



Szymon BANASZAK

Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki

Badania starzeniowe trakcyjnych izolatorów kompozytowych

Streszczenie. Badania starzeniowe oparte zostały na analizie prądów upływu na powierzchni kompozytowych izolatorów trakcyjnych. Część z nich została zamontowana w terenowych stacjach badawczych w rejonie nadmorskim, pozostałe zaś przeznaczone do badań laboratoryjnych w komorze słonej mgły. Badania przeprowadzono dla różnych napięć i stężeń słonej mgły przy zastosowaniu aparatury rejestrującej przebieg prądów upływu. Zastosowanym materiałem osłonowym była żywica epoksydowa utwardzona nowym utwardzaczem z dodatkiem krzemionki. Kompozycja taka miała lepsze parametry izolacyjne i odporność na starzenie niż standardowe materiały.

Abstract. (Investigation of ageing processes of composite insulators for traction systems). Measurements of surface leakage currents in composite insulators for traction systems were used as the basis for studies of ageing processes. One group of insulators was aged in a natural coastal climate while another group was exposed to laboratory ageing tests using a salty fog chamber. The tests were performed at various voltages and salt fog intensities using special measuring equipment for detection and recording of surface leakage currents. New housing material used for construction was epoxy resin hardened with new type of hardener with addition of silica. It had better insulating properties and ageing resistance than typical materials.

Słowa kluczowe: izolator kompozytowy, starzenie, słona mgła, prądy upływu.

Key words: composite insulator, ageing, salt fog, leakage currents.

Wstęp

Izolatory pracujące w warunkach napowietrznych, poza naprężeniami mechanicznymi i elektrycznymi, narażone są na oddziaływanie czynników środowiskowych. Wymagania stawiane takim warunkom spełniają współczesne izolatory kompozytowe. W ostatnich latach na Politechnice Szczecińskiej opracowano nowy rodzaj utwardzacza do żywic epoksydowych i przebadano go pod kątem zastosowania jako materiału osłonowego izolatora kompozytowego. Utwardzacz otrzymano w procesie degradacji chemicznej poli(tereftalanu etylenu) – PET.

Badania rozpoczęto próbami przeprowadzonymi na próbkach materiałowych, które miały na celu dobranie odpowiedniego składu kompozycji, stosunku żywicy do utwardzacza i wyboru napelniaczy. Najlepszy z materiałów wytypowano do konstrukcji izolatora trakcyjnego. Izolator został przygotowany w dwóch wersjach długości i przeznaczony do badań starzeniowych. Część izolatorów starzona jest w naturalnych warunkach eksploatacyjnych na stacjach w rejonie nadmorskim, zaś część starzona jest w komorze słonej mgły w laboratorium pod napięciem. W obu przypadkach rejestrowano prądy upływu na powierzchni izolatorów podczas starzenia. Analiza ilości pików prądowych z takich pomiarów pozwalała na określenie intensywności starzenia i porównanie starzenia laboratoryjnego i terenowego.

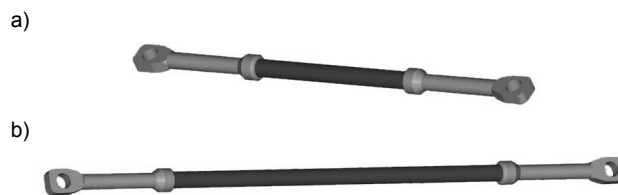
Badania materiałowe

Pierwszym etapem badań były badania serii próbek kompozycji o różnych stosunkach żywicy i utwardzacza z dodatkiem trzech utwardzaczy: krzemionki, uwodnionego tlenku glinu i mieszaniny talku z kaolinem. Mierzonymi parametrami były: współczynnik strat dielektrycznych ($\text{tg}\delta$), przenikalność elektryczna (ϵ), rezystywność skrośna (ρ_v), odporność na łuk elektryczny, współczynnik odporności na prądy pelzające i wytrzymałość elektryczna, a także parametry mechaniczne i odporność na działanie grzybów pleśniowych (odporność mykologiczna). Z przebadanych kompozycji wybrano trzy, charakteryzujące się najlepszymi parametrami i przeznaczono do materiałowych badań starzeniowych. Przeprowadzane były one w komorze klimatycznej w warunkach WGS – wilgotnego gorąca stałego (40°C, 95% wilgotności) oraz w aparacie typu

