

PROBLEMATYKA WYLADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH W ODNIESIENIU DO
ELEMENTÓW IZOLACYJNO-KONSTRUKCYJNYCH Z LANYCH TWORZYW
EPOKSYDOWYCH DO APARATURY ELEKTRYCZNEJ WYSOKIEGO NAPIĘCIA

1. Wstęp

Szybki rozwój wielkocząsteczkowych organicznych tworzyw sztucznych oraz coraz szersze ich stosowanie z uwagi na wiele zalet materiałowych i technologicznych do izolacyjnych konstrukcji wysokonapięciowych, podniosły znacznie rangę i znaczenie problematyki wyladowań niezupełnych. W jej bowiem dogłębnym poznaniu i opanowaniu widzi się obecnie sprawę kluczową dla bezpiecznej i bezawaryjnej pracy urządzeń elektrycznych wysokiego napięcia z izolacją organiczną.

Spośród wielkiej różnorodności ukazujących się w ostatnich latach na rynku nowych materiałów syntetycznych, wyłoniły się z czasem pewne charakterystyczne grupy, które udowodniły swoją przydatność do określonych typów izolacji wysokonapięciowych.

Jako bardziej znane należałoby wymienić:

- 1/ Izolacje foliowe /z folii termoplastycznych/, stosowane w nowych układach izolacyjnych kondensatorów energetycznych WN, bądź w postaci taśm do izolacji maszynowych, lub wreszcie w postaci najnowszych układów, syconych gazem izolacyjnym SF₆ - do rozdzielnic najwyższych napięć.
- 2/ Izolacje kablowe /z elastomerów termoplastycznych jak polietylen, polipropylen itp./ stosowane coraz śmiaalej do izolacji kabli coraz to wyższych napięć.

3/ Izolacje z lanych i wzmocnionych tworzyw epoksydowych znajdujące coraz szersze zastosowanie w aparaturze rozdzielczej WN i wkraczające swoim zasięgiem coraz szerzej do wykonań specjalnych, o utrudnionych warunkach środowiskowych, rozszerzając konsekwentnie swoją pozycję na warunki napowietrzne i zabrudzeniowe.

Ponieważ każdy z wymienionych typów izolacji wysokonapięciowej pracuje w odmiennych warunkach i ma do spełnienia nieco inne zadania funkcjonalne, wydaje się, że i szkodliwość od strony wyładowań niezupełnych winna być rozpatrywana poza najbardziej ogólnymi wspólnymi aspektami materiałowymi, raczej oddzielnie i indywidualnie w ramach zadań każdego typu izolacji.

2. Szczególna pozycja izolacji z tworzyw lanych w problematyce wyładowań niezupełnych na tle innych grup materiałowych

Pozycja izolacji z tworzyw lanych w problematyce wyładowań niezupełnych wydaje się być wyjątkową w stosunku do innych grup materiałowych z uwagi na specjalnie rozległą kompleksowość występujących zagadnień.

W izolacjach foliowych ma się do czynienia z materiałem możliwie jednorodnym o zdefiniowanej i powtarzalnej grubości. Układ izolacyjny jest bardziej prosty do zdefiniowania i bardziej dostępny do ujęcia pomiarowego.

Izolacje termoplastyczne kabli WN oparte są również na materiale możliwie jednorodnym. Układ pola elektrycznego jest zwykle koncentryczny, a więc również stale jednakowy. W tej sytuacji zachodzące zjawiska w izolacji dają się łatwiej opisać teoretycznie, sprecyzować, zbadać i opanować.

Zjawiska wyładowań niezupełnych, występujące w elementach izolacyjnych WN z tworzyw lanych i wzmocnionych wydają się być bardziej trudne i złożone do ujęcia nie tylko ze względów materiałowych lecz

również dość złożonych względów technologicznych i konstrukcyjnych oraz kompleksowości występujących narazań.

Ze strony materiałowej istnieją szerokie możliwości doboru czystego lanego tworzywa termoutwardzalnego "żywica epoksydowa - utwardzacz" o bardzo różnorodnej budowie strukturalnej, co może wpływać w sposób zupełnie istotny na jego odporność na wyładowania niezupełne tak powierzchniowe jak i wewnętrzne. Tą drogą można eliminować z tworzywa wiązania chemiczne, niekorzystne pod względem wyładowań np. pierścienie aromatyczne, a wprowadzać zarówno od strony żywicy jak i utwardzacza wiązania strukturalne dające większą odporność.

