



Izolatory napowietrzne z hydrofobowej żywicy epoksydowej

Streszczenie. Przedstawiono badania izolatorów z hydrofobowej żywicy cykloalifatycznej wykonanych w laboratorium wysokonapięciowym Uniwersytetu w Cardiff i na stacji prób w Hucie Miedzi Głogów. Testowano izolatory o powierzchni czystej oraz powierzchni zabrudzonej warstwą stałą. Zbadano odporność żywicy cykloalifatycznej na skoncentrowane wyładowania powierzchniowe o prądzie upływu kilku miliamperów. Nie zaobserwowano transferu hydrofobowości przez warstwę zabrudzeń nawet po czasie dwóch miesięcy od zanieczyszczenia powierzchni izolatora.

Abstract. (Outdoor insulators from hydrophobic epoxy resin). Insulators manufactured from hydrophobic epoxy resin were tested at high voltage laboratory of Cardiff University and at the Glogow pollution test station. The clean insulators or insulators polluted by solid layer were investigated. The material was stressed by concentrated discharges having the current of few mA. No hydrophobicity transfer through pollution layer was observed even two months after insulator pollution.

Słowa kluczowe: narażenie zabrudzeniowe, hydrofobowość, hydrofilność.
Keywords: pollution severity, hydrophobic surface, hydrophilic surface.

Wstęp

Żywice epoksydowe zostały opracowane przez szwajcarskiego chemika P. Castan'a w latach 1930-tych i nieco później przez Amerykanina S.O. Greenle [1]. Jednakże ich zastosowanie, opóźnione przez II wojnę światową, zaczęło się dopiero w latach 1950-tych. Były to produkty reakcji dianu z epichlorohydryną. Cykloalifatyczne żywice epoksydowe, wprowadzone jako produkt przemysłowy w 1963 roku, znalazły zastosowanie jako izolacja napowietrzna dzięki większej odporności na wpływy atmosferyczne, prądy przelające i łuk elektryczny niż zwykle żywice epoksydowe.

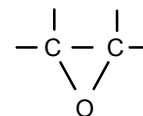
Żywice dianowe epoksydowe są głównym składnikiem licznych kompozycji z różnymi utwardzaczami, przyspieszaczami, substancjami modyfikującymi np. napelniaczami. Ze względu na korzystne właściwości i niewielką cenę, żywice epoksydowe znalazły bardzo szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach. Polarny charakter budowy decyduje o wyjątkowo dobrej przyczepności żywic epoksydowych do bardzo wielu materiałów, np. do metali, szkła, betonu, ceramiki i do wielu tworzyw sztucznych. Wyroby z lanych żywic epoksydowych mogą być produkowane przez odlewanie. Podczas utwardzania żywicy występuje stosunkowo niewielki skurcz, dzięki czemu odlewy dokładnie odtwarzają kształt formy. Dlatego wyroby z żywic epoksydowych mogą mieć znacznie bardziej skomplikowany kształt od wyrobów z porcelany, mają mniejsze wymiary i są znacznie lżejsze. Żywice epoksydowe są także bardziej odporne na udary mechaniczne niż porcelana. Zalety lanych kompozytów epoksydowych umożliwiły wytwarzanie suchych przekładników napięciowych, prądowych i transformatorów na napięcia 110 kV. Są one stosowane do produkcji wielu części aparatów i urządzeń elektrycznych oraz różnych typów izolatorów. Postęp w inżynierii materiałowej umożliwił produkcję izolatorów epoksydowych 132 kV nie tylko do warunków wnetrzowych, ale również do linii napowietrznych. Izolatory te mogą pracować nawet w IV strefie zabrudzeniowej [2] lub jako izolatory przepustowe SN [3].

Własności żywic epoksydowych

Charakterystycznym elementem budowy żywic epoksydowych jest grupa epoksydowa. Jest to trójczłonowy pierścień oksacyklopropanowy złożony z dwu atomów węgla i jednego atomu tlenu (rys. 1).

Połączenie pomiędzy atomem węgla i pierścieniami żywic aromatycznej może stosunkowo łatwo ulec zerwaniu.

