

## ZASTOSOWANIE TERMOGRAFII DO WYZNACZANIA OPORU CIEPLNEGO PRZEGRÓD BUDOWLANYCH W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

Monika KUCYPERA\*, Henryk NOWAK\*\*

\* Politechnika Wroclawska, Zaklad Fizyki Budowli i Komputerowych Metod Projektowania,  
Instytut Budownictwa, Pl. Grunwaldzki 11, 50-377 Wroclaw, e-mail: Monika.kucypera@pwr.wroc.pl

\*\* Politechnika Wroclawska, Zaklad Fizyki Budowli i Komputerowych Metod Projektowania,  
Instytut Budownictwa, Pl. Grunwaldzki 11, 50-377 Wroclaw, e-mail: henryk.nowak@pwr.wroc.pl

**Streszczenie:** W artykule podjęto próbę wyznaczenia wartości oporu cieplnego zewnętrznej ściany wielowarstwowej na podstawie badań na obiekcie istniejącym. Analizy dokonano dwiema metodami – pierwsza na podstawie pomiarów temperatury powietrza po obu stronach przegrody oraz na jej powierzchniach zewnętrznej i wewnętrznej, druga na podstawie pomiarów gęstości strumienia ciepła przepływającego przez przegrodę, temperatury powietrza po obu stronach i temperatury powierzchni granicznych ściany oraz na podstawie badań termowizyjnych. Istotą doświadczenia było porównanie wyników badań obu metod.

**Słowa kluczowe:** ściany wielowarstwowe w obiektach rzeczywistych, całkowity opór cieplny, badania termowizyjne.

### 1. WSTĘP

Termowizyjne badania budynków służą głównie do jakościowej oceny przegród budowlanych i stąd na ich podstawie nie można dokonać ilościowej oceny cieplnych właściwości przegród budowlanych, np. nie można wyznaczyć wartości współczynnika przenikania ciepła, bez przeprowadzenia w tym samym czasie dodatkowych pomiarów innych wielkości [3]. Mimo, że jakościowe badania termowizyjne budynków są wystarczające do oceny stanu izolacji cieplnej w przegrodach, w literaturze tematu od lat podejmowane są próby ilościowej oceny przegród z wykorzystaniem badań termowizyjnych – można wyróżnić trzy główne metody rozwiązania tego problemu:

1. mierzone są jedynie wartości temperatury powietrza i powierzchni przegrody po obu jej stronach [1], [2] – jest to metoda najprostsza, ale problem stwarza wyznaczenie lub przyjęcie wartości współczynników przenikania ciepła po obu stronach przegrody,
2. mierzone są wartości temperatury powietrza i powierzchni przegrody po obu jej stronach oraz gęstość

strumienia przewodzonego ciepła [5] – jest to metoda dokładna, ale też bardziej pracochłonna, zarówno w komorach klimatycznych jak i w budynkach,

3. mierzone są wartości temperatury powietrza i powierzchni przegrody po obu jej stronach (podobnie jak w metodzie nr 1) oraz prowadzone są pomiary radiometryczne po obu stronach przegrody [2] – metoda dokładna, ale również pracochłonna.

W każdym przypadku termowizyjnie mierzona jest temperatura zewnętrznej powierzchni przegrody, natomiast temperatura powierzchni od strony pomieszczenia może być mierzona w tym samym czasie drugą kamerą termowizyjną lub metodą kontaktową (termopary).

Należy zwrócić uwagę, że definicja współczynnika przenikania ciepła, obowiązująca dla ustalonych warunków przepływu ciepła, jest w dużej sprzeczności z warunkami przenikania ciepła przez przegrody budowlane w warunkach rzeczywistych, które praktycznie są zawsze nieustalone w czasie. Skutki nieustalonego przepływu ciepła przez przegrody budowlane można nieco zniwelować poprzez wykonywanie pomiarów w miarę stabilnych periodycznych warunkach pogodowych, ale tak uwarunkowana wymiana ciepła i tak jest nieustalona w czasie. Warto zwrócić uwagę, że ustalone warunki przepływu ciepła przez przegrody budowlane można zapewnić jedynie w komorach klimatycznych. Stąd, ilościowe pomiary na obiektach rzeczywistych należy prowadzić w okresach co najmniej kilkudniowych, przy odpowiednich stabilnych warunkach pogodowych, z uśrednianiem wartości przebiegów poszczególnych mierzonych wielkości: W tego typu badaniach największą trudność sprawia pomiar prędkości wiatru przy ścianach na różnej wysokości budynku i przy połaciach dachowych. Stąd, w praktyce badawczej z uwagi na trudności pomiarowe niektórych wielkości dominuje jakościowa, a nie ilo-

