ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1970

Seria: ELEKTRYKA z. 28 Nr kol. 275

TADEUSZ STĘPNIEWSKI, ALFRED KAŁUŻNY

IZOLATORY DŁUGOPNIOWE PRZECIWZABRUDZENIOWE Z KLOSZAMI DASZKOWYMI I ŚRUBOWYMI

Streszczenie. Omówiono wytyczne projektowania izolatorów długopniowych przeciwzabrudzeniowych. Podano wzory dla przybliżonego obliczenia napięcia przeskoku zabrudzeniowego. Przedstawiono własności nowych przeciwzabrudzeniowych izolatorów z kloszami daszkowymi i śrubowymi oraz ich zastosowanie.

1. W s t ę p

Do budowy krajowych linii na napięcie 110, 220 i 400 kV stosowane są obecnie wyłącznie izolatory wiszące długopniowe, posiadające wiele cennych zalet w stosunku do izolatorów kołpakowych, z których najważniejszą jest nieprzebijalność.

Wymagania dotyczące wytrzymałości, stawiane izolatorom dla sieci ze skutecznie uziemionym punktem zerowym, dla współczynnika uziemienia $k_z < 80\%$, przedstawione w tablicy 1.

Wymagania obejmują wartości napięć probierczych przemiennych (50 Hz) i udarowych (1,2/50 μs) oraz długości dróg upływu dla różnych stref zabrudzeniowych.

Główne wymiary izolatorów długopniowych, stosowanych w kraju i odpowiadających normie PN-61/E-91056, przedstawione są w tablicy 2.

Powszechnie stosowane były dotychczas izolatory LP 75/12, głównie dla linii 110 kV, które odpowiadają wymaganiom napięć probierczych również po założeniu osprzętu ochronnego. Ze wzglę-

Tablica 1

Wymagania napięciowe dla izolatorów w sieciach 110–400 kV ($k_z \leq 80\%$)

Napięcie znamionowe sieci	Najwyższe napięcie sieci	Napięcie probiercze wg PN-68/E-05001 50 Hz	Napięcie probiercze wg PN-68/E-05001 udarowe 1,2/50 μs	Długość drogi upływu wg PN-68/06304 Lu w cm dla stref zabrudzeniowych			
U_n kV	U_m kV	U_{pr} kV	U_{pu} kV	I	II	III	IV
110	123	185	450	176	209	286	385
220	245	395	900	352	418	572	770
400	420	680	1550	640	760	1040	1400

du na małą drogę upływu (169 cm) stosowane są tylko w terenach bez zabrudzeń przemysłowych,w łańcuchach o 1 ogniwie dla 110 kV i 2 ogniwach dla 220 kV, jako izolatory odpowiadające klasie izolacji normalnej wg PN-61/E-06303, wymagającej odpowiednio długości drogi upływu 143 oraz 286 cm.

Dla stref zabrudzeniowych potrzebne są izolatory specjalne, przeciwzabrudzeniowe o długiej drodze upływu,odpowiadającej obecnym znowelizowanym wyższym wymaganiom wg PN-68/E-06303.Stosowane dotychczas izolatory przeciwzabrudzeniowe typu LKZ 280/170 (opracowane przez autora T.S. przed 13 laty) są typu kołpakowego. Ze względu na przebijalność izolatory te nie odpowiadają już obecnym wymaganiom i zgodnie z potrzebami energetyki powinny być zastąpione przez izolatory nieprzebijalne przeciwzabrudzeniowe. Na zlecenie Zakładów Energetycznych Okręgu Południowego, Katedra Wysokich Napięć opracowała w latach 1965

Tablica 2

Główne wymiary i obliczeniowe napięcia przeskoku zabrudzeniowego izolatorów długopniowych LP

Wykonanie		PN-61/E-91056		Katedry Wysokich Napięć				Niemieckie import NRD	
Oznaczenia izolatora		LP75/12	LP75/14	LP75/17	LPZ75/17	LP75/20	LPZ75/20	VKLF75/16	VKLS75/21
Wymiary główne	Średnica pnia d mm	75	75	75	75	75	75	75	75
	Liczba kloszy n^p -	12	14	17	17	20	20	16	21
	Średnica klosza D mm	150	150	175	175	175	175	170	195
	Skok H cm	1120	1270	1120	1120	1270	1270	1270	1270
	Długość cz.izol. L cm	92	106	92	92	107	107	106	106
	Droga upływu Lu cm	169	197	225	250	264	295	250	335
	Współcz. kształtu f -	6,0	6,7	6,8	7,4	8,2	8,9	7,5	7,7
	Specyficzne wartości na 1 cm długości f_1	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07
	a_1 $\frac{cm}{cm}$	1,84	1,86	2,5	2,72	2,49	2,76	2,36	3,16
	Podziałka kloszowa p mm	75	75	52	52	52	52	65	45
	Wysięg klosza w mm	37,5	37,5	50	50	50	50	47,5	60
	Stosunek w : p -	0,5	0,5	0,96	0,96	0,96	0,96	0,73	1.33
Odpowiada strefie o drodze upływu Lu cm			I 176	II 209	II 209	II 209	III 286	II 209	III 286
Napięcie przeskoku zabrudzeniowego z zależności $U_{pz} = A\,L\sqrt{\frac{a_1 f_1}{\varkappa}}$ [kV] dla A = 6,7 i różnych $\varkappa$	$\varkappa$ = 10	68	77	84	92	99	105	92	109
	20	47	53	58	63	68	72	63	75
	30	38	43	47	52	56	59	52	61
	40	34	39	42	46	49	52	46	54
	50	30	34	37	40	43	46	40	48

1968 nowe typy izolatorów długopniowych, dostosowując je do aktualnych wymagań podanych w tablicy 1. Własności tych izolatorów podane są w tablicy 2, która zawiera również dane o izolatorach importowanych z NRD, stosowanych w budowie linii krajowych.

2. Warunki pracy izolacji w strefach zabrudzeniowych

Zapylenie atmosfery na terenach uprzemysłowionych, szczególnie silnie występujące w okręgu górnośląskim, powoduje osadzenie się na powierzchni izolatorów powłoki, która po zawilgoceniu, głównie przy mgle lub mżawce, zwiększa bardzo znacznie swą konduktywność powierzchniową $\varkappa$ osiągając wartości przy małym stopniu zabrudzenia do ok. 10 μS, przy średnim do 20 uS,a przy dużym nawet do ok. 40 μS.

Powłoka półprzewodząca jest nierównomiernie rozmieszczona po powierzchni izolatora, co przy przepływie prądu upływnościowego, dochodzącego do kilkudziesięciu mA, powoduje wysuszanie pewnych stref i powstawanie zwierających je łuków, wędrujących po powierzchni poprzecznie do osi izolatora. Zapłony cząstkowych łuków bocznikują obszary suche o dużej rezystancji. Wyładowania te o charakterze nieustalonym powodują występowanie nagłych wysokoków prądu (przetężeń) o czasie trwania od jednego do ok. stu okresów częstotliwości sieciowej.

Mechanizm wyładowania jest złożonym procesem termicznym i jonizacyjnym, prowadzącym aż do przeskoku zabrudzeniowego.Istotnym czynnikiem takiego przeskoku jest nierównomierny rezystancyjny rozkład napięcia wzdłuż powierzchni izolatora oraz zależność mechanizmu wyładowania od mocy źródła zasilającego. Duża moc źródła występuje w warunkach sieciowych,a w przypadku prób laboratoryjnych wymaga zastosowania transformatora probierczego dużej mocy, który by zapewnił stałość napięcia i prąd zwar-

ciowy o wartości co najmniej 10 A, aby można było uzyskać wyniki odpowiadające warunkom eksploatacyjnym.
Zabrudzeniowe warunki pracy izolatorów w eksploatacji omówione są w publikacjach [7] i [8] zawierających bardzo obszerne wykazy literatury, świadczące o dużej ważności problemu eksploatacji sieci napowietrznych w.n., narastającego szczególnie w ostatnich latach.

3. Wytyczne projektowania izolatorów przeciwzabrudzeniowych

Projektowanie izolacji przeciwzabrudzeniowej musi uwzględniać wymagania, wynikające z koordynacji izolacji i zagrożenia terenowego oraz ograniczenia narzucone wymiarami gabarytowymi konstrukcji wsporczych.

Wymagania napięciowe, odnoszące się do wytrzymałości udarowej i wytrzymałości przy 50 Hz pod deszczem, są stosunkowo łatwe do spełnienia, gdyż znane zależności napięć przeskoku od wymiarów geometrycznych są słuszne również i dla izolatorów przeciwzabrudzeniowych. Wymagania te spełniane są przy odpowiedniej długości drogi przeskoku izolatorów. Przy izolatorach nieprzebijalnych, wykonanych z odpowiednich materiałów i przy zastosowaniu skutecznie działającego osprzętu łukochronnego, można zapewnić poprawną pracę izolacji w ciągu wielu lat (ponad 20) w zmiennych warunkach (temperatury, ciśnienia,wilgotności,deszczu) bez potrzeby stosowania zabiegów profilaktycznych. Również metody badań napięciowych i wyposażenia laboratoryjne są opanowane i pozwalają na uzyskiwanie powtarzalnych wyników prób, o wystarczającej dokładności.

Równocześnie z wymienionymi własnościami napięciowymi powinny być spełnione również wymagania dotyczące wytrzymałości zabrudzeniowej, uzależnionej w istotny sposób od warunków otoczenia, a w szczególności od rodzaju i intensywności zanieczysz-

czeń przemysłowych, zawartości w nich składników elektrolitycznych i oddziaływujących korodująco na okucia i szkliwo, rozkładu zanieczyszczeń po powierzchni i przyczepności do niej, przypadkowości warunków meteorologicznych w dłuższych okresach czasu (okresy suszy, deszczów, kierunku wiatru, temperatury, mgieł, mżawki, sadzi i in.). Czynniki te są zmienne w czasie, trudne do ujęcia analitycznego, pozwalającego na obliczenie wytrzymałości przy 50 Hz w warunkach zwiększonej upływności powierzchniowej.

Wpływ zabrudzeń przy napięciach udarowych jest pomijalny. Wymienione oddziaływania mogą być ujęte tylko w sposób statystyczny.

Do najdawniejszych środków, stosowanych w celu zwiększenia wytrzymałości zabrudzeniowej, należy wydłużanie łańcuchów w stosunku do potrzeb wynikających z wymagań udarowych i wytrzymałości przy 50 Hz pod deszczem. Zwiększenie długości łańcucha zwiększa rezystancję powierzchniową i zmniejsza prąd upływu, utrudniając rozwój wyładowania powierzchniowego.

Wydłużenie łańcuchów pociąga za sobą jednak konieczność zwiększenia wymiarów gabarytowych słupów przelotowych. Typizacja słupów i zabezpieczenie możności wymiany izolatorów normalnych na przeciwzabrudzeniowe w przypadku pogorszenia warunków eksploatacji na skutek rosnącego zapylenia terenów, wymaga utrzymania standartowej długości izolatorów. Ułatwia to wymianę izolatorów na słupach przelotowych i nie pociąga za sobą konieczności skracania długości przewodów w przęsłach w przypadku łańcuchów odciągowych.

Przy opracowywaniu nowych izolatorów przyjęto więc zasadę utrzymania niezmienności wartości skoku montażowego.

Drugim, oddawna już stosowanym środkiem, jest okresowe czyszczenie izolatorów. Czyszczenie ręczne lub zmechanizowane w za-

leżności od stopnia zagrożenia, obejmuje okresy nawet od kilku zaledwie tygodni do kilku lat. Okresy między kolejnymi czyszczeniami mogą być kilkakrotnie nawet wydłużone przez zastosowanie powłok hydrofobowych, szczególnie silikonowych.Okres ich skutecznego działania nie przekracza jednak na ogół 3 lat. Ponieważ zabiegi czyszczenia są zawsze kosztowne, pracochłonne, niezbyt pewne i ograniczające dyspozycyjność ruchową linii,nie mogą być więc uważane za właściwe rozwiązanie. Do wykorzystania w zakresie konstrukcyjnym pozostaje jednak samooczyszczanie izolatorów pod działaniem deszczu i wiatru, przez nadanie izolatorom najkorzystniejszych kształtów pod względem aerodynamicznym.

Duży wpływ na własności izolacyjne posiada położenie robocze izolatora. Jak wykazują doświadczenia eksploatacyjne i badania laboratoryjne, zwiększenie napięcia przeskoku zabrudzeniowego uzyskuje się w położeniu odciągowym (poziomym) w stosunku do mniej korzystnego położenia przelotowego (pionowego). Wykorzystywane to jest przy wyborze rodzaju łańcuchów,a mianowicie dla słupów przelotowych stosowane są zawieszenia, w których ogniwa pracują w korzystnym położeniu ukośnym (łańcuchy ŁV, ŁY, ŁX). Właściwość ta daje wytyczne nie tylko odnośnie zestawów łańcuchów ale również ukształtowania kloszy izolatorów tak, aby najskuteczniej działały w różnych położeniach izolatora.

Z przytoczonych wyżej rozważań, skróconych i niepełnych, wynika potrzeba opracowania optymalnego kształtu izolatorów, zapewniającego najlepsze wykorzystanie długości części izolacyjnej, drogą analizy wpływu wymiarów i formy kloszy na wytrzymałość powierzchniową. Wnioski oparte na rozważaniach teoretycznych i obliczeniach muszą oczywiście być sprawdzone badaniami w warunkach laboratoryjnych i eksploatacyjnych.

5. Analiza przeskoku zabrudzeniowego

Dla celów projektowych i eksploatacyjnych istotne znaczenie posiada możliwość obliczania napięcia przeskoku zabrudzeniowego. Analizą matematyczną przeskoku zajmuje się wielu autorów, ale jeszcze nie uzyskano wyników dostatecznie zgodnych z wynikami badań. Szczególnie interesujące są prace Alstona i Żołędziowskiego [1], Aleksandrowa i Kiziewietiera [2], Obenausa [6], Sołomonikowa [9] oraz systematyczne ujęcia Juchniewicza [4] i Pohla [7].

Ujęcie analityczne oparte jest na szeregu uproszczeń i ograniczeń liczby parametrów, których część w warunkach eksploatacji ulega przypadkowym i znacznym zmianom. W obliczeniach jako regułę przyjmuje się stałość napięcia przyłożonego do izolatora i równomierny rozkład powłoki na powierzchni izolatora oraz szereg innych specyficznych warunków, odnoszących się do mechanizmu rozwoju wyładowania powierzchniowego.

Dla najprostszego układu izolacyjnego w postaci izolatora cylindrycznego o średnicy D i długości L, w oparciu o charakterystyki łuku palącego się w powietrzu, wyniki obliczeń różnych autorów sprowadzić można do następujących zależności podstawowych.

Napięcie przeskoku zabrudzeniowego U_{pz} zależy od krytycznego natężenia pola elektrycznego K_{kr} oraz długości izolatora L

$$U_{pz} = K_{kr} \; L \tag{1}$$

Natężenie pola elektrycznego K_{kr} jest funkcją rezystancji powierzchniowej r, przypadającej na jednostkę długości (L=1 cm) izolatora cylindrycznego

$$K_{kr} = A \cdot r^{m} \tag{2}$$

$$r = \frac{1}{\pi D \varkappa} \tag{3}$$

ostatecznie

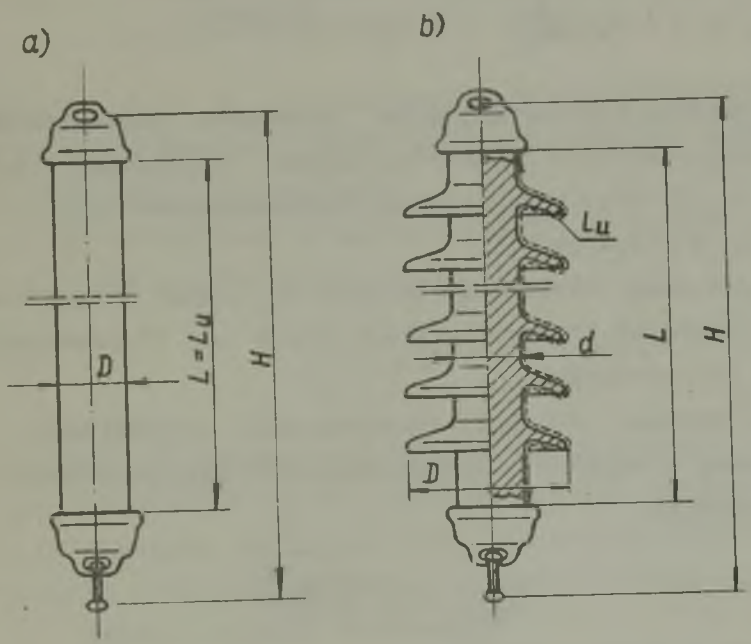
$$U_{pz} = \frac{A\ L}{(\pi D \varkappa)^{m}} \tag{4}$$

gdzie:

$\varkappa$ - konduktywność powierzchniowa powłoki,

A, m - stałe.

Jak widać ze wzoru (4) napięcie przeskoku rośnie proporcjonalnie do L i odwrotnie proporcjonalnie do D^{m}, co daje istotne wskazówki konstrukcyjne. Konduktywność $\varkappa$ uwzględnia własności powierzchniowe powłoki.



Rys. 1. Zasadnicze wymiary izolatorów długopniowych
a - model cylindryczny, b - izolator rzeczywisty

W przypadku izolatorów długopniowych, powierzchnia izolatora posiada klosze (rys. 1) i oprócz długości izolatora L występuje długość drogi upływu L_u, liczona wzdłuż powierzchni izolatora. Długości L nie należy mylić z długością montażową izolatora H.

Przy adaptacji wyżej podanych wzorów do obliczenia napięcia przeskoku zabrudzeniowego dla izolatorów przyjęto

$$r = \frac{R}{L_u} = \frac{f}{\varkappa L_u} \tag{5}$$

gdzie:

$$f = \int_0^{L_u} \frac{dl}{\varkappa D(l)}$$ - współczynnik kształtu

Napięcie przeskoku

$$U_{pz} = K_{kr} L_u = A L_u \left(\frac{f}{\varkappa L_u}\right)^m = A L_u^{1-m} f^m \varkappa^{-m} \tag{6}$$

Wzór (6) określa wartość napięcia przeskoku zabrudzeniowego dla dowolnego kształtu izolatora, wiążąc zależności geometryczne (L_u, f) oraz konduktywność powierzchniową $\varkappa$, przy czym stała m = 0,4 do 0,5.

Dla określonego izolatora wartości L_u oraz f są stałe i wówczas napięcie przeskoku zależy tylko od konduktywności malejąc z jej wzrostem.

Przyjmując wartość m = 0,5 otrzymuje się przybliżony, ale bardzo prosty i wygodny w użyciu wzór (TS) dla obliczenia napięcia przeskoku

$$U_{pz} = A L_u \sqrt{\frac{L_u f}{\varkappa}} \tag{7}$$

Zależności konstrukcyjne wyraźniej występują po przekształceniu wzoru (6)

$$U_{pz} = A \frac{L_u}{L} L \left(\frac{f}{L} \frac{L}{L_u} \frac{1}{\varkappa}\right)^m = A\, L\, a_1 \left(\frac{f_1}{a_1 \varkappa}\right)^m =$$

$$= A\, L\, a_1^{1-m}\, f_1^m\, \varkappa^{-m} \qquad (8)$$

gdzie:

L - długość izolatora,

$a_1 = \frac{L_u}{L}$ - specyficzna droga upływu liczona na 1 cm długości

$f_1 = \frac{f}{L}$ - specyficzny współczynnik kształtu liczony na 1 cm długości izolatora.

Wielkość a_1 oraz f_1 proponowane są do wprowadzenia jako charakterystyczne własności izolatora, reprezentujące wykorzystanie długości części izolacyjnej.

Ponieważ dla określonego izolatora wzór (6) na napięcie przeskoku może być przedstawiony w postaci

$$U_{pz} = C\, \varkappa^{-m} \qquad (9)$$

celowym wydaje się wprowadzenie wartości znamionowej napięcia przeskoku zabrudzeniowego dla określonej konduktywności i w określonych warunkach próby, np. dla $\varkappa = 10\,\mu S$. Wówczas zależność napięcia przeskoku zabrudzeniowego dla dowolnej konduktywności $\varkappa$ można wyrazić zależnością

$$U_{pz} = U_{pz\,10} \left(\frac{\varkappa}{10}\right)^{-m} = U_{pz10} \left(\frac{10}{\varkappa}\right)^m \qquad (10)$$

W warunkach laboratoryjnych należy określić U_{pz} dla $\varkappa = 10\,\mu S$ oraz tak dobrać wykładnik m, aby uzyskać zgodność przeliczeniowych wartości z rzeczywistym przebiegiem krzywej $U_{pz} = f(\varkappa)$. W tablicy 3 podano wartości względne napięć przeskoku U_{pz} : U_{pz10} dla różnych $\varkappa$ i różnych wartości wykładnika m.

Tablica 3

Względne wartości napięcia przeskoku zabrudzeniowego w stosunku do wartości przy $\varkappa = 10\,\mu S$ dla różnych wykładników m we wzorze (10)

$\varkappa$ [μS]	Konduktywność powierzchniowa	5	10	20	30	40	50
$\frac{U_{pz}}{U_{pz10}} \cdot 100 =$	m = 0,3	123	100	82	72	66	62
	m = 0,33	126	100	78	68	62	58
$=(\frac{10}{\ })^m \cdot 100\%$	m = 0,4	131	100	75	65	57	52
(ze wzoru 10)	m = 0,5	141	100	69	56	50	45

Dość dobrą zgodność z przebiegiem pomierzonych wartości uzyskuje się dla m = 0,4, a dla przybliżonych obliczeń można przyjąć $m = \frac{1}{3} = 0{,}33$.

Przyjęcie wartości m niższych od przyjmowanych w obliczeniach teoretycznych (m = 0,43 lub m = 0,5) znajduje swe uzasadnienie w warunkach przeprowadzania prób laboratoryjnych przy ograniczonej mocy źródła probierczego i wzrostu rezystancji powłoki na skutek podsuszania prądem upływu. Czynniki te powodują wzrost napięcia przeskoku.

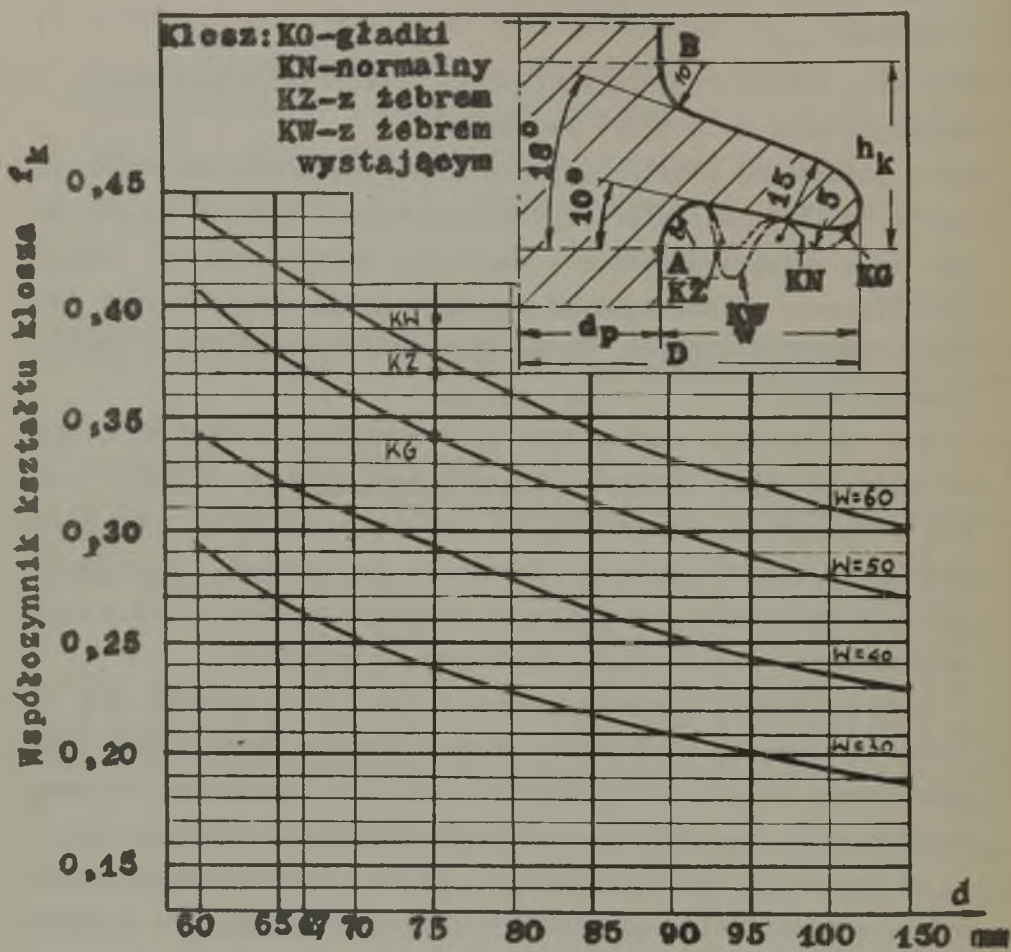
5. Izolatory długopniowe przeciwzabrudzeniowe z kloszami daszkowymi

Nowe typy izolatorów długopniowych, przeciwzabrudzeniowych, opracowane zostały w kilku wariantach.
Wybór parametrów konstrukcyjnych oparto na wnioskach wynikających z analizy matematycznej, wykorzystaniu wyników badań obcych oraz przeprowadzonych w terenowej stacji prób w Zabrzu (ZE Gliwice), ze szczególnym uwzględnieniem specyficznych warunków eksploatacyjnych, występujących w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym.

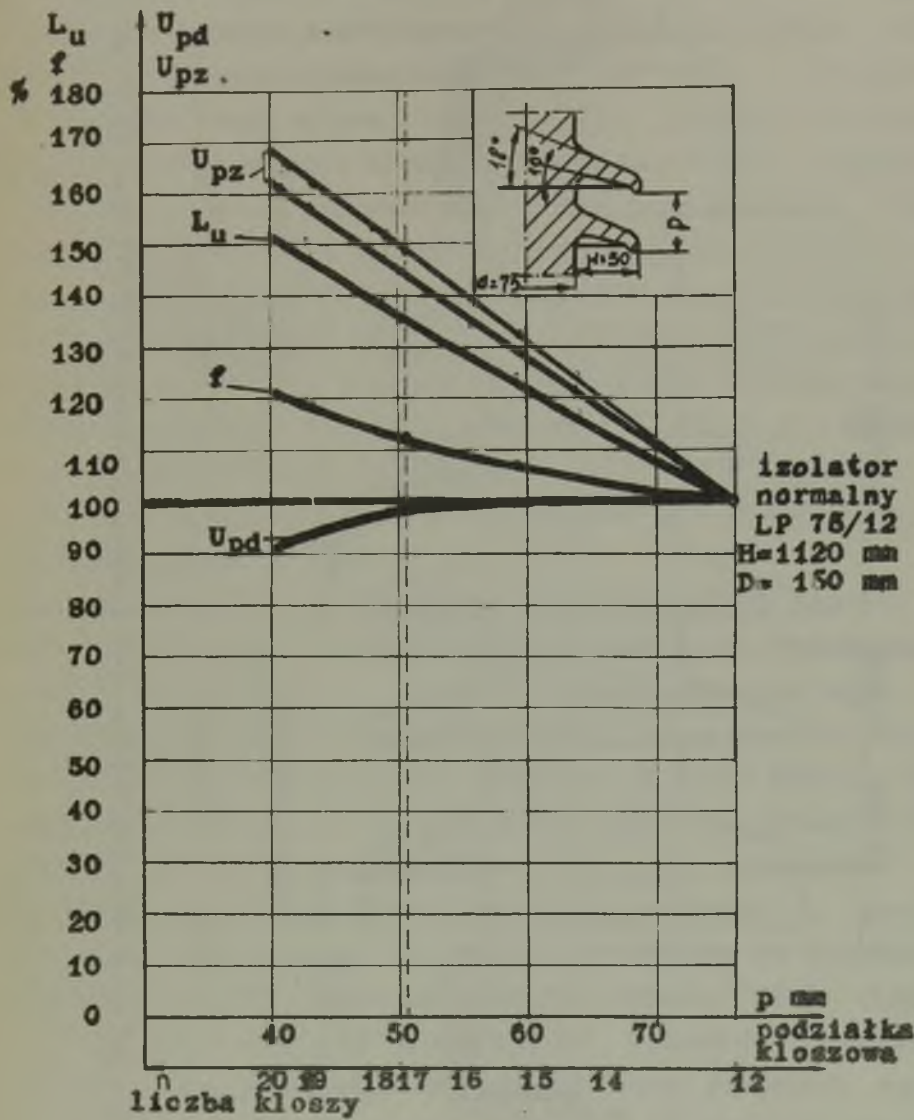
Dla zapewnienia wymienności z dotychczas stosowanymi izolatorami normalnymi przyjęto długości montażowe i długości części izolacyjnych, odpowiadające izolatorom LP 75/12 i LP 75/14 Pozwala to równocześnie na ułatwienie technologii wykonania, przez wykorzystanie istniejących urządzeń produkcyjnych i gabarytów pieców tunelowych, służących do wypalania.

Przy ustalaniu kształtu kloszy i ich liczby starano się uzyskać optymalnie właściwości eksploatacyjne przez dobór długości drogi upływu, współczynnika kształtu, zdolności do samooczyszczania, zapewnienia technologiczności produkcji.

Na rysunku 2 przedstawiono np. jedną z analizowanych zależności, a mianowicie zależności współczynnika kształtu klosza f_k, jako powtarzalnego elementu konstrukcyjnego izolatora, w zależności od wysięgu klosza i średnicy pnia izolatora. Pozostawiono średnicę pnia 75 mm, stosowaną w izolatorach normalnych, dla zachowania jednakowej wytrzymałości mechanicznej i możliwości zastosowania tych samych okuć. Po uwzględnieniu wpływu różnych czynników wpływających na wytrzymałość elektryczną w warunkach zabrudzeniowych, przyjęto podziałkę kloszową p = 52 mm, wysięg klosza w = 50 mm i średnicę zewnętrzną 175 mm,większą o 25 mm od średnicy izolatora normalnego.

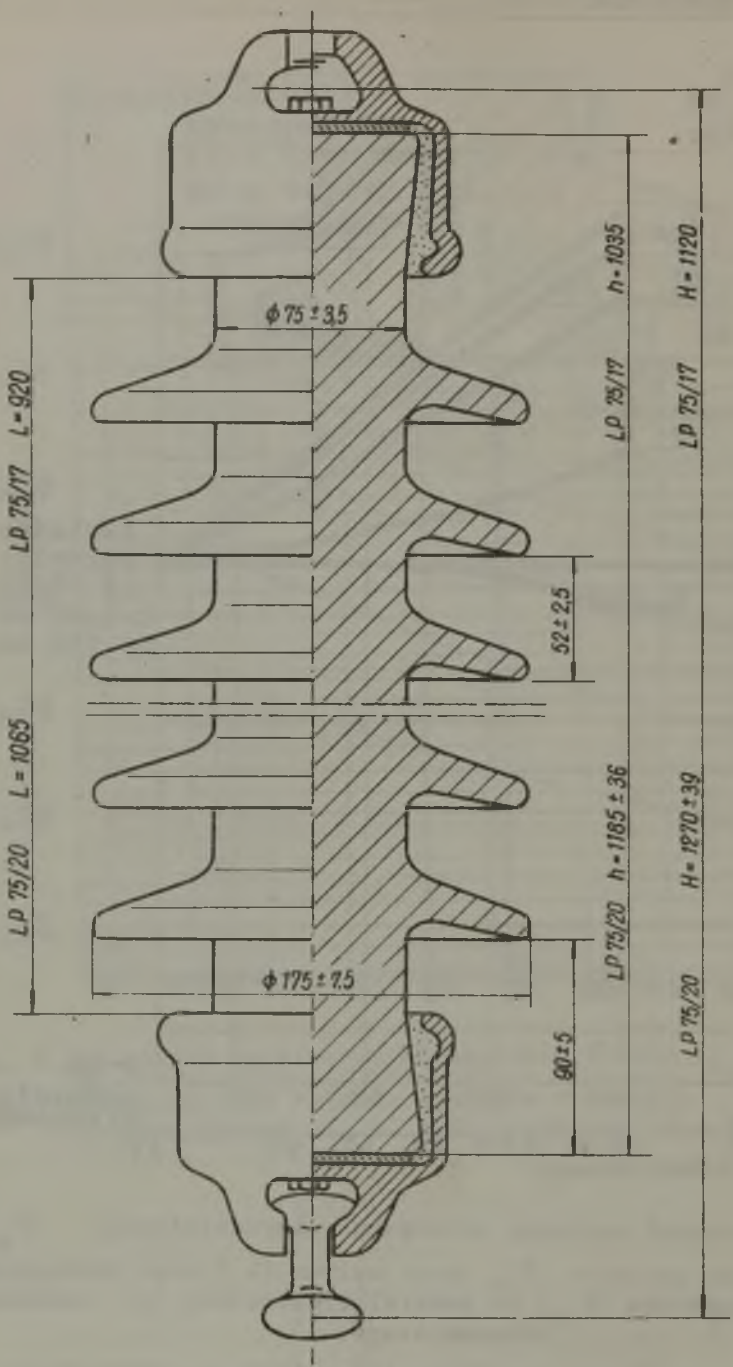


Rys. 2. Zależność współczynnika kształtu kloszy f_k od średnicy d pnia izolatora, dla różnych wysięgów w kloszy, normalnych, oraz kloszy KW, KZ i KG o wysięgu w = 50 mm



Rys. 3. Zależność napięcia przeskoku zabrudzeniowego (U_{pz}), współczynnika kształtu (f), drogi upływu (L_u) oraz napięcia przeskoku pod deszczem (U_{pd}) od podziałki kloszowej (p) izolatora długopniowego:

D = 175 mm, d = 75 mm, w = 50 mm i H = 1120 mm. Odniesione do wartości dla izolatora LP 75/12



Rys. 4. Izolatory długopniowe przeciwzabrudzeniowe LP 75/17 oraz LP 75/20

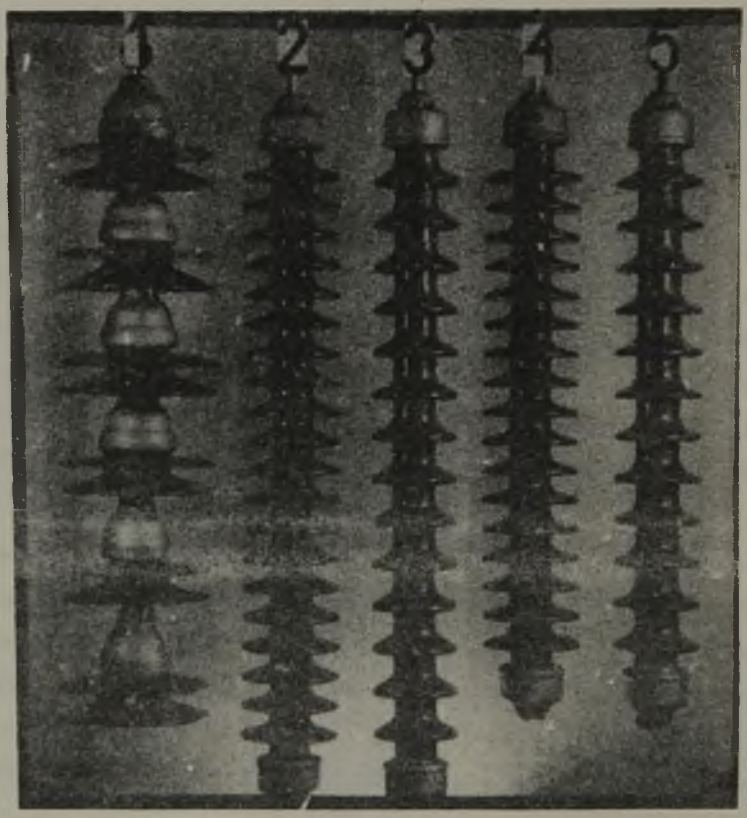
Na rys. 2 podano 4 warianty ukształtowania klosza. Najdogodniejsze warunki samooczyszczania przedstawia klosz (KG), który zastosowano w izolatorach typu LP75/17 i LP 75/20. Zwiększenie drogi upływu i współczynnika kształtu - uzyskuje się przez zastosowanie klosza z żebrem od strony spodniej (KZ), które jednak pogarsza własności samooczyszczania się. Klosz z żebrem silnie wystającym (KW) zwiększa jeszcze nieco drogę upływu i współczynnik kształtu, ale zmniejsza zdolności do samooczyszczania i stwarza ponadto bardzo duże trudności wykonawcze. Na rys. 3 przedstawiono względne wartości zasadniczych parametrów izolatora przeciwzabrudzeniowego z gładkimi kloszami w stosunku do izolatora LP 75/12 w zależności od podziałki kloszowej. Optymalna podziałka p = 52 mm odpowiada liczbie kloszów n = 17.

Wymiary główne izolatorów nowych oraz stosowanych obecnie w sieciach krajowych zestawione są w tablicy 2, a konstrukcja izolatorów LP 75/17 i LP 75/20 przedstawiona na rys. 4. W tablicy tej podano ocenę przydatności izolatorów dla sieci 110 kV odnośnie drogi upływu. Izolator LP 75/17 spełnia wymagania dla strefy II, a izolator LPZ 75/20 dla strefy III. Izolator LPZ 75/17 ma wprawdzie nieco lepsze własności od LP 75/17, ale ze względu na trudniejszą produkcję i gorsze warunki samooczyszczania nie został wprowadzony do stosowania. Izolator LP 75/20 z kloszami gładkimi posiada drogę upływu L_u = 264 cm, tylko o 22 cm krótszą od wymaganej długości 286 cm. Ponieważ izolator ten posiada lepsze własności samooczyszczania od izolatora LPZ 75/20 jest łatwiejszy w produkcji oraz tańszy nasuwa się wniosek aby skorygować wymiary i uzyskać wymaganą drogę upływu 286 cm.

Zestawione w tablicy obliczeniowe napięcia przeskoku zabrudzeniowego wykazują korzystne wartości w stosunku do izo-

latorów importowanych, przy czym wysunąć można przypuszczenie, że ukształtowanie kloszy uwzględnia lepiej własności samooczyszczania, co daje korzyści eksploatacyjne. Cena nowych izolatorów wypada o ok. 50% niższa od ceny izolatorów importowanych.

Próbne partie izolatorów wykonane zostały przez Zakłady Porcelany w Boguchwale i dostarczone już do Zakładu Energetycznego Gliwice. Próby napięciowe, wykonane w Instytucie Elektrotechniki w Warszawie wykazały zgodność wyników z wymaganiami PN-68/E-051001. Próbne partie znajdują się w próbach eksploatacyjnych i przewiduje się, że izolator LP 75/17 zostanie wpro-



Rys. 5. Różne typy izolatorów stosowane w liniach na napięcie 110 kV

1 - LKZ 280/170, 2 - LP75/20, 3 - LP75/14, 4 - LP75/17, 5 - LP75/12

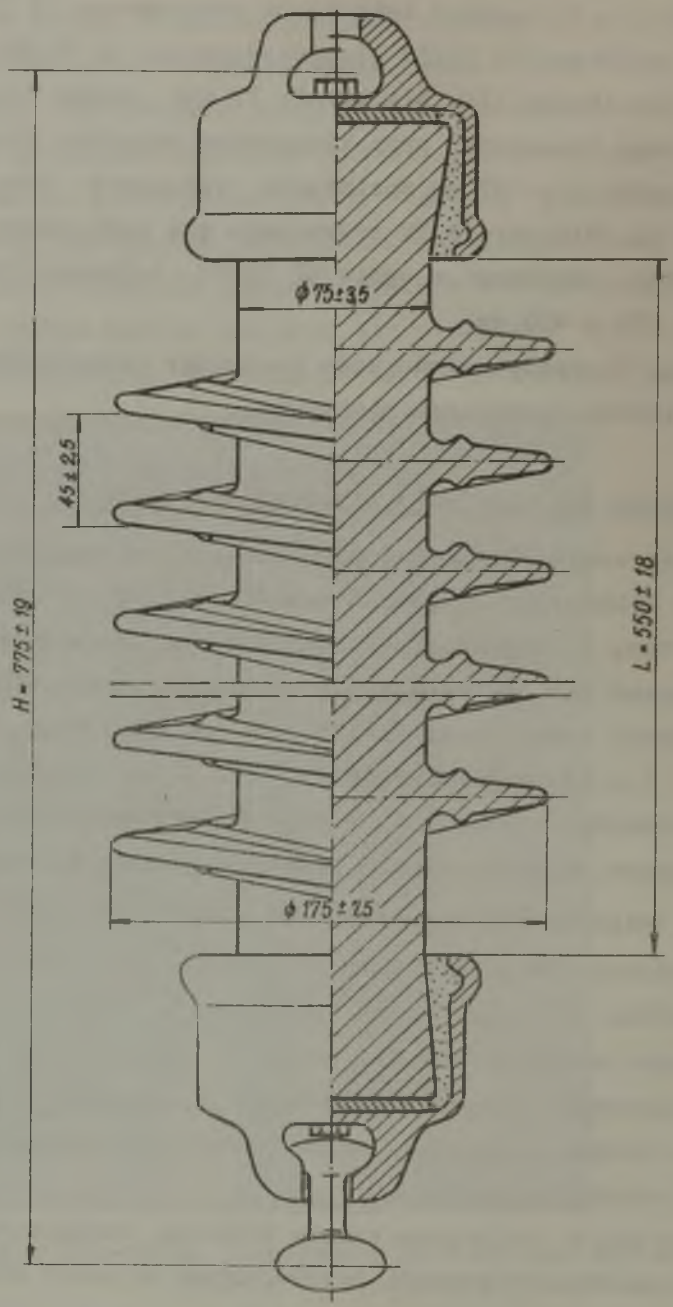
wadzony jako izolacja podstawowa na terenie GOP jednolicie dla stref I i II zamiast dotychczas stosowanego LP 75/12, natomiast izolator LPZ 75/20 (lub skorygowany LP 75/20) jako izolacja dla strefy III. Dla strefy IV nie można skonstruować pojedynczego izolatora przy klasycznym układzie kloszy, który przy długości L = 107 cm spełniałby wymagania drogi upływu L_u = 384 cm. Dla strefy IV przewiduje się zastosowanie układu gwiazdowego, złożonego z ogniw LP 75/17, dającego drogę upływu L_u = 2 x 225 = 450 cm.

Na rys. 5 przedstawiono nowe izolatory przeciwzabrudzeniowe oraz izolatory dotychczas stosowane.

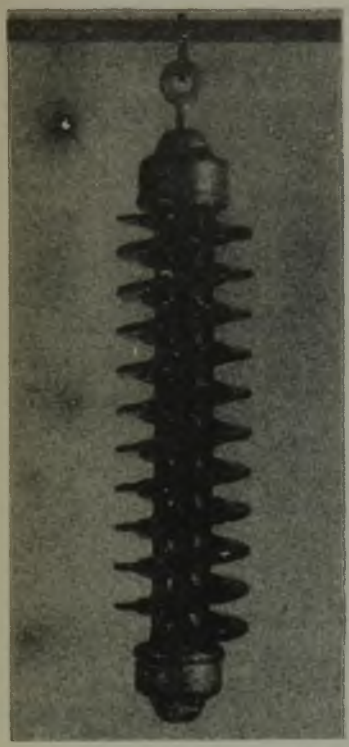
6. Izolatory długopniowe z kloszami śrubowymi

Całkowicie nowym rozwiązaniem konstrukcyjnym są izolatory z kloszami śrubowymi. Rysunek 6 przedstawia widok ogólny izolatora, a rys. 7 rozwiązanie konstrukcyjne. Kształt klosza (zgłoszony patent TS) dostosowano do warunków pracy w GOP. Powierzchnia części zewnętrznej kloszy jest gładka i przy podziałce (skoku) p = 45 mm oraz wysięgu w = 50 mm stwarza warunki łatwej samooczyszczalności. Żłobki umieszczone w pobliżu pnia przeznaczone są do osadzania pasma zabrudzeń, które po zawilgoceniu zwiększa znacznie swą konduktancję i pozwala na uzyskanie jednostajnego poosiowego rozkładu napięcia. Konduktywność powłoki w żłobku można powiększyć przez naniesienie sztucznego podkładu, adsorbującego wilgoć. Ważnym szczegółem jest konieczność zapewnienia dobrego połączenia elektrycznego pasma w żłobku z okuciami, celem uniknięcia wyładowań niezupełnych w pobliżu kołpaków.

Konstrukcja izolatora z kloszem śrubowym cechuje się utrzymaniem jednakowych własności poprzecznych na całej długości izo-



Rys. 7. Wymiary izolatora długopniowego z kloszem śrubowym LPS 75/11



Rys. 6. Izolator z kloszem śrubowym: prototyp LPS 75/11

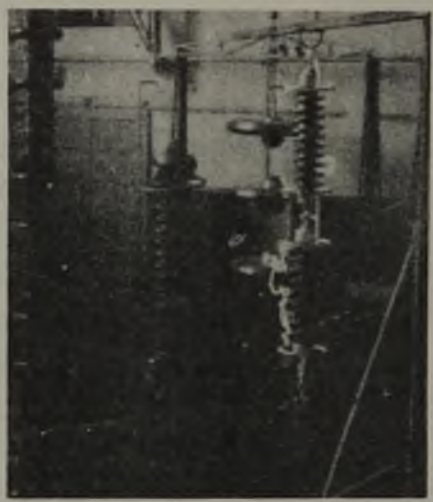
łatora, co pozwala na uzyskanie jednostajnego rozkładu napięcia. Jest to zasadnicza różnica w stosunku do izolatorów z klasycznymi kloszami daszkowymi, dającymi zmiany przekroju na każdym kloszu, co prowadzi do niejednostajnego rozkładu napięcia i powstawania cząstkowych wyładowań łukowych.

W izolatorze z kloszem śrubowym powłoka obca w żłobku wykorzystana jest więc do użytecznej roli sterowania rozkładu napięcia.

Prototypy izolatorów zostały wykonane przy współpracy technologicznej Rozwojowego Biura Konstrukcyjnego przez Zakłady Porcelany w Boguchwale. Ze względu na trudności technologiczne wynikające z braku odpowiedniej kopiarki do toczenia, skok izolatorów prototypowych ograniczony został narazie do H = 730 mm, a długość izolacyjna do L = 550 mm. Przewiduje się wykonanie o długości L = 970 mm. Droga upływu wzdłuż linii śrubowej wynosi 285 cm, co daje dużą wartość specyficznej drogi upływu a_1 = 5,2 cm na 1 cm długości izolatora. Droga upływu wzdłuż konturu przekroju osiowego L_u = 128 cm, daje a_1 = 2,32 cm/cm i odpowiada prawie wartościom stosowanym przy izolatorach daszkowych.

Na prototypach wykonano część prób napięciowych, a dalsze próby również i zabrudzeniowe są w przygotowaniu. Rys. 8 przed-

stawia łańcuch dla 110 kV złożony z 2 ogniw izolatorów LPS 75/11, ze specjalnym osprzętem łukochronnym, w czasie próby napięciem przemiennym.



Rys. 8. Łańcuch izolatorów 2 x LPS 75/11 w czasie próby napięciowej przy 50 Hz

Przewiduje się, że klosze śrubowe będą mogły być przypuszczalnie stosowane w trudniejszych warunkach zabrudzeniowych nie tylko w izolatorach liniowych, ale również w izolatorach stacyjnych i aparatowych.

7. Wnioski

1. Opracowano nowe typy izolatorów długopniowych przeciwzabrudzeniowych, z których LP 75/17 i LPZ 75/20 dostosowano specjalnie do pracy w trudnych warunkach zabrudzeniowych GOP.
2. Serie próbne nowych izolatorów przeszły pozytywnie przez próby napięciowe przy 50 Hz i przy udarach i znajdują się obecnie w trakcie prób eksploatacyjnych w Zakładzie Energetycznym Gliwice.

3. Zaproponowano przyczynki do obliczenia wytrzymałości zabrudzeniowej, pozwalające również na porównawczą ocenę różnych konstrukcji i przedstawienie zależności napięcia przeskoku od konduktywności powłoki obcej,

4. Przedstawiono nową konstrukcję izolatora z kloszem śrubowym przeznaczoną do pracy w trudnych warunkach terenowych.

5. Określenie wytrzymałości elektrycznej izolatorów w warunkach zabrudzeń przemysłowych wymaga odpowiednio wyposażonego laboratorium, którego brak uniemożliwia kontynuowanie prac badawczych.

LITERATURA

[1] Alston L.L., Żołędziowski S.: Growth of Discharges on Polluted Insulation. Proc. IEE. 1963. Nr 7.

[2] Александров Г.Н., Кизеветер В.В.: Развите разряда вдоль проводящей поверхности высоковольтной изоляции в электрических сетях. Энергетика. 1962, Nr 5.

[3] Cron H.: Die Kriechweglänge und das Stehvermögen von Isolatoren unter Fremdschichteinfluss. ETZ A. 1957 Nr 23.

[4] Juchniewicz J.: Przeskok zabrudzeniowych. WNT Warszawa 1966.

[5] Nasser E.: Zum problem des Fremdschichtüberschlages an Isolatoren. ETZ A, Nr 11, t. 83.

[6] Obenaus F.: Fremdschichtüberschlag und Kriechweglänge. Deutsche Elektrol. 1958, Nr 4, t. 12.

[7] Pohl Z.: Izolatory wysokiego napięcia do warunków zabrudzeniowych WNT, Warszawa 1968.

[8] Saferna J.: Praca izolatorów liniowych i stacyjnych w warunkach zabrudzeniowych. WNT, Warszawa 1968 r.

[9] Соломоник Е.А.: Исследование и расчет разрядных характеристик загрязненных изоляторов. Изд. Н.И.И. Пост. Тока 1965, Nr 11.

[10] Stępniewski T.: Wpływ formy konstrukcyjnej izolatorów na własności izolacyjne w warunkach zwiększonej upływności powierzchniowej. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej SEP "Kształtowanie i eksploatacja izolacji na terenach uprzemysłowionych". Gliwice, listopad 1965.

[11] Stępniewski T., Kałużny A.: Izolatory liniowe długopniowe przeciwzabrudzeniowe na napięcie 110 kV. Katedra Wysokich Napięć. Dokumentacja Techniczna 1967.

[12] PN-68/E-06303 - Elektroenergetyczne izolatory w.n. Dobór izolatorów napowietrznych ze względu na zagrożenie zabrudzeniowe.

[13] PN-68/E-05001 - Urządzenia elektroenergetyczne wysokiego napięcia. Napięcie probiercze izolacji.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ СТЕРЖНЕВОГО ТИПА С ТАРЕЛОЧНЫМИ И ВИНТОВЫМИ РЕБРАМИ ПРЕДНАЗНАЧЕНЫЕ ДЛЯ ЗАГРУЗЕННЫХ РАЙОНОВ

Р е з ю м е

В статьи представлены указания относительно проектирования высоковольтных изоляторов стержневого типа работающих в загрязненных условиях, а также сообщено формулы для приближительного вычисления напражения разряда при загразненой поверхности изоляторов. Обсуждено тоже свойства новых изоляторов с тарелочными и винтовыми ребрами, а также их применение.

LONG ROD HIGH VOLTAGE INSULATORS FOR POLLUTED AREAS

S u m m a r y

The indications for designing of long rod high voltage insulators for use in polluted areas have been discussed. The formulae for the computation of pollution discharge voltage have been given. The properties and adaptations of new insulators equipped with deck and screw shades have been presented.