



Janusz FLESZYŃSKI, Zbigniew POHL, Adam TYMAŃ, Krzysztof WIECZOREK

Politechnika Wroclawska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii

Aktualna problematyka badawcza polimerowych izolatorów kompozytowych

Streszczenie. Polimerowe izolatory kompozytowe są coraz powszechniej stosowane w przesyłowych i rozdzielczych liniach elektroenergetycznych w wielu krajach na świecie. W artykule przedstawiono problematykę badań materiałowo-technologicznych w aspekcie narażeń eksploatacyjnych i procesów starzeniowych. Wskazano na celowość badań zmierzających do optymalizacji kształtu i parametrów konstrukcyjnych tych izolatorów.

Abstract. (Current research issues in the field of polymeric composite insulators). Polymeric composite insulators have been widely used in electric power transmission and distribution lines in many countries around the world. This paper concentrates on research issues related to materials and technology from the point of view of service conditions and ageing processes. It points out the need for further research on optimization of shape and structural parameters of this type of insulators.

Słowa kluczowe: izolator kompozytowy, wilgoć, zabrudzenie, proces starzeniowy, badanie materiałowe, osłona silikonowa, optymalizacja kształtu.

Keywords: composite insulator, humidity, contamination, aging process, material investigation, silicone housing, shape optimization.

Wstęp

Idea konstrukcji polimerowych izolatorów kompozytowych, zaproponowana przez firmę General Electric w 1959 r., nie uległa do dzisiaj zasadniczym zmianom [1]. W tej konstrukcji niezbędną wytrzymałość mechaniczną zapewnia elektroizolacyjny rdzeń połączony z metalowymi okuciami. Nałożona na rdzeń osłona z kloszami chroni go przed narażeniami atmosferycznymi i środowiskowymi i zapewnia wymaganą wytrzymałość elektryczną w eksploatacji w warunkach napowietrznych.

Oslony nowoczesnych izolatorów kompozytowych wykonuje się z elastomerów silikonowych, etyleno-propylenowych lub etyleno-propylenowo-dienowych. Najlepszymi i najczęściej obecnie stosowanymi materiałami są elastomery (kauczuki) silikonowe. Oslony izolatorów kompozytowych dla linii przesyłowych wykonuje się wyłącznie z tego materiału. Właściwości kauczków silikonowych, produkowanych przez wiele firm chemicznych na świecie, mogą być jednak wyraźnie różne. Zależą bowiem od właściwości i udziału komponentów – matrycy silikonowej, napelnacza i dodatków – a także od procesu wulkanizacji, który przebiegać może w różnej temperaturze [2].

Rdzenie kompozytowych izolatorów liniowych mają zwykle postać pręta wykonanego z włókien szklanych i żywicy syntetycznej. Powszechnie stosuje się włókna ze szkła typu E i coraz częściej włókna ze szkła typu ECR, droższego, ale bardziej odpornego na procesy elektrolitycznej korozji naprężeniowej [3]. Zadaniem żywicy – epoksydowej lub rzadziej poliestrowej bądź estro-winyłowej – jest klejenie i impregnacja włókien szklanych. Poprawę powlekania powierzchni włókien żywicą, w procesie wytwarzania prętów szklano-żywicznych, zapewnia cienka warstwa apertury silanowej.

Problematyka badawcza izolatorów kompozytowych jest od wielu lat bardzo aktualna. Liczne prace dotyczą badań materiałowo-technologicznych osłon, rdzeni i powierzchni granicznych rdzeń-osłona, widzianych w aspektach eksploatacyjnych narażeń i rozwijających się procesów starzeniowych np. [2-5]. Uważa się, że dzięki dużej koncentracji badań nastąpił wyraźny postęp materiałowo-technologiczny, upoważniający do nazywania nowoczesnych izolatorów kompozytowych izolatorami drugiej, a nawet trzeciej generacji.

