

Alina WRÓBEL<sup>1</sup>, Andrzej WRÓBEL<sup>2</sup>, Anita KWARTNIK-PRUC<sup>1</sup>, Łukasz ORTYL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA GEODEZJI INŻYNIERYJNEJ I BUDOWNICTWA

<sup>2</sup>AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA GEOINFORMACJI FOTOGRAMETRII I TELEDETEKCJI ŚRODOWISKA

## Kamera termograficzna jako narzędzie do ilościowego określania gęstości strumienia ciepła

Dr inż. Alina WRÓBEL

Absolwentka Wydziału Geodezji Górniczej Akademii Górniczo-Hutniczej (1979). Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskała w 1988 roku. Adiunkt w Katedrze Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa. Jej zainteresowania naukowe to: termografia, budownictwo, geodezja inżynierska, teledetekcja. W swoim dorobku naukowym posiada ponad 50 publikacji. Wiele z nich dotyczy zastosowania termografii w budownictwie. Hobby: ogrodnictwo.



e-mail: alibel@agh.edu.pl

Dr inż. Andrzej WRÓBEL

Absolwent Wydziału Geodezji Górniczej Akademii Górniczo-Hutniczej (1977). Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w 1987 roku. Adiunkt w Katedrze Geoinformacji Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska. Główne zainteresowania zawodowe: fotogrametria zwłaszcza zastosowania fotogrametrii w inwentaryzacji zabytków, geodezja, teledetekcja, termografia. W swoim dorobku naukowym posiada ponad 40 publikacji. Hobby: fotografia.



e-mail: awrobel@agh.edu.pl

Dr inż. Anita KWARTNIK-PRUC

Absolwentka Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (1995). Stopień doktora nauk technicznych uzyskała w 2000 roku. Obecnie pracuje jako adiunkt w Katedrze Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa. Jej zainteresowania naukowe to geodezjo-prawna obsługa inwestycji, geodezja inżynierska. W swoim dorobku naukowym posiada ponad 15 publikacji. Hobby: tatelnictwo jaskiniowe.



e-mail: akwart@agh.edu.pl

Dr inż. Łukasz ORTYL

Absolwent Wydziału Geodezji Górniczej Akademii Górniczo-Hutniczej (2001). Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w 2007 roku. Adiunkt w Katedrze Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa. Zainteresowania naukowe to: nieinwazyjne metody pomiarowe, georadar, naziemny radar interferometryczny, termografia, lokalizatory przewodów, geodezja inżynierska, fotogrametria. W swoim dorobku naukowym posiada 17 publikacji.



e-mail: lukasz.ortyl@agh.edu.pl

### Streszczenie

Przeprowadzono badania doświadczalne mające na celu wykazanie równoważności określania gęstości strumienia ciepła przy pomocy ciepłomierza i techniki termografii. Pomiar doświadczalny przeprowadzono w komorze klimatycznej. Badano korelację między wartością gęstości strumienia ciepła pomierzoną ciepłomierzem i obliczoną na podstawie pomiarów termograficznych. Wartość współczynnika korelacji dla badanych przegród wynosi 0.95-0.99. Wynika stąd, że dokładność pomiaru kamerą termograficzną jest wystarczająca do pomiarów ilościowych w budownictwie.

