



Adam TYMAŃ¹, Jacek WAŃKOWICZ², Krzysztof WIECZOREK¹

Politechnika Wroclawska Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii (1), Instytut Energetyki (2)

Własności hydrofobowych pokryć izolatorowych poddanych długotrwałej eksploatacji

Streszczenie. Przedstawiono nowe doniesienia literaturowe dotyczące hydrofobowych pokryć izolatorowych oraz wyniki badań własnych stanu technicznego pokrycia silikonowego RTV w stacji energetycznej 110/6 kV w Hucie Miedzi Głogów. Badania wykonano po 8-letniej eksploatacji pokrytych izolatorów. Stwierdzono dobry stan techniczny pokrycia, gwarantujący dalszą skuteczną ochronę przed przeskokiem zabrudzeniowym.

Abstract. (Property of hydrophobic insulator coatings after long-term services). A new literature information concerning hydrophobic outdoor insulator coatings are given as well as result of own testing the RTV coatings on 110/6 kV substation at the area of Mine of Cooper - Głogow are presented. The testing were carried out after 8 years of services. The obtained results confirmed good technical state of the coating and its further ability to protect insulators against flashover problems.

Słowa kluczowe: wysokie napięcie, elastomer silikonowy, izolator, hydrofobowość.

Keywords: high voltage, silicon rubber, insulator, hydrophobicity.

Wprowadzenie

W celu zapobiegania konsekwencjom wynikającym z rozwoju przeskoku zabrudzeniowego wzdłuż powierzchni izolatorów napowietrznych (porcelanowych i szklanych) pracujących w środowisku o zwiększonym zabrudzeniu stosuje się szereg środków zaradczych. Jednym z nich, stosowanym od około 30 lat, zapewniającym przedłużenie okresu skutecznej pracy istniejących na stacjach, liniach przesyłowych i rozdzielczych izolatorów tradycyjnych oraz zapewniającym w miarę niskie koszty jest stosowanie trwałych silikonowych pokryć izolatorowych RTV (elastomery wulkanizujące w temperaturze otoczenia). Problem przeskoku zabrudzeniowego istnieje od początku rozwoju napowietrznych linii energetycznych. Powoduje on wyłączenia zasilania, co jest niepożądane a w wielu przypadkach bardzo kosztowne. Do rozwoju tego zjawiska dochodzi wtedy, gdy prąd upływu na zabrudzonej, zawilgoconej a więc o zwiększonej konduktywności powierzchni izolatorów osiąga wartości krytyczne. Pokrycia RTV modyfikują właściwości powierzchniowe porcelany i szkła elektrotechnicznego (lub zestarzonych izolatorów kompozytowych) przez stworzenie na ich powierzchni cienkiej warstwy o własnościach hydrofobowych, zapobiegając tworzeniu się filmu wodnego, co z kolei utrudnia przepływ prądu upływu i rozwój przeskoku zabrudzeniowego. Skuteczność działania pokryć wynika nie tylko z własności podstawowego składnika, tj. polimeru silikonowego PDMS (polidimetylosiloksan), ale również z zawartych w nim frakcji niskomolekularnych o budowie liniowej i pierścieniowej, tj. molekuł siloksanowych (lub oleju) o liczbie cząstek $n = 6 \div 15$. Molekuły te, w dobrych pokryciach i przy nie grubych i niezbyt lepkich zabrudzeniach, mają zdolność wypływania na powierzchnię elastomeru lub zabrudzeń, zapewniając wysoką hydrofobowość (niezwilżalność) oraz tak zwany odzysk hydrofobowości po ustąpieniu zbyt intensywnych narażeń (długotrwały ciągły deszcz, wyładowania ulotowe). Stosowany w pokryciach napełniacz ATH ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ – uwodniony tlenek aluminium) zwiększa odporność powierzchni na ślady pełzne i erozję w obecności wyładowań elektrycznych. Innymi składnikami pokrycia są: napełniacz wzmacniający SiO_2 , katalizatory, środki sieciujące, barwniki. Niektóre układy zawierają środki poprawiające adhezję do powierzchni izolatorów. Medium nośne stanowią rozpuszczalniki, np. nafta (lub dla zastosowań „on line” rozpuszczalnik niepalny).