Postępowi materiałowo-technologicznemu nie towarzyszą jednak znaczące zmiany w kształcie i parametrach konstrukcyjnych silikonowych izolatorów kompozytowych. Produkowane obecnie izolatory w znacznym stopniu naśladują rozwiązania konstrukcyjne izolatorów ceramicznych. Tymczasem właściwości hydrofobowego materiału silikonowego wyraźnie różnią się od właściwości hydrofilnej ceramiki. Istotne jest także, że technologie wytwarzania izolatorów polimerowych stwarzają dużo większe możliwości konstrukcyjne w porównaniu z technologiami ceramicznymi.

Celem artykułu jest przedstawienie aktualnych problemów i kierunków badawczych dotyczących izolatorów kompozytowych i na ich kanwie ważniejszych ostatnich osiągnięć oraz zamierzeń badawczych Laboratorium Wysokich Napięć Politechniki Wrocławskiej.

Badania materiałowo-technologiczne izolatorów kompozytowych

Kompleksowe badania materiałowo-technologiczne dotyczą właściwości materiałów i rdzeni oraz problemów kompatybilnej ich współpracy. W badaniach szczególną uwagę zwraca się na ocenę materiałów i produkowanych izolatorów w aspektach ich długotrwałej eksploatacji pod działaniem różnorodnych narażeń starzeniowych. Starzeniu ulegają zwłaszcza obszary mikroskopowych i makroskopowych powierzchni granicznych. Mikroskopowe powierzchnie graniczne tworzą się w miejscach styku matrycy polimerowej z ziarnem napelnacza (osłona) lub żywicy z włóknem (rdzeń). Makroskopowe powierzchnie rozdziału dotyczą natomiast styku zewnętrznej powierzchni osłony z otaczającym powietrzem oraz powierzchni granicznej między osłoną a rdzeniem, zwanej „fugą”.

W warunkach eksploatacyjnych na powierzchni zabrudzonych i zawilgoconych izolatorów mogą się rozwijać prądy i wyładowania elektryczne. W przypadku izolatorów polimerowych prowadzić to może do degradacji materiału i tworzenia się ścieżek przewodzących bądź erozyjnych. Szczególnie groźne są głębokie uszkodzenia osłony, odsłaniające rdzeń szklano-żywiczny, co pod działaniem wilgoci i kwasów spowodować może przebicia wzdłuż „fugi” lub szczególnie groźne kruche pęknięcia rdzeni [6]. Dlatego podstawową właściwością materiałów polimerowych stosowanych na osłony w izolatorach kompozytowych jest

odporność na działanie prądów i wyładowań powierzchniowych. Metoda badania tej właściwości powinna:

- o symulować warunki pracy napowietrznych izolatorów i jak najlepiej odtwarzać występujące w eksploatacji narażenia,
- o być dostatecznie czuła i selektywna, aby można było w stosunkowo krótkim czasie badania dokonać oceny dostępnych materiałów i wyboru materiału do produkcji izolatorów.

W wielu laboratoriach na świecie opracowano różne metody badań, z których część została wprowadzona do norm krajowych i międzynarodowych. Należy tutaj wymienić metody: pochylej próbki, kurzu i mgły, kropłową, koła zanurzeniowego, stałych zanieczyszczeń, łuku małej mocy, czystej i stonej mgły [7,8]. Umożliwiają one dobrą ocenę materiałów polimerowych na powierzchni których, pod działaniem prądów i wyładowań powierzchniowych, powstają zwęglone ścieżki przewodzące. Nowoczesne elastomery silikonowe są odporne na procesy zwęglania, ich destrukcja ma charakter erozyjny. Celowe są zatem modyfikacje dotychczasowych metod lub opracowania metod nowych.

