

Małgorzata ŁATKA  
Tomasz PIECHOTA

## KAMERY TERMOWIZYJNE W OCENIE JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

**STRESZCZENIE** Kamery termowizyjne okazują się być bardzo skutecznymi narzędziami diagnostycznymi w elektroenergetyce. Coraz częściej wykorzystuje się je do bezdotykowych pomiarów stanu urządzeń elektroenergetycznych w stacjach transformatorowych, rozdzielniach itd. Na podstawie otrzymanych obrazów termowizyjnych można ocenić stan urządzeń tam znajdujących się. Czy również takie obrazy termowizyjne mogą posłużyć do oceny jakości energii elektrycznej w wybranym punkcie systemu elektroenergetycznego? Otóż okazuje się, że jak najbardziej. W artykule zaprezentowano zasady przeprowadzania pomiarów oraz wyniki pomiarów kamerą termowizyjną, w postaci obrazów termowizyjnych i ich analizę pod kątem oceny jakości energii elektrycznej w wybranych punktach systemu elektroenergetycznego. Otrzymywane, w bardzo szybki, bezdotkowy i w sumie tani sposób obrazy termograficzne mogą być wskazaniem do przeprowadzenia dalszych, bardziej zaawansowanych pomiarów w zakresie jakości energii elektrycznej.

**Słowa kluczowe:** jakość energii elektrycznej, kamera termowizyjna, monitoring parametrów jakości energii elektrycznej

### 1. WSTĘP

---

Technika termowizyjna wykorzystuje promieniowanie podczerwone do wizualizacji pola temperatury danego obiektu. Wykorzystanie jej w różnych dziedzinach nauki, techniki i przemysłu dało możliwość „zobaczenia zjawisk niewidocznych gołym okiem”.

---

**dr inż. Małgorzata ŁATKA, mgr inż. Tomasz PIECHOTA**  
e-mail: mlatka@prz.edu.pl, tomekk45@interia.pl

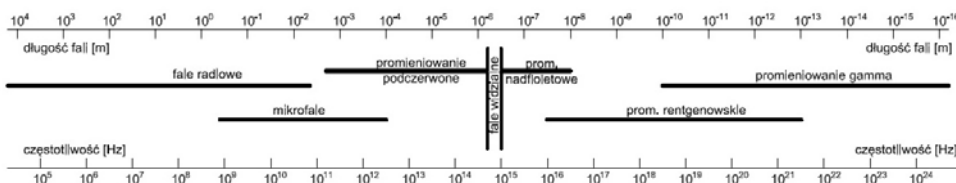
Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki,  
Katedra Ergoelektroniki, Elektroenergetyki i Systemów Złożonych,  
35-959 Rzeszów ul. W. Pola 2

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 272, 2016

Główną zaletą termowizji jest jej bezinwazyjność i szybkość wykonywania pomiarów rozkładu temperatury na powierzchni wybranego obiektu, a następnie możliwość analizy i diagnostyki na podstawie otrzymanych w trakcie pomiarów zdjęć termowizyjnych tzw. termogramów.

Wykorzystywane w termowizji promieniowanie podczerwone wchodzi w skład promieniowania elektromagnetycznego, podobnie jak mikrofałe, światło, fale radiowe, ultrafiolet, promieniowanie gamma i rentgenowskie. Charakterystyczną cechą każdego zakresu promieniowania, jest długość fali. Zakres promieniowania podczerwonego obejmuje następujące pasma fal, przy czym granice tych pasm są umowne:

- bliska podczerwień  $0,75 \div 3 \mu\text{m}$ ,
- średnia podczerwień  $3 \div 6 \mu\text{m}$ ,
- daleka podczerwień  $6 \div 15 \mu\text{m}$ ,
- bardzo daleka podczerwień, zwana też ekstremalnie daleką, o zakresie  $15 \div 100 \mu\text{m}$  [1].



