

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

Rok XX.

7 Października 1938 r.

Zeszyt 19.

Redaktor inż. WŁODZIMIERZ KOTELEWSKI

Warszawa, Królewska 15, tel. 690-23.

Elektryczność atmosferyczna w świetle nowszych badań i zabezpieczenie od niej budowli*)

Prof. Mieczysław Pożaryski

Piorunochrony.

Daty historyczne.

Na wstępie przytoczymy kilka dat historycznych, dotyczących pojęć o naturze pioruna i budowy pierwszych piorunochronów [15].

- W r. 1650 angiłk Wall wypowiedział się za elektryczną naturą pioruna.
- W r. 1726 Akademia w Bordeaux nagrodziła komunikat, w którym autor twierdzi, że piorun powstaje na skutek zapalania się od promieni słonecznych skupionych przez soczewki wodne tlustych i siarkowych wyziewów ziemi.
- W r. 1750 Akademia w Bordeaux przyjmuje komunikat Barbareta o hipotezie elektrycznej natury pioruna, a de Romasa o wynikach doświadczeń potwierdzających tę hipotezę. W tym samym roku Franklin wystosował do Piotra Colinson'a w Anglii list o zastosowaniu metalowych prętów do wyładowywania chmur. Wiadomość ta jednak w Towarzystwie Królewskim w Londynie została przyjęta z niedowierzaniem.
- W r. 1752 Franklin przeprowadził swe znane doświadczenia z latawcem; w tym samym roku pozakładano w wielu miejscach pręty ściągające pioruny.
- W r. 1753 od pioruna, który wypadł z takiego pręta, został zabity w Petersburgu fizyk Richmann.

Budowa piorunochronów.

Dla budowy piorunochronu miarodajne są okoliczności decydujące o drodze i miejscu uderzenia pioruna.

O drodze pioruna decydują: rozkład natężenia pola elektrycznego, jonizacja powietrza oraz położenie punktu uderzenia.

Punktami uderzenia piorunu są miejsca o największej jonizacji przyziemnej warstwy powietrza, przy czym pewien wpływ wywiera tu budowa geologiczna ziemi. Najbardziej są narażone na uderzenie pioruna uskoki, stanowiące przeważnie miejsca stykania się skał odmiennej budowy. Porównyując różne skały jednolite, stwierdzono, że skały wulkaniczne np. granit — są uderzane przez piorun częściej, niż skały osadowe.

Pierwszy piorunochron podobno postawił Diwisch w r. 1754 w postaci żelaznego pręta o wysokości 10 m, zakończony krzyżem. W r. 1760 Wilson proponuje umieszczać na końcu pręta kulę.

Największe jednak rozpowszechnienie otrzymały konstrukcje piorunochronów Franklina i Gay-Lussaca, którzy pręt metalowy połączony z ziemią zalecali zaopatrzyć w ostrze. Ostrze takie sporządzano ze złota, platyny lub srebra, aby jak najdłużej zachowała się jego ostrość [16]. Jednak już w r. 1880 skuteczność działania ostrzy została wyraźnie zakwestionowana przez Helmholtza, Kirchhoffa i W. Siemens, którzy zwrócili uwagę na to, że wpływ rozbijający tych ostrzy na olbrzymie ładunki odległych chmur może być chyba znikomo mały.

Przez długi czas panowało przekonanie, że można wyznaczyć tak zwany stożek zabezpieczenia piorunochronu [16], przy czym ustalona była opinia, że piorun nie uderza w punkty, znajdujące się wewnątrz tego stożka. Wymiary stożka bywały określane rozmaicie. Jedni uważali, że stożek zabezpieczenia piorunochronu — przy wysokości równej odległości ostrza piorunochronu od ziemi — ma podstawę kołową o promieniu równym tej wysokości. Inni natomiast twierdzili, że podstawa kołowa takiego stożka posiada promień równy podwójnej wysokości.

Twierdzenia te były oparte na obserwacji i przypuszczeniach, dotyczących najmniejszego kąta względem powierzchni ziemi, pod którym mogą bić pioruny. Doświadczenie wykazuje, że na ogół pioruny biją przeważnie w kierunku pionowym lub zbliżonym do tego kierunku; ukośnie biją natomiast rzadko.

Jeżeli piorun może uderzyć ukośnie pod kątem co najmniej $63^{\circ} 26'$ do poziomu, to wypadnie stożek zabezpieczenia o podstawie kołowej, mającej promień równy podwójnej wysokości; jeżeli zaś przyjąć, że piorun może uderzyć ukośnie pod kątem co najmniej 45° , to podstawa stożka wypadnie kołowa o promieniu równym wysokości piorunochronu. W obu tych wypadkach miejsca leżące wewnątrz stożka będą położone dalej, niż ostrze piorunochronu, licząc wzdłuż ukośnej drogi pioruna.

Najnowsze obserwacje, dotyczące piorunów, stwierdzają jednak, że piorun często na niewielkiej wysokości od ziemi skręca w bok — do miejsca uderzenia [17], natomiast nigdy nie skręca do góry.

Tego rodzaju spostrzeżenia dają podstawę do określenia stożka zabezpieczenia w inny sposób — według pomysłu A. Schwaigera [18]. Zakładamy, że pioruny dochodzą pionowo do poziomu ostrza piorunochronu i stąd dopiero wybierają drogę do punktu uderzenia; wtedy wszystkie punkty nad powierzchnią ziemi, odległe dalej niż ostrze, znajdują się w obszarze stożka, mającego wysokość równą wysokości piorunochronu, podstawę kołową o promieniu równym wysokości piorunochronu i po-

*) Dokończenie artykułu do str. 640 „P. E.” Nr. 18 r. b.

wierzchnię boczną zakreślona przez obrót ćwiartki koła o promieniu równym wysokości piorunochronu.

W ogóle jednak należy stwierdzić, że takie czy inne stożki zabezpieczenia nie posiadają dużego znaczenia praktycznego, gdyż stan jonizacji powietrza rzadko chyba bywa jednorodny. O ile natomiast jonizacja w różnych miejscach jest różna, to wówczas wszystkie poprzednie rozumowania tracą wartość.

Rodzaje piorunochronów.

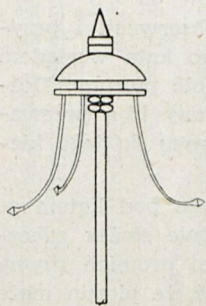
1. Piorunochrony prętowe, według Franklina — Gay Lussuca, stanowią żelazny pręt uziemienny, dotychczas jeszcze nieraz zaopatrywany w ostrze specjalnej budowy, zapewniające mu ostrość na czas jak najdłuższy. Stosowanie takich prętów jest celowe, specjalne ostrze jest natomiast niewątpliwie, zbyteczne.

2. Wielokrotne piorunochrony według Melsensa posiadają zamiast jednego pręta wiele zwodów w kształcie pęczków rozchylonych z kilkoma uziemieniami.

3. Wielokrotne piorunochrony oszczędnościowe syst. Findeisena-Ruppela różnią się od omówionych poprzednio wyzyskaniem wszystkich metalowych części budynku, które zostają przyłączone do obwodów piorunochronowych.

4. Piorunochrony klatkowe według Faradaya — Melsensa stanowią przewody pokrywające chroniony budynek metalową siatką z okami 10×10 m, 5×5 m, 2×2 m, — tym gęstsza, im dokładniej budynek ma być zabezpieczony; każdy przewód pionowy tego układu prowadzi do uziemienia. Takie zabezpieczenie budynku będzie skuteczne, gdy stoi on na gruncie dobrze przewodzącym. Tak np. obserwatorium na Mont Blanc zbudowane na grubej izolującej warstwie lodu, pomimo zastosowania miedzianego pokrycia zaopatrzonego w pręty, podlegało często uderzeniom piorunów, których wyładowania dostawały się do wewnątrz osłony.

5. Piorunochrony radioaktywne ustawia we Francji T-wo Helita (15); pod ostrzem pręta umieszczona jest odwrócona miseczka porcelanowa, emaliowana, pokryta nierozpuszczalnymi solami radu. Pod miseczką przymocowany jest izolowany od pręta pierścień metalowy, zaopatrzony w „wąsy“ wygięte do góry z ostrzami pokrytymi również solami radioaktywnymi. Zakrzywione „wąsy“ zwiększają gradient pola elektrycznego w pobliżu miseczki porcelanowej (rys. 11).



Rys. 11.
Piorunochron radioaktywny firmy Société Helita.

Działanie ochronne tych piorunochronów, stosowanych od lat czterech z dobrym skutkiem, sięga podobno na odległość 900 m.

Przekrój przewodów piorunochronów.

Przewody piorunochronowe posiadać muszą, oczywiście, taki przekrój, aby prąd elektryczny pioruna nie stopił ich. Podamy obliczenie tych przewodów, wg. sposobu podanego przez W. Peters'a [19].

Założymy aperiodyczny przebieg prądu według wzoru:

$$i = K \cdot (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}).$$

Dla obliczenia skutecznej wartości natężenia prądu możemy zastosować wzór przybliżony:

$$I_0^2 = \frac{1}{t} \int_0^{\infty} i^2 \cdot dt.$$

Uwzględniając zmianę oporu z temperaturą otrzymujemy średnią gęstość prądu, przy której metal się topi, w postaci wzoru:

$$j = \frac{A}{\sqrt{t}}$$

gdzie: A — stała; t — czas przebiegu prądu.

Jeżeli czas będziemy mierzyć w sekundach, a gęstość prądu w amperach na mm², to otrzymamy dla miedzi A = 230, a dla żelaza A = 90. Przyjmując t = 60 μs, wypadnie dla miedzi: j = 29 700 A/mm², a dla żelaza j = 11 600 A/mm².

Jeżeli uwzględnimy jeszcze możliwość powstania np. 10 kolejnych wyładowań, a więc czas w powyższym wzorze weźmiemy 10 razy większy, to wypadnie dla miedzi j = 9400 A/mm², a dla żelaza j = 3670 A/mm². Stąd obliczymy następujące natężenia prądów stapiających przewody piorunochronowe, zwykle stosowane:

Miedź: 50 mm² — 470 000 A

25 mm² — 235 000 A

Żelazo: 100 mm² — 367 000 A

50 mm² — 186 500 A.

Ponieważ, jak wiemy z poprzednich danych, bardzo rzadko natężenie prądu piorunów wynosi 150 000 A, więc powyższe przekroje należy uważać za zupełnie wystarczające.

Sposób prowadzenia przewodów piorunochronowych.

U nas przewodów piorunochronowych nigdy nie izoluje się od budynków, podczas gdy we Francji np. M. D. Papin [20] zaleca umieszczać pręty na izolatorach, przewody zaś przeciągać przez porcelanowe pierścienie. Autor zapomina jednak przy tym, że napięcie prądów pioruna jest olbrzymie i dosięga nieraz kilku milionów woltów, żadna więc praktycznie wykonalna izolacja, takiego napięcia nie wytrzyma, a tylko ułatwi powstawanie bocznych wyładowań iskrowych. Również nie słuszną jest uwaga Papina, że przewody miedziane są dla urządzeń piorunochronowych znacznie lepsze ze względu na mniejszy opór, gdyż w porównaniu z często tu spotykanym oporem uziemień opór przewodów jest znikomo mały.

Uziemienia.

Dla uniknięcia wysokich napięć na przewodach piorunochronów przy znacznych natężeniach prądu wyładowań należy dbać o mały opór uziemień.

Według Löbla*) przeciętne dane, dotyczące oporności właściwej gruntów są następujące:

Grunt bagnisty	50 Ωm
Gleba urodzajna lub glina	100 „
Mokry piasek	500 „
Mokry kamień	700 „
Suchy piasek	1000 „
Żwir	2000 „

Jeżeli oznaczymy przez ρ oporność właściwą gruntu w Ωm, a przez a wymiar w metrach, wówczas uproszczone wzory na obliczenie oporności uziemienia różnych uziemiaczy w omach przybiorą dla różnych przypadków następującą postać:

Kwadratowa płaska blacha o wymiarze a × a metrów daje opór uziemienia wynoszący:

$$0,25 \rho/a;$$

*) „Erdung“ r. 1933.

Rura o średnicy od 1 do 2 cali i długości a — metrów:

$$0,9 \rho/a.$$

Taśma o przekroju 3×16 mm lub drut o przekroju 50 mm^2 i długości a metrów:

$$2,1 \rho/a.$$

Ze wzorów tych wypada np., że uziemienia w glebie, dla której $\rho = 100 \Omega\text{m}$, mają następujące opory:

$$\text{blacha } 1 \times 1 \text{ m} \quad \text{— } 25 \Omega.$$

$$\text{rura o długości } 5 \text{ m} \quad \text{— } 18 \Omega.$$

$$\text{drut o długości } 50 \text{ m} \quad \text{— } 4,2 \Omega.$$

Celem uzyskania małych oporów uziemienia bywają często stosowane uziemienia wielokrotne. Dla osiągnięcia jak najmniejszego oporu takich uziemień należy umieszczać uziemiające niezbyt blisko względem siebie. Odległość poszczególnych płyt powinna być większa od 3 m, rur — od 2 m, a drutów — od 1,5 m.

Często zakopuje się od 1 do 5 płyt albo od 1 do 4 rur na odległości ok. 5 metrów.

Dobre uziemienia rurowe otrzymuje się, gdy rura posiada długość 5 m i jest zagłębiona w ziemi w ten sposób, że wierzchołek jej znajduje się na głębokości 1 m pod powierzchnią ziemi.

Według systemu Messien [20] dla otrzymania dobrego uziemienia w ziemi o niewielkiej przewodności — należy używać rur miedzianych o znacznej średnicy i długości (co najmniej 3 m), podziurkowanych na całej długości i napełnionych piaskiem. W takich rurach oraz wokoło nich woda gruntowa podnosi się niemal do powierzchni ziemi, dzięki czemu utrzymuje się wilgoć w otoczeniu rury, a przez to mały opór uziemienia.

Według naszych przepisów dobre uziemienie powinno mieć opór wynoszący od 5 do 20Ω ; według niemieckich — od 5 do 10Ω . Pożądany jest, oczywiście, zawsze opór jak najmniejszy.

LITERATURA.

- [1] Handbuch der Experimentalphysik. Geophysik. 1928. B. Chauveau Electricité atmosphérique. E. Mathias Traité d'Electricité Atmosphérique et Tellurique. 1924.
- [2] Revue générale de l'Electricité 1937 str. 781.
- [3] La Nature N. 3014 z 1937 r.
- [4] Elektrotech. Zeitschrift 1937 r. str. 1214.
- [5] Elektrotech. Zeitschrift. 1932 r. str. 488.
- [6] Elektrotech. Zeitschrift 1933 r. str. 505.
- [7] Elektrotech. Zeitschrift 1937 r. str. 1238.
- [8] Elektrotech. Zeitschrift 1931 r. str. 722.
- [9] Phyl. Transac. Roy. Soc. T. 221 str. 73 rok 1920.
- [10] Elektrotech. Zeitschrift 1933 str. 16.
- [11] Elektrotech. Zeitschrift 1937 str. 337.
- [12] Dr. Walther Brand. Der Kugelblitz, r. 1923.
- [13] Elektrotech. Zeitschrift 1935 str. 440.
- [14] Physics T. 4 str. 372.
- [15] Bulletin de la Société française des Electriciens T. IV 1936 r. str. 513.
- [16] Müller-Ponille. Lehrbuch der Physik r. 1880—1890.
- [17] B. Walter Zeit. f. techn. Physik 18, 1937.
- [18] Elektr. u. Maschinenbau 31. 1937 r.
- [19] Elektrotech. Zeitschrift 1937 str. 337. 339.
- [20] M. D. Papin. Pour se préserver des dangers de la foudre. 1934.

Dziesięć lat rozwoju techniki wysokich napięć w świetle nowego wydania „Hochspannungstechnik“ A. Rotha

Doc. dr. inż. J. L. Jakubowski

Znany podręcznik A. Rotha „Hochspannungstechnik“¹⁾, wydany po raz pierwszy w r. 1927, dawał syntetyczne ujęcie ówczesnego stanu techniki wysokich napięć. Był on pod tym względem godnym następcą klasycznego dzieła W. Petersena z r. 1911, wydanego pod tym samym tytułem. Dziesięciolecie, dzielące nas od r. 1927, cechował olbrzymi rozwój omawianego działu techniki, rozwój, który w pewnych dziedzinach był nawet przełomem, przejściem na zupełnie inne, nieoczekiwane zasady konstrukcji.

Nowe, drugie wydanie „Hochspannungstechnik“ jest doskonałym zmian tych odbiciem. Wydanie to, opracowane przy współudziale A. Imhofa, było oczekiwane przez inżynierów-wysokonapięciowców z dużym zainteresowaniem. Nie zawiodło ono pokładanych w nim nadziei. Można śmiało powiedzieć, iż ten, kto chce się zapoznać z obecnym stanem techniki wysokich napięć, znajdzie tu obraz pełny i wystarczający.

Porównanie wydań z r. 1927 i 1938 pozwala określić, jakim zmianom uległa technika wysokich napięć w ciągu ostatnich lat. Zmiany te są liczne. Dzięki celowemu sto-

sowaniu praw wytrzymałości elektrycznej, polepszeniu własności różnych materiałów i poznaniu wymagań eksploatacji powstały: generatory na napięcie wyższe, niż dotychczas (do 35 kV), kable do 220 kV, nowoczesne transformatory na najwyższe napięcia o skupionej budowie, nowe, małowymiarowe typy transformatorów miernikowych i kondensatorów wysokiego napięcia. Postępy w poznaniu zjawisk wyłączania, a w szczególności własności łuku, wytrzymałości powrotnej i napięcia powrotnego, wywołały całkowity przewrót w budowie wyłączników i bezpieczników (wyłączniki małoolejowe i bezolejowe, odłączniki mocy, bezpieczniki dużej mocy), a co za tym idzie, uproszczenie urządzeń rozdzielczych. Bliższe poznanie wyładowań piorunowych i wytrzymałości udarowej izolacji wywarło decydujący wpływ na budowę linii i podstacji oraz na ochronę przeciwprzepięciową (nowoczesne ochronniki). Dzięki temu również sprawa świadomej koordynacji izolacji stała się aktualna. W dziedzinie konstrukcyjnej duże znaczenie zyskało wprowadzenie izolujących zbiorników na olej, zamiast metalowych z izolatorami przepustowymi (wyłączniki, transformatory miernikowe, kondensatory).

Za największe i najważniejsze postępy uważam: 1) wykrycie znaczenia bezpośrednich uderzeń pioruna w linie, 2) celowe posługiwanie się zasadą zmniejszenia pracy wyłączania (energii łuku) oraz 3) stosowanie ciśnienia w kablach. Mimo ważności tych zagadnień nie omówię ich

¹⁾ Arnold Roth: Hochspannungstechnik, wyd. 2, opracowane przy współudziale A. Imhofa. Wiedeń, 1938 r. J. Springer. Str. IX + 624.

Rysunki z książki A. Rotha, reprodukowane w poniższym artykule, zostają umieszczone za zgodą autora oraz firmy J. Springer w Wiedniu.