



Klasyczne i aktywne urządzenia piorunochronne

Dr hab. inż. Krystian Leonard Chrzan, Politechnika Wroclawska

1. Wprowadzenie

W ostatnich 20 latach pojawiła się nowa generacja piorunochronów oferujących bardzo dużą strefę ochronną. Stwarza to zwłaszcza dla obiektów o dużej kubaturze i powierzchni pokusę zastąpienia klasycznej ochrony odgromowej przez nowe propozycje. Można w ten sposób zmniejszyć koszty materiałowe i instalacyjne. Weryfikacja zapewnień producentów o dużej strefie ochronnej piorunochronów aktywnych możliwa jest zazwyczaj dopiero po wielu latach, gdyż uderzenie pioruna w obiekt niski zdarza się bardzo rzadko. Często impulsem do zastosowania niekonwencjonalnej ochrony odgromowej są względy estetyczne. Instalacja klasyczna jest bardziej widoczna na obiekcie, składa się z większej liczby elementów niż instalacja niekonwencjonalna. Należy jednak uwzględnić stan prawny. W budownictwie obowiązują w tym zakresie surowe reguły. To właśnie dzięki nim katastrofy budowlane w naszym kraju są bardzo rzadkie. Takie rygory narzucone są także w zakresie ochrony pożarowej, ochrony przed porażeniem elektrycznym, bezpieczeństwem instalacji gazowych oraz ochrony odgromowej. Stan prawny w zakresie ochrony odgromowej w Polsce przedstawiony został w ostatniej części artykułu.

2. Wyładowanie piorunowe chmura-ziemia

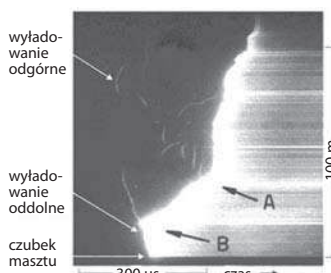
Piorun liniowy rozpoczyna swój rozwój w chmurze burzowej na wysokości kilku kilometrów nad powierzchnią ziemi. Na początku swej drogi porusza się po nieprzewidywalnej, zygzakowatej trajektorii wykazującej liczne

odchylenia od kierunku zewnętrznego pola elektrycznego pomiędzy powierzchnią ziemi a podstawą chmury. Jest to tzw. wyładowanie wstępne schodkowe, gdyż rozwija się w sposób nieciągły, skokowo, a każdy następny skok (schodek) ma zwykle inny kierunek. To odgórne wyładowanie jest typu liderowego, ponieważ jego kanał jest gorący (temperatura rzędu 5000K), a płynący prąd wynosi około 5–100 A (rys. 1).

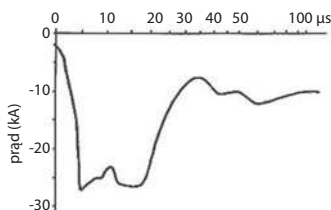
Uziemiony metalowy pręt pionowy zwany jest piorunochronem (zwozem) Franklina od nazwiska odkrywcy Benjamina Franklina. Gdy wyładowanie odgórne zbliży się na odległość rzędu 100 m od zwodu Franklina, wówczas pole elektryczne w pobliżu jego zakończenia osiąga tak dużą wartość, że powoduje rozwój wyładowania oddolnego kierującego się w stronę zbliżającego się wyładowania odgórnego. Wyładowanie oddolne jest również typu liderowego i może osiągnąć długość 15–50 m, zanim połączy się z wyładowaniem odgórnym. Dostępnych zdjęć naturalnych wyładowań oddolnych rozwijających się z tzw. obiektów niskich jest bardzo mało ze względu na niemożliwość przewidzenia, gdzie uderzy piorun podczas zbliżającej się burzy. Wykaz kilku fotografii wyładowań oddolnych z obiektów niskich zestawił Martin Uman [1]. Gdy lider oddolny połączy się z liderem schodkowym odgórnym, następuje wówczas rozwój wyładowania głównego. Wyładowanie to rozwija się z dołu w kierunku chmury z szybkością około 0,1–0,5 prędkości światła, a jego impulsowy prąd może osiągnąć wartość większą od 100 kA. Zjawisku temu towarzyszy głośnie detonacja – grzmot i „prawie oślepiający” błysk – błyskawica.