Praktycznie stosowane tworzywo organiczne tak lane, z reguły z wypełniaczem nieorganicznym, jak i wzmocnione włóknem szklanym, nie jest jednorodne w swej mikrostrukturze. Najslabszymi miejscami tworzywa tak pod względem mechanicznym jak i elektrycznym są powierzchnie graniczne między żywicą laną a elementarnymi cząstkami wypełniacza nieorganicznego. Wchodzi tu w grę zagadnienie wzajemnej adhezji obu składników, które może być ewentualnie poprawiona przez zastosowanie specjalnych preparacji wypełniacza.

Równocześnie mimo poprawnie przeprowadzonego procesu technologicznego i dobrego odgazowania istnieje zagadnienie występowania mikrowtrącin powietrznych w tworzywie, ich wymiarów oraz rozkładu. Do tych mikroniejednorodności tworzywa lanego mogą dojść jeszcze makroniejednorodności jak kawerny, pęcherze, pęknięcia i rozwarstwienia, wynikłe z błędów technologicznych.

Często jednak nawet prawidłowo wykonany proces technologiczny odlewania i utwardzania z uwagi na skomplikowany kształt geometryczny stosowanych elementów izolacyjnych, nie jest w stanie zapewnić w nich równomiernego rozkładu wewnętrznych naprężeń mechanicznych. Oznacza to, iż tworzywo lane w każdym ze swoich mikroelementów pracuje inaczej, a mogące wystąpić mikropęknięcia mogą być źródłem zjawiska

wyładowań niezupełnych i w zależności od ich miejsca występowania w konstrukcji oraz od własności lokalnych tworzywa mogą mieć dla jego destrukcji nawet bardzo istotne znaczenie.

Trudnościom tym należy przeciwstawić zalety konstrukcyjne tworzywa lanego. Doskonała kształtowość elementów izolacyjno-konstrukcyjnych umożliwia uzyskanie najkorzystniejszego rozkładu pola elektrycznego. Tam, gdzie samo ukształtowanie powierzchni jest niewystarczające, stosuje się zalewanie metalowych ekranów, np. w izolatorach przepustowych, bądź warstwy półprzewodzące oraz armaturę ochronną celem opanowania bądź zlikwidowania niedopuszczalnych naprężeń dielektrycznych. Dla opanowania nadmiernych wewnętrznych naprężeń mechanicznych większe elementy lane z dużymi wkładami metalowymi wymagają stosowania dodatnich warstw dylatacyjnych.

Wynika stąd, że zastosowanie nowoczesnych tworzyw lanych w połączeniu z nowymi zasadami konstruowania umożliwia dalekoidące wyeliminowanie wyładowań niezupełnych z konstrukcji izolacyjnych i uzyskanie lekkich, bardzo dobrze wykorzystanych /małogabarytowych/ konstrukcji izolacyjnych WN.

O ile w izolacji foliowej lub kablowej wpływ występujących długotrwałe wyładowań niezupełnych ogranicza się głównie do zmniejszenia wytrzymałości dielektrycznej układu izolacyjnego, o tyle w izolacjach lanych dojść może do tego jeszcze rozkład tworzywa izolacyjnego we wtrącinach bądź w warstwie dylatacyjnej, co może być przyczyną nadmiernego wzrostu ciśnienia i rozsądzenia odlewu. Zmniejszenie wytrzymałości dielektrycznej na skutek powstałych mikropełnięć może być w takim przypadku dopiero zjawiskiem wtórnym.

Szczególne pozycja tworzyw lanych polega zatem na tym, iż więcej istnieje czynników zagrażających ich jakości od strony materiałowej, technologicznej i konstrukcyjnej. Natomiast istnieją również większe możliwości przeciwdziałania tym trudnościom, zagadnień materiałowych

przy tym nie można wysublimować przez oddzielenie ich od kompleksowo związanych zagadnień technologicznych i konstrukcyjnych.

