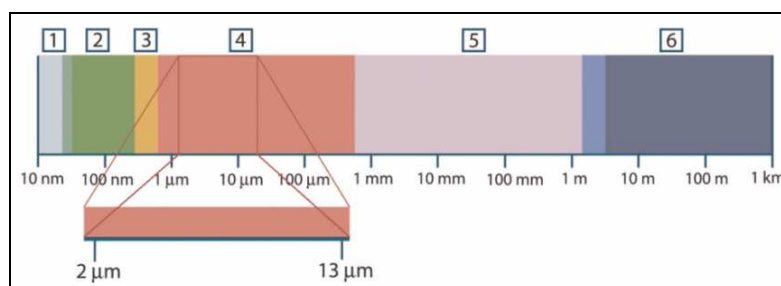


Pomiary termowizyjne w systemach diagnostycznych

W wielu gałęziach przemysłu dostrzeżono zalety wykorzystania kamer termowizyjnych w programach prewencyjnych przeglądów technicznych. Technologia zobrazowania w podczerwieni stała się jedną z najbardziej wartościowych narzędzi diagnostycznych w zastosowaniach przemysłowych. Kamera termowizyjna jest unikalnym narzędziem służącym do ustalenia, kiedy i gdzie należy podjąć prace obsługowo-naprawcze w instalacjach elektrycznych i mechanicznych, w których awaria jest zazwyczaj poprzedzona przez wzrost temperatury. Po wykryciu gorących miejsc z użyciem kamery termowizyjnej można podjąć kroki zaradcze. Pozwala to uniknąć kosztownych przestojów produkcji, może nawet pożaru. Poza znajomością zasady działania kamery termowizyjnej i sposobu rejestracji obrazów trzeba znać prawa fizyki dotyczące rejestrowanych instalacji elektrycznych czy mechanicznych oraz ich konstrukcji. Do najczęstszych zastosowań termografii w diagnostyce należy zaliczyć: analizę wad technologicznych w budownictwie; wyszukiwanie zwiększonej rezystancji dla urządzeń elektrycznych; analizę stanu wadliwie pracujących urządzeń mechanicznych; lokalizację wewnętrznych samozapłonów hałd węglowych; wyszukiwanie ognisk pożarów leśnych; analizę medyczną, itp.

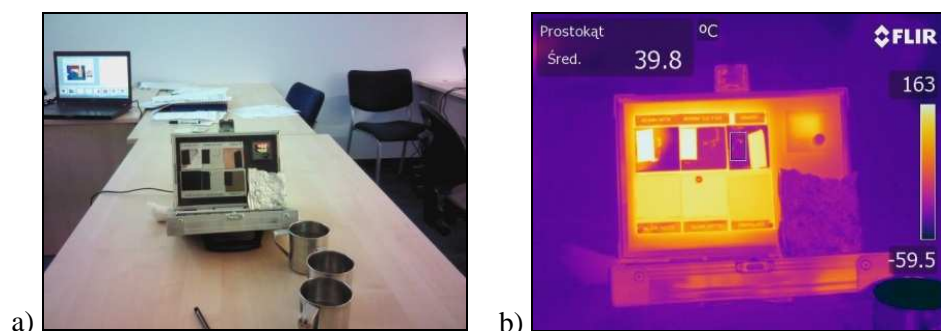


Rys. 1. Widmo elektromagnetyczne: 1 – promieniowanie Roentgena; 2 – UV; 3 – światło widzialne; 4 – podczerwień; 5 – mikrofałe; 6 – fale radiowe

Kamera termowizyjna rejestruje intensywność promieniowania w podczerwonej części widma elektromagnetycznego i zamienia je na obraz widzialny. Promieniowanie podczerwone leży między widzialną a niewidzialną częścią widma elektromagnetycznego. Każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego (0 stopni Kelvina) emituje promieniowanie w zakresie podczer-

wonym (rys. 1). Nawet ciała, które wydają się nam bardzo zimne, takie jak kostki lodu, emitują promieniowanie podczerwone [Więcek 2011]. Pasmo podczerwieni jest często dzielone na cztery mniejsze pasma, których granice są również określone umownie. Są to: bliska podczerwień (0,75–3 μm), średnia podczerwień (3–6 μm), daleka podczerwień (6–15 μm) i bardzo daleka podczerwień (15–100 μm).

