

**Alina WRÓBEL**

AGH AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, WYDZIAŁ GEODEZJI GÓRNICZEJ I INŻYNIERII ŚRODOWISKA,  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

**Termografia ilościowa w budownictwie**

Dr hab. inż. Alina WRÓBEL

Absolwentka Wydziału Geodezji Górniczej Akademii Górniczo-Hutniczej (1979). Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskała w 1988, a doktora habilitowanego w 2011 roku. Adiunkt w Katedrze Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa. Zainteresowania naukowe to: termografia, geodezja inżynierska, teledetekcja, budownictwo. W swoim dorobku naukowym posiada ponad 60 publikacji. Wiele z nich dotyczy zastosowania termografii w budownictwie. Hobby: ogrodnictwo.



e-mail: [alibel@agh.edu.pl](mailto:alibel@agh.edu.pl)

**Streszczenie**

Praca dotyczy możliwości wyznaczenia wartości współczynnika przenikania ciepła przez przegrody budowlane na podstawie pomiarów termograficznych. Przeprowadzone długookresowe pomiary laboratoryjne oraz w rzeczywistych budynkach wykazały zgodność gęstości strumienia ciepła z pomiarów ciepłomierzami i termograficznie. Wartość współczynnika przenikania ciepła nie zależy od techniki pomiarowej ale od warunków wymiany ciepła, czasu pomiaru i sposobu obliczeń.

**Słowa kluczowe:** termografia, ciepłomierz, współczynnik przenikania ciepła.

**Quantitative building thermography****Abstract**

The aim of this paper is to present possibility of determining thermal transmittance of a wall on the basis of a thermographic survey. Calculation of thermal transmittance is based on formula (1) that determines a relationship between the thermal transmittance, the density of the heat flux through the wall and the air temperature at both its sides in a steady state of the heat transfer. Long-term measurements were taken on different walls in a laboratory as well as in residential houses. The following variables were measured: the heat flux density – using a heat flux meter, the temperatures of air and wall surface – using thermocouples, the difference between the temperatures of air and wall surface at the interior side – from thermograms and air speed at the interior wall surface. The heat flux density was calculated using formula (4) and compared to heat flux meter measurements. The heat flux density measured with a heat flux meter and that determined from thermograms were highly consistent under every heat transfer conditions. Therefore, the thermal transmittance (calculated using formula 1) does not depend on whether measurements are taken using a heat flux meter or thermography, but depends on the heat transfer conditions. The correct results can be obtained: under steady state heat transfer conditions – by a single measurement, when the boundary conditions change periodically – by averaging measurements in the entire periods, or, otherwise, by averaging measurements over a long time.

**Keywords:** thermography, heat flux meter, thermal transmittance.

**1. Wprowadzenie**

Zasadniczą informacją uzyskiwaną z termogramu jest wartość temperatury i jej rozkład na powierzchni obrazowanej. Wartości temperatury będą rzeczywiste dla jednorodnej powierzchni większej od kilku pikseli na termogramie, o znanej wartości współczynnika emisyjności powierzchni, jednoelementowego otoczenia o znanej temperaturze i standardowej atmosferze o znanej temperaturze i wilgotności.

W odniesieniu do budynków, wartość temperatury można wyznaczać na zewnętrznych i wewnętrznych powierzchniach przegród budowlanych. Jednak wartość temperatury na powierzchni przegrody (bez znajomości innych danych dotyczących warunków przepływu ciepła) nie jest miarą izolacyjności cieplnej przegrody.

Powszechnie przyjętym miernikiem izolacyjności cieplnej przegród budowlanych jest współczynnik przenikania ciepła  $U$ ,

zdefiniowany dla ustalonej wymiany ciepła przez przegrodę budowlaną. Ważne dla oceny jakości cieplnej zewnętrznych przegród budynków jest także określenie liniowych i punktowych mostków cieplnych.

Równoczesny z rejestracją termogramu od wewnętrznej strony przegrody, pomiar wartości temperatury powietrza po obu jej stronach umożliwi określenie jej indeksu temperaturowego.

Wykrywania wad cieplnych poprzez badania termograficzne łącznie z wykrywaniem nieszczelności obudowy budynku na przenikanie powietrza dotyczy Polska Norma [1], oparta na międzynarodowej normie [2] z 1983 roku. Na szczególną uwagę zasługuje określenie zakresu stosowania tej normy „Niniejsza norma ma zastosowanie do określania miejsc niejednorodności cieplnych i dróg wypływu powietrza przez obudowę. Norma nie ma zastosowania do ilościowego określania izolacyjności cieplnej i szczelności konstrukcji na przenikanie powietrza. Do takich określeń wymagane są badania innymi metodami”.