**Rys. 1. Długości i częstotliwości fal elektromagnetycznych**

Termowizja jest technologią umożliwiającą obserwację i rejestrację promieniowania podczerwonego emitowanego przez obiekty. Zarejestrowane przez urządzenia termograficzne (kamery termowizyjne) wartości emitowanego promieniowania podczerwonego pozwalają na stworzenie obrazu będącego odwzorowaniem rozkładu temperatur badanego obiektu. Technologia zobrazowania w podczerwieni jest wygodnym narzędziem diagnostycznym w zastosowaniach przemysłowych. Okazuje się, że termowizja może być także z powodzeniem stosowana w elektroenergetyce.

Kamera termowizyjna jest unikalnym narzędziem do ustalenia miejsc w systemie elektroenergetycznym, gdzie należy podjąć prace pomiarowe lub naprawcze, bowiem zazwyczaj wystąpienie awarii w SEE jest poprzedzone wzrostem temperatury w danym punkcie. Wykrycie „gorących miejsc” umożliwia podjęcie działań zaradczych, zanim nastąpi kosztowna awaria. Metoda termowizyjna pozwala wykryć wiele ewentualnych problemów, uszkodzeń lub wad technicznych różnych obiektów i urządzeń na stacjach elektroenergetycznych, w rozdzielniach i instalacjach elektrycznych w sposób bezinwazyjny i szybki na powierzchni całego obiektu i to z dokładnością, jaka dotąd nie była dostępna [2].

Pomiary termowizyjne w elektroenergetyce są stosowane m.in. do wykrywania punktów przegrzania w urządzeniach i instalacjach elektrycznych, znajdujących się, np. w: bezpiecznikach, stykach, łącznikach, liniach napowietrznych i kablowych, podstacjach, transformatorach, tyrystorach, silnikach, izolatorach, obwodach elektrycznych nadzoru pracy i wykrywania punktów przegrzania maszyn i urządzeń wirujących, łożysk, przekładni, wałów, sprzęgieł, pasków napędowych, łańcuchów, transporterów,

kompresorów i pomp, a także do badania obwodów elektronicznych w celu określenia rozplywu ciepła, oceny jakości chłodzenia oraz wykrycia miejsca ewentualnego zwarcia.

Wcześniejsza reakcja na uszkodzenie, czy przyszłą awarię, na podstawie uzyskanych termografów, wyeliminuje na przykład problemy z niedotrzymaniem warunków ciągłości i niezawodności zasilania, czyli problemy z pogorszeniem jakości energii elektrycznej. Analiza termografów może również być wskazaniem do dalszych pomiarów w danym punkcie systemu elektroenergetycznego, bowiem może okazać się, że występują tu jeszcze inne problemy związane z dotrzymaniem innych parametrów jakości energii elektrycznej, jak niesymetria prądów i napięć, czy niesymetria obciążenia.

Kamera termowizyjna rejestruje intensywność promieniowania w podczerwonej części widma elektromagnetycznego i zamienia je na obraz widzialny. Źródłem promieniowania podczerwonego jest ciepło, dlatego promieniowanie to nazywa się też promieniowaniem cieplnym. Każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego ( $-273^{\circ}\text{C}$  lub  $0^{\circ}\text{K}$ ) emituje promieniowanie w zakresie podczerwonym.

Zastosowanie kamer termowizyjnych w elektroenergetyce wydaje się zatem bardzo oczywiste. Wszędzie tam, gdzie płynie prąd i występuje rezystancja, wydzielane jest ciepło i wzrasta temperatura. Zatem jest to tylko kwestia umiejętnego i poprawnego pomiaru kamerą termowizyjną, a następnie właściwa interpretacja termogramu, by uzyskać informację o stanie sieci elektroenergetycznej w oparciu o właściwości cieplne obserwowanych elementów systemu. Dotyczy to na przykład pomiarów i kontroli generatorów, linii elektroenergetycznych, transformatorów i rozdzielnic wraz z bateriami kondensatorów, bowiem wszystkie te elementy systemu mają wpływ na jakość energii elektrycznej [3].

