

MODEL REGRESJI DO WYZNACZANIA LICZBY WYMIANA POWIETRZA WENTYLACYJNEGO

Dorota BZOWSKA

Politechnika Warszawska, Instytut Budownictwa, Lukaszewicza 17, 09-400 Plock, E-mail address: dor.bzowska@gmail.com

Streszczenie: Zaproponowano model regresji do wyznaczenia liczby wymian powietrza w budynku dla okresu letniego. W tym celu przeanalizowano wpływ powierzchni okien, ich orientacji oraz oporu cieplnego obudowy budynku na ilość wymienianego powietrza wentylacyjnego. Dla kolejno zmienianych powierzchni okien sukcesywnie docieplano budynek warstwami izolacji z zakresu 3 - 30cm. Zmiana przeszklenia obejmowała udział powierzchni okna w przegrodzie - wwr od 0,05 do 0,5 kolejno dla orientacji E, S i W. Bazą danych do wyznaczenia modelu regresji były przebiegi dobowe niestabilnych procesów przepływu powietrza przez budynek dla powyżej wymienionych przypadków. W symulacjach uwzględniono trzy tryby oddziaływania wiatru. Model opisuje liczbę wymian powietrza w funkcji powierzchni przeszklenia w budynkach jednorodzinnych wyposażonych w wentylację naturalną.

Słowa kluczowe: opór cieplny obudowy budynku, wypór termiczny powietrza wewnętrznego, naturalna wymiana powietrza w budynku, słoneczne zyski energetyczne

1. WSTĘP

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 2013 roku wprowadza nowe, malejące co dwa lata aż do roku 2021, wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych. Zmiany te dotyczą wszystkich przegród przezroczystych i nieprzezroczystych oraz wszystkich rodzajów budynków łącznie z budynkami jednorodziennymi. Wymagania co do powierzchni przeszkleń pozostają niezmiennione. Rozporządzenie wprowadza także w tym samym trybie niższe wartości wskaźników Ep. Wysoka izolacyjności obudowy budynku pozostaje zatem podstawowym wskaźnikiem ograniczającym zarówno straty ciepła w sezonie grzewczym jak i zyski od promieniowania słonecznego nie tylko w okresie gorącego

lata. Z wysokiej izolacyjności przegród nieprzezroczystych wywodzi się idea, w dalszym ciągu obecna w Rozporządzeniu, o niskim zapotrzebowaniu budynków na energię w sezonie grzewczym. Badania dowodzą, że występuje potrzeba ogrzewania takich budynków poza sezonem grzewczym. Natomiast w praktyce projektowej dopełnieniem niskich wartości współczynników U dla przegród nieprzezroczystych są nie rzadko powiększone powierzchnie okien, które mają pozyskiwać energię promieniowania słonecznego i tym samym być narzędziem ograniczającym zużycie energii ze źródeł konwencjonalnych. Rozwiązanie architektoniczne bazujące na dużych przeszkleniach o orientacji południowej nie zawsze jest szczęśliwym rozwiązaniem, szczególnie jeżeli nie są wykorzystywane powłoki niskoemisyjne i budynek jest budynkiem lekkim pozbawionym możliwości procesu akumulacji ciepła w przegrodach. Badania poligonowe [7] dowodzą, że duże przeszklenia nie muszą mieć istotnego wpływu na pomniejszenie energochłonności budynków w sezonie grzewczym. Natomiast generują one zazwyczaj przegrzanie obiektów w okresie letnim. Poprawny dobór powłoki przeszklenia dla okresu zimowego pogłębia proces przegrzania w lecie. Powierzchnie przeszkleń są zatem tymi elementami przegrody, które mogą regulować intensywność, w zależności od potrzeb, pozyskiwania promieniowania słonecznego. Dlatego też w dalszym ciągu ukazuje się sporo prac, które prezentują wyniki badań dotyczących wpływu wielkości, rodzaju, transmisyjności oraz orientacji okien na bilans energetyczny budynków tak w czasie sezonu grzewczego i w czasie lata [2 - 6, 9].

Intensywne promieniowanie słoneczne docierające do pomieszczeń, z racji powiększonego przeszklenia, generuje większy wypór termiczny. Obserwowany jest wyraźny jego wzrost. Ale nawet pogłębiony deficyt gęstości powietrza wewnętrznego nie jest w stanie generować wystarczająco intensywnego przepływu powietrza. Oznacza to, że

