

Jerzy Żurawski*)

TERMOWIZJA

jako weryfikacja jakości prac izolacyjnych

Uzyskanie rzetelnej informacji o jakości i prawidłowości wykonanej w budynku izolacji termicznej może nie być proste. Istniejące budynki bardzo często nie mają dokumentacji lub jest ona niekompletna, a dodatkowy problem mogą stanowić dokonane w trakcie realizacji zmiany technologii czy materiałów w stosunku do zaplanowanych w projekcie. Aby zatem dokonać poprawnej oceny, należy wykonać dodatkowe badania, najlepiej metodą bezinwazyjną. Taka bezinwazyjna weryfikacja prac izolacyjnych nie jest możliwa bez zastosowania nowoczesnych urządzeń pomiarowych. Są nimi kamery termowizyjne.

Termowizja jest metodą badawczą polegającą na zdalnej i bezdotykowej ocenie rozkładu temperatury na powierzchni badanego ciała. Metoda ta jest oparta na obserwacji i zapisie rozkładu promieniowania podczerwonego wysyłanego przez każde ciało, którego temperatura jest wyższa od zera absolutnego wynoszącego 0,0 K (-273,15°C), i przekształceniu tego promieniowania na światło widzialne. Tworzenie obrazu polega na rejestracji przez kamerę promieniowania emitowanego przez obserwowany obiekt, a następnie przetworzeniu na kolorową mapę temperatur. Moc promieniowania ciała zależy od jego temperatury, dlatego miejsca cieplejsze wydają się jaśniejsze na obrazie widzialnym. Zapisany w ten sposób obraz nazywany jest termogramem (fot. 1).

HISTORIA termowizji

W drugiej połowie XIX w. odkryto i opisano, że promieniowanie ciepłe i inne fale elektromagnetyczne, np. światło widzialne lub fale radiowe, mają podobny charakter. W konsekwencji powstały prawa stworzone przez Kirchhoffa, Wiena, Plancka, Stefana-Boltzmann.

Promieniowanie podczerwone jest częścią spektrum elektromagnetycznego i rozpościera się w długofalowej części spektrum widzialnego od światła czerwonego o długości fali ok. 760 nm do fal o długości 1 mm. W technicznych pomiarach temperatur główną rolę odgrywa zakres fal o długości ok. 20 μm.

Spektralne zestawienie wysyłanego promieniowania zależy od temperatury obiektu. Przykładowe ciało o temperaturze powyżej 500°C wysyła także promieniowanie w zakresie widzialnym. Ponadto stwierdzono, że dla każdej długości fali intensywność promieniowania rośnie wraz ze wzrostem temperatury.

Prawo promieniowania Plancka opisuje podstawowe zależności bezkontaktowych pomiarów temperatury. Na jego podstawie wprowadzono wiele innych zależności, np. prawo Stefana-Boltzmann.

$$M = \sigma \cdot T^4 \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

Ciała odznaczają się różnymi właściwościami promieniowania (tabela). Aby wykorzystać w praktyce opisane zjawiska promieniowania ciepłego ciała, konieczne było uproszczenie tej różnorodności i sprawdzenie jej do postaci modelu ciała o idealnych właściwościach promieniowania. Model ciała jest nazywany w fizyce cia-

łem doskonale czarnym. Każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględniego jest źródłem promieniowania w pasmie podczerwieni, a jego intensywność zależy od temperatury i cech powierzchni ciała (emisyjność).

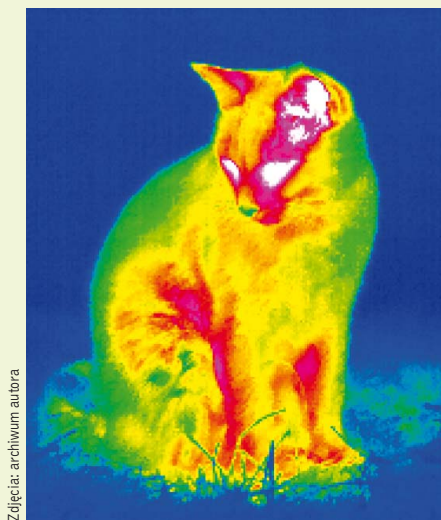
Praktyczne wykorzystanie promieniowania podczerwonego można datować na połowę XX w. Pierwsze wykorzystanie wiązało się z wojskiem, dla którego zbudowano wskaźniki podczerwone. W latach 60. pojawiły się pierwsze urządzenia termowizyjne do zastosowań cywilnych.

