

Tomasz ROCHATKA

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT MASZYN ROBOCZYCH I POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

Opracowanie metody wyznaczania strumienia ciepła na podstawie zdjęcia termowizyjnego

Dr inż. Tomasz ROCHATKA

Absolwent Politechniki Poznańskiej (1995), obronił doktorat (2003). Jest autorem i współautorem licznych opracowań z zakresu termowizji, szczególnie badań pojazdów do chłodniczego transportu żywności oraz komór chłodniczych do przechowywania żywności. Uczestniczył w pracach projektowych, realizacji i uruchomieniu stacji do badań nadwozi izotermicznych i chłodniczych wg normy ATP na Politechnice Poznańskiej.



e-mail: tomasz.rochatka@put.poznan.pl

Streszczenie

Badania termowizyjne zabudów chłodniczych pozwalają zarejestrować mostki cieplne (lokalizacja, rozmiar), pozwalają ocenić jakościowo strumień ciepła (mały, średni, duży, bardzo duży), jednak brakuje metod wyznaczania strumienia ciepła $Q \text{ W/m}^2$. W pracy przedstawiono metodę wyznaczania strumienia ciepła w obrębie mostka cieplnego na podstawie zdjęcia termowizyjnego. Badania prowadzono dla warunków testów izolacji nadwozi chłodniczych w celu interpretacji skali destrukcji materiału izolacyjnego. Wykorzystano metodę porównania temperatur zarejestrowanych na: powierzchni płyty obciążonej znanym strumieniem ciepła oraz powierzchni płyty kontrolnej, która nie była obciążona strumieniem ciepła. Badając różnice temperatur dla różnych strumieni ciepła uzyskano związek między tymi wielkościami opisany równaniem regresji liniowej ze współczynnikiem korelacji $R^2=0,98$.

Słowa kluczowe: termowizja, strumień ciepła, mostek ciepła, nadwozie chłodnicze.

A method for determining the heat flux density based on a thermovision photo

Abstract

Thermovision tests of insulated bodies enable indicating the thermal bridges (localization, size). They also allow evaluating qualitatively the heat flux (small, large, very large), but there is the significant lack of methods for determining the density of heat flux $Q \text{ W/m}^2$. In the paper the method for determining the heat flux density in the range of thermal bridges based on a thermovision photo is presented. The research was carried out for test conditions of insulation of cooling bodies in order to interpret the destruction rate of an insulating material. The method of comparing the recorded temperatures on the surface of a plate stressed with the known stream of heat and surface of the reference plate which was not stressed with the stream of heat was applied. During the tests of temperature differences for different streams of heat, the relationship between these values described by a linear regression equation with the correlation coefficient $R^2=0,98$ was obtained. Based on the obtained relationship, the practical analysis of calculating the heat stream of particular pixels on the example of a heat bridge was shown. The elaborated method of enables the analysis of heat transfer in case when only one side of the partition is available.

Keywords: thermovision, heat flux, thermal bridges, insulated bodies.

1. Wstęp

Zobrazowanie rozkładu temperatur (za pomocą kamery termowizyjnej) na powierzchni, szczególnie materiałów izolacyjnych, jest punktem wyjścia do dalszej analizy wymiany ciepła. Kamera termowizyjna pozwala zlokalizować miejsca o innej temperaturze od otoczenia. Po wprowadzeniu do kamery parametrów obiektu (emisyjność, temperatura powietrza, wilgotność względna, odległość od obiektu) można dość dokładnie zmierzyć wartość temperatury [1]. Jednak temperatura powierzchni nie daje bezpośredniej

odpowiedzi, jaka jest wartość lokalnego współczynnika przenikania ciepła $k \text{ W/m}^2\text{K}$ przegrody lub jaka jest wartość strumienia ciepła $Q \text{ W/m}^2$, który przepływa przez przegrodę.

Współczynnik przenikania ciepła k (1) jest definiowany, jako

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{wew}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{zew}}} \frac{W}{m^2 * K} \quad (1)$$

gdzie:

- α_{wew} – współczynnik przyjmowania ciepła po stronie wewnętrznej $W/(m^2K)$,
- α_{zew} – współczynnik przyjmowania ciepła po stronie zewnętrznej $W/(m^2K)$,
- δ – grubość przegrody m ,
- λ – współczynnik przewodzenia ciepła przegrody $W/(mK)$.

czyli dokładnie tak jak współczynnik przenikania ciepła U używany w budownictwie. Źródeł rozbieżności w symbolu użytym do oznaczania wielkości współczynnika przenikania ciepła należy poszukiwać w różnych normach: norma budowlana krajowa PN-91/B02020 wykorzystuje symbol U natomiast podstawową normą wykorzystywaną w budowie i badaniach pojazdów chłodniczych jest Umowa o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów zwana w skrócie ATP [2, 3], w której od 1970 roku używa się symbol k opisujący globalny współczynnik przenikania ciepła dla całego nadwozia. Wg wartości globalnego współczynnika przenikania ciepła k kategoryzuje się nadwozia (o izolacji normalnej lub wzmocnionej), podaje się wytyczne, co do dokładności wykonywania pomiarów składowych dla uzyskania wartości k z wymaganą dokładnością, podaje się wytyczne do badania wydajności chłodniczej lub grzewczej agregatów chłodniczych. Środowisko konstruktorów, producentów zabudów chłodniczych oraz ośrodki badawcze konsekwentnie używają symbol k do opisu współczynnika przenikania ciepła.

Przejmowanie ciepła od ścianki przez płyn (powietrze) wyraża prawo Newtona (2):

$$Q = \alpha (T_s - T_p) \quad (2)$$

gdzie:

- Q – strumień ciepła przekazywany od powierzchni do otoczenia,
- T_p – temperatura powietrza,
- T_s – temperatura powierzchni ścianki omywanej przez powietrze,
- α – współczynnik przyjmowania ciepła.

Temperaturę powierzchni ściany względnie rozkład temperatur na powierzchni ściany można określić przy użyciu kamery termowizyjnej.

Bezcennym byłaby możliwość oszacowania strumienia ciepła $Q \text{ W/m}^2$ na podstawie pomiarów dokonanych kamerą termowizyjną. W izolacjach: ciepłochronnej i zimnochronnej występują mostki cieplne - fragmenty o gorszych własnościach izolacyjnych niż zasadnicza część przegrody. Rozróżniamy mostki cieplne konstrukcyjne, technologiczne i eksploatacyjne [4]. Mimo niewielkiej powierzchni w stosunku do pozostałej powierzchni izolacji ich wpływ na własności izolacyjne całego układu izolacyjnego może być znaczny.

Dlatego podjęto próbę opracowania metody wyznaczania strumienia cieplnego, przepływającego przez mostki cieplne na podstawie rozkładu temperatur powierzchni, odczytanego ze zdjęcia termowizyjnego analizowanego mostka.

2. Koncepcja metody badawczej

Warunkiem koniecznym przepływu ciepła jest występowanie różnicy temperatur. Jeżeli między strefami o różnej temperaturze występuje przegroda, to przez materiał tej przegrody, ciepło przepływa drogą przewodzenia ze strefy cieplejszej do strefy zimniejszej.

Aby można było wykorzystać wyniki pomiaru temperatury z kamery termowizyjnej należy powiązać różnicę temperatur odczytaną z termogramu ze strumieniem ciepła przepływającym przez przegrode, który powoduje wzrost temperatury na powierzchni. Aby wyliczyć gęstość strumienia ciepła przenikającego przez przegrode (budowlaną, izolację zimnochronną a szczególnie mostki cieplne) ze zdjęcia termowizyjnego należy „wyskalować” kamerę termowizyjną. Skalowanie powinno się odbywać znanym strumieniem cieplnym, którego wartość powinna być zmierzona inną metodą.

