

Mariusz GAMRACKI<sup>1</sup>

## BUDOWA I DZIAŁANIE SYSTEMU DETEKCJI I LOKALIZACJI WYŁADOWAŃ ATMOSFERYCZNYCH BLITZORTUNG

W pracy opisano budowę i podstawy funkcjonowania systemu detekcji i lokalizacji wyładowań atmosferycznych Blitzortung. Początkowe rozdziały opisują podstawy dotyczące działania tego typu systemów, zakresy częstotliwości stosowane przy detekcji wyładowań oraz najczęściej stosowane metody detekcji i lokalizacji wykorzystywane w tego typu systemach. Wspomniano także o innych komercyjnych systemach detekcji i lokalizacji wyładowań pracujących na świecie. Opisano zalety i wady systemów detekcji pracujących na niskich i na wysokich częstotliwościach. Szerzej opisano funkcjonowanie systemu Blitzortung a także elementy wchodzące w skład każdej stacji detekcji, rodzaje obecnie działających stacji (wersje urządzeń o nazwach RED i BLUE), ich możliwości i funkcjonalność. Opisano rodzaje i budowę anten używanych do detekcji pola elektromagnetycznego przez system Blitzortung. Na przykładzie kontrolera w wersji RED pokazano działanie stacji odbierającej sygnały z anten i jego możliwości w zakresie filtracji sygnałów nie pochodzących od wyładowania. Pokazano rozmieszczenie stacji detekcji na terenie centralnej Europy i USA. Opisano wybrane inne możliwości jakie daje system Blitzortung i porównano jego możliwości z systemami profesjonalnymi. Pokazano przykładowe rejestracje systemu w postaci wycinka mapy z zaznaczonymi miejscami wyładowań a także mapę gęstości wszystkich wyładowań zarejestrowanych przez system w roku 2015 na terenie Polski oraz przykładowe zarejestrowane charakterystyki czasowe wyładowania.

**Słowa kluczowe:** wyładowanie atmosferyczne, system detekcji wyładowań, lokalizacja wyładowań, pole elektromagnetyczne.

### 1. Wprowadzenie

Prowadzone już od kilkadziesiąt lat pomiary i rejestracje zjawisk piorunowych doprowadziły do lepszego poznania kształtów składowych pola elektromagnetycznego powstającego podczas wyładowania atmosferycznego. Kształt fali piorunowej, dla każdego typu wyładowania został opisany w międzynarodowych normach, a w ostatnich latach powstała także norma dotycząca burzowych systemów ostrzegawczych [1]. Są tam dokładnie opisane kolejne

---

<sup>1</sup> Mariusz Gamracki, Politechnika Rzeszowska, ul. W. Pola 2, 17-865-1298, mgamrac@prz.edu.pl

fazy prądowe występujące podczas wyładowania atmosferycznego, a także zestawione podstawowe techniki używane podczas detekcji i lokalizacji wyładowań. Systemy detekcji podzielone zostały także na cztery klasy wykrywające poszczególne fazy zjawiska [1].

Bardzo szerokie spektrum częstotliwościowe pola elektromagnetycznego pochodzącego od pola piorunowego pozwala na stosowanie metod bazujących na częstotliwościach zarówno bardzo niskich jak i bardzo wysokich. Naziemne systemy lokalizacji wyładowań działają często z wykorzystaniem dwóch techniki detekcji, które wzajemnie się uzupełniają. Z najbardziej znanych systemów można wymienić europejskie LINET, SAFIR (polski PERUN), ATD, EUCLID i amerykańskie NALDN, IMPACT, LPATS, LDAR [2]. Bardzo dynamicznie rozwija się amatorska sieć detekcji i lokalizacji wyładowań atmosferycznych pod nazwą Blitzortung. Jej duża skuteczność i możliwości wynikają głównie z bardzo dużej ilości detektorów rozmieszczonych na terenie całej Europy, Stanów Zjednoczonych i Australii, ale także Azji i dalekim wschodzie (Japonia). Obecnie naziemne systemy detekcji i lokalizacji wyładowań piorunowych są szeroko wykorzystywane w takich dziedzinach jak meteorologia, lotnictwo, pożarnictwo, energetyka, ubezpieczenia, ochrona ludzi i inne [1, 2]. System Blitzortung udostępnia użytkownikom szerokie spektrum wyników i statystyk dla zarejestrowanych wyładowań. Możliwe jest uzyskanie przebiegów czasowych i częstotliwościowych pola piorunowego, statystyki dotyczące gęstości wyładowań na konkretnych obszarach i wiele innych danych.