Najwcześniejsze zastosowanie pokrycia miało miejsce w 1968 r. na Wschodnim Wybrzeżu USA. Pierwsze duże zastosowanie było w roku 1987 [1]. Od tego czasu nastąpiło szereg ulepszeń w obszarze lepszej adhezji do powierzchni izolatorów i odporności na rozwój prądów upływu w długim okresie czasu, odporności na degradację właściwości i ułatwienia nakładania pokrycia (nawet pod napięciem).

Dostępne są pokrycia wielu producentów, którzy określają je jako odporne na szereg czynników zewnętrznych. Własności elektryczne i fizyczne są bardzo silnie uzależnione od budowy chemicznej pokrycia, a w szczególności: od ilości i rodzaju polimeru podstawowego, ilości i rodzajów napełniaczy, stopnia usieciowania, ilości PDMS w formie oleju w objętości pokrycia. Ta forma PDMS jest stopniowo usuwana z powierzchni podczas jej nawilżania, jednak stopniowe pękanie łańcuchów chemicznych wewnątrz materiału dostarcza frakcji niskomolekularnej, uniemożliwiając szybkie „wypompowanie” pokrycia. Okres czasu, w którym utrzymywana jest wysoka niezwilżalność i szybkość jej odzysku jest mocno uzależniona od wymienionych wyżej czynników. Różnice dla poszczególnych pokryć są trudno zauważalne dla nowych pokryć. Uwydatniają się one po dłuższym okresie starzenia.

Trudność oceny pokryć wynika również z braku norm dotyczących badań, oceny trwałości i przepisów dotyczących technologii stosowania. Dlatego wielu użytkowników stara się wykonywać swoje własne badania laboratoryjne i polowe obserwacje oraz okresowe oceny stanu pokrycia [2,3].

Dla użytkowników pomocną jest nowo opracowana instrukcja IEEE [4].

Czas życia – czas skutecznego działania pokrycia

Czas skutecznego działania pokrycia, to znaczy zapobiegania powierzchniowym wyładowaniom elektrycznym uzależniony jest od szeregu czynników, takich jak:

- **prawidłowe nałożenie pokrycia.** Niewłaściwie przylegające pokrycie może zostać oderwane przez silny wiatr lub podczas mycia wodą pod ciśnieniem;
- **zbyt gruba lub cienka warstwa pokrycia.** Instrukcja [4] zaleca grubości w zakresie 0,125÷0,7 mm, przy czym grubość 0,38 uważa się za optymalną. Grube pokrycie utrudnia odprowadzenie ciepła, a tym samym zwiększa degradację cieplną (zbyt cienkie jest szybko niszczone oddziaływaniami środowiskowymi);

- **zbyt szybkie narastanie zabrudzeń typu cementowego i zbyt słabe oczyszczanie naturalne.** Czas życia można wydłużyć przez okresowe mycie wodą pod wysokim ciśnieniem;

- **występowanie intensywnych wyładowań ulotowych na okuciach izolatorów** sprzyjające albo zwiększeniu twardości i kruchości, albo zmiękczeniu pokrycia w procesie depolimeryzacji. Podobnie jak dla izolatorów przyjmuje się, że lokalnie natężenie pola w otoczeniu pokrycia nie powinno przekraczać 5-10 kV/cm;

- **występowanie procesu depolimeryzacji** pod wpływem hydrolizy, prowadzące do zredukowania polimeru do stanu lepkiego (proces rewersji polimeru);

- **intensywne wyładowania powierzchniowe.** Jeżeli prądy łuków cząstkowych przekraczają wartość 10 mA przez długi okres czasu, to może mieć miejsce destrukcja polimeru – zluszczenie.

Jeżeli kończy się zdolność pokrycia do hydrofobizacji powierzchniowych zabrudzeń lub utrzymanie instalacji jest ekonomicznie nieuzasadnione (koszty porównywalne z kosztami izolatorów niepokrytych), to taki moment eksploatacji jest końcem życia pokrycia. Na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych można przyjąć, że jest to najczęściej okres od 5 do 20 lat.

Doświadczenia eksploatacyjne

Izolatorowe pokrycia RTV są stosowane w systemach energetycznych wielu krajów: USA, Tajwanu, Tajlandii, Korei, Grecji, Malezji, Indii, Sri Lanki, Tanzanii. Największa liczba instalacji występuje w USA. Pokryte są nie tylko izolatory stacyjne, ale również liniowe na napięcia AC do 345 kV i DC do 500 kV [5].

