

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Zbigniew Owczarek*

METODA OBLICZANIA OPORU CIEPLNEGO ALUMINIOWYCH RAM OKIENNYCH Z WYKORZYSTANIEM MODELU O SKUPIONYCH PARAMETRACH CIEPLNYCH

Opór cieplny okna zależy od oporu cieplnego ramy, oporu cieplnego szyby oraz od liniowego współczynnika przenikania ciepła ψ styku szyby z ramą. Liniowy współczynnik ψ zmienia się w niewielkich granicach, opór cieplny szyby można obliczyć lub zbadać w aparacie płytowym, natomiast opór cieplny ramy określa się za pomocą kosztownych badań metodą skrzynki grzejnej lub oblicza przy zastosowaniu specjalistycznych programów komputerowych. Okazuje się, że w przypadku aluminiowych ram okiennych obliczanie ich oporu cieplnego można znacznie uprościć, wykorzystując model o skupionych cechach cieplnych. Za pomocą tego modelu sformułowano proste zależności matematyczne z dostateczną dokładnością. W odniesieniu do ram okiennych najczęściej stosowanych w budownictwie podano wzory końcowe, pozwalające na wykonanie obliczeń przy zastosowaniu podręcznego kalkulatora. Końcowe zależności metody uproszczonej zweryfikowano za pomocą obliczeń komputerowych oraz badań metodą ochronnej skrzynki grzejnej (GHB).

1. Wprowadzenie

Okna są elementami przegród zewnętrznych budynków, przez które traci się dużo ciepła z pomieszczeń ogrzewanych. Znajomość ich współczynnika przenikania ciepła U jest niezbędna do obliczania mocy szczytowej systemu ogrzewczego i sezonowego zapotrzebowania na ciepło przy projektowaniu budynku.

Jeszcze 10–15 lat temu (zwłaszcza w Polsce i krajach Europy Środkowo-Wschodniej) w normach projektowania podawano współczynnik przenikania ciepła okien jako wartość stałą w odniesieniu do określonego materiału konstrukcyjnego ram (drewno, stal, beton) i konstrukcji okna, na przykład okna zespolonego, krosnowego itp. [1], [2], [3]. Było to uzasadnione dwoma grupami czynników:

1) czynnikami technicznymi, polegającymi na stosowaniu ograniczonego asortymentu materiałów i typizacją konstrukcji okien,

* dr inż. – adiunkt w ITB

2) czynnikami ekonomicznymi, to jest niskim kosztem energii i brakiem konkurencji rynkowej między producentami okien.

Obecnie takie podejście nie jest wystarczające ze względu na:

- wzrost kosztów ogrzewania budynków, czego wynikiem jest wzrost znaczenia problematyki ochrony cieplnej budynków oraz ograniczenia jednostkowych strat ciepła stawiane w przepisach,

- podaż nowych technologii i materiałów do wykonywania ram oraz szyb z powłokami niskoemisyjnymi,

- rynkową konkurencję producentów okien, którzy podają współczynnik przenikania ciepła jako istotny wyróżnik wyrobu.

Dlatego obecnie podaje się opór cieplny okien w odniesieniu do poszczególnych typów okien, określając go zwykle:

- za pomocą badań doświadczalnych w skrzynce grzejnej (Hot Box) [4]–[7], albo – w coraz większym stopniu

- za pomocą obliczeń komputerowych [8]–[16], jako zadania przewodzenia ciepła w obszarze o parametrach rozproszonych jedną z metod numerycznych, najczęściej MES.

Współczynnik przenikania ciepła okna U określa się z następującego wzoru:

$$U = \frac{U_{0S} A_S + \sum U_R A_R + \sum \Psi L}{A} \quad (1)$$

w którym:

U_{0S} – współczynnik przenikania ciepła w środkowej części szyby zespolonej (bez uwzględnienia wpływu mostków cieplnych, $W/(m^2 \cdot K)$,

A_S – pole powierzchni szyby, m^2 ,

U_R – współczynnik przenikania ciepła ramy, $W/(m^2 \cdot K)$,

A_R – pole powierzchni ramy, m^2 ,

Ψ – liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego na styku szyby z ramą, $W/(m \cdot K)$,

L – długość liniowego mostka cieplnego na styku szyby z ramą, m ,

A – pole całkowite powierzchni okna, m^2 .

Zakładając, iż opór cieplny ram okiennych R_R (U_R) jest znany, można określić współczynnik przenikania ciepła całych okien z oszkleniem – ze wzoru (1) – na podstawie przyjęcia z badań [21], [22], [23] lub obliczeń [24] wartości współczynnika przenikania ciepła centralnego pola powierzchni szyb U_{0S} oraz oszacowania i przyjęcia liniowego współczynnika przenikania ciepła układu ram i szyb Ψ zmieniającego się w niewielkich granicach.

