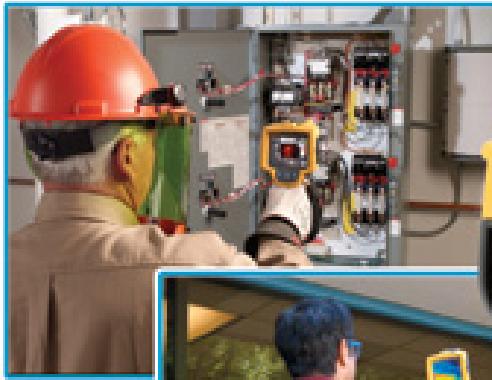


FLUKE®

Opracowano we współpracy
z Fluke Corporation
oraz The Snell Group

Wprowadzenie do **termografii**



AMERICAN TECHNICAL PUBLISHERS, INC.
ORLAND PARK, ILLINOIS 60467-5756

The  **Snell Group™**

Niniejsze opracowanie *Wprowadzenie do termografii* prezentuje procedury powszechnie stosowane w przemyśle i innych aplikacjach komercyjnych. Procedury te różnią się w zależności od zadania i mogą być stosowane przez wykwalifikowany personel. Aby zapewnić najwyższy poziom bezpieczeństwa, zawsze przestrzegaj: specjalnych zaleceń producenta, przepisów bezpieczeństwa, procedur obowiązujących w danym miejscu pracy i zakładzie przemysłowym, przepisów prawa obowiązujących w danym kraju, a także regulacji wydawanych przez uprawnione organa. Zebrany tu materiał pełni funkcję edukacyjną. Żadna z organizacji ani firm: American Technical Publishers, Inc., the Fluke Corporation oraz The Snell Group nie bierze odpowiedzialności za żadne roszczenia, straty lub uszkodzenia, włączając szkody majątkowe lub obrażenia osobiste powstałe wskutek wykorzystania informacji zawartych w niniejszym materiale.

© 2009 przez American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation oraz The Snell Group.
Wszelkie prawa zastrzeżone.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 – 09 – 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Wydrukowano w USA.

ISBN 978-0-8269-1535-1



Książka została wydrukowana na papierze w 30% odzyskanym z surowców wtórnych.





SPIS TREŚCI

1	WPROWADZENIE DO TERMOGRAFII ORAZ KAMER TERMOWIZYJNYCH	1
<hr/>		
•	TERMOGRAFIA W PODCZERWIENI	
•	HISTORIA TECHNIKI W PODCZERWIENI	
•	ZASADA DZIAŁANIA KAMERY TERMOWIZYJNEJ	
2	TERMOGRAFIA – TRAFIONA INWESTYCJA	8
<hr/>		
•	ROZWIĄZYwanie PROBLEMów	
3	BEZPIECZEŃSTWO I SZKOLENIA	12
<hr/>		
•	NIEZBĘDNE KWAŁIFIKACJE I CERTYFIKATY KOMPETENCJI	
•	BEZPIECZEŃSTWO W MIEJSCE PRACY	
•	STANDARDY I PISEMNE PROCEDURY KONTROLI	
4	PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE TEORII	17
<hr/>		
•	PODSTAWY TERMODYNAMIKI	
•	RODZAJE PRZEPŁYWU CIEPŁA	
•	DOKŁADNOŚĆ POMIARU TEMPERATURY	
5	PRZYKŁADOWE OBRAZY CIEPLNE	26
<hr/>		
6	ZASTOSOWANIA TERMOGRAFII	42
<hr/>		
•	INSTALACJE ELEKTRYCZNE	
•	ELEKTROMECHANIKI I MECHANIKI	
•	PROCESY TECHNOLOGICZNE	
•	DIAGNOSTYKA BUDOWLANA	
7	METODOLOGIA TESTÓW	52
<hr/>		
•	TERMOGRAFIA PORÓWNAWCZA	
•	ODNIESIENIE DO LINII BAZOWEJ	
•	TRENDY TERMICZNE	
8	ANALIZA, RAPORTOWANIE ORAZ DOKUMENTOWANIE	56
<hr/>		
•	ANALIZA KONTROLI	
•	RAPORTOWANIE ORAZ DOKUMENTOWANIE	
9	ŽRÓDŁA INFORMACJI O TERMOGRAFII	58
<hr/>		
•	ŽRÓDŁA INFORMACJI	
10	INNE TECHNOLOGIE POWIAZANE	60
<hr/>		
•	KONTROLE WIZUALNE I SŁUCHOWE	
•	ANALIZA ELEKTRYCZNA	
•	WYKRYWANIE ULTRADŹWIĘKÓW W POWIETRZU	
•	ANALIZA DRGAŃ	
•	ANALIZA SMARU	
•	ANALIZA ZUŻYCIA CZĄSTEK	
11	INDEKS	62
<hr/>		



WPROWADZENIE

Niniejsza publikacja została opracowana we współpracy z Fluke Corporation oraz The Snell Group. Jej celem jest przekazanie podstawowych informacji dotyczących zasad działania kamer termowizyjnych oraz procedur związanych z jej użytkowaniem. Kamery termowizyjne stały się nieocenionymi przyrządami diagnostycznymi do usuwania usterek oraz okresowych prac konserwacyjnych wykonywanych przez elektryków i techników w przemyśle oraz aplikacjach komercyjnych. Przyrządy te, mające również kluczowe znaczenie dla usługodawców, wspomagają diagnostykę budowlaną i procedury testowe. *Wprowadzenie do termografii* zawiera podstawową wiedzę o funkcjonowaniu oraz zastosowaniach kamer termowizyjnych.

Informacje uzupełniające, dotyczące przyrządów testowych, rozwiązywania problemów, konserwacji oraz zasad stosowania w budownictwie, udostępnione są przez Fluke Corporation na stronach: www.fluke.com/thermography, The Snell Group na www.thesnellsroup.com oraz American Technical Publishers, Inc. na stronie go2atp.com.

Wydawca



WPROWADZENIE DO TERMOGRAFII ORAZ KAMER TERMOWIZYJNYCH

Funkcjonowanie kamer termowizyjnych opiera się na wykorzystaniu techniki termografii. Przyrządy te stosowane są do rozwiązywania problemów, konserwacji i sprawdzania układów elektrycznych, mechanicznych oraz zewnętrznej struktury budynków. Przyczyniają się do znacznej redukcji kosztów, a nawet pozwalały wypracować zysk.

TERMOGRAFIA W PODCZERWIENI

Termografia w podczerwieni polega na rejestraniu elektronicznymi przyrządami optycznymi temperatur powierzchni mierzonego obiektu przez pomiary jego promieniowania. Promieniowanie to strumień cząstek lub fal wysyłanych przez ciało, przenoszących energię (fale elektromagnetyczne) bez bezpośredniego (materialnego) środka przekazu. Współczesna termografia wykorzystuje specjalne przyrządy do wykrywania i pomiarów promieniowania podczerwonego.

Intensywność promieniowania zależy od wysokości temperatur występujących na powierzchni badanego obiektu lub przedmiotu.

Promieniowanie podczerwone, mimo że niewidzialne dla ludzi, jest wyczuwalne przez nasze ciało. Zakończenia nerwowe w skórze są czułe nawet na małe różnice temperatur. Reagują już na zmianę $\pm 0,009^{\circ}\text{C}$ ($0,005^{\circ}\text{F}$). Jednak ich wysoka czułość sprawia, że analiza termiczna tą metodą nie należy do badań bezinwazyjnych.

Nawet posiadane przez drapieżniki zdolności do wykrywania ciepła swoich ofiar nie mogą się równać z możliwościami specjalistycznych detektorów podczerwieni. Ze względu na ograniczenia organizmu człowieka w zakresie wykrywania ciepła, powstały liczne przyrządy do precyzyjnych pomiarów promieniowania - przyrządy, których stosowanie stało się standardem w badaniach termicznych w nieskończonych dziedzinach życia.

HISTORIA BADAŃ

W PODCZERWIENI

Pojęcie „podczerwieni” odnosi się do klasyfikacji jego pasma w widmie promieniowania elektromagnetycznego „poniżej czerwonego”. Pojęcie „termografia” pochodzi z języka greckiego i oznacza „obraz temperatury”. Początków termografii można upatrywać w roku 1800, kiedy to niemiecki astronom Sir William Herschel przeprowadził serię eksperymentów ze światłem słonecznym.

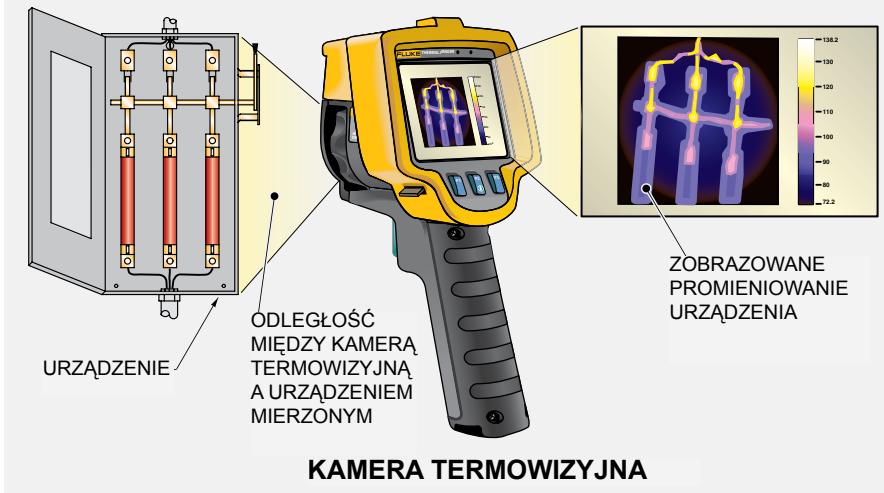
Przepuścił on promień słoneczny przez pryzmat i sprawdził temperaturę poszczególnych barw widma przy użyciu czułego termometru ręciowego. Herschel zauważył, że poza strefą widzialnego widma, czyli „poniżej czerwonego”, temperatura wzrasta.

Kamera termowizyjna w postaci obrazu termicznego. rejestruje nawet pozostałości ciepła dłoni po dotknięciu powierzchni pomalowanej ściany.



Rys. 1–1. Kamera termowizyjna to przyrząd służący do bezdotykowych pomiarów, obrazujący emisję promieniowania podczerwonego.

Kamery termowizyjne



Odkryty przez niego obszar „ciemnego promieniowania” stanowi przedział widma elektromagnetycznego, obecnie znanego jako promieniowanie podczerwone, rozpoznane jako promieniowanie elektromagnetyczne.

20 lat później niemiecki fizyk, Thomas Seebeck odkrył zjawisko termoelektryczne, co z kolei przyczyniło się do wynalezienia pierwszej wersji termopary „thermomultiplier” w 1829 roku przez włoskiego fizyka Leopoldo Nobili. Działanie tego prostego przyrządu dotykowego opiera się na zjawisku powstawania różnicy potencjałów między dwoma odmiennymi metalami pod wpływem temperatury. Współpracownik fizyka, Macedonio Melloni wkrótce udoskonalił prototyp termopary. Zbudował termostos (zestaw szeregowo połączonych termoelementów) i tak skupił na nim promieniowanie cieplne, że mógł wykryć ciepło ciała z odległości 9,1 m.

W 1880 roku, amerykański astronom Samuel Langley zarejestrował ciepło ciała krowy z odległości 304 m przy użyciu bolometru. Bolometr mierzy zmianę rezystancji elektrycznej pod wpływem

temperatury, a nie różnice potencjałów. W 1840 roku syn Sir Williama Herschela, Sir John Herschel wygenerował pierwszy obraz termiczny ewaporografem. Obraz ten powstał w wyniku różnego stopnia parowania cienkiej warstwy oleju i odbicia od niej światła.

Warto wiedzieć...

Pierwsze modele kamer termowizyjnych wyświetlały obrazy termiczne na czarno-białych lampach kineskopowych (CRT). Rejestrowanie ciągłe umożliwiała taśma fotograficzna lub magnetyczna.

Kamera termowizyjna to przyrząd służący do pomiarów bezdotykowych, obrazujący emisję promieniowania podczerwonego (rys. 1–1). Pierwsze modele kamer termowizyjnych były znane, jako detektory fotoprzewodzące. W latach 1916–1918, amerykański wynalazca, Theodore Case przeprowadzał eksperymenty z detektorami fotoprzewodzącymi, aby wygenerować sygnał w bezpośredniej interakcji z fotonami, zamiast nagrzewania. W rezultacie powstał szybszy i bardziej czuły detektor fotoprzewodzący.

W latach 40. i 50. nastąpił dynamiczny rozwój termografii, znajdującej coraz więcej zastosowań w wojsku. Niemieccy naukowcy odkryli, że schładzanie detektorów fotoprzewodzących zwiększa efektywność ich pracy.

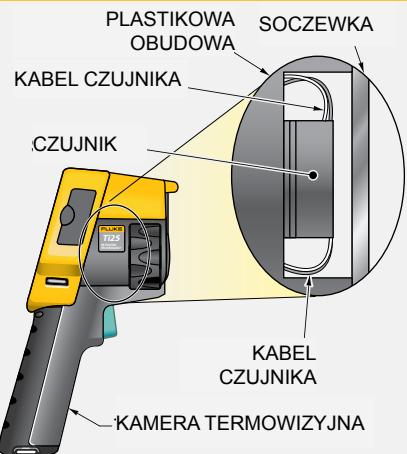
Wraz z początkiem lat 60. termografia stała się ogólnodostępna. Pomimo tego, że pierwsze kamery termowizyjne były mało skuteczne, powolne i posiadały niską rozdzielczość, to jednak znalazły zastosowanie w przemyśle, m.in.: w testach elektrycznych systemów przekładni i rozdzielnic. Dalsze udoskonalania w latach 70. w aplikacjach wojskowych przyczyniły się do powstania pierwszych przenośnych układów do diagnostyki budowlanej i bezinwazyjnego testowania materiałów.

Kamery termowizyjne z lat 70. były już bardziej niezawodne i solidnie wykonane, jednak jakość obrazów w porównaniu z obrazami współczesnych przyrządów pozostawała wiele do życzenia. Na początku lat 80. termografię zaczęto stosować w medycynie, głównych gałęziach przemysłu oraz diagnostyce budowlanej. Przyrządy kalibrowano, aby generowały w pełni radiometryczne obrazy, umożliwiając pomiary temperatur radiometrycznych w dowolnym ich punkcie. *Obraz radiometryczny* to obraz termiczny z obliczonymi wartościami temperatur w poszczególnych jego punktach.

Udoskonalone niezawodne systemy chłodzenia kamer termowizyjnych zastąpiły stosowanie sprężonego lub skroplonego gazu, jako chłodziwa. Opracowano również i zaczęto produkować na szeroką skalę tańsze kamery termowizyjne, bazujące na lampie elektronowej z wbudowanym widokonem piroelektrycznym (PEV). Brak analizy radiometrycznej w kamerach PEV rekompensowała lekkość, małe wymiary i optymalna praca bez potrzeby chłodzenia.

Rys. 1–2. Detektor typu FPA zbudowany jest z matrycy (zwykle prostokątnej) detektorów podczerwieni umieszczonych na płaszczyźnie ogniskowej soczewki.

Detektory typu FPA

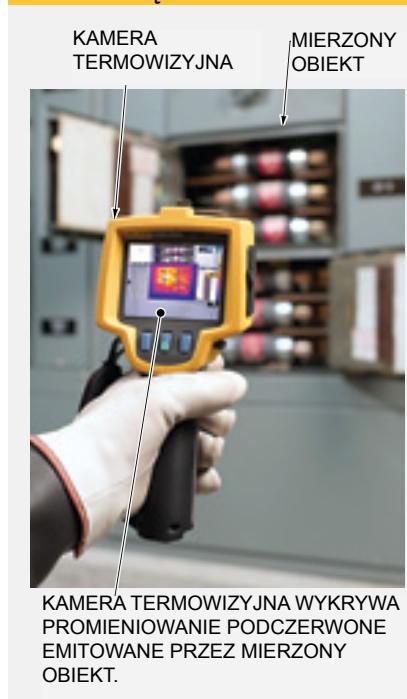


Pod koniec lat 80. wojsko udostępniło do użytku publicznego detektor typu FPA. *Detektor typu FPA* zbudowany jest z matrycy (zwykle prostokątnej) detektorów podczerwieni umieszczonych na płaszczyźnie ogniskowej soczewki (rys. 1–2).

Przyrząd ten znaczowo wpływał na rozwój termografii wykorzystującą detektory skanujące. W szczególności wpływał na jakość obrazu i rozdzielczość przestrzenną. Typowe matryce współczesnych kamer termowizyjnych składają się z 16 x 16 do 640 x 480 pikseli. W termografii piksel oznacza najmniejszy, niezależny punkt detektora typu FPA, zdolny do wykrywania promieniowania podczerwonego. W określonych zastosowaniach, matryce składają się z 1000 x 1000 pikseli. Pierwsza liczba określa liczbę kolumn, a druga wyświetlanego wierszy. Na przykład matryca 160 x 120 składa się z 19200 pikseli (160 pikseli x 120 pikseli = 19200 pikseli).

Fot. 1–1. Pomiary kamerą termowizyjną, która obrazuje promieniowanie podczerwone emitowane przez mierzony obiekt.

Pomiar urządzenia

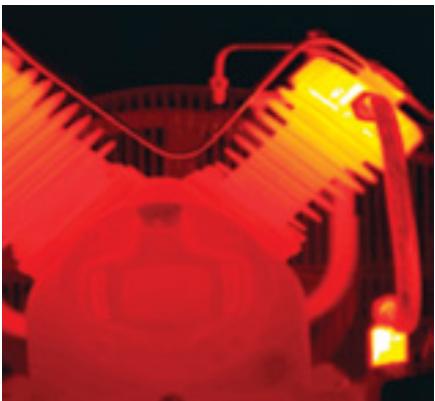


Rok 2000 zapoczątkował intensywny rozwój technologii FPA, co zaowocowało projektami wielu detektorów. *Długofalowa kamera termowizyjna* wykrywa promieniowanie podczerwone w paśmie o długości od 8 µm do 15 µm. *Mikron (µm)* to jedna tysięczna milimetra (0,001m). *Krótkofalowa kamera termowizyjna* wykrywa promieniowanie podczerwone w paśmie od 2,5 µm do 6 µm. Oba rodzaje kamer termowizyjnych są obecnie dostępne w pełnej radiometrycznej wersji, często z funkcją nakładania się obrazów i o czułości termicznej 0,05°C (0,09°F) lub mniejszej.

W ciągu ostatnich 10 lat, ceny kamer zmalały przynajmniej dziesięciokrotnie, przy jednoczesnej poprawie jakości. Ponadto dostępne jest już zaawansowane oprogramowanie do przetwarzania obrazów. Prawie wszystkie dostępne na rynku kamery termowizyjne sprzedawane są z oprogramowaniem, ułatwiającym

analizę i dokumentowanie wyników. Umożliwia ono szybkie wygenerowanie raportu i przesłanie w formie elektronicznej lub zapisanie w formacie PDF na dowolnym nośniku pamięci.

Termogram jest to obraz mierzonego obiektu elektronicznie przetworzony do wyświetlenia, który poprzez skalę kolorów przedstawia rozkład temperatur na jego powierzchni.



ZASADA DZIAŁANIA KAMERY TERMOWIZYJNEJ

Zapoznanie się z zasadami działania systemów obrazowania termicznego oraz ograniczeniami kamer termowizyjnych ułatwia z nimi pracę. Umożliwiają bowiem to wykrywanie i analizę wielu potencjalnych nieprawidłowości. Kamera termowizyjna wykrywa promieniowanie podczerwone emitowane przez mierzony obiekt (fot. 1–1). *Mierzonym obiektem* może być przedmiot, budynek lub inne urządzenie wybrane do sprawdzenia kamerą termowizyjną.

Układ optyczny kamery skupia promieniowanie podczerwone na detektorze, który zamienia je na sygnał elektryczny (zmiana napięcia lub rezystancji elektrycznej) odbierany przez elektroniczne układy przyrządu. Następnie sygnał jest przekształcany na obraz termiczny (*termogram*) i wyświetlany przez przyrząd. *Termogram* jest to obraz mierzonego obiektu elektronicznie przetworzony do wyświetlenia, skala kolorów obrazuje rozkład temperatur na

Fot. 1–2. Standardowe kamery termowizyjne składają się z: obiektywu, przesłona obiektywu, wyświetlacza, przycisków sterujących oraz uchwytu z paskiem na rękę.



jego powierzchni. Dzięki tej metodzie można stworzyć obraz rejestrujący moc promieniowania powierzchni mierzonego obiektu.

Budowa kamery termowizyjnej

Standardowa kamera termowizyjna składa się z takich elementów, jak: obiektyw, przesłona obiektywu, wyświetlacz, detektor, układy elektroniczne, przyciski sterujące, nośniki pamięci oraz oprogramowanie dokumentujące i analizujące wyniki pomiarów. Kamery różnią się w zależności od rodzaju i modelu (fot. 1–2).

Obiektywy

Kamery termowizyjne posiadają co najmniej jeden obiektyw, rejestrujący promieniowanie podczerwone, a następnie skupia je na detektorze podczerwieni. W efekcie detektor przetwarza promieniowanie na obraz termiczny, czyli termogram. Obiektyw kamery służy do

odbierania i skupiania promieniowania podczerwonego na detektorze. Obiektywy kamer długofalowych wykonane są z germanu (Ge). Cienkie warstwy odblaskowe polepszają jakość transmisji obiektywu.

Warto wiedzieć...

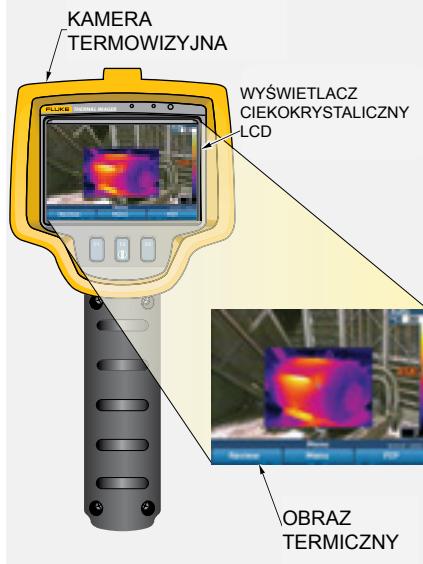
Rosnąca potrzeba oszczędzania energii zapoczątkowała wdrażanie przez władze lokalne i agencje rządowe powietrznych systemów detekcji podczerwieni, które początkowo miały zastosowanie wojskowe przy tworzeniu map termicznych. Informacje o stratach ciepła budynków uzyskane w wyniku pomiarów systemami skanującymi są przydatne dla administratorów budynków, a także właścicieli przedsiębiorstw.

Wyświetlacz

Termogram pokazywany jest na wyświetlaczu ciekłokrystalicznym (LCD) wbudowanym w kamerze termowizyjnej.

Rys. 1–3. Termogram widoczny na wyświetlaczu kamery termowizyjnej.

Wyświetlacz



Ze względu na różnorodne warunki oświetlenia napotykane w trakcie pomiarów w terenie, ekran musi być odpowiednich wymiarów i dostatecznie jasny. Wyświetlacz pokazuje również informacje dotyczące stanu baterii, datę, godzinę, temperaturę mierzonego obiektu (w °F, °C lub °K), obraz widzialnego światła oraz skalę barw odpowiadającą wartości temperatury (rys. 1–3).

Detektor i układy elektroniczne

Detektor i układy elektroniczne przetwarzają promieniowanie podczerwone na inne wielkości fizyczne. Promieniowanie cieplne emitowane przez mierzony obiekt jest skupiane na detektorze, zazwyczaj będącym także półprzewodnikiem. Następnie detektor zamienia promieniowanie na wielkości mierzalne, które elektronicznie przetworzone wyświetlane są, jako obrazy termiczne.

Przyciski sterujące

Aby podnieść jakość wyświetlonego obrazu termicznego, zmienia się odpowiednio ustawienia parametrów elektronicznych przyciskami sterującymi. Ustawia się w ten sposób zmienne: zakres temperatury, zakres i poziom termiczny, palety kolorów oraz stopień nałożenia obrazów. Można również dopasować ustawienia emisyjności i odbijanej temperatury otoczenia (fot. 1–3).

W zestawie z kamerą termowizyjną jest przeważnie skrzynka do bezpiecznego przenoszenia oraz przechowywania przyrządu, oprogramowanie, a także inne akcesoria przydatne w użytkowaniu kamery w terenie.



Nośniki pamięci

Elektroniczne pliki, zawierające cyfrowe obrazy termiczne i powiązane z nimi dane, zapisywane są na różnego rodzaju kartach pamięci lub innych nośnikach. Wiele kamer termowizyjnych umożliwia również zarejestrowanie dodatkowej notatki głosowej lub tekstuowej, a także obrazu zarejestrowanego wbudowaną kamerą.

