



Jan C. STĘPIEŃ

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Modele probabilistyczne wielkości niezawodnościowych linii kablowych 15 kV

Streszczenie: W referacie przedstawiono zostaną wyniki badań, w których dokonano statystycznej oceny parametrów oraz rozkładów wielkości niezawodnościowych kabli średniego napięcia, wykonanych w izolacji z papieru i polietylenu.

Abstract: (Probabilistic models of 15 kV cable lines reliability quantities). Results of investigations, where statistical analysis of reliability parameters and quantity distributions for medium voltage cables in paper and polyethylene insulation have been presented in the paper.

Słowa kluczowe: niezawodność, linie kablowe 15 kV, modele probabilistyczne, analiza statystyczna.

Keywords: reliability, cable lines 15 kV, probabilistic models, statistical analysis.

Wstęp

Podstawowymi wielkościami niezawodnościowymi określanymi dla urządzeń elektrycznych są [5,6,9-12]:

1. Czas trwania awarii,
2. Czas przerwy w zasilaniu odbiorców,
3. Energia elektryczna nie dostarczona podczas awarii,
4. Koszty usuwania awarii.

Czas trwania awarii (odnowy) t_a jest to czas liczony od chwili powstania awarii do momentu zakończenia naprawy, z jednoczesną możliwością przesłania energii elektrycznej przez rozpatrywany tor zasilania lub urządzenie elektroenergetyczne. Wartość czasu trwania awarii określa przede wszystkim zdolność brygad eksploatacyjnych do usuwania awarii, pod względem organizacyjnym jak również pod względem wyposażenia technicznego.

Czas przerwy w zasilaniu odbiorców t_p określa skutki awarii. Jest to czas liczony od momentu powstania awarii do momentu powtórnego wznowienia zasilania. Jest on inaczej nazywany czasem przerwy beznapięciowej u odbiorców. Wartość tego czasu jest zależna przede wszystkim od struktury i konfiguracji układu zasilania odbiorców oraz możliwości technicznych i organizacyjnych dokonywania przełączeń w układzie zasilania odbiorcy, w celu zapewnienia mu ciągłości dostawy energii elektrycznej.

W układach promieniowych, w których odbiorca zasilany jest jednostronnie, czas przerwy w zasilaniu odbiorców jest większy lub równy czasowi trwania awarii.

$$(1) \quad t_p \geq t_a$$

W złożonych układach elektroenergetycznych, charakteryzujących struktury linii kablowych średniego napięcia, z reguły zachodzi relacja

$$(2) \quad t_p < t_a$$

Czas przerwy w zasilaniu odbiorców t_p wpływa na skutki spowodowane brakiem zasilania u odbiorców, ponieważ wpływa na wartość nie dostarczonej energii elektrycznej ΔA_{nd} , którą można określić za pomocą wzoru

$$(3) \quad \Delta A_{nd} = P_{sr} t_p$$

gdzie: P_{sr} – moc średnia zapotrzebowana przez odbiorców w czasie trwania przerwy w zasilaniu energią.

Na podstawie wartości nie dostarczonej energii elektrycznej ΔA_{nd} wyznaczyć można wartość strat gospodarczych powstałych u odbiorców energii elektrycznej, na podstawie zależności

$$(4) \quad K_z = \Delta A_{nd} k_A$$

gdzie: k_A – jednostkowy wskaźnik strat gospodarczych odbiorcy na jednostkę nie dostarczonej energii elektrycznej.

Ważną wielkością niezawodnościową służącą do optymalizacji techniczno-ekonomicznej poziomu niezawodności zasilania odbiorców są koszty usuwania awarii. Na koszty te składają się głównie koszty elementów i urządzeń związanych z naprawą, koszty robocizny oraz pracy sprzętu.

Ocena probabilistyczna wielkości niezawodnościowych

Wartości wymienionych i zdefiniowanych poprzednio wielkości niezawodnościowych mają charakter losowy. Badania statystyczne polegają na zebraniu odpowiedniej informacji statystycznej (próby losowej) a następnie na opracowaniu wyników badań przy zastosowaniu metod statystyki matematycznej. Wśród tych metod wyróżnia się dwie zasadnicze: parametryczną i nieparametryczną.

Metoda parametryczna polega na oszacowaniu wartości zmiennej losowej X otrzymanej na podstawie badań empirycznych za pomocą estymatora punktowego [2,3,4].

Najczęściej szacowanym estymatorem jest wartość średnia z próby \bar{x} , określona za pomocą zależności:

$$(3) \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i$$

gdzie: x_i – wartość i -tej realizacji zmiennej losowej,
 n – liczebność próby.

Szeroką informację daje estymacja przedziałowa polegająca na dokonaniu szacunku badanej wartości statystycznej w postaci przedziału (nazywanego przedziałem ufności), który z dużym, założonym z góry prawdopodobieństwem, obejmuje wartość średnią badanej wielkości statystycznej.

Przedział ufności dla średniej, bez względu na typ rozkładu populacji generalnej, może być wyznaczony według następującej zależności [2,3,4]

$$(4) \quad P\left\{\bar{x} - u_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < m < \bar{x} + u_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right\} = 1 - \alpha$$

gdzie: σ – odchylenie standardowe, $1 - \alpha$ – współczynnik ufności, u_α – wartość zmiennej losowej U mającej rozkład normalny standaryzowany $N(0, 1)$ i spełniającej relację

$$(5) \quad P\{-u_\alpha < U < u_\alpha\} = 1 - \alpha$$

Jeżeli badana próba statystyczna jest duża (co najmniej kilkadziesiąt elementów), wyniki jej grupuje się w szereg rozdzielczy o r klasach i wówczas wartość średnią \bar{x} oraz odchylenie standardowe s wyznacza się ze wzorów

$$(6) \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^r x_j^o n_j$$

$$(7) \quad s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^r (x_j^o - \bar{x})^2 n_j}$$

gdzie: x_j^o – środek j -tego przedziału klasowego, n_j – liczność przedziału klasowego.

W większości badań najczęściej przyjmuje się $\alpha = 0,05$, traktując przedział zmiennych $(1 - \alpha) = 0,95$ jako istotny dla wyników badań.

Otrzymane wyniki estymacji przedziałowej, badanych wielkości niezawodnościowych, przedstawione dalej w tabelach 1 ÷ 16, przedstawiają wartość dolnego i górnego przedziału, wokół wartości średniej, wśród których zawarte jest 95% badanych wartości z próby.

Estymacja nieparametryczna polega na sprawdzeniu zgodności założonego rozkładu teoretycznego z rozkładem empirycznym, otrzymanym na podstawie badań. Do tego celu służą nieparametryczne testy istotności, wśród których najczęściej stosuje się test zgodności χ^2 Pearsona i test λ Kołmogorowa.

W teście χ^2 Pearsona wyznacza się statystykę

$$(8) \quad \chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(n_i - n p_i)^2}{n p_i}$$

gdzie: n_i – liczność empiryczna próby losowej w i -tym przedziale klasowym ($i = 1, 2, \dots, r$), n – liczność całej próby, p_i – prawdopodobieństwo przyjmowania wartości liczności w i -tej klasie wyznaczone z dystrybuanty rozkładu teoretycznego.

Dla założonego z góry poziomu istotności i liczby stopni swobody $r - k - 1$, przy czym k jest liczbą parametrów rozkładu hipotetycznego, odczytuje się z tablic rozkładu granicznego χ^2 Pearsona wartość granicznej statystyki χ^2_α . Jeżeli zachodzi relacja

$$(9) \quad \chi^2 < \chi^2_\alpha$$

to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, że populacja generalna ma cechę X o zakładanym rozkładzie teoretycznym. W przypadku przeciwnym hipotezę należy odrzucić.

W teście λ Kołmogorowa wyznacza się wartość dystrybuanty teoretycznej z próby jako

$$(10) \quad F_n(x) = \frac{n_{sk}}{n}$$

gdzie: n_{sk} – oznacza skumulowaną licznosc od początku do x_k , tj.

$$(11) \quad n_{sk} = \sum_{j \leq k} n_j$$

Dla założonego rozkładu hipotetycznego wyznacza się wartość teoretyczną dystrybuanty $F(x)$ oraz wartość statystyki D , zgodnie ze wzorem

$$(12) \quad D = \sup_x |F_n(x) - F(x)|$$

a następnie wartość statystyki λ

$$(13) \quad \lambda = D\sqrt{n}$$

Dla ustalonego z góry poziomu istotności α porównuje się wyznaczoną wartość statystyki ze statystyką krytyczną granicznego rozkładu λ Kołmogorowa i sprawdza nierówność

$$(14) \quad \lambda < \lambda_\alpha,$$

W przypadku jej spełnienia brak jest podstaw do odrzucenia zakładanej hipotezy o rozkładzie teoretycznym.

Wyznaczenie rozkładu zmiennej losowej daje pełną informację o tej zmiennej, pozwalającą na jej gruntowną analizę [2,3,4].

Weryfikacja parametryczna i dobór parametrów rozkładów badanych wielkości niezawodnościowych, przedstawiona w dalszej części opracowania, prowadzona była na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, przy spełnieniu kryteriów obu przedstawionych testów.

Rozkłady analizowanych poniżej wielkości niezawodnościowych można opisać za pomocą dwóch typów rozkładów – logarymiczno-normalnego i wykładniczego.

Rozkład logarymiczno-normalny opisuje cechę X , której logarytm ma rozkład normalny. Gęstość $f(x)$ zmiennej losowej X , określa wówczas zależność

$$(15) \quad f(x) = \begin{cases} \frac{\lg e}{x\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lg x - m}{\sigma}\right)^2\right] & \text{dla } x > 0 \\ 0 & \text{dla } x \leq 0 \end{cases}$$

gdzie: $\lg e = 0,4343$, m – wartość średnia, σ – odchylenie standardowej logarytmu zmiennej losowej X .

Dystrybuanta rozkładu logarymiczno-normalnego przyjmuje postać

$$(16) \quad F(x) = 0,5 + \Phi\left(\frac{\lg x - m}{\sigma}\right)$$

gdzie: $\Phi(x)$ – całka Laplace'a.

Gęstość prawdopodobieństwa zmiennej losowej X opisującej rozkład wykładniczy ma postać

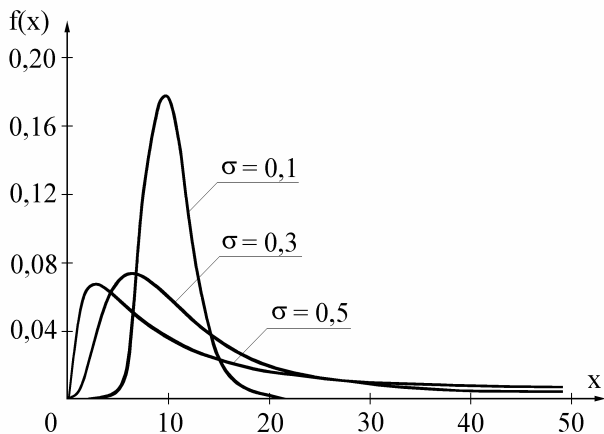
$$(17) \quad f(x) = \begin{cases} \lambda \exp(-\lambda x) & \text{dla } x > 0 \\ 0 & \text{dla } x \leq 0 \end{cases}$$

natomiast dystrybuenta

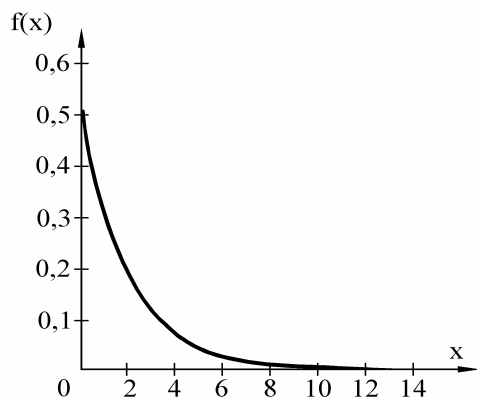
$$(18) \quad F(x) = \begin{cases} 1 - \exp(-\lambda x) & \text{dla } x > 0 \\ 0 & \text{dla } x \leq 0 \end{cases}$$

gdzie : λ parametr rozkładu wykładniczego.

Przykładowe funkcje gęstości rozkładów przedstawiono na rys. 1 i 2.



Rys.1. Przykładowe przebiegi funkcji gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej rozkładu logarytmiczno-normalnego o parametrze $m = 1$ i dla różnych wartości σ



Rys.2. Przykładowy przebieg funkcji gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej rozkładu wykładniczego

Czas trwania awarii linii kablowych

W tabelach 1 i 2 przedstawiono wyniki weryfikacji parametrycznej czasu trwania awarii linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu i w izolacji papierowej. Rodzaje rozkładów oraz ich parametry przedstawiono z kolei w tabelach 3 i 4.

Tabela 1. Parametry czasu trwania awarii linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu, h

Próba	Średnia	σ	Wartość dolna	Wartość górna
1	11,443	6,205	10,631	12,254
2	9,866	5,580	9,250	10,481
3	11,661	6,115	10,861	12,461
4	10,308	4,315	9,647	10,969
5	11,469	6,152	10,618	12,321
6	10,195	5,683	9,483	10,907

Tabela 2. Parametry czasu trwania awarii linii kablowych wykonanych w izolacji z papieru, h

Próba	Średnia	σ	Wartość dolna	Wartość górna
1	14,201	10,596	12,676	15,725
2	12,671	5,308	11,890	13,452
3	13,752	7,088	12,308	15,195
4	10,705	4,953	9,054	12,357
5	13,532	8,884	11,604	15,460
6	12,347	6,737	10,818	13,876

Tabela 3. Parametry rozkładów czasu trwania awarii linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu

Próba	Typ rozkładu	Parametry
1	wykładniczy	$\lambda = 0,79$
2	wykładniczy	$\lambda = 0,72$
3	wykładniczy	$\lambda = 0,53$
4	wykładniczy	$\lambda = 0,77$
5	log.-normalny	$m = 2,65$ $\sigma = 0,46$
6	wykładniczy	$\lambda = 0,30$

Tabela 4. Parametry rozkładów czasu trwania awarii linii kablowych wykonanych w izolacji z papieru

Próba	Typ rozkładu	Parametry
1	wykładniczy	$\lambda = 1,13$
2	wykładniczy	$\lambda = 0,69$
3	log.-normalny	$m = 0,39$ $\sigma = 0,71$
4	wykładniczy	$\lambda = 0,74$
5	wykładniczy	$\lambda = 0,35$
6	wykładniczy	$\lambda = 0,30$

Czas przerwy w zasilaniu odbiorców

Czas przerwy w zasilaniu definiuje bezpośredni wpływ awarii na odbiorców dlatego ma większe znaczenie w ocenie skutków zawodności linii kablowych niż czas trwania awarii.

W tabelach 5 i 6 przedstawiono wyniki weryfikacji parametrycznej czasu przerwy w zasilaniu odbiorców zasilanych z linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu i w izolacji papierowej. Rodzaje rozkładów oraz ich parametry przedstawiono z kolei w tabelach 7 i 8.

Tabela 5. Parametry czasu przerwy w zasilaniu z linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu, h

Próba	\bar{t}_a	σ	Wartość dolna	Wartość górna
1	0,884	0,801	0,761	1,007
2	1,453	2,258	1,108	1,798
3	2,318	3,752	1,545	3,091
4	1,342	1,486	0,832	1,853
5	2,896	4,601	1,891	3,901
6	3,348	5,691	2,029	4,667

Tabela 6. Parametry czasu przerwy w zasilaniu z linii kablowych wykonanych w izolacji z papieru, h

Próba	\bar{t}_a	σ	Wartość dolna	Wartość górna
1	1,265	2,199	0,965	1,564
2	1,410	1,990	1,188	1,632
3	1,876	2,527	1,545	2,208
4	1,322	2,340	0,955	1,688
5	1,680	1,604	1,455	1,905
6	3,283	4,490	2,716	3,850

Tablica 7. Parametry rozkładów czasu przerwy w zasilaniu z linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu

Próba	Typ rozkładu	Parametry	
1	log.-normalny	m = 2,30	$\sigma = 0,30$
2	log.-normalny	m = 2,16	$\sigma = 0,31$
3	log.-normalny	m = 2,33	$\sigma = 0,25$
4	log.-normalny	m = 2,25	$\sigma = 0,17$
5	log.-normalny	m = 2,31	$\sigma = 0,28$
6	log.-normalny	m = 2,18	$\sigma = 0,28$

Tablica 8. Parametry rozkładów czasu przerwy w zasilaniu z linii kablowych wykonanych w izolacji z papieru

Próba	Typ rozkładu	Parametry	
1	log.-normalny	m = 2,53	$\sigma = 0,21$
2	log.-normalny	m = 2,43	$\sigma = 0,27$
3	log.-normalny	m = 2,47	$\sigma = 0,34$
4	log.-normalny	m = 2,25	$\sigma = 0,32$
5	log.-normalny	m = 2,41	$\sigma = 0,39$
6	log.-normalny	m = 2,38	$\sigma = 0,27$

Energia elektryczna nie dostarczona podczas awarii

Wartości nie dostarczonej energii elektrycznej ΔA_{nd} wyznaczono na podstawie czasu przerwy w zasilaniu odbiorców i średniej mocy zapotrzebowanej przez odbiorców w czasie trwania przerwy w zasilaniu energią, za pomocą wzoru (3).

Wyniki przeprowadzonej weryfikacji parametrycznej wartości nie dostarczonej energii elektrycznej przedstawiono w tabelach 8 i 9 a w tabelach 10 i 11 wyniki weryfikacji parametrycznej.

Tabela 9. Parametry energii nie dostarczonej przy awariach linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu, MW·h

Próba	Średnia	σ	Wartość dolna	Wartość górna
1	2,326	2,272	2,016	2,636
2	2,191	1,965	1,972	2,410
3	3,228	2,987	2,837	3,620
4	1,495	1,717	1,227	1,763
5	2,766	1,984	2,488	3,044
6	3,681	4,130	3,160	4,203

Tabela 10. Parametry energii nie dostarczonej przy awariach linii kablowych wykonanych w izolacji z papieru, MW·h

Próba	Średnia	σ	Wartość dolna	Wartość górna
1	1,873	1,818	1,594	2,152
2	2,672	2,397	2,305	3,040
3	3,335	3,638	2,586	4,085
4	1,663	1,061	1,299	2,027
5	3,137	2,652	2,558	3,716
6	4,420	5,434	3,161	5,679

Tabela 11. Parametry rozkładów energii nie dostarczonej przy awariach linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu

Próba	Typ rozkładu	Parametry	
1	wykładniczy	$\lambda = 0,43$	
2	wykładniczy	$\lambda = 0,46$	
3	log.-normalny	m = 0,83	$\sigma = 0,72$
4	wykładniczy	$\lambda = 0,67$	
5	log.-normalny	m = 0,73	$\sigma = 0,73$
6	wykładniczy	$\lambda = 0,27$	

Tabela 12. Parametry rozkładów energii nie dostarczonej przy awariach linii kablowych wykonanych w izolacji z papieru

Próba	Typ rozkładu	Parametry	
1	wykładniczy	$\lambda = 0,53$	
2	wykładniczy	$\lambda = 0,37$	
3	wykładniczy	$\lambda = 0,30$	
4	wykładniczy	$\lambda = 0,60$	
5	log.-normalny	m = 0,84	$\sigma = 0,77$
6	wykładniczy	$\lambda = 0,23$	

Koszty usuwania awarii

W skład kosztów usuwania awarii wchodzi koszty robocizny, koszty pracy sprzętu oraz koszty elementów i urządzeń związanych z naprawą.

W tabelach 13 i 14 przedstawiono wyniki weryfikacji parametrycznej kosztów usuwania awarii linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu i w izolacji papierowej. Rodzaje rozkładów kosztów usuwania awarii oraz ich parametry przedstawiono z w tabelach 15 i 16.

Tabela 13. Parametry kosztów usuwania awarii przy awariach linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu, zł.

Próba	Średnia	σ	Wartość dolna	Wartość górna
1	1139	873	1025	1254
2	1111	761	1026	1195
3	1277	915	1158	1397
4	889	428	823	954
5	1349	1125	1193	1505
6	940	593	866	1014

Tabela 14. Parametry kosztów usuwania awarii przy awariach linii kablowych wykonanych w izolacji z papieru, zł.

Próba	Średnia	σ	Wartość dolna	Wartość górna
1	2329	1563	2103	2554
2	1718	916	1583	1852
3	2263	1527	1952	2574
4	1151	516	979	1323
5	1579	869	1390	1767
6	1403	530	1283	1524

Tabela 15. Parametry rozkładów kosztów usuwania awarii przy awariach linii kablowych wykonanych w izolacji z polietylenu

Próba	Typ rozkładu	Parametry	
1	log.-normalny	m = 6,85	$\sigma = 0,32$
2	log.-normalny	m = 6,89	$\sigma = 0,20$
3	log.-normalny	m = 7,00	$\sigma = 0,26$
4	log.-normalny	m = 6,70	$\sigma = 0,16$
5	log.-normalny	m = 7,02	$\sigma = 0,33$
6	log.-normalny	m = 6,71	$\sigma = 0,25$

Tabela 16. Parametry rozkładów kosztów usuwania awarii przy awariach linii kablowych wykonanych w izolacji z papieru

Próba	Typ rozkładu	Parametry	
1	log.-normalny	m = 7,54	$\sigma = 0,44$
2	log.-normalny	m = 7,31	$\sigma = 0,34$
3	log.-normalny	m = 7,52	$\sigma = 0,43$
4	log.-normalny	m = 6,91	$\sigma = 0,41$
5	log.-normalny	m = 7,23	$\sigma = 0,27$
6	log.-normalny	m = 7,17	$\sigma = 0,16$

Podsumowanie

W literaturze krajowej [1,7,8] spotyka się głównie oszacowania średniego czasu trwania awarii i średniej intensywności kabli średniego napięcia. Nie rozpatrywane są inne, przedstawione w artykule parametry niezawodnościowe takie jak czas przerwy w zasilaniu odbiorców, energia elektryczna nie dostarczona podczas awarii czy też koszty usuwania awarii, potrzebne do optymalizacji poziomu niezawodności zasilania odbiorców.

Wyznaczone wartości średnie czasu trwania awarii są zbliżone z przedstawionymi w [1,6-10]. O ile wcześniej [9,10] wartości te niewiele różniły się od czasu przerwy w zasilaniu, który spełniał wówczas nierówność (1), to obecnie (tablice 5, 6, 7 i 8) czas przerwy w zasilaniu jest 5÷10 razy mniejszy od czasu trwania awarii. Jest to wynikiem zmiany struktur sieci kablowych z promieniowych w pętlowe, kłosowe, wrzecionowe czy też dwuliniowe [7] i zastosowaniu zdalnego sterowania do zarządzaniem strukturami sieci.

Analiza i oszacowania pozostałych wielkości, prezentowane częściowo wcześniej w [5,11-14], nie była jeszcze w takim zakresie prezentowana w literaturze krajowej.

LITERATURA

- [1] Bełdowski T., Stacje elektroenergetyczne. *WNT*, Warszawa 1980.
- [2] Bobrowski D., Maćkowiak-Łybacka K., Wybrane metody wnioskowania statystycznego. *Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej*, Poznań, 2001.
- [3] Firkowicz S., Statystyczne badanie wyrobów. *WNT*, Warszawa 1975.
- [4] Greń J., Statystyka matematyczna. Modele i zadania. *PWN*, Warszawa, 1982.
- [5] Kowalski Z., Stępień J., Ocena skutków awarii linii kablowych 15 kV. *Materiały XI Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Aktualne Problemy w Elektroenergetyce”, Gdańsk Jurata, 11-13 czerwca 2003 r., tom 1 s. 145-151.*
- [6] Kowalski Z., Niezawodność zasilania odbiorców energii elektrycznej. *Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej*, Łódź, 1992.
- [7] Kujaszczyk S., Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze tom I i II. *PWN*, Warszawa, 1994.
- [8] Marzecki J., Rozdzielcze sieci elektroenergetyczne. *PWN*, Warszawa, 2001.
- [9] Sozański J., Niezawodność zasilania energią elektryczną. *WNT*, Warszawa 1982.
- [10] Sozański J., Niezawodność i jakość pracy systemu elektroenergetycznego. *WNT*, Warszawa, 1990.
- [11] Stępień J.C., Tytko J., Modele niezawodności i odnowy linii elektroenergetycznych średniego napięcia. *Materiały VII Międzynarodowej Konferencji Naukowej nt. „Aktualne problemy w elektroenergetyce APE'95”, Gdańsk-Jurata, czerwiec 1995, t.II, s. 223-230.*
- [12] Stępień J.C., Analiza niezawodności eksploatacyjnej linii kablowych 15 kV. *Materiały VIII Międzynarodowej Konferencji „Aktualne Problemy w Elektroenergetyce”, Gdańsk -Jurata, 11-13 czerwca 1997 r. t.II, s.243-250.*
- [13] Stępień J.C., Analiza składników czasu trwania awarii linii kablowych 15 kV. *Materiały Konferencji Naukowej PTETIS „Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki” WZEE'2002, Częstochowa – Złoty Potok, 27-29 maja 2002, s. 183-186.*
- [14] Stępień J.C., Niezawodność linii napowietrznych i kablowych 15 kV. *Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej „Elektryka” nr 35, s. 149 – 160, Kielce, 2000.*

Autor: prof. nadzw. dr hab. inż. Jan C. Stępień. Politechnika Świętokrzyska, Samodzielny Zakład Podstaw Energetyki, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, E-mail: jstepien@tu.kielce.pl.