## **2. ZASADY POMIARÓW TERMOWIZYJNYCH**

---

Kamera termowizyjna służy do bezkontaktowego zobrazowania rozkładu temperatury na obserwowanej powierzchni na podstawie pomiaru mocy promieniowania podczerwonego emitowanego przez poszczególne elementy tej powierzchni. Po skierowaniu kamery na jakiś element systemu elektroenergetycznego, podzespół, część instalacji czy energetyczną linię przesyłową, na ciekłokrystalicznym wyświetlaczu ukazuje się barwny obraz odwzorowujący promieniowanie obiektu w podczerwieni, zwany termogramem [4].

Do analizy zarejestrowanych obrazów wykorzystuje się specjalistyczne programy komputerowe, które umożliwiają precyzyjne określenie temperatury w wyznaczonym miejscu, a analiza termogramów na ekranie komputera stwarza możliwość zauważenia wszystkich nieprawidłowości. Porównując termogramy wykonane w różnym czasie lub na różnych elementach łatwo znaleźć wspólne tendencje lub różnice, które mogą być wskazaniem do dalszych, bardziej szczegółowych pomiarów, bowiem może to być pierwszy sygnał świadczący o nieprawidłowościach.

Generalnie przyjęto zasadę dwuetapowych pomiarów w sieci elektroenergetycznej. Pierwszy etap to zlokalizowanie punktów o podwyższonej temperaturze. Drugi zaś to pomiar, już z bliskiej lecz bezpiecznej odległości, temperatury budzącego

wątpliwość elementu. Chcąc wykorzystać kamery termowizyjne do znalezienia punktów w SEE o pogarszającej się jakości energii elektrycznej, należy po nabraniu podejrzenia (podwyższona temperatura), w mierzonym punkcie podłączyć analizator jakości energii elektrycznej, by określić, czy podwyższeniu temperatury nie towarzyszy pogorszenie jakości energii elektrycznej, np. poprzez niesymetrię prądów, krótkie lub długie przerwy w zasilaniu, przepięcia itp.

Na wyniki pomiarów kamerą mogą mieć wpływ, np. atmosfera, chmury, opady i upały, bowiem one również wysyłają promieniowanie podczerwone, przez co wyniki pomiarów mogą być zniekształcone. Ważna jest tutaj jakość i typ kamery, odpowiednia jej kalibracja i ewentualne ograniczenie czynników mających wpływ na wynik pomiarów, bowiem oszacowanie wpływu różnego typu zakłóceń na wynik jest bardzo trudne.

Przy wykonywaniu pomiarów kamerą termowizyjną istotnym parametrem jest emisyjność mierzonego obiektu. Wielkość ta została wprowadzona w celu odniesienia promieniowania ciała rzeczywistego do wzorca, jakim jest ciało doskonale czarne. Współczynnik emisyjności określa zdolność danego ciała do emitowania własnej energii z pominięciem energii odbitej i przepuszczanej.

W celu wyznaczenia temperatury obiektu niezbędna jest znajomość emisyjności. Wartość współczynnika emisyjności zależy od rodzaju ciała, jego temperatury, długości fali promieniowania [3].

