

# BADANIA TERMOGRAFIKZNE W ELEKTROENERGETYCE

Włodzimierz Adamczewski

Pewność zasilania w energię elektryczną jest dla współczesnej cywilizacji podstawowym warunkiem istnienia. Stąd waga jaką przykładają się do technik diagnostycznych w elektroenergetyce – począwszy od wytwarzania, poprzez dystrybucję aż do „konsumpcji”. Jedną z najlepszych, bo zdalnych jest technika termowizyjna. Wykrycie stanu przedawaryjnego jest możliwe na pracującym urządzeniu, bez konieczności jego wyłączenia, czego wymagały klasyczne techniki diagnostyczne. Mało tego: obciążenie, praca urządzenia jest warunkiem koniecznym wykrycia wady.

## Wykrywanie anomalii termicznych

Technika zdalnej termodetekcji w elektroenergetyce pozwala na szybkie wykrywanie miejsc potencjalnych awarii czy wad w instalacji i nie wymaga wyłączeń. Z definicji bowiem wadą złącza jest jego zwiększona rezystancja, która tylko podczas przepływu prądu prowadzi do podwyższenia temperatury złącza proporcjonalnie do lokalnej rezystywności oraz prądu obciążenia. Stopień tego podgrzania jest podstawowym kryterium klasyfikowania wad.

W różnych krajach różne są wymagania dotyczące stopnia obciążenia instalacji podczas badania termograficznego. W Polsce, jeszcze w latach 70. jako minimum przyjęto 40% obciążenie toru prądowego, obecnie jednak ze względu na ogólnie mniejsze obciążenia, dopuszcza się 30%.

W praktyce jednak często bywa tak, że obciążenia obwodów czy linii są mniejsze od wymaganych przy diagnozie termograficznej. Pomiarów powinno się wykonać nawet w takich warunkach, gdyż zaniechanie pomiarów nie zmieni wiedzy o instalacji, natomiast wykrycie wady dowodzącej będzie rangi zagrożenia w przypadku, gdy obciążenie będzie zwiększone.

Wykonywanie w takich sytuacjach pomiarów jest uzasadnione również faktem, że same „termiczne oględziny” jednego toru prądowego nie są pracochłonne, trwają zwykle bardzo krótko. Jednoczesna obserwacja znacznego obszaru, a przy tym wysoka wyróżnialność małych różnic temperatury powoduje, że pominięcie ewidentnej wady, nawet słabo skonstrastowanej jest bardzo mało prawdopodobne. Kamery termowizyjne mają rozdzielczości termiczne na poziomie poniżej 0,1K, podczas gdy istotne wady to przyrosty temperatury kilkuno-, czy kilkudziesięciostopniowe.

Jedyny mankament badań przy niskim obciążeniu to mniej precyzyjna klasyfikacja wady, niż przy większych obciążeniach.

Wpływ różnych czynników (środowisko, uwarunkowania techniczne, konstrukcyjne, aparaturowe itd.) powoduje, że w ogóle o precyzji i kryteriach obiektywnych trudno jest tu mówić. W tym świetle znaczenia nabiera doświadczenie ekipy termograficznej, która na miejscu klasyfikuje wady, uwzględniając liczne czynniki, zarówno związane z wiedzą o badanym elemencie, o warunkach i metodzie pomiaru jak też o specyfice stosowanego urządzenia pomiarowego.

Termografia jest metodą porównawczą, dlatego dla właściwej oceny wady i jej lokalizacji jest niezbędne uwzględnienie również

wplywu i stanu sąsiednich, takich samych elementów, geometrii obiektu, symetrii budowy itp.

W torach prądowych trójfazowych jest oczywiste, że obrazy ciepłen elementów porównuje się z tymi samymi w innych fazach, zwłaszcza gdy można przyjąć, że obciążenie prądowe we wszystkich fazach tego samego toru jest takie samo.

Pozwala to na uproszczenie metodyki badań i ułatwienie procesu interpretacji.

## Przyrost temperatury, przegrzanie. Klasyfikacja wad

W wyniku „ogłędzin” za pomocą urządzenia termograficznego i rejestracji obrazów otrzymuje się termogramy elementów poddanych badaniom.

Interpretacja termogramu pod względem termicznym, uwzględniająca wpływ czynników zewnętrznych, obciążenia i zastosowanych materiałów powinna doprowadzić do zakwalifikowania anomalii do określonego „stopnia zagrożenia” i związanej z nim pilności interwencji.