Tłumaczy to powstawanie śladu pełnego, przewodzącej ścieżki o znacznej zawartości węgla, spowodowanej lokalnym przegrzaniem materiału przez łuk elektryczny. Żywica cykloalifatyczna jest bardziej odporna na powstawanie śladu pełnego, co wynika z odmiennej struktury cząsteczki.



Rys. 1 Grupa epoksydowa

Właściwości tworzyw epoksydowych zależą od rodzaju napelniacza, jego ilości, a także od obecności innych dodatków, np. rozcieńczalników. Zestawienie właściwości utwardzonej żywicy epoksydowej z różnymi napelniaczami podano w tab. 1. Gęstość utwardzonego kompozytu znacznie wzrasta i wynosi 1,4 ... 2,0 g/cm³ (samej żywicy 1,2 g/cm³).

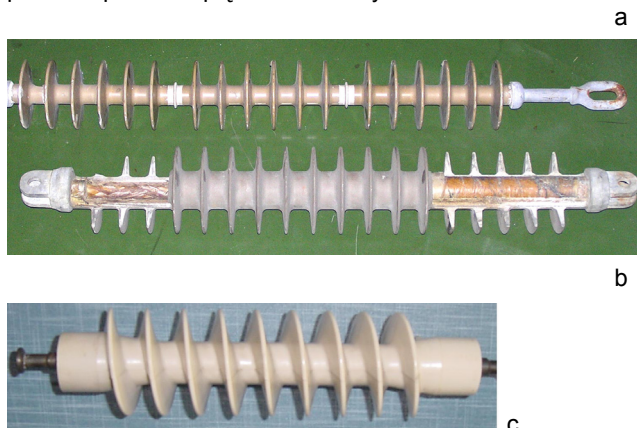
Tabela. 1. Wpływ różnych napelniaczy i ich ilości na właściwości żywicy epoksydowej utwardzonej trójetylenoczweroaminą [4]

Właściwość	Kaolin	Talk	Żywica bez napelniacza
Wytrzymałość na rozciąganie, [Mpa]	65	49	72
Wytrzymałość na zginanie, [Mpa]	85	84	117
Wytrzymałość na ściskanie, [Mpa]	98	161	200
Udarność, [kJ/m ²]	34	34	34
Odporność na łuk elektryczny, [s]	120	160	70
Przenikalność elektryczna ϵ_r	3,4	4,0	3,5
tg δ po 24 h w wodzie, w temp. 25 °C	0,051	0,046	0,036

Absorpcja wody (o temperaturze 50°C) przez kompozyt epoksydowy może być mniejsza niż przez kauczuk silikonowy (odpowiednio 1,5% i 2,8% po 100 h) [5]. Dlatego wytrzymałość elektryczna cykloalifatycznej żywicy epoksy-

dowej po moczeniu w wodzie i po osiągnięciu stanu ustalonego jest znacznie wyższa od wytrzymałości kauczuku silikonowego (odpowiednio 40 kV/mm i 20 kV/mm) [5]. Wytrzymałości tych dwóch materiałów na sucho są podobne i wynoszą około 110 kV/mm. Wytrzymałość elektryczna prętów epoksydowych wzmacnianych włóknem szklanym, mierzona wzdłuż włókien, jest znacznie mniejsza i wynosi tylko 10 kV/mm.

W latach 1970-tych rozpoczęto w Polsce prace mające na celu produkcję izolatorów wysokonapięciowych z żywicy cykloalifatycznej. Tzw. poprzeczniki izolacyjne składały się z izolatora kompozytowego (rys. 2a) oraz z rury izolacyjnej (rys. 2b). Konstrukcja ta miała stanowić izolację linii kompaktowej 110 kV. Ciekawą konstrukcją stanowi również izolator kompozytowy o kłozkach śrubowych dla linii średniego napięcia (rys. 2c). Zasadniczą trudność stanowiło zapewnienie szczelności izolatora przy zmiennym obciążeniu mechanicznym. Izolatory, które poddane zostały próbom mechanicznym były niszczone przez wyładowania podczas prób z napięciem udarowym.



