

dr inż. Tomasz Kisilewicz*

Wieloparametrowe projektowanie wielkości okien w budynkach energooszczędnych

Bardzo istotne dla późniejszego użytkownika budynku decyzje, dotyczące wielkości przeszklenia, są zwykle podejmowane na podstawie kryteriów estetycznych. Jedyny nieco bardziej obiektywny sposób wymiarowania okien obecny w polskich przepisach, to anachroniczny już dziś wskaźnik oświetleniowy, niezależny od właściwości budynku, orientacji oszklenia i jego przepuszczalności. Efektem energetycznym podejmowanych w ten sposób decyzji może być zwiększone zapotrzebowanie na energię konwencjonalną, słabe wykorzystanie dostępnej energii słonecznej, często połączone z niezwykle uciążliwym, okresowym przegrzewaniem pomieszczeń.

Analizy symulacyjne, które autor wykonuje od kilku lat, mają na celu poznanie mechanizmu biernego pozyskiwania energii słonecznej i sprecyzowanie zasad projektowania energooszczędnych budynków w polskich warunkach klimatycznych. Budynki tego typu charakteryzują się znacznie większą, w porównaniu z budownictwem standardowym, wrażliwością na błędy projektowe w postaci np. nadmiernej powierzchni oszklenia. Znaczny udział energii słonecznej w ich bilansie cieplnym sprawia, że można uzyskać istotne oszczędności energii, ale jednocześnie łatwo doprowadzić do uciążliwego przegrzewania wnętrza i w efekcie zwiększonego zapotrzebowania na energię. Proste algorytmy obliczania zapotrzebowania na ciepło, jak np. w polskiej normie PN-02025 *Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego*, nie pozwalają na pełną ocenę faktycznego bilansu cieplnego budynków energooszczędnych i mogą prowadzić do błędnych wniosków dotyczących wykorzystania dostępnego promieniowania słonecznego. Algorytmy bardziej skomplikowane i dokładniejsze, np. z normy europejskiej PN-EN ISO 13790:2005 *Ciepłota właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zapotrzebowania na energię do ogrzewania*, służą natomiast do oceny zaprojektowanego rozwiązania, a nie do wskazania najkorzystniejszego rozwiązania. Potrzebne są więc relatywnie proste formuły, które – po uwzględnieniu niezbędnych informacji o projektowanym obiekcie – pozwolą uzyskać odpowiedź na pytanie, jak projektować, aby zminimalizować ogrzewanie konwencjonalne i utrzymać komfort cieplny we wnętrzu budynku w lokalnych warunkach klimatycznych. Narzędziem do tworzenia takich formuł może być program Energy Plus, który pozwala uzyskiwać całoroczne analizy symulacyjne, wykorzystujące godzinowy zbiór danych meteorologicznych. Symulacje umożliwiają dokład-

ne analizowanie charakteru zjawisk zachodzących w budynkach i formułowanie na tej podstawie uogólnionych reguł projektowych.

Zmienne niezależne decyzji projektowych

Należą do nich **właściwości nieprzezroczystej obudowy pomieszczenia, właściwości izolacyjne i spektralne oszklenia oraz straty ciepła przez wentylację**.

Przyjęto, że właściwości nieprzezroczystej obudowy pomieszczeń i wentylacyjnych strat ciepła charakteryzować będzie bazowy wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na energię E_{bas} dla budynku bez okien. W ten sposób można opisać ilościowo straty ciepła przez zewnętrzną powłokę budynku, nie znając jeszcze projektowanej powierzchni okien.

Ramy stolarki okiennej i drzwiowej powiększają straty ciepłe przez otwory, a nie są oczywiście źródłem zysków słonecznych, dlatego też w tworzonej formule projektowej poszukiwanym parametrem jest istotna dla bilansu energii powierzchnia oszklenia, a nie całkowita powierzchnia okna. Natomiast we współczynniku przenikania ciepła charakteryzującym oszklenie są uwzględnione straty ciepłe przez ramy (a także przez mostki cieplne powstające na obrzeżach zespolonych szyb).

