



Krzysztof SZYDŁOWSKI, Ireneusz SZCZYGIEL

ENION SA. Oddział w Krakowie

Doświadczenia z oceny stanu technicznego urządzeń elektroenergetycznych metodą termografii

Streszczenie. Artykuł opisuje rezultaty praktycznego zastosowania metody termografii w diagnostyce stanu urządzeń elektroenergetycznych, prowadzonej przez Rejon Wysokich Napięć Zakładu Energetycznego Kraków. Wyniki były gromadzone w czasie ostatnich sześciu lat - od 2001 do 2006 roku.

Abstract. (Experiences from electrical power apparatus assessment using thermographic method). The paper describes results of practical using of thermographic method in diagnostics of electrical power equipment carried out by High Voltage Department of Power Distribution Company Kraków. Results were collected in last six years - from 2001 to 2006.

Słowa kluczowe: termografia, termowizja, diagnostyka, elektroenergetyka.

Keywords: thermographic, thermovision, diagnostics, electrical power.

Wstęp

Badania termowizyjne dają efekty tam, gdzie stwierdzenie występowania miejscowych różnic temperatur pozwala wyciągnąć wnioski na temat stanu badanego obiektu. Metodę diagnostyki termowizyjnej w elektroenergetyce można stosować do badań urządzeń wszystkich napięć, od najwyższych spotykanych w systemie elektroenergetycznym naszego kraju do niskiego napięcia, w tym rozdzielni, linii elektroenergetycznych, transformatorów i generatorów. Zastosowanie termografii umożliwia szybkie zlokalizowanie miejsc potencjalnych awarii, przy czym zasadniczo nie zachodzi potrzeba specjalnego przygotowywania badanego obiektu, a sam pomiar jest wykonywany podczas normalnej pracy urządzeń z bezpiecznej dopuszczalnej przepisami BHP odległości. W badaniach urządzeń elektroenergetycznych metodą termografii wykorzystuje się metody pasywne oparte na pomiarze ciepła wywołanego głównie przez straty rezystancyjne. Wynikiem prac z użyciem kamery termowizyjnej są barwne obrazy zwane termogramami przedstawiające rozkład temperatury na powierzchni badanych obiektów.

Charakterystyka prac wykonywanych z zastosowaniem termowizji w sieci Zakładu Energetycznego Kraków

Diagnostyka urządzeń elektroenergetycznych metodą termografii prowadzona jest w Zakładzie Energetycznym Kraków od roku 1997. Do badań wykonywanych przez Rejon Wysokich Napięć wykorzystywana jest kamera firmy AGEMA Thermovision 550. Powyższy system pracuje w zakresie fal 3,6 – 5 μm , cechuje się dokładnością pomiaru rzędu $\pm 2\%$ zakresu i czułością temperaturową mniejszą od 0,1°C. Zakres pomiarowy wynosi od -20 do +1200°C. Matryca FPZ posiada rozdzielczość 320x240. W wyposażeniu standardowym zamontowany jest stałe obiektyw o polu widzenia 20°.

Badania termowizyjne wykonywane są w stacjach 110 kV/SN pracujących jako tzw. główne punkty zasilające (GPZ), w których zachodzi transformacja napięcia z wartości 110 kV na napięcia z zakresu napięć średnich. W sieci Zakładu Energetycznego Kraków wyróżniamy napięcia średnie o wartościach 30, 15 i 6 kV. W obiektach

tych badane są wszystkie urządzenia pracujące w rozdzielni 110 kV łącznie z transformatorami 110/SN, jak również urządzenia obwodów pierwotnych rozdzielni średniego napięcia. Drugą grupę obiektów stacyjnych, w których prowadzona jest diagnostyka termowizyjna stanowią tzw. rozdzielnie sieciowe (RS). Są to obiekty spełniające rolę rozdzielni pracujących na napięciach z zakresu napięć średnich bez transformacji napięcia (nie licząc potrzeb własnych). Ponadto sporadycznie na zlecenia Rejonów Dystrybucji prowadzone są kontrolne pomiary diagnostyczne urządzeń niskiego napięcia, takich jak np. złącza kablowe.