ściowa ocena przegród pod kątem izolacyjności cieplnej. Ale z drugiej strony, w zdecydowanej większości przypadków ocena jakościowa stanu izolacyjności cieplnej przegród jest wystarczająca do oceny stanu izolacyjności cieplnej termicznej obudowy budynków.

W artykule podjęto próbę wyznaczenia wartości oporu cieplnego zewnętrznej ściany wielowarstwowej. Istotą badań było porównanie wyników z pomiarów temperatury powietrza po obu stronach przegrody i na jej powierzchniach granicznych oraz metodą pomiarów gęstości strumienia ciepła i temperatury powierzchni, i powietrza po obu stronach ściany.

## 2. OPÓR CIEPLNY PRZEGRODY

Badania termowizyjne mogą być zastosowane do wyznaczenia wartości całkowitego oporu cieplnego  $R_T$  [ $m^2K/W$ ] przegrody budowlanej, a tym samym jej współczynnika przenikania ciepła  $U$  [ $W/m^2K$ ]. Znając gęstość strumienia ciepła  $q$ , warunki brzegowe w postaci różnicy temperatur  $\Delta T$  po obu stronach przegrody można wyznaczyć wartość oporu cieplnego badanej przegrody ze wzoru:

$$R = \frac{v_i - v_e}{q} \quad (1)$$

gdzie:

- $R$  – opór cieplny przegrody,  $m^2K/W$ ;
- $v_i$  – temperatura na powierzchni przegrody od strony pomieszczenia,  $^{\circ}C$ ;
- $v_e$  – temperatura zewnętrznej powierzchni przegrody,  $^{\circ}C$ ;
- $q$  – gęstość strumienia ciepła,  $W/m^2$ .

Wzór (1) ma zastosowanie jedynie przy założeniu ustalonych warunków przepływu ciepła, które w warunkach rzeczywistych praktycznie nie występują. Inny sposób obliczenia całkowitego oporu cieplnego przegrody przedstawia wzór:

$$\frac{(t_i - v_i)}{R_{si}} = \frac{(t_i - t_e)}{R_T} \quad (2)$$

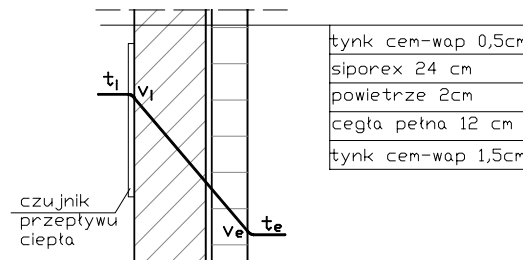
$$R_T = \frac{R_{si}(t_i - t_e)}{(t_i - v_i)}$$

gdzie:

- $R_{si}$  – opór przyjmowania ciepła od strony wewnętrznej,  $m^2W/K$ ;
- $R_T$  – całkowity opór cieplny przegrody,  $m^2K/W$ ;
- $v_i$  – temperatura na powierzchni przegrody od strony pomieszczenia,  $^{\circ}C$ ;
- $t_i$  – temperatura powietrza w pomieszczeniu,  $^{\circ}C$ ;
- $v_e$  – temperatura na powierzchni przegrody od strony zewnętrznej,  $^{\circ}C$ ;
- $t_e$  – temperatura powietrza zewnętrznego,  $^{\circ}C$ ;

