

Alina Wróbel
Andrzej Wróbel

TERMOGRAFICZNE BADANIE BUDYNKÓW MIESZKALNYCH I OBIEKTÓW PRZEMYSŁOWYCH

1. Wstęp

Jakość cieplna przegrody budowlanej, zależy od jej izolacyjności cieplnej jak i od faktu występowania wad, powodujących lokalne zwiększenie przepływu ciepła.

Izolacyjność cieplną przegrody określamy za pomocą współczynnika przenikania ciepła "U". Według normy [PN] współczynnik ten określony jest wzorem: $U = \frac{q}{T_i - T_e}$

gdzie:

- T_i – temperatura powietrza w pomieszczeniu;
- T_e – temperatura powietrza na zewnątrz budynku;
- q – gęstość strumienia ciepłego.

Większa wartość współczynnika „U” oznacza, że w określonej jednostce czasu więcej ciepła przepływa przez przegrodę. Pożądane wartości tego współczynnika zależą od przeznaczenia przegrody. Dla przykładu, wg obecnie obowiązujących przepisów [1] dla zewnętrznej ściany budynku mieszkalnego współczynnik „U” nie powinien przekroczyć 0.3 [W/m²·°K] dla ściany warstwowej, a 0.5 [W/m²·°K] dla ściany jednorodnej. Oczywiście ściany obiektów przemysłowych, w zależności od ich przeznaczenia, mogą posiadać inną wartość współczynnika "U".

Jakość cieplną przegrody dobrze zaizolowanej mogą popsuć wady wynikające ze złego projektu lub wykonania. Charakter tych wad może być dwojaki.

Miejscowe braki izolacji lub zła izolacja wieńców i nadproży powodują powstawanie mostków cieplnych. W budynkach mieszkalnych, o dobrej izolacyjności ścian, powstawać mogą w tych miejscach wykroplenia pary wodnej, a w ich następstwie rozwój pleśni.

Osobnym problemem są nieszczelności w przegrodach budowlanych. Przyczyny ich powstania mogą być różne np. zwichrowane okna, szczeliny w miejscu łączenia różnych materiałów, pęknięcia na skutek złego wykonania przegrody lub działania czynników termicznych. Nieszczelności te mogą powodować nadmierną infiltrację zimnego powietrza do wnętrza.

Zbyt niska izolacyjność ścian i występujące wady będą powodować większe zużycie energii dla ogrzania pomieszczeń, a w przypadku niektórych obiektów przemysłowych mogą powodować pogorszenie parametrów procesu technologicznego lub prowadzić do groźnych czasami awarii.

Do oceny izolacyjności cieplnej przegród budowlanych i do wyszukiwania wadliwych miejsc stosowane mogą być różne metody. W wielu przypadkach bardzo dobre wyniki daje

obserwacja termograficzna. Jest to metoda dająca bardzo dokładny obraz rozkładu temperatury na badanej powierzchni. Opiera się na pomiarze natężenia promieniowania emitowanego przez badane ciało. Zależność tego promieniowania od temperatury ciała podaje wzór Plancka.

Obraz temperatury na powierzchni przegrody tylko wtedy odzwierciedla jej izolacyjność i pozwala na ocenę jej wad, jeżeli występuje przepływ ciepła przez przegrodę. Warunkiem przepływu ciepła jest różnica temperatury powietrza (lub innych gazów) po obu stronach przegrody. Im większa różnica temperatury tym większa dokładność wyznaczenia wartości współczynnika „U” i tym bardziej widoczne są wady. Prowadząc badania termograficzne przegród budowlanych należy zatem szczególną uwagę zwrócić na warunki w jakich wykonywany jest pomiar.

W dalszym ciągu artykułu przedstawione zostanie kilka opracowań termograficznych wykonanych na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH.

2. Pomiar termograficzny budynku mieszkalnego

Badania termograficzne budynków mieszkalnych wykonywane mogą być jako odbiory techniczne po budowie lub jako ekspertyzy związane z projektowanym ociepleniem. Celem badań może być tylko wyszukanie wad w postaci mostów cieplnych lub także wyznaczenie współczynnika „U”.

Aby pomiar dał prawidłowe rezultaty można go wykonywać, gdy różnica temperatury powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynku wynosi co najmniej 10°C. Spełnione jest to w czasie sezonu grzewczego, gdy temperatura powietrza zewnętrznego osiągnie kilka stopni powyżej zera. Wówczas przepływ ciepła jest na tyle duży, że wyraźnie widoczne są wady. Obserwacja termograficzna ścian nie ma oczywiście sensu gdy są one oświetlone przez słońce, gdyż powoduje ono ogrzanie niektórych fragmentów ściany, a zatem zniekształcenie jej obrazu termicznego wynikającego z przepływu ciepła od wewnątrz do zewnątrz budynku. Dlatego pomiary te wykonuje się z reguły w nocy lub w pochmurne dni

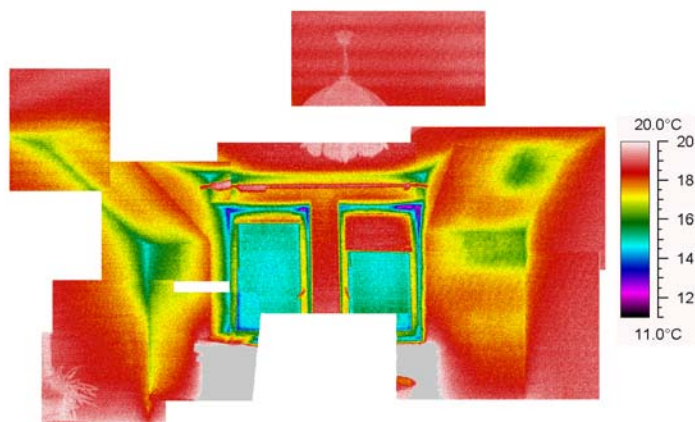
Jeżeli na podstawie obserwacji termograficznych wyznaczany ma być współczynnik „U”, musi być spełniony dodatkowy warunek, aby co najmniej przez jedną do dwóch dob przed pomiarem warunki termiczne były ustabilizowane. Oznacza to, że wahania temperatury powietrza na zewnątrz budynku nie powinny przekraczać 2 do 4°C, nie może wiać mocny wiatr i w ciągu dnia nie powinno świecić mocno słońce. Spełnienie tych warunków umożliwi wyznaczenie współczynnika „U” z wystarczającą dokładnością.

Jako generalną zasadę należy przyjąć, że dokładniejsze wyniki uzyskuje się prowadząc pomiary termograficzne ścian od wnętrza budynku. Doświadczenia z prowadzonych badań [Wróbel, 1996] wskazują, że do wyznaczenia współczynnika „U” powinno się wykorzystywać wyłącznie pomiary ścian od strony wewnętrznej budynku. Należy wówczas wybierać w miarę duże powierzchnie ściany nie zasłonięte meblami lub zasłonami i nie znajdujące się nad lub blisko grzejników.

Dla uzyskania odpowiedniej rozdzielczości geometrycznej obrazu pojedyncze termogramy obejmują zazwyczaj jedynie fragment ściany. Opracowanie oddawane zlecającemu jest bardziej czytelne jeżeli z tych termogramów zmontuje się obrazy przedstawiające całe ściany.

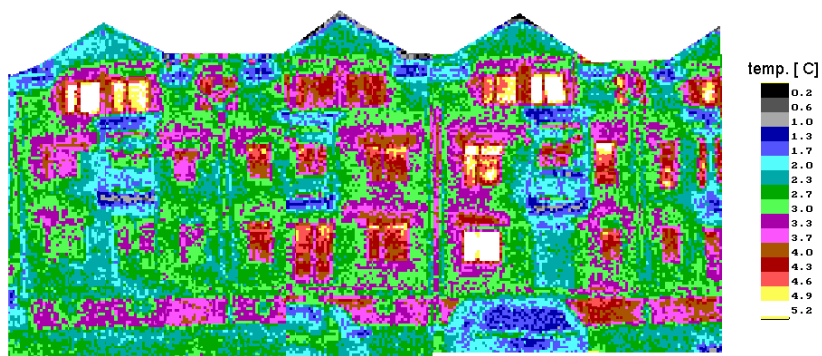
Na rysunku 1 przedstawiono zmontowany z kilkunastu termogramów obraz wewnętrznej strony ściany budynku. Wyraźnie widoczne są (w postaci chłodniejszych

obszarów) mostki termiczne wynikające ze złej izolacji nadproży, wieńca oraz złego osadzenia okien.



Rys. 1: Zmontowany z kilkunastu pojedynczych termogramów obraz wewnętrznej strony ściany budynku mieszkalnego

Rysunek 2 przedstawia z kolei termograficzny obraz zewnętrznej strony ściany tego samego budynku (również zmontowany z kilkunastu termogramów). Tym razem, jako cieplejsze, widoczne są źle zaizolowane nadproża okien i ściana piwnicy (cieplejszy pas na dole budynku).



