

Zbigniew Owczarek*

Robert Geryło**

OCENA PORÓWNAWCZA WYNIKÓW OBLICZEŃ I BADAŃ WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA OKIEN

W artykule przedstawiono wyniki badań 32 okien, przeprowadzonych w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB – na stanowisku skrzynki grzejnej oraz metodą obliczeń komputerowych dwuwymiarowego pola temperatury. Stwierdzono niewielkie różnice między wynikami pomiarów i obliczeń, pozwalające na uwierzytelnienie wyników badań przez obliczenia komputerowe i stosowanie ich w procesie aprobacyjnym.

1. Wprowadzenie

W latach 2004 i 2005 zrealizowano w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB temat badawczy NF-47 [1, 2] obejmujący ocenę porównawczą właściwości cieplnych okien, określonych metodą empiryczną oraz metodą komputerowych obliczeń dwuwymiarowego pola temperatury. Rozpatrywano:

- okna z ramami z kształtowników z PVC,
- okna z ramami z drewna,
- okna z ramami z kształtowników aluminiowych z przekładką termiczną.

Opis zastosowanych metod badań współczynnika przenikania ciepła: metody empirycznej – przy wykorzystaniu osłoniętej skrzynki grzejnej i metody komputerowych obliczeń dwuwymiarowego pola temperatury, zamieszczono w pracach [1] i [3]. Obie metody są przewidziane w projekcie zharmonizowanej normy europejskiej [4] z września 2005 r. dotyczącej okien i drzwi w zakresie określania i deklarowania wartości współczynnika przenikania ciepła.

Celem pracy badawczej było określenie porównywalności wyników badań tych samych wyrobów uzyskanych wymienionymi wyżej metodami i wskazanie czynników wpływających w istotny sposób na poziom ich zgodności. Ustalenia wykorzystano do uwierzytelnienia metody obliczeniowej.

W pracy [1] z 2004 r. przedstawiono wnioski z oceny porównawczej okien z ramami z kształtowników PVC oraz okien z ramami drewnianymi. Uzyskano zadowalającą zgod-

* dr inż. – adiunkt w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB

** mgr inż. – asystent w Zakładzie jw.

ność uzyskanych wyników obliczeń i pomiarów w przypadku okien z ramami z PVC, jeśli zaś chodzi o okna z ramami drewnianymi, stwierdzono potrzebę kontynuowania badań w 2005 r.

W 2005 r. rozpatrywano również okna z ramami z kształtowników aluminiowych z przekładką termiczną.

W niniejszym artykule przedstawiono wnioski z oceny porównawczej wyników obliczeń i pomiarów z 2005 r. oraz podsumowujące wnioski końcowe z realizacji tematu.

2. Przedmiot badań w 2005 r.

W roku 2005 do pomiarów i obliczeń wybrano okna referencyjne, czyli okna najczęściej stosowane w Polsce, o następującej charakterystyce:

- z ramami z drewna lub z ramami z kształtowników aluminiowych z przekładką termiczną,
- jednoramowe,
- jednorzędowe, dwudzielne, otwieralne, ze słupkiem stałym,
- nierozszczelnione i rozszczelnione,
- z szybami zespolonymi 4/16/4 lub 4/14/4, o różnej izolacyjności cieplnej oraz z płytami kalibracyjnymi zastępującymi oszklenie.

Badano okna z kompletnym wyposażeniem.

3. Wyniki pomiarów i obliczeń przeprowadzonych w 2005 r.

3.1. Zmierzony współczynnik przenikania ciepła U_g

Wyniki pomiarów współczynnika przenikania ciepła U_g (centralne pole powierzchni szyb zespolonych oraz zastępujących je płyt kalibracyjnych) zestawiono w tabelicy 1. Zostały one wykorzystane do obliczeń współczynników przenikania ciepła U_w , U_f , Ψ (współczynniki w odniesieniu do okien, ram oraz połączeń oszklenia z ramą, według opisu podanego w pracy [1] oraz w artykule [3]).

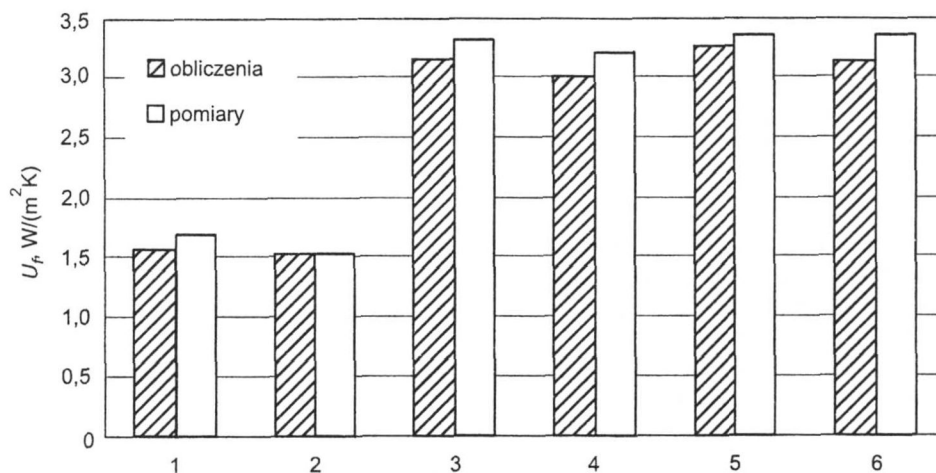
Tablica 1. Wyniki pomiarów współczynnika przenikania ciepła U_g
Table 1. Results of measurements of thermal transmittance U_g

Rodzaj okna	Współczynnik przenikania ciepła U_g , W/(m ² ·K)		
	szyba lub płyta kalibracyjna w skrzydle okiennym		
	lewym	prawym	średnio
Okno nr 21 wg tablicy 3, rozszczelnione	1,17	0,94	1,06
Okno jak nr 21 wg tablicy 3, z płytą styropianową zastępującą szybę	1,07	1,07	1,07
Okno jak nr 21 wg tablicy 3, nierozszczelnione	1,17	0,92	1,05

Okno jak nr 22 wg tablicy 3, nierozszczelnione	1,07	1,07	1,07
Okno dwudzielne nr 25 wg tablicy 3, rozszczelnione	1,52	1,55	1,54
Okno jak nr 25 wg tablicy 3, z płytą styropianową zastępującą szybę	1,10	1,10	1,10
Okno jak nr 25 wg tablicy 3, nierozszczelnione	1,49	1,52	1,505
Okno jak nr 26 wg tablicy 3, nierozszczelnione	1,10	1,10	1,10
Okno dwudzielne nr 29 wg tablicy 3, rozszczelnione	1,79	1,85	1,82
Okno jak nr 29 wg tablicy 3, z płytą styropianową zastępującą szybę	1,18	–	1,18
Okno jak nr 29 wg tablicy 3, nierozszczelnione	1,81	1,86	1,84
Okno jak nr 30 wg tablicy 3, nierozszczelnione	–	1,18	1,18

3.2. Zmierzony i obliczony współczynnik przenikania ciepła U_f

Wyniki pomiarów i obliczeń średnich wartości współczynnika przenikania ciepła U_f (współczynnik ramy okiennej) zestawiono na rysunku 1 oraz w tabelcy 2. W kolumnie 4 tabelcy 2 podano wartości względnej różnicy wyników obliczeń w odniesieniu do wartości uzyskanych w pomiarach.



Rys. 1. Porównanie wyników obliczeń komputerowych i pomiarów średniej wartości współczynnika przenikania ciepła U_f (ramy okien według opisu w tabelcy 2)

Fig. 1. Comparison of results of calculations and measurements of average thermal transmittance U_f value (window frames according to description in table 2)

Tablica 2. Wyniki pomiarów i obliczeń średniej wartości współczynnika przenikania ciepła U_f
 Table 2. Results of measurements and calculations of average thermal transmittance U_f value

Rodzaj ramy okiennej	Współczynnik przenikania ciepła U_f W/(m ² ·K)		Różnica względna %
	obliczony za pomocą programu BISCO [5] wg PN-EN ISO 10077-2	zmierzony wg PN-EN ISO 12567-1 [7] metodą „Hot Box”	
1	2	3	4
Rama okna rozszczelnionego nr 21 wg tablicy 3, z kształtowników drewnianych	1,56	1,68	7,1
Rama okna nierozszczelnionego nr 23 wg tablicy 3, z kształtowników drewnianych	1,53	1,52	0,7
Rama okna rozszczelnionego nr 25 wg tablicy 3, z kształtowników aluminiowych z przekładką termiczną	3,15	3,30	4,6
Rama okna nierozszczelnionego nr 27 wg tablicy 3, z kształtowników aluminiowych z przekładką termiczną	2,99	3,20	6,6
Rama okna rozszczelnionego nr 29 wg tablicy 3, z kształtowników aluminiowych z przekładką termiczną	3,24	3,33	2,7
Rama okna nierozszczelnionego nr 31 wg tablicy 3, z kształtowników aluminiowych z przekładką termiczną	3,13	3,33	6,0

Z tablicy 2 wynika, że różnice obliczonych i zmierzonych średnich wartości współczynnika przenikania ciepła U_f nie są duże:

- w odniesieniu do ram drewnianych różnice względne są równe 7,1% i 0,7%, tj. 0,12 W/(m²·K) i 0,01 W/(m²·K),
- w odniesieniu do ram z kształtowników aluminiowych różnice względne wynoszą od 2,7% do 6,6%, tj. od 0,09 W/(m²·K) do 0,21 W/(m²·K).

3.3. Zmierzony i obliczony współczynnik przenikania ciepła U_w

Wyniki pomiarów oraz komputerowych obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_w w odniesieniu do okien badanych w roku 2005 przedstawiono w zbiorczym zestawieniu zamieszczonym w tablicy 3 (okna od nr 21 do nr 32).

4. Zbiornicze zestawienie wyników współczynnika przenikania ciepła U_w

W tablicy 3 i na rysunku 2 przedstawiono względne różnice między wynikami obliczeń i pomiarów współczynnika przenikania ciepła U_w uzyskane w badaniach zrealizowanych w ramach tematu NF-47:

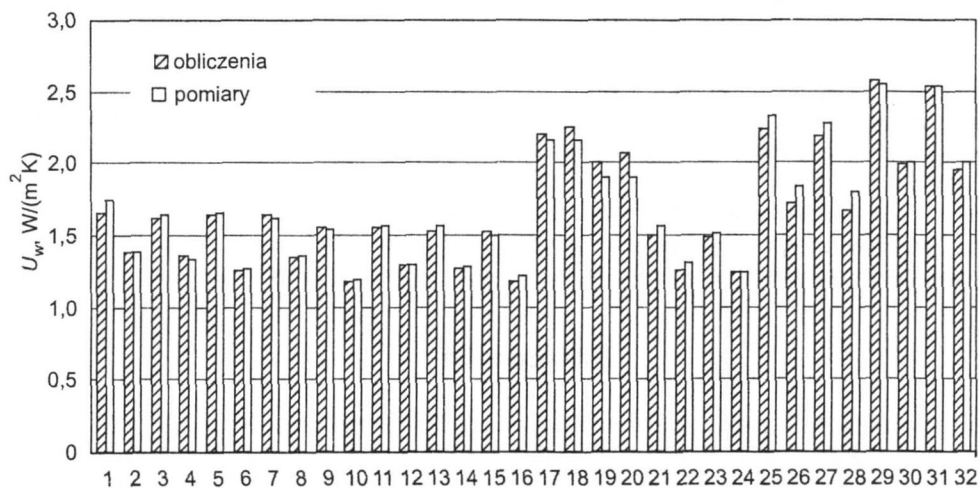
- w roku 2004 – okna od nr 1 do nr 20,
- w roku 2005 – okna od nr 21 do nr 32.

Tablica 3. Zbiornicze zestawienie wyników badań współczynnika przenikania ciepła U_w
Table 3. Test results of thermal transmittance U_w

Nr okna	Rodzaj okna	Rodzaj ramy okna	Współczynnik przenikania ciepła U_w , W/(m ² ·K)		Różnica względna %
			obliczenia komputerowe za pomocą programu BISCO [5]	miar wg PN-EN ISO 12567-1 [7] metodą „Hot Box”	
1	Okno jednorzędowe, dwudzielne, ze słupkiem stałym, otwieralne, rozszczelnione	3-komorowe kształtowniki PVC	1,65	1,75	5,7
2	Okno jak nr 1, z płytą styropianową zastępującą szybę	jw.	1,39	1,39	0,0
3	Okno jak nr 1, nierozszczelnione	jw.	1,62	1,64	1,2
4	Okno jak nr 2, nierozszczelnione	jw.	1,36	1,33	2,3
5	Okno jednorzędowe, dwudzielne, ze słupkiem stałym, nieotwieralne	jw.	1,64	1,66	1,2
6	Okno jak nr 5, z płytą styropianową zastępującą szybę	jw.	1,26	1,27	0,8
7	Okno jak nr 1, innego systemu	jw.	1,64	1,61	1,9
8	Okno jak nr 7, z płytą styropianową zastępującą szybę	jw.	1,35	1,36	0,7
9	Okno jak nr 5, innego systemu	jw.	1,55	1,54	0,6
10	Okno jak nr 9, z płytą styropianową zastępującą szybę	jw.	1,18	1,19	0,8

Nr okna	Rodzaj okna	Rodzaj ramy okna	Współczynnik przenikania ciepła U_w , W/(m ² ·K)		Różnica względna %
			obliczenia komputerowe za pomocą programu BISCO [5]	pomiar wg PN-EN ISO 12567-1 [7] metodą „Hot Box”	
11	Okno jednorzędowe, dwudzielne, ze słupkiem stałym, otwieralne, rozszczelnione	5-komorowe kształtowniki PVC	1,55	1,57	1,3
12	Okno jak nr 11, z płytą styropianową zastępującą szybę	jw.	1,29	1,29	0,0
13	Okno jak nr 11, nierozszczelnione	jw.	1,53	1,57	2,5
14	Okno jak nr 12, nierozszczelnione	jw.	1,27	1,28	0,8
15	Okno jednorzędowe, dwudzielne, ze słupkiem stałym, nieotwieralne	jw.	1,52	1,50	1,3
16	Okno jak nr 15, z płytą styropianową zastępującą szybę	jw.	1,18	1,22	3,3
17	Okno zespolone z drewna, $\lambda_{obl.} = 0,14$ W/(m·K)	kształtowniki drewniane	2,20	2,16	1,9
18	Okno jak nr 17, z drewna, $\lambda_{obl.} = 0,16$ W/(m·K)	jw.	2,25	2,16	4,2
19	Okno dwurzędowe z drewna meranti, $\lambda_{obl.} = 0,11$ W/(m·K)	jw.	2,00	1,90	5,3
20	Okno jak nr 19, z drewna meranti, $\lambda_{obl.} = 0,13$ W/(m·K)	jw.	2,07	1,90	8,9
21	Okno dwudzielne, ze słupkiem stałym, z drewna meranti, $\lambda_{obl.} = 0,15$ W/(m·K), rozszczelnione	jw.	1,50	1,56	3,8
22	Okno jak nr 21, z płytą styropianową zastępującą szybę	jw.	1,25	1,30	3,8
23	Okno jak nr 21, nierozszczelnione	jw.	1,49	1,51	1,3
24	Okno jak nr 22, nierozszczelnione	jw.	1,24	1,24	0,0

25	Okno dwudzielne, ze słupkiem stałym, rozszczelnione	kształtowniki aluminiowe z przekładką termiczną	2,24	2,33	3,9
26	Okno jak nr 25, z płytą styropianową zastępującą szybę	jw.	1,72	1,83	6,0
27	Okno jak nr 25, nierozszczelnione	jw.	2,18	2,27	4,0
28	Okno jak nr 26, nierozszczelnione	jw.	1,67	1,80	7,2
29	Okno dwudzielne, ze słupkiem stałym, rozszczelnione, innego systemu	jw.	2,57	2,55	0,8
30	Okno jak nr 29, z płytą styropianową zastępującą szybę	jw.	1,99	2,01	1,0
31	Okno jak nr 29, nierozszczelnione	jw.	2,54	2,54	0,0
32	Okno jak nr 30, nierozszczelnione	jw.	1,95	2,01	3,0



Rys. 2. Porównanie wyników obliczeń i pomiarów współczynnika przenikania ciepła U_w (32 okna według opisu w tabelicy 3: od nr 1 do nr 16 – ramy z kształtowników PVC, od nr 17 do nr 24 – ramy z drewna, od nr 25 do nr 32 – ramy z kształtowników aluminiowych z przekładką termiczną)
 Fig. 2. Comparison of results of calculations and measurements of thermal transmittance U_w (32 windows according to description in table 3: nr 1–16 – PVC window frames, nr 17–24 – wood frames, nr 25–32 – aluminum with thermal barrier frames)

