax and tmin at the assisting wind in both zones.



Rys. 6. Krzywa regresji dla liczby wymian powietrza przy wietrze wspomagającym.
Fig. 6 Regression model for the overall ACH at the assisting wind.



Rys.7. Krzywa regresji dla temperatury wew. tmax i tmin w obu strefach przy wietrze przeciwnym.
Fig. 7 Regression model for the indoor temperature tmax and tmin at the opposing wind in both zones.



Rys. 8. Krzywa regresji dla liczby wymian powietrza przy wietrze przeciwnym.
Fig. 8 Regression model for the overall ACH at the opposing wind.

Wszystkie te modele opisane są poniższą zależnością (5):

$$Y = a + b \cdot R + c \cdot \ln R \quad (5)$$

W której R jest oporem ściany zewnętrznej, a Y przedstawia wartość jednego z podanych w kolumnie 1 tabeli 1 parametrów. Wartości współczynników występujących w równaniu regresji podano również w tabeli 1.

Tabela 1. Współczynniki regresji
Table 1. Regression coefficients

Wiatr wspomagający			
Y	a	b	C
t _{w1 min}	24,46	-0,41	2,60
t _{w1 max}	26,88	-0,85	3,85
t _{w2 min}	27,84	-0,75	4,09
t _{w2 max}	31,68	-1,08	5,23
l _{wym min}	1,03	-0,05	0,19
l _{wym max}	1,13	-0,02	0,12
Wiatr przeciwny			
Y	a	b	C
t _{w1 min}	25,18	-0,48	3,00
t _{w1 max}	27,71	-0,95	4,35

$t_{w2 \min}$	28,37	-0,80	4,44
$t_{w2 \max}$	32,31	-1,12	5,57
$l_{wym \min}$	0,69	-0,13	0,40
$l_{wym \max}$	1,01	-0,03	0,15

PODSUMOWANIE

Wyróżnikami analizowanych w pracy budynków, są opory cieplne przegród zewnętrznych. Wartość temperatury wewnętrznej i ilość przepływającego przez budynek powietrza wynika m.in. z intensywności przenikania ciepła przez obudowę budynku. Z jednej strony intensywność procesu przenikania ciepła przez przegrody budynku determinuje wartość temperatury wewnętrznej, a tym samym deficyt gęstości powietrza. Ubytek gęstości generujący przepływ powietrza może być wspomagany lub osłabiany parciem wiatru. Z drugiej zaś, przepływ powietrza wpływa na wartość temperatury wewnętrznej, a tym samym – na intensywność wymiany ciepła przez przegrody. Intensywność zachodzenia procesu zależy więc i od różnicy temperatur i od oporu cieplnego ścian. Jego wartość, przy założeniu stałych współczynników przejmowania ciepła (różnych dla przegród pionowych i poziomych), determinuje współczynnik przewodzenia ciepła. Dodatkowy wpływ na te procesy ma akumulacja ciepła w przegrodach budynku [3].

Zdefiniowanie wpływu właściwości termicznych przegród budynku na intensywność naturalnej wymiany powietrza i wysokość temperatury wewnętrznej, a tym samym wyznaczeniu zakresu stosowania wentylacji naturalnej mogą służyć przebiegi temperatury wewnętrznej oraz liczby wymian powietrza. Obliczenia tego typu mogą być także wykorzystywane w procesie szacowania energochłonności hybrydowego systemu wentylacji. System wentylacyjny powinien być zatem analizowany w kontekście całorocznego zapotrzebowania na energię, a nie tylko w sezonie grzewczym. W przeciwnym wypadku energia użyta do chłodzenia może być główną składową energii dostarczanej w ciągu roku do budynku.

Proponowane modele regresji pozwalają oszacować, w zależności od oporu cieplnego ścian, zakres temperatury wewnętrznej oraz intensywność wymiany powietrza wentylacyjnego przy standardowej powierzchni okien oraz standardowej mocy wewnętrznych zysków ciepła. Zastosowana procedura do wyznaczania modelu regresji może być stosowana do określenia wskazanych parametrów w budynkach o różnych założeniach projektowych. Z kolei wnikliwa analiza projektu może prowadzić do stosowania nowych technologii obniżających zapotrzebowania na energię.

Przyjmuje się że energochłonność budynków zależy głównie od „termicznej czułości” przegród oraz systemu wentylacyjnego. Ale także zależy od lokalizacji budynku i jego zintegrowania z otoczeniem. Stąd niezbędna jest informacja o wartości promieniowania słonecznego,

poziomie wietrzności, stopniu zacienienia, skali szorstkości terenu, współczynnika refleksyjności a także o przyzwyczajeniach i nawykach przyszłych użytkowników. Otrzymane z symulacji numerycznych informacje pomagają w wyborze optymalnego projektu a zaproponowane modele regresji pozwalają na oszacowanie zakresów temperatur i intensywności wentylacji w funkcji oporu przenikania ciepła obudowy budynku Jednakże do usunięcia nadmiaru ciepła z pomieszczenia może okazać się niezbędny hybrydowy system wentylacyjny.

THE INFLUENCE OF THERMAL INSULATION ON NATURAL AIR FLOW IN BUILDINGS IN THE SUMMER SEASON

Summary: the effects of thermal resistance of building's envelope on indoor temperature and ventilation flow rate during summer season were investigated. The examined buildings were two-zone objects with partitions made of typical material fabrics. The natural air exchange process is intensified by internal heat sources acted together with solar radiation on thermal buoyancy forces. When wind is concerned, both forms of airflow throughout the buildings were simulated - with assisting and opposing winds. The heat transfer and air exchange processes are simulated as coupled processes with the reference to the mean weather values only. The regression model was proposed for the indoor temperature for its maximum and minimum value in both zones and for the overall air exchange rate at the assisting wind as well as at the opposing one.

Literatura

- [1] Bzowska D. *Wind speed characteristics with regard to wind direction*. Archives of Civil Engineering 2001: XLVII, 1: 7575-89
- [2] Bzowska D. *Thermal behaviour of a heated building under random weather condition in Warsaw*. Building & Environment 2002 (37):677-689
- [3] Bzowska D. *Thermal capacity of building' walls in the natural air Exchange proces*. Conf. proc - Indoor 2005, Gliwice
- [4] Gasperella A. *Analysis and modelling of Windows and glazing systems energy performance for a well insulated residential building*. Energy & Buildings (2011) (43):1030-1037
- [4] Kisilewicz T. *Wpływ izolacyjnych, dynamicznych i spektralnych właściwości przegród na bilans cieplny budynków energooszczędnych*. Pol.Krak., 2008
- [5] Li Y, Delsante A, *Some examples of solution multiplicity in natural ventilation*. Building & Environment 2001(36):851-858
- [6] Linden P. *The fluid mechanics of natural ventilation*. An. Rev. F. Mech. 1999 (31)
- [7] Orme M, Liddament M, Wilson A. *Numerical data for air infiltration and natural ventilation calculation, energy conservation in buildings*. IEA .Air Ven. and Inf. Centre. AIVC. Doc.AC-TN-44-1994