

## ROZDZIAŁ II.

# MATERJAŁY IZOLACYJNE.

### A. Materiały izolacyjne lotne. Powietrze.

Z ciał lotnych, które mogą mieć praktyczne znaczenie w elektrotechnice jako materiały izolacyjne, najważniejszą rolę odgrywa powietrze. Występuje ono jako naturalny izolator wszędzie tam, gdzie nie zachodzi potrzeba innego, bezpośredniego, odizolowania części metalowych, znajdujących się pod napięciem (np. przy przewodach napowietrznych poza miejscami umocowania). Jego własności izolacyjne jednak mogą być także specjalnie wyzyskane przy niektórych konstrukcjach (izolatory przepustowe i t. d.). Dokładna zatem znajomość własności izolacyjnych powietrza, a głównie jego wytrzymałości, jest niezbędną we wszystkich prawie przypadkach, kiedy mamy do czynienia z wysokim napięciem.

Badanie zjawisk, zachodzących w powietrzu pod wpływem pola elektrycznego i praw temi zjawiskami rządzących, należy właściwie do fizyki; tutaj zajmemy się tą sprawą ogólnie, zatrzymując się dłużej na praktycznej stronie zagadnienia, w zastosowaniu do wysokich napięć przemysłowych. Najwięcej obchodzi nas elektryczna wytrzymałość powietrza przy rozmaitej postaci układów i w rozmaitych warunkach, oraz sposoby mierzenia tej wytrzymałości. Naprzód jednak musimy ustalić określenia zjawisk, zachodzących pod wpływem wysokiego napięcia w powietrzu.

#### 1. Wyładowania elektryczne w powietrzu.

Jakkolwiek powietrze w normalnych warunkach jest dobrym izolatorem, to jednak nie jest izolatorem doskonałym. Przewodzi ono zawsze w mniejszym

lub większym stopniu, t. zn., że pod wpływem napięcia panującego między elektrodami, zawsze płynie przez dielektryk (powietrze) większy lub mniejszy prąd.

Prąd elektryczny w gazie związany jest z ruchem cząstek gazu, naładowanych dodatnio lub ujemnie, które, o ile możliwości, dążą w kierunku pola elektrycznego do bieguna przeciwnego. Przy tym ruchu napotykać one inne cząsteczki gazu, o które się uderzają i przez to tracą na prędkości; ostatecznie prędkość ich jest mniej więcej proporcjonalna do natężenia pola w danym miejscu.

Do wytworzenia tych zjawisk potrzebna jest jonizacja powietrza oraz pewna minimalna prędkość jonów, a przeto dostatecznie duże natężenie pola, a więc i napięcie, przyłożone do elektrod.

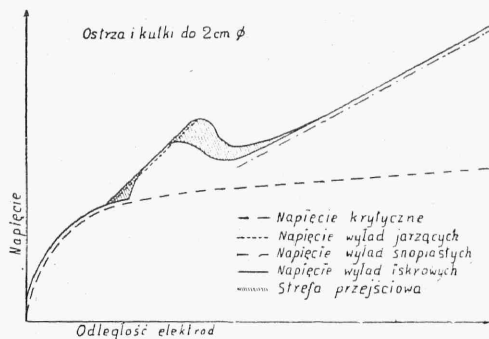
Jonizacja powietrza następuje albo skutkiem zewnętrznych czynników jonizacyjnych (jonizatorów), jak promienie pozafioletowe, rentgenowskie, radioaktywne, rozżarzone cząstki ciała i t. d., które rozkładają obojętne cząsteczki na jony (jonizacja niesamodzielna), albo też powodują ją swobodne jony, będące zawsze, choć w drobnej ilości, w powietrzu, które pod wpływem dostatecznie dużego natężenia pola nabierają stosunkowo dużej prędkości, uderzają o cząsteczki obojętne i rozbijają je na jony (jonizacja samodzielna czyli bodźcza).

Jeżeli natężenie pola jest dostatecznie duże, to zjawisko powstawania nowych swobodnych jonów skutkiem ciągłego ich uderzania o cząsteczki gazu, potęguje się lawinowo, a powietrze traci zdolności izolacyjne, stając się stosunkowo dobrym przewodnikiem i wreszcie może nastąpić zupełny zanik izolacyjności skutkiem wytworzenia niejako kanału przewodzącego między elektrodami, w postaci iskry lub łuku elektrycznego, a więc zwarcie elektrod. Z licznych badań wynika, że na wywołanie zjawiska gwałtownego wyładowania między elektrodami wpływa nietylko bezwzględna wysokość napięcia tam panującego, lecz w bardzo dużym stopniu także i kształt tych elektrod, a przez to i rozkład pola.

Zależnie od kształtu i odstępu elektrod, wyładowania mogą przybrać różną postać, w miarę zwiększania napięcia. Wyładowanie może być **z u p e ł n e**, jeżeli następuje zwarcie między elektrodami w postaci iskry lub łuku elektrycznego; jest to wyładowanie **i s k r o w e** lub **ł u k o w e**, różniące się, poza wyglądem zewnętrznym, jeszcze n. p. tem, że wyładowaniu iskrowemu towarzyszy charakterystyczny

trzask, a łukowemu huczenie. Jeżeli do zupełnego zwarcia nie dojdzie, to wyładowanie będzie niezupełne; wtedy przybiera ono postać jarzenia się elektrod, z których, o ile napięcie jeszcze się zwiększy lub, o ile na nich znajdują się ostre występy, wyskakują snopy iskier, — mówimy wtedy o wyładowaniu jarzącym lub snopiastym.

W niektórych razach mogą te postacie wyładowań zjawiać się kolejno, w miarę wzrostu napięcia. Np. przy małych elektrodach kulkowych i dostatecznym dużym odstępzie, zobaczymy przy pewnym napięciu wyładowanie jarzące, które przejdzie przy zwiększaniu napięcia w snopiaste, a wreszcie w iskrowe lub, gdy źródło prądu jest dostatecznie zasobne, — w łukowe (Rys. 11). W innych razach znowu, np. przy



Rys. 11.

elektrodach o dużym promieniu krzywizny i przy niewielkim odstępzie, zjawiają się odrazu wyładowania iskrowe, wzgl. łukowe, bez innych postaci poprzedzających.

Napięcie, przy którym występuje pierwszy objaw wyładowania, nazywa się napięciem krytycznym lub początkowym. Może ono wpadać w napięcie przebicia, przy którym następuje wyładowanie zupełne czyli przebicie, lub też poprzedzać je, a zatem wpadać w napięcie jarzenia lub napięcie wyładowań snopiastych. Natężenie pola, odpowiadające napięciu krytycznemu, nazywamy natężeniem krytycznym; sprawia ono naprężenie krytyczne, które określa największą wartość naprężenia, przy której układ wytrzymuje jeszcze panujące na nim napięcie. Napięcie krytyczne warunkuje zatem wytrzymałość układu, jakkolwiek przy nim do przebicia zupełnego może jeszcze nie dojść. W niektórych jednak razach układy mogą pracować — przynaj-

mniej przejściowo — podczas wyładowań jarzących, a nawet snopiastych, bez widocznego uszczerbku dla ich wytrzymałości (zjawisko ulotu elektrycznego przewodów napowietrznych). Normalnie jednak, o ile te wyładowania mogą nadpsuć izolację układu, nie należy do nich dopuszczać.

Chwilę występowania napięcia krytycznego przy wyładowaniu niezupełnem można naogół tylko z trudnością dokładnie uchwycić i to wzrokiem lub także słuchem, jako słaby, suchy trzask. W niektórych przypadkach, np. przy elektrodach walcowych spółśrodkowych, daje się ten trzask dosyć wyraźnie usłyszeć; pochodzi on z pierwszego gwałtownego rozrywania cząsteczki pod wpływem pola elektrycznego; na tej zasadzie zbudowane iskierniki pomiarowe dają dobre wyniki. Przy wyładowaniu zupełnem, o ile występuje ono przy napięciu krytycznem, można względnie dokładnie określić wysokość tego napięcia (np. przy iskiernikach kulistych).

Wyznaczenie napięcia krytycznego jest szczególnie ważne przy badaniu wytrzymałości układów. Dla prądu zmiennego przebiecie jest zależne od wartości maksymalnej, która odpowiada naogół wysokości odpowiedniego napięcia prądu stałego. Najlepiej zatem (przy badaniu wytrzymałości układu) podawać wartości napięcia krytycznego lub przebiecia przy prądzie zmiennym w wartościach maksymalnych. Jest to wskazane, zwłaszcza, gdy mamy do czynienia z odkształconą krzywą napięcia, co często występuje skutkiem dużych pojemności układu badanego.

Pomiar napięcia krytycznego uskutecznia się za pomocą iskierników pomiarowych, przy stosowaniu szczególnych środków ostrożności, ze względu na to, że napięcie krytyczne jest bardzo zależne od różnych czynników postronnych. Będzie o tem jeszcze później mowa.

Wyładowania w powietrzu przybierają nieco inną postać, jeżeli odbywają się tuż w pobliżu innego dielektryku, przede wszystkim — stałego. W praktyce technicznej zachodzi to bardzo często, przy każdym izolatorze przewodowym, przepustowym, a przede wszystkim — wsporczym. Zjawiska te występują obok przepływu prądu (zwykle minimalnego) po powierzchni izolatora stałego, która jest zawsze — w pewnym przynajmniej stopniu — przewodzącą; odbywają się jednak w samem powietrzu, a mianowicie w jego warstwie, przylegającej do tamtego izolatora, który tylko pośrednio bierze udział w tem zjawisku.

Najlepiej obserwować je można na płycie izola-

cyjnej między dwiema elektrodami płaskimi o ostrych krawędziach i powierzchni mniejszej, niż powierzchnia płyty. Po przyłożeniu napięcia do elektrod, narazie płynie tylko prąd powierzchniowy; przy zwiększaniu napięcia, na krawędzi elektrody, przylegającej do płytki, pokaże się światélko dosyć jaskrawe; są to wyładowania krawędziowe.

Przy dalszem zwiększaniu napięcia nastąpią na powierzchni płytki, tuż przy elektrodach, wyładowania smużyste, — smugi światła jarzącego, które rozszerzają się stopniowo, aż zjawią się snopy świetlne, wyskakujące z elektrod ku krawędziom i trzymające się tuż przy powierzchni, oraz pojedyncze iskry, ślizgające się po powierzchni izolatora; są to wyładowania ślizgowe, które przy dalszem zwiększaniu napięcia dosięgają krawędzi płytki i wywołują *przeskok iskry* naokoło dielektryku, o ile przedtem nie nastąpi jego przebicie.

Z tem zjawiskiem liczymy się przedewszystkiem przy izolatorach. Jakkolwiek przeskok iskry naokoło izolatora jest niepożądany, to jednak lepiej jest dopuścić do niego, niż do przebicia, które psuje izolator zupełnie, podczas gdy przeskok iskry stanowi tylko chwilowe zwarcie elektrod przez powietrze.

Zjawisko wyładowań ślizgowych występuje z reguły na granicy dwóch dielektryków o różnych stałych dielektrycznych, leżących ukośnie do pola. Zwykle jednym z nich jest powietrze; również i w oleju można obserwować wyładowania po powierzchni stałego izolatora, w nim zanurzonego. Powstają one skutkiem naprężeń stycznych do powierzchni zetknięcia dielektryków. Jak wiadomo, kierunek natężenia pola elektrycznego, przechodzącego z jednego dielektryku do drugiego, doznaje odchylenia tem większego, im większa jest stała dielektryczna materiału, do którego przechodzi<sup>1)</sup>.

Natężenie to można rozłożyć na składową prostopadłą do powierzchni zetknięcia, naprężającą dielektryk na przebicie, oraz styczną do tej powierzchni, powodującą wyładowania powierzchniowe, a więc naprężającą na przeskok. Tylko w przypadkach, gdy kierunek natężenia pola jest prostopadły do powierzchni zetknięcia dielektryków, do wyładowań powierzchniowych nie dojdzie. Przypadek prostopadłego przechodzenia pola elektrycznego przez dielektryk jest bardzo rzadki (n. p. w środku między okładzinami kondensatora płaskiego o dielektryku uwar-

<sup>1)</sup> p. str. 15.

stwowym), najczęściej pole jest skrzywione, przeważnie na krawędziach elektrod. Tam powstają nadmierne skupienia pola i wyładowania wczesne, które powodują wytwarzanie swobodnych jonów; są to właśnie wyładowania krawędziowe.

Powstające tu jony przebiegają drogę według kierunku pola elektrycznego. Jeżeli ośrodek jest jednolity, wyładowania powinny iść według prostych; zwykle powierzchnia izolatora i jej najbliższe otoczenie nie jest jednolite, są pory, występy i t. p. tak, że droga wyładowań zmienia się rozmaicie.

Wyładowania krawędziowe występują szczególnie wyraźnie przy dużej różnicy w wartości stałych dielektrycznych izolatora i powietrza otaczającego. Na krawędzi elektrody, np. przy okładzinach kondensatora, znajduje się zawsze warstewka powietrza, zwłaszcza gdy okładzina odstaje od dielektryku, gdyż w taką szczelinę wstępuje powietrze (o stałej dielektrycznej mniejszej).

Przez to wytrzymałość dielektryku jest mniejsza na krawędziach okładzin, niż zdala od nich, gdyż skutkiem tych wyładowań następuje nierównomierne lokalne nagrzewanie się dielektryku, osłabiając go i sprowadzając wreszcie przebicie. Intensywność występowania tego zjawiska można zmniejszyć przez zastosowanie izolatora o mniejszej stałej dielektrycznej. Na tej zasadzie opiera się budowa nowoczesnych izolatorów przepustowych i wsporczych.

Szkodliwy wpływ wyładowań krawędziowych na wytrzymałość izolatora stwierdzony został dla szkła w 1904 r. przez prof. I. Mościckiego<sup>1)</sup>, który, celem zwiększenia wytrzymałości kondensatorów szklanych, zgrubiał miejsca, dotykające krawędzi okładzin i otrzymał w ten sposób techniczne kondensatory w postaci walcowej, wytrzymujące do 60 kV.

Powstawaniu wyładowań ślizgowych sprzyja zanieczyszczenie powierzchni. Nawet słabo przewodząca (zanieczyszczona) powierzchnia izolatora bierze bowiem udział w rozdziale napięcia na izolatorze, jak to poznamy w rozdziale o izolatorach przepustowych.

## 2. Wytrzymałość powietrza.

Wytrzymałość powietrza, — którą określa się zwykle liczbą woltów, przypadających na centymetr grubości ( $a$ ) warstwy powietrza, znajdującej się między elektrodami, pomiędzy którymi występuje napię-

<sup>1)</sup> E. T. Z.—1904 str. 527.