

OKREŚLANIE OPTYMALNEGO UDZIAŁU POWIERZCHNI PRZEGRODY PRZEZROCZYSTEJ W CAŁKOWITEJ POWIERZCHNI PRZEGRODY BUDOWLANEJ

M. Pomorski¹, S. Pietrowicz¹

1. Zakład Termodynamiki, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wrocławska

STRESZCZENIE

Ilość energii jaką należy dostarczyć do budynku na cele grzewcze wynika z różnicy pomiędzy stratami ciepła przez przegrody budowlane, ciepła użytego do podgrzania powietrza wentylowanego a zyskami ciepła wewnętrznymi oraz pochodzącymi od promieniowania słonecznego.

Przegrody przezroczyste są powierzchniami, które jednocześnie uczestniczą w stratach ciepła przenikającego na zewnątrz budynku jak i generują zyski ciepła pochodzącego od promieniowania słonecznego.

W niniejszym artykule przedstawiono metodę określania optymalnego udziału powierzchni przezroczystej w powierzchni przegrody budowlanej tak, aby uzyskać maksymalne wykorzystanie zysków ciepła pochodzących od promieniowania słonecznego.

WPROWADZENIE

Energetyka komunalna jest jednym z głównych konsumentów energii. Na ogrzewanie budynków w Polsce zużywane jest około 30% całkowitej ilości energii.

Ze względu na rosnące ceny energii coraz więcej uwagi poświęca się na zmniejszanie stopnia energochłonności budynków, tak aby ograniczyć koszty ich eksploatacji. Ilość ciepła, którą należy dostarczyć przez system grzewczy w sezonie grzewczym jest zależna m.in. od strat ciepła przenikającego przez przegrody zewnętrzne oraz od wartości zysków ciepła, wewnętrznych oraz pochodzących od promieniowania słonecznego. W chwili obecnej systemy izolacyjne stosowane w budownictwie charakteryzują się m. in. niskimi współczynnikami przenikania ciepła co związane jest jednocześnie ze zwiększeniem kosztów inwestycyjnych. Celowe więc wydaje się przeanalizowanie możliwości wykorzystania słonecznych zysków ciepła w budownictwie w generalnym bilansie cieplnym budynków. Jednym ze sposobów związanych z zagospodarowaniem energii słonecznej jest wykonywanie w budynkach przegród przezroczystych, w taki sposób aby optymalnie wykorzystać powierzchnię przegród.

WYMAGANIA STAWIANE PRZEGRODOM PRZEZROCZYSTYM W BUDOWNICTWIE

Przegrody przezroczyste w budynkach, do których zalicza się szklane ściany, okna, świetliki itp., są powierzchniami, przez które tracony jest strumień ciepła na zewnątrz budynku z drugiej zaś strony są pośrednio źródłem generującym zyski ciepła pochodzące od promieniowania słonecznego.

Polskie przepisy budowlane stawiają wymagania przegrodom przezroczystym w dwóch zagadnieniach:

1. Ochrony cieplnej budynków,
2. Zapewnienia odpowiedniego doświetlenia światłem naturalnym pomieszczeń przeznaczonych do stałego pobytu ludzi.

Zgodnie z warunkami technicznymi dla zapewnienia ochrony cieplnej budynków, przegrody przezroczyste powinny cechować się współczynnikiem przenikania ciepła U nie większym niż $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, a dla IV i V strefy klimatycznej nie większym niż $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dodatkowo w związku z oszczędnością energii, przepisy te definiują maksymalną powierzchnię przegrody przezroczystej. Dla budynków mieszkalnych o współczynniku przenikania ciepła nie mniejszym niż $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ jako funkcję pola powierzchni rzutu poziomego wszystkich kondygnacji:

$$A_{0\max} = 0,15A_z + 0,03A_w \quad (1)$$

gdzie:

A_z - suma pól powierzchni rzutu poziomego wszystkich kondygnacji nadziemnych (w zewnętrznym obrysie budynku) w pasie o szerokości 5 m wzdłuż ścian zewnętrznych,

A_w - suma pól powierzchni pozostałej części rzutu poziomego wszystkich kondygnacji po odjęciu A_z .