Xenotest (przyspieszony cykl skrócony, pełne spektrum światła – UV – A, B, C oraz IR). Celem tych badań było sprawdzenie czy materiał utrzymuje swoje właściwości podczas oddziaływania czynników starzeniowych i wybranie najlepszej pod tym względem kompozycji. Podczas badań starzeniowych mierzono parametry elektryczne, które posłużyły do oceny materiałów. Wybrana kompozycja została wykorzystana do konstrukcji izolatora ciągnowego.

Izolator

Izolator przygotowano w dwóch wersjach długości części izolacyjnej: 50 cm – zgodnie z normą branżową oraz w wersji skróconej – 24 cm, która umożliwiła starzenie izolatora pod większym napięciem elektrycznym niż wersji dłuższej przy zastosowaniu tego samego napięcia. Poniżej przedstawiono obie wersje izolatora.

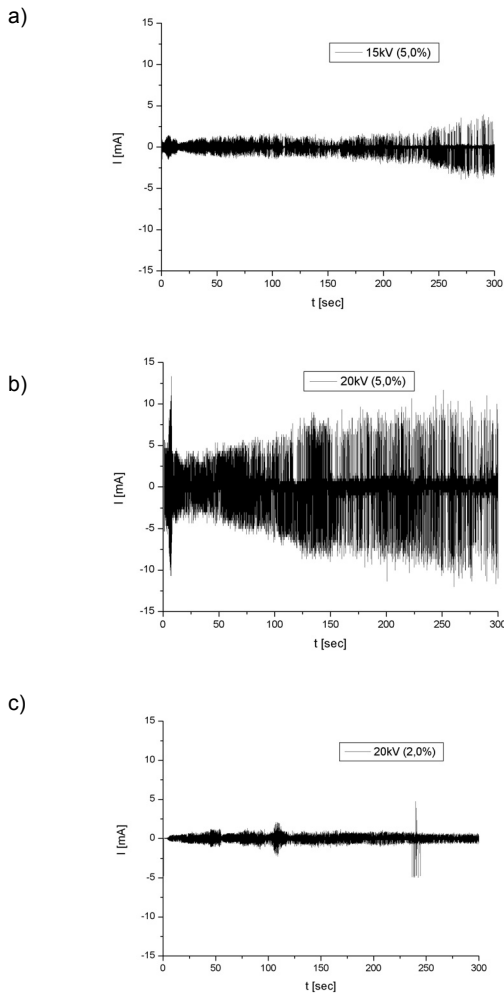


Rys.1. Izolatory trakcyjne z nowym materiałem osłonowym: wersja krótka (a) i wersja tradycyjna (b)

Badania starzeniowe laboratoryjne

Badania starzeniowe izolatorów przeprowadzono w komorze słonej mgły pod przyłożonym napięciem. Na wstępie wykonano próby dla szerokiego zakresu stężeń soli i napięć mające na celu wybranie takich parametrów starzenia, które byłyby możliwie najbardziej intensywne, a jednocześnie pozwalające na kontrolę i obserwację procesu. Badane stężenia wzrastały od 0,5% do 10%. Napięcie zwiększono co 5 kV dla każdego stężenia i rejestrowano przez 10 minut prądy upływu na izolatorze. Wzrost kontynuowano aż do wystąpienia przeskoku. Po wykonaniu serii takich badań i zarejestrowaniu przebiegów prądowych otrzymano dużą ilość danych pozwalających na wstępną ocenę zjawisk występujących na izolatorze i wybranie takich parametrów starzenia w komorze, które

gwarantują ciągle starzenie materiału i pozwalają się kontrolować. Tymi parametrami były: stężenie soli we mgłę na poziomie 5% i napięcie elektryczne 0,4 kV/cm, co daje napięcie 20 kV dla izolatora długiego i 9,6 kV dla izolatora w wersji krótkiej. Na rys. 2 przedstawiono przykładowe przebiegi prądów upływu zarejestrowane dla różnych warunków panujących w komorze.

