

Techniczne przesłanki kierowania transformatorów do remontów i modernizacji

Streszczenie. W artykule omówiono techniczne przesłanki kierowania transformatorów do remontów i modernizacji. Podano definicje stanu technicznego transformatora i zalecania. Przedstawiono przykłady wykorzystania niektórych badań oleju w diagnostyce remontowej. Zestawiono literaturę.

Abstract. The paper discusses technical aspects of qualification transformers to repairs and modernization. Definitions of transformer technical status and recommendations are given. Examples of using selected oil measurement in repair diagnostics are presented. Bibliography is listed (**Technical aspects of qualification transformers for repairs and modernization**).

Słowa kluczowe: transformator, remont, modernizacja, diagnostyka

Keywords: transformer, repair, modernization, diagnostics

doi:10.12915/pe.2014.01.57

Wstęp

Ramowa Instrukcja Eksploatacji Transformatorów [1] określa ogólne zasady przekazywania transformatorów do remontów, modernizacji i złomowania. W wielu przypadkach czynnikiem decydującym o zakresie remontu lub modernizacji transformatora jest aspekt ekonomiczny, nieraz sprzeczny z technicznym uzasadnieniem.

Wielokrotnie w publikacjach CIGRE [2] oraz na konferencjach krajowych [3], podkreślano, że transformatory przekazywane do remontu powinny mieć dokładnie określony zakres uszkodzeń wymagających naprawy, a także ograniczeń konstrukcyjnych i technologicznych, mogących wpływać w przyszłej eksploatacji na pełną dyspozycyjność jednostek.

Cel ten można osiągnąć przez dokładne badanie transformatora przed przekazaniem do remontu oraz ich kontynuowanie w Zakładzie Remontowym po wyjęciu części wymiowej, przeprowadzeniu oględzin oraz wykonaniu specjalistycznych badań elementów konstrukcji i materiałów.

Diagnostyka techniczna w technice remontowej transformatorów

Stosowany obecnie program badań diagnostycznych oparty został na wieloletnich doświadczeniach krajowych, a

jego celem jest uzyskanie strategicznych informacji, dotyczących stanu transformatorów i ustalenie sposobu dalszych działań [3,5].

Rezultaty badań diagnostycznych umożliwiają przede wszystkim wyróżnienie pewnych stanów charakterystycznych, związanych z przydatnością do eksploatacji, którym towarzyszą odpowiednie zalecenia dalszego postępowania. Ich definicje podano w tabeli 1. Określają one stan normalny, ostrzegawczy, wskazujący na wystąpienie anomalii w transformatorze oraz alarmowy i awaryjny, decydujący o przekazaniu jednostki do remontu lub naprawy w miejscu zainstalowania lub w Zakładzie Remontowym [5,6].

W oparciu o nie dokonuje się wstępnej kwalifikacji rozmiarów i miejsc uszkodzeń, jak również możliwości i opłacalności napraw oraz ewentualnych kierunków działań modernizacyjnych, a także miejsca ich wykonania: w Zakładzie Remontowym, czy w miejscu zainstalowania w przypadkach prostych (uszkodzenie odpyłów uzwojeń transformatora, niesprawności przełącznika zaczeów, zawilgocenie izolacji itp.)

Zwykle też decyzja, zwłaszcza o przekazaniu do remontu dużych transformatorów, wspomagana jest wynikami rewizji wewnętrznej, mającej na celu ujawnienie usterek wewnętrznych.

Tabela. 1 Stan techniczny transformatorów – rodzaje, definicje, zalecenia

Stan techniczny	Definicja stanu transformatora (Przydatność do eksploatacji)	Zalecenia
A Normalny	Transformator przydatny do eksploatacji bez ograniczeń	Praca zgodna z wytycznymi podanymi w IET.
B Ostrzegawczy	Transformator wykazuje anomalie nie mające wpływu na dyspozycyjność krótkotrwałą	Eksplatacja pod wzmożonym nadzorem. Konieczność wykonania badań specjalistycznych dla lokalizacji miejsc i rozpoznania anomalii lub nieprawidłowości. Sposób dalszego postępowania zależy od uzyskanych wyników badań. Ocena się możliwość „bezpiecznego” okresu pracy oraz określa wskazówki dalszego postępowania.
C Alarmowy	Ograniczona w czasie niezawodność transformatora. Możliwa jedynie krótkotrwałą eksploatacja	Ustala się termin odstawienia jednostki z eksploatacji; Rewizja wewnętrzna oraz naprawa w miejscu zainstalowania lub przekazanie do remontu.
D Awaryjny	Transformator nie nadaje się do eksploatacji	Wyłączenie transformatora z eksploatacji i przekazanie do remontu.