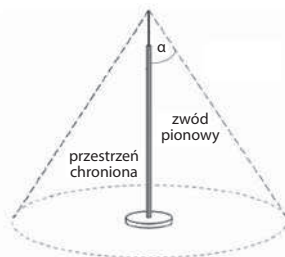
Rys. 1. Typowe wyładowanie piorunowe chmura-ziemia



Rys. 2. Zdjęcie lidera oddolnego, lidera odgórnego i wyładowania głównego wykonanego za pomocą szybkiej kamery (streak camera) przez prof. Bergera w latach 60. ub. wieku na maszcie radiostacji w Lugano. Odległość decyzyjnej (strike distance) z punktu A do czubka wieży – 37 m. Punkt B – połączenie lidera odgórnego z liderem oddolnym. Długość lidera oddolnego ok. 30 m



Rys. 3. Rejestracja prądu wyładowania głównego przedstawionego na rysunku 2 [2]



Rys. 4. Strefa ochronna zwodu Franklina

Kilka tego typu fotografii, wykonanych jednak na obiekcie wysokim, ale za to z rejestracją prądu wykonał prof. Berger (rys. 2 i 3) [2].

3. Możliwości zwiększenia skuteczności zwodu Franklina

Zwód Franklina ma ograniczoną strefę ochrony, tj. obszar, gdzie prawdopodobieństwo bezpośredniego trafienia przez piorun jest znikomo małe. Najbardziej popularnym kształtem strefy ochronnej kilkumetrowego zwodu Franklina jest stożek o wysokości zwodu i kącie ochrony $\alpha = 45^\circ$ (rys. 4). Obecnie obowiązująca teoria mówi, że strefa ochrony ma bardziej skomplikowany kształt i zależy od wysokości zwodu oraz od wartości prądu wyładowania głównego. O tym, że strefa ochronna zwodu Franklina ma ograniczone rozmiary, przekonano się już w XVIII wieku, gdy zauważono, że piorun nie trafił w zwód Franklina na dachu magazynu prochu w Purfleet pod Londynem tylko w narożnik oddalony od niego o kilkanaście metrów.

Istnieje kilka możliwości zwiększenia skuteczności zwodu Franklina (zwiększenia jego strefy ochronnej). Najprostszym, wręcz trywialnym sposobem jest zwiększenie jego wysokości. Sposób ten można stosować do ochrony obiektów niskich (o wysokości mniejszej od 100 m). Jednak w przypadku obiektów wysokich (wyższych niż 50–100 m) może być zawodny, gdyż piorun może uderzyć w taki obiekt z boku, poniżej jego wierzchołka. Wydłużanie zwodu Franklina umieszczonego na dachu wysokiego obiektu nie ma większego sensu. Przekonał się o tym Johann Ephraim Scheibel, odnotowując w roku 1790 uderzenie pioruna w galerię wieży kościoła św. Elżbiety we Wrocławiu, kilkanaście metrów poniżej jej wierzchołka wznoszącego się wówczas na wysokość 90 m [3]. W latach bardziej nam współczesnych udokumentowano uderzenie pioruna w wieżę telewizyjną Ostankino 200 m poniżej jej wierzchołka [4].

Szilard, współpracownik Marii Curie-Skłodowskiej, zaproponował sposób zwiększenia skuteczności zwodu Franklina przez umieszczenie w pobliżu jego zakończenia substancji radioaktywnej powodującej jonizację powietrza. Jonizacja gazu jest warunkiem koniecznym do powstania w nim wyładowania elektrycznego. Niestety,

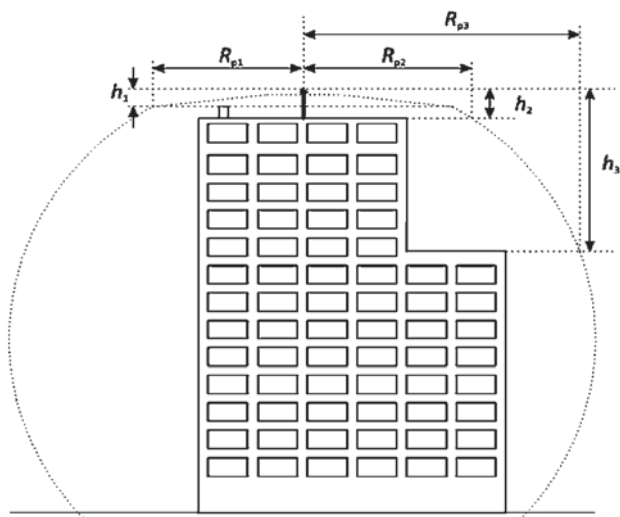
aby zwiększyć skuteczność piorunochronu, potrzebne jest tak silne źródło promieniowania, że byłoby ono niebezpieczne dla ludzi i zwierząt. Produkowane zwody radioaktywne wyposażano w substancję o stosunkowo małej intensywności promieniowania rzędu 100 mC (miliCurie) o wiele za małej, aby miało jakikolwiek wpływ na tak długą iskrę jak lider schodkowy [5].

Duże nadzieje wiązano z potencjalną możliwością triggerowania pioruna przez różnego typu lasery. W warunkach laboratoryjnych można spowodować jonizację kilkunastometrowego kanału powietrza. Jednakże w warunkach napowietrznych, deszcz lub śnieg powoduje rozpraszanie i znaczne osłabianie promieniowania [6]. Bardzo interesujący eksperyment przeprowadzony w Nowym Meksyku wykazał, że zwody Franklina o zakończeniu hemisferycznym o promieniu około 10 mm są lepsze od zwodów o zakończeniu ostrym. Kilkanaście wyładowań piorunowych trafiało tylko w zwody o zakończeniu tępym. Wynika to z faktu, że zwody zakończone tępo nie emitują wyładowań koronowych pod wpływem pola elektrycznego od chmury burzowej [7].

4. Piorunochrony z wczesną emisją strimera

Od 20 lat na rynku dostępne są głowice zwane zwodami aktywnymi ESE wyposażone w specjalne urządzenie rzekomo inicjujące wczesną emisję oddolnego wyładowania strimerowego (ang. Early Streamer Emission). Reklamy tych urządzeń oraz norma NF C 17102 zredagowana przez ich producentów zapewniają, że strefa ochronna zwodów ESE jest znacznie większa od strefy klasycznych zwodów Franklina (rys. 5). Zarówno zasada działania, jak i postulowane wielkości stref ochronnych zwodów aktywnych ESE nie zostały udowodnione i od początku wzbudziły liczne zastrzeżenia [8]. Pomimo tego, głowice aktywne zaczęły być produkowane i instalowane w wielu krajach. Badania różnych autorów sugerują, że koncepcja zwodów aktywnych jest błędna. Wskazywać na to mogą m.in. wyniki eksperymentów laboratoryjnych w których pokazano, że napięcie przebicia układów ze zwodami aktywnymi jest takie samo jak układów ze zwodami klasycznymi [9, 10].

Nazwa zwody z wczesną emisją strimera podkreśla znaczenie tego typu wyładowania w powiększeniu jego



Rys. 5. Strefa zwodu ESE umieszczonego na dachu budynku wg normy NF C 17102. Długość strefy ochrony oznaczona jako R_p jest znacznie większa niż klasycznego zwodu Franklina umieszczonego w tym samym miejscu i o tej samej wysokości

strefy ochronnej w porównaniu do strefy ochronnej zwodu Franklina. Strimer jest wyładowaniem, w którym początkowa gęstość elektronów osiąga wartość $10^{14}/\text{cm}^3$, jednak jego prąd jest mniejszy od 10 mA. Ponieważ powietrze w kanale strimera jest dosyć chłodne, gęstość elektronów szybko się zmniejsza i pojedynczy strimer nie jest w stanie sam się podgrzać, aby przekształcić się w gorący lider [11]. Wyładowanie strimerowe w powietrzu rozwijające się z elektrody o biegunowości dodatniej ma długość do 1 m, a napięcie konieczne do jego rozwoju wynosi około 400–500 kV. Tak więc zwód ESE emitujący strimer o długości nawet 1 m zapewnia strefę ochrony tylko nieznacznie większą od zwodu Franklina o tej samej wysokości. Znacznie prostszym i tańszym sposobem jest zwiększenie wysokości zwodu Franklina o 1 m. Wydaje się jednak, że większość oferowanych na rynku zwodów ESE emituje tylko małe iskiereki, a nie wyładowanie strimerowe o długości 1 m. Gdyby zwody ESE emitowały wyładowania liderowe (a nie strimerowe) o długości kilkunastu metrów nieco wcześniej niż może to uczynić zwód Franklina, wówczas ich strefa ochronna mogłaby być większa od zwodu klasycznego mającego tę samą wysokość. Niestety, aby samodzielnie wygenerować wyładowanie liderowe o długości kilkunastu metrów, konieczne jest źródło o napięciu około 2 MV [11]. W obecności pola pochodzącego od zbliżającego się lidera odgórnego wartość napięcia konieczna do zainicjowania wcześniejszego lidera oddolnego zmniejsza się do około 0,5 MV. Piorunochron wyposażony w takie źródło napięcia można teoretycznie zbudować, byłby on jednak bardzo kosztowny.

<http://www.allteccorp.com>

Można zatem wnioskować, że wykorzystanie zwodów ESE zamiast zwodów klasycznych o tej samej wysokości



Rys. 6. Stacja biogazu w Malsicach w Czechach. Miejsce uderzenia pioruna zaznaczono czerwoną błyskawicą, napis ESE wskazuje położenie maszty z głowicą aktywną [12]

nie może prowadzić do zwiększenia strefy ochronnej. Potwierdzają to wyniki prób polowych zwodów ESE i zwodów klasycznych przeprowadzone przez specjalistów z Uniwersytetu stanu New Mexico [7]. Próby te nie wykazały żadnych zalet zwodów aktywnych. Wiele dowodów nieskuteczności zwodów ESE zebrano w Malezji, zazwyczaj na obiektach o znacznej wysokości [5]. Zaobserwowano również tego typu zdarzenie na stacji biogazu w miejscowości Malsice w Czechach w czerwcu 2011 [12]. Głowica aktywna umieszczona na maszcie o wysokości 16 m znajdowała się w odległości 13 m od zbiornika biogazu. Pomimo deklarowanego promienia ochrony zwodu ESE wynoszącego rzekomo 45 m, piorun uderzył w środek pokrywy zbiornika na wysokości 9,5 m odległego o 25 m od zwodu ESE (rys. 6). W wyniku uderzenia powstał pożar i eksplozja gazu, która spowodowała straty w wysokości 5 mln koron czeskich.

5. Piorunochrony aktywne w Polsce

Zwody aktywne są produkowane w Polsce przez dwie firmy. W roku 2000 zamontowano zwód aktywny w najwyższym punkcie A na domu w Kamieńcu Wrocławskim (rys. 7). Latem 2001 piorun uderzył nie w zwód, lecz w odległy o 18 m punkt B pomimo zapewnień producenta o 30 m promieniu strefy ochronnej zwodu. Po reklamacji właściciela producent założył dodatkowy zwód w punkcie B. Jest to jedyny znany autorowi przypadek nieefektywności zwodu aktywnego w Polsce.



Rys. 7. Dom jednorodzinny w Kamieńcu Wrocławskim [9]



Rys. 8. Zwód ESE na budynku mieszkalnym we Wrocławiu

Odbiorcami tych urządzeń są często właściciele drogich domów. Chyba to właśnie wiara w nadzwyczajne możliwości zwodów ESE spowodowała, że zwód taki umieszczono na dachu budynku poniżej anten telewizyjnych (rys. 8b).

Zwody aktywne zainstalowano m.in. na budynku wrocławskiego parku wodnego, na terenie rekreacyjnym w Wilczycach pod Wrocławiem, na stadionie żużlowym Motoarena w Toruniu, na kilku kościołach i urządach.

6. Stan prawny w zakresie ochrony odgromowej

Stosowanie danej normy technicznej nie jest obowiązkowe, jeśli nie została ona przywołana w rozporządzeniu lub odpowiedniej ustawie. W Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z 10 grudnia 2010 (Dz.U. 2010 nr 239 poz. 1539) oraz z 12 kwietnia 2002 (Dz.U. 2002, nr 75, poz. 690) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie przywołano normę PN-EN 62305 Ochrona odgromowa. W normie tej nie uwzględnia się możliwości stosowania tzw. niekonwencjonalnej ochrony odgromowej. Zatem do ochrony obiektów użyteczności publicznej nie wolno stosować zwodów aktywnych. Dopuszczalne jest jedynie stosowanie tych urządzeń jako dodatku do instalacji klasycznej, spełniającej wymagania PN-EN 62305. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w pracy [13] lub na stronie internetowej http://www.rst.pl/images/centrum-ochrony/Piorunochrony_aktywne.pdf

7. Podsumowanie

Obecny stan wiedzy umożliwia zbudowanie piorunochronu o znacznie większej strefie ochronnej od klasycznego piorunochronu Franklina. Jednakże taka konstrukcja byłaby bardzo droga i niepraktyczna. Dostępne na rynku głowice aktywne oferują większe strefy ochrony tylko na papierze. W warunkach polowych nikomu nie udało

się udowodnić ich rzekomych właściwości. Ich postulowana strefa ochronna wyznaczana jest na podstawie pomiarów przeprowadzanych w laboratorium przy wręcz śmiesznie małym odstępnie 1 m i równie zabawnym układzie ostrze – płyta (chmura) obniżonej do wysokości 2 m nad ziemią.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Uman M., The art and science of lightning protection, Cambridge University Press 2008
- [2] Berger K., Vogelsanger E., Photographische Blitzuntersuchungen der Jahre 1955–1965 auf dem Monte San Salvatore, Bulletin SEV, 57 (1966) 14, s. 599–620
- [3] Chrzan K.L., Krupa A., Burze nad Wrocławiem, Pryzmat, luty 2012, s. 11–14, <http://pryzmat.pwr.wroc.pl/>
- [4] Bazelyan E. M., Raizer Y. P., Lightning physics and lightning protection, Institute of Physics Publishing, Bristol, Philadelphia 2000, s. 21
- [5] Chrzan K.L., Hartono Z., Inefficacy of radioactive terminals and early streamer emission terminals International Symposium on High Voltage Engineering ISH, Delft 2003, paper 075
- [6] Rakov V. A., Uman M.A. Lightning Physics and Effects, Cambridge University Press 2005
- [7] Rizk F.A.M., Modeling of lightning exposure of sharp and blunt rods. IEEE Transactions on Power Delivery, tom 25, nr 4, 2010, s. 3122–3132
- [8] Uman M.A., Rakov V.A., A critical review of nonconventional approaches to lightning protection. Bulletin of the American Meteorological Society, tom 83, Issue 12, wrzesień 2002, s. 1809–1820
- [9] Chrzan K.L., Nieskuteczność pewnego zwołu aktywnego. Wiadomości Elektrotechniczne nr 1/2009, s. 35–37
- [10] Lee J. B., Myung S. H., Cho Y. G., Chang S. H., Kim J. S., Kil G. S., Experimental study on lightning protection of air terminals. Proceedings of International Conference on Power System Technology, s. 2222–2226
- [11] Bazelyan E., Chrzan K.L., Piorunochrony pseudoaktywne, Przegląd Elektrotechniczny, nr 6/2012, s. 221–224
- [12] Kutac J., Mikes J., Pożar na stacji biopaliw Maslice, Elektroinfo, 2012, nr 5, 48–52
- [13] Zielenkiewicz M., Maksymowicz T., Piorunochrony aktywne w świetle obowiązujących w Polsce norm i przepisów prawnych, Wiadomości Elektrotechniczne 2012, nr 9, s. 31–33