

Janusz Fleszyński<sup>1</sup>, Edward Sojda<sup>1</sup>, Adam Tymań<sup>1</sup>

## BADANIA ZABRUDZENIOWE IZOLATORÓW SEPARACYJNYCH UKŁADU ŚWIATŁOWODOWEGO LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH 15 KV

**Streszczenie:** Postęp jaki nastąpił w technologii wytwarzania włókien światłowodowych stworzył możliwości ich wykorzystania w przesyłce informacji liniami elektroenergetycznymi wysokiego napięcia. Jednym z możliwych rozwiązań technologicznych jest montowanie przewodów światłowodowych w przewodach roboczych linii elektroenergetycznych średnich napięć. Takie rozwiązanie wdrażane przez Energoprojekt Kraków S.A. w krajowych liniach 15 kV, wymaga stosowania specjalnych izolatorów separacyjnych, pracujących pod napięciem fazowym linii. Konstrukcja takich izolatorów powinna uwzględniać między innymi pracę w napowietrznych warunkach zabrudzeniowych. W artykule przedstawiono wyniki laboratoryjnych badań zabrudzeniowych, wykonanych na przestrzeni kilku lat, różnych konstrukcji izolatorów przeznaczonych do separacji układu światłowodowego linii elektroenergetycznych 15 kV.

**Słowa kluczowe:** linia elektroenergetyczna, linia światłowodowa, izolator separacyjny, badania zabrudzeniowe.

### 1. Wstęp

W ramach restrukturyzacji polskiej elektroenergetyki dokonywany jest rozwój systemów telekomunikacyjnych. Między innymi na liniach 15 kV zostało zastosowane przez Energoprojekt Kraków S.A. i firmę Alcoa Fujikura Ltd. rozwiązanie polegające na wymianie jednego z przewodów fazowych na przewód z wbudowanymi włóknami światłowodowymi [1]. Pierwsze specjalne izolatory separacyjne produkcji Alcoa zostały dostarczone do badań w 1994 r. [2]. Konstrukcja tych izolatorów była modyfikowana w następnych latach, aż do opracowania w 1998 r. krajowej konstrukcji obecnie stosowanych izolatorów separacyjnych.

Badania opracowywanych prototypowych izolatorów obejmowały próby napięciem przemiennym pod deszczem, napięciem udarowym piorunowym na sucho oraz badania zabrudzeniowe, których wyniki okazały się szczególnie istotne w rozwoju konstrukcji izolatora separacyjnego układu światłowodowego krajowych linii elektroenergetycznych 15 kV.

<sup>1</sup> Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej

Pierwsze izolatory separacyjne zbudowane były z rurowego izolatora poliwęglanowego połączonego giętką osłoną nylonową z dolnym okuciem (portem). Okucie górne izolatora poliwęglanowego i okucie dolne osłony nylonowej wyposażone było w układ specjalnych uszczelnień zapewniających szczelność, uniemożliwiającą penetrację wilgoci. Izolatory te oznaczono nr I.

Izolatory nr II posiadały hydrofobową warstwę lakierową, nałożoną na zewnętrzną powierzchnię w celu poprawy właściwości izolacyjnych. Pozostałe elementy konstrukcyjne były identyczne jak w izolatorach nr I. Odstęp izolacyjny tych izolatorów, obejmujący rurę poliwęglanową i giętką rurę nylonową, wynosił 558 mm. Na rysunku 1a pokazano izolator nr II na stanowisku probierczym.

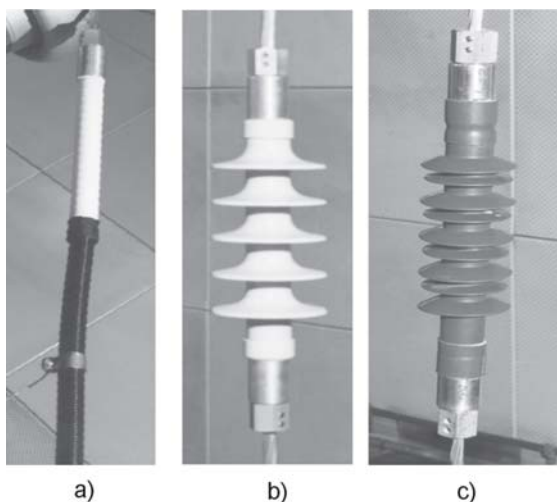
Opracowane następnie konstrukcje izolatorów separacyjnych były wykonane z wykorzystaniem rurowego izolatora z poliwęglanu, zmodyfikowanego w ten sposób, że na obu jego końcach były zamontowane okucia uszczelniające (porty). W nowej konstrukcji została wyeliminowana giętka rura nylonowa, a na rurowy izolator poliwęglanowy zostały nałożone polimerowe osłony z kloszami.

