

# Termografia/termowizja, czyli jak poprawnie mierzyć

## Optymalne warunki badań

KRYSTIAN KUROWSKI\*

Ochrona cieplna budynków odgrywa coraz większą rolę. Nakłady energii na ogrzewanie budynków mogą dochodzić do 80% całkowitej energii zużywanej przez budynek dla budynków słabo izolowanych, dla wysoko energooszczędnych zaś nie przekraczają 50%. Wielkość zużycia energii zależy głównie od skuteczności izolacji – zwiększenia szczelności cieplnej. Należy zdać sobie również sprawę, że nakłady energii na użytkowanie budynku (w ciągu np. 40 lat) są ok. 10-krotnie wyższe od nakładów na jego wybudowanie.

**Z**akożenia projektowe związane z powstawaniem budynków w tym rozwiązania konstrukcyjne, ociepleniowe i instalacyjne niejednokrotnie daleko odbiegają od tego, co uzyskuje się na etapie realizacji. Dotychczas przyjmowało się, że obiekt wykonany jest w sposób prawidłowy (zgodny z projektem). Bagatelizowano w ten sposób rolę niedoróbek, niedoskonałości wykonawczych. Od kilkunastu lat, powszechnie od kilku wykorzystywana jest metoda termografii do identyfikacji wad budynków, celem ograniczenia strat ciepła poprzez zwiększenie szczelności obiektów (a tym samym podniesienia jakości budowanych obiektów).

### Jak i czym się mierzy, czyli podstawy termowizji

Każde ciało o temperaturze wyższej od zera absolutnego emituje energię. Termowizja (zwanej też termo-

grafia) wykorzystuje promieniowanie cieplne (podczerwone) w zakresie pomiędzy promieniowaniem widzialnym i radiowym.

Promieniowanie powierzchni przetwarzane jest przez kamerę termowizyjną na „obraz cieplny” przedstawiający względne natężenie promieniowania cieplnego różnych części.

Obraz cieplny (termogram) uzależniony jest od:

- temperatury,
- rodzaju powierzchni,
- warunków środowiskowych.

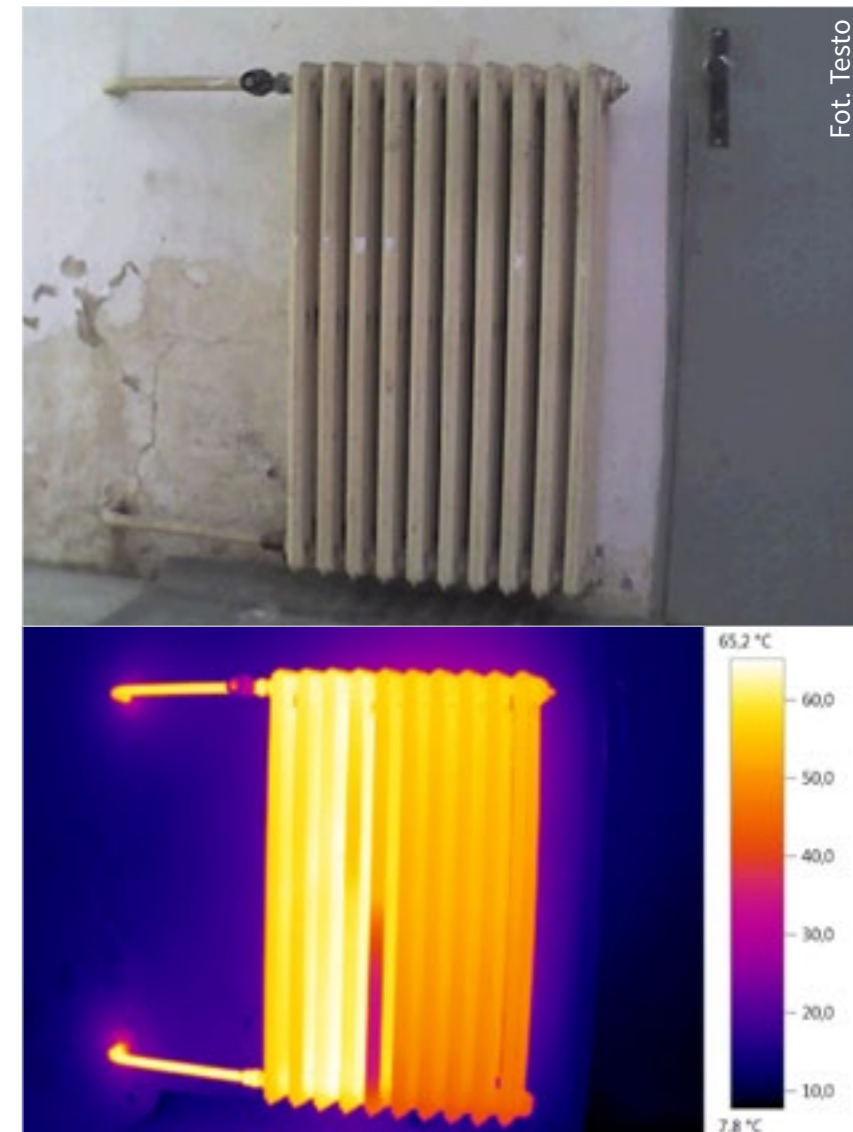
Rozkład temperatury na powierzchni może być wykorzystany do detekcji niejednorodności cieplnych spowodowanych m.in.: defektami izolacji, zawartością wilgoci. Termografia jest metodą, dzięki której możliwe jest przedstawienie rozkładu temperatury na powierzchni obudowy budynku.

