

Adam UJMA, Andrzej KYSIĄK
Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa

DIAGNOSTYKA ELEMENTÓW KONSTRUKCJI BUDYNKÓW Z WYKORZYSTANIEM KAMERY TERMOWIZYJNEJ

Artykuł prezentuje przykładowe wyniki badań termowizyjnych przegród zewnętrznych budynku przemysłowego i budynków mieszkalnych. Badania wykazują nie tylko jakość izolacji cieplnej przegród zewnętrznych, ale również szczelności konstrukcji, czy jakość zastosowanych zapraw murarskich.

Słowa kluczowe: termowizja, diagnostyka cieplna, izolacja cieplna, szczelność przegród zewnętrznych, mostki cieplne

WPROWADZENIE

Badania termograficzne (termowizyjne) są metodą badawczą, polegającą na zdalnej i bezdotykowej ocenie rozkładu temperatury na powierzchni badanej powierzchni [1]. Zasada działania metody oparta jest na rejestracji rozkładu promieniowania podczerwonego wysyłanego przez każde ciało, którego temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego i przekształceniu tego promieniowania w detektorze na światło widzialne. Otrzymywany w rezultacie kolorowy obraz termalny jest termogramem, wskazującym w barwnej skali poziom zarejestowanej temperatury powierzchniowej.

W przypadku wykonania zdjęć termowizyjnych od strony zewnętrznej o okresie chłodnym roku (okres grzewczy) miejsca na powierzchni zewnętrznej o podwyższonej temperaturze odpowiadają gorzej izolowanym obszarom przegrody, z kolei niska temperatura powierzchniowa może z reguły świadczyć o dobrych właściwościach izolacyjnych przegrody. Odwrotna sytuacja wystąpi w przypadku wykonania zdjęć od strony wewnętrznej. Miejsca o obniżonej temperaturze powierzchniowej świadczą o pogorszeniu właściwości izolacyjnych.

Metoda ta zyskuje coraz szersze zastosowanie w budownictwie w działaniach zaliczanych do diagnostyki cieplnej (energetycznej) budynków i ich wyposażenia technicznego.

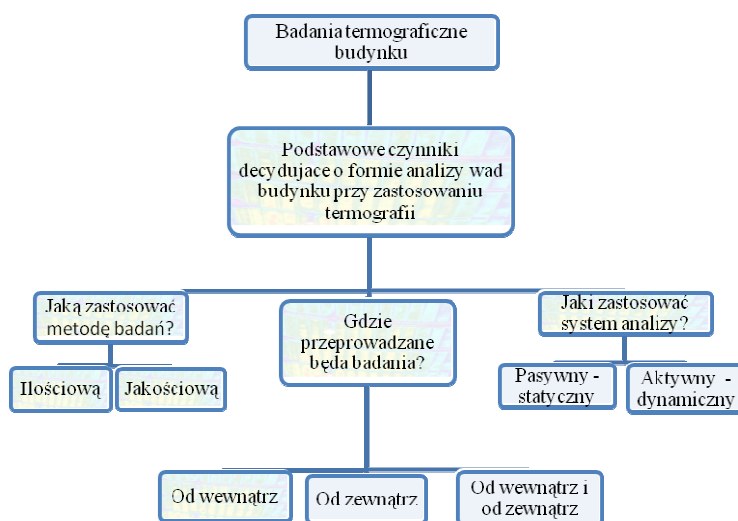
Stosując pomiary termograficzne, można wykrywać nie tylko wady izolacji cieplnej przegród zewnętrznych, w tym różnego rodzaju mostki cieplne, ale również nieszczelności stwarzające warunki do przepływu ciepła w wyniku zintensyfikowanej infiltracji powietrza.

Należy w tym przypadku pamiętać, iż termografia nie umożliwia dokonania dokładnej oceny jakości izolacyjności cieplnej, czyli wyznaczenia np. współczynnika

ka przenikania ciepła badanej przegrody. Jednak z reguły można wyciągnąć istotne wnioski na podstawie pola temperatury, zarejestrowanego na termogramie lub obserwowanego na ekranie kamery. W szczególności zastosowanie termowizji w diagnostyce cieplnej budynków umożliwia:

- wykonanie oceny jakościowej izolacyjności cieplnej przegrody bez potrzeby ingerencji w jej strukturę,
- stwarza warunki do duża efektywność i szybkość pracy wykonania działań diagnostycznych,
- umożliwia pracę nawet w dużej odległości od badanego elementu budynku.

