

# PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTROTECHNIKÓW POLSKICH.

WYCHODZI 1-go i 15-go KAŻDEGO MIESIĄCA.

<p>PRZEDPŁATA: kwartalnie . . . . . zł. 6.— Cena zeszytu 1 zł.</p>	<p>Biurowisko Redakcji i Administracji: Warszawa, Czackiego № 5 m 24, I piętro (Gmach Stowarzyszenia Techników, telefon № 90-23. Administracja otwarta codziennie od g. 12 do g. 4 po poł. Redaktor przyjmuje we wtorki od godziny 7-ej do 8-ej wieczorem. - Konto № 363 Pocztovej Kasy Oszczędności.</p>	<p>CENNIK OGŁOSZEŃ: Ogłoszenia jednoraz. na 1/1 str. -1. 120 " " na 1/2 " " " 75 " " na 1/4 " " " 40 " " na 1/8 " " " 20 Strona tytułowa (I) 50 proc. drożej, " okładki zewn. (II) 20% " wewn. (III) 20% droż. Ogłoszenia strony tytułowej przyjmowane są tylko całostronicowe. Podwyżka cennika ogłoszeń obowiązuje wszystkie już zleczone ogłoszenia od dnia zmiany cen bez uprzedniego zawiadom.</p>
--	---	---

Rok VIII.

Warszawa, 15 marca 1926 r.

Zeszyt 6.

## Izolatory przewodowe wysokiego napięcia.

Prof. **Kazimierz Drewnowski.**

Izolatory mają na celu takie odosobnienie przewodów elektrycznych, aby elektryczność nie uchodziła z nich ani w postaci prądu skrośnego, przepływającego przez izolację do ziemi lub do innych przewodów, ani w postaci prądu upływowego, po powierzchni izolacji, ani wreszcie w postaci iskry, przebijającej izolator lub przeskakującej wokół niego. Prócz tego stawiamy jeszcze izolatorom warunek dostatecznej wytrzymałości mechanicznej (na rozerwanie i ściskanie), oraz odporności na uderzenia i wpływy atmosferyczne i t. p.

Przy niskim napięciu można tym wszystkim warunkom sprostać z łatwością przez użycie odpowiedniego materiału i nadanie izolatorowi właściwego kształtu; względy zaś na wytrzymałość mechaniczną dają zwykle dostateczne zapewnienie wytrzymałości elektrycznej. Przy napięciu wysokim dochodzą do tego jednak jeszcze specjalne wymagania, tak co do wytrzymałości elektrycznej, jak mechanicznej, gdyż i pod względem elektrycznym i mechanicznym izolator jest wtedy stosunkowo znacznie więcej naprężony. Że naprężenia elektryczne wtedy są większe, jest rzeczą jasną; co się zaś tyczy naprężeń mechanicznych, to zwiększenie ich pochodzi od większych rozpiętości i większych odstępów przewodów, jakich wymaga wysokie napięcie.

Tem się tłumaczy stosowanie odrębnych typów izolatorów przy napięciu niskim i wysokim oraz nader wielka różnorodność typów i konstrukcji izolatorów wysokiego napięcia, dążąca do możliwie najlepszego rozwiązania tej, tak doniosłej, sprawy dobrego odizolowania przewodów; każdy bowiem niestosowny lub zły izolator jest źródłem zakłóceń prawidłowego ruchu linii, mogących często narazić urządzenie na bardzo znaczne straty. To też nowoczesna technika wysokich napięć dąży do zastosowania takich materiałów i wyrobów izolatorowych, które dawałyby całkowitą pewność ruchu.

Jako materiał, używany do wyrobu izolatorów, stosuje się przeważnie porcelanę, najlepiej dzisiaj do tego się nadająca. Kwestja stosowania szkła, wysuwana silnie przed 20 laty, a potem prawie zarzucona, zjawia się znowu obecnie, znajdując zarówno zwolenników, jak i zdecydowanych przeciwników. Nie można jednak jeszcze wyrobić sobie co do tego obiektywne-

go sądu; trzeba poczekać na nowe wyniki z praktyki dzisiejszej. W tym artykule zajmiemy się tylko izolatorami porcelanowymi.

### 1. Wymagania ogólne, stawiane izolatorom.

Trzy czynniki elektryczne mają wpływ na budowę izolatorów: a) upływ prądu roboczego po powierzchni izolatora, uwarunkowany oporem powierzchniowym; b) przeskok iskry naokoło izolatora, a więc wytrzymałość na przeskok i c) przebicie elektryczne izolatora, a więc jego wytrzymałość na przebicie. Czynniki te zjawiają się pod wpływem napięcia, przyłożonego do izolatora. Izolator taki naprężony bywa elektrycznie (względem ziemi) przy układach jednofazowych połową napięcia roboczego, a przy trójfazowych — napięciem fazowym. Trzeba być jednak przygotowanym na to, że w razie zwarcia jednego przewodu z ziemią, wystąpi na nim względem ziemi całe napięcie robocze, wzgl. międzyfazowe. Poza tem ważnym czynnikiem są tu d) naprężenia mechaniczne, jakim izolator ma sprostać.

Rozpatrzmy po kolei te czynniki:

a) *Opór powierzchniowy.* Powierzchnia izolatora ma być takiego kształtu, aby prąd nie mógł po niej wpływać nadmiernie do ziemi lub do drugiego przewodu. Poza własnościami samego materiału ma tu jeszcze bardzo duże znaczenie stan czystości powierzchni. Zanieczyszczenie, brud, sadza, pył, osady i t. d. bardzo znacznie zmniejszają izolacyjność powierzchni. Poza tem deszcz, wilgoć, opary, mgła i t. p. wpływają, rozumie się, na to jeszcze bardziej, podważając prawie straty mocy, wywołane zanieczyszczeniem powierzchni (te ostatnie wynoszą ok. 1—2 watów na izolator).

Z tego względu kształt izolatora powinien być taki, aby nawet podczas deszczu pozostawały suche pasma powierzchni, oddzielające część zmoczoną od trzona izolatora. Z drugiej strony, deszcz lub wiatr oczyszczają powierzchnię izolatora, o ile ta pozostaje gładką i niewrażliwą na wpływy atmosferyczne. Porcelana posiada właśnie takie własności, w przeciwieństwie do szkła.

Kształt więc powierzchni izolatora powinien być taki, aby utrudniał jej zanieczyszczanie i zamoczenie, ale aby — z drugiej strony — umożliwiał jej samoczyszczanie się. Unikać więc należy głębokich i wąskich szczelin, gdzie osadza się brud, który potem trudno daje się usuwać.

W ostatnich czasach stosują nawet perjodyczne zmywanie izolatorów strumieniem wody, zwłaszcza w okolicach fabrycznych.

b) *Wytrzymałość na przeskok iskry.* Wyładowania powierzchniowe, których następstwem może być przeskok iskry, zależą od stanu powierzchni izolatora, wilgotności powietrza, stałej dielektrycznej materiału, pojemności izolatora i t. d., oraz od naprężenia wzdłuż powierzchni, zjawiającego się pod wpływem panującego napięcia. Te wszystkie czynniki uwzględnia się przy obliczaniu i budowie izolatora.

Częścią konstrukcyjną izolatora przewodowego, mającą zabezpieczać go przed zbyt wczesnymi przeskokami iskry, jest kłosz, wzgl. kłosze. Kształt kłosza powinien być tak dobrany, aby izolator sprostał stawianym mu w tym względzie warunkom. Kłosz tylko w bardzo nieznacznym stopniu jest naprężony na przebicie tak, że przy obliczaniu izolatora prawie nie trzeba tego uwzględniać; natomiast trzeba go brać pod uwagę ze względu na wyładowania ślizgowe i przeskokowe. Przy omawianiu typów izolatorów zajmijmy się tem bliżej.

Właściwe wyładowanie powierzchniowe występuje na izolatorze w stanie suchym. Podczas deszczu powierzchnia górna izolatora staje się mokrą i przewodzącą aż do krawędzi kłosza tak, że pod wpływem nadmiernego napięcia może nastąpić przebicie powietrza między krawędzią kłosza a trzonem lub zamocowaniem izolatora, ewentualnie w kilku stopniach, od kłosza do kłosza. Stan czystości powierzchni izolatora zatem na sam przeskok prawie nie wpływa.

Wysokość napięcia, przy którym występują wyładowania ślizgowe i przeskok iskry, jest szczególnie ważnym czynnikiem przy ocenianiu izolatorów. Z jednej strony staramy się bowiem nie dopuścić do powstawania iskieł ślizgowych znacznie wcześniej przed przeskokiem, aby nie ogrzewały zbyt izolatora; kształt zatem izolatora oraz napięcie początkowe wyładowań smużystych muszą być takie, aby wyładowania ślizgowe zjawiały się późno, tuż przed przeskokiem iskry. Z drugiej zaś strony przeskok iskry musi stanowczo następować wcześniej, niż przebicie izolatora, które powoduje trwałe zniszczenie izolacji, podczas gdy przeskok stanowi tylko chwilowe zwarcie przewodu z ziemią lub z drugim przewodem.

W ten sposób napięcie, przy którym następuje przeskok iskry naokoło izolatora, czyli napięcie przeskoku iskry, jest szczególnie charakterystyczne dla danego typu izolatora. Napięcie to musi być zawsze niższe od napięcia przebicia izolatora. Napięcie przeskoku jest inne przy stanie suchym i przy stanie mokrym izolatora; napięcie przeskoku „na sucho” jest zwykle wyższe 20 do 50%, niż „na mokro”. Dążymy jednak do tego, aby obie wartości napięcia przeskoku były możliwie zbliżone do siebie, gdyż wtedy izolator jest lepiej wyzyskany; miarodajnym tu jest kształt izolatora „na mokro” — niekorzystniejszy.

Napięcie przeskoku oczywiście powinno być zawsze mniejsze od napięcia roboczego, aby urządzenie pracowało z pewnym stopniem bezpieczeństwa przeskoku ( $\Delta_s$ ), który jest przeto określony stosunkiem napięcia przeskoku  $V_s$  do napięcia roboczego  $V$ ; zależnie od izolatora rozróżniamy stopień

bezpieczeństwa przeskoku „na sucho”  $\Delta_{ss} = \frac{V_{ss}}{V}$  i „na mokro”  $\Delta_{sm} = \frac{V_{sm}}{V}$ , gdzie indeksy  $s$  i  $m$  oznaczają stan izolatora. Przy niższych napięciach stopień bezpieczeń-

stwa przeskoku przyjmuje się większy, przy wyższych — mniejszy; robi się to ze względu na to, że naprężenie izolacji przewodów skutkiem fal wędrownych jest stosunkowo mniejsze przy napięciach wyższych, niż przy niższych. Np. projekt międzynarodowych przepisów, [CEI, 1920] podaje następujące wartości dla stopnia bezpieczeństwa przeskoku na mokro: dla 2, 3,5, 7, 12, 18, 24, 35, 53, 70, 95 kV  $\Delta_{sm} = 8 \quad 5 \quad 3,9 \quad 3,1 \quad 2,8 \quad 2,5 \quad 2,3 \quad 2 \quad 2$ . Stopień ten zaś „na sucho” jest według tych przepisów 1,5 razy większy,  $\Delta_{ss} = 1,5 \Delta_{sm}$ .

c) *Wytrzymałość na przebicie.* Przy niskim napięciu czynnikiem, warunkującym konstrukcję izolatora, jest głównie dążność do zapobieżenia upływowi elektrycznym po powierzchni w stanie mokrym; stąd zwiększenie drogi upływów przez rowki, karby i t. p. Wytrzymałość zaś elektryczna na przebicie izolatora jest zwykle zapewniona już względami na wytrzymałość mechaniczną, która wymaga stosunkowo dużych przekrojów.

Przy wyższym napięciu jednak trzeba uwzględnić specjalne warunki elektryczne, w jakich izolator znajduje się pod napięciem, naprężającym go nietylko na przeskok — o czym była mowa poprzednio, — ale także, w dużym stopniu, na przebicie. Przy obliczaniu zatem izolatorów należy ich kształt i wymiary tak dobrać, aby nigdzie nie było nadmiernego naprężenia, ani na przebicie, ani też na przeskok iskry.

Ponieważ izolator nie ma kształtu geometrycznie prostego, nie można naprężeń w nim występujących obliczyć tak łatwo i prosto, jak w układach foremnych o polu prostoliniowym. Stosowanie metody wykresnej obliczania naprężeń jest niepraktyczne; uciekamy się przeto do metody przybliżonej, sprowadzając izolator do kształtów łatwo wyznaczalnych. W tym celu tę część izolatora, w której przypuszczalnie występuje największe naprężenie, rozpatruje się jako taki układ foremny, do jakiego najbardziej zbliża się kształtem. Obliczamy, rozumie się, tylko sam korpus, t. j. część izolatora, która głównie jest naprężana na przebicie (i mechanicznie) po odrzuceniu tych części, które nie przyczyniają się do zwiększenia wytrzymałości na przebicie (kłosze i t. d.), lecz tylko mają na celu utrudnienie przeskoku iskry.

Przy izolatorach stojących oraz wiszących kołpakowych jest to stosunkowo proste, gdyż część izolatora między trzonem a zmoczoną główką lub kołpakiem można uważać jako układ walcowy lub kulisty wzgl. półkulisty. Jest to zresztą słuszne, choćby z tego powodu, że dążymy właśnie do tego, aby podobny kształt nadać izolatorom, gdyż wtedy rozkład pola jest najbardziej jednostajny, unikamy zaś ostrych zakrzywień i t. d.

Napięcie przebicia izolatora powinno być wyższe, niż napięcie przeskoku, a zatem stopień bezpieczeństwa przebicia  $\Delta_b$ , który jest określony stosunkiem napięcia przebicia  $V_b$  do napięcia roboczego  $V$ , t. j.  $\Delta_b = \frac{V_b}{V}$ , powinien być większy od stopnia bezpieczeństwa przeskoku (na sucho i na mokro), czyli  $\Delta_b > \Delta_s$ .

W ostatnich latach zaobserwowano jednak zjawisko, że izolatory, wykazujące przy próbach napięcie przebicia większe, niż napięcie przeskoku na sucho, zostają przebijane przy nagłych, bardzo znaczących przepięciach (fale uskokowe o bardzo stromym czole) przedtem, nim się wytworzy przeskok. Tłuma-

czy się to tem, że do przebicia warstwy powietrza (przeskok iskry naokoło izolatora) potrzeba, w warunkach pracy izolatora, czasu dłuższego, niż do przebicia porcelany, co przy nadmiernych naprężeniach następuje prawie momentalnie, podczas gdy tam wyładowania jarzące z ostrych krawędzi opóźniają powstawanie iskry. Jeżeli więc chcemy się uwolnić od

takiego przypadku, należy dążyć, aby stosunek  $\frac{V_b}{V_{ss}}$  był większy, niż stopień bezpieczeństwa przeskoku na mokro  $\frac{V_b}{V_{ss}} > \frac{V_{sm}}{V}$ .

Przy obliczaniu izolatorów kierujemy się następującymi założeniami. Zewnętrzny wymiar główki izolatora określany jest zwykle względami na wytrzymałość mechaniczną oraz na jego wyrób; z tego drugiego względu nie bierze się przy pewnych typach ścianek izolatora grubszych, niż 25 mm. O tem będzie jeszcze mowa później. Następnie uwzględnia się stopień bezpieczeństwa przebicia, jaki przepisujemy izolatorowi, t. zn. napięcie przebicia, krytyczne dla danego izolatora, bierze się kilka (2—6) razy większe, niż napięcie robocze. Mając tak dobrane napięcie krytyczne, oblicza się największe naprężenia, występujące w dielektrykach, sprawdzając, aby nie przekroczyły granic dopuszczalnych dla danego układu, wzgl. materiału. Względami konstrukcji i wyrobu określają ostatecznie kształt i wymiary korpusu oraz zharmonizowanych z nim kloszy izolatora. Jeżeli izolator jest kilkukloszowy, obliczenie przerabia się dla poszczególnych kloszy i kontroluje dla całości.

d) *Wymagania mechaniczne.* Izolatory przewodowe są wystawione na bardzo duże naprężenia mechaniczne, pochodzące od ciężaru zawieszonych przewodów, parcia wiatru, sady i t. j., muszą zatem sprostać tym działaniom. Mogą to być zarówno naprężenia ściskające, jak rozciągające i zginające i to nie tylko występujące w normalnym kierunku, ale także w innych możliwych. Dużą rolę grają tu także uszkodzenia złośliwe (uderzenia kamieni i t. p.); klosze izolatora są tu szczególnie narażone. Z tego powodu daje się często izolatorom kolor ciemny, aby nie przyciągać uwagi białymi plamami.

Nowoczesne wymagania pod względem naprężeń idą coraz wyżej. Normalnie żąda się już, aby izolator wytrzymał kilka i więcej tysięcy kilogramów.

Pozatem występują w izolatorze naprężenia wewnętrzne, skutkiem wpływu dużych różnic temperatury, przy gwałtownej zmianie stanu pogody, np. ulewny deszcz w upalny dzień. Różnice temperatury działają szkodliwie, zwłaszcza wtedy, gdy materiał ma za małą wytrzymałość, gdy jest za mało elastyczny, i gdy się znacznie różnią współczynniki rozszerzalności cieplnej materiałów, wchodzących w skład izolatora. Porcelana jest właśnie takim materiałem, który nie wytrzymuje dużych naprężeń międzycząsteczkowych, a właśnie te naprężenia częściej, niż przyczyny mechaniczne lub elektryczne, są powodem zepsucia izolatorów i to tem częściej, im grubsza jest warstwa dielektryku. Wobec tego wymaga się, aby ścianki niektórych typów izolatorów, a właściwie poszczególnych jego kloszów, nie były grubsze od 25 mm. Naprężenia mechaniczne izolatora przewodowego leżą zwykle niedaleko granic dopuszczalnych i dlatego takie izolatory łatwiej są narażone na uszkodzenia. Grubość ścianki nie powinna być przeto większa, niż tego wymaga wytrzymałość elektryczna

i mechaniczna i niż to daje odpowiednie, prawidłowo przeprowadzone, obliczenie.

Duże naprężenie wewnętrzne w izolatorach może wywołać kit, używany do zmcowania kloszów izolatora ze sobą lub części żelaznych z porcelanowymi. Kit, przeważnie stosowany, ma rozszerzalność większą, niż porcelana, jest stosunkowo dosyć porowaty, skutkiem czego nasiąka wilgocią i pęcznieje tak, że może wywołać nadmierne naprężenia porcelany. To też kwestja wynalezienia kitu takiego, któryby nie miał tych ujemnych cech, jest obecnie tematem prac i badań, niestety — jak dotąd — bez zdecydowanie korzystnego wyniku.

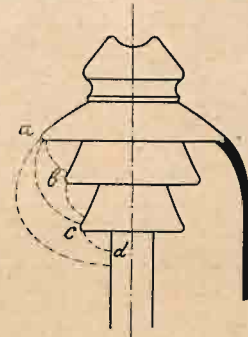
## 2. Izolatory stojące.

Pierwotny kształt izolatorów stojących wysokiego napięcia był taki sam, jak izolatorów napięcia niskiego, które początkowo były odpowiednio powiększonymi izolatorami telegrafowymi. Przez zwiększenie drogi wyładowań powierzchniowych chciano uzyskać większą wytrzymałość elektryczną. Mały odstęp krawędzi klosza od rdzenia i głębokie a wąskie szczeliny, — to były główne ich wady, powodujące nieprzydatność takiego kształtu izolatorów przy wysokim napięciu.

Izolator taki, najprostszej konstrukcji, z jednego nasadzonego na trzon klosza, mógł być używany tylko przy napięciach najniższych, ze względu na zachowanie się jego podczas deszczu (Rys. 1. a). Wskutek tego, że zmoczone powierzchnia izolatora staje się przewodzącą i traci zdolności izolacyjne, droga wyładowań znacznie się zmniejsza, tworzy ją tylko odstęp dolnej powierzchni izolatora od trzona. Ponadto, podczas deszczu, krople spadającej wody starają się poruszać w kierunku natężenia pola, mają więc dążność do trzona izolatora, przez co zmniejszają wytrzymałość na przeskok iskry. — Przez zastosowanie szerszego klosza (Rys. 1. b), odchylającego się



Rys. 1-a.



Rys. 1-b.

na zewnątrz, możemy nadać kroplom wody kierunek nieco odśrodkowy, przez co zwiększa się wytrzymałość na przeskok podczas deszczu.

Przy wyższych napięciach stosujemy dwa lub więcej takich kloszy. Droga przeskoku iskry wtedy zwiększa się i staje się równa sumie tych dróg między poszczególnymi kloszami. Podczas deszczu droga ta liczy się jako odstępy niezmoczonej części kloszy.

Poznanie praw naprężeń w polu elektrycznym oraz praktyczne doświadczenia nasuwały więc myśl rozszerzenia klosza, a więc zwiększania odstępu między dolną krawędzią od trzona. Napięcie przeskoku się zwiększało, brud i kurz w szczelinach był unoszony z wiatrem i deszczem, wyładowania jarzące w szczelinach były utrudnione. To doprowadziło do kształtu t. zw. delta (od litery greckiej Δ, jaką tworzy przekrój izolatora), wprowadzonego w r. 1897 przez fa-

brykę porcelany w Hermsdorfie (Niemcy) i później przez wszystkie inne fabryki przyjętego. Kształt ten stopniowo się ulepsza, aż wreszcie dzisiejszy typ deltowy przedstawia się, jak np. przepisany przez związek niemieckich elektrotechników, który można uważać za najbardziej przemysłowy i celowo skonstruowany izolator tego typu. (Rys. 2).

Przy obliczaniu izolatora ze względu na przeskok iskry ma się na względzie rozkład pola elektrycznego między drutem wiązalkowym, okręconym naokoło szyjki, a trzonem izolatora. Gdy izolator jest zmoczony z wierzchu, powierzchnie zmoczone kloszy stają się przewodzące, — pole rozciąga się zatem od krawędzi górnego klosza mokrego do drugiego klosza, wzgl. do trzona. Ta droga wolnego przeskoku iskry jest miarodajna.

Przewód, umocowany na izolatorze, oraz poprzecznik i t. d. wpływają znacznie na rozkład pola i mogą się przyczynić do wcześniejszych wyładowań.

Okoliczność, że zmoczony klosz zewnętrzny izolatora staje się przewodnikiem, nasuwa myśl pokrycia klosza zewnętrznego daszkiem metalowym, połączonym elektrycznie z przewodem. W ten sposób otrzymujemy stale bardziej jednostajny rozkład pola, a przez to zmniejszenie naprężeń. Pojemność, a także i ciężar takiego izolatora przez to znacznie się zwiększają, co nie zawsze jest pożądane.

Pole elektryczne będzie jeszcze korzystniejsze, jeżeli zastosujemy u spodu izolatora pierścien lub klosz ochronny. Wtedy wyładowania odbywać się będą między daszkiem i pierścieniem, zdała od części izolacyjnych, które w ten sposób nie będą narażone na lokalne ogrzania, mogące uszkodzić izolator mechanicznie i elektrycznie.

Zwiększenie odstępu dolnej krawędzi klosza od trzona nie jest jednak jedynym środkiem do zwiększenia napięcia przeskoku, a więc do przystosowania typu izolatora do większego napięcia roboczego. Według praw przebiecia powietrza, które można tu zastosować, napięcie przebiecia rośnie wolniej, niż odstęp elektrod. W ten sposób zwiększając średnicę klosza doszliśmy wkrótce do zbyt wielkich wymiarów izolatora. Można to natomiast osiągnąć przez rozłożenie drogi wyładowań na kilka części, oddzielonych od siebie — w razie deszczu — partjami suchymi, a więc nieprzewodzącymi. Utrzymuje się to przez zastosowanie kloszy pośrednich, mających na celu osianienie części powierzchni izolatora od deszczu. W ten sposób na dolny klosz przypadnie tylko część napięcia, odległość c—d (na Rys. 1 b) może być zatem zmniejszona.

Dokładne obliczenie napięcia przeskoku takiego izolatora jest prawie niemożliwe, gdyż nie można ściśle wyznaczyć przebiegu pola w takim układzie. Pewien punkt zaczepienia dać jednak może obliczenie empiryczne, na podstawie wykonanych konstrukcji izolatorów i ich pomierzonego napięcia przeskoku. Idzie tu o znalezienie długości drogi przeskoku a-b-c-d (Rys. 1 b.) w zależności od napięcia krytycznego.

Obliczenie, dokonane na podstawie materiału, znajdujące się w rozporządzeniu autora, dało następujące wyniki dla napięcia przeskoku na mokro: Napię-

cie to ( $V_{pm}$ ) w kV potrzebne do wytworzenia przeskoku na drodze przeskoku a w cm (droga a-b-c-d na Rys. 1. b), da się wyrazić wzorami:

$$V_{pm} = 3,9 a + 8 \text{ kV (izol. niem. normal.)}$$

$$V_{pm} = 3,7 a + 8 \text{ kV (izol. franc. C<sup>u</sup>. Gen. El. Cer.)}$$

$$V_{mp} = 5,2 a + 8 \text{ kV (izol. amer. Thomas C.)}$$

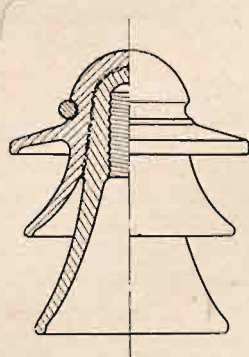
Wynika z tego, że izolatory francuskie i niemieckie są pod tym względem prawie równowartościowe, amerykańskie zaś bardziej wytrzymałe.

Cyfry powyższe dają naogół niezłą orientację przy porównaniu ocenianiu izolatorów.

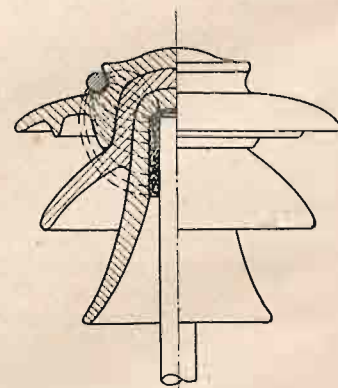
Na podstawie prób i pomiarów można przyjąć orientacyjnie, że do wywołania przeskoku potrzeba 4—5 kV na 1 cm tej drogi. Rozumie się, że trzeba tu uwzględnić jeszcze stopień bezpieczeństwa, jaki się chce dobrać dla danego typu, to znaczy, że naprężenie będzie wtedy kilka razy mniejsze.

Typ deltowy odznacza się wydłużoną budową, przez co trzon takiego izolatora jest stosunkowo długi i gruby. Przy stosowaniu większych naprężeń mechanicznych w linjach jest to słabym punktem. Poza to szczeliny w izolatorach deltowych jeszcze mogą być za wąskie. To doprowadziło do izolatorów niższych, o szerszym kloszu, które ponadto wykazują specjalne własności elektryczne, mające na celu utrudnienie właściwych wyładowań powierzchniowych. Droga do tego prowadzi mianowicie przez odpowiednie ukształtowanie kloszy, tak aby na nich nie występowały naprężenia styczne; powinny więc one być ile możności prostopadłe do kierunku natężenia pola. Poza to rozkład napięcia wzdłuż tworzącej powierzchni klosza powinien być jednostajny, osiąga się to jednak tylko w polu jednostajnym, a więc przy izolatorach dzisiejszego kształtu tego nie można osiągnąć.

W ostatnich paru latach pojawiły się izolatory, będące wyrazem dążenia do takich form, jakie wynikają z powyższych rozważań. Są to izolatory szerokokloszowe. (Rys. 3). Korpus takie-



Rys. 2.



Rys. 3.

go izolatora jest możliwe dostosowanie do linii pola elektrycznego, a jego klosze są do nich prostopadłe; ponadto trzon izolatora leży poniżej szyjki, przez co korpus izolatora jest naprężany w górnej części na ścinanie. — Ukształtowanie pola jest właśnie wynikiem takiego ułożenia umocowania przewodu i trzona izolatora.

Wytrzymałość na przebiecie jest z powodu grubszych ścianek, większa u takich typów, niż u delto-

wych. Z tego też względu wchodzi one coraz więcej w użycie w ostatnich czasach, kiedy zostało stwierdzone, że izolatory deltowe o cienkich ściankach są dosyć wrażliwe na nagłe przepięcia.

Obliczenie izolatora na przebicie można wykonać tylko w przybliżeniu, ponieważ izolator taki nie przedstawia układu foremnego podstawowego, którego naprężenia łatwo obliczyć. Przez sprowadzenie jednak jego do przybliżonego układu foremnego można, względnie łatwo, przeliczyć orientacyjnie występujące w nim naprężenia. Pamiętać jednak trzeba, że izolator inaczej jest naprężony w stanie suchym, a inaczej w mokrym.

Dla przykładu zajmiemy się izolatorem deltowym. Miejsce, w którym należy się spodziewać największych naprężeń w stanie suchym, jest przestrzeń między sztyką, okręconą drutem wiązalkowym, a trzonem. Część tę przedstawia w przybliżeniu układ a) (Rys. 4): pierścień o przekroju okrągłym (promień  $r$ ) i spółśrodkowy z nim walec (o promieniu  $R$ ). Układ ten można sprowadzić do b): dwa walce równoległe ( $R$  i  $r$ ). Odległość  $a$  jest grubością izolacji, która ma wytrzymać napięcie robocze  $V$  z pewnym stopniem bezpieczeństwa ( $\Delta_b$ ). Obliczenie naprężeń, występujących w takich układach, można znaleźć w podręcznikach. Największe naprężenie będzie (na wewnętrznej stronie pierścienia):

$$F_r = V \frac{\sqrt{b^2 + r^2 - R^2 + 2br}}{r \log_n \frac{b^2 - (r - R)^2 + \sqrt{m}}{b^2 - (r - R)^2 - \sqrt{m}}}$$

gdzie  $m = (b^2 - r^2 - R^2)^2 - 4r^2R^2$ .

Otrzymana w ten sposób wartość  $F_r$  będzie oczywiście mniejsza, niż w rzeczywistości i to tem bardziej, im bardziej przekrój  $r$  odbiega od kołowego (np. kilka razy okręcony drut wiązalkowy).

W stanie mokrym zmoczona główka izolatora przedstawia jedną elektrodę (zewnątrzną) układu kulistego spółśrodkowego, którego drugą elektrodą (wewnętrzną) jest trzon, wzgl. jego koniec kulisto wyrobiony. Naprężenie w takim układzie łatwo obliczyć według znanych wzorów. Czasem izolator niema główki kulistej, lecz walcową; wtedy traktuje się go jako układ walcowy spółśrodkowy.

Ze względu na to, że trzon izolatora jest umieszczony w cemencie, oraz, o ile izolator jest złożony z kilku części skitowanych ze sobą cementem, trzeba przy obliczeniach uwzględnić jeszcze to, że właściwie mamy tu do czynienia z układami uwarstwionymi, o różnych stałych dielektrycznych.

Proste przeliczenie pokaże, że przez dobór (miej) stałej dielektrycznej i grubości warstwy kitu można zmniejszyć naprężenia elektryczne w ściance porcelanowej. Kit jednak musi być z materiału, wytrzymującego zwiększone naprężenia i musi szczelnie przylegać do trzona i do porcelany, aby nie tworzyły się wyładowania jarzące. — Umocowanie izolatora za

pomocą materiału, ulegającego rozkładowi pod wpływem tych wyładowań, np. konopie surowe, nie nadaje się przeto przy wysokim napięciu. W razie konieczności ich użycia, powinny być dokładnie przesycone olejem (lnianym); wtedy przy obliczaniu można przyjąć jednolitą stałą dielektryczną (ok. 3) dla tej warstwy. Lepszy jest jednak kit cementowy.

Stosowanie do wyrobu izolatorów materiałów o różnych stałych dielektrycznych w celu wyrównania naprężeń elektrycznych jest niepraktyczne ze względów technicznych.

Przy wyższych napięciach nie wystarczy proste zgrubienie ścianek izolatora i powiększenie jego wymiarów. Ze względu na wytrzymałość mechaniczną i własności porcelany nie jest wskazane stosowanie tutaj grubszych ścianek. Wtedy trzeba powiększyć liczbę oddzielnych kloszy od 2, 3 lub 4 (więcej się już obecnie nie stosuje) i klosze te odpowiednio ze sobą mocno złączyć. Można to zrobić za pomocą obsadzenia, zlepiania lub skitowania.

Obsadzenie, za pomocą przesyconych olejem konopi jest, jak to wyżej było mówione, niepraktyczne i zarzucone.

Zlepianie odbywa się za pomocą polewy w piecu; jest ono mechanicznie bardzo dobre, ale nie można zupełnie uniknąć pór i szczelin. Pozatem ściśle spójone części izolatora tworzą jednolitą całość, zbyt grubą tak, że istnieje możliwość występowania naprężeń wewnętrznych. Poszczególne części takiego izolatora nie mogą być próbowane oddzielnie, lecz dopiero po wypaleniu.

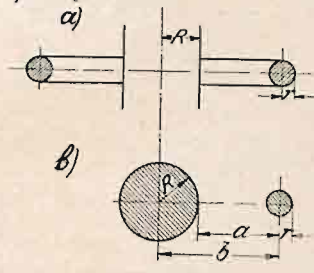
Skitowanie zaś odbywa się za pomocą cementu z dodatkiem żywicy lub parafiny. Izolatory skitowane są narażone na wpływy kitu, który, o ile rozszerza się silniej (jak też jest zwykle) od porcelany, może spowodować pęknięcia i t. d. Jak wyżej zaznaczono, robi się wysiłki, aby wynaleźć kit o tej samej rozszerzalności, co porcelana i niewchłaniający wody. Taki wynalazek będzie rozwiązaniem kwestji izolatorów składanych.

Kit używany do sklejanego poszczególnych kloszy izolatora musi być elastyczny. Próbowano podnieść elastyczność kitu przez dodanie lakierowanej powłoki, przez wkładki elastyczne i t. p., ostatnio zaś zalecają dodanie żywicy do cementu, co ma dawać dobre wyniki. Są to jednak niepewne środki, gdyż niewiadomo, jak długotrwałą jest ich elastyczność. Miejsce skitowania powinno się stykać z powietrzem tylko na bardzo wąskiej przestrzeni, aby wysychanie kitu trwało długo. Im warstwa kitu cieńsza, tem dłużej schnie. Izolatory o grubszej warstwie kitu są mniej trwałe.

Stwierdzono, że izolator z biegiem lat się starzeje, wykazuje większą stratność i częstokroć, bez żadnej wyraźnej przyczyny, zostaje uszkodzony, być może, że właśnie kit jest tego przyczyną.

Liczba kloszy izolatora zależy od jego przeznaczenia. Normalnie stosuje się izolatory trójkloszowe. Tam zaś, gdzie mamy do czynienia z oparami słonecznymi i t. p. (np. na brzegu morskim), lepiej stosować dwukloszowe, które są łatwiejsze do oczyszczania przez deszcz, wiatr i t. p. Ponieważ jednak ich wytrzymałość na przeskok jest mniejsza, trzeba zwykle brać większy typ, niż wypada. Izolatory czterokloszowe stosuje się przy napięciach wyższych od ok. 50kV.

Wobec tego, że kit, sklejący izolatory, długo wysycha, powinno się je próbować tylko po dostatecznie długim czasie wysychania.



Rys. 4.

Isolatory umocowują się za pomocą trzonów z żelaza kutego lub zlewne, opatrzone u góry nacięciem, aby się trzymały kitu. Podobnie jak kit, służący do spojenia kloszy izolatorowych, musi być kit, za pomocą którego umocowuje się izolator na trzonie, pierwszej jakości. Najlepszy jest kit cementowy; używany dawniej marmurowy, okazał się za mało wytrzymały na naprężenia mechaniczne. Trzon izolatora nie powinien być opatrzone występami, wzgl. rowkami na całej długości, wchodzącej w kit, gdyż to uniemożliwi mu swobodne rozciąganie się pod wpływem zmian temperatury; najlepiej dać na samym tylko końcu takie występy lub nacięcia zadzierzyste.

Isolatory stojące nie mogą być stosowane przy wszelkich napięciach wobec tego, że ciężar ich, a więc i cena, szybko rosną z napięciem. Powyżej 60 kV zwykły izolator (deltowy) przybiera zbyt duże wymiary, pociągające za sobą wzrost kosztów i ciężaru (ponad 10 kg), które naogół rosną od 60 kV z trzecią potęgą napięcia. Wymaga to zbyt dużych masztów i nader utrudnia montowanie. Wobec tego, przy napięciach, przekraczających 35 do 40 kV zarzucamy izolatory stojące, a stosujemy wiszące, składające się z kilku ogniw, łączonych szeregowo ze sobą i tworzących łańcuch.

(Dok. nast.).

## Elektryfikacja Fabryki Lokomotyw w Chrzanowie.

Inż. elektr. **Z. Gogolewski**, Chrzanów.

W latach 1922—24 ukończona została budowa Pierwszej Fabryki Lokomotyw w Chrzanowie. Na ogrom tej pracy złożyła się budowa i montaż warsztatu mechanicznego w hali o powierzchni  $104 \times 72$  m<sup>2</sup>, warsztatu montażowego, mieszczącego się w budynku o powierzchni  $(104 \times 66)$  m<sup>2</sup>, kuźni, zajmującej 990 m<sup>2</sup>, elektrowni  $(14 \times 25)$  m<sup>2</sup>, kotłowni dla centralnego ogrzewania oraz kilkunastu budynków pomocniczych. Przy tej imponującej budowie nie starano się wyzyskać urządzeń już istniejących, opustoszałych np. wskutek warunków powojennych; nie korzystano też wzorem innych przedsiębiorstw z ruchomości fabryk w likwidacji lub nieczynnych, lecz wzniesiono fabrykę od samych fundamentów w całym znaczeniu tego słowa nową.

Dzięki temu wszystkie zagadnienia techniczne, przy których rozwiązaniu przeważają w innych wypadkach lokalne warunki, pokusa utrzymania urządzeń starych, nie zaś względy ściśle techniczne, w Chrzanowie mogły być rozpatrywane pod kątem ostatnich doświadczeń Zachodu z całym pietyzmem, jakiego tak poważne zadanie wymagało.

Jednym z takich zagadnień była sprawa elektryfikacji całego zakładu. Można ją podzielić na wytworzenie prądu, względnie nabywanie go oraz na kwestję wyzyskania mocy elektrycznej, jaką rozporządzano. Fabryka miała posiadać ogółem około 300 maszyn, 10 suwnic elektrycznych, 7 młotów i szereg innych odbiorników, które w dalszym ciągu szczegółowo rozpatrzemy.

Jak widać z powyższego napęd obrabiarek należał do jednego z poważniejszych zadań, jakie należało rozwiązać. Z jednej strony starano się wyzyskać wszystkie przełomowe zdobycze techniki warsztatowej, idącej po linii indywidualizacji napędu, z drugiej

zaś wystrzegano się tych, skądinąd pociągających nowinek technicznych, które mogłyby w następstwie ze względu na nasz ubogi przemysł elektryczny, obciążony nadmiernym balastem konserwację.

Ogólna ilość obrabiarek można podzielić według zapotrzebowania mocy, wskazanego w katalogach, jak następuje:

Moc	Liczba maszyn
0.3—1 KM	30
1—3 "	89
3—5 "	48
5—10 "	86
ponad 10 "	47

Razem ok. 2 000 KM

300 sztuk

Z zestawienia tego widzimy, że liczyć się należało ze znaczną ilością ciężkich obrabiarek lokomotywowych, którym zazwyczaj fabryki wyrabiające te maszyny nadają napęd pojedynczy. W tych wypadkach firma dostarczająca maszyny wyręcza niejako klienta w kłopotcie wyboru napędu.

Ponieważ przy tych ciężkich obrabiarkach silnik powinien posiadać dowolnie zmienną ilość obrotów w granicach 1 — 3, przeto wybór rodzaju silnika był tu kwestją otwartą. Jak wiadomo, tylko silniki bocznikowe prądu stałego i niektóre typy silników komutatorowych spełniają wskazany warunek w sposób prosty i ekonomiczny.

Na produkcję krajową silników komutatorowych nie prędko można było liczyć, z drugiej strony przy zakupie ich zagranicą nie otrzymywało się żadnej korzyści w cenie. Koszta eksploatacyjne nie przemawiały wyraźnie za silnikami komutatorowymi, więc gwoli większej prostoty postanowiono użyć dla motorów regulacyjnych prądu stałego o napięciu 440 woltów. Tak została przesądzona sprawa pomocniczej sieci prądu stałego, równoległe do sieci głównej trójfazowej. Dalej trzeba było ją tylko wykorzystać jak najracjonalniej.

Po wyłączeniu ciężkich obrabiarek pozostał jeszcze do rozstrzygnięcia napęd ok. 250 obrabiarek lżejszych. Pozwolę sobie zauważyć na tem miejscu, że w niektórych wydawnictwach polskich, mających na celu porównanie napędu pojedynczego i grupowego wzgl. transmisyjnego spotyka się rachunki rentowności, zestawiane np. dla jednego silnika 12 KM, pędzącego transmisję, i 6 silników po 2 KM, pędzących pojedynczo obrabiarki. W praktyce rzecz się ma o tyle odmiennie, że przy napędzie grupowym stawia się silnik o mocy nieprzewyższającej 30% mocy, otrzymanej po zsumowaniu ilości koni mechanicznych, wskazanych w katalogach dla poszczególnych obrabiarek, stawianych na pędnię. Nie dość na tem. Przy ustalaniu mocy silników napędowych należało nadzwyczaj ostrożnie korzystać z katalogów, które z łatwo zrozumiałych powodów, podają zazwyczaj większy silnik, niż w istocie potrzebny.

Dzięki tej ostrożności zaoszczędzono w Chrzanowie około 150 KM mocy zainstalowanej, stawiając w niektórych wypadkach silniki o połowę mniejsze od wskazanych w katalogach, — bez żadnego uszczerbku dla obróbki. Pomija się też niesłusznie kwestię kosztów utrzymania i instalacji silników wraz z kosztami instalowania. Przytoczymy dla przykładu rachunek, zestawiony dla warsztatu narzędziowego fabryki Chrzanowskiej.

Przy zastosowaniu napędu pojedynczego: