

Jan BURSA¹, Mirosław SREBRO²

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Elektrotechnologii
i Diagnostyki (1)
Szczecińska Stocznia Remontowa GRYFIA S. A. (2)

Eksploatacja izolacji sieci trolejowej w warunkach zabrudzeniowych

***Abstract.** The paper presents results of a research conducted on various types of insulators from trolley power network mounted horizontally and vertically, clean and contaminated with shredded copper abradant and sand abstergent. The conclusions drawn from the research allowed to determine the level of environmental hazard and keeping the proper technical condition of trolley traction.*

Keywords: trolley power network, insulators, shredded copper abradant, sand abstergent

Wprowadzenie

Przeważająca ilość szynowych urządzeń o napędzie elektrycznym zasilana jest przez napowietrzną lub podziemną elektryczną sieć trakcyjną zwaną również w niektórych przypadkach siecią (trakcją) trolejową. Nadrzędną sprawą w przypadku każdego rodzaju zasilania jest bezawaryjne dostarczanie odpowiedniej ilości energii. Niestety jest to uzależnione jest wielu czynników.

Trakcja trolejowa stosowana jest do zasilania w energię elektryczną samojezdnych urządzeń, takich jak dźwigi, żurawie, suwnice, urządzenia do transportu towarów lub ludzi itp., które muszą poruszać się na długim odcinku drogi, a nie są czy nie mogą być zasilane w inny sposób. Warunkiem koniecznym jest utrzymanie właściwego stanu technicznego kanałów trolejowych oraz znajdujących się w nim izolatorów trakcyjnych, które trzymają przewody jezdne, czyli tzw. troleje.

Kluczowym warunkiem zapewnienia dostaw energii elektrycznej dla trakcji trolejowej jest właściwy stan pracujących w kanałach pod powierzchnią ziemi prądobieraków i izolatorów. Przewodzące elementy sieci muszą spełniać warunki zapewniające z jednej strony dostawę wymaganej ilości energii elektrycznej, a z drugiej muszą być zdolne do przenoszenia odpowiednio dużych naprężeń mechanicznych. Często specyfika pracy trakcji trolejowej przejawia się zróżnicowanymi warunkami środowiskowymi, w których taka trakcja pracuje. Czynnikiem oddziałującymi na trakcję trolejową, a przede wszystkim na izolację są: zazwyczaj bardzo rozdrobnione ścierniwo z żużla pomiedziowego, czysciwo piaskowe, cząstki skorodowanego metalu, resztki farb i lakierów, a także wilgoć, woda oraz wibracje. Skład chemiczny ścierniwa z żużla pomiedziowego i czysciwa piaskowego pokazano w tabeli 1.

Kanały nie są szczelne i wszelkie zabrudzenia znajdujące się w otoczeniu kanałów osadzają się na izolatorach i na zbierakach. Izolatory pokrywają się specyficznym pyłem, który w zetknięciu z wilgocią tworzy twardą, higroskopijną warstwę. Warstwa ta, w zależności od składu chemicznego, jest mniej lub bardziej przewodząca, ale zawsze jej przewodność jest zbyt duża dla bezpiecznej eksploatacji sieci, ponieważ cząstki pyłów osadzające się na powierzchni izolatorów powodują zwiększoną upływność powierzchniową. Zawilgocenie warstwy zabrudzeniowej zwiększa ryzyko wystąpienia wyładowań na powierzchni izolatorów. Wytrzymałość elektryczna pod wpływem

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

narażenia zabrudzeniowego może obniżyć się do tego stopnia, że zagraża to przeskokiem nawet pod napięciem roboczym, prowadząc do uszkodzenia izolatora [1].