wymiana powietrza wentylacyjnego, nawet przy wspomaganie wiatrem, jest za mała by odprowadzić nadmiar ciepła z pomieszczenia pozbawionego jego akumulacji w przegrodach. Dodatkowo, mocno zaizolowana obudowa budynku ma bardzo ograniczoną zdolność do tracenia ciepła do otoczenia zewnętrznego. Nakładane na budownictwo coraz ostrzejsze reżimy energetyczne wymagają nie tylko korzystania z energii ze źródeł odnawialnych ale także bardziej kompleksowego traktowania procesu projektowego obiektów budowlanych. Proces a raczej jego rezultat powinien być obecnie wynikiem oddziaływania znacznie szerszej liczby parametrów i czynników niż jeszcze dekadę temu. Od projektu architektonicznego wymaga się nie tylko spełnienia oczekiwań estetycznych i funkcjonalnych obiektu zgodnych z jego przeznaczeniem a także, niskiej energochłonności w obu sezonach; grzewczym i letnim. Ponadto obecnie wznoszony czy też termomodernizowany budynek powinien spełniać poprawnie wszystkie swoje funkcje także za lat 30, kiedy przewidywane jest pełne oddziaływanie ocieplenia klimatu. Według najłagodniejszego scenariusza temperatura otoczenia wzrośnie o 4 deg. a więc obecnie projektowane budynki powinny zapewniać komfort cieplny także wówczas. Klimatyzacja jest oczywistym rozwiązaniem dla przegrzanych wewnątrz. Niemniej proces projektowy wymaga rozumienia procesów ciepłno-przepływowych, które zachodzą w budynkach. Szczególnie istotne z punktu widzenia także energochłonności budynku jest poprawne sformułowanie wstępnych założeń projektowych. Stąd oddziaływanie masy termicznej budynku, kompleksowo rozumianego rodzaju przeszklenia, systemu wymiany powietrza wentylacyjnego na komfort cieplny pomieszczeń wymaga bardzo dokładnej analizy już we wstępnej fazie projektowej. Potrzeby energetyczne budynku dla sezonu grzewczego i letniego powinny być rozpatrywane niezależnie. Analiza we wstępnej fazie projektu wymaga innych narzędzi niż te stosowane do symulacji procesów ciepłoprzepływowych gdy projekt wkracza w ostateczną fazę realizacji. Projektant dysponuje wówczas pełną dokumentacją techniczną, w przeciwieństwie do wstępnej fazy projektu, i możliwe jest używanie komercyjnych programów symulacyjnych. Natomiast, proponowany w pracy, model regresji może być wsparciem właśnie przy wyznaczaniu wstępnych założeń projektowych. Model ten pozwala wyznaczyć granice intensywności wymiany powietrza wentylacyjnego w funkcji wielkości przeszklenia i jego orientacji przy przyjmowanych grubościach docieplenia. Granica ta oznacza zakres występowania minimalnej i maksymalnej liczby wymian powietrza przepływającego przez budynek z kierunkiem przepływu ku górze lub ku dołowi w zależności od kierunku parcia wiatru. Te podstawowe, ale niekoniecznie oczywiste, współzależności mogą dostarczać informacji, które stwórzają

alternatywę adekwatnego wyboru rozwiązania z uwagi na komfort cieplny i zużycie energii. Model został stworzony dla parametrów pogody Polski centralnej, dla okresu letniego, ściślej dla lipca, kiedy w naszym klimacie panują najwyższe temperatury. Wykorzystane w obliczeniach temperatury zewnętrzne pochodzą z przetworzenia wieloletnich ciągów IMGW.

2. MODEL TEORETYCZNY NIEUSTALONYCH PRZEPLYWÓW CIEPŁOPRZEPLYWOWYCH, WARUNKI BRZEGOWE

Obiekt budowlany, wraz z otoczeniem zewnętrznym można zdefiniować jako kompleksowy układ, w którym zachodzą wzajemnie powiązane procesy przepływowe ciepła i masy. Wymiana ciepła pomiędzy budynkiem a jego otoczeniem zewnętrznym wynika z przewodzenia, konwekcji i promieniowania. Przepływ powietrza odbywa się przez kontrolowane otwory wentylacyjne.

Bilans energetyczny powietrza wewnętrznego tj zmiana energii wewnętrznej powietrza o temperaturze T_i , w pomieszczeniu o objętości V składa się z szeregu członów (równanie 1). Człon Φ jest algebraiczną sumą strumieni ciepła dopływających lub traconych przez obiekt. Człon drugi definiuje strumienie ciepła wymieniane pomiędzy powietrzem w pomieszczeniu a ograniczającymi ścianami F_i o temperaturze T_{s_i} i współczynniku przejmowania ciepła h_i . Trzeci opisuje strumienie ciepła, przenikające z zewnątrz przez okna pomieszczenia o współczynniku U_{ok} i powierzchni A_{ok} (1). Czwarty wyraża zmianę entalpii, związaną ze strumieniem masowym powietrza wentylacyjnego, o natężeniu przepływu \dot{V}_m [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$] i opisany jest równaniem (2), [1, 8].

$$V \cdot \rho_i \cdot c_v \cdot \frac{dT_i}{dt} = \Phi + \sum_{i=1}^n h_i \cdot F_i \cdot (T_{s_i} - T_i) + \sum_{K=1}^m U_{okK} \cdot A_{okK} \cdot (T_o - T_i) + \dot{V}_m \cdot c_p \cdot (T_o - T_i) \quad (1)$$

a: strumień powietrza wentylacyjnego wynosi

$$\dot{V}_m = C_d \cdot A_{ot} \cdot \rho_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \frac{T_i - T_o}{T_o} \pm 2\Delta p_v} \quad (2)$$

Powietrze o temperaturze otoczenia T_o wpływa do pomieszczenia przez otwór wentylacyjny A_{ot} a opuszcza je

przy temperaturze T_i . C_d to współczynnik zwężenia strugi jednakowy dla otworu w zawietrznej i nawietrznej fasadzie budynku, ρ_0 gęstość powietrza zewnętrznego a Δp spadek ciśnienia od parcia wiatru. Znak „+” przed Δp oznacza, że spadek ciśnienia wytwarzany jest przez parcie wiatru wspomagającego przepływ powietrza przez budynek (tj. działającego na otwór wentylacyjny dolny) i sumuje się ze spadkiem ciśnienia pochodzącym z ubytku gęstości powietrza. Znak „-” wskazuje że spadek ciśnienia, który jest wytwarzany przez parcie wiatru przeciwnego (tj. działającego na otwór wentylacyjny górny) zmniejsza strumień powietrza, który powstaje z ubytku gęstości powietrza. W sytuacji bezwietrznej pogody człon Δp nie występuje w symulacjach numerycznych.