Zabiegi modyfikujące właściwości oszklenia w różny sposób wpływają na izolacyjność termiczną związaną z przenikaniem ciepła i przepuszczalność poszczególnych zakresów promieniowania. Warstwy niskoemisyjne na powierzchniach szyb poprawiają izolacyjność termiczną i zmniejszają nieco przepuszczalność promieniowania. Z kolei warstwy spektralnie selektywne znacznie zmniejszają przepuszczalność promieniowania (tabela). Gazy inertne pomiędzy szybami obniżają przenikanie ciepła, lecz nie wpływają na przepuszczalność promieniowania. W efekcie możliwa jest sytuacja, w której dwa rodzaje oszklenia o tej samej lub zbliżonej izolacyjności termicznej mają silnie zróżnicowaną przepuszczalność spektralną. W celu uzyskania możliwie zwartej i prostej postaci formuły przyjęto, że właściwości okien są opisywane przy użyciu kombinacji (ilorazu lub iloczynu) dwóch parametrów: współczynnika całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego g przez oszklenie (odpowiednika SHGC) i uśrednionego współczynnika przenikania ciepła U . W wartości współczynnika g uwzględnić należy nie tylko właściwości szyb, ale także stopień ich ewentualnego zabrudzenia, obecność urządzeń do ochrony przeciwsłonecznej, zasłon oraz zacinienia okna przez elementy zewnętrzne.

* Politechnika Krakowska

Parametry oszklenia

Właściwości oszklenia	Rodzaj oszklenia			
	LE SS dwie szyby spektralnie selektywne + ksenon	LE jedna szyba zwykła i szy- ba nisko- emisyjna + ksenon	LE+ dwie szyby nisko- emisyjne + ksenon	LE Therm trzy szyby nisko- emisyjne + krypton
Konduktancja całego zestawu [W/(m²K)]	0,919	1,326	1,083	0,702
Współczynnik „g”	0,330	0,595	0,516	0,472
Przepuszczalność promieniowania słonecznego \perp^*	0,233	0,538	0,418	0,359
Przepuszczalność promieniowania widzialnego \perp^*	0,616	0,771	0,732	0,666
Absorpcja promieniowania ciepłego szyby z powłoką LE	0,03	0,10	0,10	0,10

* symbol „ \perp ” oznacza przepuszczalność promieniowania normalnego do płaszczyzny oszklenia

Postać formuły projektowej

Przedmiotem symulacji, służących do uzyskania danych do tworzenia formuły projektowej, była południowo-zachodnia, wydzielona strefa termiczna budynku o wymiarach w rzucie 5 x 5 m i wysokości kondygnacji 3 m. Na rysunku 1 pokazano jeden z wielu wykresów uzyskanych podczas analizowania różnych wariantów obliczeniowych. Dotyczy on obiektu o standardzie izolacyjnym budynku pasywnego, w którym zastosowano okna z oszkleniem typu LE Therm. Poszczególne punkty naniesione na wykres to, uzyskane z obliczeń symulacyjnych, wartości całorocznego zapotrzebowania na ogrzewanie przy skokowo modyfikowanej powierzchni południowego oszklenia. Natomiast krzywe na wykresie powstały przez regresję wielomianową (piątego stopnia) punktów uzyskanych z obliczeń symulacyjnych. Krzywa I odpowiada wnętrzu o bardzo małej pojemności cieplnej: tylko tynki gipsowe, krzywa VII to pomieszczenie bardzo masywne, z dodatkowymi wewnętrznymi ściankami akumulacyjnymi, a pozostałe krzywe to warianty pośrednie.

W przypadku oszklenia potrójnego wartości wskaźnika R_{wff} odpowiadającego minimum zapotrzebowania na ogrzewanie są duże. W pomieszczeniu bardzo masywnym (krzywe VI i VII) nie zostało osiągnięte minimum w rozpatrywanym przedziale. Jest to wynikiem relatywnie małej przepuszczalności trzech szyb i powłok niskoemisyjnych i w efekcie zmniejszonych zysków od promieniowania słonecznego.

