

Praktyczne i naukowe podstawy dyskwalifikacji „aktywnej” ochrony odgromowej

Zdobysław Flisowski

1. Wstęp

Rozważaniom niniejszego artykułu poddano praktyczne i naukowe podstawy dyskwalifikacji „piorunochronów aktywnych”, gdyż chodzi tu nie tylko o błędną zasadę działania „zwołu aktywnego” lub inaczej „zwołu ESE (Early Sreamer Emission)”, ale i o błędne rozwiązanie całego „urządzenia piorunochronnego”.

Fakt losowego charakteru wyładowań piorunowych i powodowanych nimi zagrożeń dla ludzi i ich mienia sprzyja różnym spekulacjom w dziedzinie ochrony odgromowej obiektów budowlanych. Jest więc rzeczą oczywistą, że istnieje wiele błędnych uogólnień, kłopotliwych oszacowań i przypadkowych nieścisłości, ale nie można do nich zaliczyć spekulacji związanych z „piorunochronami aktywnymi”. Nic nie może usprawiedliwić faktu, że na początku lat 90-tych ubiegłego wieku przemycono z Francji do Polski „zwoły ESE”, zaliczając je (wg statystycznego wykazu SWW 0654-29) do budowlanej armatury typu „zawiasy” i „klamki”. Nic nie może usprawiedliwić pseudo Rzecznawców SEP z Wrocławia (w 1995 r. i 2000) [4] i z Torunia (w 2009 r.) [5], a nawet z Instytutu Energetyki w Warszawie – Morach (w 2005 r.) [10], którzy bez własnych badań, mimo niezgodności z Polską Normą, wydawali pozytywne opinie o tych bublach. Wyeliminowanie w 2002 r. obligatoryjności wszelkich norm, a więc i norm bezpieczeństwa, co zakrawa już na skandal, nie pozwoliło ukrócić tych spekulacji, a wprost przeciwnie, otworzyło furtkę dla Prezydium PKN do popierania innowacyjności, w tym również w postaci bubli zagrażających bezpieczeństwu.

Próby „aktywizacji” zwodów sięgają początków XX w., kiedy to powstał pomysł na rozładowywanie chmur burzowych promieniami „beta”. Szybko okazało się to nierealne, bo – jak dowodził prof. K. Berger – rozładowanie jednej chmury tą metodą musiałoby trwać ok. 3 miesiące. Skoro chmura nie daje się rozładować, to – jak zasugerował w 1914 r. L. Szillard - należy zwiększyć skuteczność zwodów, intensyfikując nad nimi jonizację i powodując przyspieszenie wyładowania oddolnego, za pomocą promieniowania „alfa”. Na fiasko tego pomysłu wskazywały późniejsze obserwacje, a w 1972 r. prof. H. Batz wykazał doświadczalnie, że „izotopy radioaktywne nie poprawiają ochrony odgromowej”. Na szczęście w 1983 r. stosowanie izotopów radioaktywnych zostało zabronione, ale nie oznaczało to końca świadomego już gwałcenia zasad fizyki i elektrotechniki. Najpierw do zintensyfikowania jonizacji nad zwodem wprowadzono źródło napięcia o wartości 25 kV, ale szybko od tego odstąpiono na rzecz „perpetuum mobile”, a więc na rzecz jonizacji dokonującej się rzekomo pod wpływem pola piorunowego w puszcze u wierzchołka „zwołu”. Producent takiej puszeki, zapytany w 1998 r., na ICLP w Birmingham, o to, co się w niej znajduje odpowiedział, że „tajemnica handlowa” i do dnia dzisiejszego wszystko jest tajemnicą. Na przykład, nie wiadomo, dlaczego ignoruje się całkowicie:

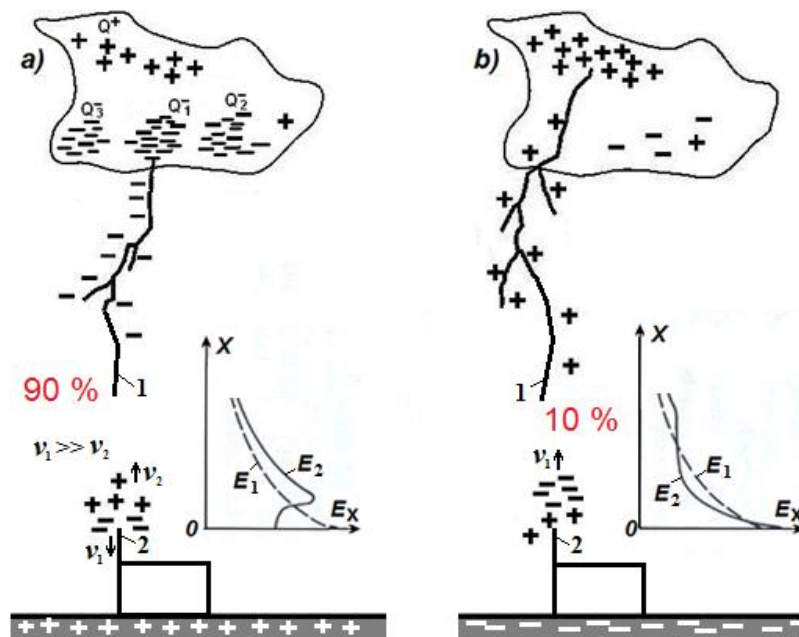
- biegunowość wyładowania, wchłanianie elektronów przez zwód dodatni i brak nad nim oddolnego rozwoju lidera oraz wyniki badań laboratoryjnych i obserwacji terenowych;
- spadek napięcia w przewodzie odprowadzającym i wzmożone efekty elektromagnetyczne płynącego w nim prądu.