Rys. 2. Prototypowe izolatory kompozytowe z żywicy epoksydowej wyprodukowane w Instytucie Elektrotechniki, Oddział Wrocław.

Możliwości modyfikacji żywic epoksydowych przez inne polimery są praktycznie nieograniczone. Różne żywice i polimery dodaje się do żywic epoksydowych jako środki sieciujące, uelastyczniające, a także w celu zmniejszenia kosztu kompozycji. Związki krzemoorganiczne z grupami epoksydowymi są używane jako środki do preparacji włókien szklanych, stosowanych do wyrobu laminatów i prętów epoksydowo-szklanych. Żywice epoksydowe w tych kompozycjach decydują o dobrej wytrzymałości mechanicznej i adhezji, natomiast silikony o bardzo dużej odporności termicznej.

Stosowane są różne sposoby nadające własności hydrofobowe żywicom epoksydowym [6]. Obecnie powszechnie stosuje się silanizowanie wypełniaczy stosowanych w żywicach epoksydowych, jak również w kauczukach silikonowych. Wypełniacz silanizowany łączy się chemicznie z polimerem, co powoduje wzrost wytrzymałości mechanicznej, a także zmniejszenie chłonności wilgoci. Ponadto technologia ta umożliwia otrzymywanie bardziej jednorodnych produktów wskutek lepszych warunków mieszania.

Własności powierzchniowe hydrofobowych żywic epoksydowych HEP (*hydrophobic epoxy polymers*)

Kompozyty z żywic aromatycznych, opartych na bisfenolu A lub F są tanie, lecz mało odporne na promieniowanie UV i wyładowania powierzchniowe. Kompozyty z żywic alifatycznych a zwłaszcza cykloalifatycznych są znacznie bardziej wytrzymałe na tego typu narażenia. Jednakże ich polarna struktura sprawia, że powierzchnia jest łatwo zwilżalna. Powierzchnia żywic epoksydowych staje się

hydrofobowa podczas procesu odlewania wskutek utworzenia cienkiej, chemicznie związanej, siloksanowej warstewki. W warunkach wewnętrznych, przy bardzo niewielkim zanieczyszczeniu powierzchnia izolatorów epoksydowych powoli traci własności hydrofobowe. Statyczny kąt zwilżania na gładkiej, niestarzonej powierzchni wynosi około 110° [7]. Z upływem czasu, zależnie od intensywności narażenia (stopień zabrudzenia, wielkość prądu upływu i wyładowań) powierzchnia matowieje, a kąt zwilżania ulega zmniejszeniu. Powłoka ta może być również łatwo zniszczona przez porysowanie lub inne narażenia, np. burze piaskowe.

Utrata hydrofobowości umożliwia utworzenie się ciągłej warstwy zabrudzeniowej, wzrost prądu upływu i intensyfikację wyładowań powierzchniowych. Odporność polimeru na ślad pełzny i erozję decyduje o jego stosowaniu w warunkach napowietrznych. Tę właściwość materiałową testuje się przy pomocy metody pochylej próbki [8]. Odporność aromatycznych żywic epoksydowych wynosi około 2,5 kV, żywic cykloalifatycznych i hydrofobowych żywic cykloalifatycznych – 3,5 kV [9].

W warunkach zabrudzeniowych nawet bardzo słabe wyładowania powierzchniowe powodują szybką utratę hydrofobowości powierzchni epoksydowej. Jednakże dzięki szerokim możliwościom modyfikacji żywic epoksydowych, przez dodatki polimerów silikonowych można nadać żywicom epoksydowym własności hydrofobowe zbliżone do właściwości elastomerów silikonowych. Efektywność tych modyfikacji jest ciągle niejasną kwestią. Dlatego podjęto badania własne w celu wyjaśnienia tego zagadnienia.