Dane, stanowiące podstawę przybliżonej formuły projektowej, uzyskano przez systematyczne analizowanie 896 kombinacji następujących parametrów:

- siedmiu wariantów pojemności cieplnej;
- czterech rodzajów oszklenia: o właściwościach niskoemisyjnych i spektralnie selektywnych LE SS; niskoemisyjnego LE; niskoemisyjnego LE+ oraz trójszybowego niskoemisyjnego LE Therm;
- czterech wariantów izolacyjności termicznej obudowy i krotności wymian wentylacyjnych;

1) budynek standardowy: izolacja termiczna ścian zewnętrznych 15 cm, stropodachu 20 cm, krotność wymian wentylacyjnych 1/2 i 40% odzysk ciepła z powietrza wentylacyjnego;

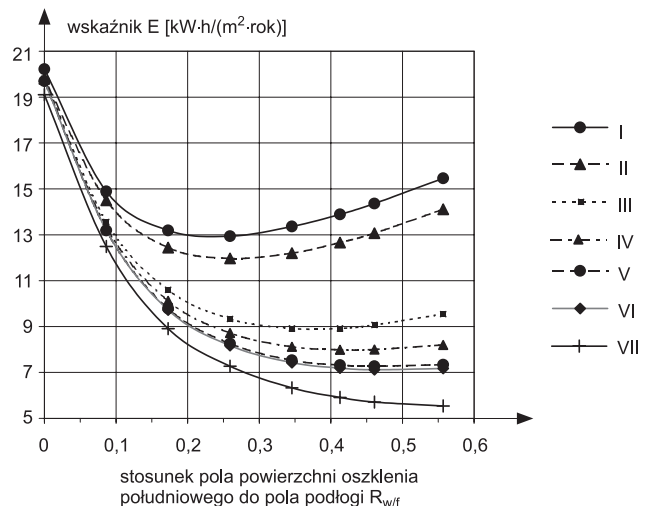
2) budynek o podwyższonej izolacyjności termicznej: izolacja termiczna ścian 20 cm, stropodachu 25 cm, wymiana wentylacyjna jak poprzednio;

3) budynek o bardzo wysokiej izolacyjności termicznej: izolacja termiczna ścian 40 cm, stropodachu 45 cm, wymiana wentylacyjna jak poprzednio;

4) budynek pasywny, grubość izolacji termicznej jak poprzednio, krotność wymiany wentylacyjnej 1/2 z 80% odzyskiem ciepła z powietrza wentylacyjnego;

• ośmiu wielkości oszklenia w południowej ścianie budynku: 2,16 m²; 4,32 m²; 6,48 m²; 8,64 m²; 10,32 m²; 11,52 m²; 13,92 m² oraz brak okien południowych.

Wyniki obliczeń odpowiadające zróżnicowanej powierzchni otworów przeszklonych zostały poddane regresji wielomianowej, a następnie na tej podstawie wyliczono wartości wskaźnika oszklenia $R_{wff,opt}$, którym odpowiada minimalne zapotrzebowanie na ogrzewanie konwencjonalne. Wskaźnik oszklenia to stosunek powierzchni szyb do pola powierzchni podłogi analizowanej strefy lub pomieszczenia. W kilku przypadkach oszklenia potrójnego (rysunek 1) uzyskano funkcję malejącą wewnątrz analizowanego przedziału powierzchni okien. Tych przypadków nie uwzględniono przy tworzeniu funkcji aproksymującej. W ten sposób otrzymano współrzędne 95 punktów, lokalnych optimum, należących do poszukiwanego obszaru rozwiązań. W następnym kroku konieczne było znalezienie takiej kombinacji funkcji, która możliwie dokładnie opisuje ten obszar. Ostateczna modyfikacja i weryfikacja poszukiwanych rozwiązań prowadzona była na podstawie oceny sumarycznego bezwzględnego błędu aproksymacji dla wszystkich punktów, maksymalnej względnej wartości błędu pojedynczego punktu i średniego błędu względnego. Współczynniki liczbowe rozwiązania końcowego wyliczono przy użyciu programu MNK (Metoda Najmniejszych Kwadratów). Uzyskane w ten sposób rozwiązanie ma postać:



Rys. 1. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania w zależności od wskaźnika przeszklenia i siedmiu wariantów pojemności cieplnej budynku (standard budynku pasywnego, oszklenie LE Therm wg tabeli)

$$R_{w/f, opt} = -1,31(\ln C_{aff} - 1,9) \times (1/E_{bas} - 0,089) + 3,58 (g/U)^2 - 3,6 (g/U) + 0,87 \quad (1)$$

w której:

$R_{w/f, opt}$ – optymalny ze względu na minimum zapotrzebowania na ogrzewanie wskaźnik **południowego** przeszklenia pomieszczenia;

C_{aff} – efektywna pojemność cieplna obudowy pomieszczenia odniesiona do pola powierzchni podłogi [$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];

E_{bas} – bazowy wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ogrzewanie dla pomieszczenia bez okien [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{r.})$];

g – współczynnik całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szyby

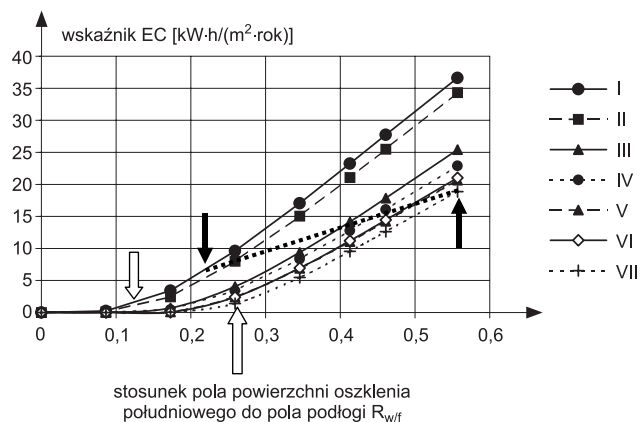
U – współczynnik przenikania ciepła przez okno [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$].

W związku z tym, że średni błąd względny aproksymacji jest dość duży, gdyż wynosi 11%, utworzona formuła może być traktowana jako sposób szacowania poszukiwanej powierzchni oszklenia. Równanie na $R_{w/f, opt}$ pozwala na wskazanie projektantowi powierzchni oszklenia skierowanego na **południe** (z niewielkimi, kilkunastostopniowymi odchyleniami), przy którym można uzyskać minimalne zapotrzebowanie na ogrzewanie konwencjonalne w nasłonecznionej strefie budynku. Zależności tej nie można odnosić do okien o innej orientacji niż południowa.

Korekta zalecanej powierzchni okien ze względu na przegrzewanie

Pojedyncze kryterium wymiarowania powierzchni okien nie gwarantuje koniecznej ochrony wnętrza przed przegrzewaniem, szczególnie istotnej w pomieszczeniach z oszkleniem o wysokiej izolacyjności termicznej. Konieczne jest więc wprowadzenie drugiego kryterium. Do ilościowego opisu przegrzewania wnętrza użyto wskaźnika EC, który określa sezonowe zapotrzebowanie na chłodzenie, odnoszone do jednostkowej powierzchni podłogi pomieszczenia i wynikające z przekroczenia maksymalnej dopuszczalnej temperatury powietrza wewnętrznego $+25^\circ\text{C}$.

Na rysunku 2 pokazano wartości wskaźnika EC w sezonie grzewczym dla wydzielonej strefy południowej budynku pasywnego z oszkleniem niskoemisyjnym o wysokiej izolacyjności termicznej. Czarne strzałki wskazują najkorzyst-



Rys. 2. Sezonowy wskaźnik zapotrzebowania na chłodzenie dla południowo-zachodniej strefy budynku pasywnego z oszkleniem niskoemisyjnym w zależności od wielkości oszklenia i pojemności cieplnej obudowy

niejsze, ze względu na ogrzewanie, proporcje oszklenia i podłogi dla skrajnych wariantów pojemności cieplnej obiektu.