Schemat procesu decyzyjnego w celu określenia metody badań termowizyjnych ilustruje diagram na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat procesu decyzyjnego w celu określenia metody badania termograficznego budynków [2]

Realizowane są programy oceny jakościowej izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych budynków. I tak przykładowo, w ramach piątej edycji projektu „Trzymaj ciepło”, realizowanego w Poznaniu, bezpłatnie dla właścicieli, przebadano 343 domy jednorodzinne i 20 kamienic. Dzięki temu właściciele i mieszkańcy mogli ocenić jakość izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych, zidentyfikować miejsca, w których występują największe straty ciepła, przerwy w izolacji cieplnej, przewiewy itp.

1. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ BADAŃ TERMOGRAFIKOWYCH DO LOKALIZOWANIA DEFECTÓW W BUDYNKACH

Poniżej przedstawiono przykłady zastosowań badań termograficznych do badań jakościowych izolacyjności cieplnej, przy zastosowaniu analizy pasywnej - statycznej

nej. Metoda pozwoliła zlokalizować defekty w elementach konstrukcji budynków, takich jak m.in. uszkodzenia pokrycia połaci dachowej, powodujące zawilgocenie izolacji cieplnej. W innym analizowanym przypadku przeprowadzono ocenę jakości izolacji cieplnej ścian zewnętrznych budynków mieszkalnych. Badania wykonano w celu oceny przyczyn pogorszenia jakości użytkowania mieszkań, obniżenia temperatury w pomieszczeniach, wystąpienia przewiewów powietrza oraz wystąpienia spękań na elewacji budynków.

1.1. Ocena konstrukcji dachu i pokrycia dachowego budynku przemysłowego

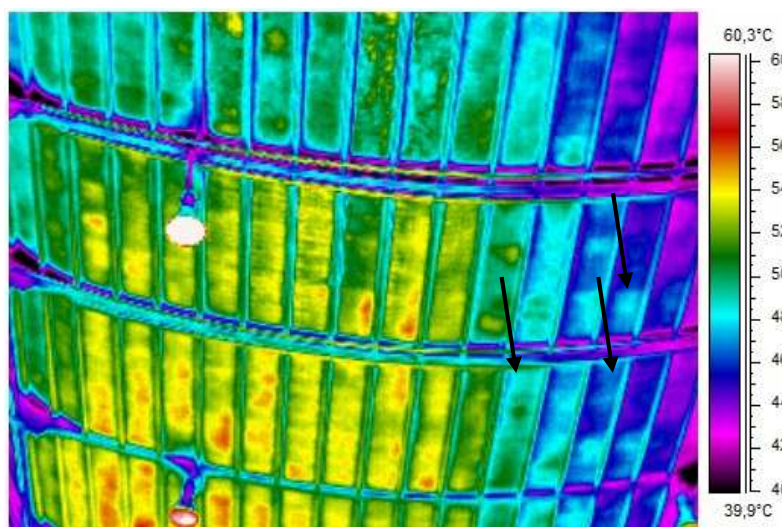
W trakcie oględzin technicznych konstrukcji dachu hal Zakładu Walcowni Blach Grubych Huty Częstochowa przeprowadzone zostały również badania rozkładu temperatury na powierzchni połaci dachowych za pomocą kamery termowizyjnej. Badania [3] przeprowadzono w celu zarówno określenia różnicy temperatury pomiędzy różnymi obszarami hal, jak i ujawniania niejednorodności termicznych w ramach danego obszaru połaci dachowej. Rozdzielczość przeprowadzonego pomiaru temperatury wynosiła $0,10^{\circ}\text{C}$, jednakże jego dokładność zależy od warunków otoczenia, w jakich wykonuje się pomiary, głównie temperatury powietrza i sąsiadujących obiektów oraz od emisyjności badanego materiału, która dla betonowych połaci została przyjęta na poziomie 0,94. Z przeprowadzonych analiz wyeliminowano wszystkie obiekty, takie jak lampy, kominy, gorące elementy pieców i wysoko odbijające powierzchnie. Podczas pomiarów zarejestrowano szereg obrazów prezentujących wartości temperatury obiektu, z których odczytano wartości maksymalne i minimalne dla połaci dachowych (gradient na powierzchni obiektu) oraz obliczono wartości średnie.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań dla wybranych dwóch połaci dachowych. Na rysunku 2 przedstawiono rozkład temperatury na powierzchni stropodachu od strony pomieszczenia. Na rysunku widoczne są obszary o wyraźnie zróżnicowanej temperaturze powierzchniowej, świadczące o dużej zmienności przenikalności cieplnej różnych fragmentów połaci dachu. Wyraźnie zarysowany został układ konstrukcji nośnej stropodachu, linie z obniżoną temperaturą powierzchniową wykreślają żebra płyt korytkowych. Tworzą one regularny układ liniowych mostków cieplnych. Kilka z nich wskazano strzałkami.