Według danych zebranych w 1998 r. niektóre z tych pokryć pracowały ponad 10 lat. W tabeli 1 podano wybrane stacje i linie, w których zastosowano pokrycie RTV.

Doświadczenia krajowe dotyczące pokryć izolatorowych są dość skromne i w dużej skali dotyczą praktycznie dwóch wdrożeń. W 1995 r., w celu podniesienia odporności zabrudzeniowej izolatorów wsporczych, aparatowych, przepustów transformatorowych i izolatorów wiszących (na podejściach) zainstalowanych na terenie rozdzielni 110/6 kV Huty Miedzi Głogów pokryto je jednym z bardziej znanych w tym okresie pokryć SYLGARD HVIC [6]. Powierzchnia pokrytych Sylgardem izolatorów wsporczych, osłonowych i liniowych wynosiła ponad 3000 m². Ocenę stanu technicznego pokrycia po 6 latach eksploatacji przedstawiono w [7].

W 1998 roku, na zlecenie PSE S.A. Wschód, Zakład Doświadczalny Instytutu Energetyki nałożył powłoki

z elastomeru silikonowego RTV na izolatory długopniowe porcelanowe typu LG 75/25scv i LG 85/24sv w łańcuchach ŁO2, ŁO3 i ŁPA2 (razem 603 izolatory), których właściwości elektroizolacyjne po okresie 15-20 lat eksploatacji uległy istotnemu pogorszeniu; objawiało się to występowaniem intensywnego ulotu, a niekiedy przeskoków zabrudzeniowych. Izolatory te były eksploatowane w dwóch liniach blokowych 400 kV, łączących Elektrownię Kozienice ze stacją elektroenergetyczną Kozienice. Na powłoki zastosowano materiał o nazwie handlowej CSL 570, a dotychczasowe siedmioletnie doświadczenia eksploatacyjne są jednoznacznie pozytywne [8].

Najważniejszym problemem dla użytkowników pokryć jest czas jego skutecznego działania. Dla pewnych lokalizacji bliskość źródła trudno naturalnie usuwalnych zabrudzeń okres życia może okazać się krótszy niż spodziewany. Brak jest jak dotąd znormalizowanego sposobu określenia tego czasu.

Z publikacji naukowych dotyczących badań laboratoryjnych i polowych pokryć wynikają następujące najważniejsze wnioski:

1. Hydrofobowość powierzchni pokryć charakteryzowana przez kąt zwilżania może się utrzymywać długotrwale pomimo działania wiatru i wody pod warunkiem, że występują odpowiednio długie okresy bez tych narażeń.
2. Istnieje pewne optimum koncentracji napelnacza ATH przy danym rozmiarze cząstek napelnacza, dające najdłuższą żywotność pokrycia. W warunkach laboratoryjnych zbadano 7 pokryć z napelnaczem ATH wykonanych przez różnych producentów. Stwierdzono zauważalne różnice w właściwościach pokryć. Pokrycia o dużej zawartości ATH ulegały szybszemu procesowi starzenia w warunkach kwaśnych deszczy. Istnieje pewne optimum koncentracji napelnacza ATH przy danym rozmiarze cząstek napelnacza, dające najdłuższą żywotność pokrycia.
3. Postęp starzenia jest szybki przy złej adhezji między napelnaczem a polimerem. Wstępnie silanowanie ziarna napelnacza lub właściwy proces technologiczny obniża intensywność starzenia pokrycia.
4. Stopień starzenia rośnie przy wysokiej absorpcji na granicy faz, gdzie napelnacz ATH może okazać się raczej substancją chemicznie aktywną, uczestniczącą w reakcjach prowadzących do tworzenia się w materiale szkodliwych kwasów lub zasad.

Tabela 1. Wybrane zastosowania pokrycia izolatorowego RTV (USA – dane zebrane w 1998 r.)

Miejsce zastosowania	Rodzaj zabrudzenia	Rodzaj izolatorów	Napięcia znamionowe	Czas eksploatacji (lata)
Kalifornia	mgła solna z oceanu	stacyjne i liniowe	12/230	20
Kalifornia	mgła solna z oceanu, przemysłowe, drogowe	HVDC izolatory przepustowe, stacyjne	500 kV DC 138 kV AC	19
New York	sól z morza i ulic	stacyjne	69-345 kV	12
Idaho	nawozy fosforowe	stacyjne	13,8-138 kV	14
Nevada	pył węglowy	stacyjne	69-230	13
Oregon	cement, nawozy	stacyjne	230 kV	20
Teksas	morskie	liniowe i stacyjne	138-345	13
Sri Lanka	morskie	liniowe – hybrydowe koncepcja IEN Warszawa	średnie	5
Huta Miedzi Głogów	przemysłowe	stacyjne liniowe, aparatowe	6/110 kV	10
Kozienice - elektrownia	popioły elektrowniane, mgła z chłodni kominowych	liniowe	400 kV	7

Wyniki badań i ocena stanu technicznego pokrycia po ośmiu - latach eksploatacji na terenie HM Głogów.