3. Odporność na wyładowania niezupełne jako podstawowa własność materiałów izolacyjnych stosowanych w technice WN

Wysokonapięciowe elementy izolacyjno-konstrukcyjne z tworzyw lanych mogą tak, jak i inne izolacje wysokonapięciowe w awaryjnych sytuacjach podwyższenia napięcia w sieci podlegać okresowemu działaniu wyładowań niezupełnych, przyczyniających się z kolei do ich starzenia elektrycznego, a w konsekwencji uszkodzenia.

Zastosowane materiały izolacyjne winny się zatem odznaczać stosunkowo jak największą odpornością na wyładowania niezupełne, zarówno powierzchniowe jak i wewnętrzne.

3.1. Odporność materiałów izolacyjnych stałych na wyładowania niezupełne powierzchniowe

Prace Komitetu Studiów Nr 15 IEC rozpoczęte nad porównawczym ustaleniem odporności różnych materiałów izolacyjnych na wyładowania niezupełne powierzchniowe, zapoczątkowane ok. 1960r., doprowadziły do opracowania uzgodnionych wytycznych normalizacyjnych: IEC-Publ. 343 - 1970 [1].

Wytyczne obejmują zarówno materiały sztywne jak i elastyczne. Spośród kilku burzliwie dyskutowanych metod zwyciężyła zasada porównywania średniego czasu życia próbek o podobnej grubości, poddawanych działaniu wyładowań niezupełnych w ustalonych warunkach w zakresie czasów 100 - 5000 h przy napięciu przemiennym o częstotliwości 50 Hz.

Zezwala się na podniesienie częstotliwości dla skrócenia czasu badań, jednakże pod warunkiem, że nie wniesie ono dodatkowych błędów na skutek zmiany mechanizmu przebiccia /uniknięcie przebiccia cieplnego/.

Metoda nadaje się do badania próbek od najcieńszych /np. folie o grubości mniejszej od 100 μm / do próbek o grubości nawet 1 mm. Układ pomiarowy jest prosty i nie następuje problemów. Początkowe kłopoty przy szerszym wprowadzeniu badań porównawczych lanych tworzyw epoksydowych w kraju stanowiły trudności technologiczne prawidłowego odlewania próbek o grubości 1 mm.

Próbek z tworzyw lanych o grubości 1 mm wymaga również norma zachodnioniemiecka DIN 16946 [2] do pomiaru odporności na wyładowania niezupełne powierzchniowe według metodyki zgodnej z DIN 53485 /I.65/ [3] .

Po opanowaniu trudności odlewania próbek 1 mm w Instytucie Elektrotechniki /Oddział we Wrocławiu/ przez zastosowanie metalowych, stojących form wielokrotnych, metoda znajduje się w wypróbowywaniu i po zebraniu szerszych doświadczeń powinna być w najbliższym czasie wprowadzona do normy krajowej. Umożliwi to dość wygodne, wstępne różnicowanie materiałów izolacyjnych pod względem ich odporności na wyładowania niezupełne.

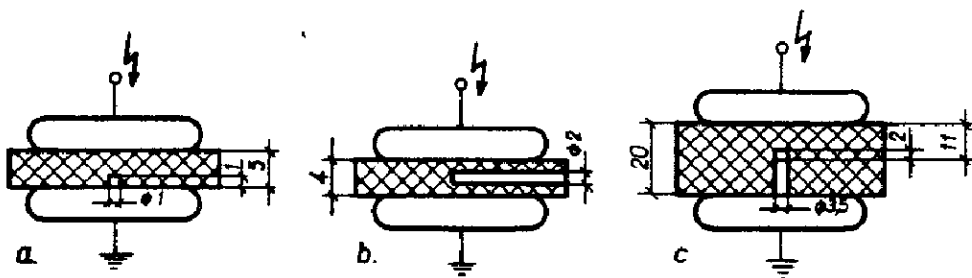
3.2. Odporność materiałów izolacyjnych stałych na wyładowania niezupełne wewnętrzne

Ponieważ w zakresie izolacji lanych istnieje szereg możliwości wyrównania rozkładu potencjału na powierzchni elementów izolacyjnych oraz eliminacji wyładowań niezupełnych powierzchniowych z konstrukcji izolacyjnych, nie tyle interesująca jest odporność materiału izolacyjnego na wyładowania niezupełne powierzchniowe co na wyładowania wewnętrzne.