5. Podsumowanie

1. Przeprowadzone obliczenia i pomiary wykazały następujące różnice między uzyskanymi wartościami współczynnika przenikania ciepła U_w :

– w odniesieniu do okien z ramami z PVC różnica względna wynosi 3,3%, tj. $0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i nie przekracza wartości niepewności złożonej pomiaru, wynoszącej około $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, przy czym nie stwierdzono występowania odchylenia systematycznego. Stwierdzono, że różnica względna w przypadku okien z PVC jest bardzo mała. Wyjątek stanowi jedno okno, w przypadku którego maksymalna różnica względna wynosi 5,7%, tj. $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Przekroczenie wartości niepewności złożonej pomiaru jest więc niewielkie i przypadkowe;

– w odniesieniu do okien z ramami z drewna maksymalna różnica względna nie przekracza 8,9%, tj. $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Zależy ona od przyjętej do obliczeń komputerowych wartości współczynnika przewodzenia ciepła drewna, dlatego niezbędne jest przyjmowanie do obliczeń komputerowych wartości współczynnika przewodzenia ciepła na podstawie wcześniej przeprowadzonych badań;

– w odniesieniu do okien z kształtowników aluminiowych z przekładką termiczną różnica względna nie przekracza 7,2%, tj. $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; do obliczeń konieczna jest identyfikacja rodzaju powierzchni kształtowników aluminiowych – widocznych oraz między przekładkami termicznymi – i przyjmowanie wartości emisyjności równej 0,9 w odniesieniu do powierzchni pokrytych lakierem, a 0,12 w odniesieniu do aluminium nie pokrytego lakierem, lub ewentualne określenie wartości współczynnika emisyjności powierzchni na podstawie wyników badań.

2. Różnice wyników uzyskanych metodą pomiarową i obliczeniową ocenia się jako niewielkie. Nie stwierdzono przy tym występowania odchyłek systematycznych, wymagających uwzględnienia na przykład w postaci odpowiednich mnożników. Z tego względu wyniki uzyskane metodą empiryczną przy wykorzystaniu osłoniętej skrzynki grzejnej i metodą komputerowych obliczeń dwuwymiarowego pola temperatury można traktować jako równorzędne.

3. Wyniki przeprowadzonych badań dowodzą, że właściwości cieplne okien i drzwi balkonowych mogą być określane w procesie aprobacyjnym (we wstępnych badaniach typu) przez obliczenia komputerowe, a nie tylko badania eksperymentalne.

Bibliografia

- [1] Owczarek Z., Geryło R.: Ocena porównawcza obliczeń i badań współczynnika przenikania ciepła okien. Praca badawcza ITB NF-47/04. Warszawa 2004, maszynopis, biblioteka ITB
- [2] Owczarek Z., Geryło R.: Ocena porównawcza obliczeń i badań współczynnika przenikania ciepła okien. Praca badawcza ITB NF-47/05. Warszawa 2005, maszynopis, biblioteka ITB
- [3] Owczarek Z., Geryło R.: Ocena porównawcza wyników obliczeń i badań współczynnika przenikania ciepła okien z profili PVC lub z drewna. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 4 (136), 2005
- [4] PrEN 14351-1:2005 Windows and external pedestrian doorsets. Product standard. Performance characteristic. Part 1: Product without fire and smoke related characteristic
- [5] Program komputerowy BISCO firmy PHYSIBEL, www.physibel.be

- [6] PN-EN ISO 10077-2:2005 Ciepłne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji. Obliczanie współczynnika przenikania ciepła. Część 2: Metoda komputerowa dla ram
- [7] PN-EN ISO 125671:2004 Właściwości cieplne okien i drzwi. Określanie współczynnika przenikania ciepła metodą skrzynki grzejnej. Część 1: Kompletnie okna i drzwi

COMPARATIVE EVALUATION OF RESULTS OF CALCULATIONS AND TESTS OF THERMAL TRANSMITTANCE OF WINDOWS

Summary

The paper shows the results of tests of 32 windows, obtained using existing in Thermal Physics Department: hot box apparatus and computer calculations of two-dimensional thermal field. Insignificant differences between results of measurements and calculations which have been found, allow to validate calculation results and to use them in approval procedure.

Praca wpłynęła do Redakcji 15 XII 2005