Obiekty badań

Żywica epoksydowa, z której odlano badane izolatory (rys. 1) zawiera ok. 60% silanizowanej mączki kwarcowej. Dzięki temu powierzchnia izolatora jest hydrofobowa. Izolatory te odlane zostały z materiału dostarczonego przez firmę specjalizującą się w produkcji żywicy hydrofobowej. Dane konstrukcyjne znajdują się w tab. 2. Własności hydrofobowe i transfer hydrofobowości przez warstwę zanieczyszczeń zbadano również na płaskiej płytce wykonanej na Uniwersytecie w Braunschweigu.

Tabela. 2. Wymiary konstrukcyjne izolatorów

Parametr izolatora	[cm]
Wysokość:	27,5
Droga upływu	60
Średnica pnia między kłozkami	5,5
Średnica kłozki	12,5
Odstęp między kłozkami	3



Rys. 3. Badany izolator

Procedura badawcza

Badania pojedynczego izolatora średniego napięcia wykonano w komorze do prób zabrudzeniowych na Uniwersytecie w Cardiff. Izolator poddano testom napięciowym przy różnym stanie powierzchni i nawilgacania. Wykonywano pomiary prądu upływu, obserwowano zmiany zwilżalności powierzchni i wyładowania elektryczne. Na izolatorze

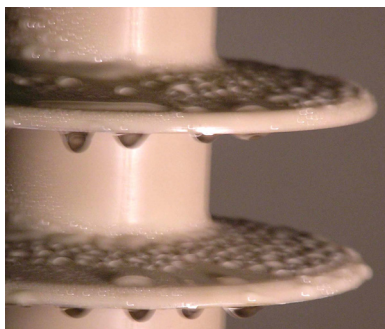
oraz na płaskiej płytce wykonano obserwacje nawilgacania i transferu hydrofobowości przez warstwę kaolinu. Cztery izolatory połączone w jedną kolumnę zawieszono na stacji prób w Hucie Miedzi Głogów w maju 2003. Na izolatorach wykonano pomiary konduktywności powierzchniowej i obserwacje zwilżalności naturalnej warstwy zabrudzeniowej.

Próby izolatora o czystej powierzchni

Mgła o konduktywności $250 \mu\text{S}/\text{cm}$ wytwarzana była z dwóch dysz umieszczonych na wysokości 130 cm w rogach komory o wymiarach $2 \times 2 \times 3$ m (długość, szerokość, wysokość). Wydatek wody z jednej dyszy wynosił 21 ml/min, zatem intensywność nawilgacania $210 \text{ l}/\text{m}^3\text{h}$, opad pionowy ok. 0,7 mm/h.

Prąd podczas próby wykonywanej przy napięciu 20 kV wzrastał stopniowo od wartości $30 \mu\text{A}$ (prąd pojemnościowy przy izolatorze suchym) do $60 \mu\text{A}$ zmierzonym po 1,5 h. Następnie wzrost prądu uległ znacznemu zmniejszeniu, po 3 h wynosił $70 \mu\text{A}$. Nie zauważono żadnych wyładowań elektrycznych. Po 3 godzinach wykonano zdjęcia powierzchni izolatora (rys. 4).

Po 3 godzinach próby podniesiono napięcie. Przy 30 kV zauważono pierwsze punktowe wyładowania elektryczne pod kłozkami i na pniu, które zaklasyfikować można jako wyładowania koronowe z kropli wody (water drop corona).



Rys. 4. Krople wody na kłozkach po 3 godzinach testu w komorze mgłowej

Wykonano również próbę moczenia izolatora w wodzie o temperaturze pokojowej. Nawet po 3 miesiącach badany izolator zachował hydrofobowość na znacznej części powierzchni. Natomiast próbka z klasycznej żywicy cykloalifatycznej stała się całkowicie zwilżalna zaledwie po kilku dniach.

Próby z równomierną warstwą zabrudzeniową z kaolinu

Hydrofobowa powierzchnia izolatora uniemożliwiła naniesienie równomiernej warstwy zabrudzeniowej przez zanurzenie izolatora w suspensji o zawartości kaolinu 40 g/l. Dlatego zastosowano metodę proponowaną do zabrudzenia izolatorów silikonowych [10].

