



Janusz Onak\*, Jan Sznajder\*, Andrzej Jaglarz\*

## AWARYJNOŚĆ KABLI ŚREDNIEGO NAPIĘCIA W ZAKŁADZIE ENERGETYCZNYM TARNÓW S.A.

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono awaryjność kabli średniego napięcia w Zakładzie Energetycznym Tarnów S.A., stosowane rodzaje kabli w eksploatacji wraz z osprzętem. Omówiono badania i próby kabli SN. Zaprezentowano podjęte działania celem ograniczenia częstotliwości występowania uszkodzeń.

**Słowa kluczowe:** awaryjność, stan techniczny, pomiary i lokalizacja uszkodzeń, działania zmniejszające awaryjność

### 1. Wstęp

Zakład Energetyczny Tarnów S.A. eksploatuje ogółem 627 km kablowych linii elektroenergetycznych, które pracują na napięciu 30, 15 i 6 kV głównie na terenach miejskich. W eksploatacji spotykamy następujące typy kabli:

- HAKFta, HAKnFta, kable o izolacji papierowej tzw. tradycyjne,
- HAKY – to kable z izolacją papierową w osłonie polwinitu,
- NHAKBA – kable w izolacji papierowej produkcji jugosłowiańskiej lub hiszpańskiej,
- YHdAKX, YHdtAKX, YHAKX – z izolacją z polietylenu nieusieciowanego,
- YHAKXS – z izolacją z polietylenu usieciowanego,
- XURHAKXS – z izolacją z polietylenu usieciowanego, uszczelnione wzdłużnie i poprzecznie.

Przekroje tych kabli wynoszą od 16 do 240 mm<sup>2</sup>.

Różnorodność osprzętu stosowanego w liniach kablowych wynika z rozwoju technicznego i dostępu do nowych technologii wykonywania połączeń:

---

\* Zakład Energetyczny Tarnów S.A., ul. Lwowska 72-96b, 33-101 Tarnów

- mufy kablowe dla kabli tradycyjnych — najstarsze typy to MPO, MŻ, obecnie przeważnie stosuje się mufy firmy Raychem typu EPKJ,
- głowice dla kabli tradycyjnych — dawniej stosowano typy GOW (wnętrzone), GOn (napowietrzne) obecnie termokurczliwe i zimno kurczliwe firmy Raychem EPKT,
- osprzęt dla kabli z izolacją z polietylenu — stosowano zestawy w oparciu o taśmy Bischopa i Scotcha typu dla muf TM-2d do 4d w zależności od przekroju, głowice napowietrzne typu PE, zestawy taśm do głowic wewnętrznych typu TG-2 do TG-4 obecnie termokurczliwe i zimnokurczliwe firmy 3M i inne.

## 2. Awaryjność kabli

Analiza przyczyn uszkodzania się kabli w latach 1994 do 1996 wykazała że 92% wszystkich przyczyn to uszkodzenia kabli w trasie a pozostałe 8% to są uszkodzenia osprzętu. Z uszkodzeń kabli w trasie przyczyną 6% awarii to następstwa prowadzonych prac ziemnych [2]. W Zakładzie Energetycznym Tarnów S.A. w latach 60–70 podstawowym problemem były awarie osprzętu na kablach 15kV. Po wprowadzeniu nowych technologii z wykorzystaniem najnowszych rozwiązań z dziedziny inżynierii materiałowej wprowadzenia cyklu szkoleń i wyegzekwowaniu jakości, awaryjność osprzętu zmalała i jest rzędu kilku procent wszystkich awarii na kablach.

W państwach Europy zachodniej wśród przyczyn awarii linii kablowych o izolacji z polietylenu na pierwszym miejscu są uszkodzenia głowic następne uszkodzenia mechaniczne. Dopiero na trzecim miejscu znajdują się uszkodzenia kabli z powodu degradacji izolacji drzewieniem wodnym [1].

W Europie dla linii kablowych, na napięcie 10 do 30kV coraz większy procent stanowią linie z izolacją z polietylenu i tak przykładowo we Francji 71% [1]. Na bazie dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych w Zakładzie obecnie preferuje się stosowanie kabli z izolacją papierową impregnowaną. Decydują w tym względzie następujące czynniki:

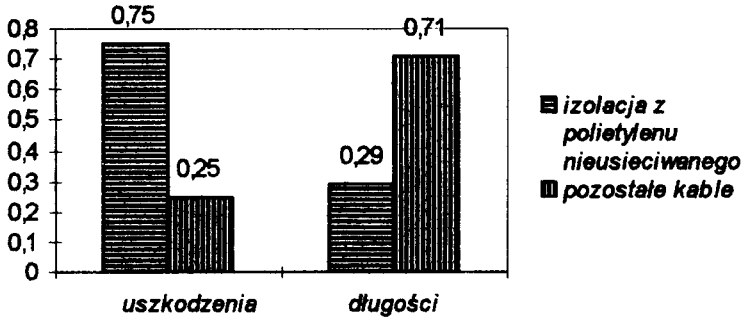
- zdecydowanie mniejsza awaryjność,
- mniejszy koszt inwestycji wykonania linii kablowej.

Średnia wartość współczynnika uszkodzeń dla kabli z izolacją z polietylenu dla większości państw europejskich dla uszkodzeń wewnętrznych wynosi pomiędzy 0,2 a 0,4 uszkodzenia/100km/rok. Dla porównania, w naszym zakładzie średni wskaźnik uszkodzeń (1994 do 1996 r.) wynosi 28,9 uszkodzenia/100km/rok.

W niektórych państwach np. w Danii, mimo szerszego wprowadzenia kabli z izolacją z polietylenu nadal są eksploatowane kable papierowe impregnowane. Część z nich pracuje od ponad 80 lat. Aktualnie rejestrowany współczynnik uszkodzeń na tych kablach wynosi 0,58 uszkodzeń/100km/rok [1].

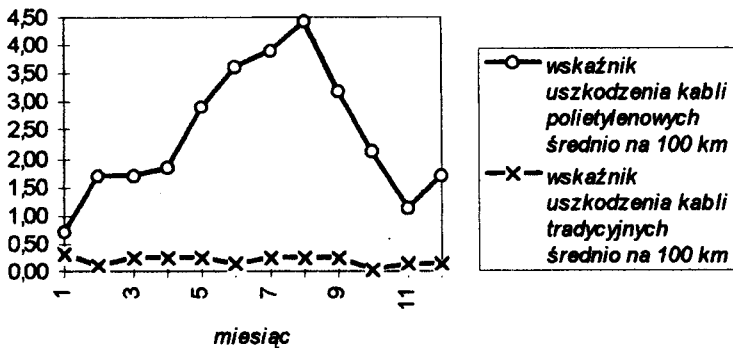
W ZE Tarnów S.A. wskaźnik ten wynosi 2,4 uszkodzeń/100km/rok. Najstarszym eksploatowanym kablem jest kabel typu KFTa  $3 \times 16 \text{ mm}^2$ , na którym podczas ostatniej naprawy (uszkodzenie na wskutek prowadzonych robót ziemnych) znaleziono znaczniki ułożenia kabla w 1929 roku. Kabel ten pracuje na napięciu 6kV.

Rozkład awarii kabli ze względu na stosowany typ izolacji przedstawiono na rysunku 1. Wykres wykazuje jednoznacznie że zasadniczym problemem jest awaryjność kabli wykonanych w oparciu o izolację z polietylenu nieusieciowanego. W izolacji tych kabli zachodzi zjawisko „drzewienia izolacji”. Degradacja elektrochemiczna drzewienia wodnego zwłaszcza w postaci drzewek otwartych zmniejsza wytrzymałość elektryczną polietylenowej izolacji.



Rys. 1. Porównanie długości i awaryjności kabli z podziałem na kable o izolacji z polietylenu nieusieciowanego i pozostałe

W przypadku gdy długość drzewek wodnych przekracza 40% grubości izolacji, to wówczas wytrzymałość elektryczna przy napięciu przemiennym 50 Hz polietylenowej izolacji takiego kabla obniża się co najmniej 4-krotnie w stosunku do rzeczywistej wytrzymałości elektrycznej izolacji niezdegradowanej. Stwierdza się że zaawansowanie, grożące ciągłymi przebiciami elektrycznymi, występowało już po 3 do 5 latach eksploatacji. od oddania linii kablowej. Przeprowadzono analizę rozkładu uszkodzeń kabli w poszczególnych miesiącach roku za lata 1994 do 1996.