Oprogramowanie dokumentujące i analizujące wyniki pomiarów

Oprogramowanie najnowszych kamer termowizyjnych posiada szeroki wachlarz funkcji, jednocześnie pozostając prostym w obsłudze. Cyfrowe obrazy termiczne i obrazy widzialne po skopiowaniu do komputera można wyświetlać, używając różnych palet barw. Można również zmieniać wszystkie parametry radiometryczne oraz funkcje analizujące.

Przetworzone obrazy umieszczane są następnie w szablonie raportu i drukowane, bądź zapisywane, lub przesyłane dalej drogą elektroniczną.

Fot. 1–3. Przyciskami sterującymi ustawisz zmienne: zakres temperatury, zakres i poziom termiczny oraz inne.

Przyciski sterujące





TERMOGRAFIA – TRAFIONA INWESTYCJA

Pomiary kamerą termowizyjną znalazły zastosowanie w wielu funkcjach krytycznych aplikacji komercyjnych oraz przemysłowych. Umożliwiają diagnostykę techniczną, konserwację urządzeń, a także weryfikację zewnętrznej struktury budynków. Kamery termowizyjne uważane są za stosunkowo kosztowne przyrządy. Jednak inwestując w ich zakup i używając do doraźnych oraz okresowych napraw, redukujesz koszty i czas przestoju maszyn.

ROZWIĄZYwanIE PROBLEMÓW

Termografia w podczerwieni pełni ważną funkcję przy usuwaniu usterek w aplikacjach komercyjnych oraz przemysłowych. Nieprawidłowa praca urządzeń lub jej wczesne oznaki, nasuwają natychmiast pytania o ich stan. Zlokalizowanie usterki nie sprawia problemu, jeżeli jest ona sygnalizowana w czytelny sposób, np. za pomocą wibracji, sygnału dźwiękowego lub podwyższonej temperatury. Przyczyna usterki może być jednak trudna lub nawet niemożliwa do wykrycia.

Sygnatura termiczna to obraz przedstawiający w fałszywych barwach energię podczerwoną lub ciepło emitowane przez przedmiot. Analiza nieprawidłowości polega na porównaniu sygnatury termicznej urządzenia sprawnego z sygnaturą urządzenia testowanego (fot. 2-1). Główną zaletą wykorzystywania technologii podczerwieni jest możliwość wykonania szybkiego testu urządzenia metodą bezinwazyjną. Dodatkowo kamery termowizyjne nie wymagają kontaktu z badanym układem, dlatego badane urządzenie lub część można sprawdzać w trakcie jego normalnej pracy.

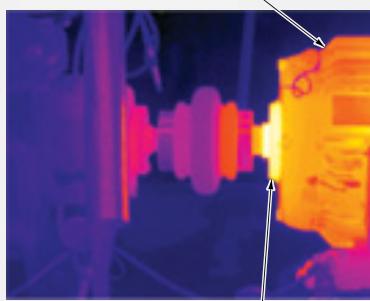
Nawet jeżeli obraz termiczny urządzenia wadliwego nie jest w pełni zinterpretowany przez kamerę

termowizyjną, to na jego podstawie można stwierdzić czy wymaga ona dalszej analizy. Na przykład można szybko skontrolować silnik elektryczny i wykryć ewentualną usterkę łożysk lub sprzęgła. Smarowanie łożyska, którego temperatura jest znacznie wyższa od temperatury obudowy silnika, prawdopodobnie jest niewłaściwe lub nadmierne. Na nieprawidłowe ustawienie wskazuje również wyższa temperatura jednej z okładzin sprzęgła (fot. 2-2).

Fot. 2-1. Temperatura łożyska wyższa od temperatury obudowy silnika wskazuje na niewłaściwe smarowanie lub nieosiwość.

Nieprawidłowości związane z łożyskami

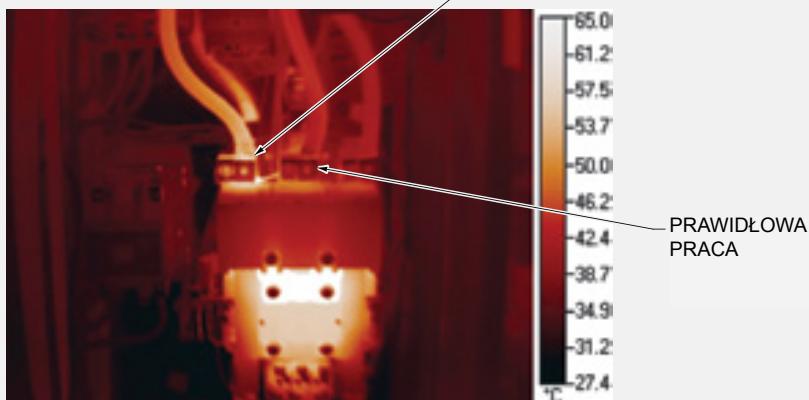
OBUDOWA SILNIKA



ŁOŻYSKO SILNIKA
(BARDZIEJ NAGRZANE
NIŻ OBUDOWA SILNIKA)
MOŻE WSKAZYWAĆ NA
EWENTUALNĄ USTERKĘ

Fot. 2–2. Sygnatury termiczne testowanych urządzeń umożliwiają szybkie wskazanie nieprawidłowości.

Sygnatury termiczne



Gorąca przykrywka łożyska oznacza ewentualne złe ułożenie, niewłaściwe smarowanie albo usterek silnika lub podłączonych urządzeń.



Zastosowanie termografii do wykrywania i usuwania usterek wymaga uprzedniego zapoznania się z podstawowymi parametrami wadliwego urządzenia. Na przykład testowanie wyłącznika bez podłączenia zasilania nie ma sensu, ponieważ nagrzewanie się niektórych miejsc występuje tylko przy włączonym zasilaniu. Podobnie należy badać zbiornik kondensacyjny przy normalnym cyklu pracy.

Nie zawsze jednak dokładne zapoznanie się z instrukcją serwisową danego urządzenia jest możliwe. Oprócz doświadczenia w stosowaniu termografii, skuteczne usuwanie usterek wymaga posiadania szerokiej wiedzy na temat rozchodzenia się ciepła, radiometrii, użytkowania kamery termowizyjnej, a także funkcjonowania i awarii urządzeń. Radiometria polega na wykrywaniu oraz pomiarach elektromagnetycznej energii promieniowania w podczerwieni.

Konserwacja okresowa

Konserwacja okresowa to prace wykonywane zgodnie z ustalonym harmonogramem, mające na celu utrzymanie jakości działania urządzeń na najwyższym poziomie. Naprawy okresowe minimalizują występowanie usterek i awarii oraz umożliwiają osiągnięcie maksymalnej efektywności produkcji, a także zapewniają bezpieczne warunki w miejscu pracy. W efekcie konserwacja okresowa prowadzi do wydłużenia żywotności urządzeń, redukcji przestojów produkcji oraz wzrostu ogólnej efektywności przedsiębiorstwa.

Prace okresowe oraz częstotliwość ich wykonywania należy dostosować do specyfikacji producenta, instrukcji obsługi, publikacji handlowych i doświadczenia pracowników.

Celem konserwacji okresowej jest dostarczanie informacji dotyczących pracy urządzeń na podstawie ich oceny i obserwacji. Kamery termowizyjne wspomagają proces monitorowania pracy urządzeń. Analiza obrazów termicznych urządzeń umożliwia zwiększenie skuteczności napraw lub wymiany, redukuje koszty ogólne oraz poprawia niezawodność urządzenia. Gdy wymagana jest pełna funkcjonalność urządzenia, szef linii produkcyjnej może być pewien osiągnięcia zamierzonych efektów pracy.

Konserwacja obejmuje szereg zaawansowanych prac, wykonywanych określonymi metodami. W ostatnich latach odkryto, że większość starych metod, począwszy od konserwacji okresowej,

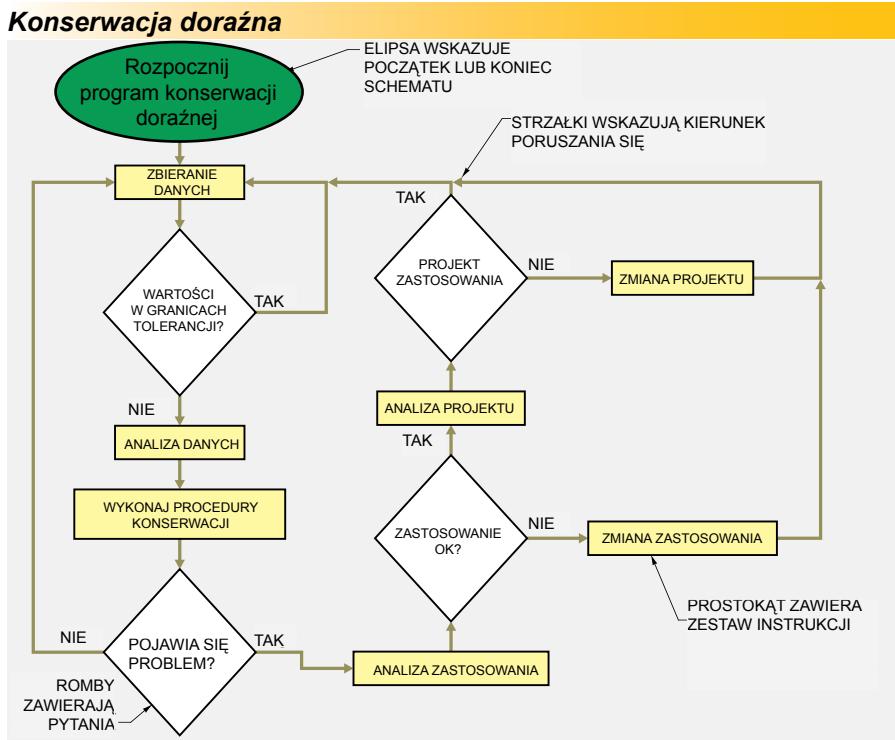
więcej problemów generowała niż rozwiązywała. Ponadto metody te często nie zapewniały zwrotu poniesionych inwestycji.

Konserwacja doraźna

Konserwacja doraźna polega na monitorowaniu zużycia i odchylenia parametrów urządzeń od ich specyfikacji ze z góry ustaloną tolerancją. Ma na celu wykrycie potencjalnych usterek lub awarii. Informacje dotyczące pracy urządzeń są zbierane i analizowane, obrazując w ten sposób tendencje pracy i specyfikację ich podzespołów. W razie konieczności wykonuje się naprawy.

Naprawy doraźne często wymagają dodatkowej inwestycji w sprzęt monitorujący oraz szkoleń dla pracowników. Ten rodzaj konserwacji powszechnie stosuje się w przypadku urządzeń, których funkcjonowanie jest kosztowne lub kluczowe. Informacje zebrane podczas

Rys. 2-1. Konserwację doraźną powszechnie się stosuje w przypadku urządzeń, których praca jest kosztowna lub decydująca.



monitoringu urządzeń są analizowane w zestawieniu ze stałymi bazowymi w celu określenia czy zmierzone wartości mieszczą się w przedziale tolerancji (rys. 2–1). Jeśli wykraczają poza przedziały tolerancji, wymagane jest wykonanie konserwacji. Po zakończeniu procedur urządzenie jest dokładnie monitorowane. Jeżeli problem się powtórzy, zastosowanie urządzenia i jego budowę poddaje się ponownej analizie, a w razie konieczności dokonuje się wymiany.

Program napraw doraźnych zwykle zastępuje konserwację okresową. Pewne procedury konserwacji, takie jak: smarowanie lub czyszczenie, wykonuje się w razie konieczności, a nie według ustalonego harmonogramu. Technika termografii i obrazowanie termiczne umożliwia określenie stanu urządzenia w razie pojawienia się co do niego wątpliwości lub przy okresowej konserwacji.

Test odbiorczy polega na sprawdzeniu urządzenia przy jego pierwszej instalacji lub wymianie części, w celu określenia jego podstawowego stanu. Stan podstawowy służy do porównania ze specyfikacją producenta lub późniejszych porównań. Wykonanie testów odbiorczych nowego lub naprawionego

urządzenia zasadniczo wpływa na opłacalność konserwacji doraźnej.

Kamery termowizyjne dokumentują bieżący stan urządzeń w momencie ich odbioru, w trakcie instalacji nowej centrali sterowania silnikami, dachu, rurociągu parowego czy też izolacji. Obraz termiczny umożliwia stwierdzenie czy dana instalacja wykonana jest prawidłowo. Ewentualnie wykrytą nieprawidłowość można natychmiast naprawić lub, jeśli pozwalają na to okoliczności, monitorować aż do jej naprawy zgodnie z harmonogramem. Niezależnie od programów konserwacji w firmie, stosowanie termografii i obrazowania termicznego jest przydatne. Do zalet wykorzystywania termografii w rozwiązywaniu problemów i pracach konserwacyjnych należą: krótsze przestoje i dłuższy czas efektywnej pracy. Innymi głównymi korzyściami są: zwiększoną skuteczność konserwacji, a tym samym zwroty inwestycji w przyrządy testowe oraz oszczędności ze zmniejszenia liczby robogodzin.



BEZPIECZEŃSTWO I SZKOLENIA

Kamery termowizyjne wykorzystuje się do różnego rodzaju zadań w obiektach handlowych i przemysłowych. Wiele z tych zadań wykonywanych jest w warunkach wysokiego ryzyka, np. przy urządzeniach elektrycznych pod napięciem, na dużych wysokościach, itp. Tylko dzięki odpowiedniemu szkoleniu z użytkowania kamery termowizyjnej oraz przestrzeganiu zasad dotyczących bezpieczeństwa wykonanie wymaganych zadań będzie bezpieczne i efektywne.

NIEZBĘDNE KWALIFIKACJE I CERTYFIKATY KOMPETENCJI

Szkolenie z obsługi współczesnej kamery termowizyjnej jest względnie proste. Tak naprawdę wystarczy szkolenie na poziomie podstawowym z zajęciami praktycznymi. Prawidłowa interpretacja obrazu termicznego może jednak przysporzyć trudności. Nie wystarczy poznać zastosowania termografii, lecz trzeba także wzbogacić swoje teoretyczne podstawy o ćwiczenia i bezpośrednie doświadczenie w użytkowaniu kamer termowizyjnych.

Aby w pełni spożytkować inwestycję w termografię, pracownicy powinni mieć odpowiednie kwalifikacje i certyfikaty kompetencji.

Niezależnie od sposobu wykorzystania techniki termografii, jakość kwalifikacji pracownika używającego kamerę termowizyjną w głównej mierze zależy od praktyki, doświadczenia oraz ilości testów w jednej z trzech kategorii przyznanego certyfikatu (tabela 3–1).

Proces certyfikacji stanowi inwestycję, która zwykle zwraca się wielokrotnie. Kontrole prowadzone przez certyfikowany personel nie tylko są wyższej jakości, ale również są bardziej kompetentne merytorycznie. Niecertyfikowani pracownicy mogą narazić firmę na drogie i niebezpieczne pomyłki. Te pomyłki często pociągają za sobą poważne

konsekwencje, takie jak: nieprecyzyjne zalecenia na temat wykrytych nieprawidłowości lub ich przeoczenie. Aby uzyskać wyniki wysokiej jakości, oprócz odpowiednich kwalifikacji równie ważne jest opanowanie teorii.

Tabela 3-1. Certyfikacja pozwalająca na stosowanie techniki termograficznej składa się z 3 poziomów.

Poziomy certyfikacji z techniką termowizyjnych	
Poziom 1	Kwalifikacje w zakresie gromadzenia najistotniejszych danych i sortowania ich według ustalonych kryteriów.
Poziom 2	Kwalifikacje w zakresie ustawiania i kalibracji przyrządów, interpretowania danych, tworzenia raportów i nadzorowania pracowników na poziomie 1.
Poziom 3	Kwalifikacje w zakresie rozwijania procedur kontroli, interpretowania odpowiednich kodów i zarządzania programem, a także nadzorowania lub szkolenia i testowania.

Tabela 3–2. Sugerowana odległość pracy w odzieży ochronnej

Zabezpieczenie przed wyładowaniem łuku elektrycznego				
Wartości nominalne (napięcie, zakres, napięcie miedzyfazowe*)	Graniczne odległości zblżenia		Przybliżone ograniczenie (uwzględniające przypadkowe przesunięcie)	Zakazane granice podejścia
	Odsłonięty przewodnik przenośny	Odsłonięty stały element obwodu		
0 do 50	brak	brak	brak	brak
51 do 300	10'–0"	3'–6"	Unikaj kontaktu	Unikaj kontaktu
301 do 750	10'–0"	3'–6"	1'–0"	0'–1"
751 do 15000	10'–0"	5'–0"	2'–2"	0'–7"

*w V

W USA certyfikat wydawany jest przez pracodawcę zgodnie z normami Amerykańskiego Towarzystwa Badań Nieniszczących (ASNT). Jest to organizacja pomagająca tworzyć bezpieczne środowisko przez świadczenie usług z zastosowaniem metody badań bezinwazyjnych i promowanie tej techniki przez publikacje, certyfikaty, badania oraz konferencje. W pozostałych państwach za certyfikację odpowiedzialne są centralne komitety certyfikujące w każdym kraju spełniającym normy Międzynarodowej Organizacji Normalizującej (ISO). Jest to pozarządowa, międzynarodowa organizacja zrzeszająca organizacje normalizujące z ponad 90 krajów.

W obydwu systemach kwalifikacje zdobywa się przede wszystkim poprzez odpowiednie szkolenia, co regulują właściwe normy. Wymagany jest również okres czynnego zdobywania doświadczenia oraz egzamin pisemny i prezentacja umiejętności.

Warto wiedzieć...

Przed badaniem termograficznym, pracownik powinien zrobić „obchód” badanych urządzeń lub obiektów dla podwyższenia bezpieczeństwa i efektywności pracy.

BEZPIECZEŃSTWO W MIEJSCU PRACY

Każdy program certyfikujący kładzie nacisk na techniki stosowania termografii oraz umiejętności zapewnienia bezpieczeństwa w miejscu pracy. Kierowanie się ogólnymi zasadami bezpieczeństwa nie zawsze wystarcza, gdyż niektóre ostrzeżenia często dotyczą tylko określonych sytuacji. Na przykład, sprawdzając systemy elektryczne pomiarem termograficznym, kontroler narażony jest na potencjalne zagrożenie wyładowania łukowego.

W wielu przypadkach, kontrolerzy sprawdzają zasilane urządzenia, gdzie natychmiast po zdjęciu osłon, może powstać łuk elektryczny między fazami lub fazą a uziemieniem. Łuk elektryczny występuje w powietrzu i jest wyładowaniem o wysokiej temperaturze spowodowanym przez awarie elektryczne. Temperatura łuku elektrycznego może wynieść nawet 19,427 °C (35,000 °F).

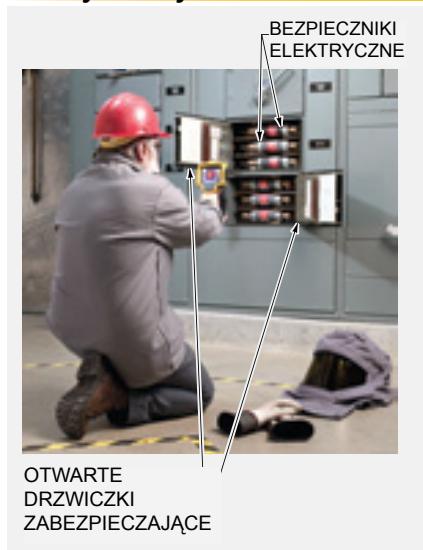
Strzał łuku elektrycznego to wybuch, który ma miejsce, gdy powietrze otaczające urządzenie elektryczne jest zjonizowane i nabiera właściwości przewodzących. Zagrożenie wyładowaniem łuku elektrycznego wzrasta dla układów elektrycznych powyżej 480V.

Granice zabezpieczenia przed łukiem elektrycznym wyznaczają bezpieczną odległość wymaganą przy pracy w odzieży ochronnej (PPE) zapewniającej ochronę

przed poparzeniami spowodowanymi łukiem elektrycznym (tabela 3–2). Podczas gdy zasilanie obwodu w trakcie jego naprawy powinno być zawsze odłączone, wciąż istnieje prawdopodobieństwo, że pobliskie obwody w granicach bezpiecznej pracy będą pod napięciem. Dlatego aby zapobiec łukowi elektrycznemu, należy stosować środki ochronne, takie jak: płaszcze izolacyjne, a także PPE. Skutki wyładowania łuku elektrycznego są jednak często śmiertelne. Należy więc zawsze przestrzegać zasad bezpieczeństwa.

Fot. 3-1. W przypadku konieczności usunięcia jakichkolwiek osłon elektrycznych, wszelkie procedury należy wykonywać ze szczególną ostrożnością oraz stosować tak, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia łuku elektrycznego.

Osłony elektryczne



Wykonywanie pomiarów termograficznych przy założonej osłonie i zamkniętych drzwiczках redukuje co prawda wystąpienie łuku, lecz zmniejsza efektywność pomiarów z powodu ograniczenia pola widzenia kamery osłonami (fot. 3–1). Jednak we współczesnych urządzeniach wiele osłon posiada specjalne, przezroczyste okienka, przepuszczające podczerwień. Takie rozwiązanie zmniejsza ryzyko łuku elektrycznego i wciąż zapewnia prawidłowe

wyniki.

Jeżeli zdjęcie osłon jest niezbędne, wszelkie procedury należy wykonywać ze szczególną ostrożnością oraz stosować tak, aby zminimalizować ryzyko łuku elektrycznego. Norma 70E Narodowego Związku Ochrony Przeciwpożarowej (NFPA) jest jedną z kilku, która może okazać się przydatna podczas stosowania takich procedur.

Wykonanie rutynowej kontroli instalacji elektrycznej przez zespół gwarantuje zachowanie wysokiego poziomu bezpieczeństwa i skuteczności testów. W skład zespołu może wchodzić np. pracownik mierzący kamerą termowizyjną oraz wykwalifikowana osoba otwierająca drzwiczki zabezpieczające, mierząca obciążenia i zamkająca drzwiczki po zakończeniu inspekcji. Osoba wykwalifikowana to taka osoba, która posiada pełną wiedzę i wszelkie umiejętności dotyczące budowy i pracy urządzeń elektrycznych oraz przeszła odpowiednie szkolenie z zakresu bezpieczeństwa.

Kontrole budowlane zazwyczaj są mniej niebezpieczne. Jednak ryzyko nadal istnieje, zwłaszcza w niskich korytarzach oraz na poddaszach. Szczególną ostrożność należy zachować również w miejscach, gdzie trwają roboty budowlane.

Inspektorzy użytkujący kamery termowizyjne w jakimkolwiek otoczeniu przemysłowym muszą być zawsze świadomi istnienia innego ryzyka, np. ewentualnych potknięć, upadków oraz związanego z wejściem na obszar zamknięty. W wielu przypadkach wymagana jest jasna odzież. Podczas pomiarów na dachach należy dostosować się do wszystkich ostrzeżeń przed niebezpieczeństwem upadku, nie tylko na krawędzi dachu, ale również na innych różnicach poziomów lub w przypadku osłabionej struktury podłoża dachu. Prace na dachu nie powinny być wykonywane przez jedną osobę.

W nocy wymagane są dodatkowe środki ostrożności. Zdolność widzenia osoby użytkującej kamerę termowizyjną może zaburzyć wyświetlanie obrazu termicznego na jasnym wyświetlacz. Ślepota zmierzchowa polega na zaburzeniu widzenia w warunkach słabego oświetlenia, w wyniku adaptacji wzroku do jasno podświetlonego ekranu kamery termowizyjnej.

Kontrole termiczne urządzeń zasilanych wysokim napięciem należy wykonywać z bezpiecznej odległości.



Wypadki najczęściej zdarzają się wtedy, gdy pomiary nie są wcześniej planowane lub gdy zmianie ulega rodzaj pracy oraz gdy mierzy się co innego, niż uzgodniono. Kiedy zmieniają się okoliczności, plan należy również dostosować do nowej sytuacji.

Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (OSHA) jest amerykańską agencją rządową utworzoną na podstawie Ustawy o Zdrowiu i Bezpieczeństwie w Pracy z 1970 roku, która wymaga od pracodawców zapewnienia pracownikom bezpiecznych warunków pracy. Na przykład zgodnie z wymaganiami OSHA miejsce pracy musi być zabezpieczone przed ryzykiem poważnego uszkodzenia ciała. Przepisy OSHA egzekwowane przez rząd Stanów Zjednoczonych wymuszają tworzenie bezpiecznych warunków pracy.

STANDARDY I PISEMNE PROCEDURY KONTROLI

Opracowywanie procedur kontroli zapewnia uzyskanie wyników wysokiej jakości. Na przykład próba upieczenia ciasta na podstawie przepisu wydaje się prostsza od pieczenie bez niego. Pisemne procedury testowe można nazwać „przepisem na sukces”.

Wdrażanie w życie tego „przepisu na sukces” przy realizacji inwestycji, nie musi być trudne. Przy inspekcjach pomocne jest stworzenie małej grupy niezależnych osób o różnym poziomie doświadczenia w tego typu pracach, a tym samym reprezentujących różne punkty widzenia, obszary kompetencji i odpowiedzialności. Po każdym opracowaniu pisemnej procedury kontroli, należy ją gruntownie przetestować oraz okresowo weryfikować przez wykwalifikowaną osobę, aby wykluczyć wszelkie nieprawidłowości podczas jej stosowania.

Wiele standardów kontroli stanowi bazę dla zwykłych pisemnych procedur kontroli. Na przykład, komisje składające się z profesjonalistów współpracowały zarówno z ISO, jak i Amerykańskim Stowarzyszeniem Badań i Materiałów, przy opracowywaniu odpowiednich standardów. Amerykańskie Stowarzyszenie Testowania Materiałów (ASTM), będące organizacją międzynarodową, zrzesza techników odpowiedzialnych za tworzenie dobrowolnych standardów, rozpowszechnianie powiązanych z nimi informacji technicznych oraz promowanie bezpieczeństwa i zdrowia publicznego. Celem działalności ASTM jest również podnoszenie jakości produktów, materiałów i usług.

Standardy te pomagają określić efektywność systemów obrazowania w podczerwieni. Wskazują również najlepsze metody inspekcji izolacji budowlanej, miejsc uchodzenia powietrza, układów elektrycznych i mechanicznych, dachów oraz struktur mostów na autostradach.

Fot. 3-2. Kamery termowizyjne do różnych zastosowań i rodzajów testów.

Kamery termowizyjne



DO KONSERWACJI OGÓLNEJ,
ROZWIĄZYWANIA PROBLEMÓW
I PODSTAWOWYCH KONTROLI



DO ZASTOSOWAŃ SPECJALISTYCZNYCH,
ZŁOŻONYCH LUB INTENSYWNYCH
WYMAGAJĄCYCH ZAAWANSOWANEGO
WYKRYWANIA LUB FUNKCJI ANALIZY

Pozostałe organizacje opracowujące standardy w innych krajach mogą określić dodatkowe normy. Na przykład wiele takich standardów zarządzania bezpieczeństwem w instalacjach elektrycznych ma bezpośrednie zastosowanie dla osób kontrolujących układy elektryczne techniką termografii.

Duża różnorodność modeli kamer termowizyjnych dostępnych aktualnie na rynku oraz szeroki zakres cen czyni te przyrządy bardziej dostępnymi. Jednak przewagę nad pozostałymi uzyskują te organizacje, które inwestują w rozwój niezawodnych programów obrazowania termicznego, procedury kontroli oraz wykwalifikowany personel. To one zazwyczaj odnoszą długoterminowe korzyści, których inne organizacje mogą nie umieć wypracować (fot. 3–2).



PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE TEORII

Termodynamika jest nauką o różnicach rozchodzenia się ciepła między dwoma różnymi materiałami. Generowanie obrazów termicznych przez kamery termowizyjne bazuje na zasadach termodynamiki. Technicy muszą być świadomi ograniczeń termografii i kamer termowizyjnych podczas badania różnego rodzaju struktur, urządzeń i materiałów.

PODSTAWY TERMODYNAMIKI

Termodynamika jest nauką o tym, jak energia termiczna (ciepło) rozprzestrzenia się, przenosi oraz wpływa na resztę swojego otoczenia. Chcąc użytkować współczesną kamerę, należy zapoznać się z podstawami zarówno przekazywania ciepła, jak i fizyką promieniowania. Mimo zaawansowanego poziomu techniki termograficznej wyniki pracy człowieka zależą od niego samego. Skuteczność użytkowania kamer termowizyjnych zależy od poziomu umiejętności interpretacji danych przez jej operatora, dodatkowo wymagającej zapoznania się z podstawami przekazywania ciepła i fizyki promieniowania.

Energia to zdolność do wykonywania pracy. Wielkość ta może przybierać różne formy. Na przykład elektrownia opalana węglem w wyniku spalania zamienia energię chemiczną z paliwa kopalnego na energię cieplną. Ta z kolei wprawia w ruch generator turbiny oraz wytwarza energię mechaniczną, przetworzoną następnie na energię elektryczną. Choćż wykorzystanie energii w trakcie tych przetwarzania jest trudne, to nie występują tu żadne jej straty.

Pierwsza zasada termodynamiki to prawo, zgodnie z którym kiedy praca mechaniczna zamieniana jest na ciepło lub kiedy ciepło zamieniane jest na pracę, praca i ciepło są zawsze równoważne. Dużą zaletą w zastosowaniach techniki

termografii jest fakt, że ciepło lub energia cieplna jest produktem ubocznym niemal wszystkich konwersji energii. Energii nie można stworzyć lub zniszczyć, lecz jedynie zamienić na inną jej postać.

Temperatura jest miarą stopnia nagrzania się danego ciała w porównaniu z innym. Ludzie nieświadomie porównują temperaturę swojego ciała do temperatury powietrza otoczenia oraz wrzenia i zamarzania wody.

Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki, ciepło płynie tylko wtedy, gdy występuje różnica temperatur, w kierunku od temperatury wyższej do temperatury niższej, aż do momentu zrównoważenia się. Przepływ ciepła powoduje albo przepływ elektronów, albo zwiększone drgania atomów lub cząsteczek. Te skutki przepływu ciepła są ważne, ponieważ rejestrowane są podczas pomiaru temperatury.

RODZAJE PRZEPŁYWU CIEPŁA

Istnieją trzy rodzaje przepływu energii cieplnej: przewodzenie, konwekcja oraz promieniowanie. Każdy rodzaj opisywany jest jako stan ustalony lub nieustalony. Podczas ustalonego przepływu ciepła jego szybkość jest stała oraz nie zmienia swojego kierunku. Na przykład nagrzana maszyna pod stałym obciążeniem odprowadza ciepło ze stałą prędkością do otoczenia.

W rzeczywistości doskonały, ustalony przepływ ciepła nie istnieje. Zawsze występują niewielkie, nieustalone fluktuacje, które pomija się ze względów praktycznych.

Przewodzenie polega na przepływie ciepła z jednego ciała do drugiego przez ich bezpośredni kontakt. Konwekcja to przepływ energii cieplnej związany z ruchem cząsteczek i/lub cyrkulacją prądów między cieplimi a chłodnymi obszarami powietrza, gazów lub cieczy. Promieniowanie to strumień cząstek lub fal wysyłanych przez ciało, przenoszący energię (fale elektromagnetyczne) bez materialnego środka przekazu. Podczas nagrzewania lub schładzania się maszyny, ciepło jest emitowane w sposób niejednolity. Powyższe zależności są niezmiernie ważne w technice termografii, ponieważ poruszanie się cząsteczek ciepła często wiąże się z temperaturą badanego przedmiotu lub obiektu.

Pojęcie pojemności cieplnej

Pojemność cieplna wyraża zdolność danego materiału do absorbowania i przechowywania ciepła. Przepływ ciepła z różną szybkością i/lub w różnych kierunkach jest nieustalony.

Ponadto, jako że różne materiały są w stanie nieustalonym, przenoszone są

różne ilości energii, zmieniając temperaturę. Na przykład: potrzebna jest niewielka ilość energii, aby zmienić temperaturę powietrza w pokoju w porównaniu z ilością energii potrzebnej do zmiany temperatury wody w basenie o takiej samej objętości. Pojemność cieplna wyraża jak dużo energii jest dodawanej lub odbieranej od materiału, aby zmienić jego temperaturę. Szybkość tej zmiany wpływa także na sposób przepływu ciepła.

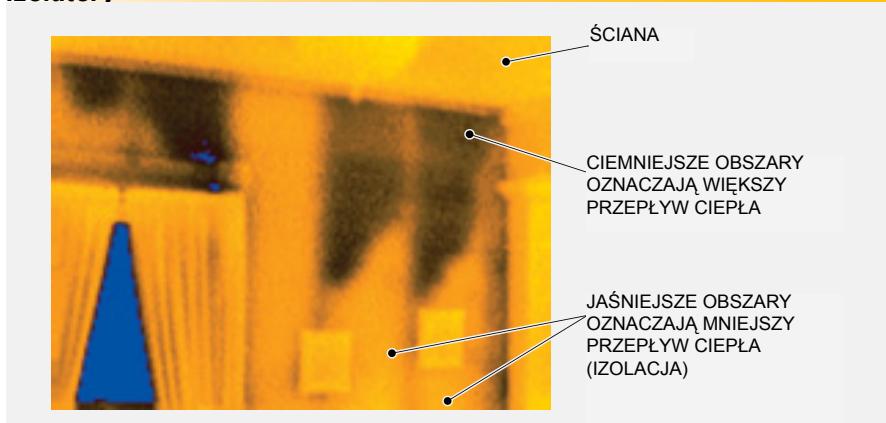
Pojemność cieplna, określona jako zależność pomiędzy ciepłem a temperaturą, z jednej strony może wprowadzać w błąd użytkownika kamery termowizyjnej, ale z drugiej może okazać się przydatna. Na przykład: określenie poziomu płynu w zbiorniku jest możliwe dzięki różnicy między pojemnością cieplną powietrza i cieczy. Jeżeli zbiornik znajduje się z stanem nieustalonym, oba ciała często mają różne temperatury.

Przewodzenie

Przewodzenie polega na przepływie ciepła z jednego ciała do drugiego przez bezpośredni ich kontakt. Przepływ ciepła tym sposobem ma miejsce głównie w ciałach stałych, a także do pewnego stopnia w cieczach i zachodzi podczas przekazywania energii z cieplych cząsteczek przylegającym do nich

Fot. 4-1. Izolatory regulujące przepływ ciepła zamontowane na ścianach. Nieprawidłowo zainstalowana izolacja przepuszcza ciepło.

Izolatory



częsteczkom chłodniejszym. Na przykład: zjawisko przewodzenia występuje podczas dotykania ciepłego kubka z kawą lub zimnej puszki napoju.

Szybkość z jaką przepływa ciepło zależy od przewodnictwa materiałów i różnicy temperatur (ΔT) między ciałami. Te proste zależności bardziej formalnie opisuje prawo Fourier'a. Na przykład: przekazywanie ciepła podczas podnoszenia filiżanki kawy w rękawiczkach jest znikome w porównaniu do bezpośredniego kontaktu z dłonią. Ciepła filiżanka z kawą nie przekazuje tyle ciepła, co gorąca filiżanka, z powodu mniejszej różnicy temperatur. Podobnie jest w przypadku, gdy energia przekazywana jest z taką samą szybkością, ale na większej powierzchni. Wówczas przekazane zostanie więcej ciepła.

Przewodnik jest substancją łatwo przewodzącą ciepło. Typowymi przewodnikami ciepła są metale. Jednak przewodnictwo metali może się różnić w zależności od ich rodzaju. Na przykład żelazo charakteryzuje się mniejszą przewodnością niż aluminium. Izolator to materiał nie wykazujący przewodzenia ciepła. Nieefektywnymi przewodnikami, znany jako izolatory, mogą być takie proste materiały, jak: pianka izolacyjna

czy szmatki wielowarstwowe, blokujące powietrze i spowalniające przepływ ciepła (fot. 4–1).

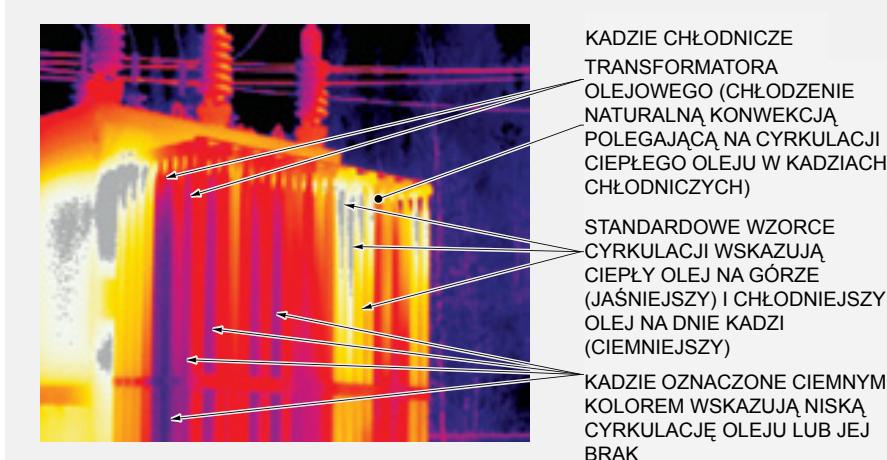
Konwekcja

Konwekcja to proces przekazywania ciepła związany z cyrkulacją prądów między cieplimi a chłodnymi obszarami cieczy. Proces ten zachodzi zarówno w cieczach, jak i w gazach oraz dotyczy ruchu cząsteczek o różnych temperaturach. Na przykład chmura burzowa stanowi konwekcję zachodzącą na dużą skalę, ponieważ masy ciepłego powietrza wznoszą się, a chłodnego opadają. W mniejszym wymiarze konwekcja występuje, gdy wlejemy zimne mleko do filiżanki gorącej kawy, które zaraz opadnie na dno.

Konwekcyjny przepływ ciepła po części zależy również od różnic temperatur i wielkości powierzchni. Na przykład chłodnica dużego silnika oddaje więcej ciepła niż małego silnika, ze względu na większą powierzchnię. Ponadto na konwekcyjny przepływ ciepła wpływają takie czynniki, jak: szybkość przepływu, kierunek przepływu cieczy oraz stan powierzchni badanego przedmiotu. Osadzający się kurz na chłodnicy silnika

Fot. 4-2. Naturalna konwekcja występuje, gdy cieplejsze płyny wznoszą się, a chłodniejsze opadają, tak jak w kadziach chłodniczych transformatorów olejowych.

Konwekcja naturalna

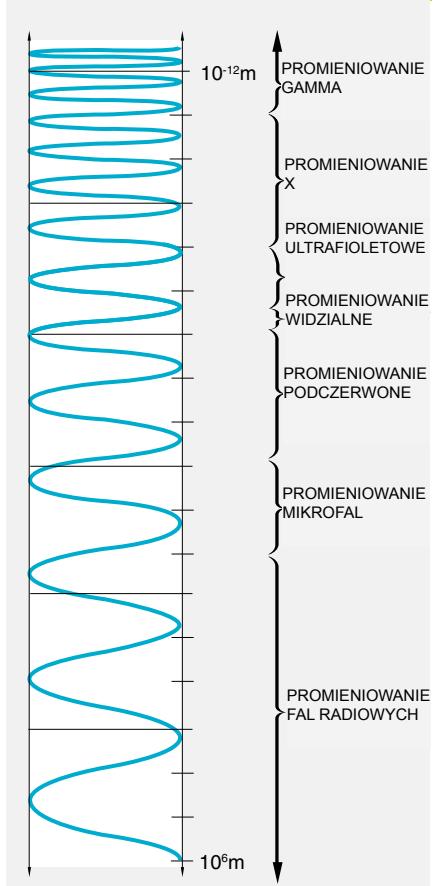


utrudnia wymianę ciepła.

Większość z nas pojmuje instynktownie powyższe zależności przewodzenia, naukowo ujęte w prawie chłodzenia Newtona. Naturalna konwekcja występuje, gdy cieplejsze płyny wznoszą się, a chłodniejsze opadają, tak jak w kadziach chłodniczych transformatorów olejowych (fot. 4–2).

Rys. 4-1. Spektrum elektromagnetyczne określa zakres każdego rodzaju promieniowania elektromagnetycznego, na podstawie długości fali.

Spektrum elektromagnetyczne



Konwekcja wymuszona, np. przez pracę pomp lub wentylatora, tłumi typowe skutki naturalnej konwekcji. Wiatr powoduje odczucie zimna, co jest skutkiem szybszej utraty ciepła. Na temperaturę przedmiotów lub obiektów badanych kamerą termowizyjną ma znaczny wpływ oddziaływanie wiatru.

Promieniowanie

Promieniowanie polega na przekazywaniu między przedmiotami energii elektromagnetycznej, w tym ciepła, z prędkością światła. Ponieważ nie jest tu wymagany żaden materialny środek przekazu, promieniowanie może występować nawet w próżni. Przykładem energii elektromagnetycznej jest odczuwanie ciepła słońca w chłodny dzień.

Energia elektromagnetyczna jest promieniowaniem w formie fal elektrycznych i magnetycznych. Energia elektromagnetyczna może przybrać kilka postaci, w tym: fali świetlnej, radiowej oraz promieniowania podczerwonego. Główną różnicą powyższych rodzajów fal jest ich długość. Podczas gdy, wzrok ludzki wykrywa długości fal znanych jako światło widzialne, kamery termowizyjne wykrywają długości fal będących wyemitowanym ciepłem (lub promieniowaniem podczerwonym). Każda długość fali stanowi inną część spektrum elektromagnetycznego.

Równanie Stefana Boltzmanna opisuje zależności ruchu ciepła w trakcie promieniowania. Wszystkie przedmioty promienią ciepło. W przypadku kondukcji i konwekcji czysta ilość emitowanej energii zależy od różnic obszaru i temperatury. Im cieplejszy jest przedmiot, tym więcej energii emitemuje. Na przykład rozgrzany palnik kuchenki emitemuje więcej energii niż zimny.

Promieniowanie cieplne jest wymianą ciepła poprzez fale elektromagnetyczne. Główną różnicą fal jest ich długość. Podczas gdy, promieniowanie elektromagnetyczne (światło) jest dla ludzkiego oka widzialne, promieniowanie cieplne jest widzialne tylko za pomocą systemów obrazowania termicznego. Spektrum elektromagnetyczne składa się z fal elektromagnetycznych o różnej długości i różnej energii (rys. 4–1).

Odziaływanie promieniowania z materiałem

Światło oraz promieniowanie podczerwone zachowują się podobnie w zetknięciu z różnymi materiałami. Niektóre rodzaje powierzchni, jak np. metalowa okładzina pod palnikiem kuchenki, odbijają promieniowanie podczerwone. Odbicia te, znane jako „odbicia cieplne” zarówno w przypadku ciepłych, jak i zimnych przedmiotów są rejestrowane przez kamery termowizyjne na niektórych powierzchniach, np. jasnych metali. W niektórych przypadkach, promieniowanie podczerwone jest przekazywane przez takie powierzchnie, jak soczewka systemu obrazowania termicznego. Promieniowanie podczerwone może być również pochłonięte przez powierzchnię, np. przez dłoń w pobliżu gorącego palnika kuchenki. W takim przypadku następuje zmiana temperatury, powodująca większą emisję energii przez powierzchnię.

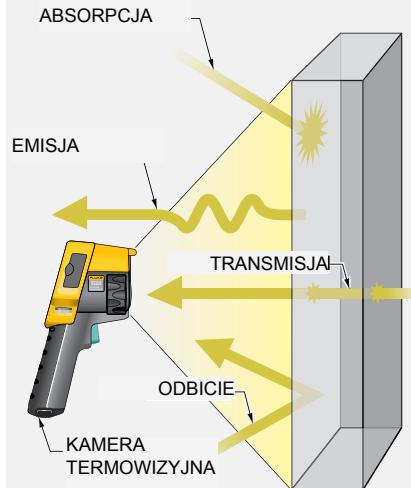
Transmisja (przekazywanie) to przejście promieniowanej energii przez materiał lub strukturę. Promieniowanie podczerwone może być również pochłonięte przez powierzchnię, powodując zmianę temperatury oraz wyższą emisję energii przez powierzchnię danego przedmiotu.

Absorpcja (pochłanianie) jest to przechwycenie emitowanej energii. **Emisja** to wysyłanie emitowanej energii. Chociaż kamery termowizyjne rejestrują promieniowanie odbite, przekazywane, pochłaniane czy emitowane, to jednak tylko energia pochłaniana lub emitowana wpływa na temperaturę powierzchni (rys. 4–2).

Ponadto, to intensywność emitowania energii wpływa na ilość ciepła emitowanego przez powierzchnię. Większość materiałów niemetalicznych, np. powierzchnie pomalowane lub skóra ludzka, emitują energię o dużym natężeniu. Oznacza to, że wraz ze wzrostem ich temperatury, emitują o wiele więcej energii, tak jak np. palnik kuchenki.

Rys. 4-2. Promieniowanie może być odbite, przekazane, pochłonięte lub emitowane.

Odbicie, przekazywanie, pochłanianie oraz emisja promieni



Emisyjność pozostałych materiałów, również wielu niepomalowanych lub silnie utlenionych metali, jest mniejsza. W przypadku nagrzanej czystej powierzchni metalu następuje stosunkowo mały wzrost przepływu ciepła. Różnice między ciepłą a chłodną powierzchnią metalu są trudne do zauważenia przez ludzkie oko, a nawet kamerę termowizyjną. Czyste metale posiadają zwykle niską emisyjność (niska intensywność emisji). Emisyjność określa wartość od 0,0 do 1,0. Powierzchnia o wartości emisyjności 0,10, typowo dla błyszczącej miedzi emituje mało energii w porównaniu ze skórą człowieka (wartość emisyjności 0,98).

Warto wiedzieć...

Chropowatość powierzchni określa rodzaj oraz kierunek odbicia promieniowania. Gładka powierzchnia stanowi idealne „ lustro”, podczas gdy chropowata lub wzorzysta ma właściwości rozpraszające.

Jednym z wyzwań użytkowania kamery termowizyjnej jest wyświetlanie energii normalnie niewidocznej dla ludzkiego oka. Czasami może to być mylące. Zarówno powierzchnie o niskiej emisjności, takie jak metale, jak również te które odbijają warunki cieplne swojego otoczenia, emitują nieefektywnie. Pomiary powierzchni kamerą termowizyjną obrazują połączenie emitowanego i odbijającego się promieniowania podczerwonego. Dlatego ważne jest, aby użytkownik kamery wiedział, jak rozróżniać energię emitowaną od odbitej.

Na emisjność materiału może wpływać też kilka innych czynników. Oprócz rodzaju materiału, emisjność może się różnić w zależności od stanu powierzchni, temperatury oraz długości fali. Intensywność emisjności przedmiotu może się także różnić w zależności od kąta patrzenia (fot. 4–3).

Określenie emisjności większości materiałów, które nie są błyszczącymi metalami, nie sprawia trudności. Emisjność wielu materiałów została już określona, a jej wartości można znaleźć w tabelach emisjności. Wartości te jednak powinny służyć tylko jako wskazówki w trakcie pomiarów. Nawet dokładna wartość emisjności materiału może się różnić od jej wartości z tabeli, dlatego niezbędne jest posiadanie wiedzy na temat pomiarów rzeczywistej wartości emisjności (tabela 4–1).

Ubytki, szczeliny oraz otwory emitują energię cieplną z większą intensywnością niż powierzchnie je otaczające. Ta sama zależność dotyczy światła widzialnego. Żrenica ludzkiego oka jest czarna, ponieważ jest węglением i absorbuje światło. Powierzchnia pochłaniająca całe światło jest „czarna”. Wartość emisjności węglenia wynosi w przybliżeniu 0,98, jeżeli jego głębokość jest siedem razy większa od szerokości.

Tabela 4-1. Wartości emisjności powszechnie stosowanych materiałów można znaleźć w tabelach emisjności.

Wartości emisjności powszechnie stosowanych materiałów	
Materiał	Emisjność*
Aluminium, wypolerowane	0,05
Cegła, zwyczajna	0,85
Cegła, ogniotrwała, chropowata	0,94
Żelazolane, surowy odlew	0,81
Beton	0,54
Miedź, wypolerowana	0,01
Miedź, utleniona do czerni	0,88
Taśma elektryczna, czarny plastik	0,95
Szkło	0,92
Lakier, bakelit	0,93
Farba, na bazie oleju	0,94
Papier, czarny, matowy	0,94
Porcelana, szklista	0,92
Guma	0,93
Stal, galwanizowana	0,28
Stal, silnie utleniana	0,88
Papier smołowy	0,92
Woda	0,98

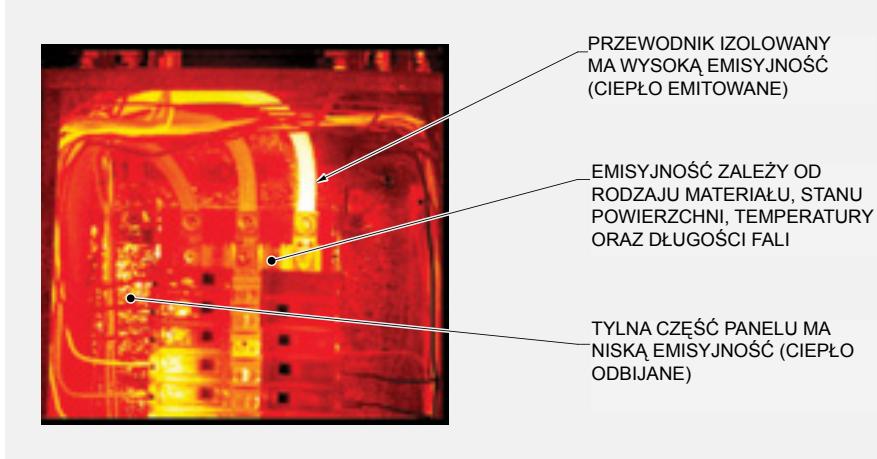
*Emisjność prawie wszystkich materiałów mierzona jest w 0°C (32°F), ale nie różnią się przez to znacząco w temperaturze pokojowej.

Temperatura powierzchni

Kamery termowizyjne rejestrują tylko temperatury powierzchni większości przedmiotów (jeżeli są matowe) w postaci wzorców termicznych, dlatego użytkownik kamery powinien umieć je interpretować i analizować, a także powiązać je z temperaturami wewnętrznymi i budową mierzonego przedmiotu. Na przykład obraz termiczny zewnętrznej ściany domu pokazuje różne temperatury, ale zadaniem użytkownika kamery jest powiązanie ich z budową oraz ociepleniem budynku. Dokładne wykonanie tego zadania umożliwia zrozumienie jak ciepło przepływa przez różne części oraz materiały w ścianie.

Fot. 4-3. Wartość emisyjności zależy od rodzaju materiału, stanu powierzchni, temperatury oraz długości fali.

Emisyjność



W chłodny dzień ciepło ze środka domu przepływa przez strukturę ściany na jej zewnętrzną powierzchnię, a następnie jej temperatura wyrównuje się z otoczeniem. W tym momencie użytkownik kamery musi zinterpretować obraz termiczny mierzonej powierzchni. Zależności te mogą być całkiem złożone, ale w większości przypadków wystarczy racjonalne podejście oraz znajomość podstaw fizyki.

Emisyjność

Obraz termiczny niemalowanego lub słabo utlenianego metalu jest trudny do odczytu ze względu na niską emisyjność metali oraz ich właściwości odbijające. Bez względu na to czy obrazowany jest rozkład temperatur, czy mierzmy temperaturę metodą radiometryczną, należy wziąć pod uwagę powyższe czynniki. Wiele modeli kamer termowizyjnych umożliwia korektę zarówno emisyjności, jak i odbitego otoczenia cieplnego. Tabele korekty emisyjności odnoszą się do wielu materiałów.

Tabele korekty emisyjności pomagają zrozumieć właściwości danego materiału. Jednak w większości przypadków powierzchni o niskiej emisyjności, wyniki ich pomiarów mogą być błędne. Powierzchnie tego typu należy np. pokrywać taśmą elektryczną lub farbą,

aby zwiększyć ich emisyjność. Dzięki temu można podwyższyć dokładność oraz usprawnić interpretowanie wyników.

DOKŁADNOŚĆ POMIARU TEMPERATURY

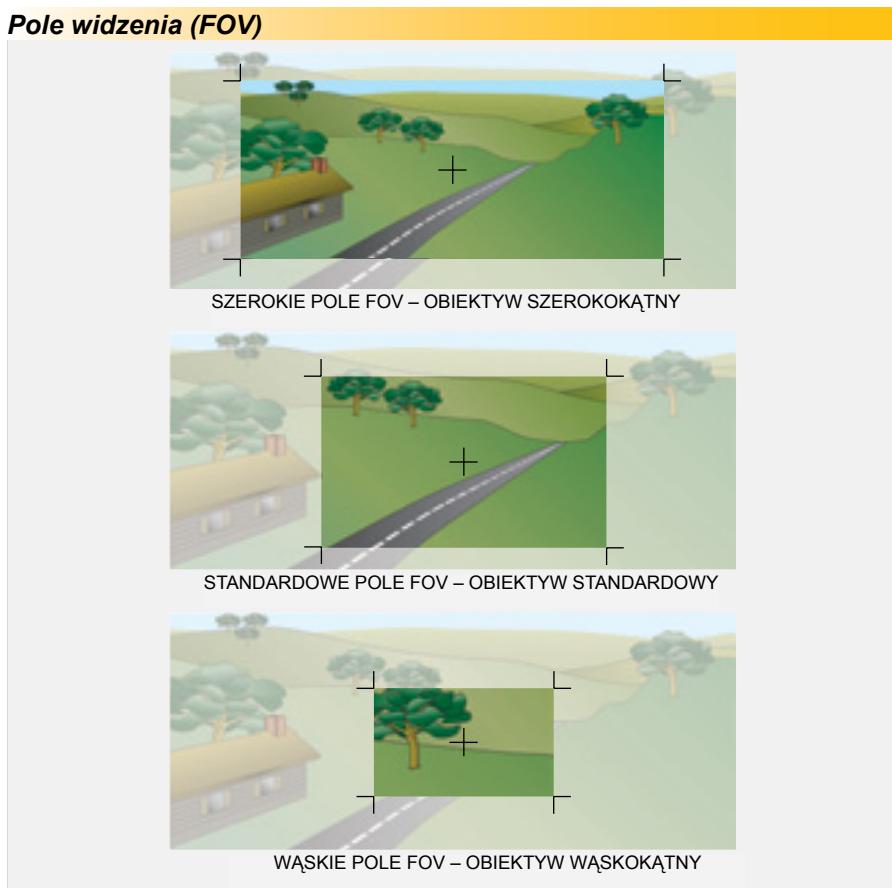
Dokładność współczesnych przyrządów testowych na podczerwień jest dość wysoka. Dokładność pomiarów przedmiotów o wysokiej emisyjności, umiarkowanie cieplnych powierzchnie w granicach rozdzielczości pomiaru układu wynosi typowo $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($3,6^{\circ}\text{F}$) lub 2 % pomiaru (może się jednak różnić w zależności od modelu kamery). Wyższa dokładność wyników pomiarów podnosi atrakcyjność technologii podczerwieni, również ze względu na brak konieczności bezpośredniego kontaktu przyrządu testowego z badanym przedmiotem.

Poniżej przedstawiono czynniki, wpływające na zmniejszenie dokładności wyników pomiarów temperatury polegających na detekcji promieniowania podczerwonego:

- Wartość emisyjności poniżej 0,6
- Różnice temperatur rzędu 30°C (54°F)
- Pomiary poza rozdzielczością układu (mierzony obiekt lub przedmiot jest za mały lub w zbyt dużej odległości)
- Pole widzenia

Rys. 4–3. Pole widzenia (FOV) to parametr określający obszar widzialny na obrazie termicznym przy zastosowaniu określonego obiektywu.

Pole widzenia (FOV)



Pole widzenia (FOV)

Pole widzenia (FOV) to parametr określający wielkość obszaru widzialnego na obrazie termicznym. Niezależnie od wielkości matrycy, wielkość pola widzenia FOV w najwyższym stopniu zależy od obiektywu. Niezależnie od użytego obiektywu duże matryce zapewniają bardziej szczegółowy widok mierzonego obiektu. Szerokie pole widzenia przydaje się zwłaszcza w przypadku pracy na podstacjach w terenie lub wewnętrz budynku. Podczas gdy mniejsze matryce są wystarczające do prac wewnętrz budynków, to już pomiary na podstacjach wymagają większego pola widzenia (rys. 4–3).

Warto wiedzieć...

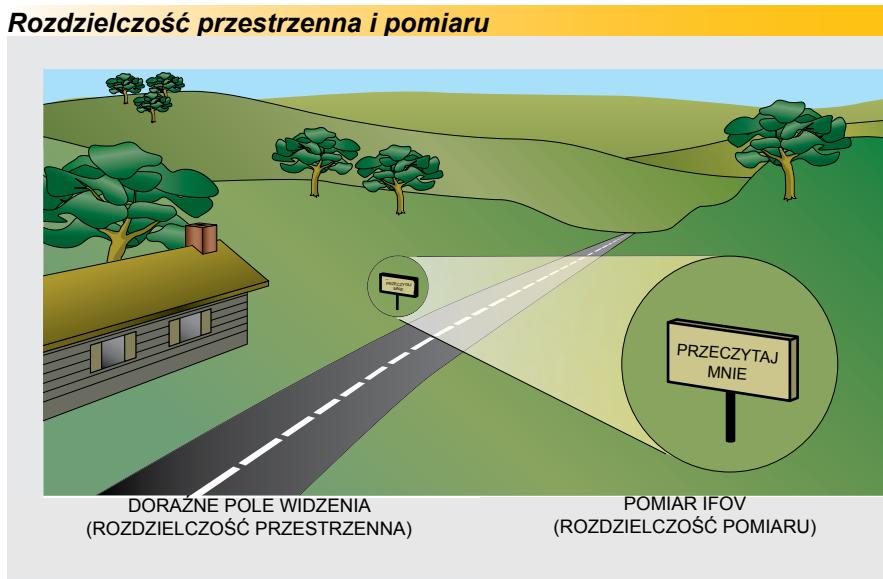
Wszystkie przedmioty testowane kamerą termowizyjną promieniują energię możliwą do zmierzenia w paśmie podczerwieni. Obiekt nagrzany emiteme więcej energii. Ludzkie oko dostrzega bardzo gorące przedmioty emitujące większe ilości energii.

Doraźne pole widzenia (IFOV)

Doraźne pole widzenia (IFOV) to parametr określający zdolność kamery termowizyjnej do wyodrębnienia szczegółów przestrzennych (rozdzielncość przestrzenna). Parametr IFOV zwykle wyraża się jako kąt w miliradianach (mRad). Podczas wyświetlania z pojedynczego detektora przez obiektyw parametr IFOV

Rys. 4-4. Pomiar IFOV to pomiar rozdzielczości kamery termowizyjnej dla najmniejszego przedmiotu mierzonego z danej odległości. Rozdzielcość przestrzenna umożliwia pokazanie tabliczki z danej odległości, a rozdzielcość pomiaru określa możliwość odczytania napisu na tabliczce po powiększeniu przedmiotu lub z mniejszej odległości.

Rozdzielcość przestrzenna i pomiaru



określa, jaki obszar stanowi pole widzenia z danej odległości.

Pomiar IFOV jest pomiarem rozdzielczości kamery termowizyjnej, dotyczącej najmniejszego przedmiotu mierzonego z danej odległości (rys. 4-4). Wynik podawany jest jako kąt (w mRad), ale zazwyczaj jest większy o współczynnik 3 od IFOV. Wynika to z faktu, że kamera termowizyjna wymaga więcej informacji dotyczących promieniowania badanego przedmiotu do zmierzenia go niż wykrycia. Bardzo istotna jest znajomość oraz praca w granicach rozdzielczości przestrzennej i pomiaru, określonej dla każdego układu. Niespełnienie tych warunków może spowodować niedokładne wyniki pomiarów lub przeoczenie ważnych kwestii.

Wpływ środowiska

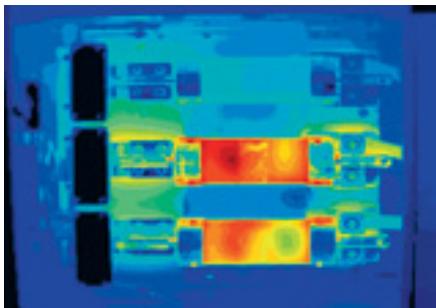
Wynik pomiaru powierzchni, wykonanego nawet z dużą precyją, może się znacznie zmniejszyć, jeżeli gradient termiczny między mierzoną powierzchnią a ciepłem wewnętrznym jest duży, tak jak w przypadku nieprawidłowych

podłączeń wewnętrz elektrycznych urządzeń wypełnianych olejem. Zmiany na powierzchni spowodowane zmianami w połączeniach wewnętrznych nie są widoczne dla użytkownika kamery termowizyjnej. Co zaskakujące, nawet elektryczne połączenia skręcone śrubami często mają duży gradient, nawet z małej odległości fizycznej. Dlatego interpretując obraz termiczny, należy wziąć pod uwagę warunki wewnętrzne.

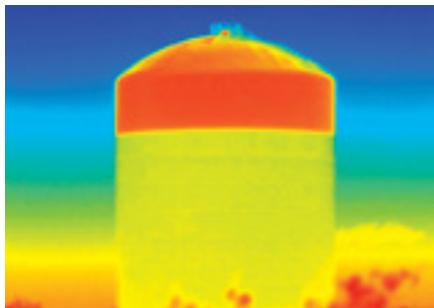
Podobny spadek wartości następuje, wtedy gdy wpływ otoczenia na temperaturę powierzchni jest znaczący lub nieznany. Tak jak w przypadku pomiarów dachu o niskim nachyleniu w celu wykrycia zawilgoceń podczas silnego wiatru. Miejsca występowania wilgoci nie są możliwe do ustalenia. Charakterystyczna sygnatura termiczna często znika. Myjące mogą być również mokre obszary powierzchni w trakcie wyparowywania lub zamarzania zgromadzonej tam cieczy.



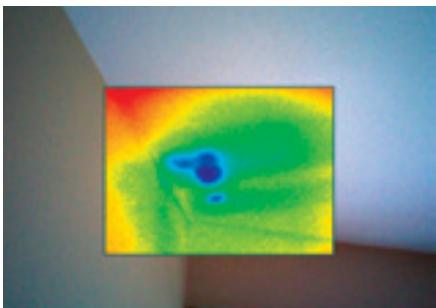
PRZYKŁADOWE OBRAZY CIEPLNE



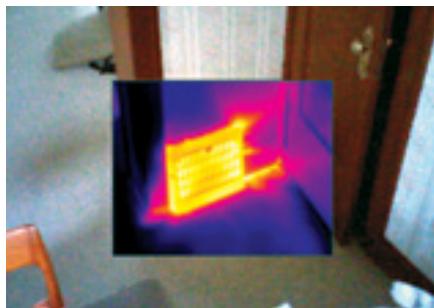
Fot. 5-1. Punkt przegrzania widoczny na obrazie cieplnym, nie zawsze wskazuje główną przyczynę problemu. Bezpiecznik na samej górze może być przepalony, a środkowy pracować nieprawidłowo.



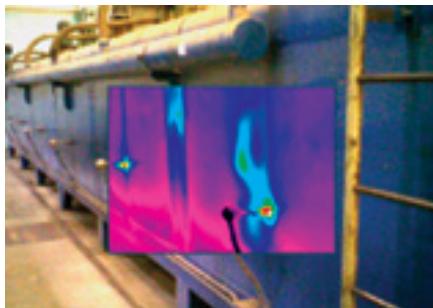
Fot. 5-2. Poziom cieczy w zbiorniku można prosto określić w odpowiednich warunkach.



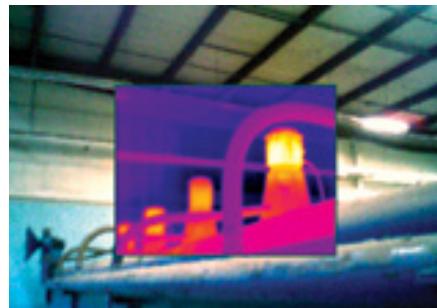
Fot. 5-3. Niebieski (lub ciemny) punkt na obrazie termicznym wskazuje niepożądane wystąpienie wilgoci na suficie.



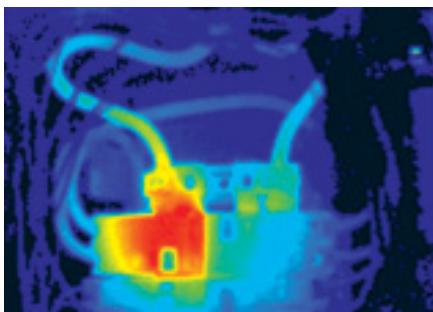
Fot. 5-4. Jasna kolorowa część schematu rozkładu temperatur nałożonych na siebie obrazów termicznego i widzialnego (obraz w obrazie - PIP), instalacji HVAC wskazuje nadmierne uchodzenie powietrza w przewodach wentylacyjnych.



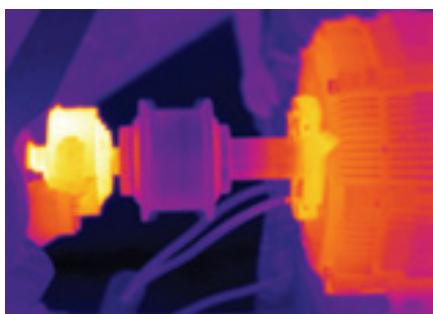
Fot. 5-5. Nieprawidłowy rozkład temperatur na piecu wyżarzającym może oznaczać uszkodzenie izolacji ogniotrwałej.



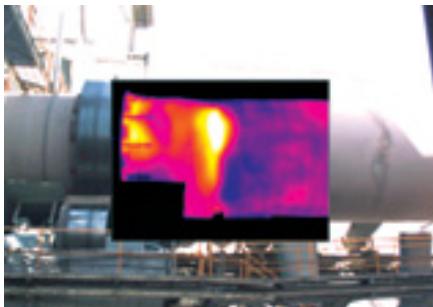
Fot. 5-6. Silnik wentylatora po prawej stronie pieca do wyżarzania, widoczny jako obszar cieplejszy od innych może pracować nieprawidłowo.



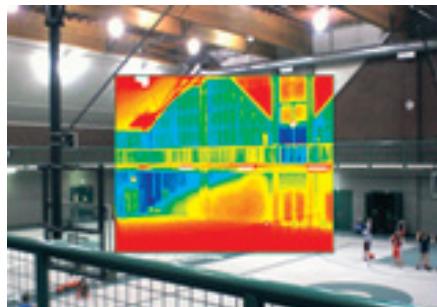
Fot. 5-7. Na obrazie termicznym widoczne jest połączenie o wysokiej rezystancji lub usterka obudowy wyłącznika obwodu, czego nie wykryje się w obrazie widzialnym.



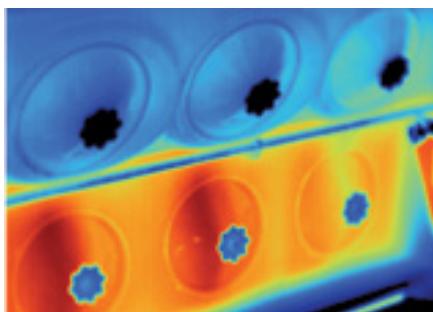
Fot. 5-8. Gdy na obrazie widzialnym nie widać żadnej nieprawidłowości, rozkład temperatur na silniku i sprzężeniu wskazuje na problem ze współosiowością.



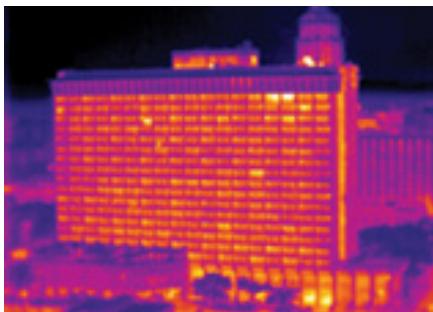
Fot. 5-9. Termografia służy do monitorowania zabezpieczeń ogniodpornych i wykrywania obszarów nieprawidłowości w piecach cementowych lub innych urządzeniach do obróbki.



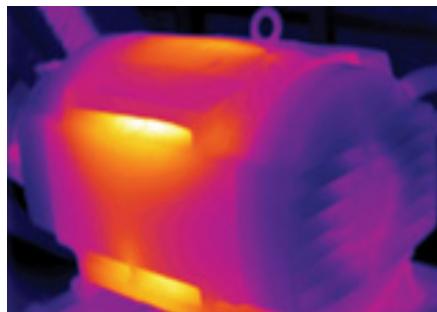
Fot. 5-10. Termografię z powodzeniem można stosować do obrazowania niewidocznej konstrukcji budynku i innych jego elementów, takich jak gliniana berma na zewnątrz tej sali gimnastycznej.



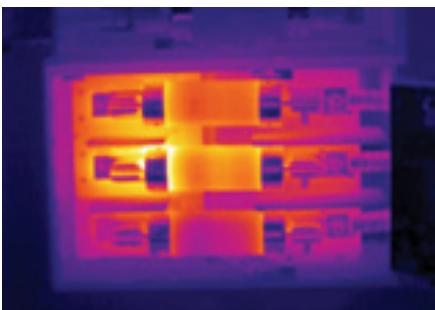
Fot. 5-11. W przeciwieństwie do cylindrów prawidłowo pracujących, cylindry w których brak jest zapłonu widoczne są w chłodniejszych barwach.



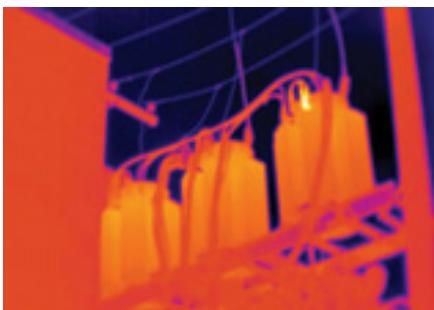
Fot. 5-12. Kamery termowizyjne skanują duże budynki oraz inne obiekty, aby zlokalizować nieprawidłowe różnice temperatur mogące oznaczać potencjalne nieprawidłowości.



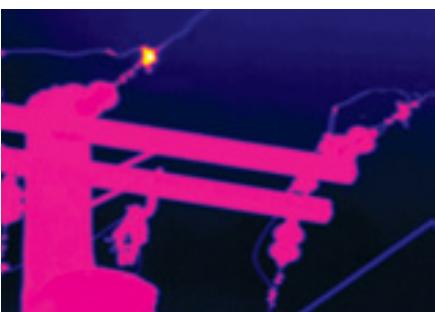
Fot. 5-13. Obraz termiczny prawidłowo pracującego silnika systemu uzdatniania powietrza wskazuje rozpraszańcie ciepła przez otwory wentylacyjne.



Fot. 5-14. Jasno kolorowy rozkład temperatur z zespołu bezpieczników wskazuje możliwość wystąpienia wysokiej rezystancji lub wewnętrzny problem ze środkową fazą.



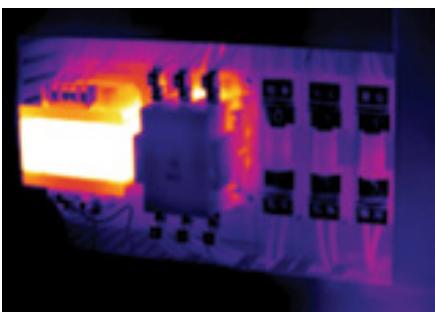
Fot. 5-15. Gorąca tuleja oraz zaczep na podwyższonym transformatorze jest oczywistą oznaką nieprawidłowości.



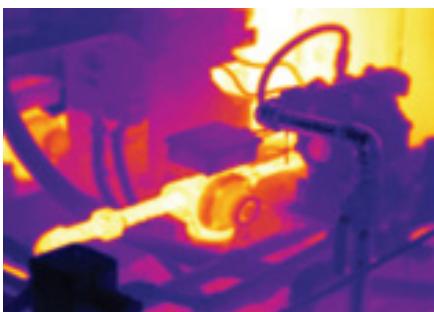
Fot. 5-16. Zwiększenie obciążenia w przypadku wysokiej rezystancji zwory (prawdopodobnie ze względu na korozję) może spowodować poważne konsekwencje.



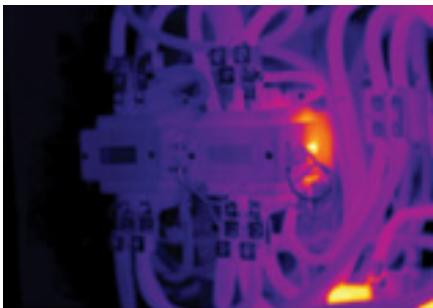
Fot. 5-17. Wszelkie nieprawidłowości działania wewnętrznych części w centrum sterowania silnikami można łatwo wykryć kamerą termowizyjną.



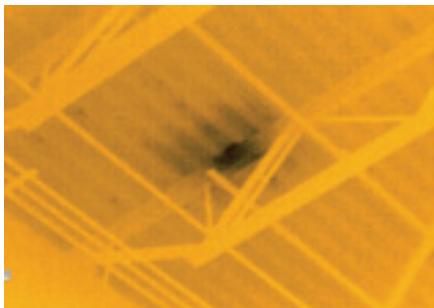
Fot. 5-18. Potencjalny stan niewyważenia obciążzeń (po prawej stronie) może być łatwo przeoczony bez odpowiedniego dopasowania poziomu i szerokości obrazu.



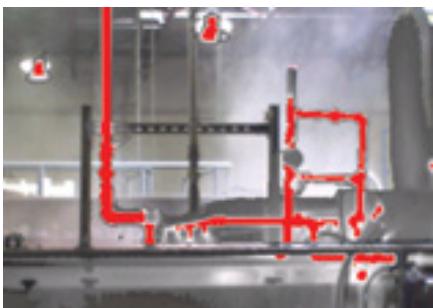
Fot. 5-19. Technik zaznajomiony z urządzeniami mechanicznymi może rozwiązać większość przypadków nieprawidłowości i wykonać niezbędne prace konserwacyjne.



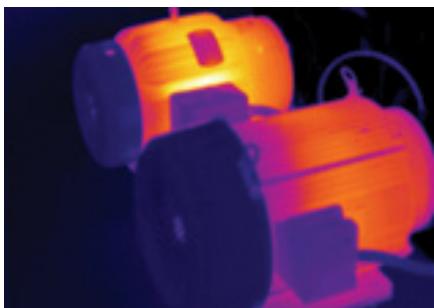
Fot. 5-20. Porównując pracę podobnych części w mniej więcej takich samych warunkach obciążenia, widoczne jest potencjalne wystąpienie nieprawidłowości w środku urządzenia.



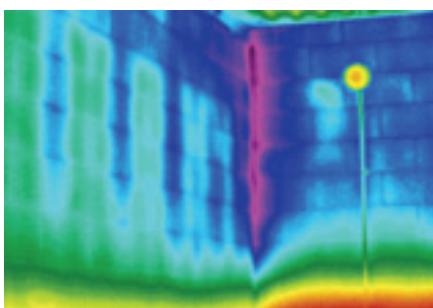
Fot. 5-21. Kamery termowizyjne można używać do obrazowania termicznego przemokniętej izolacji i wykrywania przecieków w dachu o niskim nachyleniu. Jeżeli warunki są sprzyjające a metalowe podłożę dachowe jest pomalowane, wszelkie nieprawidłowości cieplne można wykryć od wewnętrz.



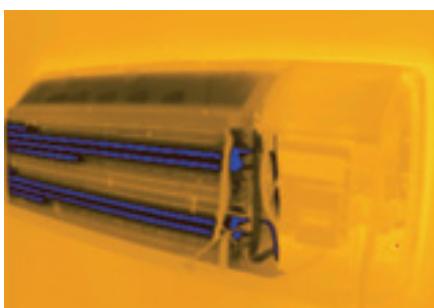
Fot. 5-22. Ustawienia obrazowania kolorami nasyconymi oraz paletą odcienni szarości umożliwiają wykrywanie gorącej wody i prawidłowo działających otwartych zaworów parowych.



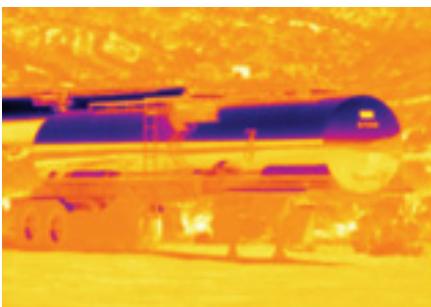
Fot. 5-23. Nawet jeżeli obrazy cieplne dwóch różnych silników i układu pomp nie są takie same, mogą pracować prawidłowo.



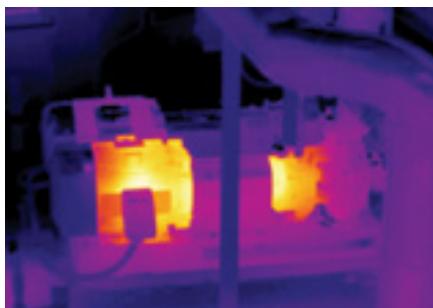
Fot. 5-24. Obraz termiczny budynku pokazuje wystąpienie wilgoci na styku dwóch ścian oraz nieprawidłowości konstrukcji.



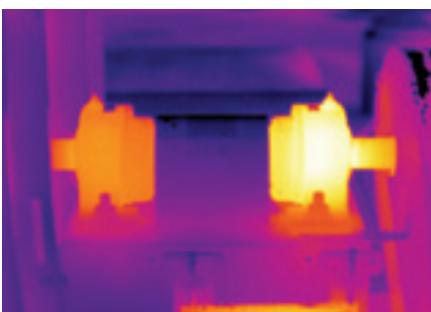
Fot. 5-25. Ciemno-zabarwione obszary przedstawiają rozprowadzanie się płynu chłodzącego po cewkach przemysłowego klimatyzatora.



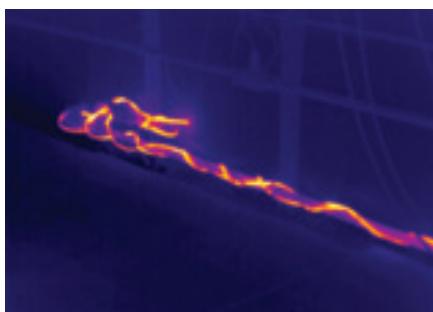
Fot. 5-26. Powyższe zdjęcie platerowanej cysterny stanowi przykład obrazowania termicznego powierzchni o niskiej emisjności. Metal odbija chłód bezchmurnego nieba oraz ciepło emitowane przez grunt w słoneczny dzień.



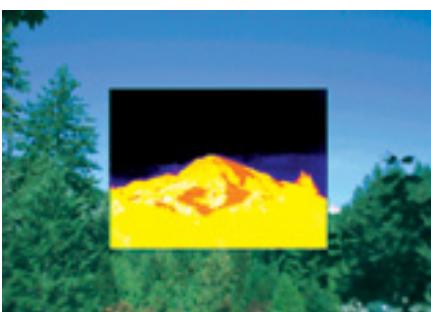
Fot. 5-27. pomiary kamerą termowizyjną umożliwiają określenie prawidłowości pracy urządzeń. Obraz termiczny silnika oraz układu pomp może ostrzec przed wystąpieniem nieoczekiwanej przestój pracy.



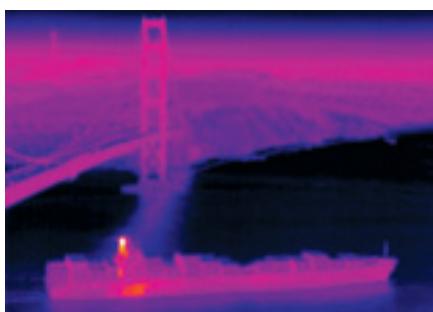
Fot. 5-28. Prawa osłona łożyska turbiny nawiewno-wywiewnej jest znacznie cieplejsza od drugiej, co wskazuje na nieprawidłowość związaną ze smarowaniem, współosiowością lub nabiciem pasa.



Fot. 5-29. Technikę termografii stosuje się nawet do rozwiązywania problemów z przewodem grzewczym wodociągu, do zamarznięcia którego w chłodne dni nie można dopuścić.



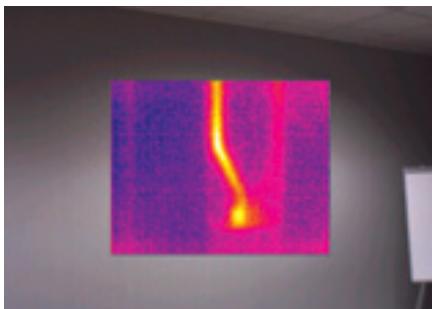
Fot. 5-30. Wszystkie przedmioty i obiekty na ziemi emitują energię podczerwoną, nawet lodowce na szczytach gór.



Fot. 5-31. Wyniki pomiarów kontenerowca nocą wskazują, że komin oraz maszynownia mogą być wykryte nawet z dużych odległości.



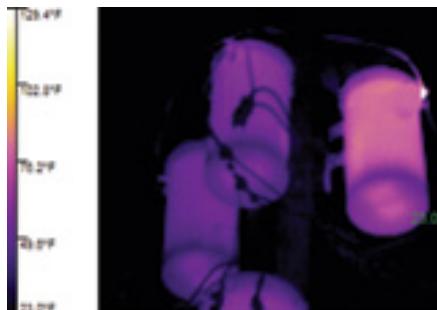
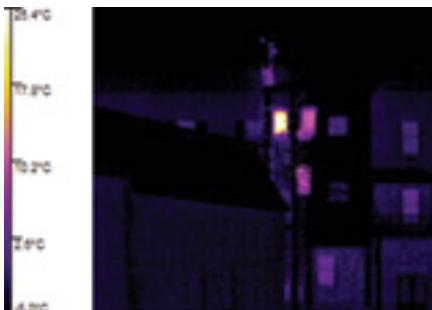
Fot. 5-32. Zdjęcie wykonane zwykłą kamerą uniemożliwia rozróżnienie szczegółów horyzontu miasta lub nieba w mglisty, letni dzień. Szczegóły te, jak i różnego rodzaju chmury są widoczne dopiero na obrazie termicznym.



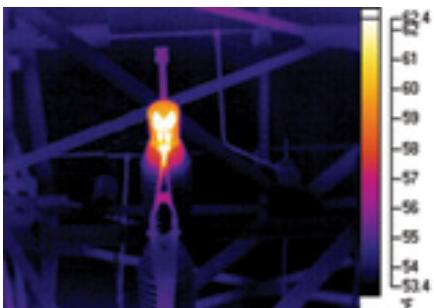
Fot. 5-33. Wykrycie nawet niskiej temperatury powierzchni może wskazywać na poważne nieprawidłowości, takie jak rozdzielony przewód zerowy lub niewłaściwe uziemienie systemu oświetleniowego. Może to doprowadzić do niebezpiecznego rozgrzewania się metalowej rynienki wewnętrz, a w efekcie końcowym do pożaru.



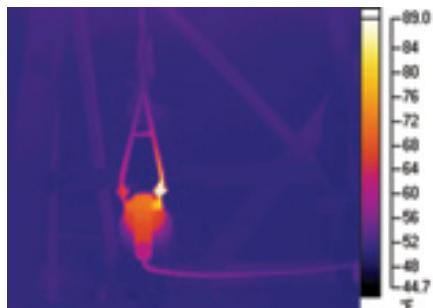
Fot. 5-34. Nieprawidłowości, takie jak: gorący zatrask lub zakończenia zawiasu złącza wysokonapięciowego można łatwo wykryć przy prawidłowym obciążeniu oraz niewielkim wietrze.



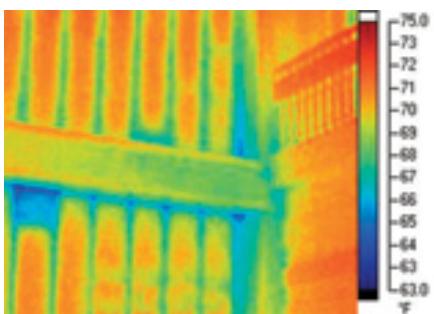
Fot. 5-35. Pewne nieprawidłowości można wykryć kamerą termowizyjną nawet z dużej odległości (zdjęcie po lewej stronie). Bardziej szczegółowa analiza często wymaga użycia teleobiektywu lub przybliżenia się do mierzonego urządzenia (zdjęcie po prawej stronie).



Fot. 5-36. Nadmierne nagrzanie wyłącznika spowodowane wysoką rezystancją często oznacza poważny i kosztowny problem, ponieważ nawet względnie niskie temperatury mogą spowodować uszkodzenia.



Fot. 5-37. Ze względu na to, że równoległe ścieżki przepływu prądu występują w wielu wyłącznikach, punkt przegrzania może oznaczać prawidłowe połączenie, a chłodniejsza strona wskazywać faktyczną nieprawidłowość.



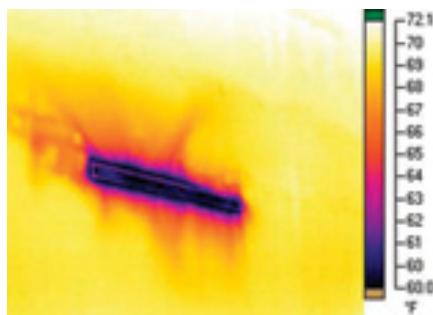
Fot. 5-38. Niewielki ubytek izolującej waty szklanej może prowadzić do uchodzienia powietrza wzdłuż krawędzi pozostałych obszarów.



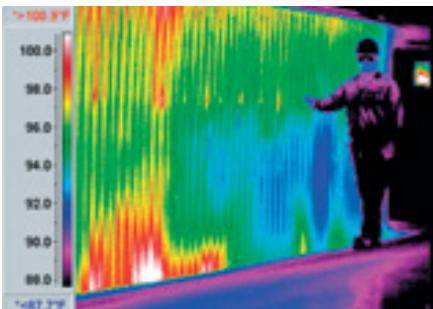
Fot. 5-39. Niedokładne uszczelnienie w wielu miejscach tego budynku powoduje uchodzić cieplego powietrza przez izolującą watę szklaną.



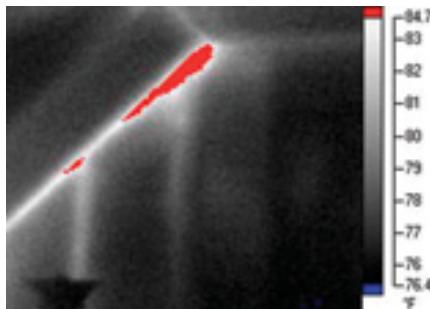
Fot. 5-40. Podwyższona temperatura transformatora na słupie elektrycznym może wskazywać potencjalną nieprawidłowość.



Fot. 5-41. Schłodzone powietrze może uchodzić na złączach przewodów wentylacyjnych instalacji HVAC.



Fot. 5-42. Obszary o wyższej temperaturze powierzchni bojlera mogą być spowodowane awarią zabezpieczenia ogniotrwałego albo uchodziением powietrza lub wystąpieniem obu tych nieprawidłowości.



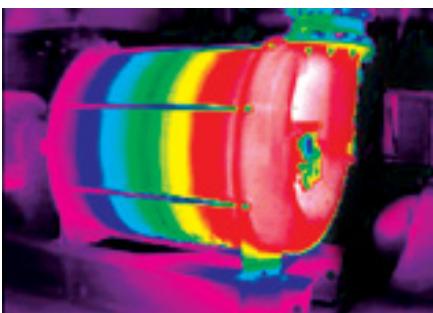
Fot. 5-43. Nasycony czerwony kolor wskazuje nieprawidłowości ułożenia izolującej waty szklanej na skosie sufitu.



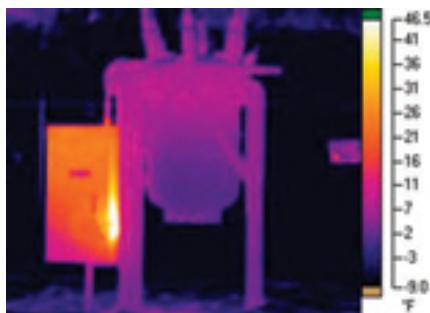
Fot. 5-44. Temperatura na zacisku bezpiecznika w centrali sterowania silnikiem jest za wysoka.



Fot. 5-45. Można szybko sprawdzić temperaturę obudowy silnika, aby określić prawidłowość jego pracy.



Fot. 5-46. Ta wielostopniowa sprężarka powietrza pracuje prawidłowo, na co wskazuje wzrost temperatury na każdym z jej elementów.



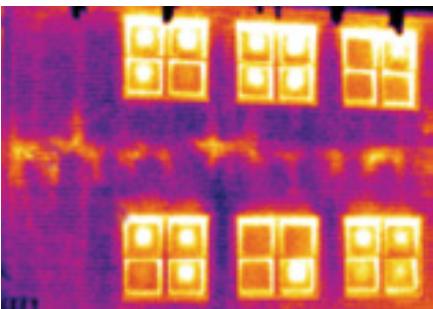
Fot. 5-47. Termografia umożliwia zweryfikowanie czy nagrzewnica w szafie sterowniczej funkcjonuje prawidłowo, aby zminimalizować nieprawidłowości związane z kondensacją.



Fot. 5-48. Wyniki pomiarów budynku z zewnątrz pokazują problematyczne powierzchnie, np. obszary jaśniejsze oznaczają braki izolacji.



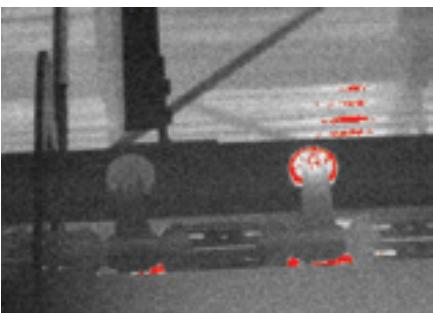
Fot. 5-49. Miejsca, w których nie ma izolacji pokazano jako ciepłe obszary na zewnątrz budynku w chłodny dzień.



Fot. 5-50. Ciepłe miejsca na środku podwójnych szyb okien wskazują braki izolującego argonu, który normalnie wypełnia przestrzeń między szybami okna.



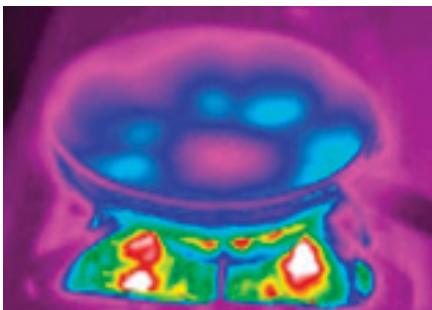
Fot. 5-51. Termografia umożliwia dokumentowanie nieprawidłowości wynikających z braku lub uszkodzenia izolacji.



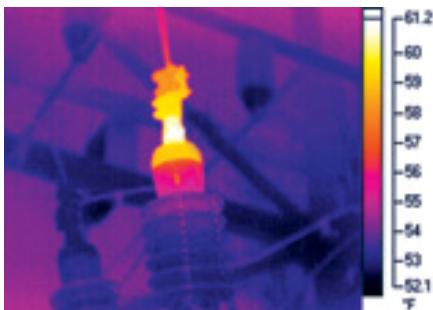
Fot. 5-52. Zbyt wysoka temperatura łożyska wózka naziemnego może prowadzić do zużycia energii oraz rozcięnięcia łańcucha w czasie.



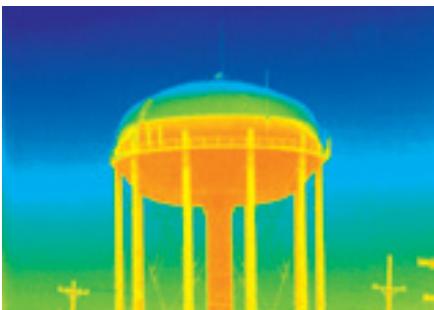
Fot. 5-53. Obszar mokrej izolacji widoczny jest wczesnym wieczorem jako ciepłe miejsce na powierzchni dachu. Wtedy właśnie występują optymalne warunki do pomiarów.



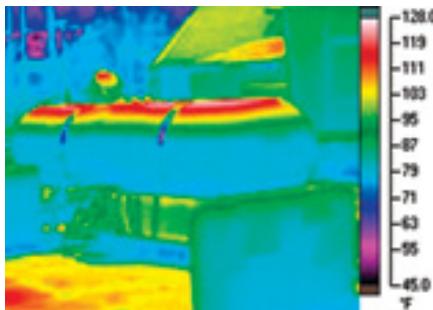
Fot. 5-54. Wynikiem pomiaru zbiornika żeliwnego podczas jego podgrzewania jest niepowtarzalny obraz termiczny.



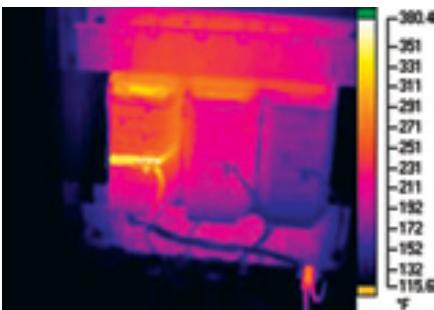
Fot. 5-55. Jasno kolorowe obszary na obrazie wyłącznika obwodu wypełnionego olejem oznaczają, że temperatura połączenia wewnętrznego od korka do trzpienia zaworu jest za wysoka.



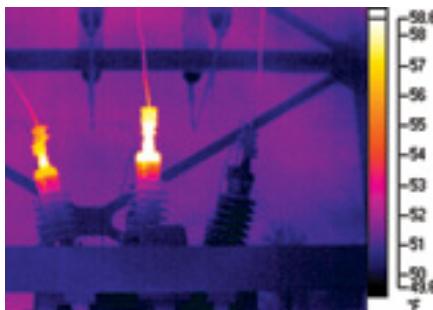
Fot. 5-56. Jasne obszary wskazują poziom wody w miejskim zbiorniku wodnym.



Fot. 5-57. Pomiary kamerą termowizyjną umożliwiają obserwanie poziomu płynnego propanu w zbiorniku.



Fot. 5-58. Schemat rozkładu temperatur suchego transformatora trójfazowego pokazuje wysoką temperaturę głównego przewodu do lewej fazy.



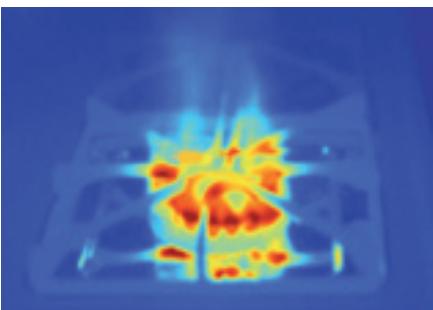
Fot. 5-59. Dwa z sześciu korków zaworu na wyłączniku obwodu wypełnianego olejem są zbyt gorące. Stan ten, gdyby nie został wykryty i naprawiony, spowodowałby kosztowne awarie.



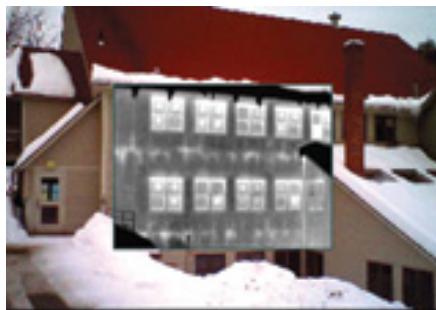
Fot. 5-60. Prawidłowo pracujący zbiornik kondensacyjny powinien być cieplejszy po stronie pary i chłodniejszy po stronie kondensacji, tak jak pokazano na rysunku.



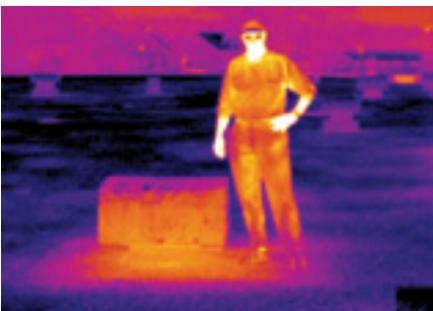
Fot. 5-61. W optymalnych warunkach pogodowych na zdjęciu z kamery termowizyjnej poziomy płynów w zbiornikach są wyraźne widoczne.



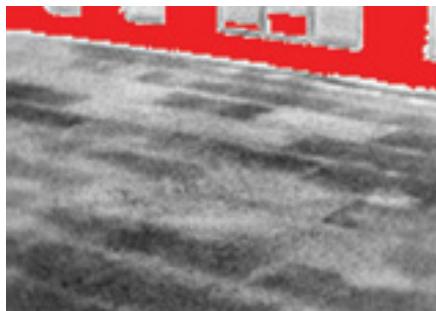
Fot. 5-62. Chociaż palnik kuchenki wydaje się ciepły, płomień jest ledwo widoczny na długofalowym obrazie cieplnym.



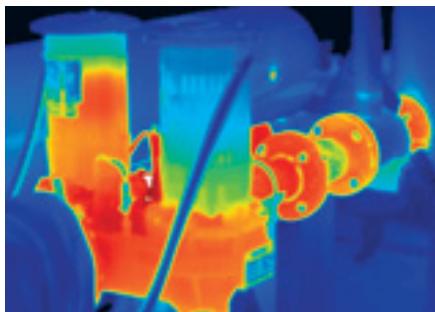
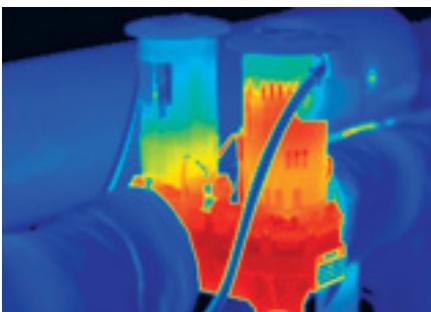
Fot. 5-63. Wiele miejsc cieplich na zewnętrznej ścianie frontowej budynku oznacza nieprawidłowo wykonane ocieplenie.



Fot. 5-64. Oprócz mokrej izolacji, wiele przedmiotów na dachu może mieć wysoką temperaturę, jak np. wyciąg systemu HVAC.



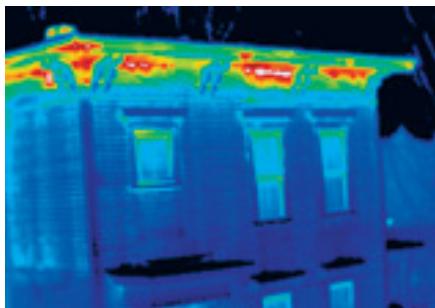
Fot. 5-65. Schemat rozkładu temperatur dachu ocieplanego jedną warstwą pianki może być mniej nasycony i ostry niż dachu zabudowanego.



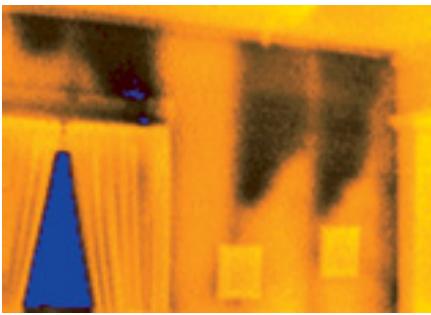
Fot. 5-66. Pomiarysty kamerą termowizyjną umożliwiają określenie prawidłowości pracy dwustopniowej pompy na każdym poziomie.



Fot. 5-67. Jasny obszar oznacza punkt przegrzania ciągu ścierającego się z nadziemnym członowym systemem przenośnika. Występuje tu zwiększone tarcie powodujące przegrzanie się silnika sterownika.



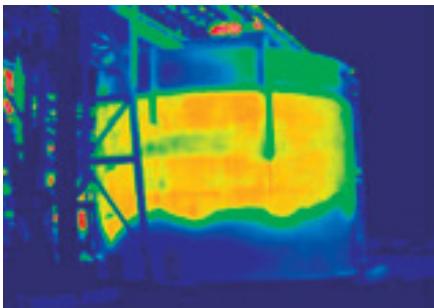
Fot. 5-68. Nadmierna utrata ciepła powodowana przez przepływanie cieplego powietrza przez izolację może okazać się kosztowną usterką wielu budynków, nawet izolowanych.



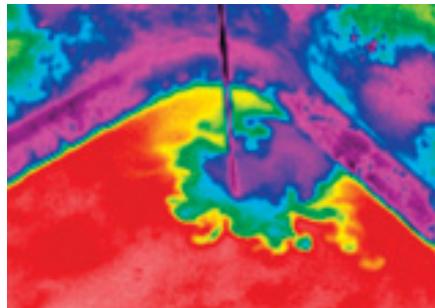
Fot. 5-69. Nieprawidłowo zainstalowana, luźno wypełniona izolacja w zagłębieniach istniejącej ściany nie spełnia swojej roli.



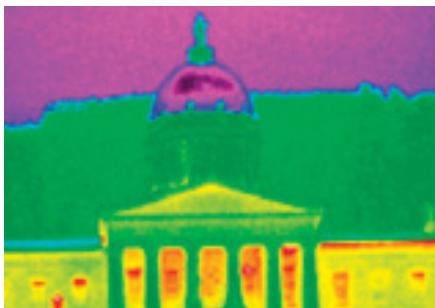
Fot. 5-70. Temperatura nosa często jest niższa od pozostałych części twarzy ze względu na mniejszy przepływ krwi i większą podatność na ochładzanie.



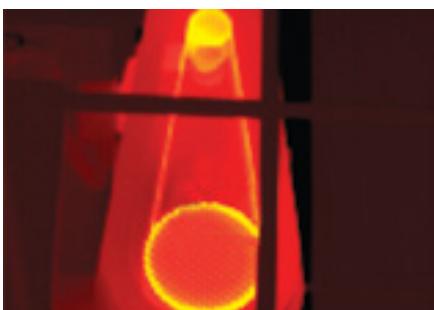
Fot. 5-71. Zarówno poziom płynów i osadu ściekowego w zbiorniku można wykryć, kiedy zbiornik znajduje się w przejściowym stanie termicznym.



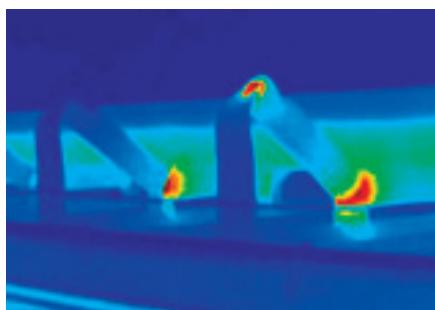
Fot. 5-72. Strumień zimnej wody wlewany do zbiornika pełnego ciepłej wody powoduje wzmożony przepływ ciepła.



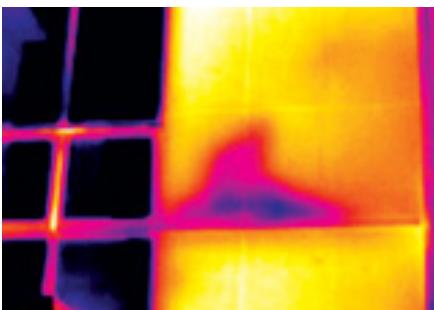
Fot. 5-73. Kopuła rządowego budynku platerowana złotem odbija chłodniejsze niebo.



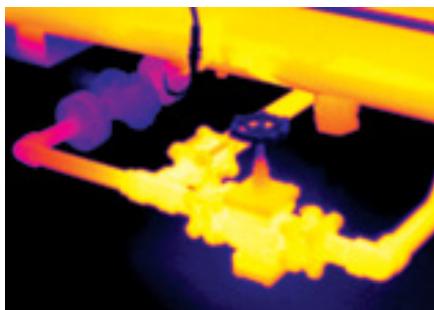
Fot. 5-74. Jasne obszary na pasie i kołach wskazują na nieosiwość.



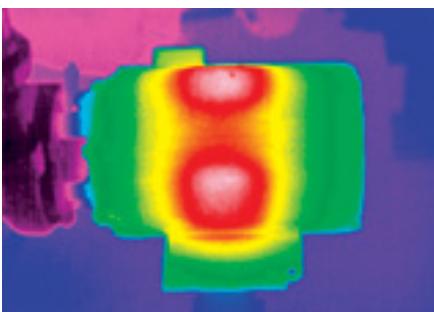
Fot. 5-75. Obszary zaznaczone czerwonym kolorem wskazują przegrzane łożyska przenośnika wałkowego.



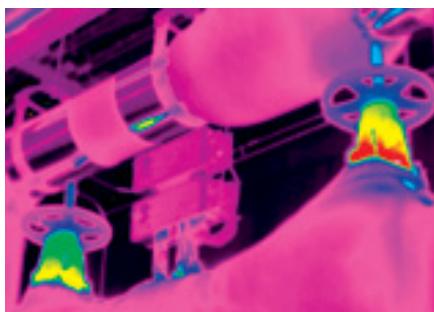
Fot. 5-76. Przedostanie się wilgoci do fasady biurowca może spowodować jej uszkodzenie.



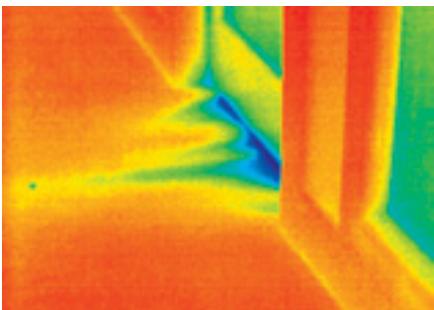
Fot. 5-77. Ten obraz termiczny pokazuje prawidłową pracę otwartego zaworu hydraulicznego.



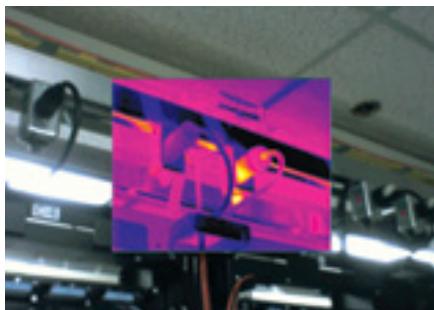
Fot. 5-78. Rozkład temperatur prawidłowo pracującej pompy ma charakter jednolity.



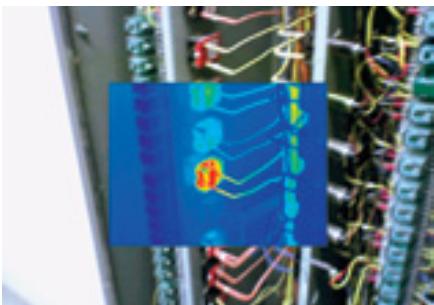
Fot. 5-79. Obszary zaznaczone jasnymi kolorami wskazują gdzie ucieka ciepło z nieizolowanych miejsc systemu parowego w pobliżu zaworów.



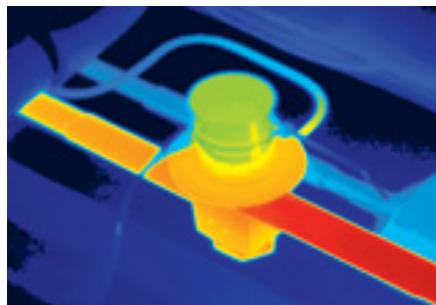
Fot. 5-80. Chłodne powietrze uciekające pod spodem drzwi wejściowych zostawia na podłodze wąski ślad.



Fot. 5-81. Obraz termiczny gniazda elektrycznego zasilającego serwerownię po prawej stronie zdjęcia wskazuje na połączenie o wysokiej rezystancji albo na nieprawidłowość okablowania wewnętrznego.



Fot. 5-82. Obszar zaznaczony jasnymi kolorami wskazuje możliwe połączenie o wysokiej rezystancji lub usterkę części panelu sterującego oświetleniem.



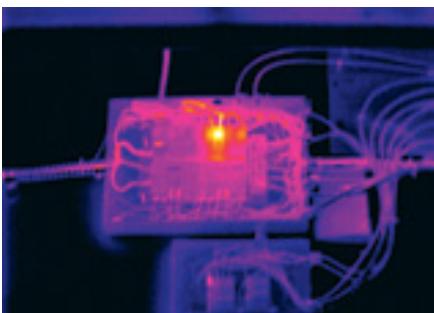
Fot. 5-83. Różnica kolorów po obydwu stronach zbiornika kondensacyjnego oraz przewodu dodatkowego oznacza prawidłowe działanie.



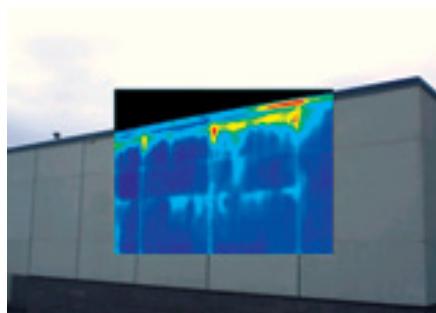
Fot. 5-84. Powyższy obraz termiczny wskazuje wewnętrzną nieprawidłowość wewnętrz transformer po prawej stronie.



Fot. 5-85. Obraz termiczny prawidłowo funkcjonującego kompresora HVAC przedstawia duże różnice między różnymi obszarami i elementami.



Fot. 5-86. Pomiar kamerą termowizyjną umożliwiają wykrywanie ciepła przy połączeniach o wysokiej rezystancji w systemach sterowania niskonapięciowego.



Fot. 5-87. Wilgoć z niedokładnie osuszzonego dachu może przeciekać do poszczególnych bloków lub fasady budynku.



ZASTOSOWANIA TERMOGRAFII

Termografia znajduje zastosowanie m.in. w audytach elektrycznych oraz diagnostyce budowlanej. Badanymi urządzeniami elektrycznymi są np.: silniki, urządzenia rozdzielcze, a także podstacje. W liniach produkcyjnych testuje się podzespoły zautomatyzowanej produkcji oraz sprzęt monterski. W diagnostyce budowlanej termografia pomaga wykryć zawiłgocenia dachu, badać izolację budynków, w tym wykrywać nieszczelności. Wykonuje się także testy elewacji termicznej ścian, sufitów oraz podłóg.

INSTALACJE ELEKTRYCZNE

Ze względu na bezdotykową pracę testowe i szybkość pomiarów kamery termowizyjne są powszechnie stosowane do testowania integralności układów elektrycznych. W większości przypadków badanie termograficzne jest badaniem jakościowym, tzn. polega na porównywaniu sygnatur termicznych podobnych części. Sygnatura termiczna to obraz ciepła oddawanego lub emitowanego przez obiekt w określonym momencie. Badanie to jest proste dzięki trójfazowym systemom elektrycznym, ponieważ w normalnych warunkach fazy prawie zawsze mają czytelne sygnatury termiczne.

Termografia jest wyjątkowo skuteczna, ponieważ większość awarii urządzeń ma czytelne i rozpoznawalne sygnatury termiczne. Czasami jednak mogą wystąpić wyjątki termiczne, mimo że wyniki pomiarów nie wykazują żadnej nieprawidłowości. **Wyjątek termiczny** to niestandardowy lub podejrzany stan urządzenia. Wyjątki termiczne mogą nie zawsze zostać wykryte a przyczyna usterki pozostanie wówczas nieustalone. Nie ma jednak wątpliwości, że wystąpienie awarii poprzedza pojawiение się ciepła wytworzonego przez wysoką rezystancję elektryczną.

Wyjątek termiczny może wystąpić, kiedy jedna lub więcej faz, lub części posiadają inną temperaturę w wyniku zjawisk niezwiązańych z prawidłowym zachowaniem symetrii obciążenia. Na przykład zbyt wysoka rezystancja powoduje przegrzanie na złączu. Jednak w stanie awarii, a więc bez podłączonego zasilania, części mogą wydawać się chłodniejsze.

Otwarte zabezpieczenie elektryczne naraża użytkownika kamery termowizyjnej na poważne niebezpieczeństwo. Nie wiąże się to z ryzykiem porażenia prądem, jako że pomiary są bezdotykowe. Istnieje jednak wysokie ryzyko wystąpienia łuku elektrycznego, zwłaszcza przy napięciu 480V i wyższym.

Na przykład otworzenie drzwi może spowodować łuk elektryczny, w przypadku uszkodzonego zamka do zabezpieczonego obszaru oraz gdy pojawiają się tam szkodniki, kurz lub gruz. Może to prowadzić do wystąpienia łuku elektrycznego między fazą a uziemieniem. Temperatura łuku elektrycznego może osiągnąć ponad 16 650°C (30 000°F) w mniej niż pół sekundy. Tylko osoba upoważniona i przeszkolona może otworzyć drzwi odgradzające zasilające urządzenia elektryczne.

Szczególną uwagę należy więc zwrócić na zrozumienie oraz zminimalizowanie ryzyka wystąpienia łuku elektrycznego. Szczegółowe zalecenia wydawane są przez międzynarodowe instytucje rządowe. Zalecenia te stanowią również źródło informacji dotyczących ryzyka, procedur przeprowadzania kontroli oraz niezbędnej odzieży ochronnej (PPE). Odzież ochronna zaprojektowana została, aby łagodzić skutki potencjalnego uszkodzenia spowodowanego natężeniem ciepła łuku elektrycznego i typowo składa się na nią: osłona twarzy, głowy, skóry oraz rąk (fot. 6-1).

Wykonywanie inspekcji instalacji elektrycznych wymaga racjonalnego podejścia, właściwej technologii, a także dużego doświadczenia w pracach konserwacyjnych. Kiedy to tylko możliwe urządzenia oraz ich podzespoły powinny być podłączone do zasilania i mierzone bezpośrednio skierowaną na nie kamerą termowizyjną.

Od czasu do czasu, kontrole muszą być również przeprowadzane w formie pomiarów pośrednich, tak jak pomiary zamkniętej skrzynki przyłączeniowej

silnika lub napowietrznego przewodu. Takie metody pomiarów mogą okazać się konieczne w niektórych sytuacjach, jak np. w przypadku napowietrznych szyn zasilających, jednak z reguły należy mierzyć je bezpośrednio. Jeżeli nie można otworzyć drzwi zabezpieczających, informacje zebrane w trakcie kontroli termicznej mogą nie wystarczyć.

Dostęp do niektórych urządzeń może być tak utrudniony i/lub niebezpieczny, że wymagane są inne metody pomiarów. Do alternatywnych metod należą m.in.: pomiary przez okienka przepuszczające podczerwień, aby uzyskać widoczność na urządzenia zabezpieczone osłoną. Dostępne są również inne techniki, np. wykorzystujące ultradźwięki w powietrzu.

Właściwe umieszczenie okienka przepuszczającego podczerwień zapewnia widoczność wszystkich urządzeń oraz ich elementów. Instalacja na zabezpieczeniu elektrycznym *przezroczystego okienka przepuszczającego promień podczerwieni* umożliwia rejestrowanie transmisji energii podczerwonej kamerą termowizyjną. Pomiary bez potrzeby otwierania osłony lub drzwi

Fot. 6-1. Odzież ochronna została zaprojektowana, aby łagodzić skutki potencjalnych obrażeń spowodowanych wysoką temperaturą łuku elektrycznego i obejmuje typowo osłonę twarzy, głowy, skóry oraz rąk.

Odzież ochronna (PPE)



zabezpieczających możliwe są dzięki zastosowaniu okienek przepuszczających podczerwień (fot. 6-2).

Fot. 6-2. Pomiary bez potrzeby otwierania osłony czy drzwi zabezpieczających możliwe są dzięki zastosowaniu okienek przepuszczających podczerwień

Okienko przepuszczające podczerwień



Możliwe jest również użycie sprzętu wykrywającego ultradźwięki w powietrzu. *Ultradźwięki w powietrzu generowane są w wyniku wadliwego połączenia elektrycznego*. Dźwięki te wykraczają poza naturalne pasmo słyszalności człowieka, ale wykrywane są przez specjalne detektory ultradźwiękowe. Wystąpienie nawet niewielkiego łuku elektrycznego na połączeniu zwykle powoduje wytwarzanie charakterystycznego ultradźwięku w powietrzu wykrywalnego przez szczelinę lub dziurę w osłonie.

Podczas badania szczególną uwagę skupia się na połączeniu elektrycznym lub punkcie styku elektrycznego. Miejsca te są podatne na nagrzewanie się spowodowane podwyższoną rezystancją oraz stanowią główne źródło awarii.

Można również wykryć wahania prądu, często uznawane za zjawiska normalne, np. w obwodzie oświetleniowym. Jednak mogą one prowadzić do powstawania bardzo kosztownych usterek w pozostałych

elementach instalacji elektrycznej, np. silniku elektrycznym pozbawionym fazy lub jakimkolwiek przeciążonym obwodzie.

Kamery termowizyjne są szeroko stosowane do badania instalacji elektrycznych, jednak często nieprawidłowo oraz nieszkutecznie. Użytkownik kamery może przeoczyć potencjalne nieprawidłowości, a nawet jeśli ustali ich miejsce, może opacznie zinterpretować ich wystąpienie. Wiele czynników innych niż powaga awarii może wpływać na temperaturę powierzchni rejestrowaną kamerą termowizyjną. Dodatkowo zależność między wysoką temperaturą a awarią, szczególnie w czasie, nie zawsze jest oczywista.

Powszechnie wiadomo, że temperatura połączenia elektrycznego różni się w zależności od zmiany obciążenia. O ile ilość ciepła wyтворzonego w wyniku połączenia o wysokiej rezystancji jest przewidywalna (I^2R), o tyle wartość temperatury już mniej. Z tego powodu niektóre normy zalecają przeprowadzanie badania przy minimum 40% obciążeniu lub przy najwyższym możliwym obciążeniu nominalnym. Na szczególną uwagę zasługują jakiekolwiek nieprawidłowości sprzętu o niskim obciążeniu, które prawdopodobnie zwiększy się podczas przyszłego użytkowania.

Jeśli osłony zabezpieczające nie otwierają się łatwo, uniemożliwiając w ten sposób bezpośrednie pomiary rozgrzanych części, np. izolowanego przewodu napowietrznego, gradient termiczny między usterką a mierzoną powierzchnią jest zazwyczaj bardzo duży. *Gradient termiczny* stanowi różnicę między bieżącą temperaturą źródła usterki a temperaturą powierzchni wykrytą lub mierzoną kamerą termowizyjną. Niska sygnatura termiczna powierzchni, tzn. $2,8^\circ\text{C}$ (5°F), wskazuje wewnętrzną awarię izolowanego przewodu magistralnego. Urządzenia wypełnione olejem, takie jak transformatory, wykazują podobny lub nawet większy gradient termiczny.

Szczególnej uwagi wymagają kontrole przeprowadzane w terenie, kiedy prędkość wiatru przekracza 8 km/h. Dlatego punkty przegrzania się urządzenia powinny być mierzone i porównywane, gdy nie ma wiatru. Niektóre nieprawidłowości mogą schładać się poniżej progu wykrywalności przy silniejszym wietrze. Podobne zależności mogą wystąpić wewnątrz obiektu, gdy zabezpieczenia zostaną zdjęte na krótko przed inspekcją. Prawidłowe procedury kontroli wymagają możliwie jak najszybszych i bezpiecznych pomiarów po zdjęciu osłony.

Wiele trudności sprawia również wyświetlanie obrazów termicznych na wyświetlaczu kamery w terenie. Panujące warunki oświetleniowe mogą wytworzyć niepożądany oślepiający kontrast, uniemożliwiając podgląd szczegółów i odcienn obrazu. Nie tylko te przeprowadzane nocą, ale również badania terenowe w jasny, słoneczny dzień powodują problemy z czytelnością obrazów ze względu na promienie słoneczne. Praca w takich warunkach jest uciążliwa, zwłaszcza gdy w obrazie termicznym występują obszary ciemniejsze, np. ceramicznych izolatorów linii elektroenergetycznej.

Zebranie właściwych danych termicznych instalacji elektrycznej nie zawsze jest takie proste, jak się wydaje. Nawet jeżeli udało się zebrać odpowiednie dane, wielu kontrolerów interpretuje je nieprawidłowo, hierarchizując poziom znaczenia wyników testowych. Np. temperatura często nie jest właściwym wskaźnikiem powagi usterki, ponieważ zbyt wiele czynników wpływa na jej zmiany. Wielu kontrolerów nie zważy jednak na tą zależność, uważając że im wyższa jest temperatura wadliwej części, tym poważniejsza usterka w porównaniu z pozostałymi, chłodniejszymi częściami.

Podobnie wprowadzające w błąd jest przekonanie, że usterka nie występuje, gdy element lub podzespol urządzenia nie jest wyjątkowo gorący. Właściwy

dobór i interpretacja danych termicznych zwiększa skuteczność zastosowania termografii.

Zamiast opierać analizy głównie na wartościach temperatur, należy uwzględnić zależności wszystkich parametrów i wadliwej części. Taką prostą analizę umożliwiają przyrządy pomiarowe a analizę bardziej formalną - inżynierskie przyrządy analizujące. Korzyści wynikające z prawidłowo przeprowadzonej kontroli są ogromne a firmy, które odnoszą sukcesy na polu diagnostyki są w stanie zlikwidować przestoje w pracy spowodowane awariami elektrycznymi.

Aby zmniejszyć niepożądany oślepiający odblask na wyświetlaczu, do kamer termowizyjnych dołączane są osłony przeciwsłoneczne.



ELEKTROMECHANIKA I MECHANIKA

Inspekcje urządzeń elektromechanicznych i mechanicznych obejmują różnego rodzaju urządzenia. Termografia stanowi nieocenioną technikę sprawdzania urządzeń, takich jak: silniki, urządzenia wirnikowe oraz zbiorniki kondensacyjne. W większości tych zastosowań bieżący obraz termiczny porównywany jest z poprzednim. W ten sposób zauważalne są jakiekolwiek różnice spowodowane zmianą stanu danego urządzenia. Aby w pełni zrozumieć funkcjonowanie i awarie urządzeń, kontroler użytkujący kamerę termowizyjną musi posiadać solidną wiedzę na temat rozkładu ciepła.

Inspekcje termiczne przeprowadzane są ze względu

na ich podatność na awarie w wyniku nieprawidłowości cieplnych. Na przykład przemieszczenie lub niewyważenie silnika zwykle powoduje jego przegrzewanie się. Mimo, że monitorowanie temperatury powierzchni obudowy silnika jest przydatne, zmiany temperatury wewnątrz silnika nie zawsze są od razu czytelne. Dlatego najlepszym sposobem są pomiary silnika kamerą termowizyjną w czasie lub w porównaniu z silnikami podobnie pracującymi. Takie pomiary mogą umożliwić wykrycie zanieczyszczenia przez kurz, braku jednej fazy lub przegrzewania się.

Kontrola może również obejmować sygnaturę termiczną łożysk silnika. Na przykład gdy łożyska są znacznie cieplejsze niż silnik oznacza to potencjalną nieprawidłowość, którą należy dokładniej zbadać. Podobnie sygnatury termiczne sprzężeń oraz łożysk wałka pracujących prawidłowo powinny w przybliżeniu pokrywać się z temperaturą otoczenia (fot. 6-3). Bardzo skuteczne jest łączenie termografii z innymi rodzajami testów, np. drgań lub analizą obwodu silnika.

Podczas gdy inne metody zawodzą i są nieprzydatne, termografia okazuje się nieoceniona przy kontrolach urządzeń wirnikowych o niskiej prędkości, takich jak przenośniki. Kamerą termowizyjną można badać również urządzenia bardziej złożone, takie jak: turbiny, skrzynie biegów oraz grzejniki. Wymagają one jednak większych inwestycji w stworzenie linii bazowej danych testowych zanim kolejne pomiary okażą się opłacalne.

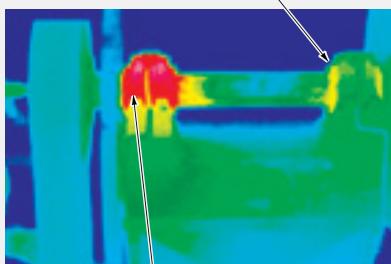
PROCESY TECHNOLOGICZNE

Testy termiczne powszechnie wykonuje się na sprzęcie ogniotrwały, aby sprawdzić jego wytrzymałość na wysokie temperatury. Na przykład technicy konserwacji na podstawie wyników kontroli termicznej są w stanie sprawdzić stan izolacji lub wyliczyć temperatury powierzchni mogące powodować awarie.

Fot. 6-3. Sygnatury termiczne sprzężeń oraz łożysk wałka pracujących prawidłowo powinny w przybliżeniu pokrywać się z temperaturą otoczenia.

Sygnatury termiczne

STANDARDOWA SYGNATURA
(TEMPERATURA ŁOŻYSKA
BLISKA TEMPERATURZE
OTOCZENIA)



SYGNATURA
NIEPRAWIDŁOWA
(TEMPERATURA ŁOŻYSKA
WYŻSZA OD OTOCZENIA)

Kontrola linii bazowej to kontrola mająca na celu ustalenie punktu odniesienia sprzętu pracującego prawidłowo i wydajnie. Kontrola trendów to kontrola przeprowadzana po uprzednim uzyskaniu obrazów wzorcowych do celów porównawczych. Monitorowanie trendów w czasie często dostarcza informacji diagnostycznych oraz pozwalających przewidzieć awarie. Umożliwia to zestawienie różnic lub podobieństw mogących określać pracę urządzenia.

Jako pierwsze przeprowadzane powinny być kontrole bazowe, a po nich należy badać trendy. Harmonogram kontroli należy ustalać na podstawie częstotliwości określonej przez skutki awarii oraz stan sprzętu. Obserwowanie trendów zwiększa skuteczność konserwacji okresowej oraz zmniejsza możliwości wystąpienia nieplanowanego przestoju w pracy, a także redukuje liczbę awarii.

Wszystkie rodzaje izolacji cieplnej można sprawdzać szukając różnic w termicznej sygnaturze powierzchni. Wspomniane wyżej rodzaje izolacji obejmują części rurociągów parowych, linie technologiczne, systemy rurociągów oraz śledzenie ciepła ciągów

Fot. 6–4. Do bardziej powszechnych zastosowań termografii należy ustalanie lub potwierdzanie poziomów ciał stałych, cieczy lub gazów w takich pojemnikach, jak zbiorniki czy silosy



technologicznych (zarówno parowych, jak i elektrycznych). Niestety wiele rodzajów systemów izolacji pokrywa niepowłakana warstwa metalu, co znacznie zawyża odczyt temperatury. Sygnatury termiczne powierzchni napawanych nie są natychmiast czytelne ze względu na ich niską emisjyność oraz wysoki współczynnik odbicia.

Do bardziej powszechnych zastosowań termografii należy ustalanie lub potwierdzanie poziomów ciał stałych, cieczy lub gazów w takich pojemnikach, jak zbiorniki czy silosy (fot. 6–4). Chociaż większość pojemników zwykle posiada oprzyrządowanie wskazujące poziom substancji wewnętrz, informacje te często są niedokładne z powodu nieprawidłowej pracy przyrządów lub wymagają niezależnego potwierdzenia.

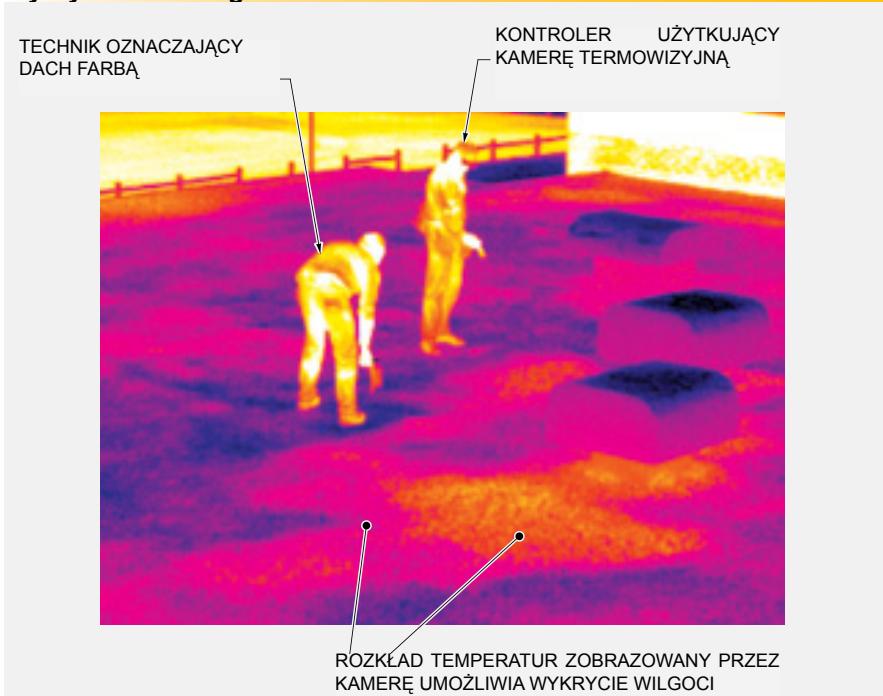
Pędkość zmiany temperatur tych substancji podczas nieustalonego obiegu strumienia cieplnego wyznacza tryb

przekazywania ciepła oraz różniące się pojemności termiczne ciał stałych, płynów i gazów w zbiorniku. Temperatury gazów zmieniają się najszybciej. Na przykład promieniowanie słoneczne może spowodować wykrywalną zmianę termiczną w obszarze gazów dużego zbiornika w terenie w ciągu zaledwie kilku minut. Temperatury ciał stałych, cieczy oraz innych substancji zmieniają się z różną prędkością w obiegu cieplnym. Nawet zbiornik znajdujący się wewnątrz budynku może charakteryzować się zmiennością cieplną ujawniającą się na różnych poziomach.

Doświadczony użytkownik kamery termowizyjnej często jest w stanie wykryć poziomy w zbiorniku nieizolowanym. W przypadku obecności izolacji pojawiienie się sygnatur termicznych może zająć więcej czasu, a nawet wymagać dodatkowych czynności. Ustalenie poziomów substancji w zbiorniku wspomaga kilka prostych

Fot. 6–5. Wykrywanie zawiłości dachu kamerą termowizyjną jest metodą bezinwazyjną.

Wykrywanie zawiłości dachu



technik, jak np. stosowanie ciepła lub ochładzanie przez parowanie. Na przykład krótkie natryskiwanie zbiornika wodą i oczekanie kilku minut, aż zewnętrzna powierzchnia zbiornika zmieni temperaturę, często wystarcza, aby ujawnić kilka poziomów. Stosowanie pionowego paska farby lub taśmy w miejscach wyraźnych odczytów poziomów może wpływać na niski współczynnik emisjyjności błyszczących warstw izolacji metalowych.

DIAGNOSTYKA BUDOWLANA

Termografia od dłuższego czasu stosowana jest w diagnostyce budynków mieszkalnych i przemysłowych. Zastosowania diagnostyki budowlanej obejmują sprawdzanie zawiłości dachów, izolacji budynków w celu wykrycia nieszczelności oraz wilgoci. Opanowanie teorii rozchodzenia się ciepła oraz powstawania konstrukcji budynków zapewnia sukces w przypadku pozostałych

zastosowań termografii. Kontrole obiektów przemysłowych mogą być bardziej złożone od kontroli struktur mieszkalnych.

Wyszukiwanie zawiłości dachu

Większość znaczących nieprawidłowości w konstrukcji dachów o niskim nachyleniu powstaje w ciągu roku lub dwóch lat od instalacji z wielu przyczyn związanych z: wadliwym projektem, samą instalacją lub konserwacją. *Dach o niskim nachyleniu* to np. dach centrum handlowego o niewielkim nachyleniu do odpływu opadów. Składa się z podłoża, na które nakłada się sztywną izolację oraz wodoszczelną membranę.

Skutki wystąpienia przecieku mogą być znaczące, ale długo niewykrywane uszkodzenia spowodowane wystąpieniem wilgoci mogą okazać się jeszcze bardziej kosztowne. Kiedy zawiłcość wystąpi choć raz w strukturze dachu, zostaje ono tam zatrzymane i powoduje rozkład

materiałów oraz przedwczesne rozpadanie się dachu. Wymiana mokrej izolacji likwiduje problem zawiłości pod powierzchnią dachu, a także przedłuża jego żywotność ponad oczekaną przeciętną.

Sprawdzanie poziomu zawiłgocenia dachu kamerą termowizyjną jest metodą bezinwazyjną (fot. 6–5). Mokra izolacja posiada większą pojemność termiczną niż sucha. Na przykład podczas bezwietrznego wieczoru, po cieplym i słonecznym dniu, dach szybko się ochłada. Gwałtowne ochłodzenie dachu skutkuje wyższą temperaturą mokrej izolacji od temperatury izolacji suchej.

Po zauważeniu tego typu rozkładu ciepła można całkiem szybko sprawdzić olbrzymie powierzchnie dachu, odnotowując miejsca wskazujące na mokrą izolację. Jeżeli to konieczne, bieżące wystąpienie zawiłości na mokrym obszarze można potwierdzić bardziej tradycyjnymi metodami badań, które często są powolne, a nawet inwazyjne. Jeżeli panują dobre warunki, „okno kontroli” może być otwarte aż do nocy.

Dokładna sygnatura termiczna widoczna na wyświetlaczu kamery termowizyjnej oraz czas jej wyświetlania zależy od stanu i rodzaju izolacji dachu. Izolacje chłonne, zwykle stosowane w dachach o niskim nachyleniu, jak np. wełna mineralna, włókno drzewne oraz perlit umożliwiają uzyskanie wyraźnych sygnatur termicznych. Więcej trudności przy pomiarach przysparzają nieabsorbowiące izolacje piankowe, często stosowane w jednowarstwowych strukturach dachów. Utrudnienia powoduje mała ilość pochłanianej wody. Wiele jednowarstwowych dachów obciążonych jest również ciężką warstwą kamienia, mogącą ograniczać wartości sygnatury termicznej.

Na sygnatury termiczne wpływa również wiele innych czynników poza wystąpieniem wilgoci pod powierzchnią. Jeżeli powierzchnia dachu nie będzie sucha,

parowanie zmniejszy efekty nagrzania od Słońca. Silne zachmurzenie wieczorem może zmniejszyć efekty ochładzania, podczas gdy wiatr o wzmożonej sile może „wymazać” wszystkie sygnatury termiczne.

Konstrukcja dachu oraz czynniki fizyczne również wpływają na sygnatury termiczne. Na przykład gzymy ściany wychodzącej na zachód może reemitować ciepło na dach aż do nocy. Dodatkowo warstwa żwiru powoduje zatrzymanie ciepła, a poprzednio naprawione fragmenty dachu mogą wydawać się inne od pozostałych. Zrozumienie tych zależności oraz ich wpływu na sygnatury termiczne gwarantuje efektywność kontroli.

Inspekcje stanu dachów zaraz po ich wybudowaniu w celu ustalenia sygnatury termicznej linii bazowej, zapewnia najbardziej precyzyjne wyniki. Po każdym zjawisku potencjalnie powodującym uszkodzenie dachu, jak: burza gradowa, tornado czy huragan, należy sprawdzić stan dachu. Jeżeli warunki atmosferyczne doprowadzą do uszkodzenia dachu, szybki pomiar kamerą termowizyjną umożliwia zlokalizowanie wycieku oraz poziomu zaawansowania uszkodzenia izolacji.

W trakcie kontroli dachu należy zachować dużą ostrożność. Praca na dachu nie może być wykonywana w pojedynkę. Inspektorzy są wyjątkowo narażeni na niebezpieczeństwo ze względu na jasność wyświetlacza uniemożliwiającą oczom przystosowanie się do słabego poziomu oświetlenia na większości dachów. Stan ten ściśle wiąże się ze ślepotą zmierzchową. Wstępna kontrola dachu za dnia ważna jest przy określaniu potencjalnego zagrożenia, tak samo jak przy ocenie stanu dachu.

Inspekcje izolacji budowlanej

Termografia doskonale sprawdza się przy ustalaniu rozmieszczenia izolacji oraz jej stanu. Stosują ją zwłaszcza doradcy energetyczni, konструкторzy generalni oraz personel kontrolujący lokale mieszkalne. Testy izolacji budynku wykazują np.

sposób przepływu ciepła. Brak izolacji, jej uszkodzenie lub nieprawidłowe ułożenie powoduje zarówno wzrost zużycia energii, jak i kosztów naprawy, a zwykle także spadek poziomu komfortu w budynkach.

Zmniejszenie nadmiernego zużycia energii jest równie ważne, co dobrze zaplanowana kontrola termiczna wpływająca na zwiększenie komfortu mieszkańców i redukująca zużycie energii. Pomiary termograficzne umożliwiają także zlokalizowanie innych nieprawidłowości, takich jak: niepożądane wycieki wody lub kondensacja wilgoci, warstwy nagromadzonego na dachu lodu oraz zamarzanie instalacji kanalizacyjnych. Stosując termografię można również sprawdzić obieg powietrza w pomieszczeniach oraz rozmieszczenie izolacji akustycznej.

Nieprawidłowości w izolacji można szybko wykryć, jeżeli różnica wartości temperatur na zewnątrz budynku i w jego wnętrzu wynosi przynajmniej 10°C (18°F). Na przykład w sezonie grzewczym sygnatura termiczna brakującej izolacji będzie pokazana, jako obszar chłodniejszy wewnętrz i cieplejszy na zewnątrz. W sezonie letnim odczyt sygnatury termicznej przedstawia się na odwrot. Przydatną informację stanowi rodzaj zastosowanej izolacji ze względu na unikalną sygnaturę termiczną każdego materiału oraz stałą czasową.

Większość kontroli termicznych wymaga pracy zarówno na zewnątrz, jak i wewnątrz budynku. Jednak silny wiatr lub promieniowanie słoneczne może utrudnić lub nawet uniemożliwić prace poza budynkiem.

W takich warunkach możliwe jest wygenerowanie obrazu cieplnego wnętrza, ale często w sposób wprowadzający w błąd. Kontrole w sezonie letnim mogą się ograniczać tylko do wnętrz budynków lub zewnętrznych pomiarów wieczorami. Wyszkolony i doświadczony użytkownik kamery termowizyjnej, pracując w optymalnych warunkach szybko wykryje

brakującą, uszkodzoną lub nieefektywną izolację.

Pomiary termograficzne umożliwiają wykrycie strat ciepła, w takich miejscach, jak: okna, rynny lub słabo izolowane ściany.



Wykrywanie nieszczelności

Nieszczelności stanowią blisko połowę kosztów ogrzewania, wentylacji oraz chłodzenia. Przenikanie powietrza następuje zwykle w wyniku różnic ciśnienia w budynku. Różnica ciśnienia może być spowodowana przez wiatr, ale również nagromadzenie się silnych konwekcyjnych w budynku oraz wahania ciśnienia związane z instalacją HVAC.

Różnice ciśnienia powodują przeciskanie powietrza przez liczne wnęki budynku. Przeniknięcie do zewnętrznej powłoki termicznej, np. okablowania lub obudowy oprzyrządowania często jest znikome i nie od razu wykrywalne. Powłoka termiczna stanowi granicę ogrzewanego, wentylowanego lub chłodzonego obszaru budynku.

Do wykrycia nieszczelności wymagana jest zwykle niewielka różnica temperatur na zewnątrz i wewnątrz budynku o wartości 3°C (5°F). Samo zjawisko nieszczelności nie jest widoczne, ale rozkład temperatur na powierzchni budynku ma charakterystyczną sygnaturę termiczną przypominającą drobne pasma (rys. 6–6). W sezonie grzewczym sygnatury termiczne widoczne są jako chłodne pasma wzdłuż wewnętrznych powierzchni budynków lub ciepłe „poświaty” na zewnątrz, dokąd

przedostaje się ogrzane powietrze. Ruch powietrza może być również wyraźny we wgłębiach budynku, a nawet wewnętrznych lub izolowanych ścianach. Sztuczne wywołanie różnicy ciśnień w budynku może uwydatnić miejsca wycieku powietrza, ukierunkować je lub nawet skwantyfikować. Stworzenie takich warunków umożliwia zastosowanie instalacji HVAC lub wentylatora urządzenia Blower door.

Wykrywanie zawilgoceń

Pojawienie się wilgoci często powoduje uszkodzenia materiałów budowlanych. Zazwyczaj występuje ona na połączeniach strukturalnych lub pęknięciach powierzchni, np. uszkodzonej warstwy ochronnej lub uszczelnienia. Wilgoć może być również spowodowana przez kondensację. Kondensacja powstaje na skutek ciepła, wycieku wilgotnego powietrza do chłodniejszych węglień budynku. Do pozostałych źródeł zawilgoceń należą: powódź, wody gruntowe oraz wycieki z systemów kanalizacyjnych lub zraszaczys.

We wszystkich wyżej wymienionych przypadkach sygnatura termiczna zawilgoceń często jest czytelna, zwłaszcza w warunkach sprzyjających odparowywaniu wilgotnej powierzchni. W takim przypadku powierzchnia będzie wydawać się chłodna. Jednak przemoknięte materiały budowlane mają także właściwości przewodzące i podczas zmiany termicznej posiadają większą pojemność termiczną od suchych materiałów. W takich warunkach sygnatury termiczne nie zawsze są czytelne. Należy zwrócić szczególną uwagę na sprawdzenie warunków umożliwiających zidentyfikowanie obszarów zawilgoceń. Na przykład, aby potwierdzić obraz termiczny, na którym wykryto podejrzany obszar, zaleca się dodatkowe pomiary miernikiem wilgotności

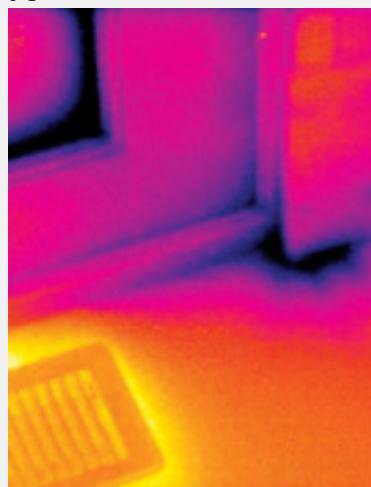
Kontrole obiektów handlowych

Kontrola budynków usługowo-handlowych jest bardziej złożona od kontroli budynków mieszkalnych. Jednak gruntowne kontrole i analizy często są bardzo opłacalne, jako że kompletna wiedza o dużych budynkach przyczynia się do zwrotu inwestycji. Niezmiennie ważne są informacje o szczegółach konstrukcji budynku, jak i pełny dostęp do nich, umożliwiający kontrolerowi zrozumienie wszystkich zależności między różnymi częściami budynku.

Powszechnie występującymi usterkami w obiektach handlowych i usługowych są: nieszczelności, przenikanie wody oraz kondensacja. Nieocenionym przyrządem do wykrywania problemów dużych struktur jest właśnie kamera termowizyjna. Gdziekolwiek jest to możliwe, duże części budynków należy sprawdzać w trakcie konstrukcji, kiedy każde piętro jest ograniczane, izolowane i wykańczane. Umożliwia to wykrycie nieprawidłowości w projekcie lub konstrukcji, na tyle szybko, aby zdążyć je naprawić zanim budynek zostanie ukończony i oddany do użytku.

Fot. 6-6. Rozkład temperatur np. uchodzienia powietrza ma często charakterystyczną sygnaturę termiczną przypominającą drobne pasma

Powierzchnie budynków Sygnatura termiczna





METODOLOGIA TESTÓW

Użytkownicy kamer termowizyjnych mają do wyboru trzy metody wykonywania testów termicznych. Są to: **metoda porównawcza, odniesienia do linii bazowej oraz badanie trendów termicznych.** Wybór metody zależy od rodzaju badanego sprzętu i wymaganych informacji. Skuteczność każdej metody zależy od jej prawidłowego zastosowania.

TERMOGRAFIA PORÓWNAWCZA

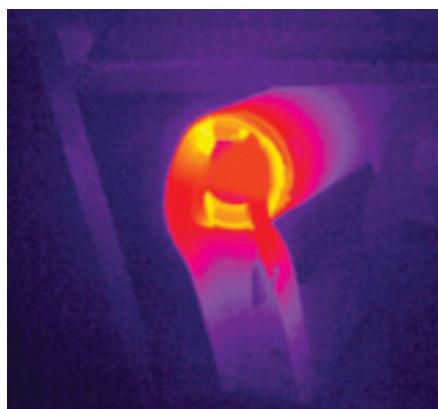
Użytkownicy kamer termowizyjnych rozwinięli wiele metod w celu rozszerzenia zastosowania technologii. Podstawową metodą analizy termicznej jest technika porównawcza. Termografia porównawcza polega na porównywaniu podobnych części w analogicznych warunkach w celu oceny stanu badanego sprzętu.

Jeżeli technika porównawcza jest stosowana prawidłowo, różnice między sprawdzanymi urządzeniami wskazują na ich stan. Ilościowe badania termograficzne w porównaniu z jakościowymi wymagają szerszego zrozumienia zmiennych oraz ograniczeń wpływających na pomiar radiometryczny. Termografia ilościowa obejmuje temperatury radiometryczne. Z kolei termografia jakościowa nie obejmuje temperatur radiometrycznych.

Przed przystąpieniem do pracy z kamerą termowizyjną ważne jest ustalenie dopuszczalnego marginesu błędu, a w trakcie pomiarów przestrzeganie tych granic. Podstawowe szkolenie praktyczne z przekazywania ciepła oraz zaawansowanych umiejętności umożliwia zrozumienie termografii ilościowej. W większości przypadków termografia polega na porównywaniu. Porównywanie badanego przedmiotu do innego często umożliwia wykrycie nieprawidłowości. Ze względu na istnienie wielu innych

zmiennych, które należy uwzględnić, fundamentalne znaczenie ma szkolenie oraz doświadczenie.

Termografia jakościowa zwykle nie uwzględnia temperatur radiometrycznych. Polega na porównywaniu sygnatur termicznych podobnych części.



Aby metoda porównawcza była skuteczna, użytkownik kamery musi wyeliminować wszystkie zmienne poza jedną - zmienną odniesienia. Zbyt często nie stosuje się tej prostej, lecz bardzo ważnej reguły z powodu złożonych warunków środowiska testowego lub niewłaściwych praktyk użytkowników.

Fot. 7-1. Porównawcze pomiary termograficzne trójfazowego wyłącznika elektrycznego umożliwiają wskazanie najcieplejszej fazy.

Termografia porównawcza



Na przykład obraz termiczny trójfazowego wyłącznika elektrycznego może przedstawiać jedną fazę cieplejszą od pozostałych (fot. 7-1). W sytuacji gdy obciążenia trzech faz są zrównoważone, to nierównomierne ich rozgrzanie prawdopodobnie wynika z wysokiej rezystancji połączeń. Jeżeli jednak wynik pomiaru obciążenia wykonanego cyfrowym multimetrem wskazuje wartość równą 30/70/30 A, to bieżący rozkład temperatur może wynikać z elektrycznej nierównowagi faz.

Kamera termowizyjna nie analizuje obrazu termicznego. Na prawidłową interpretację składa się kilka elementów, m.in.: umiejętności, doświadczenie oraz wypracowywanie dobrych praktyk i inne czynniki. Oczywiście błędna analiza może spowodować uszkodzenie lub zniszczenie cennego sprzętu.

Porównując sygnatury termiczne jednego przedmiotu, ważne jest uzyskanie jak najwięcej informacji o nim. Informacje te dotyczą: konstrukcji, podstawowego działania, kierunku przepływu ciepła lub historii pracy przedmiotu. Ze względu na częsty brak szybkiego dostępu do tych informacji, użytkownik kamery musi mieć możliwość zadawania pytań właścielowi

sprzętu lub technikowi konserwacji.

Ważniejsza od zadawania pytań jest umiejętność uważnego słuchania odpowiedzi. Wielu użytkowników zawodzi na obu polach, co negatywnie wpływa na ich pracę. Umiejętności komunikacyjne są tak samo istotne, co umiejętności techniczne, zwłaszcza podczas pracy z nieznanym sprzętem lub materiałami.