Kryteria klasyfikacji wad elementów urządzeń elektrycznych w zależności od przyrostu temperatury w różnych krajach wyglądają różnie. Pewien wpływ ma tu inna konstrukcja i normy dopuszczalnej gęstości prądu w zestykach, lecz przeważający wpływ ma chyba niewiedza „jak gorąco jest za gorąco”.

W światowej literaturze specjalistycznej spotyka się różne priorytety interwencji związane z przyrostem temperatury (z klasyfikacją wady).

Dostawca przytłaczającej większości sprzętu termowizyjnego użytkowanego w Polsce (AGA, później AGEMA, obecnie FLIR) opracował szacunkowe zalecenia postępowania dla zaobserwowanych przyrostów temperatury w warunkach nominalnego obciążenia.

Przyrost temperatury definiuje się tutaj jako różnicę między temperaturą maksymalną zarejestrowaną przez kamerę na elemencie a temperaturą powietrza panującą w najbliższym otoczeniu. Temperatura ta odczytywana jest przez kamerę jako temperatura elementów najbliższych nieczynnych elektrycznie. W zamkniętych szafkach elektroenergetycznych lub sterowania i automatyki temperatura ta może się znacznie różnić od temperatury w pomieszczeniu.

W przypadku urządzeń na wolnym powietrzu jest to temperatura powietrza, ale tylko w sytuacji nienagrzewania przez słońce.

Dla urządzeń tych rolę nagrzewającą pełni słońce a rolę chłodzącą pełni wiatr.

Wiatr już o prędkości 5 m/s obniża ponad dwukrotnie przyrosty temperatury obiektów o średnio rozwiniętej powierzchni!

W przypadku obciążeń mniejszych od nominalnych jest niezbędne przeliczenie otrzymanego przyrostu temperatury do 100% maksymalnego obciążenia możliwego w tym obwodzie, zgodnie z zasadą, że przyrost temperatury jest proporcjonalny do kwadratu prądu obciążenia.

### Przyrost temperatury

### Zalecenie

Ponad 50K  
30K do 50K

Natychmiastowa interwencja  
Niezbędna naprawa tak szybko jak to tylko możliwe

10K do 29K

Poprawić w pierwszym dogodnym terminie

mniej niż 10K

Monitorować

Przedstawione w ramce są to zalecenia „miękkie”, których stosowanie zależy od wielu czynników takich jak: możliwość wystąpienia obciążeń większych od zarejestrowanych w czasie badań termograficznych (niekoniecznie muszą to być obciążenia nominalne dla danego aparatu elektrycznego), możliwość przełączenia na czas napraw, skutki ewentualnej awarii (groźne przy zasilaniu istotnej maszyny w ruchu ciągłym, a nieistotne np. dla jednego z wentylatorów hali) itp.

Ostateczna decyzja o naprawie należy zawsze do użytkownika instalacji.

Ostatnio coraz częściej w diagnostyce termograficznej obok przyrostów temperatury definiuje się nadwyżkę temperatury, czyli przegrzanie jako różnicę między temperaturą wadliwego elementu a temperaturą tych samych elementów w dwóch pozostałych fazach (o ile można uznać, że pracują prawidłowo i mają podobne obciążenie).

#### **Wtedy kryterium jest ostrzejsze:**

**Ponad 30K..... Naprawić natychmiast;**

**Do 30K ..... Naprawić jak najszybciej;**

**Do 5K ..... Monitorować.**

**(Zawsze po unormowaniu do pełnego obciążenia).**

Podczas badań termograficznych rozdzielnic i aparatów elektrycznych obydwie te kryteria muszą być jednocześnie brane pod uwagę przy decyzji o rejestracji i zakwalifikowaniu jej do anomalii.

Są to: przyrost temperatury i asymetria międzyfazowa.

## **Warunki pomiarów**

Generalnie zasadnicze różnice warunków pomiarowych występują pomiędzy badaniami:

- w pomieszczeniach,
- w otwartej przestrzeni.

Analizując problem warunków pomiarowych należy mieć na uwadze przede wszystkim możliwość wykonania badań, a w szczególności:

– do warunków wykluczających badania metodami termograficznymi zaliczyć należy niedostępność optyczną (złącze zakryte, niewidoczne) oraz intensywne opady deszczu i śniegu;

– do utrudniających badania – bardzo wysokie lub bardzo niskie temperatury, obecność pól magnetycznych itp.

W pomieszczeniach zamkniętych panują na ogół odpowiednie warunki pomiarowe. Wyjątkiem są pomieszczenia przegrzane, miejsca w pobliżu pieców, na stropach kotłów, w pobliżu wianien szklarskich itp.