### 3. WYNIKI POMIARÓW TERMOWIZYJNYCH

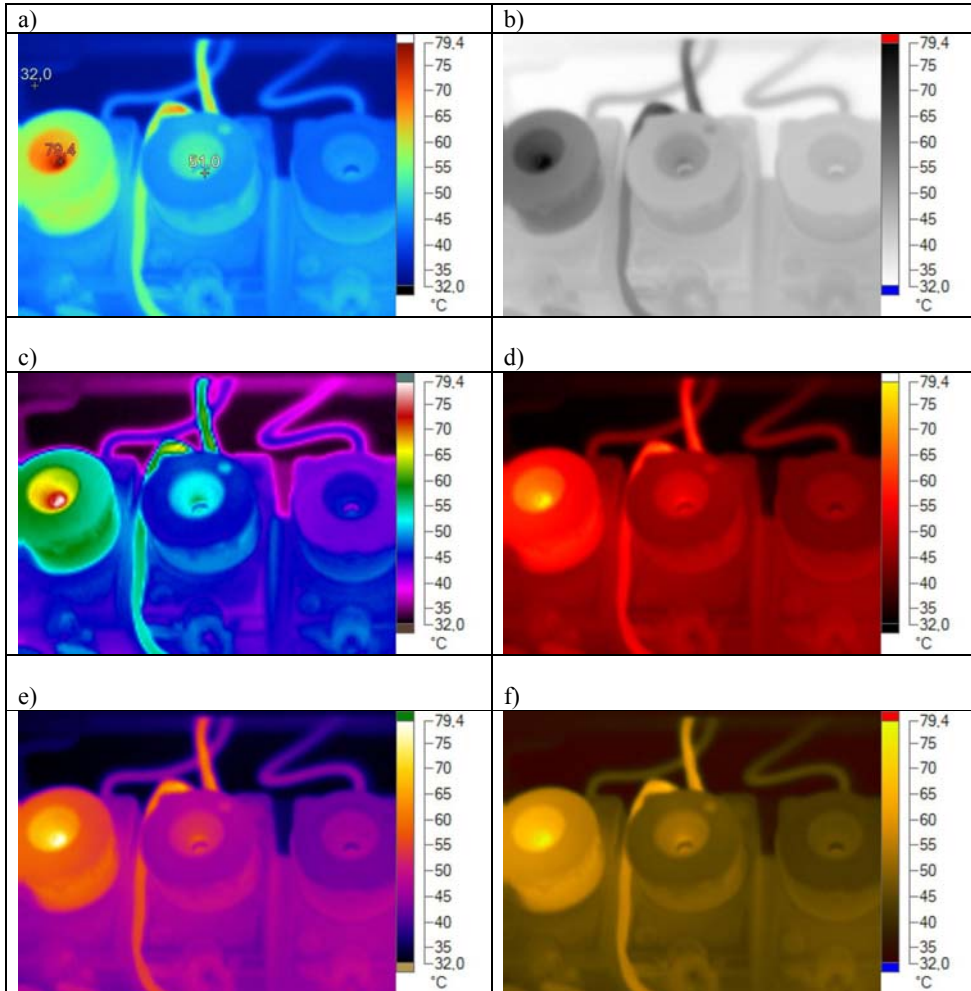
---

Termowizyjne metody diagnozowania urządzeń elektrycznych są stosowane nie tylko do wykrywania uszkodzeń w poszczególnych punktach systemu elektroenergetycznego, ale również mogą być wykorzystane do poszukiwania i wskazywania miejsc w systemie energetycznym, gdzie mogą wystąpić problemy z jakością energii elektrycznej.

W artykule przedstawiono wybrane wyniki pomiarów dla wybranych elementów systemu elektroenergetycznego [5]. Pomiary te wykonano w zakładzie przemysłowym, na różnych obiektach systemu elektroenergetycznego, za pomocą kamery termowizyjnej firmy FLUKE [6].

Elementem poprawiającym możliwości i jakość pracy z urządzeniem termograficznym jest oprogramowanie dostarczone przez producenta sprzętu pomiarowego. Oprogramowanie daje możliwość rozbudowanej analizy zarejestrowanych obrazów termograficznych. Za pomocą oprogramowania można dokonać obróbki zdjęć (termogramów). Obraz rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu można przedstawić w różnej palecie barw, na przykład: niebiesko-czerwone (rys. 2a), skala szarości (rys. 2b), wysoki kontrast (rys. 2c), gorący metal (rys. 2d), żelazo (rys. 2e) i bursztyn (rys. 2f). Informacja o takich możliwościach jest dosyć ważna, bowiem niewłaściwa interpretacja kolorów może być przyczyną błędnej analizy termogramów.

Najwygodniejszym i najbardziej „intuicyjnym” do odczytu jest termogram w palecie barw niebiesko-czerwonej, uzupełniony o znaczniki z temperaturą minimalną, maksymalną i w punkcie centralnym, tak jak przedstawiono na rysunku 2.