## 2. Metody detekcji i lokalizacji wyładowań piorunowych

Powstająca podczas wyładowania atmosferycznego fala elektromagnetyczna ma bardzo szerokie spektrum częstotliwości. Zaczynając od ekstremalnie niskich częstotliwości, poprzez bardzo niskie (ang. VLF –very low frequencies: 3 kHz – 30 kHz), częstotliwości niskie (ang. LF - low frequencies: 30 kHz – 300 kHz), częstotliwości średnie i wysokie aż do bardzo wysokich (ang. VHF - very high frequencies: 30 MHz – 300 MHz) i częstotliwości gigahercowych [1-3]. Tak bardzo duży zakres częstotliwości wynika ze specyfiki zjawiska a zastosowanie odpowiedniej techniki detekcji i związanym z nią przedziałem częstotliwości, w którym analizuje się sygnały, pozwala na pozyskanie informacji także o typie wyładowania (wyładowania doziemne, wewnątrz- i międzychmurowe, dodatnie i ujemne).

Stosowane obecnie techniki detekcji bazują najczęściej na analizie częstotliwości z zakresów VLF, LF i VHF [1, 2]. Techniki łączące dwa zakresy częstotliwości pozwalają znacznie poszerzyć możliwości detekcji względem metod opartych tylko na jednym zakresie, wymagają jednak zastosowania znacznie bardziej rozbudowanych systemów antenowych niż te stosowane przy analizie w jednym zakresie. Zastosowany zakres częstotliwości determinuje zasięg

detekcji i możliwość wykrywania określonego typu wyładowań. Największy zasięg detekcji sygnałów mają stacje pracujące na niskich i bardzo niskich częstotliwościach. Ich detekcja sięga nawet tysięcy kilometrów czego przykładem są brytyjski ATD tylko z 7 stacjami na terenie Europy oraz system Blitzortung, który składa się z ponad tysiąca stacji detekcji rozmieszczonych na całym świecie. Pole elektromagnetyczne z zakresów VLF i LF emitowane przez kanał piorunowy jest wyjątkowo silne dla wyładowań głównych doziemnych [2, 3].

Analizując pole elektromagnetyczne w zakresie bardzo wysokich częstotliwości (VHF) można uzyskać dużą precyzję odzwierciedlenia kształtu fali sięgającą nawet nanosekund. Pozwala to dokładnie odzwierciedlić np. kształt czoła zarejestrowanej fali elektromagnetycznej o małym czasie narastania rzędu ułamków mikrosekund. Z kolei duża gęstość próbkowania sygnału powoduje, że utrudnione jest zbieranie danych dla długich czasów trwania rejestracji (np. wyładowań wielokrotnych), gdyż taka analiza generuje duże ilości próbek. Odwrotna sytuacja występuje przy analizie w pasmach VLF i LF, gdzie można uzyskać rozdzielczość jedynie na poziomie 1-2 mikrosekund. Niestety nie pozwala to na dokładne odzwierciedlenie kształtu czoła fali piorunowej, można natomiast analizować długie wyładowania także w sekwencji wielokrotnej sięgającej kilku sekund.

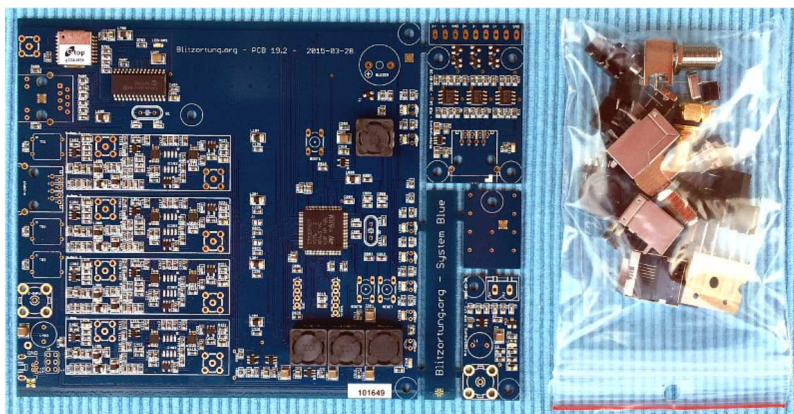
Pisząc o detekcji wyładowań atmosferycznych warto wspomnieć o systemach lokalizacji wyładowań, które składają się z sieci rozmieszczonych stacji detekcji. Przy analizie kształtu pola piorunowego jest to istotne, ponieważ systemy lokalizacji pozwalają dość dokładnie określić położenie poszczególnych wyładowań, a co za tym idzie wyznaczyć odległości wyładowań od każdej stacji detekcji. Zastosowanie techniki detekcji wysokich częstotliwości (VHF) pozwala uzyskać dużą dokładność lokalizacji sięgającą nawet 200 m jednak wymaga zastosowania stacji rozmieszczonych w niewielkich odległościach rzędu 100 km. Technika bazująca na analizie sygnałów niskich częstotliwości pozwala natomiast na umieszczanie stacji w odległościach nawet tysięcy kilometrów od siebie lecz lokalizacja wyładowań takich systemów jest mniejszej dokładności i nie umożliwia rozpoznawania wyładowań wewnątrz i między chmurami. Dla pasm VLF i LF detekcja obejmuje więc przeważnie wyładowania doziemne i ma duży zasięg detekcji, natomiast dla zakresu VHF wszystkie typy wyładowań z mniejszym zasięgiem detekcji [1, 2].

### 3. Stacje detekcji wyładowań piorunowych Blitzortung

Spośród systemów detekcji i lokalizacji wyładowań atmosferycznych na wyróżnienie zasługuje amatorski system Blitzortung [4]. System powstał około roku 2003 z kilkoma stacjami detekcji, a od 2012 bardzo dynamicznie się rozwija. Pierwsze stacje detekcji wyposażone były w kontrolery o nazwie GREEN podłączane za pomocą złącza RS232, a później USB do dowolnego komputera

PC i za pośrednictwem sieci Internet przekazywały zarejestrowane dane do serwera. Obecnie system pracuje głównie z wykorzystaniem kontrolerów o nazwie RED i najnowszych BLUE podłączanych bezpośrednio do sieci LAN. Jest to samodzielne urządzenie, które przeważnie poprzez sieć lokalną podłączone jest do Internetu. Kontroler konfiguruje się i obsługuje poprzez przeglądarkę internetową. Dodatkowo możliwa jest także korekta pewnych parametrów pracy kontrolerów zdalnie z poziomu centralnego serwera zarządzającego.

Twórcą i pomysłodawcą systemu jest prof. Egon Wanke z Uniwersytetu w Dusseldorfie, który wraz z dwoma współpracownikami rozwija i koordynuje projekt. Projekt ma swoją ogólnodostępną stronę internetową i grupę dyskusyjną oraz dodatkowe specjalne strony internetowe dla aktywnych użytkowników systemu (po zalogowaniu do systemu) [4]. Z założenia system jest otwarty dla osób chcących uczestniczyć w projekcie. Należy w tym celu zakupić odpowiedni zestaw do samodzielnego zmontowania i wykonać odpowiednią antenę. Zestaw składa się z kontrolera (obecnie w wersji BLUE) i dwóch przedwzmacniaczy składowej magnetycznej pola i składowej elektrycznej. Przedwzmacniacze umieszcza się bezpośrednio przy antenach. Dodatkowe stopnie wzmacniaczy umieszczone są w kontrolerze. System RED składa się natomiast z kontrolera, przedwzmacniacza składowej elektrycznej oraz dwóch wzmacniaczy składowej magnetycznej pola i składowej elektrycznej. System RED ma dodatkowo wyświetlacz LCD, na którym pokazywane są najważniejsze informacje dotyczące statusu pracy urządzenia. Obecnie system BLUE nie ma LCD, lecz opcja ta jest rozpatrywana przez twórców i projektantów systemu. Na rysunku 1 pokazano kompletny zestaw płytek drukowanych systemu BLUE składający się z głównego kontrolera i dwóch przedwzmacniaczy składowych magnetycznej i elektrycznej pola oraz pozostałe elementy do samodzielnego przylutowania [4].



Rys. 1. Zestaw wszystkich trzech płytek dla systemu BLUE i dodatkowe części do wlotowania

Fig. 1. Set of three PCB's for the system BLUE and additional parts be soldered

Na dostarczonych płytkach drukowanych wlutowane są tylko podzespoły w technologii SMD, pozostałe większe elementy należy zamontować samodzielnie. Można także zakupić kilka innych elementów takich jak obudowa, specjalne dodatkowe filtry cyfrowe i pręty ferrytowe do wykonania anten. Aktualnie dostępne są tylko zestawy BLUE, natomiast najwięcej pracujących stacji działa z systemami RED i bardzo niewiele w starej wersji GREEN. Obecnie wspierane są jedynie wersje RED i BLUE, dla których okresowo wydawane są nowe wersje firmware poprawiające stabilność i funkcjonalność pracy systemów. Firmware wgrywa się do kontrolera samodzielnie z poziomu przeglądarki internetowej poprzez stronę konfiguracyjną urządzenia. Na rysunku 2 pokazano wygląd dwóch stron obudowy dla kontrolera w wersji BLUE.



