

Analiza niezawodności linii kablowych niskiego napięcia

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań niezawodnościowych linii kablowych nN eksploatowanych w krajowych spółkach dystrybucyjnych. Niezależne analizy przeprowadzono dla linii kablowych, jako zintegrowanych obiektów oraz dla ich części składowych, jak kable, głowice oraz mufy. Zaprezentowano statystyki awaryjności z 10 lat pracy sieci. Przedstawiono przyczyny awarii oraz sezonową zmienność częstości uszkodzeń. Dokonano analizy czasu trwania odnowy, czasu trwania wyłączeń awaryjnych, czasu trwania przerw w zasilaniu odbiorców oraz wartości energii elektrycznej niedostarczonej do odbiorców w wyniku awarii. Przedstawiono także modele empiryczne oraz wyniki próby identyfikacji modelu teoretycznego gęstości prawdopodobieństwa rozważanych parametrów. Obliczono niezawodnościowe wskaźniki eksploatacyjne linii kablowych.

Abstract. The paper presents the results of reliability analysis of LV cable lines operated in national distribution companies. Independent analysis carried out for the cable lines as integrated objects and their components, such as cables, heads and cable boxes. Presented statistics failure of 10 years of work network. They are shown the cause of the failure and the seasonal variation of the frequency of damage. Was made the analysis of the duration of the recovery, the duration of electricity supply interruptions and the value of undelivered electricity to customers as a result of a failure. The paper presents the empirical models and attempt to identify the theoretical model of probability density of considered parameters. Were calculated indicators of reliability of cable lines. (**Analysis of Reliability of Low-Voltage Cable Lines**).

Słowa kluczowe: kable niskiego napięcia, sieci dystrybucyjne, niezawodność.

Keywords: low-voltage cables, distribution networks, reliability

Wstęp

Na sieci niskiego napięcia składają się przede wszystkim linie napowietrzne i kablowe nN, przyłącza kablowe oraz napowietrzne, a także wszelkiego rodzaju złącza. Linie napowietrzne, a co za tym idzie także przyłącza napowietrzne stosowane są przede wszystkim w sieciach terenowych, natomiast linie kablowe w sieciach miejskich. Sieci napowietrzne nN budowane są jako promieniowe, natomiast kablowe jako pętlowe z rozcięciami realizowanymi w złączach kablowych.

Kable elektroenergetyczne niskiego napięcia budowane są w wielu różnych wariantach. Ze względu na ich konstrukcję wyróżnić można kable [7]:

- standardowe (o izolacji i powłoce polwinitowej);
- ekranowane taśmą miedzianą;
- z koncentryczną żyłą ochronną;
- odporne na działanie materiałów ropopochodnych;
- bezhalogenowe;
- ognioodporne.

Obecnie w elektroenergetyce Polskiej stosowane są powszechnie kable czteryżyłowe niskiego napięcia, izolowane polwinitem lub polietylenem. Najczęściej wykorzystywane kable, to: YAKY oraz YAKXS. W wielu przypadkach eksploatowane są jeszcze stare kable o izolacji z papieru nasyconego olejem (np. AKFtA). W ostatnich latach pojawiły się próby wprowadzenia do sieci niskiego napięcia kabli o izolacji z gumy silikonowej (np. kabel HDGs, NKGs, GsLGs). Kable te charakteryzują się bardzo wysoką odpornością na wpływy temperatury otoczenia oraz na działanie substancji chemicznych. Posiadają także dużą wytrzymałość na ścieranie powłoki. Ze względu na znaczne koszty nie są one jednak powszechnie stosowane.

W celu połączenia dwóch odcinków kabli niskiego napięcia stosuje się mufy przelotowe nN. Eksploatowane są także mufy rozgałęźne, służące do wykonania odczepów linii nN. Powszechnie wykorzystywane są mufy prefabrykowane. Do zakończenia kabli stosuje się głowice kablowe nN.

Do łączenia żył roboczych kabli elektroenergetycznych niskiego napięcia stosowane są także wszelkiego rodzaju

złączki zaprasowywane lub ze zrywalnym łbem.

W artykule autor zaprezentował wyniki badań niezawodnościowych linii kablowych nN eksploatowanych w krajowych spółkach dystrybucyjnych. Badania te dotyczyły przyczyn awarii, sezonowej zmienności częstości uszkodzeń oraz wpływu temperatury otoczenia na intensywność awarii. Obejmują także analizę czasu trwania odnowy, czasu trwania wyłączeń awaryjnych oraz czasu trwania przerw w zasilaniu odbiorców, a także wartości energii elektrycznej niedostarczonej do odbiorców w wyniku awarii. Obliczono niezawodnościowe wskaźniki eksploatacyjne linii kablowych. Wszystkie analizy zostały przeprowadzone na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Dane statystyczne analizowanych linii kablowych nN

Obserwacja zawodności linii kablowych nN obejmuje okres 10 lat, na terenie dużej spółki dystrybucyjnej energii elektrycznej w kraju. Na początku obserwacji, istniało w tej

Tabela 1. Długości analizowanych linii kablowych niskiego napięcia w kolejnych latach obserwacji

Rodzaj linii kablowej	Rok obserwacji									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Linie kablowe o izolacji z polwinitu [km]	787	813	826	831	840	851	854	866	876	905
Linie kablowe o izolacji z polietylenu usieciowanego XLPE [km]	13	16	18	21	23	24	27	29	33	34
Linie kablowe o izolacji papierowej nasycanej [km]	26	24	21	18	17	14	11	9	7	6

spółce łącznie 826 km, natomiast na koniec obserwacji 945 km linii kablowych nN. Długości linii w poszczególnych latach obserwacji przedstawia tabela 1.

Tabela 2. Awarie zaobserwowane w liniach kablowych nN w ciągu 10 lat obserwacji

Urządzenie	Liczba awarii [szt.]	Udział awarii grupy urządzeń w odniesieniu do liczby wszystkich awarii [%]
Kabel nN	837	67,10
Głowica kablowa nN	213	17,03
Mufa kablowa nN	198	15,87

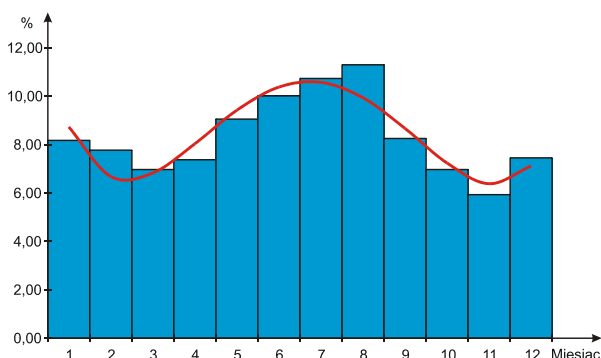
W czasie 10 lat obserwacji wystąpiło łącznie 1248 awarii ciągów kablowych nN. Liczbę awarii poszczególnych grup urządzeń przedstawia tabela 2.

Sezonowość oraz przyczyny awarii linii kablowych nN

W tabeli 3 przedstawiona została częstość uszkodzeń linii kablowych nN w poszczególnych miesiącach roku. Dane te w postaci histogramu oraz funkcja aproksymacyjna przedstawione zostały na rysunku 1. Ponieważ współczynniki funkcji aproksymacyjnej uzyskane dla rzędu wyższego niż czwarty są bliskie zeru, podjęto decyzję o aproksymowaniu funkcji sezonowej zmienności częstości awarii linii kablowych nN wielomianem czwartego rzędu. Wielomian taki ma postać:

$$(1) \quad f(i) = a \cdot i^4 + b \cdot i^3 + c \cdot i^2 + d \cdot i + e$$

gdzie: i – kolejny numer miesiąca; a, b, c, d, e – współczynniki funkcji aproksymacyjnej.



Rys. 1. Wartości empiryczne i funkcja aproksymacyjna sezonowej zmienności częstości awarii linii kablowych nN

Najwięcej awarii linii kablowych nN zaobserwowano w miesiącach letnich (maj - sierpień) oraz w miesiącach zimowych (styczeń, grudzień). W okresie letnim wystąpiło 513 awarii, co stanowi 41,11% wszystkich uszkodzeń. W miesiącach zimowych wystąpiło 195 awarii, co stanowi 15,63% wszystkich uszkodzeń. W pozostałych miesiącach zawodność linii kablowych nN kształtuje się poniżej średniej intensywności uszkodzeń.

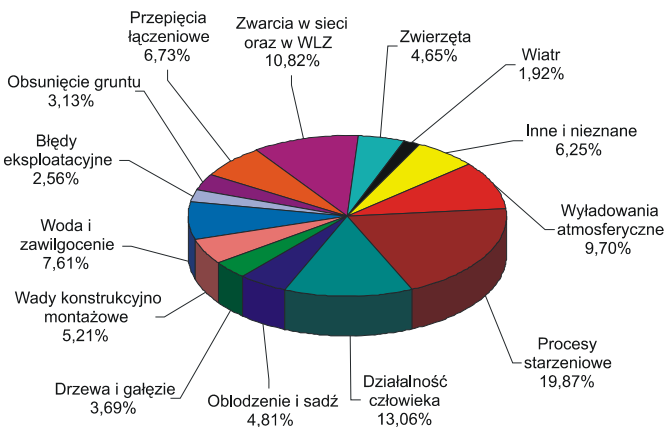
Współczynniki funkcji aproksymacyjnej sezonowej zmienności częstości awarii linii kablowych nN, przedstawionej na rysunku 4 wynoszą: $a = 0,0112$; $b = -0,3028$; $c = 2,6368$; $d = -8,0093$; $e = 14,3958$. Współczynnik korelacji wyznaczonej funkcji z danymi empirycznymi wynosi $r = 0,92$.

Najpoważniejszą przyczyną awarii linii kablowych nN są procesy starzeniowe, które spowodowały około 19,87% wszystkich uszkodzeń. Drugą przyczyną jest działalność człowieka, w wyniku której zaistniało około 13,06% wszystkich uszkodzeń linii. Przyczynami występującymi sezonowo, ale mającymi znaczący wpływ na awaryjność linii kablowych nN są wyładowania atmosferyczne oraz oblodzenie i sadz. Spowodowały one odpowiednio 9,70% oraz 4,81% wszystkich uszkodzeń. Procentowy udział poszczególnych przyczyn awarii linii nN w ich całkowitej liczbie przedstawia rysunek 2.

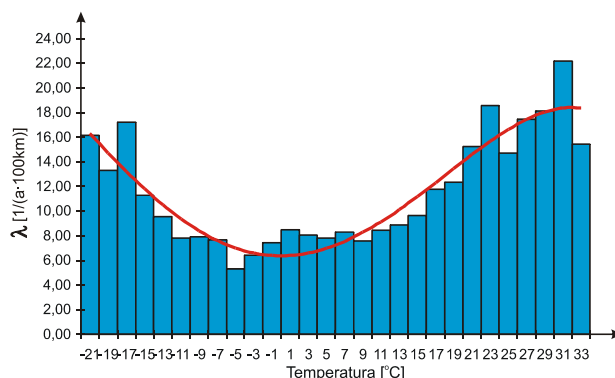
Wpływ temperatury otoczenia na intensywność awarii linii kablowych nN

Przeprowadzona została analiza wpływu temperatury otoczenia na intensywność występowania awarii linii kablowych nN. Obszerniejsze informacje na ten temat można znaleźć w publikacji [2]. Intensywność awarii linii kablowych nN w zależności od temperatury otoczenia przedstawia rysunek 3.

Funkcja aproksymacyjna intensywności uszkodzeń przedstawiona na rysunku 3, jest wielomianem czwartego stopnia wyrażonym zależnością (1) z tym, że i oznacza w niej temperaturę otoczenia. Współczynniki funkcji aproksymacyjnej intensywności awarii linii kablowych nN w funkcji temperatury otoczenia, wynoszą: $a = -9,96 \cdot 10^{-6}$; $b = -94,37 \cdot 10^{-6}$; $c = 24957,93 \cdot 10^{-6}$; $d = 757,36 \cdot 10^{-6}$; $e = 6,3819$. Współczynnik korelacji funkcji teoretycznej z danymi empirycznymi wynosi $r = 0,93$.



Rys. 2. Procentowy udział przyczyn awarii linii kablowych nN



Rys. 3. Zależność intensywności awarii linii kablowych nN od temperatury otoczenia

Przeprowadzona analiza wykazała, iż w temperaturach skrajnych, zarówno wysokich, jak i niskich, intensywność awarii linii kablowych nN jest niemal dwukrotnie większa niż dla temperatur umiarkowanych z przedziału od -10 °C do $+16$ °C.

Parametry oraz funkcje niezawodnościowe linii kablowych nN

Oceny podstawowych parametrów oraz funkcji niezawodnościowych linii kablowych niskiego napięcia oraz ich osprzętu (głowice i mufy kablowe) dokonano na podstawie danych empirycznych pochodzących z eksploatacji. Przeprowadzona została weryfikacja parametryczna oraz nieparametryczna czasu poprawnej pracy linii do uszkodzenia, czasu trwania awarii, czasu trwania wyłączeń awaryjnych, czasu trwania przerw w zasilaniu odbiorców oraz energii elektrycznej niedostarczonej do odbiorców.

Estymatory i rozkłady prawdopodobieństwa czasu poprawnej pracy do uszkodzenia wyznaczono na podstawie metody próby losowej dynamicznej, opisanej obszernie między innymi w [3, 8]. W przypadku pozostałych wskaźników, ich wartość średnią oszacowano metodą największej wiarygodności [3, 5, 8].

Tabela 3. Częstość uszkodzeń linii kablowych nN w poszczególnych miesiącach roku [%]

Miesiąc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Częstość awarii	8,17	7,77	6,97	7,37	9,05	10,02	10,74	11,30	8,25	6,97	5,93	7,45

Tabela 4. Estymatory i rozkłady prawdopodobieństwa czasu poprawnej pracy do uszkodzenia linii kablowych nN oraz ich elementów składowych (dla odcinka linii o długości 1 km)

Lp.	Element linii kablowej	Wartość oczekiwana	Typ rozkładu	Parametry rozkładu	Wyniki weryfikacji hipotezy o rozkładzie
---	---	[a]	---	---	---
1	Cała linia kablowa nN	10,66	Weibulla	$b = 11,9314$ $v = 1,6794$	$I_0 = \min(f^*, f) = \min(29, 25) = 25$; $I_0 = 25 > 19 = I_{\alpha}$; $I_0 \notin R_{\alpha} = (-\infty, 19)$
2	Kabel nN	17,32	Weibulla	$b = 19,4131$ $v = 1,6862$	$I_0 = \min(f^*, f) = \min(26, 26) = 26$; $I_0 = 26 > 18 = I_{\alpha}$; $I_0 \notin R_{\alpha} = (-\infty, 18)$
3	Głowica kablowa nN	16,51	Normalny	$m = 16,5070$ $\sigma = 6,5873$	$I_0 = \min(f^*, f) = \min(19, 14) = 14$; $I_0 = 14 > 10 = I_{\alpha}$; $I_0 \notin R_{\alpha} = (-\infty, 10)$
4	Mufa kablowa nN	13,60	Normalny	$m = 13,6010$ $\sigma = 5,8011$	$I_0 = \min(f^*, f) = \min(11, 19) = 11$; $I_0 = 11 > 9 = I_{\alpha}$; $I_0 \notin R_{\alpha} = (-\infty, 9)$

Tabela 5. Estymatory i rozkłady prawdopodobieństwa czasu trwania awarii linii kablowych nN oraz ich elementów składowych

Lp.	Element linii kablowej	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział ufności		Średnia intensywność	Współczynnik zawodności	Typ rozkładu
---	---	[h]	[h]	[h]	[h]	[1/(a·100km)]	[1/100km]	---
1	Cała linia kablowa nN	9,24	9,10	8,74	9,75	14,0937	$14,65 \cdot 10^{-3}$	Wykład. $\lambda = 0,1082$
2	Kabel nN	9,21	9,16	8,59	9,83	9,4523	$9,84 \cdot 10^{-3}$	Wykład. $\lambda = 0,1086$
3	Głowica kablowa nN	10,14	10,46	8,73	11,55	2,4054	$2,78 \cdot 10^{-3}$	Weibulla $b = 8,9248$ $v = 0,8894$
4	Mufa kablowa nN	8,40	6,94	7,43	9,38	2,2360	$2,14 \cdot 10^{-3}$	Weibulla $b = 8,2217$ $v = 0,9451$

Tabela 6. Estymatory i rozkłady prawdopodobieństwa czasu trwania wyłączeń awaryjnych linii kablowych nN oraz ich elementów składowych

Lp.	Element linii kablowej	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział ufności		Średnia intensywność	Współczynnik zawodności	Typ rozkładu
---	---	[h]	[h]	[h]	[h]	[1/(a·100km)]	[1/100km]	---
1	Cała linia kablowa nN	8,38	8,52	7,90	8,86	13,6646	$12,90 \cdot 10^{-3}$	Wykład. $\lambda = 0,1194$
2	Kabel nN	8,38	8,73	7,78	8,98	9,2603	$8,78 \cdot 10^{-3}$	Log norm. $m = 1,6774$ $\sigma = 0,9617$
3	Głowica kablowa nN	8,57	9,30	7,29	9,85	2,3151	$2,26 \cdot 10^{-3}$	Log norm. $m = 1,6580$ $\sigma = 0,9923$
4	Mufa kablowa nN	8,14	6,42	7,21	9,07	2,0892	$1,94 \cdot 10^{-3}$	Wykład. $\lambda = 0,1228$

Tabela 7. Estymatory i rozkłady prawdopodobieństwa czasu trwania przerw w zasilaniu odbiorców w wyniku awarii linii kablowych nN oraz ich elementów składowych

Lp.	Element linii kablowej	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział ufności		Średnia intensywność	Współczynnik zawodności	Typ rozkładu
---	---	[h]	[h]	[h]	[h]	[1/(a·100km)]	[1/100km]	---
1	Cała linia kablowa nN	2,78	2,82	2,62	2,95	12,3320	$3,90 \cdot 10^{-3}$	Weibulla $b = 2,5477$ $v = 0,8946$
2	Kabel nN	2,96	3,01	2,74	3,17	8,3569	$2,82 \cdot 10^{-3}$	Wykład. $\lambda = 0,3381$
3	Głowica kablowa nN	1,94	2,19	1,62	2,26	1,0666	$0,46 \cdot 10^{-3}$	Log norm. $m = 0,0907$ $\sigma = 1,1273$
4	Mufa kablowa nN	2,93	2,40	2,57	3,30	1,9085	$0,64 \cdot 10^{-3}$	Weibulla $b = 2,5341$ $v = 0,8752$

Tabela 8. Estymatory i rozkłady prawdopodobieństwa wartości energii elektrycznej niedostarczonej do odbiorców w wyniku awarii linii kablowych nN oraz ich elementów składowych

Lp.	Element linii kablowej	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział ufności		Typ rozkładu
				[kWh]	[kWh]	
---	---	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	---
1	Cała linia kablowa nN	755,07	740,44	711,10	799,03	Wykład. $\lambda = 0,00132$
2	Kabel nN	774,32	713,62	722,82	825,82	Weibulla $b = 626,52, \nu = 0,7725$
3	Głowica kablowa nN	341,83	357,26	289,73	393,94	Weibulla $b = 326,28, \nu = 0,7163$
4	Mufa kablowa nN	1118,24	928,25	977,28	1259,21	Wykład. $\lambda = 0,00089$

Otrzymane wyniki przedstawiają tabele 4 – 8.

Wyznaczone zostały wartości udziału intensywności wyłączeń awaryjnych u oraz udziału wyłączeń awaryjnych k , wyrażone zależnościami [3, 4]:

$$(2) \quad u = \frac{\bar{\lambda}_{wa}}{\bar{\lambda}}$$

oraz

$$(3) \quad k = \frac{q_{wa}}{q}$$

gdzie: $\bar{\lambda}$ – intensywność awarii; $\bar{\lambda}_{wa}$ – intensywność wyłączeń awaryjnych; q – współczynnik zawodności wyznaczony dla wszystkich awarii; q_{wa} – współczynnik zawodności wyznaczony dla awarii podczas których wystąpiło wyłączenie awaryjne.

Wartości współczynników u oraz k wynoszą dla linii kablowych niskiego napięcia oraz ich elementów składowych:

- dla całych linii kablowych nN: $u = 0,97, k = 0,88$;
- dla kabli nN: $u = 0,98, k = 0,89$;
- dla głowic kablowych nN: $u = 0,96, k = 0,81$;
- dla muf kablowych nN: $u = 0,93, k = 0,91$.

Podsumowanie

Linie kablowe niskiego napięcia są bardzo ważnym elementem systemu elektroenergetycznego. Ich zadaniem jest dystrybucja energii elektrycznej ze stacji transformatorowo-rozdzielczej SN/nN do poszczególnych odbiorców. Negatywnym aspektem jest fakt, iż awarie linii nN wpływają w bardzo istotnym stopniu na niezawodność dostaw energii elektrycznej. Nie są one bowiem zazwyczaj rezerwowane. Bardzo istotnym problemem jest więc znajomość optymalnych warunków eksploatacji linii kablowych, a także procesów mających na celu przedłużenie okresu ich poprawnej pracy. W tym celu należy przeprowadzić szczegółową analizę niezawodnościową. Szczególne znaczenie ma tutaj analiza prowadzona w dość długim przedziale czasowym.

W artykule przedstawiono analizę awaryjności linii kablowych eksploatowanych w sieci niskiego napięcia jednej z większych spółek dystrybucyjnych w kraju. Na jej podstawie wyznaczono średni czas trwania odnowy linii kablowych nN $\bar{t}_a = 9,24$ h, średni czas trwania wyłączeń awaryjnych $\bar{t}_{wa} = 8,38$ h oraz średni czas przerwy w zasilaniu odbiorców $\bar{t}_p = 2,78$ h. Średnia intensywność uszkodzeń linii kablowych nN wynosi $\lambda_a = 14,0937$ 1/(a·100 km), natomiast współczynnik zawodności $q_a = 14,65 \cdot 10^{-3}$, na każde 100 km linii. Intensywność wyłączeń awaryjnych tych linii jest niewiele

mniejsza ($\lambda_{wa} = 13,6646$ 1/(a·100 km)), co sugeruje, iż tylko nieliczne awarie są usuwane bez konieczności wyłączenia linii, wbrew zapewnieniom spółek dystrybucyjnych o powszechnym wykorzystywaniu prac pod napięciem na poziomie napięć średnich i niskich. Intensywność występowania przerw w zasilaniu odbiorców także jest niewiele mniejsza niż intensywność awarii ($\lambda_p = 12,3320$ 1/(a·100 km)), co sugeruje, iż możliwość rezerwowego zasilania odbiorców w sieciach niskiego napięcia jest nadal mocno ograniczona.

Wyznaczono funkcje gęstości prawdopodobieństwa analizowanych parametrów, a także dokonano ich weryfikacji za pomocą testu λ Kołmogorowa oraz χ^2 Pearsona. Zaproponowane rozkłady prawdopodobieństwa są rozkładami wykładniczymi, Weibulla oraz logarytmiczno-normalnymi.

W celu ustalenia wpływu poszczególnych elementów linii kablowych na ich całkowitą zawodność, wyznaczono także wskaźniki i funkcje niezawodnościowe kabli nN, głowic kablowych nN oraz muf kablowych nN. Największą intensywność uszkodzeń wykazują kable nN ($\lambda_a = 9,4523$ 1/(a·100 km)). Znacznie mniejsze intensywności uszkodzeń charakteryzują mufy i głowice kablowe (odpowiednio ($\lambda_a = 2,2360$ 1/(a·100 km) oraz ($\lambda_a = 2,4054$ 1/(a·100 km))).

Przeprowadzono badania domniemanej wartości energii elektrycznej niedostarczonej do odbiorców na skutek awarii. Dla całej linii kablowej nN wartość ta wynosi $\Delta A = 755,07$ kWh na jedną awarię.

Badania czasu poprawnej pracy do uszkodzenia wykazały, iż wartość oczekiwana tego parametru wynosi dla ciągów kablowych nN $T = 10,66$ a, na każdy kilometr linii. Spośród elementów linii najdłuższym oczekiwanym czasem poprawnej pracy charakteryzują się kable nN, dla których wynosi on $T = 17,32$ a (dla 1 kilometra linii), natomiast najkrótszym mufy kablowe, dla których jest on równy $T = 13,60$ a (dla 1 kilometra linii).

Dokonano także analizy sezonowości awarii. Na jej podstawie można wyciągnąć wniosek, iż przeglądy, remonty oraz pomiary linii kablowych nN powinny być wykonywane w miesiącach luty, marzec, kwiecień, październik oraz listopad. Są to bowiem miesiące o najmniejszej intensywności awarii linii. Istnieje więc niewielkie prawdopodobieństwo uszkodzenia linii kablowej nN, która na czas trwania pomiarów lub prac konserwacyjnych przejmuje obciążenie badanej linii. Ogranicza się więc do minimum prawdopodobieństwo wystąpienia przerwy w zasilaniu.

Analiza przyczyn awarii linii kablowych nN pozwala na wskazanie pewnych przyczyn dominujących. Najwięcej awarii spowodowały procesy starzeniowe (19,87%), działalność człowieka (13,06%), zwarcia w sieci oraz w

WLZ budynków (10,82%), a także wyładowania atmosferyczne (9,70%).

W artykule zamieszczone zostały także wyniki badań dotyczących wpływu temperatury otoczenia na intensywność uszkodzeń linii kablowych nN. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w publikacjach [2, 3]. Badania te wykazały, iż najmniejsza intensywność awarii linii kablowych nN występuje dla temperatur średnich z przedziału od -10°C do $+16^{\circ}\text{C}$. W temperaturach skrajnych, zarówno wysokich, jak i niskich, intensywność awarii linii kablowych nN jest niemal dwukrotnie większa.

Analizując miejsce wystąpienia awarii ciągów kablowych można zauważyć, iż większość z nich, bo aż 83% występuje na trasie kabla. Tylko około 13% awarii jest umiejscowionych na podejściach do stacji, budynków lub konstrukcji wsporczych.

Analiza awarii urządzeń pracujących w systemie elektroenergetycznym jest zagadnieniem czasochłonnym. Dlatego też w celu zmniejszenia nakładów czasowych, jakie należy poświęcić, aby dokonać takiej analizy należy wykorzystywać dostępne metody komputerowe. Jak pokazała powyższa analiza, bardzo wygodnym narzędziem do analizy funkcji oraz wskaźników zawodnościowych urządzeń elektroenergetycznych jest pakiet Statistica.

Autor: dr hab. inż. Andrzej Ł. Chojnacki, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Zakład Podstaw Energetyki, 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 w Kielcach, 2013 ISSN 1897-2691
- [4] Chojnacki A. Ł.: *New reliability coefficients of MV/LV transformer/distribution substation and its components*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems Volume 43 (2012), Issue 1, pages 992–995
- [5] Kowalski Z.: *Niezawodność zasilania odbiorców energii elektrycznej*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1992
- [6] Migdański J. red.: *Poradnik niezawodności. Podstawy matematyczne*. Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego „WEMA”, Warszawa 1982
- [7] Praca zbiorowa: *Poradnik inżyniera elektryka, t. 3*. WNT, Warszawa, 2011
- [8] Sozański J.: *Niezawodność zasilania energią elektryczną*. WNT, Warszawa 1982
- [9] Wróblewski Z., Siwak P.: *Analiza trwałości eksploatacyjnej transformatorów o mocach od 25 kVA do 100 MVA*. Energetyka Nr 11/ 2008, s. 770-774