Często stosowana w laboratoriach jest metoda pochylej próbki, którą ujmuje norma międzynarodowa IEC 60587 i zgodna z nią norma PN-89/E-04442. Metoda polega na wyznaczeniu klasy materiału odpowiadającej jednej z trzech wartości napięć probierczych: 2,5; 3,5 bądź 4,5 kV. Kryterium badania stanowi przekroczenie przez prąd płynący po powierzchni próbki wartości 60 mA (przez 2 s), wskutek powstania przewodzącej ścieżki, zwanej śladem pełnym. Nowoczesne elastomery silikonowe w badaniach znormalizowanych uzyskują najwyższą klasę odporności 4,5 kV. Natomiast zmodyfikowane metody pochylej próbki, w których kryterium oceny stanowi głębokość erozji lub erozyjny ubytek masy [8,9], rozróżniają już wyraźnie badane materiały. W tabeli 1 przedstawiono dla przykładu wyniki pomiarów głębokości erozji g_{sr} próbek elastomerów silikonowych dla różnych napięć probierczych U.

Tabela 1. Wyniki badań elastomerów silikonowych zmodyfikowaną metodą pochylej próbki [9].

U, kV	g_{sr} w próbkach elastomerów, mm				
	I	II	III	IV	V
2,5	0,4	1,6	0,0	0,0	0,0
3,5	0,7	3,7*	0,0	0,0	0,0
4,5	2,1	3,7*	0,2	0,2	0,7

* Erozja przez całą grubość próbki

Spśród 5. zbadanych materiałów silikonowych LSR i RTV, uzyskanych od znanych na świecie producentów, najgorszym okazał się elastomer II, ulegający szczególnie silnemu erozyjnemu niszczeniu. Słabe właściwości tego materiału pod względem odporności na prądy i wyładowania powierzchniowe wykazały również badania łukiem małej mocy [9] i badania w komorze mgły solnej [10].

Uważa się, że cennych informacji materiałowo-technologicznych dostarczają przyspieszone próby starzeniowe. Są to bardzo potrzebne badania, których celem jest ocena właściwości i zachowania się materiałów osłonowych w długotrwałej eksploatacji izolatorów kompozytowych oraz poznanie wpływu różnych czynników na rozwój procesów starzeniowych. W laboratoriach stosowane są różne próby, w których próbki materiałów

osłonowych bądź próbne izolatory są poddawane działaniu: ultrafioletu, czystej lub stonej mgły, wody lub kwaśnych roztworów w zanurzeniowych próbach dyfuzji, symulowanych opadów deszczu, wyładowań ulotowych. Spośród różnych metod wyróżnić należy znormalizowaną metodę stonej mgły wymaganą w próbach konstruktorskich izolatorów kompozytowych wg normy PN-IEC 61109 (1999), metodę stonej mgły opracowaną przez CIGRE [11] oraz metody badań wielonarażeniowych w dużych zautomatyzowanych komorach starzeniowych [12]. Z bardzo aktualną problematyką przyspieszonych badań starzeniowych wiążą się ciągle nierozwiązane kluczowe problemy. Wskazują na nie pytania:

- o Które spośród stosowanych alternatywnych metod przyspieszonych badań starzeniowych dobrze symulują narażenia eksploatacyjne i warunki starzenia?
- o Czy rysują się perspektywy ustalenia kryteriów wskazujących na krytyczną degradację właściwości materiałów osłonowych?
- o Czy wyniki przyspieszonych badań starzeniowych korelują z doświadczeniami eksploatacyjnymi i wynikami badań poligonowych?
- o Jaka jest wiarygodność predykcji czasu życia izolatorów na podstawie przyspieszonych badań starzeniowych?

Metody badania jakości rdzeni oraz powierzchni granicznych rdzeń-osłona izolatorów kompozytowych dotyczą interesujących naukowo problemów i mają szczególne praktyczne znaczenie z punktu widzenia długotrwałej wytrzymałości mechanicznej i elektrycznej izolatorów. Metody te powinny umożliwiać nie tylko wykrycie istotnych defektów produkcyjnych, lecz również ocenę wpływu zmian materiałowo-technologicznych na zachowanie się izolatorów w eksploatacji. W tym aspekcie potrzebne są krytyczne analizy i modyfikacje metod badania wymaganych w normie IEC 61109, opracowanej w 1992 r. i nie uwzględniającej postępu materiałowo-technologicznego ostatnich lat. Osiągnięcia badawcze ośrodka wrocławskiego w tym zakresie dotyczą zwłaszcza:

- o propozycji rozszerzenia znormalizowanych prób penetracji barwnika i dyfuzji wodnej o badania charakterystyk przewodnościowych próbek prętów szklano-żywicznych [19]
- o ujednoliceniu i optymalizacji próby bardzo stromo narastającymi udarami napięciowymi [14].

