ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: ELEKTRYKA z. 137 Nr kol. 1244

Alfred J. KAŁUŻNY

WYKORZYSTANIE WSPOMAGANIA KOMPUTEROWEGO DO ANALIZY STANU NARAŻENIA ZABRUDZENIOWEGO IZOLACJI NAPOWIETRZNEJ WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Streszczenie. W artykule przedstawiono zarys dotychczasowego sposobu rozwiązywania praktycznego problemu oceny stopnia narażenia zabrudzeniowego izolacji napowietrznej w.n. oraz nowe propozycje opisu oddziaływania czynników otoczenia (narażeń zabrudzeniowych i meteorologicznych) na stan powierzchni izolatorów. Opracowane modele matematyczne stanu powierzchni izolatorów oraz wytrzymałości elektrycznej zabrudzeniowej umożliwiają zastosowania nowoczesnych metod wspomagania komputerowego przy pracach projektowych i eksploatacyjnych izolacji napowietrznej w rejonach zabrudzeń przemysłowych.

COMPUTER AIDED ANALYSIS OF ELECTRICAL RESISTANCE OF THE H.V. OVERHEAD INSULATORS IN POLLUTED AREAS

Summary. In this paper the up to date of practical methods for solution and account of the pollution hazard problem on overhead h.v. insulation and proposition of a new method describing an influence of the environmental factors (pollution and meteorological hazard) on surface of the h.v. insulators have been presented.

The mathematical models which are describing the surface state (1) and electrical strength (5), (8) of the h.v. insulators in polluted working condition have enabled the use of the computer aided design and investigation working condition of overhead h.v. insulators in polluted areas.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКИ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НАРУЖНОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Резюме. В статье представлены новые методы оценки степени загрязнения поверхности наружных изоляторов высокого напряжения в определенных условиях эксплуатации и их электрической прочности с использованием компьютерной поддержки для проектирования и эксплуатации изоляторов в.н.

1. WPROWADZENIE

Problem narażeń zabrudzeniowych jest jednym z podstawowych, oprócz napięciowych i mechanicznych wymagań warunkujących bezzakłóceniową pracę izolacji napowietrznej w.n. w zadanych warunkach klimatycznych. Dotychczasowe zasady pracy służb inżynierskich w zakresie projektowania i doboru izolacji napowietrznej w.n. w rejonach zabrudzeniowych opierają się na wytycznych zawartych w normach [9 i 10].

W normie PN-79/E-06303 podano zasady i kryteria oceny narażenia zabrudzeniowego rejonu eksploatacji (klasyfikacja terenu na strefy zabrudzeniowe) oraz wytyczne doboru izolatorów do zadanych warunków zabrudzeniowych, wykorzystujące jednostkową drogę upływu lub laboratoryjne charakterystyki zabrudzeniowe izolatorów.

Norma PN-74/E-04068 podaje zasady wykonywania prób zabrudzeniowych oraz wyznaczania charakterystyki zabrudzeniowej w warunkach równomiernej warstwy zabrudzeniowej. Charakterystyki zabrudzeniowe izolatorów wyznaczone wg [10] dla równomiernej warstwy zabrudzeń wzdłuż drogi upływu mogą być podstawą analizy, znaczenia parametrów konstrukcyjnych izolatorów oraz rodzaju i stopnia zanieczyszczenia ich powierzchni w mechanizmie wyładowania elektrycznego i zmiany wytrzymałości elektrycznej powierzchniowej. Charakterystyka ta może być również podstawą wstępnej klasyfikacji różnych rozwiązań konstrukcyjnych izolatorów, jednak ze względu na zasadniczo różny rozkład zabrudzeń na powierzchni (wzdłuż drogi upływu i po obwodzie) izolatora, w warunkach eksploatacyjnych i podczas prób laboratoryjnych nie może być wykorzystana do oceny możliwości eksploatacyjnych izolatorów.

Aktualne metody badania i oceny rejonów eksploatacji izolacji napowietrznej ze względu na narażenia zabrudzeniowe wg PN [9] pozwalają na ilościowe oznaczenie głównych parametrów zanieczyszczenia atmosfery i podziału terenu na cztery strefy zabrudzeniowe. Brak jest natomiast metod pozwalających na wyznaczenie stopnia narażenia zabrudzeniowego - zmiany stanu powierzchni - izolatorów danych konstrukcji w zadanych warunkach zabrudzeniowych i atmosferycznych w funkcji czasu eksploatacji.

Świadomość niedostatków dotychczas wprowadzonych do praktyki inżynierskich metod, zaleceń i wymagań normatywnych oceny stopnia narażenia zabrudzeniowego oraz odporności zabrudzeniowej izolacji napowietrznej w.n. sprawia, że służby eksploatacji energetyki skłoniły się do rozwiązania problemu zabrudzeniowego drogą przewymiarowania napowietrznych układów izolacyjnych w.n. Przykładowo można podać, że układy izolacyjne linii przesyłowych 110 kV w III i IV strefie zabrudzeniowej są wykonane często jako łańcuchy złożone z dwóch lub trzech ogniw izolatorów. Stosuje się również specjalne przeciwzabrudzeniowe konstrukcje izolatorów, których laboratoryjne charakterystyki zabrudzeniowe są korzystniejsze w porównaniu do konstrukcji standardowych. W tym

kontekście braki - zarówno poznawcze jak i metodyczne - ujęcia problemu zabrudzeniowego izolacji napowietrznej w.n. oraz brak skutecznych zaleceń i wymagań normatywnych sprawiają, że często służby eksploatacji izolacji napowietrznej w.n. w rejonach zabrudzeniowych korzystają z wytycznych określonych na podstawie wieloletnich doświadczeń wyspecjalizowanych zespołów badawczych.

Rozwiązanie problematyki zabrudzeniowej izolacji napowietrznej w.n., z punktu widzenia zadań praktyki inżynierskiej - w szczególności opracowania merytorycznie uzasadnionych metod oceny i doboru, izolacji napowietrznej w.n. wymaga rozwiązania na podstawie wieloletnich (50 lat) wyników badań i doświadczeń następujących zagadnień:

- Badania czynników i parametrów narażeń zabrudzeniowych i klimatycznych oraz ich zmienności losowej i mechanizmu ich oddziaływania na zmianę stanu powierzchni izolatorów, warunkującą obniżenie ich elektrycznej wytrzymałości powierzchniowej.

- Analiza mechanizmu wyładowania zabrudzeniowego i opracowanie modelu matematycznego przeskoku zabrudzeniowego dla równomiernego i nierównomiernego (eksploatacyjnego) rozmieszczenia warstwy zabrudzeniowej na powierzchni izolatora.

- Opracowanie metody wyznaczania odporności zabrudzeniowej - czasu eksploatacji do przeskoku - izolatorów danych konstrukcji pracujących w zadanych warunkach narażeń środowiskowych (zabrudzeniowych i klimatycznych) i napięciowych w funkcji ich zmienności losowej.

Wykonanie tych zadań może być podstawą opracowania wytycznych:

- konstrukcyjnych,
- doboru i eksploatacji izolatorów w warunkach narażeń zabrudzeniowych.

Ze względu na zakres i charakter zadań z tym związanych rozwiązanie ich oraz przyszłościowe wdrożenie do praktyki inżynierskiej staje się obecnie możliwe przy wykorzystaniu wspomagania komputerowego.

2. MODEL MATEMATYCZNY STANU POWIERZCHNI IZOLATORÓW W.N.

Wieloletnie badania i obserwacje wpływu zanieczyszczeń atmosfery na stan powierzchni izolatorów napowietrznych pozwoliły na wybór i zdefiniowanie głównych parametrów charakteryzujących rodzaj i stopień zanieczyszczenia atmosfery, od których zależy mechanizm tworzenia się warstwy zabrudzeniowej na powierzchni izolatorów.

Opierając się na analizie zjawisk fizycznych warunkujących osadzanie się ziaren zanieczyszczeń (pyłów) na powierzchni izolatorów, opracowano [5] model matematyczny opisujący zmianę stanu powierzchni izolatorów, zależnie od ich parametrów konstrukcyjnych, rodzaju położenia roboczego oraz parametrów narażeń zabrudzeniowych i oddziaływania czynników meteorologicznych w funkcji czasu eksploatacji. Zależność funkcyjną stanu powierzchni izolatorów napowietrznych w rejonach zabrudzeń przemysłowych przedstawia równanie (1)

$$\kappa_p(\tau,t_e) = \kappa(\tau)_{max5\%}\frac{Q_c'Z(1)}{\gamma'}\,\delta_d\left(1-\zeta\frac{L_{ucz}}{L_u}\right)\nu_d t_e(1)\left[1-e^{\frac{-t_e}{T}}\right]uS \qquad (1)$$

gdzie:

$\kappa(\tau)_{max5\%}$ - maksymalna wartość konduktywności wodnego roztworu zabrudzeń w temperaturze τ,

Q'_c - intensywność opadu pyłu w kg na m² i dobę,

γ' - średnia geometryczna gęstości masy zabrudzeń,

$t(1)$ - jednostkowy przedział czasu eksploatacji, określający pełny cykl zmian warunków klimatycznych - jeden rok,

$Z(1)$ - zawartość cząstek rozpuszczalnych w całkowitej masie zabrudzeń przy częstotliwości skumulowanej równej jedności,

δ_d - współczynnik częstości i intensywności deszczu.

ζ - częstość deszczu w roku o intensywności ≥0,1mm/min,

$$\delta_d = \exp\left(-\frac{mu}{w_d}\right) \qquad (2)$$

m - średnia liczba dni w roku z opadami o intensywności ≥0,1mm/min,

w_d - liczba dni okresu opadów letnich,

u - udział opadów okresu letniego w rocznej sumie opadów,

ν_d - współczynnik konduktywności wody deszczowej.

$$\nu_d = 1+0{,}1\sum_{i=1}^{i=m}\frac{\kappa_{rzi}-\kappa_{wn}}{\kappa_{wn}}Z(\kappa_{rzi}) \qquad (3)$$

κ_{wn} - konduktywność wody deszczu normalnego,

κ_{rzi} - rzeczywista konduktywność wody deszczowej w danym rejonie eksploatacji,

$Z(\kappa_{zi})$ - częstość deszczu w roku o określonej konduktywności,

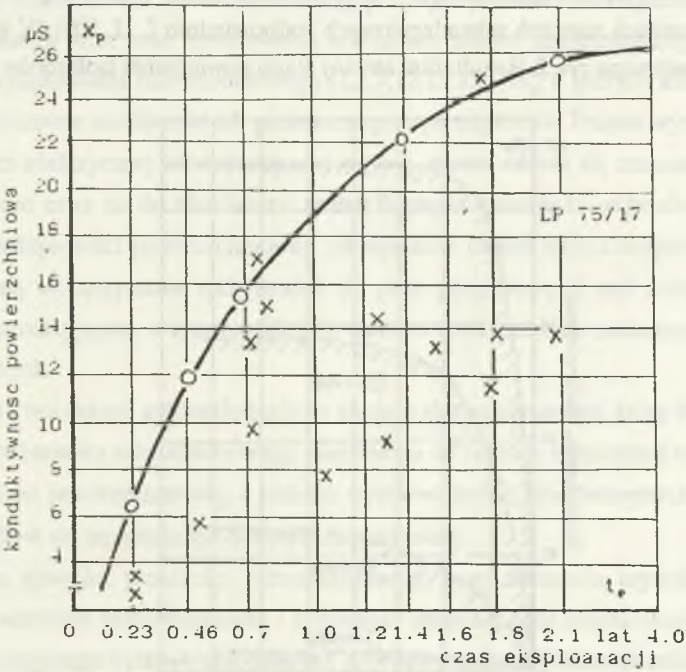
L_{uci}/L_u - iloraz drogi upływu; czyszczonej deszczem i całkowitej izolatora,

t_e - czas eksploatacji izolatora,

T - stała czasowa funkcji zmian konduktywności powierzchniowej izolatora zdefiniowana zależnością

$$T = \frac{10^{-3}}{Z(1)Q_{c\max(5\%)}} e^{-\sigma_d \frac{L_{uci}}{L_u}} [1 + \sin(45 - \alpha)] \tag{4}$$

Wyniki weryfikacji modelu matematycznego przeprowadzonej na podstawie wyników pomiarów terenowych służb energetyki przedstawiono przykładowo na rys.1.

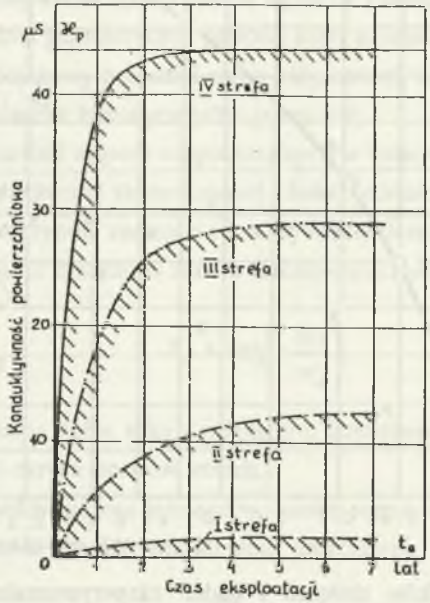


Rys. 1. Porównanie wyników obliczeń i badań eksperymentalnych konduktywności powierzchniowej izolatora LP 75/17 w III strefie zabrudzeniowej:
- O - - charakterystyka wg modelu matematycznego
- x - - wartości pomierzone na stacji zabrudzeniowej (Bolesław, Dwory, Kędzierzyn i Zabrze)

Fig. 1. Comparison of the analytical and experimental results on the surface conductivity of the insulator LP 75/17 in III polluted zone:
- O - - The results of the mathematical model [1]
- x - - The experimental results for polluted stations (Bolesław, Dwory, Kędzierzyn i Zabrze)

Analiza porównawcza wyników obliczeniowych i pomiarowych pokazuje, że są one zbieżne zarówno co do wartości granicznych konduktywności powierzchniowej, jak i ich zmiany z czasem eksploatacji. Można więc stwierdzić, że opracowany model matematyczny właściwie opisuje mechanizm zmiany stanu powierzchni izolatorów, zdefiniowany przez konduktywność powierzchniową $\kappa_p(\tau, t_e)$ w rejonach zabrudzeń przemysłowych. Ten statyczny model matematyczny, wyposażony w programie komputerowym w generatory wielkości zmiennych losowych, pozwala na dynamiczne odwzorowanie narażenia zabrudzeniowego izolatorów w funkcji czasu eksploatacji w wybranym terenie zabrudzeniowym. Analiza numeryczna stanu powierzchni izolatorów umożliwia badania symulacyjne zachowania się zadanych rozwiązań konstrukcyjnych izolatorów w różnych warunkach narażeń zabrudzeniowych i meteorologicznych, zależnie od położenia roboczego (pionowe, poziome).

Wyniki badań zmiany stanu powierzchni izolatora LP 75/17 eksploatowanego w różnych warunkach narażeń zabrudzeniowych (odpowiednio I, II, III i IV strefy wg PN [9]) przedstawiono na rys. 2. Rezultatem zmiany stanu powierzchni izolatorów (utworzenie



Rys. 2. Charakterystyki stanu zabrudzenia izolatora LP 75/17 w różnych warunkach eksploatacji

Fig. 2. Characteristics of the state of pollution of LP 75/17 insulator in various conditions of operation

się warstwy zabrudzeniowej) jest obniżenie się ich wytrzymałości elektrycznej w takim stopniu, że przy napięciu roboczym możliwe jest wyładowanie zupełne - przeskok zabrudzeniowy.

3. MODEL MATEMATYCZNY WYŁADOWANIA ZABRUDZENIOWEGO

Badania laboratoryjne i obserwacje mechanizmu powierzchniowego wyładowania zabrudzeniowego, ze względu na duże znaczenie praktyczne, prowadzone są od 1940 r. w wielu światowych ośrodkach naukowo-badawczych i są opisane w kilkudziesięciu poważnych publikacjach. Wynikiem prowadzonych badań jest opracowanie i znormalizowanie (IEC) [3,10] metod badań laboratoryjnych wytrzymałości elektrycznej zabrudzeniowej izolatorów w.n. oraz opracowanie kilkunastu modeli matematycznych powierzchniowego wyładowania zabrudzeniowego [1,2,7,12,13,15 i 16], z których kilka [1,2,7,15] stwarza ograniczone możliwości ich praktycznego wykorzystania. Jednak wyniki obliczeń wytrzymałości elektrycznej zabrudzeniowej wg ww. metod różnią się znacznie, zarówno co do poziomu oraz co do charakteru zmian napięcia przeskoku zabrudzeniowego w funkcji konduktywności powierzchniowej, od wyników badań laboratoryjnych. Fakty te uniemożliwiają wykorzystanie tych modeli do prac projektowych nad nowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, a tym bardziej do doboru izolatorów do zadanych warunków eksploatacyjnych.

Wniosek ten skłonił autora do budowy modelu matematycznego, który lepiej opisuje mechanizm przeskoku zabrudzeniowego niezależnie od rodzaju konstrukcji oraz wartości konduktywności powierzchniowej, a różnice wyników badań laboratoryjnych i analitycznych są możliwe do przyjęcia dla praktyki inżynierskiej.

Analiza zjawiska przeskoku zabrudzeniowego przy założeniu kryterium energetycznego w warstwie zabrudzeniowej i krytycznej długości łuku cząstkowego (kaskadowego), warunkującego wyładowanie zupełne, przy równomiernej warstwie zabrudzeniowej przedstawiona jest w pracy [5]. Pozwoliła ona autorowi na opracowanie modelu matematycznego wytrzymałości zabrudzeniowej izolatora. Model ten opisuje poziom 50–procentowego napięcia przeskoku zabrudzeniowego $U_{\mu\, 0,5}$ w funkcji parametrów konstrukcyjnych (danych katalogowych) i konduktywności powierzchniowej izolatora κ_p.

Algorytm tej funkcji, dla warunków równomiernego rozkładu warstwy zabrudzeniowej, przedstawia zależność (5)

$$U_{pz0,5} = 2{,}43\left[nfp^{1,136}\left(1+\frac{d\ln\frac{D}{d}}{p\cos\alpha}\right)\left(\frac{\ln\frac{D}{d}}{\cos\alpha}\right)^{0,86}\right]^{0,5}\frac{1}{\log\frac{\kappa_p}{\kappa_{po}}}\ [kV] \qquad (5)$$

gdzie:

f - współczynnik kształtu,

D, d - średnica klosza i pnia, w cm,

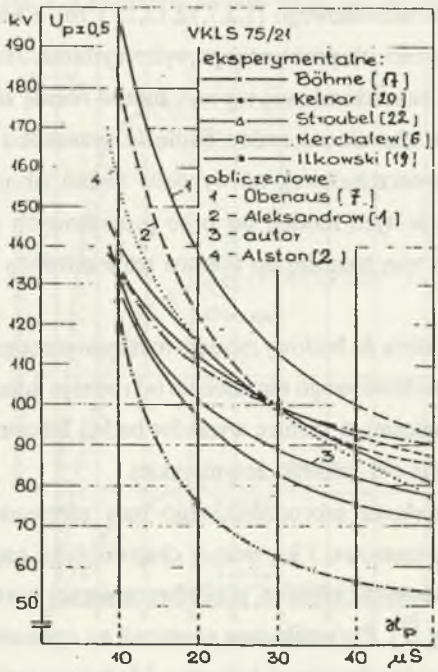
n - liczba kloszy,

p - podziałka kloszowa, w cm,

α - kąt pochylenia kloszy,

κ_{po} - konduktywność odniesienia (początkowa) zapłonu wyładowania zabrudzeniowego,

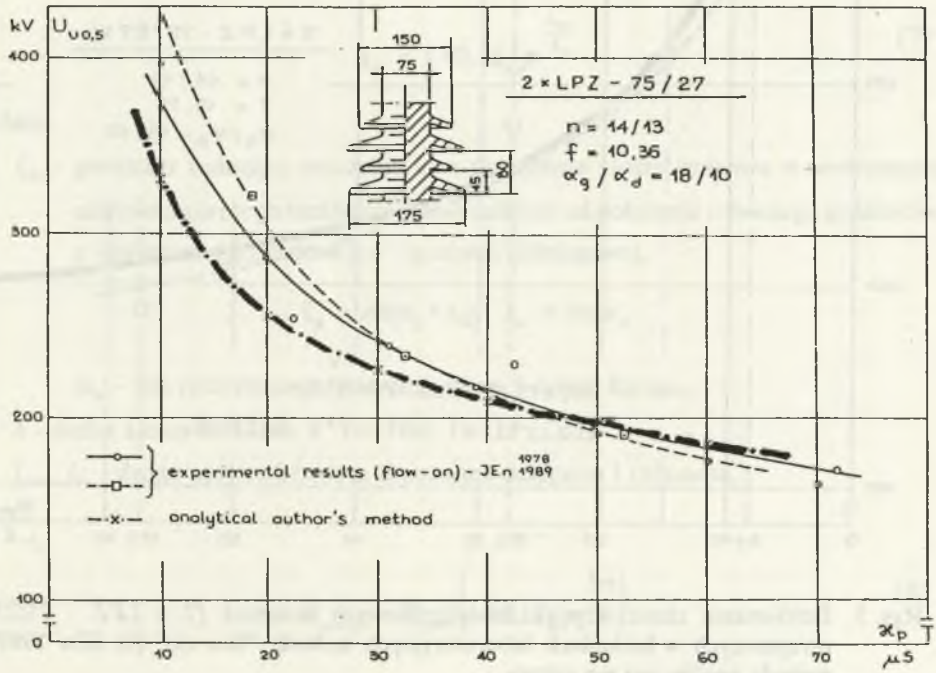
κ_p - konduktywność powierzchniowa izolatora.



Rys. 3. Zestawienie charakterystyk zabrudzeniowych izolatora VKLS 75/21 wyznaczonych wg dotychczasowych metod analitycznych i eksperymentalnych oraz wg metody autora

Fig. 3. Specification of the pollution characteristics of the insulator VKLS 75/21 determined according to the author's method

Model ten weryfikowano przez porównanie charakterystyk analitycznych i eksperymentalnych, które przykładowo pokazano na rys. 3, 4 i 5. Na podstawie analizy tych danych oraz biorąc pod uwagę trudności w dotrzymaniu wymogów dotyczących badań laboratoryjnych, np. równomierności warstwy zabrudzeniowej, można powiedzieć, że opracowany model dobrze opisuje zjawisko przeskoku zabrudzeniowego i z wystarczającą dla praktyki inżynierskiej dokładnością.

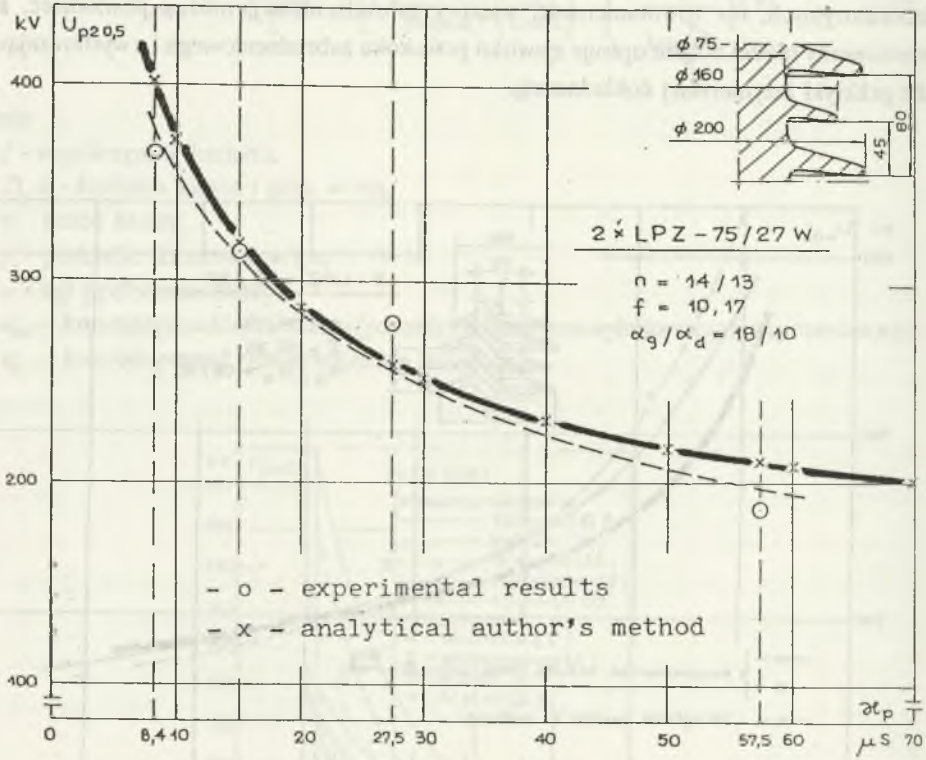


Rys. 4. Porównanie charakterystyk zabrudzeniowych izolatora (2 x LPZ 75/27) otrzymanych w badaniach laboratoryjnych metodą flow-on w 1978 i 1989 w IEn i metodą analityczną wg autora

Fig. 4. Comparison of the pollution characteristics of insulator (2 x LPZ 75/27) obtained on research: experimental (flow-on; IEn, 1978 and 1989) and analytical author's method

Przebiegi charakterystyk analitycznych i eksperymentalnych są porównywalne zarówno co do poziomu napięcia przeskoku, jak i charakteru jego zmiany w funkcji konduktywności powierzchniowej. Różnice pomiędzy charakterystyką analityczną wg zależności (5) i eksperymentalnymi (wg różnych autorów) są mniejsze od różnic pomiędzy

rezultatami danych eksperymentalnych (wg tych samych metod) otrzymanymi w różnych ośrodkach naukowo-badawczych.



Rys. 5. Porównanie charakterystyk zabrudzeniowych izolatora (2 x LPZ - 75/27w) otrzymanych w badaniach laboratoryjnych metodą "flow-on" (w IEn 1989) i metodą analityczną wg autora

Fig. 5. Comparison of the pollution characteristics of insulator (2 x LPZ - 75/27w) obtained in research experimental (flow-on, IEn 1989) and analytical author's method

Budowę modelu matematycznego wytrzymałości elektrycznej izolatora z nierównomierną eksploatacyjną warstwą zabrudzeniową oparto na sprawdzonym modelu dla równomiernego zabrudzenia powierzchni izolatora z uwzględnieniem czyszczącego oddziaływania deszczu na powierzchnię izolatora. Zagadnienie to zostało rozwiązane przez opracowanie współczynnika nierównomiernego rozkładu warstwy zabrudzeniowej η_{α} i

wprowadzenie go do modelu wg zależności (5). Wytrzymałość elektryczna izolatora z nierównomierną warstwą zabrudzeń wzdłuż drogi upływu opisana jest zależnością (6)

$$U_{pze0,5} = U_{pz0,5} \cdot \eta_{nz} \tag{6}$$

gdzie:

η_{nz} - współczynnik nierównomiernego rozkładu warstwy zabrudzeniowej,

$$\eta_{nz} = 1 + 0{,}1\,\xi_{p,o}\, n^{\frac{L_{ucz}}{L_u}} \tag{7}$$

gdzie:

$\xi_{p,o}$ - parametr opisujący znaczenie kąta pochylenia kloszy izolatora w wymuszeniu nierównomiernego rozkładu warstwy zależnie od położenia roboczego izolatorów, p - pionowe (przelotowe); o - poziome (odciągowe),

$$\xi_p = \sin(\alpha_g + \alpha_d); \quad \xi_o = \cos\alpha_d$$

$\alpha_{g,d}$ - kąt pochylenia powierzchni górnej i dolnej klosza.

n - liczba kloszy izolatora,

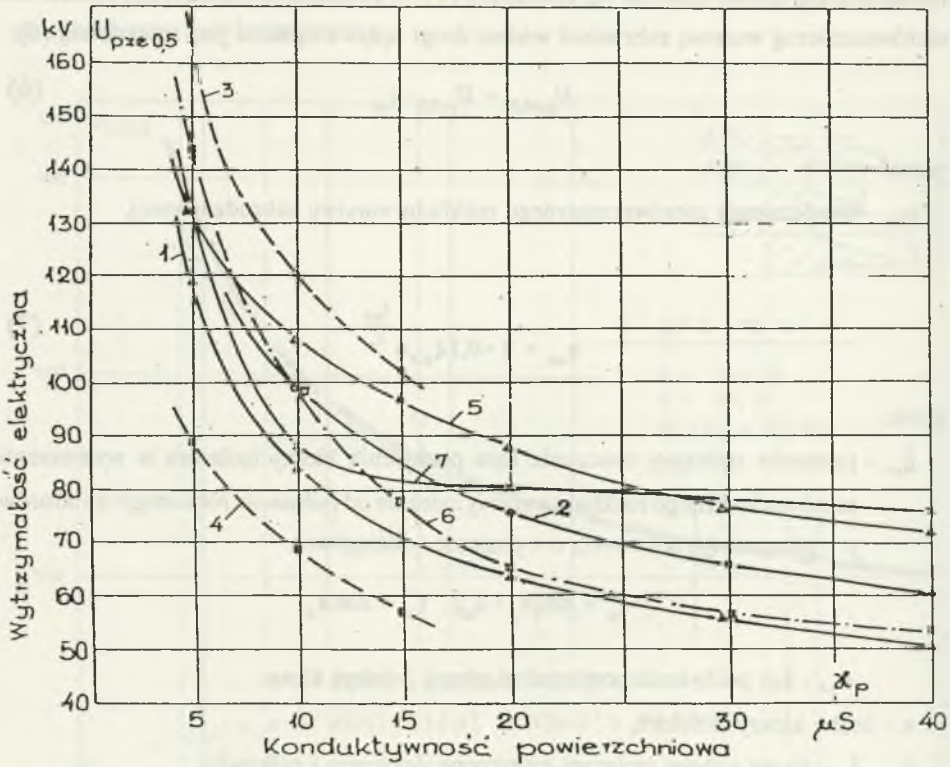
L_{ucz}, L_u - droga upływu izolatora czyszczona deszczem i całkowita,

czyli

$$U_{pze0,5} = U_{pz0,5}\left(1 + 0{,}1\,\xi_{p,o}\, n^{\frac{L_{ucz}}{L_u}}\right) \tag{8}$$

Weryfikację modelu matematycznego przedstawiono na rys. 6.

Prace projektowe oraz dobór układów izolacyjnych wymagające badań symulacyjnych warunków eksploatacyjnych w szerokim zakresie zmian parametrów konstrukcyjnych i terenowych umożliwia zastosowanie wspomagania komputerowego. Schemat blokowy programu komputerowego obliczania wytrzymałości - charakterystyk zabrudzeniowych $U_{pze\,0,5} = f(\kappa_p)$ - izolatorów napowietrznych w.n. przedstawiono w pracy [5].



Rys. 6. Porównanie wyników badań laboratoryjnych wytrzymałości zabrudzeniowej izolatora LP 75/14 z nierównomierną warstwą zabrudzeniową wzdłuż drogi upływu, w funkcji średniej wartości konduktywności powierzchniowej, z wynikami analitycznymi autora:

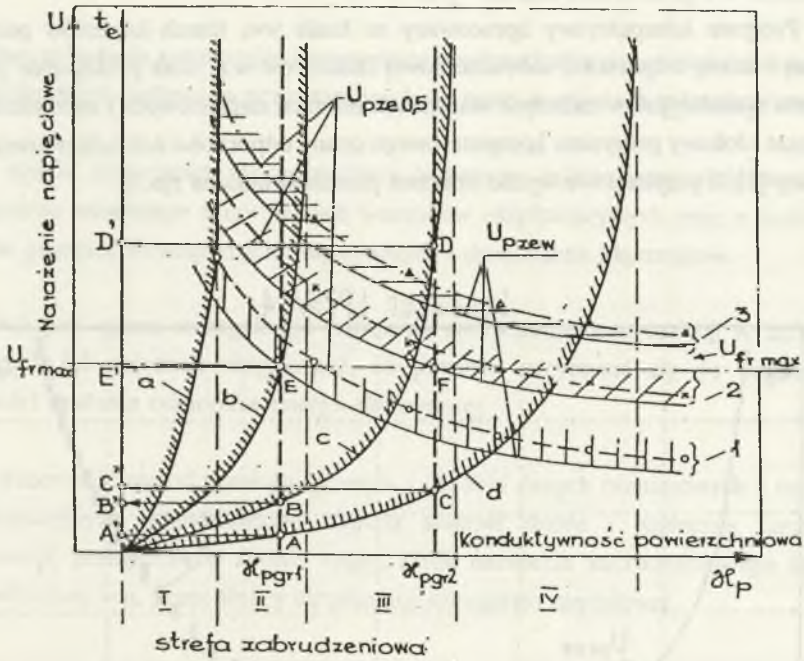
1 - poziom napięcia wytrzymywanego wg metody autora, 2 - poziom napięcia przeskoku 50% wg metody autora, 3 - charakterystyka zabrudzeniowa dla równomiernej warstwy zabrudzeniowej [18], 4 - charakterystyka zabrudzeniowa dla nierównomiernej warstwy zabrudzeniowej [18], 5 - charakterystyka zabrudzeniowa dla rozkładu zabrudzeń w klimacie suchym [21], 6 - charakterystyka zabrudzeniowa dla równomiernego rozkładu zabrudzeń [21], 7 - charakterystyka zabrudzeniowa dla nierównomiernego zabrudzenia będącego wynikiem samooczyszczenia deszczem [21]

Fig. 6. Comparison of laboratory test results on the pollution strength of the insulator LP 75/74 with a non-uniform pollution layer a long the leakage path, in the function of the mean value of surface conductivity, with the analitical results of the author:

1 - level of withstand voltage acc. to the author's method, 2 - level of 50% flashover voltage acc. to the author's method, 3 - pollution characteristic for a non-uniform pollution layer [18], 4 - pollution characteristics for a non uniform pollution layer [18], 5 - pollution characteristics for the distribution of pollution in dry climate [21], 6 - pollution characteristic for a uniform distribution of pollution [21], 7 - pollution characteristic for a non-uniform pollution resulting from the self-cleaning by rain [21]

4. ODPORNOŚĆ ZABRUDZENIOWA IZOLACJI W.N.

Metoda wyznaczania odporności zabrudzeniowej izolatorów wykorzystuje model matematyczny charakterystyki stanu powierzchni izolatorów w funkcji czasu ich eksploatacji oraz model matematyczny zmian wytrzymałości zabrudzeniowej w funkcji narażenia zabrudzeniowego, przy zadanych możliwych stanach narażeń napięciowych napięć roboczych i przepięć długotrwałych. Idea metody w przykładzie graficznym przedstawiona jest na rys. 7.



Rys. 7. Metoda analityczno-wykreślna wyznaczania odporności zabrudzeniowej izolatorów napowietrznych wysokiego napięcia:

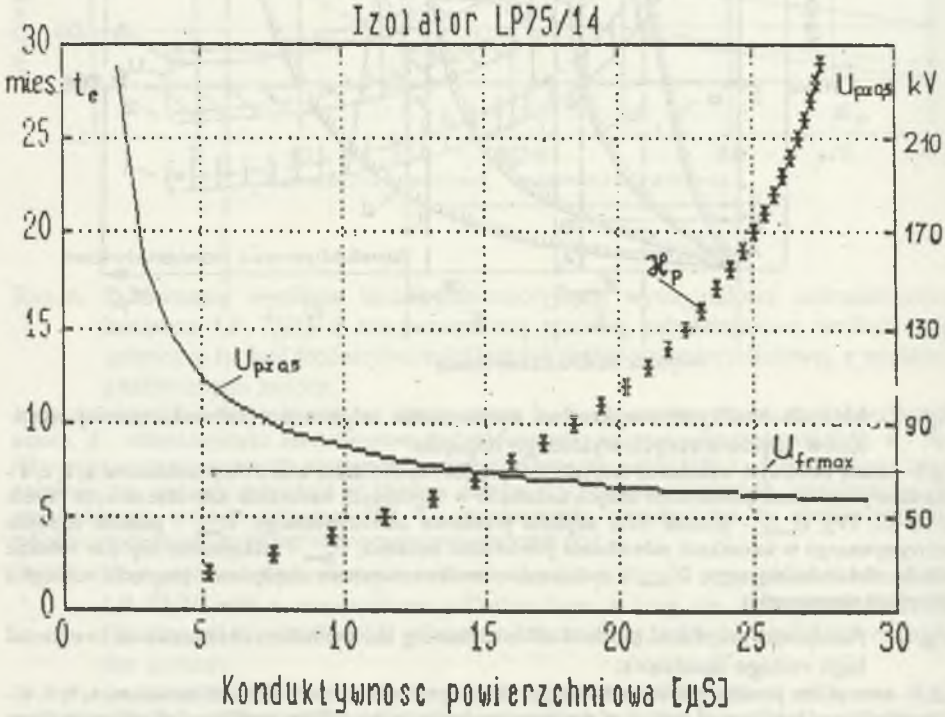
1,2,3 - obszar możliwych wyładowań zabrudzeniowych dla odpowiednich konstrukcji izolatorów, a, b, c, d - charakterystyka stanu powierzchni danych izolatorów w określonych warunkach zabrudzeniowych (strefa I, II, III, IV), $U_{pze0,5}$ - poziom 50% napięcia przeskoku zabrudzeniowego, U_{pzew} - poziom napięcia wytrzymywanego w warunkach zabrudzenia powierzchni izolatora, U_{fmax} - maksymalne napięcie robocze układu elektroizolacyjnego, U^*_{fmax} - maksymalne możliwe narażenie napięciowe (napięcia robocze i przepięcia długotrwałe)

Fig. 7. Analytical-graphical method of determining the pollution resistance of overhead high voltage insulators:

1,2,3 - area of the possible pollution discharges for the particular constructions of insulators, a, b, c, d - characteristic of the state of surface of the given insulators in the definite conditions of pollution (zone I, II, III, IV) $U_{pze\,0,5\%}$ - level of a 50% voltage of the pollution lashover; U_{pzew}- level of withstand voltage in the conditions of pollution of the insulator surface; U_{fmax} - maximum operating voltage of the electro-insulating system, U^*_{fmax} - maximum possible voltage hazard (operating voltage and longlasting over-voltage)

Program komputerowy opracowany w pracy ujmuje podstawowe narażenia i czynniki warunkujące bezzakłóceniową pracę izolatorów. Pozwala on ocenić zarówno stopień narażenia zabrudzeniowego jak i wytrzymałość elektryczną zabrudzeniową izolatora oraz zmianę narażeń napięciowych w tym przepięć wolnozmiennych (ms-s). Uwzględnienie w ocenie odporności zabrudzeniowej znaczenia przepięć długotrwałych, z równoczesnym oddziaływaniem napięcia roboczego [14], stanowi dalsze istotne urealnienie, w stosunku do warunków eksploatacyjnych, metody modelowej oceny możliwości eksploatacyjnych izolatorów w rejonach zabrudzeniowych.

Program komputerowy opracowany na bazie ww. trzech kryteriów pozwala na analizę i ocenę odporności zabrudzeniowej izolatorów w.n. oraz praktycznie pełne ich badania symulacyjne w zadanych warunkach narażeń napięciowych i zabrudzeniowych. Schemat blokowy programu komputerowego oceny odporności zabrudzeniowej podano w pracy [5], a przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Przykładowe wyniki obliczeń uzyskane z programu OZIWN
Fig. 8. Examples of the results of calculations obtained from the program OZIWN

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawiona w artykule koncepcja rozwiązania problemu oceny możliwości eksploatacyjnych w rejonach o zanieczyszczonej atmosferze, wykorzystująca wspomaganie komputerowe na podstawie modeli matematycznych zjawisk fizycznych, stwarza możliwości pokonania ogromnych trudności warsztatowych - wykonawczych - związanych zarówno z dużą różnorodnością i zmiennością parametrów fizycznych oraz ich zmiennością losową. Z analizy przedstawionej metody wynikają następujące wnioski szczegółowe:

- Możliwe są badania symulacyjne zmiany stanu powierzchni i wytrzymałości elektrycznej konstrukcyjnych izolatorów przeznaczonych do pracy w rejonach zabrudzeniowych.

- Przy ocenie odporności zabrudzeniowej izolatorów należy uwzględnić narażenia napięciowe wynikające z normalnych warunków eksploatacyjnych oraz z możliwych stanów przepięć wewnętrznych długotrwałych - dynamiczne i łączeniowe.

- Możliwa jest ocena szczególnego narażenia zabrudzeniowego izolacji w zadanych miejscach lub rejonach eksploatacji, co powinno przyczynić się do zwiększenia pewności zasilania odbiorców energii elektrycznej.

- Po opracowaniu metod pomiaru, przesyłu i obróbki danych pomiarowych z terenów eksploatacyjnych, przedstawiona metoda stanowi dobre i użyteczne narzędzie obserwacji, praktycznie w sposób ciągły, stanu narażenia zabrudzeniowego izolacji napowietrznej w.n. przez służby eksploatacji energetyki zawodowej.

LITERATURA

1. Aleksandrow G.N., Kizewetter W.E.: *Razwitije razriada w dol prowodiaszczej powierchnosti wysokowoltnoj izolacji w elektriczeskich sietiach.* Izw. Wyz. Ucz. Zaw. Energetika nr 5, 1962, s. 20-27.
2. Alston L.L., Żołędziowski S.: *Growth of discharges on Polluted insulation.* Proc. IEE, t. 110, z. 7, 1963, s. 1260-1266.
3. IEC Document 36/CO/43. *Raport on artificial pollution testes for H.V. insulators to be used on a.c.* Systems Publ. 507, 1975.

4. Kałużny A.: *Wpływ warunków otoczenia na konduktywność powierzchniową warstwy zabrudzeniowej*. ZN Pol. Śl. Elektryka, z. 76, 1981, s. 81-89.
5. Kałużny A.: *Metody modelowe oceny własności izolatorów napowietrznych w.n. w warunkach zabrudzeniowych*. ZN Pol. Śl. Elektryka, z.112, 1988 r.
6. Mierchałow S.d., Sołomonik E. A.: *Wlijanije konfiguracji izolatorow na wybor dliny girland*. W.L. El. S. nr 7, 1968, s.89-93.
7. Obenaus F.: *Frendschichtüberschlag und Kriechweglänge*. Deut. Elektr., t.12, z.4, 1958, s.135-137.
8. Pilling J. i in..: *Bewertung partieller Schichtleitfähigkeitsmessungen natürlich verschmutzter Isolatoren*. Elektrie, H.11, 1982, s.518-602.
9. PN-79/E-06303: *Urządzenia elektroenergetyczne w.n. Narażenia zabrudzeniowe izolacji napowietrznej i dobór izolatorów do warunków zabrudzeniowych.*
10. PN-74/E-04068: *Pomiary wysokonapięciowe. Próby zabrudzeniowe izolacji napowietrznej.*
11. Pohl Z., Sojda E.: *O niektórych zasadniczych zagadnieniach metodyki prób zabrudzeniowych*. Prace Nauk. Inst.P.E. i Elektrotechnologii, Pol.Wr., nr 4, 1971, s.109-119.
12. Rizk F.A.M.: *Mathematical models for pollution flashover*. Electra, nr 78, s.71-108.
13. Szanusijew A.S.: *Issledowanije wlijanija formy izolatorow na ich włagorazriadnyje napriażenija w usłowijach Tadżykistana*. Dissertacja na soiskanije naucznoj stiepieni k.t.n., LPI, Leningrad, 1971.
14. Seta T., i in.: *A study of short-time AC flashover voltage on contaminated to transmission line insulation design*. IEEE Trans.P.A.S., nr 5, 1976, s.1723-1729.
15. Sołomonik E.A.: *Issledowanije i rasczot razriadnych charakteristik zagriazniennych izolatorow*. Izw. NIIPT, nr 11, Leningrad, 1965, s.19-73.
16. Vilkins R.: *Flashover voltage of high voltage insulators with uniform surface pollution flims*. Proc.Inst.Electr.Eng., 116, nr 3. 1969, s.457-465.
17. Böhme H., Obenaus F.: *Pollution flashover tasts on insulator laboratory and in systems and the model concept creepagr path flashover*. CIGRE, rep.407, 1966.
18. Hirsh F. i in.: *Flashover of insulators under natural pollution and HVDC*. Trans. P.A. a S., 1975, nr 1, s.45-50.
19. Ilkowski K.: *Badania izolatorów długopniowych zabrudzonych warstwą* Prace nauk. Inst. Podst. Elektr. i Elektrotechn. Pol. Wrocławskiej nr 14, seria: Konferencje nr 2, 1976, s.26-29.
20. Kelnar O., Kohutowa D. i in.: *Vezkum wztahu mezi prowoznim w laboratornim znecistenim izolatory*. Vyzkumny Ustav Energeticky, Praha 1970.

21. Nesser E.: *Verhalten von Isolatoren bei unterschiedlich verteilter Fremdschiecht*. ETZ-A, t.84, z.11, 1963, s.353-357.
22. Streubel H.: *Die Regenüberschlagwechselspannung von Isolatoren bei hoher Regenwasserleitfähigkeit und Unterschiedlicher Isolatorenlage*. Hermsdorfer Techn. Mitt., nr 22, 1968, s.696-700.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Romuald Włodek

Wpłynęło do Redakcji dnia 28 marca 1994 r.

Abstract

In this paper the up to date practical methods for solution and evaluating of the pollution hazard problem on overhead h.v. insulation and suggestion of a new method for describing an electrical property of h.v. insulators in contamination working conditions are presented.

Mathematical model of surface state of the h.v. insulators is described as a function surface conductivity of the constructions parameters of the insulator and pollution and meteorogical factors in polluted areas is presented by equation (1).

The surface electrical strength of h.v. insulator contaminated by uniform and non uniform layer is described as a function of the construction parameters of insulator and the surface conductivity of the insulator. The mathematical models of electrical strength of the of the h.v. insulator in contaminated working conditions are presented by equation (5) and (8).

These models are fundamental for development of a method evaluating the electrical resistance of the h.v. overhead insulator in polluted areas. This method evaluating the electrical resistance of the h.v. overhead insulator in polluted areas. Is presented for an example in fig 7.

The new mathematical models describing the electrical property in contaminated working conditions make it possible to use the computer aided design and exploitation operation of the h.v. overhead insulators in polluted areas.