

## **PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE BADAŃ TERMOWIZYJNYCH PRZEZ ENERGETYKĘ ZAWODOWĄ**

**Radosław KOWALCZYK<sup>1</sup>, Krzysztof PACHOLSKI<sup>2</sup>, Jarosław WALCZAK<sup>3</sup>, Robert OLBRYCHT<sup>4</sup>**

1. PGE DYSTRYBUCJA S.A. Oddział Łódź-Miasto  
tel.: 696 46 48 29 e-mail: powiernictwoinvestycyjne@gmail.com
2. Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki  
tel.: 604 113 444 e-mail: krzysztof.pacholski@p.lodz.pl
3. Przedsiębiorstwo „INS-TOM” sp. z o.o. Łódź  
tel.: 721 292 080 e-mail: jaroslaw.walczak.jw@gmail.com
4. Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki  
tel.: 42 631 26 56 e-mail: robert.olbrycht@p.lodz.pl

**Streszczenie:** Wykorzystanie kamery termowizyjnej do oceny stanu technicznego aparatury rozdzielczej i dystrybucyjnej systemu energetycznego ma bezpośredni wpływ na zachowanie ciągłości dostaw energii elektrycznej. Szczególne warunki środowiskowe, odnoszą się bezpośrednio do sposobu interpretacji wyników pomiarów. Zaprezentowane przykłady badań termowizyjnych, obrazują mechanizmy działań stosowane w praktyce zawodowej. Uzmysławiają, że zignorowanie nawet najmniejszych nieprawidłowości może skutkować rozległą awarią systemu energetycznego. Natomiast prawidłowa weryfikacja termogramów umożliwia diagnostykę systemu bez konieczności pozbawiania dopływu energii elektrycznej do odbiorców przemysłowych i indywidualnych.

**Słowa kluczowe:** termowizja, energetyka zawodowa.

### **1. BADANIA TERMOWIZYJNE**

#### **1.1. Nowe wymagania, nowe standardy**

Wraz ze wzrostem wymagań stawianych spółkom energetycznym przez Urząd Regulacji Energetyki, a mających na celu minimalizację przerw w dostawach energii elektrycznej spowodowanych wyłączeniami planowanymi energetyka zawodowa zaczęła powszechniej stosować badanie termowizyjne jako sposób szybkiej i wiarygodnej diagnostyki podzespołów systemu energetycznego.

W PGE Dystrybucja S.A oddział Łódź-Miasto dla obszaru Łódź - Południe wykonano badania sprawdzające we wszystkich stacji SN/nN, a aktualnie wykonuje się takie badania sukcesywnie z częstotliwością nie rzadziej niż jeden raz na trzy lata.

Kamera termowizyjna jest przyrządem pomiarowym umożliwiającym wykonanie przeglądów urządzeń elektroenergetycznych w stacjach transformatorowych, linii i złącz kablowych oraz linii napowietrznych niskiego oraz średniego napięcia podczas ich normalnej pracy, bez konieczności odłączania ich od napięcia, a tym samym bez przerw w dostawach energii elektrycznej do odbiorców.

#### **1.2. Badanie termowizyjne i wpływ czynników zewnętrznych na wiarygodność pomiaru**

Wyniki badań termowizyjnych aparatury i urządzeń elektroenergetycznych, niejednokrotnie stanowią problem w jednoznacznej interpretacji. Przy analizie materiału badawczego, należy uwzględnić wszystkie możliwe przyczyny dające identyczne rezultaty.

Powszechność użycia termowizji niesie jednak szereg problemów związanych z obsługą kamer termowizyjnych. W celu ujednoczenia sposobów wykonywania badań oraz zminimalizowania wpływu tzw. czynnika ludzkiego na ocenę ich wyników, na bazie doświadczeń, w PGE Dystrybucja została opracowana i wprowadzona procedura [5], które reguluje sposób wykonywania pomiarów.

Zgodnie z ww. procedurą w pierwszej kolejności wyspecjalizowany zespół pomiarowy wykonuje badania termowizyjne i następnie uzyskane wyniki dostarczane są do osób odpowiedzialnych za ich interpretację. Materiał jest oceniany i analizowany pod kątem wychwycenia nieprawidłowości funkcjonowania podzespołów systemu elektroenergetycznego. Na podstawie analizy następuje kwalifikacja urządzeń do przeglądów i ewentualnych napraw.

Mimo zaangażowania szereg osób, które zostały odpowiednio przeszkolone i mogą wykonywać badania zamiennie na swoich stanowiskach, nie zawsze istnieje możliwość wykorzystania na bieżąco informacji z dostarczonych termogramów. Wyniki prowadzonych badań, pomimo standaryzacji procesu pomiarowego, nie zawsze są adekwatne do stanu faktycznego i dają symptomy awarii spowodowane jedynie warunkami eksploatacyjnymi. W trakcie prowadzenia badań należy również uwzględnić czynniki zewnętrzne i warunki środowiskowe, mające bezpośredni wpływ na uzyskane wyniki i trafność wniosków.

#### **1.3. Praktyka pomiarowa**

Stacje i rozdzielnie średniego i niskiego napięcia są dla operatora kamery środowiskiem trudnym do prowadzenia

pomiarów. Ze względu na różne współczynniki emisyjności zamontowanych podzespołów systemu elektroenergetycznego, duże prawdopodobieństwo wystąpienia promieniowania odbitego, dużą ilość elementów wypolerowanych, zanieczyszczenia, chropowatość powierzchni oraz zmienną dynamikę pracy urządzeń. Rejestrowany przez kamerę termowizyjną wzrost temperatury podzespołu może być spowodowany stanem większego obciążenia prądowego, a nie wadliwą pracą czy też błędnie przeprowadzonym montażem.

Istotnym czynnikiem mającym wpływ na wynik pomiaru jest emisyjność cieplna materiałów znajdujących się w obszarze wykonywanego pomiaru. I tak jak możemy zaobserwować poniżej w tab. 1 współczynnik emisyjności  $\epsilon$  dla miedzi zmienia się w zakresie od 0,02 do 0,7 a więc ponad trzydziestokrotnie.

Tablica 1. Tabela współczynnika emisyjności [6]

1	Materiał	Temp.[°C]	Emisyjność - $\epsilon$
2	Aluminium	50-100	0,04-0,06
3	Aluminium utlenione	50-500	0,2-0,3
4	Bibuła azbestowa	40-400	0,93-0,95
5	Brąz chropowaty(erozja)	50-150	0,55
6	Brąz polerowany	50	0,1
7	Lakier emaliowany	20	0,85-0,95
8	Miedź polerowana	50-100	0,02
9	Miedź utleniona	50	0,6-0,7
10	Papier biały	20	0,7-0,9
11	Papier czarny mat.	20	0,90-0,95
12	Porcelana	20	0,92

#### 1.4. Zalety badań termowizyjnych

Nie mniej jednak korzyści wynikające z pomiarów wykonanych za pomocą kamery termowizyjnej jest bardzo wiele. Zawęża się pole działania w danym obiekcie poprzez wskazanie z dużą precyzją miejsca możliwej usterki a co za tym idzie możliwość szybkiego jej usunięcia. Badanie termowizyjne Umożliwia diagnozę z większej odległości urządzeń średniego napięcia co w przypadku pomiarów innymi miernikami jest niemożliwe lub mało wiarygodne. A szybka i precyzyjna diagnoza zapobiega awariom, które wiążą się z przerwami w dostawie energii elektrycznej, co generuje istotne straty dla firmy dystrybucyjnej.

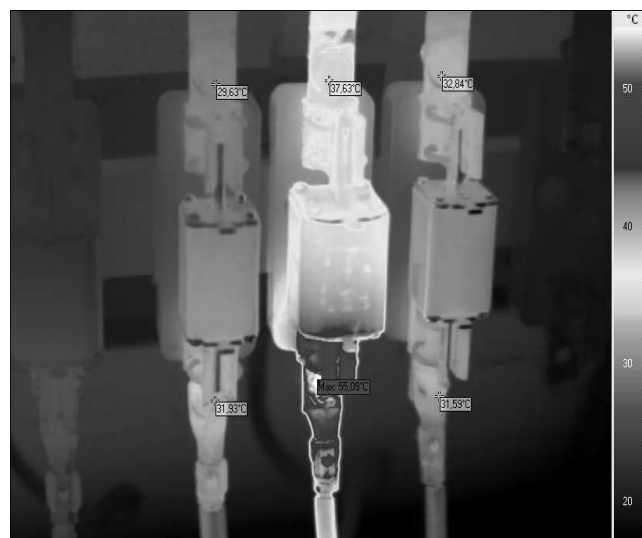
## 2. ANALIZA RZECZYWISTYCH POMIARÓW TERMOWIZYJNYCH

Analiza termogramów powszechnie dostępna w literaturze nie pokazuje problemów związanych z ich interpretacją a jedynie przedstawia gotowe wnioski nie odnosząc się do bezpośredniej przyczyny powstania anomalii. Praktyka pokazuje, że niejednokrotnie, pierwotna sugestia co do przyczyn, jest błędna a jednoznaczne i precyzyjne usunięcie awarii wymaga gruntowniejszej analizy stanu nieprawidłowości. Zdaniem autorów w przyszłości, wyniki badań termowizyjnych będą weryfikowane przy wykorzystaniu „sztucznej inteligencji”. Co pozwoli spojrzeć na problem wielowymiarowo i być może precyzyjniej określi przyczynę awarii.

### 2.1. Wzrost rezystancji przejścia dla pól liniowych w rozdzielniach niskiego napięcia

Termogram pola liniowego rozdzielni niskiego napięcia zarejestrowany za pomocą kamery długofalowej przedstawia rysunek 1. Na termogramie tym widać zdecydowany wzrost temperatury szczęki odpyływowej podstawy bezpiecznikowej fazy L<sub>2</sub>. Temperatura złącza odpyływowego przekroczyła 55°C przy temperaturze zacisku dopływowego 37°C. Przy czym na podstawach bezpiecznikowych faz L1 i L3 obserwować można wyrównaną temperaturę na o wartości 32°C.

Po wstępnej analizie termogramu z rysunku 1 zalecono sprawdzenie połączenia końcówki kablowej z podstawą bezpiecznikową. Jednak okazało się, że połączenia gwintowane, jak i zaciskane były wykonane prawidłowo. Przyczyną wzrostu temperatury w tym miejscu było nieodpowiednie osadzenie bezpiecznika w podstawie oraz zabrudzenie powierzchni styku. Spowodowało to wzrost rezystancji przejścia i nadmierne wydzielanie się ciepła na tym zacisku, co można zaobserwować na rysunku 1. Na fotografia tego samego pola przedstawionej na rysunku 2, wykonanej w świetle widzialnym, możemy zaobserwować niedokładny montaż bezpiecznika fazy L<sub>2</sub> w podstawie.



Rys. 1. Termogram pola liniowego rozdzielni niskiego napięcia



Rys. 2. Zdjęcie w świetle widzialnym pola liniowego rozdzielni niskiego napięcia

Dla porównania na rysunku 3. przedstawiono obraz termowizyjny innego pola liniowego, pola nr 2. Na termogramie tym możemy zaobserwować zdecydowany wzrost temperatury dla dwóch faz. Szczęki odpyływowe podstawy bezpiecznikowej fazy  $L_2$  oraz zaciski dopływowe fazy  $L_1$  wykazują zdecydowanie większą temperaturę niż temperatura podstawy bezpiecznika fazy  $L_3$ .



Rys. 3. Termogram pole nr 2 rozdzielni niskiego napięcia

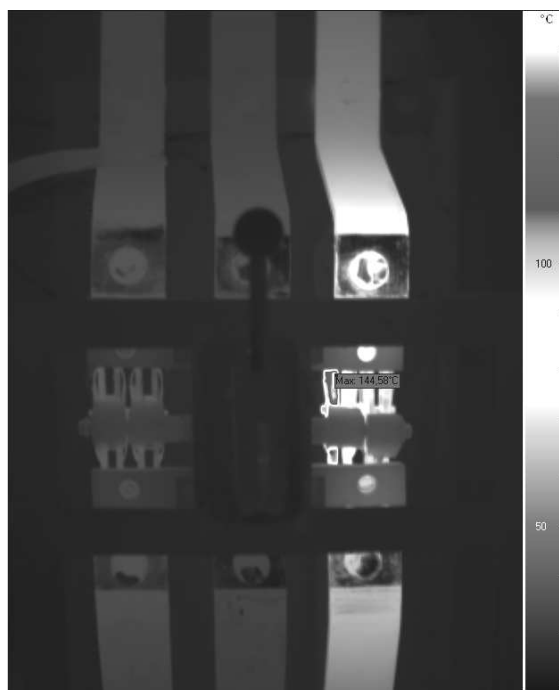
Dla tego pola, po analizie termogramu z rysunku 2, zalecono sprawdzenie połączeń gwintowanych podstaw bezpiecznikowych faz  $L_1$  i  $L_2$ . W trakcie sprawdzenia okazało się, że połączenie gwintowe podstawy bezpiecznika fazy  $L_1$  było faktycznie niewłaściwe. Natomiast przyczyną przyrostu temperatury zacisku podstawy bezpiecznika zamontowanego w fazie  $L_2$  było wadliwie wykonanie prasowanej końcówki przewodu dołączonej do tego zacisku.

## 2.2. Wzrost rezystancji przejścia dla odłącznika zatablicowego typu OZK

Za pomocą kamery termowizyjnej badano odłącznik kablowy zatablicowy, wykorzystany jako rozłącznik główny rozdzielni niskiego napięcia. Zarejestrowany obraz termowizyjny tego rozłącznika przedstawia rysunek 4. Na termogramie tym uwidocznił się zdecydowany wzrost temperatury fazy  $L_3$  odłącznika, w pobliżu szyny odpyływowej i zasilającej, oraz na nożach tego odłącznika, przy braku przyrostu temperatury na połączeniach gwintowanych szyn z zaciskami odłącznika.

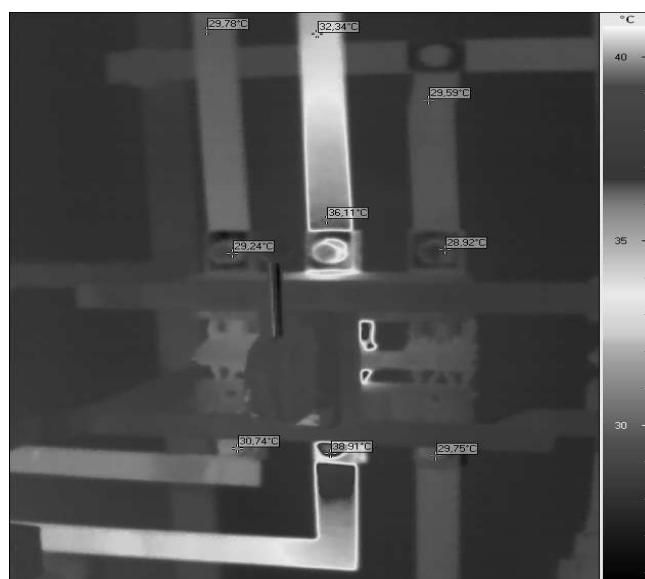
Pierwotne wnioski, jakie się nasunęły po analizie termogramu z rysunku 4, wydawały się być jednoznaczne. Wzrost temperatury dla fazy  $L_3$  spowodowany był asymetrią obciążenia stacji. Dalsze badania wykazały jednak, że obciążenia prądowe stacji jest niewielkie a występujące różnice obciążeniowe dla poszczególnych faz były pomijalnie małe. Jediną przyczyną anomalii temperaturowych na odłączniku, był niedomknięty nóż co zwiększało rezystancję przejścia styku.

Opisany przypadek jest typowym przykładem nieprawidłowości powstałej z zupełnie błahej przyczyny, która w konsekwencji mogłaby doprowadzić do odłączenia wszystkich odpyływów niskiego napięcia (0,4 kV) od tej stacji. Jej wyeliminowanie było również banalne. Taką sytuację możemy potraktować jako przykład wykorzystania wyników badań termowizyjnych do wskazania obszarów występowania nieprawidłowości, a wnioski obarczone były dużą niepewnością. Brak gruntownego badania mogłoby doprowadzić do rozprzestrzeniania się awarii.



Rys. 4. Obraz termowizyjny odłącznika głównego OZK

Dla porównania na rysunku 5 przedstawiono obraz termowizyjny innego odłącznika typu OZK zastosowanego jako rozłącznik liniowy rozdzielni niskiego napięcia. Na termogramie uwidocznił się wzrost temperatury w obrębie połączenia gwintowanego szyny odpyływowej fazy  $L_2$  oraz wzrost temperatury noży mechanizmu odłącznika.



Rys. 5. Termogram faz odłącznika głównego OZK

W tym przypadku pierwotne wnioski, jakie się nasunęły analizując materiał badawczy, brzmiały: „sprawdzić połączenia gwintowane odłącznika OZK dla fazy  $L_2$ ”. Ale jak można się domyślać, okazało się że mechaniczna strona łączeniowa odłącznika OZK funkcjonuje prawidłowo, połączenia gwintowane są właściwie wykonane a przyczyną przyrostu temperatury jest asymetria obciążenia. Usunięcie tej nieprawidłowości polegało na przepięciu kilku obwodów odbiorczych tak, aby uzyskać równomierność obciążeń prądowych dla każdej z faz odłącznika.

### 3. PODSUMOWANIE

Badania termowizyjne podzespołów energetycznej sieci przesyłowej i dystrybucyjnej pozwalają na wczesną identyfikację nieprawidłowości. Jednak ze względu na mały stopień obiektywizmu oceny termogramów do ostatecznej weryfikacji uszkodzeń, zdaniem autorów, należy wykorzystywać metody sztucznej inteligencji.

Z punktu widzenia energetyki zawodowej, największą zaletą badań termowizyjnych jest możliwość przeprowadzenia wstępnej diagnostyki bez konieczności pozbawiania napięcia urządzeń przesyłowych a tym samym bez odłączania odbiorców.

### 4. BIBLIOGRAFIA

1. Minkina W.: Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004.
2. Minkina W., Dudzik S.: Symulacyjna analiza niepewności algorytmu przetwarzania toru pomiarowego kamery termowizyjnej

ThermaCAM PM 595, Materiały III Symposium „Metrologiczne Właściwości Programowych Przetworników Pomiarowych” (MWPPP`2004), Gliwice, 22-23.XI.2004, Politechnika Śląska, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Nr 1670, seria „Elektryka” Z. 195,2005r., s. 173-185.

3. Piątkowski T.: Metoda bezkontaktowego pomiaru temperatury obiektów o dużej dynamice procesów termicznych, rozprawa doktorska, Biblioteka Główna WAT, III – 16277/A, Warszawa 2003.
4. Kruczek T.: Analiza wpływu czynników zewnętrznych na wyniki termowizyjnego pomiaru temperatury, [w] Więcek B. (red.): Mat. Konf. „Termografia i Termometria w Podczerwieni”, Instytut Elektroniki Politechniki Łódzkiej, Łódź-Ustronie, 2002.
5. Pawlak K.: Instrukcja wykonywania pomiarów termowizyjnych, Dokument wewnętrzny PGE Dystrybucja S.A., 2012.
6. Dane producenta kamery firmy ESW GmbH oraz wyniki badań uzyskane przy pomocy urządzenia VarioCAMRHiRes, udostępnione dzięki uprzejmości PGE Dystrybucja S.A. Oddział Łódź-Miasto.

## PRACTICAL APPLICATION RESEARCH INFRARED BY POWER INDUSTRY

The use of a thermal imaging cameras to analyze the technical condition of the switchgear and distribution of the energy system has a direct impact on the continuity of electricity supply. Specific environmental conditions relate directly to how to interpret the results. The presented examples of research of the thermal imaging, illustrate the mechanisms of action used in professional practice. They make clear that ignoring even the smallest irregularities may result in the failure of an extensive energy systems. Whereas the correct verification of the thermal image allows diagnostics of the system without depriving voltage transmission facilities and thus without disconnecting customers.

**Keywords:** thermography, power industry.