

Wyładowania piorunowe

Powstawanie chmur burzowych

Dla powstania chmur burzowych niezbędne jest po pierwsze silne, wstępujące potoki powietrza, po drugie wymagana jest odpowiednia wilgotność powietrza w obszarze strefy burzowej.

Wstępujące potoki występują w wyniku nagrzewania przylegających do powierzchni ziemi warstw powietrza i termicznym uwarunkowaniem wymiany ciepła tych warstw z warstwami chłodnymi występującymi na dużej wysokości (burze termiczne). Horyzontalne warstwy powietrza na nierównej powierzchni, także mogą spowodować wstępujące potoki na zboczach. Również spotkanie czołowe mas chłodnego i ciepłego powietrza powoduje ciepłe wstępujące potoki (powstawanie burz frontowych).

W wstępującym potoku powietrze ochładza się i na określonej wysokości jego temperatura osiąga wartość, przy której następuje nasycenie pary wodnej. Przy dalszym podnoszeniu zachodzi kondensacja i powstaje właściwa chmura. Energia kondensacji spowalnia schładzanie wstępującego potoku powietrza, co powoduje, że powietrze wstępującego potoku jest lżejsze od otaczających go warstw stymulując jego dalszą wędrówkę w górę. Ten zmienny stan powietrza kończy się zazwyczaj na wysokości 6-8 km tworzeniem się dużych kłębiastych chmur, w górnej części których powstają typowe chmury burzowe.

W procesie powstawania chmury burzowej rozróżnia się trzy charakterystyczne fazy: powstawanie (rodzenie), faza dojrzała i faza rozpadu.

Za fazę rodzenia będziemy uważać proces powstawania kłębiastych chmur. Potoki wstępującego powietrza przemieszczają się z dołu do góry oraz z boków do centrum chmury. Czas zjawiska 10-15 minut.

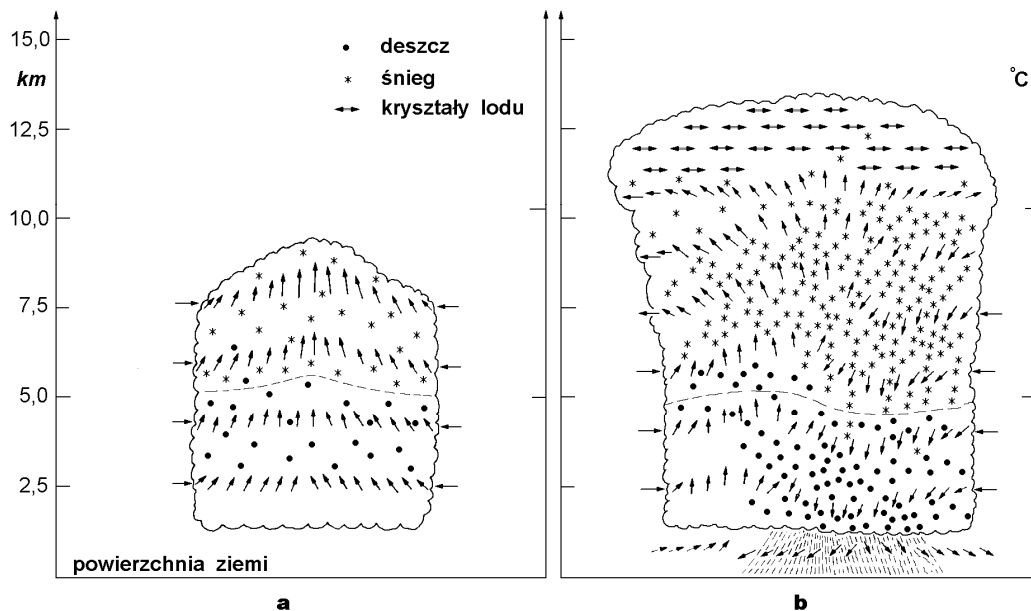
W dojrzałej fazie chmury powstają krople, które z początku utrzymują się w wstępującym potoku powietrza. Przy temperaturze około 0°C podtrzymującej siły nie wystarcza i krople zaczynają spadać. Towarzyszą im potoki chłodnego powietrza sięgające powierzchni ziemi, powodujące silne porywy wiatru. Czas trwania tej fazy 15...30 minut.

Jeśli przy intensywnych opadach powstawanie wstępujących i niskoschodzących potoków kończy się, to następuje faza rozpadu chmury burzowej. Wstępujące potoki powietrza kończą się w pełni, a utrzymujące się w chmurze krople z niej wypadają. Proces ten trwa około 30 minut.

Uogólniając, burzowa działalność określona jest wzajemnym przenikaniem opisanych procesów w oddzielnych burzowych centrach.

Elektryzacja w chmurze burzowej

Dokładny mechanizm powstawania ładunków w chmurze burzowej nie jest jeszcze w pełni wyjaśniony. Jednakże, obserwacje potwierdzają, że powstawanie ładunków występuje w chwili zamrażania kropeł wody w chmurze. Rozdzielenie ładunków występuje w wyniku wstępujących potoków powietrza i sił ciężkości. Istnieje wiele teorii opisujących ten proces. Pełnego wyjaśnienia jednak nie ma.