Tabela 1. Składy chemiczne materiałów stosowanych do czyszczenia strumieniowego dużych powierzchni stalowych [2, 3]

Ścierniwo z żużła pomiedziowego		Czyściwo piaskowe	
SiO ₂	32.0 ~ 46.0 %	SiO ₂	99,571 %
CaO	18.5 ~ 29.0 %	Al ₂ O ₂	0,116 %
FeO	4.5 ~ 6.0 %	Fe ₂ O ₃	0,053 %
Al ₂ O ₃	10.0 ~ 14.5 %	TiO ₂	0,113 %
MgO	8.0 ~ 12.5 %	CaO	0,002 %
		K ₂ O	0,003 %

Trakcja trolejowa

W kanałach trolejowych stosowane są dwa rozwiązania montażu izolatorów: w położeniu pionowym i poziomym. W położeniu pionowym warstwa zabrudzeniowa gromadzi się przede wszystkim na górnej powierzchni izolatora, w położeniu poziomym zaś na całej długości izolatora. Urządzenia jezdne zasilane są poprzez zbieraki prądu znajdujące się w kanałach trolejowych i od ich pracy oraz właściwego stanu technicznego zależy bezawaryjność dostaw energii. Izolatory trakcji trolejowej umieszczone są w podziemnych kanałach trolejowych. Teoretycznie jest to strefa zamknięta, ale ponieważ kanały trolejowe przykryte są ruchomymi pokrywami o różnym stopniu dopasowania, występują nieszczelności, poprzez które możliwa jest penetracja różnych składników znajdujących się w powietrzu, przede wszystkim pyłów i wilgoci.



Rys. 1. Widok kanału trolejowego z powierzchni ziemi [4]

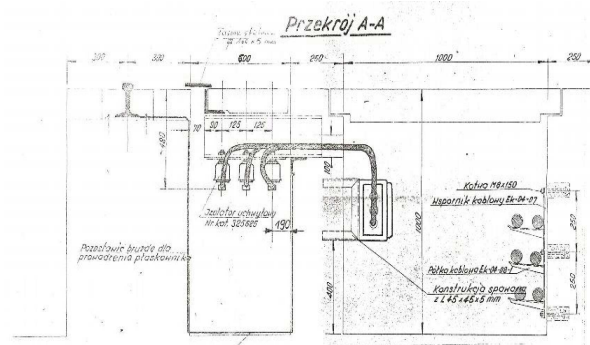


Rys. 2. Widok prądobieraków i przewodów trolejowych [4]

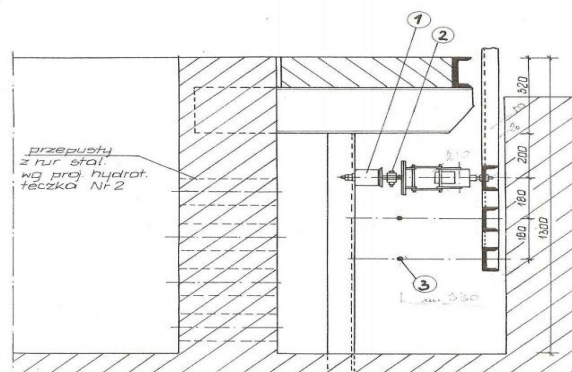
VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012



a) b)
Rys 3. Izolator uchwytny typu TiU-25 pracujący w pozycji pionowej (a) i izolator uchwytny typu Tn Um pracujący w pozycji poziomej (b) [4]

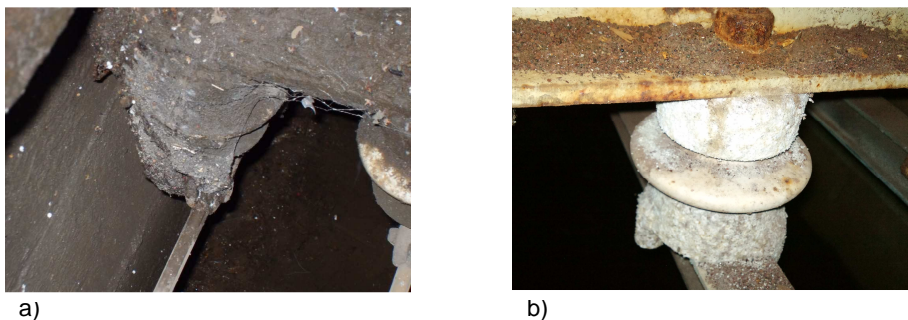


Rys. 4. Przekrój kanału trolejowego – izolatory w położeniu pionowym [5]