Zastosowanie w projektowanym budynku najkorzystniejszych tylko ze względu na ogrzewanie wielkości przeszkleń prowadziłoby do znacznego przegrzewania wnętrza w okresie sezonu grzewczego. Wartość wskaźnika EC w przypadku pomieszczenia lekkiego mogłaby sięgnąć $7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{r.})$, a w przypadku pomieszczenia masywnego nawet $19 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{r.})$. Nominalna ilość energii, jaką należałoby usunąć z pomieszczenia w tym czasie, przekracza więc zapotrzebowanie na jego konwencjonalne ogrzewanie. Biorąc pod uwagę sprawność procesu chłodzenia, potrzebna do tego celu energia byłaby kilkakrotnie wyższa, co pozostaje w kompletnej sprzeczności z ideą radykalnego ograniczenia potrzeb energetycznych w budynku pasywnym. Tak więc odrzucając sztuczne chłodzenie budynku, a także stosowanie kosztownych i skomplikowanych ruchomych urządzeń zewnętrznych do zacięcia okien, należy zalecić ograniczenie powierzchni oszklenia. Zalecane, ze względu na przegrzewanie, graniczne wartości wskaźnika $R_{w/f}$ powinny wynosić od 0,12 w przypadku lekkiej obudowy i do 0,25 w przypadku obudowy masywnej (strzałki białe). Związane z nim niewielkie przegrzewanie wnętrza, o wartości do $2,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{r.})$, może być usunięte np. przez okresowe intensywniejsze wietrzenie, przez wewnętrzną wymianę ciepła pomiędzy strefami, czemu towarzyszyć będzie obniżenie zapotrzebowania na ogrzewanie, lub dzięki najprostszym, stałym urządzeniom zacięniającym.

W danych do tworzenia formuły projektowej dokonano korekty, która polega na zmniejszeniu wartości wskaźnika przeszklenia do takiego poziomu, aby związany z nim wskaźnik przegrzewania strefy nie przekraczał $2,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{r.})$. Całkowite wyeliminowanie przegrzewania nie jest konieczne, gdyż łatwo można wykazać, że wewnętrzna redystrybucja energii pozwala na wykorzystanie części ciepła pozyskiwanego w strefie południowej do ogrzewania innych stref. Możliwe jest także zastosowanie różnego rodzaju okresowych urządzeń i osłon zacięniających oraz zwiększonej wentylacji, pozwalającej na ochronę przed przegrzewaniem bez redukcji zysków cieplnych w okresie chłodnym.

Po przeprowadzonej w ten sposób korekcie danych otrzymano współrzędne 112 punktów należących do poszukiwanego obszaru rozwiązań. Liczba punktów jest większa niż poprzednio, gdyż dla wszystkich analizowanych kombinacji warunków brzegowych możliwe było określenie lokalnej wartości wskaźnika $R_{w/f, opt}$.

Zmodyfikowaną, ze względu na ochronę przed przegrzewaniem, postać formuły projektowej zawiera równanie:

$$R_{w/f, opt} = -1,14(\ln C_{aff} - 3,67) \times (1/E_{bas} - 0,0837) + 0,621 (g/U)^2 - 0,774 (g/U) + 0,318 \quad (2)$$

Mając do dyspozycji obydwie zależności, projektant może na podstawie równania pierwszego oszacować wartość wskaźnika przeszklenia $R_{w/f, opt}$ przy której zapotrzebowanie na ogrzewanie w tej części budynku będzie minimalne. Konieczne będzie przy tym jednocześnie przygotowanie rozwiązań i sposobów okresowej ochrony wnętrza przed przegrzewaniem lub jego czasowej wyłączenie z użytkowania. Natomiast korzystając z równania drugiego, projektant wyliczy pole powierzchni południowego oszklenia, przy

którym zapotrzebowanie na ogrzewanie będzie niskie (zwykle nie więcej niż 8 – 10% wyższe od minimalnego), a jednocześnie maksymalna temperatura w przejściowych okresach sezonu ogrzewczego nie powinna przekraczać 25 °C. W przypadku szyb o właściwościach zbliżonych do oszklenia spektralnie selektywnego wartości wskaźnika $R_{w,f,opt}$ wyliczone z obydwu wzorów będą równe lub bardzo podobne. Nieco większych różnic należy oczekiwać w przypadku zestawów dwukomorowych o wysokiej izolacyjności cieplnej. Jeśli projektowane jest intensywne pobieranie ciepła z części bezpośrednio nasłonecznionej i stałe rozpraszanie go po innych strefach, to powierzchnia oszklenia południowego może być dodatkowo powiększona o 10 – 15%. Dolna wartość wskazanego przedziału odpowiada lekkiej obudowie, a górna budynkom masywnym.