Energia odbierana przez kamerę nie zależy jedynie od temperatury obiektu, ale jest także funkcją emisyjności. Promieniowanie pochodzi także z otoczenia i jest ono odbijane przez obiekt. Na promieniowanie obiektu i promieniowanie odbite ma także wpływ absorpcja atmosfery. Aby dokonać dokładnego pomiaru temperatury, niezbędne jest skompensowanie wpływu różnych źródeł promieniowania. Jest to dokonywane automatycznie przez kamerę, po wprowadzeniu do niej odpowiednich parametrów obiektu: emisyjność obiektu, temperatura otoczenia (odbita temperatura pozorną), odległość między obiektem a kamerą, wilgotność względna, temperatura atmosfery. Najważniejszym parametrem obiektu, który będzie obserwowany przez kamerę, jest jego emisyjność. Emisyjność jest miarą intensywności promieniowania emitowanego przez obiekt w stosunku do intensywności promieniowania emitowanego przez ciało doskonale czarne o tej samej temperaturze. Materiały obiektów i ich obrobione powierzchnie charakteryzują się emisyjnością w zakresie od 0,1 do 0,95. Dobrze wypolerowane (lustrzane) powierzchnie mają emisyjność poniżej 0,1. Powierzchnie oksydowane lub pomalowane mają większe emisyjności. Farba olejna, niezależnie od jej koloru w świetle widzialnym, ma w obszarze podczerwieni emisyjność wynoszącą ponad 0,9. Skóra ludzka wykazuje emisyjność wynoszącą od 0,97 do 0,98 [Kostowski 1993].



**Rys. 2. Stanowisko do kalibracji kamery termowizyjnej:
a) płyta kalibracyjna, b) pole termowizyjne płyty**

Współczynnik emisyjności ε obiektów o wysokiej temperaturze, zależny od kąta obserwacji α , dla dowolnego punktu krzywizny walca lub ε dowolnej powierzchni płaskiej, można także wyznaczyć, stosując przybliżoną zależność:

$$\varepsilon \approx \left(\frac{T_w}{T_r} \right)^4$$

T_w – temperatura wskazana przez kamerę w danym punkcie powierzchni ciała lub krzywizny walca;

T_r – temperatura rzeczywista w danym punkcie powierzchni ciała lub krzywizny walca, zmierzona np. metodą stykową z zastosowaniem termometru.

Tabela 1

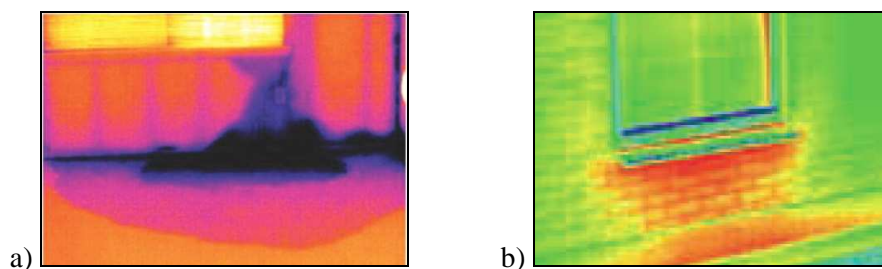
Zestawienie przykładowych współczynników emisyjności

| Materiał | Emisyjność |
|-------------------------|-------------------|
| Aluminium, matowe | 0,07 |
| Cegła, szkliwo | 0,85 |
| Cynk, arkusz | 0,2 |
| Guma | 0,95 |
| Szkło | 0,92 |
| Stal, arkusz, niklowana | 0,11 |
| Papier, biały, czarny | 0,9 |

W badaniach wykorzystano kamerę typu FLIR T620 o wysokiej skuteczności analiz termowizyjnych dzięki zastosowaniu najnowszej technologii detektora. Rozdzielczość detektora (ilość czujników mierzących natężenie promieniowania podczerwonego) to 305 tysięcy, a czułość termiczna (różnica temperatur, jaką detektor może zwizualizować) to 40mK. Im niższa wartość, tym obraz pokazywany przez kamerę jest stabilniejszy o mniejszych szumach. Zestawienie podstawowych parametrów kamery: rozdzielczość detektora 640 x 480; czułość termiczna < 40mK @ 30°C; zakres pomiaru temperatury od -40 do +650; częstotliwość odświeżania 30Hz; obiektyw standard 25° x 19°; wyświetlacz – przekątna 4,3 cala; zoom cyfrowy od x1 do x4; znacznik min, max temperatury; aparat cyfrowy 5Mpix; filmowanie w podczerwieni; obraz w obrazie; dotykowy wyświetlacz [Dokumentacja...].

