

Zastosowanie termowizji w budownictwie

Opracowała Dipl.-Ing.eoc. Halina Wiśniewski

1. Wprowadzenie

Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej i wzrostem cen energii, coraz częściej interesujemy się rozwiązaniami, które pomogą nam obniżyć jej zużycie. Obliczono, że na wybudowanie przeciętnego budynku potrzeba ok.7% energii, pozostałe 93% zużywane jest podczas 40stu-letniej eksploatacji. Świadczy to wielkim marnotrawstwem energii. Budynki mieszkalne pochłaniają około 34% energii zużywanej w Polsce i że aż 71% energii jest wykorzystywane na ich ogrzewanie. O tym, że stan izolacji budynku przekłada się bezpośrednio na zużycie energii potrzebnej do ogrzania pomieszczeń, a co za tym idzie na koszty ich utrzymania, nie trzeba już nikogo przekonywać. Specjaliści oceniają, że na kompleksowej termomodernizacji starszych domów można zaoszczędzić ponad 50 proc. energii zużywanej na ogrzewanie.

Metodą pozwalającą na dokonanie szybkiej, precyzyjnej i bezinwazyjnej oceny stanu izolacji cieplnej budynków jest badanie termowizyjne.

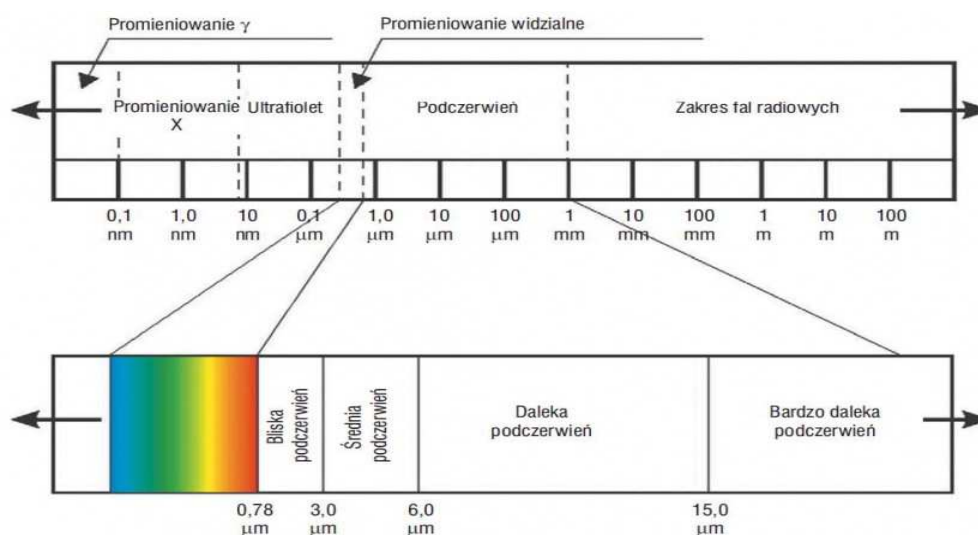
2. Początki termowizji

Ojcem termowizji jest angielski astronom William Herschel. W roku 1800 badał on, jaką ilość energii przenoszą poszczególne kolory światła. Przez przypadek odkrył, że najwięcej ciepła odczuwa się tam, gdzie światło już nie dociera. Uznał, że musi więc istnieć niewidoczne „podczerwone” światło, które transmituje ciepło. Nazwał je „promieniowaniem niewidzialnym”. Pierwsze zastosowanie termowizji miało miejsce podczas I Wojny Światowej. Przy pomocy tej metody wykrywano samoloty wroga już na odległość 1,5km. Z uwagi na wysokie koszty kamer termowizyjnych przez następne lata termowizja była „produktem niszowym”. Dopiero w 90 latach XX wieku, gdy koszt produkcji kamer termowizyjnych znacznie się zmniejszył, zaczęto ją wykorzystywać również w medycynie, przemyśle i budownictwie.

3. Zasady funkcjonowania termowizji

Termowizja to pasywny, bezkontaktowy pomiar temperatury na powierzchni badanego obiektu przy pomocy kamery termowizyjnej. Dlatego też kamera termowizyjna nie umożliwia spojrzenia do wewnątrz czy też przez badany obiekt.

Każde ciało o temperaturze powyżej zera absolutnego (0 Kelvinów = -273,15°C) emituje energię w postaci promieniowania elektromagnetycznego. Zgodnie z prawem Stefana Boltzmann'a wraz ze wzrostem temperatury ilość emitowanej energii rośnie do jej 4-tej potęgi. To promieniowanie w zakresie długości fal pomiędzy światłem widzialnym a falami radiowymi nazywa się promieniowaniem podczerwonym (niewidzialne, ale odczuwalne, np. ciepło żelazka).



Podział promieniowania elektromagnetycznego

Promieniowanie podczerwone jest rejestrowane przez kamerę termowizyjną i przetwarzane na kolorową mapę temperatur. Obraz powstały w wyniku przetworzenia przez kamerę termowizyjną zarejestrowanego promieniowania emitowanego przez badany obiekt na kolorową mapę temperatur to termogram. Termogram odzwierciedla więc rozkład temperatury powierzchniowej badanego obiektu. Moc promieniowania ciała zależy od jego temperatury, dlatego miejsca cieplejsze wydają się jaśniejsze na obrazie cieplnym.

Analiza termogramów umożliwia zlokalizowanie miejsc występowania strat ciepła oraz służy do wykrywania nieprawidłowości w funkcjonowaniu urządzeń i instalacji ciepłych. Na ich podstawie można też opracować audyt energetyczny, konieczny przy planowaniu termomodernizacji budynku czy też jego remontu.

4. Współczynnik emisyjności

Podstawą rozważań na temat promieniowania podczerwonego jest tzw. ciało doskonale czarne, które pochłania całość promieniowania padającego na nie, niezależnie od kąta padania, długości fali czy mocy źródła promieniowania. Takie ciało nigdy nie pojawia się w rzeczywistości.

W przypadku ciał rzeczywistych pomiary promieniowania podczerwonego są dość skomplikowane, ponieważ każde ciało rzeczywiste (budynek, urządzenie, człowiek) oprócz zdolności do emisji promieniowania podczerwonego może je także absorbować, odbijać lub przepuszczać.

Emisja, absorpcja, odbijanie i transmisja promieniowania zależą przede wszystkim od faktycznej temperatury ciała oraz właściwości materiału (kolor, stopień obróbki) i warunków fizycznych otaczającego go środowiska.

