

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Zbigniew Owczarek*

Robert Geryło**

OCENA PORÓWNAWCZA WYNIKÓW OBLICZEŃ I BADAŃ WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA OKIEN Z Kształtowników PVC LUB Z DREWNA

Wartości współczynnika przenikania ciepła komponentów budynków określa się zwykle metodą skrzynki grzejnej lub metodą komputerowych obliczeń dwuwymiarowego pola temperatury. W przypadku okien, prEN 14351-1:2004 dopuszcza do stosowania obu metod jako równoważnych. Są jednak sygnały o rozbieżności wyników badań i obliczeń. Dlatego niezbędna jest ocena porównawcza wyników obliczeń i badań współczynnika przenikania ciepła różnych rodzajów okien z różnymi rodzajami oszklenia. W artykule przedstawiono wyniki badań 20 okien, uzyskane przy zastosowaniu istniejących w Zakładzie Fizyki Ciepłej: stanowiska skrzynki grzejnej według PN-EN ISO 8990:1998 i PN-EN ISO 12567-1:2002 oraz obliczeń z wykorzystaniem programu komputerowego. Stwierdzono małe różnice między wynikami badań i obliczeń.

1. Wprowadzenie

Istnieją różne metody określania współczynnika przenikania ciepła okien:

- badawcze,
- obliczeniowe.

Wśród metod badawczych wyróżnia się pomiar metodą osłoniętej skrzynki grzejnej według norm [1–4], a wśród metod obliczeniowych symulację komputerową dwuwymiarowego pola temperatury zgodnie z normami [5] i [6], przy zastosowaniu programów komputerowych [7], oraz metody uproszczone [8].

Projekt europejskiej normy dotyczącej okien [9] (prEN 14351-1 z kwietnia 2004 r.) dopuszcza wymienione metody badawcze i obliczeniowe jako równoważne w zakresie określania i deklarowania wartości współczynnika przenikania ciepła okien i drzwi zewnętrznych.

We wcześniejszych pracach, z lat 1993–2000 (amerykańskiej [10], polskiej [11], a szczególnie szwedzkiej [12]) wykazywano dostateczną zbieżność wyników badań kompletnych okien metodą skrzynki grzejnej z wynikami obliczeń komputerowych.

* dr inż. – adiunkt w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB

** mgr inż. – asystent jw.

Pojawiają się jednak sygnały o rozbieżności wyników badań i obliczeń, szczególnie po wprowadzeniu finalnych zmian do projektów, a następnie ustanowieniu norm europejskich w tym zakresie [1–6]. W 2002 r. w pracy [13], dotyczącej określenia współczynnika przenikania ciepła ram z PVC różnych systemów okiennych, stwierdzono występowanie różnicy wyników badań i obliczeń równej około $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. W związku z tym w Niemczech opracowano – wdrożone do praktycznego stosowania [14] – wytyczne [13] określania współczynnika przenikania ciepła ram okiennych z PVC w odniesieniu do poszczególnych systemów.

Prace [13] i [14] dotyczą tylko jednego z elementów składowych okien (ram), bez uwzględnienia wpływu oszklenia na właściwości cieplne kompletnych okien referencyjnych, określonych w projekcie normy [9].

Mając na względzie możliwość występowania różnic między wynikami badań i obliczeń, w ramach tematu badawczego NF-47 przewidziano analizę porównawczą tych wyników w odniesieniu do różnych rodzajów okien.

W 1. etapie tematu [15] przeprowadzono badania i obliczenia komputerowe współczynnika przenikania ciepła w odniesieniu do 20 referencyjnych, najczęściej stosowanych w Polsce okien o wymiarach około $1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$, tj. okien:

- szczelnych, rozszczelnionych, z nawiewnikiem i z różnym oszkleniem,
- z trój- i pięciokomorowych kształtowników PVC,
- z drewna iglastego lub z drewna meranti,
- jednoramowych lub zespolonych,
- jednorzędowych, dwudzielnych, otwieralnych, ze słupkiem stałym,
- jednorzędowych, dwudzielnych, nieotwieralnych, ze słupkiem,
- dwurzędowych z górnym rzędem nieotwieralnym i dolnym trójdzielnym z kwaterami stałymi i skrzydłem uchylno-rozwieralnym,
- z płytą kalibracyjną zastępującą oszklenie.

Okna i ramy okienne badano z kompletnym wyposażeniem. Badania i obliczenia wykonano korzystając z istniejącego w Zakładzie Fizyki Ciepłej zmodernizowanego stanowiska osłoniętej skrzynki grzejnej zgodnego z PN-EN ISO 8990:1998 [1], PN-EN ISO 12567-1:2002 [2], prEN 12412-2:1999 [3] i procedury badawczej ITB nr LF-11 [4] oraz z programu komputerowego [7].