Wymagania dotyczące zapewnienia doświetlenia światłem dziennym pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi są zdefiniowane minimalną powierzchnią przegrody przezroczystej wynoszącą 1/8 pola powierzchni pomieszczenia.

Jak łatwo można zauważyć, aktualne przepisy techniczne stawiane budynkom nie uwzględniają w wymaganiach dla przegród przezroczystych takich zagadnień jak usytuowanie przegrody względem stron świata, kąta odchylenia od poziomu czy też przepuszczalności promieniowania słonecznego.

BILANS CIEPLNY PRZEGRODY BUDOWALNEJ

Energochłonność budynku, jak już wspomniano wcześniej, jest wyznaczana jako różnica strat ciepła przez przegrody oraz zysków ciepła. Zarówno straty jak i zyski ciepła są zależne od warunków atmosferycznych (temperatura zewnętrzna, nasłonecznienie). Straty i zyski ciepła wyznaczono zgodnie z metodologią podaną przez Ministerstwo Infrastruktury.

Miesięczne straty ciepła przez przegrody budynku zarówno przezroczyste i nieprzezroczyste można wyznaczyć z zależności:

$$Q_U(m) = [(U_{sc} A_{sc}) + (U_{ok} A_{ok})] (T_i - T_e(m)) Ld(m) t_d 10^{-3}, \text{ kWh/m-c} \quad (2)$$

lub w postaci jednostkowej:

$$q_U(m) = \frac{Q_U(m)}{A} = [(U_{sc} (1 - X_{ok})) + (U_{ok} X_{ok})] (T_i - T_e(m)) Ld(m) t_d 10^{-3}, \text{ kWh/m}^2\text{-m-c} \quad (3)$$

gdzie:

$Q_U(m)$ – miesięczne straty ciepła przez przegrodę, kWh/m-c,

$q_U(m)$ – jednostkowe miesięczne straty ciepła przez przegrodę, kWh/m²m-c,

U_{sc} – współczynnik przenikania ciepła przegrody nieprzezroczystej, W/m²K

U_{ok} – współczynnik przenikania ciepła przegrody przezroczystej, W/m²K

A_{sc} – powierzchnia przegrody nieprzezroczystej, m²

A_{ok} – powierzchnia przegrody przezroczystej, m²

A – pole powierzchni całej przegrody, m²

T_i – obliczeniowa temperatura wewnętrzna, K

$T_e(m)$ – średnia miesięczna temperatura powietrza zewnętrznego, K

$Ld(m)$ – liczba dni w miesiącu

t_d – liczba godzin w dobie, h

$X_{ok} = \frac{A_{ok}}{A}$ – udział pola powierzchni przegrody przezroczystej w polu powierzchni całej przegrody.

Miesięczną wartość zysków ciepła pochodzących od promieniowania słonecznego wyznaczamy z zależności:

$$Q_{sol}(m) = CA_{ok} I(m) g k_a Z, \text{ kWh/m-c} \quad (4)$$

lub w postaci jednostkowej:

$$q_{sol}(m) = CX_{ok} I(m) g k_a Z, \text{ kWh/m}^2\text{-m-c} \quad (5)$$

gdzie:

$Q_{sol}(m)$ – miesięczne słoneczne zyski ciepła, kWh/m-c,

$q_{sol}(m)$ – jednostkowe miesięczne słoneczne zyski ciepła, kWh/m²m-c,

C – udział powierzchni oszklenia w całkowitej powierzchni okna,

$I(m)$ – miesięczna wartość energii promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę pionową, kWh/m²m-c,

g – współczynnik przepuszczalności energii promieniowania słonecznego przez oszklenie,

k_a – współczynnik korekcyjny dla okien połaciowych,

Z – współczynnik zacielenia,

Wielkość strat ciepła przenikającego przez przegrodę i zysków ciepła od promieniowania słonecznego w ciągu sezonu grzewczego wyznaczamy odpowiednio z zależności:

$$Q_{\lambda} = \sum_{m=IX}^V Q_{\lambda}(m), \text{ kWh/a} \quad (6)$$

$$Q_{sol} = \sum_{m=IX}^V Q_{sol}(m), \text{ kWh/a} \quad (7)$$

Ilość ciepła, którą należy dostarczyć do budynku w trakcie sezonu grzewczego jest wyznaczona jako różnicę strat i zysków ciepła pomniejszonych o sprawność ich wykorzystania:

$$\Delta Q = Q_{\lambda} - \eta(Q_{sol} + Q_i), \text{ kWh/a} \quad (8)$$

lub w postaci jednostkowej:

$$\Delta q = q_{\lambda} - \eta \left(q_{sol} + \frac{Q_i}{A} \right), \text{ kWh/m}^2\text{a} \quad (9)$$

gdzie:

Q_i – wewnętrzne zyski ciepła, kWh/a,

η – sprawność wykorzystania zysków ciepła,

Po założeniu całkowitego wykorzystania zysków ciepła ($\eta=1$) oraz uwzględnieniu niezależności wewnętrznych zysków ciepła od powierzchni oszklenia, zależność na roczne zapotrzebowanie na ciepło jednostkowe (odniesione do jednostki powierzchni przegrody zewnętrznej) można zapisać w postaci:

$$\Delta q + \frac{Q_i}{A} = \sum_{m=IX}^V [q_{\lambda}(m) - q_{sol}(m)] = \sum_{m=IX}^V \left\{ \left[[U_{sc} (1 - X_{ok}) + U_{ok} X_{ok}] (T_i - T_e(m)) Ld(m) t_d 10^{-3} \right] - [CX_{ok} I(m) g k_a Z] \right\} = \sum_{m=IX}^V \Delta q(X_{ok}), \text{ kWh/m}^2\text{a} \quad (10)$$

W niektórych miesiącach, przy pewnych udziałach powierzchni oszklonej w przegrodzie zewnętrznej budynku X_{ok} , zyski pochodzące od promieniowania słonecznego mogą być większe od strat ciepła przez przenikanie. Dla takiego przypadku za wartość zysków ciepła należy podstawiać wartość strat ciepła.

$$q_{\lambda}(m) - q_{sol}(m) = \sum_{m=IX}^V \max(\Delta q(X_{ok}), 0) \quad (11)$$

WYZNACZENIE OPTIMALNEGO UDZIAŁU PRZEGRODY PRZEZROCZYSTEJ W PRZEGRODZIE BUDYNKU

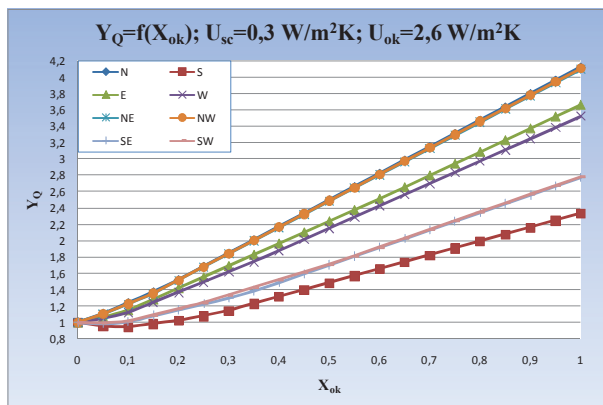
Wyniki obliczeń optymalnego udziału powierzchni przegrody przezroczystej w przegrodzie budynku przedstawiono we współrzędnych bezwymiarowych $Y_Q = f(X_{ok})$, gdzie:

$$Y_Q = \frac{\sum_{m=IX}^V \Delta q(X_{ok})}{\sum_{m=IX}^V \Delta q(X_{ok}=0)} \quad (12)$$