Rys. 5. Przekrój kanału trolejowego – izolatory w położeniu poziomym [5]

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012



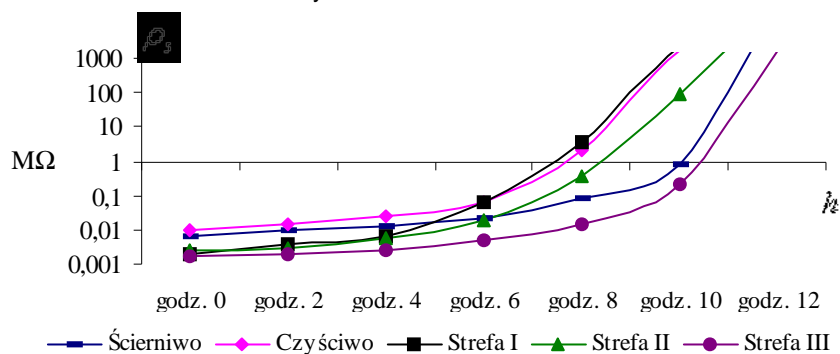
Rys. 6. Przykłady izolatorów Tn Um po działaniu: (a) wszystkich występujących czynników atmosferycznych, (b) wyłącznie wilgoci panującej w szczelnym kanale trolejowym [4]

Pomiary

Pomiar rezystywności powierzchniowej

Jako podstawowy parametr charakteryzujący narażenia zabrudzeniowe przyjmuje się konduktywność (oporność) powierzchniową [1]. Ważna jest tutaj jednorodność i stałość grubości powłoki zabrudzeniowej, bowiem szczególnie niekorzystne nierównomierności rozkładu powłoki zabrudzeniowej na powierzchni izolatora mogą być powodem obniżenia napięcia przeskoku o 40% w porównaniu do napięcia przeskoku przy warstwie równomiernej [6]. Na potrzeby niniejszej pracy przeprowadzono pomiar rezystywności powierzchniowej z wykorzystaniem układu własnej konstrukcji. Pomiar polegał na określeniu rezystywności powierzchniowej pyłu uzyskanego z powierzchni eksploatowanych izolatorów, zawilgoconego na początku badania i wysychającego poprzez parowanie w trakcie badania. Jest to proces odwrotny do rzeczywistego przypadku zawilgacania warstwy pokrywającej powierzchnię izolatorów. Przyjęto odległość izolacyjną równą 5 cm, a cały pomiar trwał ok. 12 godz.

Dla porównania przeprowadzono pomiar rezystywności powierzchniowej ścierniwa i czyściwa w stanie nierozdrobnionym.

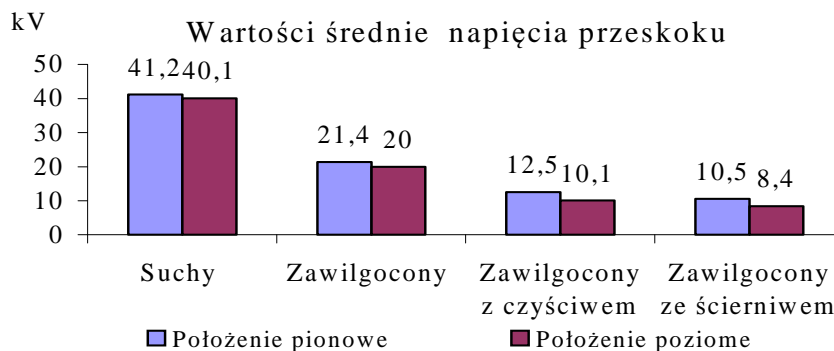


Rys. 7. Zmiany rezystywności powierzchniowej zawilgoconej i rozdrobnionej warstwy pobranej z powierzchni izolatorów – ze strefy najmniej zabrudzonej (strefa I), średnio zabrudzonej (strefa II) i strefy najbardziej zabrudzonej (strefa III) oraz zawilgoconego ścierniwa i czyściwa [na podstawie 4]