Rys. 2. Obudowa kontrolera w wersji BLUE [4]

Fig. 2. Housing for system BLUE controller [4]

Na rysunku 3 pokazano po lewej stronie zestaw trzech nieekranowanych anten ferrytowych w układzie horyzontalnym z umieszczonym pośrodku przedwzmacniaczem składowej magnetycznej, natomiast po prawej stronie anteny ferrytowe w układzie 3D. Jeżeli ktoś decyduje się na użycie anten pętlowych musi wykonać je we własnym zakresie. Obecnie zaleca się wykonanie anten o całkowitej powierzchni „zbierania” sygnału ok.  $2,4 \text{ m}^2$ . Stosując anteny o średnicy pętli 1 m wystarczą 3 pętle (zwoje) natomiast dla średnicy 38 cm należy wykonać 21 pętli. Obecnie zaleca się stosowanie jednak anten pętlowych o maksymalnej średnicy pętli do ok. 40 cm. Dodatkowo anteny pętlowe można wykonać jako ekranowane wykorzystując do tego celu np. rurkę miedzianą lub nawet grubą folię aluminiową, którą owijają się anteny. Ekran anten składowych magnetycznych powinien być otwarty, a więc nie powinien być zwarty na obwodzie ponieważ jego zadaniem jest ekranowanie niepotrzebnej w tym wypadku składowej elektrycznej pola. Ekran należy dołączyć jednym jego końcem do ekranu przewodów antenowych i dalej do uziemienia lub ew. do przewodu uziemiającego instalacji elektrycznej. Podobnie jak dla anten ferrytowych w systemie BLUE można zastosować 3 anteny pętlowe. Natomiast antena do składowej elektrycznej może być wykonana np. z kawałka prostego, grubego drutu miedzianego (o przekroju  $2,5 - 4 \text{ mm}^2$ ) o długości od 30 cm do ok. 1 m.



Rys. 3. Po prawej nieekranowane anteny ferrytowe z przedwzmacniaczem w układzie horyzontalnym, po lewej w układzie 3D z jedną anteną ustawioną pionowo [4]

Fig. 3. On the right, unshielded ferrite antennas in a horizontal layout with a preamplifier, on left in a 3D layout with one antenna setting vertically [4]

Na rysunku 4 pokazano przykładowe wykonanie anten pętlowych. Po lewej stronie dwie anteny w kształcie okręgu w ekranie z miedzianej rurki do zastosowania na zewnątrz, natomiast po prawej o kształcie kwadratowym w postaci nawiniętej na drewniany stelaż linki lub drutu miedzianego. Instalując anteny nie ma potrzeby ustawiania ich orientacji względem stron świata – na razie nie ma takiego wymogu. Należy je tak zorientować aby uzyskać możliwie małe zakłócenia, które mogą pochodzić od pobliskich urządzeń elektrycznych.



Rys. 4. Dwie anteny pętlowe w ekranie z rurek miedzianych do zastosowania zewnętrznego oraz proste nieekranowane anteny nawinięte na ramie drewnianej [4]

Fig. 4. Two loop antennas in the shield made of copper pipes for external use and simple unshielded antennas wrapped on a wood frame [4]

Proces kalibracji, orientacji anten i ustawiania wzmocnień wymaga od użytkownika poświęcenia dużej ilości czasu, aby uzyskać możliwie optymalną konfigurację. Okazuje się czasami, że do anten dochodzą zaburzenia nieznanego pochodzenia i w związku z tym należy dokonać korekt ustawienia anten i właściwie dobrać poziomy wzmocnienia dla poszczególnych kanałów.

Pozostałe drobne elementy takie jak zasilacz, przewody antenowe i do sieci LAN użytkownik zakupuje samodzielnie. Także rozmieszczenie anten i montaż całości wykonuje samodzielnie. Wszystkie elementy systemu zasilane są tylko z jednego zasilacza wpiętego do kontrolera, a do zasilania wzmacniaczy, przedwzmacniaczy i modułu GPS wykorzystane są przewody antenowe i skrętka. Cały system pobiera tylko ok. 3-4 waty. Stacje systemu wyposażone są w odbiornik GPS pozwalający na dokładne wyznaczenie czasu zarejestrowanego sygnału i określenie pozycji geograficznej stacji. Antenę do modułu GPS także należy umieścić w miejscu dobrego odbioru sygnałów z satelitów. System nie jest specjalnie wymagający względem parametrów łącza internetowego. Ważny jest stały dostęp do Internetu, a pasmo dla transmisji danych od stacji do serwerów (upload) powinno wynosić co najmniej 256 kbit/s.

#### **4. Działanie systemu Blitzortung**

System Blitzortung lokalizuje wyładowania z użyciem metod TOA (Time of Arrival) i TOGA (Time of Group Arrival). Każdy zarejestrowany przez stację sygnał napięciowy, którego maksymalna wartość, przekracza pewien określony poziom, wraz z dokładnym czasem z GPS i współrzędnymi geograficznymi stacji rejestrującej, wysyłany jest do jednego z głównych serwerów. Następnie system na podstawie otrzymanych danych z różnych stacji wyznacza współrzędne miejsca wyładowania. W obecnej fazie rozwoju system potrafi lokalizować jedynie wyładowania doziemne i częściowo wewnątrz chmur jednak nie są one rozpoznawane, jako tego typu. Wynika to głównie z zastosowanej techniki detekcji niskich i bardzo niskich częstotliwości. Prowadzone prace rozwojowe zmierzają jednak do rozszerzenia możliwości systemu o detekcję i rozpoznawanie wyładowań wewnątrz i pomiędzy chmurami oraz rodzaju polaryzacji (zastosowanie dodatkowych anten dla składowej elektrycznej pola) [4].

