

Tomasz PIOTROWSKI<sup>1</sup>

## **DIAGNOZOWANIE METODAMI DGA TRANSFORMATORÓW ENERGETYCZNYCH NAPEŁNIONYCH OLEJAMI ROŚLINNYMI.**

*W artykule podsumowano stan wiedzy na temat wykorzystania metod DGA w diagnostyce transformatorów napełnionych olejami roślinnymi. Diagnostyka taka jest możliwa, jednak nie wszystkie kryteria i metody stosowane w przypadku olejów mineralnych zachowują swoją ważność dla olejów roślinnych. Najbardziej wiarygodna jest metoda Duval'a.*

### **1 WSTĘP**

W latach 90-tych ubiegłego stulecia nastąpiło powtórne zainteresowanie i udane zastosowanie olejów roślinnych, jako izolacji ciekłej w transformatorach energetycznych (pierwsze próby miały miejsce w XIX wieku i zarzucone zostały na rzecz olejów mineralnych). Aktualnie ten rodzaj cieczy izolacyjnej wykorzystywany jest na świecie w ponad 10000 transformatorów zarówno nowych, jak i używanych o mocach od 10 kVA do 200 MVA i napięciach sięgających 230 kV.

Zainteresowanie olejami roślinnymi spowodowane jest trzema głównymi czynnikami:

- (1) zapotrzebowaniem na oleje bardziej przyjazne dla środowiska - nawet po uzupełnieniu dodatkami uszlachetniającymi jest on biodegradowalny w prawie 100%;
- (2) zapewnieniem większego bezpieczeństwa eksploatacji transformatorów w centrach handlowych, biurach, a także w elektrowniach – wysoka temperatura zapłonu i płonienia (odpowiednio powyżej 275 °C i 300 °C);
- (3) uniezależnieniem się od surowca, którego zasoby kurczą się i występują w rejonach niestabilnych politycznie – wytwarzany jest z surowców odnawialnych i powszechnie dostępnych.

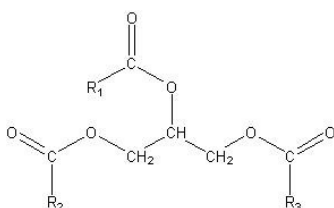
Ciecze elektroizolacyjne, które zastępują w transformatorach olej mineralny muszą charakteryzować się odpowiednimi parametrami fizycznymi, chemicznymi i elektrycznymi [7] oraz pozwalać na stosunkowo łatwą i powszechnie uznaną diagnostykę samego urządzenia. Za taką technikę diagnostyczną, w przypadku olejów mineralnych, uważa się badanie gazów rozpuszczonych w oleju (DGA). Jest to metoda nie wymagająca wyłączenia transformatora z ruchu i o dużej skuteczności potwierdzonej wieloletnimi doświadczeniami. W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania DGA dla transformatorów napełnionych olejami roślinnymi.

---

<sup>1</sup> Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki, 90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 18/22, tel. (0-42) 6312679, e-mail: tomasz.piotrowski@p.lodz.pl

## 2 CIECZE ELEKTROIZOLACYJNE WYTWARZANE NA BAZIE OLEJÓW ROŚLINNYCH

Oleje roślinne to ciekłe tłuszcze otrzymywane z różnych części roślin, takich jak: kukurydza, oliwki, orzeszki ziemne, rzepak, słonecznik, soja. Z punktu widzenia chemii są one estrami gliceryny i kwasu tłuszczowego o strukturze przedstawionej na rysunku 1 ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  reprezentują reszty kwasów tłuszczowych).



Rysunek 1. Struktura chemiczna oleju roślinnego (estrów gliceryny i kwasu tłuszczowego).

Kwasy tłuszczowe występujące w olejach roślinnych są kompozycją kwasów nasyconych i jedno- lub wielonienasyconych. Procentowy udział poszczególnych rodzajów kwasów decyduje o właściwościach olejów roślinnych w przypadku ich zastosowania w elektrotechnice.

Aktualnie na rynku najbardziej rozpoznawalne są oleje Biotemp (ABB) oraz Envirottemp FR3 (Cooper Power Systems). Typowe ich parametry zestawiono na podstawie danych dostarczonych przez producentów w tabeli 1.

Tabela 1. Typowe wybrane wartości parametrów olejów świeżych Envirottemp FR3 i Biotemp wg ich producentów [2, 3].

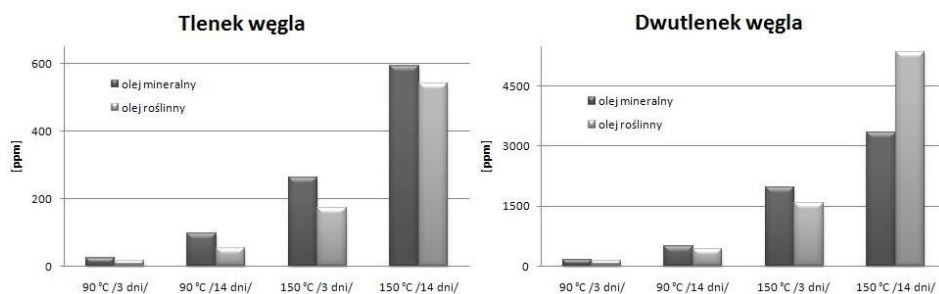
Parametr	Metoda	Envirottemp FR3	Biotemp
Napięcie przebicia [kV]	D877	50 - 55	Min. 45
Stratność dielektryczna [%] 25°C 100°C	D924	0,02 - 0,06 1 - 3	Maks. 0,15 maks. 2
Zawartość wody [mg/kg]	D1533	20 - 30	Maks. 150
Lepkość [mm <sup>2</sup> /s] 40°C 100°C	D445	32 - 33 7 - 8	Maks. 45 Maks. 10
Liczba kwasowa [mg KOH/g]	D974	0,01 - 0,03	Maks. 0,075
Temperatura krzepnięcia [°C]	D97	-18 - -21	-15 - -25
Temperatura zapłonu [°C]	D92	325 - 330	Min. 330
Temperatura płonienia [°C]	D92	355 - 360	Min. 360