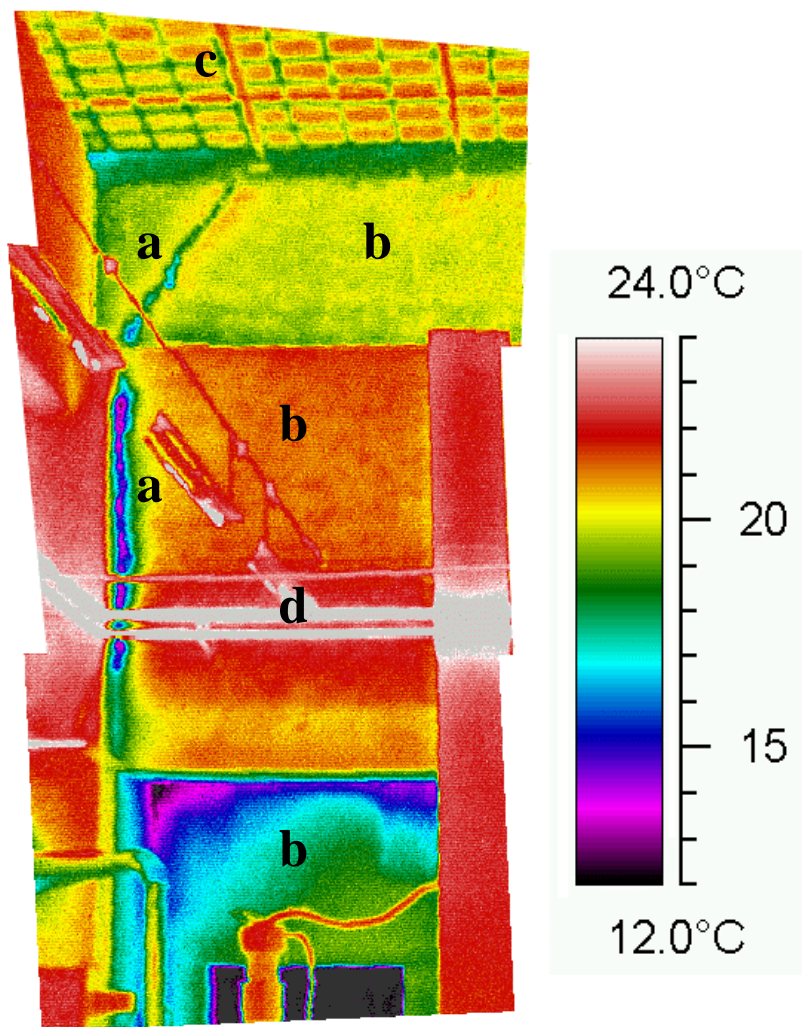
Rys. 2: Termograficzny obraz zewnętrznej strony ściany budynku mieszkalnego

3. Pomiar termograficzny hali przemysłowej

Pomiary termograficzne hal przemysłowych wykonywane są według podobnych zasad jak budynków mieszkalnych. Zachowana musi być zasada, iż temperatura wewnątrz hali powinna być wyższa o co najmniej 10°C od temperatury na zewnątrz, przy czym należy

pamiętać o fakcie iż temperatura powietrza w hali zależna jest w dużej mierze od procesu technologicznego.

W porównaniu do budynku mieszkalnego w hali możemy spotkać się ze znacznie większym zróżnicowaniem konstrukcji ścian i stropów (rys. 3 – poz. b,c). Często też w halach przemysłowych pracują maszyny wytwarzające drgania w związku z tym spodziewać się można pęknięć na ścianach (rys. 3 poz. a). Dodatkowym utrudnieniem przy wykonywaniu i interpretacji termogramów mogą być przewody z ciepłymi lub gorącymi mediami. Zasłaniają one widok, a dodatkowo, jeżeli są blisko ścian, ogrzewają je fałszując ich obraz termiczny.



Rys. 3. : Termogram wnętrza hali przemysłowej: a) pęknięcia ściany; b) ściana o różnej grubości; c) strop o konstrukcji żebrowej; d) przewody prowadzące gorące media

4. Pomiar termograficzny szczelności okien

Nieszczelne okna ułatwiają infiltrację powietrza. Jeżeli temperatura na zewnątrz pomieszczenia jest niższa niż wewnątrz, to przeważnie zimne powietrze będzie napływało przez szczeliny do wnętrza. Może się jednak zdarzyć taki układ ruchu powietrza wewnątrz budynku, że przez szczeliny ciepłe powietrze będzie uciekało na zewnątrz.