## 3. OPIS BADAŃ

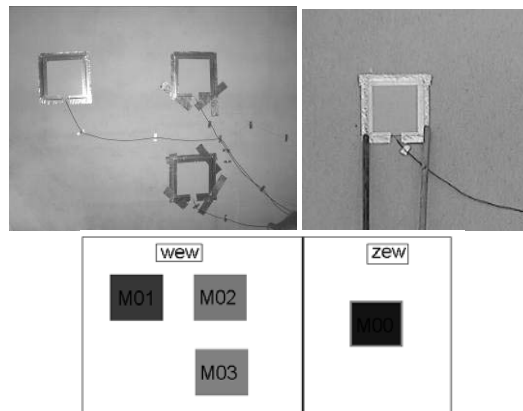
Badania zrealizowano w pomieszczeniu zamkniętym o stałej temperaturze  $16^{\circ}C$ , na ścianie zewnętrznej wielowarstwowej. Przegroda zbudowana jest z gazobetonu o grubości 24 cm oddzielonego 2 cm pustką powietrzną od cegły zwykłej pełnej na 12 cm. Szczegółowy układ warstw przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Schemat rozkładu temperatury w przegrodzie, układu warstw oraz oznaczeń w obliczeniach.

Fig. 1. Scheme of the temperature distribution in the wall, layer structure and symbols using in the calculations.

Pomiary temperatury powietrza oraz powierzchni granicznych przegrody przeprowadzono za pomocą termopar. Równocześnie mierzono sekwencyjnie, w stałych odstępach czasu, temperaturę na wewnętrznej powierzchni ściany używając kamery termowizyjnej. Obrazy termalne rejestrowane były przez kilka dni. Gęstość strumienia ciepła rejestrowana była miernikami płytowymi wielkości 250 x 250 x 1,5 mm. Schemat rozmieszczenia oraz oznaczenia czujników przepływu ciepła pokazano na Rys. 2.



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe. Rozmieszczenie oraz znaczenia mierników płytowych do pomiaru gęstości strumienia ciepła.

Fig. 2. Measurement position. Location and symbols of thermal resistance measurement system.

Pomiary wykonywane były na ścianie zewnętrznej o znanej budowie w budynku istniejącym. Jednak właściwości materiałów, z których zbudowana była przegroda nie zostały wcześniej zdokumentowane ani dokładnie zmierzone, dla-

tego przyjęto je na podstawie wizji lokalnej. Największe rozbieżności w ustaleniu współczynnika przewodzenia ciepła mogą wystąpić przy ocenie betonu komórkowego, ponieważ współczynnik ten mieści się w przedziale między 0,25-0,38 W/mK w zależności od gęstości objętościowej.

Wybrano wartość ze środka przedziału, ponieważ przegroda pochodzi z lat siedemdziesiątych, choć jednocześnie jest w bardzo dobrym stanie technicznym i nie była zawilgociona. Teoretycznie obliczony opór cieplny  $R$  ściany wyniósł 1,15 m<sup>2</sup>K/W, natomiast po uwzględnieniu oporów przejmowania ciepła  $R_{si}$  oraz  $R_{se}$ , przyjętych wg normy PN-EN ISO 9646:2008, opór całkowity ściany  $R_T$  wyniósł 1,32 m<sup>2</sup>K/W. Obliczenia przedstawiono w Tabeli 1.

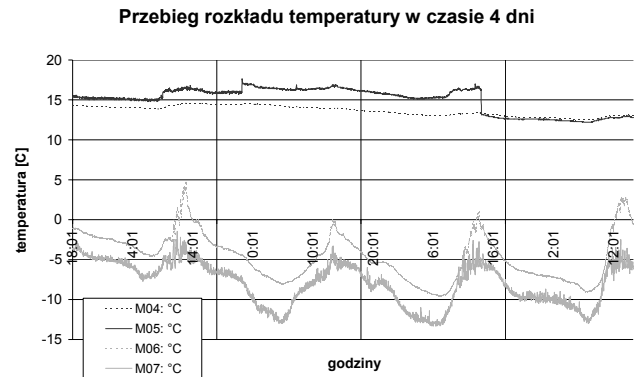
Tabela 1. Układ warstw i opór cieplny przegrody.  
Table 1. Layer structure and R-value of wall.

