

Badanie systemu kablowego 220 kV

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki projektu firmy Tele-Fonika Kable S.A. realizowanego we współpracy z Instytutem Energetyki w Warszawie. Projekt obejmował wykonanie badania typu systemu kablowego 220 kV zgodnie ze standardem IEC 62067:2011. Praca obejmuje opis badanego systemu kablowego WN, program badań nielektrycznych i elektrycznych oraz wyniki przeprowadzonych testów.

Abstract. This article describes the results of the project conducted by TELE-FONIKA Kable S.A. in cooperation with the Institute of Power Engineering from Warsaw. The project was devoted to testing 220kV cable system in accordance with the IEC 62067:2011 standard. The article contains the description of the HV cable system tested, schedule of non-electrical and electrical tests and the results of the tests conducted (220 kV Type Test on cable system).

Słowa kluczowe: próba typu, system kablowy.

Keywords: type test, cable system.

Wstęp

Naturalną konsekwencją rozwoju cywilizacyjnego jest rozbudowa infrastruktury energetycznej. Uprzemysłowiony świat funkcjonuje w oparciu o ciągłość dostaw energii elektrycznej, gdzie istotnym czynnikiem staje się wydajny i bezpieczny system jej przesyłu i dystrybucji. Efektywny przesył energii elektrycznej ma obecnie kluczowe znaczenie, decydując o przewadze konkurencyjnej podmiotów i obszarów dysponujących odpowiednią infrastrukturą. W tych systemach najważniejszą rolę spełniają dystrybucyjne i przesyłowe sieci wysokich ($U_n = 36\text{--}150\text{ kV}$) i najwyższych napięć ($U_n \geq 150\text{ kV}$) [3].

Przesył energii elektrycznej w sieciach wysokiego i najwyższego napięcia poprzez system kablowy stanowi zawsze technologiczne wyzwanie.

W artykule przedstawiono wyniki projektu firmy Tele-Fonika Kable S.A. (TFK) realizowanego we współpracy z Instytutem Energetyki w Warszawie (IEn). Projekt obejmował wykonanie badania typu systemu kablowego 220 kV, zgodnie ze standardem IEC 62067 [2].

Niniejsza norma ustala metody badań i wymagania dotyczące ułożonych na stałe systemów kabli elektroenergetycznych na napięcie znamionowe od 150 kV ($U_m = 170\text{ kV}$) do 500 kV ($U_m = 550\text{ kV}$). Wymagania dotyczą kabli jednożyłowych oraz osprzętu do nich, przeznaczonych do zwykłych warunków montażu i eksploatacji, ale nie dotyczą kabli specjalnych i ich osprzętu, takich jak kable podmorskie, dla których może być konieczna modyfikacja badań znormalizowanych lub może być potrzebne opracowanie specjalnych warunków badania.

Badania typu są to badania wykonane przed dostawą, na ogólnych zasadach handlowych, w celu potwierdzenia, że jego parametry eksploatacyjne odpowiadają przewidzianemu zastosowaniu. Wykonane jeden raz z wynikiem pozytywnym badania nie muszą być powtarzane, jeżeli dla zastosowanego kabla lub osprzętu nie wprowadzono zmian konstrukcyjnych lub w procesie technologicznym nie wprowadzono zmian, które mogłyby zmienić parametry eksploatacyjne.

Identyfikacja obiektów badań

Badany system kablowy 220 kV złożony był z następujących elementów:

1. kabla elektroenergetycznego typu A2XS(FL)2Y 1x2500 RMS/70 127/220/245kV produkcji TFK,
2. głowicy kablowej napowietrznej 220 kV z izolatorem kompozytowym,
3. głowicy kablowej napowietrznej 220 kV z izolatorem porcelanowym,
4. mufy kablowej przelotowej 220 kV,

5. głowic wtykowych GIS 220 kV.

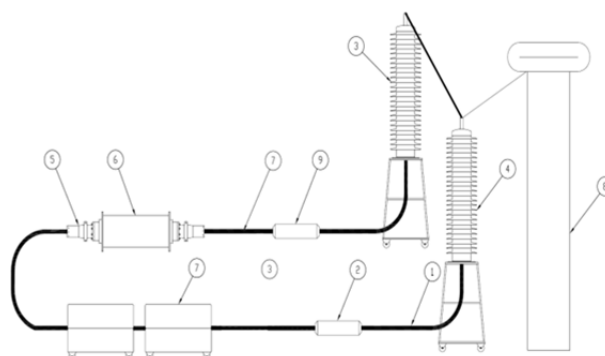
Na rysunku 1 przedstawiono konstrukcję badanego kabla wyprodukowanego w TFK (Zakład Bydgoszcz).



Rys.1. Konstrukcja badanego kabla A2XS(FL)2Y 1x2500 RMS/70 127/220/245kV

Przedmiotowy system kablowy 220 kV zmontowany i przebadany został w Laboratorium Wysokich Napięć Działu Kontroli Jakości Tele-Foniki Kable S.A.

Konfigurację badanego systemu kablowego 220 kV przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Konfiguracja badanego systemu kablowego 220 kV (1 – kabel, 2 – mufa kablowa przelotowa, 3 – głowica napowietrzna z izolatorem porcelanowym, 4 – głowica napowietrzna z izolatorem kompozytowym, 5 – głowice wtykowe GIS, 6 – mufa testowa, 7 – transformatory grzewcze, 8 – system probierczy, 9 – mufa z przerwą ekranu)

Program badań

Badania typu systemów kablowych mają na celu potwierdzenie zadowalających charakterystyk eksploatacyjnych systemów kablowych. Badania nieelektryczne i elektryczne wykonano według wymagań standardu IEC 62067:2011. Zgodnie z obowiązującym standardem, zakres badań nieelektrycznych obejmuje:

- sprawdzenie budowy kabla,
- badanie w celu określenia własności mechanicznych izolacji przed i po starzeniu,
- badanie w celu określenia własności mechanicznych powłok zewnętrznych przed i po starzeniu,
- próbę starzeniową na próbkach gotowych kabli w celu sprawdzenia kompatybilności materiałów,
- sprawdzenie ubytku masy powłok polwinitowych rodzaju ST2,
- sprawdzenie odporności na nacisk w podwyższonej temperaturze powłok zewnętrznych,
- badanie odporności powłok polwinitowych (ST1 i ST2) na niskie temperatury,
- badanie odporności powłok polwinitowych na udar cieplny (ST1 i ST2),
- próbę odporności na działanie ozonu izolacji z EPR i HEPR,
- wydłużenie trwałe w podwyższonej temperaturze (hot set test) izolacji z EPR, HEPR i XLPE,
- pomiar gęstości izolacji z polietylenu wysokiej gęstości (HDPE),
- pomiar zawartości sadzy w czarnych powłokach zewnętrznych z polietylenu (PE) (ST3 i ST7),
- badanie skurczu izolacji z polietylenu termoplastycznego (PE, HDPE) i usieciowanego (XLPE),
- badanie skurczu powłoki z polietylenu termoplastycznego (ST3 i ST7),
- sprawdzenie twardości izolacji z HEPR,
- określenie modułu elastyczności izolacji z HEPR,
- badanie w warunkach oddziaływania ognia,
- próbę przenikania wody,
- badanie elementów kabli z nałożoną wzdłużnie folią metalową.

Przed przystąpieniem do montażu systemu kablowego przeprowadzono próbę odporności kabla na zginanie. Następnie przeprowadzono serię badań elektrycznych, których zakres obejmował:

- pomiar wyładowań niezupełnych w temperaturze otoczenia,
- pomiar $\tan \delta$ na ciepło,
- próbę napięciową z cyklami grzejnym,
- pomiary wyładowań niezupełnych:
 - w temperaturze otoczenia,
 - w podwyższonej temperaturze,
- próbę napięciem udarowym piorunowym, a po niej próbę napięciem probierczym o częstotliwości przemysłowej,
- badania osłony zewnętrznej muf do układania w ziemi,
- sprawdzenie systemu kablowego z kablem oraz osprzętem wykonywane po zakończeniu powyższych badań,
- pomiar rezystywności ekranów półprzewodzących kabla wykonany na oddzielnej próbce.

Rezultaty badań

W wyniku przeprowadzonych testów uzyskano wyniki badań nieelektrycznych (tab. 1) i badań elektrycznych.

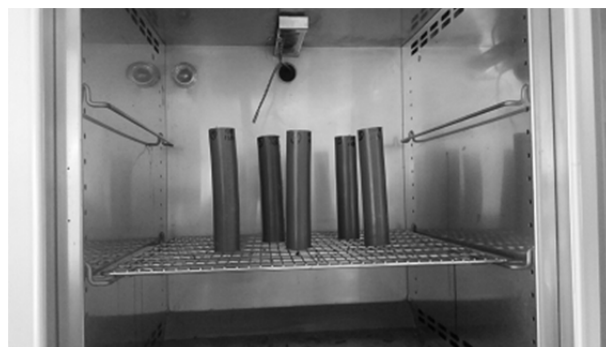
Próba odporności na zginanie kabla

Maksymalną średnicę rdzenia wyznaczono ze wzoru (IEC 62067, p. 12.4.3):

$$(1) \quad 25 \times (d + D) + 5\%$$

gdzie: d – średnica żyły roboczej, D – średnica kabla.

Obliczona maksymalna średnica rdzenia bębna wynosi 4609 mm. Do testu zastosowano bęben o średnicy rdzenia 2850 mm. Badanie przeprowadzono w temperaturze otoczenia dla odcinka o długości 92 m. Próbkę poddano 3 cyklom roboczym.

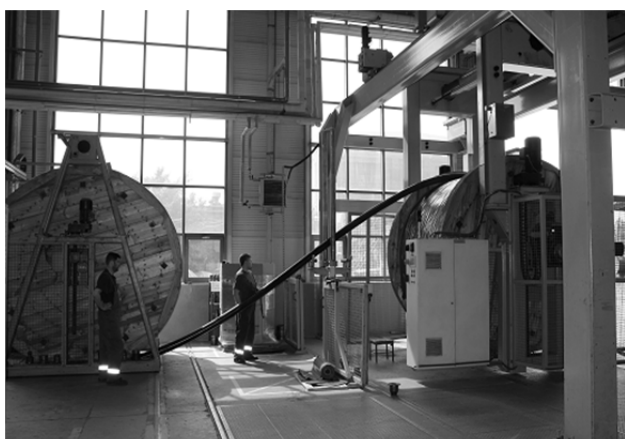


Rys.3. Przykłady realizacji badań nieelektrycznych

Tabela 1. Wyniki badań nieelektrycznych kabla (IEC 62067)

Typ badania	Wartość zmierzona
Żyły robocze Al w obwoju z 2 tkanin półprzewodzących	
• liczba drutów	190
• średnica żyły (mm)	59,87
Ekran na żyłę	
• grubość minimalna (mm)	1,89
• grubość średnia (mm)	2,28
• grubość maksymalna (mm)	2,58
Izolacja XLPE	
• grubość minimalna (mm)	17,85
• grubość średnia (mm)	18,33
• grubość maksymalna (mm)	18,96
• $(t_{\max} - t_{\min}) / t_{\max}$	0,06
• czystość izolacji	brak wtrąceń
Ekran na izolacji	
• grubość minimalna (mm)	1,15
• grubość średnia (mm)	1,30
• grubość maksymalna (mm)	1,56
• średnica na ekranie izolacji (mm)	103,61
Obwój z taśm półprzewodzących-uszczelniających	
• ilość taśm	2
• zakładka (mm)	42/52
• szerokość (mm)	78/78
• grubość (mm)	0,27/0,30
Żyła powrotna – druty + taśmy Cu	
• średnica na żyłę powrotnej (mm)	107,5
• liczba drutów Cu x średnica drutów (mm)	76x1,04;
• średnica tuby światłowodowej (mm)	4x1,95
	1,8
• średnie odległości między drutami (mm)	< 4
• największa odległość między drutami (mm)	< 4
• liczba taśm Cu	2
• skok taśm Cu	1,95D/1,77D
• grubość taśmy Cu (mm)	0,175/0,175

• szerokość taśmy Cu (mm)	10/10
• przekrój geometryczny taśmy Cu (mm ²)	1,75/1,75
• całkowity przekrój geometryczny żyły powrotnej (mm ²)	79,97
Obwód z taśm półprzewodzących – uszczelniających	
• ilość taśm	2
• zakładka (mm)	40/38
• szerokość (mm)	78/78
• grubość (mm)	0,33/0,33
Taśma Al	
• zakładka (mm)	25
• grubość (mm)	0,20
Powłoka zewnętrzna PE – czarna	
• grubość minimalna (mm)	4,69
• grubość średnia (mm)	4,88
• grubość maksymalna (mm)	5,10
Średnica zewnętrzna (mm)	116,60
Znakowanie kabla	
Nadruk: "TF KABLE 5 A2XS(FL)2Y-2T2FM 1x2500RMS/70 127/220(245)kV IEC 62067 03/2015 3333m	
Rodzaj nadruku	wypukły
Odległości między nadrukami (cm)	3



Rys.4. Stanowisko do wykonania próby odporności na zginanie kabla

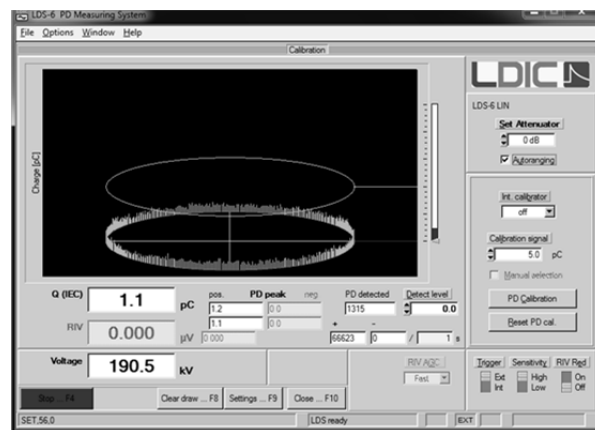
Pomiar wyładowań niezupełnych

Wyładowania niezupełne (WNZ) uznawane są za jedno z najbardziej istotnych narażeń izolacji kabla i są one jednym z czynników decydujących o żywotności kabla. W związku z czym poziom WNZ w kablu jest jednym z podstawowych parametrów decydujących o jakości kabla [4].

Pomiar wyładowań niezupełnych wykonano przed uruchomieniem próby napięciowej z cyklami grzewczymi. Napięcie probiercze zostało podniesione do wartości $1,75U_0$ i utrzymywane przez czas 10 s. Następnie obniżono wartość napięcia do wartości $1,5U_0$ i przy tej wartości napięcia dla temperatury 95°C oraz temperatury otoczenia wykonano pomiar WNZ. Zarejestrowany poziom WNZ < 2 pC.

Pomiar tgδ

Współczynnik strat jest wskaźnikiem jakości izolacji. Wartość tgδ nie zależy od wymiarów geometrycznych kabla natomiast zależy od zawilgocenia i efektów starzenia. Kabel został podgrzany tak, że temperatura żyły roboczej osiągnęła 95°C i była utrzymywana przez okres 2 h. Pomiar tgδ wykonano przy napięciu $U_0 = 127$ kV, uzyskując wartość $\text{tg}\delta = 1,49 \times 10^{-4}$.