**Słowa kluczowe:** gęstość strumienia ciepła, ciepłomierz, kamera termograficzna.

### Thermographic camera as a tool for quantitative analysis of heat flow density

#### Abstract

Determination of thermal properties of building partitions is becoming more important as the requirement for building certification is becoming obligatory. Data for energetic qualification of buildings is taken from their projects. This is a problem in case of old buildings, where there is usually no documentation. Thermography can be used for determination of the actual heat transfer coefficient, which can be useful for thermal assessment of such buildings. The existing norms say that thermography may be used for qualitative evaluation of building partitions. For the quantitative analysis, heat flow is measured with heat flow meters. Conducted investigations show that heat flow measurement with a thermographic camera is equivalent to a measurement taken with a heat flow meter. The investigations were performed in a climate chamber for four real-life partitions. The analyzed partitions were made with use of typical technologies. They differ in ability of heat accumulation. The measurements of the heat flow density were made with use of a heat flow meter. Thermographic cameras were used to record the surface temperature image and air temperature (Fig. 1). The heat flow density determined with the thermographic method had been calculated from formula (2). The correlation between the heat flow density measured by the heat flow meter and that calculated from the thermographic measurements was analyzed. The value of the determination coefficient R2 for the analyzed partition was between 0.91 and 0.99; while the correlation coefficient R between 0.95 and 0.99 (Tab. 1). The conclusion drawn from the investigations is that the accuracy of temperature difference

measurements with use of a thermographic camera is good enough to be used for quantitative measurements.

**Keywords:** heat flow density, heat flow meter, thermographic camera.

### 1. Wprowadzenie

Od stycznia 2009 r. ustawa Prawo budowlane wprowadziła obowiązek wykonywania świadectw energetycznych budynków, zarówno nowo zbudowanych, jak też starych będących przedmiotem obrotu nieruchomości.

Zapotrzebowanie na energię w świadectwie charakterystyki energetycznej jest wyrażane poprzez roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną i na energię końcową. Wartości te są wyznaczone obliczeniowo na podstawie jednolitej metodologii. Dane do obliczeń określa się na podstawie dokumentacji budowlanej lub obmiaru budynku istniejącego i przyjmuje się standardowe warunki brzegowe (np. standardowe warunki klimatyczne, zdefiniowany sposób eksploatacji, standardową temperaturę wewnętrzną, wewnętrzne zyski ciepła itp.). Z uwagi na standardowe warunki brzegowe, uzyskane wartości zużycia energii nie pozwalają wnioskować o rzeczywistym zużyciu energii budynku [1].

Współczynnik strat ciepła przez przenikanie należy obliczać ze wzoru:

$$H = \sum_i [A_i \cdot U_i + \sum_j l_j \cdot \psi_j] \quad (1)$$

gdzie:

$H$  - współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie  
 $A_i$  - pole powierzchni  $i$ -tej przegrody otaczającej przestrzeń o regulowanej temperaturze

$U_i$  - współczynnik przenikania ciepła  $i$ -tej przegrody pomiędzy przestrzenią ogrzewaną i stroną zewnętrzną, obliczany w przypadku przegród nieprzezroczystych według normy PN-EN ISO 6946

$l_j$  - długość  $j$ -tego liniowego mostka cieplnego

$\psi_j$  - współczynnik przenikania ciepła  $j$ -tego liniowego mostka cieplnego przyjęty wg PN-EN ISO 14683:2008 lub obliczony zgodnie z PN-EN ISO 10211:2008

Rzeczywista wartość współczynnika strat ciepła przez przenikanie dla budynku jest możliwa do określenia pod warunkiem znajomości grubości przegród, współczynników przewodzenia ciepła użytych materiałów budowlanych oraz rozmiaru mostków cieplnych. Powyższe dane można uzyskać z dokumentacji technicznej budynku. Dla budynków nieposiadających dokumentacji lub zbudowanych niezgodnie z dokumentacją, dane należałoby pozyskać z obmiaru budynku istniejącego [1]. Obmiar pól powierzchni przegród nie nastęca trudności, w przeciwieństwie do określenia rzeczywistych współczynników przenikania ciepła  $U$ . Należy też uwzględnić fakt, że wady wykonawstwa budowlanego obniżają nieraz znacznie izolacyjność cieplną.

Współczynnik przenikania ciepła  $U$  jest to stosunek gęstości ustalonego strumienia ciepłego do różnicy temperatur powietrza po obu stronach przegrody. Teoretycznie, przepływ ciepła przez element budowlany można pomierzyć miernikiem gęstości strumienia ciepła a temperaturę obydwóch powierzchni lub powietrza w sposób kontaktowy. Pomiar powinien być wykonany w stabilnych warunkach [2], trudnych do uzyskania w praktyce.

Norma [2] 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.

