

Elektryczność atmosferyczna w świetle nowszych badań i zabezpieczenie od niej budowli

Prof. Mieczysław Pożaryski

Normalny elektryczny stan atmosfery.

Pierwsze doświadczenia z elektrycznością atmosferyczną przeprowadzili Franklin i Dalibar w czasie burzy, w roku 1752 [1]*). Przy pogodzie pierwszy zaczął badać elektryczność atmosferyczną Lemmoniers, następne spostrzeżenia prowadzili W. Thomson, F. Exner, J. Elster, H. Geitel i wielu innych badaczy. Dziś stałe obserwacje w tym kierunku prowadzi szereg obserwatoriów.

Pod względem własności elektrycznych ziemia z atmosferą stanowią zespół niejednorodny. Woda morska, która zajmuje 3/5 całej powierzchni ziemi, posiada elektryczny opór właściwy ok. 100 Ω cm, grunt suchy — od 15⁵ do 10⁷ Ω cm. Powietrze w pobliżu ziemi — ok. 4,5 · 10¹⁵ Ω cm; wyżej — opór właściwy powietrza maleje, z początku (do 7 km) wolno, po tym szybciej [2], — tak, że w warstwie Heaviside'a znajdującej się na wysokości od 80 do 160 km, opór właściwy powietrza wynosi zaledwie 900 Ω cm, czyli zaledwie 9 razy więcej od oporu właściwego wody morskiej.

A więc ziemia wraz z górną warstwą atmosfery stanowią jakgdyby dwie okładziny olbrzymiego kondensatora kulistego, oddzielone od siebie niedoskonałym izolatorem.

Na powierzchni ziemi przy normalnym średnim stanie atmosfery mamy stale elektryczny ładunek ujemny, w warstwie zaś Heaviside'a — dodatni. W tych warunkach pomiędzy ziemią, a warstwą Heaviside'a istnieje pole elektryczne zwrócone ku ziemi. W tym polu elektrycznym płynie ciągle do ziemi prąd elektryczny, którego natężenie dla całej kuli ziemskiej wynosi ok. 1400 A [1], napięcie zaś pomiędzy warstwą Heaviside'a a ziemią wynosi ok. 200 000 V, opór więc źle przewodzącej warstwy powietrza wypadnie równy 143 Ω , z czego 137 Ω przypada na troposferę**), a reszta zaś czyli 6 Ω — na stratosferę***).

Istnieją różne hipotezy co do źródła powyższego prądu.

Pole elektryczne w rozważanej warstwie atmosfery byłoby praktycznie jednorodne, gdyby powierzchnia ziemi była gładka i w atmosferze nie byłoby ładunków przestrzennych.

Jeżeli oznaczymy przez R promień ziemi, przez h zaś wysokość rozważanego punktu nad powierzchnią ziemi, to natężenie pola od ładunku ujemnego znajdującego się na powierzchni ziemi — Q wyrazi się wzorem:

$$K = \frac{-Q}{(R + h)^2}$$

*) Liczby ujęte w klamry odnoszą się do bibliografii podanej w końcu artykułu.

**) Warstwa powietrza o obniżającej się z wysokością temperaturze.

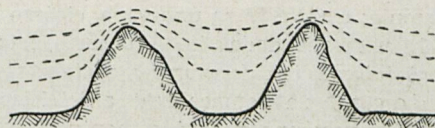
***) Obszar, w którym temperatura jest niemal stała.

Lecz wobec tego, że pomiędzy powierzchnią ziemi, a warstwą Heaviside'a wysokość h jest zawsze mała w porównaniu do R , to z wielką dokładnością możnaby przyjąć, że

$$K = \frac{-Q}{R^2}$$

Wynikałoby stąd, że natężenie pola elektrycznego w rozważanych punktach jest wszędzie jednakowe.

Doświadczenie jednak nie potwierdza wyniku powyższych rozumowań. W pobliżu ziemi duży wpływ na układ pola elektrycznego wywierają nierówności powierzchni ziemi, budowle drzewa itp., a wiadomo przecież, że wokół przewodnika o nieregularnym kształcie powierzchnie ekwipotencjalne przebiegają w zagłębieniach rzadziej, gęściej zaś nad wyniosłościami (rys. 1). Z tego powodu gradient potencjału jest mniejszy w zagłębieniach, niż w miejscach znajdujących się nad wyniosłościami.



Rys. 1.

Poza tym doświadczenia wykazały obecność w atmosferze dość znacznego ładunku przestrzennego dodatniego. Jeżeli założymy, że w warstwie powietrza o grubości h leżącej na powierzchni ziemi, znajduje się ładunek przestrzenny q dodatni, to, zachowując poprzednio podane oznaczenia, możemy określić natężenie K pola elektrycznego w punkcie położonym w odległości h od powierzchni ziemi w postaci przybliżonego wzoru:

$$K = \frac{-Q + q}{R^2}$$

Z tego wzoru wynika, że natężenie pola z wysokością maleje.

Badania stanu elektrycznego atmosfery dały następujące średnie wyniki: przy ziemi natężenie pola elektrycznego wynosi 120 V/m*), na wysokości 2 km wynosi ono już tylko 30 V/m, a na wysokości 20 km — zaledwie 1,2 V/m [1].

Badania ładunku przestrzennego w atmosferze stwierdziły, że ze wzrostem odległości od ziemi gęstość ładunku maleje. Ładunki przestrzenne w atmosferze są unoszone przez różne cząstki naelektryzowane, jak elektryony, jony, cząsteczki małe, duże, kurz, dym, itp. Ruchli-

*) Średnie roczne wartości wynoszą: nad suchym lądem 34 do 317 V/m, nad morzem 115 do 142 V/m.

wość małych cząsteczek wynosi do 1 cm/sek na V/cm, dużych zaś — zaledwie 0,0005 cm/sek na V/cm [1].

Skąd się biorą ładunki przestrzenne? W pobliżu ziemi (do wysokości 3 km) na powstawanie ładunków przestrzennych wpływają przeważnie substancje radioaktywne gleby. W ziemi substancji takich znajduje się od 3 do $0,5 \cdot 10^{-12}$ gr/cm³; a w wodzie morskiej — od 10^{-16} do $4 \cdot 10^{-14}$ gr/cm³. W atmosferze zaś zachodzi działanie jonizacyjne promieni kosmicznych oraz promieniowania słońca.

Elektryczność opadów atmosferycznych.

Kropelki deszczu noszą na sobie ładunki elektryczne. Deszcz, który pada na dużym obszarze w 75% jest naelektryzowany dodatnio, a tylko w 25% ujemnie [1]. Śnieg, a szczególnie grad noszą ładunki jeszcze większe.

Zródłem powstawania tych ładunków jest najprawdopodobniej elektryzowanie się przy rozpryskiwaniu większych kropel wody na drobniejsze — znane, jako zjawisko Lenarda. Rozpryskiwanie kropelek następuje zwykle pod wpływem wiatru o szybkości 8 m/sek, przy czym od większej kropli odrywa się dużo drobnych kropelek. Te drobne kropelki elektryzują się ujemnie, większa zaś reszta kropli zostaje naelektryzowana dodatnio.

W podobny sposób elektryzuje się śnieg oraz piasek na pustyni.

Powstawanie burz.

Najdokładniej teoria powstawania burz została opracowana w r. 1927 przez G. C. Simpsona. Według tej teorii w chmurze burzowej powstają warstwy kropelek różnocołownie naelektryzowanych, a to skutkiem rozpylającego działania wiatru, który wieje niemal pionowo do góry. Tam gdzie szybkość wiatru wynosi ok. 8 m/sek. kropelki rozpylają się, przy czym drobne cząstki elektryzują się ujemnie; cząstki te są unoszone, cięższe zaś resztki — naelektryzowane dodatnio — pozostają w obszarze rozpylania. Istnienie takich warstw zostało stwierdzone w ostatnich czasach za pomocą tzw. altielektrografu [3]. Na balonikach puszczano rodzaj samopiszącego amperomierza, który był połączony z pionowym przewodnikiem. W chwili, gdy aparat dostawał się pomiędzy rozmaicie naelektryzowane warstwy chmur, amperomierz wykazywał przepływ prądu.

Przeprowadzono również badania gradientu elektrycznego w pobliżu chmur przy czym stwierdzono powstawanie nateżeń pola elektrycznego dochodzących do 400 kV/m. Tak znaczne napięcia elektryczne w warunkach sprzyjających powodują oczywiście wyładowania wewnątrz chmur oraz pomiędzy chmurą, a ziemią.

Elektryczne zjawiska świetlne w troposferze.

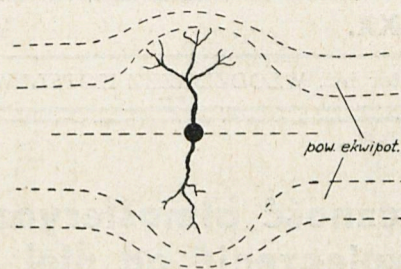
Rozróżniamy kilka rodzajów elektrycznych zjawisk świetlnych.

Ognie Św. Elma powstają w postaci snopów świetlnych najczęściej na wysokich górach lub na okrętach, rzadko natomiast w dolinach. Zjawiają się one wtedy, gdy gradient elektryczny pola w pewnym miejscu osiągnie wartość ok. 30 000 V/cm; wtedy następuje jonizacja udarowa powietrza przez wolne elektrony. Według Toeplera snopiasze światelka ogni Św. Elma prowadzą prądy rzędu od 1 do $2 \cdot 10^{-3}$ A na jeden snop.

Błyskawice stanowią wyładowania jarzące w powietrzu, które przybierają różną postać. Rozróżniamy błyskawice powierzchniowe, smugowe, kuliste i perełkowe.

Błyskawice powierzchniowe stanowią jarzenie się, występujące w powietrzu pomiędzy kropelkami naelektryzowanymi w chmurach.

Najczęstszym jednak zjawiskiem są błyskawice smugowe, stanowiące błyszczące smugi często rozgałęzione. Błyskawice takie powstają rozmaicie. Jeżeli na powierzchni kropelki wytworzy się gradient pola wystarczający dla jonizacji udarowej, to wówczas może powstać



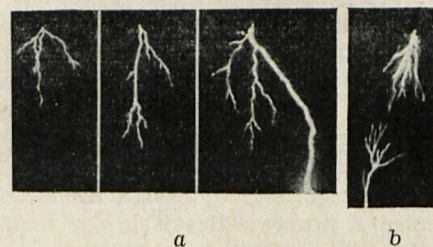
Rys. 2.

Kropelka w polu elektrycznym.

wyładowanie jarzące do góry i na dół (rys. 2); u góry powstaje wtedy pień ujemny oraz ujemny snop czołowy, u dołu zaś — pień dodatni oraz dodatni snop czołowy. Najprzód powstaje snop dodatni, a potem ujemny, gdyż wpływ elektryczności dodatniej wymaga mniejszego gradientu.

Wobec powstawania nowych ładunków przestrzennych gradient pola zmienia się i skupienie powierzchni ekwipotencjalnych posuwa się naprzód wraz ze wzrostem smug błyskawicy; możemy więc powiedzieć, że błyskawica posuwa przed sobą potrzebny dla jej powstania gradient. Szybkość wzrostu smugi świetlnej wynosi, wg. Toeplera ok. 100 km/sek = 0,1 m/μs [1].

Podobne wyładowania wstępne powstają z chmur w kierunku do ziemi lub odwrotnie — z ziemi do chmur, przy czym nieraz zanikają one w powietrzu między ziemią a chmurami. Kiedy jednak takie wyładowanie wstępne utworzy przewodzący kanał pomiędzy chmurą a ziemią, to wówczas powstaje wyładowanie znacznie silniejsze, mające charakter podobny do wyładowania łukowego, zasilanego przez duże źródła energii elektrycznej; mówimy wtedy, że „uderzył piorun“ (rys. 3, 4, 5 i 6).



a

b

Rys. 3.

Wyładowania obserwowane przez M. Matthias'a wywołane sztucznie pomiędzy górnym ostrzem i dolną płytą metalową.

a — ostrze dodatnie; b — ostrze ujemne.

Badanie błyskawic odbywa się dziś różnymi sposobami — zależnie od tego, jaką cechę tego zjawiska mamy zamiar poznać.

Gdy chodzi o zbadanie, jak przebiegają w czasie objawy świetlne w błyskawicy, — stosujemy kamerę fotograficzną z wirującym filmem światłoczułym (rys. 7), obmyśloną przez Boys'a [4]. Badania przeprowadzone przy pomocy tego aparatu w Ameryce dały wyraźny obraz przebiegu wyładowań wstępnych oraz wielokrotnych (rys. 8 i 9). Wyładowanie wstępne posuwa się naprzód skokami po 50 m; gdy dosięgnie ono ziemi, powstaje w tym samym kanale wyładowanie główne, posuwające się od ziemi do chmury. Według tych badań szybkość posuwania się wyładowań wstępnych wynosi 20 do 40 m/μs,

podczas gdy wdg. Toeplera szybkość ta wynosi tylko $0,1 \text{ m}/\mu\text{s}$.

Wielokrotne wyładowania były obserwowane w liczbie do 40-tu w odstępach czasu od $0,0006$ do $0,53$ sek (rys. 9).

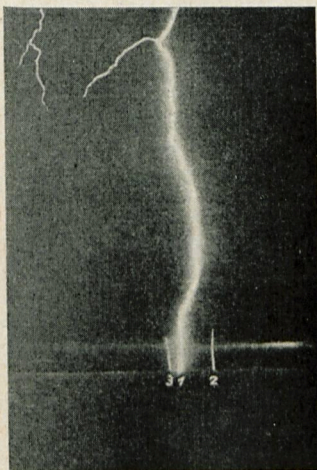


Rys. 4.

Dwie błyskawice — lewa z części dodatniej chmury, prawa z ujemnej, które wytworzyły się jedna za drugą po upływie $\frac{1}{2}$ minuty.

Biegunowość chmur wdg. badań amerykańskich jest w 95% ujemna, według niemieckich zaś — w 85% ujemna.

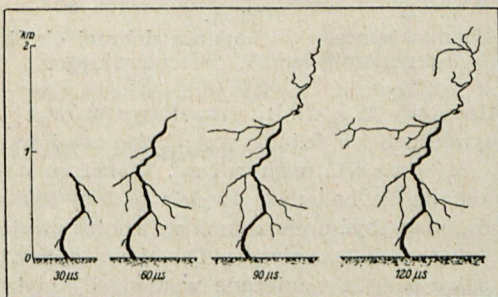
Przy badaniach przebiegu w czasie natężenia prądu piorunów używamy oscylografu katodowego. Stwierdzono, że wyładowania piorunowe odbywają się na ogół bez oscylacji [5].



Rys. 5.

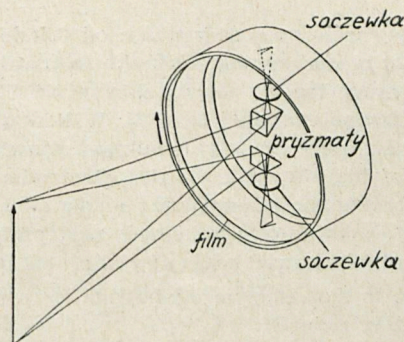
Piorun na brzegu morza. 1 — smuga główna; 2 i 3 — wyładowania wstępne z ziemi.

Napięcie elektryczne chmur względem ziemi Wilson ocenia na 10^6 kV [8, 9]. Na przewodach urządzeń elektrycznych przy wyładowaniach atmosferycznych zmie-



Rys. 6.

Powstawanie wyładowania wdg. pomiarów Schonlanda po upływie 30, 60, 90 i $120 \mu\text{s}$.

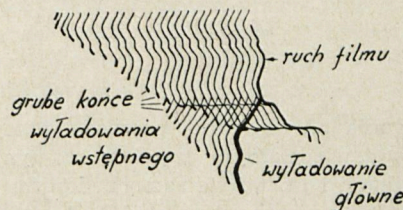


Rys. 7.

Układ fotograficzny wdg. Boys'a.

rzono napięcie wynoszące do $2,4 \cdot 10^3 \text{ kV}$ [10]. Z doświadczeń nad rozszczepianiem słupów [11] wynika, że napięcie prądu pioruna w słupie wynosi ok. $1,5 \cdot 10^3 \text{ kV}$.

Jeżeli chodzi o energię piorunów, to jest ona oceniana na kilka do kilkuset kWh.

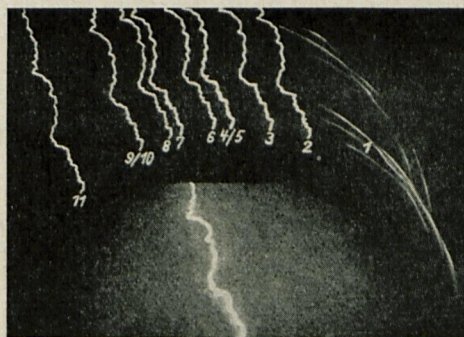


Rys. 8.

Rozwój wyładowania wdg. zdjęć aparatem Boys'a.

Co się tyczy błyskawic kulistych, to zanotowano wiele spostrzeżeń, dotyczących tego rodzaju piorunów, nieraz dość fantastycznych [12].

Z pośród nowszych obserwacji zasługuje na przytoczenie spostrzeżenie J. C. Jensen'a [13, 14]. O zjawisku tym Jensen pisze, że widział w powietrzu kilka



Rys. 9.

Wyładowanie wielokrotne: u góry zdjęcie na filmie ruchomym (u dołu — na nieruchomym *).



Rys. 10.

Fotografia błyskawicy kulistej.

*) Ryc. 3, 4, 5, 8 i 9 są zapożyczone z ETZ. 1937 r. (str. 883, 1213, 1214 i 1215).

mas świecących różowo o średnicy od 8,5 do 12,5 m na wysokości 28 m nad ziemią; zjawisko to trwało 3 minuty, przy czym masy toczyły się na drodze ok. 60 m na powierzchni ekwipotencjalnej 2300 V. W końcu spadły one na ziemię i zniknęły z wielkim hukiem. Zjawisko to udało mu się sfotografować (rys. 10). Zestawienie znanych obserwacji dokonane przez W. Brand'a (w książce „Der Kugelblitz“) pozwoliło wyciągnąć następujące wnioski ogólne co do błyskawic kulistych:

1. Jest to zjawisko na ogół rzadkie, częstsze jednak w zimie, niż w lecie;
2. średnica kul wynosi najczęściej od 10 do 20 cm, dochodzi jednak i do 50 m;
3. kula taka świeci czerwono w niebieskiej otoczce;
4. syczy i trzepocze się;

5. zjawisko trwa od ułamka sekundy do 5 sek.;
6. bywają kule nieruchome, jak również i toczące się z szybkością do 2 m/sek.;
7. najniebezpieczniejsze są kule nieruchome — tzw. „siedzące“;
8. kula gaśnie cicho lub z hukiem, pozostawiając po sobie mgłę brunatną i silny zapach.

Doświadczenia przeprowadzone przez Planté i Toeplera w celu wytworzenia sztucznych piorunów kulistych doprowadziły do wniosku, że jest to rodzaj nieciągłego wyładowania smugowego.

Zjawisko wreszcie błyskawic perełkowych stanowi jak gdyby przejście od wyładowań smugowych do kulistych.

(Dokończenie nastąpi).

Kontrola wyrobów stalowych metodą elektromagnetyczną

inż.-el. K. Bałas

St. Asystent Politechniki Warszawskiej

Wstęp.

Wymagania bezwzględnej pewności pracy, stawiane niektórym odpowiedzialnym częściom maszyn w lotnictwie, komunikacji i przemyśle samochodowym przyczyniły się do opracowania nowych metod badania materiałów, bardziej skutecznych, niż dotychczasowe. Celem tych badań jest ustalenie, czy dana część konstrukcyjna będzie odpowiadała warunkom pracy, będąc wolną od jakichkolwiek skaz wewnętrznych. Badanie takie jest tym bardziej konieczne, że próby odbiorcze materiałów, przeprowadzone jedynie w zakresie wytrzymałościowym, nie zabezpieczają ich przed uszkodzeniami wewnętrznymi, które mogą powstać podczas dalszej obróbki.

Ponadto przeprowadzenie prób wytrzymałościowych powoduje zniszczenie gotowych części badanych; w wypadku zaś bardziej skomplikowanych kształtów badanych części te próby są w ogóle trudne do przeprowadzenia. Przeprowadzone natomiast z konieczności na kilku zaledwie częściach wybranych z pośród większych partii wyrobów dają wyniki wątpliwej wartości.

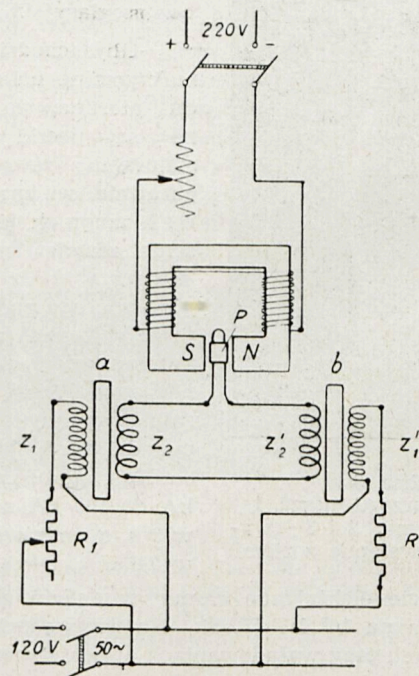
Omawiana metoda badawcza pozwala wykryć skazy istniejące w danym przedmiocie, nie powodując przy tym jego uszkodzenia; ponadto nadaje się ona do kontroli seryjnej wzgl. masowej. Obok tej metody nowoczesna technika rozporządza jeszcze metodą prześwietlania badanej części promieniami Roentgena lub promieniami „gamma“; obie te metody znajdują obecnie w praktyce zastosowanie przy wykrywaniu skaz i dają w pewnych wypadkach wyniki zadawalające. Mają one zresztą dużo cech wspólnych z omawianą metodą magnetyczną, to też b. często wyniki uzyskane za pomocą tych metod są ze sobą porównywane. Wspólność zasad metody rentgenowskiej i magnetycznej wynika chociażby stąd, że podobnie, jak w wypadku pierwszym czynnikiem przenikającym badany przedmiot są promienie rentgenowskie, tak w drugim są nim linie sił pola magnetycznego.

Zasada metody elektromagnetycznej polega na wykrywaniu zmian przenikalności magnetycznej, ogólnej lub miejscowej, spowodowanej obecnością wewnątrz środowiska o jednostajnej przenikalności miejsc o przenikalności odmiennej (np. warstewki powietrza, żużel w stali itp.).

W dalszym ciągu omówimy zastosowanie metody elektromagnetycznej do badania narzędzi, lin, szwów spawanych, rur, wałów korbowych, sprężyn, kół turbinyowych itp.

Badanie jakości obróbki termicznej narzędzi.

Klasycznym przykładem zastosowania pola magnetycznego do badania dobroci obróbki termicznej (np. hartowania) przedmiotów o jednakowych kształtach geometrycznych, na podstawie zmian wypadkowej przenikalności magnetycznej, jest uwidoczniony na rys. 1 schemat aparatu zbudowanego przez inż. W. Biernawskiego.



Rys. 1.

Schemat aparatu do badania dobroci obróbki termicznej inż. W. Biernawskiego.

Składa się on z dwóch transformatorów o jednakowych wymiarach i o jednakowej liczbie zwojów pierwotnych z_1 i z_1' oraz wtórnych z_2 i z_2' . Transformatory te są tak wykonane, że badane narzędzia (a i b) jednakowych wymiarów mogą być umieszczane wewnątrz zwojów, tworząc w ten sposób ich rdzenie. Uzwojenia z_2 i z_2' (rys. 1) są tak połączone, że wzniecane w nich siły elektromotoryczne skierowane są przeciw sobie; w wypadku równych wielkości znoszą się one, przy czym znajdujący się w obwodzie ich oscylograf P nie daje wychyleń. Jednakowe