Wykorzystywana jest ona m.in. jest do wstępnej

identyfikacji: właściwości cieplnych powierzchni, szczelności powietrznej. Badania termograficzne wykonuje się zgodnie z normą: PN-EN 13187: „Właściwości cieplne budynków – jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – Metoda podczerwieni”. W sposób bezpośredni nie ma możliwości ilościowego wykrywania izolacyjności cieplnej i szczelności powietrznej.

**Badania prowadzi się w dosyć szerokim zakresie temperatury** od ok.  $-10^{\circ}\text{C}$  (dla niższej temperatury utrudnione jest operowanie sprzętem przez osobę obsługującą) nawet do ok.  $100^{\circ}\text{C}$  (badanie urządzeń grzewczych). Czulość termiczna dostępnych kamer wynosi ok. 0,1 K, a często jest lepsza.

**Zakres promieniowania.** Zgodnie z normą przetwornik promieniowania słonecznego powinien funkcjonować w zakresie 2 i  $12\ \mu\text{m}$ . Z punktu widzenia praktycznego promieniowanie podczerwone dzieli się historycznie na dwa zakresy: promieniowanie krót-



Zdjęcie z kamery termowizyjnej obrazujące pracę instalacji c.o.

kofalowe SW (Short Wave)  $2-5\ \mu\text{m}$  i długofalowe LW (Long Wave)  $8-14\ \mu\text{m}$ . Podział powiązany jest z detektorami podczerwieni wykorzystywanymi w termowizji. Stosowane są detektory SW i LW, przy czym te drugie uważane są za korzystniejsze z punktu widzenia prowadzenia badań na obiektach budowlanych. Obecnie przyjęło się wyróżniać cztery zakresy podczerwieni: bliską, średnią, daleką, bardzo daleką, a zakresy badawcze termografii odpowiadają podczerwieni średniej i dalekiej.

**Detektory (przetworniki pomiarowe) mogą być w postaci pojedynczej – najprostsze pirometry,**

\* dr inż. Krystian Kurowski, Katedra Inżynierii Środowiska, WBNS/UKSW

**jak też matrycy (kamery).** Współcześnie akceptowalne matryce kamer wykorzystywane w budownictwie zaczynają się od zakresu 160x120, choć powinny być o wielkości 320x240, najlepsze dochodzą nawet do 640x480 pikseli. Wielkość matrycy determinuje rozdzielczość (iloczyn wymiarów matrycy), która decyduje o jakości obrazu. Matryca o wymiarze 160x120 ma 19 200 pikseli, zaś 320x240 aż 76 800 pikseli.

**Kąt widzenia kamery** to kolejna istotna kwestia do rozpatrzenia. Najbardziej uniwersalny scharakteryzowany jest przez obiektyw 24°x18° (24° – kąt widzenia w poziomie, 18° – kąt widzenia w pionie). Obiektywy wąskokątne: 12°x9° i o mniejszym kącie widzenia wykorzystywane są do badań miejsc trudnodostępnych

z dużej odległości tzw. teleobiektywy, z kolei szerokokątne np. 45°x34° lub większe wykorzystywane są, aby „zobaczyć cały obiekt” z niewielkiej odległości.

Odpowiednią jakość rejestrowanego obrazu zapewni kamera z częstotliwością odświeżania na poziomie 9 Hz i wyższą.