Prace wstępne w zakresie porównawczego ustalania odporności materiałów izolacyjnych stałych na wyładowania wewnętrzne prowadzone są już od ok. 1966r. w ramach IEC TC 15, jednakże nie doprowadziły jeszcze do uzgodnionej metodyki. Największą trudność stanowi usta-

lenie łatwo otwarzalnych próbek ze sztucznymi wtrącinami dla badań porównawczych materiałów izolacyjnych różnych typów. Dla przerwania zaistniałego impasu podjęto również na terenie CIGRE próby ustalenia ujednoliconej metodyki badań, wychodząc z założenia, iż mimo prowadzonych licznych prób i badań w tym kierunku od ok. 1960r. brak jest właściwie dotąd dostatecznej znajomości wpływu wyladowań niezupełnych na czas życia poszczególnych typów izolacji. Zwrócono przy tym szczególną uwagę na to, aby porównawcze badania na próbkach wykonywane były w warunkach zbliżonych do praktycznych narażeń, występujących w eksploatacji.

W sprawozdaniu CIGRE z 1972r. [4] Kind i Kodoll przeanalizowali 2 typy próbek /rys. 1/ ze sztuczną wtrąciną powietrzną przyległą do jednej z elektrod /a/ i z wtrąciną powietrzną poprzeczną, wewnętrzną /b/ w polu jednorodnym oraz ze sztuczną wtrąciną wewnętrzną w polu niejednorodnym /c/.



Rys. 1. Typy próbek do badań odporności materiałów na wyladowania niezupełne według [4]

- a/ pole jednorodne, wtrącina przyległa do elektrody
- b/ pole jednorodne, wtrącina wewnętrzna poprzeczna
- c/ pole niejednorodne, wtrącina wewnętrzna

proponując do dalszych dokładniejszych badań układ w polu niejednorodnym /c/.

Wniosek ten został potwierdzony w sprawozdaniu CIGRE z 1974r. [5]

Wniosek ten jest o tyle ciekawy, iż dotychczasowe próby badań odporności materiałów na wyładowania niezupełne wewnętrzne były wykonywane na sztucznych wtrącinach przeważnie w polu jednorodnym, dającym się łatwiej zdefiniować.

Podane przez w/w autorów propozycje parametrów pomiarowych uwzględniają wtrąciny większe niż w praktycznie stosowanych izolacjach, ale zato bardziej powtarzalne. Stosowane zaś napięcia 10 - 50 kV przy odstępach elektrod 4 - 20 mm dobrano dla uzyskania rozsądnego czasu trwania próby, w granicach od kilku do kilkuset godzin.

Jak okazało się również z przeprowadzonych badań, duży wpływ na wyniki starzenia elektrycznego ma nie tylko wysokość natężenia pola elektrycznego, lecz również stopień jego jednorodności. Stwierdzono przy tym, że pole jednorodne daje przy badaniu czasu życia materiałów izolacyjnych inne ich uszeregowanie niż pole niejednorodne.

Ponieważ w konstrukcjach izolacyjnych miejsca największego narażenia materiałów cechują się zwykle polem niejednorodnym, stąd wynika rzeczywiście większa celowość wprowadzenia do metodyki pomiarów modelu /c/ o polu niejednorodnym.

Koniecznym wydaje się jednak przy tym sprawdzenie i ustalenie najbardziej optymalnego stopnia niejednorodności pola. Proponowana metodyka przewiduje badania czasu życia dużej liczby próbek /do czego wystarcza stosunkowo prosta aparatura/ oraz zastosowanie metod statystycznych do oceny porównawczych wyników badania. Wyniki badania tworzyw epoksydowych tworzą przy tym zwykle liniowy rozkład normalny wartości długości życia, podczas gdy np. polietylen daje logarytmiczny rozkład normalny. Różne rozkłady wyników badania różnych materiałów spowodowane są różnym przebiegiem zjawisk wyładowań niezupełnych w tworzywie.

Zagadnienie utrzymania "na siłę" jednej metodyki i jednakowych próbek dla różnych grup materiałów izolacyjnych nie wydaje się całko-

wicie słuszne. Natomiast ważne i bardzo istotne staje się porównanie materiałów w ramach jednej grupy zastosowań /np. dobranie lepszego termoplastu do izolacji kablowej, lub lepszego tworzywa lanego do lanej konstrukcji epoksydowej WN/. Tego rodzaju porównania pozwalają przez odpowiednie zróżnicowanie materiału na poprawę jakości gotowego wyrobu.