Izolatory separacyjne oznaczone nr III miały osłonę wykonaną z kauczuku silikonowego RTV (Rys. 1b).

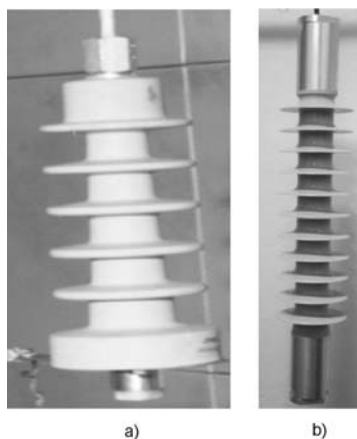
Izolatory separacyjne oznaczone nr IV posiadały natomiast osłonę wykonaną z termokurczliwego materiału izolacyjnego (Rys. 1c).

Ostatnią konstrukcją izolatorów separacyjnych wykonanych na bazie rurowego izolatora poliwęglanowego były izolatory z osłoną z betonu polimerowego. Oznaczono je nr V (Rys. 2a).

Izolatory oznaczone nr VI (Rys. 2b) są krajową konstrukcją produkowaną obecnie przez Zakład Doświadczalny Instytutu Elektrotechniki w Międzyzlesiu k/Kłodzka na zlecenie Energoprojektu Kraków S.A. W izolatorach tych rura poliwęglanowa została zastąpiona rurą szkłano-epoksydową oraz zmieniono kształt osłony z kauczuku silikonowego RTV.



**Rys. 1.** Izolatory separacyjne układu światłowodowego linii 15 kV. a) izolator nr II poliwęglanowy pokryty powłoką hydrofobową, b) izolator nr III z osłoną z kauczuku silikonowego, c) izolator nr IV z osłoną z kauczuku termokurczliwego



**Rys. 2.** Izolatory separacyjne układu światłowodowego linii 15 kV: a) izolator nr V z betonu polimerowego, b) izolator nr VI z osłoną z kauczuku silikonowego RTV

## 2. Badania izolatorów separacyjnych przy sztucznym zabrudzeniu

Wszystkie izolatory były badane w laboratorium przy sztucznym zabrudzeniu. Zgodnie z normą IEC [3] napięcie probiercze  $U_p$  wynosiło:

$$U_p = 1,3 \frac{U_m}{\sqrt{3}} = 13,1 kV$$

gdzie:  $U_m$  – najwyższe napięcie robocze linii (18 kV).

Napięcie to w czasie próby było podawane na zabrudzony sztuczną warstwą izolator z zaczepowego transformatora TPZ 300 o mocy  $S = 300$  kVA. Jeżeli w czterech kolejnych próbach dla danej konduktywności powierzchniowej  $\kappa$  sztucznej warstwy zabrudzeniowej nie wystąpił przeskok, wynik badania był dodatni. Jeżeli wystąpił jeden przeskok w czterech próbach, wykonywano piątą próbę, która była decydująca – przeskok decydował o wyniku ujemnym, brak przeskoku dawał wynik dodatni.

