

**Manfred BAESCH, Jose CARDINAELS, Paweł KIELKOWSKI**

NPAG GmbH, NNS NV, GPH sp. z o.o.

## **Mufy przejściowe dla sieci kablowych średniego napięcia**

**Obniżenie zdolności przewodzenia prądu elektrycznego wewnątrz muf przejściowych w wyniku wystąpienia wilgoci na papierowych warstwach izolacyjnych nasyconych olejem.**

**Effect of Moisture on the Electrical Performance of Transition-joints for Medium Voltage Paper-insulated Cables.**

Mufy przejściowe, typy izolacji, przenikanie wilgoci, trwałość pracy sieci/transition joint, isolation, moisture penetrat, cabel system durability

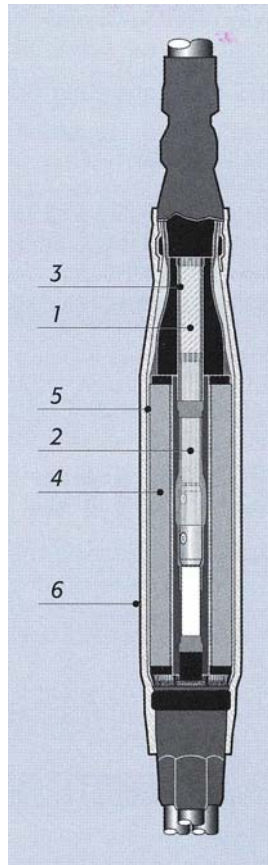
Kable posiadające izolację papierową były od dawien dawna chronione metalową osłoną przed wtargnięciem wilgoci. W wyniku użycia „nowoczesnych” muf przejściowych w miejscu złączeń kabli izolowanych XLPE przerwanu ulega bariera metalowa i pojawia się ryzyko wniknięcia wilgoci. Niniejszy artykuł daje wgląd we właściwości materiałów odnośnie przepuszczalności pary wodnej i wyjaśnia wyniki przeprowadzanych badań pomiarowo-kontrolnych.

Mimo iż w większości krajów Europejskich nie kładzie się już kabli z izolacją papierową, większość sieci średniego napięcia składa się ciągle jeszcze z trójżyłowych kabli z izolacją rdzeniową oraz kabli ekranowych (Hochstädtera) z płaszczem ołowianym (przede wszystkim przy 10 kV) lub kabli trójpowłokowych ołowianych (w przypadku 20 oraz 30 kV), które od dziesiątek lat są w użyciu i nie stanowią problemów. W przypadku tego rodzaju kabli dielektryk (izolacja) składa się z papieru nasyconego olejem. Izolacja ta chroniona jest płaszczem metalowym lub aluminiowym, aby gaz nie mógł wydostać się na zewnątrz oraz, co jest jeszcze ważniejsze, aby wilgoć z gruntu nie dostała się do izolacji papierowej. Do przebicia elektrycznego dochodzi w sytuacji, gdy wilgoć w izolacji papierowej jest >3 % masy.

Od ok. 30 lat sieci są rozbudowywane za pomocą kabli z izolacją XLPE, przy czym w miejscach złączeń ze „starym” kablem z izolacją papierową stosowane są mufy przejściowe. W przypadku napraw defektów tradycyjnych kabli (z izolacją papierową) w coraz większym stopniu koniecznym staje się użycie dwóch muf przejściowych, ponieważ kable z izolacją papierową (kable masowe) w zasadzie nie są już łatwo dostępne.

Poza tym coraz mniej monterów potrafi montować mufy kablowe przeznaczone dla kabli tradycyjnych „starą metodą”. O ile wcześniej mufy zalewane były w obudowach w żywicy lub bitumie przywracając ochronę metalową, o tyle w przypadku „nowoczesnych” muf przejściowych, będących następczyniami termo- lub zimnokurczliwych muf przelotowych dla kabli z izolacją XPLE, istnieje bariera przed wilgocią wyłącznie z tworzywa.