2. Współczynnik przenikania ciepła określany empirycznie

Współczynnik przenikania ciepła okien U_m obliczono na podstawie danych wejściowych i pomiarowych (wg PN-EN ISO 12567-1 [2]) ze wzoru

$$U_m = \frac{q_{sp}}{\Delta\theta_n} \quad (1)$$

gdzie: $\Delta\theta_n$ – różnica temperatury środowiska po stronie ciepłej i zimnej wyznaczona zgodnie z aneksem A do PN-EN ISO 12567-1 [2], K, dla wyznaczonych w procesie kalibracji współczynników udziału konwekcji po stronie ciepłej i zimnej oraz dla danej wartości gęstości strumienia cieplnego q_{sp} ,

q_{sp} – gęstość strumienia ciepłego przepływającego przez okno, W/m^2 , wyznaczona z zależności

$$q_{sp} = \frac{\Phi_{in} - \Phi_{sur} - \Phi_{edge}}{A_{sp}} \quad (2)$$

gdzie: A_{sp} – powierzchnia okna, m^2 ,
 Φ_{in} – wartość strumienia ciepła wydzielonego w skrzynce grzejnej, W ,
 Φ_{sur} – wartość strumienia ciepła przenikającego przez ściankę otaczającą (maskę), W , wyznaczona z zależności

$$\Phi_{sur} = \frac{A_{sur} \Delta\theta_{s,sur}}{R_{sur}} \quad (3)$$

gdzie: A_{sur} – powierzchnia ścianki otaczającej (maski), m^2 ,
 $\Delta\theta_{s,sur}$ – różnica temperatury płyty otaczającej (maski) po stronie ciepłej i zimnej, K ,
 R_{sur} – opór cieplny maski przy danej średniej temperaturze, wyznaczony w procesie kalibracyjnym, $(m^2 \cdot W)/K$,
 Φ_{edge} – wartość strumienia ciepła przenikającego przez obszar brzegowy badanego okna, W , wyznaczona z zależności

$$\Phi_{edge} = L_{edge} \Psi_{edge} \Delta\theta_c \quad (4)$$

gdzie: L_{edge} – obwód badanego okna, m ,
 Ψ_{edge} – liniowy współczynnik przenikania ciepła, $W/(m \cdot K)$,
 $\Delta\theta_c$ – różnica temperatury powietrza po stronie ciepłej i zimnej, K .

Niepewność pomiaru współczynnika przenikania ciepła okna oblicza program komputerowy uwzględniający podstawowe niepewności składowe czujników i torów pomiarowych oraz niepewności wynikające ze stabilizacji warunków badania określonych podczas testowania i kalibracji stanowiska.

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe wyniki komputerowych obliczeń niepewności rozszerzonej bezwzględnej (dla poziomu ufności 90%) przy 5 wartościach współczynnika przenikania ciepła, w funkcji stosunku pola powierzchni próbki do pola powierzchni pomiarowej skrzynki grzejnej.

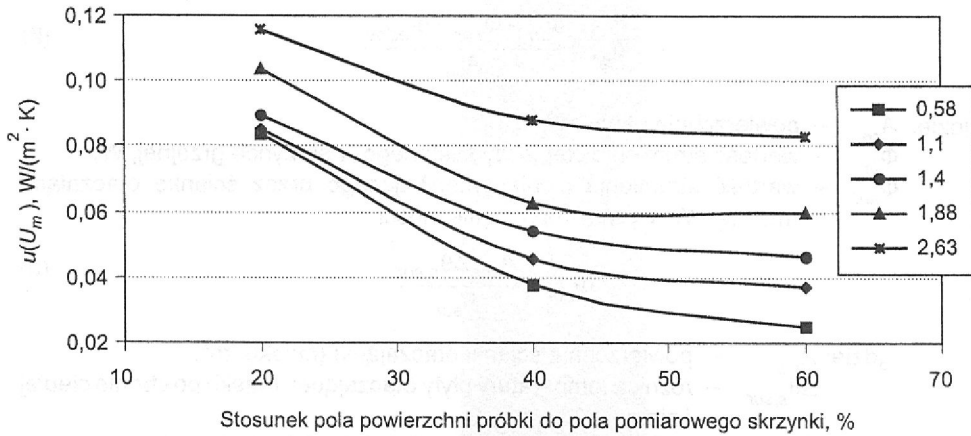
Znormalizowany współczynnik przenikania ciepła U_{st} obliczono ze wzoru

$$U_{st} = \left[U_m^{-1} - R_{s,t} + R_{(s,t)st} \right]^{-1} \quad (5)$$

gdzie: $R_{(s,t)st} = 0,17 (m^2 \cdot K)/W$ – normowy całkowity opór przejmowania ciepła,
 $R_{s,t}$ – całkowity opór przejmowania ciepła, $(m^2 \cdot K)/W$, odpowiadający mierzonemu współczynnikowi przenikania ciepła U_m , wyznaczony z danych kalibracyjnych w funkcji wartości gęstości strumienia ciepłego q .