Konduktywność suspensji wynosiła 160 mS/cm. Zanieczyszczenie to odpowiada wg. normy IEC 60507 IV strefie zabrudzeniowej. Wykonano dwie dwugodzinne próby zabrudzeniowe przy napięciu 14 kV. Podczas próby obserwowano typowe wyładowania zabrudzeniowe o prądzie przekraczającym 20 mA. Po zmyciu izolatora po drugiej próbie zauważono pod górnym kłozkiem zacieknienie powierzchni spowodowane śladowym zwęglaniem żywicy epoksydowej.

Sucha warstwa kaolinu na powierzchni żywicy epoksydowej absorbuje kroplę wody. Zabrudzony warstwą stałą izolator ma powierzchnię hydrofilową. Dopiero po zmyciu warstwy zabrudzeniowej, kąt zwilżania kropli wody naniesionej na powierzchnię wynosi około 90° .

Próby z nierównomiernym zanieczyszczeniem

W naturalnych warunkach zabrudzeniowych wyładowania elektryczne mogą koncentrować się na niewielkiej części izolatora. Wyładowania tego typu, charakteryzujące się niewielkim prądem upływu o wartości rzędu 5 mA są stabilne (palą się w tym samym miejscu). Przy niewielkiej intensywności nawilgacania (mżawka, gęsta mgła) o długim czasie trwania, wyładowania te mogą powodować degradację izolacji polimerowej [11].

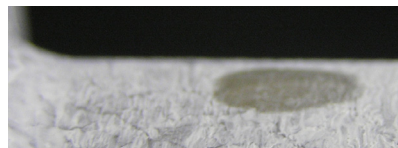
W celu wymuszenia wyładowań tego rodzaju przeprowadzono próby przy nierównomiernym zabrudzeniu oraz przy nawilganiu czystą, zimną mgłą z dysz lub z nawilganiem parą. Nawilganie mżawką z dwóch dysz nie jest idealnie równomierne. Bardzo ważna jest wysokość zawieszenie izolatora względem dysz. Jeśli izolator zawieszony jest powyżej wylotu dysz, nawilganie jest mniej intensywne, a na jego powierzchnię padają drobne, lżejsze kropelki. Jeśli izolator zawieszony jest niżej wylotu dysz to nawilganie jest intensywniejsze, lecz bardzo nierównomierne. Górne powierzchnie kłozki są znacznie bardziej mokre niż ich części dolne.

Zbyt intensywne wyładowania powodują lokalne nagrzanie się powierzchni, wydłużenie się strefy suchej, ograniczenie wyładowań w tym miejscu oraz możliwość zapłonu wyładowań w innym, „nie chcianym” miejscu. Z tego powodu bardzo trudno jest utrzymać wyładowania w jednym miejscu izolatora pomiędzy kłozkami. Znacznie łatwiej jest zapewnić stabilne, długotrwałe wyładowania przy okuciu górnym.

Izolator zanurzano w suspensji kaolinu 40 g/l o konduktywności $0,26 \text{ mS}/\text{cm}$. Po wysuszeniu, izolator zanurzano w suspensji o konduktywności $5,2 \text{ mS}/\text{cm}$ nie zabrudzając pnia pomiędzy okuciem górnym i górnym kłozkiem. Przy takim nierównomiernym zabrudzeniu, wyładowania przy okuciu górnym mogą palić się bardzo długo. Podczas 4 godzinnej próby, pod elektrodą wysokonapięciową paliły się łuki poprzeczne wraz z wyładowaniami koronowymi. Po zmyciu izolatora, w miejscu, gdzie paliły się wyładowania koronowe powstał szeroki na 1 cm pas, wyróżniający się utratą połysku. Hydrofobowość powierzchni na matowym pasku nie uległa jednak znaczącemu pogorszeniu (rys. 5). Na rysunku 6 pokazano zaabsorbowaną przez warstwę kaolinu kroplę wody. Badana żywica jest hydrofobowa tylko w stanie czystym, jej zabrudzona powierzchnia staje się hydrofilna.