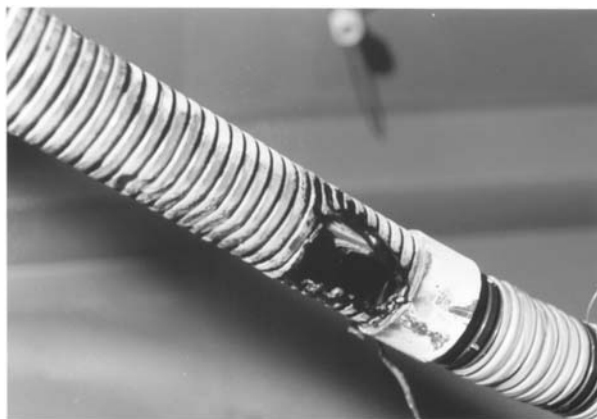
Jedynie w badaniach zabrudzeniowych rurowego izolatora poliwęglanowego (oznaczonego nr I) sztuczna warstwa zabrudzeniowa była naniesiona zgodnie z normą IEC [3]. Wprawdzie norma ta dotyczy badań izolatorów porcelanowych i szklanych, zastosowanie jej do badania izolatora poliwęglanowego było jednak możliwe, ponieważ powierzchnia jego po odtłuszczeniu nie wykazywała właściwości hydrofobowych. Pozostałe izolatory separacyjne za wyjątkiem izolatora z betonu polimerowego wykazywały powierzchniowe właściwości hydrofobowe. Zalecane przez normę IEC sztuczne warstwy zabrudzeniowe oraz zalecane sposoby ich nanoszenia nie nadają się do izolatorów z osłonami hydrofobowymi. Opracowano zatem własną metodę nanoszenia równomiernej warstwy zabrudzeniowej na tego typu izolatory [4]. Optymalnym składem mieszaniny do nanoszenia warstwy zabrudzeniowej okazał się kaolin w ilości 400 g na 1 litr wody wodociągowej z dodatkiem 10 ml detergentu. Konduktywność mieszaniny  $\gamma$  zmieniano dodając odpowiednie ilości soli kuchennej. Na powierzchnię izolatorów warstwa nakładana była pędzlem. Po wyschnięciu warstwa wizualnie była równomierna, nie popękana, i nie łuszcząca się. Zawilgacanie warstwy odbywało się w komorze mgielnej. W trakcie zawilgacania mierzono rezystywność warstwy. Izolator nada-

wał się do prób zabrudzeniowych w momencie, gdy mierzona rezystywność osiągała stabilną najniższą wartość.

Zaletą przyjętej metody badań zabrudzeniowych była możliwość porównania kształtów izolatorów separacyjnych wykonanych z bardzo różnych materiałów izolacyjnych. Metoda ta eliminuje wprawdzie wpływ właściwości hydrofobowych powierzchni izolatorów, które w naturalnych warunkach eksploatacyjnych odgrywają ważną rolę. Uwzględniając jednak występujące w praktyce zjawiska utraty hydrofobowości powierzchni polimerowych izolatorów [4], jest ona merytorycznie uzasadniona.

### 3. Wyniki badań zabrudzeniowych izolatorów separacyjnych układu światłowodowego linii 15 kV

Ponieważ pierwsze badania zabrudzeniowe wykonane na izolatorze poliwęglanowym (oznaczony nr I), wykazały całkowitą nieodporność osłony nylonowej na wyładowania zabrudzeniowe, wszystkie następne badania wykonywano tylko na części poliwęglanowej o odstępnie izolacyjnym  $L = 305$  mm. Widok uszkodzonej osłony nylonowej po pierwszej próbie zabrudzeniowej pokazano na rysunku 3. W trakcie następnych prób zabrudzeniowych wykonywanych tylko na części poliwęglanowej stwierdzono powstawanie wielu śladów pełnych – co potwierdziło dane materiałowe o nieodporności poliwęglanu na powierzchniowe wyładowania elektryczne.



Rys. 3. Widok uszkodzonej osłony nylonowej izolatora nr I po próbie zabrudzeniowej

Znacznie bardziej odporne na wyładowania powierzchniowe były materiały osłonowe izolatorów nr III, IV, V i VI, które w próbach zabrudzeniowych nie ulegały wyraźnej degradacji.