Analiza danych o usterkach wykrytych metodą termowizji w sieci 110 kV i SN na terenie Zakładu Energetycznego Kraków w latach 2001-2006

Dla potrzeb niniejszej analizy wykorzystano wyniki diagnostyki prowadzonej w latach 2001-2006 w głównych punktach zasilających, w zakresie rozdzielni 110 kV i średniego napięcia. W poszczególnych latach obejmujących przedstawiony powyżej zakres analizy przeprowadzono badania termowizyjne w ilości obiektów jak w tabeli nr 1.

Na podstawie szczegółowej analizy miejsca wystąpienia

Tabela 1. Liczba obiektów zbadanych w poszczególnych latach

	Poszczególne lata analizy						Razem
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Liczba zbadanych obiektów (GPZ)	3	19	5	2	10	7	46
Rozdzielnie 110 kV	2	19	5	2	10	7	45
Rozdzielnie 30 kV	-	5	3	-	3	2	13
Rozdzielnie 15 kV	1	16	4	1	8	6	36

usterek uzyskano następujące wyniki w rozbiciu na poszczególne lata, oraz napięcie badanych urządzeń (tabela od 2 do 4). W celu uproszczenia rozważań w dalszej analizie jako usterkę kwalifikowano sytuację, w której wartość przyrostu temperatury badanych elementów była większa lub równa 3°C, bez dalszego rozróżniania jej faktycznej wartości. W dalszej analizie dane z tabel od 2 do 4 uproszczono przez odrzucenie informacji o usterkach występujących na urządzeniach, których liczby nie można precyzyjnie określić (np. izolatorów przepustowych lub połączeń śrubowych mostów szynowych). Ponadto dodatkowo ograniczono zakres rozpatrywanych urządzeń do odłączników, przekładników prądowych, wyłączników

oraz zacisków transformatorów. Zsumowano również dane dotyczące ilości usterek wykrytych w odłącznikach liniowych i szynowych, oraz pominięto rozróżnienie zacisku głowicy odłącznika oraz styku roboczego odłącznika. Następnie określono ilość urządzeń (w kompletach), pracujących w zbadanych rozdzielniach uwzględniając podział na poszczególne napięcia – wyniki przedstawiono w tabeli 5. Porównując liczbę wykrytych usterek do liczby zbadanych urządzeń uzyskano dane, które następnie zostały zestawione w tabeli 6.

Tabela 2. Liczba wykrytych usterek urządzeń pracujących na napięciu 110 kV

Nazwa elementu	Poszczególne lata analizy					
	2001	2002	2003	2004	2005	2006
głowica/zacisk odłącznika szynowego	3	10	3	3	9	7
głowica/zacisk odłącznika liniowego	-	2	-	-	1	-
styk roboczy odłącznika szynowego	-	5	1	-	3	4
styk roboczy odłącznika liniowego	-	2	4	-	2	2
zacisk przekładnika prądowego	-	2	1	-	3	1
zacisk wyłącznika	-	4	1	-	-	-
Razem (wszystkie elementy)	3	25	10	3	18	14

Tabela 3. Liczba wykrytych usterek urządzeń pracujących na napięciu 30 kV

Nazwa elementu	Poszczególne lata analizy					
	2001	2002	2003	2004	2005	2006
zacisk odłącznika szynowego	-	-	-	-	-	-
zacisk odłącznika liniowego	-	1	-	-	-	-
zacisk przekładnika prądowego	-	-	-	-	3	2
zacisk wyłącznika	-	1	1	-	2	-
zacisk głowicy kabla	-	-	-	-	1	-
Razem (wszystkie elementy)	-	2	1	-	6	2