Chodzi tu zarówno o warunki pracy aparatury – typowo do 50°C – jak i obsługi.

Poczucie dyskomfortu powoduje chęć szybszego zakończenia pracy, może też spowodować błędne zachowania.

Nieodpowiednie warunki panują też w pomieszczeniach z silnymi polami elektromagnetycznymi.

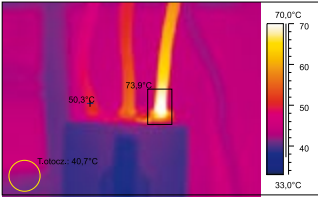
Badania w otwartej przestrzeni, gdy zależy na precyzji pomiarów, powinny odbywać się w nocy przy pełnym zachmurzeniu oraz przy znacznym obciążeniu.

Badania urządzeń elektroenergetycznych mogą odbywać się w dzień, jednak nie przy bezpośrednim nasłonecznieniu obiektów (najlepiej – niska, pełna pokrywa chmur).

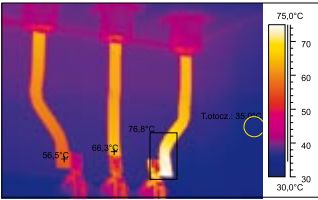
Latem, w dzień nawet promieniowanie rozproszone chmur zauważalnie zniekształca pole temperatury obiektów. Obiekty wysokotemperaturowe (powyżej 150 - 200°C), zwłaszcza przy wysokiej emisyjności powierzchni, mogą być badane o każdej porze dnia i roku z wyjątkiem wymogu bardzo wysokiej dokładności pomiaru.

Niekorzystne efekty (silne schłodzenie i spłaszczenie rozkładu pola temperatury) daje padający deszcz i śnieg. Wiatr porywisty również silnie schładza obiekty o małej bezwładności cieplnej lub niskim przewodnictwie cieplnym. Duża wilgotność powietrza i mgła powo-

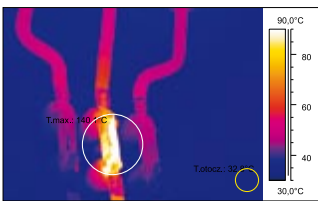
Flir



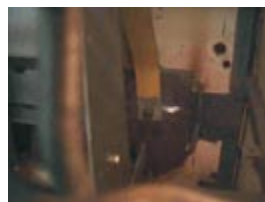
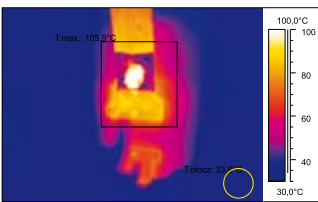
Rozdzielnia nn. Przegrzanie przyłącza do wyłącznika ok. 23K



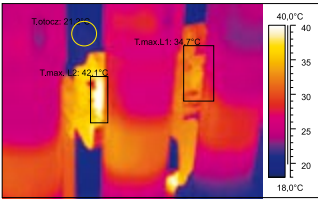
Rozdzielnia SN. Wada przyłącza szynowego do odłącznika



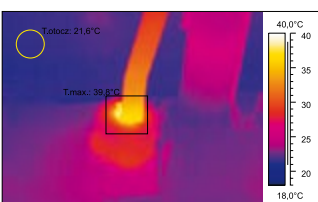
Rozdzielnia SN. Wada złącza roboczego odłącznika



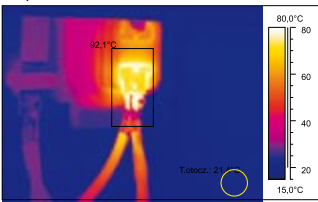
Rozdzielnia nn. Wada złącza śrubowego do przekładnika



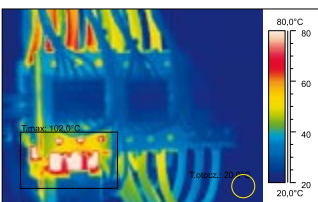
Rozdzielnia SN. Wada przyłącza do kolumny wyłącznika olejowego



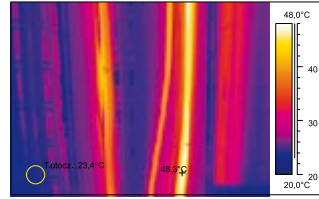
Rozdzielnia SN. Wada przepustu w podłożu lub złącza pod sufitem na poziomie II