1. Systemy budowlane

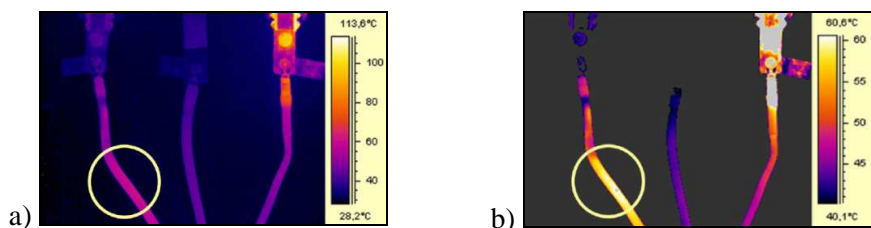
Przy użyciu kamery termowizyjnej można często wykryć szkody spowodowane przez wilgoć i wodę. Wynika to m.in. z tego, że uszkodzony obszar ma inną właściwość przewodnictwa cieplnego oraz inną pojemność cieplną do magazynowania ciepła niż otaczający go materiał. Na rys. 2 przedstawione zostały przykłady uszkodzenia ściany zewnętrznej, gdzie woda przeniknęła przez okładzinę oraz efekt zbyt małej ilości izolacji podokiennej.



Rys. 3. Przykłady detekcji uszkodzeń budowlanych
 a) zacieki wodne, b) niewystarczająca izolacja okienna

2. Systemy elektryczne i elektroniczne

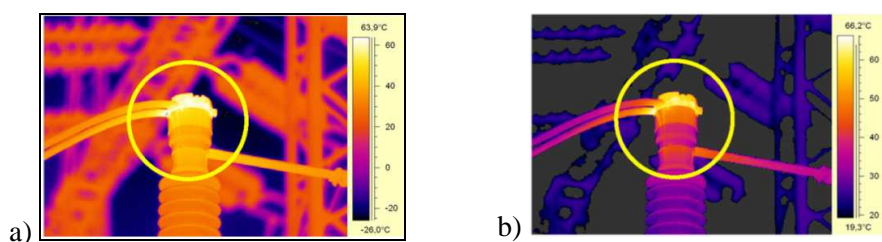
Liczne zastosowania kamer termowizyjnych do systemów elektrycznych można podzielić na dwie kategorie: instalacje wysokiego i niskiego napięcia. W instalacjach wysokiego napięcia bardzo ważnym czynnikiem jest ciepło. Prąd, przepływając przez element stawiający opór elektryczny, wytwarza ciepło. Większy opór powoduje zwiększone wydzielanie ciepła. Z czasem opór połączeń elektrycznych rośnie, na przykład wskutek ich obłuzowywania się i korozji. Towarzyszący temu wzrost temperatury może spowodować awarię elementów, co może skończyć się nieplanowanymi przerwami zasilania. Poza tym, energia wydatkowana na wytwarzanie ciepła to energia niepotrzebnie tracona. Ciepło to, jeżeli nie będzie pod kontrolą, może narastać do takiego punktu, w którym złącza stopią się i zostaną zerwane.



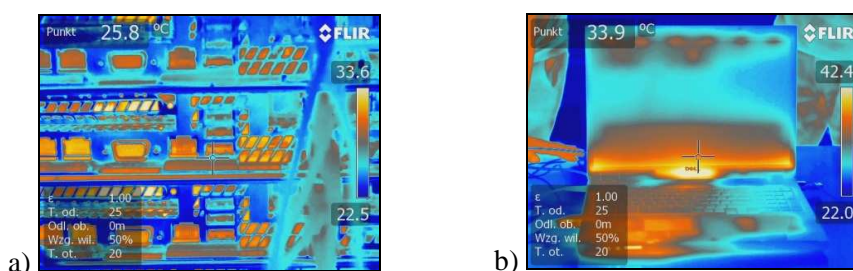
Rys. 4. Detekcja uszkodzeń elektrycznych połączeń kablowych

Na rys. 4 przedstawione są dwa obrazy termowizyjne miejsc połączeń kabli. Prawidłowa analiza lewego kabla na podstawie lewego obrazu jest trudna do wykonania, jeśli dostroi się obraz tylko automatycznie. Aby przeanalizować prawidłowo rejestrowaną scenę, przeprowadzono dobór poziomu skali i zmianę zakresu skali temperatury do poziomu temperatury bliskiej temperaturze obiektu. Na skali temperatury po prawej stronie każdego obrazu widać, jak zmieniły się poziomy temperatury. Ilustracje na rys. 5 przedstawiają dwa obrazy termowizyjne izolatora na linii energetycznej. Na obrazie z lewej strony niebo

i struktura linii energetycznej zostały zarejestrowane z temperaturą minimalną 26°C. Na obrazie po prawej stronie maksymalny i minimalny poziom zmieniono tak, aby dopasować go do poziomu temperatury bliskiej temperaturze izolatora, co ułatwia analizę wahań jego temperatury [Madura 2004].