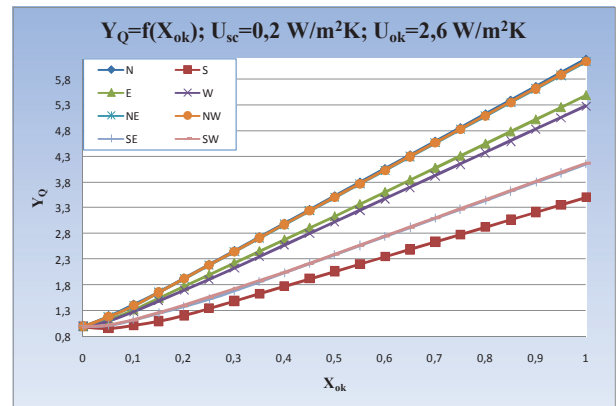
Obliczenia wykonano dla danych klimatycznych ze stacji meteorologicznej Wrocław, które pobrano ze strony Ministerstwa Infrastruktury. Przyjęto obliczeniową temperaturę wewnętrzną $T_i=20^\circ\text{C}$, średni udział oszklenia w powierzchni przegrody przezroczystej $C=0,7$, współczynnik zacielenie $Z=1$ oraz współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,75$.

Obliczenia przeprowadzono dla sezonu grzewczego trwającego w polskich warunkach od września do maja. Dla miesięcy maja i września, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, przyjęto odpowiednio 10 i 5 dni grzewczych.

Na poniższych wykresach przedstawiono względne straty ciepła przez przegrodę budowlaną w funkcji udziału przegrody przezroczystej dla różnych wartości współczynnika przenikania ciepła przegrody przezroczystej i nieprzezroczystej oraz różnych kierunków usytuowania przegrody.

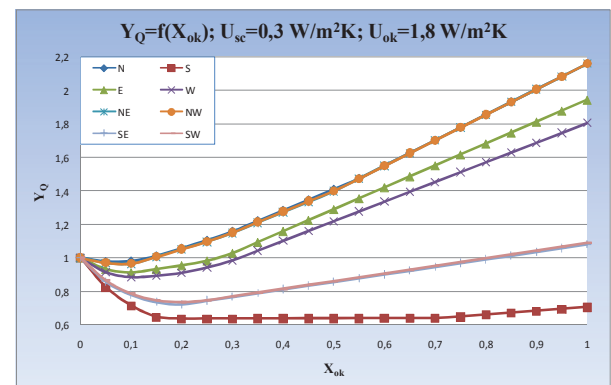


Rys. 1. Względne straty ciepła przez przegrodę budowlaną w funkcji udziału przegrody przezroczystej ($U_{sc}=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $U_{ok}=2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$)