Dla „wygenerowania” strumienia ciepła należy za pomocą osłony wydzielić strefę o innej temperaturze niż otoczenie. Wewnątrz osłony należy umieścić skrzynkę grzewczą, pozwalającą zmierzyć strumień ciepła, przenikający przez powierzchnię osłony. Przepływający przez materiał osłony strumień ciepła podnosi temperaturę powierzchni w stosunku do powierzchni płyty kontrolnej, przez którą ciepło nie przepływa. Kamera termowizyjna powinna rejestrować obraz osłony termicznej „obciążonej” wzorcowym strumieniem ciepła, na powierzchni, której wzrasta temperatura oraz płyty kontrolnej, przez którą ciepło nie przepływa.

Dla realizacji takich warunków cieplnych wewnątrz osłony cieplnej i skrzynki grzewczej instaluje się nagrzewnice elektryczne, a w komorze badawczej, w której prowadzone są badania utrzymuje się temperaturę 7,5 °C za pomocą urządzeń chłodniczych. Ze względów technicznych prościej i dokładniej można zmierzyć moc grzewczą uzyskaną na drodze elektrycznej (wydzielenie się ilości ciepła na grzałce można zmierzyć za pomocą watomierza) niż moc chłodniczą, jako iloczyn: ciepła właściwego, różnicy temperatur i strumienia cieczy chłodzącej. Dla metody wewnętrznego źródła ciepła umowa ATP wymaga dokładności pomiaru globalnego współczynnika przenikania ciepła na poziomie 5%, natomiast dla dopuszczonej metody tzw. wewnętrznego źródła chłodu wymagana dokładność pomiaru globalnego współczynnika przenikania ciepła wynosi 10%.

Do jednej ze ścian sześcianu jest dostawiona skrzynka grzewcza wyposażona w swoją nagrzewnicę. Zadaniem skrzynki grzewczej jest zmierzenie strumienia cieplnego przenikającego przez ścianę sześcianu. Po doprowadzeniu do równowagi termicznej układu: osłona cieplna – skrzynka grzewcza, ciepło wydzielone w nagrzewnicy skrzynki grzewczej nie przepływa przez obudowę skrzynki gdyż temperatury w osłonie cieplnej i skrzynce grzewczej są równe, lecz tylko przez fragment osłony cieplnej, do której jest przyłożona skrzynka grzewcza. Jest to strumień ciepła, który zostanie użyty do „skalowania” kamery termowizyjnej.

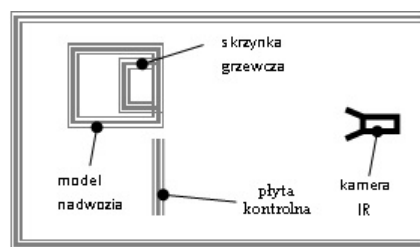
3. Budowa stanowiska

Zasadniczym elementem stanowiska jest model nadwozia chłodniczego w formie sześcianu, przystosowany do zamontowania ścian z modelami mostków cieplnych. Wewnątrz modelu jest umieszczona nagrzewnica oraz czujniki temperatury Pt100, mierzące temperaturę wewnątrz modelu nadwozia. Do jednej ze ścian od wewnątrz jest dosunięta skrzynka grzewcza wyposażona w swoją nagrzewnicę oraz czujniki temperatury Pt100. Zadaniem nagrzewnic jest utrzymanie jednakowej temperatury w modelu nadwozia i w skrzynce grzewczej. Dzięki identycznej temperaturze w modelu i skrzynce grzewczej nie występuje przepływ ciepła przez ścianki skrzynki grzewczej a cały strumień ciepła ze

skrzynki grzewczej przepływa przez przegrode (ściankę modelu nadwozia), do której jest dosunięta skrzynka.

Obok modelu nadwozia jest umieszczona płyta kontrolna, która nie jest obciążona strumieniem ciepła. Płyta kontrolna to dodatkowa płyta wykonana z tych samych materiałów (i o tym samym współczynniku emisyjności ϵ co płyty modelu nadwozia. Dzięki temu porównuje się temperatury na powierzchni „obciążonej cieplnie” strumieniem ciepła, kontrolowanym za pomocą skrzynki grzewczej oraz powierzchni kontrolnej w tych samych warunkach i z możliwie najmniejszym błędem.

W odległości 9m od modelu nadwozia i płyty kontrolnej, umieszczono na statywie kamerę termowizyjną ThermoCAM PM659 prod. FLIR. Schemat stanowiska przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska do rejestrowania strumienia ciepła za pomocą kamery termowizyjnej

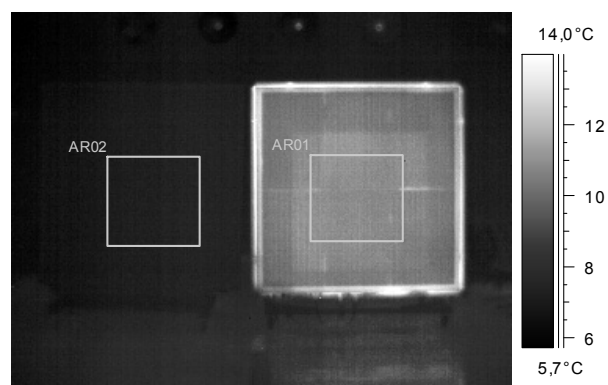
Fig. 1. Stand for recording the heat flux by use of a thermovision camera

Wymieniając płytę – ścianę modelu nadwozia oraz zmieniając w niewielkich granicach nastawy temperatur wewnątrz modelu nadwozia i skrzynki grzewczej, uzyskano różne strumienie ciepła w zakresie 20 – 90 W/m².

4. Analiza termogramów

Oprogramowanie ThermoCAM Reporter 2000 Professional, dołączone do kamery termowizyjnej, pozwala na analizy zdjęć termowizyjnych i odczytanie temperatur na powierzchni. Wskazując obszar na zdjęciu termowizyjnym można wyznaczyć między innymi wartość średnią temperatury dla zaznaczonego pola, odchylenie standardowe i inne (rys. 2.)

Emisyjność badanego obiektu (laminatu epoksydowo-szklanego) wyznaczono za pomocą modyfikacji parametru ϵ tak, aby wskazania temperatury kamerą termowizyjną były zgodne ze wskazaniami termometru stykowego mierzącego temperaturę powierzchni (o dokładności 0,2°C), obserwowanej kamerą termowizyjną. Wartość emisyjności laminatu oszacowano na ok. 0,7.



Rys. 2. Zdjęcie termowizyjne płyty obciążonej strumieniem ciepła (po prawej) i płyty kontrolnej (po lewej) z zaznaczonymi obszarami analiz AR01 i AR02

Fig. 2. Thermovision photo of a plate stressed by flux heat (on the right) and the reference plate (on the left). The areas of analysis AR01 and AR02 are shown

W tabeli 1 przedstawiono kilka przykładowych wyników analizy zaznaczonych obszarów (ze zdjęcia przedstawionego na rys. 2).

Tab. 1. Przykładowe wyniki analizy zaznaczonych obszarów ze zdjęcia termowizyjnego przedstawionego na rys. 2

Tab. 1. Examples of analysis results marked on the thermovision photo shown in Fig. 2

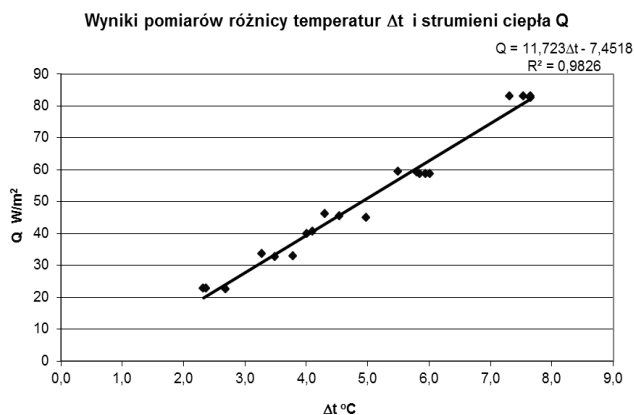
	AR01	AR02
średnia temp. obszaru	11,0 °C	7,3 °C
odchylenie standardowe	0,2 °C	0,2 °C
max. temp. obszaru	12,2 °C	7,9 °C
min. temp. obszaru	10,3 °C	6,6 °C

5. Wyniki pomiarów

Aby mieć pewność, że odczytane ze zdjęcia termowizyjnego wyniki nie zawierają niepewności związanej z wahaniami temperatury w komorze badawczej (7,0-8,0 °C) z powodu okresowości pracy sprężarek układu chłodniczego, przedstawiona analiza przykładowego, jednego zdjęcia musi być powtórzona dla całej serii zdjęć termowizyjnych obejmujących 60 zdjęć rejestrowanych co 1 min. Na podstawie wyników pomiarów temperatur w obszarach analizowanych AR01 i AR02 została obliczona różnica temperatur dla serii 60 zdjęć a na podstawie tych różnic cząstkowych obliczono średnią różnicę temperatur dla serii. Rys. 3. przedstawia uśrednione 1 godzinowe wyniki badań różnicy temperatury dla różnych wartości strumienia ciepła. Dodatkowo na wykresie przeprowadzono analizę regresji. Współczynnik korelacji $R^2=0,98$ oznacza, że w badanym zakresie dla warunków badania zgodnych z wymaganiami umowy ATP, strumień ciepła i różnica temperatur, obserwowane kamerą termowizyjną jest zależnością prawie liniową.

6. Zastosowanie praktyczne

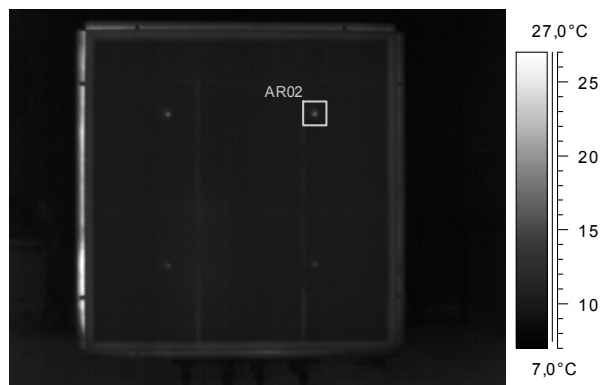
Jako przykład wykorzystania opracowanej zależności strumienia ciepła od różnicy temperatur została przedstawiona analiza mostka ciepła ze zdjęcia termowizyjnego przedstawionego na rys. 4.



Rys. 3. Wyniki pomiarów różnicy temperatur dla różnych strumieni ciepła

Fig. 3. The results of temperature measurements for different streams of heat

Rysunek 4 przedstawia zdjęcie termowizyjne płyty z mostkami ciepła wykonanymi z rdzeni aluminiowych o długości równej grubości materiału izolacyjnego, czyli 40 mm i średnic odpowiednio 5, 8, 10 i 12 mm.



Rys. 4. Zdjęcie termowizyjne mostka ciepła poddanego analizie
Fig. 4. Thermovision photo of the thermal bridge under analysis

Analizie poddano mostek cieplny w obrębie obszaru zaznaczonego na zdjęciu termowizyjnym jako AR02.

Po wczytaniu zdjęcia termowizyjnego do programu Matlab, uzyskuje się dostęp do zapisu temperatur analizowanego obszaru.

Tab. 2. Zapis temperatur w K mostka ciepła z obszaru AR02 (rys. 4)

Tab. 2. The record of temperature in K of the thermal bridge from area AR02 (Fig. 4)

282,4	282,4	282,3	282,1	282,3	282,2	282,2	282,2	282,2	282,4	282,3	282,1	282,1
282,6	282,6	282,5	282,4	282,3	282,5	282,6	282,4	282,3	282,4	282,3	282,5	282,4
282,6	282,5	282,3	282,5	282,7	282,8	282,6	282,7	282,5	282,4	282,6	282,4	282,2
282,7	282,6	282,5	282,4	282,9	283,6	283,6	283,2	282,4	282,6	282,3	282,5	282,4
282,3	282,7	282,3	282,4	283,6	285,8	287,2	285,1	282,8	282,7	282,4	282,4	282,3
282,4	282,6	282,4	282,9	284,3	289,5	292,8	287,3	283,2	282,8	282,5	282,4	282,3
282,7	282,6	282,6	282,6	283,8	287,5	289,4	285,3	283,0	282,7	282,6	282,4	282,3
282,5	282,6	282,3	282,6	282,9	283,6	284,0	283,3	282,7	282,3	282,7	282,3	282,4
282,6	282,6	282,3	282,3	282,7	282,9	282,7	282,7	282,6	282,7	282,6	282,4	282,3
282,5	282,7	282,4	282,4	282,5	282,6	282,3	282,5	282,3	282,5	282,4	282,6	282,3
282,7	282,7	282,3	282,3	282,4	282,3	282,3	282,4	282,3	282,5	282,3	282,4	282,3
282,7	282,6	282,2	282,6	282,3	282,4	282,1	282,1	282,2	282,4	282,3	282,5	282,3

W tabeli 2 przedstawiono zapis temperatur na poszczególnych pikselach analizowanego fragmentu zdjęcia termowizyjnego. Średnia temperatura pikseli „otoczenia” mostka ciepła – zaznaczone **pogrubionym drukiem** – wynosi 282,36 K czyli 9,2 °C. Jest to temperatura bazowa na podstawie której będą obliczane straty ciepła na pikselach w obrębie mostka ciepła.

Na obszarze mostka ciepła (tabela 3) zaznaczono **pogrubionym drukiem** piksele, w których zarejestrowano wyraźny wzrost temperatury o min. 0,5 °C w stosunku do obszaru kontrolnego – otoczenia mostka ciepła.

W tych punktach przeprowadzono obliczenie strumienia ciepła wg zależności uzyskanej z regresji liniowej (wzór 3):

$$Q=11,723*dt-7,4518 \text{ W/m}^2 \quad (3)$$

Tab. 3. Zapis wzrostów temperatury K na powierzchni mostka ciepła w stosunku do otoczenia obszaru mostka (średniej temperatury obszaru zaznaczonego w tabeli 2 **pogrubionym drukiem**)

Tab. 3. The record of increases of temperature K on the surface of thermal bridge in addition to the surrounding of the bridge (average temperature of area marked in table 2 as **bold**)

0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,1
0,2	0,0	0,1	0,3	0,4	0,2	0,4	0,1	0,1	0,3	0,1
0,2	0,2	0,1	0,6	1,2	1,2	0,8	0,1	0,2	-0,1	0,2
0,4	0,0	0,1	1,3	3,5	4,9	2,8	0,5	0,4	0,1	0,1
0,3	0,1	0,5	2,0	7,2	10,4	4,9	0,9	0,4	0,2	0,1
0,2	0,2	0,3	1,5	5,1	7,1	3,0	0,7	0,3	0,2	0,1
0,2	-0,1	0,2	0,5	1,2	1,6	1,0	0,3	-0,1	0,4	0,0
0,2	-0,1	0,0	0,3	0,5	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,1
0,4	0,0	0,1	0,2	0,2	-0,1	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,2
0,4	-0,1	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,2	-0,1	0,1

Na podstawie zależności geometrycznych obiektu, odległości i parametrów optyki kamery termowizyjnej można obliczyć rozmiary poszczególnych pikseli i odnieść obliczone w tabeli 4. strumienie ciepła do powierzchni, wyliczając ile dodatkowego ciepła przenika przez mostek cieplny w stosunku do litej izolacji poza strefą działania mostka ciepła.