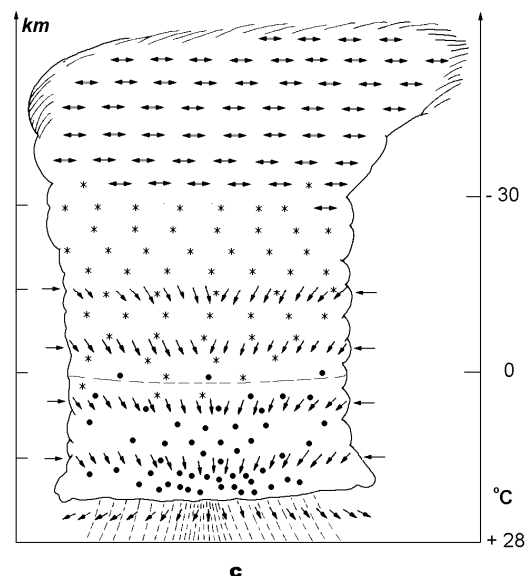


Przekrój chmury w różnych fazach jej powstawania

a - faza powstawania (rodzenia)

b - faza dojrzała

c - faza rozpadu



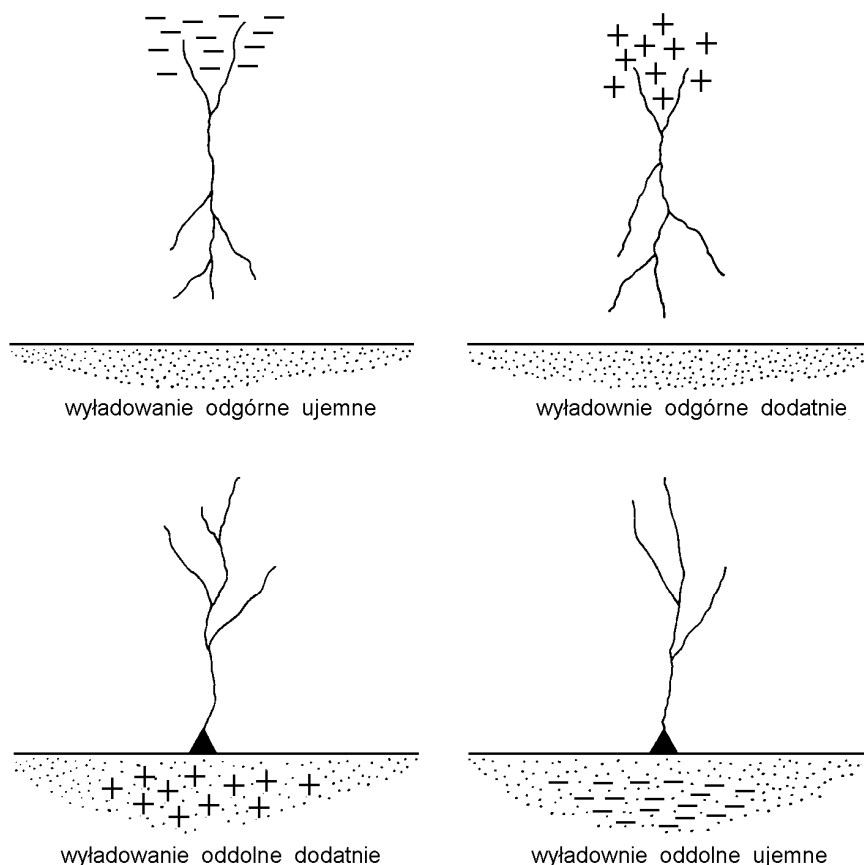
Dla przykładu rozpatrzmy następującą teorię. Znajdujące się w chmurze krople wody pod wpływem pola elektrycznego ziemi przedstawiają sobą maleńkie dipole. Pole skierowane jest do ziemi, w wyniku czego w dolnych częściach kropel gromadzi się ładunek dodatni, a na górnych - ujemny ładunek. Przy spadaniu ciężkich kropel dodatnie jony powietrza są odpychane, a ujemne jony są wychwytywane przez takie krople. Dlatego krople są naładowane ujemnym ładunkiem. Drobne krople, na odwrót, unoszone wstępującym potokiem ładują się dodatnio. W wyniku tych zjawisk dolna część chmury posiada ładunek ujemny, a górna - dodatni. Dlatego chmurę burzową możemy przedstawić w postaci dipola ze średnim ładunkiem np. 25 C. Ponieważ dolna część chmury posiada ładunek ujemny, to zdecydowana większość piorunów przenosi z chmury do ziemi ładunek ujemny.

Pomiary wykazały, że centrum dodatniego ładunku chmury burzowej znajduje się na wysokości 10...12 km, gdzie temperatura wynosi od 0 do -20 °C. Centrum dodatniego ładunku przemieszcza się jeszcze wyżej w czasie silnej burzy. W tym czasie centrum ujemnego ładunku stale znajduje się na wysokości do 5 km.. W dolnej części chmury może powstać fragment chmury z dużym ładunkiem dodatnim.

Proces wyładowania piorunowego

Aby powstało wyładowanie piorunowe niezbędne jest natężenie pola elektrycznego rzędu kilku kilowoltów na centymetr. Jeśli takie natężenie występuje we wnętrzu chmury, to występuje wewnętrzne wyładowanie w chmurze lub wyładowanie do ziemi (wyładowanie odgórne). Jeśli natężenie pola jest silnie odkształcone przy powierzchni ziemi, to powstaje wyładowanie rozwijające się od ziemi do chmury (wyładowanie oddolne).