WPŁYW warunków zewnętrznych na wykonywanie pomiarów termowizyjnych

Ponieważ termografia w podczerwieni jest metodą bezdotykową, promieniowanie podczerwone musi przebyć drogę od obiektu do urządzenia pomiarowego przez pewne medium, którego optyczne właściwości podczerwone mogą wpływać na otrzymany wynik. W większości wypadków jest nim powietrze, ale w praktyce spotyka się także inne materiały, np. przepuszczające promieniowanie podczerwone okna. Szczególnie zawarta w powietrzu para wodna lub dwutlenek węgla mogą zmniejszać jego zdolność przepuszczania promieniowania podczerwonego.

Przepuszczalność (transmisyjność) powietrza zależy w bardzo dużym stopniu od długości fali (rys. 1). Obszary o wysokim tłumieniu przenikają się z obszarami o dużej przepuszczalności, tzw. „oknami atmosferycznymi”.

W zakresie (8–14) μm długofalowe okno atmosferyczne jest równomierne nawet na dużą odległość, w zakresie (3...5) μm występuje krótkofalowe okno atmosferyczne, w którym odchyłki pomiarowe związane z atmosferą są obserwowane już przy odległości pomiarowej wynoszącej 10 m. Duże zniekształcenia pomiarów pojawiają się również wtedy, gdy wieje wiatr. Przy jednocześnie podwyższonej wilgotności może on doprowadzić do zafałszowania pomiarów i w konsekwencji do wadliwych wniosków.