Obrazy termalne ilustrują wyniki pomiarów temperatury powierzchniowej, wskazujące na to, iż zróżnicowanie temperaturowe może wynikać z różnicy w grubości izolacji cieplnej, zawilgocenia konstrukcji, zgniecenia materiału izolacyjnego lub nawet braku izolacji cieplnej w określonych miejscach połaci dachowej.

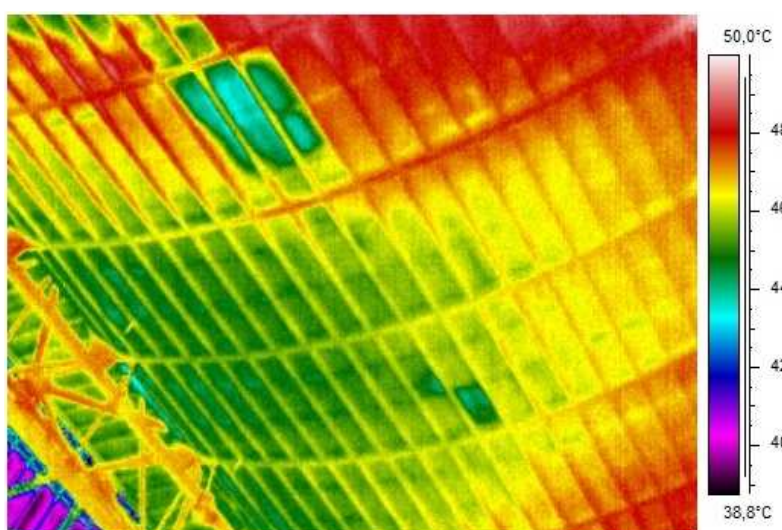
Na rysunku 3 przedstawiono rozkład temperatury na innym fragmencie połaci dachowej. Na termogramie tym widoczny jest duży obszar o wyraźnie obniżonej temperaturze powierzchniowej od reszty stropodachu. Odpowiada on obszarowi zacieku na powierzchni połaci dachu, pod zastoiną wody w najniższej strefie połaci dachu.

Przeprowadzona analiza termograficzna wskazała także na duże gradienty temperatury w ramach tych samych pól połaci dachowych, nawet w przypadku jednorodnego rozkładu temperatury powietrza i promieniowania termicznego.



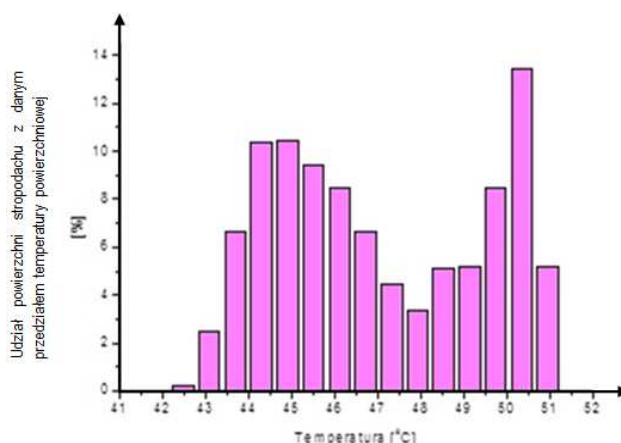
Rys. 2. Rozkład temperatury na połaci B-C/32-35 hali wsadów

W przypadku temperatury powierzchniowej połaci dachowych częstotliwość występowania danej temperatury przedstawiono w postaci histogramu (rys. 4).



