

Dominik DUDA, Zbigniew GACEK
Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów
Politechnika Śląska, Gliwice

ANALIZA WPLYWU CZĘSTOŚCI PROFILAKTYCZNYCH OBSŁUG EKSPLOATACYJNYCH NA AWARYJNOŚĆ LINII KABLOWYCH SN

Streszczenie. W artykule zaprezentowano analizę wpływu częstości profilaktycznych obsług eksploatacyjnych na awaryjność linii kablowych SN. Analiza ta została przeprowadzona na podstawie modelu obliczeniowego, opisującego proces eksploatacji linii kablowych. Częstość obsług profilaktycznych ma decydujący wpływ na efektywność stosowanej strategii obsługi eksploatacyjnej. Wpływ ten został przeanalizowany dla różnych parametrów modelu opisujących zarówno stan techniczny eksploatowanego kabla, jak również cechy stosowanej metody diagnostycznej.

ANALYSIS OF EFFECT OF PREVENTIVE MAINTENANCE FREQUENCY ON UNRELIABILITY OF MV CABLE LINES

Summary. Analysis results relevant to effect of frequency of preventive maintenance on unreliability of MV cable lines are presented. Such an analysis has been made on the basis of a calculation model, which describes operating process of cable lines. Frequency of preventive maintenance is a decisive factor for effectiveness of applied operating service. The effect of such a factor has been analysed for different model parameters describing both technical state of the cable and features of applied diagnostic method.

1. WSTĘP

Będące ciągle w eksploatacji, produkowane w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w., kable o izolacji wykonanej z polietylenu nieusieciowanego charakteryzują się dużą awaryjnością w porównaniu do innych typów kabli. Powoduje to częste nieoczekiwane przerwy w dostawie energii elektrycznej. Najlepszym sposobem – z punktu widzenia techniki – byłaby wymiana przestarzałych technologicznie kabli i zastąpienie ich nowymi. Jest to jednak przedsięwzięcie kosztowne. Dzięki zastosowaniu odpowiedniej strategii obsługi eksploatacyjnej umożliwiającej zapobieganie awariom (poprzez wykonywanie czynności profilaktycznych w odpowiednim czasie) możliwe jest zmniejszenie awaryjności linii kablowych oraz strat ekonomicznych wynikających m.in. z konieczności nieplanowanych wyłączeń i niedostarczenia energii odbiorcom. Czynnościami profilaktycznymi nazywa się odnowienia (naprawy), które należy wykonać zanim zużycie, zmęczenie lub zestarzenie się kabla (lub jego części składowych) spowoduje awarię i konieczność dokonania naprawy wymuszonej. Eksploatacyjne czynności obsługowe mogą być wykonywane po upływie zdeterminowanych lub losowych przedziałów czasu.

Obsługa eksploatacyjna elementów składowych sieci elektroenergetycznych obejmuje najczęściej następujące czynności: przegląd i kontrolę stanu technicznego, częściową lub pełną

naprawę profilaktyczną, wymianę profilaktyczną oraz naprawę lub wymianę wymuszoną przez awarię. Czynności te mają na celu utrzymanie takiego stanu technicznego, który pozwoli na dalszą eksploatację obsługiwanego kabla i wypełnianie przez niego nałożonych zadań. Najmniej efektywne jest ograniczanie się tylko do obsługi wymuszonych przez awarie (*corrective maintenance*). Znacznie bardziej uzasadnione są obsługi profilaktyczne, tzn. wykonywane jeszcze w stanie zdatności kabla do spełniania określonych zadań funkcjonalnych. Wyróżnia się tu zasadnicze dwie grupy strategii: tzw. strategię zależną od czasu pracy obiektu (*time based maintenance*) i strategię zależną od stopnia zużycia obiektu (*condition based maintenance*) [5].

Badanie i analiza wielu zjawisk, obiektów i procesów nie są możliwe do przeprowadzenia w warunkach rzeczywistych. Przyczyną tego są trudności w wykonaniu pomiarów, obserwacji lub zbyt długi czas trwania badań rzeczywistego kabla. Badania takie należy więc przeprowadzać w sposób pośredni – za pomocą specjalnie skonstruowanych modeli (odwzorowań). Są one reprezentacją istotnych cech, na przykład dynamiki zachowań badanego kabla. Do odwzorowania procesów obsługi eksploatacyjnej linii kablowych SN wykorzystano specjalny model matematyczny, opisujący strategię, której zastosowanie nie jest istotnie ograniczone ani możliwościami technicznymi, ani względami organizacyjnymi spotykanymi w energetyce zawodowej. Jest to tzw. strategia odnowień profilaktycznych przy okresowej obserwacji obiektu, należąca do grupy strategii obsługi zależnej od stopnia zużycia obiektu [2]. Strategia ta polega na tym, że odnowień dokonuje się po kontrolach diagnostycznych przeprowadzanych w chwilach $\tau_p, 2\tau_p, 3\tau_p, \dots$, gdy stopień zużycia obiektu osiąga wartość niedopuszczalną oraz wtedy, gdy obiekt ulegnie awarii. Może być więc zastosowana w odniesieniu do linii kablowych, gdyż ich stan techniczny może być oceniany w stosunkowo prosty sposób. Metody diagnostyczne ([3], [4]) umożliwiają wiarygodną ocenę stopnia zużycia (zestarzenia) izolacji linii kablowej. Ponadto możliwe jest również lokalizowanie miejsc wzdłuż trasy kabla [5], w których izolacja jest lokalnie osłabiona. Dzięki temu istnieje możliwość eliminowania takich miejsc albo przez wykonanie muf o parametrach niezawodnościowych podobnych do parametrów odnawianego kabla, albo – w przypadku dłuższych zdegradowanych fragmentów – poprzez lokalną wymianę kabla (wykonanie wstawki). Przedział czasu pomiędzy kolejnymi kontrolami diagnostycznymi ma bardzo istotny wpływ na efektywność stosowanej strategii obsługi, a zatem na zmniejszenie awaryjności linii kablowych.

2. MODEL OBLICZENIOWY

W rozważanym modelu obliczeniowym kabel jest traktowany jako jeden niepodzielny obiekt, tzn. nie wyróżnia się jego elementów składowych: muf, głowic, wstawek kablowych. Uwzględniana jest jednak szeregową strukturą niezawodnościową kabla, oznaczająca, że uszkodzenie jednego z elementów linii kablowej powoduje niezdatność do pracy całego obiektu. Rozważany kabel może znajdować się w jednym z dwóch stanów: $Z_i = 0$ lub 1. Stany te oznaczają umowny stopień sprawności technicznej kabla, przy czym stan 0 odpowiada zadowolającemu stanowi technicznemu izolacji kabla, natomiast stan 1 oznacza, że stan techniczny izolacji jest już pogorszony, ale jeszcze dopuszczalny (izolacja nadaje się jeszcze do naprawy). Zakłada się, że przejście ze stanu $Z_i = 1$ do stanu $Z_i = 0$ nie może nastąpić samoistnie, ale jest to możliwe po dokonaniu odnowienia profilaktycznego lub poawaryjnego.

Dystrybuanta czasu poprawnej pracy kabla η w stanie $Z_i = 0$ (pod warunkiem, że nie nastąpi żadna awaria) jest funkcją $F_0(t) = P(\eta < t)$. Odcinek czasu ξ , kiedy kabel znajduje się w stanie $Z_i = 0$, ma rozkład prawdopodobieństwa $F(t) = P(\xi < t)$. Zmienne losowe ξ i η są z założenia niezależne. Gdy w chwili x mierzony od rozpoczęcia eksploatacji kabla parametr Z_i zmieni wartość z 0 na 1, resztkowy czas pracy kabla wyraża dystrybuanta:

$$F_1(t) = \frac{F_1(t-x) - F_1(x)}{1 - F_1(x)}. \quad (1)$$

Intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$, $\lambda_0(t)$ i $\lambda_1(t)$ odpowiadają dystrybuantom $F(t)$, $F_0(t)$ i $F_1(t)$, gdzie:

- $F(t)$ opisuje rozkład prawdopodobieństwa czasu poprawnej pracy kabla w stanie $Z_t = 0$,
- $F_0(t)$ opisuje rozkład prawdopodobieństwa czasu poprawnej pracy kabla w stanie $Z_t = 0$ pod warunkiem, że nie nastąpi żadna awaria (czas do pierwszego uszkodzenia),
- $F_1(t)$ opisuje rozkład prawdopodobieństwa długości odcinka czasu liczonego od chwili przejścia ze stanu technicznego $Z_t = 0$ na $Z_t = 1$ do chwili powstania uszkodzenia.

Prawdopodobieństwa $p_0(t)$ i $p_1(t)$ oznaczają, że kabel w przedziale $(0, t)$ nie ulegnie awarii i że w chwili t jest w stanie $Z_t = 0$ lub 1. Prawdopodobieństwa te spełniają następujący układ równań różniczkowych:

$$p_0'(t) = -[\lambda(t) + \lambda_0(t)]p_0(t), \quad (2)$$

$$p_1'(t) = \lambda(t)p_0(t) - \lambda_1(t)p_1(t). \quad (3)$$

Dla warunków początkowych $p_0(0) = 1$ i $p_1(0) = 0$ oraz przy uwzględnieniu zależności:

$$F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(x) dx}, \quad (4)$$

$$F_i(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda_i(x) dx} \quad (i = 0, 1), \quad (5)$$

otrzymuje się rozwiązanie układu równań (2) i (3) w następującej postaci:

$$p_0(t) = \overline{F(t)} \overline{F_0(t)}, \quad (6)$$

$$p_1(t) = \overline{F_1(t)} \int_0^t \frac{\lambda(u) \overline{F(u)} \overline{F_0(u)}}{\overline{F_1(u)}} du, \quad (7)$$

gdzie: $\overline{F(t)} = 1 - F(t)$ oraz $\overline{F_i(t)} = 1 - F_i(t)$ dla $i = 0, 1$.

Gęstość funkcji rozkładu "życia" kabla ma postać:

$$f(t) = \lambda_0(t)p_0(t) + \lambda_1(t)p_1(t). \quad (8)$$

Jeśli $\lambda(t) = \lambda$, $\lambda_0(t) = \lambda_0$ i $\lambda_1(t) = \lambda_1$, wówczas prawdopodobieństwa (6) i (7) przyjmują uproszczoną postać:

$$p_0(t) = e^{-(\lambda + \lambda_0)t}, \quad (9)$$

$$p_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_0 - \lambda_1} \left[e^{-\lambda_1 t} - e^{-(\lambda + \lambda_0)t} \right], \quad (10)$$

natomiast gęstość funkcji rozkładu "życia" wyraża się następująco:

$$f(t) = \frac{(\lambda_0 - \lambda_1)(\lambda + \lambda_0)}{\lambda + \lambda_0 - \lambda_1} e^{-(\lambda + \lambda_0)t} + \frac{\lambda \lambda_1}{\lambda + \lambda_0 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t}, \quad (11)$$

w przypadku, gdy $\lambda + \lambda_0 - \lambda_1 \neq 0$.

Zakłada się, że odnowienie wykonywane jest albo bezpośrednio po awarii, albo okresowo, gdy obiekt znajdzie się w stanie $Z_t = 1$. W przypadku stosowania tej strategii niezbędne są okresowe kontrole diagnostyczne, wykonywane w odstępach czasu τ_d , $2\tau_d$ itd. Kabel jest odnawiany profilaktycznie wtedy, gdy kontrola diagnostyczna wykaże, że $Z_t = 1$. Kabel może się znajdować w takim stanie z prawdopodobieństwem $\pi_1(t)$ wyrażonym wzorem:

$$\pi_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1} \left(1 - e^{-(\lambda + \lambda_1)t} \right). \quad (12)$$

Aby wyznaczyć oczekiwaną liczbę odnowień, postać czasową funkcji (11) przekształcono do postaci operatorowej. Wykorzystując związek między operatorowymi postaciami gęstości funkcji odnowy i gęstości funkcji rozkładu życia oraz związek między operatorowymi postaciami funkcji odnowy i jej gęstości, a następnie dokonując odwrotnej transformacji Laplace'a, oczekiwana liczba wszystkich odnowień – wymuszonych przez awarie i odnowień profilaktycznych – przybiera postać:

$$N_o(t) = \frac{\lambda_1(\lambda + \lambda_0)}{\lambda + \lambda_1} t - \frac{\lambda(\lambda_1 - \lambda_0)}{(\lambda + \lambda_1)^2} [1 - e^{-(\lambda + \lambda_1)t}]. \quad (13)$$

Aby wyznaczyć oczekiwaną liczbę odnowień profilaktycznych należy uwzględnić prawdopodobieństwo, że w chwili kontroli diagnostycznej badany kabel jest w stanie $Z_t = 1$ oraz liczbę kontroli diagnostycznych wykonanych do chwili t . Liczba kontroli diagnostycznych uzależniona jest od przyjętej wartości τ_d i dla $\tau_d = \text{const.}$ można ją przedstawić w postaci:

$$N_k(t) = \frac{t}{\tau_d}, \quad (14)$$

więc oczekiwana liczba odnowień profilaktycznych wynosi [2]:

$$N_p(t) = N_k(t) \pi_1(t) = \frac{\lambda t}{\lambda + \lambda_1} [1 - e^{-(\lambda + \lambda_1)t}], \quad (15)$$

zaś liczba awarii:

$$N_a(t) = N_o(t) - N_p(t). \quad (16)$$

Wykresy oczekiwanej liczby obsług eksploatacyjnych, oczekiwanej liczby odnowień profilaktycznych oraz wynikającej stąd (z różnicy obu wielkości) liczby odnowień poawaryjnych (równiej liczbie awarii) przedstawione są na rys. 1.

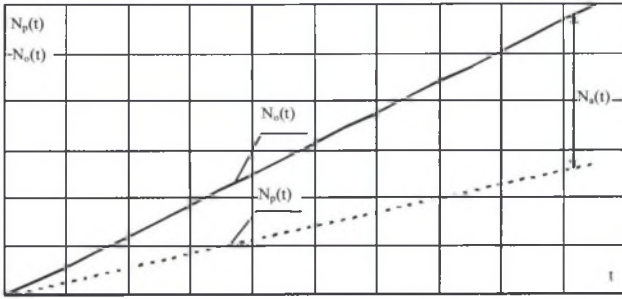
Możliwość posługiwania się przedstawionym modelem obliczeniowym jest ograniczona do przypadków stacjonarnych strumieni uszkodzeń. Bardzo często strumienie uszkodzeń linii kablowych nie są jednak stacjonarne, co jest związane z sezonowością uszkodzeń. Aby strumień uszkodzeń kabli można było traktować jako strumień Poissona, intensywność uszkodzeń powinna być jednakowa w ciągu roku. W tym celu można zastosować tzw. transformację czasu [2], polegającą na skróceniu czasów trwania sezonów charakteryzujących się mniejszą częstością uszkodzeń, zgodnie ze wzorem:

$$T'_k = \frac{w_k}{w_{\max}} T_k \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (17)$$

gdzie:

- w_k – średnia częstość występowania uszkodzeń w stanie k ,
- w_{\max} – największa ze średnich częstość występowania uszkodzeń,
- T_k – czas trwania stanu k przed transformacją czasu,
- T_k^* – czas trwania stanu k , po transformacji czasu,
- n – liczba stanów zawadnościowych.

Taka transformacja pozwala uniezależnić się od sezonowej zmienności częstości uszkodzeń i rozpatrywać stacjonarny strumień uszkodzeń w zmienionym, tzw. obliczeniowym roku eksploatacji (T^*). Dla tak zdefiniowanego zredukowanego czasu eksploatacji zachodzą relacje $N_o(t^*) = N_o(t)$, $N_a(t^*) = N_a(t)$, $N_p(t^*) = N_p(t)$ i $N_k(t^*) = N_k(t)$. Stanowi to modyfikację klasycznej strategii [1].



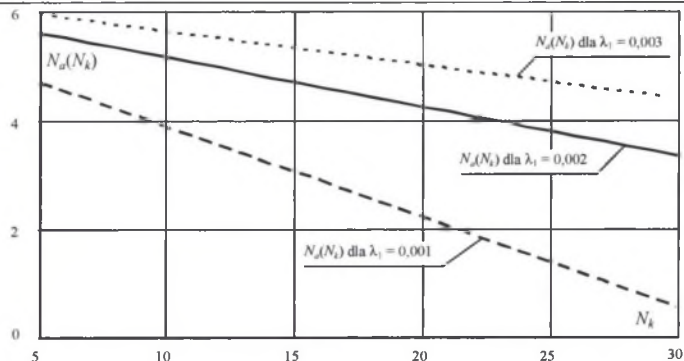
Rys.1. Oczekiwana liczba obsług eksploatacyjnych i odnowień profilaktycznych izolacji linii kablowej SN

Fig.1. Expected maintenance and preventive renewal number of MV cable line insulation

Z przedstawionych wykresów wynika, że wzrost oczekiwanej liczby odnowień profilaktycznych izolacji kabli SN w funkcji czasu ich eksploatacji jest w przybliżeniu liniowy.

3. ANALIZA WPLYWU CZĘSTOŚCI OBSŁUG PROFILAKTYCZNYCH NA AWARYJNOŚĆ LINII KABLOWYCH SN

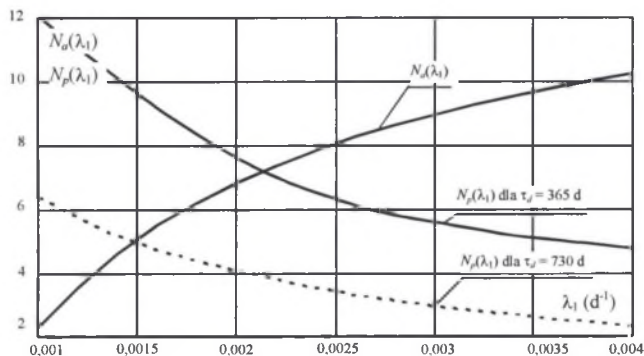
Ze wzorów (14) do (16) wynika, że oczekiwana liczba awarii (a tym samym liczba odnowień poawaryjnych) jest uzależniona od przedziału czasu między kolejnymi kontrolami diagnostycznymi. Kontrole diagnostyczne nie zawsze są zakończone odnowieniem profilaktycznym, gdyż jest to uzależnione od ich wyniku. Rozpatrywanie wpływu częstości stosowania kontroli diagnostycznych jest jednak uzasadnione tym, że długość przedziału τ_d jest parametrem, na ustalenie którego służby eksploatacyjne mają największy wpływ. Niewątpliwie jednak zwiększenie liczby kontroli diagnostycznych wpływa na zwiększenie liczby odnowień profilaktycznych i zmniejszenie liczby awarii. Zależność między oczekiwaną liczbą awarii a liczbą odnowień profilaktycznych została przedstawiona na rys.2. Rysunek ten przedstawia przewidywaną liczbę awarii izolacji linii kablowej SN w czasie eksploatacji $T_E = 30$ lat w funkcji liczby kontroli diagnostycznych dla różnych wartości parametru λ_1 . Intensywność uszkodzeń λ_1 zależy z jednej strony od szybkości procesu degradacji izolacji kabla, a z drugiej strony – od przyjętych parametrów kryterialnych metody diagnostycznej. Jeśli lokalne procesy degradacyjne, prowadzące do miejscowego osłabienia izolacji, zachodzą wolniej (czemu odpowiadają mniejsze wartości parametru λ_1), to wzrasta prawdopodobieństwo wykonania obsługi zapobiegawczej, czyli rośnie oczekiwana liczba odnowień profilaktycznych. Podobnie, jeśli metoda diagnostyczna pozwala na wczesne wykrycie procesów degradacyjnych zachodzących w izolacji kabla, oznacza to małą wartość intensywności λ_1 , a co się z tym wiąże, większą oczekiwaną liczbę odnowień profilaktycznych i zmniejszenie się oczekiwanej liczby awarii. Krzywe na rys.3 obrazują wpływ parametru λ_1 na oczekiwaną liczbę odnowień profilaktycznych izolacji linii kablowej dla dwóch różnych czasów między kolejnymi kontrolami diagnostycznymi: $\tau_d = 365$ d i $\tau_d = 730$ d. Wpływ ten jest szczególnie widoczny dla małych wartości intensywności λ_1 . Potwierdza to prawidłowość, że strategia jest bardziej efektywna w przypadku małych wartości intensywności λ_1 oraz dla częstych kontroli diagnostycznych.



Rys.2. Oczekiwana liczba odnowień poawaryjnych izolacji linii kablowej SN w czasie eksploatacji

$T_E = 30$ lat w zależności od liczby kontroli diagnostycznych ($\lambda = 0,0002 \text{ d}^{-1}$, $\lambda_0 = 0,0005 \text{ d}^{-1}$)

Fig.2. Expected number of after – failure renewals of MV cable line insulation during operating time period $T_E = 30$ years depending on number of diagnostic controls



Rys.3. Oczekiwane liczby awarii i odnowień profilaktycznych izolacji linii kablowych w okresie eksploatacji $T_E = 30$ lat, w zależności od intensywności uszkodzeń λ_1

Fig.3. Expected number of failures and preventive renewals of cable line insulation during operating time period $T_E = 30$ years depending on failure rate λ_1

Długość przedziału czasu między kolejnymi kontrolami diagnostycznymi (τ_d) powinna być wyznaczona na podstawie analizy ekonomicznej. Należy porównać koszt eksploatacji w przypadku stosowania strategii ograniczonej jedynie do usług poawaryjnych z kosztem eksploatacji związanym z prowadzeniem strategii obsługi zawierającym kontrole diagnostyczne oraz odnowienia profilaktyczne. Porównania tego można dokonać stosując metodę kosztów rocznych. Podstawowymi rodzajami kosztów wyróżnionych w tej metodzie są: koszt inwestycyjny, koszty strat mocy i energii oraz koszt zawodności związany z prawdopodobieństwem uszkodzenia obiektu. Zakłada się, że koszty inwestycyjne i zmienne są jednakowe dla wszystkich wariantów strategii obsługi eksploatacyjnej linii kablowych SN. Jest to uzasadnione tym, że rozważa się ten sam obiekt. Poszczególnym strategiom odpowiadają zatem różne koszty zawodności. W takim przypadku wystarczające jest porównanie kosztów zawodności związanych z rozważanymi wariantami strategii. W przypadku braku działań profilaktycznych na łączne koszty zawodności składa się: koszt odnowienia poawaryjnego i koszt niedostarczonej energii. W przypadku stosowania strategii obejmującej kontrole diagnostyczne i profilaktyczne czynności obsługowe, poza kosztem niedostarczonej energii należy jeszcze uwzględnić koszt odnowień profilaktycznych i kontroli diagnostycznych. Racjonalne działania profilaktyczne powinny skutkować zmniejszeniem się liczby awarii oraz kosztów związanych z usuwaniem ich skutków – w tym również kosztów niedostarczonej

energii. Taka prawidłowość oznacza, że wariant strategii obsługi eksploatacyjnej, wymagający działań profilaktycznych, może stać się bardziej konkurencyjny pod względem ekonomicznym od wariantu strategii nie przewidującego obsługi profilaktycznych – mimo konieczności ponoszenia kosztów związanych z realizacją kontroli diagnostycznych. W przypadku stosowania strategii, według której nie dokonuje się obsługi profilaktycznych, koszty zawodności w założonym okresie czasu eksploatacji T_E można zapisać ogólnie jako:

$$K_{zaw1} = N_a(T_E) c_a. \quad (18)$$

W przypadku stosowania strategii obejmującej działania profilaktyczne w założonym okresie eksploatacji T_E , koszt zawodności wynika ze wzoru:

$$K_{zaw2} = N_a(T_E) c_a + N_p(T_E) c_p + \frac{T_E}{\tau_d} c_d, \quad (19)$$

gdzie:

c_a – koszt wykonania jednego odnowienia poawaryjnego, uwzględniający również koszt niedostarczonej energii,

c_p – koszt wykonania jednego odnowienia profilaktycznego,

c_d – koszt wykonania jednej kontroli diagnostycznej,

τ_d – przedział czasu między kolejnymi kontrolami diagnostycznymi.

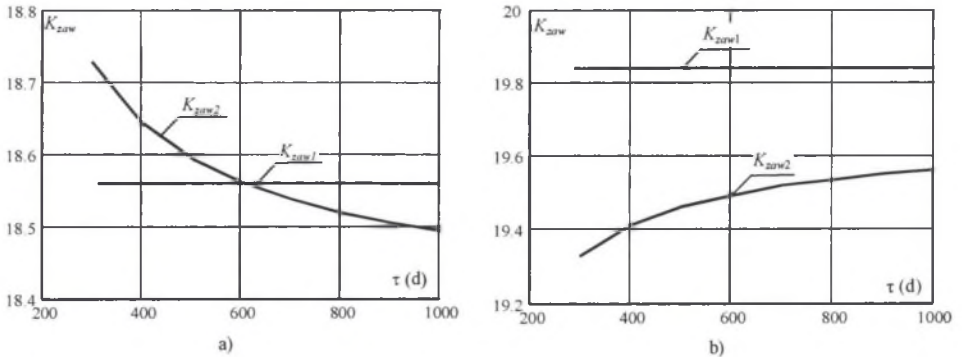
Porównując przedstawione koszty można ocenić opłacalność stosowania obu rodzajów strategii obsługi eksploatacyjnej. Aby spełniona była nierówność:

$$K_{zaw2} < K_{zaw1}, \quad (20)$$

uzasadniająca celowość zastosowania kontroli diagnostycznych i będących ich następstwem ewentualnych odnowień profilaktycznych, zamiast ograniczania się jedynie do odnowień poawaryjnych muszą być zachowane odpowiednie proporcje między poszczególnymi składnikami kosztu zawodności. W szczególności koszt odnowienia poawaryjnego musi być większy od kosztu odnowienia profilaktycznego. Na rysunku 4 zostały przedstawione dwa różne przypadki w relacjach między kosztami zawodności rozważanych strategii obsługi eksploatacyjnej. Koszty zawodności obu wariantów strategii obsługi eksploatacyjnej zostały przedstawione w postaci kosztów względnych, odniesionych do kosztu pojedynczego odnowienia profilaktycznego. Rysunek 4a przedstawia przypadek, w którym zbyt częste wykonywanie kontroli diagnostycznych powoduje wzrost kosztów zawodności, co jest związane z niepomijalnymi kosztami kontroli diagnostycznych oraz relatywnie niskim kosztem odnowienia poawaryjnego w stosunku do kosztu odnowienia profilaktycznego. Przedział czasu między kolejnymi kontrolami diagnostycznymi powinien w tym przypadku być tak dobrany, aby spełniona była nierówność (20). Z kolei na rys.4b przedstawiona jest sytuacja, w której dzięki wysokim kosztom odnowień poawaryjnych stosowanie profilaktycznych czynności obsługowych jest zawsze uzasadnione ekonomicznie. Wybór racjonalnego przedziału czasu między kolejnymi kontrolami diagnostycznymi powinien być w tym przypadku określony przez techniczne możliwości ich wykonywania lub wymagany poziom niezawodności.

4. PODSUMOWANIE

- Stosowanie kontroli diagnostycznych stanu izolacji w liniach kablowych SN, a w ich następstwie racjonalnych odnowień profilaktycznych, powoduje zmniejszenie awaryjności tych linii. Decydujący wpływ na oczekiwaną liczbę odnowień profilaktycznych, a tym samym poawaryjnych, ma długość przedziału czasu między kolejnymi kontrolami diagnostycznymi.



Rys.4. Względne koszty zawadności linii kablowej SN w okresie eksploatacji $T_E = 30$ lat

a) $c_a = 1,45$; $c_p = 1$; $c_d = 0,1$ b) $c_a = 1,55$; $c_p = 1$; $c_d = 0,1$

Fig.4. Relative unreliability cost of MV cable line during operating time period $T_E = 30$ years:

a) $c_a = 1,45$; $c_p = 1$; $c_d = 0,1$ b) $c_a = 1,55$; $c_p = 1$; $c_d = 0,1$

- Wzrost długości odcinka czasu liczonego od chwili zmiany stanu technicznego z dobrego na dopuszczalny do chwili awarii, co jest związane z szybkością postępowania procesów degradacyjnych zachodzących w izolacji kabla i możliwościami ich wczesnego wykrycia stosowaną metodą diagnostyczną, zwiększa prawdopodobieństwo wykonania odnowienia profilaktycznego, a tym samym uniknięcia awarii. Zmniejsza się tym samym awaryjność rozważanej linii kablowej, bez konieczności częstszego kontrolowania jej stanu technicznego.
- Relacje między kosztami odnowienia profilaktycznego, poawaryjnego i kosztem kontroli diagnostycznej oraz częstość ich wykonywania warunkują opłacalność stosowania strategii obsługi zawierającej profilaktyczne obsługi eksploatacyjne. Okres między kolejnymi kontrolami diagnostycznymi powinien być zatem tak dobrany, aby zapewnić opłacalność ekonomiczną strategii.
- W przypadku, w którym wysokie koszty odnowień poawaryjnych powodują to, że stosowanie profilaktycznych czynności obsługowych jest zawsze uzasadnione ekonomicznie, wybór racjonalnego przedziału czasu między kolejnymi kontrolami diagnostycznymi powinien być w tym przypadku określony przez techniczne możliwości ich wykonywania lub wymagany poziom niezawodności.

LITERATURA

1. Beichelt F.: Problemy niezawodności i odnowy urządzeń technicznych. WNT, Warszawa 1974.
2. Duda D.: Modelowanie procesów obsługi eksploatacyjnej wybranych elementów składowych sieci elektroenergetycznych. Praca doktorska, Gliwice 2003.
3. Gacek Z., Stępień J.: Diagnosis of the state of PE/XLPE insulation in power cables basing on return voltage measurement results. French Polish Days in Electricity, Gliwice 2000, pp. 31 – 34.
4. Szczerki R.: Lokalizacja uszkodzeń kabli i wybrane badania eksploatacyjne linii kablowych. WNT, Warszawa 1999.
5. Gulski E., Wester F., Turner M.: OWTS® – a new method to perform on-site on medium voltage power cables advanced partial discharge diagnostics. High Voltage Testing & Diagnostics Seminar'99, San Antonio 1999, pp. 1 – 11.