ODNIESIENIE DO LINII BAZOWEJ

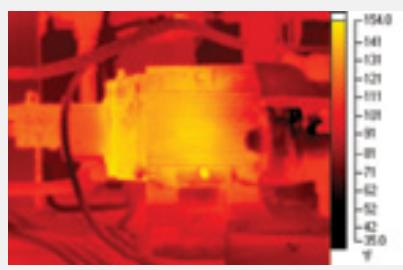
Kontrola z zastosowaniem linii bazowej polega na ustaleniu punktu odniesienia na podstawie analizy pracy sprawnego sprzętu w standardowych warunkach. Istotny czynnik stanowi określenie prawidłowego lub pożądanego stanu sprzętu, aby porównywać jego sygnaturę wzorcową z późniejszymi obrazami termicznymi. Sygnatura wzorcowa jest często jednolita oraz w pewnym stopniu zależy od naturalnej struktury badanego przedmiotu lub obiektu. Na przykład jakiekolwiek różnice w sygnaturze termicznej po instalacji silnika i jego standardowej eksploatacji będą widoczne na kolejnych obrazach termicznych (fot. 7-2).

TRENDY TERMICZNE

Inna metoda kontroli termicznej dotyczy badania trendów termicznych. Badanie trendów termicznych to proces stosowany przez użytkowników kamer w celu porównania rozkładu temperatur na powierzchni badanego przedmiotu w czasie. Metoda ta sprawdza się coraz częściej zwłaszcza przy badaniu urządzeń mechanicznych, w których sygnatury termiczne mogą być złożone. Jest również przydatna, gdy sygnatura termiczna wskazująca nieprawidłowość zmienia się powoli w czasie. Na przykład analiza trendów sprawdza się podczas monitorowania odporności izolacji ogniotrwałej (wysoka temperatura) wagonów specjalistycznych w czasie w celu optymalnego rozplanowania przestojów w pracy (fot. 7-3).

Rys. 7-2. Wiele różnic w sygnaturach termicznych silnika wykażą kolejne kontrole.

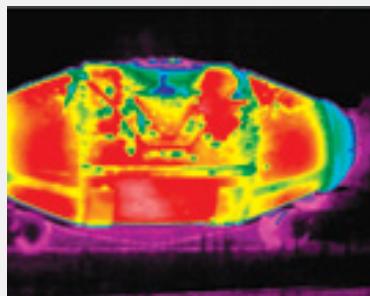
Odniesienie do linii bazowej



Użytkownik kamery termowizyjnej powinien posiadać wiedzę o wszystkich zmiennych związanych z działaniem badanego urządzenia. Konieczne jest zapoznanie się z zasadami działania różnych układów, jak również rozwijanie umiejętności przydatnych w diagnostyce. Właściwy dobór i ocena danych oraz rozumienie zachodzących zmian może zapewnić precyzyjny oraz przydatny dla użytkownika trend wydajności badanego urządzenia. Należy jednak pamiętać, że badanie trendów może jedynie sugerować, ale nie przewiduje stanu mogącego wystąpić w przyszłości.

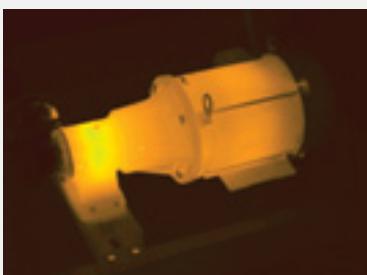
Fot. 7-3. Badania trendów termicznych stosuje się przy sprawdzaniu urządzeń o wysokiej temperaturze, których standardowe sygnatury termiczne mogą być złożone, tak jak nadwozia torpedo (wypełnionym stopionym metalem), a nieprawidłowość izolacji może pokazać się dopiero w czasie.

Trendy termiczne

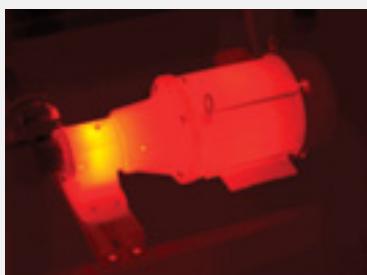


Palety

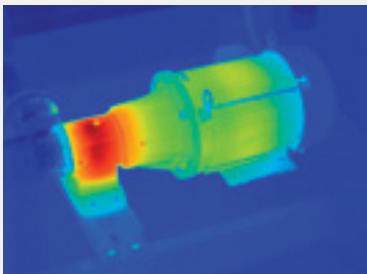
Paleta to schemat kolorów stosowany do pokazania zmian cieplnych oraz wzorów na obrazie termicznym. Czy to podczas kontroli, czy analizowania istotne jest wybranie palety najlepiej określającej i odpowiadającej nieprawidłowościom. Kamera termowizyjna powinna umożliwiać wybór lub zmianę palety zarówno bezpośrednio w systemie kamery, jak i oprogramowaniu. Na przykład pewne aplikacje mogą być lepiej przedstawione i analizowane w palecie monochromatycznej, skali szarości lub bursztynie. Pozostałe przypadki zostaną dokładniej objaśnione w takich paletach barw, jak: metaliczny łuk, niebiesko–czerwona lub duży kontrast. Szeroki wybór dostępnych palet barw umożliwia użytkownikowi większą elastyczność podczas kontroli termicznej, analizy i raportowania.



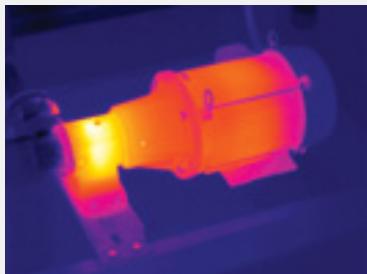
BURSZTYN



GORĄCY METAL



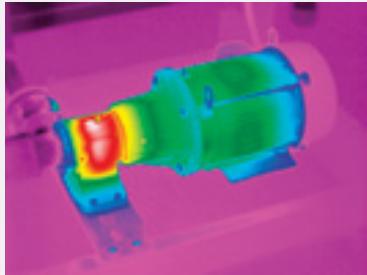
NIEBIESKO-CZERWONA



METALICZNY ŁUK



SKALA SZAROŚCI



WYSOKI KONTRAST



ANALIZA, RAPORTOWANIE ORAZ DOKUMENTOWANIE

Oprócz umiejętności prawidłowego użytkowania i obchodzenia się z kamerą termowizyjną praca kontrolera polega także na analizowaniu, raportowaniu oraz dokumentowaniu wyników pomiarów. Do wykonania tych zadań służą specjalistyczne przyrządy do analizy.

ANALIZA WYNIKÓW TESTÓW

W dużej mierze skuteczność zastosowania termografii uzależniona jest od umiejętności użytkownika do prawidłowego przeprowadzenia testu, warunków pracy, rejestrowana istotnych danych oraz właściwego interpretowania wyników. Napotkane przez kontrolera zmienne mogą być liczne i różnorodne. Dlatego należy przeprowadzenie pomiarów termograficznych zależy od wyszkolenia i kwalifikacji kontrolerów.

Użytkowników kamer certyfikuje się wg trzech kategorii: I, II oraz III, z których najwyższa jest I, a najniższa III. W trakcie realizacji oficjalnego programu szkoleniowego osoba certyfikowana na poziomie I posiada kwalifikacje w zakresie zbierania danych, ale musi pracować pod nadzorem osoby certyfikowanej na poziomie II. Poziom II upoważnia do interpretowania danych i pisania raportów. Oficjalny program szkoleniowy musi zawierać spisane procedury kontroli, zwykle opracowane na podstawie norm branżowych oraz we współpracy z certyfikowanym kontrolerem III stopnia.

RAPORTOWANIE ORAZ DOKUMENTOWANIE

Po dokonaniu prawidłowej oceny wyników może być wymagane sporządzenie raportu. Częścią procesu raportowania jest zapoznanie zleceniodawcy z naturalnymi ograniczeniami termografii oraz znaczeniem kontroli termicznych. W efekcie raport zawiera zalecane czynności mające na celu skorygowanie nieprawidłowości, które ujawniła kontrola termiczna.

Kontroler zwykle podaje również dodatkowe informacje dotyczące miejsca wystąpienia usterki, diagnozy oraz sugerowanych czynności korygujących. Połączenie istotnych informacji podanych przez kontrolera z uzupełniającymi danymi z pozostałych kontroli lub testów, konserwacji, planów naprawy oraz analiz kosztów zapewnia optymalny wynik kontroli termicznej. Dlatego umiejętności komunikacyjne są równie ważne, co techniczne.

Raporty mogą być opracowywane w różnej formie oraz dotyczyć różnorodnych danych. Każdy powinien jednak zawierać takie informacje, jak:

- Nazwisko kontrolera
- Marka, model oraz numer seryjny kamery termowizyjnej

- Opis warunków otoczenia, takich jak: prędkość i kierunek wiatru, opady, wilgotność oraz temperatura otoczenia
- Warunki pracy układu: obciążenie oraz cykl pracy
- Identyfikacja oraz umiejscowienie testowanego sprzętu i jego elementów
- Lista istotnych urządzeń, które nie zostały przetestowane, łącznie z uzasadnieniem ich pominięcia
- Ustawienia parametrów przyrządu, jak: emisyjność i ustawienia podstawowe
- Obrazy termiczne oraz odpowiadające im obrazy widzialne wszystkich urządzeń przetestowanych
- Opis części wymagającej ponownego sprawdzenia kamerą termowizyjną po naprawie

Dokumentacja nie może być przedstawiana w sposób zakłócający układ raportu, ale w sposób czytelny, wspomagający prezentację ważnych informacji. Wzorcowe raporty kontroli termicznych charakteryzują się naturalnym ciągiem danych, uzupełniającym obrazy termiczne oraz widzialne (fot. 8–1).

Bardzo przydatny może być dostęp do różnych szablonów raportów. Na przykład prosty szablon raportu można zastosować do udokumentowania pomyślnych napraw sprzętu testowanego kamerą termowizyjną. Specjalne szablony raportów mają natomiast zastosowanie w szczególnych przypadkach kontroli termicznych.

Tworząc raport termograficzny, kluczowy personel powinien dostać dodatkowe kopie zależnie od potrzeby. Kopie mogą być w formie elektronicznej lub wydruku. Raporty elektroniczne należy zapisać i zabezpieczyć (np. stosując format PDF przed rozesłaniem, aby uniknąć wprowadzania zmian w ich treści).

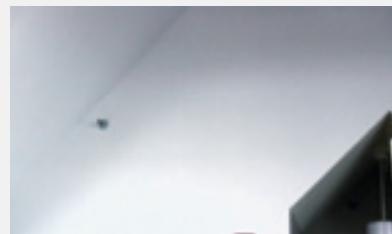
Dalsze monitorowanie poszczególnych nieprawidłowości w bardziej jednostkowy sposób może przynieść dodatkowe korzyści. Na przykład można uzyskać informacje dotyczące konkretnego rodzaju

urządzenia lub danego procesu. Później dane te można pobrać, a następnie powiązać z określonym sprzętem, aby wspomóc pracę kolejnych użytkowników.

Oprócz właściwego użytkowania i obchodzenia się z kamerą termowizyjną skuteczny kontroler powinien posiadać umiejętności analizowania oraz dokumentowania wyników poprzez prawidłowe raportowanie. Umiejętności te są niezbędnym elementem opinii o wysokiej jakości pracy. Raportowanie stanowi najlepsze źródło pokontrolnych zaleceń.

Fot. 8-1. Raporty kontroli termicznej zawierają zwykłe obrazy termiczne oraz odpowiadające obrazy widzialne w celu odniesienia.

Raportowanie termiczne oraz dokumentowanie



OBRAZ WIDZIALNY



OBRAZ TERMICZNY



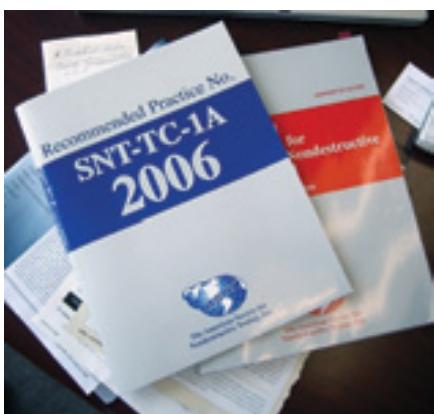
ŹRÓDŁA INFORMACJI O TERMOGRAFII

Zródłem dodatkowych informacji o termografii oraz kamerach termowizyjnych mogą być: aktualizacje sprzętu, zasady bezpieczeństwa, seminaria szkoleniowe, narzędzia edukacyjne oraz organizacje standaryzujące i branżowe. Zasoby te dostępne są zarówno w postaci elektronicznej, jak i drukowanej.

ŹRÓDŁA INFORMACJI

Użytkownicy kamer termowizyjnych mają dostęp do znaczącej ilości informacji dotyczących termografii oraz przyrządów pomiarowych. Termografia stosowana jest w diagnostyce budowlanej, przemyśle i komercyjno-przemysłowej już od ponad 40 lat. Niemniej jednak wielu profesjonalistów, np. techników konserwacji i elektroników dopiero zapoznaje się z tą technologią oraz jej zaletami, jak i z samą zasadą działania kamer termowizyjnych.

Dużo informacji uzyskasz z publikacji różnych organizacji standaryzujących.



Rozpowszechnienie nowych informacji spowodowało gwałtowny wzrost zastosowań termografii w ciągu kilku ostatnich lat. Należy pamiętać, że niektóre informacje dotyczące termografii, zwłaszcza te opublikowane na stronach internetowych nie zawsze są precyzyjne lub prawdziwe. Dlatego zaleca się zgłębianie wiedzy ze źródeł, takich jak: niniejsza publikacja oraz inne, wymienione poniżej. Zaleca się jednocześnie krytyczne podejście do nieznanych źródeł. Źródłem informacji mogą być również normy, zasoby on-line, książki, inne publikacje organizacji branżowych.

NORMY

Norma to ustalona procedura działania lub praktyka zatwierdzona przez ekspertów branżowych. Normy stanowią zbiór ustalonych kryteriów pracy. Podczas gdy zgodność z normami branżowymi może być dobrowolna, jednak ich przestrzeganie należy do dobrych praktyk. Różnego rodzaju specjaliści różnych dziedzin przemysłu biorą udział przy tworzeniu norm, udostępnianych następnie przez wiele organizacji (tabela 9-1). Stanowią one cenne źródło specjalistycznych i szczegółowych informacji dotyczących różnych aspektów termografii.

Zasoby on-line

Zasoby on-line to źródło informacji dostępne dla użytkowników przez połączenie internetowe. Zasoby tego rodzaju stanowią źródło instrukcji dla studentów, użytkowników kamer termograficznych oraz techników. Dodatkowych informacji dostarczają zwykle producenci sprzętu, organizacje standaryzujące, materiały edukacyjne oraz organizacje branżowe. Zasobami on-line mogą być np. fora internetowa, na których doświadczeni przedstawiciele producentów udzielają wskazówek użytkownikom przyrządów w celu rozwiązania usterki lub zaleceń dotyczących zastosowania.

Książki oraz inne publikacje

Książki i inne materiały drukowane mogą służyć użytkownikowi jako pomoc techniczna w celu poszerzenia indywidualnej wiedzy użytkownika kamery termograficznej lub osoby stosującej technikę termografii. Kilka książek oraz innych publikacji z tej dziedziny jest już dostępnych.

Organizacje branżowe

Organizacja branżowa to organizacja szkoląca i dostarczająca informacje dotyczące termografii poprzez publikacje, spotkania szkoleniowe oraz aktywność w lokalnych oddziałach. Zaleca się, aby wszyscy użytkownicy kamer oraz technicy aktywnie uczestniczyli w różnego rodzaju organizacjach branżowych. Umożliwiają one swoim członkom pozyskanie bieżącej wiedzy na temat nowych rozwiązań technologicznych, tendencji zmian w przemyśle. Zapisanie się do takiej organizacji otwiera szereg nowych możliwości oraz wspomaga zdobywanie wiedzy z zakresu termografii, a także najnowszych przyrządów i technik testowania/kontroli.

Tabela 9–1. Normy to ustalone procedury lub praktyki zatwierdzone przez ekspertów branżowych.

Organizacje standaryzujące	
American Society for Nondestructive Testing (ASNT)	
1711 Arlingate Lane PO Box 28518 Columbus, OH 43228 614-274-6003	www.asnt.org
ASTM International (ASTM)	
100 Barr Harbor Drive PO Box C700 West Conshohocken, PA 19428 610-832-9598	www.astm.org
Canadian Standards Association (CSA)	
5060 Spectrum Way Suite 100 Mississauga, ON L4W 5N6	www.csa.ca
Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)	
1828 L Street NW Suite 1202 Washington, DC 20036 202-785-0017	www.ieee.org
International Electrotechnical Commission (IEC)	
3, rue de Varembe' PO Box 131 CH-121 Geneva 20 Switzerland	www.iec.ch
International Organization for Standardization (ISO)	
1, ch. de la Voie-Creuse Case postale 56 CH-1211 Geneva 20, Switzerland +41 22 749 01 11	www.iso.org
National Fire Protection Association (NFPA)	
1 Batterymarch Park Quincy, MA 02169 617-770-3000	www.nfpa.org



INNE TECHNOLOGIE POWIAZANE

Do analizowania i rozwiązywania problemów urządzeń przemysłowych i komercyjnych, oprócz termografii, stosuje się także inne technologie i metody. Metody te obejmują kontrole wizualne oraz słuchowe, analizy elektroniczne, ultradźwiękowe, analizy dugań i smaru oraz zużycia częstek. Mogą być wykonane niezależnie w celu skorygowania nieprawidłowości lub w uzupełnieniu do pomiarów kamerą termowizyjną i weryfikacji uzyskanych wyników.

KONTROLE WIZUALNE I SŁUCHOWE

Kontrola wizualna i słuchowa to analizy widocznych oznak nieprawidłowości oraz dźwięków generowanych w trakcie pracy urządzenia, przeprowadzane w celu wytypowania części wymagającej konserwacji lub naprawy (fot. 10–1). Kontrola wizualna i słuchowa to najprostsza metoda konserwacji doraźnej wykonywana na terenie obiektu i niewymagająca żadnych narzędzi lub przyrządów. Niestandardowa praca urządzenia jest odnotowywana a wymagana praca konserwacyjna zostaje od razu zaplanowana.

Kontrola wizualna może być stosowana jako metoda uzupełniająca, np. przy testowaniu penetranta wnikającego w celu lokalizacji drobnych przełomów powierzchni metali. Metal jest dokładnie oczyszczany i pokrywany rozpylonym barwnikiem zbierającym się w małych przełomach lub wgłębienniach na powierzchni. Następnie usuwa się nadmiar barwnika dzięki czemu wykrywa się małe pęknięcia lub wgłębienia pod powierzchnią.

ANALIZA ELEKTRYCZNA

Analiza elektryczna należy do metod analizy na podstawie monitorowania sprzętu elektrycznego w celu oceny jakości mocy elektrycznej dostarczanej do urządzenia oraz efektywności jego pracy (fot. 10–2). Monitorowanie sprzętu elektrycznego umożliwia także pomiary minimalnych i maksymalnych wartości napięcia, różnic napięć międzyfazowych, strat napięcia oraz poziomów prądu. Na podstawie tej metody można również ocenić jakość mocy dostarczanej do czułego sprzętu elektronicznego.

Fot. 10–1. Technicy konserwacji rutynowo sprawdzają wygląd oraz dźwięki generowane przez urządzenia, stosując kontrole wizualne i słuchowe

Kontrola wizualna i słuchowa



Fot. 10–2. Monitorowanie urządzenia elektrycznego umożliwia ocenę jakości energii dostarczanej do urządzenia.

Analiza elektryczna



Jednym z najpowszechniejszych zastosowań analizy elektrycznej jest sprawdzanie pracy silników elektrycznych oraz obwodów. Analiza obwodów silnika stanowi rodzaj analizy elektrycznej silników i obwodów przeprowadzanej albo on-line (pod napięciem), albo off-line (bez zasilania). Obie metody testowe umożliwiają wczesne wykrycie defektów lub awarii w elektrycznym układzie rozdzielczym silników, obwodów silników oraz przenoszeniach napędu silnika.

WYKRYWANIE ULTRADŹWIĘKÓW W POWIETRZU

Wykrywanie ultradźwięków w powietrzu jest metodą analizy sprzętu wytwarzającego wzmożone dźwięki o wysokiej częstotliwości w celu wykrycia ewentualnych nieprawidłowości. Czuły detektor dźwiękowy przetwarza te dźwięki, pozostające zwykle poza zakresem słyszalności na sygnały słyszalne przez ludzi. Sygnały te mogą wskazywać, pośród innych rzeczy, na: niestandardowe rozgrzanie się połączeń elektrycznych, uchodzenie powietrza i pary w układach instalacyjnych, a także tarcie łożysk, jak i na wiele innych usterek.

ANALIZA DRGAŃ

Analiza drgań polega na monitorowaniu drgań pojedynczej części maszyny w celu określenia stanu urządzenia. Zużyte części maszyn często powodują awarie. Wytwarzają również wzmożone drgania lub wyraźnie słyszalny szum. Analiza drgań należy do najpowszechniejszych technik monitorowania stosowanych przy badaniu maszyn z elementami obracającymi się.

ANALIZA SMARU

Analiza smaru stanowi jedną z technik konserwacji doraźnej, polegającej na wykrywaniu obecności kwasu, zanieczyszczeń, paliwa lub zużytych częstek smaru oraz sprawdzaniu tych substancji w celu przewidzenia awarii. Analiza smaru jest czynnością planowaną. Próbka smaru z maszyny pobierana jest w celu ustalenia stanu smaru oraz części poruszających się. Próbki są zwykle wysyłane do firmy specjalizującej się w analizowaniu smaru.

ANALIZA ZUŻYCIA CZĄSTEK

Analiza zużycia częstek to weryfikacja zużycia częstek obecnych w smarze. Podczas gdy analiza smaru skupia się na ocenie jego stanu, ta metoda polega na sprawdzaniu wielkości, ilości, kształtu oraz składu częstek wytworzonych przez zużywające się części. Monitorowanie zużycia częstek umożliwia oszacowanie stanu urządzenia. Standardowe zużycie następuje, gdy części urządzenia wchodzą ze sobą w interakcje. Wzrost częstotliwości oraz wielkość zużycia częstek w smarze wskazuje na zużycie części lub awarię.



INDEKS

- A**
Absorpcja, 21
Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (OSHA), 15
Amerykańskie Stowarzyszenie Testowania Materiałów (ASTM), 15
Amerykańskie Towarzystwo Badań Nieniszczących (ASNT), 13
Analiza drgań, 63
Analiza elektryczna, 62
Analiza obwodu silnika, 63
Analiza smaru, 63
Analiza zużycia częstek, 63
- D**
Dach o niskim nachyleniu, 50
Detektor typu FPA, 3
Długofalowa kamera termowizyjna, 4
Doraźne pole widzenia (IFOV), 25
Druga zasada termodynamiki, 17
- E**
Emisja, 21
Energia, 17
Energia elektromagnetyczna, 20
- G**
Gradient termiczny, 46
Granice zabezpieczenia przed błyskiem łuku elektrycznego, 14
- I**
Izolator, 18
- K**
Kamera termowizyjna, 3
Konserwacja doraźna, 10
Konserwacja okresowa, 9
Kontrola linii bazowej, 47
Kontrola trendów termicznych, 48
Kontrola wizualna i słuchowa, 62
Konwekcja, 18
Krótkofalowa kamera termowizyjna, 4
- L**
Łuk elektryczny, 13
- M**
Mierzony obiekt, 4
Międzynarodowa Organizacja Normalizująca (ISO), 13
Mikron (μm), 4
- N**
Norma, 60
- O**
Obraz radiometryczny, 3
Organizacja branżowa, 61
Osoba wykwalifikowana, 14
- P**
Paleta, 57
Pierwsza zasada termodynamiki, 17
Pojemność cieplna, 18
Pole widzenia (FOV), 24
Pomiar IFOV, 25
Powłoka termiczna, 52
Promieniowanie, 1
Przewodnik, 18
Przewodzenie, 18
Okienko przepuszczające promień podczerwieni, 45
- R**
Radiacja, 18
Radiacja cieplna, 20
Radiometria, 9
- S**
Spektrum elektromagnetyczne, 20
Strzał łuku elektrycznego, 13
Sygnatura termiczna, 8
Ślepotwa zmierzchowa, 15
- T**
Temperatura, 17
Tendencyjność termiczna, 55
Termodynamika, 17
Termografia ilościowa, 54
Termografia jakościowa, 54
Termografia porównawcza, 54
Termografia w podczerwieni, 1
Termogram, 5
Transmisja, 21
- U**
Ultradźwięki w powietrzu, 45
- W**
Wyjątek termiczny, 43
- Z**
Zasoby on-line, 61