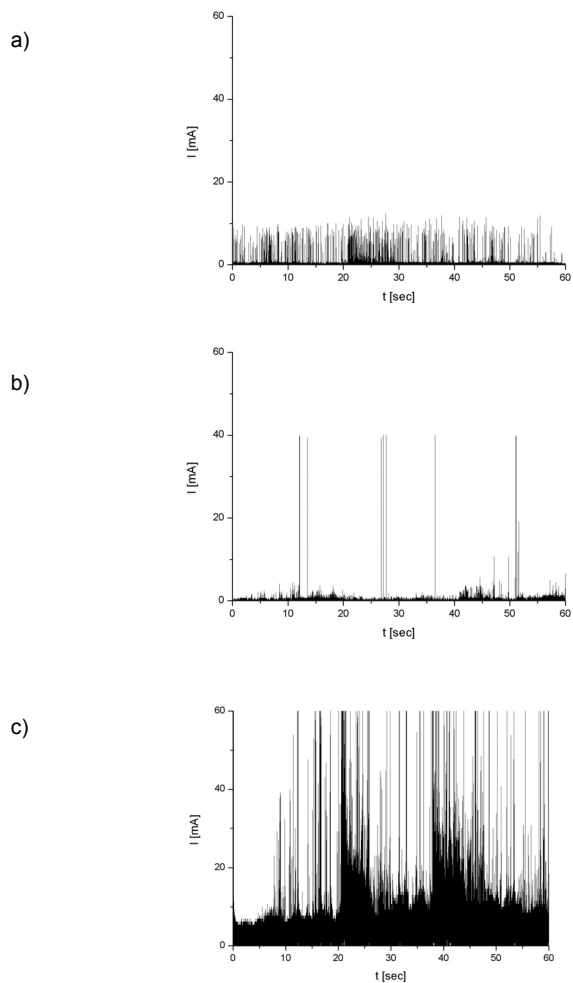


Rys.2. Porównanie prądów upływu zarejestrowanych przy różnych napięciach i stężeniach słonej mgły dla izolatora długiego: przy 15 kV i 5% (a), 20 kV i 5% (b) oraz 20 kV i 2% (c)

Porównanie powyższych przebiegów pozwala zaobserwować różnice w poziomach prądów upływu. Rysunki 1a oraz 1b przedstawiają prądy zmierzone przy tym samym stężeniu mgły solnej, ale przy różnych poziomach napięć. Z kolei rysunki 1b i 1c pozwalają porównać poziom prądów dla tego samego napięcia, ale różnych stężeń słonej mgły. Zliczenie pików prądowych w poszczególnych przedziałach wartości pozwoliło na przeanalizowanie i porównanie warunków starzeniowych.

Po ustaleniu napięć i stężenia, rozpoczęto starzenie izolatorów. Prądy upływu mierzono przez 10 minut, co 8 godzin. Do analizy wybierano 5-minutowe wycinki. Aparatura do pomiaru i rejestracji prądów upływu mierzyła z częstotliwością 1600 próbek na sekundę, co daje 32 próbki na okres. Przykłady przebiegów prądowych zmierzonych na długim izolatorze przedstawiono na rysunku 3. Wartości tych przebiegów zostały przeliczone na wartości dodatnie, by ułatwić analizę zarówno pików dodatnich jak i ujemnych. Prezentowane przebiegi to

wycinki 60-sekundowe o przyjętej wartości skali 60 mA, co pozwoli porównać intensywność i wielkość pików podczas starzenia.



