

## Oślony elektroizolacyjne szyn sztywnych 110 kV jako element dodatkowej ochrony przeciwporażeniowej

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono procedurę i wyniki badań mających na celu sprawdzenie przydatności i poprawności działania osłony elektroizolacyjnej szyn sztywnych 110 kV, przeznaczonej do poprawy ochrony przeciwporażeniowej. Rozważono różne rozwiązania konstrukcyjne oraz warunki pracy osłony. Wskazano główne ograniczenia konstrukcyjne oraz możliwości ich uniknięcia.

**Abstract.** The article presents the procedure and the results of studies performed to verify the suitability and operation of the electro-insulating cover designed to improve the protection against contact with live part of rigid busducts 110 kV. The different designs and working conditions of cover were considered. The main constructional limitations and the possibilities to avoid them were indicated. (**Electro-insulating covers of rigid busducts 110 kV as part of the additional shock protection**).

**Słowa kluczowe:** osłony elektroizolacyjne, szyny sztywne 110 kV, ochrona przeciwporażeniowa.

**Keywords:** electro-insulating covers, rigid busducts 110 kV, shock protection.

### Wstęp

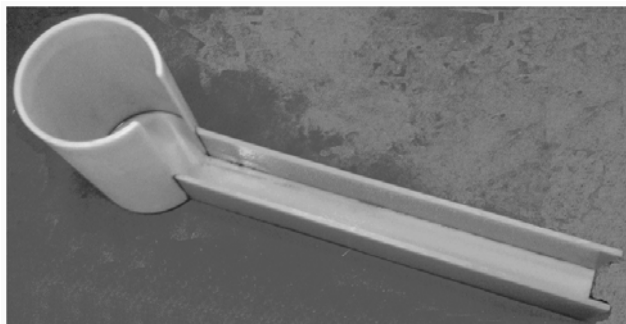
Jednym z wymagań dotyczących konstrukcji wysokonapięciowych stacji elektroenergetycznych jest wybór właściwych odległości w powietrzu pomiędzy częściami znajdującymi się pod napięciem oraz uziemionymi częściami konstrukcji [1, 2, 3, 4]. Jest to niezbędne ze względu na zapewnienie prawidłowej pracy poszczególnych elementów rozdzielni oraz ze względu na bezpieczeństwo obsługi stacji a także osób postronnych. Bezpieczeństwo obsługi w rozdzielniach otwartych (większość rozdzielni WN i NN) jest zapewnione, jeżeli są zachowane odległości bezpieczne od części znajdujących się pod napięciem lub zastosowane odpowiednie ogrodzenia i osłony. Odległości bezpieczne, będące sumą odstępów izolacyjnego oraz odstępów bezpieczeństwa, w którym uwzględnia się możliwość ruchów człowieka w określonym przypadku, są ustalane dla różnych sytuacji występujących w rozdzielniach. Bezpieczeństwo osób postronnych zapewnia się przez uniemożliwienie bez zezwolenia wejścia tych osób na teren stacji [5]. Niestety, niektóre ze stacji 110 kV zlokalizowane są na terenach silnie zurbanizowanych (blisko zabudowań czy miejsc ogólnodostępnych). W takich stacjach istnieje niekiedy możliwość dotyku elementów znajdujących się pod napięciem przez osoby postronne przebywające na zewnątrz stacji. W normalnych warunkach dotyk elementów pod napięciem bez celowych działań nie jest możliwy, jednak nie można wykluczyć dotyku przypadkowego, np. podczas wykonywania prac na pobliskich rusztowaniach, w przyległych ogrodach, naprawach dachu sąsiedniego budynku, itp. - gdzie używa się np. narzędzi o znacznych długościach, takich jak szcztotki lub nożyce do przycinki drzew. Nie można również wykluczyć dotyku wynikającego z ignorancji, niefrasobliwości czy po prostu zwykłej głupoty. W celu obniżenia ryzyka dotknięcia elementów będących pod napięciem, w omawianych wyżej przypadkach można rozważyć zastosowanie przynajmniej częściowego osłonięcia takich elementów. W analizowanym przypadku miejscem gdzie wystąpiła możliwość dotyku przez osoby postronne, było połączenie transformatorowego izolatora przepustowego z oszynowaniem sztywnym 110 kV. Krajowa oferta rynkowa osłon izolacyjnych na taki poziom napięcia w porównaniu z osłonami na niskie i średnie napięcie jest jednak obecnie niezbyt szeroka.