	d	$\lambda$	R
	[m]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]
tynek cem-wap	0,005	0,82	0,01
siporex	0,24	0,3	0,80
powietrze 2cm	0,02		0,17
cegła pełna	0,12	0,77	0,16
tynek cem-wap	0,015	0,82	0,02
		<b>R=</b>	<b>1,15</b>
		<b>R<sub>T</sub>=</b>	<b>1,32</b>

## 4. WYNIKI

### 4.1. Wartości temperatury

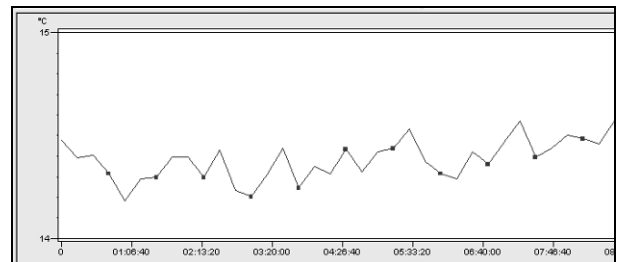
Rejestracja temperatury powietrza i powierzchni po obu stronach przegrody odbywała się w okresie, w którym występowały duże dobowe wahania temperatury powietrza zewnętrznego (Rys. 3). Momentami amplituda ta wynosiła do 15°C. Tak wysokie różnice temperatury w ciągu krótkiego okresu czasu mają istotny wpływ na wahania temperatury powietrza wewnętrznego, która zmienia się analogicznie do temperatury powietrza zewnętrznego, ale dopiero po pewnym czasie  $\Delta T$  wynikającym z pojemności cieplnej przegrody. To przesunięcie w czasie z kolei wpływa na dalsze analizy oporu cieplnego.



Rys. 3. Przebieg rozkładu temperatury na obu powierzchniach i temperatury powietrza po obu stronach badanej przegrody, dla kilku dni pomiarowych.

Fig. 3. Temperature distribution on both surfaces and air temperature on both sides of the wall, for several days.

Rys. 3 przedstawia rozkład temperatur powietrza i powierzchni po obu stronach ściany zmierzonych termoparami. Natomiast na Rys. 4 pokazany jest rozkład temperatur  $v_i$  na wewnętrznej powierzchni przegrody zmierzony kamerą termowizyjną. Jest to wykres z jednego dnia pomiarowego między godziną 16 a 9 rano. Wahania temperatury w tym czasie są bardzo małe, rzędu 0,3°C. Godziny południowe, w których występowało mocne nasłonecznienie przegrody odrzucono ze względu na znacząco większą temperaturę powietrza zewnętrznego oraz wzmożony przepływ strumienia ciepła (Rys. 6).



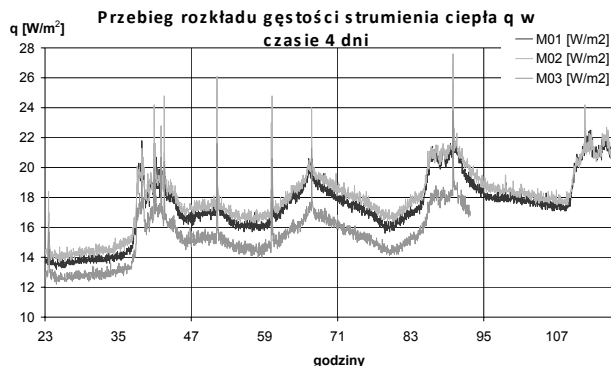
Rys. 4. Przebieg rozkładu temperatury mierzonej kamerą termowizyjną na wewnętrznej powierzchni badanej przegrody wybranego dnia.

Fig. 4. Temperature distribution measured by infrared camera on the inner surface of the test partition for selected day.