Rys.3. Wartości bezwzględne pików prądowych zmierzonych na długim izolatorze podczas starzenia w komorze mgły solnej (20 kV, 5% stężenia): przed rozpoczęciem starzenia (a), po 32 godzinach starzenia (b) oraz po 72 godzinach starzenia (c)

Porównując przebiegi można zauważyć trzy charakterystyczne fazy. Na początku starzenia (faza I) piki prądowe osiągają poziom 20 mA, lecz większość z nich jest relatywnie niska (do 1 mA). Podczas trwania tej fazy powierzchnia izolatora jest powoli i ustawicznie starzona. W fazie drugiej, przedstawionej na rysunku 3b (po 32 godzinach starzenia) piki osiągają niższy poziom, co jest spowodowane występowaniem wyładowań na powierzchni izolatora widocznych na wykresie jako wysokie piki przekraczające zakres pomiarowy. Wyładowania podgrzewają i osuszają powierzchnię, co powoduje ograniczenie poziomu prądów upływu. W fazie tej powierzchnia jest starzona głównie przez wyładowania powodujące erozję materiału i powstawanie przewodzących ścieżek. Na rysunku 3c przedstawiono fazę III, po 72 godzinach starzenia. Prądy upływu są wyższe niż poprzednio i wynoszą 5-10 mA. Piki związane z wyładowaniami zupełnymi również się tutaj pojawiają. W fazie tej powierzchnia izolatora jest starzona zarówno przez prądy upływu jak i wyładowania. Podobne fazy starzenia zaobserwowano dla krótkiej wersji izolatora. Liczbę pików prądowych przekraczających poszczególne poziomy przedstawiono w tabeli 1. Pozwala ona na porównania intensywności starzenia w czasie jego trwania.

Czas analizowanego pomiaru to 5 minut (30000 półokresów – czyli możliwych pików). Każda z kolumn tabeli prezentuje tylko liczbę pików zawartych w danym przedziale, więc całkowita liczba pików np. przekraczających 20 mA to suma wartości zawartych w kolumnie oznaczonej 20 mA i wszystkich kolumn w prawo.

Tabela 1. Liczba pików prądowych przekraczających kolejne poziomy wartości podczas starzenia.

Czas (h)	Poziomy wartości prądów upływu (mA)						
	10	20	30	40	50	70	90
0	344	0					
32	385	257	211	0			
56	200	141	113	91	78	43	14
80	11780	2222	983	624	463	322	265

Jak widać, po starzeniu przez 80 godzin 16659 pików przekroczyło poziom 10 mA, co stanowi ponad 55% wszystkich półokresów; 4879 pików przekroczyło poziom 20 mA – 16,3%, itd., podczas gdy na początku starzenia tylko 344 piki przekroczyły ten poziom, czyli 1,1%.

Starzenie terenowe

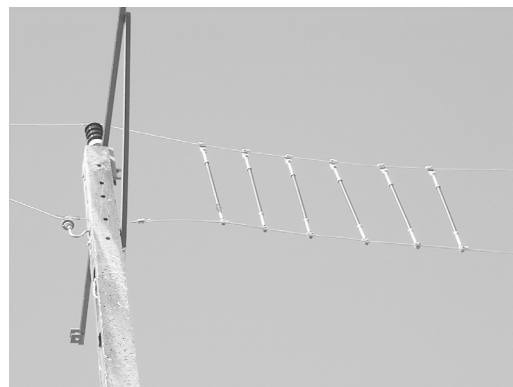
Część izolatorów, w obu wersjach długości, zainstalowano na dwóch stacjach terenowych w rejonie nadmorskim: w Świnoujściu-Karsiborzu i Dźwirzynie koło Kołobrzegu. Pierwsza z nich umiejscowiona jest około 3000 metrów od brzegu morza, druga zaś około 300 m.

