

Przegląd argumentów naukowych przeciwko stosowaniu piorunochronów aktywnych

Streszczenie. Przedstawiono urządzenia nazywane „piorunochronami aktywnymi” (ang. *Early Streamer Emitters*), stosowane do tzw. niekonwencjonalnej ochrony odgromowej. Deklarowanym skutkiem ich działania jest znacznie większy zasięg strefy ochronnej niż standardowych instalacji odgromowych. Przedstawiono wybrane argumenty naukowe przeczące deklarowanej zasadzie działania.

Abstract. Devices called "active lightning rods" (*Early Streamer Emitters*), applied to so-called unconventional lightning protection, are presented. Their claimed action results in much larger protective zone than that of standard lightning protection systems. Selected arguments opposing the declared operating principle are presented. (**Overview of scientific arguments against the use of non-conventional air terminals**).

Słowa kluczowe: ochrona odgromowa, piorunochron aktywny (ESE), strefa ochronna, argumenty naukowe.

Keywords: lightning protection, ESE air terminal, protection zone, scientific arguments.

Wstęp

Stan wiedzy dotyczący wyładowań atmosferycznych jest znaczny, ale daleki od kompletności. Z tego powodu istnieje spore pole dla działań nieudowodnionych naukowo, których ukrytym celem jest osiągnięcie korzyści materialnych, a nie tworzenie rzeczywistego postępu naukowo-technicznego. Efektem takich działań są m.in. niekonwencjonalne piorunochrony. Można wyróżnić dwie grupy tych urządzeń:

- 1) piorunochrony „aktywne” (ang. *ESE – Early Streamer Emitters*), czyli z tzw. wczesną emisją strimerów;
- 2) piorunochrony mające zapobiegać wyładowaniom atmosferycznym.

Niniejsza praca dotyczy urządzeń ESE, z powodu ich szerokiego marketingowego promowania nie tylko za granicą, ale również w Polsce, mimo sprzeczności z normą PN -EN 62305 [1] oraz negatywnego stanowiska Polskiego Komitetu Ochrony Odgromowej SEP [2]. Piorunochrony „zapobiegające” uderzeniom pioruna nie są tak rozpowszechnione w Europie i nie mieszczą się w zakresie tej pracy.

Celem artykułu jest wykazanie, że opis działania piorunochronów aktywnych jest nadużyciem argumentów fizycznych, tworzeniem quasi-nauki dla osiągnięcia zysku.

Skuteczność aktywności marketingowej i lobbystycznej producentów piorunochronów aktywnych jest bardzo duża. Zaabsorbowano wiele komisji normalizacyjnych, w tym w USA i Australii; doprowadzono m.in. do opracowania normy francuskiej NF C 17-102 [3]. Tworzone są opracowania teoretyczne, stwarzające pozory wykorzystywania efektów prac naukowych (np. *CVM – Collection Volume Method*), pozwalając dezinformować potencjalnych klientów.

Producenci tzw. piorunochronów aktywnych zapewniają, że ich produkty są w stanie przechwycić wyładowania atmosferyczne skuteczniej niż standardowe instalacje odgromowe. Deklarowane zasięgi stref ochronnych urządzeń ESE są znacząco większe od stref ochronnych standardowych instalacji odgromowych. Nie zostało to nigdy potwierdzone przez niezależnych badaczy. Dowodzą tego m.in. liczne fotografie szkód piorunowych w budynkach wyposażonych w piorunochrony aktywne. Szczególnie znane są fotografie publikowane przez Hartono i Robiah'a [4, 5]. Autorzy ci opublikowali wiele artykułów, w tym również opisy przypadków porażeń śmiertelnych ludzi znajdujących się w deklarowanych strefach ochronnych piorunochronów aktywnych [6, 7].

Oprócz fotografii publikowane są również argumenty naukowe, przeczące zasadzie działania piorunochronów aktywnych. Przegląd tych argumentów przedstawiono w niniejszej pracy.

Proces wyładowania atmosferycznego

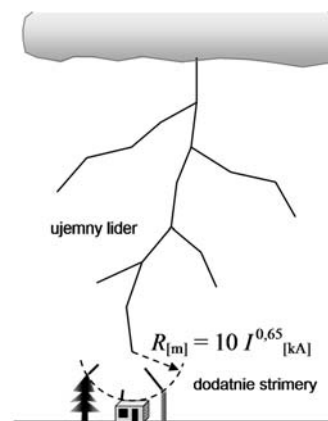
Przed opisem deklarowanej zasady działania piorunochronów aktywnych niezbędny jest skrócony opis procesu doziemnego wyładowania atmosferycznego. Szczegółowy opis wyładowania atmosferycznego oraz jego modeli matematycznych można znaleźć m.in. w [8-12].

Około 90% wszystkich wyładowań doziemnych składa się następujących głównych faz:

- 1 – lider skokowy (z rozgałęzieniami), niosący ujemny ładunek elektryczny, rozwijający się od chmury ku ziemi;
- 2 – strimer, rozwijający się od ziemi w kierunku lidera, gdy ten znajduje się nad punktem trafienia w odległości jednego skoku (kilkadziesiąt metrów);
- 3 – wyładowanie główne w kanale powstałym po połączeniu się strimera z liderem; zubożenie ładunku zgromadzonego na trasie lidera i jego rozgałęzień rozwija się od ziemi w kierunku chmury;
- 4 – kolejne wyładowania główne (może ich być kilkanaście), poprzedzone przez złożone procesy przemieszczania jonów, rozwijające się w kanale plazmy utworzonym przez pierwsze wyładowanie główne.

Czas upływający między kolejnymi wyładowaniami wynosi dziesiątki milisekund, co jest zauważalne gołym okiem jako efekt migotania błyskawicy.

Dla teorii działania piorunochronu aktywnego istotna jest faza druga. Strimery rozwijają się od różnych obiektów wówczas, gdy wskutek obniżania się lidera natężenie pola elektrycznego przy powierzchni ziemi silnie rośnie, przekraczając wartość nawet 150 kV/m (rys. 1).



Rys.1. Rozwój strimerów od obiektów na ziemi

Tak duży gradient potencjału powoduje powstawanie wyładowań niezupełnych i wysyłanie ku górze świecących

strumieni jonów dodatnich (ogniki św. Elma) z zakończeń różnych przedmiotów, gdzie lokalne natężenie pola jest największe. Kilkadziesiąt metrów nad ziemią jeden ze strimerów spotyka się z liderem zstępującym, zamykając kanał wyładowania.

Deklarowane działanie piorunochronu aktywnego

Spotykane są różne typy urządzeń ESE: a) aktywowane elektronicznie; b) piezoelektryczne; c) różnorodnie ukształtowane; d) radioaktywne (wycofane). W ich zasadzie działania deklarowane jest na ogół lokalne zwiększenie natężenia pola elektrycznego w urządzeniu w stosunku do pola otaczającego, z wykorzystaniem ukształtowania geometrycznego elektrod lub zasilania z impulsowo zmieniającego się źródła napięcia.

Producenci twierdzą, że piorunochron aktywny powoduje rozwój oddolnego strimera w polu elektrycznym o natężeniu mniejszym niż to, które wywołuje pojawienie się strimera nad zwodem standardowym, a strimer zainicjowany z piorunochronu aktywnego pojawia się o czas ΔT wcześniej. Długość ΔL tego wcześniej pojawiającego się strumienia jonów jest określana za pomocą wzoru [3]

$$(1) \quad \Delta L = v \Delta T,$$

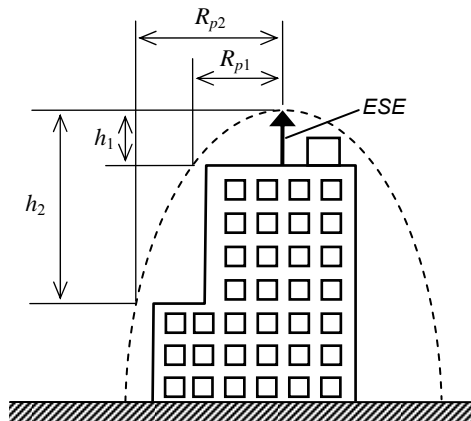
gdzie prędkość v jest przyjmowana zwykle za równą $10^6 \text{ m/s} = \text{const}$. Wartość ΔT jest parametrem podawanym przez producenta (ang. *time advantage*).

Na tej podstawie wyznaczany jest deklarowany zasięg strefy ochronnej, który jest znacząco większy od strefy ochronnej standardowej instalacji odgromowej [2]. Jeżeli urządzenie ESE jest umieszczone na wysokości $h \geq 5 \text{ m}$ nad powierzchnią, która ma podlegać ochronie, to deklarowany promień strefy ochronnej R_p , wyrażony jest wzorem [3]:

$$(2) \quad R_p = \sqrt{h(2D - h) + \Delta L(2D + \Delta L)},$$

gdzie $D = 20 \text{ m}$, 45 m lub 60 m , w zależności od przyjętego poziomu ochrony. Dla mniejszych wysokości h stosowane są odpowiednie nomogramy.

Szkic ilustrujący wyznaczanie strefy ochronnej piorunochronu aktywnego przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Wyznaczanie strefy ochronnej piorunochronu aktywnego

W różnych materiałach reklamowych można spotkać wyniki wyliczeń zapewniające, że np. promień strefy ochronnej danego zwodu aktywnego o wysokości 2 metrów ma wartość 34 metrów, a innego zwodu o wysokości 5 metrów – nawet przekracza 100 metrów. Są to wartości wielokrotnie większe od wyznaczanych w sposób zgodny z normami [2]. Kształt strefy ochronnej także różni się znacząco od kształtu zgodnego z [2]. Zastanawiające, jak łatwo można przekonać do tego tak wielu klientów.

Krytyka naukowa

Opisane powyżej działanie nie zostało potwierdzone naukowo. W testach laboratoryjnych określono, że odstęp czasowy ΔT między inicjacją strimera z urządzenia ESE i ze zwykłego metalowego pręta może osiągać $75 \mu\text{s}$ [13,14]. Zwolennicy ESE, interpretując ten wynik jako słuszny także w warunkach naturalnych, obliczają na podstawie wzoru (1), że długość ΔL strumienia jonów przemieszczającego się z prędkością ok. 10^6 m/s wynosi od 50 do 75 m. Tyle ma wynosić przewaga urządzenia ESE nad standardowym zwodem.

Jednakże, założenie przemieszczania się jonów ze stałą prędkością w warunkach naturalnych nie jest prawdziwe. Z cytowanych w [13, 14] badań Yokoyamy i in. [15] wynika, że prędkość oddolnego strumienia jonów może osiągać wartości od $0,5 \times 10^6 \text{ m/s}$ do $2,9 \times 10^6 \text{ m/s}$. Wyniki te są zgodne z wartością 10^6 m/s . Jednakże, jest to wartość maksymalna, osiągnięta tuż przed połączeniem się lidera i strimera. Do wyliczenia odstępu czasowego ΔT należy przyjmować prędkość średnią strumienia oddolnego, a ta podczas pomiarów Yokoyamy i in. wynosiła od $0,8 \times 10^5 \text{ m/s}$ do $2,9 \times 10^5 \text{ m/s}$, czyli o rząd wartości mniej.

Ponadto, badania opublikowane w [15] dotyczyły przypadków wyładowań w wieżę o wysokości 80 m, a strumienie jonów są na ogół dłuższe, gdy są inicjowane od obiektów wysokich [13]. Becerra i Cooray w [16] wykazują, że tuż po inicjacji prędkość strumienia jonów jest znacznie mniejsza, tj. bliska 10^4 m/s , a podczas jego rozwoju może zwiększać się do około 10^5 m/s .

Średnia prędkość strumienia jonów jest zatem przynajmniej o rząd wartości mniejsza od 10^6 m/s . Przyjmując $v = 10^5 \text{ m/s}$ oraz $\Delta T = 75 \mu\text{s}$, otrzymuje się na podstawie (1), że zysk ΔL może wynosić nie 75 m, a tylko 7,5m. Uwzględniając, że wyprzedzenie czasowe ΔT mieści się w typowym zakresie od $25 \mu\text{s}$ do $60 \mu\text{s}$ (podawane np. w polskich materiałach reklamowych), otrzymuje się ΔL równe od 2,5m do 6m.

Cooray wskazuje ponadto [13, 14], że taką wartość uzyskuje się przy milczącym założeniu braku ruchu ładunków lidera przemieszczającego się ku dołowi. Jeśli weźmie się pod uwagę również ruch lidera, to zysk ΔL ulegnie dalszemu zmniejszeniu.

Powyższe wyliczenia ΔL , zamykające się w przedziale pojedynczych metrów, wykazują brak przewagi urządzeń ESE nad zwykłymi prętami metalowymi w zastosowaniach praktycznych.

Kolejny argument, przeczący przewadze urządzeń ESE, dotyczy twierdzenia producentów piorunochronów aktywnych, że wcześniejsza inicjacja strumienia jonów zachodzi w polu o natężeniu mniejszym niż w przypadku zwodu zwykłego. Jednakże należy zauważyć, że urządzenia ESE nie są wyrzutniami, czyli strumień jonów przemieszcza się w powietrzu pod wpływem sił natury. Dla propagacji jonów konieczne jest istnienie pola elektrycznego o odpowiednio dużym natężeniu. Jeśli ten warunek nie będzie spełniony, proces propagacji zostanie przerwany. Zagadnienie to nie jest rozważane przez zwolenników ESE.

Becerra i Cooray wykazali w badaniach laboratoryjnych, że w celu znacznego zwiększenia odległości uderzenia pioruna (promień R na rys. 1) urządzenia ESE musiałyby być zasilane z generatorów o napięciu rzędu megawoltów [16]. Cooray wykazał ponadto, że zasilanie urządzeń ESE ze źródeł impulsowych nie daje tym urządzeniom przewagi nad zwykłymi zwodami, gdyż naturalne pole elektryczne towarzyszące zbliżaniu się lidera do powierzchni ziemi ma naturę pulsującą [13].

Niejednorodność pola elektrycznego w czasie burzy jest znaczna, co powoduje możliwość emisji strimerów w sąsiedztwie urządzeń ESE, szczególnie przy narożnikach budynków i krawędziach dachów. Dowodzą tego m.in. wspomniane we wstępie fotografie szkód piorunowych w budynkach wyposażonych w piorunochrony aktywne [4,5]. Fotografie te można zaliczyć do wyników eksperymentalnych, uzyskanych w warunkach naturalnych.

Eksperymentalne badania porównawcze przeprowadzili pracownicy Langmuir Laboratory w Nowym Meksyku [17,18]. Zainstalowali oni wiele różnych zwodów pionowych w Magdalena Mountains, w pobliżu szczytu South Baldy (3288 m). Badali działanie zwodów ostro zakończonych, o zaokrąglonych końcach oraz trzy różne typy urządzeń ESE. W ciągu dwunastu lat badań zebrali 13 udokumentowanych uderzeń piorunów w pręty o zaokrąglonych końcach, a ani jednego trafienia w piorunochrony aktywne lub w pręty o końcach zaokrąglonych. W okresie dwóch lat sfilmowali trzy wyładowania atmosferyczne, które miały miejsce w zasięgu deklarowanych stref działania piorunochronów aktywnych. Jest to istotny dowód na nieprawdziwość tezy o bardzo dużych strefach ochronnych urządzeń ESE.

Należy też zwrócić uwagę na fakt, że teoria zwodów aktywnych nie ma zastosowania do wszystkich przebiegów procesu wyładowania atmosferycznego. Średnio tylko około 90 % wyładowań doziemnych rozwija się w sposób opisany na początku niniejszej pracy, a proporcja ta zależy od wysokości obiektu i od położenia geograficznego.

Znane są również inne publikacje, w których używane są podobne jak to argumenty dla wykazania, że urządzenia ESE nie mają przewagi nad standardowymi urządzeniami piorunochronnymi, np. [19-22].

Niebezpieczne instalacje

W materiałach reklamowych piorunochronów aktywnych często znajdują się zalecenia instalacyjne, które przeczą uznanym zasadom bezpieczeństwa. Demonstrowane są pojedyncze przewody odprowadzające i uziomy w postaci jednego pręta pionowego lub kształtu „kurzej łapki”. Ma to przekonać klientów, że stosowanie urządzeń ESE jest znacznie tańsze od standardowego urządzenia piorunochronnego. Realizacja takich pomysłów stwarza istotne zagrożenia zarówno dla aparatury elektronicznej, jak i dla ludzi. Zagrożenia te są wymienione poniżej.

1. Prądowi wyładowania, odprowadzanemu do ziemi za pomocą tylko jednego przewodu, towarzyszy pole elektromagnetyczne o takim samym natężeniu, jak tuż przy kanale pioruna.
2. Jedyńm przewodem odprowadzającym ma spłynąć cały prąd pioruna, co zwiększa zagrożenie w postaci przeskoków iskrowych do innych instalacji w budynku.
3. Po uderzeniu pioruna, w otoczeniu uziomu jedyńego przewodu odprowadzającego pojawi się znaczny gradient potencjału, przekładając się na niebezpieczne napięcia krokowe i dotykowe.

Dla porównania, instalacje zgodne z normami [2] zapewniają podział prądu piorunowego między wiele przewodów, redukcję pola elektromagnetycznego wewnątrz siatki piorunochronnej (efekt ekranowania [2, 11]), ochronę przed przeskocami iskrowymi, a uziomy otokowe lub fundamentowe redukują gradient potencjału w sąsiedztwie.

Wnioski

Jako podsumowanie niech posłuży sformułowanie zawarte w [20], które w wolnym przekładzie brzmi następująco: nie ma ani wyników eksperymentalnych, ani podstaw teoretycznych, które potwierdzałyby deklaracje, że

piorunochrony aktywne są lepsze od standardowych urządzeń piorunochronnych.

LITERATURA

- [1] Stanowisko Polskiego Komitetu Ochrony Odgromowej SEP w sprawie stosowania Polskich Norm dotyczących ochrony odgromowej obiektów budowlanych, <http://www.pkoo-sep.org.pl/>.
- [2] PN-EN 62305, Ochrona odgromowa, seria norm, Część 1: Zasady ogólne, Część 2: Zarządzanie ryzykiem, Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia, Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach, (2011-2012).
- [3] NF C 17-102, Protection of Structures and Open Areas Against Lightning Using ESE Air Terminals, norma francuska, (1995).
- [4] Hartono Z. A., Robiah I., Conventional and Un-Conventional Lightning Air Terminals: an Overview, *Forum on Lightning Protection*, Hilton Petaling Jaya, Jan. 8th, (2004).
- [5] Hartono Z. A., Robiah I., A Study of Non-Conventional Air Terminals and Stricken Points in a High Thunderstorm Region, *Proceedings 25th International Conference on Lightning Protection, ICLP*, Rhodes, Greece, (2000), 357–361.
- [6] Hartono Z. A., Robiah I., Death at the Stadium: Report on the Fatal Use of an Early Streamer Emission Lightning Rod in Malaysia, <http://www.lightningsafetyalliance.com/>, Mar. (2012).
- [7] Hartono Z. A., Robiah I., Adventure Island Lightning Incident: An In-Depth Report on the Deadly Failure of an Early Streamer Emission Lightning Rod, www.lightning-risk.org, Jun. (2012).
- [8] Rakov V. A., Uman M. A., *Lightning: Physics and Effects*, Cambridge University Press, (2003).
- [9] Uman M. A., Natural Lightning, *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 30, No. 3, May/Jun., (1994), 785-790.
- [10] Cooray V. (ed.): *The Lightning Flash*, IEE, London, (2003).
- [11] Aniserowicz K., Analiza zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej w rozległych obiektach narażonych na wyładowania atmosferyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok, (2005).
- [12] Masłowski G., *Analiza i modelowanie wyładowań atmosferycznych na potrzeby ochrony przed przepięciami*, Wyd. AGH, Kraków (2010).
- [13] Cooray V., Non Conventional Lightning Protection Systems, *Proceedings 30th International Conference on Lightning Protection, ICLP*, Cagliari, Italy, (2010).
- [14] Cooray V., Lightning Interception – Non Conventional Lightning Protection Systems, (on behalf of CIGRE Working Group C4.405), *Electra*, No. 258, Oct. (2011), 36-41.
- [15] Yokoyama S., Miyake K., Suzuki T., Kanao S., Winter lightning on Japan sea coast – development of measuring system on progressing feature of lightning discharge, *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 5, No. 3, (1990), 1418–1425.
- [16] Becerra M., Cooray V., On the velocity of positive connecting leaders associated with negative downward lightning leaders, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 35, L02801, (2008).
- [17] Moore C. B., Aulich G. D., Rison W., Measurements of lightning rod responses to nearby strikes, *Geophys. Research Lett.*, Vol. 27, No. 10, (2000), 1487–1490.
- [18] Rison W., Experimental Validation of Conventional and Non-Conventional Lightning Protection Systems, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 13-17 Jul. (2003).
- [19] Mousa A. M., Scientists Oppose Early Streamer Air Terminals, *National Lightning Safety Institute (NLSI web site)*, (1999).
- [20] Uman M. A., Rakov V. A., A Critical Review of Nonconventional Approaches to Lightning Protection, *Bulletin of the American Meteorological Society*, (Dec. 2002), 1809-1820.
- [21] Mousa A. M., Non-Conventional Lightning Protection Systems - An Update, *A Presentation to IEEE*, Vancouver, Nov. 16 (2010).
- [22] Aniserowicz K., Ochrona odgromowa z zastosowaniem urządzeń niezgodnych z normami PN-EN, *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, nr 04, (2015), 244-247.

Autor: dr hab. inż. Karol Aniserowicz, prof. nzw. w PB, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: k.aniserowicz@pb.edu.pl.