Współczynnik emisyjności odgrywa w badaniach termowizyjnych bardzo ważną rolę, ponieważ musi on być każdorazowo nadany kamerze. Określa on zdolność danego ciała do emitowania promieniowania podczerwonego z pominięciem energii odbitej i przepuszczonej.

Przyjmuje wartości w przedziale od 0 do 1. Najlepiej, gdy jest on bliski 1. Wtedy pomiar jest prostszy i dokładniejszy. Pracę operatora kamery termowizyjnej ułatwia fakt, że większość materiałów charakteryzuje się stałym współczynnikiem emisyjności. Problem stanowią jedynie powierzchnie błyszczące, chropowate czy też zanieczyszczone.

W praktyce przyjmuje się średni współczynnik emisyjności. Wartości tych współczynników podawane są w tabelach. Prawidłowe ustawienie kamery tej wartości pozwala na ograniczenie błędów pomiarowych oraz na poprawną interpretację termogramów (przykład złotej obrączki na palcu).

W poniższej tabeli przedstawiono przykładowe wartości współczynnika emisyjności.

Współczynniki emisyjności dla typowych materiałów	
Materiał	Emisyjność*
Braź, polerowany	0,1
Braź, porowaty, surowy	0,55
Cegła, standardowa	0,85
Cement	0,54
Cynk, blacha	0,2
Farba, olejowa, zwykła	0,94
Guma	0,93
Lakier, biały	0,87
Lakier, czarny, błyszczący	0,87
Lakier, czarny, matowy	0,97
Lód	0,97
Miedź, polerowana	0,07
Miedź, utleniona, szerniała	0,88
Papa	0,92
Papier, biały, czarny, błyszczący	0,9
Płyta azbestowa	0,96
Sadza	0,96
Stal, blacha, niklowana	0,11
Stal, blacha, walcowana	0,56
Stal, niepolerowana	0,96
Szkło	0,92
Szkło, matowe	0,96
Śnieg	0,8
Taśma, izolacyjna, czarne tworzywo	0,95
Woda	0,98
Złoto, polerowane	0,02
* - Wartość emisyjności prawie wszystkich materiałów jest mierzona w temperaturze 0°C, jednak w temperaturze pokojowej różnice są niewielkie.	

5. Uwagi odnośnie wykonania badania termowizyjnego na podstawie wymagań normy PN-EN 13187

Norma PN-EN 13187 - Właściwości cieplne budynków – Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – Metoda podczerwieni. Jest to oficjalne tłumaczenie normy EN 13187:1998.

W niniejszej normie opisano jakościową metodę wykrywania wad cieplnych budynku przy pomocy badań termograficznych. Termografia wskazuje rozkład temperatury na powierzchni

badanej przegrody. Metodę tę stosuje się do wstępnej identyfikacji zmian właściwości cieplnych części składowych skorupy budynku. Osoba, która wykonuje pomiary termograficzne powinna dokładnie przeanalizować badany obiekt, wykonać odpowiednią liczbę termogramów oraz je zinterpretować.

Rozróżnia się dwie odmiany termografii, a mianowicie:

1. Badanie aparatem IR – przegląd całkowitej przydatności użytkowej nowych budynków lub wyniku przebudowy
2. Uproszczone badanie aparatem IR - wykonywanie audytów, np. przebudowa budynku lub kontrola produkcji lub inne rutynowe przeglądy

Te dwa rodzaje termografii wymagają też dwóch różnych sposobów raportowania. I tak:

Raport z kontroli aparatem IR powinien zawierać:

- a) opis kontroli z odniesieniami do tej normy i stwierdzeniem, że została wykonywana kontrola aparatem IR, nazwisko klienta i pełny adres obiektu;
- b) krótki opis konstrukcji budynku (Ta informacja powinna opierać się na rysunkach lub innych dostępnych dokumentach);
- c) typ (typy) materiału (materiałów), z którego wykonano powierzchnie ścian budynku ocenioną wartość (wartości) emisyjności tego (tych) materiału (materiałów);
- d) orientację budynku względem stron świata pokazaną na planie i opis otoczenia (budynki, roślinności, krajobraz itd.);
- e) specyfikację używanego wyposażenia, włączając producenta, model i numer seryjny;
- f) datę i godzinę kontroli;
- g) temperaturę powietrza na zewnątrz; podać co najmniej minimalną i maksymalną zaobserwowaną wartość;
- i) przez 24 h przed rozpoczęciem kontroli i ii) podczas kontroli;
- h) ogólną informację o warunkach nasłonecznienia, zaobserwowanych podczas 12 h przed rozpoczęciem kontroli i podczas kontroli;
- j) opady, kierunek wiatru i szybkość wiatru podczas kontroli;
- k) wewnętrzną temperaturę powietrza i różnicę temperatury powietrza po obu stronach obudowy podczas kontroli;
- l) różnicę w ciśnieniu powietrza po stronie zawietrznej i nawietrznej, według potrzeb dla każdego piętra;
- m) inne ważne czynniki wpływające na wynik, np. szybkie zmiany warunków meteorologicznych;
- n) stwierdzenie jakichkolwiek odchyśleń od odnośnych wymagań kontrolnych;
- o) szkice i/lub fotografie budynku pokazujące pozycje termogramów;
- p) termogramy wskazujące poziomy temperatury otrzymane z kontroli pokazujące części budynku, gdzie wady zostały wykryte z wskazaniem ich poszczególnych położenia i pozycją aparatu IR w odniesieniu do mierzonej powierzchni wraz z komentarzami do

powstałych obrazów cieplnych; jeśli to możliwe to z odniesieniem do części obudowy budynku bez wad;

- q) identyfikację kontrolowanej części budynku;
- r) wyniki analizy dotyczącej typu i obszaru każdej wady budynku, która została zaobserwowana; względny rozmiar wady przez porównanie wadliwej części obudowy budynku do podobnych części w całym budynku;
- s) wyniki dodatkowych pomiarów i badań;
- t) datę i podpis.

Raport z uproszczonej kontroli aparatem IR powinien zawierać:

jak wyżej, tylko z pominięciem punktów: c), d), e), g), h), j), o), p)

Przebieg kontroli termograficznej według normy PN-EN 13187:

- ustalić specyfikację i możliwości wyposażenia termograficznego
- ustalić charakterystykę obudowy, tj. poszczególne typy i lokalizacje systemów grzewczych, elementów konstrukcji i warstw izolujących
- sprecyzować emisyjne właściwości powierzchni, np. materiałów okładzinowych
- ustalić czynniki klimatyczne, dostępność do łatwego zbadania oraz wpływ otoczenia

Dla ułatwienia interpretacji, kontrolę termograficzną należy wykonywać przy stałej różnicy temperatur i ciśnień po obu stronach ściany osłonowej. Jeżeli więc temperatury powietrza, zarówno wewnątrz jak i zewnątrz badanego obiektu, ulegają dużym zmianom to badań nie powinno się przeprowadzać. Nie jest również wskazane wykonywanie pomiarów obiektu, wystawionego na bezpośrednie działanie promieniowania słonecznego lub przy silnie zmiennym wietrze.