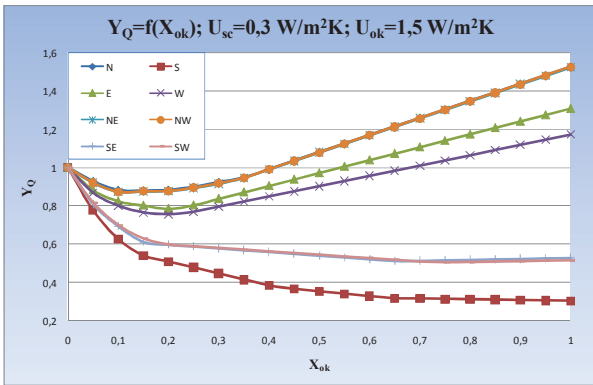


Rys. 2. Względne straty ciepła przez przegrodę budowlaną w funkcji udziału przegrody przezroczystej ($U_{sc}=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $U_{ok}=2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Z wyników przedstawionych na wykresach można zauważyć, że bilans cieplny przegrody budowlanej jest silnie zależny od parametrów termicznych elementów konstrukcyjnych przegrody, jej usytuowania względem stron świata oraz udziału powierzchni przezroczystej w całej ścianie. Ilość ciepła przekazywana przez taką przegrodę może być zarówno większa jak i mniejsza od ilości ciepła przekazywanego przez przegrodę nieoszkloną. Jak można zauważyć na rys. 1 i 2 dla $U_{ok}=2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła dla okien (w I, II i III strefie klimatycznej) obowiązująca przed 6 listopada 2008 r.) wraz ze wzrostem udziału powierzchni przezroczystej rośnie również ilość traconego ciepła. Tylko dla przegród usytuowanych w kierunku południowym otrzymuje się niewielkie minimum przy udziale okna ok. 5-10%. Największy wzrost strat ciepła obserwuje się dla przegród budowlanych usytuowanych w kierunku północnym.



Rys. 3. Względne straty ciepła przez przegrodę budowlaną w funkcji udziału przegrody przezroczystej ($U_{sc}=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $U_{ok}=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$)

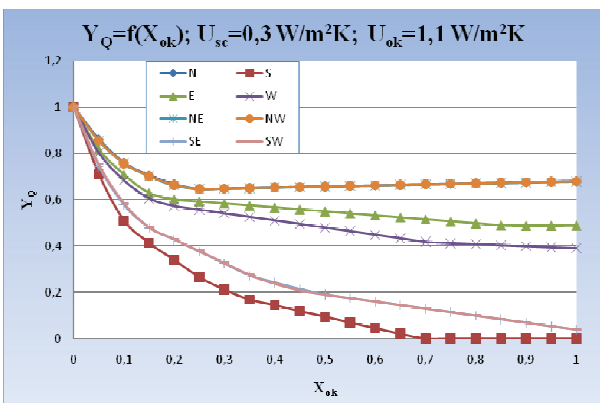


Rys. 4. Względne straty ciepła przez przegrodę budowlaną w funkcji udziału przegrody przezroczystej ($U_{sc}=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $U_{ok}=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$)

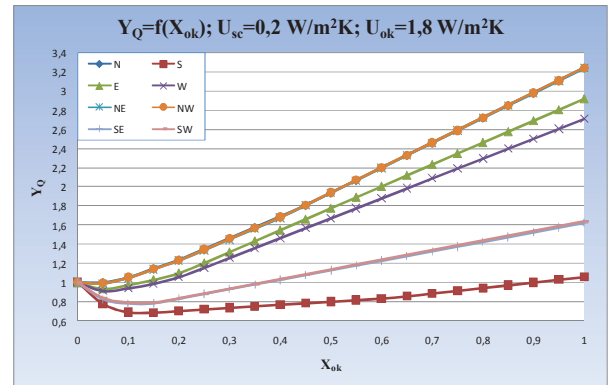
Dla obecnie obowiązujących wymagań termicznych dla okien ($U_{ok}<1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ dla I, II i III strefy klimatycznej) można zaobserwować przesunięcie minimum strat ciepła w kierunku większych udziałów przegrody przezroczystej- rys. 4, rys. 5, rys. 6, rys. 7, rys 8, rys.9. W przypadku przegród usytuowanych w kierunku południowym (przy pewnych warunkach termicznych przegrody) jest możliwość osiągnięcia zerowego bilansu ciepła tzn. sytuacji w której zyski ciepła pochodzące od promieniowania słonecznego w całym sezonie grzewczym są większe od strat ciepła – brązowa krzywa na rys. 5, 7, 8 i 9.

Przedstawione obliczenia nie uwzględniają analizy ekonomicznej, która odpowiedziałaby na pytanie czy zyski jakie osiągnie się w wyniku zmniejszenia strat ciepła zrekompensują w wystarczająco krótkim czasie zwiększone koszty poniesione na okna o większej powierzchni.