Podsumowując należy stwierdzić, że prace badawcze mające na celu doskonalenie metod badań materiałowo-technologicznych izolatorów kompozytowych są bardzo ważne i aktualne. Pogląd taki reprezentują specjaliści z CIGRE, w szczególności członkowie Grupy Roboczej D1.14 [15].

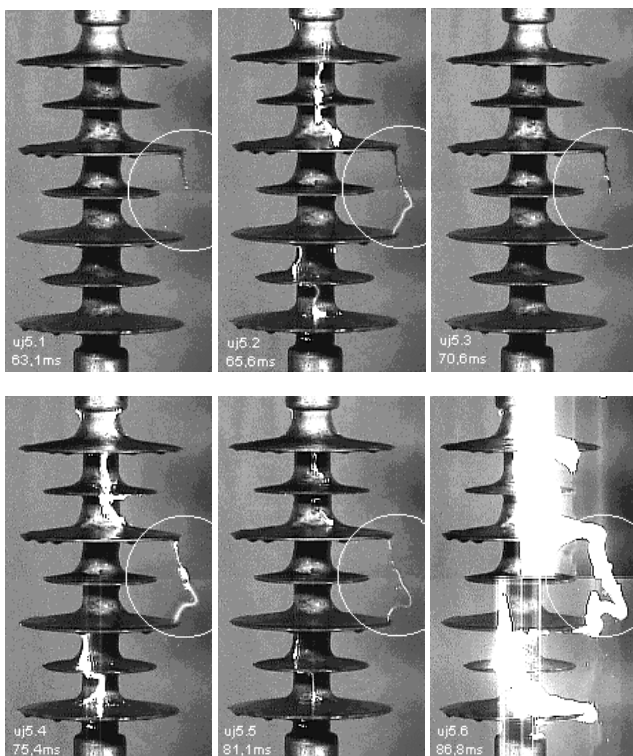
Badania zmierzające do optymalizacji kształtu i parametrów konstrukcyjnych izolatorów kompozytowych

W bogatej literaturze dotyczącej izolatorów kompozytowych niewiele jest informacji o wpływie kształtu i parametrów konstrukcyjnych na zachowanie się izolatorów w eksploatacji. Dodatkowym problemem utrudniającym prace konstrukcyjne jest niespójność, a nawet sprzeczność informacji. I tak na przykład źródło o charakterze monograficznym [16] podaje, że kąt nachylenia kloszy nie wpływa na własności eksploatacyjne w warunkach zwiększonej upływności powierzchniowej (zabrudzenia, zawiłgocenie), podczas gdy wyniki przedstawione w [17,18,19] wskazują na istnienie korelacji.

Zasadniczym kryterium oceny i doboru izolatorów liniowych pod względem wytrzymałości elektrycznej jest wytrzymałość w warunkach zabrudzeniowych. W przypadku izolatorów porcelanowych i szklanych mechanizm przeskoku zabrudzeniowego jest dobrze poznany,

a metodyka laboratoryjnych prób zabrudzeniowych jest znormalizowana. Natomiast w przypadku izolatorów kompozytowych problemy te są ciągle otwarte. Rzutuje to na podstawowe założenia projektowe izolatorów kompozytowych przyjmujące wartości jednostkowych dróg upływu takie same jak dla hydrofilnych izolatorów tradycyjnych – porcelanowych i szklanych. Zdaniem niektórych specjalistów jest to „podejście pesymistyczne”, niewykorzystujące potencjalnych możliwości hydrofobowego materiału silikonowego. Pogląd ten reprezentują również autorzy artykułu. Uważamy, że lepsze wykorzystanie specyficznych właściwości kauczuku silikonowego jest możliwe poprzez optymalizację kształtu i parametrów konstrukcyjnych izolatorów. Optymalizacja taka wymaga jednak poznania mechanizmów złożonych zjawisk.

Dotychczasowe badania wykazują, że mechanizmy przeskoku zabrudzeniowego na silikonowych izolatorach kompozytowych i izolatorach porcelanowych są wyraźnie różne [17,18,20]. Na rysunku 1 pokazano przebieg zjawisk rozwoju wyładowań na zabrudzonym pyłami i zawilgoconym silikonowym izolatorze kompozytowym, zarejestrowany cyfrową kamerą szybką [20]. Klatka 1 poprzedza zapoczątkowanie wyładowania. Na następnej klatce 2, przy której napięcie przemienne 50 Hz osiąga wartość szczytową, widać już wyładowanie międzykloszowe inicjowane przez krople wody oraz wyładowanie na pniu izolatora (zdjęcia wykonane przy większej prędkości rejestracji pokazują, że pierwszym wyładowaniem jest wyładowanie międzykloszowe). Wyładowania gasną przy przejściu napięcia przez zero (klatka 3) i rozwijają się znowu w drugim półokresie napięcia (klatka 4). Przy następnym przejściu napięcia przez zero świecenie kanałów wyładowawczych już się utrzymuje (klatka 5) i przy ponownym naroście napięcia wyładowania rozwijają się do pełnego przeskoku (klatka 6). Zjawiska rozgrywają się więc bardzo dynamicznie, w ciągu jednego okresu napięcia prądu przemiennego 50 Hz.



Rys.1. Zjawiska rozwoju przeskoku elektrycznego na zabrudzonym pyłami i zawilgoconym izolatorze kompozytowym

Wyniki badań wskazują, że ważnymi elementami mechanizmu przeskoku elektrycznego na zabrudzonych i zawilgoconych izolatorach kompozytowych są [20]:

- nierównomierny rozkład napięcia i występowanie dużych natężeń pola elektrycznego w powietrzu między kloszami;
- inicjacja rozwoju wyładowań przez zwisające i spadające z kloszy „kaskady” kropli wody, wzmacniające lokalnie pole elektryczne i mostkujące odstęp międzykloszowe;
- zasilanie tworzącego się układu wyładowań częściowych prądami płynącymi przez kanały wodne na powierzchni kloszy, stwarzające dogodne warunki do przejścia wyładowań z fazy strimerowej w fazę łukową.

Pełniejsze poznanie mechanizmu przeskoku zabrudzeniowego na silikonowych izolatorach kompozytowych wymaga dalszych badań. Jednak już dotychczasowe rozpoznanie mechanizmu zjawisk wskazuje na celowość podjęcia badań zmierzających do optymalizacji kształtu i parametrów konstrukcyjnych tych izolatorów. Z rysującego się mechanizmu przeskoku zabrudzeniowego wynika na przykład, że izolatory niektórych producentów, charakteryzujące się dużą liczbą kloszy i małymi zatem odstępami między kloszami, są konstrukcjami sprzyjającymi rozwojowi wyładowań międzykloszowych wywołanych przez krople wody. Również dogodny technologicznie płaski kształt kloszy o małym kącie nachylenia wydaje się być niewłaściwy. Powoduje bowiem gromadzenie się na powierzchni kloszy wody, co prowadzić może do wyładowań niepełnych między kroplami wody, lokalnych utrat hydrofobowości powierzchni i tworzenia się kanałów wodnych dobrze przewodzących prąd elektryczny.