### 3 WYKORZYSTANIE METODY DGA

Należy oczekiwać, że metoda DGA będzie odgrywała podstawową rolę w diagnozowaniu transformatorów napełnianych ciekłymi estrami naturalnymi. Wynika to z faktu, że te same gazowe produkty rozkładu izolacji papierowo – olejowej występujące w oleju mineralnym znajdują się również w olejach wyprodukowanych na bazie olejów roślinnych. Należą do nich wodór ( $H_2$ ), tlenek i dwutlenek węgla ( $CO$ ,  $CO_2$ ) oraz węglowodory ( $CH_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_6$ ,  $C_3H_8$ ).

Dotychczas nie zostały opracowane żadne ilościowe kryteria, które pozwoliłyby kwalifikować transformatory napełnione olejami roślinnymi do grupy sprawnych lub też podejrzewać, że degradacja izolacji stałej i płynnej spowodowana jest rozwijającymi się defektami cieplnymi i/lub elektrycznymi. Podobnie brak jest jednoznacznych stwierdzeń co do skuteczności schematów wykrywających charakter uszkodzenia na podstawie gazu dominującego, czy też tak zwanych ilorazów charakterystycznych. Stan taki wynika ze stosunkowo krótkiego okresu eksploatacji transformatorów napełnionych naturalnymi estrami, a co się z tym wiąże z niewielkiej ilości wyników badań rutynowych i odosobnionych przypadków ich awarii [6]. Podstawowym źródłem informacji i zdobywania doświadczenia są aktualnie w znacznej mierze badania modelowe [1, 5].

Doniesienia literaturowe wskazują, że sumaryczna ilość gazów generowanych w tych samych warunkach podczas rozkładu olejów na bazie naturalnych estrów jest mniejsza niż podczas rozkładu olejów mineralnych. Przykładowo, w przypadku wyładowań o niskiej energii, w [6] wskazuje się, że różnica dochodzi do 25%. Zaobserwowano jednocześnie, że w normalnie eksploatowanych transformatorach występuje podwyższona zawartość etanu oraz, choć nie zawsze, wodoru. W tym ostatnim przypadku, ponieważ nie jest to tendencja stała, skutkiem mogą być fałszywe alarmy wskazujące na obecność wyładowań niezupełnych. W [1] autorzy dodatkowo twierdzą, że podczas rozkładu cieplnego olejów roślinnych powinny być wyzwolane znaczne ilości tlenu i dwutlenku węgla na skutek rozrywania wiązań grup COO charakteryzujących strukturę chemiczną oleju roślinnego (rysunek 1). Badania modelowe, których wyniki przedstawiono w [5] poddają jednak to stwierdzenie w wątpliwość (rysunek 2).



Rysunek 2. Ilość CO i CO<sub>2</sub> wydzielona podczas rozkładu cieplnego oleju mineralnego i roślinnego (na podstawie danych z [5])

Analiza wykrywalności rzeczywistych defektów przez poszczególne metody interpretacyjne wskazuje na różny stopień ich przydatności. Na podstawie dotychczas zgromadzonych doświadczeń [5, 6] najbardziej godna zaufania jest metoda Duval'a opisana w [4].

#### 4 WNIOSKI

Analiza gazów rozpuszczonych w oleju może być stosowana w przypadku transformatorów napełnionych olejami roślinnymi.

Zdefiniowania wymagają wartości typowe stężeń gazów rozpuszczonych w oleju roślinnym, oraz granice przedziałów w metodach ilorazowych.

Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że najbardziej wiarygodna w określaniu charakteru defektów występujących w transformatorze napełnionym olejem roślinnym jest metoda Duval'a.

#### 5 LITERATURA

- [1] Berti R., Barberis F.: *Experimental characterization of ester based oils for the transformer insulation*, 19<sup>th</sup> International Conference on Electricity Distribution CIRED, Vienna, Austria 2007.
- [2] *BIOTEMP (Biodegradable Dielectric Insulation Fluid)* /www.abb.com/
- [3] *FR3 Testing Guide* /www.waukeshaelectric.com/
- [4] IEC Publ. 60599: *Mineral oil-impregnated electrical equipment in service – guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis*, Second edition, 1999.
- [5] Imad-U-Khan, Wang Z., Cotton I., Northcote S.: *Dissolved Gas Analysis of Alternative Fluids for Power Transformers*, IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 23, no. 5, pp. 5 – 14, 2007.
- [6] Stenborg P., Luksich J.: *Analysis of Dissolved Gases in Natural Ester Dielectric Coolant*, Weidmann 6<sup>th</sup> Annual Technical Conference "New Diagnostic Concepts for Better Asset Management", St. Petersburg, Florida USA 2007.
- [7] Piotrowski T.: *Zastosowanie cieczy elektroizolacyjnych z wykorzystaniem olejów roślinnych w transformatorach energetycznych*, Konferencja naukowo-techniczna "Transformatory w eksploatacji", Kołobrzeg-Dźwirzyno 2007.

### **DGA based diagnosis of vegetable oil filled transformers**

*The summary of actual knowledge on DGA based diagnosis of vegetable oil filled transformers are given in the paper. Such diagnosis is applicable but not all DGA criterions and methods used in the case of mineral oil are still valid. The most reliable method is the Duval's one.*