### 4.2. Gęstość strumienia ciepła

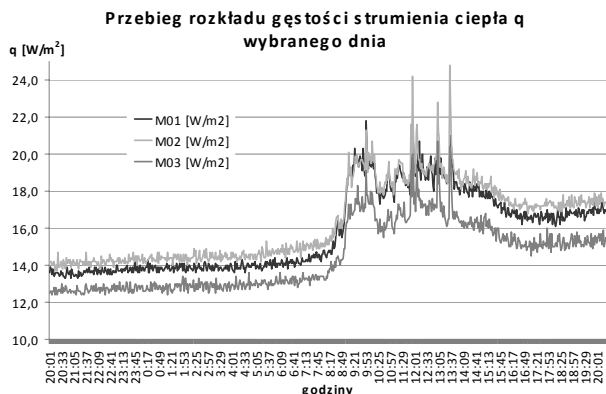
Gęstość strumienia ciepła  $q$  rejestrowana była trzema miernikami ułożonymi jak na Rys. 2. Wyniki pomiarów z czujników ustawionych obok siebie (M01, M02) miały bardzo zbliżone wartości, natomiast wartości z czujnika M03 nieco od nich odbiegały (Rys. 5 i Rys. 6). Na termogramie (Rys. 10) widać, że temperatura tego czujnika była nieco niższa, niż czujników powyżej. Mogło to być spowo-

dowane niejednorodnymi właściwościami materiału, lub też mniejszą grubością szczeliny powietrznej w ścianie.



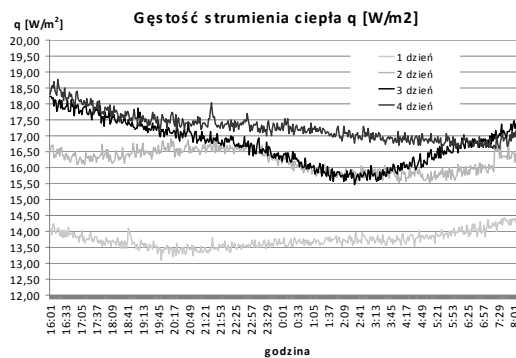
Rys. 5. Przebieg rozkładu strumienia ciepła dla kilku dni i trzech punktów pomiarowych.  
Fig. 5. Heat flux distribution for several days and three measurement points.

Na Rys. 6 przedstawiono dobowe wartości gęstości strumienia ciepła dla trzech płytek pomiarowych. Między godziną 10 rano a 17 po południu widać wyraźny wzrost przepływu ciepła. Średnia gęstość strumienia  $q$  dla danej doby, wyłączając godziny południowe, kształtowała się na poziomie  $14 \text{ W/m}^2$ , a biorąc pod uwagę okres wzmożonego przepływu ciepła wartość ta rosła momentami aż do  $25 \text{ W/m}^2$ , a średnio wynosi  $18 \text{ W/m}^2$ .



Rys. 6. Przebieg rozkładu gęstości strumienia ciepła wybranego dnia dla trzech punktów pomiarowych.  
Fig. 6. Density of heat flux distribution for selected day and three measurement points.

W zależności od temperatury powietrza zewnętrznego gęstość strumienia  $q$  miała inną wartość. I tak dla średniej temperatury  $t_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$   $q$  wynosiła ok.  $14 \text{ W/m}^2$ , a przy średniej  $t_e = -10 \text{ }^\circ\text{C}$   $q$  wnosila ok.  $18 \text{ W/m}^2$  (Rys. 7).



Rys. 7. Przebieg średniej wartości gęstości strumienia ciepła dla kilku dni.  
Fig. 7. Average heat flux density distribution for several days.

Około godziny 2 w nocy strumień ciepła przepływający przez przegrodę był najmniejszy (Rys. 7), czyli wtedy kiedy temperatura powietrza zewnętrznego też jest najniższa, co wynika z cieplnej dynamiki przegrody. Przy założeniu stałego oporu cieplnego ściany wyniki te zgadzają się z teorią (wzór (1)).