W artykule opisano procedurę i wyniki badań laboratoryjnych prototypu osłony elektroizolacyjnej szyn sztywnych 110 kV i miejsca ich połączenia z przepustem

transformatora, wykonanych w celu sprawdzenie jej przydatności do poprawy ochrony przeciwporażeniowej. Badano różne rozwiązania konstrukcyjne - w różnych warunkach pracy osłony. Wskazano główne ograniczenia konstrukcyjne oraz możliwości ich uniknięcia. Badania wykonano w laboratorium Techniki Wysokich Napięć Instytutu Elektroenergetyki i Sterowania Układów (IEiSU) na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej

### Przedmiot badań

Wygląd osłony dostarczonej do badań pokazano na rysunku 1. Osłona fragmentu rurowych szyn 110 kV ma w założeniu chronić przed możliwością dotyku oszynowania przez osoby postronne, może jednak również ograniczać narażenia środowiskowe, w tym narażenia biotyczne.



Rys.1. Wygląd prototypu osłony

Osłona wykonana została w technologii klejenia płyt szkłoepoksydowych typu EPGC 201 (oznaczenie wg IEC 893) o grubości 12 mm. Tego rodzaju materiał warstwowy (sprasowane warstwy tkaniny z włókna szklanego, wysycone żywicą epoksydową jako spoiwem) charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami dielektrycznymi i mechanicznymi, stosunkowo niskim ciężarem właściwym, wysoką odpornością na łuk elektryczny i prądy pelzające, wysoką temperaturą pracy ciągłej (130°C), małą wrażliwością na działanie chemikaliów oraz niską chłonnością wody - dzięki temu dobrze sprawdza się jako materiał konstrukcyjny do pracy w powietrzu w urządzeniach wysokiego napięcia. Próby napięciowe EPGC 201 wykonywane według [6] zarówno równolegle, jak i prostopadle do warstw dla próbek o grubości 3 mm dają wyniki rzędu 40 kV. [7]

Badania wykonano dla następujących wariantów konstrukcyjnych osłony:

- bez modyfikacji (rys. 1),
- z wewnętrzną warstwą półprzewodzącą, modyfikacja zaproponowana przez autorów artykułu, polegająca na pomalowaniu wnętrza osłony specjalnym lakierem,
- z wewnętrzną siatką z taśmy miedzianej (rys. 2), modyfikacja polegająca na wklejeniu od wewnętrznej strony osłony pasków miedzianych o szerokości 20 mm.



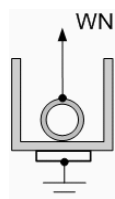
Rys.2. Prototyp osłony z wewnętrzną siatką z taśmy miedzianej

Wszystkie warianty konstrukcyjne osłony przebadano, symulując różne warunki pracy, przygotowując powierzchnię zewnętrzną jako:

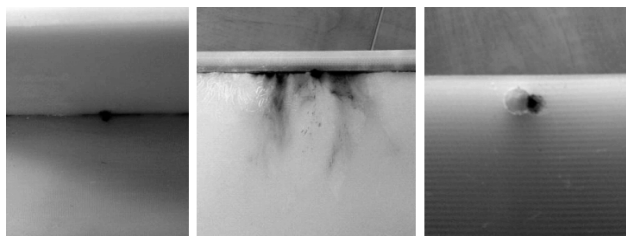
- czystą i suchą,
- czystą i mokrą,
- zabrudzoną i mokrą,
- pokrytą silikonem i suchą,
- pokrytą silikonem i mokrą.