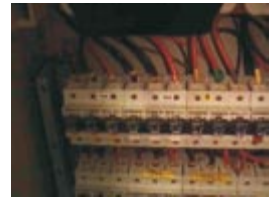
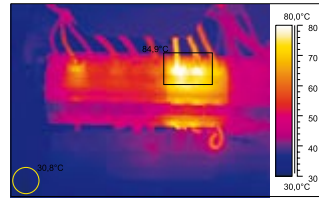
Rozdzielnia nn. Wada przyłącza kablowego do przekładnika



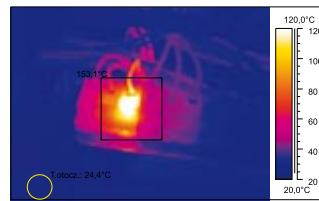
Rozdzielnia nn. Wysoka temperatura przewodów łączących aparaty elektryczne



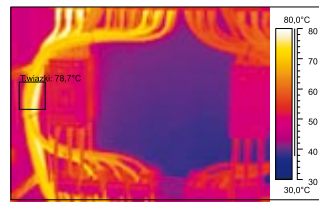
Szacht kablowy. Duże obciążenie prądowe kabla



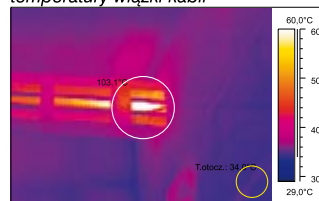
Rozdzielnia nn. Wada złącza do wyłącznika nadmiarowo-prądowego



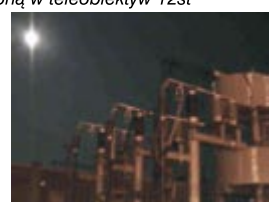
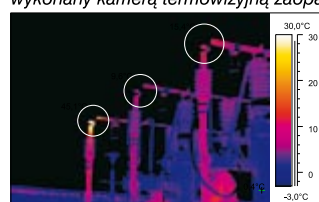
Rozdzielnia nn. Wada złącza do wyłącznika nadmiarowo-prądowego



Rozdzielnia nn. Duże obciążenie prądowe powoduje nadmierny wzrost temperatury wiązki kabli



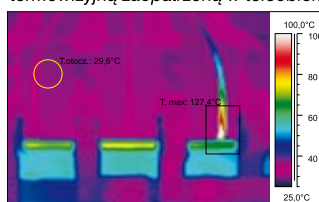
Szynoprzewód 0,4kV w pomieszczeniu rozdzielni nn. Termogram wykonany kamerą termowizyjną zaopatrzoną w teleobiektyw 12st



Rozdzielnia 110kV. Torry prądowe baterii kondensatorów



Linia 110kV. Kontrola złączek linowych. Termogram wykonany kamerą termowizyjną zaopatrzoną w teleobiektyw 12st



Transformator 15/0,4kV. Stan awaryjny przyłącza po stronie SN

dużą zmianę własności transmisyjnych powietrza i osłabienie sygnału docierającego do kamery termowizyjnej.

### Wpływ wiatru

W przypadku badań „zewnętrznych” istotną rolę grają warunki środowiskowe. Temperatura powietrza jest nieistotna, gdyż interesują nas przyrosty temperatury ponad otoczenie natomiast ważną rolę odgrywa wiatr, który schładza podgrzane złącza. Może to, w przypadku nieuwzględnienia zmniejszyć sygnalizowany stopień zagrożenia.

Wytwórca aparatury termowizyjnej opracował orientacyjne współczynniki obniżenia przyrostu temperatury w zależności od prędkości wiatru. Podlegają one jednak wielu ograniczeniom. Są to parametry fizyko-chemiczne obiektu i powietrza:

- podatność obiektu na schładzanie przez wiatr (masa, kształt i przewodnictwo cieplne);
- stałość prędkości wiatru (w przypadku zmienności długi czas uśredniania dla obiektów o dużej bezwładności cieplnej a krótki – tuż przed pomiarem – dla obiektów małych).

W ramce przedstawiono współczynniki, przez które są mnożone otrzymane wartości przyrostów temperatury, aby uzyskać odniesienie do pogody bezwietrznej.

Prędkość wiatru (m/s)	Mnożnik
1	1,00
2	1,36
3	1,64
4	1,86
5	2,06
6	2,23
7	2,40
8 i więcej	Nie wykonuje się pomiarów

Błąd względny otrzymanych wartości przyrostów temperatury oraz błąd klasyfikacji wady zwiększa się wraz z prędkością wiatru, co powoduje, że już przy wietrze ponad 4 m/s nie zaleca się wykonywania badań, gdy wymagania co do precyzji są wysokie.

### Wpływ słońca

Słońce oddziałuje dwójako: poprzez nagrzanie elementu poddanego badaniom oraz przez odbłaski. Pierwszy rodzaj oddziaływania zazwyczaj uniemożliwia badanie termograficzne. Elementy duże, o dużej bezwładności cieplnej powinny być badane dopiero kilka godzin po zaniku oddziaływania słońca. Odblaski przy chwilowych przejaśnieniach oraz zimą nie są zbyt groźne dla doświadczonych ekip. Na zarejestrowanych termogramach, zwłaszcza po upływie pewnego czasu od rejestracji i przy skomplikowanej geometrii powierzchni obiektu, istnieje niebezpieczeństwo niewłaściwej interpretacji gorących punktów. Z tego względu podczas silnego oddziaływania słońca unika się pomiarów termograficznych elementów o temperaturze poniżej ok. 100-200°C (zależnie od współczynnika emisyjności).

### Odblaski

Odblaski nakładają się na obraz cieplny badanego obiektu. Problem odbłasków wynika z odbijalności powierzchni. Tylko ciała doskonale czarne lub przezroczyste nie wykazują odbijalności. Wśród sygnałów odbijanych z powierzchni badanych obiektów mogą więc być zarówno sygnały z bardzo zimnej przestrzeni kosmicznej, jak i od źródeł ciepłych. Największy problem z odbłaskami powoduje oczywiście słońce jako źródło punktowe i wysokotemperaturowe (6000K). Te efekty jest stosunkowo łatwo zauważyć i wyeliminować. Sporej uwagi wymaga uwzględnienie możliwości wystąpienia innych odbić. W przypadku badania obiektów o niskim współczynniku emisyjności, czyli wysokiej odbijalności i niewysokiej temperaturze powierzchni odbłaski mogą powodować np. ludzie, lampy oświetleniowe, kominy, napowietrzne rurociągi ciepłownicze, samochody. Analizując problem odbić należy brać pod uwagę krzywiznę badanego obiektu

i możliwość reemisji sygnałów z różnych kierunków tym wyższą, im dana powierzchnia jest bardziej odchylona od kierunku prowadzonej obserwacji. Szczególnie powinni o tym zawsze pamiętać użytkownicy pirometrów.

### Oddziaływanie nieba

Do urządzenia termograficznego docierają od badanego obiektu dwa (a nawet więcej) rodzaje promieniowania cieplnego nałożone na siebie:

- promieniowanie własne,
- promieniowanie odbite,

Przy badaniach termograficznych na otwartej przestrzeni na obraz własny nakładają się odbicia od otoczenia, mającego temperaturę bliską temperaturze powietrza (ściany domów, drzewa, ziemia), odbicia ciepłe omówione wyżej oraz zimne odbłaski, zwykle od nieboskłonu. Urządzenie termograficzne nie rozróżnia tych rodzajów promieniowania – traktuje je jak sumę – odbicia od scenarii mającej temperaturę otoczenia uwzględnia w obliczeniach (po to ustawiamy temperaturę otoczenia w kamerze). Efekt odbicia „zimnego nieba” jako brak pewnej składowej pojawi się jako temperatura obiektu niższa od temperatury otoczenia (co oczywiście jest interpretacją błędną). Stwierdzono, że chmury o niskim pułapie dają efekt mało różniący się od wpływu drzew, domów, trawy, ziemi, itp., tj. mają temperaturę radiacyjną bliską temperaturze otoczenia.

Temperatura radiacyjna czystego nieba bez chmur, przy małej wilgotności powietrza w dzień czy w nocy jest bardzo niska np. – 60 czy – 80°C. (Odczyt zależny od przejrzystości powietrza i kąta nad horyzontem.) Wpływ nieba będzie więc między innymi funkcją chwilowego zachmurzenia, co jest stwierdzeniem ważnym dla badań w ogólności obiektów pod gołym niebem, a w szczególności wyższych pięter budynków. Powierzchnie o dobrej odbijalności (blacha aluminiowa, ocynkowana, a nawet szyby w budynkach) badane przy braku zachmurzenia pod kątami umożliwiającymi nałożenie zimnego promieniowania bezchmurnego nieba, mogą wykazać dużo niższą temperaturę niż rzeczywista, mimo prawidłowo dobranego współczynnika emisyjności. Te same powierzchnie badane w dzień pochmurny pod tymi samymi kątami wykażą temperaturę bardziej zbliżoną do rzeczywistej (oczywiście w badaniach nocnych również).

### Wykonywanie badań

Raport powstały w wyniku badań termograficznych powinien zawierać zestaw danych oczekiwanych przez zamawiającego, umożliwiających mu podjęcie właściwej decyzji.

Rzetelne pomiary prowadzące do tego celu muszą być wykonywane w odpowiednich warunkach, przy pomocy odpowiedniej aparatury, przez wykwalifikowany personel i z zachowaniem właściwych procedur badawczych.

### Aparatura

W badaniach urządzeń elektroenergetycznych i energetycznych są spotykane zarówno objekty duże takie jak kotły, elektrofiltry, kominy, transformatory, jak i objekty małe np. nóż odłącznika, przepust izolatora ściennego itp.

Warunki pomiarowe niekiedy uniemożliwiają obserwację obiektu z dogodnej odległości i pod dogodnym kątem. Potrzeby zamawiającego są zróżnicowane - raz potrzebne jest wykrycie i lokalizacja anomalii z szacunkowym określeniem zakresu odchyleń od normy, innym razem dokładna ocena wartości temperatury i klasyfikacja wady.

Spotyka się temperaturę obiektów przewyższającą temperaturę otoczenia o kilka stopni, jak również o kilkaset stopni. Badania prowadzone są w różnej temperaturze otoczenia i warunkach środowiskowych.

Szerokie przedziały zmienności napotkanych i żądanych parametrów powodują, że aparatura termograficzna musi zapewniać wystarczającą rozdzielczość obrazów, przy jednoczesnym dużym polu widzenia w celu identyfikacji, wystarczającą rozdzielczość tem-

peraturę i zmienny przedział oczekiwanej lub obserwowanej temperatury obiektu, możliwość zmiany współczynnika emisyjności w czasie obserwacji i wiele innych.

Pożądana jest również odporność mechaniczna na wstrząsy i wpływy atmosferyczne. Własne zasilanie musi zapewnić co najmniej kilkugodzinną pracę. Rejestracja obrazu powinna mieć możliwość nagrania komentarza słownego; nie powinno być możliwe przypadkowe skasowanie.

Konstrukcja aparatury powinna umożliwiać szybkie dopasowanie parametrów obserwacji do warunków obserwacji obiektu, oraz zapewnić stabilność wskazań.

Ta różnorodność wymogów powoduje, że wyodrębniły się dwie klasy aparaty dla zastosowań termodiagnostycznych w elektroenergetyce.

● Proste, tanie kamery do badań jakościowych z elementami pomiaru, gdzie główną cechą jest wizualizacja pola temperatury, a możliwość pomiaru punktowego lub określenie temperatury maksymalnej w obszarze jest elementem ważnym, ale nie we wszystkich sytuacjach stosowanym. Urządzenia te są przeznaczone do kontroli stanu cieplnego obiektów i elementów w sposób porównawczy lub do wykrywania miejsc występowania ekstremalnych temperatur na kontrolowanym obiekcie. Taką niedrogą aparaturę powinny posiadać rejon energetyczne dla szybkiej, zgrubnej i „na miejscu” oceny stanu cieplnego sprawdzanych urządzeń. Tego typu aparatura jest również rekomendowana dla służb utrzymania ruchu w firmach z zagrożeniem pożarowym, z priorytetem ciągłości ruchu, z obciążoną i rozległą siecią elektroenergetyczną, dużą liczbą rozdzielnic itd.

Tę funkcję pełni kamera FLIR InfraCAM.

● Kamery termograficzne pomiarowe o wysokiej rozdzielczości przestrzennej – dla badań głównie ilościowych. Są wyposażone w oprzyrządowanie umożliwiające pracę w różnych warunkach i kontrolę różnych obiektów. Oprogramowanie wewnętrzne pozwala na wszechstronną analizę termogramów na ekranie kamery już w momencie obserwacji, ale również po zarejestrowaniu.

Oprogramowanie komputerowe pozwala na o wiele bogatszą analizę zarejestrowanych termogramów, na precyzyjną klasyfikację wad i określenie niezbędności remontu, co doskonale optymalizuje pracę ekip remontowych. Aparatura ta umożliwia też badania, wszelkich innych obiektów, a nie tylko obiektów elektroenergetycznych.

Ze względu na wysoką cenę oraz niezbędne przygotowanie fachowe operatorów, w kamery takie są wyposażane specjalistyczne ekipy wykonujące na zlecenia wszelkie prace z zastosowaniem termografii.

