

**Tomasz STEIDL, Paweł KRAUSE**  
POLITECHNIKA ŚLĄSKA

## Termowizja w ocenie jakości przegród budowlanych

Dr inż. Tomasz STEIDL

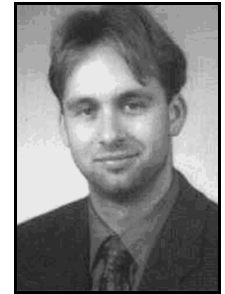
Adiunkt w Katedrze Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej. Zainteresowania naukowe i zawodowe: diagnostyka cieplna budynków, badania i pomiary termowizyjne, budownictwo niskoenergetyczne, fizyka cieplna budowli. Autor bądź współautor kilkuset ekspertyz i opinii technicznych, audytów energetycznych, świadectw charakterystyki energetycznej budynków, badań termowizyjnych oraz projektów budowlanych.



e-mail: tomasz.steidl@polsl.pl, biuro@stekra.pl

Dr inż. Paweł KRAUSE

Adiunkt w Katedrze Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej. Zainteresowania naukowe i zawodowe: diagnostyka cieplna budynków, badania i pomiary termowizyjne, budownictwo niskoenergetyczne, fizyka cieplna budowli. Autor bądź współautor kilkuset ekspertyz i opinii technicznych, audytów energetycznych, świadectw charakterystyki energetycznej budynków, badań termowizyjnych oraz projektów budowlanych.



e-mail: pawel.krause@polsl.pl, biuro@stekra.pl

### Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie badań termowizyjnych w ocenie jakości cieplnej przegród budowlanych. Opisano wymagania w zakresie prowadzenia pomiarów kamerą termowizyjną w budownictwie oraz główne czynniki wpływające na otrzymywane wyniki. Na praktycznych przykładach pokazano analizę badań zestawiając wyniki pomiarów termowizyjnych z obliczeniami. Dla badanych fragmentów przegród budowlanych omówiono występujące defekty i anomalie termiczne.

**Słowa kluczowe:** termowizja, budynek, przegrody budowlane.

### Infrared method for the quality rating of building partitions

#### Abstract

In the paper principles of using the infrared thermography method in building engineering are presented. The first section contains the introduction to the topic of using thermography in building engineering. Defects of building partitions which can be detected by infrared camera are described. The second section gives a short description of the factors which influence the quality of thermograms. According to the authors, the main factors are: infrared camera technical parameters, keeping the rules for performing investigations, knowledge of a building structure, ability of making the computer models of building partition connections which can be used to verify the investigation results. The third section presents a short overview of the investigation procedures used for taking measurements during building diagnostics. In the fourth section a way of taking the fundamental and subsidiary measurement is given. The diagnosed defects and anomalies for all partitions and connections between them are described. Several chosen thermograms made during investigations are shown in Figs. 1, 2, 4 with description of the defects. Verification of the selected thermograms was performed with the computer program KOBRA. In the summary some guidelines connected with the way of presenting the results of thermal diagnostics of buildings are given.

**Keywords:** thermography, infrared inspections, buildings.

### 1. Wstęp

Zastosowanie termografii do jakościowej oceny izolacyjności termicznej przegród budowlanych jest typowym przykładem praktycznego wdrożenia metody badawczej. Wykorzystanie tej metody w odniesieniu do budynków wzniesionych w technologiach przemysłowych pozwala wykryć typowe błędy powodujące nie osiągnięcie założonej jakości w zakresie izolacyjności termicznej poprzez np.:

- zastosowanie innych materiałów termoizolacyjnych w stosunku do rozwiązań projektowych,
- nieciągłość warstw izolacyjnych i zmniejszenie ich grubości (tzw. pocienienie),
- nieprawidłowe wykonanie lub brak izolacji termicznej oraz przeciwnodnej w złączach prefabrykatów,
- ocenę istniejących mostków cieplnych w zakresie ich oddziaływania i pochodzenia.