### 4.3. Opór cieplny przegrody

Wyniki pomiarów gęstości strumienia ciepła oraz temperatury za pomocą termopar posłużyły do obliczania oporu cieplnego ze wzoru (1). Natomiast wyniki pomiarów temperatury na powierzchni przegrody oraz temperatury powietrza przy użyciu kamery termowizyjnej wykorzystane zostały do obliczenia całkowitego oporu cieplnego ze wzoru (2). Pomiarzy przeprowadzono w lutym 2011. Temperatura zewnętrzna powietrza nocą była zdecydowanie bardziej ustabilizowana niż w ciągu dnia, co widać na wykresach na Rys. 3. Zestawienie pomiarów na Rys. 5. obrazuje przebieg rozkładu gęstości strumienia ciepła w ciągu kilku dni pomiarowych. Kolory linii na wykresie odpowiadają kolorom płytek pomiarowych na schemacie z Rys. 2. Na Rys. 3 widać tendencję dobowych wahań temperatury powietrza i na powierzchniach przegrody, która bezpośrednio przekłada się na wahania ilości przepływającego przez ścianę ciepła.

Tabela 2. Uśrednione pomiary z wybranych kilku dni oraz obliczenie oporu cieplnego z wzoru (1).

Table 2. Averaged measurements of the selected few days, and the calculation of thermal resistance of the equation (1).

temp. termopary [°C]		1 dzień	2 dzień	3 dzień	4 dzień
	vi	14,12	14,34	13,33	12,78
ve	-2,60	-5,63	-6,82	-6,90	
strumień ciepła [W/m]	q	13,75	16,21	16,81	17,32
opór cieplny [m²K/W]	R	1,22	1,23	1,20	1,14

Tabela 2 zawiera wybrane wyniki dla czterech dni pomiarowych. Wyniki zostały uśrednione dla danych uzyskanych między godziną 17 po południu a 10 rano następnego dnia. Pominięto godziny południowe ze względu na intensywny wzrost temperatury powietrza zewnętrznego w tym czasie, który mocno zaburzał wyniki. Opór cieplny obliczono ze wzoru (1) na podstawie pomiarów gęstości strumienia ciepła  $q$  miernikami płytowymi oraz temperatury po obu stronach przegrody  $v_i$ ,  $v_e$  termoparami. Tabela 3 zawiera również wyniki z wybranych czterech dni pomiarowych z tą różnicą, że pomiarów do obliczenia oporu cieplnego dokonano kamerą termowizyjną wykorzystując wzór (2).

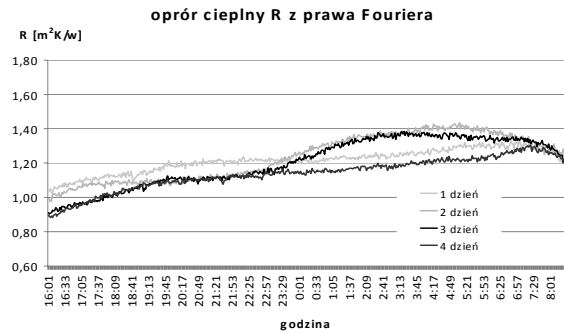
Tabela 3. Uśrednione pomiary z wybranych kilku dni oraz obliczenie oporu cieplnego z wzoru (2).

Table 3. Averaged measurements of the selected few days, and the calculation of thermal resistance of the equation (2).

temp. termopary [°C]	te	1 dzień	2 dzień	3 dzień
		-5,21	-9,19	-9,94
temp. kamera [°C]	vi	13,85	14,35	11,9
	ti	15,20	16,30	13,68
opór cieplny [m <sup>2</sup> K/W]	R	1,80	1,53	1,55

Obliczenia średniej wartości oporu cieplnego w zakresie pierwszej metody prowadzą do mocno zbliżonych do siebie wyników. W skali kilku dni pomiarowych różnice wyników wynosiły maksymalnie do 1% (Tabela 2). Dużo większe rozbieżności pojawiały się przy obliczeniach bazujących na temperaturze odczytanej z termogramów oraz przyjętych normowych współczynnikach przyjmowania ciepła (Tabela 3). Niedokładności mogły wynikać z braku pomiarów prędkości powietrza przy ścianie, które wpływają na opór całkowity przegrody.

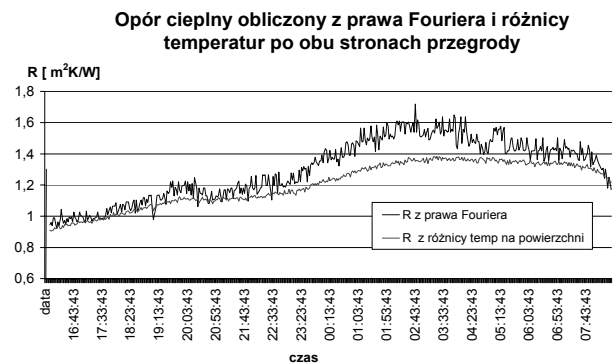
Porównując chwilowe wartości oporu cieplnego obliczonego ze wzoru (1) dla kilku dni pomiarowych widać, że jego wartość rosła wraz ze spadkiem strumienia ciepła  $q$  (Rys. 7 i Rys. 8). Niemniej jednak, w ciągu doby te wyniki były w miarę ustabilizowane, a wahania ich wartości wynosiły maksymalnie do 30%. Wynika to z faktu, że w tym okresie pomiarowym występowały duże zmiany temperatury zewnętrznej powierzchni ściany, a co za tym idzie zwiększała się gęstość strumienia ciepła  $q$ , która bezpośrednio wpływa na wartość oporu cieplnego (wzór (1)).



Rys. 8. Przebieg wartości oporu cieplnego obliczonego ze wzoru (1).

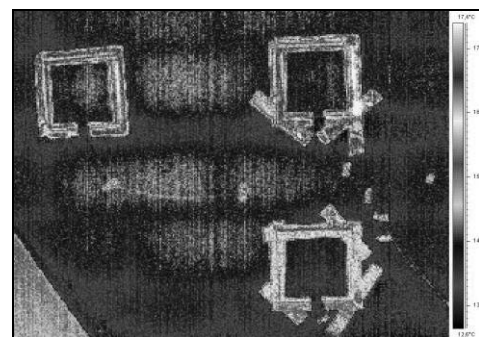
Fig. 8. Thermal resistance distribution, calculated from the formula (1).

Przy porównaniu wyników obliczania oporu cieplnego dwoma sposobami widać, że mimo pewnych rozbieżności wartości na krótkim przedziale czasowym, wyniki miały tę samą tendencję zmienności w okresie wybranego dnia pomiarowego (Rys. 9). W tym dniu maksymalna różnica wyników dla obu metod wynosiła do ok. 15%.



Rys. 9. Przebieg wartości oporu cieplnego obliczonego dwoma sposobami, ze wzoru (1) i (2).

Fig. 9. Thermal resistance distribution, calculated in two methods, the formula (1) and (2).



Rys. 10. Przykładowy termogram badanej przegrody.

Fig. 10. Selected thermogram of the tested wall.

