

WPLYW WŁASNOŚCI ABSORPCYJNO-EMISYJNYCH ŚCIANY WEWNĘTRZNEJ NA CHARAKTERYSTYKĘ CIEPLNĄ FASADY PODWÓJNEJ

Dariusz HEIM^{*}, Łukasz JABŁOŃSKI^{*}

^{*} Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mails: dariusz.heim@p.lodz.pl, jabolus@wp.pl

Streszczenie: W niniejszej pracy przeanalizowano wpływ emisyjności powierzchni ściany pomiędzy użytkową przestrzenią budynku a przestrzenią podwójnej fasady na ciepłe zachowanie się przegrody oraz jej wydajność energetyczną. Dyskretyzacji w przestrzeni dokonano za pomocą Metody Objętości Skończonych, zaś analizy symulacyjne wykonano metodą opartą na sprzężonym modelu wymiany ciepła i masy w budynkach [1]. Otrzymano wartości temperatur ekstremalnych w przestrzeni fasady oraz w pomieszczeniu znajdującym się w bezpośrednim, termicznym kontakcie z fasadą.

Słowa kluczowe: fasady podwójne, absorpcja, emisja, magazynowanie ciepła, energooszczędność.

1. WPROWADZENIE

Fasada podwójna czyli przestrzeń buforowa wytworzona poprzez dodanie do budynku od strony zewnętrznej dodatkowej tafli szkła, łączy w sobie walory estetyczne (nowoczesna forma architektoniczna i użyte materiały) oraz aspekty ochrony cieplnej budynków. Dodatkową zaletą jest istotna poprawa izolacyjności akustycznej (od hałasu zewnętrznego). Podstawowe elementy składowe podwójnej fasady to: warstwa szkła zewnętrznego, przestrzeń buforowa (wyposażona często w dodatkowe elementy zacieniające) oraz przegroda wewnętrzna. Pod względem ochrony cieplnej budynków konstrukcja ta sprawdza się przede wszystkim w okresie zimowym. Dodatkowa przestrzeń powietrza poprawia całkowitą izolacyjność cieplną, zaś zyski od promieniowania słonecznego przenikającego przez warstwę szkła mogą stanowić istotny udział w bilansie cieplnym budynku. W okresie letnim ważniejszym jednak staje się problem przegrzewania. Ochrona przed nadmiernymi zyskami ciepła rozwiązywana jest różnymi sposobami. Najczęściej wykorzystuje się do tego celu elementy zacieniające w formie nad-

wiesz, żaluzji, kurtyn itp. a także różne sposoby naturalnej jak i mechanicznej wentylacji przestrzeni fasady.

W niniejszej pracy przeanalizowano wpływ wybranych rozwiązań materiałowych części wewnętrznej na ciepłe zachowanie się fasady. Dyskretyzacji w przestrzeni dokonano za pomocą Metody Objętości Skończonych, zaś analizy symulacyjne wykonano metodą opartą na sprzężonym modelu wymiany ciepła i masy w budynkach [1]. Otrzymano wartości temperatur ekstremalnych w przestrzeni fasady oraz w pomieszczeniu znajdującym się w bezpośrednim, termicznym kontakcie z fasadą. Na koniec wyznaczono zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia przy różnych rozwiązaniach i sposobach przewietrzania strefy buforowej.

2. MODELOWANIE PROCESÓW ZACHODZĄCYCH W FASADACH PODWÓJNYCH

Do modelowania procesów cieplnych zachodzących w podwójnych fasadach budowlanych wykorzystano program symulacyjny ESP-r [1,2], w którym dyskretyzację w przestrzeni dokonano metodą objętości skończonych. W metodzie tej model obiektu dzielony jest na podobszary o skończonej objętości, które reprezentowane są przez węzły znajdujące się w ich geometrycznym środku. Każdy element może składać się z materiału jednorodnego bądź niejednorodnego, w stanie stałym lub płynnym (ciekłym albo gazowym), określonej wielkości i geometrii. Budynek reprezentowany jest przez zamknięte strefy powietrza ograniczone elementami przegród: ścianą, podłogą, sufitem bądź dachem. W programie ESP-r wnętrze budynku dzielone jest na jedną lub więcej stref mogącymi różnić się od siebie warunkami wewnętrznymi. Podczas modelowania budynku określa się również rodzaj wentylacji oraz wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego. Roz-

różnia się kilka podstawowych jej typów: od prostej wentylacji naturalnej aż po skomplikowane systemy wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, gdzie każdy element systemu definiowany jest niezależnie. Równie szeroki wachlarz możliwości dotyczy systemów ogrzewania i chłodzenia. Dodatkowo konieczne jest określenie zewnętrznych i wewnętrznych warunków brzegowych.