Rys. 3. Rozkład temperatury na połaci F-G/32-35 hali wsadów

Z histogramu na rysunku 4 widać, że rozkład temperatury jest wyraźnie bimodalny, co wskazuje na istotne różnice w średnich wartościach współczynnika przenikania ciepła wyróżnionych pól połaci dachowej. Przyczyną tak dużego zróżnicowania współczynnika przenikania ciepła jest zawilgocenie warstwy izolacji cieplnej stropodachu.



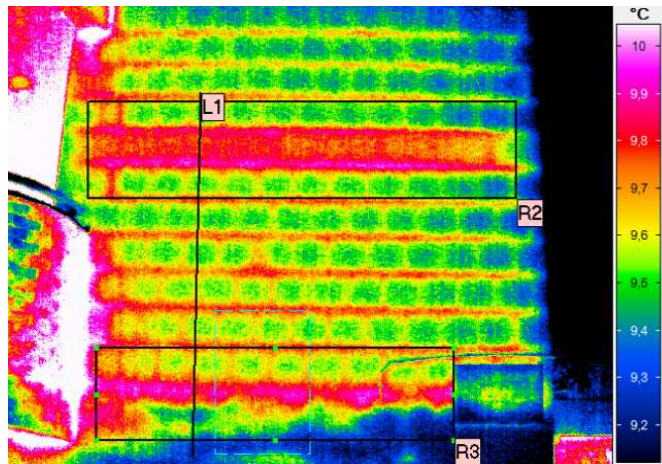
Rys. 4. Histogram rozkładu temperatury na połaci F-G/32-35 hali wsadów

1.2. Ocena stanu technicznego budynków wielorodzinnych

W trakcie opracowywania opinii budowlanej dotyczącej ustalenia przyczyn powstawania pęknięć jednowarstwowych ścian z ceramiki poryzowanej w budynkach wielorodzinnych wykonano badania termograficzne w celu ustalenia rozkładów temperatury na powierzchni elewacji oraz ujawnienia występowania ewentualnych mostków cieplnych. Wykonane termogramy wykazały w wielu obszarach badań wyraźne zróżnicowanie temperatury powierzchniowej, obrazujące ułożenie pustaków poryzowanych, tj. istotną różnicę w temperaturach w miejscu spoin poziomych i pionowych między pustakami.

Szczególnie ważne okazało się ustalenie faktu zarejestrowania kamerą termowizyjną w wielu fragmentach ścian, wyższych temperatur na spoinach poziomych muru niż na spoinach pionowych, co świadczyło o wadzie wykonawstwa, polegającej na murowaniu niektórych ścian osłonowych z pustaków poryzowanych na zwykłej zaprawie cementowej, a nie ciepłochronnej. Stwierdzono ponadto miejsca występowania podwyższonych temperatur (w stosunku do przyległych powierzchni ścian) w miejscach pęknięć, co w danym przypadku mogło wskazywać na przewiew powietrza z wnętrza budynku przez nieszczelności. Na rysunku 5 przedstawiono termogram ilustrujący rozkład temperatury na powierzchni ściany szczytowej, obrazujący układ spoin pomiędzy pustakami oraz linie na dwóch poziomach ułożenia pustaków (wzdłuż spoin), o wyraźnie podwyższonych temperaturach. Miejsca te odpowiadają poziomym spękaniami tynków na elewacji (rys. 6), co wskazuje na przewiew powietrza z wnętrza budynku przez nieszczelności (pęknięcia w spoinie).