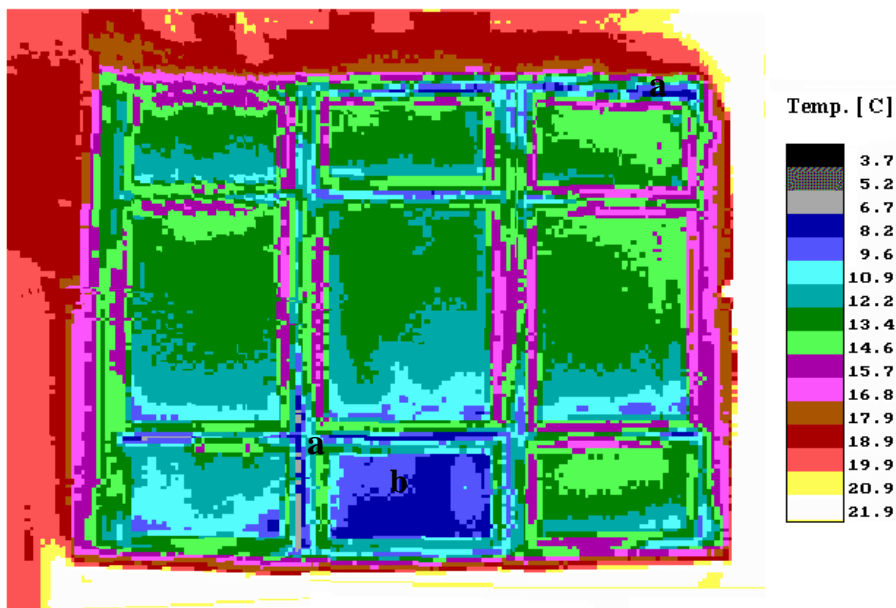
Za pomocą badań termograficznych można stwierdzić czy istnieją nieszczelności. Nie da się jednak określić dokładnie jak duże one są, czyli jakie ilości powietrza infiltrują przez okno. Można jedynie z grubsza oszacować ich wielkość.

Biorąc pod uwagę, że jak wspomniano wcześniej, powietrze może infiltrować przez okno w dwie strony, powinno się pomiar termograficzny przeprowadzić zarówno od strony wewnętrznej budynku jak i od strony zewnętrznej.

Jeżeli w czasie pomiaru będzie wiał silny wiatr spotęguje on zjawisko infiltracji. Oszacowanie wielkości nieszczelności stanie się wówczas jeszcze trudniejsze. Dlatego na pomiary termograficzne okien należy wybierać pogodę bezwietrzną.

Ponieważ szczeliny w oknach są bardzo wąskie, obszary zimniejszej (lub cieplejszej z zewnątrz) framugi też mogą mieć niewielką szerokość. Biorąc pod uwagę rozdzielczość geometryczną kamer termograficznych, dla dokładnego uchwycenia temperatury okien przy szczelinach należy wykonywać pomiary z małej odległości ujmując na obrazie niewielki fragment okna. Stąd też konieczność wykonania później montażu pojedynczych termogramów w jeden obraz całego okna.

Na rys. 4 pokazano taki zmontowany termograficzny obraz okna.



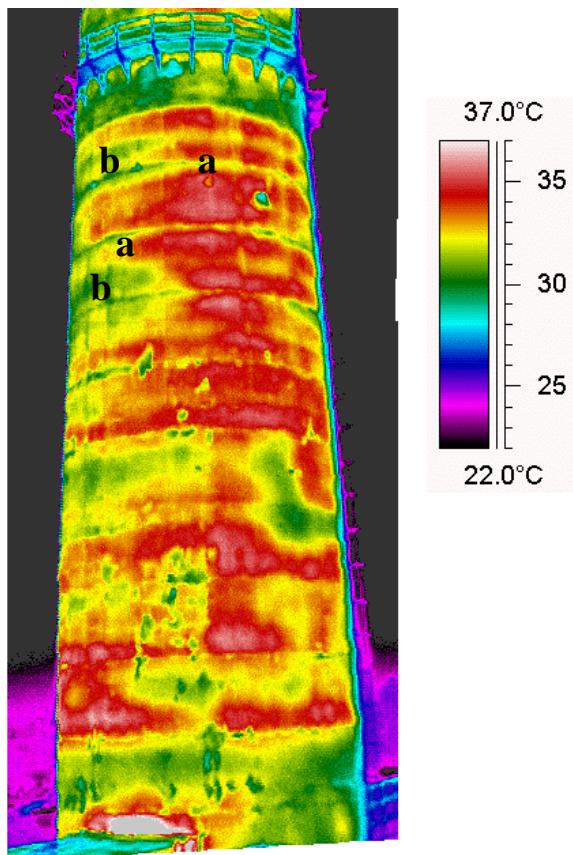
Rys. 4. : Zmontowany termogram okna (infiltracja zimnego powietrza do wewnątrz pomieszczenia: a) nieszczelności pomiędzy ramą a ościeżnicą okna; b) wybita jedna szyba (okna były dwu szybowe)

5. Pomiar termograficzny komina przemysłowego.

Obserwacje termograficzne komina powinny być prowadzone wówczas gdy komin jest czynny. Gazy przepływające przez komin mają zazwyczaj wysoką temperaturę, znacznie wyższą od otaczającego go powietrza, nawet w letnie gorące dni. W związku z tym spełniony jest warunek przepływu ciepła przez jego ściany, nieodzowny przy prowadzeniu badań termograficznych.

