Przyczynki do sprawy wpływu wyładowań atmosferycznych na urządzenia elektryczne.

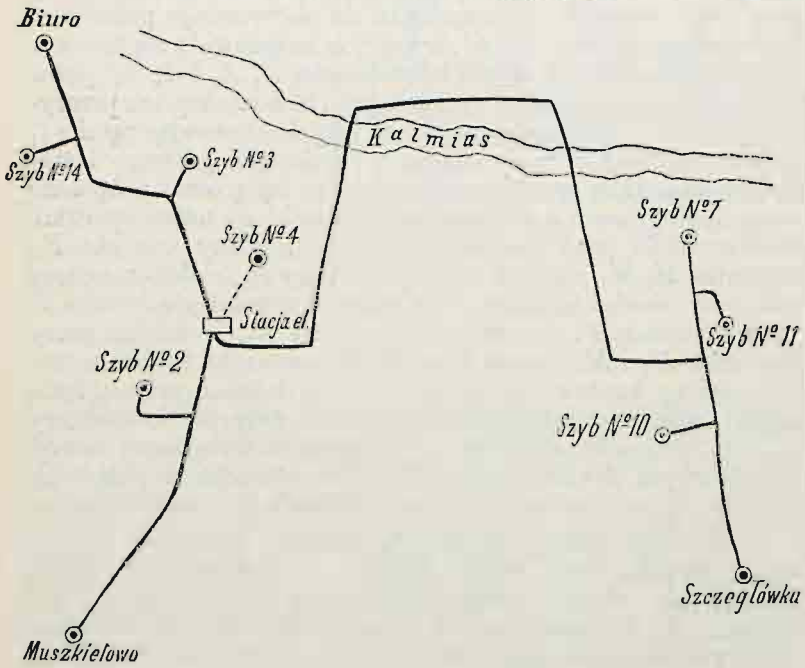
I.

W artykule „O wpływie wyładowań atmosferycznych na instalacye elektryczne“ (Przegl. Techn. № 33 r. z.) redakcya prosiła o komunikowanie jej wszystkich zauważonych wypadków wyładowań atmosferycznych i ich działania na urządzenia elektryczne. Stosując się do tego życzenia, pragnę opisać kilka wypadków, jakie miałem sposobność zaobserwować przy urządzeniach elektrycznych w Rykowskich kopalniach węgla. Kopalnie te znajdują się w Okręgu Wojska Dońskiego, nad samą granicą guberni Ekaterynosławskiej, w pobliżu Juzówki. Miejscowość jest zupełnie niezadrzewionym stepem o powierzchni silnie falistej. W podziemiach na całej przestrzeni rozpościerają się pokłady węgla na głębokości od 100 do 300 *m*. Stawy i rzeczka Kalmins są jedynymi zbiornikami wody; do wody źródlanej nigdzie dokopać się nie można. Wobec tej ostatniej okoliczności, a również wskutek kamienistego gruntu, o dobre połączenie z ziemią bardzo trudno. Burze zdarzają się w tych okolicach dosyć rzadko. W ciągu trzech lat nie słyszałem o żadnem uderzeniu piorunu, ani też nie widziałem śladów takiego bezpośredniego uderzenia. Z wyjątkiem składu dynamitowego, żaden budynek nie był zaopatrzony w piorunochron; również bez piorunochronów obywały się wysokie kominy fabryczne. Co gorsza, na jednym z kominów ustawione było ostrze piorunochronowe, lecz przewodnik łączący z ziemią został przed kilku laty na znacznej wysokości przerwany. Pomimo to, jak już mówiłem, bezpośrednie uderzenia piorunu nie zdarzały się. Natomiast powtarzały się często w urządzeniach elektrycznych wyładowania atmosferyczne, które możnaby odnieść do kategoryi „wyładowań ciemnych“.

Urządzenia elektryczne rozrzucone na dużej przestrzeni korzystały z prądu trzyfazowego. Na stacyi elektrycznej dynamomaszyny wytwarzały prąd o 190 v., który na miejscu transformował się na 3000 v. Ze stacyi odchodziły cztery odgałęzienia:

1-e o długości około 500 *m* czerpało prąd wprost z maszyny, a więc przy napięciu 190 v. i doprowadzało prąd do budynków w pobliżu szybu № 4 (rys. 1). Stosowany był

Plan przewodników zasilających.



Rys. 1.

przytem system łączenia w gwiazdę z przewodnikiem zerowym nie połączonym z ziemią.

2-e o długości około 4000 *m* zasilało prądem o 3000 v. dwie stacye drugorzędne: szyb № 2 i Muszkietowo. Ta ostatnia podstacya nieczynna. Na całej długości tej linii równina.

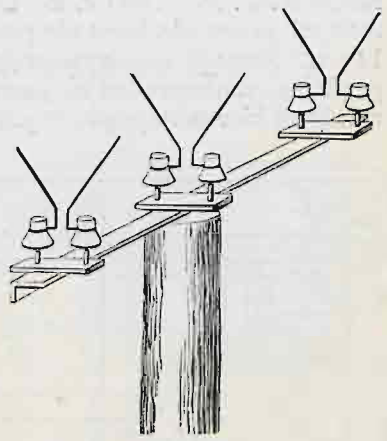
3-e o długości około 4 *km* zasilało prądem o 3000 v. trzy stacye drugorzędne: szyb № 3, szyb № 14 i biuro. Pomiędzy szybem № 3 i № 14 linia przechodziła przez głęboką dolinę.

4-e o długości przeszło 12 *km* zasilało prądem o 3000 v. cztery stacye drugorzędne: szyb № 7, 10, 11 i Szczegłówkę. Linia dwa razy przecina rzekę Kalmins i wogóle przeprowadzona jest po powierzchni pofałdowanej i zupełnie pustej.

W stacyach drugorzędnych prąd transformował się z 3000 v. na 110 v. dla oświetlenia, oraz 220 i 500 v. dla motorów.

Z każdej stacyi drugorzędnej odchodziły do poszczególnych budynków odgałęzienia, które tworzyły całą sieć o nizkiem napięciu.

Dla zabezpieczenia urządzenia od wyładowań atmosferycznych ustawione były piorunochrony w kształcie rogów. Piorunochrony założone były na słupach pod otwartem niebem. Jak widać z rys. 2, każde urządzenie piorunochronowe składało się z 3-ch par rogów (każda para dla innego bieguna), umocowanych na belce żelaznej, przytwierdzonej do wierzchu słupa. Przewodnik ziemny, wspólny dla wszystkich trzech biegunów, składał się z drutu stalowego o średnicy 4 *mm*. Płyty ziemne zrobione były pierwotnie z cienkiej blachy cynkowej i zakopane na głębokości 3 do 5 *m*. Odległość pomiędzy rogami wynosiła 8 *mm*. Dla zwiększenia samoindukcyi pomiędzy piorunochronami i transformatorami włączone były w linie dławnice z 10 do 30 zwojów. Piorunochrony rozłożone były w sposób następujący: przy stacyi elektrycznej stały trzy grupy piorunochronów, dla linii II, III i IV. Również w pobliżu wszystkich dziewięciu stacyi drugorzędnych ustawione były piorunochrony. Prócz tego, najdłuższa ze wszystkich linii IV, zaopatrzona była w połowie drogi w dławnice dodatkowe. Natomiast linia I i cała sieć nizkiego napięcia, żadnych przyrządów piorunochronowych nie miała.



Rys. 2.

Całe urządzenie powyższe wykonane zostało przez firmę „Electricité et Hydraulique“.

Wpływy wyładowań atmosferycznych na urządzenia elektryczne dawały się odczuwać przedewszystkiem przez wskazywania voltmetru. Podczas burzy wskazówki voltmetrów statycznych do wysokiego napięcia od czasu do czasu silnie się wahały. Były nawet dwa wypadki spalenia się tych voltmetrów. Raz podczas silnej burzy w wyłączniku pudełkowym zauważyłem dużą iskrę i jednocześnie usłyszałem trzask. Działo się to w mieszkaniu odległem o kilkaset metrów od stacyi drugorzędnej, przyczem linia powietrzna nie była zabezpieczona piorunochronami (jak wogóle wszystkie linie nizkiego napięcia). Podobne zjawisko widziałem też w piorunochronie aparatu telefonicznego.

Według opowiadań jednego z monterów, podczas naprawiania piorunochronu dało się uczuć za dotknięciem rożków silne wstrząśnięcie. Dzień był pogodny, lecz upalny.

Prócz tego, zdarzały się częste wypadki spalania cewek w lampach łukowych (na 58 zainstalowanych lamp rocznie bywało 46 takich wypadków), a raz spalił się też i opornik dodatkowy. Lampy łukowe służyły wyłącznie do oświetlenia zewnętrznego, a przewodniki doprowadzające (nieraz znacznej długości) nie były zaopatrzone w piorunochrony. Wypadków tych zresztą nie można z pewnością przypisać działaniu wyładowań atmosferycznych, choć tak znaczna ich ilość poniekąd do tego uprawnia.

Najszkodliwszem wreszcie skutkiem wyładowań atmosferycznych było spalanie się transformatorów. Transformatory ustawione były na rolkach porcelanowych (izolujących od ziemi) i mieściły się w obszernych szafach drewnianych z otworami dla krążenia powietrza.

1) Pierwszy wypadek zdarzył się w kwietniu1 902 r. na stacyi drugorzędnej „szyb №10“, przylegającej do najdłuższej linii powietrznej IV. Podczas silnej burzy spalił się transformator wyrobu „Electricité et Hydraulique“, o wydajności normalnej 3 kw i napięciu $^{3000}/_{110}$ v. Szafa napełniła się dymem. Po bliższem zbadaniu transformatora okazało się, iż z trzech faz uszkodzone były tylko dwie. W jednej fazie spaliła się cewka nizkiego napięcia i górne zwoje (t. j. zwoje połączone bezpośrednio z przewodnikiem doprowadzającym prąd) wysokiego napięcia; w drugiej fazie—spaliła się cewka nizkiego napięcia. Ażeby przekonać się, czy połączenie z ziemią jest dobre, postanowiono wykopać płytę ziemną. Na głębokości 5 *m* w glebie suchej piaszczysto-kamienistej znaleźliśmy płytę z cienkiej blachy cynkowej, która po roku leżenia w ziemi zamieniła się wprost w pajęczynę. Przyczyną tak szybkiego zniszczenia się płyty musiały być substancye gryzące zawarte w ziemi. Woda miejscowa, dopóki jej nie oczyszczano, wskutek swego osobliwego składu chemicznego nadzwyczaj szybko przegryzała kotły; przypuszczam przeto, że pomiędzy obydwoma temi zjawiskami zachodził pewien związek.

Po tym wypadku zamieniliśmy wszystkie płyty cynkowe na żelazne o wymiarach co najmniej 1000 . 1000 . 3 *mm*, a jednocześnie zamieniono też przewodniki łączące piorunochrony z ziemią; mianowicie zamiast drutów stalowych założono miedziane o przekroju 25 mm^2.

2) W październiku 1902 r. zaczął się palić na stacyi elektrycznej jeden z czterech transformatorów o wydajności 40 kw, $^{190}/_{3000}$ v., wyrobu „Electricité et Hydraulique“. Było to wieczorem. Transformator natychmiast wyłączono z sieci. Spaliły się tylko górne zwoje wysokiego napięcia w jednej z faz.

3) W grudniu 1902 r. na stacyi drugorzędnej szyb № 10 spalił się transformator o wydajności 2,5 kw, $^{3000}/_{220}$ v., wyrobu „Siemens i Halske“. Spaliły się cewki jednej fazy zarówno nizkiego jak i wysokiego napięcia. Piorunochrony były z powodu śnieżnej zimy zdjęte, gdyż śnieg dostawał się pomiędzy rogi i wytwarzał połączenie z ziemią. Wobec tego jednak, że wyładowania atmosferyczne okazały się możliwemi i w zimie, napowrót założono piorunochrony, zwiększając tylko odległość pomiędzy rogami z 8 do 12 *mm*.

4) W kwietniu 1903 r. na stacyi drugorzędnej szyb № 14 spalił się transformator wyrobu „Electricité et Hydraulique“ o wydajności 4 kw, $^{3000}/_{110}$ v. Przy badaniu okazało się, iż uszkodziła się tylko jedna faza; z pięciu cewek wysokiego napięcia górna spaliła się na węgiel, dwie następne nadpaliły się, a dwie dolne zostały nienaruszone; uzwojenie nizkiego napięcia spaliło się zupełnie. Transformator zabezpieczony był przez piorunochron płytkowy firmy A. E. G., który jednak w chwili wypadku był nieczynny, gdyż na parę dni przedtem przewodnik ziemny został odcięty i ukradziony.

5) W maju 1903 r. na stacyi drugorzędnej szyb № 2 spalił się transformator ten sam, co w wypadku 1. Spaliły się tylko górne zwoje wysokiego napięcia w dwóch fazach. Burzy nie było.

6) W sierpniu 1903 r., podczas silnej burzy spalił się na stacyi drugorzędnej szyb № 2 ten sam transformator, co w wypadku 1 i 5. Spaliły się górne zwoje wysokiego napięcia jednej z faz. Jednocześnie na stacyi elektrycznej spalił się voltmetr statyczny dla wysokiego napięcia.

7) Przy szybie № 3 założono nową stacyę (do poruszania podziemnych silnic) z transformatorem wyrobu „Centralnego Towarzystwa Elektrycznego“, o wydajności 40 kw, przy $^{3000}/_{500}$ v. Piorunochron umieściłem wewnątrz budynku, aby był zupełnie niezależny od stanu pogody. Odległość pomiędzy rogami mogła być wobec tego tylko 3 *mm*.

W grudniu 1903 r. transformator ten spalił się. Było to wieczorem. Ogień wydobył się na zewnątrz i opalił słupek drewniany stojący w odległości 300 *mm*. Spaliła się tylko jedna faza zarówno nizkiego jak i wysokiego napięcia. Zwoje górne i dolne były nieuszkodzone; spaliły się tylko zwoje środkowe i również w środku został przebity cylinder z twardej tektury papierowej, oddzielający uzwojenie pierwotne od wtórnego.

Zestawiając ze sobą wypadki powyższe, widzimy przedewszystkiem, że z nich tylko dwa (1 i 6) zaszły podczas burzy z widocznemi wyładowaniami atmosferycznemi (piorunami i błyskawicami). Dwa wypadki (3 i 7) zdarzyły się zimą. Z wyjątkiem jednego wypadku (7), gdzie spaliły się zwoje środkowe (przypuszczalnie zachodziło „wyładowanie ciemne“), we wszystkich innych uległy zepsuciu tylko zwoje górne, bezpośrednio połączone z siecią. Nigdy nie spalały się naraz zwoje wszystkich trzech faz; dwa razy (1 i 5) zdarzyło się uszkodzenie dwóch faz, poza tem uszkodzenia ograniczały się do jednej fazy. Cztery razy (1, 3, 4 i 7) spaliły się jednocześnie zwoje nizkiego i wysokiego napięcia, a izolacya oddzielająca je uległa przebiciu; w pozostałych trzech wypadkach spalały się wyłącznie zwoje wysokiego napięcia.

Na dwóch stacyach (szyb № 10 i № 2) transformatory paliły się dwukrotnie (1 i 3, 5 i 6).

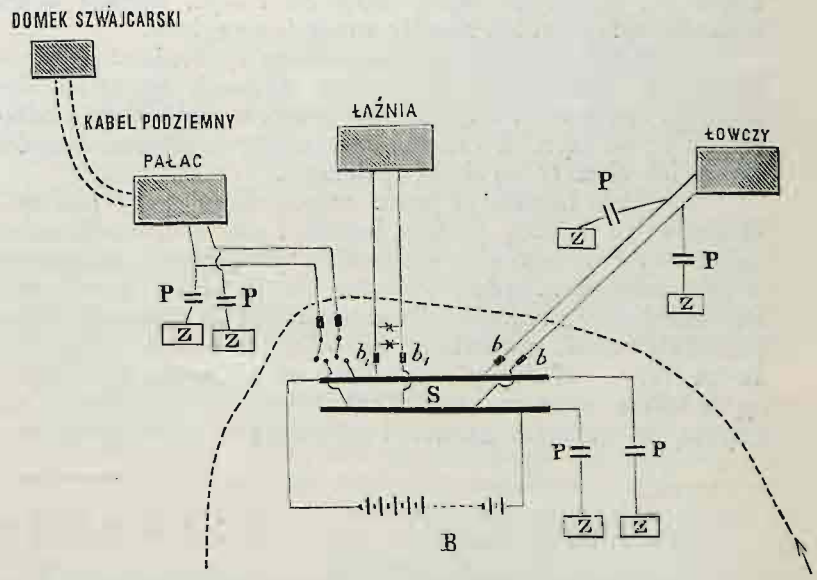
Z opisanych wypadków pięć (1, 2, 5, 6 i 7) zdarzyły się pomimo dobrego stanu przyrządów piorunochronowych, wogóle zaś rocznie ulegało uszkodzeniom około 20% istniejących stacyi transformatorowych.

Możliwem jest wprawdzie, że pewna część wypadków opisanych powstała niezależnie od wyładowań atmosferycznych, z powodu jakichkolwiek wadliwości w budowie tego lub owego transformatora, albo też wskutek podwyższenia napięcia spowodowanego przez mogące się zdarzyć zjawiska rezonancyi. Pozostanie jednak bądź co bądź duża ilość wypadków, które niezawodnie należy przypisać wyładowaniom, a to pomimo, że bezpośrednich i gwałtownych uderzeń pioruna w tej miejscowości w tym okresie czasu nie zauważono.

St. Wysocki.

II.

W instalacyi elektrycznej, urządzonej w r. 1903 w Spale (pod Tomaszowem Rawskim), zauważony został wpływ wyładowań atmosferycznych w maju r. z. Opis wypadku podamy poniżej w porządku, wskazanym przez odnośny kwestyonaryusz, który umieściliśmy w № 33 Przeglądu Techn. r. z. Na wstępie zaś podajemy rysunek schematyczny, który ułatwi zrozumienie przebiegu wyładowania (rys. 3). Przez *S*



Rys. 3.

oznaczyliśmy szyny zbiorcze głównej tablicy rozdziałowej na stacyi elektrycznej, mieszczącej się w oddzielnym budynku w lesie. W chwili wypadku była przyłączona do szyn baterya akumulatorów *B*, dwie dynamomaszyny zaś, na rysunku nie wskazane, były odłączone; linia powietrzna, prowadząca do pałacu, zarówno jak wszystkie inne linie zewnętrzne (na rysunku nie podane) były odłączone od tablicy przy pomocy odnośnych dwubiegunowych przerywaczy drążkowych. W połączeniu z tablicą pozostawały wówczas, o ile to później mogłem stwierdzić, tylko dwie linie: linia prowadząca do domu łowczego, zaopatrzona na tablicy w przerywacz dwubiegunowy (pudełkowy okrągły) i bezpieczniki *b* oraz linia, prowadząca do łaźni; do tej ostatniej linii były przyłączone lampki żarowe w sali maszyn; na tablicy posiadała ona również przerywacz pudełkowy i bezpieczniki b_1; pokazane na rysunku lampki sali maszyn posiadały oddzielny przerywacz jednobiegunowy na ścianie. Dwa wspomniane przerywacze pudełkowe dla dwóch ostatnich linii były prawdopodobnie w chwili wypadku zamknięte; przerywacz ścienny do lamp sali maszyn był otwarty i lampy się nie paliły. Za tablicą były ustawione dwa piorunochrony *P*, przyłączone do szyn