Przy odpowiedniej wiedzy i doświadczeniu termografia pozwala wnioskować w zakresie szczelności przegród budowlanych na infiltrację powietrza, a w szczególności połączeń pomiędzy przegrodami i elementami przegród. Obrazy termowizyjne można analizować pod kątem wstępnej oceny w zakresie lokalnych zawilgoceń przegród w budynkach nowych i istniejących poddanych remontowi lub termomodernizacji. Badania wykonane łącznie z badaniami uzupełniającymi (dodatkowe niezależne urządzenia do pomiaru temperatur na powierzchni przegród, powietrza wewnętrznego i zewnętrznego oraz ciśnienia i wilgotności) można wykorzystać do ilościowej oceny cech izolacyjnych przegród.

### 2. Diagnostyka izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych

W ostatnim dziesięcioleciu obserwuje się znaczny wzrost wykorzystywania kamer termowizyjnych w budownictwie. Na wzrost ten wpływ mają dwa główne czynniki:

- stosunkowo niska cena urządzeń do tworzenia i zapisywania obrazów w podczerwieni (kamer i aparatów termowizyjnych), w odniesieniu do lat 80-tych i 90-tych,
- jakość urządzeń i łatwość ich obsługi, wraz ze znaczącą poprawą jakości programów komputerowych do obróbki uzyskanych termogramów.

Zdecydowana poprawa jakości sprzętu i oprogramowania nie przekłada się jednak na jakość wykonywanych opracowań, zwłaszcza w budownictwie. Jakość opracowań wykorzystujących obrazy termowizyjne do oceny robót budowlanych, w tym głównie do oceny stanu ochrony cieplnej zależy od kilku czynników. Jako czynniki mające podstawowy wpływ należy wymienić:

- przestrzeganie zasad wykonywania badań i pomiarów termowizyjnych, zawartych w [1],[2],
- wykorzystywanie odpowiednich kamer termowizyjnych, których parametry techniczne dostosowane są do rodzaju zadania. Jednym z takich parametrów dla kamer stosowanych w budownictwie jest np. rozdzielczość termiczna która powinna być na poziomie min. 0,1K, a zakres pomiaru :  $-20^{\circ}\text{C}\pm 200^{\circ}\text{C}$ ,
- znajomość budowy badanej i ocenianej przegrody na podstawie projektu budowlanego, wykonawczego lub wcześniejszej oceny innymi metodami,
- wykonanie pomiarów temperatur w trakcie prowadzonych badań innym urządzeniem pomiarowym niż kamera termowizyjna,
- znajomość metod weryfikacji uzyskanego na termogramie obrazu termowizyjnego rozkładu pola temperatur (głównie termogramów wykonywanych od strony wewnętrznej), np. poprzez wykonanie modelu min. dwuwymiarowego, badanej przegrody przy wykorzystaniu MES (metoda elementów skończonych), lub MEB (metoda elementów brzegowych) z uwzględnieniem odpowiednich warunków brzegowych.

Badania termowizyjne, realizowane w warunkach niestacjonarnego przepływu ciepła, przeprowadzane są przez różnego rodzaju „specjalistów”, sprzętem nie zawsze dostosowanym do

wykonywanego zadania. Wyniki badań są często w sposób niejednoznaczny interpretowane, nie dając miarodajnych odpowiedzi co do rzeczywistej izolacyjności termicznej przegród budowlanych. Ogólnie można stwierdzić że zasada diagnozowania izolacyjności przegród budowlanych polega na:

- określeniu rzeczywistego rozkładu temperatury na badanej powierzchni przegrody,
- ustaleniu czy rozkład temperatury jest prawidłowy, czy też identyfikuje anomalie termiczne typu geometrycznego w postaci naroży płaskich i przestrzennych, lub anomalie związane z konstrukcją przegród jak np. zastosowanie łączników o odmiennej przewodności cieplnej (np. metalowych), zróżnicowanych elementów wypełniających. Anomalie termiczne mogą wiązać się także z zawilgoceniem wewnętrznych lub zewnętrznych fragmentów powierzchni przegrody, związanych z normalną eksploatacją pomieszczeń,
- ocenie typu i zakresu defektów,
- weryfikacji uzyskanych wyników.