Pole temperatury w ścianach i stropie opisywane jest jednowymiarowym równaniem przewodnictwa z nieustalonymi warunkami brzegowymi III rodzaju. Po stronie zewnętrznej warunek uwzględnia dodatkowy człon związany z promieniowaniem słonecznym ponieważ poziome i pionowe przegrody budynku poddane były oddziaływaniu całkowitego promieniowania słonecznego. Strumień energii promieniowania słonecznego padający na ścianę był przez nią pochłaniany. Założono, że promieniowanie bezpośrednie jest tłumione proporcjonalnie do cosinusa kąta zenitu. Przyjęto brak zacinienia dla powierzchni poziomych tj. stropodachu budynku oraz przegród pionowych. Współczynnik refleksyjności podłoża wynosi 0,2 a współczynnik korekcyjny dla promienia odbitego 0,5.

Po stronie wewnętrznej temperatura jest parametrem skupionym. Dla ścianki wielowarstwowej, na granicy warstw, przyjęto warunek IV rodzaju. Równanie przewodnictwa rozwiązywane było z następującymi warunkami początkowymi: temperatura wewnątrz wszystkich warstw przegród i stropu oraz powietrza w pomieszczeniu równa była 20°C Wartości wszystkich parametrów, zależnych od czasu, odpowiadały godzinie 0

3. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW

Badanie procesów ciepłno-przepływowych przeprowadzono w budynku jednostrefowym o wymiarach $5 \times 5 \times 3 \text{m}$, który jest wyposażony w wentylację naturalną. Budynek posiada wewnętrzną masę termiczną, która zwiększa akumulację ciepła. Kalibrowane otwory wentylacyjne zostały umieszczone w przeciwległych ścianach. Dolny otwór wentylacyjny ulokowany jest w ścianie północnej 1m nad gruntem a górny, w ścianie południowej 4m nad gruntem. Otwory wentylacyjne dopływowe lokowane są zawsze w północnej ścianie obiektu, aby szczególnie w okresie letnim, przy wysokich sumach promieniowania słonecznego, uniknąć wpływu bezpośredniego promieniowania słonecznego. Okresowy wzrost temperatury zewnętrznej może wówczas przekroczyć wartość temperatury

wewnętrznej, powodując tym samym zaburzenia w przepływie powietrza przez budynek. Przy wietrze północnym otworem dopływowym powietrza do budynku jest zatem otwór dolny. Otwór górny stanowi wylot. Przy wietrze południowym funkcję otworów są odwrotne o ile wypór termiczny powietrza nie góruje nad spadkiem ciśnienia wywołanym 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.

Testowany budynek jest obiektem wzniesionym parę dekad wstecz, którego oporność cieplna przegród zewnętrznych jest poza wszelkimi aktualnymi wymaganiami. Opór przenikania stropodachu murowanego, który został już uprzednio ocieplony 4cm wełny mineralnej i pokryty papą, wynosi $1.144 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Dla ścian pionowych opór równy jest zaledwie $0.664 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Wewnętrzna warstwa akumulacyjna jest odpowiednikiem przegrody ceglanej o grubości 20 cm i jej pojemność cieplna osiąga wartość $1134 \text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$ podczas gdy całego budynku równa jest $4838 \text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$. Przegrody zewnętrzne zorientowane były na południe, północ, wschód i zachód. Okna o powierzchni $1,5 \text{m}^2$ znajdowały się na S, E i W ścianie. Współczynnik przenikania ciepła dla okien U wynosił $1.6 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Przyjęta moc cieplna, pochodząca z zainstalowanych urządzeń i od mieszkańców wynosi 300 W.

4. METODYKA OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Budynek, którego podstawowe parametry cieplne podano w poprzednim punkcie, poddano następującym zabiegom termomodernizacyjnym. Zarówno stropodach jak i ściany zewnętrzne docieplano kolejno materiałem izolacyjnym o następujących warstwach: 3cm, 5cm a następnie z krokiem co 5cm osiągnięto warstwę grubości 30cm. Przy każdej, kolejnej warstwie docieplającej symulowano numerycznie przepływy ciepłno-przepływowe dla zmieniającej wartości parametru wwr tj udziału powierzchni okna w powierzchni przegrody. Obliczeń dokonywano kolejno dla okien o orientacji: E, S i W. Udział powierzchni okna w powierzchni przegrody rozpoczął się od wartości 0.05 a kończył na 0.5 z krokiem 0.05. Jeśli zmiana wwr dotyczyła okna w przegrodzie wschodniej to okna w ścianie południowej i zachodniej miały powierzchnię podstawową, równą $1,5 \text{m}^2$ a więc wskaźnik wwr wynosił 0.1. Przy przegrodzie południowej powierzchnia okna w przegrodzie wschodniej i zachodniej miała powierzchnię podstawową. Podobnie było z przegrodą zachodnią. Reasumując dla każdej kolejno zmienianej warstwy docieplenia o grubości od 3cm do 30cm następowała zmiana przeszklenia, która obejmowała udział powierzchni okna w przegrodzie od

0,05 do 0,5. Dodatkowo dla każdej warstwy izolacyjnej i każdej wartości parametru wwr obliczenia numeryczne przeprowadzono przy trzech trybach oddziaływania wiatru. Z uzyskanych, dla wszystkich przypadków, przebiegów dobowych liczby wymian powietrza wentylacyjnego wybrano wartości minimalne i maksymalne. Wartości te pozwoliły wyznaczyć linie regresji, których opis stanowi modele regresji do wyznaczania niezależnie minimalnej i maksymalnej liczby wymian powietrza w budynku w funkcji parametru wwr przy zastosowanym dociepleniu. Wyniki obliczeń stosowane w tworzeniu modelu regresji otrzymano z zastosowania 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. Cykl obliczeniowy obejmuje cały miesiąc, w tym wypadku lipiec, z codziennymi wydrukami 746 godzin. Wykresy wykorzystywane w modelu pochodzą z przedziału pomiędzy 679 a 740 godziną obliczeń, czyli z końca miesiąca.

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

5. WYNIKI OBLICZEŃ

Model regresji do wyznaczania liczby wymian powietrza wentylacyjnego w funkcji wskaźnika wwr opisuje równanie (3). Natomiast tab.1 zawiera wartości parametrów dla wszystkich stworzonych opcji modelu tj. minimalnej i maksymalnej liczby wymian powietrza przepływającego przez budynek dla: trzech orientacji okien tj.: wschodniej, południowej i zachodniej, trzech trybów oddziaływania wiatru tj. wspomagającego, przeciwnego i przepływu bez wiatru. We wszystkich opcjach modelu występuje oddziaływanie całkowitego promieniowania słonecznego. Z racji ograniczonej pojemności artykułu, graficznie przedstawiona jest wymiana powietrza wentylacyjnego, tylko dla przeszkleń orientacji wschodniej. Rys. 1a i 1c przedstawiają wymianę powietrza przy wietrze wspomagającym. Osiągane zaś temperatury wewnętrzne przy minimalnej liczbie wymian podają wykresy na rys. 1b. Tę samą konfigurację wyników przedstawiają rys. 5a i 5c oraz 5b przy wietrze przeciwnym. Natomiast wykresy liczby wymian na rys. 3a i 3c oraz temperatury wewnętrznej na 3b dotyczą dni bezwietrznych. Przepływ powietrza przez budynek i osiągnięte w nim wartości temperatur, w bezwietrznych warunkach pogodowych, wynikają jedynie z różnicy gęstości powietrza.

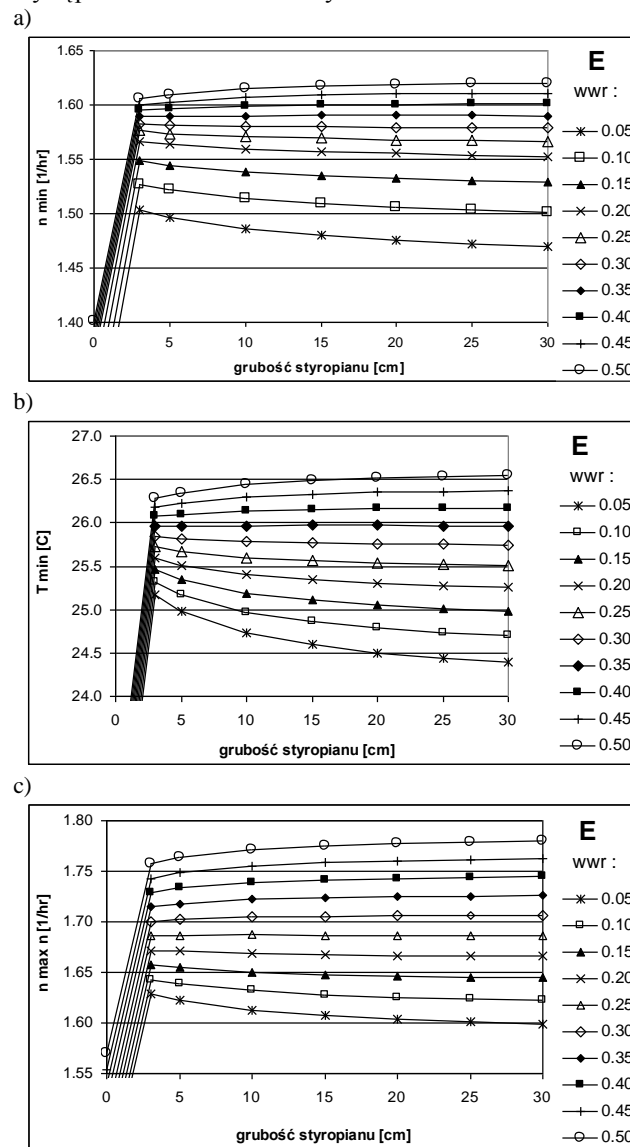
Otrzymane wyniki obliczeń, zarówno dla wartości minimalnych jak i maksymalnych wymian powietrza

wentylacyjnego, dowodzą, że intensywność przepływu powietrza dość słabo zależy od oporu cieplnego przegród nieprzezroczystych. Im wyższy opór cieplny przegrody tym zależność pomiędzy oboma parametrami słabsza. Przebieg najniższego wykresu z rys. 1a tj. minimalnej liczby wymian powietrza osiągniętej w budynku przy parametrze przeszkleń wwr równym 0.05 dla orientacji wschodniej (dla orientacji południowej i zachodniej wwr wynosi 0.1) wskazuje, że różnica w przepływie powietrza pomiędzy budynkiem z 3 centymetrową izolacją a budynkiem ocieplonym 30 cm wynosi zaledwie 0.034 wymiany na godzinę. Przy przeszkleńiu równym 0.5 różnica w przepływie jest jeszcze mniejsza. Pomijalnie mała różnica w przepływie powietrza jest obserwowana już od wwr równym 0.25. Poniżej tej wartości tj dla wwr równym: 0.20, 0.15, 0.1 różnice są podobnie niewielkie jak przy wwr równym 0.05. Generowany deficyt gęstości powietrza wewnętrznego, który odpowiada za przepływ powietrza przez budynek, jest także funkcją dostarczonej za pośrednictwem okien energii promieniowania słonecznego, akumulacji ciepła w ścianach, wewnętrznych zysków ciepła oraz ograniczonego procesu tracenia ciepła przez przegrody. Przy rosnącej grubości warstwy ocieplającej proces wymiany ciepła z otoczeniem staje się coraz bardziej ograniczony podobnie jak intensywność pozyskiwania energii promieniowania słonecznego przez przegrody nieprzezroczyste. Stąd o wysokości temperatury w budynku decydują przede wszystkim okna a więc zyski energii pozyskiwane za ich pośrednictwem. Dlatego też, przy wysokich wartościach parametru wwr, obserwowany przepływ powietrza wentylacyjnego, jest prawie niezależny od grubości warstwy docieplającej. Odpowiadające, liczbie wymian - rys. 1a, minimalne temperatury - rys. 1b dowodzą, że już od warstwy docieplenia równej 10cm i od wartości wwr równej 0.25 temperatura wewnętrzna ustala się na stałym poziomie. Przy niższych wartościach wwr, wskazanych na rys. 1b, grubość warstwy odgrywa niewielką rolę. Przy wwr równym 0.05 różnica temperatury wewnętrznej pomiędzy warstwą ocieplającą równą 5cm i 30 cm jest największa dla rozpatrywanych przypadków i wynosi 0.5°C. Natomiast najwyższa wartość temperatury występuje przy wwr równym 0.5 i dla docieplenia pomiędzy 15cm a 30cm wynosi 26.5°C. Najniższe temperatury występują przy braku docieplenia (rys. 1b nie obejmuje tego zakresu). Przy wwr równym 0.05 temperatura w budynku wynosi 21.5°C a przy wwr równym 0.5 osiąga 22.5°C. Temperatury te odpowiadają liczbie wymian 1.27 i 1.40 odpowiednio. Różnica w wymianie wynika także ze znacznych strat ciepła przez niezaizolowane przegrody budynku. Rys 1a wskazuje, że zaledwie 3 cm izolacja cieplnej przegród, podnosi efektywność wentylacji naturalnej. Następuje także wtedy wzrost temperatury w budynku. Spadek intensywności strat ciepła przez tak skąpo zaizolowane przegrody jest więc

istotniejszy, z uwagi na temperaturę wewnętrzną, niż wzrost intensywności wymiany powietrza wentylacyjnego. Podobne jakościowe relacje zachodzą pomiędzy maksymalną liczbą wymian - rys. 1c a odpowiadającymi im maksymalnymi temperaturami wewnętrznymi. Najwyższe wymiany powietrza w budynku osiągnane są dla wwr równego 0.5 z 30 centymetrowym dociepleniem. Najśłabsza wentylacja występuje przy wwr równym 0.05 i izolacji 3 cm. Ilości przepływającego przez budynek powietrza dla najniższej i najwyższej izolacji różnią się w setnych wymiany i to przy najmniejszym jak i największej wartości parametru wwr. Przy braku izolacji wymiana przy wwr równym 0.05 wynosi 1.45 na godzinę a przy wwr =0.5 równa jest 1.57 wymiany podczas gdy przy tych samych parametrach wwr ale z 30 cm. dociepleniem liczba wymian równa jest 1.60 i 1.78 odpowiednio. Maksymalne temperatury w pomieszczeniu, wynoszą przy najmniejszym oknie 26.9°C a przy największym 31,2°C. Natomiast przy braku ocieplenia spadają do 23.5°C i 27°C odpowiednio. Rys. 2, z kolei, przedstawia linię regresji dla maksymalnej liczby wymian powietrza, przy orientacji wschodniej okna. Linie tę uzyskano dla wyselekcjonowanych z symulacji danych numerycznych. Dla orientacji południowej i zachodniej, przy wszystkich formach oddziaływania wiatru, współczynniki równania regresji zamieszczone są w tabeli 1.

Wykresy na rys. 3 odnoszą się do sytuacji, kiedy przepływ powietrza przez budynek wynika tylko z deficytu gęstości powietrza. Porównania więc wykresów z rys.1 i rys. 3 obrazuje wpływ oddziaływania wiatru wspomagającego na intensywność przepływu powietrza. Otwór dopływowy jest usytuowany zaledwie 1m nad gruntem i wpływ chropowatości terenu na prędkość wiatru jest znaczna. Wiatr północny osiąga w tej lokalizacji w lipcu zaledwie 1,03m/s z amplitudą 0.25m/s. Maksymalna prędkość wiatru występuje o 15.30. Mimo tak niewielkiej prędkości wiatru w przypadku braku jego wspomagania przepływ powietrza spada, znacząco dla wartości minimalnych z 1.5 wymiany na godzinę - rys. 1a do 1.02 wymiany - rys. 3a. Dla maksymalnych wartości, wymiana zmniejsza się z 1.76 - rys. 1c do 1.58 wymiany - rys. 3c. Natomiast w przypadku braku docieplenia (poza wykresami widocznymi na rys. 1a, 3a) przepływ w zakresach minimalnych spada ponad dwukrotnie z 1,27 wymiany - rys. 1a na 0.6 wymiany rys. 3a. W zakresach maksymalnych, z 1. wymiany - rys. 1c na 1.28 wymiany - rys.3c. Słabsza wentylacja ma wpływ na poziom temperatur w pomieszczeniu. Przy wietrze wspomagającym, w największych słonecznych zyskach energetycznych tj przy wskaźniku wwr równym 0,5, najwyższa temperatura z zakresu minimalnych temperatur - rys. 1c osiąga 26.6°C a przy braku oddziaływania wiatru wzrasta o 1deg - rys.3c. W zakresach maksymalnych temperatur, przy wietrze wynosi 31.2°C a bez wiatru wzrasta także o 1 deg. W budynku niez izolowanym

cieplnie brak wiatru ma bardzo niewielki wpływ na temperaturę wewnętrzną. Wzrost temperatury wynosi ok. 0.5°C. Rozróżnienie przepływu powietrza przy wentylacji naturalnej z udziałem wiatru wspomagającego i braku występowania wiatru może być istotne.

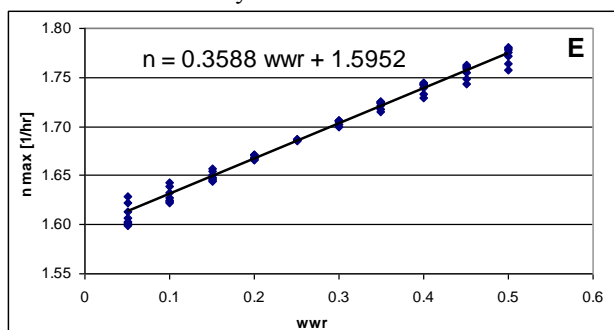


Rys.1. Liczba wymian powietrza wentylacyjnego n oraz wartości temperatury wewnętrznej T w funkcji grubości izolacji i parametru wwr. Orientacja E, wiatr wspomagający. a) i b) – wartości minimalne; c) – wartości maksymalne.

Fig. 1. ACH (n) and the indoor temp. (T) at the different value of insulation material and the wwr parameter. E orientation, assisting wind. a), b) – minimum; c) – maximum values.

W gorące letnie dni bardzo często wiatr jest „nieobecny”. Sytuacja ta może wzmacniać dyskomfort pomieszczeń. Rys. 4 przedstawia linię regresji do wyznaczania maksymalnej liczby wymian bez udziału wiatru.

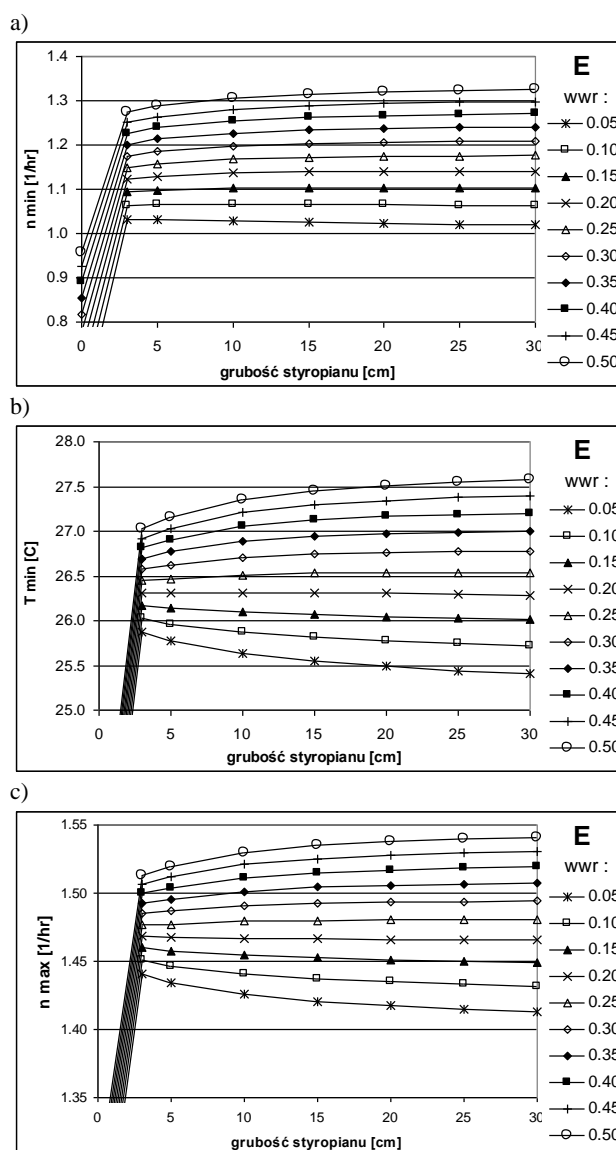
Wykresy z rys. 5. przedstawiają liczby wymian powietrza i temperatury w sytuacji kiedy występuje parcie wiatru na górny otwór wentylacyjny. W założeniu jest on otworem wypływowym. W tym wypadku we wzorze (2) spadek ciśnienia, który pochodzi z parcia wiatru występuje ze znakiem „-”. Rzeczywisty strumień powietrza wentylacyjnego wynika zatem z różnicy pomiędzy wyporem termicznym a parciem wiatru. Jeśli spadek ciśnienia, który pochodzi od wiatru przewyższy ten, który jest wynikiem deficytu gęstości powietrza to przepływ będzie się odbywać z góry na dół. Występują wówczas przepływy odwrotne; „-”. Tak też dzieje się w testowanym budynku, ale tylko wtedy gdy budynek jest nie zaizolowany (niewidoczna na rys. 5a część wykresu) i charakteryzuje się parametrem wwr równym 0.05 - 0.15.



Rys. 2. Linia regresji dla liczby wymian powietrza wentylacyjnego n ; wartości maksymalne, orientacja E, wiatr wspomagający.

Fig. 2 Regression model for the ACH max. (n_{max}), East orientation, assisting wind.

Przy najmniejszej powierzchni okna, wwr równym 0.05, liczba wymian wynosi (-) 0.75. Jeśli w budynku niedocieplonym wwr wynosi 0.5 to liczba wymian osiąga zaledwie wartość 0.3 ale nie ma przepływu odwrotnego. Zmiana kierunku przepływu z odwrotnego na ku górze, wynika z istotnie zwiększonej energii promieniowania słonecznego, która jest pozyskiwana za pośrednictwem 10 krotnie większego okna, tzn. wwr równe jest 0.5. Wypór termiczny pokonuje parcie wiatru i powietrze przepływa z dołu do góry. W przypadku wiatru przeciwnego, w budynku zaizolowanym cieplnie, nie występują przepływy odwrotne ale minimalna wymiana powietrza w całym badanym zakresie wwr od 0.05 do 0.5 pozostaje niemal na stałym poziomie i wynosi 0.52. Przy wwr powyżej wartości 0.2 obserwuje się lekką zależność ilości wymienianego powietrza od grubości docieplenia.