Duża pracochłonność i koszt zarówno badań, jak i obliczeń komputerowych skłoniły – wśród innych [17] i [18] – także autora do poszukiwania uproszczonej metody oceny oporu cieplnego ram okiennych z zastosowaniem skupionych parametrów cieplnych, to jest dużych obszarów przewodzenia ciepła o równomiernym rozkładzie temperatury [19], [20].

2. Założenia metody uproszczonej

Zasadniczym założeniem metody uproszczonej jest zastąpienie modelu klasy *continuum* modelem o skupionych parametrach cieplnych, to jest o relatywnie dużych obszarach, charakteryzujących się wyrównaną temperaturą.

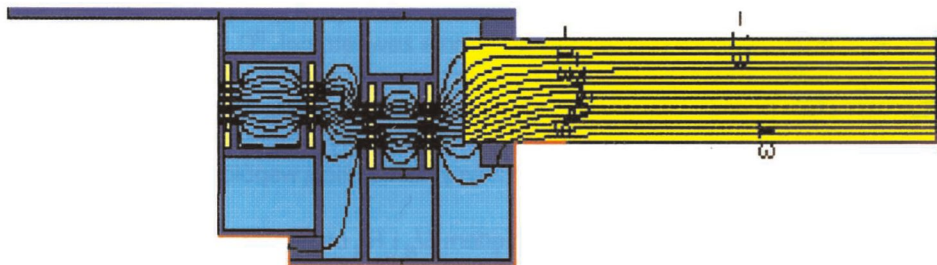
Założenie to postanowiono przyjąć przy opracowaniu dostatecznie dokładnej, uproszczonej metody obliczeń oporu cieplnego R_R i współczynnika przenikania ciepła U_R określonych klas ram okiennych z profili aluminiowych rozdzielonych przekładką termiczną.

Przedmiot badań ograniczono do ram okiennych aluminiowych ze względu na szczególne cechy tego materiału, bardzo dobrze przewodzącego ciepło, przy zastosowaniu którego oraz tzw. przekładek termicznych można uzyskiwać stosunkowo korzystne właściwości cieplne ram, ale przy bardzo różnorodnych obszarach przewodzenia ciepła.

W takich obszarach przewodzenia, o zróżnicowanej geometrii i przewodności cieplnej, obserwuje się (rys. 1):

- efekt wyrównania temperatury na grubości ścianki profili aluminiowych,
- występowanie gradientów temperatury tylko na wysokości przekładek termicznych i w niektórych przestrzeniach powietrznych ram okiennych,

co stwarza możliwość wyodrębnienia dużych obszarów o skupionych parametrach cieplnych.



Rys. 1. Przekrój przez ramę okienną
Fig. 1. Cross section through window frame

3. Uproszczona metoda obliczania oporu R_R i współczynnika przenikania ciepła U_R

Punktem wyjścia do poszukiwania uproszczonej metody obliczania współczynnika przenikania ciepła ram okiennych są zależności wynikające z przyjęcia wyrównanej temperatury na powierzchniach profili usytuowanych zarówno od strony ciepłej, jak i zimnej.

Do analizy przyjęto schemat obliczeniowy pokazany na rysunku 1, opisujący przenikanie ciepła przez ramę okienną o poszukiwanym oporze cieplnym R_R i wyrównanej temperaturze na powierzchni profili po stronie ciepłej i zimnej.

Z przyjętych założeń i warunków brzegowych wynika, że strumień ciepły Q , płynący przez 1 mb długości ramy, można zapisać następująco:

$$Q = h_{si}(t_i - \theta_i)A_i \quad (2)$$

$$Q = h_{se}(\theta_e - t_e)A_e \quad (3)$$

$$Q = \frac{(\theta_i - \theta_e)A_e}{R_R} \quad (4)$$

$$Q = U_R(t_i - t_e)A \quad (5)$$

gdzie: h_{si} – współczynnik przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej, $W/(m^2 \cdot K)$,
 h_{se} – współczynnik przejmowania ciepła po stronie zewnętrznej, $W/(m^2 \cdot K)$,
 A_i – pole rozwiniętej powierzchni ramy po stronie wewnętrznej, m^2 ,
 A_e – pole rozwiniętej powierzchni ramy po stronie zewnętrznej, m^2 ,
 A – pole powierzchni rzutu ramy po stronie wewnętrznej i zewnętrznej na płaszczyznę pionową, m^2 ,
 t_i – temperatura powietrza wewnętrznego, $^{\circ}C$,
 t_e – temperatura powietrza zewnętrznego, $^{\circ}C$,
 θ_i – temperatura profilu ramy po stronie wewnętrznej, $^{\circ}C$,
 θ_e – temperatura profilu ramy po stronie zewnętrznej, $^{\circ}C$,
 U_R – współczynnik przenikania ciepła ramy okna, $W/(m^2 \cdot K)$.