Ważnym wynikiem badań laboratoryjnych izolatorów jest wyznaczenie konduktywności wytrzymywanej warstw zabrudzeniowych, determinującej dobór izolatorów do eksploatacji w różnych strefach zabrudzeniowych. Uzyskane wyniki tych badań, dla wszystkich konstrukcji izolatorów separacyjnych, zamieszczono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Wyniki badań zabrudzeniowych izolatorów separacyjnych przy  $U_p = 13,1 \text{ kV}$

Oznaczenie izolatora	Wyniki prób zabrudzeniowych					
	Konduktywność warstwy zabrudzeniowej $\kappa$ [ $\mu\text{S}$ ]/strefa zabrudzeniowa					
	8/I	15/II	30/III	40/III	50/IV	60/IV
Izolator nr I	dodatni	<b>ujemny</b>	-	-	-	-
Izolator nr II	dodatni	dodatni	<b>ujemny</b>	-	-	-
Izolator nr III	-	dodatni	dodatni	dodatni	dodatni	<b>ujemny</b>
Izolator nr IV	-	dodatni	dodatni	dodatni	<b>ujemny</b>	
Izolator nr V	-	dodatni	dodatni	dodatni	dodatni	<b>ujemny</b>
Izolator nr VI	-	dodatni	dodatni	dodatni	dodatni	<b>ujemny</b>

Jak widać izolatory nr VI, proponowane obecnie przez Energoprojekt Kraków S.A. do zastosowania w układach światłowodowych linii elektroenergetycznych 15 kV, mogą być eksploatowane nawet w IV strefie zabrudzeniowej.

#### 4. Podsumowanie

Wyniki laboratoryjnych badań wytrzymałości elektrycznej w warunkach sztucznych zabrudzeń są podstawowe w ocenie i doborze napowietrznych izolatorów wysokiego napięcia. W przypadku izolatorów porcelanowych i szklanych metodyka tych badań jest znormalizowana [3]. Hydrofobowość powierzchni izolatorów polimerowych powoduje jednak, że dla uzyskania równomiernych i dobrze przylegających do powierzchni izolatorów sztucznych warstw zabrudzeniowych trzeba stosować inny ich skład i sposób nanoszenia. Problemowi temu poświęcono w tej pracy wiele badań, uzyskując zadawalającą metodę przygotowania polimerowych izolatorów separacyjnych układu światłowodowego linii elektroenergetycznych 15 kV do prób zabrudzeniowych.

Wyniki wysokonapięciowych badań zabrudzeniowych, dyskwalifikujące izolatory separacyjne proponowane przez firmę Alcoa Fujikura Ltd, spowodowały podjęcie prac nad krajową konstrukcją takich izolatorów. Ich wynikiem jest produkcja w Zakładzie Doświadczalnym Instytutu Elektrotechniki w Międzyzlesiu, na zlecenie Energoprojektu Kraków S.A., nowoczesnych izolatorów separacyjnych składających się z rury szklano-epoksydowej pokrytej osłoną z kauczuku silikonowego RTV. Izolatory te przeszły wszystkie badania laboratoryjne z wynikiem pozytywnym.

## Literatura

- [1] **Argasińska H., Musiał T., Skoczek M., Wyszogrodzki Z.:** *Pierwsza w Polsce instalacja telekomunikacyjnego łącza światłowodowego na liniach 15 kV z wykorzystaniem przewodu fazowego z wbudowanymi włóknami światłowodowymi (POT-PC)*, Energetyka, 1996, nr 5, s.314-320
- [2] **Argasińska H., Fleszyński J., Sojda E., Tymań A.:** *Special insulator for installation of optical phase conductor on 15 kV line*, 10th Int. Symp.on High Voltage Engineering, Montreal, 1997, pp. 141-144
- [3] Publikacja IEC 507- *Artificial pollution tests of high-voltage insulators to be used on AC systems*, 1991
- [4] **Kim J., Chaudhury K., Owen M.J.:** *Hydrophobicity loss and recovery of silicone HV insulation*, IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 1999, Vol .6, No 5, pp. 695-702

### POLLUTION TESTS ON SPECIAL INSULATORS FOR OPTICAL CABLE COMMUNICATION SYSTEM ON 15 KV POWER LINES

One of the technological solutions of the information transfer over power lines consists in assembling of optical cables inside of 15 kV power line conductors. Such a solution involves application of special insulators working under full line phase voltage. This paper presents results of laboratory pollution tests carried on various designs of those insulators.