## 5. WNIOSKI

Celem badania było wyznaczenie całkowitego oporu cieplnego ściany wielowarstwowej za pomocą kamery termowizyjnej, z jednoczesnym pomiarem innych składowych bilansu cieplnego przegrody. Podjęto próbę określenia wpływu dobowego wahań temperatury powietrza zewnętrznego oraz temperatury powietrza wewnętrznego w budynku na dokładność wyznaczenia wartości oporu cieplnego przegrody. Z powyższych analiz wynika, że wyznaczenie całkowitego oporu cieplnego przegrody przy zastosowaniu tylko i wyłącznie kamery termowizyjnej (bez innych dodatkowych urządzeń pomiarowych) nie jest wystarczająco dokładne, m.in. przyjmowanie wartości oporów przejmowania ciepła. Na dokładność tej metody ma również wpływ stabilność warunków wykonywania pomiarów oraz długość okresu pomiarowego. Zdecydowaną przewagą metody termograficznej nad metodą z wykorzystaniem mierników przepływu gęstości strumienia ciepła jest możliwość lokalizacji na przegrodzie odpowiedniego miejsca wykonywania pomiarów. Obraz z kamery termowizyjnej pozwala ocenić jednorodność budowy przegrody i dokonać pomiarów w miejscu bez zaburzenia przepływu ciepła spowodowanego miejscowym zróżnicowaniem materiału izolacyjnego lub konstrukcyjnego ściany. Warto też zauważyć, że duże zaburzenia w pomiarach gęstości strumienia ciepła czujnikami płytowymi wystąpiły pod wpływem wahającej się temperatury wewnętrznej pomieszczenia. Inaczej mówiąc, w ciągu dnia, gdy zyski słoneczne pomieszczenia są największe gęstość strumienia ciepła przepływającego przez przegrodę był znacząco większy niż w warunkach ustabilizowanych w nocy. Dlatego takie wyniki pominięto przy wyznaczaniu oporu cieplnego ściany (wzór (1)). Wyznaczanie oporu ze wzoru (2) również obarczone było pewnymi błędami, wynikającymi z nieustalonego przepływu ciepła. W tym przypadku należałoby jeszcze uwzględnić pojemność termiczną przegrody i fakt, że wpływ zewnętrznej temperatury powierzchni na wartość temperatury na powierzchni od strony pomieszczenia uwidacznia się dopiero po pewnym czasie, wynikającym z cieplnych właściwości dynamicznych przegrody. Dlatego do wyznaczania właściwości cieplnych przegrody najlepiej jest korzystać ze wzorów zawierających tylko temperaturę wewnętrzną powietrza i powierzchni przegrody oraz mierzyć prędkość przepływu powietrza bardzo czułym i dokładnym anemometrem.

Niewątpliwie największą zaletą pomiarów termowizyjnych jest ustalenie niejednorodności w budowie przegrody spowodowane różną izolacyjnością termiczną. Dzięki tej informacji już od początku badań można ustalić miejsce reprezentatywne dla wykonywanych dalszych pomiarów, a jeśli zachodzi taka potrzeba określić opór cieplny przegrody w kilku miejscach pomiarowych.

Przeprowadzone badania potwierdziły skuteczność zaproponowanej metody badawczej. W celu określenia wpływu czynników zewnętrznych na wyznaczenie wartości współ-

czynnika przenikania ciepła ścian wielowarstwowych w najbliższym czasie będą prowadzone pomiary w warunkach laboratoryjnych, tj. w komorach klimatycznych, również z wykorzystaniem możliwości termografii aktywnej [4], [6].

### APPLICATION OF THERMOGRAPHY TO CALCULATE THE THERMAL RESISTANCE OF BUILDING PARTITIONS IN REAL CONDITIONS

**Summary:** This article attempts to calculate the thermal resistance based on the results of research on the multi-layer wall of the existing building. The analysis was conducted in two ways - first from measurements of air temperature on both sides of the partition and on its outer and inner surfaces, the other on the basis of heat flow through the wall and on the thermography measurements. The essence of the experiment was to compare the results of the calculations of these two methods.

### Literatura

- [1] Maldague X., *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*, Wiley, John & Sons, 2001.
- [2] Michalczyk J., Nowak H.: *Względny pomiar lokalnych właściwości cieplnych przegród budowlanych za pomocą urządzenia termowizyjnego*. Inżynieria i Budownictwo, 1980, nr 3, s. 98-101,
- [3] Nowak H.: *Badania termograficzne budynków*. W: Współczesne problemy naukowo - badawcze budownictwa lądowego i wodnego. Wrocław: Oficyna Wydaw. PWrocławskiej, 2007. s. 199-206,
- [4] Nowak H., Kucypera M.: *Application Of Active Thermography For Detecting Material Defects In The Building Envelope*, Infrared Camera Applications Conference, InfraMation 2010, Proceedings Vol. 11, November 8-12, 2010, Las Vegas, NV, USA, pp.369-380.
- [5] Nowak H., Kucypera M.: *Wybrane problemy badań przegród budowlanych metodą termografii aktywnej*, Inżynieria i Budownictwo 12/2010, s.682-687.
- [6] Oliferuk W., *Termografia podczerwieni w nieniszczących badaniach materiałów i urządzeń*, Biuro Gamma, Warszawa 2008