

Jan SUBOCZ, Andrzej MROZIK

ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY, KATEDRA ELEKTROTECHNOLOGII I DIAGNOSTYKI
ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin

Wykorzystanie pomiarów termowizyjnych do diagnostyki transformatorowych przepustów WN

Dr hab. inż. Jan SUBOCZ

Profesor w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym, w Katedrze Elektroterapii i Diagnostyki. Autor ponad 140 prac z zakresu elektroterapii, fizyki procesów relaksacyjnych w dielektrykach oraz diagnostyki urządzeń elektrycznych. Członek Komitetu Elektroterapii PAN, Komisji Nauk Elektrycznych o/Poznań PAN, PKME SEP, IEEE.



e-mail: jan.subocz@zut.edu.pl

Mgr inż. Andrzej MROZIK

Doktorant w Katedrze Elektroterapii i Diagnostyki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego.



e-mail: andrzej.mrozik@zut.edu.pl

Streszczenie

W artykule omówiono podstawowe mechanizmy przebicia kompozytowej izolacji przepustów WN. Stwierdzono, że niekorzystny rozkład temperatury wewnątrz izolacji może być najczęściej występującą przyczyną uszkodzenia izolacji. Przedstawiono model cieplny kondensatorowych przepustów WN, z którego wynika że w głębokich warstwach izolacji w pewnych warunkach temperatura może przekroczyć wytrzymałość cieplną materiału. Model ten może być wykorzystany w diagnostyce przepustów opartej na cyfrowej analizie zdjęć termowizyjnych. Podano praktyczne przykłady zastosowania tej techniki diagnostycznej.

Słowa kluczowe: temperatura, termowizja, przepust WN, diagnostyka.

The use of thermovision measurements for diagnostics of HV transformer bushings

Abstract

Basic mechanisms of HV bushing composite insulation breakdown are described in the paper. It was stated that the dominant cause of insulation failures is the thermal mechanism of breakdown, which develops in a few or a dozen and so hours. This opinion is confirmed by industrial experiences showing that most of failures happen in the afternoon hours after a hot day. The analysis of the problem showed that the main heat source in the core of a bushing are dielectric losses which depend on the local core temperature and the level of insulation deterioration. The volume temperature distribution in the bushing can be modeled with non-linear differential equation taking into consideration such parameters as thermal conductivity of an insulation, impregnate and porcelain housing, local values of dielectric losses and conditions of heat exchange in the bushing and in the interface porcelain-air. On this basis it was found that large changes of inside temperature in the insulation result in low changes of temperature on the surface of the porcelain housing. There was presented a heat model of HV condenser bushing which showed that in deep layers of insulation in some cases the temperature can exceed heat resistance of the material and cause intensive ageing process. Such heat model can be used in bushings diagnostics based on digital analysis of thermographs. Some practical examples were given for application of this diagnostic tool for technical condition assessment of 220 kV and 400 kV bushings. On the base of the model it was calculated that in the case of RIP 220 kV bushing for the temperature of housing 35°C inner temperature of the insulation can exceed critical value 90°C. There were made cross-sections of the insulation which confirmed the correctness of modeling, and assessment of technical condition, as highly deteriorated layers of insulation were found near the inner tube.

Keywords: temperature, thermovision, HV bushing, diagnostics.

1. Wstęp

W ostatnich latach notuje się zwiększoną ilość uszkodzeń przepustów izolacyjnych, które powodują około 40% katastrofalnych awarii transformatorów energetycznych [1, 2, 3, 4]. Problem ten niewątpliwie wynika z długoletniej eksploatacji przepustów

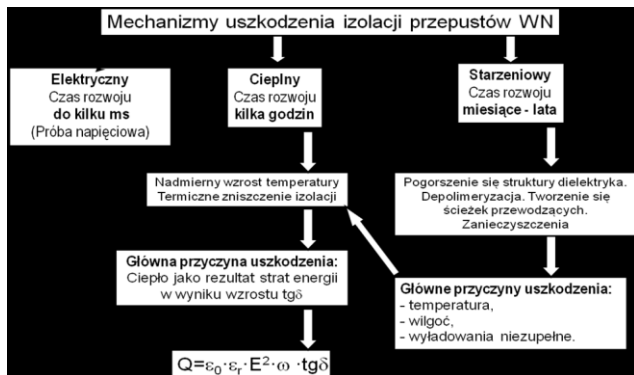
i zesterzenia izolacji. Równocześnie obserwuje się nadspodziewanie dużą awaryjność przepustów wyprodukowanych w ostatnich 10-15 latach. Jak się wydaje, jest to skutek obniżania kosztów produkcji i konieczności stosowania nowych rozwiązań technologicznych. Dlatego służby eksploatacyjne stoją przed poważnym problemem rzetelnej oceny stanu technicznego przepustów, ukie-
runkowanej przede wszystkim na identyfikację procesów starzeniowych i ocenę kinetyki ich rozwoju. Coraz częściej środowisko inżynierskie wyraża potwierdzoną w praktyce opinię, że standardowo stosowana obecnie metoda oceny izolacji przepustów oparta głównie na pomiarze współczynnika strat dielektrycznych przy częstotliwości 50 Hz jest niewystarczająca i mało czuła do identyfikacji procesów starzeniowych. Pogląd ten podziela również jeden z współautorów (J. Subocz), który przez kilkanaście lat badał analogiczne procesy w kompozytach konstrukcyjno-izolacyjnych [5].