Rys. 5. Matowy pas powstały wskutek stabilnych niepełnych wyładowań powierzchniowych



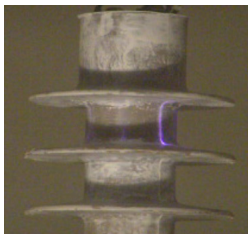
Rys. 6. Kropla wody zaabsorbowana przez warstwę zabrudzeń na hydrofobowej żywicy epoksydowej

Próby z nawilganiem parą przeprowadzono w celu sprawdzenia czy możliwe jest utrzymanie stabilnych, skoncentrowanych wyładowań pomiędzy kłozkami. Do wytwarzania pary zastosowano boiler elektryczny, który podgrzewał wodę do temperatury 97°C i zapewniał wydatek pary $1 \text{ l}/\text{h}$. Przy objętości komory 12 m^3 – intensywność

nawilgacania wynosi $80 \text{ g/m}^3 \text{ h}$. Taka niewielka intensywność nawilgacania powoduje, że w trwającej 4 godziny próbie splukiwania warstwy jest znikome.

Izolator Vantico zabrudzono nierównomiernie tak samo jak w próbie z czystą mgłą. Pień pomiędzy dwoma kłozkami był zabrudzony mniej, suspensją o konduktywności $0,25 \text{ mS/cm}$, pozostała część izolatora – suspensją o konduktywności 5 mS/cm . Zabrudzenie o mniejszej konduktywności na pniu pomiędzy kłozkami również absorbuje wilgoć i powoduje tłumienie wyładowań. Dlatego oczyszczono pień pomiędzy kłozkami 1-2 i próbę wznowiono.

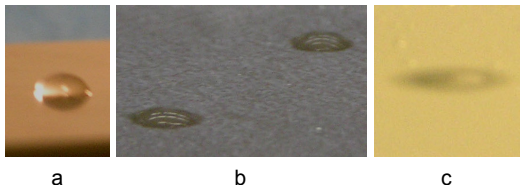
Już po kilku minutach prąd wzrósł do ok. $0,5 \text{ mA}$, przy czym jego kształt był bardzo odkształcony, z intensywnymi wyładowaniami niezupełnymi. Co sekundę zapalały się drobne łuki o prądzie ok. 5 mA . Dzięki zastosowaniu cyklowi załączania/wyłączania boileru co 1 godzinę, udało się utrzymać takie wyładowania aż przez 4 godziny. Wyładowania te zapalają się w tym samym miejscu i nie wędrują wokół pnia tak jak łuki o prądzie $10\text{-}20 \text{ mA}$. Rynek 7 będący pojedynczym kadrem z nakręconego filmu pokazuje wyładowanie o amplitudzie ok. 5 mA palące się na szwie poprodukcyjnym. Obserwacje te tłumaczą większą degradację powierzchni polimerowej w zakresie prądów 5 mA i w okolicach szwów.



Rys. 7. Łuk poprzeczny o amplitudzie 4 mA na szwie poprodukcyjnym

Badania na płaskiej płytce z hydrofobowej żywicy epoksydowej

Wykonano obserwacje zwilżalności powierzchni przy niewielkim zabrudzeniu kaolinem ($DDD = 0,3 \text{ mg/cm}^2$) i przy intensywnym zabrudzeniu ($DDD = 4 \text{ mg/cm}^2$). Obserwacje kropli przeprowadzono dopiero po 15 dniach od zabrudzenia próbki, aby umożliwić ewentualną hydrofobizację zanieczyszczeń. Na cienkiej warstwie zabrudzeń kropla jest tylko częściowo absorbowana (rys. 8b), natomiast gruba warstwa zabrudzeń całkowicie pochłania kroplę (rys. 8c). Hydrofobizacji zanieczyszczeń nie zaobserwowano nawet po 2 miesiącach.



Rys. 8. Kropla wody na płaskiej próbce HEP: a – powierzchnia czysta, b – powierzchnia lekko zabrudzona, c – powierzchnia intensywnie zabrudzona

Próba w warunkach naturalnych

Kolumna 4 izolatorów testowana jest pod napięciem 75 kV na stacji prób w Hucie Miedzi Głogów od maja 2003. Jednostkowa droga upływu wynosi $1,8 \text{ cm/kV}$ i odpowiada I strefie zabrudzeniowej, do której jest zakwalifikowany teren stacji [12]. Po 18 miesiącach zauważono wyraźne zmiany koloru powierzchni, lecz żadnych oznak erozji.