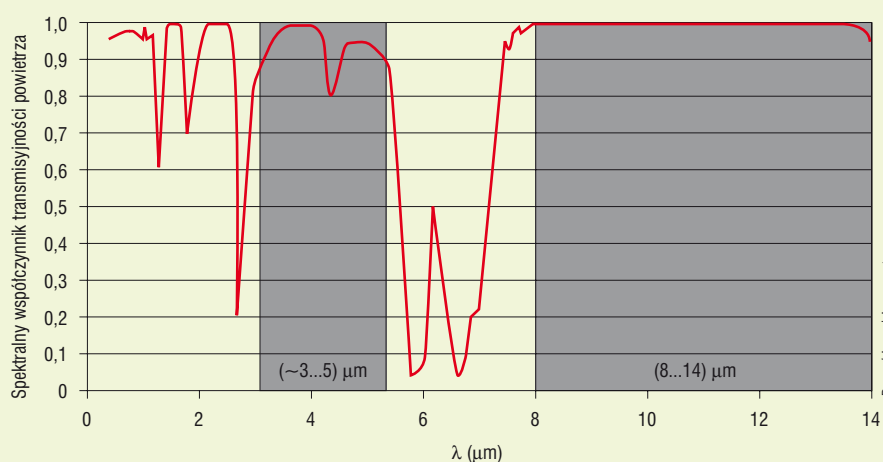
Zdjęcia: archiwum autora

Fot. 1. Zdjęcie termowizyjne kota

*) Dolnośląska Agencja Energii i Środowiska

Tabela. Wartość współczynnika emisyjności różnych materiałów

Materiał	Temperatura [°C]	Emisyjność ϵ
Aluminium polerowane	50–100	0,04–0,06
Aluminium z chropowatą powierzchnią	20–50	0,06–0,07
Aluminium silnie utlenione	50–500	0,2–0,3
Bibuła azbestowa	40–400	0,93–0,95
Błacha cynkowa	50	0,20
Błacha ocynkowana błyszcząca	30	0,23
Błacha stalowa niklowana	20	0,11
Błacha stalowa walcowana	50	0,56
Brąz chropowaty	50–150	0,55
Brąz polerowany	50	0,1
Chrom polerowany	50	0,1
Cegła czerwona porowata	20	0,88–0,93
Gips	20	0,8–0,9
Lakier emaliowany	20	0,85–0,95
Lód kryształ	-10	0,98
Miedź polerowana	50–100	0,02
Miedź utleniona	50	0,6–0,7
Papier biały	20	0,7–0,9
Papier czarny matowy	20	0,94
Sadza	20–400	0,95–0,97
Porcelana glazurowana	20	0,92
Srebro czyste polerowane	200	0,02
Warstwa wody na powierzchni metalowej	20	0,98
Woda (warstwa o grubości większej niż 0,1 mm)	0–100	0,95–0,98
Skóra ludzka	30	0,98–1,0



Rys. 1. Spektralny współczynnik transmisyjności powietrza (10 m, 25°C, 1013 mbar, 85% r.F.)

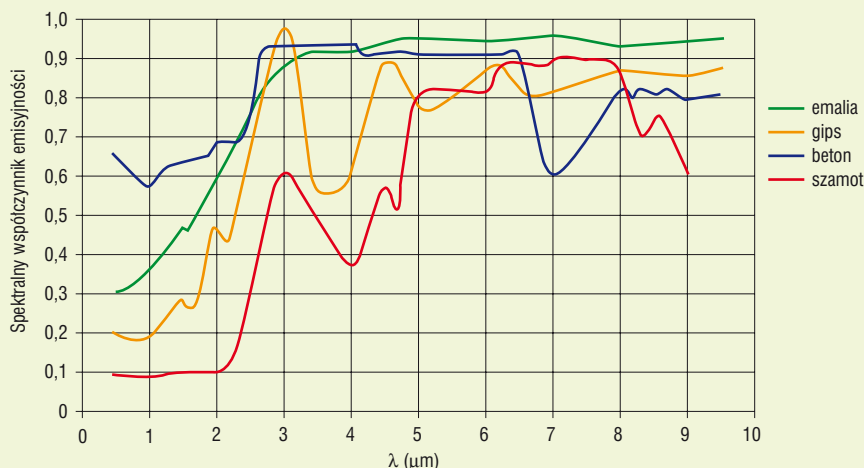
Ciało doskonale czarne jest fizycznym modelem promiennika. Praktyczne obiekty pomiarowe często mniej lub bardziej odbiegają od tego modelu i dlatego przy pomiarach staje się konieczne uwzględnienie tej odchyłki. Dlatego wprowadzono pojęcie współ-

czynnika emisyjności jako wartości określającej możliwości wysyłania promieniowania podczerwonego przez dane ciało. Przyjęto, że ciało doskonale czarne ma współczynnik emisyjności o wartości 1, który jest niezależny od długości fali. W przeciwieństwie

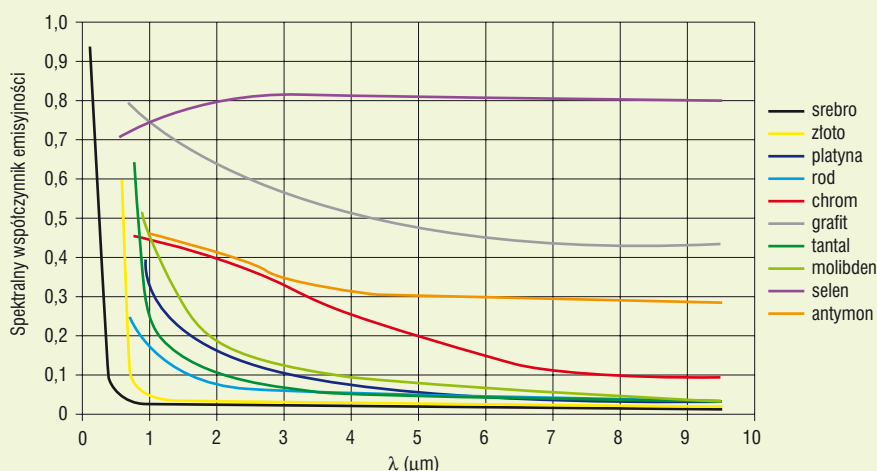
Partnerzy cyklu

„Energoozczędność w budownictwie”:





Rys. 2. Spektralny współczynnik emisyjności materiałów budowlanych



Rys. 3. Spektralny współczynnik emisyjności metali

do tego współczynnik emisyjności rzeczywistych obiektów pomiarowych w mniejszym lub większym stopniu zależy od długości fali. Poza tym możliwy jest wpływ następujących rodzajów zjawisk: zestawienie materiałów, utlenienie otoczenia, zadymienie otoczenia, kąt do powierzchni normalnej, temperatura oraz stopień polaryzacji.

Duża liczba tworzyw niemetalicznych odznacza się – szczególnie w długofalowym zakresie spektralnym – niezależnością od właściwości otoczenia ich współczynnika emisyjności, który jest wysoki i ma relatywnie stałą wartość. Należą do nich np. ludzka skóra lub często stosowane mineralne powłoki budowlane i malarskie (rys. 2).

Metale mają zazwyczaj mały współczynnik emisyjności, silnie zależny od cech otoczenia i zmniejszający się wraz ze wzrostem długości fal (rys. 3).

Praktyczne WYKORZYSTANIE kamery termowizyjnej

Wykorzystanie badań termowizyjnych jest możliwe wszędzie tam, gdzie można

zmierzyć temperaturę powierzchni. Termowizja znajduje więc zastosowanie w wielu dziedzinach życia, np.:

- w wykrywaniu wad technologicznych przegród budynków,
- w lokalizacji rur z ciepłą wodą oraz lokalizacji ewentualnych wycieków i nieszczelności,
- przy ocenie stanu izolacji cieplnej kotłów, rurociągów, izolowanych kanałów,
- w badaniu rozkładu temperatur płyt grzejnych (np. w chłodnicach),
- przy badaniu stanu cieplnego kominów i kanałów odprowadzających spaliny,
- przy ocenie rezystancji dla rozdzielni napięć, transformatorów, szafek elektrycznych, uszkodzonych bezpieczników, linii wysokiego napięcia i wszelkich złączy elektrycznych,
- lokalizacji przebiegu sieci ciepłowniczej,
- przy ocenie stanu przewodów doprowadzających gazy,
- przy ocenie pracujących urządzeń mechanicznych (nadmierne przegrzanie),

- przy określaniu wewnętrznych samozapłonów hałd węglowych,
- w poszukiwaniu ognisk pożarów leśnych,
- w diagnostyce medycznej,
- w ratownictwie górskim.

Szczególnym zastosowaniem badań termowizyjnych jest diagnostyka izolacyjności cieplnej budynków (fot. 2-7). Dzięki wykorzystaniu termografii można wykrywać wady izolacji termicznej przegród zewnętrznych i wszelkie mostki termiczne oraz nieszczelności umożliwiające ucieczkę ciepła w wyniku zintensyfikowanej wentylacji. Warunkiem określenia wad izolacji metodą pomiarów termowizyjnych jest różnica temperatur po obu stronach obiektu. A zatem badania można wykonywać tylko wtedy, kiedy występuje odpowiednia różnica temperatur.

Wykorzystanie termowizji w diagnostyce cieplnej budynków pozwala na:

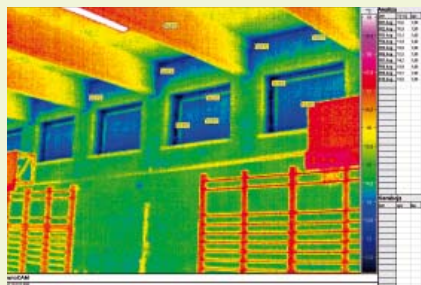
- wykonanie oceny izolacyjności budynku bez potrzeby ingerencji w przegrody,
- możliwość pracy nawet w dużej odległości od badanego elementu budynku (wymaga to jednak wykorzystania drogich teleobjektywów).