Współczynnik przenikania ciepła ram okiennych zmierzono według procedury badawczej ITB LF-11 [4] (CEN/TC 89 795 E i prEN 12412-2 [3]). W tym celu szyby zespolone

w oknach zastępowano płytami kalibracyjnymi ze styropianu o znanym oporze cieplnym R_{fill} i tej samej grubości co szyby zespolone.



Rys. 1. Niepewność pomiaru $u(U_m)$ współczynnika przenikania ciepła
Fig. 1. Uncertainty of measurement $u(U_m)$ of thermal transmittance

Współczynnik przenikania ciepła $U_{m,t}$ okien z płytami kalibracyjnymi zmierzono zgodnie z PN-EN ISO 12567-1 [2], a następnie obliczono współczynnik przenikania ciepła ram U_f z następującego wzoru

$$U_f = \frac{U_{m,t} A}{A_f} - \frac{1}{R_{fill}} \frac{\Delta\theta_{s,fill} (A - A_f)}{A_f \Delta\theta_n} \quad (6)$$

- gdzie: $U_{m,t}$ – zmierzony współczynnik przenikania ciepła okna z płytą kalibracyjną, $W/(m^2 \cdot K)$,
 A – powierzchnia okna, m^2 ,
 A_f – powierzchnia ramy, m^2 ,
 R_{fill} – opór cieplny płyty kalibracyjnej, $m^2 \cdot K/W$
 $\Delta\theta_{s,fill}$ – różnica temperatury powierzchni płyty kalibracyjnej po stronie cieplej i zimnej, K ,
 $\Delta\theta_n$ – różnica temperatury środowiska po stronie cieplej i zimnej, K .

Liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ_g , charakteryzujący styk szyby z ramą, obliczono na podstawie wyników pomiarów ze wzoru (7), określającego współczynnik przenikania ciepła okna

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_r A_r + \Psi_g I_g}{A} \quad (7)$$

- gdzie: U_w – współczynnik przenikania ciepła okna, $W/(m^2 \cdot K)$,
 A – pole całkowite powierzchni okna, m^2 ,

- U_g – zmierzony współczynnik przenikania ciepła środkowej części szyby według norm [19] i [20], $W/(m^2 \cdot K)$,
- A_g – pole powierzchni, do której ma zastosowanie wartość współczynnika przenikania ciepła U_g , m^2 ,
- U_f – zmierzony współczynnik przenikania ciepła ramy, $W/(m^2 \cdot K)$,
- $A_f = A - A_g$ – pole powierzchni ramy okna, m^2 ,
- ψ_g – liniowy współczynnik przenikania ciepła w odniesieniu do mostka cieplnego na styku szyby z ramą okna, $W/(m \cdot K)$,
- l_g – długość, do której ma zastosowanie wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła ψ_g , m .

3. Współczynnik przenikania ciepła określany metodą obliczeń komputerowych

Obliczenia wartości strumieni ciepłych przepływających przez ramy z oszkleniem lub płytą kalibracyjną w przyjętych modelach obliczeniowych przeprowadzono zgodnie z PN-EN ISO 10211-1 [5].

W celu obliczenia pola temperatury w obszarze płaskim oraz strumienia ciepłego na brzegach tego obszaru, zastosowano program komputerowy BISCO firmy PHYSIBEL [7].

Zgodnie z PN-EN ISO 10077-1:2002 [8] współczynnik przenikania ciepła okna obliczono ze wzoru (7).

Wartości współczynników przenikania ciepła poszczególnych sekcji ramy obliczono, przyjmując model zgodny z EN ISO 10077-2 [6], w którym szybę zespoloną zastępuje się jednorodną płytą kalibracyjną o wartości obliczeniowej współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,035 W/(m \cdot K)$.

