

GRUZA Wojciech¹
WOJCIECHOWSKI Jerzy²

OCENA AWARYJNOŚCI LINII KABLOWYCH SN I nN NA WYBRANYM OBSZARZE ZASILANIA

W artykule przedstawiono analizę statystyczną awaryjności linii kablowych SN i nN na wybranym obszarze zasilania elektroenergetycznego. Dla porównania przedstawiono statystyki awaryjności dla całego zakładu, obejmującego badany obszar. Podano i przeanalizowano przyczyny powstawania awarii w sieciach tego typu. Podano dane statystyczne dotyczące czasów usuwania awarii w badanych liniach SN i nN.

THE FAILURE ASSESSMENT OF CABLE LINES SN AND nN IN CHOSEN SUPPLYING AREA

The paper presents statistical analysis of failure of cable lines SN and nN in chosen supplying area. For comparison failure statistics for the whole company comprising investigated area have been given. The causes of failures of these lines have been given and analyzed. Statistical data concerning repair time of SN and nN lines have been given.

1. WSTĘP

Niezawodna dostawa energii elektrycznej do odbiorców jest jednym z podstawowych zadań zarówno całego systemu elektroenergetycznego, jak i konkretnych służb elektroenergetycznych. Od niej zależy poprawne działanie urządzeń elektrycznych, co w konsekwencji ma też odzwierciedlenie w rozliczeniach finansowych pomiędzy dostawcą i odbiorcą. Wśród elementów decydujących o jakości dostawy tego medium jest awaryjność bloków systemu elektroenergetycznego, która ogranicza lub całkowicie uniemożliwia dostarczenie energii. Do najważniejszych części systemu przesyłu i rozdziału energii zalicza się linie elektroenergetyczne, w tym linie kablowe. W artykule zostaną przedstawione zagadnienia związane z awaryjnością kabli Sn i nN na wybranym obszarze zasilania oraz dla danego zakładu, obejmującego analizowany obszar.

¹Politechnika Radomska, student Wydziału Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.

²Politechnika Radomska, Wydziału Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.

E-mail: j.wojciechowski@pr.radom.pl, tel. +48 48 361-77-07

2. LINIE KABLOWE - WYBRANY OBSZAR ZASILANIA

W analizowanym obszarze zasilania sieci SN zbudowane są w około 75% jako linie napowietrzne, a w 25% jako kablowe. Proporcja ta ulega systematycznej zmianie na korzyść linii kablowych pomimo faktu, iż budowa linii napowietrznych jest około dwukrotnie tańsza niż linii kablowych. Linie kablowe SN oraz nN zazwyczaj buduje się w terenach miejskich, gdzie coraz większe znaczenie ma wygląd i estetyka krajobrazu. Nowobudowane obiekty przyłączane są do istniejącej sieci elektroenergetycznej, w większości przypadków za pomocą linii kablowych typu XRUHAKXS lub XHAKXS. Stosowanie tego rodzaju kabli oraz osprzętu regulują stosowne wytyczne. Zgodnie z nimi, dla linii kablowych SN zaleca się stosowanie przekrojów żył roboczych od 120 do 240mm². Dla linii o napięciu znamionowym równym 15kV należy dobierać izolację kabli, muf, głowic oraz innego osprzętu na napięciu 12/20kV.

Linie niskiego napięcia zbudowane są z wykorzystaniem kabli YAKY, od przekroju 25mm² do 240mm².

Awaryjne w liniach kablowych najczęściej powstają w wyniku starzenia się urządzeń oraz materiałów, uszkodzeń mechanicznych, jak również w wyniku błędów montażowych. Wskaźniki awaryjności linii napowietrznych i kablowych, jak i innych elementów sieci wyznacza się na podstawie wyników badań statystycznych. Ich podstawę stanowią gromadzone dane o awariach (np. o czasie trwania awarii, przyczynach wystąpienia zakłócenia). Awaryjność urządzenia wyraża się najprościej poprzez liczbę uszkodzeń danego urządzenia w ciągu roku.

Linie kablowe, w odróżnieniu od linii napowietrznych, w mniejszym stopniu narażone są na czynniki środowiskowe, jednak ich uszkodzenie, ze względu na brak zdolności izolacji do samoregeneracji, ma zazwyczaj charakter trwały, a naprawa jest kosztowna i czasochłonna.

Linie kablowe SN na obszarze analizowanego terenu zbudowane są głównie w oparciu o kable olejowe w izolacji papierowej, nasączonych olejem typu HAKnFtA.

Właściwa eksploatacja linii kablowych, odcinków kabli, muf i głowic, a więc elementów wchodzących w jej skład polega na wykonywaniu czynności eksploatacyjnych, zapobiegających uszkodzeniom w ruchu. Jeden z podstawowych podziałów uszkodzeń linii kablowych w eksploatacji dzieli je na proste i złożone. Do pierwszego rodzaju kwalifikowane są: zwarcia jedno-, dwu- i trójfazowe, zwarcia jedno-, dwu- i trójfazowe doziemne, przerwy jednej, dwóch lub trzech faz oraz zwarcia przemijające, które dla kabli papierowo-olejowych stanowią niewielki odsetek wszystkich uszkodzeń.

Uszkodzenia złożone, występujące znacznie rzadziej, obejmują dwa lub więcej uszkodzeń prostych, np. zwarcie jednofazowe z jednoczesną przerwą w fazie.

Powstawanie uszkodzenia bardzo często składa się z wielu przyczyn występujących równocześnie lub następujących po sobie.

Największy udział w uszkodzeniach linii kablowych mają przyczyny elektryczne. Są to zazwyczaj przebiegi łączeniowe, piorunowe oraz przetężenia prądowe, które mogą w znaczny sposób wpływać na pojawienie się uszkodzenia w linii kablowej.

W izolacji papierowo-olejowej stosowanych kabli może występować degradacja:

- cieplna - prawdopodobieństwo jej zajścia rośnie wraz ze wzrostem temperatury,
- w wyniku procesu utleniania - temperatura i zanieczyszczenia przyspieszają reakcje,

- w wyniku oddziaływania wilgoci i kwasowych produktów rozkładu oleju,
- w wyniku naprężeń mechanicznych, wyładowań niezupełnych, promieniowania UV oraz utleniającego działania gazów.

Izolacja polimerowa stosowanych kabli ulega niszczeniu na skutek działania procesów: degradacji fizycznej, chemicznej i elektrycznej. Największe zagrożenie dla izolacji polimerowej stanowią procesy degradacji elektrycznej, a przede wszystkim: wyładowania niezupełne, drzewienie elektryczne i drzewienie wodne.

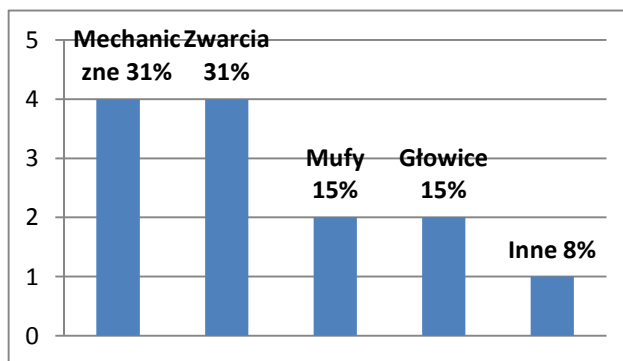
Kształtowanie drzewa wodnego zaczyna się w niejednorodnych mikroobszarach izolacji pod wpływem zawartej w niej wilgoci. Różnica między procesami drzewienia wodnego i elektrycznego polega na tym, że drzewka wodne nie muszą formować trwałych i widocznych kanałów w izolacji, ich tworzenie może trwać wiele lat, a szybkość ich rozwoju uzależniona jest od obecności wilgoci, natężenia pola elektrycznego i jego częstotliwości, rodzaju materiału izolacyjnego, temperatury i występujących naprężeń mechanicznych. Uszkodzenia na trasie kabla związane z ruchami gruntu bardzo często występują na terenach w pobliżu dróg oraz torów kolejowych. Przykładem może być uszkodzenie kabla podane w punkcie 3 artykułu.

3. ANALIZA STATYSTYCZNA AWARYJNOŚCI OBSZARU ZASILANIA

W poniższym zestawieniu oraz na wykresie (rys.1) pokazano przyczyny występowania awarii w liniach kablowych SN. Podczas analizowanych pięciu lat (do połowy 2011r.) miało miejsce 13 zdarzeń, związanych z uszkodzeniami kabli SN. Na wykresie (rys.2) przedstawiono dla porównania udział procentowy awaryjności kabli SN dla analizowanego obszaru oraz całego obszaru Zakładu Energetycznego.

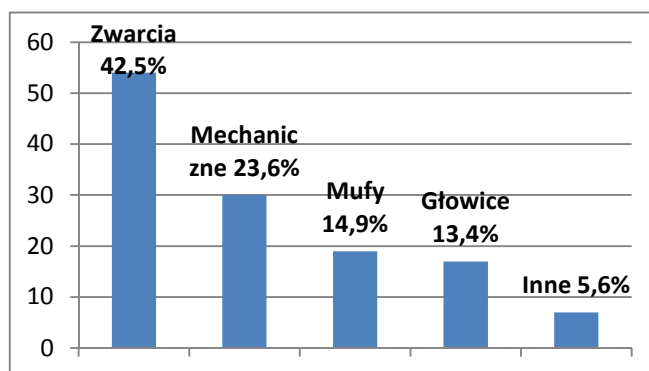
Przyczyny wystąpienia awarii kabli SN na analizowanym terenie:

1. Kabel 15 kV pomiędzy odłącznikami 24-11 i 24-12 HAKnFtA – zwarcie doziemne,
2. Uszkodzenie w mufie, na kablu wyjście z GPZ do słupa 1,
3. Uszkodzony mechanicznie kabel HAKnFtA 3x120 od GPZ do ST,
4. Zwarcie międzyfazowe kabla HAKnFtA 3x120,
5. Uszkodzony kabel 15kV HAKnFtA 3x120 od GPZ do ST 33 w głowicy,
6. Zwarcie do żyły powrotnej w kablu HAKnFtA 3x120 z GPZ do ST,
7. Kabel 15 kV HAKnFtA od ST-1 do ST-27 - uszkodzenie podczas prac ziemnych,
8. Uszkodzony kabel 15 kV od odł 36-4 do ST-11 HAKny 3x70 w mufie żeliwnej,
9. Uszkodzenie kabla HAKnFtA 3x120 w głowicy 3GOW w ST,
10. Wyłączenie dla Straż Pożarnej,
11. Kabel XRUHAKxS 3x120, pomiędzy odłącznikami 24-35 i 24-36 - zerwany przy pracach ziemnych prowadzonych przez obcą firmę,
12. Kabel HAKnFtA 3x120 uszkodzony w przepuście pod trakcją PKP - zwarcie międzyfazowe,
13. Uszkodzenie mechaniczne kabla HAKnFtA 3x120 pomiędzy ST-21 a odłącznikiem.



Rys. 1. Przyczyny awarii kabli na analizowanym terenie działania – udział procentowy

Można zaobserwować, że główne przyczyny uszkodzeń to zwarcia oraz uszkodzenia mechaniczne, które stanowią odpowiednio po 31% w ogólnej liczbie awarii. Dla całego Zakładu statystyka wygląda jednak nieco inaczej (rys. 2). Większy odsetek awaryjności przypada zwiarciom – 42%, a nieco mniejszy uszkodzeniom mechanicznym – 31%. Pozostałym uszkodzeniom przypada udział nie większy niż 15%. W przypadku muf kablowych awarie w wielu przypadkach mogą być spowodowane niewłaściwym ich montażem. Awarie głowic kablowych w większości przypadków spowodowane są starzeniem materiału, brakiem odpowiedniej ilości żywicy, nieszczelnościami oraz wnikaniem wilgoci.



Rys. 2. Przyczyny awarii kabli na terenie całego zakładu – udział procentowy

Statystyki awaryjności wskazują również na duży stopień uszkodzeń w kablach z izolacją papierowo-olejową. Spowodowane jest to długim czasem eksploatacji, starzeniem materiałowym oraz czynnikami zewnętrznymi, działającymi przez znaczny okres czasu. Liczba awarii wskazuje na konieczność wymiany pewnych ciągów kablowych na nowe.

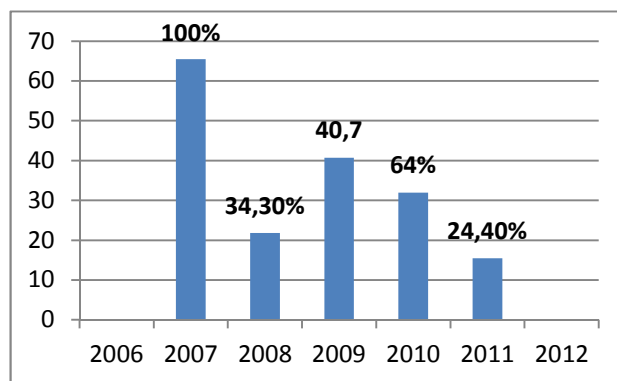
Inne przyczyny nie przekraczają 8% ogólnej liczby awarii. Zaliczyć je należy do grupy przyczyn zewnętrznych, spowodowanych w głównej mierze zdarzeniami o charakterze losowym.

Różnice statystyczne w obu rozpatrywanych zestawieniach wynikają z liczby analizowanych awarii. Dla danego obszaru miało miejsce 13 zdarzeń awaryjnych, zaś dla całego zakładu 127 zdarzeń, dzięki czemu wnioski na podstawie drugiego przypadku są dokładniejsze.

Ważnym czynnikiem awaryjności sieci jest czas likwidacji awarii oraz ilość niedostarczonej energii. Poszczególne zakłady w sprawozdaniach zdawanych do centrali spółki zamieszczają sprawozdanie z powyższych czasów. Na ich podstawie wyznaczane są wartości zadane czasów i ilości niedostarczonej energii dla całej grupy energetycznej.

Długie przerwy w dostawach energii do odbiorców wiążą się dla zakładu z dużymi stratami finansowymi, dlatego sukcesywnie inwestuje się w urządzenia służące do szybszej lokalizacji uszkodzeń oraz rozwija sieć automatyki, umożliwiającej wykonywanie przełączeń układów sieciowych z centrów dyspozytorskich. Skraca to w znacznym stopniu czas lokalizacji awarii oraz przerwę w dostawie energii i liczbę odbiorców nią dotkniętych.

W danym okresie czasu stosunek wartości niedostarczonej energii, spowodowanej awariami linii kablowych SN dla całego Zakładu do liczby awarii wynosił 0,41, a dla wybranego obszaru zasilania był mniejszy i miał wartość 0,3. Podobnie stosunek czasu usuwania usterek dla Zakładu wynosił 1,37, a dla obszaru 1,18.



Rys. 3. Łączny czas usuwania awarii linii kablowych SN w poszczególnych latach

Rys. 3 przedstawia sumaryczny czas lokalizacji i likwidacji awarii w liniach kablowych SN na terenie Zakładu w poszczególnych latach. W związku z poczynionymi inwestycjami istnieje tendencja spadkowa w zakresie czasu likwidacji uszkodzeń.

W przypadku linii kablowych niskiego napięcia nie prowadzi się dokładnych statystyk awaryjności. Głównymi przyczynami usterek w nich są uszkodzenia mechaniczne oraz błędy monterskie. Większość uszkodzeń mechanicznych jest wynikiem nieprzestrzegania przepisów przez firmy wykonujące roboty ziemne, związane ze złym rozpoznaniem uzbrojenia terenu. Pozostałe awarie są wynikiem drobnych uszkodzeń izolacji, spowodowanych przedostawaniem się wilgoci. W skutek drzewienia wodnego następuje powolna degradacja izolacji kabla oraz materiału przewodzącego. Proces ten w przypadku kabli niskiego napięcia może trwać o wiele dłużej niż w przypadku linii SN. Skutki tego typu uszkodzenia przedstawia poniższy rysunek.



Rys. 4. Uszkodzenia kabla nN w skutek drzewienia wodnego oraz niewłaściwego montażu mufy

Drugą istotną przyczyną uszkodzeń kabli nN są błędy montażowe. Dawniej proces układania kabli przez firmy wykonawcze nie zawsze wykonywany był w staranny i należyty sposób. W wielu przypadkach kable były załamywane pod zbyt dużym kątem, co narażało izolację oraz żyły na uszkodzenia mechaniczne. Nie stosowano podsypki, do zasypywania nie używano warstwy pisaku lecz wydobytą ziemię z kamieniami, w miejscach skrzyżowań z ciągami komunikacyjnymi nie zawsze stosowano przepusty.

Występujące często błędy montażowe to niewłaściwe wykonywanie muf oraz połączeń kabel – podstawa bezpiecznikowa. W drugim przypadku skutkiem jest przegrzewanie się połączenia śrubowego, powodujące brak styku, termiczną degradację izolacji kabla, a w skrajnych przypadkach zwarcie. Tego typu uszkodzenia, w początkowej fazie powstawania nie są widoczne gołym okiem, można je jednak w łatwy sposób lokalizować za pomocą pirometru lub kamery termowizyjnej. Metody te stosuje się coraz częściej.

Podczas naprawy kabli nN za pomocą muf kablowych oraz zestawów naprawczych niewłaściwe wykonanie połączenia żył, izolacji i powłoki skutkuje wnikaniem wilgoci, co w efekcie skutkuje degradacją izolacji i zwarcie. Przykład uszkodzenia tego typu przedstawia rys. 4. Przedstawione uszkodzenie było wynikiem niestarannego wykonania mufy – podczas prac ziemnych został uszkodzony kabel do złącza odbiorcy.

4. WNIOSKI

Utrzymanie w stanie bezawaryjnej pracy wszystkich elementów systemu elektroenergetycznego jest koniecznym warunkiem dostarczenia energii elektrycznej do jej odbiorców. Z przedstawionych danych statystycznych wynika, że największy udział w uszkodzeniach linii kablowych miały zwarcia oraz niepożądane działania mechaniczne. Z uzyskanych informacji wynika, że w okresie nie objętym danymi statystycznymi liczba uszkodzeń kabli powstałych podczas prowadzenia budowlanych prac ziemnych wzrosła w sposób znaczący. Oprócz niefachowości firm zewnętrznych, prowadzących budowy za przyczynę trzeba również uznać brak dokładnej dokumentacji, szczególnie w linia budowanych kilkadziesiąt lat temu.

Z danych statystycznych wynika, że czas usuwania awarii przez służby energetyczne stale maleje, co zapewne jest wynikiem podnoszenia ich kwalifikacji oraz wyposażenia w nowoczesną sprzęt i aparaturę.

Jednak zarówno kable, jak i inne elementy systemu elektroenergetycznego wymagają remontów. Nie są one prowadzone w dostatecznej liczbie ze względu na stan finansowy.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Instrukcja eksploatacji sieci dystrybucyjnej. PGE 2010.
- [2] Instrukcja organizacji bezpiecznej pracy w sieci dystrybucyjnej, PGE, 2008.
- [3] Szczęsny-Kujarczyk: *Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze*, OWPW, 2004.
- [4] Markiewicz H.: *Urządzenia elektroenergetyczne*, WNT, 2006.
- [5] Winkiel W.: *Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych*, WNT, 2004.
- [6] Arciszewski A.: *Linie średniego napięcia w aspekcie awaryjności*, WPP, 2010.
- [7] Wytyczne budowy linii kablowych w GK PGE, PGE, 2011.