Szczególnie ważny, lecz złożony problem w optymalizacji kształtu i parametrów konstrukcyjnych izolatorów kompozytowych wprowadzają procesy starzeniowe, zmieniające właściwości powierzchniowe osłon silikonowych. Dla poznania i rozwiązania problemu potrzebne są kompleksowe badania starzeniowe, w szczególności przyspieszone. W badaniach tych szczególną uwagę należy zwrócić na oddziaływanie wody, narażającej izolatory w czasie deszczu i mgły. Badania przyspieszone w komorach mgielnych są wykonywane w niektórych ośrodkach badawczych na świecie, a uzyskane wyniki są publikowane, np. [19]. Oryginalnym natomiast naszym osiągnięciem jest opracowanie metody przyspieszonych badań starzeniowych w warunkach cyklicznych opadów symulowanego laboratoryjnie deszczu. Metodę tę można już ocenić pozytywnie. Do takiego wniosku upoważniają wyniki badań izolatorów z osłonami z kauczuku silikonowego LSR [21,22]. W badaniach tych obserwowano bowiem ważne zjawiska występujące w eksploatacji silikonowych izolatorów kompozytowych, takie jak:

- postępująca, lecz nierównomierna utrata hydrofobowości izolatorów;
- rozwój prądów upływu;
- wyładowania niepełne między kroplami wody na powierzchni kloszy, posiadających jeszcze wysoką hydrofobowość we wczesnym stadium starzenia;
- wyładowania powierzchniowe o charakterze początkowo iskrowym i następnie łukowym, rozwijające się w zaawansowanym stadium starzenia na pniu i na spodnich powierzchniach kloszy;
- postępująca degradacja powierzchni izolatorów charakteryzująca się nieodwracalną utratą hydrofobowości oraz tworzeniem się ścieżek erozyjnych.

Badania ukierunkowane na przedstawione w tym rozdziale problemy będą realizowane w Instytucie Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej, w latach 2005-2007 w ramach grantu pt. „Badania

elektroenergetycznych izolatorów kompozytowych w aspekcie optymalizacji ich kształtu i parametrów konstrukcyjnych”, finansowanego przez Departament Badań Naukowych Ministerstwa Nauki i Informatyzacji. Realizowany projekt badawczy zawiera cele poznawcze i praktyczne. Należą do nich:

- o dalsze poznanie mechanizmu przeskoku zabrudzeniowego na silikonowych izolatorach kompozytowych oraz mechanizmu zjawisk degradacji starzeniowej właściwości izolatorów pod działaniem deszczów i mgły.
- o uzyskanie danych eksperymentalnych – jakościowych i ilościowych – potrzebnych dla optymalizacji kształtu i parametrów konstrukcyjnych silikonowych izolatorów kompozytowych.

Dla osiągnięcia tych celów planuje się wykonanie wysokonapięciowych badań zabrudzeniowych i przyspieszonych starzeniowych na modelowych izolatorach o specjalnie zaprojektowanym kształcie i dobranych parametrach konstrukcyjnych, takich jak jednostkowa droga upływu, odstęp między kłozkami, kąt nachylenia i średnica kłozki.

Artykuł opracowano w ramach projektu badawczego nr 3 T10B 097 28 pt. „Badania elektroenergetycznych izolatorów kompozytowych w aspekcie optymalizacji ich kształtu i parametrów konstrukcyjnych”, finansowanego przez Departament Badań Naukowych Ministerstwa Nauki i Informatyzacji.

