

ROZWÓJ LINII KABLOWYCH – A OCZEKIWANIA EKSPLOATACYJNE

Wzrastająca presja środowiskowo-społeczna silnie ogranicza możliwości budowy nowych linii napowietrznych, szczególnie na terenach miejskich. Ulepszanie materiałów i elementów linii kablowych oraz stosowanie coraz doskonalszych konstrukcji kabli i osprzętu prowadzi do znacznego obniżenia kosztów instalowania linii kablowych w porównaniu z kosztami budowy równoważnych linii napowietrznych.

1 WSTĘP

Wzrastające zapotrzebowanie na energię elektryczną towarzyszy nieodłącznie rozwojowi społecznemu. Potrzeba dostarczania energii do powstających nowych osiedli i rozwijających się miast wymaga rozbudowy sieci elektroenergetycznej. Oczekiwany jest rozwój tej sieci we wszystkich poziomach napięcia – w zależności od poziomu zapotrzebowania na energię i odległości, na którą konieczne jest jej przesłanie. Często jednak lokalne społeczności, chociaż same wymagają dostarczenia coraz znaczniejszych mocy energii, ostro i gwałtownie protestują przeciwko budowaniu nowych linii napowietrznych w pobliżu osiedli mieszkaniowych. Dotyczy to szczególnie linii wysokich i najwyższych napięć. Niewiele w tych przypadkach pomagają prowadzone przez inwestorów i wykonawców negocjacje oraz akcje propagujące dane rozwiązanie techniczne. Na rysunku 1 przedstawiono piękne sylwetki słupów zaprojektowanych dla energetyki włoskiej przez projektantów angielskich [1], ale nawet i one nie wywołały entuzjazmu lokalnej społeczności, gdy ogłoszono informację o konieczności budowy kolejnej linii napowietrznej.

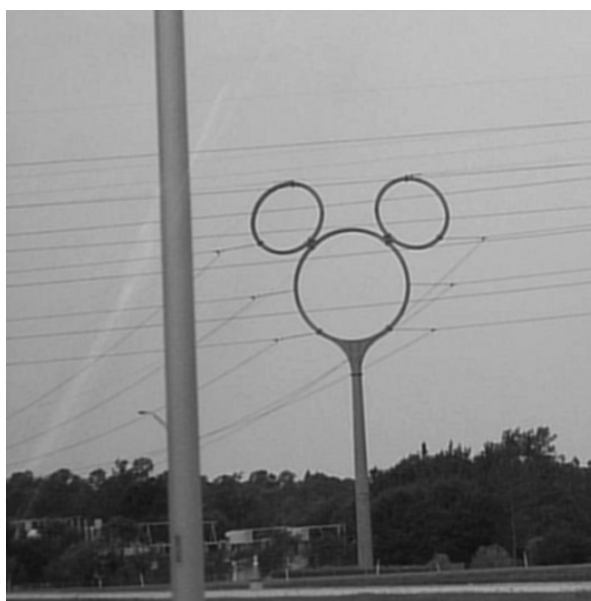
Czasami niestandardowa konstrukcja wsporcza (rys.2) zastosowana w linii napowietrznej może wywołać uśmiech na twarzy osoby znajdującej się w pobliżu, ale niestety dotyczy to głównie... turystów, a nie osób, które zmuszone są trwale przebywać (mieszkać) w pobliżu takiej linii. Dotyczy to wszystkich poziomów napięcia. I może rozwiązanie pośrednie – czyli linie napowietrzne z przewodami izolowanymi – czyli wymagające wydzielania znacznie mniejszego obszaru terenu – mają większe szanse na zdobycie akceptacji społecznej. Można więc sądzić, że w najbliższym czasie w istniejących obecnie warunkach należy spodziewać się jeszcze bardziej dynamicznego

¹ Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3A, 60-965 POZNAŃ, tel.61- 6652616, e-mail: aleksandra.rakowska@put.poznan.pl

rozwoju sieci kablowej w porównaniu z obserwowaną dynamiką tego rozwoju w ostatniej dekadzie.



Rys.1. Projekt linii napowietrznej zaproponowany energetyce włoskiej przez brytyjskich projektantów [1]



Rys.2. Odgałęzienie linii napowietrznej, słup energetyczny o sympatycznym kształcie sylwetki Mickey Mouse w USA [2]

Porównując koszty budowy wysokonapięciowych linii elektroenergetycznych napowietrznych i kablowych, jak dotychczas każdorazowo okazuje się, że dla linii napowietrznych koszt ten jest niższy. I to niezależnie jaką konstrukcję kabli elektroenergetycznych będzie się rozpatrywało. Wydaje się więc, że budowa linii kablowych często nie będzie pod względem ekonomicznym najbardziej optymalnym rozwiązaniem i dlatego jeszcze wiele z budowanych linii (zarówno dystrybucyjnych jak i transmisyjnych) będzie nadal liniami napowietrznymi. Jednakże w przypadku linii budowanych na terenach: zurbanizowanych lub o wysokich walorach ekologicznych czy historycznych – nie może być innej alternatywy niż instalowanie linii kablowych WN i SN. Szeroko rozumiane aspekty techniczne, ale przede wszystkim aspekty środowiskowe (społeczne), będą wielokrotnie w sposób decydujący wpływały na wybór rodzaju linii elektroenergetycznej. Należy bowiem pamiętać o koniecznym do budowy linii terenie, uzyskaniu akceptacji społecznej dla nowych linii oraz wielu innych czynnikach decydujących o tym wyborze.

2ROZWÓJ LINII KABLOWYCH

Na całym świecie obserwowany jest dynamiczny rozwój linii kablowych – i to dla wszystkich poziomów napięć. Najbardziej spektakularne są oczywiście realizacje nowych linii kablowych wysokich i najwyższych napięć [3]. Ale i sieć kabli średniego oraz niskiego napięcia jest nieodzownym elementem infrastruktury każdej aglomeracji. Jako ciekawostkę można przytoczyć doświadczenia związane z rozwojem sieci kablowej w tak historycznym mieście, jakim jest Rzym [4]. Sieć elektroenergetyczna w tym mieście pracuje na trzech poziomach napięć:

- 150 kV – linie łączące sieć przesyłową ze stacjami WN/SN;
- 20 kV – linie łączące stacje SN/nn oraz odbiorców pobierających moc większą niż 100 kW;
- niskie napięcie – w systemie trójfazowym 380/220 V, a w części zabytkowej miasta system jednofazowy 220/125 V.

W tablicy 1 zestawiono długości eksploatowanych w Rzymie linii elektroenergetycznych z podziałem na poziom napięcia i rodzaj linii, a w tablicy 2 przedstawiono liczbę stacji elektroenergetycznych. W analogicznym okresie długość linii elektroenergetycznych eksploatowanych w polskiej stolicy wynosiła odpowiednio: linie średniego napięcia 61046 km, linie niskiego napięcia 7 886 km, przyłączy domowych 1 429 km [5].

Tab.1. Długość linii elektroenergetycznych eksploatowanych w Rzymie (stan na koniec 2003 r.)

Poziom napięcia	Długość linii		
	Linie kablowe [km]	Linie napowietrzne [km]	Suma [km]
WN	216	412	628
SN	8.330	725	9.055
nn	13.306	1.730	15.036

Tab. 2. Stacje elektroenergetyczne w Rzymie (stan na koniec 2003 r.)

Stacje WN/SN [szt.]	67
Stacje SN/nn [szt.]	12.101
Transformatory WN/SN [szt.]	166
Moc sumaryczna stacji WN/SN [MVA]	5.700
Moc sumaryczna stacji SN/nn [MVA]	4.200

Układanie linii kablowych stwarza wiele technicznych problemów, i to nie tylko ze względu na istniejące już inne instalacje, ale i na obecność wielu obiektów archeologicznych o ogromnych wartościach historycznych – których zagęszczenie w Rzymie jest szczególnie duże [4]. Z tego też powodu każda nowa instalacja jest poprzedzana bardzo szczegółowymi badaniami środowiska wokół planowanej trasy linii, ale i tak warunki układania linii kablowych w Rzymie odbiegają nieco od standardów włoskich – tablica 3. Jeżeli tylko istnieje taka możliwość, kable układane są w tunelach, w których instalowane są i inne linie np. kablowe SN wraz z instalacją wodociągową, liniami telekomunikacyjnymi, oświetleniem drogowym, sygnalizacją drogową, itp. Już w roku 1999 opublikowano we Włoszech wymagania mówiące o konieczności budowania tuneli wielofunkcyjnych.

Tab.3. Minimalne głębokości układania linii kablowych

Poziom napięcia	Standardy włoskie		Przyjęte w Rzymie	
	Tereny publiczne [m]	Tereny prywatne [m]	Tereny publiczne [m]	Tereny prywatne [m]
150 kV	1,20	1,00	1,60	1,60
20 kV	0,80	0,60	1,20	1,20
380/220 V	0,50	0,50	1,20	1,00

Dla porównania z danymi w tablicy 1 – w tablicy 4 zestawiono długość linii kablowych średniego i niskiego napięcia, zgodnie z danymi opublikowanymi przez PTPiREE [6].

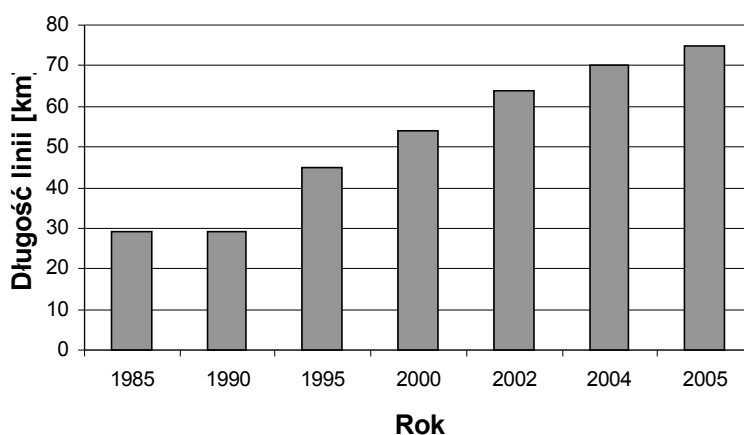
Tab. 4. Długość linii kablowych eksploatowanych przez energetykę zawodową

Poziom napięcia	Długość linii kablowych w danym roku [km]		
	1995	2000	2005
SN	48 856	54 345	57 043
nn (bez dł. przyłączy)	91 383	105 755	114 170

3 STRATEGIA EKSPLOATACJI

Ważnym parametrem określającym jakość linii kablowej jest współczynnik uszkodzalności, który definiowany jest jako liczba uszkodzeń zarejestrowanych w ciągu roku, odniesionych do 100 km linii kablowej. Średnia wartość współczynnika uszkodzeń dla kabli o izolacji polimerowej (XLPE oraz EPR) dla większości państw europejskich dla uszkodzeń wewnętrznych wynosi 0,2-0,4 uszkodzeń/100 km w ciągu roku. Jest to

ciągle wartość niższa od wskaźników uzyskiwanych w Polsce. Niestety na wielu obszarach naszego kraju rejestrowane są wielokrotnie wyższe wartości współczynnika uszkodzeń. Na terenie działania tylko kilku Spółek Dystrybucyjnych udało się uzyskać jednocyfrowe wartości tych współczynników dla sieci kablowej średniego napięcia. Dla linii kablowych doświadczenia europejskie wykazują nadal w większości niższe współczynniki awaryjności [7]. Ze względu na stosunkowo niewielką długość zainstalowanych linii kablowych 110 kV, trudno mówić o doświadczeniach wynikających z eksploatacji linii kablowych WN w naszym kraju – rys.3.



Rys.3. Linie kablowe 110 kV w sieci Spółek Dystrybucyjnych i PSE

Doświadczenia polskiej energetyki, związane z eksploatacją linii kablowych średniego napięcia, zwracają uwagę na fakt, że w tej dziedzinie należy rozwiązać jeszcze wiele problemów [8]. Służbom eksploatacyjnym na całym świecie wiele kłopotów sprawiają kable elektroenergetyczne średniego napięcia o izolacji polietylenowej. Dotyczy to oczywiście kabli tzw. pierwszej generacji (izolacja głównie z polietylenu termoplastycznego, taśmowy ekran na izolacji, stosunkowo cienka powłoka zewnętrzna z PCV) instalowanych w latach siedemdziesiątych i na początku lat osiemdziesiątych. Wysoki poziom awaryjności tych kabli jest związany przede wszystkim ze zjawiskiem drzewienia wodnego, czyli występowania w izolacji kablowej kanalików destrukcyjnych o kształtach przypominających drzewka i krzaki. Niewidoczne gołym okiem drzewka powstają w izolacji wytłaczanej pod wpływem działania pola elektrycznego, w przypadku wnikięcia do niej wilgoci.

Dla kabli elektroenergetycznych tzw. „suchych” opracowano metody ulepszenia ich jakości, poprzez nasycenie izolacji cieczami opartymi głównie o olej silikonowy [9]. Metoda nasycania kablowej izolacji wytłaczanej może być stosowana do kabli pracujących przez kilka lub kilkanaście lat w terenie np. podmokłym - jednakże, gdy w linii kablowej nie zanotowano jeszcze więcej niż jedno uszkodzenie; tzn., że izolacja jest w stanie złym lecz nie katastrofalnym. Tak jak w świecie „żywych” – rehabilitacja jest skuteczna dla jednostek chorych, niestety jest całkowicie bezradna wobec

umierających. Prowadzone, między innymi przez znany ośrodek holenderski KEMA, testy przyspieszonego starzenia w środowisku wodnym wykazały, że nasycanie izolacji kablowej przedłuża czas życia kabla o około 20 lat. Ten efekt uzyskuje się dzięki wypełnieniu przewodzących kanalików drzewek wodnych oraz wszelkich możliwych wtrącin i szczelin cieczami silikonowymi oraz uodpornieniu izolacji na dalsze wnikanie wilgoci z otaczającego kabel środowiska. Ciecz na bazie silikonu spełnia następujące zadania:

- chemicznie wiąże wodę (wilgoć) obecną w izolacji i neutralizuje jej destrukcyjne działanie,
- wypełnia wszystkie możliwe wolne przestrzenie (szczeliny, wtrąciny) znajdujące się w izolacji - zapobiegając tym samym dalszemu wnikaniu wilgoci,
- spowalnia rozwój już istniejących drzewek wodnych.

Regeneracja izolacji poprzez nasycanie cieczami silikonowymi jest ekonomiczną alternatywą wymiany kabli, w których nastąpił już rozwój drzewienia wodnego. W ciągu ostatnich kilkunastu lat metodę tę zastosowano w USA dla kilku tysięcy km linii kablowych średniego napięcia. W 1993 roku technologia CableCure została wprowadzona w Europie i obecnie w kilku państwach jest eksploatowanych wiele linii kablowych poddanych regeneracji. Niemcy są zdecydowanym liderem na rynku europejskim w stosowaniu poprawiania jakości eksploatowanych kabli poprzez nasączenie cieczami silikonowymi - w okresie kilku lat zregenerowano tą metodą około 500 km linii kablowych. Koszt operacji waha się od 30 do 50% kosztów wymiany linii [9] i zależy od wielu czynników, między innymi stopnia zurbanizowania terenu, długości linii, typu zastosowanego osprzętu, itd.

Charakteryzujące się znacznie lepszymi parametrami eksploatacyjnymi kable drugiej generacji, czyli z wytłaczanymi ekranami półprzewodzącymi to także głównie kable o izolacji z polietylenu usieciowanego (XLPE). Na całym świecie izolacja kablowa z polietylenu usieciowanego wypiera obecnie izolację z polietylenu termoplastycznego oraz coraz częściej zastępuje izolację papierową impregnowaną. Tendencja ta jest również obserwowana w Polsce. Zapewnienie wysokiego stopnia niezawodności pracy nowoczesnych kabli z izolacją z polietylenu usieciowanego jest głównym celem zarówno dla producentów, jak również użytkowników kabli elektroenergetycznych. Producenci kabli ponoszą odpowiedzialność za wykonanie i sprzedaż kabli o wysokiej, udokumentowanej jakości. Użytkownicy z kolei odpowiadają za właściwą instalację linii kablowej, utrzymanie jej sprawności oraz przeprowadzanie określonych badań diagnostycznych, które powinny wyeliminować kable uszkodzone podczas transportu, zdiagnozować ewentualne uszkodzenia mechaniczne oraz błędy montażowe powstałe podczas układania nowej linii, skontrolować stan linii kablowej po naprawie uszkodzenia powstałego podczas jej eksploatacji. Inne badania mają na celu utrzymanie wysokiej niezawodności linii poprzez okresowe, planowane eliminowanie ich potencjalnych wad. Nie istnieje oczywiście jedna metoda badań, która mogłoby być zastosowana na każdym etapie życia kabla, dając zawsze zadowalający rezultat.

Na pierwszym miejscu przy podejmowaniu decyzji o wyborze czynności eksploatacyjnych konieczna jest znajomość historii dotychczasowej pracy kabla, a ściślej mówiąc linii kablowej oraz planowane przyszłe warunki pracy. Pod tym ostatnim

rozumie się możliwości przeciążeń, stan obciążenia prądowego kabla itp. Dodatkowo, informacje te należy rozważyć pod kątem ogólnej charakterystyki danej linii, a więc czy nie został zastosowany specjalny, niestandardowy typ kabla lub osprzętu kablowego. Podejmowanie decyzji należy uzależnić także od ważności rozpatrywanej linii w systemie elektroenergetycznym. Informacje te oraz znajomość stanu innych elementów danego wycinka systemu pozwalają zdecydować czy prowadzić diagnostykę stanu danej linii, czy też nie. Pomimo oferowanych przez producentów coraz tańszych, doskonalszych oraz o zmniejszonych gabarytach urządzeń diagnostycznych, prowadzenie diagnostyki jest nadal czynnością dość kosztowną.

Podstawowym wskaźnikiem ogólnego stanu sieci jest prowadzenie dokładnej statystyki awaryjności [10]. Ogólny stan sieci kablowej można poprawić poprzez stosowanie losowej kontroli wybranych 5-10% najważniejszych jej części. Decyzja o wykonaniu badań może polegać również na wyborze określonych obwodów, np. głównych linii zasilających lub obsługujących klientów strategicznych. Z reguły służby eksploatacyjne dysponują wiedzą, które odcinki sieci są najważniejsze, a które sprawiają najwięcej problemów. Te właśnie elementy powinny podlegać badaniom w pierwszej kolejności. Dodatkowo, otrzymane na ich podstawie wyniki mogą stanowić cenne źródło doświadczeń i wniosków, które będzie można zastosować w pozostałej części sieci.

Stosowane w wielu krajach badania diagnostyczne można podzielić na dwie główne kategorie [11]:

- określenie ogólnej kondycji izolacji kablowej,
- lokalizacja konkretnych defektów, zwłaszcza tych, które mogą być groźne dla układu w najbliższej przyszłości.

Metody zaliczane do pierwszej grupy wydają się być odpowiednie przede wszystkim w celu porównania wyników uzyskanych dla nowej instalacji (dane wzorcowe) z rezultatami uzyskanymi po pewnym czasie jej użytkowania. Wyniki badań mogą pozwolić wskazać kabel bardzo dobry lub bardzo zły, jednak często dają mylne wyniki dla stanów pośrednich. Często zalecana jest wymiana kabla, który jeszcze dość długo mógłby pozostać w eksploatacji. Tego typu badania nie są też pomocne w przypadku starzenia osprzętu, który stanowi źródło znacznej części wszystkich awarii.

4 OCZEKIWANY CZAS ŻYCIA

Każdy element systemu elektroenergetycznego osiąga koniec swego życia, czyli kres czasu prawidłowej pracy. To samo oczywiście dotyczy linii kablowych. Służby odpowiedzialne za eksploatację linii kablowych stają przed koniecznością określenia momentu, w którym wymagana jest wymiana linii [12]. W podejmowaniu decyzji należy określić stan linii rozpatrując kilka aspektów i kryteriów tej oceny. Przyjmuje się, że na decyzję o wymianie linii mogą wpływać kryteria:

- techniczne,
- ekonomiczne,
- strategiczne.

Rozważane są:

techniczny koniec życia, naturalne starzenie: proces starzenia silnie zależy od pracy linii (obciążalność ciągła, przeciążeniowa i zwarciowa, liczba załączeń, stany beznapięciowe) oraz od warunków eksploatacji linii (w literaturze nazywanych TEAM – czyli *temperature, electrical stress, ambient conditions, mechanical stress*). Wiele czynników można uznać za wskaźnik wystąpienia naturalnego zesterzenia linii. Są to między innymi: pogorszenie się monitorowanych parametrów, zwiększenie liczby awarii/zakłóceń, wzrost kosztów eksploatacji oraz uszkodzenie linii wykonanej z tych samych elementów i o tym samym wieku, co linia oceniana;

strategiczny koniec życia: konieczność wymiany linii warunkują czynniki zewnętrzne prowadzą do; konieczność ta może być spowodowana między innymi przez następujące fakty:

- parametry linii nie pozwalają na jej dalszą pracę w wymaganej w chwili obecnej sytuacji (wyższa wymagana obciążalność, wyższe parametry zwarciowe, itp.);
- nowa strategia eksploatacji linii/sieci (np. zwiększenie poziomu napięcia);
- zwiększone ryzyko eksploatacji linii (powiększone ryzyko eksplozji lub pożaru);
- zmienione standardy (np. ostrzejsze wymagania dotyczące ochrony środowiska);
- wprowadzenie nowszych technologii;
- brak możliwości uzyskania części zamiennych;
- brak personelu posiadającego wystarczającą wiedzę do prowadzenia dalszej eksploatacji danego typu elementów linii;

ekonomiczny koniec życia: w niektórych przypadkach o konieczności wymiany linii zadecyduje fakt, że dalsza eksploatacja będzie bardziej kosztowna niż wymiana linii. Przyczyną tego mogą być:

- znacznie niższe koszty eksploatacji linii wykonanych zgodnie z nowszymi technologiami;
- obniżone straty w liniach nowych (nowe materiały, nowoczesne konstrukcje);
- wysokie koszty eksploatacji starych linii;
- bardzo wysoki koszt napraw lub wymiany odcinków linii.

W rozważaniach dotyczących czasu życia (tzn. eksploatacji) linii kablowych jako jednostkę czasu przyjmuje się rok. Oczywiście moment ułożenia linii określa się jako: $t = 0$, a czas w którym przeprowadzana jest analiza jako: t_{teraz} . Oczekiwany czas życia, to okres pomiędzy momentem wykonywania analizy a momentem, kiedy ryzyko uszkodzenia osiąga nieakceptowany poziom. Poziom ten określa każdorazowo właściciel lub eksploatator linii, ponieważ on decyduje, jaki jest akceptowalne ryzyko wystąpienia awarii.

Najważniejszym parametrem jest degradacja elementów linii, a właściwie jej poziom. Oczekiwany czas życia (R_L - *remaining life*) jest silnie uzależniony właśnie od poziomu degradacji. Zależność ta oczywiście może być liniowa lub nieliniowa. W większości przypadków zależność ta jest nieliniowa, lecz może być wyrażona funkcją liniową – oczywiście stanowi ona pewne przybliżenie stanu rzeczywistego [13]. Można przyjąć następujący wzór określający czas oczekiwanego życia:

$$R_L = t_{teraz} \cdot \left(\frac{D_m}{D_{teraz}} - 1 \right)$$

Degradacja może być wynikiem wielu procesów destrukcyjnych - takich jak na przykład: rozwój drzewienia wodnego w izolacji wytłaczanej, wzrost poziomu wylądowań niezupełnych lub skorodowanie powłoki ołowianej. Przyjmuje się, że w momencie, kiedy kable oddawany jest do eksploatacji stopień degradacji $D = 0\%$, a w momencie wykonywania oceny $D = D_{teraz}$. Natomiast największą wartość degradacji określa się jako D_m , czyli wówczas gdy ryzyko wystąpienia uszkodzenia osiąga poziom ponad określony limit, a wówczas $D_m = 100\%$.

Określenie, kiedy monitorowany, wybrany parametr charakteryzujący stan ocenianej linii odpowiada maksymalnej degradacji jest możliwe na podstawie pomiarów diagnostycznych, popartych oceną ekspertów (opierającą się oczywiście na wieloletnich i szerokich doświadczeniach badawczych i eksploatacyjnych). I tak przykładowo o całkowitej degradacji można mówić w przypadku, gdy korozja powłoki ołowianej spowoduje, że grubość jej wyniesie 30% pierwotnej wartości, albo gdy długość drzewek wodnych przekroczy 35% grubości izolacji kablowej [13].

Procedura określania czasu oczekiwanego życia instalacji kablowej:

- określenie jakie elementy tworzą linię (typ kabla, typ głowic i muf kablowych);
- określenie dla każdego z elementów najczęściej rejestrowanych (na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych) najbardziej prawdopodobnych defektów;
- wytypowanie dla każdego z możliwych defektów metod diagnostycznych (rodzajów badań), które pozwolą ocenić: czy dany defekt istnieje, powstaje lub następuje jego rozwój. Metody badań mogą opierać się na pomiarach wykonywanych na rzeczywistej linii, ale też i na symulacji i rozważaniach teoretycznych. Należy pamiętać, że każda z metod charakteryzuje się inną skutecznością oceny, ale i także innymi kosztami jej zastosowania;
- wybranie, która z metod pozwala osiągnąć najefektywniejszy rezultat – i to zarówno pod kątem oceny linii, ale też i kosztów;
- przeanalizowanie przy pomocy wybranej metody badawczej jaki jest stopień degradacji; należy też posłużyć się przykładami, które poprzednio zostały szeroko przeanalizowane i zbadane przy zastosowaniu kilku metod badawczych;
- oszacowanie oczekiwanego czasu życia badanych elementów;
- ocenienie uzyskanych wyników.

Oczywiście podejście to powinno stanowić część szerszych badań i analiz, aby optymalnie prowadzić zarządzanie eksploatacją liniami i stanem całej sieci elektroenergetycznej. Takie podejście może obejmować kilka aspektów:

- ustalenie oczekiwanego czasu życia linii jako części fragmentu sieci elektroenergetycznej;
- określenie zasad wydzielenia linii kablowej, którą należy poddać badaniu (ocenie);
- ocenienie wszystkich wyników badań i analiz i powiązanie ich z oczekiwanym czasem życia;
- podjęcie decyzji o następnym etapie postępowania.

Przykładowe metody oceny stanu linii kablowych są następujące:

- pomiary diagnostyczne wykonywane bezpośrednio na linii kablowej;
- ocena wizualna dostępnych elementów linii;
- dokonywanie oceny stanu linii na podstawie rozważań analitycznych opartych na danych statystycznych, informacji uzyskanych z eksploatacji, opinii ekspertów.

5 PODSUMOWANIE

Dla zwiększenia efektywności ekonomicznej działania zakładów energetycznych konieczne jest obniżenie poziomu awaryjności linii elektroenergetycznych, a w szczególności linii kablowych średniego napięcia. Obecnie głównym zadaniem w tym zakresie jest ustalenie sposobu zarządzania czynnościami eksploatacyjnymi, w tym także opracowanie optymalnej diagnostyki linii kablowych oraz metod pozwalającym weryfikować, które linie należy poddać tej diagnostyce.

Wprowadzenie skutecznych metod diagnostycznych wymaga wieloletnich badań doświadczalnych, potwierdzających ich przydatność. Preferowane wydają się być metody detekcji lokalnych efektów starzenia lub defektów, które mogą bezpośrednio wpłynąć na wystąpienie awarii. Dodatkowo konieczna jest bardzo dobra znajomość zjawisk związanych z miejscowym osłabieniem izolacji oraz pełna wiedza na temat statystyk awaryjności poszczególnych elementów sieci kablowej.

Istotnym źródłem awarii, szczególnie w sieci SN, jest jakość osprzętu kablowego, a przede wszystkim niska kultura montażu i nieprawidłowe zabezpieczenie przed uszkodzeniami mechanicznymi oraz możliwościami penetracji wody. Technologie wykonywania osprzętu ulegają jednak ciągłej poprawie, pożądane stają się metody diagnostyczne, pozwalające na detekcję słabych punktów w mufach i głowicach kablowych.

Jak wykazały dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne, różne typy defektów linii kablowych mogą być wykrywane przy zastosowaniu innych metod diagnostycznych. Przewaga danego typu źródeł uszkodzeń w liniach kablowych w poszczególnych państwach powoduje, że w różnych regionach preferowane są odmienne metody oceny stanu izolacji kabli elektroenergetycznych.

Oszacowanie oczekiwanego czasu życia linii kablowych wymaga upowszechnienia stosowania monitorowania stanu wszystkich elementów linii kablowych, czyli kabla, głowic i muf. W kablach elektroenergetycznych oczywiście zdecydowanie najważniejszym elementem jest izolacja, a jej dobry stan decyduje o niezawodnej pracy całego kabla. Dlatego należy zwrócić większą uwagę na rozwój metod diagnostycznych umożliwiających ocenę stanu izolacji. Wydaje się, że kompleksowe badania oraz systematyczne gromadzenie wszelkich informacji uzyskanych z pomiarów i doświadczeń eksploatacyjnych pozwoli wypracować strategię prowadzenia eksploatacji linii kablowych i będzie odpowiednim narzędziem wspomagającym decyzję służb eksploatacyjnych – czy dana linia może być dalej eksploatowana czy konieczna jest jej wymiana.

Można założyć, że prowadzone prace modernizacyjne istniejących linii, stosowanie nowych technologii w nowobudowanych liniach, a także wyraźnie wzrastająca wiedza techniczna wykonawców doprowadzi w najbliższych latach do dalszego zmniejszania

awaryjności sieci elektroenergetycznej. Pozwoli to spełnić ostre wymagania stawiane przez odpowiednie normy i standardy. Należy bowiem (ostatnio często podejmowany) problem zachowania jakości dostarczanej energii elektrycznej rozpatrywać przede wszystkim pod kątem konieczności zapewnienia ciągłości zasilania – która z kolei wynika ze zwrócenia większej uwagi na bezawaryjną pracę sieci rozdzielczej średniego i niskiego napięcia, której nadal przeważający procent stanowią napowietrzne linie elektroenergetyczne. Na całym świecie poziom awaryjności linii napowietrznych przewyższa poziom awaryjności linii kablowych [10]. Należy sądzić, że i w Polsce uda się uzyskać podobne doświadczenia eksploatacyjne, jakie rejestrują spółki dystrybucyjne na całym świecie [14] – a wówczas wybór pomiędzy linią kablową i napowietrzną powinien być jednoczynny dla terenów miejskich, ale i także dla wybranych terenów wiejskich, szczególnie w terenach atrakcyjnych krajobrazowo – z rozwinętą agroturystyką.

Jeżeli dokonany wybór wskaże, że linia elektroenergetyczna powinna być linią kablową, to wówczas jednoznaczna odpowiedź powinna także dotyczyć materiału żyły roboczej kabla.

Przy ocenie ekonomicznej kosztów budowy linii, przed zadecydowaniem czy będzie to linia kablowa czy napowietrzna, konieczne jest uwzględnienie kilku faktów:

- nie można generalizować kosztów budowy danego rodzaju linii, ponieważ koszt każdej z inwestycji zależy od wielu indywidualnych czynników; nie jest więc możliwe opracowanie algorytmu pozwalającego w sposób prosty porównać koszty inwestycyjne budowy linii napowietrznych i kablowych;
- konieczne jest uwzględnienie kosztów eksploatacji linii i to zarówno strat ponoszonych podczas przesyłu energii elektrycznej danym rodzajem linii, jak i również kosztów zabiegów eksploatacyjnych; większość linii kablowych ułożona jest w sposób niewymagający jakichkolwiek przeglądów czy kontroli;
- w chwili obecnej dla zakładów energetycznych stanie się szczególnie kosztowne wypłacanie odszkodowań za nie dostarczoną energię elektryczną - na pierwsze miejsce wysuwa się więc czynnik niezawodności działania linii,
- koszt gruntu koniecznego do wydzielenia z użytkowania dla ułożenia linii stanowi znaczącą część ogólnych kosztów inwestycji;
- uwzględnienie oddziaływania na środowisko linii elektroenergetycznych na różnych etapach „życia” linii; łącznie z problemami odzyskiwania surowców wtórnych w przypadku likwidowania linii prowadzi do bardziej pozytywnej oceny linii kablowych w porównaniu do linii napowietrznych.

W ostatnich miesiącach na różnego typu spotkaniach bardzo często słyszymy hasła: *Unia Europejska, standardy unijne, jakość energii elektrycznej oraz wymagana niezawodność zasilania*. Nie jest konieczne udowadnianie, że jakość energii elektrycznej oraz niezawodność zasilania jest bardzo ściśle powiązana z awaryjnością linii doprowadzających tę energię do odbiorców, a najważniejszą rolą linii elektroenergetycznych jest bezawaryjny przesył energii elektrycznej o odpowiedniej jakości. Prawidłowo zaprojektowane, ułożone i eksploatowane linie kablowe mogą zapewnić wymaganą niezawodność działania.

LITERATURA

- [1] <http://www.gorge.org/pylons>
- [2] <http://users.castel.nl>
- [3] Rakowska A., Największe inwestycje kablowe, *V Konf. Elektroenergetyczne linie kablowe*, Wisła, 2005
- [4] Invernizzi A., Zendri E., Underground distribution network in urban historical areas: the city of Rome, *18th International Conference CIRED*, Turin 2005
- [5] Biuletyn Informacyjny, PTPiREE, 1994
- [6] Energetyka. Fakty i liczby, PTPiREE, 1995-2005
- [7] Rakowska A., Hajdrowski K., Zarządzanie eksploatacją kablowych linii elektroenergetycznych, *Przegląd Elektrotechniczny, Konferencje*, Nr 1'2003
- [8] Rakowska A., Grzybowski A., Analiza porównawcza awaryjności linii kablowych i napowietrznych średniego napięcia na przykładzie wybranych spółek dystrybucyjnych, *VIII Symposium Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia EU1-01*, Zakopane, 2001
- [9] Rakowska A., Sosnowski I., Selection for dielectric enhancement technology of polyethylene insulation of MV cables evaluated by means of infrared spectrophotometric, *XIV International Symp.on High Voltage Engineering, ISH*, August 2005, Pekin
- [10] Rakowska A., Kryteria weryfikujące jakość polietylenu usieciowanego stosowanego jako izolacja kabli elektroenergetycznych, Wydawnictwo PP, seria Rozprawy nr 357, sierpień 2000
- [11] Van Schaik N., Steennis F., CBM on MV cable systems and the use of cable diagnostics, *CIRED*, Barcelona, 2003
- [12] CIGRE B1 WG-09, Remaining life, *materiały dyskusyjne Grupy Roboczej*, Amsterdam, 2005
- [13] Van Schaik N., Kruithof M., Steennis F., Estimation of risk for operation of underground MV power cables system, *18th International Conference CIRED*, Turin 2005
- [14] Rakowska A., Eksploatacja elektroenergetycznych linii kablowych – doświadczenia zagraniczne, *III Lubuska Konf. Naukowo-Techniczna MITEL'04*, Gorzów Wlkp., 2004

DEVELOPMENT OF POWER CABLE LINES AND SERVICE EXPECTATIONS

Increasing environmental pressures makes building new overhead lines more and more difficult, especially in urban areas. Improvements in materials, equipments and design of cables and accessories can lead to a significant reduction in total cost of underground cable systems, making them more competitive with overhead lines in urban areas.