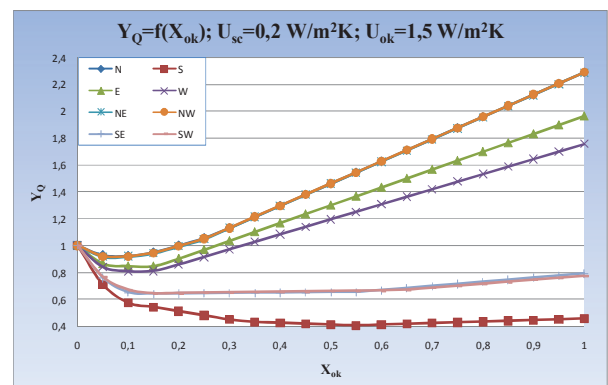
Nie uwzględniono również eksploatacji takich przegród w okresie letnim, kiedy to może dochodzić do przegrzewania pomieszczeń w wyniku dużego nasłonecznienia. Można to jednak zneutralizować poprzez zastosowanie rolet okiennych.



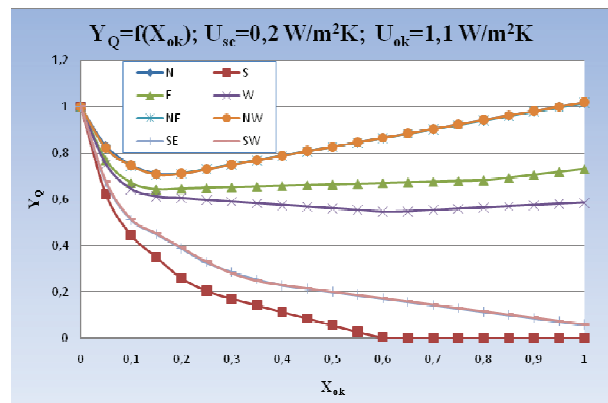
Rys. 5. Względne straty ciepła przez przegrodę budowlaną w funkcji udziału przegrody przezroczystej ($U_{sc}=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $U_{ok}=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$)



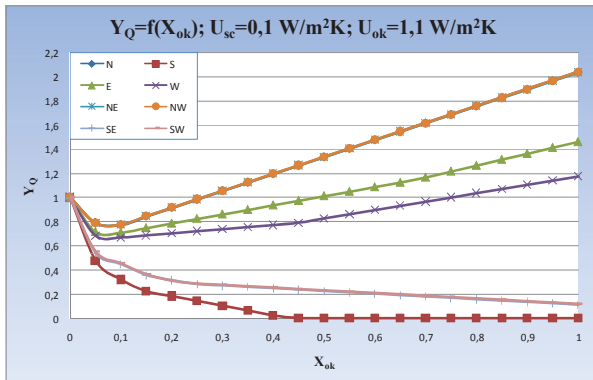
Rys. 6. Względne straty ciepła przez przegrodę budowlaną w funkcji udziału przegrody przezroczystej ($U_{sc}=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $U_{ok}=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$)



Rys. 7. Względne straty ciepła przez przegrodę budowlaną w funkcji udziału przegrody przezroczystej ($U_{sc}=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $U_{ok}=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$)



Rys. 8. Względne straty ciepła przez przegrodę budowlaną w funkcji udziału przegrody przezroczystej ($U_{sc}=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $U_{ok}=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$)



Rys. 9. Względne straty ciepła przez przegrodę budowlaną w funkcji udziału przegrody przezroczystej ($U_{sc}=0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $U_{ok}=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$)

WNIOSKI

Przedstawione obliczenia pokazują, że istnieje potrzeba określenia dopuszczalnych powierzchni okien w zależności od ich parametrów termicznych i usytuowania względem stron świata.

Jak wykazały obliczenia dla pewnych warunków istnieje optymalny udział powierzchni oszklonej w całkowitej powierzchni ściany. Z chwilą pojawiania się coraz nowszych technologii ograniczających koszty inwestycyjne, przy jednoczesnym niskim współczynniku przewodzenia ciepła wydaje się celowe indywidualne podejście do każdego projektu.

Przygotowany artykuł może być poradnikiem dla projektantów budynków pomocnym w trakcie określania optymalnej powierzchni okien.

LITERATURA CYTOWANA

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków, www.mi.gov.pl/2-48203f1e24e2f-1787735-p_1.htm