LITERATURA

- [1] Hall J.F., History and bibliography of polymeric insulators for outdoor applications, *IEEE Trans. on Power Delivery*, (1993), Vol. 8, No. 1, 376-385
- [2] Hackam R., Outdoor HV composite polymeric insulators, *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, (1999), Vol. 6, No. 5, 557-585
- [3] Armentrout D., Kumosa M., McQuarrie T., Boron-free fibers for prevention of acid induced brittle fracture of composite insulator GRP rods, *IEEE Trans. on Power Delivery*, (2003), Vol. 18, No. 3, 684-692
- [4] Janssen H., Seifert J.M., Kärner H.C., Interfacial phenomena in composite high voltage insulation, *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, (1999), Vol. 6, No. 5, 551-559
- [5] CIGRE Working Group 15.10, Interfacial phenomena affecting electrical insulating properties in composites. Proposal of test method, results and discussion of CIGRE RRT, *Electra*, (2002), No 202, 38-48
- [6] De Tourreil C., Schmuck F., (on behalf of CIGRE Working Group B2.03), Brittle fractures of composite insulators – field experience occurrence and assessment, *Electra*, (2004), No. 214, 40-47
- [7] Gorur R.S., Bernstein B.S., Champion T., Hervig H.C., Orbeck T., Evaluation of polymeric materials for HV outdoor insulation, *CIGRE Session, Paris 1994*, ref. 15-107
- [8] Bärsch R., Jahn H., Lambrecht J., Schmuck F., Test methods for polymeric insulating materials for outdoor HV insulation, *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, (1999), Vol. 6, No. 5, 668-675
- [9] Fleszyński J., Lisowski M., Adamowska M., Świerczyńska Z., Resistance to tracking and erosion of silicone elastomers used in composite insulators, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2001), zeszyt specjalny, APTADM 2001, 225-228
- [10] Tymań A., Prądy upływu na materiałach silikonowych w warunkach mgły solnej, *V Ogólnopolskie Sympozjum Inżynieria Wysokich Napięć*, Poznań-Kiekrz 2000, 399-404
- [11] CIGRE Working Group 15.4, Development of a test technique to assess of polymer's long term ability to suppress leakage current under high voltage and low conductivity salt fog conditions, *Electra*, (2002), No. 201, 8-19
- [12] Materiały EPRI (Technical brief), New 230 kV accelerated aging chamber to test transmission/substation components, *Palo Alto*, (2001)
- [13] Fleszyński J., Metoda badania i oceny prętów S-E rdzeni izolatorów kompozytowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2000), Nr 12, 300-302
- [14] Fleszyński J., Sojda E., Tymań A., Koruba K., Steep front impulse voltage tests of composite insulators, *Int. Symp. on High Voltage Engineering ISH'03*, (2003), Delft 2003
- [15] CIGRE Working Group D1.14, Material properties for non-ceramic outdoor insulation: state of the art, *Electra*, (2004), No. 217, 29-35
- [16] Gorur R.S., Cherney E.A., Burnham J.T., Outdoor insulators, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Ravi S. Gorur Inc., Phoenix 1999
- [17] De La O.A., Gorur R.S., Flashover of contaminated non-ceramic outdoor insulators in a wet atmosphere, *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, (1998), Vol. 5, No. 6, 814-823
- [18] Karady G.G., Flashover mechanism of non-ceramic insulators, *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, (1999), Vol. 6, No. 5, 718-723
- [19] El-Hag A.H., Jayaram S.H., Cherney E.A., Influence of shed parameters on the aging performance of silicone rubber insulators in salt-fog, *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, (2003), Vol. 10, No. 4, 655-664
- [20] Fleszyński J., Sojda E., Żyłka P., Flashover performance of artificially contaminated silicone rubber composite insulators, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2001), zeszyt specjalny, APTADM 2001, 100-103
- [21] Bretuj W., Fleszyński J., Tymań A., Przyspieszona próba starzeniowa izolatorów kompozytowych w komorze deszczowej, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2002), nr 10s, 26-29
- [22] Bretuj W., Fleszyński J., Procesy degradacji silikonowej osłony izolatora kompozytowego w próbie starzeniowej w komorze deszczowej, *Przegląd Elektrotechniczny – Konferencje*, Nr 1, 2004, 23-26

Autorzy: prof. dr hab. inż. Janusz Fleszyński, e-mail: Janusz.Fleszyński@pwr.wroc.pl; prof. dr hab. inż. Zbigniew Pohl, dr inż. Adam Tymań, E-mail: Adam.Tymań@pwr.wroc.pl; dr inż. Krzysztof Wieczorek, e-mail: Krzysztof.Wieczorek@pwr.wroc.pl
Politechnika Wroclawska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, pl. Grunwaldzki 13, 50-377 Wrocław