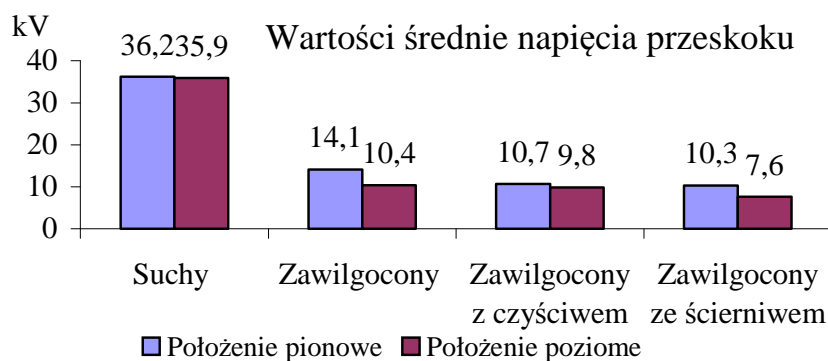
VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

Pomiar napięcia przeskoku

Pomiaru napięcia przeskoku dokonano na izolatorach Tn Um zawilgoconych i zabrudzonych sztucznie w laboratorium. Zastosowano bardzo rozdrobnione cząstki ścierniwa z żużla pomiedziowego i czyściwa piaskowego o składzie chemicznym podanym w tabeli 1. Pomiaru dokonano w dwu różnych pozycjach pracy izolatorów - poziomej i pionowej czyli w takich, w jakich izolatory te pracują podczas normalnej eksploatacji. Dokonano także porównania napięcia przeskoku na izolatorach TiU-25 (stara konstrukcja) i Tn Um (nowa konstrukcja). Mierzono napięcie przeskoku między okuciami izolatora dla poszczególnych warstw zabrudzeniowych, a w przypadku zawilgoconych warstw zabrudzeniowych, określano napięcie, przy którym powierzchniowy prąd upływu osiągnął wartość 20 A.



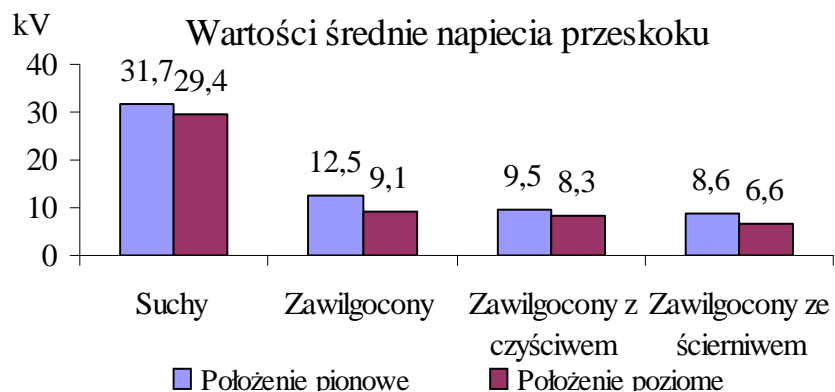
a)



b)

Rys. 8. Wartości napięć przeskoku izolatora Tn Um o powierzchni w kolejności: suchej, zawilgoconej, zawilgoconej i pokrytej czyściwem piaskowym, zawilgoconej i pokrytej ścierniwem z żużla pomiedziowego w przypadku izolatora fabrycznie nowego (a) i izolatora pochodzącego z demontażu (b) [na podstawie 4]

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012



Rys. 9. Wartości napięć przeskoku izolatora TiU - 25 pochodzącego z demontażu o powierzchni w kolejności: suchej, zawilgoconej, zawilgoconej i pokrytej czyszczywem piaskowym, zawilgoconej i pokrytej ścierniwem z żużla pomiedziowego [na podstawie 4]

Izolator pokryty wilgotną warstwą osadu typowego dla miejsca pracy izolatora jest bardzo złym izolatorem. Izolator taki jest bardziej złym przewodnikiem niż izolatorem. Pojawienie się dużego prądu upływu powoduje miejscowe rozgrzanie i osuszanie powierzchni. Może to doprowadzić i często prowadzi do wystąpienia miejscowych mikroprzeskoków, które w konsekwencji doprowadzają do przeskoku między okuciami po powierzchni izolatora. Z przeprowadzonych badań wynika, że na pracę sieci trolejowej mają wpływ:

- wilgoć (wilgoć ma większy wpływ na izolację w połączeniu z warstwą zabrudzeniową (przypadek nieszczelnych pokryw kanałów trolejowych) niż bez tej warstwy (przypadek bardzo szczelnych pokryw kanałów trolejowych). W drugim przypadku wytrzymałość napięciowa izolatorów jest większa. Wilgoci nie można uniknąć, można w jakimś stopniu zmniejszyć jej wpływ, np. czyszcząc powierzchnie eksploatowanych izolatorów),
- rodzaj osadu (w normalnej eksploatacji nie da się uniknąć penetracji rozdrobnionego pyłu w głąb kanałów trolejowych. Od pewnego czasu nie można stosować ze względów medycznych czyszczywa piaskowego, niestety ścierniwo z żużla pomiedziowego pogarsza w większym stopniu parametry elektryczne izolatorów niż czyszczywo piaskowe),
- położenie podczas pracy (w każdym przypadku korzystniejsza jest pionowa pozycja pracy izolatorów),
- wibracje (im większe wibracje tym szybsze zużycie podkładek miedziowo-grafitowych stosowanych pod prądobierakami).

Z wymienionych to jednak wilgoć jest zdecydowanie najgorszym czynnikiem środowiskowym oddziałującym na trakcję trolejową. Można by sądzić, że izolatory stosowane w trakcji trolejowej są przewymiarowane. Napięcie sieci trolejowej wynosi 400 V, czyli istnieje 10-krotny zapas wytrzymałości, a mimo tego to właśnie izolatory są najbardziej zawodną częścią sieci trolejowej.

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

Poprawa pewności zasilania

Tabela 2. Porównanie różnych rodzajów zasilania urządzeń dźwigowych [4]

	Zalety	Wady
Troleje podziemne - kanałowe	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zasilanie szynowych urządzeń dźwigowych, suwnic bramowych itp. 2. Łatwy dostęp. 3. Możliwość podziału sekcji 4. Łatwy montaż 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Możliwość uszkodzeń mechanicznych sieci. 2. Możliwość uszkodzeń elektrycznych sieci. 3. Możliwość uszkodzeń pokryw kanału trolejowego. 4. Panująca wilgoć. 5. Nagromadzenie warstw zabrudzeniowych izolatorów. 6. Utrudniona lokalizacja miejsca uszkodzenia sieci. 7. Utlenianie się okuć izolatorów.
Troleje nadziemne	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zasilanie suwnic, tramwajów, elektrowozów, trolejbusów itp. 2. Mała intensywność zabrudzeń izolatorów 3. Mała awaryjność sieci. 4. Łatwa lokalizacja uszkodzeń. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Możliwość uszkodzeń mechanicznych. 2. Możliwość uszkodzeń elektrycznych. 3. Utrudniony dostęp. 4. Wpływ czynników atmosferycznych.
Kable zasilające ciągnione	<ol style="list-style-type: none"> 1. Możliwość pracy w każdych warunkach. 2. Łatwy dostęp. 3. Łatwy montaż 4. Łatwa lokalizacja uszkodzeń. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Możliwość uszkodzeń mechanicznych kabla. 2. Krótka żywotność kabla. 3. Praca urządzenia uzależniona od długości kabla. 4. Wpływ czynników atmosferycznych.
Kable zasilające na zwijaku	<ol style="list-style-type: none"> 1. Możliwość pracy w każdych warunkach. 2. Łatwy dostęp. 3. Łatwy montaż. 4. Łatwa lokalizacja uszkodzeń. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Możliwość uszkodzeń mechanicznych kabla. 2. Praca urządzenia uzależniona od długości kabla. 3. Wpływ czynników atmosferycznych.
Szynoprzewody w kanale	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zasilanie szynowych urządzeń dźwigowych, suwnic bramowych itp. 2. Duża wytrzymałość mechaniczna. 3. Możliwość podziału sekcji 4. Łatwy dostęp. 5. Łatwy montaż 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Możliwość uszkodzeń elektrycznych sieci. 2. Możliwość uszkodzeń pokryw kanału trolejowego. 3. Panująca wilgoć. 4. Nagromadzenie warstw zabrudzeniowych izolatorów. 5. Utrudniona lokalizacja miejsca uszkodzenia sieci. 6. Utlenianie się okuć izolatorów.

W izolacji trakcji trolejowej spotyka się następujące uszkodzenia:

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

- pęknięte lub nadtłuczone części izolacyjne,
- pęknięte, odkształcone lub znacznie skorodowane okucia,
- osłabione zespolenie części izolacyjnych z okuciami,
- uszkodzenie polewy porcelanowej noszące ślady działania łuku elektrycznego,
- zdecydowany nadmiar warstwy zabrudzeniowej.

Poprawa pewności zasilania wiąże się z dwoma działaniami:

1. Uniknięcie uszkodzeń wymienionych powyżej poprzez zabezpieczenie przed postępowaniem korozji i czyszczenie ewentualnie wymiana izolatorów na nowe.
2. Zmiana systemu zasilania.

Jest pięć sposobów zasilania w energię elektryczną urządzeń trakcyjnych typu dźwigi, suwnice, bramownice itp. Są to trakcja trolejowa podziemna i nadziemna, zasilanie kablem ciągnionym i zwijającym oraz za pomocą szynoprzewodów. Zestawienie zalet i wad powyższych sposobów zasilania podano w tabeli 2.

Z powyższego zestawienia należy wyłączyć troleje nadziemne jako system niemający praktycznego zastosowania. Trakcja trolejowa podziemna i szynoprzewody w kanale to są podobne systemy zasilania z tym, że szynoprzewody są dużo droższe. Zasilanie kablem na zwijaku kablowym wydaje się najlepszym rozwiązaniem, ale jest duża podatność zniszczenia kabla. W eksploatacji z dostępnych systemów najtańsza jest trakcja trolejowa i jeśli dobrze dbać o tę sieć będzie ona także najtrwalsza.

References

- [1] Pohl. Zb., Izolatory elektroenergetyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2000.
- [2] Prospekt Instytutu Metali Nieżelaznych w Gliwicach.
- [3] Prospekt firmy KWARCSYSTEM Sp. z o.o. w Głogowie Małopolskim k. Rzeszowa.
- [4] Mirosław Srebro, Eksploatacja izolatorów trakcji zasilającej żurawie nabrzeżowe na terenie Szczecińskiej Stoczni Remontowej „Gryfia” S. A., praca dyplomowa magisterska, Szczecin 2010.
- [5] Dokumentacja techniczna (niejawna).
- [6] Wańkiewicz J., Przeskok zabrudzeniowy. Wybrane zagadnienia eksploatacyjne i materiałowo-konstrukcyjne izolatorów elektroenergetycznych, Prace Naukowe Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii PWr., Ne 28, seria Monografie, Nr 11, Wrocław, 1995 r.

Autorzy:

dr inż. Jan Bursa, Katedra Elektrotechnologii i Diagnostyki ZUT w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: bursa@zut.edu.pl,
mgr inż. Mirosław Srebro, Szczecińska Stocznia Remontowa GRYFIA S. A. ul. Ludowa 13, 71-700 Szczecin, e-mail: aqma.ms@wp.pl