Postuluje się zatem odmiany zasadniczej metodyki pomiarowej dla poszczególnych grup materiałowych. Dla izolacji foliowej jest to np. zupełnie oczywiste.

Przy starzeniu pod wpływem wyładowań niezupełnych stwierdzono dwie fazy:

fazę wstępną ze zmianami odwracalnymi,

fazę niszczenia ze zmianami nieodwracalnymi.

Zgodne to jest z dawnymi obserwacjami dokonanymi w IEL/OW. Obie fazy dają się od siebie oddzielić tylko za pomocą jednego z pomiarów, proporcjonalnych do tzw. intensywności wyładowań niezupełnych. W fazie wstępnej wyładowania niezupełne pozostają na jednakowym poziomie, w fazie niszczenia - stale rosną. Pomiar jest co prawda czasochłonny, ale po zautomatyzowaniu /za pomocą samopisu/ może dać interesujące charakterystyki poszczególnych materiałów. Ponieważ i w tym przypadku przebieg obu faz zależy od stopnia niejednorodności pola, winien być on dobrany optymalnie, a następnie stale utrzymywany.

Dotychczas przedstawione wyniki badań czasu życia [5] zaproponowaną metodyką stwierdziły 10-krotne zmniejszenie trwałości tworzyw lanych z wypełniaczem kwarcowym w stosunku do tworzywa bez wypełniacza.

To bardzo ważne zagadnienie w zakresie lanych tworzyw epoksydowych potwierdza obawy przed szybszym starzeniem tworzyw niejednorodnych. Szczegółowe badania zjawisk niszczenia lanych tworzyw wypełnionych mogą pozwolić na określenie wpływu wypełniacza, jego granulacji oraz specjalnej jego preparacji na zjawiska starzeniowe w

silnym polu elektrycznym, a tym samym wydłużyć nadmiernie skrócony czas życia tych tworzyw.

4. Sprawdzanie jakości odlewanych elementów izolacyjno-konstrukcyjnych WN za pomocą pomiarów wyładowań niezupełnych

O ile nie można się spodziewać ustalenia ogólnie ważnej zależności pomiędzy intensywnością wyładowań niezupełnych a ich działaniem niszczącym [6] o tyle można wykorzystać badanie odporności na wyładowania niezupełne wewnętrzne do prawidłowego doboru tworzywa oraz technologii jego przygotowania, zaś pomiar intensywności wyładowań niezupełnych do sprawdzenia poprawności konstrukcji i technologii wykonania gotowych wyrobów i elementów izolacyjnych WN, z tworzyw organicznych.

Wytyczne IEC-17C/Centr.Off/13 z 1972r. [7] przewidują konieczność takiego badania konstrukcji narażonych elektrycznie powyżej napięcia 1,5 kV/mm.

Będąca w opracowaniu nowa norma PN na badania izolatorów wsporczych, wewnętrznych z tworzyw organicznych na napięcia 1 - 30 kV nie przewiduje tego rodzaju badania, ponieważ występujące praktycznie napięcia nawet przy niekorzystnym rozkładzie pola leżą kilkakrotnie poniżej w/w dopuszczalnej granicy.

Przy ewentualnym opracowywaniu nowej normy na izolatory przepustowe z tworzyw organicznych na napięcia 1 - 30 kV wprowadzenie badań kontrolnych za pomocą pomiaru wyładowań niezupełnych będzie prawdopodobnie już potrzebne.

Badania takie będą również konieczne przy wprowadzaniu izolatorów z tworzyw organicznych na napięcia 110 kV.

Uwaga: Uzyskane wyniki pomiarów odnoszą się zarówno do wyładowań wewnątrz tworzywa izolacyjnego, jak i do wyładowań na granicy tworzywo - okucie WN.

