

KRYTYKA OCHRONY ODGROMOWEJ NIEZGODNEJ Z NORMAMI EUROPEJSKIMI

Streszczenie: Opisano urządzenia stosowane do tzw. niekonwencjonalnej ochrony odgromowej. Podzielono je na dwie zasadnicze grupy: piorunochrony aktywne i urządzenia mające zapobiegać wyładowaniom atmosferycznym. Poddano je krytyce jako urządzenia kosztowne, a przy tym często instalowane w sposób sprzeczny z podstawowymi zasadami bezpieczeństwa. Przedstawiono wybrane argumenty naukowe przeczące deklarowanej zasadzie działania.

1. Wstęp

Wydarzeniem, które jest najczęściej wymieniane w literaturze jako początek nowożytnych badań nad naturą wyładowań atmosferycznych i ochroną odgromową, był słynny eksperyment Benjamina Franklina z latawcem w roku 1752 oraz późniejsze skonstruowanie pierwszego piorunochronu. Obecnie urządzenia służące do ochrony odgromowej są doskonalsze. Stan wiedzy na temat elektromagnetyzmu, w tym natury piorunów, jest nieporównanie większy niż w czasach Franklina, ale wciąż niepełny – wszak upłynęło dopiero niewiele ponad 260 lat. Z tego powodu istnieje spore pole dla działań nieudowodnionych naukowo, których ukrytym celem jest osiągnięcie korzyści materialnych, a nie tworzenie rzeczywistego postępu naukowo-technicznego. W ich wyniku powstały m.in. niekonwencjonalne piorunochrony. Można wyróżnić dwie grupy takich urządzeń:

- 1) piorunochrony „aktywne” (ang. *ESE – early streamer emitters*), czyli piorunochrony z tzw. wczesną emisją streamerów,
- 2) piorunochrony mające zapobiegać wyładowaniom atmosferycznym (ang. *lightning preventors*).

Szczególnie urządzenia z pierwszej grupy są szeroko marketingowo promowane nie tylko za granicą, ale również w Polsce, mimo sprzeczności z zestawem norm PN-EN 62305 [1] oraz negatywnego stanowiska Polskiego Komitetu Ochrony Odgromowej SEP [2]. Piorunochrony „zapobiegające” uderzeniom pioruna nie są rozpowszechnione w Europie.

Skuteczność aktywności marketingowej i lobbystycznej producentów piorunochronów aktywnych jest bardzo duża. Zaabsorbowano wiele komisji normalizacyjnych, w tym w USA i Australii, doprowadzono do opracowania normy francuskiej NF C 17-102 [3]. W wielu krajach sprzedawcy *ESE* powołują się na tę normę, która jest sprzeczna z Normą Europejską EN 62305 i jej polskim odpowiednikiem PN-EN 62305.

Do opisu funkcjonowania wymienionych wyżej urzędzeń wykorzystywane są te same zjawiska fizyczne, które stanowią podstawę działania urzędzeń piorunochronnych zgodnych z normami międzynarodowymi IEC i europejskimi EN. Celem artykułu jest wykazanie, że argumenty fizyczne są nadużywane dla osiągnięcia zysku, a w rezultacie tworzone są quasi-naukowe teorie, ułatwiające dezinformację potencjalnych klientów.

W niniejszym artykule więcej uwagi zostanie poświęcone piorunochronom aktywnym, ze względu na ich rozpowszechnienie w Europie i Polsce.

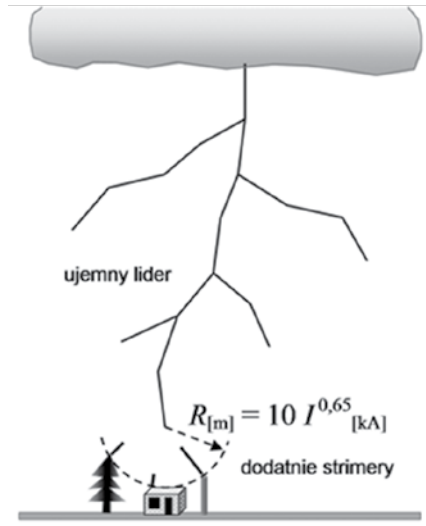
2. Proces wyładowania atmosferycznego

Przed opisem deklarowanej zasady działania piorunochronów aktywnych niezbędny jest skrócony opis procesu doziemnego wyładowania atmosferycznego. Więcej informacji na temat wyładowania atmosferycznego oraz jego modeli można znaleźć m.in. w pracach [4, 5, 6, 7]. 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. streamer, 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 streamera 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 kilka do kilkunastu), 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 wykorzystywana jest faza druga. Streamery rozwijają się od różnych obiektów wówczas, gdy skutek obniżania się lidera natężenie pola elektrycznego przy powierzchni ziemi silnie rośnie, przekraczając wartość nawet 150 kV/m (rys. 1).



Rys. 1. Rozwój streamerów 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 i obiektów, gdzie lokalne natężenie pola jest największe. Kilkadziesiąt metrów nad ziemią jeden ze streamerów spotyka się z liderem zstępującym, tworząc kanał plazmy, w którym następują kolejne fazy wyładowania.

3. Deklarowane działanie piorunochronu aktywnego

Producenci piorunochronów aktywnych (*ESE*) zapewniają, że ich produkty są w stanie przechwycić wyładowania atmosferyczne skuteczniej niż standardowe instalacje odgromowe. 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 odpowiedniego geometrycznego ukształtowania elektrod lub zasilania ze źródła o impulsowo zmieniającym się napięciu.

Przykłady takich urządzeń przedstawiono na rys. 2. Mają one różnorodne nazwy handlowe i kształty mające zapewnić ich komercyjną atrakcyjność. Odnosi się wręcz wrażenie, że kształt piorunochronu aktywnego może być dowolny, aby tylko odróżniał się od prostego, standardowego zwołu piorunochronnego.



Rys. 2. Przykłady „głowic” piorunochronów aktywnych (ESE)

Do określania zasięgu stref ochronnych takich urządzeń stosowana jest quasi-naukowa metoda *CVM* (ang. *Collection Volume Method* [8]). Spotykana jest również jej modyfikacja pod nazwą *FIM* (*Field Intensification Method*). Metody te są przeciwstawiane standardowym inżynierskim metodom toczonej się kuli lub stożka ochronnego [1].

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

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

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*).

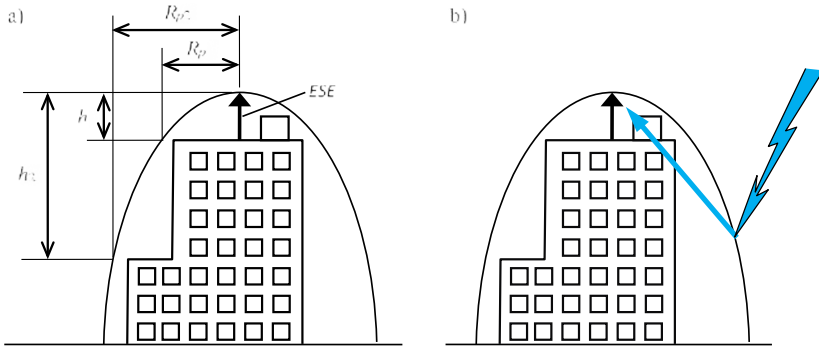
Na tej podstawie wyznaczany jest deklarowany zasięg strefy ochronnej, który jest znacząco większy od strefy ochronnej standardowej instalacji odgromowej. Jeżeli urządzenie *ESE* jest umieszczone na wysokości $h \geq 5 \text{ m}$ nad powierzchnią, która ma podlegać ochronie, to deklarowany promień strefy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

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

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, w tym interpretację wysokości h , przedstawiono na rysunku 3a. Warto

przy tym zwrócić uwagę na logiczne konsekwencje takiej konstrukcji strefy ochronnej: prosta interpretacja zbierania przez piorunochron aktywny wyładowań z granicy strefy ochronnej może prowadzić do narażenia budynku na uderzenia boczne (rys. 3b), czego nie przewidzieli twórcy tej metody.



Rys. 3. Strefa ochronna piorunochronu aktywnego (a) i błąd logiczny przy jej określaniu (b)

W różnych materiałach reklamowych można spotkać wyniki wyliczeń zapewniające, że np. promień strefy ochronnej danego zwołu aktywnego o wysokości 2 m ma wartość 34 m, a innego zwołu o wysokości 5 m – nawet przekracza 100 m. Są to wartości wielokrotnie większe od wyznaczanych w sposób zgodny z normą PN-EN 62305 [1]. Kształt strefy ochronnej także różni się znacząco od kształtu zgodnego z normą [1]. Zastanawiające, jak łatwo można przekonać do tego tak wielu klientów.

4. Krytyka naukowa

Deklarowane zasięgi stref ochronnych urządzeń *ESE* nie zostały potwierdzone przez niezależnych badaczy. Publikowane są liczne fotografie szkód piorunowych w budynkach wyposażonych w piorunochrony aktywne [9, 10] oraz argumenty naukowe podpisane przez uznanych badaczy, przeczące deklarowanej zasadzie działania urządzeń *ESE* [11, 12, 13, 14]. Szczególnie znane są fotografie publikowane przez Hartono i Robiah'a [9, 10]. Są oni autorami wielu artykułów, w tym również opisów przypadków śmiertelnych porażeń ludzi znajdujących się w deklarowanych strefach ochronnych piorunochronów aktywnych [15, 16]. Bardziej obszerny wybór publikacji na ten temat można znaleźć w artykułach [17, 18]. Większość cytowanych artykułów jest dostępna w Internecie.

Na rys. 4 przedstawiono przykładową fotografię minaretu meczetu w Putrajaya (Malezja) z zaznaczoną deklarowaną strefą ochronną urządzenia *ESE*

zainstalowanego na minarecie oraz miejsce trafienia pioruna w minaret, wewnątrz tej strefy [10]. Jest to jeden z licznych dowodów na nieprawdziwość deklaracji o skuteczności działania takich urządzeń.



Rys. 4. Minaret meczetu w Putrajaya; wskazano miejsce trafienia pioruna [10]

W testach laboratoryjnych określono, że różnica czasu ΔT między inicjacją streamera z urządzenia *ESE* i ze zwykłego metalowego pręta może osiągać wartości (50–75) μs i więcej. Producenci *ESE* interpretują ten wynik jako słuszny także w warunkach naturalnych. Zakładając, że strumień jonów przemieszcza się z prędkością ok. 10^6 m/s, obliczają oni na podstawie wzoru (1), że dla podanych wartości ΔT długość ΔL wynosi (50–75) m. Jednakże założenie przemieszczania się jonów ze stałą prędkością w warunkach naturalnych nie jest prawdziwe. Z niezależnych badań wynika, że średnia prędkość strumienia jonów jest mniejsza od 10^6 m/s o przynajmniej rząd wartości. Przyjmując $v = 10^5$ m/s oraz $\Delta T = 75$ μs , otrzymuje się na podstawie zależności (1), że zysk ΔL może wynosić nie 75 m, a tylko 7,5 m. Uwzględniając, że podawane w polskich materiałach reklamowych wyprzedzenie czasowe ΔT mieści się w typowym zakresie od 25 μs do 60 μs , otrzymuje się ΔL równe od 2,5 m do 6 m.

Wskazywane jest ponadto, że taką wartość uzyskuje się przy milczącym założeniu braku ruchu ładunków lidera przemieszczającego się ku dołowi. Jeśli weźmie się pod uwagę równoczesny ruch lidera, to zysk ΔL ulegnie dalszemu zmniejszeniu. Wynikające stąd wartości 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 ich producentów, że wcześniejsza inicjacja strumienia jonów zachodzi w polu o natężeniu mniejszym niż w przypadku zwykłego zwodu. Jednakże należy zauważyć, że urządzenia *ESE* nie są wyrzutniami ładunków, 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 zostanie przerwany. Zagadnienie to nie jest rozważane przez zwolenników *ESE*.

Wykazano 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.

Niejednorodność pola elektrycznego w czasie burzy jest znaczna, co powoduje możliwość emisji streamerów w sąsiedztwie urządzeń *ESE*, szczególnie przy narożnikach budynków i krawędziach dachów. Dowodzą tego m.in. wspomniane już fotografie szkód piorunowych w budynkach wyposażonych w piorunochrony aktywne [9, 10].

Eksperymentalne badania porównawcze przeprowadzili pracownicy Langmuir Laboratory w Nowym Meksyku [13]. 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 dowód na nieprawdziwość tezy o bardzo dużych strefach ochronnych urządzeń *ESE*.

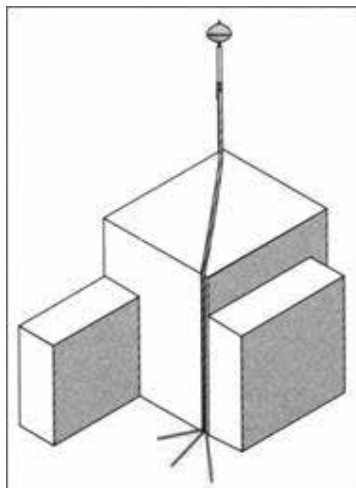
Należy też zwrócić uwagę na fakt, że teoria zwodów aktywnych nie ma zastosowania do wszelkich przebiegów procesu wyładowania atmosferycznego. Jak już wspomniano, średnio tylko około 90% wyładowań doziemnych rozwija się w sposób opisany w tej pracy, a proporcja ta zależy od wysokości obiektu i od położenia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

Propozycja podobna do normy francuskiej [3] była również w USA opracowana przez producentów *ESE* i rozpatrywano ją jako projekt normy NFPA 781, mającej być uzupełnieniem amerykańskiego standardu NFPA 780. W roku 1995 Rada Normalizacyjna NFPA (*National Fire Protection Association Standards Council*) odrzuciła ten projekt. W wyniku odwołania producentów Rada ponownie analizowała ten projekt i odrzuciła go w roku 2000.

Komitet Naukowy Międzynarodowej Konferencji Ochrony Odgromowej ICLP (*International Conference on Lightning Protection*) wydał w 1999 roku oświadczenie o braku podstaw naukowych dotyczących zasad działania ESE [11].

5. Niebezpieczne instalacje z wykorzystaniem ESE

W materiałach reklamowych dotyczących 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 w kształcie „kurzej łapki” (rys. 5). Ma to przekonać klientów, że stosowanie urządzeń ESE jest znacznie tańsze od standardowego urządzenia piorunochronnego.



Rys. 5. Przykład rysunku reklamowego instalacji z urządzeniem ESE

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. Jedynym 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 jedynego przewodu odprowadzającego pojawi się znaczny gradient potencjału, przekładając się na niebezpieczne napięcia krokowe i dotykowe.

Pojedyncze przewody odprowadzające lub pręty uziomowe są ideowym powrotem do pierwowzorów sprzed 250 lat. Zdarzają się też przykłady „ochrony” odgromowej, publikowane na stronach internetowych sprzedawców, które są wręcz popisami braku zdrowego rozsądku. Jeden z takich przykładów pokazano na rys. 6, gdzie jedyny przewód odprowadzający jest celowo wprowadzony do wnętrza budynku przez kanał wentylacyjny, tworząc w ten sposób drogę dla niebezpiecznej penetracji przez prąd piorunowy.



Rys. 6. *Przykład bezmyślnej instalacji skopiowany z jednej z polskich stron internetowych*

Dla porównania, instalacje zgodne z normami PN-EN 62305 [1] zapewniają:

- a) podział prądu piorunowego, spływającego do ziemi, za pomocą wielu przewodów odprowadzających, dzięki czemu zredukowane jest pole elektromagnetyczne wewnątrz siatki piorunochronnej (efekt ekranowania [1, 6]);
- b) ochronę przed przeskokami iskrowymi;
- c) redukcję gradientu potencjału w chronionym obiekcie (w tym napięć krokowych) dzięki stosowaniu uziomów fundamentowych lub otokowych.

6. Urządzenia mające zapobiegać wyładowaniom atmosferycznym

Wytwórcy urządzeń zapobiegających wyładowaniom (ang. *lightning eliminators, lightning preventors*) deklarują wykorzystanie strumieni jonów wyładowań niezupełnych (ulotu) z wielu ostrych przewodów w naturalnym polu elektrycznym do zubożenia ładunków gromadzonych we wnętrzu chmur burzowych lub zmniejszenia natężenia pola elektrycznego, przez co rozwój streamerów ma być powstrzymany. Można wyróżnić dwie główne grupy takich urządzeń [19], [20]:

- a) mające eliminować wyładowania w chronione obiekty;
- b) mające drastycznie zredukować natężenie prądu pioruna.

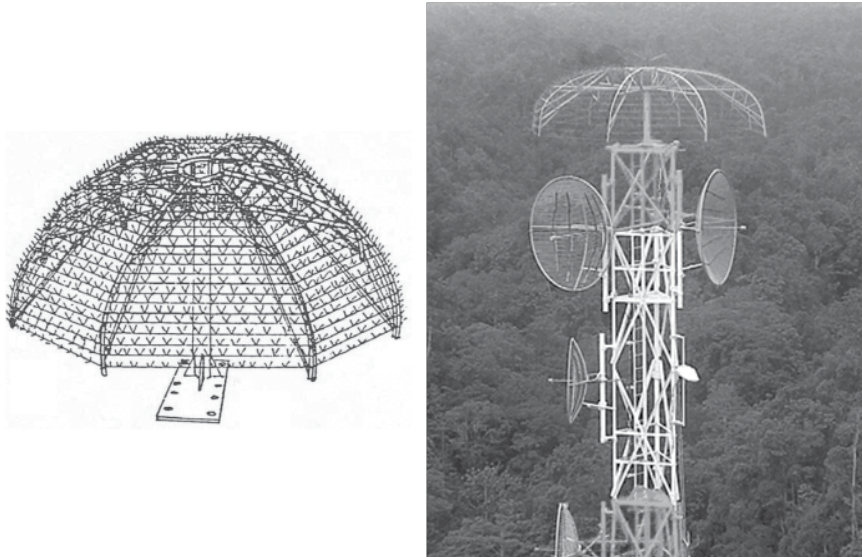
Urządzenia te są mniej znane w Polsce. W USA i na Dalekim Wschodzie szczególnie promowane są systemy o nazwach: *DAS (Dissipation Array System)* i *CTS (Charge Transfer System)*. Są one zbudowane z wielu ostro zakończonych drutów rozmieszczanych na konstrukcjach o kształtach przypominających wielkie parasole lub szczotki (rys. 7 i 8).

Na rys. 9 przedstawiona jest deklarowana zasada działania urządzenia DAS w postaci neutralizacji ładunku chmury burzowej przez emitowane jony o ładunku przeciwnym, zebrane z ziemi za pomocą rozległego systemu uziołmowego, nazywanego marketingowo *Ground Charge Collector*. Do tłumaczenia działania wykorzystywane jest zjawisko indukcji elektrostatycznej: dolna część chmury ma ładunek ujemny, a pod chmurą ziemia jest naładowana dodatnio. Idea ta ma istotną słabość w postaci braku quasi-technicznej teorii (jak metoda CVM dla piorunochronów aktywnych), która wspomagałaby projektowanie systemów mających zapobiegać wyładowaniom, a w szczególności ich stref ochronnych. W roku 2001 propozycja normy IEEE, opracowana przez jednego z producentów takich urządzeń w USA, została zablokowana z powodu braku jakichkolwiek podstaw naukowych. Tym niemniej, sprzedawcy kontynuowali działalność marketingową twierdząc, że norma jest w stadium opracowywania.

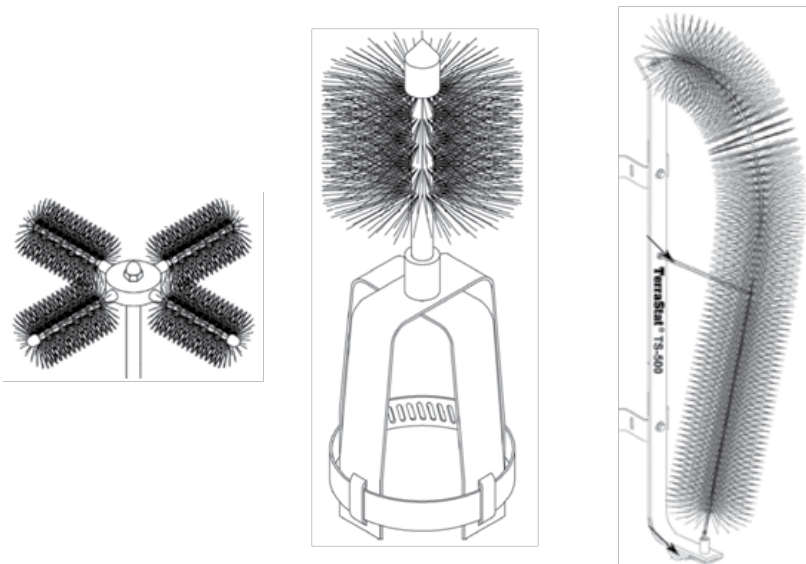
W USA, gdzie szczególnie aktywnie działają wytwórcy „eliminatorów” piorunów, udowodniono za pomocą fotografii, że urządzenia te są trafiane przez wyładowania [12, 14]. Część użytkowników tych urządzeń wymieniła je na standardowe instalacje po poniesionych szkodach (np. lotnisko w Tampa na Florydzie), niemniej jednak ich wytwórcy kontynuują działalność.

W niektórych publikacjach można znaleźć również wyniki obliczeń, za pomocą których wykazuje się, że przebiegające w łagodny sposób zubożenie ładunku zgromadzonego w chmurze burzowej nie jest możliwe za pomocą strumieni jonów unoszących się z punktowych źródeł umieszczanych przy

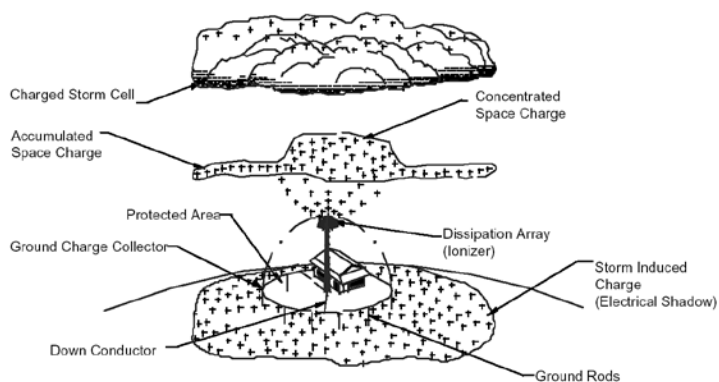
powierzchni ziemi. Wyładowanie po prostu musi się odbyć w sposób naturalnie gwałtowny.



Rys. 7. Rysunek urządzenia DAS (Dissipation Array System) [19] oraz przykład jego montażu na szczycie wieży antenowej (ilustracja z Internetu)



Rys. 8. Inne urządzenia DAS, montowane w zespołach mających zapobiegać uderzeniom pioruna [20]



Rys. 9. Ilustracja deklarowanego działania DAS [19]

7. Podsumowanie

Jako podsumowanie niech posłuży zdanie zawarte w artykule [14], które w wolnym przekładzie brzmi następująco: nie ma ani danych eksperymentalnych, ani podstaw teoretycznych, które potwierdzałyby deklaracje, że piorunochrony aktywne lub zapobiegające wyładowaniom są lepsze od konwencjonalnych urządzeń piorunochronnych.

Używanie takich urządzeń nie jest zalecane. W tym zakresie zostało zredagowane stanowisko Polskiego Komitetu Ochrony Odgromowej SEP [2], w którym wskazuje się, że urządzenia piorunochronne powinny być projektowane i wykonane zgodnie z wieloarkusową normą PN-EN 62305 [1].

Bardziej obszerny wykaz publikacji na podjęty temat można znaleźć w przytoczonych niżej publikacjach [17, 18].

8. Literatura

1. PN-EN 62305 Ochrona odgromowa – norma wieloarkusowa 2011-2012 – Część 1: Zasady ogólne, Część 2: Zarządzanie ryzykiem, Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia, Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach.
2. Stanowisko Polskiego Komitetu Ochrony Odgromowej SEP w sprawie stosowania Polskich Norm dotyczących ochrony odgromowej obiektów budowlanych, <http://www.pkoo-sep.org.pl/>.
3. NF C 17-102:1995 Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d’amorçage (Protection of structures and open areas against lightning using *ESE* air terminals).
4. Rakov V. A., Uman M. A.: Lightning: physics and effects. Cambridge University Press 2003.

5. Uman M. A.: Natural lightning. IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 30, No. 3, May/June 1994, s. 785–790.
6. Anisierowicz K.: Analiza zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej w rozległych obiektach narażonych na wyładowania atmosferyczne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2005.
7. Masłowski G.: Analiza i modelowanie wyładowań atmosferycznych na potrzeby ochrony przed przepięciami. Wyd. AGH, Kraków 2010.
8. D’Alessandro F.: A modern perspective on direct strike lightning protection. ERICO Lightning Technologies, www.electro-specialties.com/technical/downloads/Erico%20Lightning%20Protection.pdf
9. Hartono Z. A., Robiah I.: Conventional and unconventional lightning air terminals: an overview. Forum on Lightning Protection, Hilton Petaling Jaya, January 8th 2004.
10. Hartono Z. A., Robiah I.: Conventional and unconventional lightning air terminals: an update, Journal of the Association of Consulting Engineers Malaysia, First Quarter 2007.
11. Mousa A. M.: Scientists oppose early streamer air terminals. National Lightning Safety Institute 1999, http://lightningsafety.com/nlsi_lhm/charge_transfer_opp.html
12. Mousa A. M.: Non-conventional lightning protection systems – an update. A Presentation to IEEE, Vancouver, November 16 2010.
13. Rison W.: Experimental validation of conventional and nonconventional lightning protection systems. IEEE Power Engineering Society General Meeting, 13–17 July 2003.
14. Uman M. A., Rakov V. A.: A critical review of nonconventional approaches to lightning protection. Bulletin of the American Meteorological Society, December 2002, s. 1809–1820.
15. Hartono Z. A., Robiah I.: Death at the stadium: report on the fatal use of an early streamer emission lightning rod in Malaysia, March 2012. <http://www.harger.com/library/articles/Death-at-the-Stadium.pdf>
16. Hartono Z. A., Robiah I.: Adventure Island lightning incident: an in-depth report on the deadly failure of an early streamer emission lightning rod, June 2012. www.lightning-risk.org/pdfs/Hartono-Adventure-Island-Lightning.pdf
17. Anisierowicz K.: Przegląd argumentów naukowych przeciwko stosowaniu piorunochronów aktywnych. Przegląd Elektrotechniczny, 2015, nr 11, s. 4–6.
18. Anisierowicz K.: Ochrona odgromowa z zastosowaniem urządzeń niezgodnych z normami PN-EN. Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, 2015, nr 4, s. 244–247.
19. Carpenter R. B., Drabkin N. M.: Lightning strike protection, strona internetowa Lightning Eliminators.
20. Strona internetowa Alltec Corporation.

Rys. 4. Minaret meczetu w Putrajaya – barwne fotografie



Fig. 5: Minaret of Putrajaya Mosque. The claimed protection zone is shown by the dotted line while the lightning strike location is shown by the arrow.



Fig. 6: An ESE air terminal on the apex of the minaret (arrowed).



Fig. 7: Close-up view of the lightning damaged section of the minaret (arrowed).