Współczesne kamery stanowią bardzo rozbudowane konstrukcje. Przydatna funkcjonalność kamer:

- zadawanie współczynników emisyjności i temperatury otoczenia podczas pomiarów;
- wykrywanie zagrożenia pleśnią (punktu rosy);
- obraz w obrazie (naniesienie na obraz w świetle widzialnym obrazu w podczerwieni);
- wskazanie wartości maksymalnej/minimalnej temperatury na obrazie.

**Pomiary promieniowania mogą być skomplikowane**, ponieważ oprócz zdolności emisyjnych należy uwzględnić również absorpcję, odbicie, jak również przepuszczalność badanych obiektów. Są one uzależnione od rzeczywistej temperatury ciała, ale również właściwości materiału i warunków środowiska zewnętrznego.

Najistotniejszym jest współczynnik emisyjności. Powinien on być do każdego pomiaru ustawiany indywidualnie w zależności od właściwości badanego obiektu. Emisyjność przyjmowana jest z zakresu od 0 do 1 i jest ona stała dla większości materiałów (podawana jest dla 0°C). Emisyjność dochodząca do 1 ułatwia prowadzenie badań, zaś dla powierzchni błyszczących, chropowatych i zanieczyszczonych badania są utrudnione.

### Obszary zastosowania termowizji

Termografia ma bardzo szerokie zastosowanie m.in. w: budownictwie, ciepłownictwie i energetyce, przemyśle, motoryzacji, medycynie itd.

W budownictwie i ciepłownictwie może mieć zastosowanie m.in. w:

- lokalizacji wad technologicznych związanych z izolacją;
  - ocenie stolarki okiennej;
  - wykryciu mostków termicznych oraz nieszczelności powietrznej;
  - lokalizacji oraz ocenie zawilgocenia;
  - badaniu instalacji ogrzewczej w tym ogrzewania podłogowego;
  - ocenie zakrytych instalacji wodnych;
  - ocenie instalacji wentylacji, klimatyzacji;
  - okresowych przeglądach technicznych;
  - lokalizacji przebiegu instalacji ciepłych w tym lokalizacja wycieków.
- Termowizja towarzyszy coraz częściej ocenie energetycznej budynków.

### Badania

Badania termograficzne obejmują trzy etapy:

1. określenie rozkładu temperatury na powierzchni;
2. analiza rozkładu temperatury pod kątem występowania ewentualnych defektów, zawilgocenia, powietrza;
3. oszacowanie typu i stopnia istniejących defektów.

### Warunki środowiskowe

Badania należy wykonywać w warunkach stacjonarnych, przy istotnej różnicy temperatury pomiędzy wnętrzem i na zewnątrz (10-15 K). Odpowiada to chłodnym porom roku: zimie, późnej jesieni i wczesnej wiosnie.

Wpływ warunków zewnętrznych może być bardzo istotny, w tym np. promieniowania środowiska zewnętrznego. Promieniowanie atmosfery charakteryzuje się zmiennością w funkcji kąta padania, temperatury, wilgotności, stopnia zachmurzenia. Należy zwrócić szczególnie uwagę na promieniowanie atmosfery zwłaszcza nieba bezchmurnego (długofalowe), ale również promieniowanie słoneczne (krótkofalowe). W nocy przy bezchmurnym niebie dochodzi do chłodzenia radiacyjnego, w dzień z kolei do wygrzewania się powierzchni. Celem ograniczenia wpły-



Fot. Testo

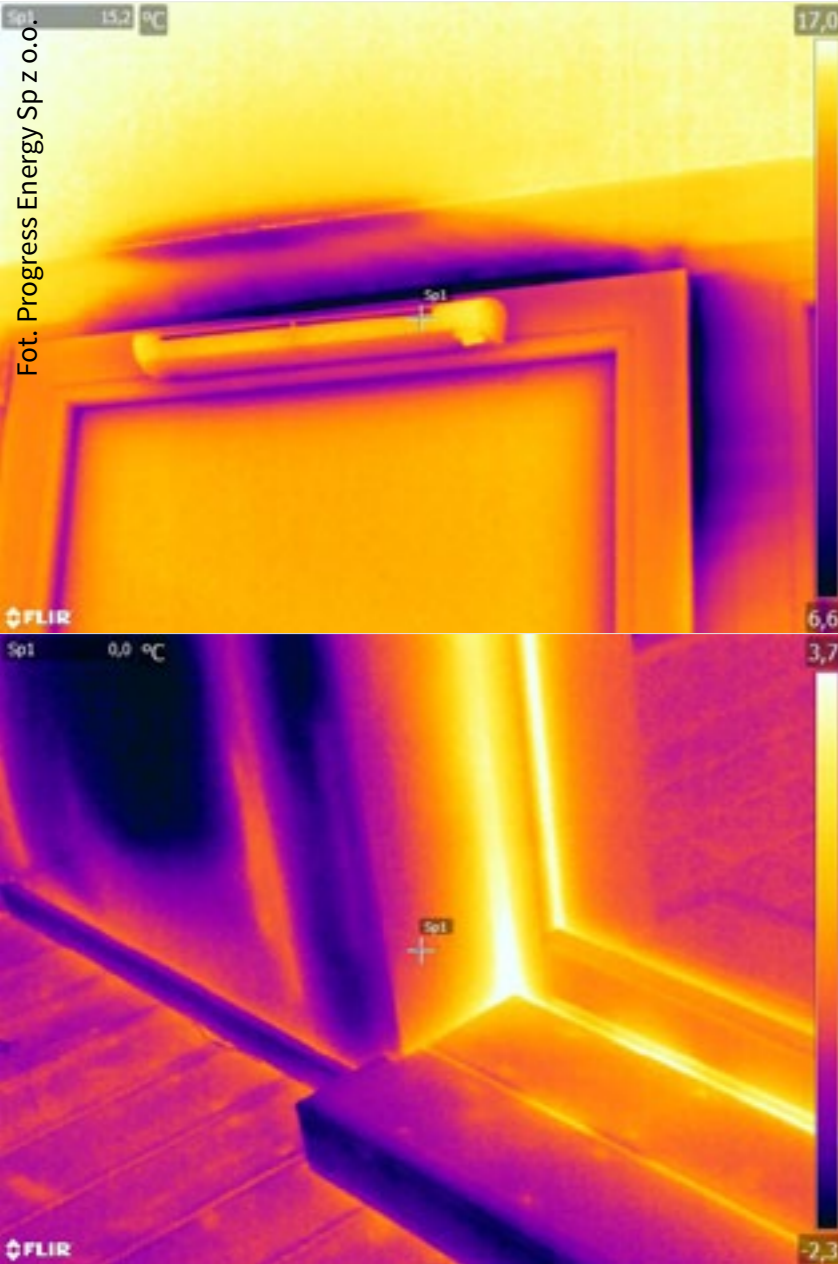


Zastosowanie termowizji w przemyśle

wu warunków środowiskowych należy badania zewnętrzne przeprowadzać przy zachmurzonym niebie.

**Z tych powodów należy przestrzegać wielu wytycznych gwarantujących prawidłowo wykonanie pomiaru.**

- Na dobę przed badaniami temperatura powietrza na zewnątrz nie powinna się zmieniać więcej niż  $\pm 10$  K niż temperatura podczas badań, jednocześnie różnica temperatury powinna wynieść co najmniej 10 K. Dodatkowo powierzchnia kontrolowanej ściany nie powinna być wystawiona przed badaniem na bezpośrednie promieniowanie słoneczne (np. pomia-



Fot. Progress Energy Sp z o.o.

FLIR

ry wykonać przed wschodem słońca). Istotne jest również, aby zmiany temperatury wewnętrznej i zewnętrznej podczas badań nie były większe niż o 2 K.

- Podczas badań powinny być zapewnione niezmienną się parametry środowiska zewnętrznego (temperatura, zachmurzenie, opady, brak występującej wilgoci na elementach budynku, prędkość wiatru nieprzekraczająca 1 m/s). Parametry te należy zanotować. Temperatura powinna być określona z dokładnością do  $\pm 1^\circ\text{C}$ .
- Optymalne warunki do prowadzenia badań termograficznych:
  - równomierna temperatura wewnątrz około  $20^\circ\text{C}$ ;
  - stała temperatura na zewnątrz delikatnie powyżej  $0^\circ\text{C}$ ;
  - bezwietrzna pogoda, suche powietrze, zachmurzone niebo.

**Uwaga:** badania termograficzne latem mogą być

wykonywane w wyjątkowych przypadkach. Różnica temperatury pozostaje istotnym warunkiem. Zapewniona może być ona przez wygrzanie przez słońce przegrody zewnętrznej o małej masie – najczęściej dach. Celem zapewnienia wymaganej różnicy temperatury przegroda musi być dobrze izolowana lub nawet pomieszczenia klimatyzowane.