W analizowanym modelu pominięto wpływ rozprywu ciepła po powierzchni płyty ze względu na przewodność cieplną laminatu.

Tab. 4. Wartości strumienia ciepła W/m² dla poszczególnych punktów obszaru mostka ciepła

Tab. 4. The values of heat flux W/m² of particular points from the thermal bridge area

0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	-0,8	6,7	7,1	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	7,6	33,3	49,4	24,9	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	-1,2	15,4	76,4	114,6	50,2	2,8	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	9,8	52,3	75,6	27,4	0,5	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	-1,2	7,1	11,4	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	-1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Wg producenta laminatu (Vetroresina Italy) przewodność ciepła laminatu epoksydowo-szklanego używanego na poszycia zabudów chłodniczych wynosi $\lambda_{lam}=0,056-0,072 \text{ W/mK}$ (średnio 0,064 W/mK) natomiast współczynnik przewodzenia ciepła rdzenia aluminiowego wynosi $\lambda_{Al}=201 \text{ W/mK}$.

Ciepło przepływa drogą przewodzenia przez rdzeń aluminiowy długości 40mm (grubość izolacji płyty modelu nadwozia) oraz przez poszycie laminatowe grubości 1,5mm.

Opory termiczne warstw przegrody dla rdzenia aluminiowego R_{thAl} oraz materiału poszycia R_{thlam} wynoszą (wzory 4 i 5):

$$R_{thAl} = \frac{\delta}{\lambda_{Al}} = \frac{0,04}{201} = 0,000199 \frac{K}{W} \quad (4)$$

$$R_{thlam} = \frac{\delta}{\lambda_{lam}} = \frac{0,0015}{0,064} = 0,023 \frac{K}{W} \quad (5)$$

Ponieważ opór termiczny rdzenia aluminiowego jest 115 razy mniejszy od oporu termicznego warstwy laminatu, wydaje się być usprawiedliwione pominięcie rozprywu ciepła na boki po warstwie laminatu.

Dla pełnej walidacji metody należałoby przeprowadzić obliczenia numeryczne z uwzględnieniem poszyci zarówno laminatowych jak i blaszanych. Planuje się wykorzystać pakiet ANSYS Fluent do obliczeń numerycznych.

7. Wnioski

Przedstawiona metoda pozwoliła wyznaczyć zależność strumienia ciepła i różnicy temperatur. Na podstawie zdjęcia termowizyjnego mostka ciepła można wyznaczyć wzrosty temperatur na poszczególnych pikselach obrazu, a podstawiając różnice temperatur do równania regresji (3) można wyliczyć strumień ciepła w obrębie analizowanych pikseli obrazu termowizyjnego.

Pomiary współczynnika przenikania ciepła U znane w budownictwie zakładają dostęp do obydwóch stron przegrody dla przeprowadzenia wymaganych pomiarów. Opracowana metoda pozwala prowadzić analizę wymiany ciepła mając dostęp tylko z jednej strony przegrody.

8. Literatura

- [1] Minkina W.: Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004, ISBN 83-7193-237-5.
- [2] Umowa o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów (ATP). Dziennik Ustaw PRL, Załącznik do nru 49, poz. 254 z dnia 26 października 1984r.
- [3] Agreement on the International Carriage of Perishable Foodstuffs and on the Special Equipment to be Used for such Carriage (ATP) UNITED NATIONS New York and Geneva, 2010 (tekst angielski z uzupełnieniami) <http://live.unece.org/trans/main/wp11/atp.html>
- [4] Rochatka T. i inni: Identyfikacja ukrytych wad (uszkodzeń) metodą termowizyjną [w:] Fizyczne podstawy diagnostyki układów termoizolacyjnych do transportu żywności” Wyd. ITeE, Radom-Poznań, 2005, s. 64-92, ISBN 83-7204-440-6.

otrzymano / received: 02.08.2011

przyjęto do druku / accepted: 05.09.2011

artykuł recenzowany