### Zakres badań

Badając możliwość zastosowania osłony jako elementu ochrony przeciwporażeniowej uzupełniającej - w pierwszej kolejności sprawdzono wytrzymałość elektryczną osłony w układzie probierczym jak na rysunku 3. Ponieważ badany obiekt ma pełnić funkcję osłony, a nie pełnej izolacji i ma zapewniać ochronę przy przypadkowym dotknięciu jednej z faz, badania wytrzymałości elektrycznej ograniczono do poziomu napięcia fazowego właściwego dla najwyższego napięcia sieci. Nie uwzględniono napięć probierczych (przebiegów i udarów) właściwych dla urządzeń o napięciu znamionowym 110 kV. Pomiar wykonywano w powietrzu, na osłonach bez żadnych modyfikacji. Fragment osłony umieszczano na płaskim uziemionym podłożu wewnątrz do góry, do wnętrza osłony wkładano fragment szyny stanowiący elektrodę wysokonapięciową (rys. 3). Jako źródło napięcia wykorzystano transformator probierczy TP110. Napięcie regulowano z prędkością ok. 1 kV/s. W celu ograniczenia możliwości przeskoku po powierzchni osłony niewielki fragment szyny umieszczano w środkowej części osłony. Pierwsze egzemplarze osłony były niestety przebijane skośnie już przy napięciu 56 kV.



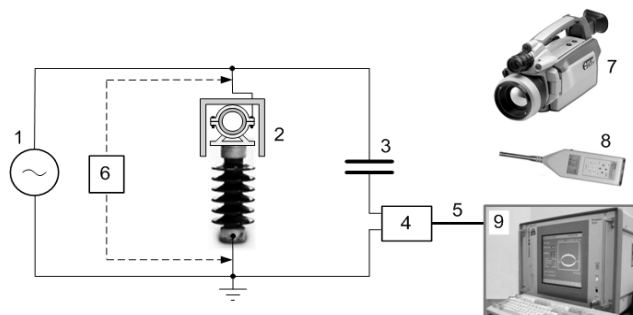
Rys.3. Ułożenie osłony podczas badań wytrzymałości elektrycznej



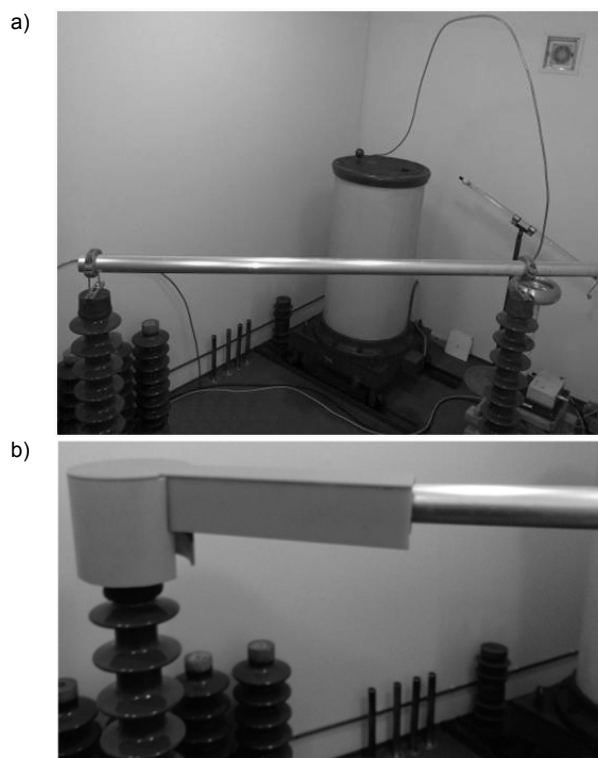
Rys.4. Ślady przebicia skośnego próbek osłony z niepoprawnym sklejaniem płyt

Przebite następowało zawsze w okolicy łączenia płyt, z których wykonano osłony (rys. 4). Zaproponowano zatem zmianę sposobu zespajania płyt. Po zmianie technologii klejenia osłony wytrzymały napięcie maksymalne dopuszczalne długotrwale.