3. ZAŁOŻENIA

Na potrzeby niniejszej pracy stworzone zostały hipotetyczne dane klimatyczne uwzględniające zróżnicowane stany pogodowe. Przykładem mogą być bardzo ciepłe, letnie dni o dużym natężeniu promieniowania słonecznego jak i dni bardzo zimne, pochmurne o przeważającym promieniowaniu rozproszonym. W przygotowanych danych przyjęto jako niezmienną prędkość i kierunek wiatru oraz wilgotność względną powietrza, ustalając je na poziomie odpowiednio 5 m/s z kierunku południowego oraz 55%. Tak więc jedynymi zmiennymi w utworzonym pliku danych są temperatura i natężenie promieniowania: bezpośredniego i rozproszonego. Przyjęto, że natężenie promieniowania słonecznego wynosi 100, lub 500 W/m^2 różniąc również rodzaj promieniowania jako bezpośrednie i rozproszone. Wartości temperatur zmieniały się pomiędzy -25°C a $+25^\circ\text{C}$. Okres obliczeń dla każdej „kombinacji” danych pogodowych wynosił 1 tydzień.

W celu przeanalizowania zachowania się podwójnej fasady w różnych warunkach klimatycznych utworzono w programie ESP-r model pomieszczenia o wymiarach: 5m długości, 3m szerokości i 3m wysokości. Jako drugą strefę przyległą do pokoju od strony zewnętrznej zdefiniowano przestrzeń podwójnej fasady o głębokości 0,5m. W pokoju założono wymianę powietrza wentylacyjnego na drodze infiltracji o stałej wielkości $0,75 \text{ W/m}^2/\text{h}$. Jednocześnie przeanalizowano wpływ ilości przeszklenia między pokojem a przestrzenią fasady. Zależność ta została określona jako iloraz $A_o/A_{\text{śc}}$ (gdzie A_o - pole powierzchni okien, zaś $A_{\text{śc}}$ pole powierzchni całej elewacji), którego wartości przyjęto równe odpowiednio: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 i 1,0. Część pełna przegrody posiadała następujące parametry: grubość – 0,2m; współczynnik przewodzenia ciepła – $0,75 \text{ W/mK}$; ciepło właściwe – 1000 J/kgK .

Porównując zdolność do akumulacji ciepła w ścianie, przeanalizowano trzy warianty różniące się gęstością materiału a tym samym pojemnością cieplną przegrody:

- ściana o niewielkiej masie (lekka) – 100 kg/m^3
- ściana o średniej masie (średnia) – 1250 kg/m^3
- ściana o dużej masie (ciężka) – 2500 kg/m^3

Warianty te odpowiadają w przybliżeniu masie wełny mineralnej, ceramiki drażonej lub poryzowanej oraz betonu.

Dla porównania poszczególnych wariantów, obliczenia przeprowadzono przy założeniu:

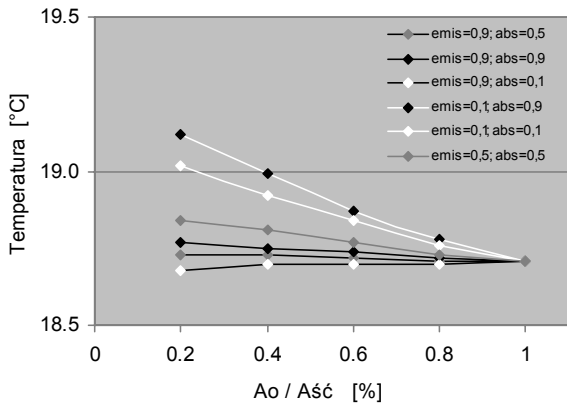
- braku ogrzewania i chłodzenia - analizy termiczne,
- stałej temperatury wewnętrznej w zakresie od $+20^\circ\text{C}$ (ogrzewanie) do $+24^\circ\text{C}$ (chłodzenie) - analizy termiczne i energetyczne.