Przy wykonywaniu powyższej oceny konieczna jest znajomość budowy wewnętrznej analizowanych termicznie przegród, wraz ze szczegółami połączeń pomiędzy tymi przegrodami.

Prawidłowość badanych rozkładów temperatury na powierzchniach przegrody można określić na podstawie [1, 2]:

- porównania termogramu uzyskanego z badań z termogramem uznanym za wzorcowy, uzyskanym z badań dla identycznej przegrody w podobnych warunkach badawczych,
- porównaniu termogramu z przewidywanym rozkładem temperatury uzyskanym innymi metodami np. metodami obliczeniowymi.

Anomalie termiczne nie dające się wytłumaczyć się na podstawie analizy geometrycznej, analizy konstrukcji przegrody lub innych czynników mogących wpłynąć na wynik pomiaru, należy traktować jako odchylenie od wymogów projektowych – tzw. defekty termiczne.

Poprzez anomalie rozumie się miejsca połączeń przegród budowlanych lub elementów przegród, w których temperatura powierzchni jest różna od temperatury przylegających płaszczyzn w sposób nieznaczny. Występują niezależnie od ilości i jakości zarówno materiału izolacyjnego, rozwiązania konstrukcyjnego czy też jakości robót budowlanych. Do anomalii zaliczamy występujące w wielu miejscach załamania płaszczyzn ścian zewnętrznych połączenia ścian i dachu, elementy obudowy wystające ponad dach oraz połączenia ścian pod różnymi kątami dającymi tzw. efekt naroża wypukłego lub wklęsłego, o kątach zawartych pomiędzy  $10^{\circ}$ – $170^{\circ}$ . Do anomalii cieplnych zaliczamy też elementy połączeń technologicznych nie dających się wyeliminować, lub dostatecznie zaizolować termicznie na etapie projektowania. Anomalie uwzględnia się w obliczeniach na etapie projektowania w postaci dodatków ( $\Delta U$ , lub iloczynu  $\psi_i \times L_i$  gdzie  $\psi_i$  – kolejny liniowy współczynnik przenikania ciepła,  $L_i$  – długość mostka liniowego), zgodnie z PN-EN-ISO 10211-2:2001 [5] oraz [6], tak aby całkowity współczynnik przenikania ciepła przegrody, łącznie z przedstawionym dodatkiem był mniejszy od wymaganych wartości zawartych w znowelizowanym rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3].

Poprzez defekty termiczne rozumie się wady cieplne w obudowie budynku, polegające na wyraźnej (kilku, lub kilkunastostopniowej) różnicy temperatur pomiędzy sąsiadującymi płaszczyznami.

Defekty można generalnie podzielić na dwa rodzaje:

- liniowe nieciągłości izolacji występujące np. w rejonie dachów świetlików owalnych, prostokątnych, oraz skośnej części obudowy nad przeszkleniami,
- lokalne nieciągłości izolacji, lub nieznaczne zmniejszenie jej grubości powstałe np. w wyniku lokalnego zgniecenia materiału izolacyjnego w ścianach zewnętrznych. Uszkodzenia tego typu widoczne na termogramach (rys. 1, rys. 2), występują w kilku miejscach całej powierzchni obudowy w tym ścian, powierzch-

ni przeszklonej, dachu i dotyczą miejsc połączeń pomiędzy tymi elementami.

### 3. Pomiary i badania zasadnicze

Schemat postępowania przy wykonywaniu badań zasadniczych określony w stosownych normach [1, 2] powinien uwzględniać następujące czynności:

- wykonanie za pomocą kamery termowizyjnej przeglądu całego obiektu (zgodnie z zaleceniami należy wykonać przegląd od strony zewnętrznej i wewnętrznej)
- zarejestrowanie obrazów termograficznych wybranych części badanych przegród od strony zewnętrznej, fragmentu przegrody wolnego od defektów (miejsce o najmniejszym zróżnicowaniu pól temperatur), fragmentów przegród w których występują wady (zmniejszenie grubości lub brak materiału izolacyjnego, infiltracja lub eksfiltracja powietrza itp.) w miejscach, gdzie zróżnicowanie pól temperatur jest największe,
- określenie różnic między temperaturą powierzchni przegrody w miejscu pozbawionym defektów, a temperaturą gdzie defekty te występują, przy czym każdy termogram musi jednoznacznie umiejscawiać miejsce jego wykonywania na zdjęciu lub rysunku,
- uściślenie badań przez odpowiednie uzupełniające pomiary termograficzne od strony wewnętrznej.

Oprócz powyższych czynności istotne jest dodatkowo określenie [1]:

- emisyjności materiałów powierzchniowych,
- temperatury powietrza zewnętrznego, zachmurzenia, opadów i wilgotności zewnętrznej oraz ocena oddziaływania wiatru,
- usytuowania budynku względem stron świata,
- wpływu różnicy ciśnień,
- wpływu efektów wytwarzanych przez wentylowane warstwy powietrza (np. ściana wentylowana),
- wpływu oddziaływania lokalnych źródeł ciepła.

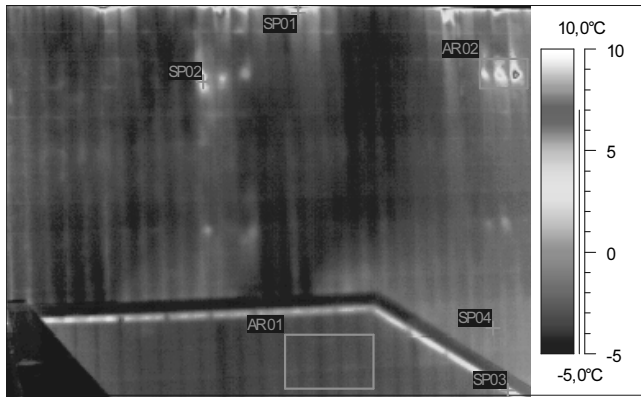
### 4. Przykład opisu termogramów

Opis przykładowych badań, wraz z krótkim opisem urządzenia pomiarowego i warunków prowadzenia badań, przedstawiono dla przykładowego budynku wielko-kubaturowego. Obiekt wykonany w technologii lekkich przegród z blachy stalowej z rdzeniem z materiału izolacyjnego [4]. Badania termowizyjne przeprowadzono w miesiącu listopadzie 2008 r. za pomocą urządzenia termowizyjnego typu ThermoCAM firmy FLIR, składającego się z kamery termowizyjnej oraz monitora. Przed wykonaniem badań zasadniczych wykonano pomiary temperatury powietrza zewnętrznego oraz w budynku. Pomiary przeprowadzono za pomocą zestawu badawczego GANN HTR 300 z sondą OT 100 do pomiarów temperatury powietrza w systemie ciągłym - próbkowanie co 0,1 s. Zakres pomiaru temperatury urządzenia od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $90^{\circ}\text{C}$ . Jako wartości miarodajne podano wartości średnie mierzone na wysokości ok. 1,50 m nad poziomem terenu. W analizach przyjmowano także wartości pomierzone pod powierzchnią stropodachu. Temperatura otoczenia zewnętrzną wynosiła  $-2,0^{\circ}\text{C} \pm 3,0^{\circ}\text{C}$ , Temperatura wewnątrz budynku na poziomie parteru wynosiła  $19,0^{\circ}\text{C} \pm 3,0^{\circ}\text{C}$  oraz rejonu podsufitowe  $23,0^{\circ}\text{C} \pm 3,0^{\circ}\text{C}$ . Pomiary termowizyjne wykonano przy różnicy temperatur  $18,0\text{K} \div 29,0\text{K}$ . Zastosowaną kamerę termowizyjną wyposażono w obiektyw  $20^{\circ} \times 20^{\circ}$ , co np. z odległości 5 m dawało pole widzenia  $1,6 \times 1,6\text{m}$ . Dla emisyjności badanej powierzchni przyjęto średnią wartość 0,92. Rozkłady temperatur na badanej powierzchni badano wizualnie a następnie istotne obrazy cieplne zostały zapisywane bezpośrednio z ekranu monitora oraz rejestrowane dalszej analizie ilościowej ze wspomaganiami komputerowymi. Badania przeprowadzono zgodnie z normatywami. Podczas prowadzenia badań panowała bezwietrzna pogoda (prędkość wiatru poniżej 2m/s). Nie zanotowano istotnej różnicy ciśnienia powietrza przy przeciwnych płaszczyznach ścian obiektu.

