

Ewa Strużewska¹

OCENA NIEZAWODNOŚCI PRZEWODÓW ODGROMOWYCH SKOJARZONYCH Z WŁÓKNAMI ŚWIATŁOWODOWYMI

Streszczenie: W referacie podano przyczyny awarii przewodów odgromowych skojarzonych ze światłowodami (typu OPGW), zainstalowanych w liniach przesyłowych 220 i 400 kV, w trakcie ich siedmioletniej eksploatacji. Obliczono wskaźnik uszkodzeń tych przewodów w odniesieniu do 1- go roku. Zwrócono uwagę na potrzebę prowadzenia statystyki awaryjności tych przewodów oraz potrzebę prowadzenia analizy przyczyn ich uszkodzalności. Podkreślono zasadność utrzymania wymagania atestu energetyki dla nowych konstrukcji przewodów OPGW, w celu zapewnienia ich niezawodności w trakcie eksploatacji.

Słowa kluczowe: trakt światłowodowy, przewody OPGW, awaryjność, niezawodność przesyłu

1. Wstęp

W ostatnim dziesięcioleciu XX wieku nastąpił szybki rozwój telekomunikacji na świecie i w Polsce. Do jej rozwoju w kraju przyczyniła się niewątpliwie zmiana systemu gospodarczego. Obecnie trudno sobie wyobrazić współczesne społeczeństwo, bez sprawnego i pewnego systemu telekomunikacyjnego.

Polskie Sieci Elektroenergetyczne S. A. włączyły się również w ten proces rozwoju, budując od 1993 roku trakty telekomunikacyjne na liniach elektroenergetycznych najwyższych napięć – w celu wykorzystania ich, przede wszystkim, w łączności energetycznej (sterowanie przesyłem).

Do budowy traktów telekomunikacyjnych wybrano przewody odgromowe skojarzone z włóknami światłowodowymi, zwane w skrócie przewodami OPGW. Przewody te uznano za rozwiązanie optymalne dla modernizowanych linii 220 i 400 kV.

Zainstalowane w liniach przesyłowych przewody OPGW pełnią teraz dwie funkcje:

- ochronną przed przepięciami atmosferycznymi i łączeniowymi (oplot przewodów)
- teletransmisyjną, dającą możliwości wykorzystania jej w łączności energetycznej, telekomunikacji, transmisji danych, telewizji kablowej itp. (moduł optyczny).

¹ Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A., 00-496 Warszawa, ul. Mysia 2

Pewność działania przewodów OPGW w liniach 220 i 400 kV jest dla PSE S.A. sprawą priorytetową z uwagi na istniejącą sieć instalacji – wynoszącą już ponad 5800 km. Po kilku latach eksploatacji przewodów OPGW obserwuje się wzrost liczby uszkodzeń; dotyczą one zarówno modułu optycznego jak i oplotu.

Zagadnienie to jest bardzo ważne dla PSE S.A. , ponieważ straty związane z przerwami w pracy linii są wysokie. Składają się na nie przede wszystkim przerwy w teletransmisji oraz koszty usuwania skutków awarii.

W referacie podjęto próbę usystematyzowania przyczyn awaryjności przewodów OPGW oraz próbę oceny wskaźnika uszkodzeń tych przewodów odniesioną do 1-go roku.

2. Wymagania techniczne

W momencie rozpoczęcia instalacji przewodów OPGW w liniach NN, Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. nie dysponowały żadnymi wymaganiami technicznymi ani normami precyzującymi własności tych przewodów. Dla potrzeb pierwszych zakupów i instalacji, przyjęto wymagania norm amerykańskich i istniejących wówczas standardów IEC.

Jednakże, dalsze posługiwanie się wieloma niespójnymi dokumentami okazało się trudne w realizacji, wobec czego w roku 1995 zostały opracowane wymagania stanowiące jednolity dokument (I edycja), precyzujący wymagania techniczne PSE S.A. dla ww. przewodów [1].

W dokumencie tym PSE S.A. wymagają uzyskania atestu energetyki dla przewodów skojarzonych ze światłowodami, pomimo posiadanego przez producenta świadectwa homologacji, wydanego przez Ministra Łączności. Wymóg uzyskania atestu energetyki wynikał z potrzeby sprawdzenia własności technicznych oferowanego przewodu ze względu na prawidłową jego eksploatację, zwłaszcza w zakresie funkcji energetycznej.

Wraz z doświadczeniami eksploatacyjnymi oraz doświadczeniami zdobytymi w trakcie badań laboratoryjnych wykonywanych dla potrzeb atestu, uaktualniano wymagania zawarte w normatywnym dokumencie PSE S.A. W chwili obecnej obowiązujące jest wydanie III-cie tego dokumentu [2], rozszerzone o samonośne przewody telekomunikacyjne w oplocie metalowym typu MASS.

3. Wymagania stanowiące podstawę wydania atestu energetyki

Badania atestowe na przewodach odgromowych OPGW obejmują następujące próby elektryczne: sprawdzenie wytrzymałości zwarciowej i piorunowej oraz próby mechaniczne: odporności na drgania eolskie, wytrzymałości mechanicznej na zgniatanie i uderzenia oraz na skręcanie i przewijanie a także próbę odporności na nagłe zmiany temperatury [3]. Badania te wykonywane wg kryteriów podanych w [2], opracowanych na podstawie aktualnych norm światowych i europejskich mają na celu sprawdzenie odporności konstrukcji przewodu w każdej z przedmiotowych prób, odzwierciedlających warunki instalacyjne i eksploatacyjne, a także określenie ich wpływu na charakterystyki optyczne włókien światłowodowych.

Wyjątek stanowi tu w zasadzie tylko próba odporności na wyładowania atmosferyczne, dla której wymagania istniejących międzynarodowych standardów (normy amerykańskie, IEC oraz EN) są niewystarczające aby eliminować przewody słabszej konstrukcji, które nie

wytrzymują typowych wyładowań piorunowych. Dla badań atestowych przewodów OPGW przyjęto metodę symulacji wyładowań piorunowych, o parametrach zalecanych przez normy [4,5]. Parametry kryterialne tej próby zmodyfikowano nieco, dostosowując je do krajowych wymagań ochrony odgromowej linii elektroenergetycznych.

Próby oceny wytrzymałości przewodów OPGW na działanie wyładowań piorunowych wykonane wg wymagań PSE S.A., przeprowadzono w kraju w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Laboratorium Symulowanych Wyładowań Atmosferycznych [6]. Należy tu wspomnieć, że badania te stały się przyczynkiem do wprowadzenia zmian w zakresie metodyki prób i kryteriów oceny odporności przewodów OPGW na wyładowania atmosferyczne w normalizacji światowej [5].

4. Konstrukcje przewodów OPGW zainstalowanych w liniach NN

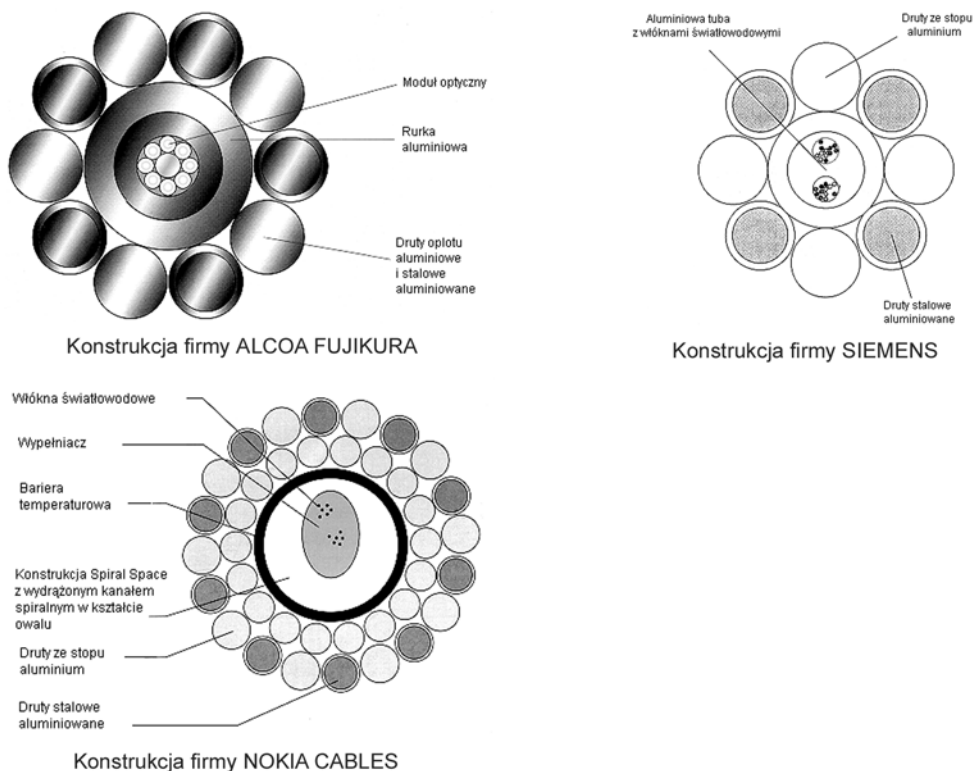
Przewody OPGW do instalacji w liniach 220 i 400 kV zakupiono w ramach kolejnych przetargów od trzech znanych światowych producentów kabli światłowodowych tj. Alcoa Fujicura Ltd., Siemens i Nokia Cables. Różnią się one między sobą pod względem konstrukcji.

Przewody firmy Alcoa Fujicura skonstruowane zostały w następujący sposób. Włókna światłowodowe (szklane) zgrupowane w jednej jednostce optycznej lub w kilku (w zależności od liczby włókien), odizolowane opłotem bawełnianym i taśmą kevlarową, umieszczone są w rurce aluminiowej wykonanej wg specjalnej bezszwowej technologii. Włókna są układane luźno, tak, aby dostęp do nich w trakcie montażu był swobodny. Rurka aluminiowa, wypełniona żelem hydrofobowym, chroniona jest przez opłot drutowy jedno lub dwu warstwowy, skręcony z drutów stalowych aluminiowanych i drutów ze stopu aluminium AlMgSi typu 6201. Średnice przewodów OPGW i ich parametry wytrzymałościowe zależą od budowy opłotu przewodu (ilość drutów stalowych w oplocie) i wymiarów pojedynczych drutów a także od grubości rurki aluminiowej. Różnice te są ujęte w typoszeregach przewodów. Dla potrzeb PSE S.A. (modernizacja linii NN) zakupiono przewody jednowarstwowe.[7].

Przewody OPGW produkcji firmy Siemens mają konstrukcję zbliżoną do przewodów produkowanych przez firmę Alcoa Fujicura. Tak samo jak poprzednie składają się z centralnej rurki aluminiowej typu „luźna tuba” stanowiącej osłonę dla włókien światłowodowych oraz jednej warstwy opłotu z drutów stalowych aluminiowanych i drutów wykonanych ze stopu AlMgSi. Włókna umieszczone w rurce wypełnionej żelem hydrofobowym grupowane są po 12sztuk w pęczki kolorowane przędzą. Średnice przewodów i ich parametry wytrzymałościowe zależą od budowy opłotu przewodu i grubości rurki aluminiowej [8]

Przewody produkcji firmy Nokia Cables mają odmienną budowę. Włókna światłowodowe ułożone są w rurce plastikowej profilowanej tak, aby naddatek włókien w rurce wynosił co najmniej 1 procent, wypełnionej żelem hydrofobowym. Włókna grupowane są w kolorowane przędzą pęczki, po 6 sztuk. Rurkę od opłotu oddziela taśma termoizolacyjna owinięta spiralnie wokół niej. Opłot przewodu składa się z dwóch warstw: zbrojenia wewnętrznego (druty ze stopu aluminium AlMgSi) skręcone lewoskrętnie „S” i zbrojenia zewnętrznego (druty ze stopu aluminium i druty stalowe pokrywane aluminium) skręcone prawoskrętnie „Z”. Liczba drutów w oplocie ich rodzaj oraz grubość określają parametry mechaniczne przewodu [9].

Przykładowe konstrukcje przewodów OPGW zainstalowanych w liniach NN przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykładowe konstrukcje przewodów OPGW

Należy tu wspomnieć, że większość instalacji w PSE S.A. została wykonana z przewodów firmy Alcoa Fujicura; ilość tę można szacować na około 4200 km.

Dopuszczenie stopów aluminium do produkcji przewodów OPGW o niższej wytrzymałości zmęczeniowej niż przewody stalowo – aluminiumwane, wymaga stosowania ochrony przeciwdrganiowej w celu zabezpieczenia ich przed uszkodzeniami mechanicznymi od wibracji eolskich. Poprzez system ochrony przeciwdrganiowej rozumie się dobór urządzeń tłumiących dla linii (np. tłumików Stockbridg'a) za pomocą programu komputerowego, wg którego dokonywane są obliczenia dokładnego miejsca ich zainstalowania [10].

5. Awaryjność przewodów OPGW w liniach 220 i 400 kV

W ciągu 7 lat eksploatacji przewodów OPGW zanotowano 25 przypadków awarii traktów światłowodowych. W 9-ciu przypadkach przyczyną były kradzieże zapasów przewodu i/lub współpracujących z nimi elementów oraz wandalizm.

W przypadkach uszkodzeń spowodowanych wandalizmem najczęściej dewastowane są skrzynki połączeniowe i zapasy przewodu OPGW niezbędne do prawidłowej eksploatacji traktu światłowodowego. Ażeby zapobiec dalszym dewastacjom tych elementów zastosowano w PSE specjalne zabezpieczenia przed ich kradzieżą.

W pozostałych 16-tu przypadkach przyczyną awarii była zawodność konstrukcji przewodu, spowodowana czynnikami atmosferycznymi (wyładowania piorunowe, drgania eolskie), wadami materiałowymi czy też błędami instalacyjnymi lub projektowymi. Właśnie te przypadki były przedmiotem analizy awaryjności przewodów OPGW. W podanym, poniżej zestawieniu pominięto wszystkie uszkodzenia spowodowane ekstremalnymi czynnikami zewnętrznymi, np. sadzią katastrofalną, wichurą itp., które spowodowały zniszczenia również innych elementów linii.

Przypadki awarii przewodów OPGW oraz przyczyny ich uszkodzeń, zarejestrowane w latach 1994 – 2001 podano w tablicy 1

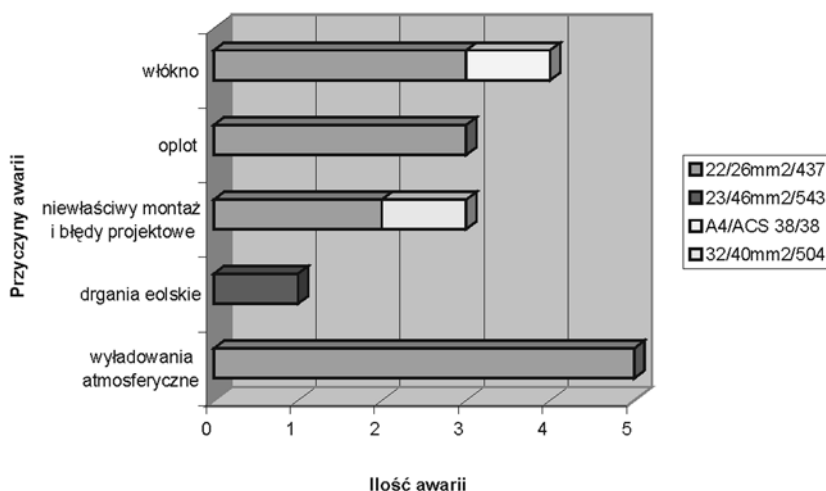
Analizując przypadki awarii wymienione w tablicy 1 stwierdzono, że wystąpiły one:
 5 – krotnie z powodu wyładowań atmosferycznych,
 1 – krotnie z powodu drgań (drgania zawiesia przelotowo-odciągowego ZPO),
 7 – krotnie z powodu wad materiałowych przewodów, (4 krotnie włókna światłowodowe i 3-krotnie druty oplotu),
 2– krotnie z powodu błędów w instalacji,
 1 – krotnie z powodu błędnego zaprojektowania ochrony przeciwdrganiowej.

Tab.1. Awarie traktów światłowodowych PSE S.A

Lp.	Typ przewodu	Napięcie linii kV	Inform. o awarii	Rodzaj uszkodzenia	Przyczyna awarii
1	22/26mm ² /437	220	1994	Zerwanie 1 drutu stalowego	Wada materiałowa
2	22/26mm ² /437	220	VII.1995	Zerwanie 2 drutów stalowych	Wada materiałowa
3	22/26mm ² /437	220	1995	Zerwanie 1 drutu stalowego	Wada materiałowa
4	22/26mm ² /437	220	X.1997	Zerwanie 2 drutów stalowych	Wyładowanie atmosferyczne
5	22/26mm ² /437	220	III.1998	Pęknięcie kilku drutów	Wyładowanie atmosferyczne
6	22/26mm ² /437	220	XI.1998	Zwiększ. tłumienności włókien rozszczelnienie rurki,	Wyładowanie atmosferyczne
7	22/26mm ² /437	220	I.2000	Przerwa w teletransmisji (2 włók.)	Uszkodzenie włókien-wada
8	22/26mm ² /437	220	I.2000	Przerwa w teletransmisji (4 włók.)	Uszkodzenie włókien-wada
9	22/26mm ² /437	220	II.2000	Uszkodzenie rurki, przerwa w teletransmisji (2 włókna)	Uszkodzenie włókien-wada
10	22/26mm ² /437	220	IV.2000	Pęknięcie, 2 drutów i rurki aluminiowej,	Wyładowanie atmosferyczne
11	22/26mm ² /437	220	XI.2000	Wzrost tłumienności włókien	Instalacja - zbyt mocne ściśnięcie włókien w mufach

Lp.	Typ przewodu	Napięcie linii kV	Inform. o awarii	Rodzaj uszkodzenia	Przyczyna awarii
12	AY/ACS 38/38	220	XI.2000	Uszkodzone 1 włókno,	Uszkodzenie włókna-wada
13	23/46mm ² /543	220	XII.2000	Zerwanie przewodu na słupie	Drgania zawiesia ZPO- w trakcie analizy u produc.
14	22/26mm ² /437	220	I.2001	Złamana rurka, ślad otarcia, uszkodzenie mechaniczne	Instalacja
15	22/26mm ² /437	220	IV.2001	Zerwane 4 druty oplotu w tym 3 stalowe	Wyładowanie atmosferyczne
16	32/40mm ² /504	400	2000	Zerwanie 8 szt. Tłumików	Błędy projektowe

Strukturę przyczyn awarii przewodu OPGW w liniach NN przedstawiono na wykresie nr 1.



Wykres. 1. Struktura awarii przewodów OPGW w latach 1994 – 2001

Jak wynika z rejestracji danych, przypadki uszkodzeń przewodów OPGW zarejestrowano 15-krotnie na liniach 220kV i 1 raz na linii 400 kV. Należy zauważyć że, aż w 13 przypadkach awariom ulegał przewód typu 22/26mm²/437. Przewód ten z uwagi na małą średnicę (mniejsze obciążenia wiatrowe) był instalowany na wielu modernizowanych liniach 220 kV, wybudowanych w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. W związku z tym częstość uszkodzeń tego przewodu może wynikać z jego słabszej konstrukcji bądź ze znacznego zakresu instalacji; udział tego przewodu w istniejących traktach światłowodowych - wynosi ponad 2000 km, co stanowi 35% istniejącej zabudowy.

Dla eksploatacji linii NN istotny jest fakt zarejestrowania 5-ciu przypadków uszkodzenia przewodu OPGW typu 22/26mm²/437 na skutek wyładowań atmosferycznych.

Trzeba tu nadmienić, że konwencjonalne przewody odgromowe nie ulegały tak częstym uszkodzeniom z powodu uderzenia piorunu.

Innym również istotnym problemem są uszkodzenia przewodów spowodowane wadami produkcyjnymi bądź materiałowymi (włókna światłowodowe i oplot). Przyczyną tych uszkodzeń może być także konstrukcja przewodu.

Wskaźnik uszkodzeń przewodów OPGW (oznaczony jako parametr W_u) wraz z liczbą awarii podano w tablicy 2.

Tab. 2. Wskaźnik uszkodzeń przewodów OPGW

Typ przewodu	Termin awarii	Przyczyny awarii					W_u wskaźnik uszkodz/100 km/rok	Długość km
		wyładow. atmosfer.	drgania	niewłaściwy montaż, błędy projektowe	wady materiałowe			
					oplot	włókna		
22/26mm ² /437	1994				1		0,086	1166,2
22/26mm ² /437	1995				2		0,12	1665,7
22/26mm ² /437	1997	1					0,027	3706,3
22/26mm ² /437	1998	2					0,047	4280,2
22/26mm ² /437	2000	1		1	1	2	0,14	5652,1
A4/ACS 38/38	2000					1		
23/46mm ² /543	2000		1					
32/40mm ² /504	2000			1				
22/26mm ² /437	2001	1		1				

Na podstawie danych z tablicy 1 obliczono wskaźnik awaryjności przewodów OPGW, odnosząc liczbę zaistniałych w ciągu roku uszkodzeń, do 100 km instalacji. Należy tu wspomnieć, że kilometr instalacji przewodów OPGW zmieniał się z roku na rok. Fakt ten został uwzględniony w obliczeniach parametru W_u , który w roku 2000 osiągnął znaczącą dla eksploatacji wartość – 0,14 uszkodzeń/100km/rok.

W związku ze wzrastającą awaryjnością przewodów OPGW w liniach NN należy w przyszłości dokonywać analizy ich uszkodzeń celem eliminacji zawodnych konstrukcji.

W przypadkach instalacji z użyciem nowych konstrukcji zasadne jest wymaganie atestu energetyki dla przewodów OPGW [2].

6. Podsumowanie

Siedmioletni okres doświadczeń eksploatacyjnych w zakresie użytkowania przewodów OPGW jest zbyt krótki, aby można było wysnuć jednoznaczne wnioski odnośnie awaryjności tych przewodów. Jednakże na podstawie prezentowanych danych można stwierdzić, że po-

datność przewodu typu 22/26mm²/437 na uszkodzenia różnego rodzaju w tym również na wyładowania piorunowe jest bardzo duża. Widoczna jest potrzeba stosowania w przypadku nowych instalacji (dalsza modernizacja linii 220 kV) innych przewodów OPGW o konstrukcji bardziej odpornej na uszkodzenia, zwłaszcza na uszkodzenia na skutek wyładowań atmosferycznych. W przyszłości należy prowadzić dalsze, wnikliwe analizy, przyczyn awaryjności w celu eliminowania konstrukcji zawodnych. W związku z tym wymaganie atestu energetyki dla nowych konstrukcji przewodów OPGW w celu sprawdzenia ich niezawodności pozostaje nadal aktualne.

Literatura

- [1] Wymagania techniczne PSE SA dla przewodów odgromowych skojarzonych z jednomodowymi włóknami światłowodowymi (OPGW), wydanie I, 1995 r.
- [2] Wymagania techniczne PSE SA dla przewodów energetycznych skojarzonych z włóknami światłowodowymi (OPGW i MASS), wydanie III, 2000 r.
- [3] **Strużewska E.:** *Niektóre przesłanki uzasadniające celowość atestacji przewodów odgromowych typu OPT-GW.* Elektroenergetyka nr 4, 1996, str. 35-39
- [4] Norma wojskowa USA MIL-STD 1757/1980: Lightning Qualification Tests Technics for Aerospace Vehicles and Hardware
- [5] IEC 60794-4-1 Optical fibre cables. Part 4-1 Aerial optical cables for high voltage power lines
- [6] **Karpiński L.:** *Wykonanie badań piorunowych przewodów OPGW,* sprawozdania z badań wykonanych w latach 1996, 1997, 1998, 1999
- [7] Oferta firmy AcoaFujikura, 1999 r., materiały u autora
- [8] Oferta firmy Siemens, 1999 r., materiały u autora
- [9] Oferta firmy Nokia Cables, 1999 r., materiały u autora
- [10] **Strużewska E.:** *Pierwsze rejestracje drgań eolskich w przewodach odgromowych typu OPGW w PSE SA.* Biuletyn Miesięczny PSE SA nr 9(87), 1998, str 13-14

THE ESTIMATE OF INFALLIBITY OF OPTICAL GROUND WIRE CABLE

The reasons of damages during 7 years of exploitation of optical ground wire cables installed on overhead 220 and 400 kV lines have been presented. On the basis of statistical analysis the index of damages of OPGW cables per one year was calculated. It is advisable to continue further analysis.