Podział ten został wprowadzony, gdyż symulacja bez ogrzewania i chłodzenia pozwala określić przebieg procesów swobodnej wymiany ciepła i masy na drodze budynek a środowisko zewnętrzne (bez dodatkowych źródeł energii), zaś symulacja z ogrzewaniem i chłodzeniem dodatkowo pozwala porównać warianty pod kątem zapotrzebowania na energię.

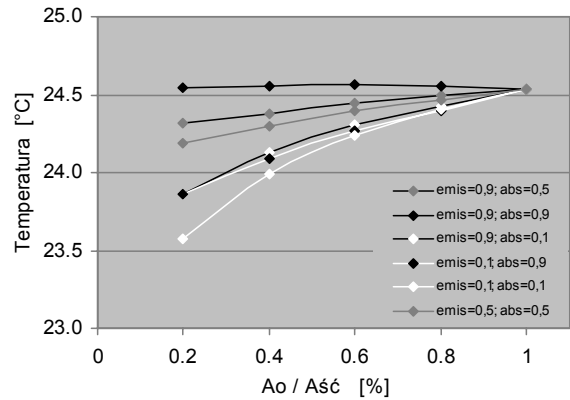
Symulacje przeprowadzono dla wybranego, hipotetycznego tygodnia zimy i lata. W każdym przypadku założono dwa tygodnie tzw. okresu rozbiegowego, podczas którego budynek uzyskuje równowagę termiczną. Okres zimowy charakteryzował się temperaturą pomiędzy -25°C a -20°C oraz maksymalnym natężeniem bezpośredniego promieniowania słonecznego nie przekraczającym 100 W/m^2 . W okresie letnim temperatura oscylowała pomiędzy $+20^\circ\text{C}$ a $+25^\circ\text{C}$, zaś maksymalne natężenie bezpośredniego promieniowania słonecznego wynosiło 500 W/m^2 . W obydwu przypadkach pominięte zostało promieniowanie rozproszone.

4. WYNIKI ANALIZ

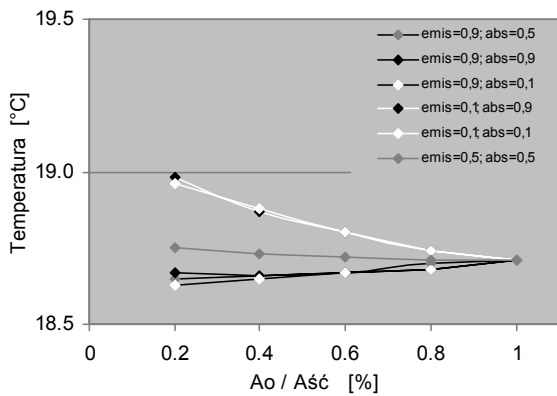
Na rysunkach 1÷6 pokazano ekstremalne wielkości wynikowych temperatur w pomieszczeniu oddzielonego przestrzenią fasady podwójnej od środowiska zewnętrznego. Temperatura wynikowa wyznaczona została jako wypadkowa temperatury powietrza w pomieszczeniu oraz temperatur otaczających powierzchni. Ze względu na założony schemat pracy systemu grzewczego temperatura powietrza była stała i równa 20°C . Temperatura przegród wewnętrznych, ze względu na przyjęte warunki użytkowania równe były temperaturze powietrza. Jedyną zmienną była temperatura powierzchni ściany fasady, której wpływ na temperaturę wynikową był pochodną jej wielkości (pośrednio $A_o/A_{\text{śc}}$). Otrzymane wyniki wskazują na istotne różnice pomiędzy ścianami o lekkiej konstrukcji (lekka) a ścianami masywnymi (średnia i ciężka). Maksymalne różnice zaobserwowane dla zimy wynoszą około 0,5 K podczas gdy dla lata około 1,0 K. W zimie najwyższe, zaś w lecie najniższe temperatury gwarantują materiały o niskich emisyjnościach promieniowania niskotemperaturowego.