W załączniku D (informacyjnym) normy przedstawiono przykładowe zestawienie wymagań dotyczących pomiarów. Jednakże jest ono dostosowane do specyficznych warunków klimatycznych i technologii budowania w Skandynawii.

I tak przy badaniach wykonanych od wewnątrz należy pamiętać o tym, że:

- Na co najmniej 24 h przed rozpoczęciem kontroli, temperatura powietrza na zewnątrz nie powinna zmieniać się więcej niż o $\pm 10^{\circ}\text{C}$ od temperatury na początku kontroli.
- Na co najmniej 24 h przed początkiem kontroli i podczas kontroli, różnica temperatury powietrza po obu stronach ściany osłonowej budynku nie powinna być mniejsza niż liczbowa wartość $3/U$, gdzie U jest teoretyczną wartością współczynnika wpływu ciepła elementu budynku w $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, ale nigdy nie mniejszą niż 5°C .
- Zaleca się, aby na 12 h przed rozpoczęciem kontroli i podczas kontroli, powierzchnie kontrolowanej ściany osłonowej były wystawione na bezpośrednie promieniowanie słoneczne.
- Podczas kontroli, temperatura powietrza na zewnątrz nie powinna zmieniać się więcej niż $\pm 5^{\circ}\text{C}$, a temperatura powietrza wewnątrz nie więcej niż $\pm 2^{\circ}\text{C}$ od ich odpowiednich wartości na początku kontroli. Efekty zmian temperatury podczas kontroli mogą być

określone przez porównanie badania końcowego z początkowym. Jeżeli zmiana jest mniejsza niż 1 albo 2°C, to wymagania kontrolne zostały spełnione.

Jeżeli kontrola termowizyjna została wykonywana pomimo odstępstw od tych wymagań kontrolnych, należy uwzględnić to przy sprawdzeniu i ocenie wyników oraz wskazać w raporcie termograficznym.

6. Podstawowe zasady wykonywania pomiarów termowizyjnych

Generalnie badania termowizyjne w budownictwie przeprowadza się w zimnych porach roku, tj. jesienią, zimą oraz wczesną wiosną. Badania te przeprowadza się zarówno od wewnątrz jak i od zewnątrz badanego obiektu. Pomiary od zewnątrz służą głównie w celu orientacyjnym, tj. są pomocne w otrzymaniu ogólnego obrazu i przy ocenie występowania miejsc zagrożonych (słaba lub brak izolacji, mostki cieplne). Zaletą badań wykonywanych od zewnątrz jest to, że można szybko zbadać duże powierzchnie budynku. Wadą jednak jest, że są one uzależnione od czynników atmosferycznych. Dlatego też 95% badań w budownictwie wykonuje się wewnątrz budynku.

Wykonując pomiary termowizyjne należy przestrzegać następujących zasad:

1. Różnica między temperaturą wewnątrz badanego budynku a temperaturą na zewnątrz powinna wynosić min. 15K.
2. Temperatura wewnątrz badanego obiektu powinna być możliwie jednolita.
3. Badania od zewnątrz należy wykonywać przed wschodem słońca.
4. Prędkość wiatru nie może przekraczać 1m/s.
5. Skorupa budynku nie może być wilgotna od opadów atmosferycznych.
6. Nie należy przeprowadzać badań termowizyjnych na zewnątrz jeżeli pada deszcz, śnieg czy też jest gęsta mgła.

Idealne warunki pomiarowe w budownictwie to:

- Temperatura wewnętrzna budynku – równomierna między 21°C a 24°C
- Temperatura na zewnątrz budynku – między 3°C a 5°C
- Warunki atmosferyczne – sucho, bezwietrznie, zachmurzone niebo

Idealne warunki pomiarowe według praktyków to:

- Stabilne warunki pogodowe;
- Zachmurzone niebo przed i podczas pomiaru (w przypadku pomiarów na zewnątrz);
- Brak bezpośredniego światła słonecznego przed i podczas pomiaru;
- Sucha powierzchnia mierzonego przedmiotu, bez termicznych źródeł zakłóceń (np. liście lub szczyrby na powierzchni);
- Brak wiatru lub przeciągu, brak opadów;
- Brak źródeł zakłóceń w środowisku pomiarowym lub na ścieżce transmisji;
- Powierzchnia mierzonego przedmiotu ma wysoką emisyjność, która jest dokładnie znana.
- W przypadku termografii budynków zalecana jest różnica przynajmniej 15°C pomiędzy temperaturą wewnątrz i na zewnątrz.

7. Budowa i rodzaje kamer termowizyjnych

W związku z faktem, że wyróżnia się dwa pasma dobrego przepuszczania promieniowania podczerwonego przez atmosferę, tj. krótkofalowe SW $2 \div 5\mu\text{m}$ oraz długofalowe LW $8 \div 14\mu\text{m}$, wytworzył się także naturalny podział detektorów i kamer termowizyjnych na krótkofalowe i długofalowe. Generalnie w pomiarach termowizyjnych mają zastosowanie zarówno jedno jak i drugie. Jednakże kamery długofalowe mają więcej cech pozytywnych. W budownictwie zakres temperatur w badanych obiektach rozciąga się od -10°C (ściana zewnętrzna zimą) do ok. 100°C (piec grzewczy). W tym przedziale temperatur czułość termiczna kamer termowizyjnych dostępnych na rynku wynosi 0,1K albo i więcej, a to jest w większości przypadków zupełności wystarczające.

Sercem kamery termowizyjnej jest przetwornik pomiarowy, zwany również detektorem. Jest to najbardziej zaawansowana technologicznie część składowa kamery. Od niej to właśnie głównie zależy cena kamery.

Detektory w kamerach termowizyjnych mogą mieć różną budowę. Mogą występować w postaci pojedynczej, liniowej czy w postaci matrycy składającej się z pewnej liczby pojedynczych detektorów – pikseli (np. 160×120 czy 320×240 pikseli).

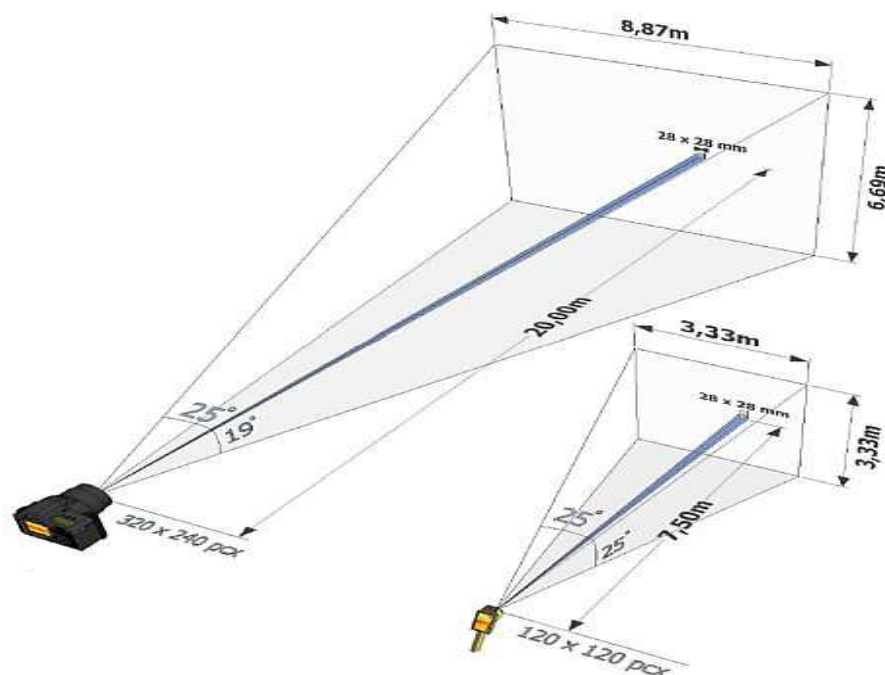
W ostatnich latach dynamicznie rozwija się gałąź związana z detektorami bolometrycznymi opartymi na matrycach FPA (Focal Plane Array) gdzie materiałem sensora jest BST (Barium Strontium Titanate). Zaletą tego typu matryc jest możliwość pracy w temperaturze pokojowej, a zatem nie wymagają one skomplikowanych układów chłodzenia do bardzo niskich temperatur (np. chłodzenie ciekłym azotem). Wystarczy tylko precyzyjny układ stabilizujący temperaturę detektora.

Bardzo istotnym parametrem kamery termowizyjnej jest jej czułość termiczna (NETD). Określa ona najniższą różnicę temperatur, która może być odczytana i wyświetlona przez kamerę termowizyjną. W najlepszych kamerach NETD wynosi ok. $0,05^{\circ}\text{K}$, co pozwala na wykrycie wręcz niewyobrażalnie małych różnic temperatury na powierzchni badanego obiektu.

Warto w tym miejscu wspomnieć o zakresie temperaturowym, w którym pracuje kamera termowizyjna. W budownictwie wystarczającym zakresem pomiarowym kamer jest zakres od -20°C - 120°C .

Kolejnym istotnym parametrem jest częstotliwość odświeżania obrazu, która decyduje o jakości zarejestrowanego obrazu, szczególnie w przypadku obiektów w ruchu. Większość oferowanych obecnie kamer wyposażona jest w przetworniki działające z częstotliwością odświeżania 7 lub 9 Hz.

Obiektyw np. 32° pozwala na szybkie objęcie pomiarem dużego obszaru i poznanie dystrybucji ciepła w obiekcie pomiarowym. Wymienny teleobiektyw jest przydatny przy pomiarze mniejszych szczegółów znajdujących się w dalszej odległości od kamery termowizyjnej.



Porównanie obrazów z kamer o różnej rozdzielczości

8. Wybór odpowiedniej kamery termowizyjnej

Wybierając kamerę termowizyjną powinno się zwrócić uwagę na następujące punkty:

1. Jakość obrazu
2. Czułość termiczna
3. Dokładność
4. Dodatkowe funkcje kamery
5. Oprogramowanie
6. Możliwość szkolenia

Jakość obrazu ...

... to bardzo ważny faktor, który bezpośrednio przekłada się na cenę kamery. Jakość obrazu zależy od rozmiaru detektora kamery, który oznacza liczbę punktów pomiaru temperatury danej kamery termowizyjnej. Im więcej pikseli/punktów pomiarowych, tym wyraźniejszy i dokładniejszy jest obraz termalny. Kamera z detektorem o rozdzielczości 160x120 mierzy 19.200 pikseli, a kamera o rozdzielczości 320x240 mierzy ich 76.800.

Czułość termiczna ...

... określa najniższą różnicę temperatur, która może być odczytana i wyświetlona przez kamerę termowizyjną. Im wyższa czułość termiczna, tym mniejsze szczegóły o niskiej różnicy temperatur może „uchwycić”/zbadać kamera. Wysoka czułość termiczna jest szczególnie ważna w budownictwie. Kamery stosowane w budownictwie mają czułość termiczną nawet 30mK.

Dokładność ...

... to cecha, która jest pożądana przy wszystkich urządzeniach pomiarowych. Kamery termowizyjne niestety również nie zawsze są dokładne. Błąd pomiaru podawany jest w procentach lub w stopniach Celsjusza. Obecne kamery termowizyjne cechują się błędem pomiaru w zakresie od +/- 1-2°C.

Dodatkowe funkcje kamery ...

... to np.:

- możliwość ustawienia współczynnika emisyjności i temperatury otoczenia
- możliwość wymiany obiektywów
- manualne ustawienie zakresu temperatury badanego otoczenia
- wykrywanie miejsc zagrożonych pleśnią (lokalizacja „punktu rosy”)
- wbudowany aparat cyfrowy z diodami LED (umożliwia zrobienie zdjęcia nawet słabo oświetlonym obiektom)
- opcja TwinPix (możliwość nałożenia na siebie obrazu rzeczywistego i termicznego)
- funkcja obraz w obrazie (możliwość nałożenia obrazu termicznego na obraz rzeczywisty)
- możliwość zaznaczenia izoterm (wskazuje na obrazie termalnym obszary o określonych przez użytkownika temperaturach krytycznych)
- opcja wysokiej temperatury (po założeniu odpowiedniego filtra można dokonywać pomiaru dużo wyższych temperatur)
- wskazanie wartości MAX/MIN w obszarze pomiarowym
- automatyczne rozpoznawanie najcieplejszego i najchłodniejszego punktu w obrazie
- automatyczne i manualne ustawienia ostrości
- dyktafon (możliwość zapisywania uwag podczas dokonywania pomiarów razem z obrazem termicznym)
- laser
- ergonomia (kamera powinna być lekka i łatwa w obsłudze)
- możliwość robienia zdjęć w formacie JPEG

Oprogramowanie ...

... powinno być czytelne i przede wszystkim w języku polskim. Dobrej jakości oprogramowanie daje możliwość wnikliwej analizy zarejestrowanych termogramów oraz wygenerowania raportów z badania, umożliwia otwarcie, analizę i porównanie kilku obrazów jednocześnie oraz daje możliwość dokonania wszelkich zmian ustawień (np. współczynnik emisyjności).

Możliwość szkolenia ...

... firmy produkujące kamery termowizyjne sprzedając swój sprzęt proponują podstawowe przeszkolenie w obsłudze kamery termowizyjnej. Poza tym niektóre z nich organizują bezpłatne szkolenia w zakresie termowizji dla posiadaczy kamer jak również dla potencjalnych kupców sprzętu.

9. Zastosowanie termowizji w różnych dziedzinach życia

Kamera termowizyjna jest jednym z najbardziej uniwersalnych przyrządów pomiarowych, jakie wymyślił człowiek. Termowizja znalazła już wiele zastosowań wszędzie tam, gdzie można zmierzyć temperaturę powierzchni. Znajduje ona zastosowanie w budownictwie, ciepłownictwie, elektroenergetyce, przemyśle, hutnictwie i w każdej dziedzinie, gdzie rozpoznanie pola temperatury jest ważne dla bezpieczeństwa, oszczędności, zdrowia i życia.

Przykłady:

Przemysł:

- monitoring pracy silników, turbin, pomp, sprężarek i generatorów,
- lokalizacja wadliwie pracujących i przegrzewających się łożysk i panewek,
- lokalizacja wycieków i nieszczelności,
- ocena stanu technicznego kominów,
- lokalizacja miejsc zagrożenia samozapłonem (składy),
- ocena stanu technicznego przewodów,
- kontrola działania urządzeń mechanicznych i zaworów,
- kontrola linii produkcyjnych i procesów technologicznych,
- ocena strat ciepła,
- wykrywanie zagrożeń samozapłonem (np. przy składowaniu węgla),

Energetyka i ciepłownictwo:

- badanie izolacji termicznej kotłów, rurociągów, kanałów, kadzi itp.
- lokalizacja przebiegu sieci ciepłowniczej, rur z ciepłą wodą i itp.,
- badanie drożności rur w parownikach, przegrzewaczach pary i itp.,
- kontrola pracy kotłów i turbozespołów,
- lokalizacja wycieków i nieszczelności, pęknięć, ubytków i uszkodzeń,
- diagnostyka przed- i powykonawcza instalacji ciepłowniczych i energetycznych,
- ocena stanu przekładni mechanicznych, reduktorów i sprzęgieł ciernych,
- ocena stanu technicznego maszyn i urządzeń, łożysk tocznych i ślizgowych, transformatorów,
- ocena stanu technicznego kominów, pęknięć, ubytków i uszkodzeń,
- wykrywanie uszkodzeń wymienników ciepła,
- ocena stanu technicznego elektrofiltrów i przewodów spalinowych,
- badanie temperatury hałd itp.
- badanie stopnia rozkładu temperatur maszyn i urządzeń,
- badanie rozdzielni i transformatorów,
- sprawdzanie bezpieczników, wyłączników.....
- wykrywanie stanów przed awaryjnych, diagnozowanie maszyn i urządzeń podczas ich normalnej pracy w celu sprawdzania występowania przeciążeń i przegrzewania się,
- diagnostyka stanu urządzeń i instalacji elektrycznych w budynkach w tym m.in. styków i złącz elektrycznych, bezpieczników, rozdzielni i szafek elektrycznych, tras kablowych itp.,

Medycyna i weterynaria:

- diagnostyka zaburzeń krążenia, stanów zapalnych,
- poszukiwania zmian rozrostowych,
- badania sportowców podczas prób wysiłkowych i po wysiłku,
- dopasowywania siodeł dla koni.

Motoryzacja:

- sprawdzanie miejsc największego obciążenia i zużycia opon,
- kontrola rozkładu temperatur silnika,
- kontrola działania klimatyzacji,
- nocna „nawigacja” optyczna.

Wojsko, policja, straż pożarna:

- odnajdywanie zaginionych lub poszukiwanych osób

Archeologia i ochrona zabytków:

- uwidacznianie ukrytych pod ziemią struktur (dawnych traktów, fundamentów, zasypanych rowów, jam zasobowych, grobowych itp.),
- odkrywanie zakrytych tynkiem przemurowań w strukturze budynku oraz polichromii niewidocznej pod warstwami przemalowań.

Budownictwo:

- ocena stanu izolacji termicznej budynku i lokalizowanie miejsc nieszczelności,
- dokumentowanie uszkodzeń, napraw, prac izolacyjnych,
- badania instalacji grzewczych, kotłowni i węzłów cieplnych pod kątem strat ciepła,
- lokalizowanie przebiegu i wykrywanie usterek ogrzewania podłogowego,
- ocenę szczelności stolarki budowlanej i wykrywanie miejsc strat ciepła,
- wykrywanie nieszczelności oraz wad instalacji wodnych w ścianach, podłogach,
- lokalizacja przebiegu instalacji wodnych zakrytych, wbudowanych w przegrody,
- ocena izolacji kominowych oraz zawilgoceń dachu,
- wykrywanie i lokalizowanie zawilgoceń i wycieków w przegrodach, oraz miejsc zagrożonych („punkt rosy”) pojawieniem się zagrzybienia,
- okresowe przeglądy techniczne nieruchomości,
- diagnostyka przeciążeń w instalacjach elektrycznych,
- poznanie stanu technicznego nieruchomości przed jej nabyciem,
- wykrywanie mostków termicznych w przegrodach budowlanych,
- wykrywanie niepożądanego infiltracji zimnego powietrza przez przegrody,
- wykrywanie wad zastosowanych materiałów budowlanych,
- kontrola jakości prac budowlanych (inspekcje przed i po wykonaniu prac remontowych, dociepleniowych i innych),
- analiza stanu technicznego budynku przed i po termomodernizacji
- badanie izolacji ścian chłodni przemysłowych,
- diagnostyka systemów wentylacyjnych, klimatyzacyjnych i wymienników ciepła,
- wykrywanie usterek instalacji elektrycznych.

Termowizja pozwala w budownictwie na znaczne ograniczenie kosztów eksploatacji obiektów poprzez wykrywanie i późniejszą naprawę wad wykonawczych w budynkach, które nie były widoczne „gołym okiem”. Metoda ta wykrywa wszystkie miejsca w budynku, których temperatura odbiega od normy. Przyczyną tych nieprawidłowości mogą być ukryte wady budowlane, takie jak uszkodzenia czy brak warstwy izolacyjnej. Mogą to też być przecieki wodne czy źle wykonane elementy elewacji budynku. Miejsca te są powodem nieszczelności cieplnej budynków a w konsekwencji ich podwyższonej energochłonności, prowadzącej do niepotrzebnego wzrostu zużycia ciepła i wysokich kosztów ogrzewania. Ponadto zdjęcia termowizyjne, są cennym źródłem wiedzy o stanie samego budynku, szczególnie tam, gdzie brak jest dokumentacji budowlanej bądź też, gdy w trakcie budowy zostały dokonane nieudokumentowane zmiany budowlane.

10. Przykłady termowizji w budownictwie

Dzięki wysokiej rozdzielczości termicznej kamery termowizyjne wykrywają szybko i niezawodnie wadliwą izolację cieplną, mostki cieplne oraz uszkodzenia budynku. Jednakże to badanie termowizyjne jest jedynie badaniem jakościowym, które lokalizuje miejsca o podwyższonej temperaturze, a tym samym miejsca o nadmiernych stratach ciepła.

Poniżej zostaną omówione typowe przykłady badań termowizyjnych przeprowadzanych w budownictwie.

10.1. Analiza skorupy budynku

W skorupie budynku występują często miejsca, które są przyczyną utraty ciepła. Przeważnie są to mostki cieplne, ale są to też miejsca, które zostały źle zaplanowane czy też wykonane. Innym przykładem strat ciepła jest połączenie ściany zewnętrznej z powierzchnią oraz miejsca, gdzie np. przy budowie zastosowano różne materiały (piwnica i ściany zewnętrzne).

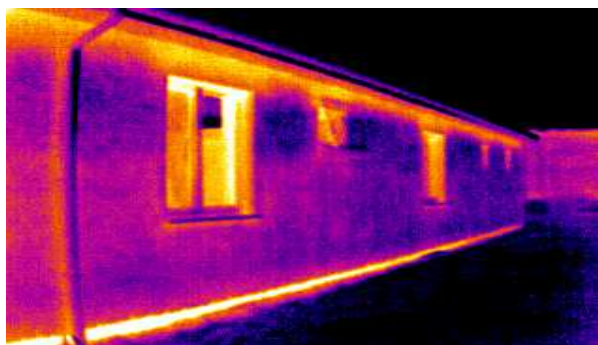
Badania termowizyjne ścian zewnętrznych pozwalają na wykrycie mostków cieplnych, są pomocne w ocenie stanu termoizolacyjności ścian i okien oraz ocenie energochłonności całego budynku. Należy pamiętać, że użycie energooszczędnych materiałów przy budowie nie zda się na wiele, jeżeli w elewacji są ubytki i mostki termiczne. Powodują one mianowicie infiltrację zimnego powietrza do środka budynku.



Budynek jednorodzinno prawidłowo ocieplony (budynek pasywny)

10.2. Kontrola przyziemia i izolacji fundamentów

Brak lub niedostateczne ocieplenie ścian fundamentowych może być powodem znacznych strat ciepła. Szczególnie narażone miejsca to części narożne znajdujące się od strony wschodniej i północnej. Często skutkiem tego jest pojawienie się wewnątrz pomieszczeń zimnej posadzki, zawilgocenia a także zagrzybienia. Poza tym występuje pogorszenie u mieszkańców komfortu cieplnego a co za tym idzie zwiększenie kosztów ogrzewania.



Ściana posadowiona na ławie fundamentowej – brak izolacji zewnętrznej

10.3. Lokalizacja mostków cieplnych i nieszczelności

Mostki cieplne są, poza wadliwą termoizolacją, źródłem największych strat ciepła w budynkach. Są to miejsca o dużej przewodności cieplnej, związane z elementami konstrukcyjnymi budynku takimi jak wieńce, nadproża, stropy, okna czy płyty balkonowe lub z elementami geometrycznymi (np. naroża). Mostki te powstają w wyniku błędnej technologii budowy lub niestarannego wykonania prac budowlanych.

Częstym błędem budowlanym jest połączenie elementu kontaktującego się bezpośrednio z otoczeniem (płyta balkonowa, ściana oporowa i in.) ze ścianą wewnętrzną budynku. W takim przypadku wymieniony element zachowuje się jak żebro powodując intensywny odpływ ciepła z budynku. Zjawisko to może prowadzić do pojawienia się pleśni i zagrzybienia wewnątrz sąsiadujących pomieszczeń.



Mostki cieplne – płyta balkonowa

10.4. Badanie termoizolacyjności i szczelności okien

Okna mają duży wpływ na wielkość strat ciepła w budynku. Straty spowodowane przez okna mogą znacznie przekraczać wielkość strat spowodowanych np. niedostateczną izolacyjnością ścian czy nawet dachu. Na wielkość tych strat mają wpływ: konstrukcja okna, jakość materiałów użytych do ich produkcji, jakość ich wykonania, a przede wszystkim jakość ich zamontowania w przegrodach.

Drzwi to również miejsce strat ciepła. Są przegrodą o mniejszej grubości niż ściana zewnętrzna i trudno je skutecznie zaizolować. Ważne jednak jest, aby zwracać uwagę na stan uszczelek, na poprawność osadzenia oraz na właściwości termiczne metalowej ramy, na której drzwi są osadzone.

Brama garażowa również może być odpowiedzialna za straty ciepła – jest to szczególnie ważne dla właściciela budynku, jeśli garaż przylega do domu, a nie jest wolnostojący.



Infiltracja - wnikanie zimnego powietrza z zewnątrz

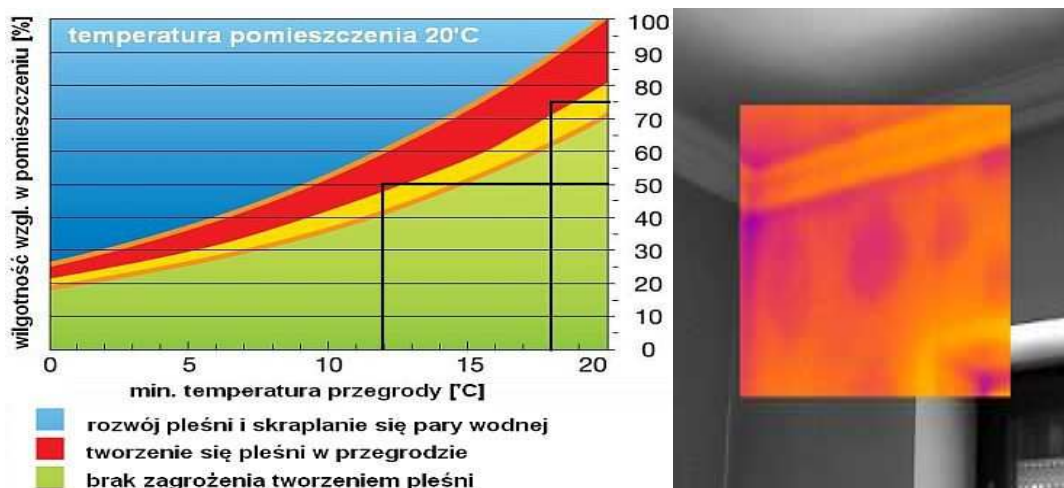
10.5. Wykrywanie zawilgoceń w budynkach

Wilgoć dostaje się do domu wraz z powietrzem zewnętrznym (nieszczelności/infiltracja zimnego powietrza), poprzez podciąganie wilgoci z gruntu, nieszczelność izolacji na elewacji i instalacji hydraulicznych lub przez przecieki z zewnątrz (rynny, dach, tarasy) itp.

Wewnątrz, problemy pochodzą z niewłaściwej wentylacji pomieszczeń i z istniejących mostków termicznych. Tego typu mostki termiczne występują zwykle m.in. w okolicy źle docieplonych wieńców, stropów, ścian fundamentowych i nadproży okiennych a także wzdłuż nieszczelnych połączeń dylatacyjnych, na połączeniach ścian kolankowych z drewnianą konstrukcją dachu (okolice murłaty).

Niestety, woda i para wodna gromadzą się nie tylko w widocznych miejscach, ale także wewnątrz ścian i murów oraz w stropach. Takie miejsca są dobrze widziane przez kamerę termowizyjną, ponieważ miejsca wilgotne mają w wyniku parowania nieco niższą temperaturę. Badania termowizyjne najlepiej wykonywać, gdy temperatura zewnętrzna jest nie wyższa niż 5°C.

Należy pamiętać, że wilgoć może być powodem złego samopoczucia mieszkańców, problemów zdrowotnych oraz przyczyniać się do rozwoju pleśni i do zagrzybienia.

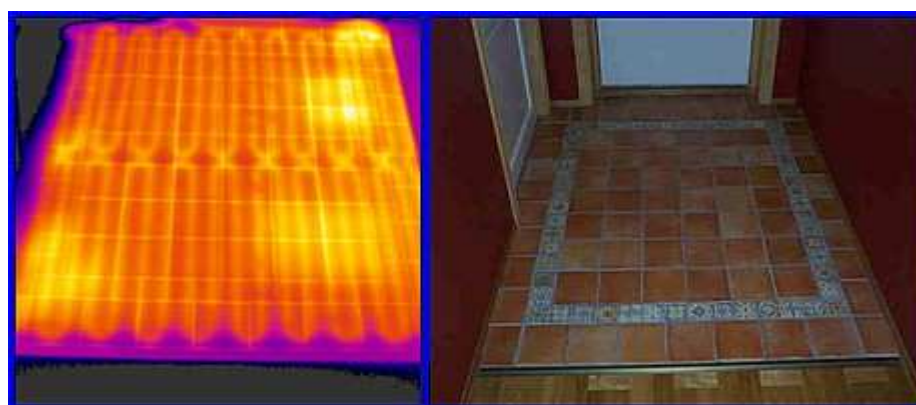


Wykrywanie zawilgoceń murów – „punkt rosy”

10.6. Diagnostyka uszkodzeń systemów rurowych, np. ogrzewanie podłogowe

Badania termowizyjne są pomocne podczas kontroli systemu wodnego ogrzewania podłogowego, pod kątem ich szczelności i równomiernego rozkładu. Dzięki tej metodzie usuwanie ewentualnych usterek staje się bardziej efektywne i ekonomiczne. Nie jest już konieczne rozkuwanie całej podłogi w poszukiwaniu miejsca nieszczelności, ponieważ kamera precyzyjnie wskaże to miejsce.

Wykrycie wycieku z instalacji zimnej wody nie jest łatwe. Można spróbować na czas badania zamienić przewody zasilania, tak aby w przewodzie płynęła ciepła woda.



Uszkodzony system ogrzewania podłogowego

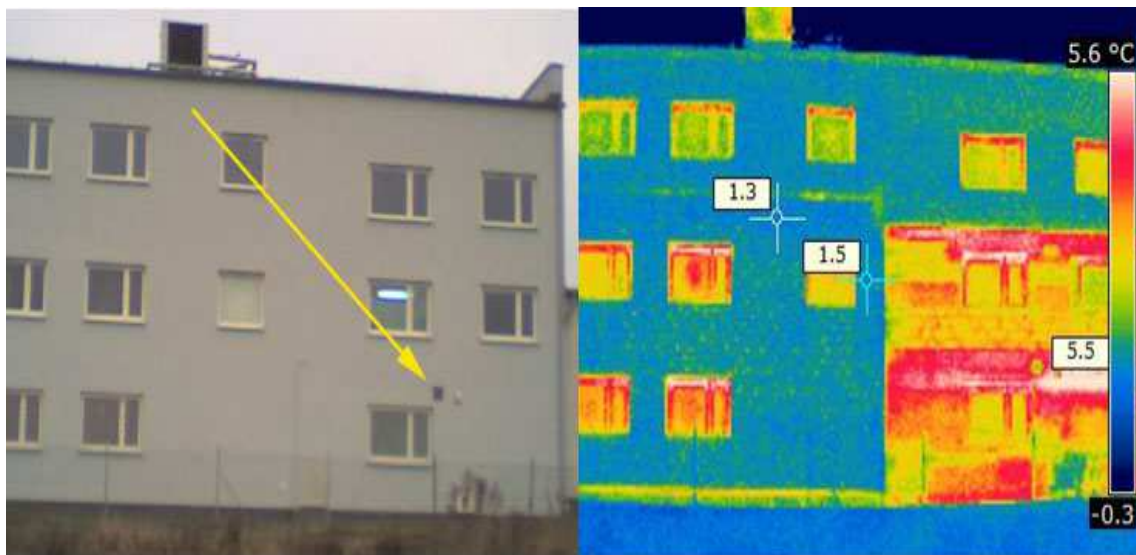
10.7. Termowizyjna kontrola prac budowlanych

Badanie termograficzne jako metoda bezinwazyjna jest szczególnie przydatne przy znajdowaniu różnych błędów wykonawczych czy technologicznych. Nieprawidłowo wykonane prace budowlane to np. brak lub rozrzedzenie izolacji cieplnej. Objawia się to występowaniem nieszczelności, zawilgoceniem, mostkami termicznymi, co z kolei prowadzi do podwyższonej temperatury zewnętrznej ściany budynku lub jej obniżeniem na powierzchni wewnętrznej.

W praktyce zwykle odnajduje się tego rodzaju wady przez wykonywanie odkrywek. Niestety taka procedura jest bardzo kosztowna i prowadzi do uszkodzenia elementów budowlanych. Poza tym jest to również bardzo czasochłonne i na dobrą sprawę tak do końca nie wiadomo, w którym miejscu szukać błędów wykonawczych. Termowizja nie ma takich problemów. Szybko i bezspornie znajduje „ciepłe” miejsca na skorupie budynku, dlatego też inspekcje termowizyjne są bardzo pomocne w sporządzaniu ekspertyz dotyczących ochrony cieplnej budynku, a także przy odbiorze prac dociepleniowych.

Zdarza się też, że w trakcie późniejszych prac instalacyjnych dochodzi do uszkodzenia ułożonej wcześniej warstwy izolacji cieplnej. Dlatego ocenę stanu izolacji termicznej warto zlecić dopiero po zakończeniu prac przez wszystkich wykonawców.

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



Budynek na pozór wygląda poprawnie. Elewacja jest ocieplona, tynk nowoczesny. W świetle podczerwieni, okazuje się, że jedna część budynku, pokazana strzałką, nie została ocieplona. Skutkuje to fatalnym obrazem na termogramie. Różnice temperatur mówią same za siebie. Dodatkowo widoczne są błędy ocieplenia.

11. Wnioski dotyczące badań termowizyjnych

Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej i wzrostem cen energii, coraz częściej interesujemy się rozwiązaniami pozwalającymi na obniżenie jej zużycia. Badania termowizyjne w budownictwie, w świetle tych tendencji, stają się coraz popularniejszą metodą diagnostyczną.

Wykorzystanie termowizji w diagnostyce cieplnej budynków umożliwia ocenę jakościową izolacyjności skorupy budynku bez potrzeby ingerencji w przegrody. Jest to metoda niezastąpiona przy znajdowaniu błędów wykonawczych. Na podstawie obliczeń nie ma możliwości stwierdzenia występowania wad technologicznych (np. miejscowego braku przewidzianej projektem warstwy termoizolacyjnej). Odkrywki są natomiast, pracochłonne, uszkadzają elementy budowlane i przede wszystkim nie obejmują całości budynku. Termowizja, jako metoda nieniszcząca i natychmiastowa, ma bardzo szerokie zastosowanie w ekspertyzach dotyczących ochrony cieplnej budynku, ocenie stanu technicznego elementów konstrukcyjnych oraz do odbioru prac dociepleniowych. Interpretacja termogramu wymaga czasami korekcji temperatur, wynikającej z uwzględnienia różnic emisyjności badanych obiektów.

Do zalet pomiarów termowizyjnych można zaliczyć następujące cechy:

- sposób badania jest bezpieczny dla ludzi (pomiar wykonuje się z odpowiedniej odległości, badanie bezkontaktowe i nieszkodliwe dla zdrowia),
- bezpieczna dla produkcji (urządzenie badane jest w czasie normalnej pracy, przy dowolnym obciążeniu),
- szybka (kontroluje obiekt w całości, natychmiast wskazuje miejsce awarii, można stosować w miejscach trudnodostępnych i odległych),
- dokładna, nieniszcząca
- wpływa bezpośrednio na obniżenie kosztów (skraca czas kontroli urządzeń, wskazuje dokładnie miejsce awarii czy usterki, krytyczna ocena jakości prac remontowych).

Zastosowanie kamer ma kluczowe znaczenie przy monitoringu i konserwacji budynków, w kontroli procesów produkcyjnych, a także w diagnostyce technicznej. Kamery umożliwiają nieinwazyjną lokalizację wszelkich anomalii. Stosując badania termowizyjne mamy możliwość wykrycia miejsc potencjalnych zagrożeń na tyle wcześnie, że bez problemów można zaplanować prace remontowe, a tym samym uniknąć kosztów przestojów w produkcji czy niespodziewanych awarii. Diagnostykę można przeprowadzać pod pełnym obciążeniem w przeciwieństwie do innych metod diagnostycznych.

Wszędzie tam, gdzie jakakolwiek przyczyna powoduje generowanie bądź przesył energii, zastosowanie kamer termowizyjnych powoduje, że proces kontroli staje się łatwy, szybki, bezpieczny i dokładny oraz niezależny od odległości i trudnego dostępu.

Literatura

Dla zainteresowanych podaję wykaz literatury, z której korzystałam przygotowując powyższe opracowanie:

1. Górzyński J.: „Audyting energetyczny”, Narodowa Agencja Poszanowania Energii, Warszawa, 2000
2. Adamczewski W.: „Badania termograficzne w budownictwie”, Napędy i sterowanie, nr 2, marzec 2008r.
3. Kruczek T.: „Analiza wpływu czynników zewnętrznych na wynik termowizyjnego pomiaru temperatury”, mat. V Krajowej Konferencji „Termografia i Termometria w Podczerwieni”, Łódź-Ustroń, 2002
4. Silverman J., Mooney J., Shepherd F.: „Kamery termowizyjne”, Świat Nauki, Maj, 1992
5. Norma, PN-EN 13187-2001, „Właściwości cieplne budynków – Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – Metoda podczerwieni”
6. Serwis internetowy: www.IRHouse.pl
7. „Pomiary termowizyjne w praktyce”, praca zbiorowa pod red. H. Madura, PAK, Warszawa 2004
8. W. Minkina, P. Rutkowski, W. Wild: „Podstawy pomiarów termowizyjnych; część I – Istota termowizji i historia jej rozwoju; część II – Współczesne rozwiązania systemów termowizyjnych, błędy metody”, „Pomiary, Automatyka, Kontrola”, nr 46/2000
9. K. Chrzanowski, Z. Jankiewicz: „Model błędów metody pomiaru temperatury za pomocą kamer termowizyjnych”, „Metrologia i Systemy Pomiarowe”, Warszawa 4(1997), Nr 1–2
10. T. Wiśniewski, T.S. Wiśniewski: „Wymiana ciepła”, WNT, Warszawa 1997
11. Adamczewski W.: „Termowizyjne badanie okien”, Profiokno / Technologie, 2/2009ac
11. Katalogi i prospekty firmy Testo
12. Katalogi i prospekty firmy FLIR Systems
13. Strony www firm świadczących usługi termowizyjne w Polsce i w Niemczech