Opierając się na wynikach przedstawionej analizy można stwierdzić, że największą awaryjnością cechują się urządzenia pracujące w rozdzielniach 30 kV, co ze względu na znaczny wiek eksploatowanych rozdzielni oraz degradację techniczną urządzeń 30 kV znajduje potwierdzenie w praktyce. W następnej kolejności znajdują się urządzenia rozdzielni 15 kV i jako najmniej awaryjne urządzenia rozdzielni 110 kV. Przedstawiony szereg niezawodności potwierdza praktyka eksploatacyjna oraz prowadzone statystyki awaryjności urządzeń.

Należy zwrócić szczególną uwagę na awaryjność zacisków izolatorów przepustowych 15 kV tzw. ściennych. Z uwagi na trudności w precyzyjnym określeniu ilości zbadanych izolatorów przepustowych zostały one pominięte w prowadzonej analizie, jednak odnosząc ilość wykrytych usterek (na poziomie 79 sztuk - tabela nr 4), do ilości

usterek wykrytych na innych urządzeniach można spodziewać się awaryjności tych urządzeń na bardzo wysokim poziomie. Powyższa analiza wskazuje z dużym prawdopodobieństwem miejsca powstawania potencjalnych usterek w urządzeniach elektroenergetycznych i stanowi propozycję kolejności ich diagnostyki metodą termowizyjną.

Tabela 4. Liczba wykrytych usterek urządzeń pracujących na napięciu 15 kV

Nazwa elementu	Poszczególne lata analizy					
	2001	2002	2003	2004	2005	2006
zacisk odłącznika szynowego	3	30	13	1	10	16
zacisk odłącznika liniowego	1	11	4	-	2	1
zacisk przekładnika prądowego	5	11	2	-	2	8
zacisk wyłącznika	-	2	3	-	-	3
zacisk głowicy kabla	5	-	2	-	1	4
zacisk izolatora przepustowego transformatora mocy	-	4	1	1	2	-
zacisk izolatora przepustowego	6	35	-	-	24	14
zacisk ogniwa baterii kondensatorów	-	2	-	-	-	-
zacisk transformatora SCA po stronie nn	-	7	-	-	-	-
połączenie śrubowe mostu szynowego	-	2	-	-	-	-
Razem (wszystkie elementy)	20	104	25	2	41	46

Tabela 5. Ilość zbadanych urządzeń w latach 2001 – 2006

Nazwa elementu	Napięcie pracy urządzenia		
	110 kV	30 kV	15 kV
odłączniki	846	62	1596
przekładniki prądowe	220	28	750
wyłączniki	213	25	687
zaciski transformatorów	-	-	86

Tabela 6. Procentowy udział urządzeń, na których wykryto usterkę w ogólnej liczbie zbadanych urządzeń

Nazwa elementu	Napięcie pracy urządzenia			Średnio wg elementu
	110 kV	30 kV	15 kV	
odłączniki	7,2 %	1,6 %	5,7 %	4,8 %
przekładniki prądowe	3,2 %	17,8 %	3,7 %	8,2 %
wyłączniki	2,1 %	16 %	1,1 %	6,4 %
zaciski transformatorów	-	-	9,3 %	9,3 %
Średnio w/g napięcia	4,2 %	11,8 %	4,9 %	-

Podsumowanie

Badania termowizyjne mają zastosowanie wszędzie tam gdzie zależy na przeprowadzeniu kontroli stanu urządzeń podczas ich normalnej pracy, metodą bezinwazyjną i z bez-

pieczonej odległości. Pozwala to zapobiec konsekwencjom ewentualnych awarii oraz spowodowanych nimi przestojami. Ponadto opierając się na wynikach uzyskanych z inspekcji termowizyjnej można lepiej zaplanować remonty i przeglądy urządzeń a dostępne środki i siły wykorzystać w sposób maksymalnie efektywny.