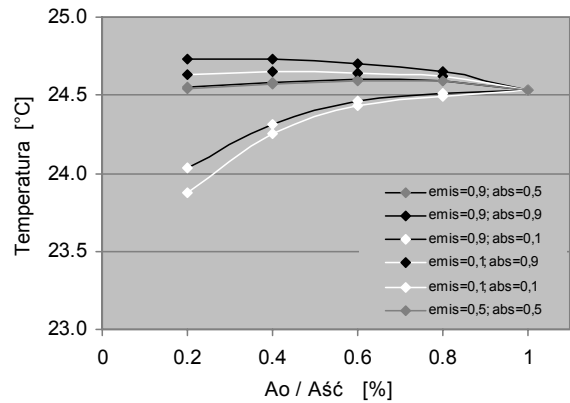
Rys. 1. Maksymalna temperatura wynikowa w pokoju zimą – konstrukcja lekka.
Fig. 1. Maximum resultant room temperature in winter – light construction.



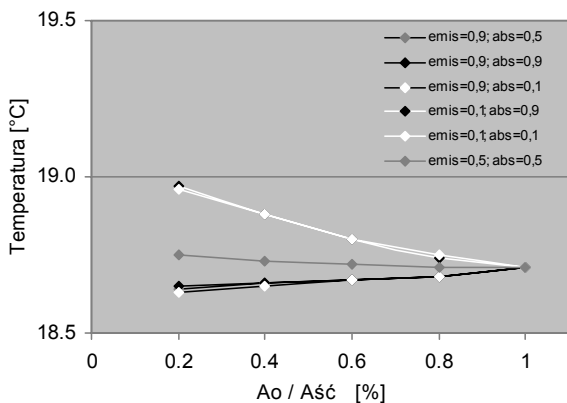
Rys. 4. Minimalna temperatura wynikowa w pokoju latem – konstrukcja lekka.
Fig. 4. Minimum resultant room temperature in summer – light construction.



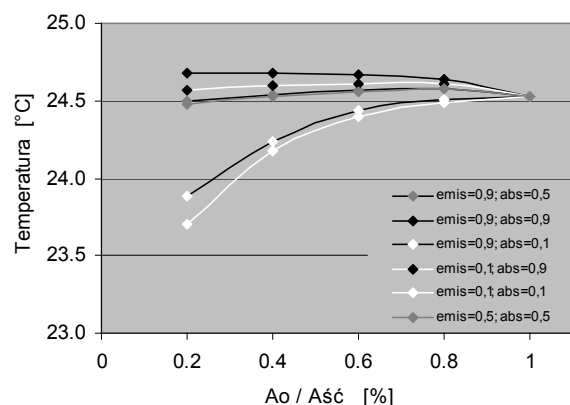
Rys. 2. Maksymalna temperatura wynikowa w pokoju zimą – konstrukcja średnia.
Fig. 2. Maximum resultant room temperature in winter – medium construction.



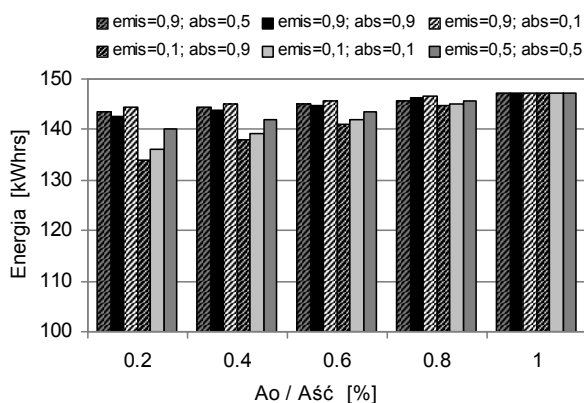
Rys. 5. Minimalna temperatura wynikowa w pokoju latem – konstrukcja średnia.
Fig. 5. Minimum resultant room temperature in summer – medium construction.



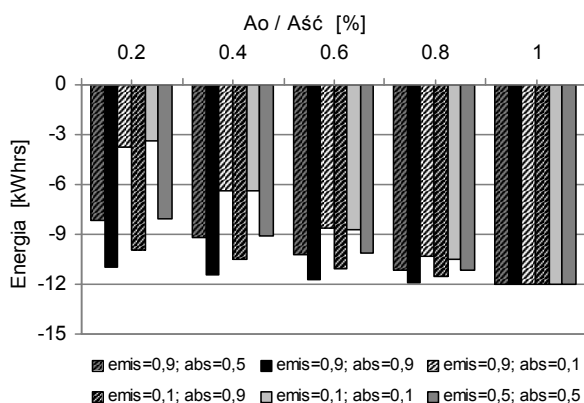
Rys. 3. Maksymalna temperatura wynikowa w pokoju zimą – konstrukcja ciężka.
Fig. 3. Maximum resultant room temperature in winter – heavy construction.