Zakres stosowania opracowanych formuł projektowych powinien być zbliżony do zakresu warunków branżowego pod uwagę podczas analiz symulacyjnych, np. istotne ograniczenia dotyczą właściwości oszklenia i wykluczają stosowanie najprostszyc zestawów o współczynniku przenikania powyżej 1,3 W/(m²·K), dla których straty ciepłe mogą przewyższać zyski. Stosowanie masywnych warstw akumulacyjnych grubości przekraczającej 20 – 25 cm praktycznie nie ma sensu, gdyż nie wpływa ani na wzrost rzeczywistej pojemności cieplnej obiektu, ani na decyzje projektowe.

Przykład wykorzystania formuły projektowej

Projektowany obiekt to wielorodzinny budynek mieszkalny, złożony z pięciu powtarzalnych kondygnacji. Pomieszczenia przylegające do południowej ściany budynku to jednakowe pokoje mieszkalne, pełniące funkcję pokoi dziennych o wymiarach 5 x 4 m i wysokości w świetle stropów 2,8 m (rysunek 3). Są one połączone ze strefą komunikacyjną mieszkań drzwiami szerokości 1,6 m i wysokości 2 m. Za pomocą opisanej formuły zaprojektowano pole powierzchni okien południowych w tych pokojach.

Przegrody. Budynek ma mieszaną murowo-żelbetową konstrukcję z poprzecznym układem ścian nośnych i następujące przegrody tworzące wydzielone strefy termiczne:

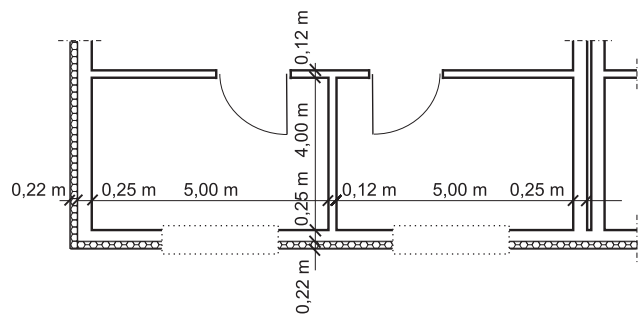
- ściany zewnętrzne z cegły ceramicznej pełnej grubości 25 cm, otynkowane od strony wnętrza tynkiem wapiennym grubości 2 cm, od zewnątrz ocieplone systemem BSO z użyciem styropianu odmiany EPS 70 – 040 i grubości 22 cm; współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej (bez uwzględnienia wpływu mostków cieplnych) wynosi 0,168 W/(m²·K);

- ściany pomiędzy mieszkaniami: jednostronnie otynkowane mury z cegły pełnej grubości 25 cm, rozdzielone izolacją akustyczną;

- ściany wewnętrzne działowe: cegła pełna 12 cm obustronnie otynkowana;

- strop międzykondygnacyjny: płyta żelbetowa grubości 15 cm, izolacja akustyczna grubości 3 cm, na izolacji podkład betonowy 4 cm i posadzka drewniana 2,5 cm, od spodu płyty żelbetowej tynk wapienny 2 cm;

- stropodach nad ostatnią kondygnacją: otynkowana od spodu płyta żelbetowa grubości 15 cm, izolowana styropianem odmiany EPS 100 – 038 grubości 34 cm; współczynnik przenikania stropodachu wynosi 0,109 W/(m²·K);



Rys. 3. Południowy fragment kondygnacji, dla której projektowana jest wielkość okien

- okna drewniane z dodatkowymi nakładkami izolacyjnymi, współczynnik przenikania ciepła ram wynosi 1,1 W/(m²·K), oszklenie trójszybowe z podwójną powłoką niskoemisyjną i argonem pomiędzy szybami; całkowita przepuszczalność promieniowania słonecznego przez szyby wynosi 41%, współczynnik przenikania ciepła oszklenia 0,88 W/(m²·K).

Wentylacja. Projektowana krotność wentylacyjnych wymian powietrza w budynku w systemie wymuszonym wynosi 0,7h⁻¹, a średnia sezonowa sprawność odzyskiwania ciepła z powietrza wentylacyjnego 75%.

Bazowy wskaźnik zapotrzebowania na ogrzewanie i pojemność cieplna. Wartość E_{bas} (sezonowego wskaźnika zapotrzebowania na ciepło dla pomieszczenia bez okien w odniesieniu do 1 m² pola powierzchni podłogi) ma następujące wartości:

- pomieszczenie brzegowe środkowej kondygnacji: 39,73 kWh/(m²·r.);

- pomieszczenie wewnętrzne środkowej kondygnacji: 30,35 kWh/(m²·r.),

- pomieszczenie narożne ostatniej kondygnacji: 50,63 kWh/(m²·r.).

Efektywna pojemność cieplna wszystkich pomieszczeń jest, ze względu na obecność masywnych warstw w ścianie dzielącej mieszkania i powtarzalną konstrukcję stropów, jednakowa i wynosi 1053 kJ/(m²·K).

Właściwości okien. W założeniach projektowych przyjęto, że współczynnik przenikania ciepła ram okiennych wynosi 1,1 W/(m²·K), oszklenia 0,88 W/(m²·K), a całkowita przepuszczalność promieniowania słonecznego przez oszklenie wynosi tylko 41%. Średnia wartość współczynnika $U_{o,sr}$ (przy 30% udziale ram w całkowitej powierzchni okna) będzie równa 0,95 W/(m²·K), a potrzebny do wyliczenia wskaźnika przeszklenia iloczyn przepuszczalności promieniowania i współczynnika przenikania ciepła:

$$g \cdot U = 0,41 \cdot 0,95 = 0,39 \text{ W/(m}^2\text{·K)}.$$

Obliczenia wskaźnika $R_{w,f,opt}$ są prowadzone iteracyjnie. W pierwszym kroku obliczeniowym powierzchnia oszklenia, potrzebna do obliczenia pojemności efektywnej, jest przyjmowana dowolnie i następnie weryfikowana. Dla wszystkich pomieszczeń przyjęto początkowo jednakową wartość wskaźnika oszklenia, równą 0,275.

Zalecana wartość wskaźnika przeszklenia $R_{w,f,opt}$. Na podstawie opisanej charakterystyki pomieszczeń wyliczono z zależności (2) zalecane wartości wskaźnika $R_{w,f,opt}$ dla poszczególnych pomieszczeń:

- pomieszczenie brzegowe środkowej kondygnacji: 0,330;

- pomieszczenie wewnętrzne środkowej kondygnacji: 0,299;

– pomieszczenie narożne ostatniej kondygnacji: 0,348.

W związku z tym, że wyliczone wartości odbiegają od przyjętych początkowo, obliczenia są powtarzane dla zmodyfikowanej pojemności cieplnej pomieszczenia (zmianie ulega jedynie pole powierzchni południowej ściany zewnętrznej). Efektywna pojemność cieplna zmodyfikowanej obudowy pomieszczenia brzegowego wynosi $C_{\text{aff}} = 1018 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, a poprawiona wartość wskaźnika: $R_{\text{wif,opt}} = 0,328$. Powtórzenie obliczeń nie spowodowało istotnej korekty wartości wskaźnika przeszklenia. Zalecane pole powierzchni wybranego rodzaju oszklenia (bez ram) powinno więc wynosić w takim pomieszczeniu $6,56 \text{ m}^2$. Poprawiona w podobny sposób wartość wskaźnika $R_{\text{wif,opt}}$ dla pomieszczenia środkowego wynosi 0,298, a dla pomieszczenia narożnego ostatniej kondygnacji 0,343.

Wyliczone wg formuły (2) wskaźniki przeszklenia mają duże wartości w porównaniu z wartością 0,125, zalecaną w polskich przepisach. Poza różnicami wynikającymi z genezy zaleceń, ta rozbieżność może być dodatkowo wyjaśniona małą przepuszczalnością promieniowania słonecznego przez trójszybowy zestaw okienny. Różnica między wartościami zalecanej powierzchni przeszklenia wynosi ok. 15% wartości mniejszej. Projektant architektury może na tej podstawie świadomie podjąć decyzję, zależnie od przyjętej hierarchii kryteriów i rozwiązań:

- jeśli decydującym kryterium dla przyszłego użytkownika budynku będzie oszczędność energii nieodnawialnej i jednocześnie ochrona wnętrza przed uciążliwym przegrzewaniem, to należy zastosować wyliczone wskaźniki przeszklenia;

- jeśli względy estetyczne lub wymagania formalne wymagają zastosowania jednakowej wielkości okien, to z uwagi na przegrzewanie powinny one mieć rozmiar odpowiadający najmniejszemu wskaźnikowi;

- jeśli na południowej elewacji budynku zastosowane będą elementy ochrony przeciwsłonecznej (w postaci np. płyt balkonowych, specjalnych urządzeń zacięniających, pergol itp.) lub aktywne sposoby ochrony przed przegrzewaniem, to zalecane wskaźniki przeszklenia, wyliczone z formuły (1), mogą być jeszcze większe i wynosić odpowiednio 0,404; 0,354 i 0,437.