### Pomiar a struktura obiektu

Oprócz warunków środowiskowych należy poznać strukturę budynku na podstawie rysunków, dokumentów. Emisyjność elementów zewnętrznych określana jest na podstawie tablic.

Badania rozpoczyna się od prób wykonywanych na powierzchni obudowy. Służą one do otrzymania ogólnego obrazu zagrożeń związanych m.in. z wadami izolacji, mostkami cieplnymi itd.). Dzięki badaniom od zewnątrz obserwować można duże powierzchnie. Pozycje termogramów powinny być pokazane na szkicu budynku. Istotną wadą jest uzależnienie od czynników atmosferycznych. Obszary z wadami dokładnie się analizuje, wykonując bardziej szczegółowe termogramy. Badanie pod różnymi kątami pozwala wyeliminować odbicia od innej powierzchni. Badanie okien wymaga szczególnego podejścia. Okna są wykonane z co najmniej dwóch materiałów o odmiennej emisyjności (skutkuje to na odczyt temperatury). Szczególnie badanie szyby (współczynnik emisyjności niższy od większości materiałów) charakteryzuje się dużą wrażliwością na promieniowanie z kierunku odbiciowego (nie występuje to dla profili z PVC czy drewna). Temperatura ram aluminiowych jest zdecydowanie niższa od pozostałych rodzajów ram. Podczas szukania nieszczelności należy wykrywać infiltrację po stronie ciepłej oraz niższego ciśnienia. Obiekt do badań należy przygotować, szczególnie badając od wewnątrz, należy usunąć wszelkie przedmioty, które wpływają na wynik pomiarów (obrazy, meble). Badania od wewnątrz są wykonywane częściej niż na zewnątrz.

Zmiany temperatury promieniowania mierzy się

z dokładnością do 10% lub  $0,5^\circ\text{C}$ , a w przypadku konieczności określenia temperatury powierzchni określono ją z dokładnością  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . Pozorna temperatura promieniowania może być wyznaczana przy skompensowaniu emisyjności i odbiciu promieniowania. Przy określeniu lokalizacji przecieków powietrza wymagana jest różnica ciśnień (minimalnie 5 Pa), kontrola termograficzna zaś powinna być wykonywana po stronie niskiego ciśnienia. Dokładność mierzenia ciśnienia powinna wynosić  $\pm 2$  Pa.

Pozostają jeszcze kwestie, gdzie szuka się wad budynku, wykorzystując termowizję i są to najczęściej miejsca:

- łączenia elementów budynku z różnych materiałów;
- elementy wieńców, nadproży, stropów, okien, naroży, płyt balkonowych;
- przyziemia szczególnie od strony północnej i wschodniej;
- okna o wysokim współczynniku izolacyjności lub źle zamontowane.

### Analiza termogramów i opracowanie wyników badań

W analizie uwzględnia się przewidywany rozkład temperatury. Określany jest on na podstawie dokumentacji budynku, wykonując obliczenia lub też termogramy odniesienia. Termogramy odniesienia tworzone są dla obiektów maksymalnie zbliżonych do badanego.

Należy zwrócić uwagę na: powiązaniu obiektu badanego z otoczeniem, czy innymi obiektami. Istnieją liczne korelacje odczytanej temperatury zewnętrznej obiektu od: rodzaju powierzchni, barwy, pojemności cieplnej, pory dnia, nasłonecznienia.

Podczas interpretacji obrazu należy uwzględnić:

- ewentualnie pojawiający się cień, odbite promieniowanie,
- spadek emisyjności przy wzroście długości fali;
- ze wzrostem szorstkości rośnie emisyjność;
- emisyjność spada przy kącie wyższym niż  $45^\circ$ .

