

Franciszek Spyra¹**WYBRANE ZAGADNIENIA PROJEKTOWANIA, BUDOWY,
BADAŃ POMONTAŻOWYCH I EKSPLOATACYJNYCH
LINII KABLOWYCH 110 kV I 220 kV**

Streszczenie: Referat zawiera omówienie wieloletnich doświadczeń z badań pomontażowych linii kablowych najwyższych napięć.

Słowa kluczowe: kable, badania pomontażowe.

1. Wstęp

Badania pomontażowe linii kablowych 110 kV wykonywane są przez Energopomiar od ponad 40 lat, na niemal wszystkich liniach eksploatowanych przez energetykę. W ostatnim okresie czasu notuje się znaczny wzrost ilości budowanych linii kablowych o napięciu 110 kV. Duży udział w tej ilości mają odcinki linii kablowych (tzw. weinki w trasie) łączące linie napowietrzne. Sytuacja taka występuje najczęściej w aglomeracjach miejskich, chociaż są także przypadki zastępowania odcinków linii napowietrznych liniami kablowymi w terenach o walorach krajobrazowych.

2. Projektowanie i budowa linii kablowych

Wymagania dotyczące projektowania i budowy elektroenergetycznych linii kablowych o napięciu 110 kV zawarte są w normie PN-76/E-05125 [1]. Norma ta, rozporządzeniem Ministerstwa Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 3. kwietnia 2001 roku, ogłoszona w Dz.U. nr 38/2001, została wprowadzona do obowiązkowego stosowania. Wiele postanowień zawartych w tej normie wymaga jednak zmian i uzupełnień.

Projekt nowej normy [5] dotyczącej projektowania i budowy linii kablowych o napięciu do 110 kV przekazany został w czerwcu br. do PKN. Propozycje zmian i uzupełnień, o których wspomniano wyżej, zostały uwzględnione w tym projekcie. Brak natomiast znormalizowanych wymagań w przypadku linii kablowych o napięciu 220 kV. Warto przypomnieć, że

¹ Energopomiar – Elektryka, 44-100 Gliwice, ul. Świętokrzyska 2

pierwsze cztery linie o tym napięciu zostały wybudowane już w latach 70-tych w Elektrowni Porąbka – Żar. Do chwili obecnej są to jedyne linie o takim napięciu w Polsce. Linie te ułożone są w sztolni wykutej w skałe góry. Do budowy użyto kabli olejowych, o powłokach aluminiowych. Prace projektowe i budowlane wykonano w oparciu o wytyczne producenta kabli. W trakcie realizacji przedsięwzięcia nie uniknięto jednak kilku zasadniczych błędów, z których niektóre wymienione będą w dalszej części.

Obecnie do budowy linii kablowych stosuje się kable o izolacji z polietylenu usieciowanego. Niezbędne dla zapewnienia prawidłowej i długotrwałej pracy tego typu kabli jest, by kable miały zapory przeciwwilgociowe w postaci uszczelnienia promieniowego i wzdłużnego, powłoka powinna być wykonana z polietylenu termoplastycznego. Nie zaleca się uszczelnienia podłużnego żyły roboczej. Uszczelnienie wzdłużne powinno być wykonane z półprzewodzącej taśmy puchnącej pod wpływem wilgoci, nałożonej na ekran izolacji i żyłę powrotną. Istotne jest, by taśma była nałożona właściwą stroną do żyły powrotnej. Uszczelnienie promieniowe może być wykonane z taśmy aluminiowej lub miedzianej.

W zależności od przekroju znamionowego żyły roboczej, grubość izolacji w przypadku kabli o napięciu znamionowym 110 kV powinna wynosić około 16,5 do 18,0 mm. Wartości te są określone wielkością natężenia pola elektrycznego na ekranie żyły roboczej, nie wynikają bezpośrednio z napięcia znamionowego.

Przekrój żyły roboczej zależy od obciążenia i sposobu ułożenia kabla nie warunkuje wielkości przekroju żyły powrotnej, który zależy od wartości prądu zwarcia. Żyła powrotna powinna być wykonana z drutów miedzianych, które powinny być połączone między sobą taśmą miedzianą (spirala przeciwskrętna). W przeciwnym wypadku (taki kabel został wyprodukowany przez czołową firmę światową zgodnie z normą krajową tego producenta, i ułożony w Polsce) prąd zwarcia powstałego w kablu spowoduje upalenie drutów żyły powrotnej na znacznej długości (druty w kablu będą zachowywały się jak bezpieczniki). Bardzo ważne jest odpowiednie ułożenie kabla, szczególnie na konstrukcji wsporczej. Znany jest przypadek niewłaściwego ułożenia kabli 220 kV w Elektrowni Porąbka – Żar. Kable ułożono prawie w linii prostej na półkach w tunelu kablowym o dość dużym nachyleniu w kierunku komory generatorowej. Ponadto zostały one nieodpowiednio zamocowane do konstrukcji wsporczej. Już po pół roku eksploatacji kable zsunęły się o około pół metra w dół i groziło ich zerwaniem w miejscu wyjścia z tunelu kablowego. Poddane cyklicznemu nagrzewaniu i studzeniu (praca generatorowo – pompowa) rozszerzały się i kurczyły, i następował ich przesuw w wyniku działania siły ciężkości. Przebudowa konstrukcji półek kablowych zapobiegła dalszemu zsuwaniu się kabli.

Indukowana w żyłach powrotnych siła elektromotoryczna (przepływ prądu przy uziemieniu na obu końcach linii żyły powrotnej) powoduje, że straty w tych żyłach są niejednokrotnie większe od strat w żyłach roboczych i w izolacji kabla. W jednej z linii o długości 4,5 km zmierzony prąd w żyłach powrotnych wynosił 60 % prądu płynącego w żyłach roboczych, powodował on straty dwukrotnie większe niż prąd roboczy. Wartość indukowanej siły elektromotorycznej jest zależna od średnicy na izolacji kabla i od odległości wzajemnej ułożenia poszczególnych żył kabla. W układzie trójkątnym odległości te są dużo mniejsze i dlatego indukowana SEM jest mniejsza w porównaniu z układem płaskim. Stosując układ płaski, który daje możliwość lepszego odprowadzenia ciepła, należy liczyć się z przepływem większego prądu przez żyłę powrotną. Ograniczenie tego prądu można uzyskać przez:

- uziemienie żyły powrotnej tylko z jednego końca linii kablowej przy połączeniu drugiego końca z ziemią przez ogranicznik przepięć,

– zastosowanie przeplatania (*cross-bonding*) żyły powrotnej.

Zastosowanie uziemienia żyły powrotnej tylko z jednej strony linii jest ograniczone długością linii, przy określonej długości i wielkości powstałej SEM w wyniku obciążenia prądem znamionowym lub przepływem prądu zwarcia, może się okazać, że wytrzymałość powłoki na przebicie jest za mała. W takim przypadku należy stosować przeplatanie żyły powrotnej (przy długościach linii eksploatowanych w kraju można pominąć dodatkowe przeplatanie kabli). Przeplatanie (*cross-bonding*) polegające na podzieleniu całej długości linii kablowej na trzy równe odcinki, w których żyła powrotna jest przecięta i, za pomocą odpowiedniej mufy, połączona z żyłą powrotną innej fazy powoduje, że różnica napięć na początku i na końcu linii będzie równa zeru. Istotne jest, że w mufach tych muszą być zainstalowane ograniczniki przepięć, których zadaniem jest ochrona powłok od przepięć w wyniku zmiany oporności falowej w miejscu krzyżowania żył powrotnych. Długość odcinka kabla pomiędzy dwoma mufami krzyżującymi nie wynika z długości odcinka fabrykacyjnego, zależy ona od wielkości SEM i wytrzymałości elektrycznej powłoki kabla. Pomiedzy dwoma mufami krzyżującymi mogą być wykonane mufy zwykłe przelotowe.

Wyjaśnienia wymaga panujące błędne przekonanie, że w przypadku uziemienia żyły powrotnej na obu końcach linii występuje niebezpieczne dla izolacji powłoki napięcie pomiędzy żyłą powrotną a ziemią w środku linii kablowej. Spotykano rozwiązania projektowe firm krajowych i zagranicznych, w których przewidziano uziemianie żyły powrotnej dodatkowo w środku linii kablowej (linię z tak wykonanym uziemieniem wybudowano w Warszawie). Błędne rozumowanie polega na założeniu, że w środku linii z żyłą powrotną uziemioną dwustronnie napięcie na żyłę powrotnej będzie równe połowie wartości napięcia na końcu żyły powrotnej w przypadku uziemienia jej tylko z jednej strony. W rzeczywistości, w przypadku uziemienia żyły powrotnej na obu końcach, w wyniku przepływu prądu przez żyłę powrotną, SEM będzie kompensowana przez spadek napięcia. Stąd dodatkowe uziemianie żyły powrotnej w środku długości linii kablowej jest nieuzasadnione.

Głowice kablowe powinny być montowane na izolatorach wsporczych o takich właściwościach, by w przypadku dużej wilgotności atmosfery nie dochodziło do zwarcia pomiędzy podstawą głowicy a konstrukcją wsporczą. W ostatnim czasie na jednej z większych budów zastosowano izolatoriki trójdzielne, które tego wymagania nie spełniły, a projektant jeszcze w tym miejscu przewidział zamontowanie warystorów mających na celu właśnie odizolowanie podstawy głowicy od konstrukcji wsporczej.

Często popełnianym błędem przez projektantów jest, że konstrukcje stalowe pod głowicami stanowią zamknięty obwód magnetyczny wokół kabla. Podobny błąd popełniają niektórzy wykonawcy stosując przepusty lub obejmy stalowe. Niewielu projektantów zauważa, że współczynnik rozszerzalności materiału z którego wykonana jest konstrukcja wsporcza głowicy jest różny od współczynnika rozszerzalności materiału podstawy głowicy. W wyniku wahań temperatury dochodzi do pęknięć izolatorów, na których zamocowana jest głowica. Z takim przypadkiem spotkaliśmy się na dużym obiekcie energetycznym.

Istotną sprawą jest zabezpieczenie kabla od przepięć, zarówno atmosferycznych jak i łączeniowych. Niezależnie od zainstalowania ograniczników przepięć na szynach rozdzielni, ograniczniki przepięć powinny być podłączone do żył kabla w możliwie jak najmniejszej odległości na obu końcach linii. Podczas badań pomontażowych stwierdziliśmy przypadek, że pomiędzy transformatorem a głowicami kabla ustawionymi w bezpośrednim sąsiedztwie transformatora nie zainstalowano ograniczników przepięć.

Prawie w każdym przypadku, gdy kabel wprowadzony jest do rozdzielnic SF₆ połączenie żyły powrotnej z korpusem rozdzielnic wykonane jest błędnie. Ze względu na przepięcia łączeniowe o częstotliwości rzędu GHz żyła powrotna powinna być połączona po obwodzie kabla w kilku miejscach z obudową rozdzielnic.

Nie zawsze zachowane jest wymaganie dotyczące ciągłości połączeń żyły powrotnej z uziemieniem przewodem o przekroju zwarciovym równoważnym; w normie [1] podano błędnie – przewodnościowo równoważnym, w projekcie normy [5] podano już poprawnie – przekrojem zwarciovym równoważnym.

Zasadniczym błędem jest stosowanie do oznaczania trasy linii kablowej nie perforowanej folii. Szerokość jej jest około 1 m, a spotkaliśmy i przypadek, że trasę linii dwutorowej oznaczono folią o szerokości 2 m. Folia o tej szerokości uniemożliwia wnikanie wilgoci w otoczenie kabla, w wyniku czego następuje wzrost rezystywności cieplnej gruntu i przegrzanie kabla, a w efekcie jego uszkodzenie. W projekcie nowej normy [5] przewidziano stosowanie również folii perforowanej lub siatki z tworzywa.

3. Badania linii kablowych

Rozróżnia się dwa rodzaje badań linii kablowych; badania pomontażowe i badania eksploatacyjne. Pierwsze z nich ma na celu sprawdzenie poprawnego doboru kabla, osprzętu i wykonania montażu, drugie sprawdzenie, po określonym czasie eksploatacji stanu technicznego linii oraz wykrycie ewentualnych uszkodzeń. Zakres badań pomontażowych oraz kryteria oceny zawarte są w normie PN-E-04700:1998 [2] oraz w obligatoryjnej normie PN-76/E-05125 [1] zakres badań zawarty w normie [2] jest szerszy od zakresu badań przewidzianych w normie [1] i wg jej wymagań powinny być wykonane badania.

W przypadku linii kablowych o napięciu 110 i 220 kV należy wykonać:

- sprawdzenie ułożenia kabla, montażu muf, głowic, konstrukcji wsporczych oraz uziemienia,
- sprawdzenie zgodności faz oraz ciągłości żył roboczych i powrotnych,
- pomiar rezystancji żył roboczych i powrotnych,
- pomiar pojemności żył roboczych,
- pomiar rezystancji izolacji,
- próbę napięciową izolacji,
- sprawdzenie szczelności powłoki kabla.

Ponadto wskazane jest wykonanie pomiaru rezystancji izolacji między żyłą powrotną kabla a ziemią.

Pozornie błahy pomiar, sprawdzenie zgodności faz, okazał się dwukrotnie bardzo istotny, żyły linii były skrzyżowane i błędnie wyprowadzone w rozdzielni. Jest on bardzo istotny, jeżeli w linii wykonano *cross-bonding*.

Pomiar pojemności żył pozwala określić, czy do budowy linii użyto właściwy kabel, czy grubość izolacji odpowiada wartości deklarowanej.

Pomiar rezystancji izolacji żył roboczych pozwala określić, czy montaż głowic wykonany został poprawnie. Ma to szczególne znaczenie, gdy budowę linii wykonywano jesienią ewentualnie wczesną wiosną. Badana linia może przejść próbę napięciową z wynikiem pozytywnym, a ścianki wewnętrzne głowicy będą zawilgocone. Zostało to potwierdzone na jednej z linii; w temperaturze powyżej zera zmierzone wartości rezystancji wszystkich trzech faz

były mniejsze od wartości wymaganej, powtórzone pomiary w temperaturze ujemnej wykazały rezystancje rzędu kilkuset tysięcy megaom.

Próba napięciowa wykonywana jest napięciem stałym o wartości $3 U_0$ zarówno dla kabli o napięciu znamionowym 110 kV jak i 220 kV, przy czym U_0 jest napięciem fazowym, na które kabel został wykonany. Czas próby wynosi 15 minut, prąd upływu, który jest właściwie prądem ulotu, nie jest normalizowany. Kryterium oceny – w czasie próby nie może nastąpić przebicie izolacji jak również nie mogą wystąpić przeskoki po powierzchni izolatorów.

Sprawdzenie szczelności powłoki wykonywane jest napięciem stałym, które przykładane jest pomiędzy żyłę powrotną a ziemię w czasie 1 minuty. Kryterium oceny – nie może wystąpić zwarcie. Prądu upływu nie normalizuje się, jednak urządzenie probiercze musi mieć odpowiednią moc, by po stronie wysokiego napięcia wymagana wartość napięcia była stabilna.

Zakres badań pomontażowych podanych zarówno w IEC 60840 [3] jak i w VDE 0276-632 [4] jest bardzo skromny, zawiera tylko dwie próby: próbę napięciową izolacji kabla oraz próbę napięciową powłoki zewnętrznej. Wartości napięć probierczych jak i czasy prób są identyczne jak w wymaganiach polskiej normy [2]. Na podstawie zebranych wieloletnich doświadczeń można stwierdzić, że wykonanie badań tylko w tym zakresie [3,4] jest niewystarczające do poprawnej oceny zbudowanej linii kablowej.

Z chwilą wprowadzenia nowego Prawa energetycznego [6], Zarządzenie Ministra Górnictwa i Energetyki z dnia 17 lipca 1987 roku [7], w którym podano zakres badań i kryteria oceny stanu technicznego linii utraciło obligatoryjność. Obecnie nie ma obligatoryjnego dokumentu zawierającego wymagania badań eksploatacyjnych linii kablowych, a użytkownicy linii kablowych wykonują przeglądy i oględziny eksploatacyjne linii wg posiadanej wiedzy technicznej.

Literatura

- [1] PN-76/E-05125 – Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa.
- [2] PN-E-04700:1998 – Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych. Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych.
- [3] IEC 60840 – Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV). Test methods and requirements.
- [4] VDE 0276-632 – Starkstromkabel mit extrudierter Isolierung und ihre Garnituren Nennspannungen über 36 kV bis 150 kV.
- [5] PrPN-E-05125 – Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa.
- [6] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 – Prawo Energetyczne – Dz.U.Nr 54 z dnia 4 czerwca 1997 r., poz. 348.
- [7] Zarządzenie Ministra Górnictwa i Energetyki z dnia 17 lipca 1987r. w sprawie szczegółowych zasad eksploatacji sieci elektroenergetycznych.

SELECTED PROBLEMS ON PROJECTING, DESIGNING AND POST ASSEMBLY TESTS OF CABLE - LINE 110 KV AND 220 KV

Report contains discussion of many years' experiences from post assembly investigations of cable - line of highest voltages.