Dopuszczalne graniczne wielkości wyładowań /np. wg zaleceń IEC

[7] są w pewnym stopniu wartościami umownymi, a ich przekroczenie nie określa bezpośrednio stopnia zagrożenia przebiciem elementu izolacyjnego. Jednakże wartości te wskazują na wady konstrukcji, bądź technologii, które powinny być bezwzględnie wykryte i usunięte. W przeciwnym razie wyładowania te będą się nasilały i wcześniej czy później doprowadzi to do uszkodzenia elementu izolacyjnego.

5. Odporność na wyładowania niezupełne lanych tworzyw oraz konstrukcji izolacyjnych, stosowanych w rozdzielnicach WN z SF₆.

Jednym z ważniejszych zagadnień izolacji lanych jest obecnie ich stosowanie w rozdzielnicach z SF₆ na napięcia od 110 kV wzwyż.

Ponieważ sprężony do kilku atmosfer gaz SF₆ ma dużą wytrzymałość dielektryczną, najsłabszym punktem układu izolacyjnego są zwykle powierzchnie graniczne izolator z tworzywa lanego - gaz SF₆.

Izolacje tego typu można podzielić zależnie od warunków ich pracy na izolacje w wyłączniku, gdzie podlegają bliskiemu działaniu łuku dużej mocy i produktów rozkładu SF₆, oraz izolacje w pozostałych elementach rozdzielnicy, nie podlegające tym narażeniom.

Dla odciążenia powierzchni granicznych "izolator-gaz" szczególnie przy elektrodzie WN stosuje się różnego rodzaju ukształtowania tej elektrody /np. pierścienie o zwiększonej średnicy/ mające na celu zmniejszenie maksymalnych naprężeń na powierzchni izolatora. Temu celowi służy również specjalne ukształtowanie izolatora /np. kielichowe/. Mimo tych wszystkich ostrożności przy wysokim natężeniu pola każde wyładowanie niezupełne wewnętrzne lub na zewnętrznej powierzchni izolatora mogłoby zainicjować przeskok po powierzchni. Elementy izolacyjne muszą być zatem aż do maksymalnych napięć roboczych wolne od wyładowań niezupełnych w warunkach pracy w SF₆, co trzeba wykazać oddzielnymi próbami. Pomiar należy wykonać również przy napięciu $1,1 \cdot U_n / \sqrt{3}$, przy czym intensywność wyładowań niezupełnych nie może przekraczać wartości limitowanych, które dopiero mają być

określone w późniejszym terminie [8] .

Oprócz tego od tworzywa wymaga się mimo wszystko zwiększonej odporności na wyładowania niesupełne, jak również zwiększonej odporności na prądy pełzające, co powinno być również stwierdzone odpowiednimi wynikami badań materiałowych.

6. Podsumowanie i wnioski.

W zakresie stanu normalizacyjnego zagadnień technicznych związanych z wyładowaniami niesupełnymi należy stwierdzić niepokojące i to w skali międzynarodowej opóźnienia, stojące w dysproporcji z szerokim wdrażaniem do produkcji izolacji wysokonapięciowych z tworzyw organicznych, w szczególności zaś lanych tworzyw epoksydowych na elementy izolacyjno-konstrukcyjne.

O ile całkowicie rozwiązane jest w skali międzynarodowej i krajowej zagadnienie pomiarów intensywności wyładowań niesupełnych na elementach i konstrukcjach wysokonapięciowych [9] [10] [11] [12], zaś wyznaczanie porównawczej odporności materiałów izolacyjnych stałych na wyładowania niesupełne powierzchniowe uzyskało uzgodnione, międzynarodowe wytyczne normalizacyjne [1] i jest wdrażane w szeregu krajów, a w Polsce przewiduje się opracowanie w najbliższym czasie normy krajowej, o tyle sprawa najważniejsza, zagadnienie odporności materiałów izolacyjnych stałych na wyładowania niesupełne wewnętrzne nie jest dotychczas jeszcze przedmiotem normalizacji.

Ponieważ własność ta jest podstawową do oceny przydatności tworzywa organicznego i jego technologii do izolacji wysokonapięciowych, hamuje to w pewnym sensie wdrażanie nowych typów izolacji.

Podjęte przez CIGRE SC-15/WG-06 badania korelacyjne nad wprowadzeniem nowych typów próbek i ustaleniem metodyki badań winny być z uwagi na w/w opóźnienia jak najenergiczniej przeprowadzone. Do zorganizowanych w 1974r. przez prof. Kinda prób "round robin test" przystąpiła w gronie 7 państw również i Polska. Próby mają stwier-

dzić przydatność zaproponowanego układu elektrod i metodyki badań.

Postuluje się jednak, aby przy zachowaniu jednolitej metodyki, polegającej na ustalaniu średniego czasu życia i rozkładu jego wyników zastosować odmienne elektrody dla kilku podstawowych grup materiałowych właściwe dla ich stosowania i technologii.

Zaproponowany układ elektrod i sztucznej wtrąciny winien być również sprawdzony pod kątem optymalnego doboru stopnia niejednorodności pola.

Niezależnie od zagadnienia szybkiego wprowadzenia do normalizacji, tak w skali międzynarodowej jak i krajowej metodyki badań odporności materiałów izolacyjnych na wyładowania niezupełne wewnętrzne należy rozwijać i pogłębiać metody badań nieznormalizowane.

Należy prowadzić prace badawcze nad starzeniem elektrycznym materiałów izolacyjnych przy różnym stopniu niejednorodności pola i przy rozróżnieniu obu faz starzenia, ze zmianami odwracalnymi i nieodwracalnymi, identyfikowanymi za pomocą pomiaru intensywności wyładowań niezupełnych.

W zakresie materiałowym i technologicznym lanych tworzyw epoksydowych należy prowadzić elektryczne badania starzeniowe tak znormalizowane jak i wyżej przedstawione nieznormalizowane ze szczególnym uwzględnieniem poznania mechanizmu starzenia materiałów niejednorodnych z wypełniaczem nieorganicznym. Badania te należy uzupełnić badaniami strukturalnymi.

Wynikiem powyższych badań powinno być uzyskanie wypełnionych lanych kompozycji epoksydowych do podstawowych wysokonapięciowych kierunków zastosowań:

a/ w wykonaniach normalnych wewnętrznych

b/ w wykonaniach napowietrznych

c/ w wykonaniach z SF_6

o znacznie wydłużonej trwałości.

Prace nad konstrukcją wysokonapięciowych izolacji lanych winny iść

w kierunku całkowitego opanowania i wyeliminowania wylądowań niezubeżnych powierzchniowych oraz wyeliminowanie niedopuszczalnych wewnętrznych naprężeń mechanicznych i elektrycznych. Przyspieszone metody badań całych elementów izolacyjnych lub wyrobów uwzględniających nowe osiągnięcia materiałowe, technologiczne i konstrukcyjne winny łącznie z badaniami eksploatacyjnymi potwierdzić wyższość nowych rozwiązań.

Literatura

1. IEC-Publ. 343-1970 - Recommended test methods for determining the relative resistance of insulating materials to breakdown by surface discharges.
2. DIN - 16946 Bl. 1/V.68/ - Giessharz-Formstoffe, Prüfverfahren.
3. DIN - 53485 /I/65/ - Prüfung von Isolierstoffen, Bestimmung des Verhaltens unter Einwirkung von Glimmentladungen.
4. Kind D., Kodoll W. - Contribution to the development of samples for Partial Discharge Tests of solid dielectrics, CIGRE SC 15-WG 06 - 1972.
5. Kodoll W. - Ageing Processes in Polymer Plastics by Partial Discharges, CIGRE SC 15-WG 06 - 1974.
6. Kind D. - Die Hochspannungstechnik am Beginn des Kunststoffzeitalters ETZ-A 1970, 3, s. 134 - 139.
7. IEC-TC 17C/Central Office/13 - July 1972, IEC Recommendation for a specification for high-voltage insulation-enclosed switchgear and controlgear.
8. IEC-TC 17C/Secr./23 - Oct. 1972 - Draft-High-voltage metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages equal to or higher than 72,5 kV.
9. VDE 0434 Teil 2/1.66 - Richtlinien für Teilentladungsprüfungen an Betriebsmitteln mit Wechselspannungen bis 500 Hz.

10. ASTM D 1868 - 68 - Detection and measurement of corona pulses
in evaluation of insulation systems.
11. IEC-Publ. 270-1968 - Partial discharge measurements.
12. PN-70/E-04066 Wyladowania niezupelne w izolacji przy napieciu
przeziennym. Metody badań.