Należy pamiętać, iż interpretacja zarejestrowanego na termogramie pola temperatury wymaga dużego doświadczenia inżynierskiego, znajomości technik wznoszenia, właściwości materiałów oraz dużego doświadczenia w wykonywaniu badań termowizyjnych. Dużą pomocą są coraz lepsze programy komputerowe, które pozwalają szerzej i lepiej wykorzystywać termografię do różnych zadań.

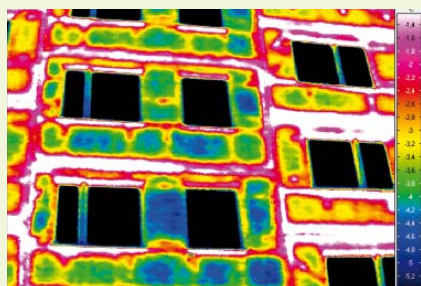
Zastosowanie termowizji nie ogranicza się jedynie do oceny izolacyjności termicznej budynków. Istnieje też możliwość wykrywania za pomocą kamery termowizyjnej wilgoci w przegrodach budowlanych. Obecność wody w porach materiału budowlanego powoduje pogorszenie właściwości izolacyjnych. Dzięki temu na obrazie termowizyjnym można rozróżnić obszary zawilgoceń, określać ich zasięg, a nawet wskazywać źródła wilgoci. Wymaga to jednak dużego doświadczenia i dobrej znajomości fizyki budowli.

OCENA izolacyjności termicznej przegród

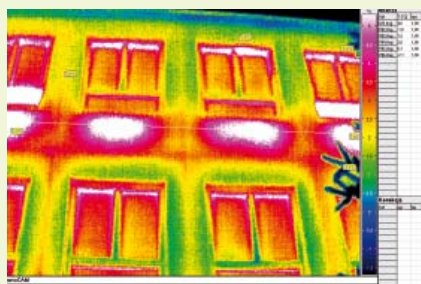
Ocena izolacyjności przegród może być dokonana nie tylko poprzez porównywanie obrazów termograficznych tych przegród, lecz także np. poprzez wyznaczanie bezwymiarowych miar izolacyjności termicznej:



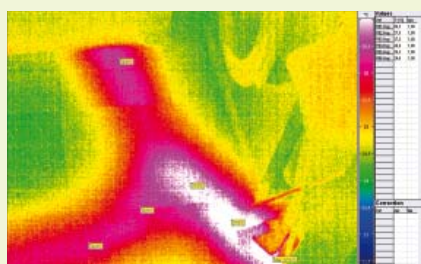
Fot. 2. Widok od wewnątrz połączenia stropodachu i ściany zewnętrznej



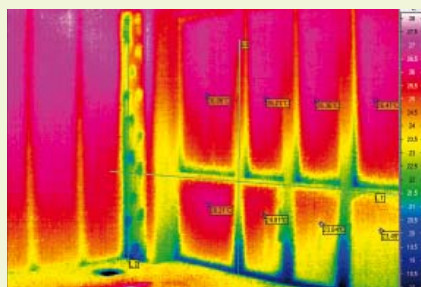
Fot. 3. Ujęcie ściany zewnętrznej o dużej niejednorodności termicznej



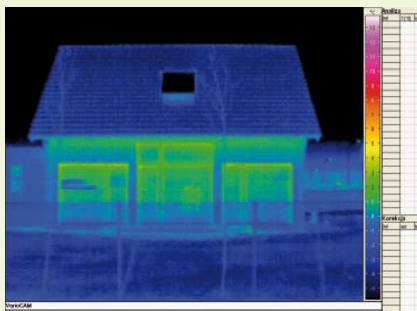
Fot. 4. Widok ściany zewnętrznej z wnękami podokienneymi, w których umieszczono grzejniki



Fot. 5. Poszukiwanie wycieku z rur ukrytych w podłodze



Fot. 6. Widok od wewnątrz lekkiej przegrody zewnętrznej; widoczne wychłodzenia na elementach konstrukcyjnych



Fot. 7. Budynek pasywny

■ gdy dysponujemy temperaturą wewnętrzną powierzchni przegrody:

$$T_i = \frac{\Theta_i - t_e}{t_i - t_e}$$

■ gdy dysponujemy temperaturą zewnętrzną powierzchni przegrody:

$$T_i = \frac{t_i - \Theta_e}{t_i - t_e}$$

gdzie:

– Θ_i , Θ_e – temperatura na powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej przegrody,
– t_i , t_e – temperatura wewnętrzna i zewnętrzna.