Równania (2) i (3) stanowią warunki brzegowe wymiany ciepła odpowiednio po stronie wewnętrznej i zewnętrznej, równanie (4) wynika z wykorzystania prawa Fouriera, równanie (5) jest zgodne z przyjmowaną tradycyjnie definicją współczynnika przenikania ciepła.

Rozwiązując układ równań (2)–(5) względem U_R i R_R otrzymujemy prostą zależność:

$$U_R = \frac{1}{\frac{A}{h_{si}A_i} + R_R + \frac{A}{h_{se}A_e}} \quad (6)$$

gdzie oznaczenia symboli – jak we wzorach (2)–(5).

Do zależności (6) wprowadza się uogólnienie polegające na uwzględnieniu różnego pola powierzchni rzutu ramy po stronie wewnętrznej i zewnętrznej na płaszczyznę pionową. Wówczas wzór (6) ma postać następującą:

$$U_R = \frac{1}{\frac{A_{ri}}{h_{si}A_i} + R_R + \frac{A_{re}}{h_{se}A_e}} \quad (7)$$

gdzie: A_{ri} – pole powierzchni rzutu ramy po stronie wewnętrznej na płaszczyznę pionową, m^2 ,

A_{re} – pole powierzchni rzutu ramy po stronie zewnętrznej na płaszczyznę pionową, m^2 ,

R_R – opór cieplny ramy okna, $(m^2 \cdot K)/W$,

U_R – współczynnik przenikania ciepła ramy okna, $W/(m^2 \cdot K)$.

Pozostałe oznaczenia jak we wzorze (6).

Tę prostą zależność (7) wykorzystuje się jako pierwsze przybliżenie w modelu przewodzenia ciepła o skupionych cechach cieplnych. Do obliczenia współczynnika przenikania ciepła ram okiennych ze wzoru (7) niezbędne jest określenie oporu cieplnego R_R .

W rozdziale 3 pracy [20] wyodrębniono najczęściej stosowane materiały i geometrię aluminiowych ram okiennych z przekładkami termicznymi. Następnie przeprowadzono analizę wrażliwości złożonego obszaru przewodzenia ciepła na zmiany cech cieplnych i geometrycznych podobszarów, takich jak:

- przestrzenie powietrzne zamknięte lub materiały izolacji cieplnej otoczone ściankami kształtowników aluminiowych,
- współczynnik λ , wymiary d i l przekładki termicznej oraz przedłużenie ościeżnicy l_1 (rys. 2),
- współczynnik emisyjności powierzchni ϵ ,
- współczynnik λ_1 materiału izolacji cieplnej wypełniającego kształtowniki oraz współczynnik λ_2 uszczelki,
- współczynnik λ w poszczególnych przestrzeniach powietrznych ram okiennych.

Z analizy tej wynika istotna wrażliwość złożonego obszaru przewodzenia ciepła ram okiennych na zmianę dużych wyodrębnionych podobszarów o skupionych cechach cieplnych:

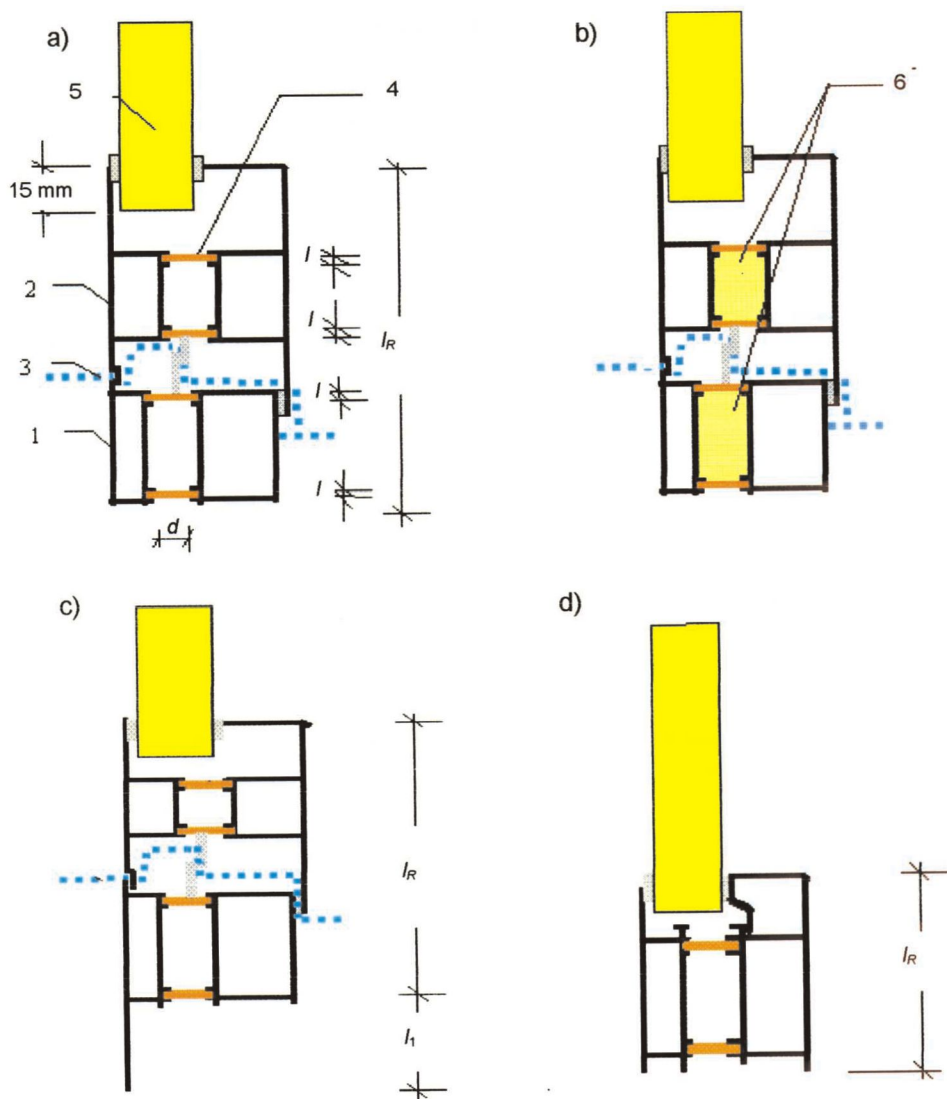
- przekładek termicznych (opór cieplny $R_m = d / \lambda$ i szerokość l) oraz
- ram (szerokość l_R wyrażona stosunkiem $\Sigma l / l_R$ – rys. 2).