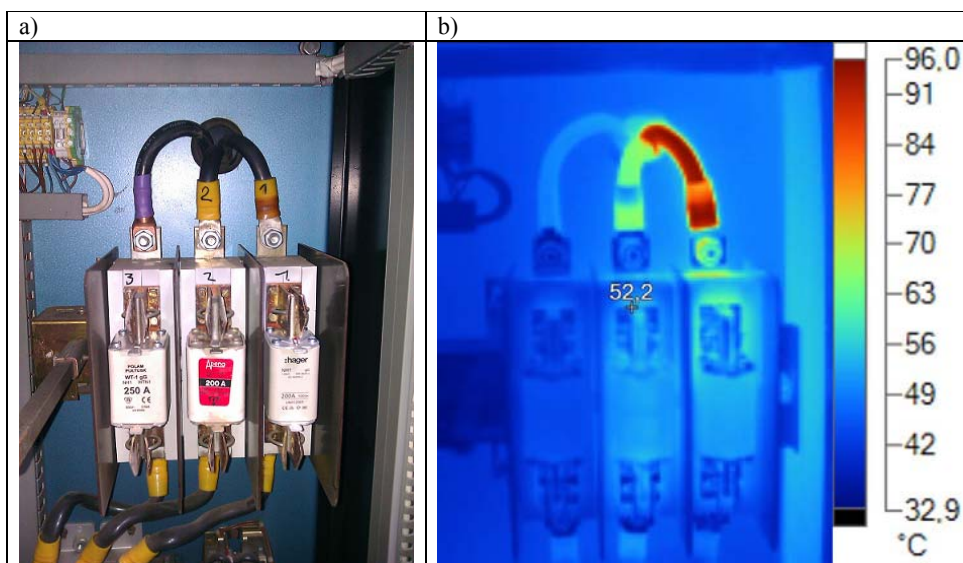
**Rys. 2. Przykładowe obrazy rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu z wykorzystaniem różnych palet barw: a) niebiesko-czerwone, b) skala szarości, c) wysoki kontrast, d) gorący metal, e) żelazo, f) bursztyn**

Zdjęcia termowizyjne różnią się od obrazu widzialnego „gołym okiem”. Na termogramach mogą być widoczne rozmycia konturów, przez co obraz nie zawsze jest ostry. Niemniej jednak bez względu na przyjętą kolorystykę termogramy z rysunku 2 pokazują niesymetrię obciążenia w poszczególnych fazach. Co jest jej przyczyną można będzie stwierdzić dopiero po bardziej szczegółowych pomiarach wartości skutecznej prądu bądź kształtu krzywej prądu (harmoniczne) za pomocą, np. analizatora jakości energii elektrycznej.

### 3.1. Pomiary wykonane w rozdzielniach elektrycznych

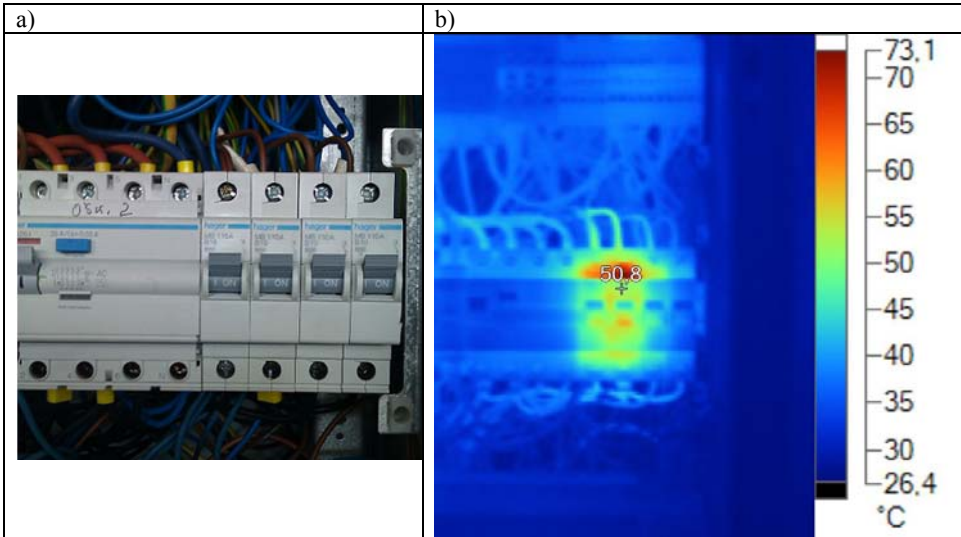
W dalszej części artykułu zamieszczono wybrane wyniki pomiarów w postaci zdjęcia rzeczywistego oraz termogramu dla różnych przypadków [5].

Na rysunku 3 pokazano fragment szafy elektrycznej, z której zasilane jest urządzenie elektryczne o dużej mocy, gdzie można zauważyć, że jeden z przewodów, dochodzący do zacisku śrubowego bezpiecznika typu BM – opisany cyfrą 1, ma ciemniejszy kolor. Świadczy to o przegrzaniu izolacji. W omawianym przypadku często występowało uszkodzenie wkładki bezpiecznikowej w tej fazie, co groziło przerwą w zasilaniu, a tym samym brakiem jego ciągłości.



Rys. 3. Zdjęcie wnętrza szafy elektrycznej (a) oraz jej termogram (b)

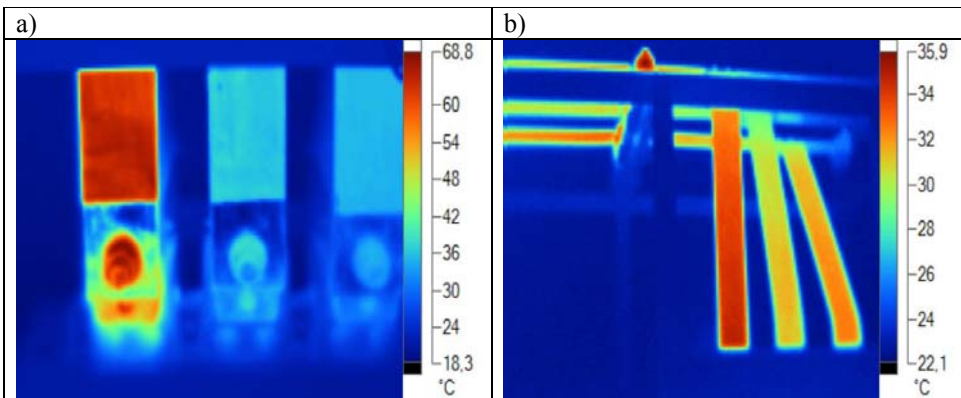
Na rysunku 4 przedstawiono obraz rozdzielni elektrycznej zawierającej trójfazowy wyłącznik różnicowo-prądowy oraz cztery jednofazowe wyłączniki nadmiarowo-prądowe. Na zdjęciu pokazanym na rysunku 4 nic nie wzbudziło niepokoju podczas przeglądu „gołym okiem”, jednakże podczas wykonywania okresowych badań kamerą termowizyjną, w skrzynkach rozdzielczych zauważono, że jeden z wyłączników nadmiarowo-prądowych w pewnym miejscu osiąga temperaturę ponad 70°C, jak to przedstawiono na rysunku 4b. Po dokonaniu analizy przyczyny powstania takiego obrazu termograficznego stwierdzono, że przyczyną może być słaby styk. Takie niewłaściwe podłączenie może skutkować trwałym uszkodzeniem wyłącznika i przerwą w zasilaniu, a także niepotrzebnymi kosztami związanymi z zakupem części zamiennych.



Rys. 4. Zdjęcie rozdzielni elektrycznej (a) oraz jej termogram (b)

### 3.2. Pomiary wykonane w stacji transformatorowej

Zdjęcie termowizyjne przedstawione na rysunku 5 zostało wykonane w stacji transformatorowej, w rozdzielni niskiego napięcia. Rysunek 5a przedstawia termogram szyn zasilających, gdzie widać wyraźnie nierównomierne obciążenie faz, natomiast rysunek 5b – prawidłowy rozkład obciążeń faz. W drugim przypadku różnica



Rys. 5. Termogramy szyn w stacjach transformatorowych:  
a) przy nierównomiernym obciążeniu szyn, b) przy równomiernym obciążeniu szyn

temperatur pomiędzy szynami zasilającymi jest znikoma, zaledwie kilka stopni. Świadczy to o poprawnej pracy urządzeń. W przypadku nierównomiernego obciążenia poszczególnych faz – różnica temperatur jest znaczna, co oznacza, że mogą występować istotne niesymetrie prądów i napięć fazowych, które mają niekorzystny wpływ na pracę różnych rodzajów odbiorników (np. silników elektrycznych) podłączonych do sieci, a nawet mogą uniemożliwić ich normalną pracę. Może to być przyczyną znacznego pogorszenia jakości energii elektrycznej w tym punkcie systemu elektroenergetycznego.

W takich okolicznościach należałoby dokonać szczegółowej analizy przyczyny zaistniałego stanu rzeczy. Może to być wskazaniem do zbadania jakości energii elektrycznej poprzez zastosowanie analizatora właśnie w tym punkcie sieci elektroenergetycznej.

#### 4. PODSUMOWANIE

---

Kamera termowizyjna jest znakomitym przyrządem do diagnozy stanu sieci elektroenergetycznych, instalacji i elementów elektrycznych w liniach energetycznych, stacjach transformatorowych, czy instalacjach wewnątrz budynków. Dzięki badaniom termowizyjnym można zaobserwować asymetrię zasilania w sieci trójfazowej, stan transformatorów, linii energetycznych wysokiego i niskiego napięcia, poprawność działania wyłączników, nieprawidłowości w chłodzeniu układów elektronicznych, monitorowania pracy silników, lokalizacji przeciążeń w urządzeniach mechanicznych oraz wiele innych nie wymienionych. Za pomocą tego urządzenia możliwa jest szybka lokalizacja miejsc występowania przegrzań. W rozdzielnicach elektrycznych do najczęściej spotykanych usterek bądź awarii należą problemy stykowe, występujące na zaciskach elementów elektrycznych oraz podwyższona temperatura przegrzanych przewodów. Stan kabli i przewodów, a także częściowe ich pęknięcia oraz upływności na powierzchniach izolacyjnych mają istotny wpływ na bezpieczeństwo i ciągłość dostaw energii elektrycznej.

Wczesne wykrycie nieprawidłowości przyczynia się do uniknięcia niespodziewanych awarii czy wad w sieci elektroenergetycznej, jednocześnie pozwala zaoszczędzić czas i środki finansowe związane z usuwaniem awarii.

Zaletą kamery termowizyjnej jest wykrycie stanu przedawaryjnego na pracującym urządzeniu, bez konieczności jego wyłączenia, pod obciążeniem.

Termografia jest metodą porównawczą, dlatego dla właściwej oceny stanu sieci czy elementów sieci elektroenergetycznych niezbędne jest uwzględnienie również wpływu i stanu sąsiednich, takich samych elementów, bądź termogramów uzyskanych wcześniej w wyniku prowadzenia systematycznie takich rejestracji. W torach trójfazowych jest oczywiste, że obrazy cieplne elementów porównuje się z tymi samymi w innych fazach. W przypadku stwierdzenia różnic pomiędzy fazami koniecznym jest znalezienie przyczyny, i tu pomocne mogą być dodatkowe badania i pomiary w kierunku parametrów jakości energii elektrycznej.

