

doi:10.15199/48.2024.01.40

Funkcje niezawodnościowe napowietrznych linii dystrybucyjnych 110 kV, SN oraz nn

Streszczenie. W artykule przedstawione zostały wyniki oceny podstawowych funkcji określających właściwości niezawodnościowe napowietrznych linii dystrybucyjnych 110 kV, SN oraz nn, jakimi są funkcja intensywności awarii, funkcja niezawodności, funkcja zawodności oraz funkcja wiodąca. Na podstawie wieloletnich obserwacji linii, eksploatowanych w sieci dużej spółki dystrybucyjnej energii elektrycznej w kraju, określone zostały rozkłady empiryczne wymienionych funkcji. Przeprowadzona została także analiza zgodności rozkładu empirycznego z założonym modelem teoretycznym. Wyznaczona została wartość oczekiwana czasu poprawnej pracy linii do uszkodzenia.

Abstract. The article presents the results of the assessment of the basic functions determining the reliability properties of 110 kV, MV and LV overhead distribution lines, which are the failure intensity function, the reliability function, the unreliability function and the leading function. Based on many years of observations of lines operated in the network of a large electricity distribution company in the country, empirical distributions of the mentioned functions were determined. An analysis of the compliance of the empirical distribution with the assumed theoretical model was also carried out. The expected value of the time of correct operation of the line before failure was determined. (**Reliability functions of 110 kV, MV and LV overhead distribution lines**)

Słowa kluczowe: elektroenergetyczne sieci dystrybucyjne, napowietrzne linie elektroenergetyczne, awarie, funkcje niezawodnościowe
Keywords: power distribution networks, overhead power lines, failures, reliability functions

Wprowadzenie

Problem niezawodności urządzeń elektroenergetycznych jest bardzo ważny ze względu na pewność dostaw energii elektrycznej do znacznej grupy jej odbiorców. W wielu przypadkach przerwy w dostawie energii stwarzają realne zagrożenie dla życia lub zdrowia ludzkiego, np. w przypadku osób korzystających z profesjonalnej aparatury medycznej podtrzymującej życie. Stałe więc nadzorowanie pracy sieci elektroenergetycznych oraz analiza awarii w nich występujących są konieczne, aby ustalić metody właściwej eksploatacji oraz przedsięwziąć wszelkie środki mające na celu wyeliminowanie niektórych awarii w przyszłości. Konieczne jest zwłaszcza wyeliminowanie tych awarii, które wynikają z zaniedbań służb eksploatacyjnych oraz niewłaściwej organizacji pracy przy urządzeniach elektroenergetycznych [12].

Kluczowym zagadnieniem jest wyznaczenie parametrów oraz funkcji określających właściwości niezawodnościowe poszczególnych elementów sieci. Aby w sposób pełny określić właściwości niezawodnościowe obiektów elektroenergetycznych, należy określić ich funkcję niezawodności $R(t)$, funkcję zawodności $F(t)$, funkcję intensywności awarii $\lambda(t)$, funkcję gęstości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia $f(t)$, ewentualnie funkcję wiodącą $\Lambda(t)$ i oczekiwany pozostały czas zdatności $r(t)$ [3, 14, 15]. W przypadku obiektów podlegających odnowie należy dodatkowo określić rozkład odnowy oraz dane procesu stochastycznego, opisującego jego pracę. Należy zbadać takie właściwości procesu jak stacjonarność, stałość intensywności uszkodzeń i odnowy, itp. W praktyce, ze względu na brak wiarygodnych danych pochodzących z eksploatacji, uzyskanie pełnej i dokładnej informacji niezawodnościowej jest bardzo trudne i pracochłonne, a w wielu przypadkach wręcz niemożliwe. Dlatego też najczęściej, do przybliżonych analiz i obliczeń, wykorzystywane są wartości średnie intensywności uszkodzeń λ_{sr} , średnie czasy trwania odnowy (awarii) t_a oraz średni współczynnik zawodności q .

W artykule Autor zaprezentował podstawowe funkcje niezawodnościowe elektroenergetycznych linii napowietrznych, wchodzących w skład sieci dystrybucyjnych energii elektrycznej. Określił także wartość oczekiwaną czasu poprawnej pracy linii do uszkodzenia. Wszystkie analizy, których wyniki zostały zaprezentowane

w niniejszym opracowaniu, zostały przeprowadzone na podstawie danych pochodzących z dużej krajowej spółki dystrybucyjnej energii elektrycznej. Przyjęty poziom istotności $\alpha = 0,05$.

Ocena funkcji niezawodnościowych napowietrznych linii elektroenergetycznych 110 kV

Próba statystyczna napowietrznych linii dystrybucyjnych jest z punktu widzenia badań niezawodnościowych próbą dynamiczną, czyli obejmuje obiekty będące w różnych latach eksploatacji. W związku z powyższym oceny funkcji niezawodnościowych dokonano wykorzystując metodę próby losowej dynamicznej [3, 15]. Na podstawie danych z eksploatacji napowietrznych linii dystrybucyjnych obliczone zostały wartości empiryczne intensywności uszkodzeń $\hat{\lambda}_i$, częstości uszkodzeń f_i^* , funkcji niezawodności R_i^* oraz zawodności (trwałości) F_i^* . Empiryczną intensywność uszkodzeń linii 110 kV zaprezentowano na rysunku 1.

Autor dokonał analizy zgodności typu rozkładu empirycznego z wybranymi rozkładami teoretycznymi intensywności awarii. Na podstawie szczegółowej analizy otrzymanych wyników przyjęto, iż funkcja intensywności awarii dystrybucyjnych linii napowietrznych 110 kV podlega rozkładowi Weibulla. Funkcja intensywności awarii dla tego rozkładu opisana jest zależnością [3, 15]:

$$(1) \quad \lambda(t) = \frac{v}{b} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^{v-1}$$

gdzie: v – parametr kształtu rozkładu Weibulla, b – parametr skali rozkładu Weibulla.

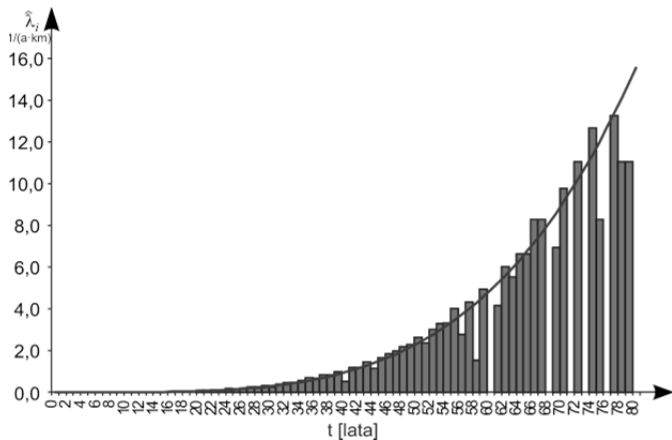
Wyznaczone z wykorzystaniem pakietu Statistica oraz Excela wartości parametrów rozkładu (1) wynoszą: $v = 5,0201$ oraz $b = 26,6704$.

Po podstawieniu wyznaczonych wartości do zależności (1) teoretyczna funkcja intensywności awarii przyjmuje postać:

$$(2) \quad \lambda(t) = 3,48 \cdot 10^{-7} \cdot t^{4,02}$$

Teoretyczną funkcję intensywności awarii napowietrznych linii dystrybucyjnych 110 kV przedstawia rysunek 1.

Weryfikacja hipotezy o rozkładzie została przeprowadzona za pomocą testu znaków. W wyniku jego zastosowania otrzymano: $l_0 = \min(r^*, r) = \min(40, 40) = 40$; $l_0 = 40 > 30 = l_\alpha$; $l_0 \notin R_\alpha = (-\infty, 30)$. Tak więc, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, nie ma podstaw do odrzucenia postawionej hipotezy o postaci funkcyjnej intensywności awarii.



Rys. 1. Empiryczna oraz teoretyczna intensywność uszkodzeń napowietrznych linii dystrybucyjnych 110 kV

Wykorzystując zależności między funkcją $\lambda(t)$, a funkcjami $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$, $A(t)$ i $r(t)$, można wyznaczyć postać teoretyczną tych funkcji dla napowietrznych linii dystrybucyjnych 110 kV (dla odcinka o długości 1 km):

➤ Funkcja niezawodności:

$$(3) \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t}{26,67}\right)^{5,02}}$$

➤ Funkcja zawodności:

$$(4) \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{26,67}\right)^{5,02}}$$

➤ Funkcja gęstości prawdopodobieństwa:

$$(5) \quad f(t) = 3,48 \cdot 10^{-7} \cdot t^{4,02} \cdot e^{-6,94 \cdot 10^{-8} \cdot t^{5,02}}$$

➤ Skumulowana intensywność awarii:

$$(6) \quad A(t) = 6,94 \cdot 10^{-8} \cdot t^{5,02}$$

➤ Oczekiwany pozostały czas zdadności:

$$(7) \quad r(t) = \int_t^\infty e^{-\left(\frac{t}{26,67}\right)^{5,02}} - \left(\frac{s}{26,67}\right)^{5,02} ds$$

Teoretyczne funkcje $R(t)$ oraz $F(t)$ napowietrznych linii dystrybucyjnych 110 kV przedstawiają rysunki 6 i 7.

Na podstawie zależności:

$$(8) \quad E(T) = \int_0^\infty t \cdot f(t) dt = \int_0^\infty t dF(t) = \int_0^\infty R(t) dt$$

wyznaczona została wartość oczekiwana czasu poprawnej pracy napowietrznych linii dystrybucyjnych 110 kV. Wartość ta wynosi 24,49 a dla odcinka 1 km.

Ocena funkcji niezawodnościowych napowietrznych linii elektroenergetycznych SN z przewodami gołymi

Na rysunku 2 przedstawiona została empiryczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych SN z przewodami gołymi.

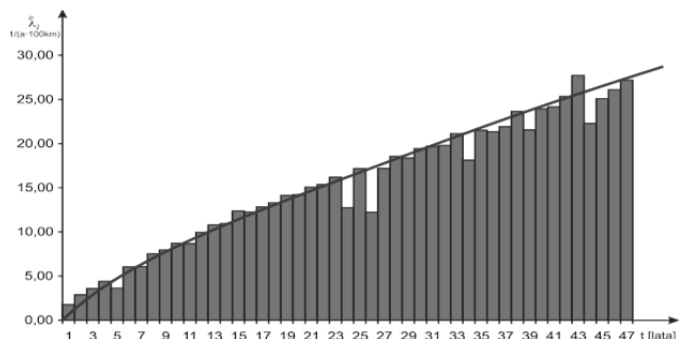
Na podstawie szczegółowej analizy otrzymanych wyników przyjęto, iż funkcja intensywności awarii linii napowietrznych SN z przewodami gołymi podlega rozkładowi Weibulla i jest wyrażona zależnością (1).

Wyznaczone z wykorzystaniem pakietów Statistica i Mathematica oraz Excela wartości parametrów rozkładu Weibulla wynoszą: $\nu = 1,7647$ oraz $b = 15,3329$.

Po podstawieniu wyznaczonych wartości do zależności (1) teoretyczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych SN, przyjmuje postać:

$$(9) \quad \lambda(t) = 1,4269 \cdot t^{0,7647} \cdot \frac{1}{100 \text{ km}}$$

Teoretyczną funkcję intensywności awarii linii napowietrznych SN z przewodami gołymi przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Empiryczna i teoretyczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych SN z przewodami gołymi

Weryfikacja hipotezy o rozkładzie została przeprowadzona za pomocą testu znaków. W wyniku jego zastosowania otrzymano: $l_0 = \min(r^*, r) = \min(19, 28) = 19$; $l_0 = 19 > 16 = l_\alpha$; $l_0 \notin R_\alpha = (-\infty, 16)$. Tak więc, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, iż funkcja intensywności awarii linii napowietrznych SN z przewodami gołymi ma postać przedstawioną zależnością (9).

Wykorzystując zależności między funkcją $\lambda(t)$, a funkcjami $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$, $A(t)$ i $r(t)$, można wyznaczyć postać teoretyczną tych funkcji dla napowietrznych linii dystrybucyjnych SN z przewodami gołymi (dla odcinka 1 km):

➤ Funkcja niezawodności:

$$(10) \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t}{15,3329}\right)^{1,7647}}$$

➤ Funkcja zawodności:

$$(11) \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{15,3329}\right)^{1,7647}}$$

➤ Funkcja gęstości prawdopodobieństwa:

$$(12) \quad f(t) = 0,0143 \cdot t^{0,7647} \cdot e^{-\left(\frac{t}{15,3329}\right)^{1,7647}}$$

➤ Skumulowana intensywność awarii:

$$(13) \quad \Lambda(t) = 80,86 \cdot 10^{-4} \cdot t^{1,7647}$$

➤ Oczekiwany pozostały czas zdatności:

$$(14) \quad r(t) = \int_t^{\infty} e^{-\left(\frac{t}{15,3329}\right)^{1,7647} - \left(\frac{s}{15,3329}\right)^{1,7647}} ds$$

Teoretyczne funkcje $R(t)$ oraz $F(t)$ napowietrznych linii SN z przewodami gołymi przedstawiają rysunki 6 i 7.

Na podstawie zależności (8) wyznaczona została wartość oczekiwana czasu poprawnej pracy napowietrznych linii dystrybucyjnych SN z przewodami gołymi. Wartość ta wynosi 13,65 a dla odcinka 1 km.

Ocena funkcji niezawodnościowych napowietrznych linii elektroenergetycznych SN z przewodami niepełnoizolowanymi

Na rysunku 3 przedstawiona została empiryczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych SN z przewodami niepełnoizolowanymi.

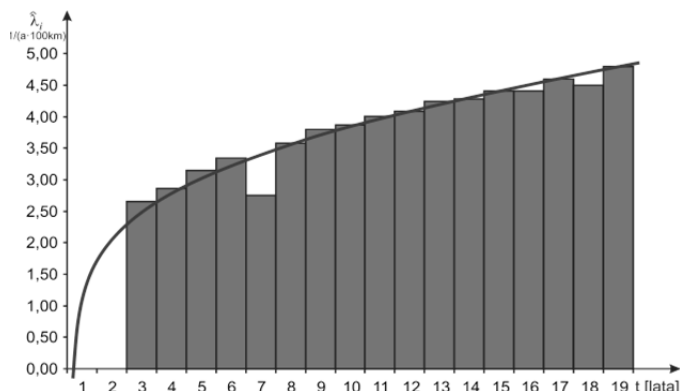
Na podstawie szczegółowej analizy otrzymanych wyników przyjęto, iż funkcja intensywności awarii niepełnoizolowanych linii napowietrznych SN podlega rozkładowi Weibulla i jest wyrażona zależnością (1).

Wyznaczone z wykorzystaniem pakietów Statistica i Mathematica oraz Excela wartości parametrów rozkładu Weibulla wynoszą: $\nu = 1,3127$ oraz $b = 25,3498$.

Po podstawieniu wyznaczonych wartości do zależności (1) teoretyczna funkcja intensywności awarii niepełnoizolowanych linii napowietrznych SN, przyjmuje postać:

$$(15) \quad \lambda(t) = 1,8844 \cdot t^{0,3127} \cdot \frac{1}{100 \text{ km}}$$

Teoretyczną funkcję intensywności awarii niepełnoizolowanych linii napowietrznych SN przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Empiryczna i teoretyczna funkcja intensywności awarii niepełnoizolowanych linii napowietrznych SN

Weryfikacja hipotezy o rozkładzie została przeprowadzona za pomocą testu znaków. W wyniku jego zastosowania otrzymano: $I_0 = \min(I^*, I) = \min(10, 9) = 9$; $I_0 = 9 > 4 = I_{\alpha}$; $I_0 \notin R_{\alpha} = (-\infty, 4)$. Tak więc, dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, iż teoretyczna funkcja intensywności awarii niepełnoizolowanych linii napowietrznych SN ma postać przedstawioną zależnością (15).

Wykorzystując zależności między funkcją $\lambda(t)$, a funkcjami $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$ i $\Lambda(t)$, można wyznaczyć postać teoretyczną tych funkcji dla napowietrznych linii SN z

przewodami niepełnoizolowanymi (dla odcinka o długości 1 km):

➤ Funkcja niezawodności:

$$(16) \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t}{25,3498}\right)^{1,3127}}$$

➤ Funkcja zawodności:

$$(17) \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{25,3498}\right)^{1,3127}}$$

➤ Funkcja gęstości prawdopodobieństwa:

$$(18) \quad f(t) = 0,0188 \cdot t^{0,3127} \cdot e^{-\left(\frac{t}{25,3498}\right)^{1,3127}}$$

➤ Skumulowana intensywność awarii:

$$(19) \quad \Lambda(t) = 143,55 \cdot 10^{-4} \cdot t^{1,3127}$$

➤ Oczekiwany pozostały czas zdatności:

$$(20) \quad r(t) = \int_t^{\infty} e^{-\left(\frac{t}{25,3498}\right)^{1,3127} - \left(\frac{s}{25,3498}\right)^{1,3127}} ds$$

Teoretyczne funkcje $R(t)$ oraz $F(t)$ napowietrznych linii SN z przewodami niepełnoizolowanymi przedstawiają rysunki 6 i 7.

Na podstawie zależności (8) wyznaczona została wartość oczekiwana czasu poprawnej pracy napowietrznych linii dystrybucyjnych SN z przewodami niepełnoizolowanymi. Wartość ta wynosi 23,36 a dla odcinka 1 km.

Ocena funkcji niezawodnościowych napowietrznych linii elektroenergetycznych nn z przewodami gołymi

Na rysunku 4 przedstawiona została empiryczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami gołymi.

Na podstawie szczegółowej analizy otrzymanych wyników przyjęto, iż funkcja intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami gołymi podlega rozkładowi Weibulla i jest wyrażona zależnością (1).

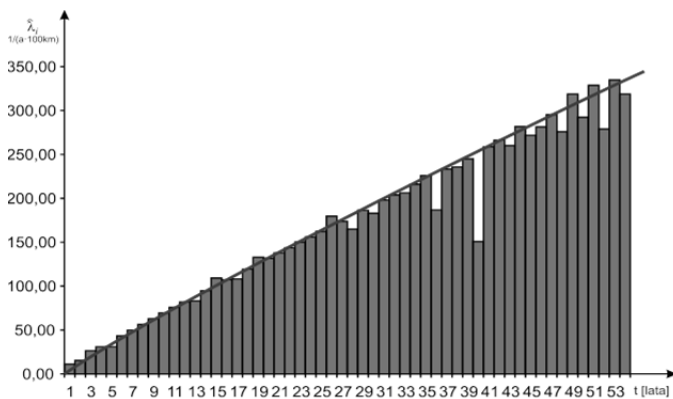
Wyznaczone z wykorzystaniem pakietów Statistica i Mathematica oraz Excela wartości parametrów rozkładu Weibulla wynoszą: $\nu = 1,9243$ oraz $b = 16,9926$.

Po podstawieniu wyznaczonych wartości do zależności (1) teoretyczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami gołymi, przyjmuje postać:

$$(21) \quad \lambda(t) = 8,2582 \cdot t^{0,9243} \cdot \frac{1}{100 \text{ km}}$$

Teoretyczną funkcję intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami gołymi przedstawia rysunek 4.

Weryfikacja hipotezy o rozkładzie została przeprowadzona za pomocą testu znaków. W wyniku jego zastosowania otrzymano: $I_0 = \min(I^*, I) = \min(26, 28) = 26$; $I_0 = 26 > 19 = I_{\alpha}$; $I_0 \notin R_{\alpha} = (-\infty, 19)$. Tak więc, dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, iż teoretyczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami gołymi ma postać przedstawioną zależnością (21).



Rys. 4. Empiryczna i teoretyczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami gołymi

Wykorzystując zależności między funkcją $\lambda(t)$, a funkcjami $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$, $A(t)$ i $r(t)$, można wyznaczyć postać teoretyczną tych funkcji dla napowietrznych linii nn z przewodami gołymi (dla odcinka o długości 100 m):

- Funkcja niezawodności:

$$(22) \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t}{16,9926}\right)^{1,9243}}$$

- Funkcja zawodności:

$$(23) \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{16,9926}\right)^{1,9243}}$$

- Funkcja gęstości prawdopodobieństwa:

$$(24) \quad f(t) = 0,0083 \cdot t^{0,9243} \cdot e^{-\left(\frac{t}{16,9926}\right)^{1,9243}}$$

- Skumulowana intensywność awarii:

$$(25) \quad A(t) = 42,92 \cdot 10^{-4} \cdot t^{1,9243}$$

- Oczekiwany pozostały czas zdatości:

$$(26) \quad r(t) = \int_t^{\infty} e^{-\left(\frac{t}{16,9926}\right)^{1,9243}} - e^{-\left(\frac{s}{16,9926}\right)^{1,9243}} ds$$

Teoretyczne funkcje $R(t)$ oraz $F(t)$ napowietrznych linii nn z przewodami gołymi przedstawiają rysunki 6 i 7.

Na podstawie zależności (8) wyznaczona została wartość oczekiwana czasu poprawnej pracy napowietrznych linii dystrybucyjnych nn z przewodami gołymi. Wartość ta wynosi 1,51 a dla odcinka 1 km.

Ocena funkcji niezawodnościowych napowietrznych linii elektroenergetycznych nn z przewodami izolowanymi

Na rysunku 5 przedstawiona została empiryczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami izolowanymi.

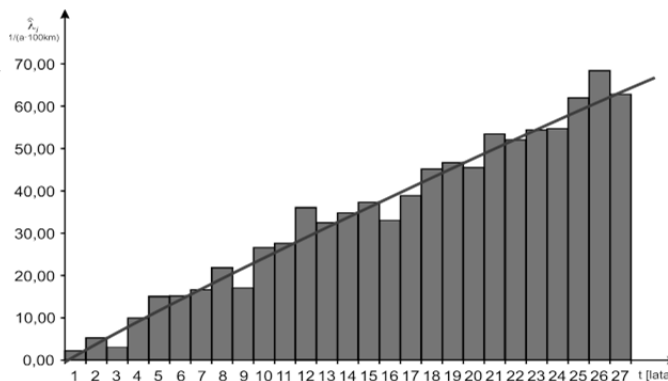
Na podstawie szczegółowej analizy otrzymanych wyników przyjęto, iż funkcją intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami izolowanymi podlega rozkładowi Weibulla i jest wyrażona zależnością (1).

Wyznaczone z wykorzystaniem pakietów Statistica i Mathematica oraz Excela wartości parametrów rozkładu Weibulla wynoszą: $\nu = 1,9261$ oraz $b = 27,6309$.

Po podstawieniu wyznaczonych wartości do zależności (1) teoretyczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami izolowanymi, przyjmuje postać:

$$(27) \quad \lambda(t) = 3,2241 \cdot t^{0,9261} \frac{1}{100 \text{ km}}$$

Teoretyczną funkcję intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami izolowanymi przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Empiryczna i teoretyczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami izolowanymi

Weryfikacja hipotezy o rozkładzie została przeprowadzona za pomocą testu znaków. W wyniku jego zastosowania otrzymano: $l_0 = \min(I^*, I) = \min(11, 16) = 11$; $l_0 = 11 > 7 = l_{\alpha}$; $l_0 \notin R_{\alpha} = (-\infty, 7)$. Tak więc, dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, iż teoretyczna funkcja intensywności awarii linii napowietrznych nn z przewodami izolowanymi ma postać przedstawioną zależnością (27).

Wykorzystując zależności między funkcją $\lambda(t)$, a funkcjami $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$, $A(t)$ i $r(t)$, można wyznaczyć postać teoretyczną tych funkcji dla napowietrznych linii nn z przewodami izolowanymi (dla odcinka o długości 100 m):

- Funkcja niezawodności:

$$(28) \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t}{27,6309}\right)^{1,9261}}$$

- Funkcja zawodności:

$$(29) \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{27,6309}\right)^{1,9261}}$$

- Funkcja gęstości prawdopodobieństwa:

$$(30) \quad f(t) = 0,0032 \cdot t^{0,9261} \cdot e^{-\left(\frac{t}{27,6309}\right)^{1,9261}}$$

- Skumulowana intensywność awarii:

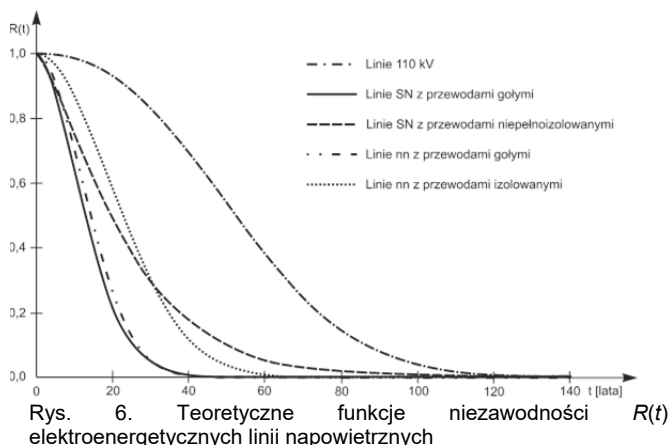
$$(31) \quad A(t) = 16,74 \cdot 10^{-4} \cdot t^{1,9261}$$

- Oczekiwany pozostały czas zdatości:

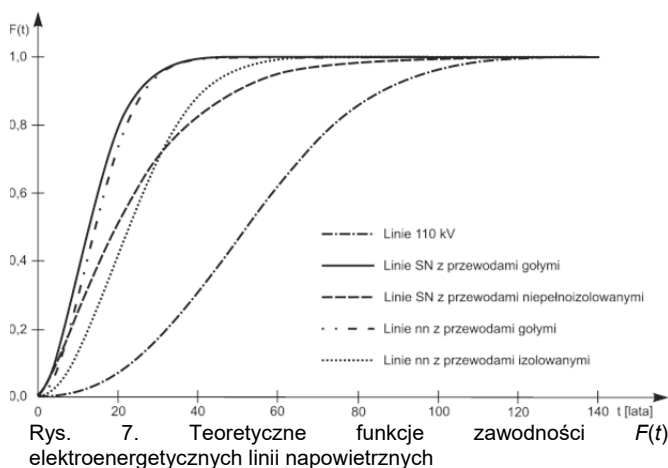
$$(32) \quad r(t) = \int_t^{\infty} e^{-\left(\frac{t}{27,6309}\right)^{1,9261}} - e^{-\left(\frac{s}{27,6309}\right)^{1,9261}} ds$$

Teoretyczne funkcje $R(t)$ oraz $F(t)$ napowietrznych linii nn z przewodami izolowanymi przedstawiają rysunki 6 i 7.

Na podstawie zależności (8) wyznaczona została wartość oczekiwana czasu poprawnej pracy napowietrznych linii dystrybucyjnych nn z przewodami izolowanymi. Wartość ta wynosi 2,45 a dla odcinka 1 km.



Rys. 6. Teoretyczne funkcje niezawodności elektroenergetycznych linii napowietrznych



Rys. 7. Teoretyczne funkcje zawodności elektroenergetycznych linii napowietrznych

Podsumowanie

Linie elektroenergetyczne są bardzo ważnym elementem sieci dystrybucyjnych. Ich awaryjność wpływa bezpośrednio na ciągłość dostaw energii do odbiorców. Ważne jest więc stałe nadzorowanie ich pracy. Znajomość podstawowych funkcji niezawodnościowych pozwala ustalić okres pracy linii w którym z dużym prawdopodobieństwem będzie ona działała poprawnie, a więc nie będzie powodowała przerw w zasilaniu odbiorców. Pozwala także na wyznaczenie ekonomicznie opłacalnego okresu eksploatacji. Brak wiarygodnych i pełnych danych uniemożliwia w wielu przypadkach określenie funkcji niezawodnościowych obiektów elektroenergetycznych. Dlatego też w literaturze najczęściej można znaleźć średnie parametry niezawodnościowe linii.

W artykule przedstawiono wyniki analizy dotyczącej funkcji niezawodnościowych dystrybucyjnych napowietrznych linii elektroenergetycznych 110 kV, SN oraz nn. Wyznaczone zostały empiryczne funkcje intensywności, funkcje niezawodności oraz funkcje zawodności tych linii. Funkcja intensywności awarii dla linii 110 kV wykazuje wzrost intensywności po około 20 roku eksploatacji.

Funkcje intensywności dla pozostałych linii wykazują stały wzrost już od pierwszego roku eksploatacji.

W opracowaniu zaprezentowano także modele teoretyczne najważniejszych funkcji niezawodnościowych. Intensywności awarii dla wszystkich analizowanych typów linii podlegają rozkładowi Weibulla o parametrze kształtu większym od jedności, co potwierdza iż intensywność awarii ma charakter rosnący w czasie.

Dla analizowanych linii wyznaczony został także oczekiwany czas poprawnej pracy do uszkodzenia. Jego wartość w odniesieniu do 1km wynosi 24,49 lat dla linii 110 kV, 13,65 lat dla linii SN z przewodami gołymi, 23,36 lat dla linii SN z przewodami niepełnoizolowanymi, 1,51 lat dla linii nn z przewodami gołymi oraz 2,45 lat dla linii nn z przewodami izolowanymi.

Autor: dr hab. inż. Andrzej Ł. Chojnacki, prof. PŚk, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Katedra Energetyki, Ergo-elektroniki i Maszyn Elektrycznych, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: a.chojnacki@tu.kielce.pl

LITERATURA

- [1] Barra J.R., Matematyczne podstawy niezawodności. PWN, Warszawa 1982
- [2] Chojnacki A.Ł., Kaźmierczyk A., Wpływ temperatury otoczenia na intensywność awarii stacji transformatorowo-rozdzielczych SN/nN, Logistyka Nr 6/2014, s. 2610-2618
- [3] Chojnacki A.Ł., Analiza niezawodności eksploatacyjnej elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2013
- [4] Chojnacki A.Ł., Analiza niezawodności stacji transformatorowo-rozdzielczych SN w warunkach eksploatacji, Archiwum Energetyki tom XXXVII (2006), Nr 2, s. 147 – 168
- [5] Greń J., Modele i zadania statystyki matematycznej. PWN, Warszawa 1982
- [6] Kowalski Z., Niezawodność zasilania odbiorców energii elektrycznej. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1992
- [7] Kujaszczuk S., Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze tom I. PWN, Warszawa, 1994
- [8] Majcherczyk A., Chojnacki A.Ł., Analiza czasów trwania przerw w zasilaniu odbiorców w przypadku awarii urządzeń stacji transformatorowo - rozdzielczych SN/nN miejskich oraz wiejskich, VII Konferencja Naukowa PTETiS „Postępy w elektrotechnice stosowanej”, Kościelisko 22-26 czerwca 2009, s. 169-172
- [9] Maksymiuk J., Niezawodność maszyn i urządzeń elektrycznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003
- [10] Marzecki J., Miejskie sieci elektroenergetyczne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1996
- [11] Międański J., red., Poradnik niezawodności, Podstawy matematyczne. Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego „WEMA”, Warszawa 1982
- [12] Parol M., Analiza poziomu niezawodności zasilania odbiorców w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych, Przegląd elektrotechniczny Nr 3/2017, s. 1 – 6
- [13] Popczyk J., Modele probabilistyczne w sieciach elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 1991
- [14] Sozański J., Niezawodność i jakość pracy systemu elektroenergetycznego. WNT, Warszawa 1990
- [15] Sozański J., Niezawodność zasilania energią elektryczną. WNT, Warszawa, 1982
- [16] Wróblewski Z., Wielowariantowa metoda prognozowania niezawodności styczników elektromagnetycznych prądu przemiennego z bieżącej produkcji. Prace naukowe Instytutu Ergo-elektryki Politechniki Wrocławskiej. Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1988.