

Zbigniew GACEK, Wiktor KIS

Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów
Politechniki Śląskiej

MODELE OBLICZENIOWE ZAWODNOŚCI ZABRUDZENIOWEJ IZOLACJI LINIOWEJ

Streszczenie. Zaproponowano matematyczny model rocznych zmian zawadności zabrudzeniowej, wynikający z poissonowskiego charakteru strumieni przeskoków zabrudzeniowych. Modele obliczeniowe weryfikowane są na podstawie danych ze stacji badawczych 110 kV oraz statystyk z linii 110-220 kV.

1. Wprowadzenie

Proces powstawania zakłóceń zabrudzeniowych na izolacji liniowej wysokiego napięcia ma charakter stochastyczny. Matematyczną miarę zagrożenia izolacji w rzeczywistych warunkach zabrudzeniowych stanowi zawadność tzn. prawdopodobieństwo przeskoku w określonych warunkach eksploatacyjnych w założonym okresie użytkowania. Ze względu na skomplikowany charakter rzeczywistych strumieni przeskoków spowodowany m.in. losową zmiennością oddziaływań zewnętrznych, napotyka się na znaczne trudności obliczeniowe. Celem opracowania jest uzyskanie prostego modelu obliczeniowego, uwzględniającego cykliczne zmiany losowych oddziaływań środowiskowych w czasie eksploatacji. Materiał statystyczny pochodzi ze stacji badawczych 110 kV oraz statystyk zawadnościowych linii 110-220 kV z terenów zabrudzeniowych. Dane uzyskano z Banku Informacji ZEOPd w Katowicach oraz w Biurze Badań i Studiów ZE Gliwice.

2. Matematyczne modelowanie zawadności zabrudzeniowej

Strumień zakłóceń zabrudzeniowych na izolacji liniowej wysokiego napięcia jest strumieniem niestacjonarnym, wykazującym losową zmienność sezonową i dobową. Dokładne odwzorowanie takiego strumienia nie wydaje się możliwe, gdyż wymagałoby dużej ilości danych uzyskiwanych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych linii lub terenowych stacji badawczych w długim okresie czasu. Przydatne dla celów praktycznych modelowanie zawadności zabrudzeniowej w warunkach terenowych wymaga przyjęcia założeń upraszczających.

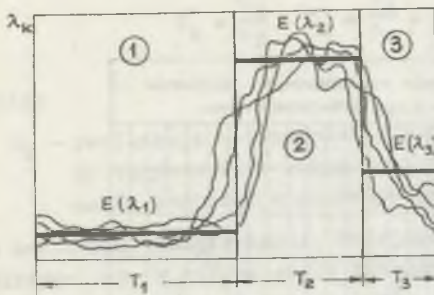
Wpływ zmienności dobowej na zawodność izolacji może być pominięty z praktycznego punktu widzenia. Nie do pominięcia jest natomiast sezonowa zmienność zawodności w skali miesięcy, prowadząca do wyraźnej niestacjonarności strumienia zakłóceń. Można przypuszczać, że strumień ten, nie będąc stacjonarnym, wykazuje jednak pojedynczość i brak następstw, czyli dwie spośród trzech własności strumienia Poissona [1]. Założenie to wymaga statystycznej weryfikacji, ale wydaje się, że:

- a) pojedynczość, oznaczająca żądanie praktycznej niemożliwości zajścia dwóch lub więcej zdarzeń w małym przedziale czasu, wynika z małej intensywności strumienia zakłóceń zabrudzeniowych w czasie oraz niewielkiego udziału pojedynczych łańcuchów w strumieniu rejestrowanym w linii;
- b) brak następstw, oznaczający, że prawdopodobieństwo zajścia pewnej liczby zdarzeń w określonym przedziale czasu nie zależy od zdarzeń wcześniejszych, związany jest z możliwością pominięcia starzenia izolatorów oraz nieuwzględniania krótkich okresów bezpośrednio po czyszczeniu lub wymianie.

Obliczanie zawodności zabrudzeniowej izolacji w warunkach rzeczywistych umożliwia model statystyczny, który w uproszczeniu odwzorowuje charakter jej zmian w czasie eksploatacji. Większość oddziaływań środowiskowych decydujących o wytrzymałości powierzchniowej izolatorów wykazuje wyraźną losową cykliczność roczną. Matematyczne odwzorowanie zmian zawodności powinno być dokonywane dla rocznego okresu eksploatacji: miarą cyklicznych zmian zawodności mogą być np. średnie miesięczne częstości zakłóceń (w długim okresie czasu). Jeżeli strumień zakłóceń można uznać za przedziałami stacjonarny w pewnych okresach roku, to przy spełnieniu warunków pojedynczości i braku następstw (niezależności zdarzeń) staje się on strumieniem prostym (Poissona) w określonych przedziałach czasu. Charakteryzuje się on stałą wartością parametru λ , równego liczbowo intensywności zakłóceń, przy czym rozkład prawdopodobieństwa czasów między zakłóceniami ma charakter wykładniczy [1]. Intensywność zakłóceń odpowiada prawdopodobieństwu zakłócenia w krótkim przedziale czasu, pod warunkiem, że do rozpatrywanej chwili zdarzenie to nie nastąpiło.

Dysponując wieloletnimi statystykami zawodnościowymi, można podzielić rok eksploatacji na kilka okresów, tworząc kilkustanowy model obliczeniowy o stałych wartościach intensywności strumienia. Przykład trójstanowego modelu odwzorowującego realizację intensywności strumienia w ciągu roku znajduje się na rys. 1. Realizacje intensywności wykazują z wieloletnich obserwacji i oscylują przedziałami wokół wartości oczekiwanych $E(\lambda_k)$ dla każdego ze stanów $k = 1, 2, 3$.

Postać rocznego modelu zawodnościowego zależy od warunków zabrudzeniowych i meteorologicznych oraz od wytrzymałości powierzchniowej izolacji. Sezonową zmienność zawodności można określić na podstawie statystycznej



Rys. 1. Przykład 3-stanowego modelu sezonowych zmian zawadności zabrudzeniowej

je to konieczność łącznej oceny izolatorów o zbliżonej konstrukcji i wytrzymałości w przypadku testowania hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu czasów między zakłóceniami.

Omówiony sposób modelowania może być bezpośrednio wykorzystany w przypadku danych ze stacji doświadczalnych, w których bada się pojedyncze łańcuchy, nie wykonuje się czyszczenia izolatorów a przeskok jest jednoznaczny z wyłączeniem stanowiska.

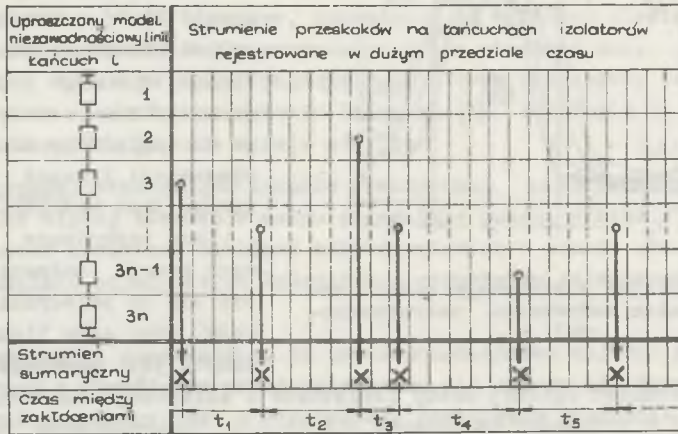
Zastosowanie proponowanego sposobu modelowania w liniach przesyłowych napotyka na dodatkowe trudności metodologiczne. Zbiór łańcuchów izolatorów tworzy układ szeregowy w sensie niezawodnościowym, odcinkami w przybliżeniu jednorodny (jednorodność konstrukcji izolatorów i oddziaływań zewnętrznych). Izolacja jest okresowo czyszczona, uszkodzone łańcuchy są każdorazowo wymieniane, natomiast przeskok zabrudzeniowy nie musi być jednoznaczny z trwałym wyłączeniem linii na skutek istnienia automatyki SPZ.

Przeskok zabrudzeniowy na odcinku linii możliwy jest, gdy wystąpi losowa przewaga oddziaływań zewnętrznych, takich jak napięcie, zabrudzenie i opady atmosferyczne nad efektami czyszczenia i samooczyszczania się izolatorów. Może to wystąpić np. w przypadku doboru izolacji o niewielkich zapasach wytrzymałościowych dla danej strefy, gwałtownego wzrostu lokalnego zagrożenia zabrudzeniowego, nieprzestrzegania lub błędnego harmonogramu czyszczenia itd.

Ogólny model strumienia dla izolacji linii 3-fazowej można rozpatrywać jako superpozycję strumieni, pochodzących od wszystkich łańcuchów izolatorów [1]. Przykład realizacji takiego strumienia dla wybranego odcinka linii przedstawiony jest na rys. 2. Ponieważ czyszczenie izolatorów jest okresowe, a poawaryjne wymiany pojedynczych łańcuchów nie wpływają praktycznie na zawodność układu szeregowego o dużej liczbie elementów, więc nie jest to losowy strumień odnowy. Modelowanie sezonowych zmian zawodności izolacji liniowej sprowadza się do postępowania proponowanego poprzednio, przy uwzględnieniu:

analizy liczebności zakłóceń w poszczególnych miesiącach roku i weryfikacji hipotezy o jej przybliżonej stacjonarności w rozpatrywanym okresie czasu. Wymaga to dużego i jednorodnego materiału statystycznego, co ze względu na długotrwałość obserwacji i koszt badań nie zawsze jest możliwe.

Dane pochodzące z terenowych stacji badawczych odnoszą się do pojedynczych łańcuchów, przy czym liczność tych danych jest niewielka. Powodu-



Rys. 2. Przykład realizacji strumienia zakłóceń zabrudzeniowych dla odcinka linii elektroenergetycznej

- stacjonarnego charakteru sumarycznego strumienia zakłóceń w określonych przedziałach czasu,
- znikomo małej liczby zakłóceń w porównaniu z ilością kańcuchów izolatorów,
- przybliżonej jednorodności izolacji i oddziaływań zewnętrznych.

Posługiwanie się kilkustanowym rocznym modelem zawodnościowym przy jednocześnie niewielkiej liczbie rejestrowanych zakłóceń nie zawsze jest możliwe. Celem ułatwienia obliczeń proponuje się zastosowanie transformacji czasu dla każdego ze stanów w ciągu roku. Pozwala to na uniezależnienie się od okresowej zmienności zawodności i rozpatrywanie stacjonarnego strumienia zakłóceń w zmienionym, obliczeniowym roku eksploatacji. Czas trwania każdego z okresów T_k może być zmieniony dowolnie, ale przy założeniu, że oczekiwane liczby zakłóceń przed i po transformacji nie ulegną zmianie. W przypadku strumienia Poissona o parametrze przedziałami stałym zachodzą następujące relacje między sezonowymi intensywnościami λ_k i liczebnościami zakłóceń n_k :

$$\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_k} = \frac{n_{\max}}{n_k} = s_k \quad \text{dla } k = 1, 2, 3 \quad (1)$$

przy czym jeśli np. $\lambda_{\max} = \lambda_2 = \lambda'_2 = \text{const}$ (rys. 1), to okres największego zagrożenia w ciągu roku pozostaje nie zmieniony ($T_2 = T'_2$). Czasy trwania pozostałych okresów wynoszą więc:

$$T'_k = \frac{n_k}{n_2} \cdot T_k = \frac{n_k}{n_2} \cdot T_k = \frac{1}{s_k} \cdot T_k \quad \text{dla } k = 1, 3 \quad (2)$$

gdzie:

s_k - realizacje sezonowości strumienia w stosunku do okresu największego zagrożenia w ciągu roku, obliczone z ilorazu średnich liczebności zakłóceń w porównywalnych okresach czasu.

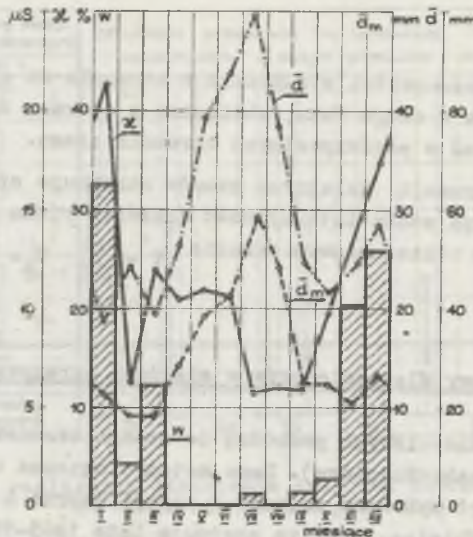
Po dokonaniu transformacji kolejnych stanów otrzymuje się prosty model obliczeniowy, w którym stała intensywność zakłóceń równa jest największej wartości sezonowej w obliczeniowym okresie

$$T' = \sum_{k=1}^3 T'_k$$

3. Model zawodnościowy dla izolatorów w stacjach terenowych

Wyriski prób zawodnościowych pochodzą ze stacji terenowych Zabrze i Bolesław (III strefa zabrudzeniowa). Dane meteorologiczne oraz wyniki pomiarów konduktywności wykonane zostały w stacji Zabrze i pochodzą z Biura Badań i Studiów ZE Gliwice. Analiza obejmuje lata 1965-1974. Badano czasy do przeskoków zabrudzeniowych dla różnych typów izolatorów długopniowych klasycznych, schodkowych i śrubowych oraz izolatorów kopłakowych. Stwierdzono łącznie 74 przeskoki zabrudzeniowe w różnych okresach roku. Podstawową statystyką dla modelowania zmian zawodności jest miesięczna częstość (liczebność) przeskoków, ale rozpatruje się także wyniki pomiarów średnich konduktywności izolatorów, maksymalnego opadu dobowego i średniego opadu miesięcznego (średnie miesięczne dla okresu analizy). Zmienność ww. czynników w ciągu roku przedstawiona jest na rys. 3. Analiza częstości przeskoków pozwala na postawienie hipotezy o 3-stanowym modelu zawodności rocznej, przy czym:

- a) stan 1, odpowiada okresowi kwiecień-październik i charakteryzuje się najniższą intensywnością przeskoków na skutek samooczyszczania się izolatorów oraz najłagodniejszych w skali rocznej warunków zabrudzeniowych (największa liczba opadów o dużym natężeniu, najmniejsze wartości konduktywności),
- b) stan 2, odpowiada okresowi listopad-styczeń i cechuje go największe zagrożenie zabrudzeniowe ze względu na dużą liczbę mgieł i mżawek (nie wielkie natężenia opadów atmosferycznych, duże wartości konduktywności),
- c) stan 3, odpowiada okresowi luty-marzec, w którym zagrożenie zabrudzeniowe jest mniejsze niż w stanie 2, ale znacznie większe niż w stanie 1.



Rys. 3. Czynniki określające sezonową zmienność zawadności izolatorów liniowych, badanych w stacjach doświadczalnych Zab ze i Bolesław w latach 1965-1974

w - miesięczna częstość przeskoków zabrudzeniowych
 \bar{X} - średnia miesięczna konduktywność powierzchniowa izolatorów
 \bar{d} - maksymalny opad deszczowy
 d_m - średni opad miesięczny

Postawioną hipotezę zerową o możliwości przyjęcia ww. modelu zweryfikowano przy pomocy testów χ^2 i F Fishera. Test χ^2 wykorzystano jako kryterium do wnioskowania, że miesięczne liczebności przeskoków w kolejnych stanach nie różnią się istotnie od siebie [2].

Test F Fishera zastosowano dla stwierdzenia braku istotnych różnic między analizowanymi zawadnościami miesięcznymi [1]. Weryfikacje przyjętego modelu (tabl. 1) dała wynik pozytywny, czyli średnie miesięczne liczebności przeskoków oraz wielkości zawadności zabrudzeniowej izolacji nie różnią się istotnie od siebie w kolejnych stanach $k=1,2,3$. W celu weryfikacji hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu czasów między przeskokami zestawiono dane dla podobnych konstrukcyjnie i wytrzymałościowo izolatorów długopniowych (zbliżone oczekiwane zawadności roczne).

Sposób postępowania wynika z małej ilości danych dla jednakowych izolatorów, ale wydaje się w tym przypadku dopuszczalny, ponieważ są to próby terenowe o skróconym czasie badania. Roczne zawadności badanych łańcuchów są duże i różnią się istotnie od siebie jedynie w przypadku wyraźnych różnic takich parametrów konstrukcyjnych jak długość, droga wpływu

Tablica 1

Weryfikacja modelu rocznej zawodności izolatorów liniowych. Dane pochodzą ze stacji badawczych w Zabrze i Bolesławiu

Mieiąc	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	Uwagi
Liczba mies. m	7												Założenia wstępne
Stan k	1												
Liczebność przeszkoków n_j	0	0	0	1	0	1	2	15	19	24	3	9	Liczebność próby N=74
Liczebność średnia \bar{n}_k	0,6												Średnie liczebność sezonowa przeskoków
χ^2_k	6,6												$\frac{N}{\bar{n}_k(N-\bar{n}_k)} \left(\sum_{j=1}^m n_j^2 - m\bar{n}_k^2 \right)$
$\chi^2_{m-1}; 1-\alpha$	12,6												Poziom istotności $\alpha=0,05$ Dane wg [2]
WYNIK KRYTERIUM χ^2	Brak podstaw do odrzucenia hipotezy, że miesięczne częstości przeskoków zabrudzeniowych nie różnią się istotnie w założonych k=1,2,3 stanach w ciągu roku												$H_0(n_{jk}=n_k=const)$. Kryterium z wielu próbek [2]
Liczebność przeskoków n_j^2	1			3				15	19	24	39	9	Dane skumulowane dla stanu [1]
Liczby akcept. $\frac{n'}{n''}$	0												Dla stanu k=2 dane przybliż. Poz. ist. $\alpha=0,1$ [1]
$ Q(n_1, n_2) $ dla $n_1 + n_2 > 30$	5												$Q(n_1, n_2) = 2\sqrt{0,5} \arcsin \sqrt{\frac{n}{N_1}} + 2\sqrt{0,5} \arcsin \sqrt{\frac{n_2}{N_2}}; N_1=N_2$
WYNIKI KRYTERIUM F FISHERA	0,78 0,91 1,64												$u_1 - \frac{\alpha}{2} = 1,65$ $H_0(r_{jk}=r_k=const)$

Tablica 2

Zestawienie czasów nagromadzonych między przeskokami zabrudzeniowymi na izolatorach liniowych o zbliżonych zawadnościach. Stacja doświadczalna 110 kV Zabrze

a) Izolatory: LP75/14, LP75/16, LP75/17, 2x32517, 1x237517, LPz75/15, LPz75/17, LPS75/17

Nr	Data przeskoku	CZASY MIĘDZY PRZESKOKAMI				Uwagi
		w stanie k			po transformacji	
		τ_1	τ_2	τ_3	τ'	
-	-	doby			doby	-
0	3.02.64	-	-	-	-	
1	29.09.64	182	-	56	24	
2	10.11.65	246	102	59	131	
3	18.03.67	214	174	105	211	
4	18.03.67	-	-	x	x	
5	13.12.67	214	43	13	61	
6	13.12.67	-	-	x	x	x - czas znacznie mniejszy od 1 doby
7	23.01.68	-	41	-	41	
8	27.10.68	210	8	59	35	
9	28.11.68	4	28	-	2	
10	23.12.68	-	25	-	25	
11	23.03.70	214	131	110	169	
12	20.12.71	428	142	67	186	
13	10.01.73	214	113	59	140	
14	10.01.73	-	x	-	x	
15	10.01.73	-	x	-	x	
16	27.01.73	-	17	-	17	
17	23.11.73	214	27	59	54	
18	21.12.74	214	120	59	147	

b) Izolatory: VKLS75/21, LP75/22, LP75/20

Nr	Data przeskoku	CZASY MIĘDZY PRZESKOKAMI				Uwagi
		w stanie k			po transformacji	
		τ_1	τ_2	τ_3	τ'	
-	-	doby			doby	-
0	22.11.68	-	-	-	-	
1	19.01.71	428	244	118	235	
2	4.02.71	-	12	4	13	
3	1.11.72	428	105	114	145	
4	21.01.73	214	173	59	200	
5	27.01.73	-	6	-	6	
6	23.11.73	214	4	59	54	
7	23.11.73	-	1	-	1	

i współczynnik kształtu izolatorów. Zestawienie rzeczywistych i transformowanych czasów między przeskokami w kolejnych stanach w ciągu roku znajduje się w tablicy 2a i 2b. Czasy trwania stanów zawodnościowych w modelu przed i po transformacji podano w tablicy 3.

Tablica 3

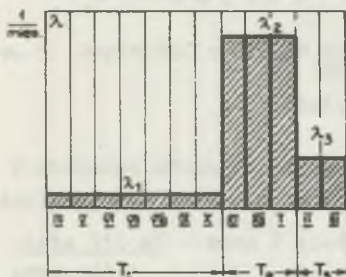
Wyniki obliczeń transformacji czasu dla modelu zawodnościowego w stacjach badawczych

Stan zawodnościowy		Czas trwania stanu k		Sezono- wość S_k	Uwagi
k	Miesiące	przed trans- form. T_k	po transf. T'_k		
-	-	doły	doły	-	-
1	IV - X	214	15	14,5	
2	XI - I	92	92	1	$N_2 = N'_2 = \text{const}$
3	II - III	59	12	4,8	
Razem		365 (1 rok)	119 (0,3 roku)	-	
1*	I - XII	365 (1 rok)	94 (0,25 roku)	3,9	$N_{sr} = N'_{sr} = \text{const}$

Zredukowany rok obliczeniowy wynosi zaledwie ok. 30% czasu roku kalendarzowego przy założeniu największej intensywności przeskoków (listopad - styczeń). Dla porównania przedstawiono także wyniki transformacji czasu przy założeniu średniej intensywności przeskoków dla całego roku. Ostatni model nie wydaje się sżuszny na skutek pominięcia istotnych różnic między częstościami przeskoków w kolejnych stanach zawodnościowych.

Weryfikację hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu czasów między przeskokami (przeliczonych dla obliczeniowego roku po transformacji) wykonano przy pomocy testów istotności λ Kołmogorowa, F Fishera i testu WE na poziomie istotności 5% [1, 2, 3]. Wyniki testowania są pozytywne (tabl. 4a i 4b). Wynika stąd, że brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy

o wykładniczym charakterze rozkładu tych czasów w zredukowanym roku eksploatacji (w kolejnych stanach zawodnościowych w ciągu roku kalendarzowego). Przyjęty roczny model zawodności zabrudzeniowej izolatorów liniowych badanych w stacjach terenowych przedstawiony jest na rys. 4 i może być wykorzystany w wersji 3-stanowej (dla roku kalendarzowego) albo 1-stanowej (dla zredukowanego roku obliczeniowego).



Rys. 4. Roczny model zawodności izolatorów liniowych badanych w stacjach zabrudzeniowych

Tablica 4

Weryfikacja hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu czasów między przeskokami na izolatorach w stacji Zabrze

a) Czasy τ' z tablicy 2a

1	Długość klasy	n_i	$F_i = \sum_{j=1}^i \frac{n_j}{n}$	$F(\tau') = [1 - \exp(-\lambda \tau')] 100$	Kryt. Koźmogorowa	Kryt. Fischera	Kryt. WE
-	dobry	-	%	%	-	-	-
1	0 - 30	8	44,5	18,9	$d_n = 0,256 <$ $< d_{n,1-\alpha}$	$\eta = \frac{\max \tau'_i}{\sum \tau'_i} =$ $= 0,164 <$ $< \xi_{n,2,1-\alpha} =$ $= 0,29$	$\overline{WE} = 0,028 <$ $< WE = 0,067 <$ $< \overline{WE} = 0,123$
2	30 - 60	3	61,2	46,7			
3	60 - 90	1	66,7	65,0			
4	90 - 120	0	66,7	77,0			
5	120 - 150	3	83,4	84,9			
6	150 - 180	1	88,9	90,1			
7	180 - 210	1	94,4	93,5			
8	210 - 240	1	99,9	95,7			
Poziom istotności $\alpha = 0,05$					[2]	[2]	[3]
Brak podstaw do odrzucenia hipotezy o wykładniczości rozkładu czasu między przeskokami w poszczególnych stanach zawodnościowych							

b) Czasy τ' z tablicy 2b

1	τ'_i	$\frac{i}{n+1}$	$F(\tau') = [1 - \exp(-\lambda \tau')] 100$	Kryt. Koźmogorowa	Kryt. Fischera	Kryt. WE	
-	dobry	-	%	-	-	-	
1	1	12,5	2,1	$d_n = 0,245 <$ $< d_{n,1-\alpha} = 0,483$	$\eta = \frac{\max \tau'_i}{\sum \tau'_i} =$ $= 0,359 <$ $< \xi_{n,2,1-\alpha} =$ $= 0,56$	$\overline{WE} = 0,062 <$ $< WE = 0,147 <$ $< \overline{WE} = 0,404$	
2	6	25,0	6,2				
3	13	37,5	13,0				
4	54	50,0	43,9				
5	146	62,5	79,0				
6	200	75,0	88,2				
7	235	87,5	91,9				
Poziom istotności $\alpha = 0,05$					[2]	[2]	[3]
Brak podstaw do odrzucenia hipotezy o wykładniczości rozkładu czasu między przeskokami w poszczególnych stanach zawodnościowych							

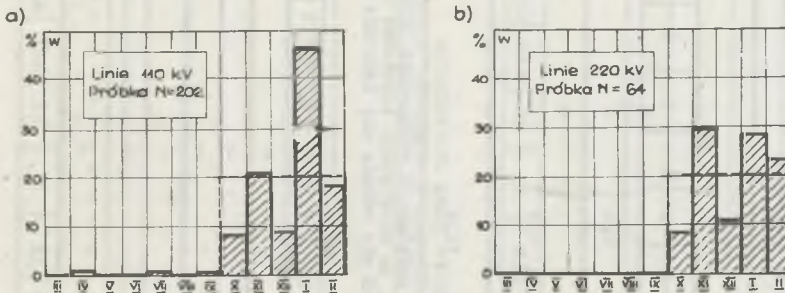
4. Modele zawodnościowe izolacji linii 110-220 kV

Częstości przeskoków zabrudzeniowych w liniach 110-220 kV określone są na podstawie własnej analizy danych z okresu 1965-1974, pochodzących z Banku Informacji ZEOPd w Katowicach oraz kart badania zakłóceń. Łączna liczba zarejestrowanych zakłóceń zabrudzeniowych wynosiła odpowiednio 202 i 64 zdarzenia. Miesięczne częstości zakłóceń przedstawione są na rys. 5 (pominięto jako niepewne zaburzenia przemijające, kończące się udanym cyklem SPZ). Zakłócenia zabrudzeniowe w obu zbiorach linii nie występują praktycznie w okresie marzec-wrzesień (intensywność zbliżona do zera), natomiast grupują się w pozostałej części roku (różne wartości intensywności miesięcznych). Weryfikację rocznych modeli zawodnościowych wykonuje się przy pomocy testu χ^2 , podobnie jak w punkcie 3, a wyniki obliczeń zestawione są w tablicy 5a i 6b. Wyniki testowania hipotezy wstępnej o 2-stanowym modelu zawodnościowym dla obu rodzajów linii w postaci:

a) stan 1, marzec - wrzesień,

b) stan 2*, październik - luty,

są negatywne z powodu istotnych różnic między miesięcznymi liczebnościami zakłóceń w stanie 2*. Próba podziału stanu 2* na okres październik - grudzień i styczeń - luty okazała się nieudana, ponieważ częstości w listopadzie i lutym (110 kV) oraz w październiku i grudniu (220 kV), odbiegają znacznie od pozostałych wartości.



Rys. 5. Częstości zakłóceń zabrudzeniowych w liniach 110 - 220 kV na terenie ZEOPd w okresie 1965-1974 r.

a) - linie 110 kV, b) - linie 220 kV

Postawiono drugą hipotezę, zakładając, że stan 2* można podzielić następująco:

a) linie 110 kV - stan 2 (październik, grudzień, luty); stan 3* (listopad, styczeń),

Tablica 5a
 Weryfikacja modelu rocznej zawodności zabrudzeniowej izolatorów w liniach 110 kV na terenie ZEOPd. Okres analizy 1965-1974

Miesiąc	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	Uwagi
Stan k	1												1 założenie wstępne
Liczba miss.m.	7												5
Liczalność zakłóceń n_1	0	2	0	0	1	0	1	16	41	17	95	29	Liczalność próby N=202
Liczalność średnia \bar{n}_k	0,6												39,6
χ^2_k	7,4												134
$\chi^2_{m-1, 1-\alpha}$	12,6												9,5
WYNIK KRYTYRIUM χ^2	Brak podstaw do odrzucenia hipotezy, że miesięczne częstotliwości zakłóceń nie różnią się istotnie												Brak podstaw do przyjęcia hipotezy, że miesięczne częstotliwości zakłóceń nie różnią się istotnie [2]
Miesiąc	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	II	XI	I	
Stan k	-												1
Licz.miss.m.	-												3
Licz.przesk.n ₁	-												16
Licz.śred. \bar{n}_k	-												20,7
χ^2_k	-												5,2
$\chi^2_{m-1, 1-\alpha}$	-												6
WYNIK KRYTYRIUM χ^2	Brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej												Brak podstaw do przyjęcia hipotezy zerowej

$$\frac{N}{\bar{n}_k(N-\bar{n}_k)} \left(\sum_{j=1}^m n_j^2 - m\bar{n}_k^2 \right)$$

Poziom istotności
 $\alpha = 0,05$. Dane wg [2]

$H_0(n_{jk} = \bar{n}_k = \text{const})$. Kryt. wnioskowania z wielu próbek [2]

2 założenie wstępne

Średnia sezon. liczebń.

Poziom istotności
 $\alpha = 0,05$

$H_0(n_{jk} = \bar{n}_k = \text{const})$

Tabela 5b

Weryfikacja modelu rocznej zawodności izolatorów w liniach 220 kV na terenie ZEOPd. Okres analizy 1965-1974

MIESIĄC	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	XI	Uwagi
Stan χ^2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 założenie wstępne
Liczba mies. \bar{m}	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2*
Liczba mies. \bar{m}	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Liczebność zakłóceń n_j	-	-	-	0	-	-	-	5	19	7	18	15	Liczebność próby $N = 64$
Liczebność średnia \bar{n}_k	-	-	-	0	-	-	-	-	-	12,8	-	-	Średnia sezonowa liczebność zakłóceń
χ^2_k	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,1	-	-	$\frac{N}{\bar{n}_k(N-\bar{n}_k)} \left(\sum_{j=1}^m n_j^2 - m \cdot \bar{n}_k \right)$
$\chi^2_{m-1, 1-\alpha}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,5	-	-	Poziom istotności $\alpha = 0,05$ Dane wg [2]
WYNIK KRYTERIUM χ^2	Przypadek nie wymaga testowania. Brak przeskoków												
MIESIĄC	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	
Stan χ^2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2 założenie wstępne
Liczba mies. m	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	
Liczebność przesk. n_j	-	-	-	-	-	-	-	5	7	19	18	15	
Liczebność śred. przeskoku \bar{n}_k	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	17,4	-	Średnia sezonowa liczebność
χ^2_k	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-	0,8	-	
$\chi^2_{m-1, 1-\alpha}$	-	-	-	-	-	-	-	-	3,8	-	6,0	-	Poziom istotności $\alpha = 0,05$
WYNIK KRYTERIUM χ^2	Brak podstaw do odrzucenia hipotezy, że miesięczne częst. zakł. nie różnią się istotnie												
$H_0 (n_{jk} = n_k = \text{const})$	Kryt. wnioskowania z wielu próbek [2]												

Tablica 6a

Weryfikacja hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu czasów między zakończeniami w wybranych liniach 110 kV

Lp.	LINIA	Data zakończenia	τ'	KRYTERIUM F FISHERA		KRYTERIUM H HARTLETA		Wynik kryterium	Wynik kryterium
				$p = \frac{\max \tau'_i}{\sum \tau'_i}$	$\delta_{n,1-\alpha}$	$p = \frac{\max \tau'_i}{\min \tau'_i}$	$h_{n,1-\alpha}$		
1	BLACHOWNIA -ZABRZE t. I	19.12.72 19.12.72 4.01.73 5.01.73 6.01.73 7.01.73	doły 6,0 0,9 0,7 0,5 0,1	0,14	0,77	12	142		
2	BLACHOWNIA -ZABRZE t. II	4.01.73 5.01.73 6.01.73	0,2 0,4 1,1	0,65	0,87	5,5	89		
3	ŁAGISZA - AZOBY t. I	4.01.65 24.11.66 18.10.69 7.01.73 11.02.73	132,8 209,5 256,8 26,5 525,6	0,41	0,77	9,7	142		
4	JAWORZNO I - DWORY II	9.11.65 9.11.65 2.02.66 18.01.69 19.12.72 7.01.73 6.01.74	0,6 42,2 205,8 270,2 81,3 72,0 599,1	0,45	0,68	450	266		
5	SKAWINA - PRADNIK t. I	6.02.68 15.02.68 14.01.69 14.01.70 15.01.70 16.01.70 20.01.70	2,8 57,2 69,8 1,0 1,2 4,0 136,0	0,51	0,68	70	266		

Brak podstaw do odrzucenia hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu czasów między zakończeniami na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Brak podstaw do odrzucenia hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu czasów między zakończeniami na poziomie $\alpha = 0,05$ (z wyjątkiem linii Dworzno I - Dwory II)*

Tablica 6b

Weryfikacja hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu czasów między zakręceniami w wybranych liniach 220 kV

Ip.	LINIA	Data zakręcenia	t'	KRYTERIUM F FISHERA		KRYTERIUM H HARTLEJA		Wynik kryterium
				$\rho = \frac{\sum \frac{t_i^2}{n_i}}{\sum t_i}$	$\xi_{n, 1-\alpha}$	$\rho = \frac{\max t_i}{\min t_i}$	$h_{n, 1-\alpha}$	
1	JAWORZNO II - SKAWINA	-	-	-	-	-	-	-
		9.02.72	-	doły	-	-	-	-
		12.02.72	3,4		0,76	0,77	142	22
		15.02.72	2,8					
2	SIERSZA - LISKOWIEC	19.12.72	60,3					
		7.01.73	11,2					
			77,7					
		4.01.71	-					
		20.01.71	15,7		0,47	0,62	266	66
3	JAWORZNO II - LISKOWIEC	21.01.71	1,7					
		9.02.71	17,4					
		11.02.72	112,9					
		26.02.72	14,9					
		21.01.73	73,9					
		236,5						
3	JAWORZNO II - LISKOWIEC	18.01.72	-		0,55	0,68	202	21
		18.01.71	0,1					
		18.01.71	0,2					
		19.01.71	1,3					
		19.01.71	0,1					
		21.01.71	3,8					

Brak podstaw do odrzucenia hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu czasów między zakręceniami na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Brak podstaw do odrzucenia hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu między zakręceniami na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Brak podstaw do odrzucenia hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu między zakręceniami na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

b) linie 220 kV - stan 2 (październik, grudzień); stan 3 (listopad, styczeń, luty).

Wyniki testowania przedstawione w tabl. 5a i 6b wskazują, że brak jest podstaw do odrzucenia tej hipotezy z wyjątkiem stanu 3* dla linii 110 kV, co zmusza do oddzielnego rozpatrywania w tym przypadku miesiąca listopada (stan 3) i stycznia (stan 4).

Dla zweryfikowania hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu czasów między zakłóceniami zabrudzeniowymi wybrano kilka linii 110 i 220 kV, w których zarejestrowano co najmniej kilka zakłóceń.

Z posiadanego materiału statystycznego zdołano wybrać zaledwie 5 linii 110 kV i 3 linie 220 kV (tabl. 6a i 6b). Dane te mają z konieczności charakter orientacyjny, ponieważ są nieliczne i odnoszą się do praktycznie niejednorodnych układów izolacyjnych. Na podstawie danych statystycznych nie można aktualnie określić łańcuchów, na których występowały zakłócenia (z wyjątkiem wyłączeń z uszkodzeniami), ale z doświadczeń eksploatacyjnych wynika że przeskoki zabrudzeniowe występują najczęściej w III i tylko sporadycznie w IV strefie zabrudzeniowej (układy specjalne, celowo wzmocniona izolacja). Pozwala to przypuszczać, że niejednorodność zbioru danych jest ograniczona i nie spowoduje ona wyciągnięcia błędnych wniosków praktycznych o charakterze strumienia zakłóceń. Czasy między zakłóceniami przedstawione są w tabl. 6a i 6b (po dokonaniu transformacji czasu).

Czasy trwania poszczególnych stanów zawodnościowych w modelach przed i po transformacji podano w tabl. 7a i 7b. Dla porównania przedstawiono także wyniki transformacji przy założeniu, że okres październik - luty można traktować łączne i przyjąć dla niego średnią intensywność zakłóceń (pomimo negatywnych wyników testowania). Rozbieżności między zredukowanymi okresami obliczeniowymi spowodowane są istotnymi różnicami między częstościami zakłóceń w stanach $k=2,3,4$. Błędy względne dla takich modeli linii 110 kV i 220 kV wynoszą odpowiednio 114 i 36%. Przy założeniu największych sezonowych intensywności zakłóceń rok obliczeniowy wynosi 20% (model linii 110 kV) i 30% roku kalendarzowego (model linii 220 kV).

Weryfikację hipotezy o wykładniczym charakterze rozkładu transformowanych czasów między zakłóceniami przeprowadzono przy pomocy testów F Fishera i H Hartleya (tabl. 6a i 6b). Brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy o wykładniczym charakterze tych czasów na poziomie istotności 5%. Negatywny wynik dał tylko test Hartleya w przypadku linii 110 kV Jaworzno I - Dwory II, ze względu na 2 kolejne zakłócenia w ciągu kilku godzin, spowodowane ponownym załączeniem linii w niekorzystnych warunkach atmosferycznych.

Przyjęte roczne modele zawodnościowe w postaci 4-stanowej (linie 110 kV) i 3-stanowej (linie 220 kV) przedstawione są na rys. 6. Można stosować także uproszczone modele statystyczne dla zredukowanego roku obliczeniowego i największe, sezonowej intensywności zakłóceń zabrudzeniowych.

Tablica 7

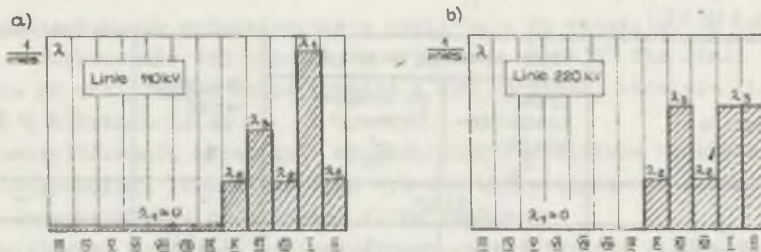
Wyniki obliczeń transformacji czasu dla modelu zawodnościowego:

a) linie 110 kV

Stan k		Czas trwania stanu k		Sezono- wość s_k	U w a g i
		przed transformacją T_k	po trans- formacji T'_k		
-		doby		-	-
1	III - IX	214	9	23,75	
2	X	31	5	5,94	
	XII	31	6	5,54	
	II	28	9	3,28	
	Łącznie	90	20	-	
3	XI	30	13	2,32	
4	I	31	31	1	$N_4 = N'_4 = \text{const}$
Razem		365 (1 rok)	73 (0,2 roku)	-	-
1*	I - XII	365 (1 rok)	156 (0,4 roku)	2,1	$N_{\text{sr}} = N'_{\text{sr}}$

b) linie 220 kV

Stan k		Czas trwania stanu k		Sezono- wość s_k	U w a g i
		przed transform. T_k	macji, T'_k		
-		doby		-	-
1	III-IX	214	0	-	
2	X	31	2	3,47	
	XII	31	13	2,48	
	Łącznie	62	22	-	
3	XI	30	30	-	$N_3 = N'_3 =$ $= \text{const}$
	I	31	31	1	
	Łącznie	28	28	-	
Razem		365 (1 rok)	111 (0,3 roku)	-	
1*	I - XII	365 (1 rok)	151 (0,4 roku)	2,42	$N_{\text{sr}} = N'_{\text{sr}}$



Rys. 6. Roczny model zawadności zabrudzeniowej izolacji w liniach:
a) - 110 kV, b) - 220 kV

5. Wnioski

- 1) Wyniki analiz statystycznych wskazują, że:
 - zawadność zabrudzeniowa izolacji liniowej 110-120 kV wykazuje wyraźną zmienność sezonową,
 - strumienie zakłóceń zabrudzeniowych zbliżone są do strumieni prostych o parametrach przedziałami stałych,
 - uniezależnienie się od sezonowości zawadności możliwe jest po zredukowaniu czasów trwania stanów zawadnościowych w ciągu roku.
- 2) Statystyczny model losowych zmian zawadności izolatorów liniowych w terenowych stacjach 110 kV jest 3-stanowy. Zredukowany rok obliczeniowy wynosi po transformacji ok. 30% roku kalendarzowego.
- 3) Modele zmian zawadności izolacji w badanych liniach 110 kV są 4-stanowe a w liniach 220 kV 3-stanowe.
Zagrożenie zabrudzeniowe w okresie od marca do września jest pomijalne. Zredukowany rok obliczeniowy dla największych sezonowych intensywności zakłóceń wynosi odpowiednio 20% i 30% roku kalendarzowego dla linii 110 i 220 kV.

LITERATURA

- [1] Gniedenko B.W. i inni: Metody matematyczne w teorii niezawadności. WNT Warszawa 1968.
- [2] Firkowicz Sz.: Statystyczne badanie wyrobów. WNT Warszawa 1970.
- [3] Hahn G.J., Shapiro S.S.: Statistical models in engineering. New York 1967.

- [4] Gacek Z.: Aspekty ekonomiczne doboru izolacji liniowej wysokiego napięcia na terenach o silnym zanieczyszczeniu atmosfery. Pr.dotk. Pol. Śląska Gliwice 1972

Przyjęto do druku w grudniu 1975 r.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МОДЕЛИ НЕНАДЕЖНОСТИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Р е з ю м е

В статье представлена математическая модель годовых изменений загрязнённой ненадежности, вытекающая из пуассоновского характера потоков электрических перекрытий. Верификация математической модели произведена на основании данных исследуемых станций 110, а также статистики с линии 110-220 кВ.

ANALYTICAL MODELS OF POLLUTION UNRELIABILITY IN LINE INSULATION

S u m m a r y

There has been proposed a mathematical model of annual changes in pollution unreliability which results from the Poisson's character of pollution flashover flows. The analytical models have been verified on the basis of the data acquired from the testing stations 110 kV and the statistics from 110-220 kV.