W ramach grantu badawczego pt. "Metodyka określania właściwości cieplnych przegród budowlanych metodą termowizyjną" nr NN526119133, prowadzone są bardzo obszerne badania doświadczalne mające na celu określenie możliwości, ograniczeń i warunków koniecznych w ilościowej ocenie izolacyjności przegród na podstawie badań termowizyjnych oraz oszacowanie dokładności tej metody.

## 2. Pomiary doświadczalne

Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem komory klimatycznej. Komora klimatyczna składa się z dwóch części, w których możliwe jest utrzymywanie zadanych warunków termiczno-wilgotnościowych w bardzo szerokim zakresie. Ściany zewnętrzne obydwu części komory są bardzo dobrze termicznie izolowane (160 mm poliuretanu) od otaczającego je środowiska hali laboratorium. Badany element budowlany (o wymiarach 2 x 2 m) jest umieszczony w otworze pomiędzy częściami komory. Poprzez chłodzenie jednego z pomieszczeń do zadanej temperatury i jednoczesne ogrzewanie pomieszczenia sąsiedniego, wytwarzana jest różnica temperatur po obydwu stronach badanej przegrody, a więc warunki do wymiany ciepła poprzez badaną przegrodę budowlaną.

Wybierając przegrody do badań w komorze klimatycznej kierowano się dwoma najważniejszymi kryteriami:

- analizowane przegrody powinny odpowiadać typowym rozwiązaniom stosowanym obecnie w polskim budownictwie,
- badane przegrody powinny zdecydowanie różnić się właściwościami akumulacyjnymi (i w efekcie dynamicznymi), dzięki temu obszar rozwiązań będzie pokrywał szerokie spektrum możliwych przegród i umożliwi interpolację wyników dla układów pośrednich, nieobjętych programem badań.

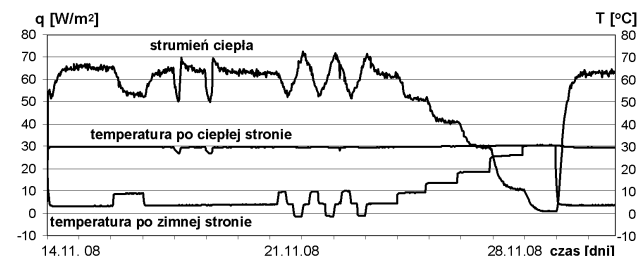
Przy zbliżonych właściwościach izolacyjnych, wyrażanych poprzez współczynnik przenikania ciepła, decydujące znaczenie dla zachowania się przegrody w warunkach niestacjonarnych ma pojemność cieplna jej warstw, a także kolejność ich ułożenia.

Laboratoryjne pomiary w komorze klimatycznej przeprowadzono dla typowych przegród budowlanych:

- ściana jednowarstwowa z materiału łączącego cechy konstrukcyjne i izolacyjne (średnia zdolność akumulacyjna),
- lekka przegroda zewnętrzna o konstrukcji szkieletowej wypełnionej izolacją termiczną (mała zdolność akumulacyjna),
- ściana dwuwarstwowa, złożona z murowej warstwy konstrukcyjnej i zewnętrznej warstwy izolacji termicznej osłoniętej pocienionym tynkiem (duża zdolność akumulacyjna).

Przyjęta metodyka badań powinna umożliwić porównanie obu metod (z wykorzystaniem ciepłomierza i kamery termograficznej) wyznaczania właściwości izolacyjnych przegród budowlanych. Dlatego podstawowe pomiary laboratoryjne badanych przegród w komorze klimatycznej wykonano w różnych warunkach, odtwarzając stałe i zmienne warunki brzegowe po obydwu stronach przegrody a mianowicie (rys. 1):

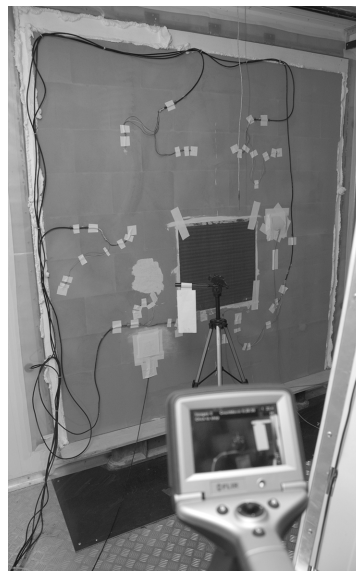
- w ustalonym stanie przepływu ciepła,
- przy cyklicznej zmienności temperatury po zimnej stronie przegrody (symulacja dobowych zmian temperatury powietrza zewnętrznego), w stanie quasistacjonarnym,
- przy skokowej zmianie temperatury powietrza zewnętrznego.



Rys. 1. Zmienność gęstości strumienia ciepła i temperatur powietrza dla ściany z blozków silikatowych

Fig. 1. Variation of heat flow density and air temperature for a wall of calcium-silicate blocks

Pomiary gęstości strumienia ciepła (ciepłomierzem) wykonywane były po cieplej stronie przegrody (rys. 2). Przy użyciu kamer termowizyjnych rejestrowano obrazy termograficzne obydwu powierzchni oraz temperaturę powietrza, dzięki umieszczeniu w polu widzenia kamery kartki białego papieru – z uwagi na małą pojemność cieplną papier przyjmował temperaturę powietrza. Wyrzykowo badana była także prędkość ruchu powietrza przy powierzchni przegrody.



Rys. 2. Fotografia ściany badanej w komorze klimatycznej od strony cieplej

Fig. 2. Photograph of the examined wall taken from the warm side.

Do badań zastosowano ciepłomierz W 150-2, firmy AHLBORN o dokładności kalibracji 5%. Duża powierzchnia użytego do badań ciepłomierza (500 x 500 mm) pozwoliła na uśrednienie pomiaru strumienia cieplnego. Po pewnym czasie dodatkowo zainstalowano na badanej przegrodzie dwa ciepłomierze firmy AHLBORN o powierzchni 90x90 mm o dokładności kalibracji 5%.

Temperaturę powierzchni przegród i temperaturę powietrza mierzono po obu stronach badanej przegrody w kilku punktach przy użyciu termopar.

Sygnały pomiarowe z ciepłomierzy i termopar były zbierane w 1 minutowych odstępach czasu i archiwizowane przy użyciu systemu pomiarowego AHLBORN ALMEMO 5590-2, a następnie przetwarzane w komputerze przenośnym w programie DATA-CONTROL 4.3.

Pomiary termowizyjne po stronie ciepłej wykonane zostały kamerą termowizyjną Therna CAM S60 PAL, wyposażoną w obiektyw o kącie widzenia 20°. Dokładność odczytu temperatury na termogramie wynosi 0.1°C. Termogramy w postaci cyfrowej rejestrowane były w 30 minutowych odstępach czasu.

Badania według przyjętego programu przeprowadzono dla poszczególnych ścian w okresie:

- ściany jednowarstwowej z keramzytobetonu
  - około 30 dni
- lekkiej przegrody zewnętrznej o konstrukcji szkieletowej
  - około 30 dni
- ściany jednowarstwowej z bloczków silikatowych
  - około 20 dni
- ściany dwuwarstwowej z bloczków silikatowych ocieplonej warstwą styropianu od zimnej strony
  - około 22 dni

Ogółem dla ścian badanych w komorze zarejestrowano około 4900 termogramów i ponad 140 000 serii wartości temperatury i gęstości strumienia ciepła. Wszystkie te pomiary wykonane zostały bez wpływu dodatkowych czynników zakłócających przepływ ciepła. Komora w czasie pomiarów nie była otwierana i nie używano oświetlenia.

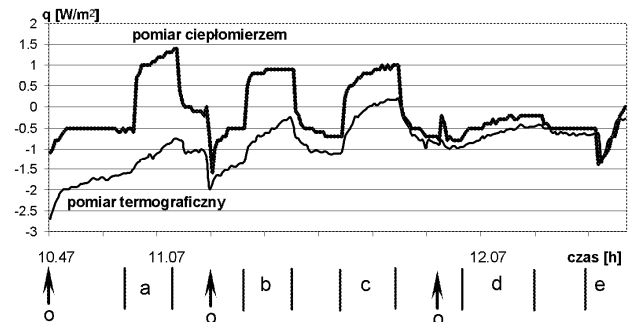
### 3. Wpływ czynników zakłócających na wskazania ciepłomierza

Przy wykonywaniu pomiarów w istniejących i użytkowanych budynkach trudno jest zachować warunki pomiaru wolne od zakłóceń. Do pomieszczenia wchodzi ludźmi, oświetlenie jest włączane i wyłączane. Każda taka zmiana warunków wymiany ciepła powoduje zmianę wskazań ciepłomierza. Dlatego w warunkach laboratoryjnych komory klimatycznej sprawdzono wpływ typowych czynników zakłócających jak oświetlenie i ruch powietrza na wskazania ciepłomierza i kamery termograficznej.

Jeden z eksperymentów przeprowadzono w warunkach prawie zerowego strumienia ciepła. Temperatura powietrza po zimnej stronie przegrody wynosiła około 26°C a po ciepłej 28°C. Wyłączone były urządzenia do chłodzenia i grzania jak również wentylatory. W czasie trwającego około dwóch godzin eksperymentu na pewien okres włączano po ciepłej stronie komory oświetlenie. Kolejno było to: oświetlenie żarowe komory, reflektorek z żarówką halogenową, reflektorek ze zwykłą żarówką, reflektorek z żarówką energooszczędną (światłówką). Przed rozpoczęciem pomiaru nastąpiło otwarcie drzwi komory co spowodowało chwilowe obniżenie temperatury powietrza po stronie ciepłej i na skutek tego zmianę kierunku przepływu ciepła. Na zakończenie pomiaru włączono wentylatory. Wyniki rejestrowano co 30 s, przed pomiarem zsynchronizowano zegary kamery i systemu rejestrującego wartości z czujników. Wartości gęstości strumienia ciepła pomierzone ciepłomierzem i obliczone na podstawie pomiaru termograficznego przedstawiono na rysunku 3.

Włączenie oświetlenia żarowego spowodowało wyraźny wzrost gęstości strumienia ciepła mierzonego ciepłomierzem a nieco mniejszy wzrost wyznaczonego z pomiarów termowizyjnych. Światło światłówki spowodowało znacznie mniejszy wzrost gęstości strumienia ciepła.

Przy wykonywaniu pomiarów termograficznych w użytkowanych budynkach należy brać pod uwagę wpływ oświetlenia i ruchu powietrza jako czynników mogących w sposób istotny zmienić wartość wyznaczanej gęstości strumienia ciepła.

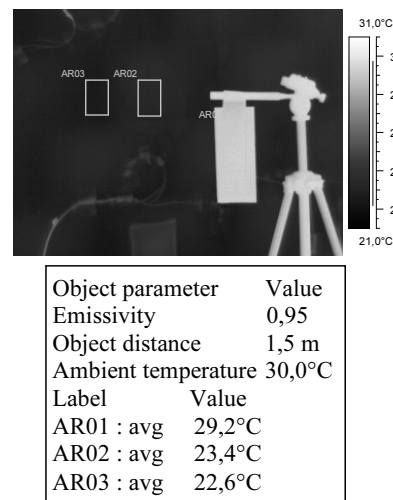


Rys. 3. Wpływ czynników zakłócających na pomiar wartości gęstości strumienia ciepła: a – oświetlenie żarowe komory, b – żarówka halogenowa, c – żarówka zwykła, d – żarówka energooszczędna (światłówka), e – włączone wentylatory, o – otwarcie drzwi komory

Fig. 3. Influence of disturbing factors on the heat flow density measurement: a - incandescent light in the chamber, b - halogen light, c - incandescent light, d - compact fluorescent light, e - fan turned on, o - chamber door opening

### 4. Analiza uzyskanych wyników

Na każdym termogramie zarejestrowanym dla badanej przegrody dokonano pomiaru temperatury jej powierzchni i otaczającego ją powietrza. Pomiar temperatury powietrza i badanej przegrody na podstawie tego samego termogramu podnosi dokładność wyznaczenia różnicy temperatury. Pomiar temperatury następował poprzez odczytanie średniej wartości temperatury w wybranym polu pomiarowym (rys. 4) przy pomocy programu ThernaCAM Reasearcher Pro2.8 z dokładnością 0.1°C.



Rys. 4. Przykład pomiaru na termogramie

Fig. 4. Example of measurement on a thermogram

Gęstość strumienia ciepłego wyznaczonego metodą termograficzną oblicza się z wzoru:

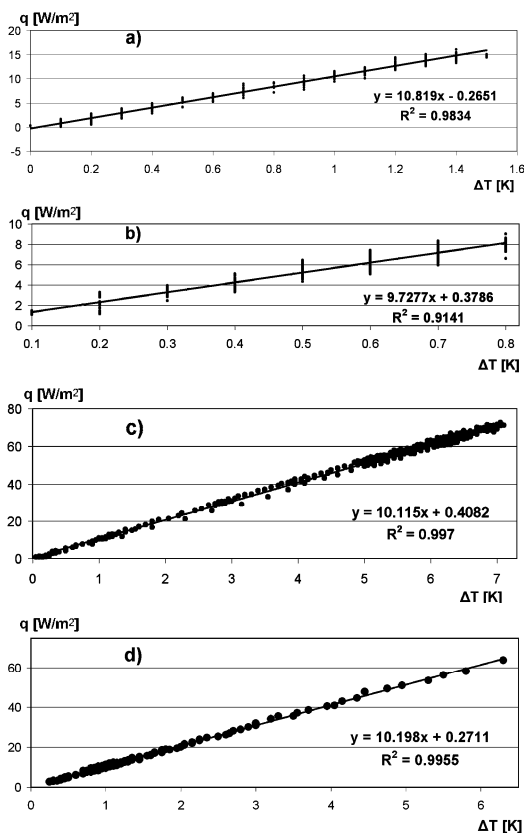
$$q_i = h_i \cdot (T_i - T_{si}) \quad (2)$$

gdzie:

- $T_{si}$  - temperatura na powierzchni przegrody
- $T_i$  - temperatura powietrza
- $h_i$  - współczynnik wnikania ciepła
- $i$  - oznacza wewnętrzną stronę przegrody

Związek pomiędzy różnicą temperatury powietrza i powierzchni ściany a wartością gęstości strumienia ciepła jest funkcją liniową. Dlatego dla wyznaczenia wartości parametrów związku pomiędzy różnicą temperatury powietrza i powierzchni ściany określonej termograficznie a wartością gęstości strumienia ciepła

pomierzonej ciepłomierzem zastosowano regresję liniową. W ten sposób obliczono rzeczywistą wartość współczynnika wnikania ciepła. Proste regresji na tle punktów otrzymanych z pomiarów pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Wykresy regresji liniowej pomiędzy różnicą temperatury powietrza i powierzchni ściany a wartością gęstości strumienia ciepła dla ścian: a) keramzytobeton, b) lekka ściana szkieletowa, c) bloczki silikatowe, d) bloczki silikatowe ocieplone styropianem

Fig. 5. Linear regression between the difference of air and wall temperature and heat flow density for walls: a) light expanded clay aggregate concrete, b) light skeletal wall c) calcium-silicate blocks d) calcium-silicate blocks with styrofoam insulation

Wartości parametrów statystycznych opisujących dopasowanie do siebie wartości gęstości strumienia ciepła pomierzonych ciepłomierzem i obliczonych na podstawie termograficznego pomiaru różnicy temperatury przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry statystyczne dopasowania do siebie wyników z ciepłomierza i pomiaru termograficznego

Tab. 1. Statistical parameters of fitting measurement results from the heat flow meter and thermographic measurement

Typ ściany	Liczba obserw.	Gęstość strumienia ciepła [W/m <sup>2</sup> ] Maks Min	Współcz. korelacji R	Standard odch. reszt $\sigma$ [W/m <sup>2</sup> ]	Współcz. zmienności reszt V [%]
keramzyt	861	15.86 -0.30	0.992	0.57	4.9
ściana szkieletowa	961	8.16 1.35	0.956	0.45	7.6
pustak silikat	829	72.22 0.91	0.998	1.03	2.0
pustak silikat + styropian	616	64.50 2.82	0.998	0.45	4.1

Analiza wyników przedstawionych tab. 1 pozwala na stwierdzenie, że istnieje bardzo silna korelacja pomiędzy wartością gęstości strumienia ciepła pomierzoną ciepłomierzem i obliczoną

na podstawie pomiarów termograficznych. Współczynnik korelacji R w przypadku ściany szkieletowej – dla której maksymalna gęstość strumienia ciepła to jedynie około 8W - wynosi 0.956. Dla pozostałych ścian współczynnik korelacji R jest większy od 0.99. Odchylenie standardowe reszt, obrazujące wielkość odchylenia wartości gęstości strumienia ciepła pomierzonych ciepłomierzem od wartości obliczonych na podstawie pomiaru termograficznego, dla trzech ścian wynosi około 0.5 W/m<sup>2</sup>. Dla ściany z pustaków silikatowych wynosi 1 W/m<sup>2</sup>, ale wartość strumienia ciepła w tym przypadku ma dużą wartość, dochodzącą do 72 W/m<sup>2</sup>. Współczynnik zmienności reszt dla ściany szkieletowej wynosi 7.6% ale dla pozostałych ścian jest mniejszy od 5%, przy czym dokładność pomiaru ciepłomierzem wynosi 5%.

Wynika stąd, że dokładność pomiaru różnicy temperatur kamerą termograficzną jest wystarczająca do pomiarów ilościowych.

## 5. Podsumowanie

Wartość gęstości strumienia ciepła zależy nie tylko od własności izolacyjnych przegrody ale również od warunków wymiany ciepła i temperatury powietrza po obu stronach. Własności izolacyjne przegrody określa jej opór cieplny; a własności izolacyjne odniesione do konkretnych warunków napływu i odpływu ciepła charakteryzuje współczynnik przenikania ciepła U.

W przypadku pomiaru gęstości strumienia ciepła w ustalonych warunkach, współczynnik U oblicza się z prostej zależności:

$$U = \frac{q}{T_i - T_e} \quad (3)$$

gdzie:

$T_e$  – temperatura powietrza zewnętrznego

$T_i$  – temperatura powietrza wewnątrz

$q$  – gęstość strumienia ciepła

Gęstość strumienia ciepła może być pomierzona ciepłomierzem lub wyznaczona techniką termografii. Korelacja wyników pomiaru obydwoma technikami, jak pokazały badania doświadczalne, jest bardzo duża; wartość współczynnika korelacji wynosi 0.95÷0.99. Tak więc technika termografii może być wykorzystywana do pomiarów ilościowych w budownictwie.

W przypadku pomiaru gęstości strumienia ciepła w warunkach niestabilnych korzystanie z wzoru (3) spowoduje uzyskanie nieprawidłowych wartości współczynnika U, jednakże dotyczy to w takim samym stopniu wyników pomiaru ciepłomierzem jak i kamerą termograficzną.

Pomiar kamerą termograficzną prowadzony w celu wyznaczenia współczynnika U dla przegrody, wymaga znajomości wartości współczynnika napływu ciepła; omówienie rozwiązania tego zagadnienia w praktyce, wykracza poza ramy niniejszego artykułu.

Praca niniejsza została wykonana w ramach projektu badawczego: NN526119133 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## 6. Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. (Dz. U. 2008 nr 201 poz. 1240) w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.
- [2] prEN 12494 Building components and elements - In-situ measurement of the surface-to-surface thermal resistance – projekt normy europejskiej.
- [3] PN-EN 13187 Właściwości cieplne budynków – Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – Metoda podczerwienu.