Przekrój typowej mufy przejściowej kabla rdzeniowego przedstawiony został na Rys.1. Żyły w izolacji papierowej kabla masowego, bez ochrony metalowej, są chronione przed czynnikami zewnętrznymi wyłącznie za pomocą tworzywa sztucznego.



1. Izolacja papierowa kabla mokrego
2. Rura separująca syciwo; termokurczliwa (przezroczysta rura) lub zimnokurczliwa (rura silikonowa)
3. Przewodząca rura termokurczliwa lub inna powłoka przewodząca
4. Warstwa izolacyjna
5. Siatka miedziana
6. Ochronna powłoka zewnętrzna (termo- lub zimnokurczliwa)

Rys.1 Przekrój mufy przejściowej

### Przepuszczalność pary wodnej.

Jak wiadomo, tworzywa są – w przeciwieństwie do metali - gazoprzepuszczalne. Np. nadmuchany balon straci po pewnym czasie swoją objętość; a chrupiące ciastka, które znajdują się w plastikowym opakowaniu, zrobią się miękkie. Przyczyną tych zjawisk jest przepuszczalność tworzyw. Przemysł produkujący opakowania przeznaczone dla artykułów spożywczych opracował wiele rodzajów folii, aby rozwiązać tego rodzaju problemy; ciągle nie ma jednak lepszych folii od tych z metalową powłoką. Nawet jeśli woda nie może przeniknąć przez membranę w stanie ciekłym, to tworzywo może pochłaniać molekuly w formie gazowej i wypuszczać po drugiej stronie jako cząsteczki gazu. Dzieje się to aż do momentu wyrównania ciśnienia cząstkowego. W wyniku różnic temperatury w miejscach chłodniejszych para może się skraplać, co wywołuje tzw. efekt pompowy. Przepuszczalność pary wodnej różnych tworzyw stosowanych w osprzęcie kablowym została zbadana w montażu kontrolnym.

### Montaż kontrolny.

Aby zmierzyć przepuszczalność pary wodnej, badany materiał został naciągnięty w formie membrany na mały, wypełniony wodą pojemnik. Temperatura regulowana była za pomocą termoregulatora, równocześnie stałe mierzono ciężar. Po pewnym czasie, po procesie wyrównawczym ciężar zmienił się liniowo z czasem. Na podstawie tej krzywej

## VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

jak również wymiarów badanej próbki należało obliczyć szybkość zmian przepuszczalności.

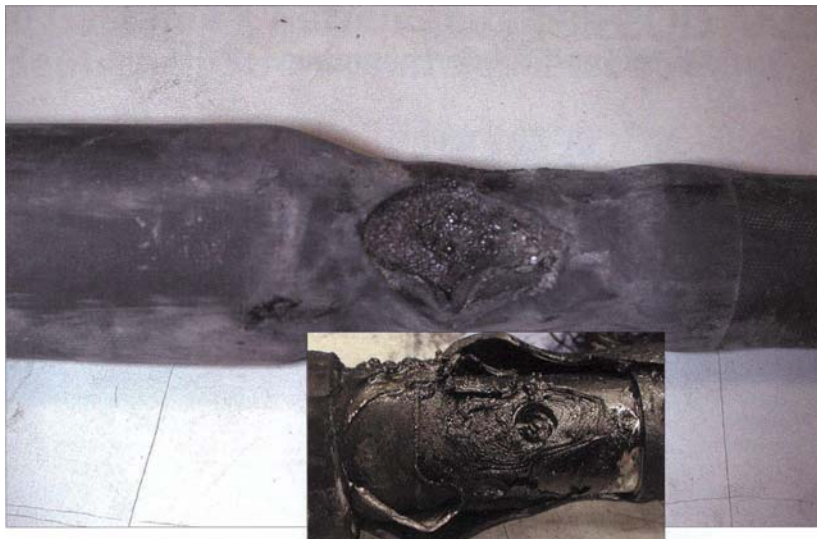
Opisane tutaj pomiary zostały przeprowadzone za pomocą cyfrowego miernika WVTR Versaperm według ISO 15106 w temperaturze 50°C oraz 100 % względnej wilgotności powietrza.