Prezentowana na sesji CIGRE praca [6] wyraźnie wskazała na konieczność opracowania nowych metod diagnostycznych poprawiających skuteczność oceny stopnia zesterzenia izolacji przepustów. Jednym z kierunków rozwoju w tym zakresie wydają się być dynamiczne pomiary procesów relaksacyjnych. Wymagają one jednak odłączenia transformatora spod napięcia. W wielu przypadkach sytuacja taka jest trudna do zaakceptowania przez służby eksploatacyjne. Dlatego czynione są próby wykorzystania innych procesów fizycznych umożliwiających diagnostykę izolacji bez konieczności odłączania transformatora. W tym celu próbuje się stosować m.in. pomiary wnz za pomocą analizy emisji akustycznej, czy też promieniowania elektromagnetycznego [7]. Jednym z możliwych rozwiązań w tym zakresie wydają się być również pomiary emisji promieniowania cieplnego metodą termowizyjną. Niniejsza praca przedstawia doświadczenia autorów w tym zakresie.

2. Mechanizmy przebicia izolacji kompozytowej

Izolacja przepustów typu RIP (Resin Impregnated Paper) oraz RBP (Resin Bonded Paper) należy do klasy kompozytów opartych na matrycy polimerowej (żywica fenolowo-formaldehadowa lub epoksydowa) oraz zbrojeniu (papier elektrotermiczny oraz częściowo folia aluminiowa). Technologie ich wytwarzania są od-
mianami powszechnie stosowanych metod przy produkcji laminatów ze szczególnym uwzględnieniem wymagań stawianych przez izolację wysokonapięciową. Można tu wymienić takie parametry technologiczno-przetwórcze jak odpowiednia adhezja matrycy do zbrojenia czy też brak wolnych przestrzeni, kawern lub fazy ciekłej i lepko-sprężystej.

W tego typu materiałach można wyróżnić trzy podstawowe mechanizmy uszkodzenia pod wpływem działania pola elektrycznego oraz czynników zewnętrznych (rys. 1).



Rys. 1. Schemat mechanizmów uszkodzenia izolacji przepustów WN
Fig. 1. Diagram of HV bushing insulation failure mechanisms

Najszybszym z nich jest elektryczny mechanizm przebicia. Czas jego rozwoju trwa do kilku milisekund i polega głównie na dostarczeniu przez pole elektryczne odpowiednio dużej energii do nośników ładunku (elektronów lub jonów), które spowodują zniszczenie struktury materiału. Proces ten przebiega przeważnie w fazie amorficznej laminatu lub na granicy faz żywica-zbrojenie. Ponieważ energia wiązań większości tworzyw sztucznych jest rzędu $10 \div 12$ eV, więc to pozwala oszacować krytyczne natężenie lokalnego pola elektrycznego inicjującego przebicie na około $10^5 \div 10^6$ V/m. Stąd w praktyce mechanizm ten może wystąpić jedynie podczas wyznaczania wytrzymałości elektrycznej kompozytu lub prób napięciowych.

Ciepły mechanizm przebicia jest natomiast w istocie konsekwencją niekorzystnego bilansu cieplnego w kompozycie, który powoduje że w pierwszym rzędzie niszczy on termicznie strukturę a przebicie elektryczne pod wpływem robocznego natężenia pola elektrycznego następuje w drugiej kolejności. Stąd formy dostarczenia energii cieplnej do zapoczątkowania tego mechanizmu mogą być różne. Przykładowo, jak to pokazano na rysunku 1, mogą to być straty dielektryczne. Czas rozwoju cieplnego mechanizmu przebicia liczony jest zwykle w godzinach i, jak się wydaje, jest on najbardziej prawdopodobną bezpośrednią przyczyną większości awarii przepustów izolacyjnych. Wskazują na to okoliczności awarii, które najczęściej występują w godzinach wieczornych po upalnym dniu. W tych okolicznościach temperatura wewnątrz rdzenia mogła przekroczyć wytrzymałość cieplną izolacji i stworzyć warunki do rozwoju procesów degradacyjnych i mechanizmu cieplnego przebicia, który po kilku godzinach powoduje awarię.

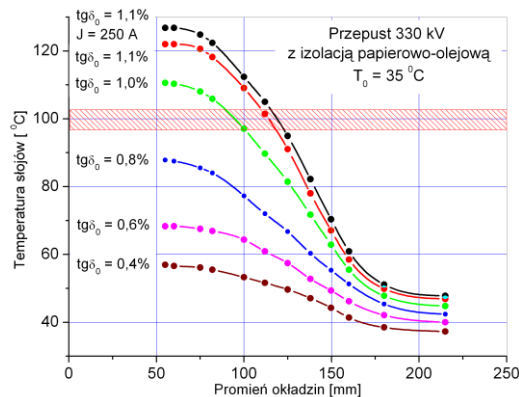
Typowy starzeniowy mechanizm przebicia, w swoim działaniu, zbliżony jest do cieplnego, z tym tylko, że zmiany struktury kompozytu może spowodować znacznie więcej czynników (np. wylądowania niezupełne, wilgoć, drgania, oddziaływania chemiczne czy też wysokoenergetyczne promieniowanie). Jednak w ostatecznym rachunku prowadzi on do inicjacji mechanizmu cieplnego przy roboczym napięciu. Należy przy tym podkreślić, że według wielu autorów modeli uszkodzenia izolacji kompozytowej [5], rola bezpośredniego oddziaływania pola elektrycznego jest pomijalnie mała, bowiem jego wartość jest decydująca dopiero w końcowym etapie procesu.

Z powyższego, krótkiego opisu wynika, że rozkład temperatury wewnątrz rdzenia przepustu jest głównym, obok rozkładu gęstości mocy wzn, czynnikiem sprzyjającym rozwojowi starzenia. Stąd istotny jest bilans cieplny przepustu. Pod tym względem można go traktować jako swoisty „termos” z pewnym wewnętrznym źródłem energii cieplnej.

3. Model cieplny przepustów RIP

Generowane przez przepust pole termiczne można analizować m.in. za pomocą matematycznego modelowania z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Wymaga ono uwzględnienia m.in. wymiarów geometrycznych przepustu, zewnętrznej temperatury osłony, wartości współczynnika strat dielektrycznych,

obciążenia toru prądowego czy też warunków wymiany ciepła z otoczeniem.



Rys. 2. Rozkład temperatury w rdzeniu przepustu OIP 330 kV uzyskany z analizy pola termicznego [8]
Fig. 2. Temperature distribution in the core of the OIP bushing 330 kV obtained from analysis of the thermal field [8]

Na rysunku 2 pokazano przykładowe, uzyskane z numerycznej analizy pola termicznego, rozkłady temperatury wzdłuż promienia rdzenia przepustu OIP 330 kV [8]. Wynika z nich, że w sprzyjających warunkach, temperatura wewnętrznych warstw w pobliżu rury z przewodem fazowym może przekroczyć odporność cieplną materiału izolacji i powodować systematyczny proces jego destrukcji termicznej. W analizowanym przypadku przepustu OIP 330 kV (rys.2) dla temperatury osłony $T \approx 35^\circ\text{C}$ oraz zmierzonej w $T_0 = 20^\circ\text{C}$ wartości współczynnika strat rzędu $\text{tg}\delta_{50\text{Hz}} \approx 0,8\%$, temperatura wewnątrz rdzenia może przekroczyć 80°C . Oznacza to, że dla temperatury osłony $T \approx 55^\circ\text{C}$ nawet przy akceptowalnych wartościach $\text{tg}\delta_{50\text{Hz}} \approx 0,6\%$, temperatura wewnątrz rdzenia osiągnie wartość $T \approx (90 \div 100)^\circ\text{C}$ i rozpocznie się intensywne starzenie celulozy. Podany przykład dobrze ilustruje i wyjaśnia obserwowane w praktyce przypadki, gdy przepusty charakteryzujące się akceptowalnymi wartościami współczynnika strat ulegają awarii niedługo po wykonanych pomiarach.

W przypadku przepustu RIP matematyczny model ustalonego, przestrzennego rozkładu temperatury w cylindrycznym układzie współrzędnych (r, ϕ, z) opiera się na założeniu, że źródłem ciepła są straty dielektryczne w izolacji oraz straty Joule'a w przewodzie wiodącym prąd. Równanie różniczkowe opisujące ustalony rozkład temperatury w cylindrycznym układzie współrzędnych (r, ϕ, z) ma postać:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \lambda(r, \phi, z) \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \lambda(r, \phi, z) \frac{\partial T}{\partial \phi} + \frac{\partial}{\partial z} \lambda(r, \phi, z) \frac{\partial T}{\partial z} + q(r, \phi, z, T) = 0, \quad (1)$$

gdzie: $T(r, \phi, z)$ jest temperaturą $\lambda(r, \phi, z)$ jest współczynnikiem przewodnictwa cieplnego, a $q(r, \phi, z, T)$ opisuje objętościową wydajność źródeł ciepła, zależną w nieliniowy sposób od temperatury T .

W rozważaniach przyjęto założenia upraszczające o zerowym gradiencie temperatury wzdłuż osi z . Wówczas (przy osiowej symetrii przepustu) równanie (1) przyjmuje postać

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} r \lambda(r) \frac{dT}{dr} + q(r, T) = 0 \quad (2)$$

Równanie to uzupełniają dwa warunki brzegowe dla $r = r_0$ (granica rdzeń-izolacja) i dla $r = R$ (granica porcelana-powietrze)

$$q_0 = -\lambda_0 \left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=r_0} \quad (3)$$

$$-\lambda_P \frac{dT}{dr} \Big|_{r=\bar{R}} = h_P(T(R) - T_\infty) \quad (4)$$

gdzie: q_0 jest strumieniem ciepła na granicy rdzeń-izolacja, λ_0 jest współczynnikiem przewodnictwa cieplnego izolacji papierowo-olejowej, λ_P jest współczynnikiem przewodnictwa cieplnego porcelany, h_P jest współczynnikiem oddawania ciepła do otoczenia, a T_∞ jest temperaturą otoczenia (powietrza).

Ponadto, spełniony musi być warunek ciągłości strumienia ciepła. Warunek ten na granicy izolacja-olej przyjmuje postać:

$$\lambda_0 \frac{dT}{dr} \Big|_{r=r_M^-} = \lambda_M \frac{dT}{dr} \Big|_{r=r_M^+} \quad (5)$$

a na granicy olej-porcelana, postać:

$$\lambda_M \frac{dT}{dr} \Big|_{r=r_P^-} = \lambda_P \frac{dT}{dr} \Big|_{r=r_P^+} \quad (6)$$

gdzie λ_P jest zastępczym współczynnikiem przewodnictwa cieplnego oleju (opisującego przewodzenie i konwekcję).

Objętościowa wydajność źródeł ciepła w rdzeniu izolacji opisana jest nieliniową funkcją temperatury w postaci:

$$q(r, T) = 2\pi f \epsilon_r \epsilon_0 E^2 \operatorname{tg} \delta(T) \quad (7)$$

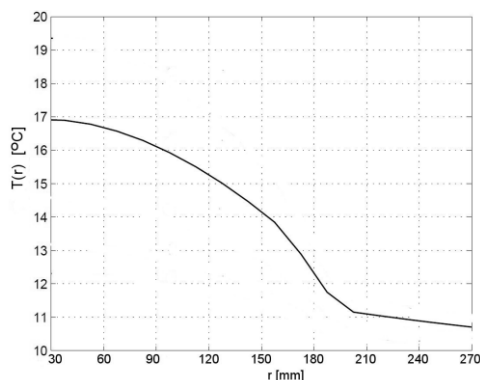
a współczynnik strat dielektrycznych w określonym punkcie objętości rdzenia opisany jest nieliniową zależnością w postaci:

$$\operatorname{tg} \delta(T) = \operatorname{tg} \delta_0 \cdot e^{\alpha[T(r)-20]} \quad (8)$$

gdzie: $T(r)$ – funkcja opisująca przestrzenny rozkład temperatury, $\operatorname{tg} \delta_0$ – współczynnik strat dielektrycznych w temperaturze 20°C, α – współczynnik zależny od stopnia zesterzenia izolacji.

Dla przybliżonego rozwiązania równania (2) można wykorzystać metodę bilansów elementarnych (metoda objętości skończonych), której idea sprowadza się do podzielenia całego obszaru rozwiązywania na skończoną liczbę elementarnych objętości V_k i rozwiązywanie tego równania w każdej z tych objętości z uwzględnieniem warunków brzegowych.

Zastosowanie metody bilansów elementarnych do wyznaczenia rozkładu temperatury w rdzeniu przepustu izolacyjnego wraz z przykładowymi obliczeniami podano w [9].



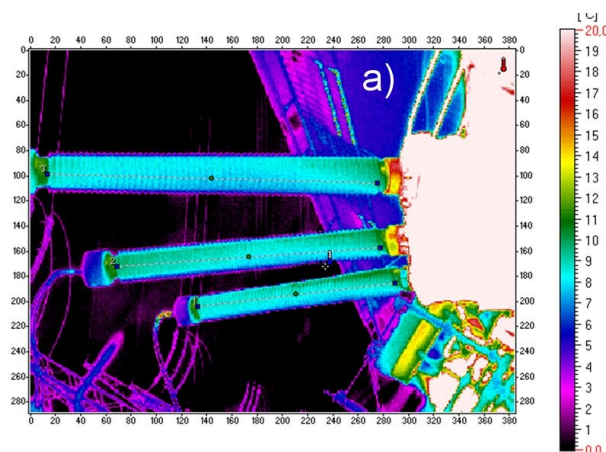
Rys. 3. Rozkład temperatury w przepuscie RIP 220 kV uzyskany z analizy pola termicznego dla temperatury otoczenia $T_0 = 10^\circ\text{C}$, współczynnika $\alpha = 0,01$ oraz $\operatorname{tg} \delta_0 = 0,015$ [9]

Fig. 3. Temperature distribution in the core of the RIP bushing 220 kV, obtained from analysis of the thermal field for ambient temperature $T_0 = 10^\circ\text{C}$, $\alpha = 0,01$ and $\operatorname{tg} \delta_0 = 0,015$ [9]

Natomiast na rysunku 3 podano przykładowy rozkład temperatury w przepuscie RIP 220 kV typu CTF 245, który otrzymano po uwzględnieniu jego wymiarów geometrycznych, stałych materiałowych elementów składowych (laminat żywiczno-papierowy, aluminium, porcelana, impregnat) oraz zakładając temperaturę powierzchni osłony porcelanowej $T_0 = 10^\circ\text{C}$. Symulacje komputerowe wykazały, że podobnie jak w przepuscie p-o, w sprzyjających okolicznościach temperatura w dolnych warstwach rdzenia może osiągnąć wartość rzędu $T \approx (80 \div 100)^\circ\text{C}$. Biorąc pod uwagę, że izolacja tego przepustu wykonana jest z kompozytu „żywica fenolowo-formaldehydowa-papier” oddziaływanie takiej temperatury przekracza długotrwałą odporność cieplną zarówno papieru jak i żywicy. Zatem należy spodziewać się stopniowego pogarszania się izolacji, zwłaszcza w jej głębszych warstwach [9].

4. Pomiary termowizyjne przepustów RIP 220 kV

Znajomość modelu cieplnego przepustu można wykorzystać do rozwiązania odwrotnego zagadnienia jakim jest oszacowanie temperatury dolnych warstw rdzenia na podstawie znajomości geometrii przepustu oraz temperatury zewnętrznej osłony porcelanowej i temperatury otoczenia. Do realizacji tego celu można wykorzystać obraz zewnętrznego pola uzyskany z cyfrowej analizy termogramu rejestrowanego przez kamerę termowizyjną. Pomiar taki możliwy jest do wykonania bez konieczności wyłączenia transformatora z ruchu elektrycznego. Za podstawę oceny stanu technicznego przepustu przyjęto wartość oszacowanej temperatury wewnątrz izolacji, a w szczególności jej rozkład w dolnych warstwach wzdłuż osi przepustu.

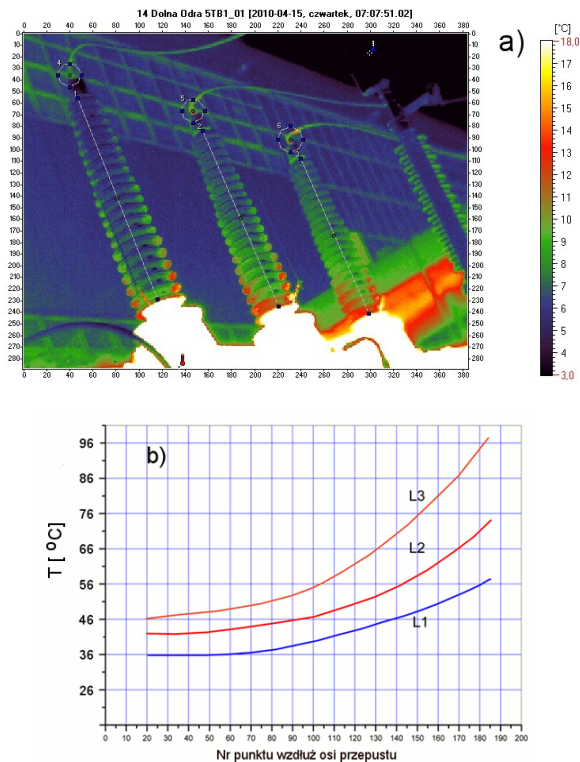


Rys. 4. a) Termogram przepustów RIP 400 kV typu COT 1550-1000, b) obliczony rozkład temperatury po długości wewnętrznej warstwy izolacji

Fig. 4. a) Thermogram of the COT 1550-1000 type RIP bushings 400 kV, b) calculated temperature distribution along length of the inner insulation layer

Praktyczny sposób zastosowania takiego podejścia do diagnostyki przepustów można pokazać na przykładzie dwóch transformatorów typu TFBb 240000/400 oraz TFBN 240000/220, które wyposażone były w komplet przepustów RIP odpowiednio typu

COT 1550-1000 firmy Trench oraz CTF 245 firmy Micafil (rys. 4, 5). W obu przypadkach pomiary wykonano w tym samym dniu przy temperaturze otoczenia 3°C.



Rys. 5. a) Termogram przepustów RIP 220 kV typu CTF 245, b) obliczony rozkład temperatury po długości wewnętrznej warstwy izolacji

Fig. 5. a) Thermogram of the CTF 245 type RIP bushings 220 kV, b) calculated distribution of temperature along length of the inner insulation layer

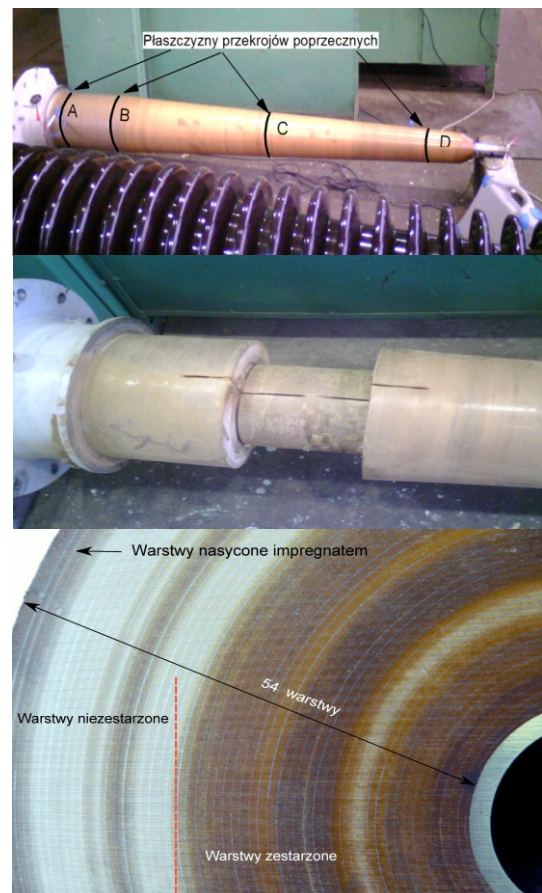
Na rysunku 4a przedstawiono termogram przepustów zamontowanych na transformatorze typu TFBb 240000/400. Natomiast na rysunku 4b przedstawiono oszacowany rozkład temperatury w warstwach izolacji przylegających do rury z przewodem fazowymi wzdłuż osi przepustów przy założeniu temperatury otoczenia 30°C. Wynika z niego, że we wszystkich przepustach obliczony rozkład temperatury był niemal identyczny, a jej oszacowana wartość w dolnej części izolacji w pobliżu flanszy nie powinna przekraczać (40÷45)°C. Na tej podstawie można wnioskować, że w izolacji przepustów nie powinny występować procesy intensywnego starzenia. Wnioski te skonfrontowano ze standardowymi pomiarami współczynnika strat dielektrycznych. Wykazały one, że jego wartości były zbliżone dla wszystkich przepustów i zawierały się w granicach $\text{tg}\delta_{50\text{Hz}} = (0,39\div 0,42)\%$.

Natomiast w przypadku transformatora TFBN 240 000/220 matematyczna analiza pola termicznego wykazała, że dla przepustów fazy L1 i L2 należy spodziewać się wewnętrznej temperatury izolacji nie większej niż 70°C, co jest dopuszczalną temperaturą pracy. Ale dla przepustu fazy L3 obliczona temperatura tych warstw w pobliżu kołnierza (flanszy) może wynosić już około 90°C i tym samym może przekraczać długotrwałą odporność cieplną kompozytu, a zwłaszcza papieru. Zatem należy oczekiwać występowania procesu termicznej degradacji izolacji w sytuacji pogorszenia się oddawania ciepła do otoczenia przepustu. Zmierzone wartości współczynnika strat po kilku miesiącach od dnia pomiarów termowizyjnych potwierdziły, że generacja ciepła w tych przepustach jest większa. Bowiem wynosiły one odpowiednio $\text{tg}\delta_{50\text{Hz}} = 1,58\%$, $1,15\%$ oraz $1,72\%$ dla przepustów fazy L1, L2, L3. Z powyższych względów podjęto decyzję o ich wycofaniu z eksploatacji. Należy przy tym podać, że wartości współczynnika strat zmierzone na 7 miesięcy przed pomiarami termowizyjnymi wynosiły odpowiednio $\text{tg}\delta_{50\text{Hz}} = 0,59\%$, $0,58\%$ oraz $0,86\%$, były zatem akceptowalne dla tej klasy przepustów. Po-

wyższe dane dowodzą, że z jednej strony, w relatywnie krótkim okresie czasu (około 1 roku), izolacja przepustów może znacząco się pogorszyć, a z drugiej strony proces ten może być skutecznie monitorowany względnie prostym pomiarem termowizyjnym.

5. Inspekcja wewnętrzna przepustu RIP 220 kV

Na rysunku 6 pokazano widok rdzenia przepustu fazy L3 transformatora TFBN 240 000/220 w różnych stadiach rewizji wewnętrznej. Na rysunku 6a oraz 6b zaznaczono miejsce, w którym dokonano przekrojów poprzecznych rdzenia. Natomiast na rysunku 6c pokazano przekrój poprzeczny rdzenia wykonany w punkcie A, bezpośrednio przy kołnierzu mocującym. Zaznaczono na nim warstwy, w których zaobserwowano wyraźną degradację termiczną kompozytu papierowo-żywicznego. Stwierdzono, że na 54 przedzielone ekranami sterującymi warstwy kompozytu zdegradowanych było 31 warstw, przy czym w 12. warstwach stopień zesterzenia oceniono jako bardzo zaawansowany. Warto przy tym zaznaczyć, że zasięg zdegradowanego obszaru izolacji kompozytu w ogólnych zarysach pokrywał się z wyznaczonym na podstawie matematycznego modelowania rejonem występowania wysokiej temperatury w rdzeniu przepustu.



Rys. 6. Rewizja wewnętrzna izolacji przepustu RIP 220 kV typu CTF 245
Fig. 6. Inner revision of the insulation of the CTF 245 type RIP bushing 220 kV

6. Podsumowanie

1. W artykule zaprezentowano nowe możliwości diagnozowania przepustów RIP przy pomocy pomiarów termowizyjnych. Proces diagnozowania opiera się na ocenie temperatury w głębokich warstwach rdzenia przepustu. Wykorzystuje przy tym matematyczne modelowanie pola termicznego z zastosowaniem metody elementów skończonych oraz cyfrową analizę termogramów.

2. Komputerowa symulacja oraz rewizja wewnętrzna rdzenia przepustu RIP 220 kV wykazały, że w niesprzyjających okolicznościach (np. wysoka temperatura osłony przepustu) temperatura w niektórych obszarach izolacji może przekroczyć jej długotrwałą odporność cieplną i prowadzić do termicznej degradacji.
3. Metoda oceny stanu technicznego izolacji na podstawie analizy termogramów jest bardzo prosta do stosowania na etapie akwizycji danych, i co najważniejsze, nie wymaga odłączenia transformatora spod napięcia. Ale na etapie analizy danych wymaga zastosowania zaawansowanego aparatu matematycznego oraz znajomości geometrii przepustu. Niemniej, jak się wydaje, jej skuteczność w identyfikacji procesów starzeniowych w rdzeniu może być bardzo wysoka.
4. Metoda ta może być zastosowana również do diagnozy przepustów OIP. Wynika to m.in. z doświadczenia autorów, którzy wykonali już diagnostykę kilkudziesięciu kondensatorowych przepustów WN zarówno w izolacji „miękkiej” jak i „twardej”.

*Pracę zrealizowano w ramach projektu rozwojowego NCBiR R01004406/2009 pt. „Ocena stanu technicznego kondensatorowych przepustów wysokiego napięcia”.
Autorzy wyrażają podziękowanie Dyrekcji i Pracownikom PGE Elektrorownia Dolna Odra za pomoc w realizacji badań.*

7. Literatura

- [1] Analiza awaryjności stacji transformatorowych SN/nn na przykładzie wybranych Spółek Dystrybucyjnych. Raport PTPiREE, Poznań, (2001, 2002).
- [2] Monasturskij A.E.: *Ekonomiczeskije aspekty ekspluatacji transformatornogo oborudowanija. Metody i sredstva ocenki sostojanija energeticeskogo oborudowanija.* Tadshibajev A.I. (red). Wyp. 27, Sankt Petersburg, 2005, s. 7 – 11.
- [3] Krüger M.: Transformer diagnosis – practical experience using simple methods like winding resistance measurement, dynamic tap changer testing, ratio, leakage reactance capacitance and dissipation factor measurement, Omicron Electronics GmbH, Austria.
- [4] CIGRE-WG 12-05: An international survey on failures in large power transformers in service, *Electra* no. 88 1983, p. 21 – 48.
- [5] Subocz J.: Wybrane zagadnienia przewodnictwa i relaksacji dielektrycznej w aspekcie diagnostyki izolacji kompozytowej. *Prace Naukowe PS*, nr 580, Szczecin, 2003.
- [6] Wankowicz J., Bielecki J., Szrot M., Subocz J., Malewski R.: HV bushing failure in service, diagnostics and modeling of oil-type bushings. Cigre Plenary Session, Paris, 22 – 27 August 2010, A2-104.
- [7] Govender K., Moodley L., Nesbitt A.: Partial discharge detection using RFI measurements. *Transmission and Distribution*, April 2010, 26 – 28.
- [8] Wlasow A. B.: Diagnosticeskaja model teplowizionnogo kontrola vysokowoltnych wwodow. *Metody i sredstva ocenki sostojanija energeticeskogo oborudowanija.* Tadshibajev A. I. (red.), Wyp. 27, Sankt Petersburg, 2005, s. 41 – 54.
- [9] Emirsajłow Z., Subocz J.: Modelowanie rozkładu temperatury w przepieście WN. *Przegląd Elektrotechniczny*, rok LXXXIV, nr 11b, (2010), s.154 – 157.

otrzymano / received: 25.11.2010

przyjęto do druku / accepted: 04.04.2011

artykuł recenzowany

INFORMACJE

Informacje dla Autorów

Redakcja przyjmuje do publikacji tylko prace oryginalne, nie publikowane wcześniej w innych czasopiśmie. Redakcja nie zwraca materiałów nie zamówionych oraz zastrzega sobie prawo redagowania i skracania tekstów oraz streszczeń.

Artykuły naukowe publikowane w czasopiśmie PAK są formatowane jednolicie zgodnie z ustaloną formatką zamieszczoną na stronie redakcyjnej www.pak.info.pl. Dlatego artykuły przekazywane redakcji należy przygotowywać w edytorze Microsoft Word 2003 (w formacie DOC) z zachowaniem:

- wielkości czcionek,
- odstępów między wierszami tekstu,
- odstępów przed i po rysunkach, wzorach i tabelach,
- oznaczeń we wzorach, tabelach i na rysunkach zgodnych z oznaczeniami w tekście,
- układu poszczególnych elementów na stronie.

Osobno należy przygotować w pliku w formacie DOC notki biograficzne autorów o objętości nie przekraczającej 450 znaków, zawierające podstawowe dane charakteryzujące działalność naukową, tytuły naukowe i zawodowe, miejsce pracy i zajmowane stanowiska, informacje o uprawianej dziedzinie, adres e-mail oraz aktualne zdjęcie autora o rozmiarze 3,8 x 2,7 cm zapisane w skali odcieni szarości lub dołączone w osobnym pliku (w formacie TIF).

Wszystkie materiały:

- artykuł (w formacie DOC),
- notki biograficzne autorów (w formacie DOC),
- zdjęcia i rysunki (w formacie TIF lub CDR),

prosimy przysłać w formie plików oraz dodatkowo jako wydruki na białym papierze (lub w formacie PDF) na adres e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl lub pocztą zwykłą, na adres: Redakcja Czasopisma Pomiary Automatyka Kontrola, Asystent Redaktora Naczelnego mgr Agnieszka Skórkowska, ul. Akademicka 10, p.21A, 44-100 Gliwice.

Wszystkie artykuły naukowe są dopuszczane do publikacji w czasopiśmie PAK po otrzymaniu pozytywnej recenzji. Autorzy materiałów nadesłanych do publikacji są odpowiedzialni za przestrzeganie prawa autorskiego. Zarówno treść pracy, jak i wykorzystane w niej ilustracje oraz tabele powinny stanowić dorobek własny Autora lub muszą być opisane zgodnie z zasadami cytowania, z powołaniem się na źródło cytatu.

Przedrukowywanie materiałów lub ich fragmentów wymaga pisemnej zgody redakcji. Redakcja ma prawo do korzystania z utworu, rozporządzania nim i udostępniania dowolną techniką, w tym też elektroniczną oraz ma prawo do rozpowszechniania go dowolnymi kanałami dystrybucyjnymi.