

Franciszek Mosiński*, Tomasz Piotrowski*

PROGRAM NUMERYCZNY ZARZĄDZAJĄCY DIAGNOSTYKĄ IZOLACJI TRANSFORMATORA ENERGETYCZNEGO

Streszczenie: W referacie przedstawiono opracowany przez autorów program komputerowy wspomagający diagnozowanie stanu izolacji transformatora energetycznego w oparciu o zgromadzone w bazie danych informacje o historii jego eksploatacji, wynikach prób okresowych i badaniach chromatograficznych próbek oleju. Wykazano przydatność i celowość stosowania tego typu narzędzia w codziennej praktyce eksploatacyjnej transformatorów. Przedstawiono zamierzenia autorów mające na celu poszerzenie kolejnych wersji programu o możliwość diagnozowania innych niż transformatory urządzeń z izolacją papierowo-olejową oraz zastosowanie technik logiki rozmytej.

Słowa kluczowe: transformator energetyczny, diagnozowanie izolacji, chromatografia gazowa, program komputerowy

1. Wstęp

Aktualnie najważniejszym zagadnieniem w zakresie eksploatacji transformatorów energetycznych dużej mocy i wysokich napięć jest ich monitorowanie i diagnostyka mająca na celu niedopuszczenie do awarii i przedłużenie życia izolacji. Normy i przepisy przewidują cały szereg badań okresowych, które użytkownik transformatora musi gromadzić i analizować. Informacje tkwiące w bogatym materiale z badań można w pełni wykorzystać tylko za pomocą odpowiednich programów komputerowych tworzących bazy danych i dokonujących analiz zakończonych sugestiami postępowania w przypadkach wskazujących na rozwijające się uszkodzenie.

W referacie przedstawiono przykład takiego programu, pracującego w środowisku Windows 9x/NT. Program oprócz szeregu metod diagnostycznych wykorzystujących

* Instytut Elektroenergetyki, Politechnika Łódzka

wyniki analizy gazów rozpuszczonych w oleju oferuje możliwości gromadzenia bogatego materiału dokumentującego historię eksploatacji transformatora oraz wyniki badań okresowych co w istotny sposób wspomaga procesy decyzyjne podczas diagnozowania jego stanu.

2. Możliwości programu

Program DINO przeznaczony jest do diagnozowania, na podstawie analizy pomiarów gazów rozpuszczonych w oleju, stanu transformatorów sieciowych lub blokowych wyposażonych w przełącznik zaczepów lub nie, w których ochrona oleju realizowana jest przez zastosowanie odwilżacza, poduszki azotowej lub elastycznej przepony.

W programie można wyróżnić dwa bloki funkcjonalne, z których jeden służy do gromadzenia informacji o transformatorze, drugi zaś do diagnozowania jego stanu.

Blok gromadzenia danych oparty o bazę danych typu Paradox przechowuje następujące zestawy informacji:

- ogólne pozwalające na jednoznaczną identyfikację urządzenia,
- katalogowe,
- dokumentujące przebieg eksploatacji,
- pomiarowe, uzyskane podczas badań okresowych transformatora i obejmujące parametry uzwojeń (przekładnia, rezystancja, prąd magnesujący, pojemności), parametry izolacji uzwojeń (rezystancja izolacji, współczynnik absorpcji, współczynnik strat dielektrycznych), parametry oleju (napięcie przebicia, współczynnik strat dielektrycznych, zawilgocenie, napięcie zapłonu, liczba kwasowa),
- pomiarowe, uzyskane z badań chromatograficznych próbek oleju (możliwy jest zapis stężenia następujących gazów: O₂, N₂, H₂, CO, CO₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆ i C₃H₈).

Większość gromadzonych informacji może być w dowolnym momencie działania programu uzupełniana lub modyfikowana. Dzięki funkcji generowania raportów możliwe jest wybieranie interesujących użytkownika informacji zgromadzonych w bazie i kompilowanie zestawów danych w celu ich wydrukowania. Raporty takie mogą być również zapisane na dysku do późniejszego wykorzystania. Użytkownicy programu ZEFIREK [1] mogą wczytywać zgromadzone dane z badań chromatograficznych oleju z plików wygenerowanych w tym programie.

W bloku diagnozowania transformatora zaimplementowanych zostało 14 metod analitycznych, które na podstawie zgromadzonych danych o stężeniach gazów rozpuszczonych w oleju dokonują oceny jego stanu i zalecają dalsze czynności operacyjne (o ile są przewidziane przez metodę). Proces diagnozowania jest powtarzalny i może być przeprowadzony wszystkimi lub tylko wybranymi metodami. Dostępne są następujące metody:

- wartości granicznych wg IEP/L,
- wartości granicznych wg Energopomiaru,
- tablicy sprawdzianów,

- ilorazów,
- trójkąta Duvala,
- Rogersa,
- Doernenburga,
- IEC,
- IEC propozycja,
- amerykańska ANSI,
- niemiecka (Schliesinga),
- niemiecka,
- japońska,
- rosyjska.

The screenshot shows the 'Dino' software window with a table of measurement data and a text box for analysis results.

Data	O2 [ppm]	N2 [ppm]	H2 [ppm]	CO [ppm]	CO2 [ppm]	CH4 [ppm]	C2H2 [ppm]	C2H4 [ppm]	C2H6 [ppm]	C3H8 [ppm]	C3H8
79-03-21	5796	51832	12,4	0,01	341	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
79-03-23	7526	62409	0,1	0,01	474,7	71	0,01	21,3	49,7	7,1	
80-01-29	7314	55752	296,7	103,5	690	34,5	0,7	13,8	27,6	6,9	
80-05-21	7668	62054	47,7	106,5	710	35,5	0,1	21,3	35,5	0,1	
80-07-14	4437	45280	20,4	102	805,8	20,4	20,4	10,2	25,5	10,2	

Wyniki analizy:
 WYNIKI ANALIZY PRZEPROWADZONEJ DN: 99-06-25
 Dane urządzenia wpływające na przebieg analizy:
 typ urządzenia: transformator blokowy
 napięcie: 12/220[kV]
 moc: 240[MVA]
 przewłocznik: zacispów: nie
 odłożona dieta: odmięzacz
 data oddania do eksploatacji: 79-01-02
 Analizę przeprowadzono dla danych pomiarowych z dn. 80-01-29:
 O2: 7314 [ppm]
 N2: 55752 [ppm]
 H2: 296,7 [ppm]

Rys. 1. Okno programu z danymi pomiarowymi i diagnozą stanu transformatora

Wykonana diagnoza przechowywana jest w bazie danych transformatora, możliwe jest także jej zapisanie w pliku tekstowym lub wydrukowanie. Dzięki wbudowanemu mechanizmowi sygnalizacji przekroczenia dopuszczalnych stężeń gazów rozpuszczonych w oleju wg kryteriów wypracowanych przez Energopomiar lub IEP/L możliwa jest szybka ocena (bez przeprowadzania procedur diagnostycznych) nieprawidłowości w ich składzie bezpośrednio po wprowadzeniu zestawu pomiarowego.

Uzupełnieniem metod diagnostycznych jest graficzne przedstawienie zmienności stężeń gazów w czasie. Użytkownik w tym przypadku może wybrać zarówno przedział czasu jak i dowolną kombinację gazów (w tym TCG) lub ich sumę. Wygenerowany wykres może być skopiowany do schowka, zapisany na dysku w jednym z dostępnych formatów lub też wydrukowany.

Dane o składzie ilościowym gazów uzyskane z badań chromatograficznych mogą być eksportowane w jeden z trzech możliwych sposobów do pliku tekstowego w celu np. obróbki statystycznej innym programem.

Ze względu na specyfikę baz danych gromadzących informację o transformatorze (bazy typu Paradox) program został wyposażony w mechanizmy służące do zarządzania nimi bez konieczności korzystania z systemowego Eksploratora. Do mechanizmów tych należy usuwanie bazy z dysku, jej kopiowanie oraz przenoszenie. Zwiększeniu pewności i szybkości pracy z bazą danych służą narzędzia do jej naprawy oraz defragmentacji.

Zaprezentowany w referacie program przeznaczony jest dla komputerów pracujących pod kontrolą systemu operacyjnego Windows 9x lub NT 4.0 (z service pack 3). Wymagane jest około 7 MB wolnego miejsca na dysku twardym (przy instalacji z engineem baz danych firmy Inprise) pozostałe wymagania są takie same jak zalecane dla wymienionych systemów przez ich producenta.

3. Przykład zastosowania programu

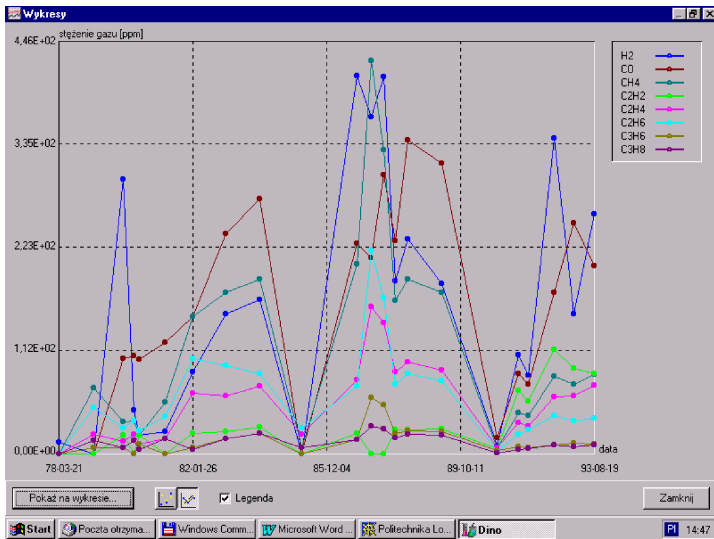
Na rys. 2 zaprezentowano wykresy zawartości gazów w transformatorze blokowym, który po szesnastu latach eksploatacji został przekazany do remontu po awarii. Od początku eksploatacji transformatora wykonywano badania oleju i badania zawartości rozpuszczonych w oleju gazów w okresach znacznie krótszych niż przewidują zalecenia eksploatacyjne. W niektórych latach badania wykonywano nawet dwukrotnie. W oparciu o dokonaną po awarii komputerową analizę wyników badań chromatograficznych można zaprezentować następującą historię życia transformatora:

- lata 1978–1985 stan normalny,
- od roku 1986 do roku 1989 stan uszkodzenia lub krytyczny, z wyładowaniami w oleju i uszkodzeniem izolacji celulozowej,
- w roku 1990 stan normalny po odgazowaniu oleju (rys. 2, 3 i 4),
- od roku 1991 do roku 1993 (awaria) stan krytyczny z łukiem w oleju.

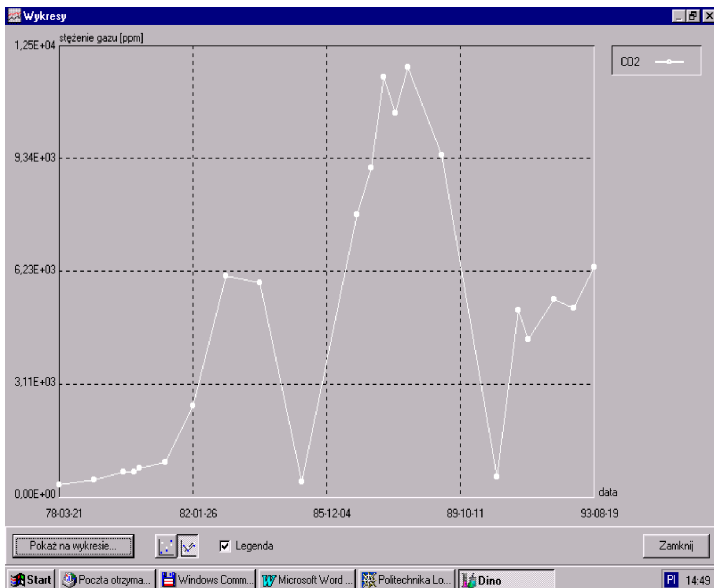
Przeprowadzenie takiej analizy historii życia transformatora umożliwia wykorzystanie programu numerycznego, który dokonuje opracowania wyników za pomocą wielu metod. Zgodność diagnoz w kilku metodach pozwala na zwiększenie pewności co do określenia przyczyn wydzielania się gazów i daje szansę podjęcia poprawnych decyzji. Powyższe wyniki były analizowane numerycznie po awarii. Kolejne analizy — zdaniem autorów — stanowiły bardzo silną motywację do przerwania pracy transformatora przed awarią i przekazania go do remontu w trybie planowym, a nie awaryjnym. Stosowana w Polsce analiza oparta o jedną tylko metodę (kodu IEC) oprócz tego, że czasem nie daje żadnej diagnozy to również nie daje tak pewnych diagnoz jak wówczas gdy jest dodatkowo wsparta potwierdzeniami z innych metod.

4. Dalsze prace

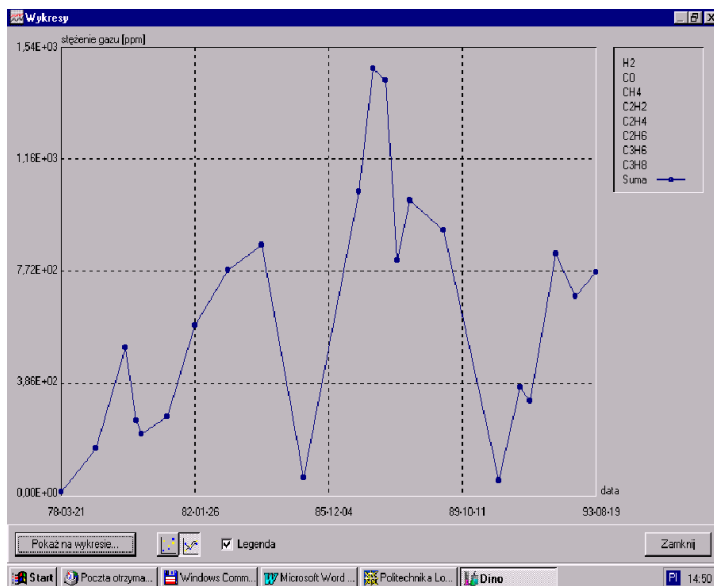
Chociaż prezentowana w referacie wersja programu jest kompletnym i w pełni funkcjonalnym narzędziem wspomagającym diagnozowanie stanu izolacji transformatorów energetycznych to autorzy zamierzają kontynuować prace mające na celu rozszerzenie zakresu stosowalności i możliwości programu.



Rys. 2. Okno programu z wykresem zmiany stężenia wybranych gazów w czasie



Rys. 3. Wykres zawartości dwutlenku węgla



Rys. 4. Suma gazów palnych

Główne zadanie jakie jest aktualnie realizowane polega na rozszerzeniu możliwości diagnostycznych programu w oparciu o analizę danych chromatograficznych z wykorzystaniem zasad logiki rozmytej [2]. Wstępne prace polegające na doborze typu i kształtu rozkładów statystycznych ilości poszczególnych gazów zostały już zrealizowane zarówno dla transformatorów bez defektu jak i dla transformatorów z defektem [3]. Pozwala to przejść do określania funkcji przynależności i dalszego uściślenia uzyskiwanych diagnoz.

Przewiduje się także rozszerzenie programu o analizę wyników badań chromatograficznych po próbie grzania transformatora oraz jego przystosowanie dla potrzeb diagnozowania innych urządzeń z izolacją papierowo-olejową jak przepusty i przekładniki.

5. Wnioski

Skuteczne diagnozowanie stanu izolacji transformatora energetycznego, zapobieganie jego awariom i planowanie remontów wymaga wykorzystania nowych narzędzi bazujących na dostępnych technikach komputerowych.

Programy komputerowe realizujące powyższe zadania powinny oferować kilka lub kilkanaście metod diagnostycznych wykorzystujących wyniki badań chromatograficznych próbek oleju. Stosowanie w analizie tylko jednej metody oprócz tego, że czasem nie daje żadnej diagnozy to również nie daje tak pewnej diagnozy jak wówczas gdy jest ona dodatkowo wsparta potwierdzeniami z innych metod.

Podejmowanie ostatecznych procesów decyzyjnych powinno być wspomagane przez szeroki i dostępny w łatwy sposób zakres informacji zgromadzonych w bazie danych, a obejmujących historię eksploatacji transformatora i wyniki prób okresowych.

Literatura

- [1] **Mosiński F., Galoch J.:** *A numerical program for interpretation of the results of chromatographic measurements of gases dissolved in a power transformer oil*, ZN P/L Elektryka, z. 89, 1996, s. 5–19 (W)
- [2] **Piegat:** *Modelowanie i sterowanie rozmyte*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999
- [3] **Mosiński F., Galoch J., Mukbel K. Y.:** *Rozkład prawdopodobieństwa zawartości gazów rozpuszczonych w oleju transformatorowym*, IX Konferencja Remontowa Energetyki, Szczyrk, 14–15 września 1995 (W)

NUMERICAL PROGRAM FOR INSULATION DIAGNOSIS MANAGEMENT OF POWER TRANSFORMER

The paper presents a computer programme made by the authors. It aids diagnosis of a power transformer insulation condition on the basis of data gathered in results of periodical dielectric tests and the results of chromatographic analysis of oil samples. The applicability and the usefulness of this tool in every day operation of the transformers was corroborated. The authors present project of developing of consecutive programme version in order to apply it to other apparatus having paper-oil insulation and application of fuzzy logic.