Ocena stanu technicznego pokrycia SYLGARD HVIC po poprzednim okresie eksploatacji nie wykazała większych uszkodzeń pokrycia, a stan hydrofobowości oceniono jako zadawalający [7]. Po sześciu latach stwierdzono sporadyczne odpryski pokrycia, najprawdopodobniej spowodowane uderzeniami drobnych kamieni, nieprzekraczające 5 mm² powierzchni. Ponadto zauważono znacznie silniejsze zabrudzenie izolatorów przepustowych 6 kV do rotund (część wewnętrzna rozdzielnic), wynikające z utrudnionego samooczyszczania – konstrukcja osłonięta jest daszkiem nad izolatorami.

Ostatnie badania na terenie rozdzielni w HM Głogów wykonano po 8. letniej eksploatacji. Zakres prac obejmował:

- oględziny powierzchni izolatorów,
- ocenę hydrofobowości metodą pojedynczej kropli oraz metodą Szwedzkiego Instytutu Badawczego (STRI) – zaakceptowana przez IEEE [4],
- badania porównawcze na izolatorach wsporczych w Terenowej Stacji Badań Zabrudzeniowych (TSBZ); ocena hydrofobowości, pomiar prądów upływu,
- wykonanie dokumentacji fotograficznej.

Badania wykonano przy bezdeszczowej pogodzie, która utrzymywała się przez kilka dni poprzedzających badania, a temperatura powietrza wynosiła 20-30°C.

Stacja TSBZ znajduje się w odległości nieprzekraczającej 100 m od obu badanych linii rozdzielni. Izolatory wsporcze w tej stacji zostały pokryte tym samym pokryciem i w tym samym czasie co izolatory badanej rozdzielni. Są one poddane nieco wyższemu narażeniu napięciowemu, równemu najwyższemu fazowemu napięciu robocznemu urządzeń elektroenergetycznych 110 kV.

Według opinii obsługi stacji w okresie od ostatniego badania kontrolnego stanu technicznego pokryć, tj. w ostatnich dwóch latach nie notowano zakłóceń, których przyczyną byłaby nieskuteczność ich działanie. Nie obserwowano zabrudzeniowych wyładowań powierzchniowych na izolatorach wsporczych i osłonach aparaturowych, a także wyładowań ślizgowych na izolatorach przepustowych, zarówno po stronie 6 kV jak i 110 kV.

Podobnie jak po 6. tak i po 8. letniej eksploatacji stwierdzono w miarę jednakowe zabrudzenie na obszarze stacji izolatorów różnych urządzeń (odłączniki, przekładniki napięciowe i prądowe, ograniczniki przepięć, transformatory, mosty szynowe). Zabrudzenie izolatorów ma dalej charakter zabrudzeń pyłowych, suchych w dotyku.

Występuje większe zabrudzenie górnych powierzchni kloszy w stosunku do zabrudzenia pni izolatorów i krawędzi kloszy. Sporadyczne odpryski pokrycia od uderzeń drobnymi kamieniami wyrzucanymi spod kół jeżdżących po stacji samochodów są małe i nie mają wpływu na skuteczność działania pokrycia silikonowego. Stwierdzone poprzednio odpryski nie powiększyły, się, co świadczy o bardzo dobrej przyczepności pokrycia „Sylgard HVIC” do podłoża ceramicznego.

Na izolatorach na których wystąpiło częściowe, nieduże zanieczyszczenie powierzchni wyciekającym olejem (izolatory przepustowe, osłony przekładnika prądowego) nastąpiła miejscowa utrata hydrofobowości, rysunek 1.

Ze względu na fakt, że stan zabrudzenia od poprzedniego badania nie uległ dużej zmianie, a stan zabrudzenia i zesterzenia pokryć był bardzo podobny, badania szczegółowe wykonano na wybranych izolatorach z każdej z grup urządzeń stacyjnych. Obserwacje zachowania się kropli wody o objętości 10 µl, nanoszonych za pomocą precyzyjnej mikropipety na powierzchni zabrudzonych izolatorów, wykazały, że:

- kształt kropli wody charakteryzuje się dużym kątem zwilżania nawet na powierzchniach mocniej zabrudzonych, rysunek 2.

- krople nie rozplývają się po pokryciu, lecz przeciwnie, łatwo się z niego „ześlizgują”.

Świadczy to o wysokiej hydrofobowości pokryć. Wskazuje również na to, że znajdujące się na izolatorach pyłowe zabrudzenia odgrywają pozytywną rolę w mechanizmie hydrofobizacji powierzchni.

Badania hydrofobowości metodą STRI [4,8] polegały na natryśnięciu drobnych kropelek wody destylowanej z rozpylacza na badaną powierzchnię (50-100cm²)



Rys.1. Utrata hydrofobowości izolatorów w miejscach zanieczyszczonych olejem

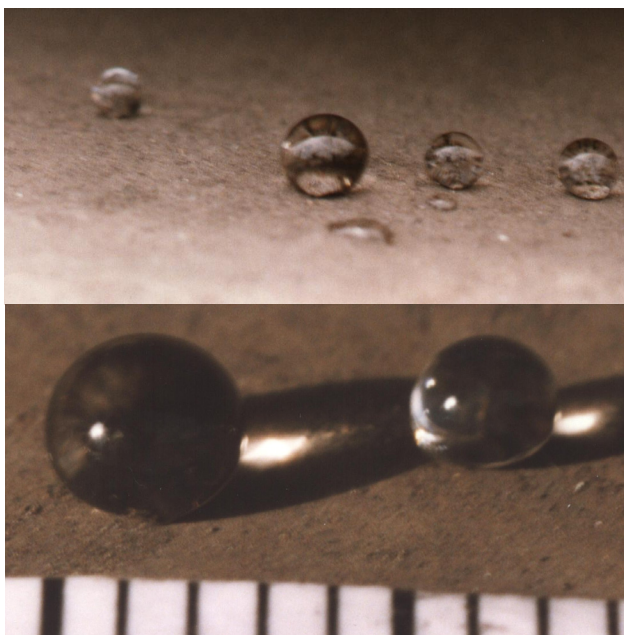
i następnie porównaniu obrazu zmoczonej powierzchni z obrazami wzorcowymi ustalonymi dla siedmiu klas hydrofobowości (od HC1 – powierzchnia niezwilżalna, do HC7 – powierzchnia pokryta filmem wodnym).

Badania wykazały, że pokrycia izolatorów charakteryzują się najwyższymi klasami hydrofobowości HC1 i HC2, mimo 8. letniej eksploatacji. Krople oddzielnie stojące mają bardzo duże wartości kątów zwilżania > 90°, co świadczy o wysokiej hydrofobowości powierzchni.

Izolatory przepustowe (6 kV) rotund, znajdujące się pod daszkiem osłonowym były częściowo pokryte większą ilością zanieczyszczeń na górnych powierzchniach i dopiero po ich delikatnym usunięciu z powierzchni pokrycia wykazały one, że charakteryzują się one klasą HC1 i HC2. Jedyne w miejscach o trwale zmienionym kolorze wyciekami syciwa hydrofobowość jest niższa i odpowiada klasie HC3, rysunek 3.

Wyniki badań porównawczych skuteczności działania pokryć na stacji TSBZ, na której występują bardzo podobne warunki zabrudzeniowe a izolatory wsporcze 110 kV pracują przy nieco wyższym napięciu niż na rozdzielni, wykazały w pełni poprawne zachowanie się pokryć oraz

dobry ich stan po 8. letniej eksploatacji. Badaniami hydrofobowości metodą STRI stwierdzono, że hydrofobowość ich powierzchni jest taka sama jak izolatorów rozdzielni 110 kV/6kV.



Rys.2. Krople wody na powierzchni pokryć: osłony przekładnika napięciowego 110 kV (zdjęcie górne) i bardziej zabrudzonej powierzchni osłony odgromnika zaworowego (zdjęcie dolne)



Rys.3. Zwilżone powierzchnie izolatorów przepustowych 6 kV rotund po usunięciu zabrudzeń pyłowych

Pomiary prądów upływu wykonane przy napięciu stałym (10 kV) na środkowych kłozach izolatorów wsporczych nie różniły się znacznie od wartości zmierzonych po 6-letniej eksploatacji zarówno dla pomiarów powierzchni suchej ($I = 0,5 \div 0,7 \mu A$, zmoczonej wodą destylowaną o konduktywności $1 \mu S$ ($I \leq 20 \mu A$) jak i wodą wodociagową o konduktywności kilkaset μS ($I = 20 \div 25 \mu A$).