Współczesne kamery termograficzne cechuje duża dokładność wyznaczenia wartości różnicy temperatury pomiędzy obszarami tego samego termogramu, znacznie większa od dokładności kamer z lat 80. XX wieku.

Czy możliwa jest zatem - i pod jakimi warunkami - termografia ilościowa w budownictwie?

Zapotrzebowanie na kontrolne pomiary izolacyjności cieplnej budynków istnieje, ponieważ wady wykonawstwa budowlanego obniżają nieraz znacznie projektowaną izolacyjność cieplną. Projektowe wartości współczynnika  $U$  przegród budowlanych osiągnąć można jedynie przy założeniu idealnego wykonawstwa budowlanego.

Sprawdzenie wartości izolacyjności cieplnej przegród jest łatwe na etapie weryfikacji projektu, natomiast w istniejącym budynku jest bardzo trudne [3].

Zaistniała więc potrzeba opracowania metod wykonywania ilościowych pomiarów termograficznych na potrzeby budownictwa. Badania prowadzono w ramach grantu pt. "Metodyka określania właściwości cieplnych przegród budowlanych metodą termowizyjną" nr NN526119133 w latach 2007-2010.

**2. Możliwość wyznaczenia wartości współczynnika przenikania ciepła**

Współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę, definiowany dla ustalonego stanu wymiany ciepła, określony jest zależnością:

$$U = \frac{q}{T_i - T_e} = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

gdzie:  $q$  – gęstość strumienia ciepła,  $T_i$  – temperatura powietrza po ciepłej stronie przegrody,  $T_e$  – temperatura powietrza po zimnej stronie przegrody,  $R_T$  – opór całkowity przegrody.

Współczynnik (indeks) temperaturowy przegrody [4] określony jest wzorem:

$$f_{R_{si}} = \frac{T_{si} - T_e}{T_i - T_e} \quad (2)$$

i powiązany ze współczynnikiem przenikania ciepła zależnością:

$$f_{R_{si}} = 1 - \frac{U}{h_{si}} \quad (3)$$

gdzie:  $T_{si}$  – temperatura powierzchni ściany,  $h_{si}$  – współczynnik przyjmowania ciepła.

Gęstość strumienia ciepła przepływającego przez element budowlany opisuje wzór:

$$q = h_{si}(T_i - T_{si}) \quad (4)$$

W praktyce najczęściej bywa ona mierzona miernikiem gęstości strumienia ciepła, a temperatura obydwóch powierzchni lub powietrza, potrzebna do wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła, w sposób kontaktowy.

Projekt normy [5] zaleca używać do pomiarów mierników strumienia ciepła oraz czujników temperatury, wskazując równocześnie ograniczenia i błędy metody. Technika termograficzna zaleca sprawdzenie równomierności rozkładu temperatury w obszarze badanym. Według tej normy pomiar powinien być wykonany w stacjonarnych warunkach przepływu ciepła. Zakłada się, że w takich warunkach strumień ciepła jest stały w czasie i prostopadły do powierzchni, długość i szerokość przegrody są nieskończone, warstwy przegrody są jednorodne i izotropowe, a ciepło jest przejmowane jednakowo na całej powierzchni.

W ustalonych warunkach przepływu ciepła, przy różnych wartościach temperatury powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynku ( $T_i > T_e$ ) wartości strumienia ciepła: napływającego na wewnętrzną powierzchnię, przewodzonego przez przegrodę oraz odpływającego od zewnętrznej powierzchni przegrody są sobie równe.

Rozpatrzmy przepływ ciepła przez typową, zewnętrzną, pionową ścianę budynku, zgodną z wymaganiami przepisów [6], o współczynniku  $U=0,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . W typowych zimowych warunkach ( $T_i=20^\circ\text{C}$ ,  $T_e=0^\circ\text{C}$ ), przy założeniu zgodnych z normą [7] współczynników przejmowania ciepła (odpowiednio 7,7 i 25  $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ), przez ścianę będzie przepływał strumień ciepła o gęstości około 6  $\text{W/m}^2$ , który spowoduje różnicę temperatury powietrza i powierzchni ściany wynoszącą 0,78°C i 0,24°C odpowiednio po wewnętrznej i zewnętrznej stronie ściany.

Wartość współczynnika  $U$  można wyznaczyć z pomiarów temperatury powietrza po zewnętrznej i wewnętrznej stronie i gęstości strumienia ciepła przepływającego przez ścianę.

Gęstość strumienia ciepła można obliczyć przy znajomości współczynnika przejmowania ciepła i wyznaczonej z termogramu różnicy temperatury powietrza i powierzchni ściany. Tę różnicę można wyznaczyć z pojedynczego termogramu, na którym zarejestrowany jest obraz powierzchni przegrody i obiektu przyjmującego temperaturę powietrza. Obiekt ten powinien cechować się małą pojemnością cieplną (zmiana jego temperatury będzie nadążać za zmianą temperatury powietrza) i matową powierzchnią o dużej wartości współczynnika emisyjności. Należy go umieścić w odległości około 20-30 cm od powierzchni obrazowanej ściany. Podobna technika pomiaru termograficznego przedstawiona została w pracy [8].

Dla różnicowej metody pomiarów wzór (1) przyjmie postać:

$$U = \frac{h_{si}(\Delta T_{i-si})}{T_i - T_e} \quad (5)$$

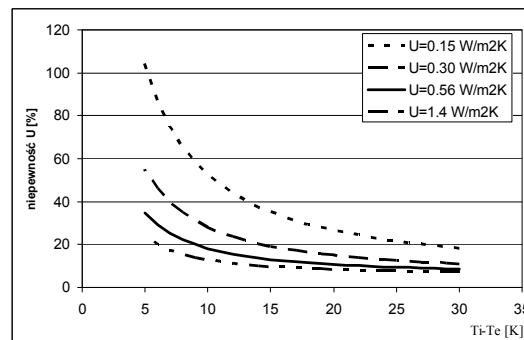
gdzie:

$$\Delta T_{i-si} = T_i - T_{si} \quad (6)$$

Złożona niepewność standardowa wyznaczenia współczynnika  $U$  (z zależności 5) zależy nie tylko od przyjętych standardowych niepewności wielkości mierzonych (tab. 1) ale także od izolacyjności ściany i różnicy temperatury po obu stronach przegrody, co pokazane jest na rysunku 1.

Tab. 1. Wartości standardowych niepewności wielkości mierzonych  
Tab. 1. Standard uncertainties of the measured values

Symbol wielkości	Wartość standardowej niepewności	Jednostka
$\Delta T_{i-si}$	0,10	K
$\Delta T_{i-e}$	1,00	K
$h_{si}$	0,50	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

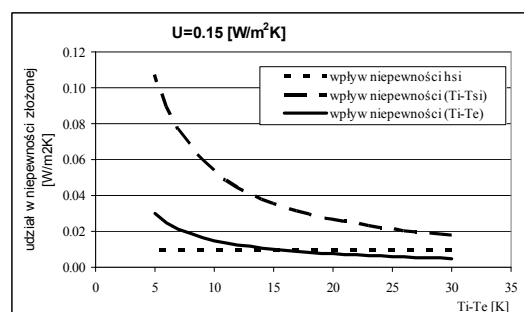


Rys. 1. Zależność niepewności wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła od różnicy temperatury powietrza po obu stronach przegrody, dla ścian o różnej wartości  $U$

Fig. 1. Relationship between the determined thermal transmittance uncertainty and air temperature difference at both sides of the wall, for walls with different thermal transmittance

Wartość względnej niepewności złożonej wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła na podstawie pomiarów wykonanych od wewnętrznej strony przegrody budowlanej zależy w dużej mierze od różnicy temperatury powietrza po obu stronach przegrody i jej izolacyjności cieplnej. Im większa jest różnica temperatury powietrza wewnątrz i na zewnątrz tym dokładniej można wyznaczyć wartość współczynnika przenikania ciepła. Należy jednakże zwrócić uwagę, że przy wzroście różnicy temperatury ponad 20°C, niepewność wyznaczenia współczynnika  $U$  maleje nieznacznie. Przy założeniu jednakowej dokładności pomiarów dla ścian o zróżnicowanej izolacyjności cieplnej, mniejsza wartość względnej niepewności wyznaczenia  $U$  jest osiągnięta dla przegród o gorszej izolacyjności (większej wartości  $U$ ). Wartość współczynnika przenikania ciepła przegród o niskiej izolacyjności cieplnej ( $U=1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) może być wyznaczana przy mniejszych różnicach temperatury powietrza po obu stronach przegrody; 13% dokładność uzyskuje się już przy różnicy temperatury około 10°C.