Podsumowanie

Proces projektowania architektonicznego okien powinien być poprzedzony podstawowymi decyzjami konstrukcyjnymi oraz dotyczącymi ogólnej izolacyjności termicznej. Poprawnie zaprojektowane budynki energooszczędne mogą wykorzystywać dostępną energię słoneczną, ale są one również szczególnie wrażliwe na przewymiarowanie powierzchni okien południowych. Zbyt duża powierzchnia przeszklenia powoduje bowiem znaczny wzrost zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania; nawet kilkakrotny wzrost maksymalnej mocy instalacji ogrzewczej; okresowe, intensywne przegrzewania wnętrza i konieczność zastosowania systemu chłodzenia o dużej mocy i dużym zapotrzebowaniu na energię.

W projektowaniu budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię ogólny bilans cieplny budynku musi mieć istotny wpływ na decyzje architektoniczne dotyczące wielkości przeszklenia. Wymiarowanie okien powinno być zrealizowane **nie przed**, ale **po** sprecyzowaniu właściwości cieplnych przegród i zasad działania wentylacji oraz oszacowaniu bilansu cieplnego całego obiektu lub jego wybranych stref. Przyjęcie takiej procedury projektowej to szansa na racjonalne projektowanie i gospodarowanie energią, a jednocześnie na ochronę użytkowników budynku przed uciążliwymi warunkami we wnętrzu.

OD 1 STYCZNIA 2007 ROKU DZIAŁA PORTAL INFORMACJI TECHNICZNEJ

WWW.SIGMA-NOT.PL

NAJWIĘKSZA BAZA PUBLIKACJI TECHNICZNYCH ONLINE

Liniowe mostki cieplne – przykładowe wartości Ψ

(dokończenie ze str. 24)

W celu minimalizacji mostków liniowych i zmniejszenia strat ciepła przez przenikanie należy:

1) ocieplać min. 8 – 10 cm od wewnątrz ścianę na wysokości przestrzeni powietrznej w stropodachu wentylowanym lub ścianę attyki w dachu płaskim – stropodachu niewentylowanym, a także obustronnie płytę balkonową jako wspornik wypuszczony z wieńca;

2) znacznie lepiej jest projektować płytę balkonową o konstrukcji równoległej do ściany (na osobnej konstrukcji lub punktowych wspornikach stalowych) dla zapewnienia ciągłości ocieplenia ściany zewnętrznej;

3) w ścianie zewnętrznej okna lub drzwi montować najlepiej tak, aby ocieplenie zachodząc na ościeżnicę minimum 3 – 4 cm tworzyło węgarok wokół otworu, czyli stolarkę umieszczać w licu zewnętrznym ściany nośnej;

4) w przypadku np. montażu stolarki w środku ściany, zawsze wokół otworu wystające części zewnętrzne – nadproże, pionowe węgaraki oraz parapet – ocieplać min. 3 – 6 cm zbijając nawet stary tynk czy wycinając stary mur pod parapetem zewnętrznym;

5) na ścianach szczytowych poddaszy użytkowych najlepiej układać ocieplenie – na całej szerokości ściany na styku z połacią – o grubości równej wysokości przekroju krokwi i min. 12 cm, zaś w konstrukcji więźby dachowej – ze względu na krokwie i jętki lub kleszcze – zawsze dwuwarstwowo o łącznej grubości min. 25 cm.

UWAGA – Trzeba pamiętać o tym, że uwzględniając mostki cieplne nie można zapominać o zagrożeniu kondensacją – stąd Katalogi mostków oprócz wartości dla mostków punktowych χ lub liniowych Ψ podają również najniższą temperaturę powierzchni wewnętrznej θ w °C.

mgr inż. Andrzej Włodek