### Powierzchnie ścian zewnętrznych

Nie stwierdzono wad cieplnych (defektów) dających się zidentyfikować jako:

- powierzchnie o obniżonej izolacyjności cieplnej świadczące o niejednorodnej grubości izolacji cieplnej w strukturze ścian zewnętrznych,
- wady, w postaci braku szczelności na infiltrację powietrza.



IR information	Value
Date of creation	2008-11-17
Object parameter	Value
Atmospheric temperature	-2,0°C
Label	Value
SP01	2,7°C
SP02	3,6°C
SP03	3,5°C
SP04	-1,0°C
AR01 : max	-2,4°C
AR01 : min	-3,9°C
AR02 : max	8,4°C
AR02 : min	-1,7°C

Rys. 1. Przykładowy termogram fragmentu powierzchni ścian zewnętrznych  
Fig. 1. Exemplary thermal image of external walls

Stwierdzono lokalne punktowe mostki termiczne związane z zastosowaniem łączników o zróżnicowanej przewodności cieplnej. Występujące lokalnie na termogramach pola o nieznacznie obniżonej temperaturze (ok. 1÷2K), są efektem odbijania promieniowania podczerwonego od sąsiadujących powierzchni przegród, oraz lokalnego wstępowania zawilgocenia lub szronienia na powierzchni (podczas badań występowała ujemna temperatura).

### Powierzchnia dachu

Nie stwierdzono wad cieplnych (defektów) dających się zidentyfikować jako: powierzchnie o obniżonej izolacyjności cieplnej, świadczące o niejednorodnej grubości izolacji cieplnej w strukturze dachu lub wady, w postaci braku szczelności na infiltrację powietrza.

### Połączenia przegród i elementów budowlanych

Badaniom poddano wszystkie połączenia przegród zewnętrznych jak np. świetlików dachowych z dachem, połączenia dachu ze ścianą, połączenia elementów dekoracyjnych na części ogrzewanej (płyty skośne), połączenia poszczególnych segmentów budynku. W wyniku badań stwierdzono liniowe mostki cieplne:

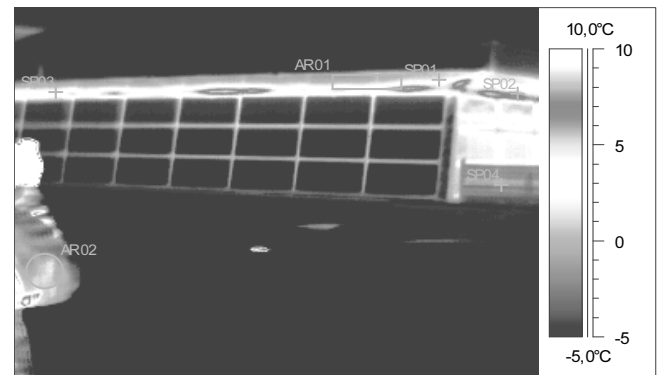
- 1) w rejonie połączy dachowej i na występujących elementach zdiagnozowanych przy użyciu kamery termowizyjnej z połączy dachowej, w tym na: świetlikach okrągłych, świetlikach owalnych, galerii szklanej podłużnej nad połączy dachową. Mostki liniowe wynikające z technologii montażu elementów są anomaliami dopuszczalnymi, które ujmują się na etapie projekto-

wania w postaci dodatku  $\Delta U$ , lub wartości  $\psi_i L_i$ , doliczanego do każdej projektowanej przegrody,

- 2) w rejonie ścian zewnętrznych obiektu od poziomu terenu do połączy dachowej.

Dla ścian analogicznie jak dla dachu możemy wyróżnić anomalie i defekty.

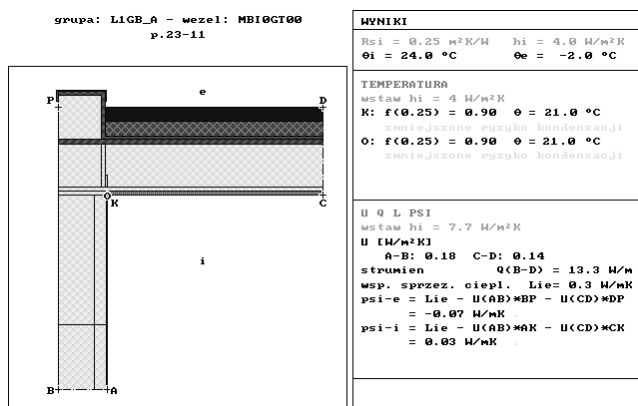
Na badanych ścianach występują głównie anomalie termiczne, związane z połączeniami płaszczyzn ściennych pomiędzy sobą oraz z płaszczyzną dachu. Przykładowy termogram połączenia w obrębie świetlików dachowych zamieszczono na rys. 2.



Rys. 2. Termogram i zdjęcie fragmentu badanej powierzchni dachu  
Fig. 2. Thermal image and photo of the investigated area of the roof

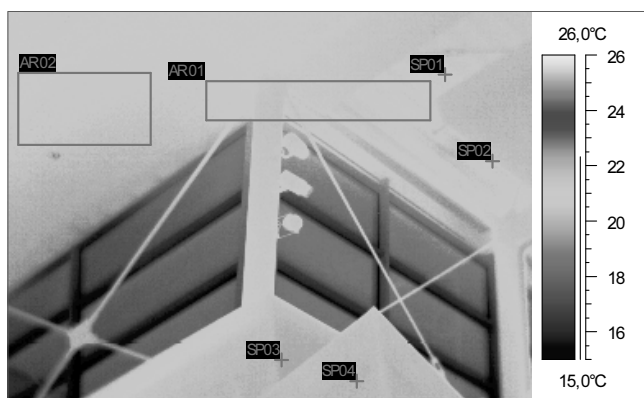
W analizowanym budynku występują lokalnie defekty cieplne w postaci: liniowych mostków cieplnych przy połączeniu ścian i dachu, (nieodpowiednia izolacja cieplna w rejonach ścianek atyki), nieciągłości izolacji cieplnej przy łączeniu segmentów budynku, nieznacznej pogorszenia izolacji cieplnej (prawdopodobnie podczas prac montażowych). Poprzez pojęcia „lokalnie” uznaje się nieszczelności liniowe na połączeniu dwóch elementów, których łączna długość nie przekracza 0,1 % całej długości połączenia. Weryfikacji (w postaci obliczeń) pomiarów temperatur w miejscach szczególnych poddano kilkanaście miejsc, głównie połączeń wzajemnych elementów ścian zewnętrznych, połączeń dachu ze ścianami itp. Obliczenia wykonano przy użyciu programu „KOBRA”, modyfikując katalogowe rozwiązania połączeń tak, aby odpowiadały rozwiązaniom projektowym. Przyjęto warunki brzegowe jak dla występujących w czasie prowadzenia pomiarów. Wyniki obliczeń pokazano na przykładzie modelu połączenia fragmentu ściany i dachu (rys. 3) oraz zaprezentowano w postaci graficznej i porównano je z odpowiadającymi termogramami. Pomierzona przy użyciu kamery temperatura w miejscu krawędzi połączenia  $\theta_{I_p}=21,2^\circ\text{C}$  (rys. 4). Temperatura wyliczona przy użyciu programu elektronicznego katalogu mostków cieplnych, „KOBRA”  $\theta_{I_w}=21,0^\circ\text{C}$ . Rysunek nr 3, przedstawia detal budowlany (połączenie fragmentu ściany z dachem) z wyliczoną temperaturą w miejscu naroża, punkt K. Elektroniczny katalog szczegółów budowlanych „KOBRA”, umożliwia dla większości typowych detali budowlanych wykonanie obliczeń temperatury w miejscach szczególnych, takich jak np. naroża, przy uwzględ-

nieniu wcześniej przyjętych (lub pomierzonych) warunków brzegowych tj. temperatur powietrza zewnętrznego i wewnętrznego. Program, korzystając z wybudowanej procedury metody elementów skończonych, wykonuje stosowne obliczenia zgodnie z [5]. Obliczenia temperatur w narożu winny być wykonywane nie tylko na potrzeby termowizyjne, ale także zgodnie z p.2.2.3 załącznika nr 1 [3].



Rys. 3. Symulacja numeryczna połączenia ściany zewnętrznej z dachem  
Fig. 3. Numerical simulation of connecting the external wall with the roof

Zgodność uzyskanych wyników pomiarów i obliczeń, w wybranych punktach z powinna być podstawą do wydania oceny jakości ocenianego fragmentu przegrody budowlanej.



Rys. 4. Termogram, połączenie ściany zewnętrznej z dachem  
Fig. 4. Thermal image, connection of the external wall with the roof

## 5. Podsumowanie

Termografia jest efektywnym narzędziem badawczym wspomagającym ocenę stanu technicznego przegród zewnętrznych budynków w aspekcie izolacyjności termicznej, co jest niezbędnym wymogiem przy opracowywaniu ekspertyz dotyczących izolacyjności termicznej budynków. W połączeniu z innymi metodami badawczymi i pomiarami cieplnymi umożliwia kompleksową ocenę izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych, pod warunkiem spełnienia wszystkich wymogów dotyczących sposobu prowadzenia badań i pomiarów oraz zasad interpretacji uzyskanych wyników. W części końcowej każdego opracowania dotyczącego jakości cieplnej przegród budowlanych winny znaleźć się następujące elementy:

- analiza dokumentacji projektowej obiektu pod kątem ochrony cieplnej,
- informacje związane z zastosowanym sprzętem pomiarowym i warunkami prowadzenia badań,
- ocena zgodności uzyskanych wyników badań termowizyjnych ze stanem faktycznym w zakresie ochrony cieplnej budynku,
- ocena zgodności przyjętych w dokumentacji projektowej rozwiązań detali w zakresie ochrony cieplnej ze stanem istniejącym,
- ocena wpływu występujących liniowych i punktowych mostków cieplnych na stan ochrony cieplnej oraz stwierdzenie czy są wadą czy też anomalią związaną z technologią robót (np. konstrukcja stalowa),
- oszacowanie wpływu występujących defektów, nie związanych z technologią robót i określenie czy defekty te są możliwe do częściowej lub całkowitej eliminacji.

## 6. Literatura

- [1] PN-EN 13187 Właściwości cieplne budynków – Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – metoda podczzerwieni.
- [2] ISO 6781 „Thermal insulation- Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method”.
- [3] Znowelizowane rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [4] T.Steidl, P.Krause. Ekspertyza techniczna nr ET XII/2008 pt. „Ocena stanu ochrony cieplnej budynków usługowo-handlowych zlokalizowanych na Górnym Śląsku. Mikołów 2008 r.
- [5] PN-EN ISO 10211-1:1995 – Mostki cieplne w budynkach. Obliczanie strumieni cieplnych i temperatura powierzchni. Część 2. Liniowe mostki cieplne (PN-EN ISO 10211-2:2001)
- [6] Fouad N.A., Richter T. Leitfaden Thermografie im Bauwesen. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart 2006.

Artykuł recenzowany

## INFORMACJE

**Zapraszamy do publikacji artykułów promocyjnych  
w miesięczniku naukowo-technicznym PAK**

Redakcja czasopisma POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA  
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, pok. 30b,  
tel./fax: 032 237 19 45, e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl