

Ryszard Chybowski¹ Janusz Rybiński¹ Michał Bednarek¹

BADANIE ZA POMOCĄ KAMERY TERMOWIZYJNEJ BŁĘDÓW WYSTĘPUJĄCYCH PRZY POMIARACH TEMPERATURY IZOLOWANYCH PRZEWODÓW ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie: W referacie przedstawiono wyniki pomiarów za pomocą kamery termowizyjnej błędów temperatury powierzchni przewodów spowodowanych typowymi zanieczyszczeniami przemysłowymi oraz opromieniowaniem od źródeł wysokotemperaturowych. Uzyskane wyniki świadczą o dużym wpływie zanieczyszczeń na błędy pomiaru. Błędy te mogą mieć istotny wpływ na wynik diagnostyki termowizyjnej. Błąd wynikający z opromieniowania przewodu typowymi źródłami nie wpływa w istotny sposób na wynik pomiaru temperatury.

Słowa kluczowe: termografia, przewód, zanieczyszczenia, błąd pomiaru

1. Wstęp

Podstawową wadą kamer termowizyjnych są trudne do oszacowania błędy występujące przy pomiarach. W niektórych przypadkach z tego powodu kamery termowizyjne traktowane są jako niewiarygodne urządzenia pomiarowe. W publikacjach, np. [1], wyróżnia się przy tego typu pomiarach dwa rodzaje błędów: tzw. błędy metody pomiaru oraz błędy urządzenia. Błędy wprowadzane przez kamerę termowizyjną można stosunkowo łatwo ograniczyć kalibracją urządzenia wykonaną z zachowaniem odpowiedniej procedury. Błędy metody pomiaru generowane są głównie przez niedokładne oszacowanie emisyjności obiektu, promieniowanie odbite oraz wpływ atmosfery. Uważa się, że cechy radiacyjne badanych powierzchni są potencjalnym źródłem dużych błędów. Emisyjność i odbijalność promieniowania podczerwonego są uzależnione od bardzo wielu czynników, w tym zwłaszcza od stopnia chropowatości, nachylenia powierzchni, długości fali.

Podstawowym zadaniem stawianym badaniom urządzeń elektrycznych za pomocą kamer termowizyjnych jest wykrycie i zlokalizowanie anomalii temperaturowych. Przy tak sformułowanym celu wystarczające jest zgrubne oszacowanie temperatury. Współczesne kamery umożliwiają pomiar temperatury ze względnie małym błędem pomiaru i tym samym

¹ Szkoła Główna Służby Pożarniczej, 01-629 Warszawa, ul. Słowackiego 52/54,
tel. (22) 56 17 607, (22) 56 17 690, faks (22) 833 07 24, e-mail: sgsp@sgsp.edu.pl, j.rybinski@interia.pl

istnieje możliwość postawienia odpowiedniej diagnozy. W przypadku wykrycia anomalii chodzi głównie o oszacowanie czasu do niezbędnej interwencji lub następnej kontroli. Do postawienia odpowiedniej diagnozy niezbędna jest w miarę dokładna znajomość wartości temperatur oraz różnic temperatur.

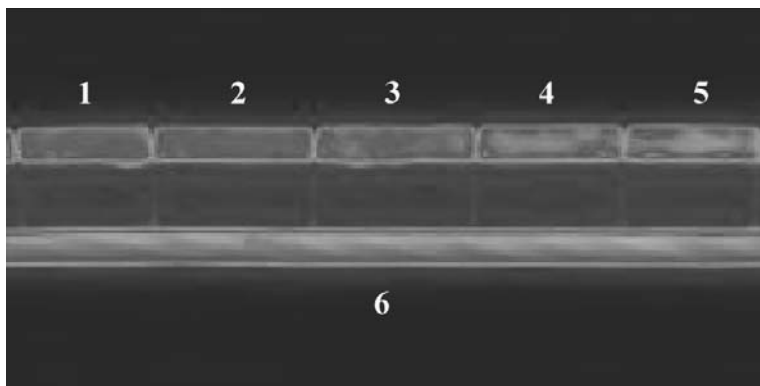
Zgodnie z wytycznymi duńskimi [2] za znamionującą wadę izolacji uważa się różnicę temperatur $> 1K$, a w przypadku różnicy $> 3K$ występują wskazania do natychmiastowej naprawy. Dane te odnoszą się do obciążenia znamionowego oraz korzystnych wpływów otoczenia i są traktowane jako szacunkowe. Mimo iż dane te mają charakter wskaźnikowy, informują o konieczności uwzględnienia potencjalnych przyczyn dużych błędów pomiarowych, dzięki czemu unika się stawiania fałszywej diagnozy. Takimi przyczynami mogą być zanieczyszczenia powierzchni izolowanego przewodu oraz obecność promieniowania odbitego od typowych wysokotemperaturowych źródeł.

2. Wpływ zanieczyszczeń na błąd pomiaru

Zanieczyszczenia powierzchni wpływają na wartości emisyjności. W praktyce pomiarowej istnieje konieczność znajomości tej wartości i jest ona wprowadzana do kamery na podstawie danych literaturowych [3], pomiarów lub oszacowania. Przy pełnym lub częściowym zanieczyszczeniu powierzchni należałoby wykonać pomiary emisyjności konkretnego zanieczyszczenia. W przypadku, gdy błąd pomiaru nie jest istotny, oszacowanie emisyjności może być akceptowalne.

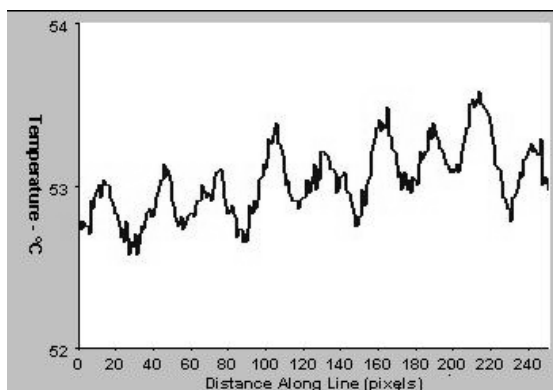
Powierzchnie przewodów elektrycznych z reguły są zanieczyszczone, głównie pyłami przemysłowymi. Oszacowanie emisyjności takich powierzchni przewodów powoduje powstanie błędów pomiarowych, które mogą być nieakceptowalne przy diagnostyce izolacji. W celu oceny błędów wprowadzonych przez zanieczyszczenia powierzchni izolowanych przewodów przeprowadzono badania. Układ badawczy zawierał dwa odcinki izolowanego przewodu OWżo 42,5 mm² umieszczone na płaskiej powierzchni w odległości kilku centymetrów od siebie. Jest to przewód o izolacji i oponie gumowej. Ten typ przewodu wybrano z uwagi na łatwość uzyskiwania połączeń. Zastosowana w nim guma ma prawie identyczny współczynnik emisyjności jak inne materiały stosowane na powłoki ochronne przewodów [3]. Odcinki i żyły przewodu połączono szeregowo i zasilano je z regulowanego źródła prądowego. Jeden z odcinków podzielono na pięć części (4,9 cm) które następnie zanieczyszczono różnymi substancjami. Użyto typowych pyłów przemysłowych: pyłu węglowego, pyłu z elektrofiltrów, pyłu drzewnego, opiłków żelaznych, opiłków aluminiowych. Powierzchnie przewodu posypano poszczególnymi zanieczyszczeniami tak, aby ich warstwa była jak najcieńsza. W badaniach wykorzystano kamerę pomiarową Radiance HSX firmy Raytheon rejestrującą promieniowanie w zakresie spektralnym 3-5mm, współpracującą z modulem termograficznym programu komputerowego ImageDesk II. Kamera była umieszczona na wysokości 1 m bezpośrednio nad przewodami. W polu widzenia kamery znajdowały się obydwie odcinki przewodów, co umożliwiało odczyt różnic temperatur między odcinkiem czystym i częściami o różnych zanieczyszczeniach. Regulowane źródło prądowe umożliwiało przeprowadzenie badań przy różnych temperaturach powierzchni przewodu. Obraz termograficzny był rejestrowany po względnym ustabilizowaniu się temperatury powierzchni (20,7°C; 32,1°C; 41,7°C; 55,2°C). Na podstawie [3] dla tego typu zanieczyszczeń i gumy

założono wartość współczynnika emisyjności 0,9. Typowy termogram uzyskany z badań przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Typowy termogram odcinków przewodu. Oznaczono: 1 – pył węglowy, 2 – pył z elektrofiltrów, 3 – pył drzewny, 4 – opilki żelazne, 5 – opilki aluminiowe, 6 – czysty odcinek przewodu

W obrazie tym poszczególne zanieczyszczone części odgraniczone są pionowymi liniami (o niższej temperaturze). Efekt ten uzyskano za pomocą drewnianych pałeczek położonych pomiędzy poszczególnymi zanieczyszczeniami. Przebieg temperatury wzdłuż osi czystego przewodu podano na rys. 2.



Rys. 2. Rozkład temperatury na powierzchni czystego przewodu wzdłuż osi

Cechą charakterystyczną tego przebiegu jest zmienność temperatury w dość szerokich granicach. Te wahania temperatury są spowodowane budową przewodu. Żyły przewodu są skręcone wzdłuż osi i dlatego na powierzchni występują tak duże różnice temperatur. Z powodu tej różnicy analizę błędów przeprowadzono dla wartości średnich temperatur. Wyniki obliczeń błędów są przedstawione w tabeli 1. Błąd bezwzględny ΔT jak i błąd względny δ , obliczono w odniesieniu do temperatury odcinka przewodu bez zanieczyszczeń. Na podstawie danych zawartych w tabeli 1. można wnioskować o dość dużym wpływie

zanieczyszczeń na błędy pomiarowe. Największy błąd otrzymano dla odcinka zanieczyszczonego opiłkami aluminiowymi. Temperatura powierzchni przewodu istotnie wpływa na wartości błędów spowodowanych zanieczyszczeniami. Wraz ze wzrostem temperatury powierzchni błędy są coraz większe. Wynika z tego, że termogramy powinny być wykonywane przy możliwie niskiej temperaturze przewodu. Zakres otrzymanych błędów świadczy o tym, że miejscowy brak zanieczyszczeń przewodu może być uznany na podstawie obrazu termograficznego za miejsce o uszkodzonej izolacji.

Tabela 1. Błąd pomiaru temperatury powierzchni spowodowany zanieczyszczeniami. ΔT oraz δ liczone wg wzorów: $\Delta T = T_p - T_c$, $\delta = \Delta T / T_c$, gdzie T_c – temperatura czystego przewodu [$^{\circ}\text{C}$], T_p – temperatura zanieczyszczonego odcinka [$^{\circ}\text{C}$]

	$T_0 = 20,7^{\circ}\text{C}$		$T_1 = 32,1^{\circ}\text{C}$		$T_2 = 41,7^{\circ}\text{C}$		$T_3 = 55,2^{\circ}\text{C}$	
	ΔT_{sr} [K]	δ [%]	ΔT_{sr} [K]	δ [%]	ΔT_{sr} [K]	δ [%]	ΔT_{sr} [K]	δ [%]
pył węglowy	0,1	0,5	-1,0	3,1	-2,0	4,8	-3,4	6,2
pył z elektrofiltrów	0,1	0,5	-1,3	4,0	-1,7	4,1	-3,3	6,0
pył drzewny	0,1	0,5	-1,1	3,4	-2,3	5,5	-4,1	7,4
opilki żelazne	0,0	0,0	-1,7	5,6	-3,2	8,3	-5,3	9,6
opilki aluminiowe	0,0	0,0	-2,0	6,2	-3,8	9,1	-5,7	10,3

3. Wpływ promieniowania odbitego na błąd pomiaru

Promieniowanie odbierane przez kamerę jest nie tylko promieniowaniem obiektu pomiarowego, ale również promieniowaniem odbitym, pochodzącym z otoczenia lub obcego wysokotemperaturowego źródła. Błąd pomiaru temperatury wynikający z odbitego promieniowania jest uzależniony od wielu czynników. Największy wpływ ma wartość współczynnika emisyjności obiektu pomiarowego oraz moc promieniowania docierającego do tego obiektu. Najbardziej znane są błędy pomiaru temperatury z tytułu odbitego promieniowania otoczenia. W publikacji [1] podano zakresy błędów pomiarowych, które występują od tego promieniowania w zależności od: emisyjności, temperatury obiektu, zakresu widmowego kamery. Z publikacji tej wynika, że największe błędy pomiarowe występują przy stosunkowo niskiej temperaturze obiektu pomiarowego. Przy pomiarach izolowanych przewodów elektrycznych występują takie temperatury i dlatego pomiar może być obarczony znacznym błędem. Jednak błąd ten nie ma istotnego znaczenia przy lokalizacji anomalii temperaturowych z uwagi na pomiar różnicy temperatur a nie ich wartości bezwzględnej.

Znacznie większy wpływ na błąd pomiaru może mieć odbicie promieniowania pochodzącego z wysokotemperaturowych źródeł. W praktyce może wystąpić nieskończenie dużo kombinacji opromieniowania przewodu, w zależności od mocy i typu źródła, odległości, kąta padania promieniowania. Przy pomiarach temperatury przewodów elektrycznych mogą

wystąpić obszary większego opromieniowania i obraz z kamery może wskazać anomalie temperaturową, która w rzeczywistości nie istnieje.

W celu zbadania wpływu promieniowania pochodzącego ze źródeł wysokotemperaturowych na wyniki pomiarów temperatury przewodów przeprowadzono pomiary. W układzie pomiarowym opisanym w poprzednim punkcie zarejestrowano obrazy termograficzne przy braku opromieniowania i z opromieniowaniem.

Źródłem promieniowania była żarówka 60 W oraz płytowy grzejnik elektryczny o średnicy $\phi = 14$ cm, współczynnika emisyjności $\epsilon = 0,98$, o stabilizowanej temperaturze $T=150^{\circ}\text{C}$. Źródło promieniowania umieszczone było obok kamery. Czas opromieniowania zredukowano do minimum, aby ograniczyć i wyeliminować błąd wynikający z pochłaniania promieniowania, a co za tym idzie, lokalnej zmiany temperatury obiektu badanego. Wyniki uzyskane z badań przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Błędy pomiaru temperatury powierzchni przewodu wynikające z obecności wysokotemperaturowych źródeł promieniowania. ΔT oraz δ liczono wg wzorów: $\Delta T = TR - T_0$, $\delta = \Delta T/T_0$, gdzie T_0 – temperatura przewodu nie opromieniowanego [$^{\circ}\text{C}$], TR temperatura przewodu opromieniowanego [$^{\circ}\text{C}$]

		czysty odcinek przewodu	pył węglowy	pył z elektrofiltrów	pył drzewny	opilki żelazne	opilki aluminiowe
żarówka 60 W	ΔT_{sr} [K]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
	δ [%]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,3
powierzchnia grzejna $\phi = 14$ cm $T = 150^{\circ}\text{C}$	ΔT_{sr} [K]	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
	δ [%]	0,0	0,3	0,3	0,3	0,0	0,3

Przedstawione w tabeli 2. wyniki dotyczą średnich wartości temperatur uzyskanych na poszczególnych odcinkach. Błąd względny odnosi się do temperatur zmierzonych przy braku opromieniowania. Otrzymane z badań wartości błędów są bardzo małe i mieszczą się w granicy błędu pomiaru. Wynika to głównie z względnie dużej wartości współczynnika emisyjności badanych powierzchni.

4. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Zanieczyszczenia powierzchni izolowanych przewodów mogą powodować bardzo duży błąd pomiaru temperatury za pomocą urządzeń podczerwieni. Ten błąd może powodować postawienie fałszywej diagnozy dla izolacji przewodu.
2. Błąd pomiaru temperatury przy obecności zanieczyszczeń zależy od temperatury powierzchni przewodu. Wskazane jest przeprowadzanie pomiarów przy braku obciążenia prądowego przewodu.
3. Wpływ opromieniowania przewodu typowymi źródłami wysokotemperaturowymi na błąd pomiaru temperatury jest bardzo mały.

Literatura

- [1] **Chrzanowski K.:** *Błędy metod zdalnego pomiaru temperatury za pomocą urządzeń podczerwieni.* WAT 1996.
- [2] **Pręgowski P.:** *Problemy oceny ilościowej w termiagnostyce instalacji elektrycznych.* Materiały IV Konferencji Krajowej *Termografia i termometria w podczerwieni.* Łódź, 16-18 listopada, 2000 r.
- [3] **Sala A.:** *Radiacyjna wymiana ciepła.* Warszawa, PWN 1982.

RESEARCH OF ERRORS MADE IN CONDITIONS OF MEASUREMENT OF THE TEMPERATURE OF INSULATED ELECTRICAL WIRES, BY MEANS OF THE THERMAL CAMERA.

The results of measurement made by means of the thermal camera of errors of the surface of wires temperature have been presented in the report. The errors are caused by typical dirt and radiation of high temperature sources.