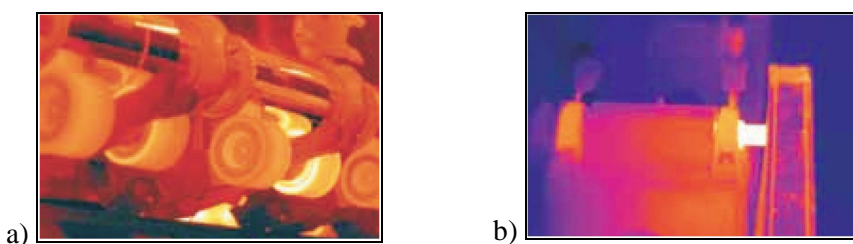
Rys. 5. Analiza jakości izolatorów wysokiego napięcia



Rys. 6. Rozkład pola termicznego dla interfejsu i peryferii klastra obliczeniowego DZIDZIA w Centrum CiITWTP UR

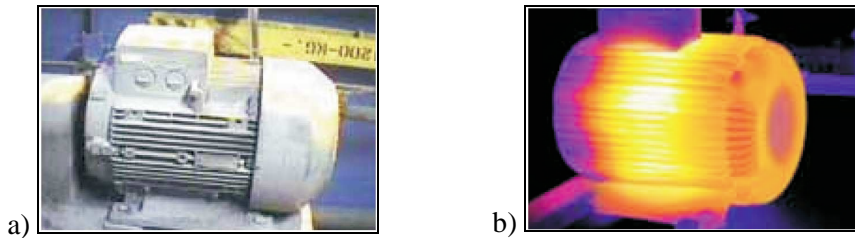
3. Systemy mechaniczne

Dane temperaturowe zarejestrowane kamerą termowizyjną stanowią nieocenione źródło uzupełniających informacji w badaniu wibracji urządzeń mechanicznych. Na ogół zużyciu i spadkowi wydajności elementów mechanicznych towarzyszy zwiększone wydzielanie ciepła. W rezultacie temperatura psującego się systemu przed całkowitym uszkodzeniem szybko rośnie.



Rys. 7. Analiza jakości taśmociągu i napędu elektrycznego

Przez okresowe porównywanie odczytów z kamery termowizyjnej z rozkładem temperatury urządzenia pracującego w normalnych warunkach można wykryć różnego rodzaju stany awaryjne. Rys. 7 pokazuje możliwość wystąpienia uszkodzeń na rolkach taśmociągu i łożysku silnika napędowego.



Rys. 8. Problem z uzwojeniami silnika elektrycznego

Uszkodzenia silników, takie jak zużycie się szczotek i zwarcia uzwojeń, na ogół, zanim silnik odmówi posłuszeństwa, objawiają się wzrostem temperatury, lecz nie można ich wykryć mierząc wibracje, ponieważ często nie powodują ich wzrostu lub wzrost ten jest nieznaczny. Zobrazowanie w podczerwieni umożliwia porównanie temperatur różnych silników (rys. 8).

Podsumowanie

Przedstawiona kamera może w sposób zaawansowany być wykorzystywana w programach całodobowego, nieprzerwanego monitorowania, umożliwiającego zachowanie sprawnego funkcjonowania np. sieci energetycznej.

Literatura

- Dokumentacja techniczna kamer termowizyjnych typu Flir Systems.*
Kostowski E. (1993), *Promieniowanie cieplne*, Warszawa.
Madura H. (2004), *Pomiary termowizyjne w praktyce*, PAK.
Więcek B. (2011), *Termowizja w podczerwieni, podstawy i zastosowania*, PAK.

Streszczenie

W pracy zaprezentowano ideę pomiarów termowizyjnych polegających na rejestrowaniu natężenia promieniowania cieplnego emitowanego przez ciała o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego. Do tego celu wykorzystano kamerę termowizyjną typu FLIR T620 jako analizator w wybranych zastosowaniach. Stanowisko pomiarowe prezentowane w pracy znajduje się w Centrum CliTWTP Uniwersytetu Rzeszowskiego.

Słowa kluczowe: podczerwień, termowizja, emisyjność, diagnostyka systemów.

Infrared measurement technology in diagnostic systems

Abstract

The paper presents the idea of infrared measurements involving the recording of the intensity of thermal radiation emitted by a body with a temperature above absolute zero. For this purpose the type of infrared camera FLIR T620 as an analyzer for several applications has been presented. Described device stands one of the scientific laboratories equipment of CiTWTP Center at the University of Rzeszow.

Key words: infrared, thermography, emissivity, diagnostics systems.