Kolejnym etapem badań były pomiary porównawcze wybranych parametrów dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych. Mierzone wielkości porównywano z wielkościami referencyjnymi uzyskanymi dla szyny bez osłon. Mierzono parametry wyladowań niepełnych (wnz), rozkład temperatury, poziom dźwięku. Pomiary wykonywano w klatce Faraday'a z dedykowanym uziemem i separacją zasilania w warunkach braku wymuszonego przepływu powietrza. Pomiar wnz wykonywano przy napięciu, odpowiadającym maksymalnemu napięciu fazowemu osłanianych szyn, w układzie jak na rysunkach 5 i 6.



Rys.5. Układ do badań porównawczych: 1 - transformator probierczy TP110, 2 - obiekt badań, 3 - kondensator sprzęgający, 4 - czwórnik sprzęgający AKV-573, 5 - przewód ekranowany, 6 - kalibrator KAL 451, 7 - kamera termowizyjna ThermoCAM SC640, 8 - miernik głośności SON-50, 9 - analizator wnz TE 571



Rys.6. Układ do badań porównawczych: a) widok szyny bez osłony, b) szyna z osłoną

Badanie wyladowań niepełnych wykonywano detektorem TE-571. Urządzenie to umożliwia pomiary wnz w zakresie częstotliwości napięcia probierczego od 40 Hz do 420 Hz. Zakres pomiarowy ładunku pozornego mieści się w granicach od 0 do 999 nC. Szerokość pasma pomiarowego wynosi 40 - 400 kHz [8]. Badanie wnz obejmowało próbę określenia rodzaju tych wyladowań,

określenie ich poziomu i intensywności poprzez m.in. wyznaczenie rozkładów fazowych maksymalnego ładunku pozornego, rozkładów maksymalnego ładunku pozornego w funkcji czasu, rozkładów intensywności wzn w funkcji ładunku oraz rozkładów amplitudowo-fazowych.

Badania termowizyjne wykonywano długofalową kamerą termowizyjną ThermoCAM SC640 o zakresie temperaturowym od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+1500^{\circ}\text{C}$  i czułości termicznej niższej niż  $60\text{ mK}$  przy  $30^{\circ}\text{C}$ . Sprawdzano ewentualność wystąpienia przegrzewów (nadwyżek temperatury) porównując termogramy otrzymane dla szyny z osłoną w stanie beznapięciowym i pod napięciem. Ponadto sprawdzano przyrosty temperatury, tzn. różnice między temperaturą maksymalną zarejestrowaną przez kamerę na elemencie, a temperaturą powietrza panującą w najbliższym otoczeniu (czyli - odczytywaną przy użyciu

kamery - temperaturą najbliższych elementów nieczynnych elektrycznie).

Pomiar poziomu dźwięku odbywał się w odległości  $2\text{ m}$  od obiektu. Pomiar ten wykonywano całkującym miernikiem poziomu dźwięku SON-50 o zakresie pomiarowym  $15 \div 135\text{ dB}$ .