Wartość współczynnika U_f , zgodnie z EN ISO 10077-2 [6], obliczono ze wzoru

$$U_f = \frac{q_l}{\Delta\theta - U_p b_p} \cdot b_f \quad (8)$$

- w którym:
- q_l – liniowa gęstość strumienia ciepła, W/m ,
 - $\Delta\theta$ – różnica temperatury środowiska zewnętrznego (θ_e) i wewnętrznego (θ_i), K ,
 - U_p – współczynnik przenikania ciepła centralnej części płyty kalibracyjnej, $W/(m^2 \cdot K)$,
 - b_f – rzutowana na płaszczyznę równoległą do oszklenia szerokość sekcji ramy (z pominięciem widocznej powierzchni uszczelek przyszybowych), m ,
 - b_p – szerokość płyty kalibracyjnej (w świetle ramy), m .

W modelu obliczeniowym służącym do wyznaczania wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła ψ , charakteryzującego mostek cieplny powstający na połączeniu ramy z szybą zespoloną, w miejsce płyty kalibracyjnej występuje rzeczywiste oszklenie.

Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła obliczono według wzoru podanego w EN ISO 10077-2 [6]

$$\psi = \frac{q_l}{\Delta\theta} = U_f b_f + U_g b_g \quad (9)$$

w którym: U_f – współczynnik przenikania ciepła ramy, $W/(m^2 \cdot K)$,

U_g – zmierzony współczynnik przenikania ciepła centralnej części oszkle-
nia, $W/(m^2 \cdot K)$,

b_g – szerokość oszkle-
nia (w świetle ramy), m.

Do obliczeń przyjęto:

- wymiary wszystkich elementów występujących w przekrojach ram okien – na podstawie rysunków technicznych w postaci plików formatu DXF,
- wartości współczynnika przewodzenia ciepła w odniesieniu do materiałów oraz metodę obliczania zastępczej przewodności cieplnej szczelin powietrznych według EN ISO 10077-2 [6] i PN-EN ISO 6946:1999 [21] lub na podstawie pomiarów,
- wartości współczynnika przejmowania ciepła na powierzchniach zewnętrznej i wewnętrznej – według EN ISO 10077-2 [6], a obliczeniowe wartości temperatury środowiska wewnętrznego i zewnętrznego odpowiednio według PN-82/B-02402 [22] i PN-82/B-02403 [23] w odniesieniu do III strefy klimatycznej.

Wartości temperatury i współczynnika przejmowania ciepła w odniesieniu do płaskich powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej, przyjęte na podstawie wymienionych norm, wynoszą odpowiednio: $\theta_i = 20^\circ C$, $h_{si} = 7,7 W/(m^2 \cdot K)$ oraz $\theta_e = -20^\circ C$, $h_{se} = 25 W/(m^2 \cdot K)$.

4. Wyniki badań i obliczeń

4.1. Wyniki pomiarów wartości współczynnika U_g

Wyniki pomiarów wartości współczynnika U_g podano w tablicy 1.

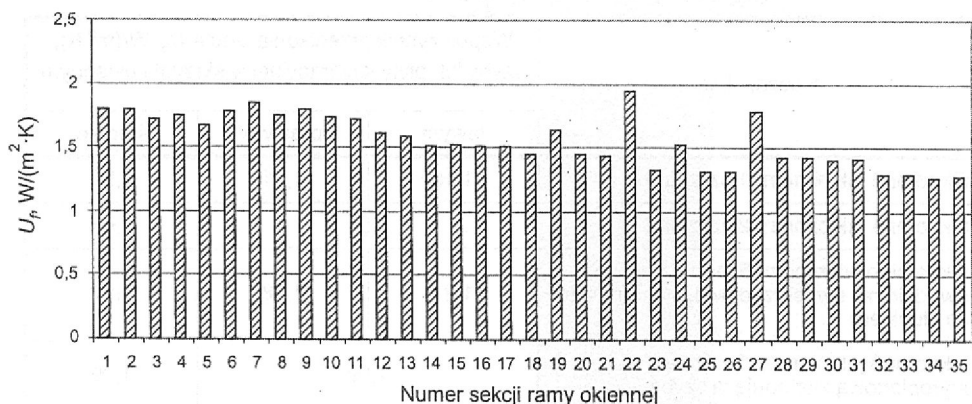
Tablica 1. Wyniki pomiarów współczynnika przenikania ciepła oszkle-
nia U_g oraz płyty kalibracyjnej
Table 1. Measurements results of thermal transmittance U_g of glazing and calibration panel

Rodzaj okna	Współczynnik przenikania ciepła U_g , $W/(m^2 \cdot K)$, szyby lub płyty kalibracyjnej w skrzydle okiennym		
	lewym	prawym	średnio
Okno rozszczelnione nr 1 jednorzędowe, dwudzielne, dwuskrzydłowe, symetryczne, ze słupkiem stałym	1,18	1,23	1,20
Okno nr 2 jak okno nr 1 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,09		1,09