Wykonywanie okresowych badań termowizyjnych w systemach elektroenergetycznych zalecane jest też z uwagi na zużywające się wraz z upływem czasu elementy, co może doprowadzić do awarii. Takie sytuacje mogą zakończyć się nieplanowanymi przerwami w dostarczeniu energii elektrycznej, czyli zagrożona staje



się wtedy niezawodność zasilania. Zatem termogramy mogą być pierwszym sygnałem zbliżającej się krótkiej lub długiej przerwy w zasilaniu, a dopuszczenie do tych zdarzeń będzie miało wpływ na pogorszenie się jakości energii elektrycznej. Systematyczna kontrola przy użyciu kamery termowizyjnej pozwala uniknąć takich sytuacji, a przy tym jest możliwe jej przeprowadzenie szybko, bezpiecznie i bez przerw w pracy kontrolowanych urządzeń

Badania termograficzne mają szeroki zakres zastosowania w różnych dziedzinach życia. Wybrane, przedstawione w artykule przykłady z zakresu elektroenergetyki wskazują, że brak profilaktyki w tej dziedzinie może prowadzić do poważnych awarii, a nawet może być przyczyną pożarów. Skutki braku zapobiegania awariom mogą wpływać na system elektroenergetyczny, co wiąże się z narażeniem odbiorców na brak energii elektrycznej, a także pogorszeniem jej jakości.

Podsumowując, z punktu widzenia problemów związanych z jakością energii elektrycznej, kamery termowizyjne można wykorzystać w celu wcześniejszej eliminacji niektórych przyczyn powstawania przerw w zasilaniu, przepięć oraz asymetrii napięć i prądów. W przypadku takich zjawisk, przeprowadzenie pomiarów termowizyjnych i analiza uzyskanych termografów może pomóc w ich ograniczeniu bądź wyeliminowaniu.

## LITERATURA

1. Madura H., Sosnowski T., Bieszczad G.: Termowizyjne kamery obserwacyjne – budowa, zastosowania i krajowe możliwości realizacji. Przegląd Elektrotechniczny, nr 9, 2014.
2. Zastosowanie termowizji w przemyśle – wskazówki. <http://www.kameratermowizyjna.com>
3. Minkina W.: Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2004.
4. Kupras K., Rutkowski P.: Nowoczesne techniki kontroli instalacji i urządzeń z zastosowaniem kamer termowizyjnych. <http://www.elektro.info.pl> – nr 11, 2005.
5. Piechota T.: Zastosowanie kamery termowizyjnej do kontroli stanu instalacji elektrycznej. Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, 2015
6. Flir System: Instrukcja Obsługi – flir i5, Publ. No. T559590 Rev a506, 2011.

*Przyjęto do druku dnia 23.02.2016 r.*

## THERMAL IMAGING CAMERAS IN THE EVALUATION OF ELECTRIC POWER QUALITY

Małgorzata ŁATKA, Tomasz PIECHOTA

**ABSTRACT** *Thermal imaging cameras prove to be an effective diagnostic instruments in the electric power engineering. These cameras are used more and more frequently in taking touchless measurements of the state of electric power devices in transformer stations, distribution points, etc. On the basis of the received thermal images, it is possible to evaluate the condition of the devices which are located there. Are such images able to serve in the evaluation of the electrical energy quality at the given point of the electric power system? The answer proves to be in the affirmative. In the article, the principles and the results of measurements that have been taken with the thermal imaging camera are presented. The results are delivered as thermal images and their analysis is provided on the basis of the electric power quality at given points of the electric power system. The results, which have been achieved in a quick, touchless and overall inexpensive way, might be an indication to take further, more advanced measurements in the area of electric power quality.*

**Keywords:** *electrical power quality, thermal imaging camera, power quality monitoring*



**Dr inż. Małgorzata ŁATKA** pracuje na stanowisku adiunkta w katedrze Energoelektroniki, Elektroenergetyki i Systemów Złożonych na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z jakością energii elektrycznej, oddziaływaniem układów i urządzeń elektrycznych na linię zasilającą oraz wybranymi sposobami ograniczania bądź eliminacji tych oddziaływań.

**Mgr inż. Tomasz PIECHOTA** jest absolwentem kierunku *Elektrotechnika* na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej.