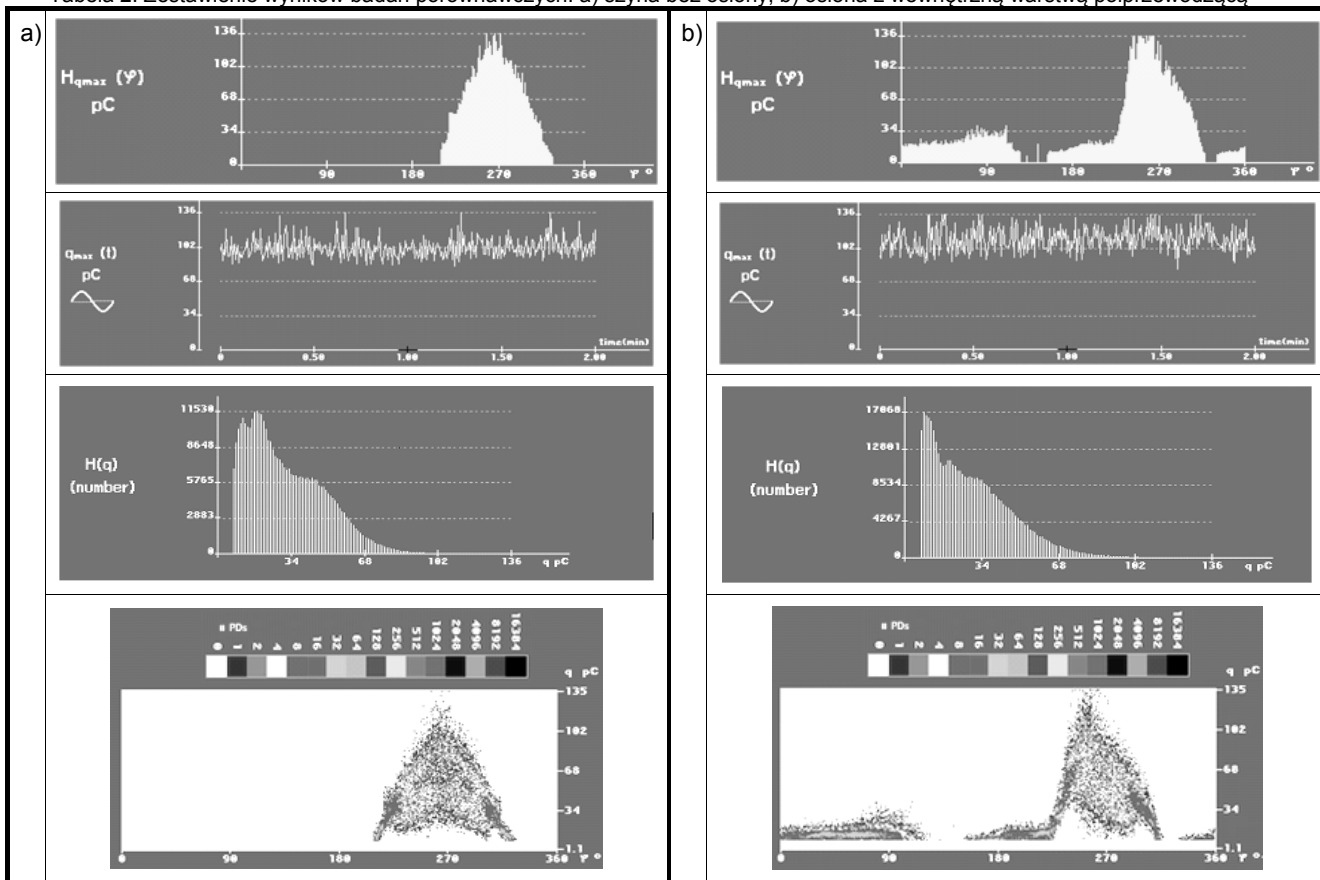
### Wyniki pomiarów porównawczych

Najważniejsze wyniki pomiarów porównawczych przedstawiono zbiorczo w tabeli 1, gdzie  $q$  - wartość średnia maksymalnego ładunku pozornego,  $L$  - natężenie dźwięku,  $\Delta T$  - nadwyżka temperatury. Dodatkowo, w tabeli 2 zaprezentowano porównanie rozkładów ładunku pozornego, otrzymane dla szyny bez osłony i z osłoną pokrytą wewnątrz warstwą półprzewodzącą (WWP).

Tabela 1. Zestawienie wyników badań porównawczych

Obiekt badań / warunki pracy	$q$ (pC)	$L$ (dB)	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
Szyna bez osłony	120	51	-
Oslona na zewnątrz silikonowana, sucha	10 000	56	0 $^{\circ}\text{C}$ , brak anomalii temperaturowych
Oslona z wewnętrzną taśmą Cu, czysta i sucha	1 600	52	
Oslona z wewnętrzną warstwą półprzewodzącą (WWP), czysta i sucha	120	51	
Oslona z WWP, na zewnątrz mokra	190	51,6	
Oslona z WWP, na zewnątrz mokra i zabrudzona,	200	51,1	
Oslona z WWP, na zewnątrz silikonowana, sucha	198	-	
Oslona z WWP, na zewnątrz silikonowana i mokra	535	51,8	

Tabela 2. Zestawienie wyników badań porównawczych: a) szyna bez osłony, b) osłona z wewnętrzną warstwą półprzewodzącą



Analizując zaprezentowane wyniki pomiarów, można wywnioskować, że najlepszym rozwiązaniem spośród przebadanych wariantów jest osłona pokryta wewnątrz

warstwą półprzewodzącą. Takie rozwiązanie pozwala na zastosowanie uzupełniającej ochrony przeciwporażeniowej bez pogorszenia pracy szyn i przepustów w rozdzielni.

Świadczy o tym taki sam poziom ładunku pozornego (120 pC) i natężenia dźwięku (51 dB) zarejestrowany w przypadku zastosowania osłony, jak i bez niej (tab. 1). Można także zauważyć pewną korelację pomiędzy poziomem ładunku pozornego i natężeniem dźwięku. Im większy poziom ładunku pozornego, tym układ z osłoną stawał się bardziej hałaśliwy, co jest prawdopodobnie związane z większą ilością źródeł ulotu. W przypadku osłon, oprócz ulotu występują także wyładowania wewnętrzne i powierzchniowe a więc superpozycja wielu źródeł. Hałaśliwość może być zatem większa. Potwierdzenie i określenie siły korelacji między rodzajami, intensywnością i ilością źródeł a hałasem wymagałoby jednak dalszych badań.

Największe poziomy ładunku pozornego (10 nC) i dźwięku (56 dB) zanotowano dla osłony z silikonowaną powierzchnią zewnętrzną. Jest to prawdopodobnie spowodowane niejednorodnością powłoki silikonowej, umożliwiającej rozwój wnz w powstałych podczas nakładania tej warstwy inkluzjach gazowych oraz lokalnym wzmacnianiem natężenia pola na mikronierównościach powstałych w chwili formowania powierzchni. Nie zaleca się zatem stosowania takiego rodzaju zwiększania odporności środowiskowej osłon, chyba, że zdecydowanie udoskonali się technologię nakładania warstwy silikonowej.

Analiza informacji zawartej w poszczególnych rozkładach wnz (tab. 2) wykazała, że po zastosowaniu wewnętrznej warstwy półprzewodzącej, wartości ładunku pozornego uległy znacznemu zmniejszeniu w stosunku do innych rozwiązań konstrukcyjnych. Należy przy tym podkreślić, że pokrycie wewnętrznej części osłony warstwą półprzewodzącą nie zwiększa wartości ładunku pozornego w stosunku do układu bez osłony.

Rozkłady różnych parametrów wnz przedstawione w tablicy 2 dla szyny bez osłony wskazują, co jest oczywiste, na występowanie tylko ulotu (wyładowania na zakończeniach modelu szyny i gwintowanych mocowaniach). Rozkłady amplitudowo-fazowy i statystyczny wskazują, że wnz pochodzą tutaj od wielu źródeł takiego samego rodzaju. Niektóre wyładowania mają charakter impulsowy, a inne ciągły [9].

Rozkłady parametrów wnz uzyskane dla szyny z osłoną pokrytą wewnętrzną warstwą półprzewodzącą wskazują z kolei, że oprócz ulotu występują źródła wnz o innym charakterze. Są to prawdopodobnie wyładowania wewnętrzne oraz nieliczne wyładowania powierzchniowe. Źródłem wyładowań wewnętrznych jest nierównomierność styku warstwy półprzewodzącej i podłoża w postaci materiału izolacyjnego. Ładunek pozorny wyładowań, których źródłem jest zastosowana osłona jest jednak znacznie mniejszy od ładunku wyładowań ulotowych generowanych przez model szyny.

Zebrane podczas inspekcji termowizyjnej termogramy, uzyskane w stanie beznapięciowym i w czasie próby napięciowej, nie wykazały miejsc gdzie wystąpiłaby nadwyżka temperatury (przegrzew) ani innego rodzaju anomalii temperaturowych. Występujące na termogramach „plamy ciepłe” (obszary różniące się barwą) wynikały z różnych kątów ustawienia kamery podczas rejestracji (uwidacznia się tu zależność emisyjności od kąta padania wiązki promieniowania podczerwonego) lub wywołane były odbiciami zewnętrznych źródeł ciepła, bądź też stanowiły utrzymujący się ślad cieplny - pozostawiony podczas

montażu osłon (na rejestrację tego śladu pozwala duża bezwładność cieplna osłony i wysoka czułość kamery).

## Wnioski

Zaprezentowane w artykule wyniki pomiarów wskazują, że poddana badaniom osłona może być stosowana jako jeden z elementów uzupełniającej ochrony przeciwporażeniowej. Należy przy tym zaznaczyć, że podobnie jak inne tego rodzaju środki, nie może być ona nigdy stosowana jako jedyny element ochrony. Ponieważ jest to nietypowa ochrona w stacjach WN i NN - trudno tu określić jakieś szczególne wymagania co do sposobu wykonania takich osłon, ani materiałów z jakich powinny być wykonane. Jednak w normalnych warunkach eksploatacyjnych, w sytuacji przypadkowego dotknięcia takiej osłony jakimkolwiek przedmiotem - w tym uziemionym przedmiotem przewodzącym - nie może dojść do jej przebicia. Osłona powinna również zapewniać ciągłość pokrycia górnego okucia przepustów i szyn na długości niezbędnej do zapewnienia ochrony. Materiały użyte do wykonania osłony powinny mieć trwałość dostosowaną do przewidywanych warunków eksploatacji, bez potrzeby stosowania zewnętrznych powłok silikonowych lub tym podobnych. Jak wykazały badania, powłoki takie w przypadku osłon izolacyjnych mogą bardzo wyraźnie pogorszyć ich parametry eksploatacyjne, co objawia się m.in. zwiększeniem poziomu natężenia dźwięku generowanego przez takie osłony.

**Autorzy:** dr inż. Dominik Duda, Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, E-mail: [dominik.duda@polsl.pl](mailto:dominik.duda@polsl.pl); dr inż. Krzysztof Maźniewski, Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, E-mail: [krzysztof.mazniewski@polsl.pl](mailto:krzysztof.mazniewski@polsl.pl); dr inż. Marek Szadkowski, Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, E-mail: [marek.szadkowski@polsl.pl](mailto:marek.szadkowski@polsl.pl)

## LITERATURA

- [1] PN-EN 61936-1:2011. Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
- [2] PN-EN 50110:2010,2013. Eksploatacja urządzeń elektrycznych.
- [3] PN-EN 50341:2002,2010,2013,2015,2016. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV.
- [4] Przepisy Urzędzeń Elektroenergetycznych (Z1-Z20). *Wema*, Warszawa 1987.
- [5] Dołęga W., Stacje elektroenergetyczne, *Oficina Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław 2007.
- [6] PN-86/E-04404. Materiały elektroizolacyjne stałe. Metody pomiaru wytrzymałości dielektrycznej napięciem o częstotliwości przemysłowej.
- [7] [www.izoerg.com.pl](http://www.izoerg.com.pl)
- [8] Duda D., Maźniewski K., Szadkowski M., Komplementarne wykorzystanie metody elektrycznej i akustycznej do analizy modelowych źródeł wyładowań niepełnych, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 90, nr 10/2014.
- [9] Florkowska B., Florkowski M., Włodek R., Zydrón P., Mechanizmy, pomiary i analiza wyładowań niepełnych w diagnostyce układów izolacyjnych wysokiego napięcia. *Wyd. IPPT PAN*, Warszawa R. 2001.
- [10] PN-EN 60071-1:2008. Koordynacja izolacji Część 1: Definicje, zasady i reguły.
- [11] PN-EN 61229:2000. Osłony izolacyjne sztywne do prac pod napięciem na urządzeniach prądu przemiennego.