Rodzaj okna	Współczynnik przenikania ciepła U_g , $W/(m^2 \cdot K)$, szyby lub płyty kalibracyjnej w skrzydle okiennym		
	lewym	prawym	średnio
Okno nr 3 jak okno nr 1 szczelne	1,18	1,21	1,20
Okno nr 4 jak okno nr 2 szczelne	1,09		1,09
Okno nieotwierane nr 5 jednorzędowe, dwudzielne, dwuskrzydłowe, symetryczne, ze słupkiem	1,27	1,28	1,27
Okno nr 6 jak okno nr 5 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,09		1,09
Okno nr 7 jak okno nr 1 innego systemu	1,20	1,24	1,22
Okno nr 8 jak okno nr 7 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,09		1,09
Okno nr 9 jak okno nr 5 innego systemu	1,20	1,22	1,21
Okno nr 10 jak okno nr 9 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,05		1,05
Okno nr 11 (rozszczelnione, dwudzielne, ze słupkiem stałym z profili pięciokomorowych PVC)	1,20	1,21	1,20
Okno nr 12 jak okno nr 11 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,09		1,09
Okno nr 13 jak okno nr 11 szczelne	1,20	1,21	1,20
Okno nr 14 jak okno nr 13 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,09		1,09
Okno nr 15 (nieotwierane, jednorzędowe, dwudzielne, ze słupkiem stałym z profili pięciokomorowych PVC)	1,24	1,21	1,23
Okno nr 16 jak okno nr 15 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,09		1,09
Okno drewniane zespolone nr 17 oszlone dwiema pojedynczymi szybami	2,63	2,68	2,66
Okno dwurzędowe drewniane nr 18 oszlone szybą zespoloną	1,61	1,71 1,78	1,70

4.2. Wyniki obliczeń wartości współczynnika U_f

Obliczone wartości współczynnika przenikania ciepła sekcji ram okien przedstawiono na rysunku 2.



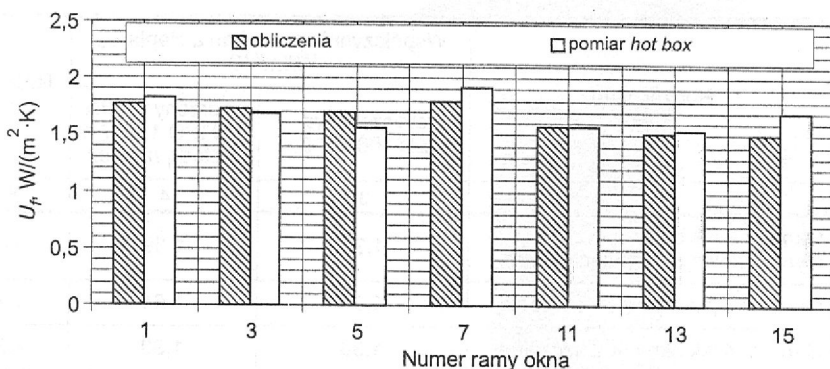
Rys. 2. Wartości współczynnika przenikania ciepła sekcji ram
Fig. 2. Values of thermal transmittance of frame sections

4.3. Wyniki pomiarów i obliczeń średniej wartości współczynnika U_f

Wyniki pomiarów i obliczeń średniej wartości współczynnika U_f zostały przedstawione w tabelcy 2 i na rysunku 3.

Tabela 2. Wyniki pomiarów i obliczeń średniej wartości współczynnika U_f
Table 2. Results of measurements and calculations of average U_f value

Rodzaj ramy okiennej oraz numery złożenia profili ramy	Średnia wartość współczynnika przenikania ciepła ram okiennych U_f , W/m ² ·K)		Różnica %
	obliczony wg EN 10077-2	zmierzony wg PN- EN ISO 12567-1 metodą <i>hot box</i>	
Rama rozszczelnionego dwudzielnego okna nr 1 (złożenia nr 1, 2, 3)	1,77	1,82	2,7
Rama szczelnego dwudzielnego okna nr 3 (złożenia nr 3, 4)	1,73	1,68	3
Rama dwudzielnego okna stałego nr 5 (złożenia nr 5, 6)	1,70	1,56	9
Rama rozszczelnionego dwudzielnego okna nr 7 (złożenia nr 7, 8, 9)	1,80	1,92	6,2
Rama rozszczelnionego dwudzielnego okna nr 11 (złożenia nr 12, 13, 14)	1,57	1,58	0,6
Rama szczelnego dwudzielnego okna nr 13 (złożenia nr 15, 16)	1,52	1,55	1,9
Rama dwudzielnego okna stałego nr 15 (złożenia nr 16, 17)	1,51	1,70	11,2



Rys. 3. Porównanie pomiarów i obliczeń komputerowych średniej wartości współczynnika U_f
 Fig. 3. Comparison of measurements and calculations of average U_f value

Z tablicy 2 oraz rysunku 3 wynika, że różnice obliczonych i zmierzonych średnich wartości współczynnika przenikania ciepła otwieralnych ram okiennych są małe, gdyż względne różnice zawierają się w granicach od 0,6% do 6,2% i nie przekraczają wartości niepewności złożonych pomiarów.