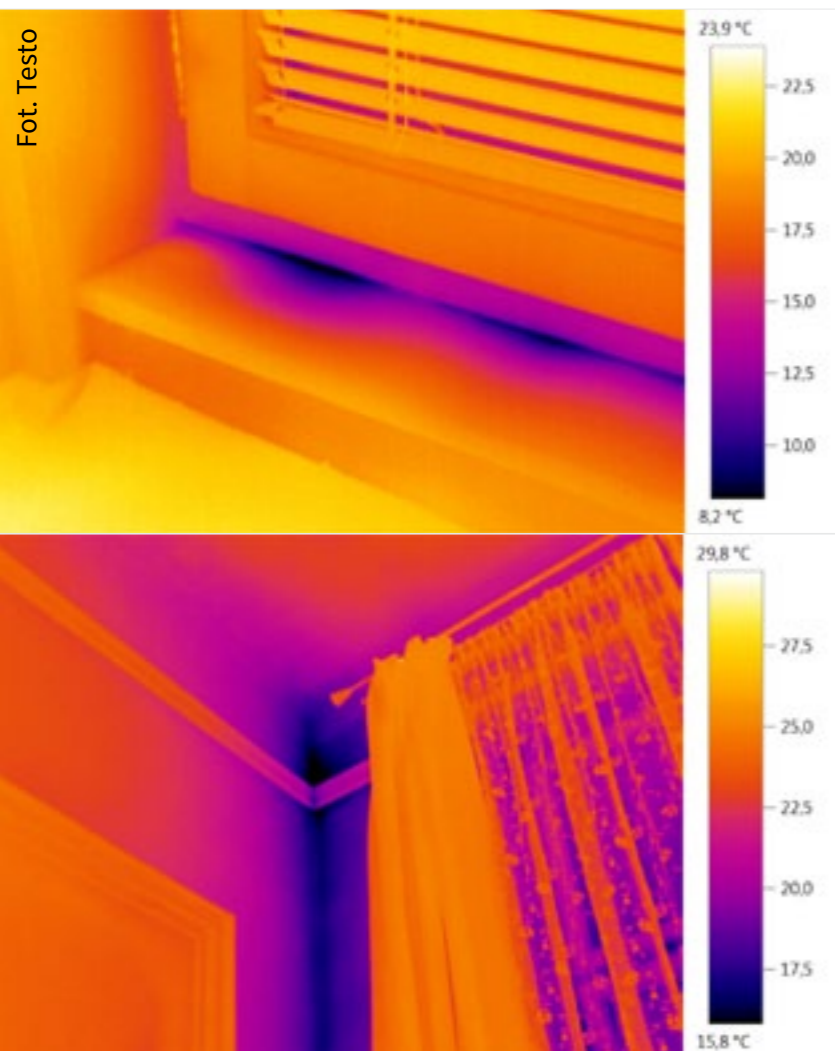
W przypadku gdy rozkład temperatury różni się od oczekiwanego, należy ten fakt odnotować i zinterpretować. Interpretacja termogramów ma na celu wyjaśnienie, skomentowanie zapisanych termogramów. Pracuje się nie tylko na termogramach, ale również na cechach fizycznych obiektu, parametrów otoczenia. Korzysta się z bogatego doświadczenia specjalisty. Przykładowe rozpoznawane defekty:

- wypływ powietrza – obrazuje nieregularne kształty, rozmyte granice i wysokie zmiany temperatury;
- brak izolacji – regularne, zdefiniowane kształty, równe zmiany temperatury;
- wilgoć – plamkowy i rozproszony wygląd, zmiany temperatury nie są za wysokie.

Sposób przygotowania dokumentacji termowizyjnej zaleca norma PN-EN 13187. Zgodnie z nią opracowanie wyników powinno uwzględniać: charakterystykę kamery (aparatu IR), identyfikację klienta i obiektu, charakterystykę obiektu z uwzględnieniem konstrukcji i materiałów (również pod względem emisyjności), określenie czasu, określenie warunków środowiskowych (temperaturę przed i podczas kontroli, minimalną i maksymalną; warunki nasłonecznienia przed i podczas kontroli; opady; kierunek i prędkość wiatru – podczas kontroli; wewnętrzną temperaturę powietrza oraz różnicę temperatury po obu stronach obudowy – podczas kontroli; różnicę ciśnienia).

### Kamera to nie wszystko, ważna jest jakość usług

Termowizja jest znana i wykorzystywana powszechnie od kilku lat. Towarzyszy często odbiorom obiektów czy wykonywanym ekspertyzom energetycznym. Nasycenie sprzętem na rynku jest duże, co ułatwia dostęp do usług. Powszechność kamer nie idzie niestety z jakością świadczonych usług, nie ma bowiem obowiązku nabywania umiejętności w badaniu i interpretacji uzyskanych danych. Dlatego też należy położyć szczególny nacisk nie na wykonanie zdjęć, ale na zrobienie tego w sposób właściwy i ich prawidłową i kompleksową analizę. ■



Zdjęcia termowizyjne pozwalają dokładnie zlokalizować niewalgciczne pod względem cieplnym miejsca w pomieszczeniu