Konduktywność powierzchniowa, zmierzona sondą paskową w okresie bez deszczów, wynosiła od 5 do $25 \mu\text{S}$. Po zawilgoceniu izolatora przy pomocy ręcznego spryskiwacza pyły na powierzchni absorbują wodę tworząc ciągłą powłokę. Nie ma żadnych oznak hydrofobizacji zanieczyszczeń.

Wnioski

Czysta powierzchnia izolatora z żywicy epoksydowej HEP jest hydrofobowa. Natomiast sztuczna i naturalna warstwa zabrudzeniowa na tym materiale jest hydrofilna. W przeciwieństwie do kauczuku silikonowego żywica epoksydowa HEP nie hydrofobizuje zanieczyszczeń.

Badana żywica hydrofobowa jest materiałem wykazującym znacznie korzystniejsze właściwości od klasycznej żywicy cykloalifatycznej. Po kilku dniach moczenia w wodzie żywica cykloalifatyczna stała się całkowicie hydrofilna, natomiast żywica HEP zachowała hydrofobowość na znacznej części powierzchni nawet po 3 miesiącach moczenia w wodzie.

Zaproponowana próba zabrudzeniowa wykonywana przy nierównomiernym zabrudzeniu umożliwia utrzymanie wyładowań na niewielkiej części izolatora przez czas kilku godzin. Może być to, więc próba przyspieszonego starzenia izolatorów w krytycznych warunkach zabrudzeniowych.

LITERATURA

- [1] Jahn H., Epoxidharze. VEB Deutcher Verlag fuer Grundstoffindustrie. Leipzig 1969
- [2] Shige W., Hongwei Qi, The application of cycloaliphatic epoxy outdoor insulators in heavily polluted industrial area, *Power System Technology*, (in Chinese), Jan. 1998, 8-10
- [3] Pihler J., Ticar I., Vorsic J., Epoxy bushing used in medium voltage switchgear, *IEEE Int. Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics*, New York 1998, 506-509
- [4] Brojer Z., Hertz Z., Penczek P., *Żywice epoksydowe*, WNT Warszawa 1982
- [5] Gorur R.S., A laboratory test for tracking and erosion resistance of HV outdoor insulation, *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, Dec. 1997, 767-774
- [6] Kalternborn U., Meier P., Dirix Y., Loss and recovery hydrophobicity of novel hydrophobic epoxy resins, *Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP'2002*
- [7] Pilling J., Chrzan K., Hofmann J., Baersch R., Artificial aging of polymer insulation surface in a clean fog chamber and its evaluation, *8th International Symposium on High Voltage Engineering ISH*, Yokohama 1993, paper 47.04
- [8] IEC 587, Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion resistance of electrical insulating materials used under severe ambient conditions, 1986
- [9] Beisele C., Kulzov B., Experiences with new hydrophobic cycloaliphatic epoxy outdoor insulation systems, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, July/Aug. 2001, 33-39
- [10] de la O A., Gorur R.S., AC clean fog tests on non ceramic insulating materials and a comparison with porcelain, *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 9, 1999, 200-2008
- [11] Chrzan K.L., Concentrated discharges and dry band on polluted outdoor insulators, *13th Int. Symp. on HV Engineering*, Delft, Netherlands, 2003, one page abstract pp. 227
- [12] Chrzan K.L., Pollution test station Głogów, twenty years of research, *13th Int. Symp. on HV Engineering, Delft, Netherlands*, 2003, one page abstract pp. 202

Autor wyraża podziękowanie Prof. R. Waters'owi i dr A. Haddad'owi za możliwość wykonania testów w laboratorium wysokich napięć Uniwersytetu w Cardiff.

Autor: dr inż. Krystian Chrzan, Politechnika Wrocławska, Instytut Postaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Wyb. Wyspiańskiego 27, E-mail: krystian.chrzan@pwr.wroc.pl