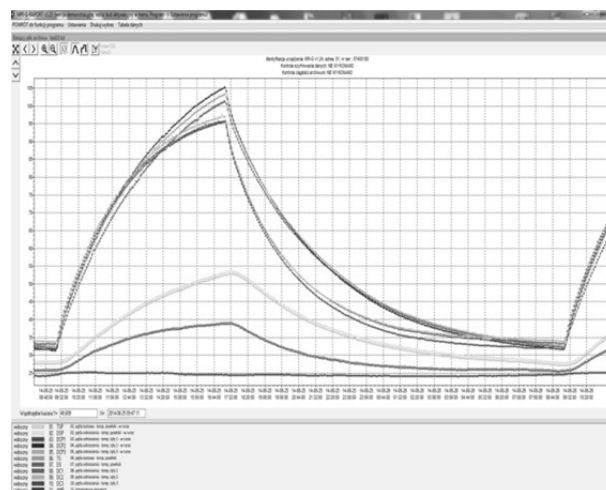


Rys.5. Zarejestrowany pomiar wyładowań niezupełnych

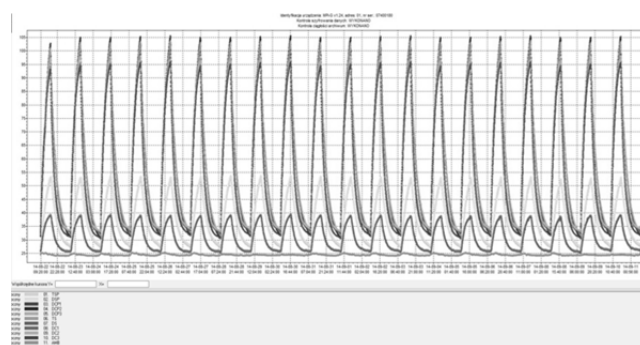
Próba napięciowa z cyklami grzewczymi

System kablowy poddano cyklowi grzania cyklicznego metodą indukcyjną zwartej pętli kabla. Cykl grzania trwał 8h do osiągnięcia temperatury żyły roboczej 95°C (+5°C). Temperaturę tę utrzymywano przez czas min. 2 h. Po wyłączeniu systemu grzania następował 16 h cykl naturalnego chłodzenia. Wykonano 20 pełnych cykli grzania i chłodzenia. Nie stwierdzono uszkodzeń kabla i osprzętu. Na rysunku 6 przedstawiono przebiegi cykli grzewczych dla badanego obiektu.

a)



b)

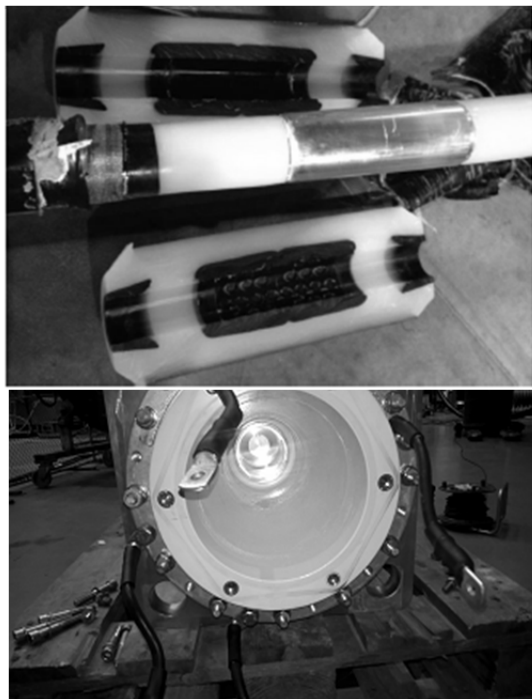


Rys.6. Zarejestrowane przebiegi temperatur dla 20 cykli grzewczych (b) oraz przykładowego 1 cyklu (a)

Pomiar wyładowań niezupełnych

Pomiar wyładowań niezupełnych wykonano po przeprowadzeniu 20 pełnych cykli grzania i chłodzenia. Napięcie probiercze zostało podniesione do wartości $1,75U_0$

i utrzymywane przez czas 10 s. Następnie obniżono wartość napięcia do wartości $1,5U_0$ i przy tej wartości napięcia dla temperatury 95°C oraz temperatury pokojowej otoczenia wykonano pomiar WNZ. Intensywność WNZ < 2 pC.



Rys.7. Zdjęcia wykonane podczas sprawdzenia systemu kablowego po zakończeniu serii badań

Próba napięciem udarowym i 50 Hz

Ideą tej próby jest sprawdzenie czy izolacja kabla wytrzyma bez przebicia 10 uderzeń napięciowych o polaryzacji dodatniej i 10 uderzeń napięciowych o polaryzacji ujemnej. Wymagane wartości napięć oraz parametry udaru (czas czoła i czas do półszczytu) określone są w normie IEC. Po wykonaniu próby napięciem udarowym wykonuje się ponownie próbę napięciową napięciem przemiennym o wartości $2U_0$ przez 15 minut. Ma ona na celu ujawnienie ewentualnych miejsc osłabionych przez napięcie udarowe.

Próbie przeprowadzono przy temperaturze żyły roboczej 97°C, przy tym przed próbą temperatura była utrzymywana przez 2 h. Próbę wykonano zgodnie z procedurą zawartą w IEC 60230 [1] przykładając po 10 uderzeń dodatnich i ujemnych ($U^+ 1,2/50 \mu s = 1050 \text{ kV}$, $U^- 1,2/50 \mu s = 1050 \text{ kV}$). Po zakończeniu tej próby przystąpiono do 15 minutowej próby napięciem $U = 254 \text{ kV}$ o częstotliwości przemysłowej. Podczas prób nie stwierdzono uszkodzeń izolacji systemu kablowego.

Sprawdzenie systemu kablowego

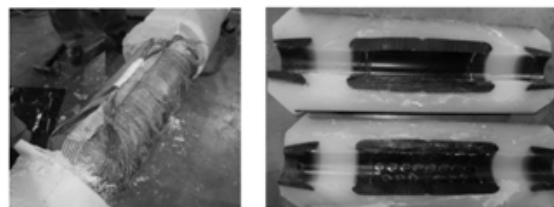
Przeprowadzono oględziny kabla oraz zainstalowanego osprzętu kablowego w celu stwierdzenia braku oznak potencjalnych uszkodzeń (np. degradacji elektrycznej,

upływności, korozji lub szkodliwego skurczu), które mogłyby oddziaływać na system podczas eksploatacji.

Badania osłony zewnętrznej muf do układania w ziemi

Niniejszy test przeprowadza się przy badaniach aprobaty typu osłon zewnętrznych muf wszystkich typów stosowanych w mufach do układania w ziemi lub powłoki przerywanej, stosowanej na powłoce izolowanej systemów kabli elektroenergetycznych oraz tam, gdzie zastosowano połączoną powłokę sekcjonującą izolację z przerywanym ekranem.

Badany zespół umieszczono w odpowiednio zaprojektowanym szczelnym baku z podłączonym słupem wody (1 m). Obiekt poddano 20 cyklom grzewczym (grzanie 12 h, stygnięcie 3 h), zwiększając temperaturę wody do wartości w zakresie 70°C do 75°C. Po zakończeniu cykli grzejnych, badany zespół, jeszcze zanurzony w wodzie należy poddać próbie napięciowej 20 kV.



Rys.8. Badania osłony zewnętrznej muf do układania w ziemi

Po zakończeniu badań przeprowadzono oględziny badanego zespołu. Nie znaleziono widocznych niewątpliwych wewnętrznych pęcherzy, lub wewnętrznych przemieszczeń masy spowodowanych wnikaniem wody, a także nie zlokalizowano wycieków masy przez uszczelki czy ścianki obudowy.

Podsumowanie

W zakresie przeprowadzonych badań zgodnie z IEC 62067:2011 system kablowy 220 kV złożony z: kabla elektroenergetycznego typu A2XS(FL)2Y 1x2500 RMS/70 127/220/245kV, głowicy kablowej napowietrznej z izolatorem kompozytowym i porcelanowym, mufy kablowej przelotowej, mufy kablowej z przerwą ekranu i głowic wtykowych GIS, spełnił z wynikiem pozytywnym określone wymagania.

Autorzy: prof. dr hab. inż. January L. Mikulski, Instytut Energetyki, Zakład Wysokich Napięć, ul. Mory 8, 01-330 Warszawa, E-mail: lech.mikulski@ien.com.pl; prof. dr hab. inż. Lesław Karpiński, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Aleja Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, E-mail: lekarp@prz.edu.pl; mgr inż. Sebastian Zakrzewski, Tele-Fonika Kable S.A., Hipolita Cegielskiego 1, 32-400 Myślenice, E-mail: sebastian.zakrzewski@tfkable.com.

LITERATURA

- [1] IEC 60230:2003 – Badania udarowe kabli i osprzętu kablowego
- [2] IEC 62067:2011 – Kable elektroenergetyczne o izolacji wytłaczanej oraz osprzęt do nich na napięcie znamionowe powyżej 150 kV ($U_m = 170 \text{ kV}$) do 500 kV ($U_m = 550 \text{ kV}$) – Metody badań i wymagania
- [3] Katalog Kable wysokich i ekstra wysokich napięć, Tele-Fonika Kable S.A, Wyd. IV, Myślenice (2017)
- [4] Wodźniński J., Wysokonapięciowa technika prób i pomiarów, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa (1997)