Ściany komina są zwykle izolowane, dlatego mimo wysokich temperatur gazów wewnątrz, temperatura ściany na zewnątrz jest zazwyczaj jedynie o kilka do kilkunastu stopni wyższa od temperatury otaczającego ją powietrza. Ewentualny wpływ nasłonecznienia, byłby więc bardzo znaczący stąd pomiary termograficzne należy prowadzić w nocy lub przy zachmurzonym niebie. .

Obraz termalny komina jest odzwierciedleniem stanu izolacji wewnętrznej ścian. Cieplesze miejsca na powierzchni ściany wskazują na ewentualne uszkodzenia wymurówki. Zmiana zewnętrznej temperatury ścian może być również spowodowane istnieniem elementów konstrukcji podtrzymujących izolację (rys 5. poz. a)



Rys. 5. : Termogram fragmentu komina: a) termiczne ślady konstrukcji podtrzymującej izolację wewnątrz komina; b) fałszywe obniżenie temperatury na skraju komina

Podczas interpretacji termogramów komina należy zwrócić uwagę na efekt obniżenia temperatury na kominie przy jego skraju (rys. 5. poz. b.). To zafalszowanie rzeczywistej temperatury spowodowane jest kształtem komina (przekrój komina jest zwykle kołowy). Aby uzyskać prawidłowy termalny obraz powierzchni komina, należy obserwacje termograficzne wykonywać z co najmniej czterech stanowisk rozmieszczonych równomiernie wokół niego. Umożliwia to wybór do interpretacji jedynie centralnej części obrazu komina, która nie posiada zniekształceń termalnych.

6. Podsumowanie

Od wielu już lat produkuje się sprzęt termograficzny cechujący się wysoką dokładnością pomiaru temperatury ($0.1 - 0.2^{\circ}\text{C}$). Najnowsze kamery cechują się stosunkowo wysoką rozdzielczością obrazu. Wszystko to umożliwia wykonywanie opracowań termograficznych o wysokiej jakości.

Jakość opracowań nie zależy jednak wyłącznie od sprzętu z którego się korzysta. Zarejestrowany nawet bardzo dokładnie obraz rozkładu temperatury nie zawsze dobrze opisuje badane zjawisko.

Należy jeszcze uwzględnić wpływ czynników zewnętrznych np. promieniowania otoczenia, promieniowania słonecznego, ruchu powietrza (przeciąg, wiatr), kształt obiektu. Wszystko to wpływa zarówno na temperaturę obserwowanej powierzchni jak też może zniekształcać strumień promieniowania podczerwonego docierający do kamery.

Aby na podstawie pomiarów termograficznych dobrze ocenić przebieg analizowanego zjawiska, należy poznać jego opis fizyczny. Nieznajomość przebiegu procesu, może bowiem, doprowadzić do wyciągania błędnych wniosków (np. wyznaczanie współczynnika "U" przy nieustabilizowanym przepływie ciepła lub zbyt niskiej różnicy temperatur powietrza po obu stronach przegrody).

Podsumowując można stwierdzić, że aby osiągnąć wysoką jakość opracowania, należy: dokładnie zapoznać się z fizyczną stroną badanego zjawiska, starannie i w odpowiednich warunkach wykonać obserwacje termograficzne i starannie (z uwzględnieniem możliwych zniekształceń rejestrowanego przez kamerę sygnału) dokonać interpretacji wyników pomiarów terenowych. Na jakość opracowania ma również dopracowanie jego strony wizualnej (np. łączenie wielu termogramów w jeden obraz, nakładanie na obraz termograficzny rysunku kreskowego ułatwiającego interpretację itp.).

7. Literatura:

1. Wróbel Alina, 1996, *Problemy wykonania i interpretacji termogramów*, (Problems of taking and interpretation of termograms), Trzecia ogólnopolska konferencja termografii i termometrii w podczerwieni, Warszawa;
2. Norma Polska PN-EN.ISO 6946, 1999 rok.

Recenzowała: dr inż. Beata Hejmanowska