Warto się przyjrzeć bliżej tym „tajemnicom handlowym” i ich skutkom oraz wszelkim anomaliiom związanym ze stosowaniem dziwactwa postaci „zwołu ESE”.

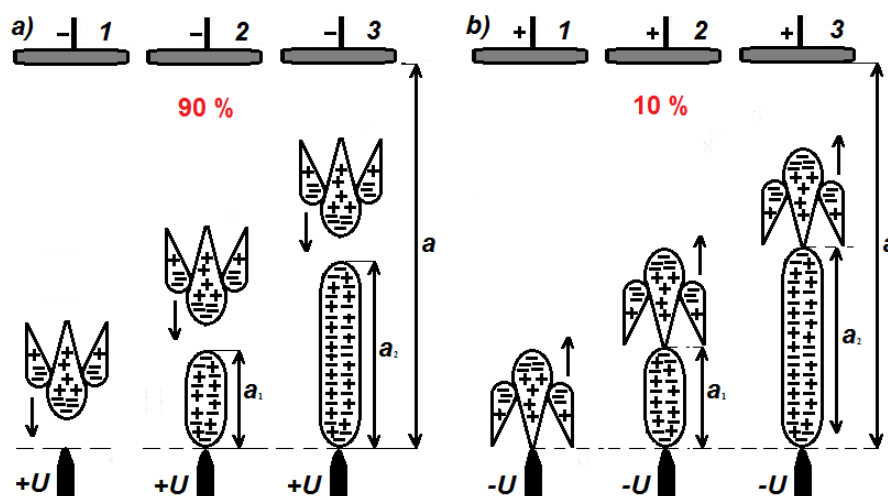
2. Biegunowość, strimer oddolny i problemy wybiórczości piorunów

Uwagę przyciągają tu oczywiście wyładowania odgórne (Rys. 2.1), które są przechwytywane przez zwody, a nie oddolne, które rozwijają się ze zwodów. Jak wiadomo ok. 90 % wyładowań odgórnych ma biegunowość ujemną Rys. 2.1a, a tylko ok 10 %

wyładowań odgórnych ma biegunowość dodatnią (Rys. 2.1b). A zatem tylko w 10 % przypadków strimer tworzony przez oddolne lawiny (Rys. 2.2 b) może rozwijać się w górę na spotkanie dodatniego kanału odgórniego. Natomiast w 90 % przypadków (Rys. 2.2a) nie ma lawin oddolnych, gdyż uwalniane w procesie jonizacji elektrony zostają natychmiast (z prędkością v_1) wessane przez zwód dodatni, nad którym tworzy się chmura mało ruchliwych (mających prędkość $v_2 \ll v_1$) jonów dodatnich. A więc nie można mówić o przyspieszaniu tam oddolnego strimera, którego nie ma. Oczywiście, jeżeli natężenie pola elektrycznego w pewnej odległości od zwodu dodatniego przekroczy wartość krytyczną, to będą tam powstawać lawiny odgórne (Rys. 2.2a), dające początek strimerowi, ale rozwijającemu się w kierunku zwodu. Strimer taki dopiero po przekształceniu w lider może utworzyć kanał narastający skokowo, ale to nie ma nic wspólnego z wymuszaną rzekomo nad zwodem jonizacją.



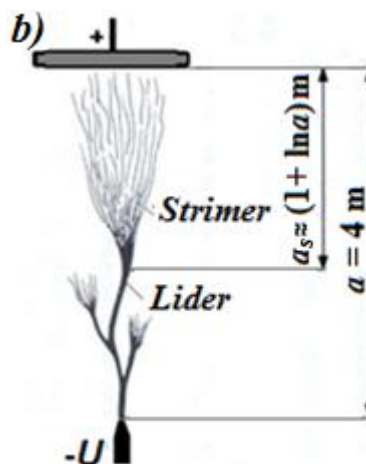
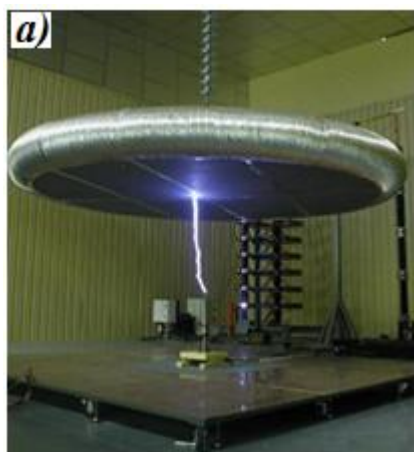
Rys. 2.1. Ilustracja ruchu elektronów i jonów dodatnich oraz natężenia pola elektrycznego bez ładunku przestrzennego (E_1) i z ładunkiem przestrzennym (E_2) nad zwodem (2) pod kanałem piorunowym biegunowości: a) ujemnej, b) dodatniej.