### **Wyniki pomiarów.**

Wyniki dotyczące zróżnicowania materiałów zostały przedstawione w Tabeli 1. Przeliczając na 1 mm grubości wartości wykazują istotne różnice, i tak guma silikonowa z wartością 386 g/m<sup>2</sup> x d jest materiałem bardzo przepuszczalnym. Pozostałe elastyczne tworzywa polimerowe wykazują dane o wartości ok. 1 do 5 g/m<sup>2</sup>xd, podczas gdy cienka folia PE jest 100 razy mniej przepuszczalna, a posiadająca powłokę aluminiową folia kompozytowa w zasadzie nie przepuszcza pary wodnej (wartość pomiaru poniżej możliwości urządzenia pomiarowego).

### **Próby starzeniowe.**

W zależności od konstrukcji muf oraz właściwości stosowanych materiałów na powierzchniach kabla masowego niepokrytych metalową powłoką (krawędź płaszczka metalowego do łącznika przewodów) z czasem izolacja papierowa wchłania w mniejszym lub większym stopniu wilgoć. Mufy, w przypadku których wodoszczelność nie zostaje w pełni osiągnięta konstrukcyjnie, a woda dostaje się do izolacji papierowej kabla masowego, mogą w krótkim czasie doprowadzić do awarii. Zdarzają się również awarie muf przejściowych spowodowane wodą w izolacji papierowej kabla masowego, w przypadku których woda nie mogła dostać się do izolacji papierowej kabla masowego w stanie ciekłym.



Rys.2 Przebicie izolacji papierowej w wyniku wilgoci po trwającej 3 lata eksploatacji sieci

W większości przypadków stwierdzono brak działania izolacji papierowej przed izolatorem (Rys. 2 oraz 5) w tym miejscu, w którym warstwy izolacji papierowej kabla masowego wykazywały najmniejszą ochronę przed parą wodną. W tym obszarze

obciążenie elektryczne nie jest nadmiernie wysokie. W normalnych warunków nie należy spodziewać się w tym miejscu przebicia elektrycznego. Tego rodzaju błędy powinny być eliminowane w wyniku procesu sztucznego starzenia przy badaniach osprzętu.

#### Montaż kontrolny.

Badane elementy zostały zamontowane na jednożyłowych kablach z płaszczem ołowianym z izolacją papierową jako mufy końcowe do kabli napięcia przemiennego. Żyły o długości ok. 1m zostały zainstalowane według wskazówek montażowych muf przejściowych dla kabli trójżyłowych – z uwzględnieniem tras pomiędzy końcówką korpusu mufy a początkiem płaszcza ołowianego żył (Rys. 3). Badane próbki znajdowały się w kotle z gorącą wodą o temperaturze 60 do 65 °C i zostały poddane działaniu 24 kV napięcia zmiennego. Cyklicznie mierzono współczynnik strat ( $\tan \delta$  przy 12 kV, 50 Hz) oraz rezystancję izolacji (przy 5 kV napięcia stałego).



1. Izolacja papierowa kabla mokrego
2. Rura separująca syciwo termokurczliwa (rura przezroczysta) lub zimnokurczliwa (rura silikonowa)
3. Przewodząca rura termokurczliwa lub inna powłoka przewodząca
4. Warstwa izolacyjna
5. Siatka miedziana
6. Ochronna powłoka zewnętrzna (termo- lub zimnokurczliwa)
7. Pręt izolacyjny
8. Płaszcz ołowiany
9. Mastyka uszczelniająca
10. Głowica kablowa

Rys.3 Montaż do pomiarów

#### Pierwszy przebieg kontrolny

Podczas pierwszego przebiegu zbadano 3 typy próbek:

**Typ A:** Elementy zimnokurczliwe z silikonową rurą separującą syciwo oraz zewnętrzną rurą osłonową z EPDM w jednej konstrukcji, które w praktyce doprowadziły do awarii po 3 do 5 lat eksploatacji,

**Typ B:** Elementy nasuwane zimnokurczliwe z silikonową rurą separującą syciwo oraz zewnętrzną rurą osłonową z EPDM (inny producent), oraz

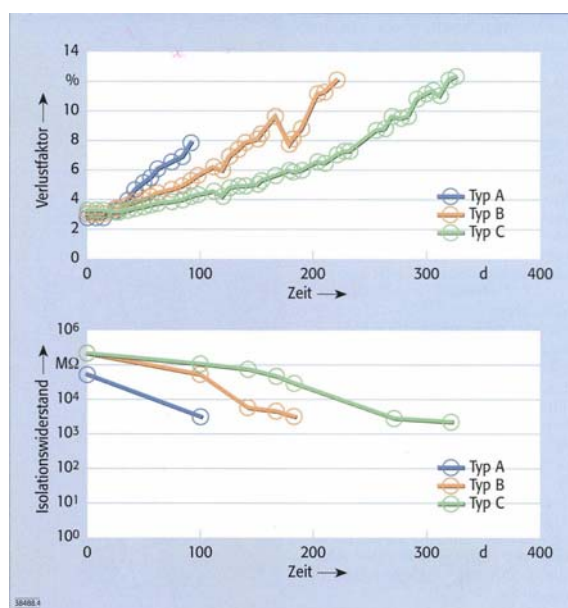
**Typ C:** Elementy zimnokurczliwe z silikonową rurą separującą syciwo oraz zewnętrzną rurą osłonową z EPDM, dodatkowo z folią PE.

W przypadku tych 3 typów do przebicia w izolacji kablowej doszło po upływie 100 (Typ A), 223 (Typ B) oraz 334 dni (Typ C). Defekty znajdowały się w obszarze, w którym płaszcz ołowiany został usunięty i zastąpiony tworzywem sztucznym (Rys. 4). W warstwach izolacji papierowej zmierzono 4 do 5 % wilgoci. Tym samym zostało potwierdzone, że owe postępowanie kontrolne może unaocznic oraz przyspieszać występujący w praktyce problem montażu i zastosowanych materiałów.

## VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

Tablica 1. Szybkość przenikania pary wodnej WVTR (Water Vapour Transmission Rate)

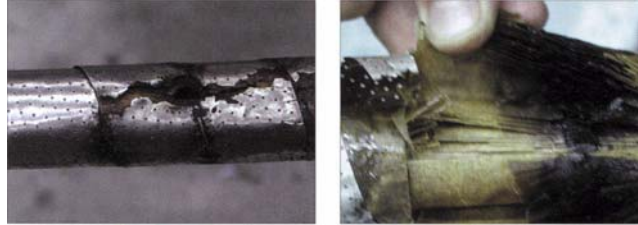
Tablica 1			
	Wyniki	Przeliczenie	
Określenie materiału	Grubość mm	WVTR $\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$	WVTR przy 1 mm $\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$
Guma EPDM	2	2,5	5
Guma silikonowa	2	193	386
Folia PE	0,030	1,9	0,06
Folia PE/Al/PE	0,150	<0,01	<0,001
Mastyka uszczelniająca	2	0,37	0,74
Rura termokurczliwa	0,5	2,6	1,3
Rura termokurczliwa przezroczysta, separująca syciwo	0,4	10,3	4,1



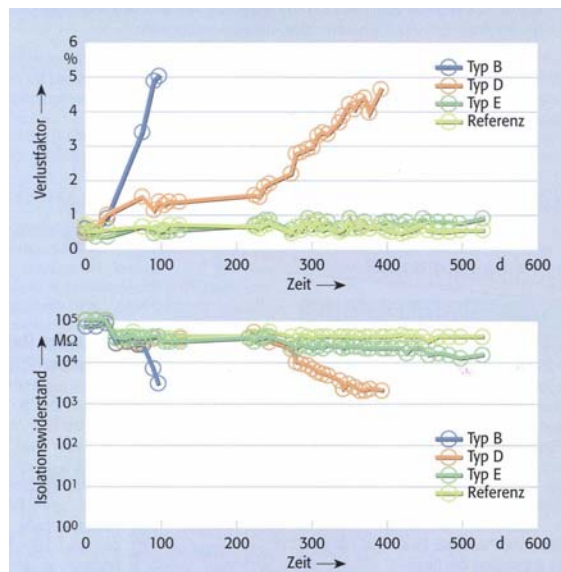
Rys.4 Przebieg współczynnika strat (u góry) oraz rezystancji izolacji (na dole) w czasie starzenia

### Drugi przebieg kontrolny

W drugim przebiegu mufy zastąpiono 3-metrowymi spreparowanymi i posiadającymi izolację papierową kablami z płaszczem ołowianym. Ze środka kabli usunięto płaszcz ołowiany na długości 30cm i zastąpiono go różnymi węzami uszczelniającymi.



Rys.5 Przebicie izolacji papierowej



Rys.6 Przebieg współczynnika strat (u góry) oraz rezystancji izolacji (na dole) w czasie starzenia

**Typ B:** Elementy zimnokurczliwe z silikonową rurą separującą syciwo oraz zewnętrzną rurą osłonową z EPDM (jak Typ B u góry),

**Typ D:** Elementy termokurczliwe jako rura separująca syciwo z zewnętrzną rurą osłonową,

**Typ E:** Elementy zimnokurczliwe z silikonową rurą separującą syciwo z zewnętrzną rurą osłonową z EPDM (jak Typ B u góry) z dodatkową polimerową folią kompozytową (PE-Al-PE, grubość 150 µm).

W celu uszczelnienia elementów kurczliwych na kablach zastosowano mastykę. Jako wycinek kontrolny sprawdzono ponadto niespreparowany kabel.

Do przebicia osłony polimerowej doszło w przypadku Typu B po upływie 84 a w przypadku Typu D po upływie 392 dni. Badanie zostało ukończono po upływie 526 dni bez przebicia próbki Typu E.

W trakcie owego badanie zostało udowodnione pozytywne działanie ochronnej cieniutkiej powłoki metalowej, mimo iż ochrona folii kompozytowej nie może być 100%, ponieważ na końcach uszczelnienie płaszczka metalowego kabla masowego składało się z mastyki uszczelniającej.

## **VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010**

Warto dodać, że badanie przebiegało pomiędzy 125 a 215 dniem w temperaturze pokojowej z powodu awarii urządzenia. W przebiegu krzywej D (Rys. 6) widoczne jest załamanie odzwierciedlające spadek temperatury.

### **Podsumowanie**

W wyniku prób starzeniowych różnych muf przejściowych badana była pod kątem przepuszczalności wody, względnie pary wodnej skuteczność materiałów „uszczelniających” na obszar izolacji papierowej kabli średniego napięcia nieposiadającego metalowej ochrony w „nowoczesnych” mufach przejściowych. Użyto uszczelnienia z silikonu, EPDM, PO, PE, folii kompozytowej z PE-Al-PE jak również ich kombinacji. Zadowolający wynik uzyskano wyłącznie w przypadku próbki E (materiału separującego olej z folią kompozytową). W tym przypadku obszar kabla, z którego usunięto płaszcz ołowiany, został przykryty folią metalową (folia kompozytowa) i wydatnie wspomógł uszczelnienie kabla.

Badania wykazały, że stała niezawodność „nowoczesnych” muf zależy w zasadniczym stopniu od dobrze działającej zapory chroniącej przed parą wodną.

---

**Autorzy/tłumaczenie:** Dr inż. Manfred Baesch, NPAG GmbH, div. EUROMOLD; Mgr inż. Jose Cardinaels, NNS NV, div. EUROMOLD;  
mgr inż. Paweł Kielkowski, GPH Sp. z o.o., 47-400 Racibórz, ul. Wiejska 18,  
E-mail: [pkielkowski@gph.pl](mailto:pkielkowski@gph.pl);