Na taką kamerę mogą sobie też pozwolić firmy, w których znajdzie ona zastosowanie, poza elektroenergetyką i ogólnie utrzymaniem ruchu, również w procesie technologicznym i w pracach badawczo-rozwojowych, a także w celu zmniejszenia zużycia energii w całej firmie (izolacja rurociągów, budynków, obiektów technologicznych).

Takie uniwersalne kamery termowizyjne FLIR serii T o symbolach T200, T250, T360 i T400, z funkcją rejestracji foto oraz (nie wszystkie) komentarza głosowego w pełni spełniają wymienione potrzeby.

## Obsługa

Na obraz cieplny urządzeń elektroenergetycznych wpływa bardzo wiele parametrów. Są to głównie:

- warunki meteorologiczne,
- warunki techniczne pracy obiektu,
- konstrukcja urządzenia.

Zobiektywizowanie wpływu tych wszystkich parametrów na obraz cieplny jest trudne, a ze względu na dużą liczbę obiektów poddawanych oględzinom np. w rozdzielniach – praktycznie niemożliwe.

W tej sytuacji szczególną rolę odgrywa poziom kompetencji ekipy wykonującej pomiary termalne w podczerwieni:

● Ekipa wyspecjalizowana w pomiarach termograficznych – dysponująca sprzętem pomiarowym odpowiednio wysokiej klasy, (kamerą termograficzną pomiarową) wykonuje obligatoryjne kontrole stacji elektroenergetycznych najwyższych napięć. Potrafi ona podczas oględzin oszacować wpływ wszystkich czynników zniekształcających

miar, a w razie potrzeby podać temperaturę obiektu w przeliczeniu na warunki normalne. W przypadku badania obiektów nietypowych lub jednostkowych, potrafi dobrać optymalne warunki badania; we współdziałaniu z lokalnym specjalistą, uwzględnić specyfikę obiektu i wpływ otoczenia.

Członek grupy badawczej musi posiadać ogólną wiedzę o obiektach badanych, aby zapewnić wystarczającą identyfikację problemu; im większy poziom kompetencji tym mniejsza szansa na błąd. W raporcie, na wybranych termogramach, ilustrujących stan termiczny istotnych fragmentów stacji może być dokonana pogłębiona analiza, na jaką pozwala oprogramowanie.

● Pracownik stacji elektroenergetycznej lub ze służb utrzymania ruchu, którego jednym z obowiązków jest systematyczna lub wrywkowa kontrola zacisków i zestyków aparatów elektrycznych przy pomocy prostej kamery termowizyjnej. Pracownik ten musi posiadać podstawową wiedzę o specyfice pomiarów temperatury w podczerwieni na obiektach elektroenergetycznych jak również dobrą znajomość uwarunkowań tych badań cechami posiadanej aparatury. Główną metodą badań powinny być porównania stanów termicznych tych samych elementów w różnych fazach. Ważne jest aby prace kontrolne wykonywał w miarę możliwości ten sam pracownik co zmniejszy rozrzut błędów systematycznych i szybciej nabierze on doświadczenia oraz by wyniki jego pracy były okresowo weryfikowane przez specjalistyczną ekipę termograficzną. Aparatura kontrolna powinna podlegać okresowej kontroli – potwierdzeniom wyposażenia pomiarowego zgodnie z zaleceniami normy PN-ISO 10012-1 „Wymagania dotyczące zapewnienia jakości wyposażenia pomiarowego”.

Zgodnie z zasadami Systemu Zarządzania Jakością osoba wykonująca badania termograficzne powinna spełniać poniższe wymagania.

● Powinna być odpowiednio przygotowana do prowadzenia tego rodzaju badań:

- posiadać odpowiednie wykształcenie, przeszkolenie i doświadczenie lub umiętności;
- posiadać przynajmniej ogólną wiedzę o obiekcie badań, jego technologii i zakresie pracy, możliwości wystąpienia anomalii, normalnego zużycia, a także wiedzę o dotychczasowym przebiegu pracy (historię obiektu);
- posiadać wiedzę o przewidywanych skutkach wystąpienia anomalii termicznych i ich związku z wadami obiektu;
- rozumieć znaczenie stwierdzonych odchyłań dla normalnego użytkowania badanych obiektów i znać przepisy prawne lub techniczne dopuszczalności wad.