Rys. 2.2. Ilustracja kierunku rozwoju lawin i strimerów nad zwodami biegunowości: a) dodatniej, b) ujemnej; 1, 2, 3 – kolejne fazy powstawania lawin i strimerów.

Istotne tu jest też zwrócenie uwagi na zależny od biegunowości i zdecydowanie różny wpływ, zainicjowanej nad zwodem dodatnim ładunek przestrzenny wyraźnie redukuje tam początkową wartość natężenia pola E_1 do wartości E_2 (Rys. 2.1a) i w ten sposób uniemożliwia rozwój strimera oddolnego i żadne kombinacje jonizacyjne tego zmienić nie mogą. Również nad zwodem biegunowości ujemnej nie są one potrzebne, bo bez nich następuje wzrost natężenia pola od wartości E_1 do wartości E_2 (Rys. 2.1b), a przez to następuje tam intensyfikacja jonizacji. Zatem przedstawiony na Rys. 2.1a, a w szczególności na Rys. 2.2a, obraz zachodzących nad zwodem dodatnim zjawisk obala wszelkie wyspekulowane dla „zwołów ESE” hipotezy. Jest to zapewne jeden z powodów, dla których w żadnej z hipotez i w podstawowym ich dokumencie NF C 17-102: 1995 [12] nie ma najmniejszej wzmianki o biegunowości wyładowania, ale spekulacje na tym się nie kończą.

Do sformułowania postanowień dokumentu NF C 17-102: 1995 [12] miały rzekomo służyć wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych w układzie uwidocznionym na Rys. 2.3a. Już szacunkowa ocena uwidocznionych na nim elementów pozwala stwierdzić, że badana przerwa iskrowa ma długość zaledwie ok. 1 m. Wynika to z opisu układu (≥ 1 m) [1] i z rozmiarów górnej elektrody, która zapewne musiała mieć biegunowość dodatnią, bo bez tego nie mogłoby być mowy o istnieniu strimerów oddolnych, chociaż tylko domniemanych, bo do potwierdzenia niemożliwych.



Rys. 2.3. Układ badawczy strimera (a) [1] i warunek zaistnienia lidera (b)

Z zależności $a_s = f(a)$ - podanej na Rys.2.3b - wynika, że do laboratoryjnego ujawnienia strimerów oddolnych niezbędne byłoby zdecydowane wydłużenie przerwy iskrowej, chociaż nie jest tajemnicą, że w laboratoriach wysokonapięciowych - nawet o największych gabarytach - nie da się odtworzyć rzeczywistych zjawisk piorunowych. Dlatego najczęściej są one wykorzystywane w ograniczonym zakresie, do wykonywania różnych testów, w tym tylko testów porównawczych, jak to na przykład miało miejsce w uniwersyteckim laboratorium niemieckim (Ilmenau), czy angielskim (Manchester), gdzie zgodnie z dokumentem NF C 17-102: 1995 [12] testowano skuteczność „zwołów ESE” i konfrontowano ją ze skutecznością zwołów Franklina. W raporcie z Manchesteru [16], gdzie wykonano 420 testów w 12 układach, stwierdzono, że „zwód ESE nie ma żadnej przewagi nad zwodem Franklina”. „Zwoły” te zdołały przechwycić tylko 165 przeskoków, tj. 39,3 %, podczas gdy zwoły Franklina - aż 200 przeskoków, tj. 46,7%. W pozostałych 55 przypadkach, tj. w 14 %, nie wystąpiły przeskoki. Podobne rezultaty przyniosły terenowe obserwacje zwołów w Laboratorium Badań Atmosferycznych Instytutu Górnictwa i

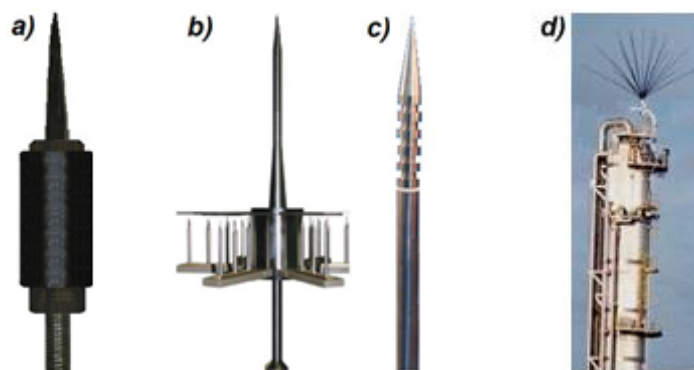
Technologii w Nowym Meksyku [11]. Spośród obserwowanych 3 zwodów, jak na Rys. 2.4, największą wybiórczość wykazywał zwód prawy w postaci pręta zakończony kulą, nieco mniejszą zwód środkowy w postaci zwykłego pręta, a najmniejszą lewy „zwód ESE”.