Rys. 6. Minimalna temperatura wynikowa w pokoju latem – konstrukcja ciężka.
Fig. 6. Minimum resultant room temperature in summer – heavy construction.



Rys. 7. Zapotrzebowanie na energię ciepłą w tygodniu zimy.
Fig. 7. Heating energy requirements for winter week.



Rys. 8. Zapotrzebowanie na energię chłodniczą w tygodniu lata.
Fig. 8. Cooling energy requirements for summer week.

Brak istotnych różnic pomiędzy materiałami o różnych emisyjnościach promieniowania wysokotemperaturowego wynika z założeń modelu. Przyjęto bowiem, że promieniowanie słoneczne przy przejściu przez warstwę transparentną (szyba) ulega rozproszeniu i częściowemu pochłonięciu. Ponadto, najwyższe temperatury wynikowe dla zimy jak i najniższe dla lata zaobserwowano dla ściany wykonanej w konstrukcji lekkiej.

Podobne zależności zaobserwowano porównując efektywności energetyczne poszczególnych rozwiązań (rys. 7 i 8). Najkorzystniejsze wyniki tygodniowego zapotrzebowania na energię ciepłą w zimie i chłodniczą latem (netto) otrzymano dla przypadków o emisyjnościach promieniowania niskotemperaturowego równych 0,1. Należy zwrócić przy tym uwagę, iż zapotrzebowanie na chłód jest około dziesięciokrotnie mniejsze niż na ciepło. Wynika to z przyjętych przebiegów zmian temperatury zewnętrznej:

- dla lata $T_{\text{emax}} - T_i = 1 \text{ K}$,
- dla zimy $T_i - T_{\text{emin}} = 45 \text{ K}$.

Nie zmienia to jednak faktu, że zarówno dla lata jak i zimy maksymalne zaobserwowane różnice wyniosły około 10 kWh/tydzień, co w przypadku zimy stanowi jedynie około 6%, podczas gdy dla lata aż 69%. Należy więc stwierdzić, iż własności emisyjne powierzchni przegrody wewnętrznej mają istotny wpływ na jej charakterystykę energetyczną w okresie lata.

5. PODSUMOWANIE

Niniejsza praca stanowi próbę zilustrowania zagadnień dotyczących wymiany ciepła pomiędzy budynkiem a środowiskiem zewnętrznym poprzez strefę buforową jaką stanowi podwójna fasada. Prezentowane wyniki pokazują, że największy wpływ na ciepłe zachowanie się systemu ma emisyjność promieniowania niskotemperaturowego. Maksymalne różnice w wartościach temperatur wynikowych w pomieszczeniu wynoszą odpowiednio 0,5 K dla zimy i 1,0 K dla lata. Ponadto dla zimy temperatura wynikowa jest zawsze niższa od temperatury powietrza w pomieszczeniu, zaś dla lata jej wartość zależy od przyjętych materiałów. Poprawnie przyjęte emisyjności ściany wewnętrznej mają także wpływ na energię potrzebną do ogrzewania bądź chłodzenia pomieszczenia. W przypadku zimy obserwowane różnice wynoszą około 6%, zaś w przypadku lata nawet 69%.

THE EFFECT OF WALL EMISSION-ABSORPTION ON THERMAL CHARACTERISTIC OF DSF

Summary: The paper presents and discusses the effect of the emission-absorption characteristics of the inner skin in double façades systems (DSF). The second skin of façades are design inter alia in order to keep the comfort and healthy indoor climate but the properties of inner elements may play so important role as ventilation or shading. The thermal analysis of DSF have been done using the whole building simulation technique – Environmental System Performance (ESP). The results of the air and shows the important differences between light and heavy traditional constructions.

Literatura

- [1] Clarke, J.A. *Energy simulation in building design*, 2nd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2001.
- [2] Hensen, J. & Bartak, M. & Drkal, F. Modeling and simulation of a double-skin façade system. *ASHRAE Transactions*, Atlanta, USA, vol. 108:2. 2002.
- [3] Heim D. Comparison of sensible and latent thermal storage potential of double-skin façade. W: *Research in Building Physics and Building Engineering*, Fazio P., Ge H., Rao J. & Desmarais G. (ed.), pp. 301-309, Taylor & Francis Publishers. 2006.