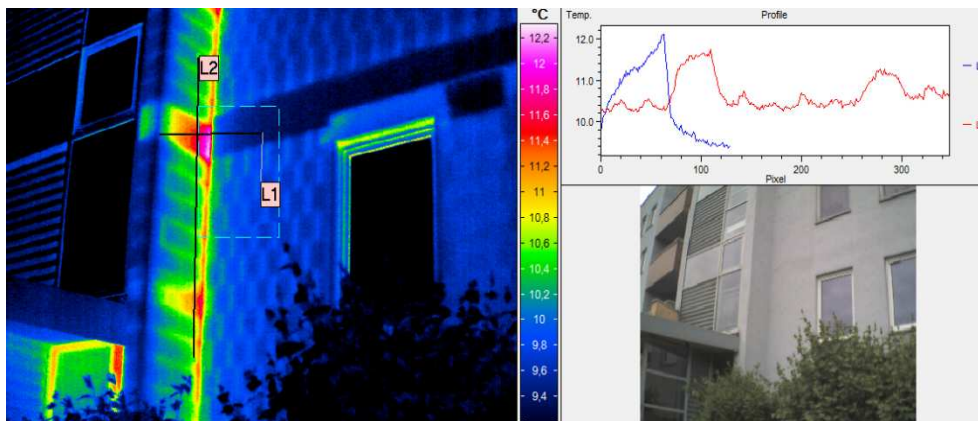
Przeprowadzone badania termograficzne oraz analiza dokumentacji projektowej pozwoliły ustalić, że wykonawca dokonał odstępstwa od rozwiązań projektowych i zrezygnował z stosowania zaprawy ciepłochronnej podczas wykonywania ścian zewnętrznych klatek schodowych.



Rys. 5. Rozkład temperatury na powierzchni ściany szczytowej



Rys. 6. Pęknięcia wzdłuż spoin poziomych

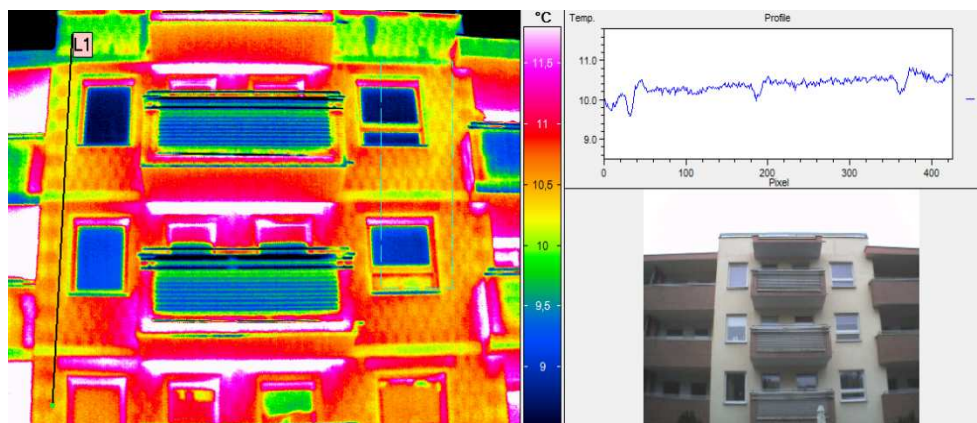


Rys. 7. Rozkład temperatur w narożu ścian zewnętrznych w obrębie klatki schodowej

Na termogramie przedstawionym na rysunku 6 widoczna jest wyraźna różnica pomiędzy rozkładem temperatury na ścianie zewnętrznej części mieszkalnej oraz rozkładem temperatury na ścianie klatki schodowej. Na ścianie części mieszkalnej wyższe temperatury na spoinach pionowych niż poziomych wskazywały na zastosowanie zaprawy ciepłochronnej, natomiast na ścianie bocznej klatki schodowej sytuacja w zakresie zróżnicowania temperaturowego na spoinach muru jest odwrotna. Wskazuje ona na zastosowanie zwykłej zaprawy w spoinach poziomych. Efektem wad wykonawstwa było ujawnienie się po kilka latach eksploatacji na ścianach bocznych klatek schodowych zarysowań tynków o formie zbliżonej do układu pustaków w ścianie (rys. 8).