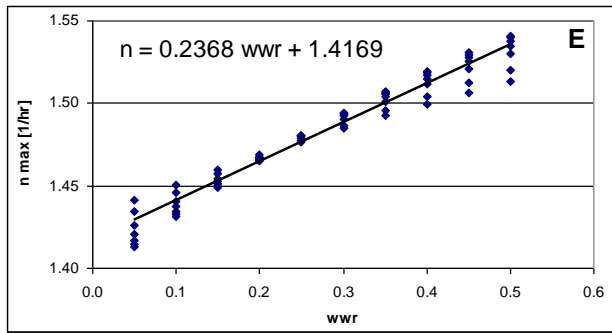
Rys.3. Liczba wymian powietrza wentylacyjnego n oraz wartości temperatury wewnętrznej T w funkcji grubości izolacji i parametru wwr. Orientacja E, brak wiatru.

a) i b) – wartości minimalne; c) – wartości maksymalne.

Fig. 3. ACH (n) and the indoor temp. (T) at the different value of insulation material and the wwr parameter. E orientation, no wind. a), b) – minimum; c) – maximum values.

Pomiędzy 3 cm a 30 cm izolacji następuje ok. 10% wzrost strumienia powietrza. Niemniej, przy wietrze przeciwnym, wymiana powietrza jest najmniejsza z trzech przedstawionych przypadków. W zakresie wymian minimalnych największa wartość wynosi 1 wymianę.

Stąd temperatura wewnętrzna jest najwyższa i wynosi 28.3°C. W zakresie wymian maksymalnych osiągnięta jest wymiana zaledwie 1.42, a temperatura w budynku przekracza 33°C.



Rys. 4. Linia regresji dla liczby wymian powietrza wentylacyjnego n ; wartości maksymalne, orientacja E, brak wiatru.

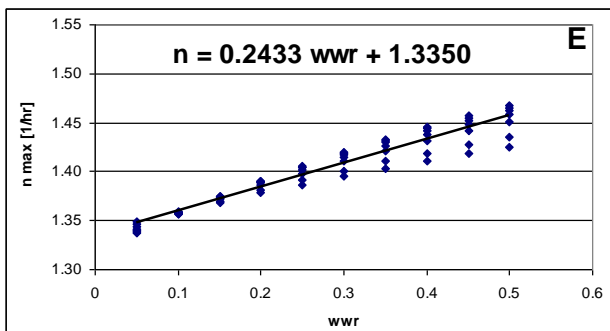
Fig. 4. Regression model for the ACH max. (n_{max}) East orientation, no wind.

Model regresji opisany jest poniższym równaniem (3) a wartości jego współczynników zawiera tab.1.

$$n = a \cdot wwr + b \quad (3)$$

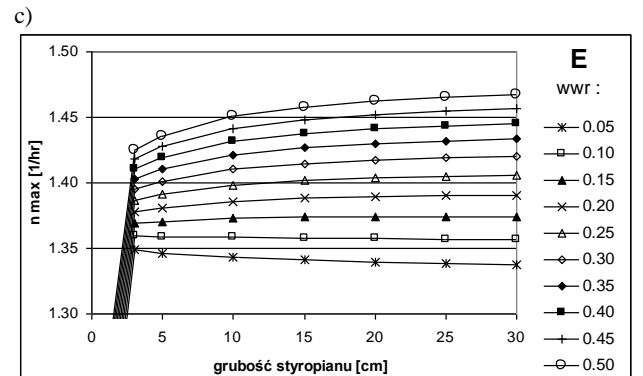
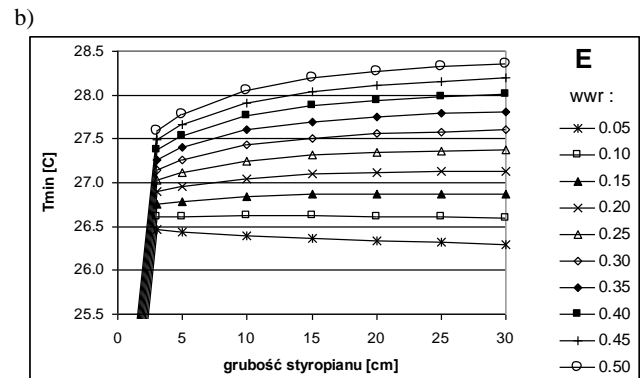
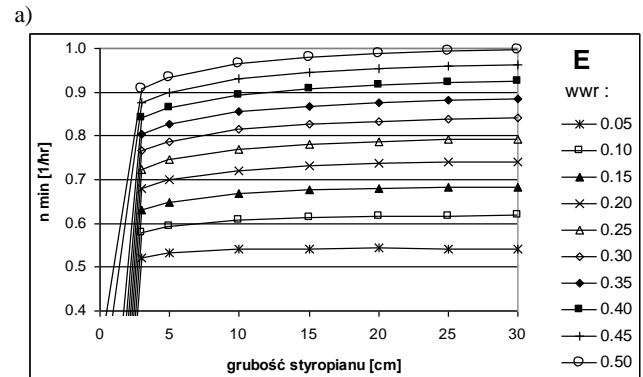
Tabela 1. Współczynniki regresji.
Table 1. Regression coefficients.

	n min [1/hr]		n max [1/hr]	
	a	b	a	b
Wiatr wspomagający				
E	0.2747	1.4897	0.3588	1.5952
S	0.2781	1.4849	0.4400	1.5848
W	0.3203	1.4817	0.6236	1.5701
wiatr przeciwny				
E	0.9376	0.5192	0.2433	1.3850
S	1.1878	0.4957	0.2719	1.3322
W	0.9440	0.5208	0.3366	1.3261
brak wiatru				
E	0.6210	1.0057	0.2368	1.4169
S	0.7583	0.9955	0.2636	1.4143
W	0.6203	1.0076	0.3245	1.4085



Rys. 6. Linia regresji dla liczby wymian powietrza wentylacyjnego n ; wartości maksymalne, orientacja E, wiatr przeciwny.

Fig. 6. Regression model for the ACH max. (n_{max}) East orientation, opposing wind.



Rys.5. Liczba wymian powietrza wentylacyjnego n oraz wartości temperatury wewnętrznej T w funkcji grubości izolacji i parametru wwr, Orientacja E, wiatr przeciwny.

a) i b) – wartości minimalne; c) – wartości maksymalne.

Fig. 5. ACH (n) and the indoor temp. (T) at the at different value of insulation material and the wwr parameter. E orientation, opposing wind. a), b) – minimum; c) – maximum values.

6. PODSUMOWANIE

Zamieszczone w pracy wyniki obliczeń dotyczą izolowanego cieplnie budynku z naturalną wentylacją. W budynku zmieniany jest udział powierzchni przeszklenia w przegrodzie. Wartość tego udziału wyznacza parametr wwr. Podstawowymi wyróżnikami testowanego budynku są: parametr wwr, orientacja okien i tryb oddziaływania

wiatru. Wyniki symulacji numerycznych wskazują, że grubość warstwy docieplającej obudowę budynku ma bardzo niewielki wpływ, w porównaniu z powierzchnią przeszklenia, na intensywność przepływu powietrza przez budynek oraz wartość osiąganą temperaturę wewnętrzną. Przy izolacji powyżej 10 cm i udziale przeszklenia w powierzchni fasady powyżej 0,2, 0,25 ustalają się niemal stałe temperatury i strumienie powietrza, niezależne od grubości izolacji cieplnej. Ich wartość zależy wtedy jedynie od powierzchni okna. Na poziom obu parametrów ma następnie wpływ trybu oddziaływania wiatru a następnie orientacja okien. Z zamieszczonej w poprzednim rozdziale analizie otrzymanych danych wynika, że istotne różnice w odniesieniu do izolacji cieplnej występują w charakterystykach ciepłoprzepływowych pomiędzy budynkami zaizolowanymi cieplnie i pozbawionymi izolacji, które wzniesiono w poprzednich dekadach. Nawet niewielki, poniżej $1\text{m}^2\text{K/W}$, wzrost oporu cieplnego, wzmacnia przepływ powietrza bo rośnie deficyt gęstości powietrza wentylacyjnego z racji obniżonych strat ciepła przez obudowę budynku. Oczywiście jednoczesny wzrost przeszklenia podnosi temperaturę wewnętrzną i strumień powietrza.

Wyliczone w testowanym budynku, przy przyjętych warunkach meteorologicznych, liczby wymian powietrza nie są w stanie zapewnić, w godzinach największego nasłonecznienia, komfortu cieplnego. Do poszerzenia informacji potrzebny jest model, który równie szybko pozwoliłby oszacowywać temperaturę osiąganą w pomieszczeniu. Natomiast wskazanie trwania okresów dyskomfortu wymaga pełnej analizy przebiegów dobowych strumieni powietrza i temperatury wewnętrznej. Jeśli okresy niekorzystnej temperatury trwają krótko to może należy je zaakceptować, jeśli dłużej można wtedy wprowadzić elementy wentylacji hybrydowej lub tylko skuteczne zacienienie.

Dla standardowego budynku powinna istnieć możliwość szacowania warunków komfortu cieplnego za pomocą prostego narzędzia które rozszerzy zakres czułych informacji.

THE REGRESSION MODEL TO ESTIMATE NATURAL AIR RATE EXCHANGE

Summery: The purpose of this work was to investigate the intensity of natural air exchange when a value of thermal resistant for outside walls is being increased together with the increase of the window's surface. To obtain higher thermal resistant the outside partition were covered with insulating material subsequently from 3 to 30 cm. Window surface to wall surface ratio (wvr) was changing from 5% to 50%. The window's test surface was facing east, south and west in turn while the wvr of the remaining orientations was kept at a constant 1/10 of the wall. Three forms of ventilation airflow were considered - with assisting and opposing winds and no wind appearance. The process was

examined in a single zone building, naturally ventilated, fitted with heat accumulating mass. The regression model was proposed to estimate ACH maximum and minimum values when the window's test surface was facing east, south and west in turn while the wvr of the remaining orientations is kept at a constant 1/10 of the wall.

Literatura

- [1] Bzowska D. *Dynamika procesów wymiany ciepła i naturalnej wymiany powietrza w budynkach o różnej strukturze materiałowej przegród*, Prace IPPT 2/2007.
- [2] Gasparella A., et al., *Analysis and modelling of window and glazing systems energy performance for a well insulated residential building*. Energy & Buildings 43 (2011) 1030-1037.
- [3] Grinning S., et al., *Windows in the building of tomorrow: Energy losers or energy gainers?* Energy & Buildings 61 (2013) 185-192.
- [4] Haim D., et al., *Optymalizacja fasad podwójnych pod kątem oszczędności energii i środowiska wewnętrznego*. Monografia, wydawnictwo PŁ, (2013).
- [5] Kim T., Todorovic M., *Tuning control of building glazing's transmittance dependence on the solar radiation wavelength to optimize daylighting and building's energy efficiency*. Energy & Buildings 63 (2013) 108-118.
- [6] Kisilewicz T., *Wpływ izolacyjnych, dynamicznych i spektralnych właściwości przegród na bilans cieplny budynków energooszczędnych*. Monografia, wydawnictwo PK, 2008.
- [7] Leskvar V., Z., Premrov M., *An approach in architectural of energy-efficient timber buildings with a focus on the optimal glazing size in the south-oriented facade*. Energy & Buildings 43 (2011) 3410-3418.
- [8] Li Y., Delsante A., *Natural ventilation induced by combined wind and thermal forces*, Building and Environment, 36 (2001), 59-71.
- [9] Persson M., et al., *Influence of window size on the energy balance of low energy houses*. Energy & Buildings 38 (2006) 181-188.