Rys. 2. Rozkład uszkodzeń kabli w ciągu roku przeliczony na wskaźnik awaryjności na 100 km/miesiąc średnio za lata 1994-1996

Przebieg uszkodzeń w ciągu roku wykazuje sezonowość nasilania się awarii od miesiąca maja do września. Oprócz zjawiska drzewienia izolacji, na skutek wilgot-

ności i temperatury między innymi zmniejsza się rezystywność izolacji w miesiącach letnich [3].

### **3. Stan techniczny kabli z izolacją z polietylenu nieusieciowanego**

Prawie bez zmian od wielu lat główną przyczyną uszkodzeń w średnionapięciowych kablach z izolacją z tworzyw sztucznych, pozostaje uszkodzenie osłony izolacyjnej z powinitu. Na przełomie lat 70 i 80 bardzo szeroko w inwestycjach stosowano kable średniego napięcia z izolacją z polietylenu. Świadomość znaczenia szczelności płaszczka zewnętrznego (powłoki) była znikoma. Sądzono nawet, że służy tylko do ochrony żyły powrotnej. W tej sytuacji wykonawcy robót nie przywiązywali należytej roli do zachowania izolacyjnego charakteru powłoki zewnętrznej. Technologia układania kabli była w przeważających przypadkach niezgodna z wymaganiami przepisów budowy kablowych linii elektroenergetycznych. Jeżeli były wykonywane pomiary szczelności powłoki to wyniki tych pomiarów uważane były za nieistotne dla dalszej eksploatacji kabli.

Zawigocenie izolacji kabla jest jedną z przyczyn tworzenia się tzw. „drzewek wodnych”. Często są one pierwotną przyczyną usterek kabli. W kablach które nie są wzdłużnie wodoszczelne powstaje dodatkowo zagrożenie uszkodzeń muf przez wnikałą wodę. Uszkodzenia płaszczka — jeżeli nie są związane z naruszeniem izolacji kabla, rzadko prowadzą do szybkiej awarii kabli. Od momentu tego uszkodzenia do pojawienia się właściwego uszkodzenia kabla mogą minąć miesiące a nawet lata. Jeżeli np.: płaszcz z tworzywa sztucznego zostanie skałeczony przez nagniecenie, to znajdujący się pod nim ekran (żyła powrotna) może zostać mniej lub więcej wgnieciony w izolację główną. W tym miejscu, jednorodna struktura pola zostaje zakłócona i powstają ścieżki wyładowań cząstkowych, które zależnie od intensywności, niszczą izolację i przez to zapoczątkowują przebicie kabla. Również w kablach niskiego napięcia, w izolacji z polietylenu, uszkodzenia płaszczka lub izolacji głównej żyły do ziemi, nie powoduje natychmiastowej awarii, gdyż prądy doziemne które płyną między uszkodzoną żyłą a ziemią są zbyt małe aby spowodowały zadziałanie zabezpieczeń. Jednak działając w dłuższym czasie powodują stopniowe utlenianie się żyły aluminiowej i zmniejszanie się czynnego przekroju, co prowadzi do zwiększenia się rezystancji żyły i jej upalania.

### **4. Badania (próby) kabli średniego napięcia w Zakładzie Energetycznym Tarnów S.A.**

Do badania kabli i lokalizowania uszkodzeń posiadamy aparaturę firmy Messa Elektronik Drezno i firmy Hagenuc. Mimo różnic w technologii pomiaru i roku produkcji, przyrządy te pracują w oparciu o prąd stały. Metoda ta jest dopuszczalna przez obowiązujące normy [4]. Używamy aparatury zamontowanej na samochodzie pomiarowym oraz aparatury przenośnej. Jak wykazały doświadczenia, próba napięciowa prądem stałym przy kablach z izolacją z polietylenu nie określa jednoznacznie stanu

izolacji kabla. Można stwierdzić że upływność kabli jest porównywalna z upływnością przyrządów zainstalowanych na samochodzie pomiarowym a mimo to może nastąpić przebicie izolacji kabla. Nierozpoznawalne przy tej próbie jest zjawisko degradacji izolacji (drzewienie wodne). Po zastosowaniu czulszego przyrządu pomiarowego do pomiaru upływności, przy aparaturze firmy Hagenuc, przed osiągnięciem wymaganej wartości napięcia obserwuje się, że w niektórych przypadkach występowały „pompowania” wskazówki po czym po chwili następowało przebicie izolacji. Rząd wahań wskazówki wynosi kilka mikroamperów. Świadczy to o występowaniu przed przebiciem wyładowań wstępnych. Przy pomiarach kabli tradycyjnych metoda ta jest miarodajna i iloraz napięcia i prądu upływności jest wartością rezystancji izolacji. Zasadą jest aby ograniczać ilość prób napięciowych jak i też czas próby aby nie pogłębiać degradacji izolacji kabli z polietylenu nieusieciowanego.

Lokalizacja uszkodzenia przy kablach z izolacji z polietylenu jest łatwiejsza niż przy kablach tradycyjnych. Przebicie izolacji jest skośne (promieniste). Natomiast na kablach tradycyjnych ścieżka przebicia jest różnorodna, spotykane są też ścieżki spiralne, które utrudniają lokalizację uszkodzenia.

Dużym utrudnieniem przy lokalizacji uszkodzenia jest fakt łączenia kabli z izolacją tradycyjną i kabli z izolacją polietylenową.

Dosyć charakterystycznym zjawiskiem jest odcinkowe uszkodzanie się kabli. Po wymianie odcinka linii kablowej na którym występowały uszkodzenia zanikały awarie na tym kablu.

## 5. Dotychczasowe działania zmierzające do zmniejszenia awaryjności

- Stosowanie ograniczników przepięć na końcach linii kablowych na stacjach i rozdzielniach. Ogranicza się wielkości przepięć łączeniowych oraz efekty fal odbitych.
- Zastosowanie uziemienia neutralnego punktu sieci SN przez rezystor na GPZ Grabówka. Rezystor został zamontowany w miesiącu styczniu br. Obecnie zbieramy informacje o pracy tej stacji po zamontowaniu rezystora. Zgodnie z wykresem rozkładu uszkodzeń ocenę tą przeprowadzimy w miesiącu październiku. Dotychczasowe działania układu pracy i zabezpieczeń są poprawne i wykazują pozytywne skutki zmiany pracy punktu neutralnego sieci SN (brak uszkodzeń jednoczesnych, selektywność wyłączeń).
- Wymiana kabli niesieciowanych dokonywana jest w sposób systematyczny. Przede wszystkim ocenia się możliwość zastąpienia kabli w izolacji z polietylenu niesieciowanego istniejącymi kablami. Prowadzi się bardzo szeroko analizę awaryjności, uwzględnia się nowe budowane kable zasilające w ramach inwestycji. Dokonuje się wymiany odcinków najbardziej uszkodzalnych.
- Zamontowano 25 sztuk wskaźników przepływu prądu zwarcia. Analizując drogę przepływu prądu zwarcia chcemy dokonać lokalizację uszkodzonego odcinka kabla bez stosowania wielokrotnych załączeń. Zmniejszy się ilość przepięć łączeniowych. Po ocenie pozytywnej pracy tych wskaźników przystąpimy do instalowania urządzeń w szerszym zakresie.

## 6. Podsumowanie

Całkowita wymiana kabli z polietylenu nieusieciowanego jest nieunikniona. Na poziomie cen obecnych szacuje się koszt wymiany na kable tradycyjne w wysokości 1,6 mln zł (kable polietylenowe usieciowane około 15% więcej). Dlatego też poprzez zmniejszenie awaryjności kabli SN przez ograniczenie przepięć, chcemy uzyskać efekt przesunięcia w czasie inwestowania w wymianę kabli o izolacji z polietylenu niesieciowanego..

## Literatura

- [1] **Rakowska A.:** *Uszkodzalność kabli elektroenergetycznych średniego napięcia i doświadczenia europejskie.* Biuletyn Informacyjny PTPiREE nr 12/96
- [2] *Zestawienie awaryjności w ZE Tarnów S.A. za lata 1994, 1995, 1996*
- [3] *Poradnik inżyniera elektryka.* tom 1, WNT 1996
- [4] *Zarządzenie MGiE z dnia 17.07.1987 w sprawie ogólnych zasad eksploatacji urządzeń i instalacji energetycznych*

### THE FAILURES OF CABLES MEDIUM VOLTAGE IN ZAKŁAD ENERGETYCZNY TARNÓW S.A.

The level of failures of cables medium voltage was shown in this paper. The kind of cables and test results are disused here. In the and some maitenance experince are presented.