Pomimo niezaprzeczalnych zalet oraz szerokiego zakresu możliwych zastosowań techniki termowizyjnej w diagnostyce urządzeń elektroenergetycznych należy zwrócić uwagę na specyficzne uwarunkowania występujące podczas prowadzenia samych badań, jak również interpretacji otrzymanych wyników. Za przykład posłużyć tu może porównanie diagnostyki takich elementów systemu elektroenergetycznego jak np. zaciski aparatowe, przez które przepływają znaczne prądy robocze oraz ograniczniki przepięć, których prądy upływu wywołujące zmiany rozkładu temperatury na powierzchni aparatu są rzędu μA . W diagnostyce tradycyjnych urządzeń elektroenergetycznych termowizja stanowi nowoczesne i wiarygodne źródło danych o miejscach występowania usterek, jednak należy podkreślić jej całkowitą bezużyteczność w przypadku urządzeń w nowoczesnym wykonaniu GIS (ang. *Gas Insulation Systems*). Ponadto diagnostyka stanu linii elektroenergetycznych wysokich napięć standardowo montowanymi w kamerach termowizyjnych obiektywami stawia pod znakiem zapytania wiarygodność otrzymanych wyników. Poprawne wykonanie diagnostyki napowietrznych linii wysokich napięć wymaga zastosowania teleobiektywu lub podejścia operatora sprzętu w pobliże każdego ze słupów oraz przemieszczania się w trakcie badań wzdłuż przewodów linii celem sprawdzenia stanu złączy przewodów fazowych.

Wracając do zagadnień diagnostyki ograniczników przepięć metodami termograficznymi należy stwierdzić, że obecnie badania takie wykraczają poza zakres doświadczeń laboratoryjnych i znajdują coraz częściej zastosowanie praktyczne. Należy jednak podkreślić, że badania ograniczników powinny być prowadzone przy

okazji badań innych urządzeń pracujących w danym obiekcie energetycznym (GPZ lub RS), z uwzględnieniem specyfiki charakteru pracy ograniczników przepięć. Należy zauważyć, że prowadzenie diagnostyki jedynie samych ograniczników przepięć zabudowanych w obiekcie energetycznym nie jest uzasadnione ani ekonomicznie, ani technicznie.

Mając na uwadze zasygnalizowane niedogodności oraz potencjalne przyczyny niewłaściwej interpretacji otrzymanych wyników należy pamiętać, że parametry dostępnych obecnie systemów termowizyjnych stawiają już opisywaną technikę diagnostyczną na równi z innymi, tradycyjnymi metodami oceny stanu technicznego urządzeń elektroenergetycznych.

LITERATURA

- [1] Materiały firmy FLIR Systems AB., Instrukcja obsługi kamery AGEMA Thermovision 550
- [2] Praca Zbiorowa, Pomiary termowizyjne w praktyce, Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2004
- [3] Kania A., Zastosowanie termowizji w diagnostyce ograniczników przepięć, Materiały konferencji PTPIREE *Pomiary i diagnostyka w sieciach elektroenergetycznych*, 26-27 października 2006
- [4] Chrzan K. L., Diagnostyka ograniczników przepięć za pomocą kamery termowizyjnej, *Wiadomości Elektrotechniczne* 12/2005
- [5] Szydłowski K., Szczygieł I., Zastosowanie termografii w elektroenergetyce, Praca końcowa studiów podyplomowych: *Wybrane zagadnienia wysokonapięciowych układów elektroenergetycznych*, Katedra Elektroenergetyki AGH, Kraków, 2007

Autorzy: mgr inż. Krzysztof Szydłowski, mgr inż. Ireneusz Szczygieł, ENION SA. Oddział w Krakowie, Rejon Wysokich Napięć, ul. Prądnicka 74c, 31-202 Kraków, e-mail: krzysztof.szydowski@krakow.enion.pl, ireneusz.szczygiel@krakow.enion.pl