● Powinna posiadać sprzęt sprawny i właściwy do wykonywanych badań:

- certyfikat kalibracji jest wystawiony przez producenta sprzętu na określony czas. Dla całego wyposażenia pomiarowego, również dla kamer termowizyjnych jest konieczne sprawdzanie „w wypadku wystąpienia anomalii pracy sprzętu zauważonych podczas normalnej eksploatacji”, ale również ustalenie okresowych sprawdzeń z częstotliwością zalecaną przez producenta, bądź opartą o doświadczenia własne lub innych. Częstość sprawdzeń powinna uwzględniać czas rzeczywistej pracy w tym okresie, „starzenie się” w czasie przechowywania oraz koszt i czas wyłączenia z eksploatacji. Ogólne wytyczne znajdują się w normie PN-ISO 10012 +Ap1 / 2001 „Wymagania dotyczące zapewnienia jakości wyposażenia pomiarowego”;

– sprzęt „właściwy do wykonywanych zadań” oznacza, że zakup został dokonany po dokładnym wyspecyfikowaniu potrzeb (teraźniejszych i dających się przewidzieć), a sprzęt jest stosowany w obszarach, gdzie jest to właściwe i uzasadnione.

● Powinna mieć udokumentowane procedury badawcze oraz procedury postępowania z badaniami i wynikami niezgodnymi z wymaganiami:

- w szczególności ściśle się stosować do zatwierdzonych procedur dotyczących typowych zastosowań. Badania nietypowe przeprowadzać po nabraniu biegłości w badaniach termowizyjnych oraz po

wykonaniu walidacji metody termowizyjnej, tj. oszacowaniu wpływu różnych czynników na niepewność wyniku. Walidacja metody daje orientację, jakie naprawdę czynniki, przy jakich badaniach mają istotny wpływ na wynik - ich znajomość ma więc kluczowe znaczenie, a jakie czynniki mają wpływ niewielki i ich wartość nie musi być znana z maksymalną dokładnością;

– wszelkie odchylenia od spodziewanych wyników, za wyjątkiem wykrytych wad powinny być „na miejscu” weryfikowane inną metodą bądź co najmniej „myślowo”, aby zminimalizować ryzyko błędnego badania lub niepotrzebnej rejestracji stanów normalnych.

### Procedury

Procedura badania będzie zależna od możliwych do spełnienia oczekiwań zamawiającego. W przypadku badania rozdzielni (stacji elektroenergetycznych) celem jest znalezienie wszystkich złączy o zbyt wysokiej temperaturze i zakwalifikowanie ich do naprawy o określonej pilności wykonania.

Procedura badania jest funkcją celu. Aby nie pominąć żadnego złącza, zasadą jest:

– śledzenie drogi prądowej, np. od odłącznika liniowego do transformatora;

– rejestracja termogramów przejrzanych elementów i odpowiadającego im obciążenia. Obciążenie powinno być stałe lub wolnozmiennie, w miarę możliwości maksymalne, nie mniejsze od 40%. W przypadku pól o szybkich zmianach obciążeń np. podstacji PKP lub trakcji elektrycznej komunikacji miejskiej rejestrowane są termogramy w czasie wystąpienia obciążenia, co skutkuje wzrostem temperatury złączy i elementów czynnych. Ocena stanu jest dokonywana na podstawie zauważonych relacji temperatu-

rowych między elementami podobnie obciążonymi, a nie przez ocenę przyrostu temperatury (dotyczy to także pól zasilających urządzenia pracujące w sposób nieciągły, przypadkowy jak windy pompy, sprężarki, niektóre wentylatory, grzałki w procesie technologicznym itp.;

– uwzględnienie warunków przeprowadzania badań (meteorologicznych, środowiskowych, aparaturowych i innych);

– wskazanie zamawiającemu, jeszcze „na miejscu”, wykrytych wad wymagających natychmiastowej interwencji;

– zinterpretowanie zarejestrowanych termogramów;

– sporządzenie raportu o typowej formie adekwatnej do potrzeb zamawiającego, a w nim wymienienie, oprócz sytuacji i elementów zarejestrowanych, wszystkich elementów nie podlegających badaniom i przyczyn tego zaniechania.

Uwaga: często zdarza się, że firmy ubezpieczeniowe wymagają wykonania badań termowizyjnych wszystkich rozdzielnic elektroenergetycznych w zakładzie produkcyjnym, który ubezpieczają i przedstawienia raportu.

Niekiedy żądają przedstawienia termogramów wszystkich rozdzielnic, nawet nie obciążonych w trakcie badań, jak również takich, w których wykonawca badań nie stwierdza anomalii. Taki „całościowy” raport z badań, mimo elementów zbędnych, nie zawierających wad, jest po upływie czasu dobrym odniesieniem do stanu aktualnego.



**Włodzimierz Adamczewski**  
TERMOPOMIAR

Fluke