

REJESTRACJA WYŁADOWAŃ ATMOSFERYCZNYCH I WYKORZYSTANIE TYCH DANYCH DLA POTRZEB TRANSPORTU KOLEJOWEGO

Marek Łoboda

dr inż., Polski Komitet Ochrony Odgromowej SEP, 00-950 Warszawa, ul. Świętokrzyska 14, e-mail: marek.loboda@ce.pw.edu.pl, tel. 608484736

Streszczenie. W Polsce są od szeregu lat zainstalowane systemy automatycznej detekcji i lokalizacji wyładowań atmosferycznych o wysokiej efektywności ich detekcji i dużej dokładności lokalizacji. Są one źródłem precyzyjnych informacji o czasie i miejscu występowania wyładowań doziemnych i ich kolejnych udarów prądowych oraz o parametrach prądowych piorunu. Zalety tych systemów polegają m.in. na wizualizacji danych o wyładowaniach piorunowych w czasie rzeczywistym (on-line), na umożliwieniu określenia w czasie rzeczywistym kierunku rozprzestrzeniania się burz z piorunami, na ocenie ich intensywności oraz typu występujących wyładowań (w chmurze burzowej, między chmurami czy doziemnych). Systemy takie potwierdziły swoją przydatność w zastosowaniach praktycznych, przynosząc wymierne korzyści ekonomiczne w sferze energetyki, telekomunikacji, meteorologii, w lotnictwie cywilnym i wojskowym, a także dla firm ubezpieczeniowych czy służb pożarnictwa. W pojedynczych przypadkach dane takie były udostępniane również do analiz także dla potrzeb transportu kolejowego w Polsce. W artykule scharakteryzowano systemy wyładowań piorunowych w Polsce, oszacowano zagrożenie piorunowe i częstość wyładowań w sieci trakcyjne na terenie Polski oraz przedstawiono przykładowe rejestracje wyładowań doziemnych dla dwóch udokumentowanych przypadków szkód piorunowych w systemach sterowania ruchem kolejowym.

Słowa kluczowe: wyładowania atmosferyczne, systemy automatycznej detekcji piorunów, zagrożenie piorunowe infrastruktury kolejowej, szkody piorunowe w urządzeniach srk

1. Wprowadzenie

Według danych meteorologicznych na świecie występuje jednocześnie kilka tysięcy burz, w czasie których powstaje ok. 100 wyładowań piorunowych na sekundę, w tym 10-20% stanowią wyładowania doziemne. W Polsce rejestruje się rocznie ok. 500 000–700 000 doziemnych wyładowań piorunowych. Są one przyczyną wielu szkód piorunowych, od bardzo poważnych - np. pożarów budynków, uszkodzeń urządzeń elektroenergetycznych, telekomunikacyjnych, systemów informatycznych, w tym także obiektów infrastruktury kolejowej, po szkody mniej kosztowne, takie jak uszkodzenia sprzętu audio, video, komputerów, użytkowych urządzeń elektrycznych i elektronicznych. W każdym roku od piorunów w Polsce ginie od kilku do kilkunastu osób, a trzykrotnie więcej przeżywa takie porażenia (z bardziej lub mniej rozległymi obrażeniami). O skali tego problemu w Polsce

najlepiej wiedzą towarzystwa ubezpieczeniowe, które często ponoszą bardzo wysokie koszty związane z wypłatami odszkodowań za straty spowodowane uderzeniami pioruna bezpośrednio w obiekty naziemne lub w ich pobliżu. W procedurach projektowania i instalacji skutecznych środków ochrony odgromowej, a także do analiz i weryfikacji szkód piorunowych w wielu dziedzinach niezbędne jest uzyskanie obiektywnej informacji, jak często na danym terenie występują wyładowania piorunowe, czy rzeczywiście miały one miejsce, kiedy i gdzie wystąpiły, a także jakie były parametry prądów piorunowych.

Obecnie są w Polsce zainstalowane systemy automatycznej detekcji i lokalizacji piorunów o wysokiej efektywności detekcji i dużej dokładności lokalizacji wyładowań. Są one źródłem precyzyjnych informacji o czasie i miejscu występowania wyładowań i/lub kolejnych uderzeń prądowych oraz o parametrach prądów piorunu. Zalety tych systemów polegają m.in. na wizualizacji danych o wyładowaniach piorunowych w czasie rzeczywistym (on-line), na umożliwieniu określenia kierunku rozprzestrzeniania się burz z piorunami, na ocenie ich intensywności oraz typu występujących wyładowań (w chmurze burzowej, między chmurami czy doziemnych).

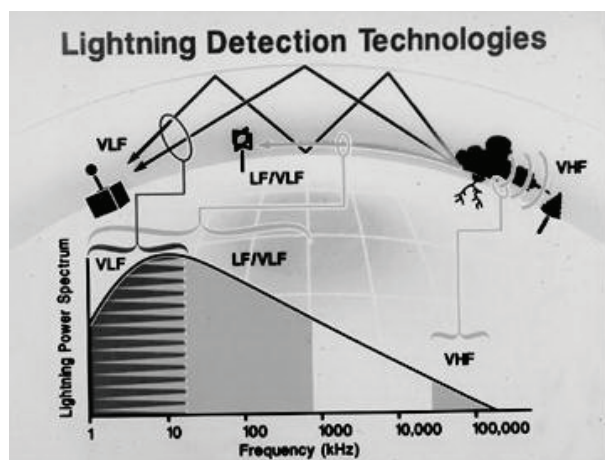
Powodem zainstalowania systemów rejestracji piorunów nie są wyłącznie względy naukowo-poznawcze. Istotną rolę odgrywają względy ekonomiczne, jakie wynikają z uzyskiwanych - na bieżąco lub w dowolnym czasie i w ujęciu statystycznym - informacji o wyładowaniach piorunowych na danym obszarze.

2. Charakterystyka metod automatycznej detekcji wyładowań piorunowych

Rejestracje wyładowań piorunowych w wielu krajach świata są realizowane za pomocą systemów automatycznej detekcji, opartych na nowoczesnych metodach cyfrowej rejestracji składowej elektrycznej lub magnetycznej pola elektromagnetycznego generowanego przez wyładowania atmosferyczne. W tym celu stosuje się mikroprocesorową technikę analizy sygnałów oraz pakietową transmisję danych cyfrowych, najczęściej z wykorzystaniem Internetu.

Analizując rozwój badań piorunowych w skali światowej dostrzega się tendencję do stworzenia globalnego systemu zapewniającego pełną informację o wyładowaniach doziemnych - o miejscu uderzenia niemal każdego piorunu i o jego parametrach. W Europie większość krajów Unii Europejskiej, łącznie z Polską dysponuje już takimi systemami.

Obecnie stosowane techniki detekcji wyładowań atmosferycznych są oparte na rejestracji, za pomocą specjalnie przystosowanych anten, fal elektromagnetycznych generowanych przez wyładowania atmosferyczne na różnym etapie ich rozwoju oraz w różnych pasmach częstotliwości (rys. 1).



Rys. 1. Metodyka detekcji wyładowań atmosferycznych w powiązaniu z pasmem częstotliwości ich rejestracji {1}

Zarówno wyładowania CG jak IC są rejestrowane przez różne systemy antenowe w paśmie bardzo małej, małej (VLF/LF) lub wielkiej częstotliwości (VHF). Na rys. 1 przedstawiono spektrum gęstości amplitudy fal elektromagnetycznych generowanych przez doziemne wyładowanie piorunowe w funkcji częstotliwości.

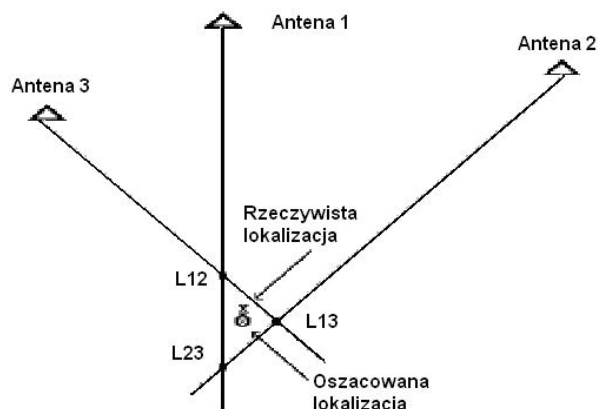
Użytkowane obecnie w wielu krajach świata systemy rejestracji i lokalizacji wyładowań atmosferycznych są oparte na następujących technikach:

- metodzie **MDF** (ang. Magnetic Direction Finding), czyli magnetycznego wykrywania kierunku (azymutu) propagacji fali elektromagnetycznej generowanej przez wyładowanie,
- metodzie **TOA** (ang. Time of Arrival), polegającej na pomiarze czasów dotarcia fali elektromagnetycznej od miejsca wystąpienia wyładowania do anten pomiarowych,
- metodzie **interferometrycznej**, polegającej na pomiarze różnicy faz fali elektromagnetycznej odbieranej przez dwie anteny pola elektrycznego. Różnica faz jest ściśle zależna od kierunku rozchodzenia się fali.

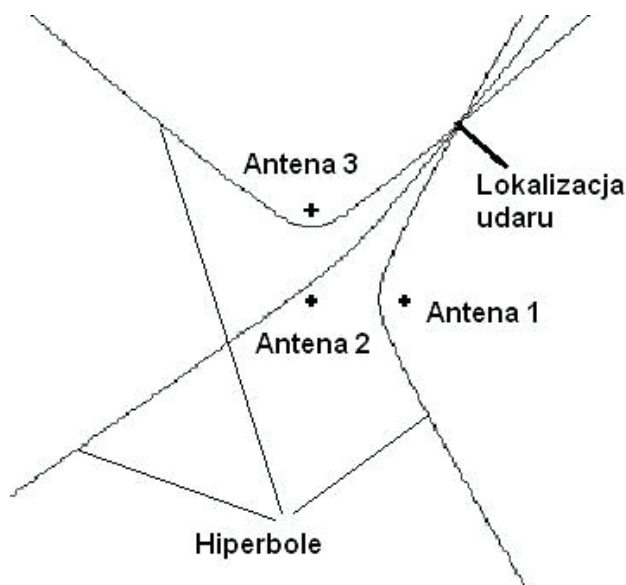
Przy wykorzystaniu techniki **MDF** wyładowanie jest lokalizowane na podstawie intersekcji azymutu rejestrowanego za pomocą minimum dwóch anten. Następnie poprzez linie telekomunikacyjne lub Internet dane te są przekazywane do centralnego analizatora (komputera), który lokalizuje wyładowanie. Aby można było lokalizować wyładowania piorunowe niezbędne jest rozmieszczenie na danym obszarze co najmniej 3 anten i zastosowanie metody triangulacji (rys. 2).

Technika **TOA** polega na bardzo dokładnej rejestracji czasu dotarcia impulsów pola elektrycznego wytwarzanego przez wyładowanie piorunowe docierające do przynajmniej trzech anten odbiorczych. Sygnał taki dociera do każdej anteny w różnym czasie, w zależności od jej odległości od miejsca wystąpienia wyładowania. Koordynaty miejsca wystąpienia wyładowania są obliczane na podstawie różnic czasowych z minimum trzech anten na podstawie przecięcia się hiperbol

będących zbiorem punktów o jednakowych różnicach czasu między poszczególnymi parami anten. Zasada lokalizacji wyładowania na podstawie techniki TOA jest zilustrowana na rys. 3.

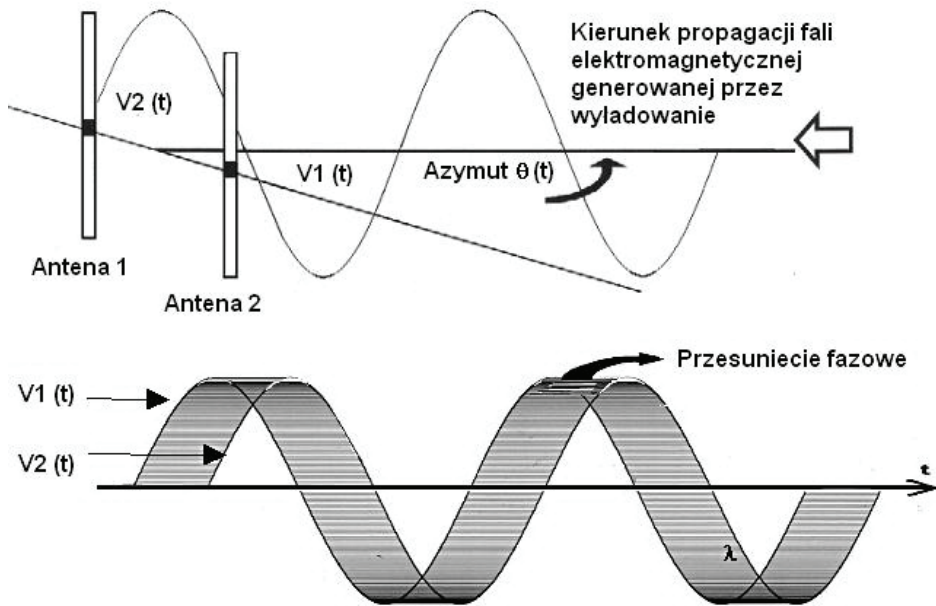


Rys. 2. Zasada lokalizacji wyładowań doziemnych metodą MDF



Rys. 3. Ilustracja sposobu lokalizacji wyładowań metodą TOA

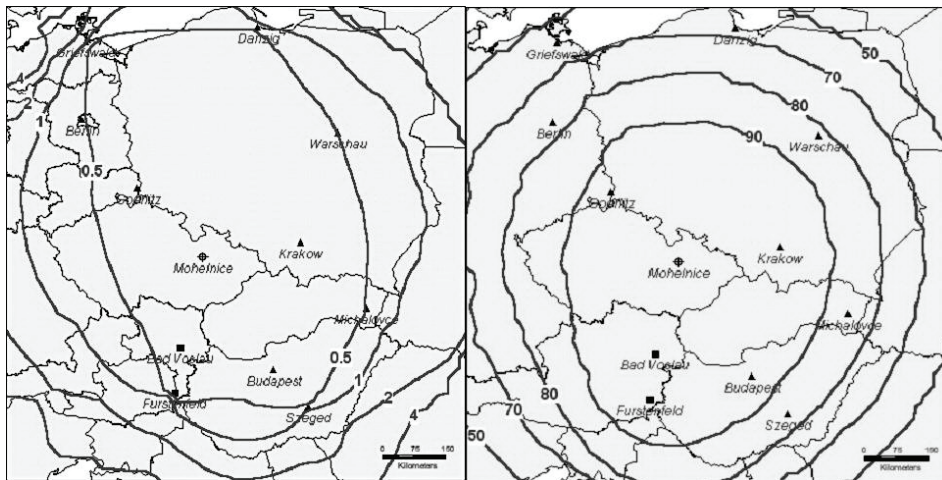
W latach osiemdziesiątych do lokalizacji wyładowań piorunowych zastosowano **technikę interferometryczną** w paśmie bardzo wysokich częstotliwości VHF opartej na interferometrycznym pomiarze różnicy faz fali elektromagnetycznej rejestrowanej przez dwie różne anteny umieszczone w niewielkiej odległości (np. ok. 1 m). Do wyznaczenia kąta azymutu są potrzebne co najmniej 2 pary anten (rys. 4).



Rys. 4. Ilustracja lokalizacji wyładowań metodą interferometryczną

3. Systemy rejestrujące wyładowania na obszarze Polski

3.1. Sieć CELDN



a)

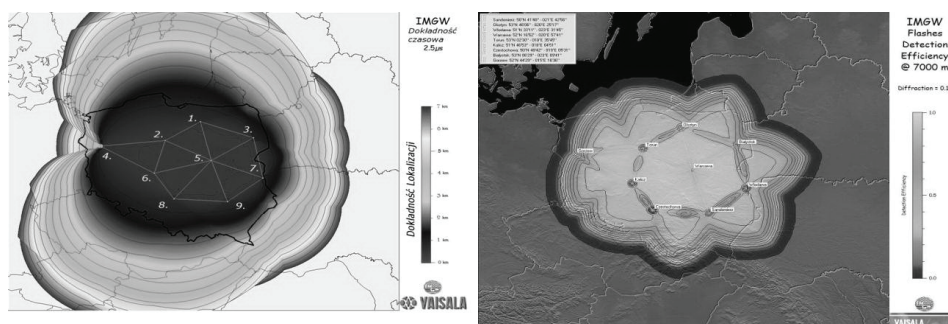
b)

Rys. 5. Symulowana dokładność lokalizacji (a) i efektywność detekcji (b) wyładowań doziemnych sieci CELDN wg [3]

W roku 2000 zainstalowano w Polsce pierwsze anteny do automatycznej detekcji wyładowań atmosferycznych wykorzystujące technikę TOA i zintegrowano je z komercyjną europejską siecią rejestracji wyładowań CELDN (Central European Lightning Detection Network) [3]. CELDN stanowi część ogólnoeuropejskiego programu detekcji wyładowań EUCLID [2,3]. Dane o wyładowaniach atmosferycznych z sieci CELDN na obszarze Polski są udostępniane na zasadach komercyjnych.

3.2. System PERUN (SAFIR)

W roku 2002 rozpoczął w Polsce pracę system SAFIR 3000 (obecna nazwa PERUN), produkcji francuskiej firmy Dimensions (obecnie Vaisala), którego operatorem jest IMGW [4]. System wykorzystuje technikę interferometryczną w paśmie VHF i umożliwia detekcję wyładowań doziemnych CG i międzyczmurowych CC. Symulacja dokładności lokalizacji wyładowań atmosferycznych dla systemu PERUN jest przedstawiona na rys. 6a.



a) *b)*
 Rys. 6. Konfiguracja anten systemu PERUN (miejsce instalacji anten oznaczono cyframi) i szacowana dokładność lokalizacji wyładowań doziemnych (a) oraz efektywność detekcji wyładowań (b) wg IMGW [6]

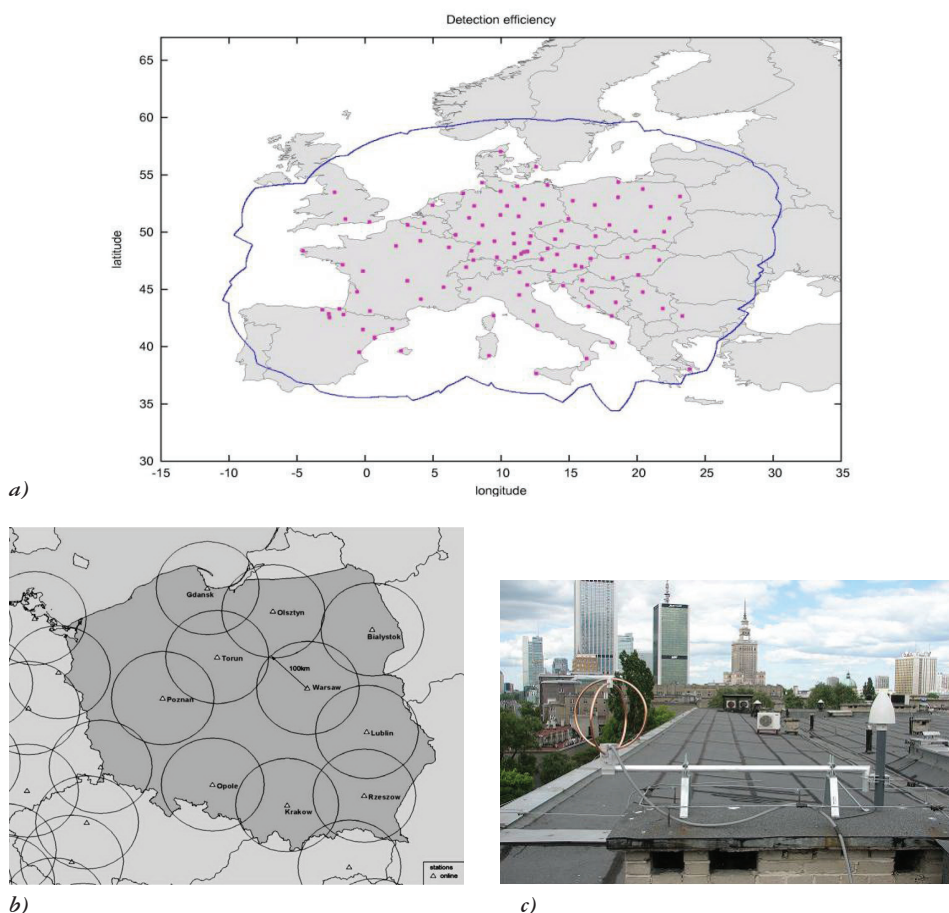
Niestety konfiguracja systemu na obszarze Polski nie jest optymalna, a system PERUN nie jest zintegrowany z innymi systemami w Europie, co powoduje, że efektywność detekcji wyładowań na obszarze znajdującym się poza perymetrem wyznaczonym przez połączenia miejsc zainstalowania anten jest znacznie niższa od deklarowanej przez producenta (patrz rys. 6b). Dane z systemu są udostępniane odpłatnie.

3.3. System LINET

W roku 2006 w wyniku współpracy pomiędzy Uniwersytetem w Monachium i Politechnikami: Warszawską, Białostocką, Gdańską, Rzeszowską oraz firmą Galmar z Poznania zainstalowano w Polsce nowy system detekcji wyładowań atmosferycznych LINET. System ten został opracowany przez zespół prof. Hansa Betza

z Uniwersytetu w Monachium i niemieckiej firmy Nowcast [6]. Obecnie system LINET obejmuje ponad 100 anten zainstalowanych na obszarze całej Europy (rys. 7a), w tym 11 na terenie Polski (rys. 7b).

System LINET rejestruje fale elektromagnetyczne od wyładowań atmosferycznych w paśmie częstotliwości VLF/LF, lokalizuje zarówno wyładowania doziemne (CG), jak i międzychmurowe (IC) i wewnątrz chmur burzowych (IC). Wyładowania IC są rejestrowane w ekspozycji trójwymiarowej, a więc z określeniem ich wysokości nad powierzchnią ziemi. Do przesyłu danych z anten, jak i do użytkowników jest wykorzystywany Internet. Średni błąd lokalizacji wyładowań doziemnych na obszarze Polski przez LINET wynosi ok. 150-200 m. Dane z systemu są udostępniane klientom odpłatnie za wyjątkiem ich wykorzystywania do celów naukowych przez uczelnie współpracujące z operatorem danych.



Rys. 7. Konfiguracja anten systemu LINET w Europie (a) [11], na obszarze Polski (b) [11]; okręgi o promieniu 100 km oznaczają optymalny obszar detekcji dla każdej z anten [11], (c) widok anteny LINET zainstalowanej na budynku Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej (zdjęcie autora)

4. Wykorzystanie danych o wyładowaniach atmosferycznych dla potrzeb transportu kolejowego

4.1. Analiza zagrożenia piorunowego dla sieci trakcyjnej w Polsce

Ryzyko szkód piorunowych i zakres strat przez nie spowodowanych w infrastrukturze transportu kolejowego w Polsce jest znaczące i wynika ze skutków oddziaływania bezpośrednich wyładowań np. w linie trakcyjne lub kolejowe urządzenia energetyczne, sterowania czy inne obiekty naziemne, ale jest także związane z oddziaływaniem wyładowań doziemnych pobliskich, występujących np. w odległościach rzędu kilkuset metrów, a nawet kilometra od obiektów zawierających urządzenia elektroniczne lub informatyczne, a przede wszystkim układy sterowania ruchem kolejowym (srk).

Roczna częstość oddziaływań wyładowań piorunowych N na urządzenia infrastruktury kolejowej jest uzależniona od następujących parametrów:

- wymiarów obiektów - np. geometrii i długości linii sieci trakcyjnej lub wymiarów obiektów infrastruktury zawierających urządzenia techniczne niezbędne do funkcjonowania transportu kolejowego. Parametry te decydują o tzw. powierzchni zastępczej A – czyli powierzchni „zbierania” przez obiekt bezpośrednich wyładowań doziemnych, i/lub dochodzących do niego przewodzących instalacji, takich jak sieci zasilające lub przesyły danych;
- miejsca lokalizacji obiektów infrastruktury na obszarze Polski oraz ich ekspozycji na wyładowania atmosferyczne (np. obszar zabudowany lub nie, teren płaski lub górzysty, warunki terenowe, itp.);
- rocznej gęstości wyładowań powierzchniowych N_g na danym obszarze Polski, dostępnej na podstawie obserwacji meteorologicznych lub z systemów lokalizacji wyładowań atmosferycznych.

Natomiast zakres szkód spowodowanych przez wyładowania atmosferyczne w infrastrukturze transportu kolejowego zależy od cech obiektów infrastruktury i ich wyposażenia technicznego, w tym od odporności urządzeń na przepięcia piorunowe – np. systemów zasilania, przesyłów sygnałów cyfrowych lub analogowych w obiektach i przewodzących instalacji wprowadzanych do obiektów. Natomiast zastosowanie środków ochrony przed skutkami wyładowań decyduje o prawdopodobieństwie p wystąpienia szkody piorunowej. Ważnym praktycznym czynnikiem jest oszacowanie strat piorunowych L związanych z wymiarem ekonomicznym określonego rodzaju szkody piorunowej liczonej np. w sposób względny w stosunku do kosztów określonego obiektu lub proporcjonalnie do przerw w funkcjonowaniu danego urządzenia niezbędnego do utrzymania ruchu kolejowego i związanych z tym skutków.

Opisana metodyka analizy prowadzi do oceny ryzyka szkód piorunowych R , zgodnego z opisem przedstawionym w PN-EN 62305-2 [7] jako:

$$R = N \times p \times L \quad (1)$$

gdzie:

$N = Ng \times A \times 10^{-6}$ – roczna liczba oddziaływań pioruna na obiekt i jego wyposażenie,

Ng – roczna powierzchniowa wyładowań doziemnych na km^2 na danym terenie,

A – zastępcza powierzchnia „zbierania” wyładowań przez obiekt naziemny w m^2 ,

p – prawdopodobieństwo wystąpienia szkody piorunowej ($p=1$, jeśli nie zastosowano żadnych środków ochrony).

Jakkolwiek seria norm PN-EN 62305 [7], dotyczących ochrony odgromowej obiektów budowlanych nie obejmują formalnie sieci trakcji elektrycznej, to można na ich podstawie oszacować częstość oddziaływań piorunowych N np. na linie trakcyjne w Polsce i wykorzystać zamieszczoną w niej metodykę do oceny ryzyka R , niezbędnego przy w doborze skutecznych środków ochrony odgromowej i przepięciowej urządzeń transportu kolejowego.

Przykładowe, wstępne oszacowanie częstości oddziaływań bezpośrednich wyładowań piorunowych na kolejową sieć trakcyjną w Polsce zamieszczono w tabeli 1. Do obliczeń przyjęto następujące dane wyjściowe:

- długość zelektryfikowanej sieci trakcyjnej L , wg danych opublikowanych w raporcie rocznym PKP PLK SA [9] $L = 24\,914$ km (rys. 8a), a wg [13] przeciętna wysokość zawieszenia sieci trakcyjnej $H = 7$ m, średnia szerokość pasa trakcji dwutorowej $W = 13$ m (średnia odległość między słupami trakcyjnymi),
- zastępcza powierzchnia „zbierania” wyładowań doziemnych przez sieć trakcyjną $A = (6H + W)L$,
- liczba dni burzowych TD wg Atlasu Klimatu w Polsce [10], patrz rys.8b.

$$N_G = a \cdot T_D^b \quad (2)$$

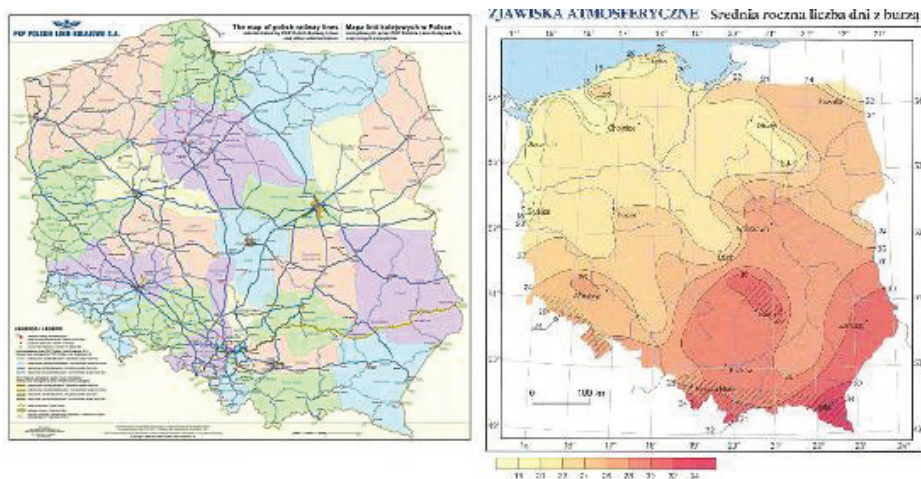
gdzie:

$a = 0,036$ i $b = 1,3$ – współczynniki liczbowe oszacowane dla obszaru Polski [4].

Założono też zróżnicowanie gęstości wyładowań dla północnej centralnej i południowej Polski, a dane w tabeli 1 przeliczono na 100 km długości linii.

Tabela 1. Oszacowana roczna liczba wyładowań piorunowych w linii sieci trakcyjnej w Polsce

Obszar Polski	Gęstość wyładowań N_G	Roczna liczba wyładowań w sieć trakcyjną N
	$\text{l}/\text{km}^2 \times \text{rok}$	na 100 km długości linii
Północny	1,5 ÷ 2,1	0,8 - 1,1
Centralny	1,8 ÷ 2,5	1,0 - 1,4
Południowy	2,3 ÷ 3,4	1,3 - 1,9
Średnia dla Polski		1,2 - 1,5
Średnia roczna liczba bezpośrednich trafień wyładowań w sieć trakcyjną w Polsce		298 - 365



a)

b)

Rys. 8. Mapa sieci trakcyjnej w Polsce (a), mapa opracowana przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., www.plk-sa.pl [11] oraz mapa dni z burzami w Polsce (b) wg [10]

Jak wynika z tab. 1 średnią liczbę bezpośrednich wyładowań piorunowych w sieć trakcyjną w Polsce można szacować na ok. 300-350. Każde z takich trafień może być przyczyną szkody o zróżnicowanym zakresie i skutkach. W przedstawionym oszacowaniu nie uwzględniono wpływu oddziaływań wyładowań pobliskich, które stanowią szczególne zagrożenie dla urządzeń srk oraz przesyłu danych niezbędnych do zapewnienia bezawaryjnej pracy transportu kolejowego.

4.2. Przykładowe analizy szkód piorunowych w infrastrukturze trakcyjnej z zastosowaniem danych z systemu LINET

Od początku roku 2009 dane z systemu LINET są dostępne na zasadach komercyjnych dla wszystkich zainteresowanych. Były one także udostępnione PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. do analizy znanych autorowi przypadków szkód w infrastrukturze kolejowej spowodowanych przez wyładowania piorunowe.

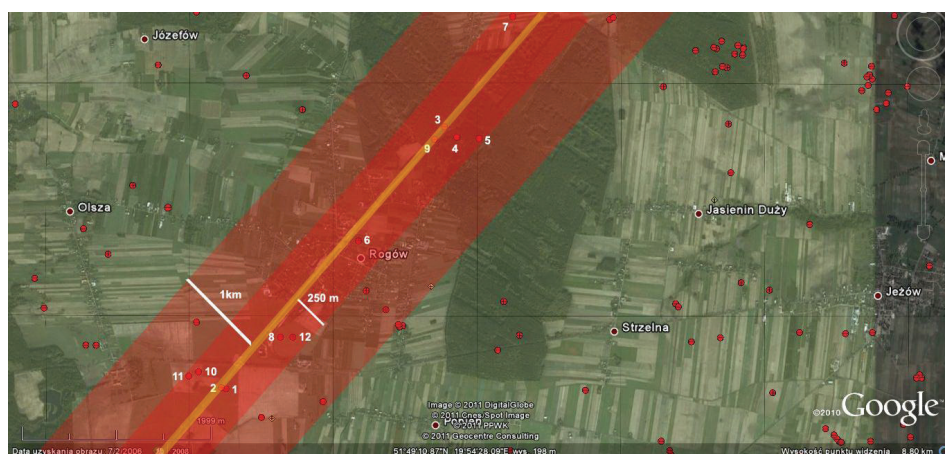
Przypadek 1

W dniu 14 lipca 2011 roku wystąpiła szkoda piorunowa na odcinku trasy kolejowej Koluszki-Skierniewice. Jej efektem była kilkugodzinna przerwa w transporcie kolejowym na tej trasie. W dniu tym system LINET zarejestrował wyładowania doziemne o parametrach wyszczególnionych w tab. 2 [12].

Tabela 2. Parametry doziemnych wyładowań piorunowych zarejestrowanych w pobliżu odcinka trasy kolejowej Kolużki-Skierniewice w dn. 14.07.2011 {12}

Data i godzina [czas GM T]	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Amplituda prądu [kA]	Oznaczenie na mapie
20110714 04:26:49.353	+51.8046	+19.8689	-047.2	1
20110714 04:26:49.376	+51.8047	+19.8682	-024.4	2
20110714 04:30:42.056	+51.8294	+19.9022	-253.4	3
20110714 04:30:42.099	+51.8284	+19.9041	-030.0	4
20110714 04:30:42.213	+51.8283	+19.9075	-010.1	5
20110714 04:37:01.184	+51.8186	+19.8891	014.2	6
20110714 05:29:22.428	+51.8398	+19.9126	-018.3	7
20110714 11:55:31.526	+51.8095	+19.8772	-015.0	8
20110714 11:58:12.575	+51.8282	+19.9007	-042.1	9
20110714 20:45:31.525	+51.8062	+19.8647	-011.1	10
20110714 20:45:31.901	+51.8058	+19.8632	-008.7	11
20110714 20:52:53.034	+51.8095	+19.8791	011.6	12

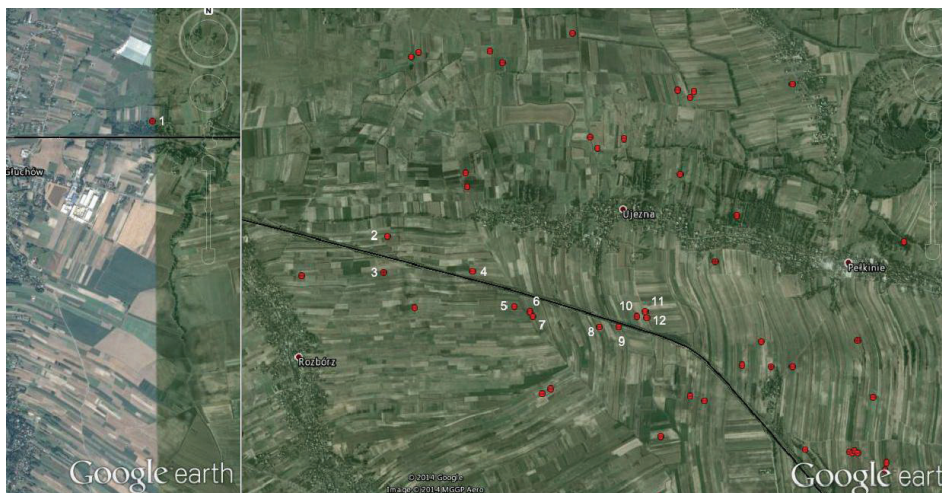
Wizualizację tych wyładowań przedstawiono na rys. 9 eksportując dane na mapę Google i zaznaczając na mapie z fragmentem linii kolejowej wyładowania doziemne, które mogły być przyczyną szkody piorunowej. Zidentyfikowano je w pasach odpowiednio o szerokości 1 km i 0,25 km od osi linii, umożliwiając w ten sposób identyfikację wyładowania, które spowodowało szkodę. Identyfikacja taka jest możliwa, jeśli jest dostępna informacja o czasie i miejscu wystąpienia szkody (np. lokalizacja stacji srk lub czas zarejestrowanego uszkodzenia). Przy braku takiej informacji można kierować się np. informacją o wartości szczytowej prądu piorunu. Jak widać z tab. 2 wyładowanie zaznaczone jako nr 3 miało wartość prądu ponad 253 kA (czyli ekstremalnie dużą) i było zlokalizowane bezpośrednio w osi linii.



Rys. 9. Wizualizacja wyładowań doziemnych o parametrach podanych w tab. 2 {12}

Przypadek 2

W dniu 27 maja 2014 r. trasie kolejowej Strażów- Jarosław wystąpiła szkoda piorunowa, w wyniku której nastąpiło wyłączenie urządzeń srk na okres 46 godzin [13]. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. wystąpiła z prośbą o dane piorunowe dla określonej lokalizacji i przedziału czasowego. Wg danych z systemu LINET na analizowanym odcinku trasy w analizowanym czasie zarejestrowano kilkanaście wyładowań piorunowych. Lokalizacje tych wyładowań zamieszczono na rys. 10 i zaznaczono numerami, w tym numerem 1 wyładowanie o wartości prądu 157,5 kA i dodatniej biegunowości, które było prawdopodobnie przyczyną omawianej szkody [12].



Rys. 10. Wizualizacja wyładowań doziemnych w dn. 27.05.2014 w okolicy trasy kolejowej Strażów- Jarosław, za zaznaczonymi numerami analizowanych w [13] wyładowań doziemnych wg [12]

5. Podsumowanie i wnioski

Aktualnie dane o wyładowaniach atmosferycznych w Polsce są praktycznie dostępne z dwóch systemów ich automatycznej detekcji - PERUN i LINET. Oba systemy rejestrują zarówno wyładowania doziemne, jak wewnątrz chmury lub między chmurami.

Efektywność detekcji wyładowań doziemnych systemu LINET jest znacząco lepsza od systemu PERUN, podobnie jak lepsza jest dokładność lokalizacji wyładowań doziemnych. System LINET dostarcza także informacji o wysokości nad poziomem ziemi wyładowań wewnątrz chmurowych.

Dane z systemu PERUN obejmują większy przedział czasowy – obecnie już okres dwunastoletni, podczas gdy konfiguracja systemu LINET umożliwiająca uzyskiwanie wysokiej jakości danych o wyładowaniach doziemnych została zrealizowana dopiero w roku 2008.

Dane o wyładowaniach piorunowych są wykorzystywane w wielu branżach – od meteorologii przez elektroenergetykę, telekomunikację, pożarnictwo czy firmy ubezpieczeniowe. Po pierwszych możliwościach wykorzystywania tych danych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. wydaje się uzasadnionym coraz szersze ich stosowanie zarówno do analiz indywidualnych szkód piorunowych, jak i do monitorowania w czasie rzeczywistym narażeń piorunowych sieci trakcyjnej, urządzeń sterowania ruchem kolejowym, zwłaszcza opartych na systemach komputerowych i wyposażenia nowoczesnych jednostek napędowych, takich jak np. Pendolino.

Literatura

- [1] Cummins K.L., Murphy M.J., Bardo E.A., Hiscox W.L., Pyle R.B., Pifer A.E., A combined TOA/MDF technology upgrade of the U.S. National Lightning Detection Network. *Journal of Geophysical Research*, vol. 103, pp 9035-9044, 1998.
- [2] Holle R., Zaharescu R., Łoboda M., Availability of lightning data in Poland from the Central European Lightning Detection Network. 26th Int. Conference on Lightning Protection (ICLP), Kraków 2-6 września 2002, 2b.4, pp. 117- 120.
- [3] www.euclid.org
- [4] Bodzak P., System detekcji i lokalizacji wyładowań atmosferycznych. *Gazeta Obserwatora IMGW* nr 5, 2004.
- [5] Betz H.D., Schmidt K., Oettinger W.P., Wirz M., Total VLF/VF Lightning and Pseudo 3D-Discrimination of Intra-Cloud and Cloud-to Ground Discharges. Proc. of 18th International Lightning Detection Conference, Helsinki (Finland), 7-9 June 2004.
- [6] Łoboda M., Betz H., Baranski P., Wiszniowski J., Dziewit Z., New lightning detection networks in Poland - Linet and LLDN. 29th Int. Conference on Lightning Protection (ICLP), Uppsala, 23-26 June 2008.
- [7] PN-EN 62305-2: Ochrona odgromowa. Część 2 – Zarządzanie ryzykiem.
- [8] http://www.imgw.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=91&Itemid=111
- [9] PKP PLK SA – Raport roczny 2012.
- [10] IMGW: Atlas Klimatu Polski Warszawa 2005.
- [11] <http://www.plk-sa.pl/biuro-prasowe/mapy>.
- [12] Informacje udostępnione przez przedstawicielstwo firmy Nowcst w Polsce - www.nowcst.pl.
- [13] Wróbel Z., Analiza ryzyka uszkodzeń sieci trakcyjnych i urządzeń sterowania ruchem kolejowym spowodowanych wyładowaniami atmosferycznymi. Konferencja SEMTRAK 2014.