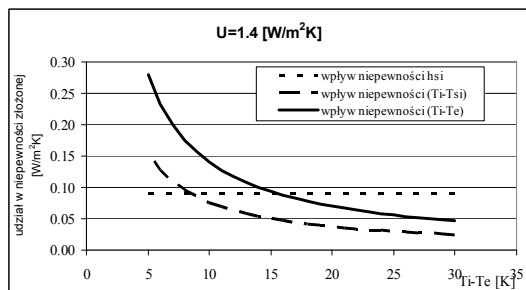
W przypadku ścian o małej wartości współczynnika przenikania ciepła, największy udział w niepewności złożonej wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła pochodzi od dokładności wyznaczenia różnicy temperatury pomiędzy powierzchnią ściany a otaczającym ją powietrzem (rys. 2). A zatem do ilościowych pomiarów termowizyjnych takich budynków należy stosować kamery o dużej dokładności. Wzrost dokładności kamery powoduje wyraźne zmniejszenie się cząstkowej niepewności wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła (rys. 4).



Rys. 2. Wpływ niepewności cząstkowych na złożoną niepewność wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła dla ściany o  $U=0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

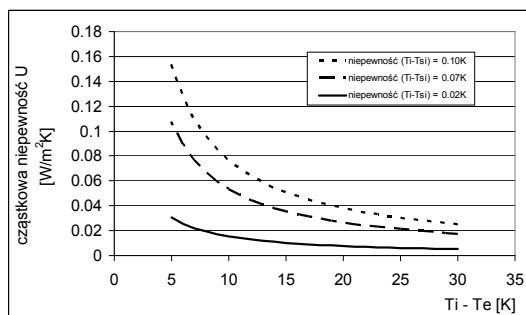
Fig. 2. Influence of partial uncertainties on the determined thermal transmittance combined uncertainty for the wall with  $U=0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

W przypadku ścian o większej wartości współczynnika  $U$  wpływ niepewności pomiaru różnicy temperatury pomiędzy powierzchnią ściany a otaczającym ją powietrzem ma mniejsze znaczenie, co przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Wpływ niepewności cząstkowych na złożoną niepewność wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła dla ściany o  $U=1,40$  W/(m<sup>2</sup>K)

Fig. 3. Influence of partial uncertainties on the determined thermal transmittance combined uncertainty for the wall with  $U=1,40$  W/(m<sup>2</sup>K)



Rys. 4. Wpływ niepewności pomiaru różnicy temperatury powietrza i powierzchni przegrody po stronie wewnętrznej na cząstkową niepewność wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła dla ściany o  $U=0,15$  W/(m<sup>2</sup>K)

Fig. 4. Influence of the measurement uncertainty of a difference between the temperatures of air and wall surface at the interior side on the determined thermal transmittance partial uncertainty for the wall with  $U= 0,15$  W/(m<sup>2</sup>K)

### 3. Pomiary doświadczalne i ich wyniki

Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych w komorze klimatycznej i w rzeczywistych budynkach mieszkalnych.

Przegrody badane laboratoryjnie były płaskimi, pionowymi ścianami umieszczonymi w otworze pomiędzy zimną i ciepłą częścią komory. Różniły się materiałami budowlanymi, oporem cieplnym oraz właściwościami akumulacyjnymi. Wykonane były w różnych technologiach, stosowanych obecnie w polskim budownictwie:

- jednowarstwowa (pustaki keramzytobetonowe, grubość 40 cm),
- o konstrukcji szkieletu drewnianego,
- jednowarstwowa (bloczki silikatowe o grubości 18 cm),
- dwuwarstwowa (bloczki silikatowe 18 cm i 12 cm styropianu).  
Pomiarom podlegały:
- gęstość strumienia ciepła na powierzchni ścianki po jej ciepłej stronie – ciepłomierzami firmy AHLBORN,
- temperatura powierzchni ścianki i powietrza zarówno po ciepłej jak i zimnej stronie przegrody - za pomocą termopar typu międz-konstantan,
- prędkość powietrza w pobliżu przegrody po ciepłej stronie - termooanemometrem TA440 AirFlow w sposób wyrzykowy,
- temperatura powierzchni ściany i powietrza (kartki papieru umieszczonej w pobliżu ściany) - kamerą termowizyjną Therna CAM S60.

Obserwacje przegród prowadzone były w ustalonym stanie przepływu ciepła, przy cyklicznej zmienności temperatury po zimnej stronie przegrody (symulacja dobowych zmian temperatury powietrza zewnętrznego w 24 godzinnym cyklu), jak również przy skokowej zmianie temperatury powietrza po ciepłej lub zimnej stronie.

Gęstość strumienia ciepła była również obliczana ze wzoru (4) na podstawie średnich wartości temperatury pomierzonych na termogramach, w wybranych polach.

Prędkość powietrza, wymuszona przez wentylatory w komorze ciepłej, pomierzona w odległości 5 cm od powierzchni ściany, wynosiła podczas badań od 0,15 do 0,30 m/s. Wyliczona, według załącznika A do normy [7], wartość współczynnika przejmowania ciepła  $h_{si}$  jako suma współczynników przejmowania ciepła przez promieniowanie i wymuszoną konwekcję (przy przyjęciu średniej prędkości powietrza 0,22 m/s) wyniosła 10,6 W/(m<sup>2</sup>·K).

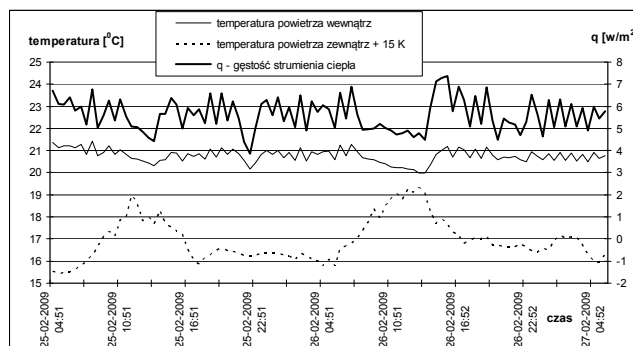
W komorze klimatycznej prowadzono obserwacje przez około 96 dób. Zarejestrowano około 3750 termogramów powierzchni przegród po ich ciepłej stronie. Na ich podstawie porównano wartości gęstości strumienia ciepła pomierzone ciepłomierzem z wartościami obliczonymi z pomiaru termograficznego.

Przeprowadzone badania, wykazały bardzo dobrą zgodność wartości gęstości strumienia pomierzonych ciepłomierzem i wyznaczonych z pomiaru termograficznego w każdych warunkach wymiany ciepła. Iloraz odchylenia standardowego różnic gęstości strumienia ciepła pomierzonego ciepłomierzem i obliczonego na podstawie pomiaru termograficznego do średniej wartości gęstości strumienia ciepła waha się w granicach 3%÷4% [9], przy podawanej przez producenta dokładności ciepłomierza wynoszącej 5%.

Ponadto, wyniki badań przegród o różnych właściwościach cieplnych wykazały, że różny dla poszczególnych przegród jest czas potrzebny na osiągnięcie stacjonarnego przepływu ciepła, po zmianie warunków brzegowych, a także różny jest czas od momentu rozpoczęcia zmiany temperatury po zimnej stronie do momentu zmiany gęstości strumienia ciepła mierzonego po ciepłej stronie przegrody.

Pomiary mające na celu wyznaczenie wartości współczynnika  $U$  przeprowadzono również w rzeczywistych budynkach mieszkalnych o ścianach: jednowarstwowych, dwuwarstwowych i o konstrukcji szkieletu drewnianego.

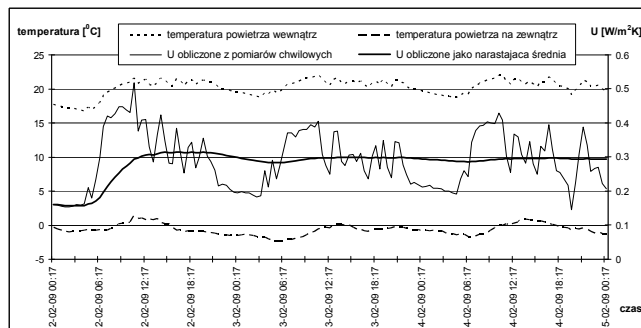
Problemem było uzyskanie ustalonej wymiany ciepła. Warunkiem ustalonego przepływu ciepła przez przegrodę budowlaną, przy stałej (lub niewiele zmieniającej się) temperaturze powietrza zewnętrznego, jest stały i równomierny dopływ ciepła do wnętrza budynku. Dlatego ważne jest, by wewnątrz pomieszczeń ogrzewanie działało w sposób ciągły i równomierny. Ogrzewanie wyposażone w systemy sterujące lub głowice termostatyczne, zapewniające utrzymanie we wnętrzu zadanej temperatury, powoduje duże zmiany strumienia ciepła przenikającego przez ściany mimo pozornego wrażenia o niezmienności warunków wewnątrz pomieszczenia. Zależność gęstości strumienia ciepła od sposobu ogrzewania przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Temperatura powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynku jednorodzinnej oraz gęstość strumienia ciepła przy centralnym ogrzewaniu z automatycznym sterowaniem

Fig. 5. Air temperature at both sides of the wall and heat flux density through the wall in a residential house with automatically controlled heating system

W tym przypadku wartości współczynnika  $U$  obliczone według wzoru (1) z chwilowych wyników pomiarów są zmienne w czasie i znacznie odbiegają od wartości prawdziwych. Prawdopodobną wartość współczynnika  $U$  można uzyskać poprzez obliczenie jej na podstawie sum wartości mierzonych w okresie obejmującym pełny cykl zmienności warunków brzegowych lub z wykorzystaniem teorii dynamicznej uwzględniającej zmiany strumienia ciepła i temperatur podczas pomiaru.

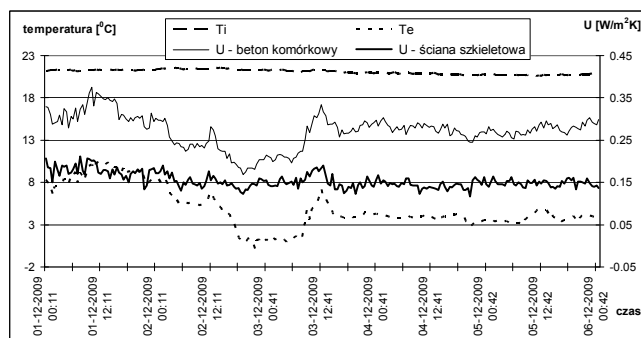


Rys. 6. Wartość współczynnika przenikania ciepła przez ścianę z betonu komórkowego obliczona na podstawie pojedynczych pomiarów oraz narastających średnich pomierzonych wielkości

Fig. 6. Thermal transmittance of cellular concrete wall calculated from single measurements and cumulative moving averages of the measured values

Przy ogrzewaniu zapewniającym utrzymanie stałej temperatury wewnątrz pomieszczenia poprawne wartości współczynnika  $U$  otrzymuje się z pomiarów chwilowych wykonanych przy niewiele zmieniającej się temperaturze powietrza zewnętrznego (rys. 7). W takich warunkach odchylenie standardowe wyznaczenia współczynnika  $U$  (ze 145 pomiarów) nie przekraczało 6% jego wartości a maksymalna odchyłka od wartości średniej nie przekraczała 20%, dla ściany o  $U=0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Przepływ ciepła przez lekką ścianę szkieletową stabilizuje się znacznie szybciej niż przez ścianę murowaną o większej bezwładności cieplnej.



Rys. 7. Temperatura powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynku jednorodzinnego oraz wyznaczone wartości  $U$

Fig. 7. Air temperature at both sides of the wall and the determined thermal transmittances in a residential house

Wartość współczynnika  $U$  wyznaczona przy spadku lub wzroście temperatury powietrza zewnętrznego w całym okresie pomiarów jest obarczona dużym błędem. W celu podniesienia dokładności należy uwzględnić w obliczeniach zmianę energii wewnętrznej przegrody i jej współczynniki strukturalne [10].

#### 4. Wnioski

Przeprowadzone pomiary doświadczalne, zarówno laboratoryjne jak i w rzeczywistych budynkach, wykazały bardzo dobrą zgodność wartości gęstości strumienia ciepła pomierzonego ciepłomierzem i wyznaczonego z pomiarów termograficznych.

Zadawalającą dokładność pomiarów termograficznych uzyskuje się zasadniczo z pomiarów przeprowadzanych po wewnętrznej (cieplej) stronie przegród budowlanych. Wyznaczając różnice temperatury powietrza i powierzchni ściany zewnętrznej z pomiaru na pojedynczym termogramie otrzymuje się znacznie większą dokładność określenia gęstości strumienia ciepła (ze wzoru 4) niż przy niezależnym pomiarze temperatury ściany i powietrza. Użycie średnich wartości temperatury w pewnym polu (przy pomiarze temperatury ściany i powietrza), a nie w punkcie pomiarowym, również znacznie podnosi dokładność wyznaczenia różnicy temperatury powietrza i powierzchni ściany.

Sporo kłopotów przysparza określenie współczynnika wnikania ciepła potrzebnego do wyznaczenia wartości gęstości strumienia ciepła na podstawie termogramów. Jego wartość można przyjąć na podstawie PN-EN ISO 6946, z uwzględnieniem prędkości ruchu powietrza w pobliżu powierzchni. Równoczesny z obrazowaniem termograficznym punktowy pomiar gęstości strumienia ciepła ciepłomierzem pozwala na niezależne (kontrolne) wyznaczenie wartości współczynnika przejmowania ciepła.

Obliczenie poprawnych wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  (wzory 1 i 5) nie zależy od źródła pozyskania wartości wejściowych (ciepłomierz czy kamera termograficzna) i jest możliwe:

- na podstawie chwilowych wartości temperatury w warunkach ustalonego stanu wymiany ciepła,
- z wartości chwilowych sumowanych w dłuższych okresach,
- z wykorzystaniem teorii dynamicznej wymiany ciepła uwzględniającej zmiany strumienia ciepła i temperatur podczas pomiarów.

W przypadku cyklicznych (dobowych lub w dłuższym okresie) zmian wartości mierzonych ważne jest by warunki na końcu okresu osiągały wartości zbliżone do tych na początku, a obliczenia obejmowały pełne okresy zmian.

Czas potrzebny na ustalenie się przepływu ciepła po zmianie warunków brzegowych zależy od rodzaju przegrody budowlanej, najkrótszy jest dla lekkich konstrukcji szkieletowych a najdłuższy dla masywnych murowanych ścian z warstwą ocieplenia.

W przypadku pomiarów ciepłomierzem ścian zawierających nieregularności (np. elementy modułowe), miernik powinien przykrywać całkowitą liczbę modułów więc jego położenie powinno być wybrane z pomocą obserwacji termograficznych.

Dodatkowy pomiar ciepłomierzem w przypadku obserwacji termograficznych pozwala na kontrolne wyznaczenie współczynnika przejmowania ciepła.

Niewątpliwą i wyjątkową zaletą termografii jest natychmiastowe uzyskanie informacji o całej powierzchni badanej przegrody. Możliwe jest wykrycie mostków cieplnych i niejednorodności izolacyjności cieplnej wraz z określeniem ich powierzchniowego zasięgu.

*Praca niniejsza została wykonana w ramach badań statutowych nr AGH 11.11.150.005.*

#### 5. Literatura

- [1] PN-EN 13187:2001 r. Właściwości cieplne budynków – Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – Metoda podczerwieni.
- [2] ISO 6781:1983 Thermal insulation – Qualitative detection of thermal irregularities in building components.
- [3] Pogorzelski J. Kasperkiewicz K., 2001: Aktualne wymagania ochrony cieplnej budynków i związane z nimi normy, Energooszczędne budownictwo mieszkaniowe, ITB, Warszawa, ISBN 83-7321-123-3.
- [4] PN-EN ISO 13788: Ciepłota-wilgotnościowe właściwości użytkowe komponentów budowlanych i elementów budynków – Określenie temperatury powierzchni wewnętrznej w celu uniknięcia krytycznej temperatury powierzchni i kondensacja międzywarstwowa.
- [5] EN 12494: Building components and elements - In-situ measurement of the surface-to-surface thermal resistance – projekt normy.
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 r., Nr 75, poz. 690).
- [7] PN-EN ISO 6946: Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [8] Madding R., 2008: Finding R-Values of Stud Frame Constructed Houses with IR Thermography, InfraMation Proceedings, Post-assigned publ. no.: T559130, Rev. A.
- [9] Wróbel A., praca zbiorowa: Ilościowe określanie cieplnych właściwości przegród budowlanych z wykorzystaniem techniki termograficznej. Wydawnictwa AGH, Kraków, 2011.
- [10] Kisilewicz T.: Pomiar izolacyjności termicznej ścian w budynkach istniejących. Energia i Budynek, 6/2011.

otrzymano / received: 02.08.2011

przyjęto do druku / accepted: 05.09.2011

artykuł recenzowany