Małe wartości prądów upływu również świadczą o nadal wysokiej odporności pokrycia na zwilżanie, mimo wyższego ciągłego narażenia napięciowego. Niewielkie różnice między wartościami prądów przy znacznej różnicy konduktywności wody świadczą o wysoko elektrolitycznym charakterze zabrudzeń na terenie badanej rozdzielni Huty.

Wnioski

Doświadczenia eksploatacyjne trwałych izolatorowych pokryć silikonowych, krajowe i światowe, są pozytywne i wskazują na to, że technologia ta jest metodą skuteczną dla poprawy własności powierzchniowych izolatorów klasycznych pracujących w warunkach o zwiększonym stopniu zabrudzenia naturalnego lub przemysłowego.

Rodzaj zabrudzeń w sposób zdecydowany może wpływać na skuteczność działania i czas życia pokrycia.

Przedłużenie okresu skutecznego działania może w pewnych przypadkach być wydłużone poprzez skuteczne usunięcie zabrudzeń.

Istotna jest dobra adhezja do powierzchni zabrudzeń, aby drobne uszkodzenia nie powodowały dalszego odrywania pokrycia od powierzchni izolatora.

Pokryte izolatory w warunkach zwiększonych zabrudzeń utrzymują swoją wysoką hydrofobowość w okresie podawanym przez ich producentów, tj. przynajmniej 10 lat.

LITERATURA

- [1] Gorur R. S., RTV Silicone Coatings for Ceramic Insulators: Present Knowledge & Future Requirements, *Insulator News & Market Report INMR*, May/June 2003, 44-50
- [2] Homma H., Mirley C. L., Ronzello Joanne, Boggs S. A., Field and Laboratory Aging of RTV Silicone Insulator Coatings, *IEEE Trans. On Power Del.*, Vol. 15, (2000) No. 4 1298-1303
- [3] Goudie J. L., Collins T. P., Development and Evaluation of an Improved RTV Coating for Outdoor Insulation, *Conf. Record of the 2004 IEEE Intern. Symp. On Electrical Insulation, Indianapolis, IN USA*, 19-22 Sept. 2004, 475-479
- [4] IEEE Standards, 1523™ IEEE Guide for the Application, Maintenance, and Evaluation of Room Temperature Vulcanizing (RTV) Silicone Rubber Coatings for Outdoor Ceramic Insulators, *IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society*, 14 March 2003
- [5] Gorur R. S., Solid Polymer Coatings for Ceramic Insulators, *Insulator News & Market Report INMR*, March/April, 9, (2001), 52-57
- [6] Wańkowicz J., Zastosowanie powłok z elastomeru silikonowego RTV na izolatorach w HM Głogów I, *Mat. III Ogólnop. Symp. IW-96*, Kiekrz 1996, s. 21-26
- [7] Fleszyński J., Tymań A., Badania poligonowe silikonowych pokryć izolatorowych – doświadczenia światowe i krajowe, *VI Ogólnopolskie Symp. Inżynieria Wysokich Napięć _ IW 2002, Przegląd Elektrotechniczny*, R.LXXVII. nr 10s,2002, 65-68
- [8] Wańkowicz J., Strużewska E., Kobyliński K., Przybyłowski R., Modernizacja izolacji linii blokowych 400kV w El. Kozienice z wykorzystaniem stałych powłok z elastomerów silikonowych RTV, *VI Ogólnopolska Konf. Nauk- Techn. NIWE 2000*, s. 205-211
- [9] STRI (Swedish Transmission Research Institute), *Guide 1, 92/1 Hydrophobicity Classification Guide*

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

Autorzy: dr inż. Adam Tymań, dr Krzysztof Wieczorek Politechnika Wroclawska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: adam.tyman@pwr.wroc.pl, krzysztof.wieczorek@pwr.wroc.pl
dr hab. inż. Jacek Wańkowicz, Instytut Energetyki, ul. Mory 8, 01 -330 Warszawa E-mail: j.wankowicz@ien.com.pl