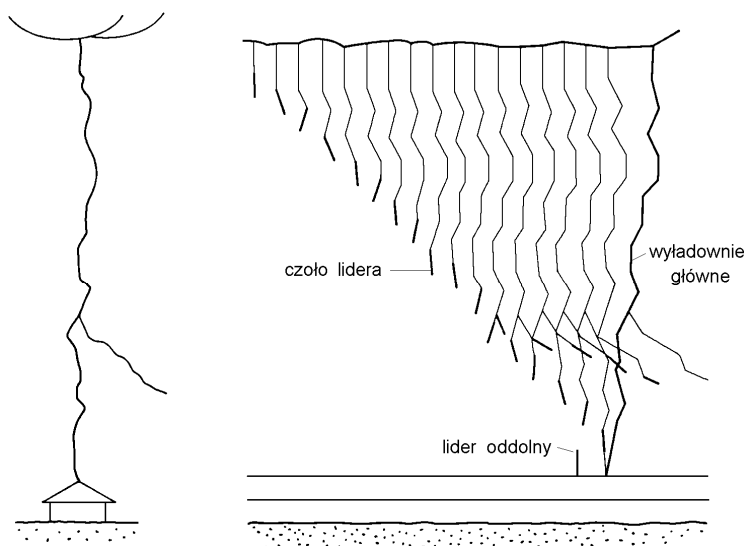
Wyładowanie piorunowe może rozpocząć się z dodatnich lub ujemnych centrów chmur burzowych lub z wysokich przedmiotów na powierzchni ziemi. Możliwe są zatem cztery typy piorunów. Jeśli rozświetlony kanał pioruna skierowany jest do ziemi, to ma miejsce wyładowanie z chmury do ziemi; i na odwrót rozświetlony kanał mówi o oddolnym wyładowaniu. Na terenach równinnych częściej występują pioruny odgórne.



Typy wyładowań piorunowych

Wyładowanie piorunowe odgórne

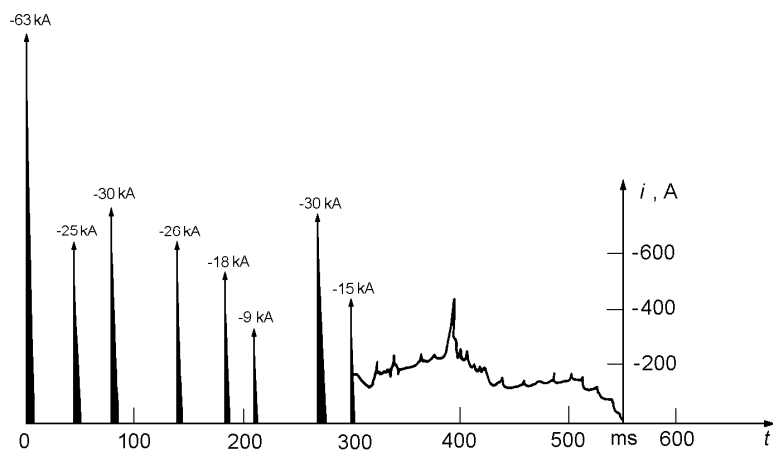
Mechanizm wyładowania piorunowego można wyjaśnić na przykładzie najbardziej często występującego wyładowania odgórnego. Z centrum ujemnego ładunku chmury burzowej rozpoczyna się w kierunku ziemi rozwijać skokowo kanał z ciekim wysokoprzewodzącym centrum. Kanał ten, przypominający lider, posiada średnią szybkość swego rozwoju 10^{-1} m/ μ s. Przy zbliżeniu się kanału do ziemi, natężenie pola elektrycznego wzrasta na tyle, że z powierzchni ziemi rozwija się kanał długości około 10 metrów, spotykający się z kanałem rozwijającym się z chmury. Wtedy następuje faza wyładowania głównego w postaci wysokozjonizowanego, świetlącego kanału wydłużającego się do góry z szybkością początkową 10^2 m/ μ s, a potem rzędu 30 m/ μ s. Przez ten kanał zostaje odprowadzony ładunek z kanału lidera i otaczającej go strefy do ziemi w czasie 10...100 μ s. W tym czasie przez obiekt trafiony na ziemi płynie prąd piorunowy bardzo dużej wartości. Na rysunku poniżej przedstawiono rozwój wyładowania piorunowego w funkcji czasu



Statyczny obraz pioruna oraz jego rozwój czasowy.

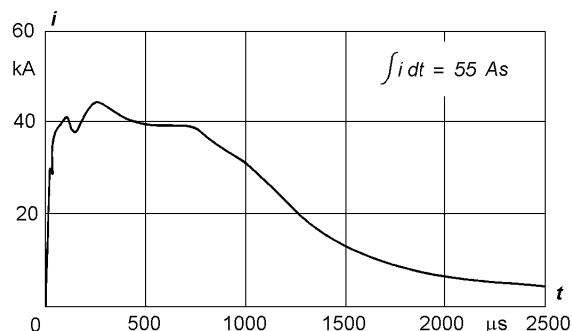
Czas trwania i ładunek ujemnego pioruna zwykle jest mniejszy niż dodatniego. Cechą charakterystyczną odgórnych piorunów o ujemnej biegunowości są wielokrotne wyładowania. Występują one dlatego, że po upływie 10-100 μs po zjonizowanej drodze pierwszego wyładowania znowu rozwija się lider w kierunku ziemi ze znacznie większą szybkością, bez zauważalnych skoków.