Izolatory na obu stacjach podłączono pomiędzy przewodów fazy linii 15 kV a uziemienie, co daje napięcie 8,67 kV, 24 godziny na dobę. Naprężenia elektryczne wynoszą 0,17 kV/cm dla izolatora długiego i 0,37 kV/cm dla izolatora w wersji krótkiej.

a)



b)



Rys.4. Izolatory na stacjach terenowych w Dźwirzynie (a) i Świnoujściu-Karsiborzu (b)

Dla jednego zestawu izolatorów, umieszczonego w Świnoujściu, po 6 miesiącach naturalnego starzenia

pomierzono prądy upływu (w naturalnych warunkach panujących na stacji). Zmierzone wartości przy 8,67 kV to dla izolatorów krótszych około 40 μ A, zaś dla dłuższych około 20 μ A. W celu porównania pomiarów polowych do izolatorów starzonych w laboratorium, wykonano pomiar symulujący warunki terenowe w laboratorium dla izolatorów starzonych w komorze mgły solnej, czyli 8,7 kV bez słonej mgły. Zmierzone prądy upływu na długim izolatorze, starzonym przez 80 godzin, wyniosły około 40 μ A, co stanowi wartość dwa razy większą niż po półrocznym starzeniu w warunkach terenowych.

Izolatory wciąż są zamontowane na obu stanowiskach terenowych, kolejne pomiary będą miały miejsce.

Podsumowanie

Starzenie izolatorów w laboratorium, w warunkach słonej mgły pod przyłożonym napięciem, przebiega szybciej niż izolatorów zamieszczonych w stacjach terenowych. Pozwala to badać nowe materiały izolacyjne do zastosowań napowietrznych i poznać ich właściwości nie tylko dla próbek nowych, ale także pod wpływem czynników starzeniowych. W przedstawionych badaniach starzenie przeprowadzono w komorze słonej mgły i przy wysokim napięciu, co powodowało ciągłe niszczenie powierzchni izolatora. Zastosowanym materiałem osłonowym była żywica epoksydowa utwardzona nowym utwardzaczem z dodatkiem krzemionki. Kompozycja taka ma lepsze parametry izolacyjne i odporność na starzenie niż standardowe materiały i dalsze badania pozwolą określić przewidywany „czas życia” takiej osłony izolatora np. w warunkach nadmorskich lub silnych zabrudzeń. Zaprezentowana metoda analizy wyników pomiarowych oparta jest na zliczaniu pików prądowych na poszczególnych poziomach. Porównanie takich wyników z początku starzenia do pomiarów wykonanych po danym czasie starzenia pozwala na określenie stanu izolacji. Podczas analizy należy pamiętać o zmianach w wartościach prądów upływu. Są one nieco wyższe na początku procesu starzenia, w fazie I. Następnie, podczas fazy II, ich poziom opada i pojawiają się wyładowania powierzchniowe, a w końcu znacząco wzrasta, gdy starzenie przechodzi w fazę III. Materiał jest wtedy intensywnie starzony. Badania starzeniowe są kontynuowane w celu rozwinięcia metody starzeniowej i jej interpretacji.

LITERATURA

- [1] Banaszak Sz., Michalski J., Właściwości elektryczne. Inne właściwości. Aminoglikoliza odpadowego PET i zastosowanie produktów. *Praca zbiorowa pod redakcją Tadeusza Spychaję. Szczecin, 2003, s. 69-72, ISBN 83-88764-37-3.*
- [2] Banaszak Sz., Subocz L., New housing materials for traction insulators. *III International Symposium. New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation - NEET. Zakopane, 13-16.05.2003, s. 26-28.*
- [3] Banaszak Sz., Leakage currents analysis as a result of composite insulator ageing. *Proceedings of the 6th International Conference on Unconventional Electromechanical and Electrical Systems. 24-29.05.2004 Alushta, Ukraine, s. 960-966*
- [4] Gubański S.M., Modern Outdoor Electrical Insulation. *IEEE Trans. on Dielect. and El. Ins. Vol.6, No.5, 1999.*
- [5] Subocz L., Experiences on ageing of epoxy overhead insulators. *XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, ISH'03, Rotterdam, 2003.*
- [6] Sebo S.A., Casale E.P., Fog chamber tests of 35kV polymer insulators and their performance evaluation. *APTADM'2001, Wrocław, 2001.*

Autorzy: mgr inż. Szymon Banaszak, Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, E-mail: Szymon.Banaszak@ps.pl