Na tej podstawie można klasyfikować przegrody pod względem ich własności termooizolacyjnych nawet wtedy, gdy termogramy wykonane były przy różnych temperaturach wewnętrznych i zewnętrznych. Wyższemu wskaźnikowi T_i możemy przypisać lepsze własności termooizolacyjne przegrody.

Warunki POPRAWNEGO wykorzystywania systemów termowizyjnych

Temperatury na termogramie będą poprawne jedynie wówczas, jeżeli prawidłowo ocenimy i wczytamy do pamięci kamery emisyjność badanej powierzchni w zakresie promieniowania podczerwonego. Dobrym i często stosowanym sposobem poprawnego ustalenia współczynnika emisyjności jest zastosowanie metody temperaturowej. Polega ona na pomiarze temperatury na określonej powierzchni za pomocą dokładnego termometru i ustawieniu współczynnika emisyjności tak, aby rejestrowana w punkcie pomiaru temperatura wskazana na termogramie (ekran kontrolny kamery termowizyjnej) była równa temperaturze zmierzonej termometrem stykowym.

Należy pamiętać, iż obraz termalny zależy w pewnym sensie od temperatury zewnętrznej i wewnętrznej w momencie rejestracji oraz od warunków zewnętrznych – słońca, wiatru, mgły, opadów. Należy je obo-

wiązkowo uwzględniać podczas badania termowizyjnego.

Badanie nie powinno być wykonywane, gdy świeci słońce. Jeśli dzień jest słoneczny, badanie jest możliwe dopiero po 5–6 godz. po zachodzie słońca. Ponadto wszelkie źródła ciepła w zasięgu pola widzenia kamery mogą powodować zakłócenia na termogramach.

Podczas wykonywania badań należy obserwować zmieniające się warunki atmosferyczne i notować ich zmienność, zwłaszcza gdy następuje stopniowe ocieplenie. Warto też pamiętać, że zmiana warunków atmosferycznych w czasie wykonywania badań nie ma wielkiego wpływu na zdjęcia termowizyjne wykonywane od strony wewnętrznej budynków.

Przy wykonywaniu badań należy więc pamiętać o:

- pomiarze temperatury i wilgotności medium (najczęściej powietrza),
- pomiarze odległości od budynku,
- określeniu rodzaju badanego materiału w celu określenia wartości współczynnika emisyjnego,
- wykonywaniu pomiarów w miarę możliwości prostopadle do badanej powierzchni,
- niewykonywaniu badań w deszczu, podczas opadów śniegu, przy dużym wietrze, przy zamgleniu lub zadymieniu medium (powietrza),
- ustawieniu kamery prostopadle do obiektu (dopuszczalne są niewielkie odchyłki – maks. do 30°).

PODSUMOWANIE

Badania termowizyjne są pomocne w określaniu wad budynku wpływających na zwiększenie strat ciepła. Za pomocą termografii można wykrywać nie tylko wady izolacji termicznej przegród zewnętrznych i wszelkie mostki termiczne, lecz także nieszczelności umożliwiające ucieczkę ciepła w wyniku zintensyfikowanej wentylacji. Należy jednak pamiętać, iż termografia nie umożliwia bezpośredniej obserwacji jakości izolacji.

Wnioski z badań termowizyjnych wyciągane są na podstawie zarejestrowanego na termogramie lub obserwowanego na ekranie kamery pola temperatury. Na podstawie takiego obrazu można w niektórych przypadkach ocenić także stopień zawilgocenia izolacji termicznej w przegrodzie.

Wykorzystanie termowizji w budownictwie oznacza wprowadzenie do procesu budowlanego nowego etapu: powykonawczej diagnostyki cieplnej obiektu, zwanej termowizyjną kontrolą jakości robót. ■