W rezultacie przez obiekt przechodzi ponowny impuls prądu. Zarejestrowano w jednym wyładowaniu piorunowym do 40 podobnych wyładowań, występujących jeden po drugim. W pewnych przypadkach przy ujemnych piorunach stwierdza się po spadku prądu wyładowania głównego długotrwały ciągły prąd, świadczący o odprowadzaniu części ładunku chmury do ziemi poprzez kanał wyładowania. Przebieg prądu wyładowania piorunowego dodatniej biegunowości w funkcji czasu przedstawiono na rysunku poniżej.



Oscylogram prądu piorunowego o ujemnej biegunowości

Oscylogram prądu piorunowego o dodatniej biegunowości



Wyładowanie piorunowe dodatnie są w zasadzie jednokrotne, jednakże w przeważającej liczbie przypadków w czasie 10 -100 ms przepływa bardzo duży ładunek.

Wyładowanie piorunowe oddolne

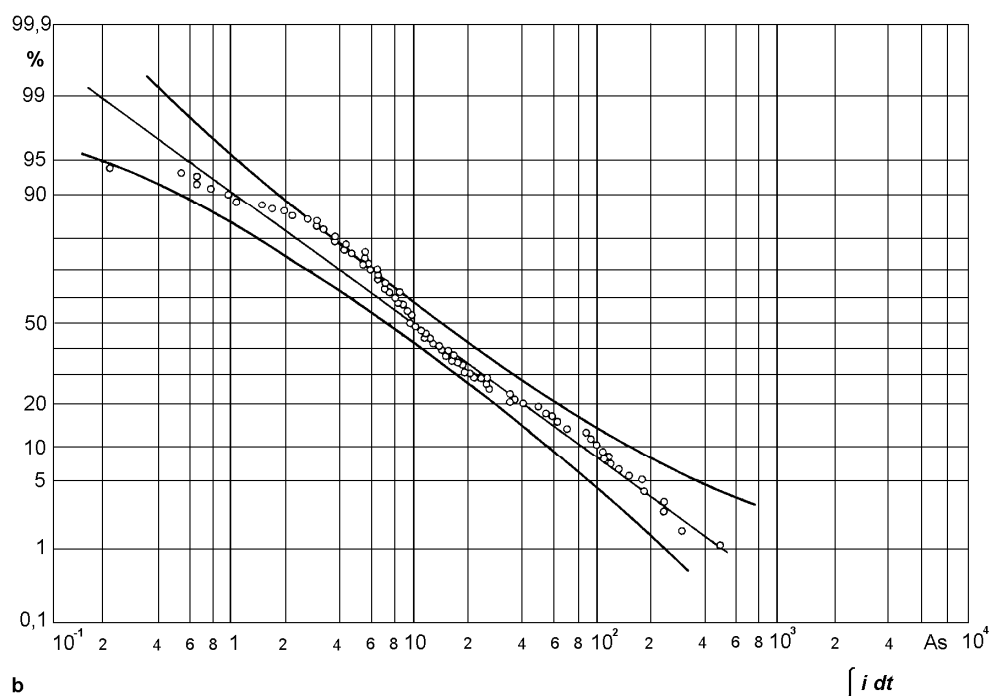
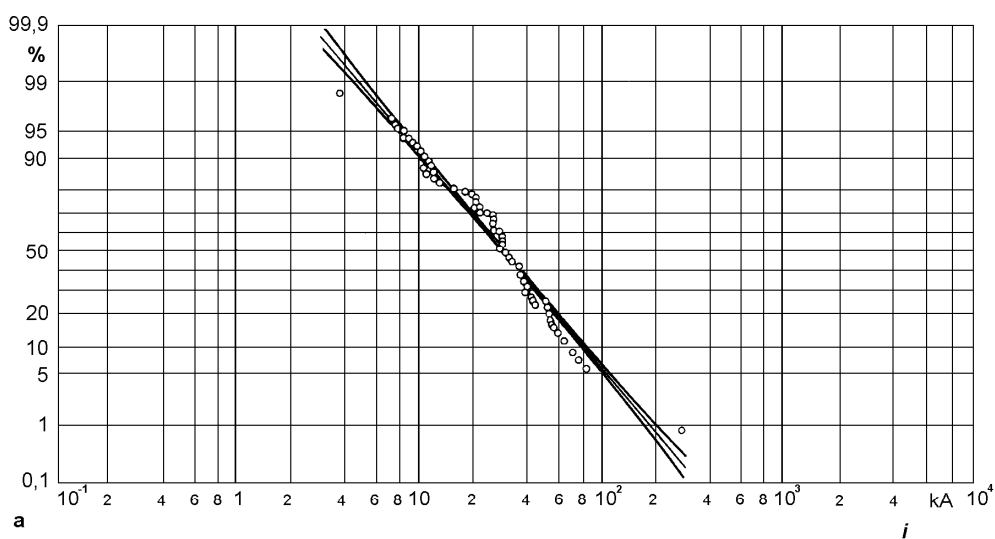
Przy rozwoju pioruna z chmury do ziemi powstaje naładowany kanał lidera, w którym szybko przepływa prąd wyładowania głównego. Przy wyładowaniu piorunowym oddolnym lider rozwija się z wysokiego obiektu do chmury i w czasie dziesiątych części sekundy przez obiekt przepływa stosunkowo nieduży, wolno zmieniający się prąd równy kilku setkom amperów. Rozwijający się z ziemi lider wywołuje wsteczny lider z chmury. Stwierdzono także przypadki, kiedy po drodze oddolnego lidera później rozwijały się wtórne wyładowania odgórne. Przeważnie wyładowania piorunowe oddolne rozwijają się z wysokich budynków i wież.