Większe względne różnice, występujące w odniesieniu do okien nieotwieralnych (maksymalnie 11,2%), wynikają z niepewności pomiaru wzrastającej wraz ze zmniejszaniem się wartości stosunku powierzchni ram do powierzchni otworu maski, w którym się je montuje lub do powierzchni pomiarowej skrzynki grzejnej (rys. 1). Powierzchnia ram okien nieotwieralnych jest zwykle w przybliżeniu dwukrotnie mniejsza niż powierzchnia ram okien otwieralnych.

4.4. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości współczynnika U_w

Wyniki pomiarów i obliczeń wartości współczynnika U_w zostały podane w tablicy 3 i na rysunku 4.

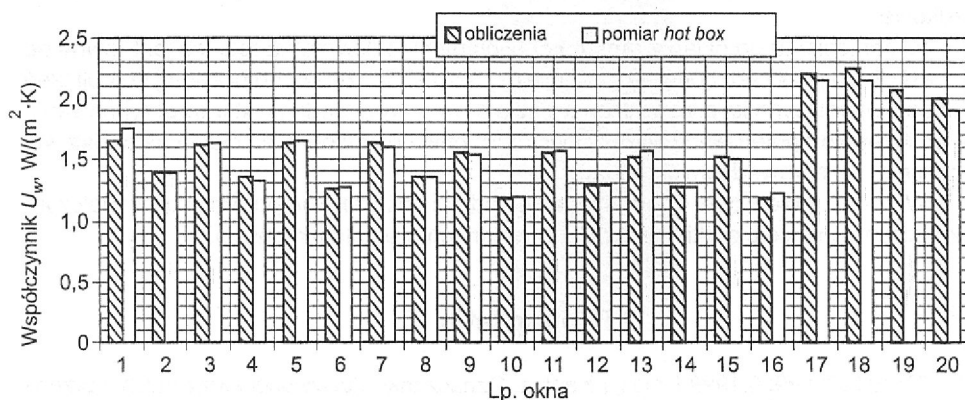
Tablica 3. Wyniki pomiarów i obliczeń współczynnika przenikania ciepła okien z ramami z PVC lub z drewna

Table 3. Results of measurements and calculations of thermal transmittance of windows with PVC or wood frames

Lp.	Rodzaj okna	Współczynnik przenikania ciepła U_w $W/(m^2 \cdot K)$		Różnica %
		obliczony wg EN 100077-2	zmierzony wg PN- EN ISO 12567-1 metodą hot box	
1	2	3	4	5
1	Okno nr 1 (rozszczelnione, otwieralne, jednorzędowe, dwudzielne, ze słupkiem stałym z profili trójkomorowych PVC)	1,65	1,75	5,7

Lp.	Rodzaj okna	Współczynnik przenikania ciepła U_w W/(m ² ·K)		Różnica %
		obliczony wg EN 100077-2	zmierzony wg PN- -EN ISO 12567-1 metodą <i>hot box</i>	
1	2	3	4	5
2	Okno nr 2 jak okno nr 1 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,39	1,39	0,0
3	Okno nr 3 jak okno nr 1 szczelne	1,62	1,64	1,2
4	Okno nr 4 jak okno nr 2 szczelne	1,36	1,33	2,3
5	Okno nr 5 (nieotwieralne, jednorzędowe, dwudzielne, ze słupkiem stałym z profili trójkomorowych PVC)	1,64	1,66	1,2
6	Okno nr 6 jak okno nr 5 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,26	1,27	0,8
7	Okno nr 7 jak okno nr 1 innego systemu	1,64	1,61	1,9
8	Okno nr 8 jak okno nr 7 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,35	1,36	0,7
9	Okno nr 9 jak okno nr 5 innego systemu	1,55	1,54	0,6
10	Okno nr 10 jak okno nr 9 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,18	1,19	0,8
11	Okno nr 11 (rozszczelnione, otwieralne, jednorzędowe, dwudzielne, ze słupkiem stałym z profili pięciokomorowych PVC)	1,55	1,57	1,3
12	Okno nr 12 jak okno nr 11 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,29	1,29	0,0
13	Okno nr 13 jak okno nr 11 szczelne	1,53	1,57	2,5
14	Okno nr 14 jak okno nr 13 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,27	1,28	0,8
15	Okno nr 15 (nieotwieralne, jednorzędowe, dwudzielne, ze słupkiem stałym z profili pięciokomorowych PVC)	1,52	1,50	1,3
16	Okno nr 16 jak okno nr 15 z płytą styropianową zastępującą szybę	1,18	1,22	3,3
17	Okno zespolone nr 17 z drewna, $\lambda = 0,14$ W/(m·K)	2,20	2,16	1,9
18	Okno zespolone nr 17 z drewna, $\lambda = 0,16$ W/(m·K)	2,25		4,2

Lp.	Rodzaj okna	Współczynnik przenikania ciepła U_w W/(m ² ·K)		Różnica %
		obliczony wg EN 100077-2	zmierzony wg PN- EN ISO 12567-1 metodą <i>hot box</i>	
1	2	3	4	5
19	Okno dwurzędowe nr 18 z drewna meranti, $\lambda = 0,11$ W/(m·K)	2,00	1,90	5,3
20	Okno dwurzędowe nr 18 z drewna meranti, $\lambda = 0,13$ W/(m·K)	2,07		8,9



Rys. 4. Wyniki pomiarów i obliczeń współczynnika przenikania ciepła, U_w , okien
Fig. 4. Results of measurements and calculations of thermal transmittance, U_w , of windows

Z kolumny 5 tabeli 3 oraz z rysunku 4 wynika, że różnice obliczonych i zmierzonych wartości współczynnika przenikania ciepła okien z kształtowników PVC są małe, ponieważ maksymalna względna różnica jest równa 3,3% (0,04 W/(m²·K)) i nie przekracza wartości niepewności złożonej równej, według rysunku 1 około 0,05 W/(m²·K).

Wyjątek stanowi jedno okno, w którym maksymalna względna różnica jest równa 5,7% (0,1 W/(m²·K)). Przekroczenie wartości niepewności złożonej równej, według rysunku 1 około 0,06 W/(m²·K), jest więc niewielkie i przypadkowe.

Z kolumny 5 tabeli 3 oraz z rysunku 4 wynika, że różnica obliczonych i zmierzonych wartości współczynnika przenikania ciepła okien z ramami z drewna równa jest od 1,9% do 8,9% (od 0,04 W/(m²·K) do 0,17 W/(m²·K)) i zależy od przyjętej do obliczeń wartości współczynnika przewodzenia ciepła drewna.

5. Podsumowanie

Wykonano badania i obliczenia współczynnika przenikania ciepła okien według metod traktowanych przez projekt normy europejskiej [9] jako równoważne, tj. metodą badawczą *hot box* oraz obliczeniową.

W 2004 r. przeprowadzono badania oraz komputerowe obliczenia współczynnika przenikania ciepła charakteryzującego 20 okien z kształtowników z PVC lub z drewna, z różnym oszkleniem i systemowym asortymentem referencyjnym, tj. okien najczęściej stosowanych w Polsce. Wykonane badania i obliczenia wykazały następujące różnice między wartościami współczynnika przenikania ciepła:

- W odniesieniu do okien z PVC maksymalna różnica jest równa 3,3% ($0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) i nie przekracza wartości niepewności złożonej pomiaru równej około $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, przy czym nie stwierdzono występowania odchylenia systematycznego. Stwierdza się, że maksymalna różnica w przypadku okien z PVC jest bardzo mała. Wyjątek stanowi jedno okno, dla którego maksymalna różnica względna jest równa 5,7% ($0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) w stosunku do wyniku uzyskanego z obliczeń komputerowych. Przekroczenie wartości niepewności złożonej pomiaru równej około $0,06 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ jest więc niewielkie i przypadkowe.

- W odniesieniu do okien z ramami drewnianymi maksymalna różnica jest równa od 1,9% do 8,9%, czyli od $0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ do $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i zależy od przyjętej do obliczeń wartości współczynnika przewodzenia ciepła drewna. Niezbędne jest więc przyjmowanie do obliczeń komputerowych wartości współczynnika przewodzenia ciepła na podstawie wcześniej przeprowadzonych badań.

- W 2005 r. przewiduje się kontynuację badań i obliczeń komputerowych współczynnika przenikania ciepła okien z profili drewnianych oraz aluminiowych.

Bibliografia

- [1] PN-EN ISO 8990:1998 Izolacja cieplna. Oznaczanie właściwości związanych z przenikaniem ciepła w stanie ustalonym. Kalibrowana i osłonięta skrzynka grzejna
- [2] PN-EN ISO 125671:2002 Właściwości cieplne okien i drzwi. Określanie współczynnika przenikania ciepła metodą skrzynki grzejnej. Część 1: Kompletnie okna i drzwi
- [3] PrEN 12412-2:1999 Windows, doors and shutters. Determination of thermal transmittance by hot box method. Part 2: Frames
- [4] Procedura ITB nr LF-11. Określanie współczynnika przenikania ciepła ram, słupków i rygli okiennych oraz drzwiowych metodą osłoniętej skrzynki grzejnej
- [5] PN-EN ISO 10211-1:1998. Mostki cieplne w budynkach. Strumień cieplny i temperatura powierzchni. Ogólne metody obliczania
- [6] EN ISO 10077-2 Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 2: Numerical method for frames (ISO 10077-2: 2003)
- [7] BISCO Computer program to calculate two-dimensional steady state heat transfer in free form objects, PHYSIBEL
- [8] PN-EN ISO 10077-1:2002. Właściwości cieplne okien, drzwi i żaluzji. Obliczanie współczynnika przenikania ciepła. Część 1: Metoda uproszczona
- [9] PrEN 14351-1:2004. Windows and external pedestrian doorsets. Product standard. Performance characteristic. Part 1: Product without fire and smoke related characteristic
- [10] Carpenter S.: Use of computer simulation to rate window thermal performance. CIB W67 International Symposium Energy Efficient Buildings, March 1993, Stuttgart

- [11] Owczarek Z.: Metoda obliczania oporu cieplnego aluminiowych ram okiennych z wykorzystaniem modelu o skupionych parametrach cieplnych. Rozprawa doktorska, 2000, maszyn., biblioteka ITB
- [12] Bertil Jonsson Energy – efficient windows: Testing and Calculation of U-values. Building Physics in Nordic Countries. 3rd Symposium. Copenhagen, Denmark 1993. Swedish National Testing and Research Institute. SP Report 1996:36
- [13] IFT Richtlinie WA-02/1. U_f -Werte für Kunststoffprofile aus Fenstersystemen. Verfahren zur Ermittlung von U_f Werten für Kunststoffprofile aus Fenstersystemen
- [14] Prüfbericht 432 25195/2. IFT Rosenheim. 20. August 2002
- [15] Ocena porównawcza obliczeń i badań współczynnika przenikania ciepła okien; praca naukowo-badawcza NF-47/04. ITB, Warszawa 2004, maszyn., biblioteka ITB
- [16] PN-EN ISO 8302:1999 Izolacja cieplna. Określenie oporu cieplnego i właściwości z nim związanych w stanie ustalonym. Aparat płytowy z osłoniętą płytą grzejącą
- [17] PN-EN ISO 8301:1998 Izolacja cieplna. Określenie oporu cieplnego i właściwości z nim związanych w stanie ustalonym. Aparat płytowy z czujnikami gęstości strumienia cieplnego
- [18] PN-EN 12667:2002 Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejącej i czujnika strumienia cieplnego. Wyroby o dużym i średnim oporze cieplnym
- [19] PN-EN 1934:1999 Właściwości cieplne budynków. Określenie oporu cieplnego metodą skrzynki grzejącej z użyciem ciepłomierza. Mury
- [20] Procedura badawcza LF-1. Oznaczanie oporu cieplnego fragmentów ścian w komorze klimatycznej przy użyciu przetworników gęstości strumienia cieplnego
- [21] PN-EN ISO 6946:1999 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
- [22] PN-82/B-02402 Ogrzewnictwo. Temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach
- [23] PN-82/B-02403 Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne

COMPARATIVE EVALUATION OF RESULTS OF CALCULATIONS AND TESTS OF THERMAL TRANSMITTANCE OF WINDOWS FROM PVC PROFILES OR WOOD

Summary

Thermal transmittance of components of buildings is usually determined by hot box method or two-dimensional computer calculations of temperature field. In case of windows, prEN 14351-1:2004 allows to use both mentioned above methods as equivalent. However, there are signals about divergence of tests results and calculations. Therefore it was necessary to conduct the comparative evaluation of calculations and tests of thermal transmittance of different types of windows with different types of glazing. Paper shows the results of tests and calculations of thermal transmittance of 20 windows, obtained by using the guarded hot box (GHB) according to PN-EN ISO 8990:1998 and PN-EN ISO 12567-1:2002, as well as calculations using computer programme. Those two methods are used in Department of Thermal Physics of ITB. Small differences between the results of tests and calculations have been found.

Praca wpłynęła do Redakcji 25 VII 2005