Stosowana metodyka wyróżnia badania diagnostyczne wykonywane na:

- wyłączonym z eksploatacji transformatorze,
- pracującym transformatorze lub pobranych próbkach oleju (diagnostyka bezwyłączeniowa),
- konstrukcjach i elementach części wyjmowanej w Zakładzie Remontowym dla wykrycia uszkodzonych części i ustalenia optymalnego zakresu naprawy (tzw. diagnostyka

remontowa).

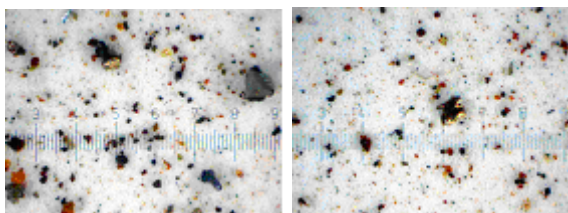
W ostatnim 10-leciu, wskutek wystąpienia uszkodzeń transformatorów dużej mocy oraz pojawienia się nowego rodzaju uszkodzeń izolacji olejowo-papierowej, poszerzono dotychczasowy program badań diagnostycznych. Jego nowe elementy to wprowadzenie do oceny:

- stopnia zawilgocenia układu izolacyjnego transformatorów metodą spektroskopii dielektrycznej (FDS),

- stanu mechanicznego uzwojeń metodą SFRA (obecnie ok. 70% populacji transformatorów blokowych posiada charakterystykę odniesienia (tzw. *fingerprint*),
- stanu technicznego izolatorów przepustowych, który obejmuje również badanie oleju wg specjalnego programu i opracowanych kryteriów,
- stanu izolacji ciekłej, w tym szczególnie określenia rodzaju i ilości cząstek stałych, obecności siarki korozyjnej, zanieczyszczeń chemicznych, a także stopnia wykorzystania oleju [7].

Niżej przedstawiono przykłady wykorzystania niektórych właściwości oleju w diagnostyce remontowej.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono mikroskopowy obraz cząstek stałych zanieczyszczeń znajdujących się w oleju transformatora grupy II 110/6,3kV o 19-letnim okresie eksploatacji na trzy miesiące przed wystąpieniem uszkodzenia.



Rys. 1 i 2 Obraz mikroskopowy cząstek zanieczyszczeń stałych w oleju transformatora grupy II 110/6,3kV

W próbce oleju stwierdzono obecność licznych cząstek metali (żelazo, miedź, mosiądz) oraz zanieczyszczeń węglowych, odłamków siłkazełu, silikatów (ziarna piasku), a także włókien celulozy, które otoczone cząstkami wody stają się przewodzące. Z kolei na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wygląd cewki oraz fragmenty uzwojeń i papieru izolacyjnego, pochodzącego z transformatora napełnionego olejem korozyjnym, który uległ awarii po kilku latach eksploatacji. Na zdjęciu widoczne utworzone (przewodzące) osady siarczku miedzi, które osłabiają układ izolacyjny prowadząc do przebicia.

Dla transformatorów uszkodzonych lub skierowanych do remontu na podstawie wyników badań diagnostycznych, istotnym zagadnieniem jest określenie optymalnego zakresu remontu lub naprawy. Zwykle wyniki badań sugerują tylko rodzaj oraz wstępne oszacowanie miejsca uszkodzenia, natomiast nie są w stanie określić jego rozmiarów i defektów wszystkich elementów wewnętrznych, związanych lub towarzyszących uszkodzeniu. Cel ten jest realizowany dopiero za pomocą tzw. diagnostyki remontowej.

W transformatorach remontowanych przez TurboCare Poland S.A., diagnostyka remontowa prowadzona jest siłami własnymi zakładu (stacja prób, laboratorium), przy współpracy z ZPBE Energopomiar-Elektryka. Szczegółowym badaniem poddawana jest część wymiwalna transformatora, oceniany jej stan, rozmiar uszkodzenia i stopień wykorzystania, materiałów konstrukcyjnych.

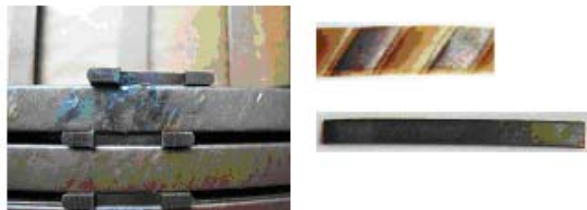
Najważniejsze badania w diagnostyce remontowej, umożliwiające i wspomagające podjęcie poprawnej technicznie decyzji o zakresie remontu obejmują:

- badania i pomiary obwodu magnetycznego (szczegółowe badania izolacji poszczególnych elementów obwodu magnetycznego, obecności zwarc i doziemień, analizę rozkładu temperatury podczas próby nagrzewania rdzenia za pomocą termowizji, pomiar spadków napięcia pomiędzy izolowanymi pakietami blach rdzenia),
- badania, próby i pomiary układu izolacyjnego (określenie stopnia zesterzenia izolacji stałej [4, 6], jej przydatności do dalszej eksploatacji, badanie izolacji ciekłej tj. oleju [7]),
- badania podobciążeniowych przełączników zaczepów oraz wybieraków [10] dla transformatorów regulacyjnych,

- badania, sprawdzenia i próby osprzętu i wyposażenia. W/w próby i badania wykonywane są według opracowanych procedur badawczych i oceniane według własnych kryteriów. Wykonanie ich daje możliwość opracowania optymalnego programu remontu, który przy poddaniu transformatora modernizacji umożliwia:

- przywrócenie pełnej sprawności transformatora,
- poprawę jego parametrów eksploatacyjnych przez unowocześnienie konstrukcji,
- podwyższenie jego wytrzymałości dielektrycznej i dynamicznej, a także wyposażenie w system diagnostyki „on-line” szczególnie dużych transformatorów, co w ostatnich latach jest coraz szerzej praktykowane.

Skuteczność tych działań potwierdzają wyniki badań eksploatacyjno-okresowych wykonane na poddanych remontowi modernizacyjnemu transformatorach.



Rys. 3 i 4. Osady siarczku miedzi na cewce oraz fragment przewodu i wewnętrznej warstwy papieru

Wnioski i uwagi końcowe

- Kierowanie transformatorów do remontu powinno być oparte o wyniki badań diagnostycznych wykonanych w miejscu pracy transformatora.
- Szczegółowy zakres napraw należy ustalić na podstawie dokładnych oględzin oraz badań elementów części wyjmowanej.
- Zakres prac remontowych musi posiadać uzasadnienie techniczne, zapewniające po ich wykonaniu uzyskanie w pełni sprawnej jednostki. Gwarantuje to dalszą, niezawodną pracę transformatora w długim horyzoncie czasowym.

LITERATURA

- [1] ZPBE Energopomiar – Elektryka, Gliwice *Ramowa Instrukcja Eksploatacji Transformatorów. Wyd.2012.*
- [2] *Guide for Life Management Techniques for Power Transformers*, CIGRE 2003, Brochure No. 227.
- [3] Kaźmierski M., Olech W., Pawłowski D. *Aktualne problemy zarządzania eksploatacją transformatorów.* Wisła – Jawornik, 2008.
- [4] Sobocki R., Kaźmierski M., Olech W. *Technical and Economic Assessment of Power Transformers the Polish Practice.* CIGRE 2002. Rep Nr 12-104.
- [5] Kaźmierski M., Olech W. *Diagnostyka i monitoring transformatorów.* ZPBE Energopomiar-Elektryka 2013.
- [6] Sokolov V. *On Deterioration and Rehabilitation of Transformer Insulation.* Symp. Doble Eng. Co 2005.
- [7] Buchacz T., Olech W., Olejniczak H. *Badanie oleju mineralnego w diagnostyce technicznej transformatorów.* Energetyka Nr 5. 2005.
- [8] Kumari S.V. *Remaining Life Assessment of Power Transformers.* CIGRE 2008.
- [9] Working Group 12.17 CIGRE. *Effects of Practicles on Transformer Dielectric Strenght.* Ref. 157. 2000.
- [10] Domżański T., Olech W., Szymański Z. *Field Testing of On-Load Tap Changers.* Conf. Transformers 1999. Kolobrzeg.
- [11] Moore H.M. *Factors Affecting the Heath and Life of Transformers.* Proceedings of Techn. Conf. 2000. Arizona.

Autorzy: waldemar.olech@elektryka.com.pl,
daniel.pawlowski@elektryka.com.pl, jerzy.wos@turbocare.pl