Parametry prądu piorunowego

Wyładowania piorunowe powodują różnorodne uszkodzenia obiektów. Należy więc chronić obiekty od bezpośrednich trafień. Przy zastosowaniu środków ochrony ważna jest wartość parametrów prądu pioruna.

Indukowanie się napięcia w samych zwodach lub w blisko położonych przewodach systemu energetycznego zależy od parametru di/dt . W obwodach elektrycznych, antenach wartość zaindukowanego napięcia może być bardzo duża.

Ładunek, przenoszony prądem pioruna, $\int i dt$ odpowiedzialny jest za stopień obiektu łukiem wyładowania. Moc, wydzielana w punkcie oporowym łuku, proporcjonalna do wartości chwilowej prądu, tak jak w strefie przyelektrodowej posiada w przybliżeniu stały, niezależny od prądu spadek napięcia. Dlatego energia, tracona na stopienie, zależy od przepływającego ładunku.



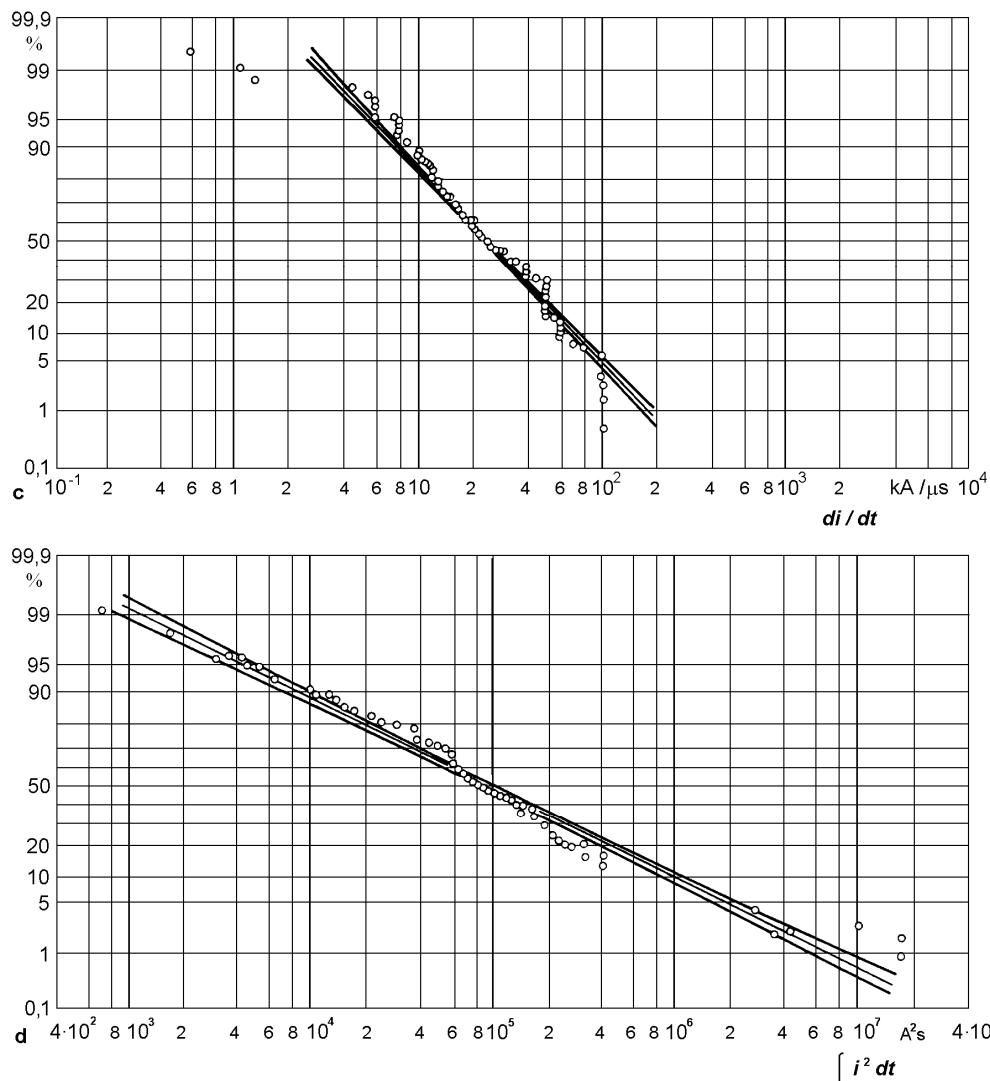
Rozkłady parametrów prądu piorunowego

Całka $\int i^2 dt$ określa nagrzewanie metalicznych przewodów i sił występujących między nimi w trafionym obiekcie.

Maksymalna wartość prądu I_M charakteryzuje spadek napięcia na oporności uziemienia obiektu.

Dane dotyczące parametrów prądu wyładowań piorunowych są przedstawione na rys.. Opracował je prof. Berger na podstawie wieloletnich pomiarów na górze San Salvador w

Szwajcarii. Dane te jak wykazano w innych publikacjach słuszne są także i dla innych warunków klimatycznych (np. wybrzeże morskie) oraz terenów równinnych.

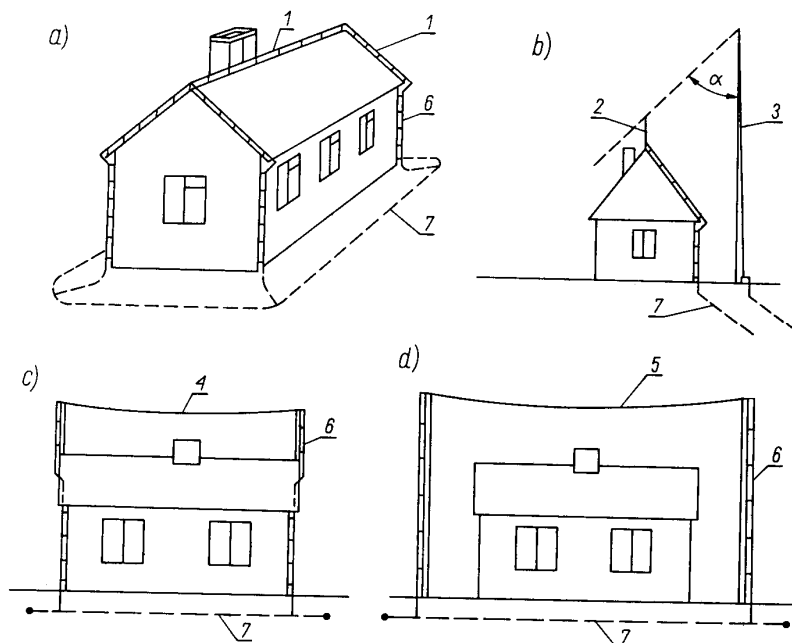


Rozkłady parametrów prądu piorunowego

Zasady ochrony odgromowej

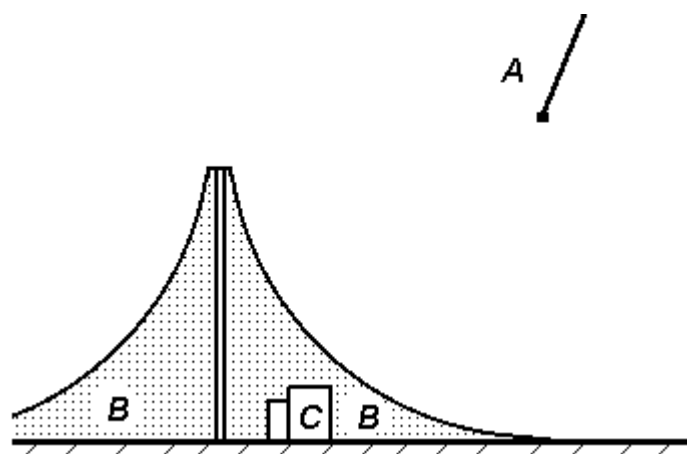
Ochrona od przepięć atmosferycznych, nosząca nazwę ochrony odgromowej ma zwykle na celu albo niedopuszczenie do bezpośrednich uderzeń pioruna w chronione obiekty, albo złagodzenie skutków lub niedopuszczenie do uszkodzeń obiektów, jeśli uderzenia takie następują.

Ochrona od bezpośredniego uderzenia pioruna polega na przyjmowaniu na siebie i zamierzonym lokalizowaniu takich uderzeń przez przewody odgromowe np. w liniach energetycznych lub zwody np. na terenach podstacji, obiektach komunalnych czy budynkach.



Podstawowe rozwiązania zwodów a) poziomych niskich (1); b) pionowych nieizolowanych (2) i izolowanych (3); c) poziomych podwyższonych nieizolowanych (4); d) poziomych wysokich izolowanych (5); pozostałe oznaczenia: 6 - przewód odprowadzający, 7 - uziom

Zasadą działania takich urządzeń jest wytwarzanie w ich sąsiedztwie strefy osłonowej, wewnątrz której znajdują się obiekt jest chroniony od uderzenia pioruna, przejmowanego przez urządzenia chroniące.



Zasada tworzenia strefy osłonowej przez zwód;
A - punkt decyzji, B - strefa osłonowa, C - obiekt chroniony

Punkt *A* oznacza położenie punktu decyzji wyładowania piorunowego. Jeżeli obiekt chroniony *C* znajduje się dalej od *A*, niż odległość *A* od ziemi lub od końca zwodu, to wyładowanie w kierunku *C* nie rozwinie się. Strefę osłonową odgranicza się przez zatoczenie okręgu o środku *A*, przechodzącego przez czubek zwodu i stycznego do ziemi. Ponieważ położenie punktu *A* jest dyskusyjne ze względu na trudność określenia w kanale wyładowania punktu, który można by uznać z punkt decyzji, podany sposób wykreślenia strefy osłonowej nie zawsze gwarantuje bezpieczeństwo obiektu *C*. Dlatego do wyznaczania stref osłonowych stosuje się inne konstrukcje geometryczne, zależne od rodzaju i ważności chronionego obiektu.

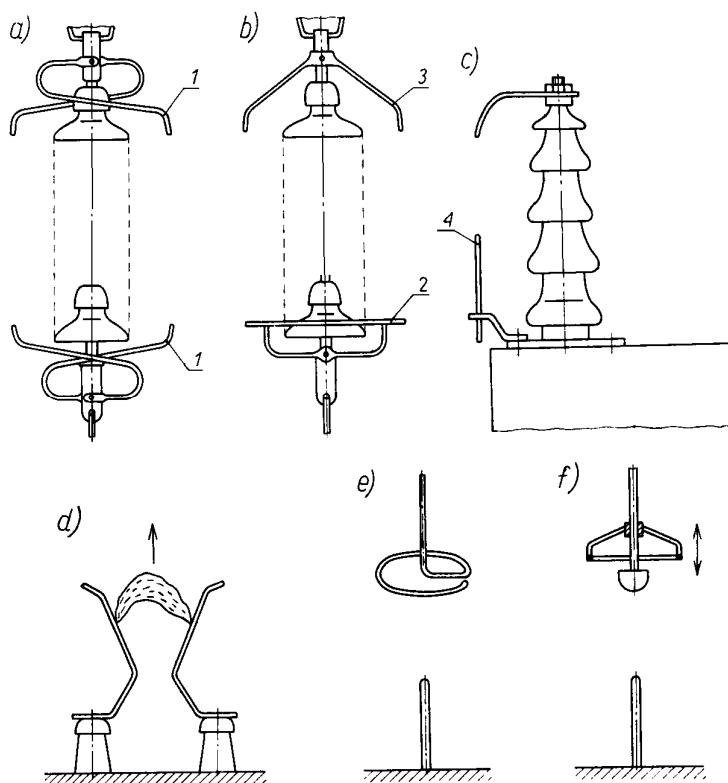
Dość częste jest zastępowanie strefy stożkiem o określonym kącie tworzącej w stosunku do osi zwodu. Kąt ten nazywany jest kątem osłonowym. Dla różnych obiektów wartość kąta osłonowego zalecana bywa w granicach 20...45 °.

W liniach wysokiego napięcia strefy osłonowe wytwarzane są wzdłuż linii poprzez przewody odgromowe.

W urządzeniach elektrycznych pod wpływem przepięć atmosferycznych w pierwszym rzędzie uszkodzeniom ulegać może linia, a następnie dołączone do niej urządzenia stacyjne, odbiorcze itp. Uszkodzenie linii polegać może na przeskoku na izolatorze i uszkodzeniu jego przez łuk, wywołany prądem zwarcia linii. Celem ochrony izolatorów stosuje się armatury, rożki, iskierniki itp., które oddalają łuk od izolatora i przytrzymują przez czas, potrzebny na wyłączenie prądu zwarciovego. Ze względu na przemijający charakter zwarć pochodzących od przepięć atmosferycznych duże usługi oddają w sieciach systemy *SPZ*.

Urządzenia odbiorcze, rozdzielcze i inne, dołączone do linii na jej końcu, powinny być zabezpieczone przed działaniem przepięcia. Takie zabezpieczenie realizuje się przez zainstalowanie ochronników, w których pod wpływem przepięcia występują zamierzone przebicia, powodujące uciecie przepięcia, jego ograniczenie w czasie lub przepuszczenie z niewielką wartością amplitudy, niegroźnej dla urządzenia chronionego.

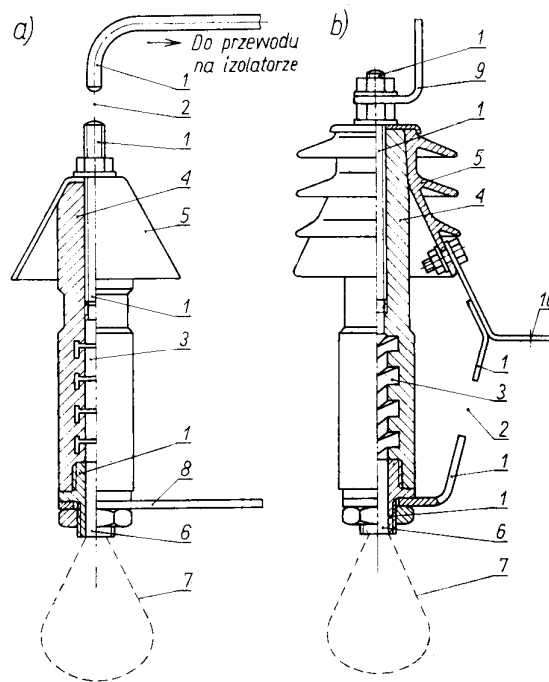
Najprostszym urządzeniem ochronnym jest iskiernik, którego zapłon stanowi zwarcie dla fali napięciowej. Kształt elektrod iskiernika, ich odstęp oraz konstrukcja decydują o jego napięciu zapłonu, współczynniku udarowym i charakterystyce udarowej. Napięcie zapłonu definiuje poziom ochrony zapewnianej przez iskiernik. Przeskok na iskierniku stanowi dla sieci zwarcie dla napięcia roboczego i przez iskiernik płynie po przeminieciu udaru prąd następczy, pochodzący od źródła zasilania sieci.



Przykłady iskierników i ich elektrod a) liniowych rożkowych (1); b) liniowych pierścieniowych (2) i rożkowo-pałkowych (3); c) stacyjnych (aparatuowych) prętowych (4); d) rożkowych z elektrodynamycznym przesuwaniem i wydłużaniem łuku; prętowo-pierścieniowych z eliminacją wpływu biegunowości nie regulowaną (e) i regulowaną (f)

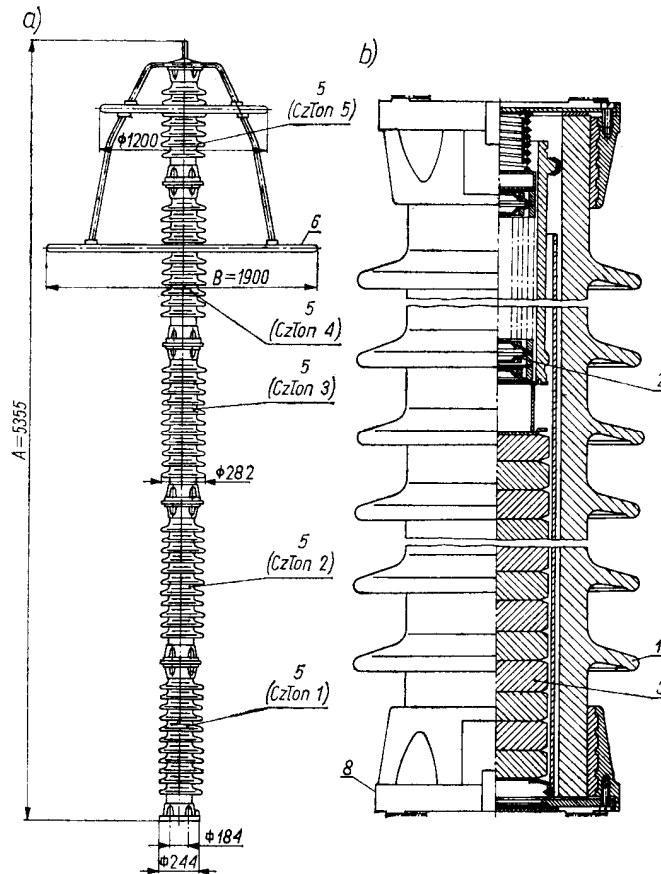
Ponieważ iskierniki nie mają zdolności wyłączania takiego prądu, jest on wyłączany dzięki działaniu zabezpieczenia źródła, co prowadzi do wyłączenia linii dotkniętej zwarcie. Trudności tych unika się stosując w sieciach odgromniki.

Odgromniki dzielą się na dwa rodzaje: odgromniki wydmuchowe i odgromniki zaworowe. Pierwszy z nich to ochronnik iskiernikowy dwuprzzerwowy, który ma zdolność samoczynnego gaszenia łuku podtrzymywanego przez prąd następczy. Jedną z przerw zawarta jest wewnątrz rury z materiału gazującego pod wpływem łuku (fibra, ebonit, metapleks). Zbierające się w rurze gazy, wydmuchiwane są na zewnątrz rury gasząc łuk. Strefa wydmuchu gazów może obejmować przestrzeń sięgającą na odległość do 3 m.



*Odgromniki wydmuchowe a) szczelinowy (do umocowania na konstrukcji);
 b) z komorą śrubową (do zawieszenia na przewodzie) 1 - elektroda; 2 - zewnętrzna przerwa
 iskrowa; 3 - wewnętrzna przerwa iskrowa (komora gasząca); 4 - rura z materiału
 gazującego; 5 - osłona przeciwdeszczowa; 6 - dysza do wydmuchu gazów; 7 - obszar
 wydmuchu gazów; 8 - element wsporczy i uziemiający; 9 - wieszak (do zawieszania
 odgromnika na przewodzie); 10 - zacisk uziemiający*

Odgromniki zaworowe umożliwiają nie tylko zgaszenie prądu następczego, lecz również uzyskanie pożądanego obniżenia napięcia i ukształtowania fali napięciowej przepuszczonej do obiektu chronionego. Tę ostatnią cechę uzyskuje się stosując w iskierniku zaworowym zmienną ryzystancję, zależną od prądu przepuszczanego do ziemi. Odgromniki takie nazywane są również odgromnikami zmiennooporowymi. Konstrukcja i własności takich odgromników są dobierane do rodzaju i wielkości przebiegu, które mają ograniczać. Istotną cechą takich odgromników jest maksymalna wartość prądu, który mogą przepuszczać do ziemi bez uszkodzenia opornika wskutek przegrzania.



Przykład zestawu i konstrukcji członu odgromnika zaworowego typu GZS 184

1 - obudowa; 2 - iskiernik; 3 - stos zmiennooporowy; 5 - człon odgromnika; 6 - pierścień sterujący

Obecnie stosuje się także beziskiernikowe odgromniki zaworowe z warystorami zawierającymi tlenek cynku (ZnO) lub tlenek innego metalu. Teoretycznie nie istnieje w tu stan bezprądowy, gdyż przy napięciu roboczym mogą w nich płynąć prądy rzędu miliamperów.

Przy przepływie prądu udarowego rezystancja odgromnika zaworowego jest bardzo mała (ok. 1Ω), a przy przepływie prądu następczego bardzo duża ($10^6 \dots 10^{10} \Omega$).