4. Obliczenia komputerowe i analiza regresji uzyskanych wyników

Na podstawie przeglądu wielu dokumentacji technicznych różnych systemów aluminiowych ram okiennych, napływających do oceny w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB w zakresie izolacyjności cieplnej, wyodrębniono cztery schematy obliczeniowe:

- ram okien otwieranych (rys. 2a),
- ram okien otwieranych, tzw. docieplonych, to jest z materiałami wypełniającymi przestrzenie kształtowników między przekładkami termicznymi (rys. 2b),
- ram okien otwieranych z rozwiniętą zewnętrzną powierzchnią ścianki kształtownika ościeżnicy (rys. 2c),
- ram okien stałych (rys. 2d).

W odniesieniu do wymienionych czterech schematów obliczeniowych sformułowano zmienne oraz zakres ich zmienności, kierując się wynikami analizy wrażliwości obszaru przewodzenia ciepła przedstawionymi w p. 3.

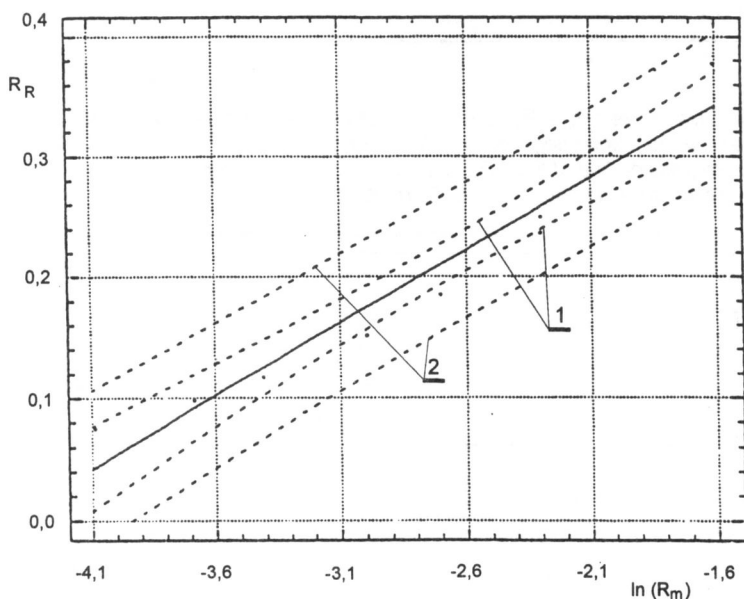


Rys. 2. Schematy obliczeniowe ram okiennych:
 a – otwieralnych, b – „docieplonych”, c – z rozwiniętą powierzchnią, d – nieotwieralnych
 Fig. 2. Calculation schemes of window frames:
 a – operable, b – with thermal insulation, c – with developed surface, d – fixed
 1, 2 – kształtownik ościeżnicy i skrzydła, 3 – linia oddzielająca ramę ościeżnicy i skrzydła,
 4 – przekładka termiczna o oporze cieplnym $R_m = d / l$, 5 – płyta kalibracyjna,
 6 – materiał termoizolacyjny, d, l – wysokość i szerokość przekładki termicznej,
 l_R – szerokość ramy okiennej, l_1 – przedłużenie ościeżnicy

Następnie wykonano wariantowe obliczenia komputerowe oporu cieplnego i przeprowadzono analizę regresji uzyskanych rezultatów za pomocą programu STATGRAPHICS [25]. Wyniki analizy pozwoliły na sformułowanie prostych wzorów do obliczania oporu cieplnego ram okiennych i drzwiowych R_R (tablica 1) lub odczytanie tego oporu z wykresów przedstawionych w pracy [20] oraz przykładowych podanych na rysunkach 3–6.

Z tych wzorów lub wykresów można korzystać wówczas, jeżeli:

- ramy okien mogą być sprowadzone do schematów obliczeniowych pokazanych na rysunku 2;
- współczynnik przewodzenia ciepła przekładek termicznych będzie się zawierał w granicach od 0,2 do 0,3 W/(m·K);
- współczynnik przewodzenia ciepła materiału termoizolacyjnego wypełniającego przestrzeń między przekładkami w profilach okiennych (rys. 2b) będzie się zawierał w granicach od 0,025 do 0,045 W/(m·K).

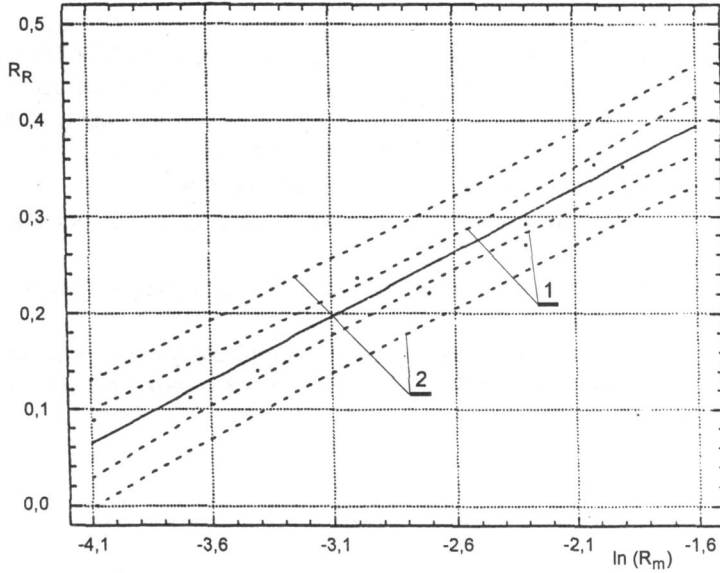


Rys. 3. Linia regresji $R_R \sim R_m$ ($\Sigma 1/I_R = 0,094$) w odniesieniu do schematu obliczeniowego pokazanego na rysunku 2a (tabl. 1)

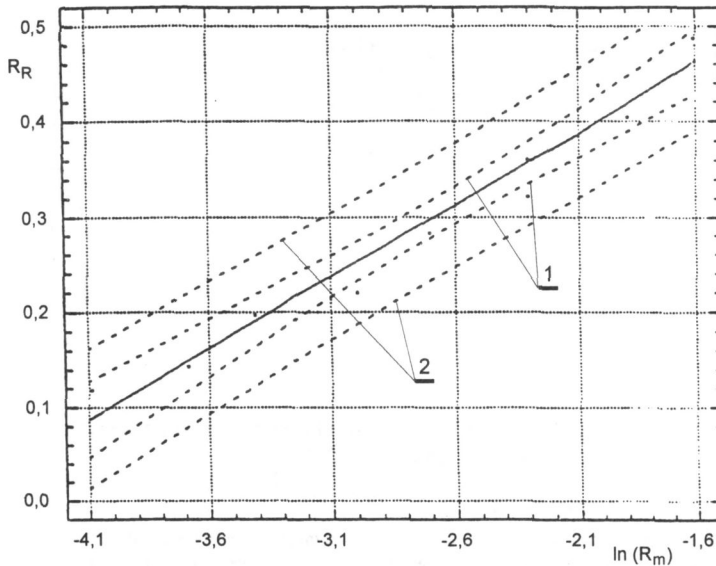
Fig. 3. Regression line of $R_R \sim R_m$ ($\Sigma 1/I_R = 0,094$) with reference to calculation scheme shown on fig. 2a (tabl. 1)

1 – krzywe wyznaczające 95-procentowy przedział ufności wartości średniej R_R w punktach o dowolnej wartości współrzędnej R_m , 2 – krzywe wyznaczające 95-procentowy przedział ufności R_R obejmujący całą linię regresji

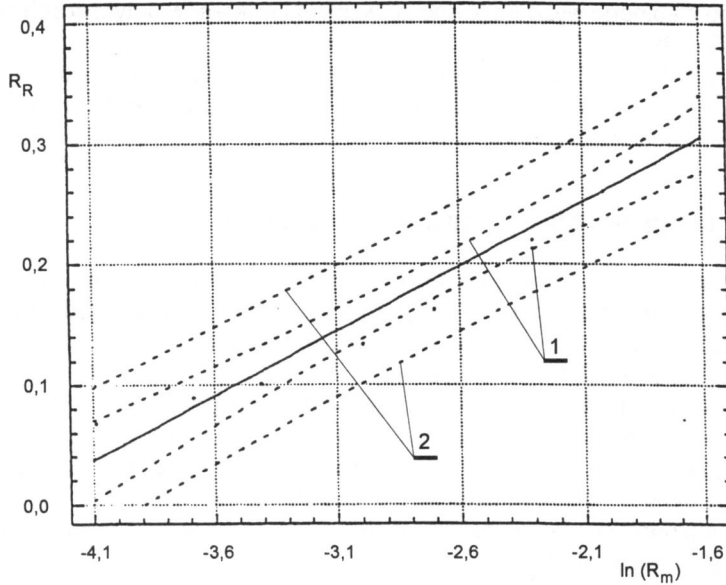
Objaśnienia dotyczą rysunków 3–6.



Rys. 4. Linia regresji $R_R \sim R_m$ ($\Sigma I / I_R = 0,188$) w odniesieniu do schematu obliczeniowego pokazanego na rysunku 2a (tabl. 1)
 Fig. 4. Regression line of $R_R \sim R_m$ ($\Sigma I / I_R = 0,188$) with reference to calculation scheme shown on fig. 2a (tabl. 1)



Rys. 5. Linia regresji $R_R \sim R_m$ ($\Sigma I / I_R = 0,282$) w odniesieniu do schematu obliczeniowego pokazanego na rysunku 2a (tabl. 1)
 Fig. 5. Regression line of $R_R \sim R_m$ ($\Sigma I / I_R = 0,282$) with reference to calculation scheme shown on fig. 2a (tabl. 1)



Rys. 6. Linia regresji $R_R \sim R_m$ ($\Sigma I / I_R = 0,376$) w odniesieniu do schematu obliczeniowego pokazanego na rysunku 2a (tabl. 1)
 Fig. 6. Regression line of $R_R \sim R_m$ ($\Sigma I / I_R = 0,376$) with reference to calculation scheme shown on fig. 2a (tabl. 1)

Tablica 1. Wzory określające opór cieplny ram okiennych

Schemat obliczeniowy wg	$\Sigma I / I_R$	Wzór
Rys. 2a	0,094	$R_R = 0,703 + 0,15 \ln(R_m)$
	0,188	$R_R = 0,607 + 0,132 \ln(R_m)$
	0,282	$R_R = 0,534 + 0,12 \ln(R_m)$
	0,376	$R_R = 0,478 + 0,108 \ln(R_m)$
Rys. 2b	0,094	$\Delta R_R = -0,024 + 0,72 R_m$
	0,282	$\Delta R_R = -0,007 + 0,19 R_m$
Rys. 2c	—	$\Delta R_R = 0$ oraz wzór (2)
Rys. 2d	0,073	$R_R = 0,732 + 0,149 \ln(R_m)$
	0,218	$R_R = 0,59 + 0,13 \ln(R_m)$

W przypadku ram okiennych z komorami wypełnionymi materiałem termoizolacyjnym trzeba najpierw obliczyć opór cieplny ramy bez tego materiału według rysunku 2a i dodać

przyrost oporu cieplnego wyznaczonego ze wzorów i wykresów dotyczących schematu według rysunku 2b.

Wpływ rozwiniętej powierzchni ościeżnicy, zgodnie z rysunkiem 2c, uwzględnia się obliczając opór cieplny, tak jak w odniesieniu do schematu obliczeniowego według rysunku 2a lub 2b, gdyż $\Delta R_R = 0$.

5. Porównanie wyników badań i obliczeń

W celu potwierdzenia prawidłowości wyników (współczynnika U_R) uzyskiwanych metodą uproszczoną, porównano je z wynikami obliczeń komputerowych oraz z wynikami badań [26] i [27] przeprowadzonych w powszechnie uznanym i znanym w świecie Institut für Fenstertechnik (IFT) w Rosenheim.

Należy zaznaczyć, iż w IFT badania przeprowadza się zgodnie z normą DIN [28], co nie pozwala na bezpośrednie porównanie wyników uzyskanych według dokumentów CEN i projektów norm ISO. Różnica polega głównie na innym zagłębieniu płyty kalibracyjnej w ramie okna w dokumentach CEN w stosunku do wymaganego w normie DIN.

Jednak w celu porównania z wynikami badań wykonanych w IFT przyjęto następujące postępowanie wariantowe:

a) za pomocą programu komputerowego THERM odwzorowano przekroje kształtowników ram okiennych zbadanych w IFT, a następnie obliczono współczynnik U_R i porównano z uzyskanym w badaniach;

b) postępowano tak jak w wariacie a), ale przy zagłębieniu płyty kalibracyjnej w ramie okiennej zgodnym z wymaganiami CEN;

c) postępowano tak jak w wariacie b), ale przy zwiększonej o 4 mm grubości płyty, to jest grubości odpowiadającej najczęściej stosowanym w Polsce szybom zespolonym o strukturze 4/16/4.

Sposobem uproszczonym obliczono współczynnik U_R i porównano uzyskany rezultat z obliczonymi według punktu b) i c).

Wyniki badań i obliczeń podano w tabelicy 2.

Z tabelicy 2 wynika, iż błąd względny nie przekracza:

- 7,8% – w przypadku porównania wyników obliczeń metodą komputerową i rezultatów badań uzyskanych w IFT metodą GHB,
- 2,4% – w przypadku porównania wyników obliczeń metodą komputerową i uproszczoną.

W skrajnym przypadku maksymalny błąd metody uproszczonej będzie sumą wymienionych wyżej błędów względnych metody komputerowej i uproszczonej, który nie przekracza około 10%. Niezależnie od przedstawionego porównania wyników badań i obliczeń wykonano symulację komputerową przepływu ciepła i obliczenie współczynnika U_R w odniesieniu do ram okiennych, które napłynęły do ITB w celu oceny w zakresie izolacyjności cieplnej. Wyniki obliczeń podano w tabelicy 3.

Z tabelicy 3 wynika, iż różnice względne między rezultatami uzyskanymi na podstawie obliczeń komputerowych oraz metodą uproszczoną nie przekraczają 10%.

Tablica 2. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła ram okiennych U_R

Rama okna	Współczynnik U_R , $W/(m^2 \cdot K)$ określony:			Błąd względny %
	wg badań IFT	za pomocą programu THERM	sposobem uproszczonym	
nr 1, wariant a	2,85	2,74	–	3,5
b	–	2,61	2,57	1,5
c	–	2,52		2,0
nr 2, wariant a	2,04	2,20	–	7,8
b	–	2,12	2,10	0,9
c	–	2,05		2,4

Tablica 3. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła ram okiennych U_R

Rama okna nr	Współczynnik U_R , $W/(m^2 \cdot K)$ określony:		Błąd względny, %
	za pomocą programu komputerowego	sposobem uproszczonym	
1	2,18	2,21	1,4
2	2,44	2,44	0,0
3	2,95	3,23	9,5
4	2,54 2,30	2,49	3,0 8,3
5	3,0	3,09	3,0
6	3,02	3,3	9,3
7	2,39	2,35	1,7
8	2,60	2,60	0,0
9	2,78	2,64	5,0

Wyniki badań i obliczeń zestawione w tablicach 2 i 3 świadczą o dostatecznej zgodności z wynikami uzyskanymi metodą uproszczoną.

4. Podsumowanie

1. Sformułowano metodę obliczania współczynnika przenikania ciepła ram okiennych z profili aluminiowych rozdzielonych przekładką termiczną z wykorzystaniem modelu o skupionych parametrach cieplnych, w postaci prostego algorytmu obliczeniowego.

2. Wykazano, że wzory są różne w odniesieniu do różnych stosowanych przekrojów ram okiennych. Wstępnie wyodrębniono 4 schematy z podziałem na określone klasy:

- schemat I opisujący okienne ramy otwieralne,
- schemat II opisujący ramy okienne otwieralne z materiałem izolacji cieplnej w profilach,
- schemat III opisujący ramy okienne otwieralne z rozwiniętą zewnętrzną powierzchnią ościeżnicy, który sprowadzono do schematu I pod warunkiem korzystania ze wzoru (2),
- schemat IV opisujący ramy okienne nieotwieralne.

3. Obliczenia komputerowe wykonane w odniesieniu do schematów ram oraz analiza wrażliwości obszarów przewodzenia na zmianę niektórych parametrów podobszarów umożliwiły znalezienie właściwego modelu obliczeniowego o skupionych cechach cieplnych.

4. O właściwym wyborze modelu świadczą wyniki analizy regresyjnej dotyczące uzyskania wysokich współczynników korelacji ($\geq 0,97$ w odniesieniu do schematu I, III i IV i zawierającymi się w granicach od 0,85 do 0,98 w odniesieniu do schematu II). Świadczy to również o bardzo małych odchyleniach wyników od zdefiniowanych linii regresji.

Porównanie z wynikami badań wykazało dostateczną zgodność rezultatów. Odchylenie względne nie przekraczało 10%.

W artykule wykorzystano fragmenty pracy doktorskiej autora, wykonanej w ramach tematu NF-27, finansowanego ze środków przeznaczonych na działalność statutową ITB. Promotorem pracy i kierownikiem naukowym tematu był prof. dr hab. inż. Jerzy Andrzej Pogorzelski.

Bibliografia

- [1] PN-74/B-03403 Współczynniki przenikania ciepła K dla przegród budowlanych
- [2] PN-82/B-02020 Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia
- [3] PN-91/B-02020 Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia
- [4] PN-EN ISO 8990 Izolacja cieplna. Oznaczanie właściwości związanych z przenikaniem ciepła w stanie ustalonym. Kalibrowana i ostonięta skrzynka grzejna
- [5] ISO/DIS 12567: 1998 Thermal performance of doors and windows – Determination of thermal transmittance by hot box method
- [6] prEN 12412-2:1999 CEN/TC 89 WG 7 N 26E Windows, doors and shutters – Determination of thermal transmittance by hot box method – Part 2: Frames
- [7] Procedura badawcza ITB nr LF-2 Oznaczanie oporu cieplnego okien lub fragmentów ścian w komorze klimatycznej
- [8] EN ISO 10211-1/1995 Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – General calculation methods
- [9] prEN 30077 CEN/TC 89 478E Windows, doors and shutters – Thermal transmittance – Calculation method, Part 2: Frames, 1995

- [10] prEN ISO 10077-2:1999 Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames
- [11] Program obliczeniowy Waebru v.5.0 Thermal Bridges Analysis. Autor: prof. dr Erich Panzhauser, Technische Universität Wien
- [12] Instrukcja: Physibel Software Guidelines, 1998
- [13] Frame 3.1: Manual for program that performs thermal analysis of window frames, Canada 1992
- [14] Program Description A PC program THERM 2.0 for Analyzing Two Dimensional Heat Transfer Through Building Products. Windows and Daylighting Group. Building Technologies Program. Environmental Energy Technologies Division. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley CA 94720 USA 1998
- [15] PN-EN ISO 6946 : 1998. Elementy budowlane i części budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Sposób obliczeń
- [16] Geryło R., Młodziński D., Pogorzelski J. A.: Wybrane problemy numerycznej symulacji pól temperatury w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 1 (113), 2000
- [17] DTU 1997 Regles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction. Cahier 2946
- [18] prEN ISO 10077-1: 1999 Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation thermal transmittance – Part 1: Simplified method. CEN/TC 89 N16E
- [19] Owczarek Z.: Metoda obliczania oporu cieplnego okien. Praca nauk.-bad. NF-27/99, ITB, Warszawa 1999
- [20] Owczarek Z.: Metoda obliczania oporu cieplnego aluminiowych ram okiennych z wykorzystaniem modelu o skupionych parametrach cieplnych (praca doktorska). Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2000, maszyn., biblioteka ITB
- [21] EN 674 Glass in building – Determination of thermal transmittance (U value). Guarded hot plate method
- [22] EN 675 Glass in building – Determination of thermal transmittance (U value). Heat flow meter method
- [23] prEN 1098: 1993 Measuring method for the determination of the thermal transmittance (U value) – Calibrated and guarded hot box method
- [24] EN 673 Glass in building – Determination of thermal transmittance (U value) – Calculation method
- [25] STATGRAPHICS Version 5: Program komputerowy – USA 1991
- [26] Gutachtliche Stellungnahme nr 402 15190/4 zum Prüfbericht nr 428 41067. Institut für Fenstertechnik, Rosenheim, Dezember 1994
- [27] PRÜFBERICHT 402 15190/3: Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Rahmen für Fenster zur Einstufung in die Rahmenmaterialengruppen nach DIN 4108 Teil 4 – Messung an Rahmen nach DIN 52 619 Teil 3. Institut für Fenstertechnik, Rosenheim, Juli 1994
- [28] DIN 52 619 Wärmeschutztechnische Prüfungen. Teil 3. Wärmedurchlaß-widerstandes und Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern. Messung an Rahmen

METHOD OF CALCULATIONS OF THERMAL RESISTANCE
OF ALUMINIUM WINDOW FRAMES USING MODEL
WITH CONCENTRATED THERMAL PARAMETERS

Summary

Thermal resistance of window depends upon thermal resistance of glazing and that of frame as well as upon linear thermal transmittance ψ of connection of glazing and frame. Linear thermal transmittance ψ varies in narrow limits, thermal resistance of glazing one can relatively simply calculate or test in Hot Plate apparatus, otherwise thermal resistance of frames is determined by relatively expensive tests using Hot Box or calculations using specialized computer programs. However, in case of aluminium window frames the calculation of their thermal resistance can be significantly simplified using model with concentrated thermal parameters. Using that model simple mathematical relationships have been formulated with sufficient exactness. For window frames most often met on the market the formulae fit for hand held calculator have been given. The simplified formulae have been verified with computer calculations and tests using guarded hot box (GHB).

Praca wpłynęła do Redakcji 19 II 2001