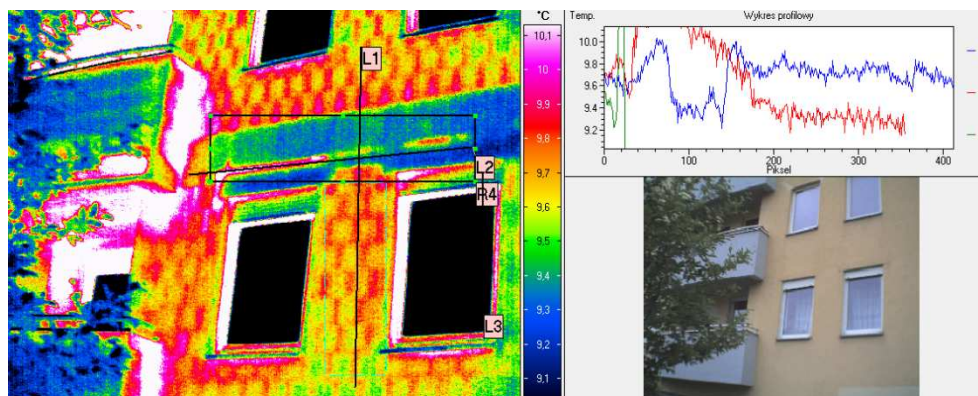
Rys. 8. Zarysowania tynków na bocznej ścianie klatki schodowej



Rys. 9. Mostki cieplne w miejscu zamocowania nadproży i płyt balkonowych

Wykonane badania termograficzne wykazały występowanie liniowych mostków cieplnych w miejscu nienajlepszego ocieplenia żelbetowych wieńców i płyt balkonowych oraz nadproży układanych na ścianach jednowarstwowych z pustaków poryzowanych (rys. 9 i 10). Stwierdzono wyraźną różnicę w ociepleniu wieńców

i nadproży okiennych, na korzyść lepszego ocieplenia wieńców i gorszego nadproży okiennych. Ujawnił się również efekt liniowego mostka cieplnego w miejscu zamocowania wspornikowej płyty balkonowej i ścianki balkonu w ścianie zewnętrznej.



Rys. 10. Brak ciągłości izolacji cieplnej na powierzchni wieńca i nadproży okiennych

Termogram przedstawiony na rysunku 10 obrazuje wady wykonawcze polegające na braku zachowania ciągłości izolacji cieplnej na powierzchni wieńca i nadproży okiennych. Widoczna jest wyraźna przerwa między tymi dwoma miejscami, wskazująca na istotne różnice w sposobach zastosowania izolacji cieplnej w ścianie zewnętrznej.

Dalsze badania termograficzne wykazały występowanie liniowych mostków cieplnych w narożach ścian zewnętrznych budynku w części mieszkalnej ze ścianą klatki schodowej, w miejscu występowania słupa żelbetowego. Uwidoczniony został również brak ocieplenia wieńców i miejsc osadzenia podestów w murze klatki schodowej.

PODSUMOWANIE

Obecnie obserwuje się coraz większe zainteresowanie badaniami termowizyjnymi oraz rozwój metodologii badawczej. Wzrasta również jakość uzyskiwanych rezultatów badań. Badania w zakresie oceny jakości przegród zewnętrznych wykonuje się, tak dla budynków przemysłowych, użyteczności publicznej, jak i mieszkalnych.

Dzięki badaniam termowizyjnym możliwe jest wykonanie szybkiej oceny jakości cieplnej tak budynków istniejących, jak i nowo realizowanych.

Ocena jakości izolacji cieplnej analizowanych budynków mieszkalnych wykazała przykładowo istotną różnicę w rodzaju zaprawy murarskiej stosowanej do łączenia pustaków ceramicznych w ścianach zewnętrznych.

LITERATURA

- [1] Asdrubali F., Baldinelli G., Bianchi F., A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in buildings, Applied Energy 2012, 97, 365-373.
- [2] Fox M., Coley D., Goodhewa S., Wilde P., Thermography methodologies for detecting energy related building defects, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2014, 40, 296-310.
- [3] Kysiak A., Ekspertyza połączeń dachów w Zakładzie WBH, Częstochowa 2008.

DIAGNOSTICS OF STRUCTURAL ELEMENTS OF BUILDINGS USING A THERMAL CAMERA

The article is an example of the results of studies of thermal imaging partitions from external industrial buildings and residential buildings. Studies reveal not only the quality of thermal insulation of building envelopes, but also the integrity and structure, the quality of masonry mortars used.

Keywords: (thermography, thermal diagnostics, heat insulation, tightness of the building envelope, thermal bridges)