Rys.2.4. Układ obserwowanych zwodów w New Mexico (2001 r.).

Podobne obserwacje można by upowszechnić, ale na to nie ma zgody ze strony promotorów ESE. Obserwacjom, prowadzonym bez ich przyzwolenia, stawia się zarzut celowego użycia niewłaściwego zwodu. Natomiast we współpracy promotorów z jednostkami CLC/CENELEC walczy się o uznanie zgodności dokumentu NF C 17-102 z normą EN-62305 [2, 3] i o wydanie normy, w której brak uszkodzenia piorunowego w obiekcie wyposażonym w zwód miałby świadczyć o jego skuteczności [6]. Na szczęście spekulację tę udało się nam na razie obalić zażądaniem rezygnacji ze wskaźnika szkodowego na rzecz rejestracji trafień piorunowych w każdy „zwód ESE” przez dwie kamery, ustawione pod kątem prostym.

Mimo braku oddolnego rozwoju strimera nad zwodem dodatnim, stosuje się wiele zabiegów natury strukturalnej, by rzekomo zintensyfikować nad nim jonizację. Do nich - obok wspomnianej już „tajemnicy handlowej” (Rys. 2.5a) – należy struktura wieloostrzowa (Rys. 2.5b i c). Twierdzi się naiwnie, że dodatkowe ostrza przyczyniają się do zwiększenia jonizacji, a więc i do rozwoju strimerów. Jednak każdy szanujący się elektryk powinien wiedzieć, że tak, jak dodatkowy uziom, przy już istniejącym, nie zmniejsza jego rezystancji, tak i dodatkowe ostrze, przy już istniejącym, nie przyczynia się do intensyfikacji jonizacji. Wprost przeciwnie ze wzrostem liczby ostrzy, tworzących pióropusze (Rys. 2.5.d) natężenie pola nad nimi radykalnie maleje i znika jonizacja. Zaskoczeniem ze strony promotorów jest to, że ostrza na zwodach mają rzekomo - dzięki właściwościom „ESE” - przyciągać wyładowania, a pióropusze dzięki właściwościom CTS (Charge Transfer System) [9] mają je oddalać. To, że nad zwodem dodatnim nie ma strimerów oddolnych, potwierdza na zdjęciu z Rys. 2.6a linia przerywana, mijająca się z kanałem, a na Rys. 2.6b dowodzą to sami promotorzy tych dziwactw.

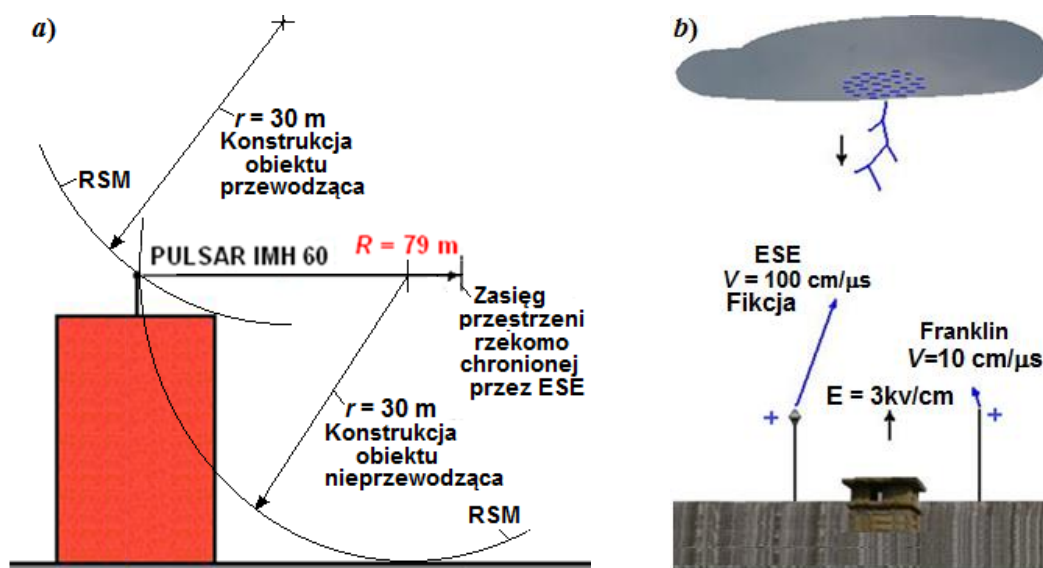


Rys. 2.5. Struktury: a), b), c) przyspieszające rzekomo strimer oddolny, d) eliminujące go



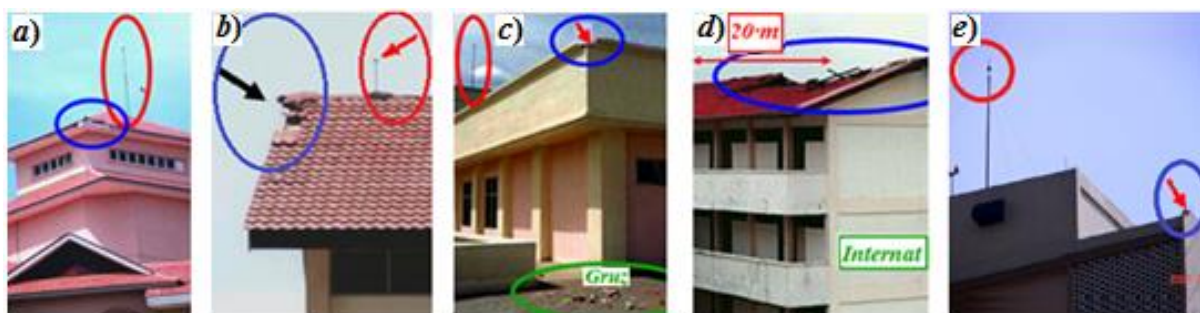
Rys. 2.6. Ilustracja: a) negująca istnienie „ESE”, b) objaśniająca rzekomo „CTS”, a negująca „ESE”

Przewaga „zwołu ESE” nad zwodem Franklina ma polegać rzekomo na znacznie większym jego zasięgu w wybiórczości wyładowań piorunowych. Dawniej zwodom wyposażonym w izotopy radioaktywne przypisywano zasięg sięgający nawet 200 m. Obecnie w dokumencie [12] zredukowano go maksymalnie do 110 m, a producenci np. „zwołu Pulsar IMH 60” (Rys.2.7a) postulują zasięg $R = 79$ m. Wynika to z fikcyjnego przyjęcia w dokumencie [12], że np. przy wysokości zwołu $h = 30$ m i piorunowym poziomie ochrony ($D = 45$ m), przyspieszony strimer ma rzekomo sięgać na odległość $\Delta L = 35$ m. Słowo „przyspieszony” ma oznaczać tu nie tylko wcześniejsze zainicjowanie strimera, lecz również znacznie większą prędkość jego narastania (Rys. 2.7b), co zakrawa na paradoks, polegający na przypisywaniu elektronom różnej prędkości w polu elektrycznym o tym samym natężeniu.



Rys. 2.7. Ilustracja rzekomej przewagi zwodów ESE nad zwodami Franklina pod względem: a) zasięgu przestrzeni chronionej, b) prędkości rozwoju strimera.

Przytoczone powyżej argumenty teoretyczne, uzasadniające wyraźnie to, że „zwoły ESE” nie mogą mieć żadnej przewagi nad zwodami Franklina, znajduje zdecydowane potwierdzenie w rzeczywistości. Zarejestrowano mnóstwo przypadków, w których uszkodzenia obiektu – jak uwidoczniono to na Rys. 2.8 - spowodowane były trafieniami piorunowymi tuż przy „zwole ESE”. Najwyraźniej widać to na Rys. 2.8b.



Rys. 2.8. Przykłady trafień piorunowych w pobliżu „zwołów ESE”

Przykłady z Rys. 2.8 świadczą wyraźnie o braku skuteczności, jaka przypisywana jest „zwodom ESE”. Natomiast lepszemu dowodowi na ten brak, niż z kolei pokazuje to Rys. 2.9a i Rys. 2.8b, szukać nie trzeba. Jak widać, dach obiektu jest chyba przewodzący, wyposażony w „zwoły ESE” i między nimi znajduje się punkt, w który trafia piorun i co ciekawsze nie powoduje tam widocznego uszkodzenia. Praktyka stosowania „zwołów ESE” tam, gdzie wystąpienie uszkodzenia piorunowego jest mało prawdopodobne, należy - wśród promotorów tych „zwołów” – do typowych. Za przykład może służyć „zwód ESE” ustawiony na dachu hangaru, jaki został uwidoczniiony na Rys. 2.9c [13].

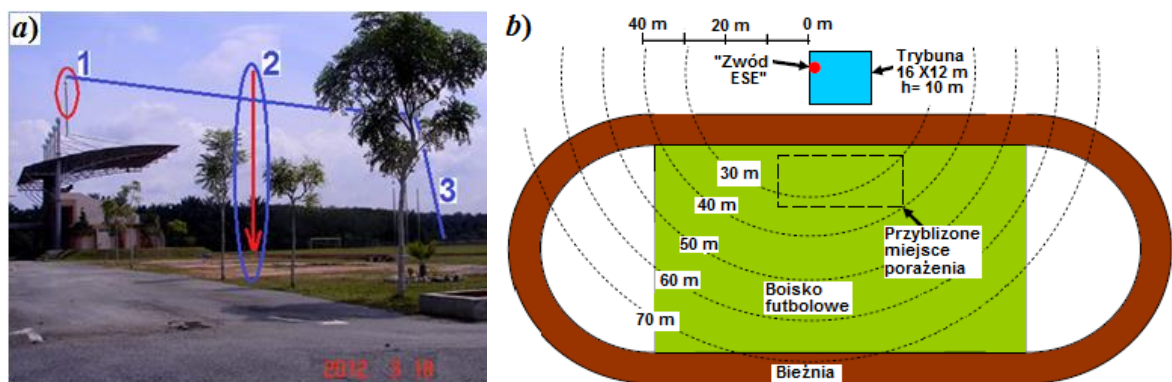


Rys 2.9. Ilustracja: a) ochrony budynku pierścieniowego 6-ma „zwodami ESE”, b) ich zawodności potwierdzonej wizualnie przez J. Howse w 2006 r. [1], c) ochrony hangaru.

Miejscem preferowanym do instalowania zwołów ESE są nie tylko obiekty o strukturze odpornej na wyładowania piorunowe, lecz niestety również obiekty otwarte i gromadzące ludzi, jak place, stadiony, baseny itp. Przestrzeniom „chronionym” przez te „zwoły” przypisuje się znaczny zasięg, a skutki są dramatyczne, bo prowadzą do śmiertelnych porażań. Okoliczności tych porażań zilustrowano na poniższych dwu rysunkach.



Rys. 2. 10. Ilustracja: a) zjeżdżalni z krańcem górnym X i dolnym Y; b) rozmieszczenia zwołów aktywnych” A i B oraz zasięgu stref chronionych [7].



Rys. 2.11. Ilustracja stadionu z uwidocznieniem lokalizacji zwodu ESE i miejsca porażenia studenta w rzucie: a) pionowym (1-lokalizacja „zwodu”; 2-miejsce trafienia; 3-zasięg strefy chronionej); b) poziomym [8].

Śmiertelne porażenie, zaistniałe w okolicznościach przedstawionych na Rys. 2.10a, nastąpiło 10. 09. 2011 r. na Wyspie Przygodowej w Tampa na Florydzie, między krańcami X i Y zjeżdżalni wodnej [7]. Znajdowała się ona między dwoma „zwodami ESE” usytuowanymi w punktach A i B, jak pokazano na Rys. 2.10b. Odległość między nimi wynosiła ok.140 m tak, że porażenie musiało nastąpić w odległości znacznie mniejszej niż 70 m od „zwodu”. Porażenia doznał 21 letni pracownik, sprawujący ochronę nad tym obiektem.

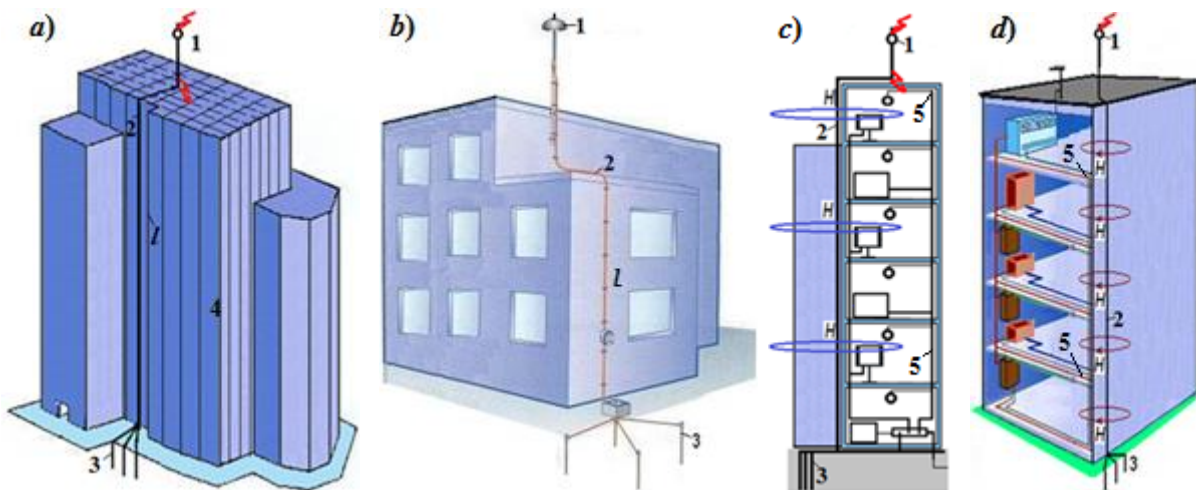
Z kolei, porażenie zaistniałe w okolicznościach przedstawionych na Rys. 2.11, nastąpiło w dniu 16.03.2012 r. podczas meczu studenckiego na mini-stadionie Uniwersytetu Melaka w Malezji [8]. Porażeniu uległ student tego Uniwersytetu, uczestnik gry futbolowej, znajdujący się w odległości mniejszej niż 40 m od „zwodu” (Rys. 2.11 b), a więc mniej więcej w środku strefy chronionej (tj. w punkcie 2 na Rys. 2.11a).

3. Konsekwencje przechwytywania piorunów przez „zwody ESE”

Jak starano się wykazać powyżej, deklarowana wybiórczość piorunów przez „zwody ESE” jest daleka od rzeczywistej, ale zagrożenie na tym się nie kończy. Pioruny trafiające w takie „zwody” mogą nadal powodować znaczne szkody, wynikające z niewłaściwej struktury całego „urządzenia piorunochronnego”. Przede wszystkim „zwód ESE” z pojedynczym odprowadzeniem i niezbyt właściwym uziomem (Rys. 3.1), stwarza zagrożenie napięciowe, gdyż nieuniknione tu są:

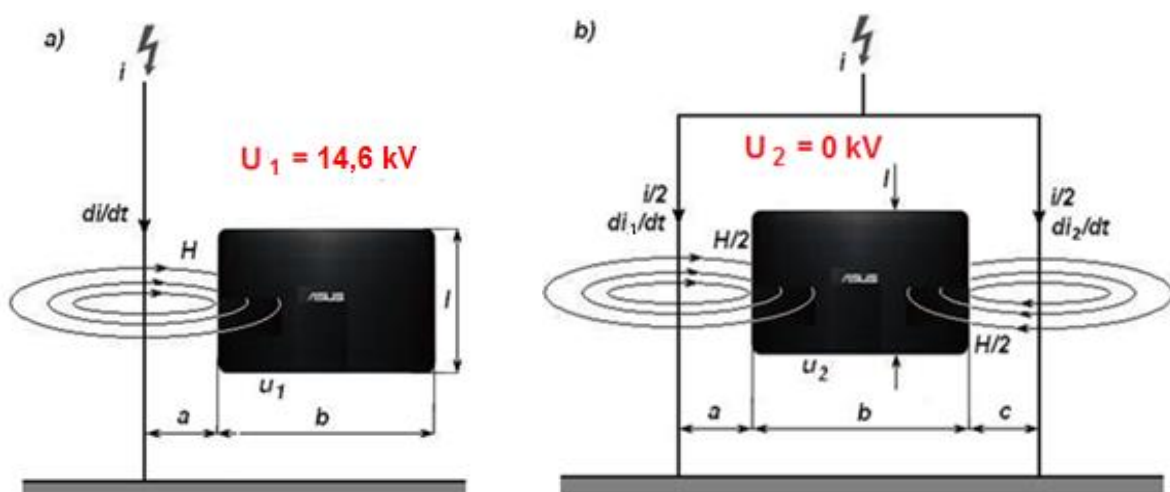
- spadki napięcia wzdłuż przewodu, a w konsekwencji przeskoki iskrowe do elementów przewodzących;
- napięcia indukowane w pętłach sprzężonych z całkowitym prądem piorunowym płynącym w przewodzie odprowadzającym, a w konsekwencji szkody urządzeń w tych pętłach.

Uziom w postaci „kurzej łapki”, którą należy tu uznać za – wspomniane już wcześniej - nieporozumienie, może zawyżać rezystancję, a w konsekwencji i spadki napięcia. Z kolei typowymi elementami przewodzącymi w obiekcie są nie tylko jego pręty zbrojeniowe, ale również obwody instalacyjne (Rys. 3.1c, i d). Nieporozumieniem jest też izolacja przewodu odprowadzającego (Rys. 3.1), która nie zapobiega przeskokom do elementów przewodzących, gdyż może mieć mniejszą wytrzymałość (np. 40 kV/mm) niż przeciętna wartość indukcyjnego spadku napięcia $\Delta U \approx 150$ kV wzdłuż przewodu o długości $l \approx 6$ m lub napięcia indukowanego w pętłach utworzonych z tym przewodem. Ponadto, stosowanie tej izolacji jest bezsensowne ze względu na zanieczyszczenia tworzące zwykle na jej powierzchni warstwę przewodzącą (zawierającą sadzę), w której drogę znajduje bez trudności prąd piorunowy.



Rys. 3.1. Przykłady zagrożeń powodowanych piorunami trafiającymi w „zwód ESE”:
 a) przekrok do konstrukcji; b) przewód izolowany systemu ERITECH, c) i d) przekrok do instalacji i sprzężenia elektromagnetyczne z instalacjami wewnętrznymi.

Zagrożenie instalacji elektrycznych i elektronicznych wewnątrz obiektu wyposażonego w „zwód ESE” z jednym odprowadzeniem jest duże z uwagi na przepływ w nim całkowitego prądu piorunowego prowadzącego do silnych sprzężeń elektromagnetycznych (Rys. 3.1c i Rys. 3.1d). Dyskwalifikuje to zasadę pojedynczego przewodu odprowadzającego, co uzasadniono na Rys. 3.2. Pojedynczy przewód w swoim sąsiedztwie koncentruje całkowite pole elektromagnetyczne, a - co najmniej dwa przewody - mogą je zredukować nawet do zera. Na przykład, gdy w układzie z Rys. 3.2a stromość prądu $di/dt = 25 \text{ kA}/\mu\text{s}$, $a = 0,5 \text{ m}$, $b = 3 \text{ m}$, a $l = 1,5 \text{ m}$, to napięcie indukowane w pętli $b-l$ osiąga wartość $U_1 = 14,6 \text{ kV}$. Natomiast, gdy w układzie z Rys. 3.2b stromość prądu $di_1/dt = di_2/dt = 12,5 \text{ kA}/\mu\text{s}$, a wartość $c = a = 0,5 \text{ m}$, $b = 3 \text{ m}$ i $l = 1,5 \text{ m}$, to napięcie indukowane w pętli $b-l$ wykazuje właśnie wartość $U_2 = 0 \text{ kV}$. Z praktyki wiadomo, że nie wszyscy spośród promotorów „ESE” tę prostą zasadę pojmują, a nawet ostro krytykują profesjonalistów, starających się ją przestrzegać. Jednak z treści źródłowego dokumentu NF C 17-102: 1995 [12] wynika, że zasada ta jest już częściowo dostrzegana.



Rys. 3.2. Pętla indukcyjna: a) przy pojedynczym przewodzie odprowadzającym, b) między dwoma przewodami odprowadzającymi.

4. Podsumowanie

W artykule starano się uzasadnić teoretycznie i praktycznie, że „zwoody ESE” nie mają żadnej przewagi nad zwodami zwykłymi i jeżeli ktoś chce je zastosować, to tylko w taki sposób, jak to przewidziano w serii norm PN-EN 62305, a zwłaszcza w jej części 3 [14]. Przestrzenie uznane za chronione nie mogą być w żadnym przypadku większe niż wynika to z metody toczonej się kuli, a płaszczyznę odniesienia dla kąta ochronnego może być tylko powierzchnia przewodząca i uziemiona. Oznacza to, że obiektu nie może chronić jeden „zwód ESE”, lecz tyle zwoarów ile wynika z postanowień aktualnej normy, przywołanej w Rozporządzeniu Ministerialnym [15].

W myśl przepisów CENELEC dokument NF C 17-102 [12] powinien być wycofany, ponieważ jest sprzeczny z normą EN 62305 [2, 3], jednak CENELEC nie respektuje swoich przepisów i toleruje, a nawet – jak już wspomniano – popiera ten dokument. Podobna jest sytuacja w Polsce, gdzie instytucje nadzorujące, jak Inspektorat Nadzoru Budowlanego, czy Urząd Ochrony Konkurencji i Konsumenta, albo nie są kompetentne w dziedzinie Ochrony Odgromowej, albo nie czują się upoważnione do odpowiedniej reakcji. W tej sytuacji promotorzy „zwoarów ESE” mają swobodę i brną w nieprawidłowości. Wbrew ich deklaracjom nie ma żadnej zgodności „zwoarów ESE” z Normą Europejską EN-62305, a zatem i z Normą Polską PN-EN 62305 [2, 3].

Istniejący stan rzeczy świetnie podsumował Prof. William Rison z New Mexico [11] stwierdzając, że: „zwoody ESE, czyli nowoczesne magiczne twory, o przypisywanych im bezpodstawnie fantastycznych właściwościach, są oferowane przez sprytnych sprzedawców, którzy żerują na nieświadomości klientów i ich obawie przed zagrożeniem piorunowym”.

Literatura

- [1] Alain Charoy: Les PDA et leur normalisation. AEMC. Forum de l'electronique. Paris 2006.
- [23] BT134/DG7651/DC_March 2009: Item 2.7.3 Feedback from the Chairman of CLC/TC 81X.:
- [3] BT134/DG7683/MTG April 2009 Item 2.7.3 Comments to CENELECs letter T134/DG7564/DC February 2009. Conclusion of the Secretary TC 81X "Lightning protection".
- [4] Ekspertyza Nr 106/08/2000–Wr: „Projekt deklaracji zgodności z PN piorunochronu aktywnego JONOSRAR XX produkcji ORW-ELS Sp.z o.o....” Ośrodek Rzeczoznawstwa SEP Wrocław.
- [5] Ekspertyza dotycząca dostosowania projektu deklaracji zgodności z PN piorunochronu z wczesną emisją lidera PDA GROMOSTAR. Ośrodek rzeczoznawstwa SEP, Toruń 2009 r.
- [6] prEN 50622:2013 „ Lightning protection systems pure performance standard”
- [7] Hartono Z. A. & Robiah I: Adventure island lightning incident. Report on the deadly failure of an early streamer emission lightning rod [Revision 1) April 2012. Available from the author: hartono@pc.jaring.my.
- [8] 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.scribd.com/doc/87557964/Death-at-the-Stadium>
- [9] <https://www.lightningprotection.com/charge-transfer-technology/>
- [10] Instytut Energetyki, 01-330 Warszawa ul. Mory 8 „Poświadczenie NR 014/2005 z dnia 18.08.2005 r.
- [11] Moore, C. B., W. Rison, J. Mathis, and G. Aulich. 2000. Lightning rod improvement studies, *J.Appl. Meteorol.*, 39, 593–609.
- [12] NF C 17-102: 1995 - Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage.

- [13] ORW-ELS Prospekt Firmowy. Potwierdzenie zgodności z seria NORM PN-EN 62305, Referencje i Fotografia: Air France Industrie, Paryż (GROMOSTAR)
- [14] PN-EN 62305-3 Ochrona odgromowa – Część 3: Uszkodzenie fizyczne obiektu i zagrożenie życia.
- [15] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie „Warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie”. (Dz. U. Nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami).
- [16] Test Report No 43427: The results of tests of ESE & Franklin Terminals. The Manchester University of Technology. Department of Electrical Engineering and Electronics