Zdolności wychwytywania sygnałów przez anteny poszczególnych stacji systemu Blitzortung są różne. Wynika to w pewnym stopniu z różnorodności zastosowanych anten, ich lokalizacji i znajdujących się w ich pobliżu źródeł zaburzeń elektromagnetycznych. Na szczęście system jest odporny na tego typu niedogodności, ponieważ daje użytkownikom duży zakres regulacji wzmocnień sygnałów, opcje automatycznej regulacji, a także kilka filtrów eliminujących zakłócenia. Filtrowanie i automatyzacja systemu jest ciągle ulepszana, gdyż do serwerów wysyłana jest bardzo duża ilość zarejestrowanych danych, które często nie są pochodzenia piorunowego. Statystycznie tylko około jedna trzecia

wysyłanych sygnałów jest rozpoznawana jako pochodzące od wyładowań atmosferycznych i różni się to dla poszczególnych stacji. Stosowane filtry mają na celu wyeliminowanie nie pochodzących od wyładowań piorunowych sygnałów typu „szpilki” (ang. spike), sygnałów sinusoidalnych oraz serii sygnałów (ang. burst) liczących po kilkadziesiąt impulsów na sekundę (np. zakłócenia łączeniowe). Na rysunku 5 pokazano zrzut ekranu zakładki „Signals” kontrolera RED. Sygnał w kanale 1B pomimo przekroczenia poziomu wyzwania nie został wysłany do serwera ponieważ został w nim rozpoznany nieprawidłowy kształt w postaci „szpilki” napięciowej co zostało zaznaczone w opisie kanałów „Channel” w postaci litery „S” – spike. Kanał 1A miał natomiast za niski poziom napięcia, aby sygnał z niego mógł być wysłany, co oznaczono literą „L” – low. Litery dla kanałów 1A i 1B są zaznaczone na czerwono co oznacza, że sygnały z nich nie zostały wysłane na serwery. Do pozostałych kanałów w tym kontrolerze nie są podłączone anteny i kanały są zaznaczone na szaro.



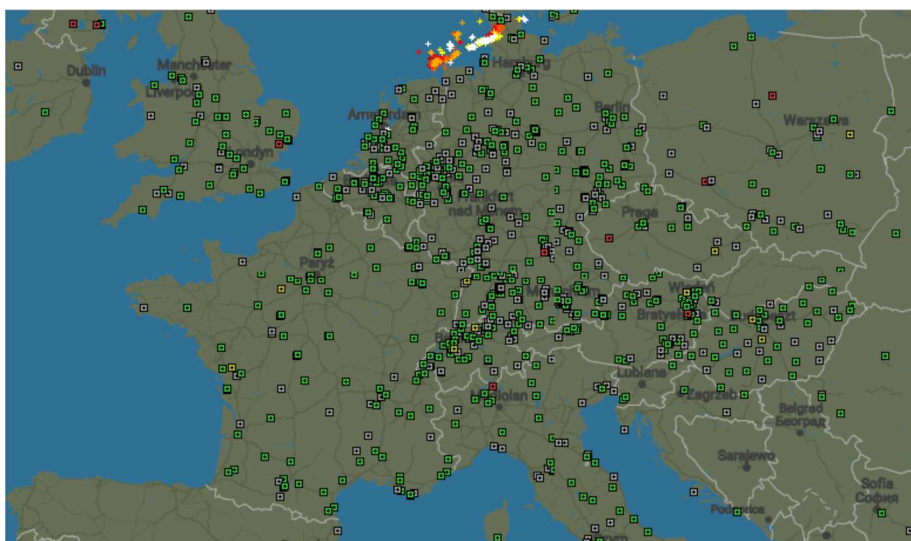
Rys. 5. Sygnały odbierane przez kontroler RED – ich parametry elektryczne i numeryczne

Fig. 5. Signals received by the RED controller – their electrical and numerical parameters



Stacje detekcji mogą pracować w opcji całkowicie automatycznej, która ustala optymalne wzmocnienie dla poszczególnych kanałów i włącza lub wyłącza filtry lub też w trybie manualnym z zadaniem maksymalnym wzmocnieniem dla każdego z kanałów i włączonymi lub nie filtrami. Wzmacniacze sygnałów dołączone szeregowo do każdej z anten są kilkustopniowe oferujące maksymalne wzmocnienie na poziomie 20000. Wartość maksymalną wzmocnienia należy przeważnie ograniczyć do pewnego optymalnego poziomu. W praktyce wartości wzmocnień zmieniają się automatycznie i oscylują w granicach od kilkudziesięciu razy do kilku tysięcy razy, co zależy głównie od wielkości i parametrów zastosowanych anten i od odległości frontów burzowych od danej stacji.

Niewątpliwą zaletą systemu Blitzortung jest bardzo duża liczba stacji detekcji rozmieszczonych głównie w Europie (rys. 6), ale także w USA (rys. 7), Australii, Azji. Obecnie na całym świecie jest już ponad 1300 aktywnych stacji, z czego jednocześnie działa ok. 800. Tak duża ilość stacji pozwala w sposób ciągły pokryć swoim zasięgiem detekcji duży obszar nawet w sytuacji, gdy nie pracuje część stacji. Niestety stacje rozmieszczone są nierównomiernie, co widać na rysunkach 6 i 7, jednak bardzo duży zasięg detekcji części stacji, dochodzący do 5 tysięcy km i więcej, pozwala na skuteczne działanie systemu.

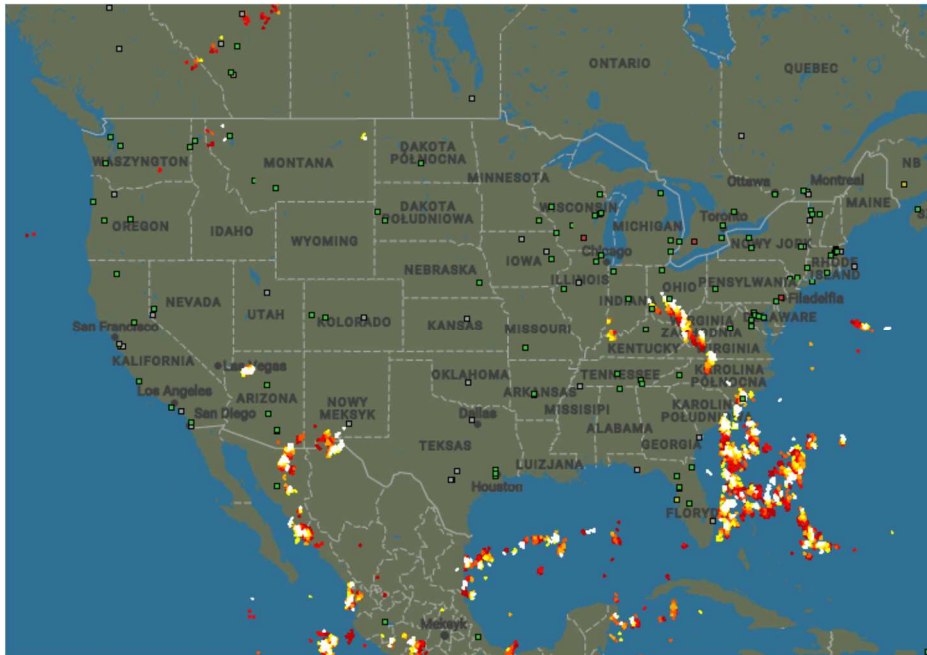


Rys. 6. Rozmieszczenie stacji detekcji systemu Blitzortung na terenie centralnej Europy

Fig. 6. Deployment of Blitzortung detection stations in central Europe

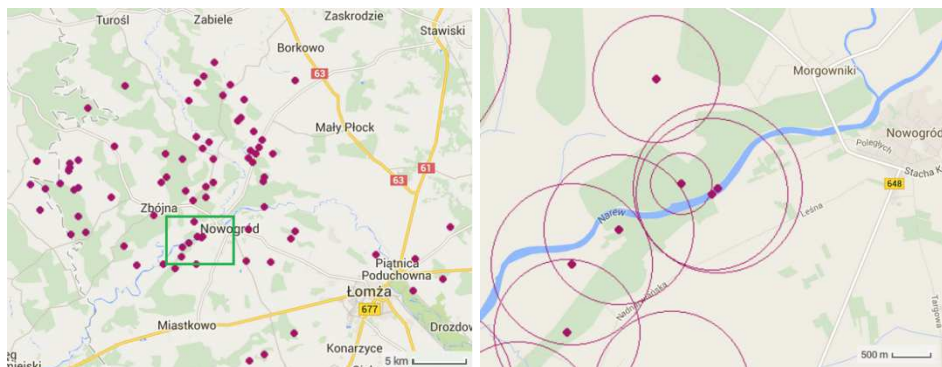
Na rysunku 8 pokazano lokalizacje wyładowań zarejestrowanych przez system detektorów Blitzortung w nocy z 15 na 16 października 2014 roku w okolicach Łomży. Rysunek po lewej przedstawia obszar o rozmiarach ok. 40x30 km natomiast po prawej powiększony prostokąt o rozmiarach ok. 5x4 km, gdzie

widać dodatkowo okręgi, których promień odpowiada dokładności lokalizacji dla poszczególnych wyładowań wynoszącej od 400 m do ok. 1 km dla tego obszaru.



Rys. 7. Rozmieszczenie stacji detekcji systemu Blitzortung na terenie USA

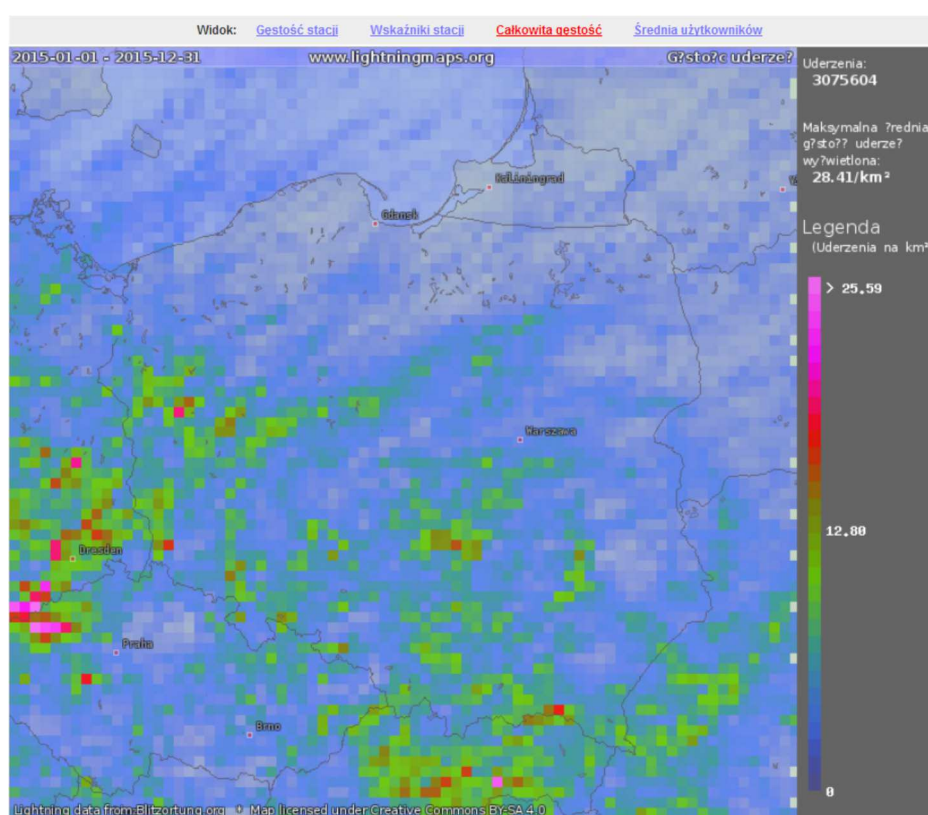
Fig. 7. Deployment of Blitzortung detection stations in USA area



Rys. 8. Wyładowania zarejestrowane przez system Blitzortung

Fig. 8. Lightning discharges detected by Blitzortung system

W odróżnieniu od systemów komercyjnych Blitzortung udostępnia publicznie dodatkowo dokładne mapy z umieszczonymi miejscami wyładowań atmosferycznych, mapy gęstości wyładowań na danym obszarze, różnego rodzaju animacje i statystyki. Dostępne są nawet mapy, które pokazują wyładowania w czasie rzeczywistym z opóźnieniem kilku sekund, czego nie ma żaden inny system. Dla aktywnych uczestników projektu są dodatkowo dostępne dane archiwalne wyładowań, jak również charakterystyki czasowe i częstotliwościowe zarejestrowanych sygnałów pochodzących od wyładowań piorunowych a także bardzo dokładne mapy z umiejscowionymi wyładowaniami (rys. 8) i różnego rodzaju rozszerzone statystyki i zestawienia. Na rysunku 9 pokazano przykładowe zestawienie statystyczne wyładowań dla obszaru Polski w roku 2015. Maksymalna gęstość wyładowań wyniosła 28,41 wył./km<sup>2</sup> a całkowita liczba zarejestrowanych wyładowań osiągnęła 3.075.604 (ponad trzy miliony).

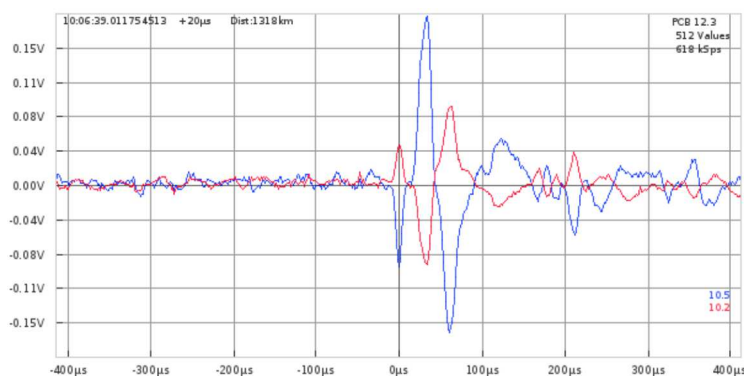


Rys. 9. Gęstość wyładowań dla obszaru Polski w roku 2015 [4]

Fig. 9. The density of discharges for the Polish territory in 2015 [4]

Mapy gęstości można wyświetlać dla 10 państw na terenie Europy, wybranych stanów USA a także dla całych kontynentów. Statystyki dostępne są dla poszczególnych miesięcy danego roku jak i dla całego roku. Mapki z ilością rejestracji są generowane także dla wszystkich stacji detekcji osobno.

Podstawowym zadaniem systemu Blitzortung jest lokalizacja wyładowań atmosferycznych. Do tego celu potrzebne są jedynie dane dotyczące czasu zarejestrowanych sygnałów i współrzędnych geograficznych stacji rejestrujących. Na tej podstawie, korzystając z metody TOA wyznaczane są współrzędne wyładowań atmosferycznych. Dodatkowo jednak do głównych serwerów przesyłane są także wszystkie przebiegi czasowe sygnałów zarejestrowanych przez stacje wchodzące w skład sieci lokalizacji. Umożliwia to wykonanie analizy poszczególnych rejestracji z różnych stacji. Dla zalogowanego użytkownika do dyspozycji są przebiegi pochodzące nawet z kilkuset różnych stacji detekcji, które zarejestrowały dane wyładowanie. Na rysunku 10 pokazano przykładową rejestrację wyładowania przez system Blitzortung, które nastąpiło 10 października 2016 roku o godzinie 10:06:39 czasu UTC w odległości 1318 km od stacji.



Rys. 10. Sygnały zarejestrowane przez anteny „magnetyczne” stacji Rzeszow-Milocin w Polsce

Fig. 10. Signals from station Rzeszow-Milocin in Poland recorded by the "magnetic" antennas

W sezonie burzowym na serwerach przechowywane są dane dla setek tysięcy przebiegów na godzinę. Niestety ze względu na bardzo dużą ilość danych potrzebnych do generowania przebiegów czasowych informacje te przechowywane są tylko przez pewien czas uzależniony od ilości wszystkich wyładowań na danym obszarze (np. na terenie Europy). W sezonie burzowym dziennie do serwerów dochodzi nawet do 1TB danych. Pełne dane (także przebiegi czasowe) przechowywane są wtedy jedynie ok. godziny i po tym czasie pozostają jedynie podstawowe dane związane z lokalizacją wyładowań oraz inne dane statystyczne. W okresie małej aktywności burzowej pełne dane pozostają dostępne nawet do 2-4 dni.

## 5. Wnioski

System detekcji i lokalizacji wyładowań Blitzortung dzięki małym kosztom budowy pojedynczych stacji (ok. 250-300 euro) i dużej skuteczności działania rozwija się bardzo dynamicznie. Na stronie internetowej systemu Blitzortung można zadeklarować chęć przystąpienia do projektu i zapisać się na listę oczekujących na potrzebne elementy stacji. Zarówno wykonanie i złożenie kontrolera jak i potrzebnych do detekcji anten i innych elementów jest zadaniem dość prostym. Obecnie już w każdym kontrolerze (RED, BLUE) następuje selekcja odebranych sygnałów i odrzucanie tych nie pochodzących od wyładowań atmosferycznych. Jest to ważne ponieważ do serwerów wysyłana jest bardzo duża ilość danych. Swoją wysoką skuteczność w detekcji i lokalizacji wyładowań system Blitzortung zawdzięcza dużej liczbie stacji detekcji rozmieszczonych na całym świecie. System Blitzortung pracując na niskich częstotliwościach nie dostarcza precyzyjnych informacji np. o kształcie przebiegów ale duży zasięg detekcji pozwala na uzyskanie danych ze stacji rejestrujących położonych w różnych odległościach pomiędzy wyładowaniem a stacją rejestrującą.

Na stronach projektu dostępne są bardzo dokładne mapy z zaznaczonymi miejscami wyładowań a także mapy pokazujące wyładowania w czasie rzeczywistym z opóźnieniem kilku sekund, mapy gęstości wyładowań na wybranych obszarach państw i kontynentów i wiele innych statystyk. Dane są dostępne zarówno dla pojedynczych stacji detekcji jak i dla całej sieci systemu Blitzortung. Można np. zobaczyć jak skutecznie pracuje dana stacja, wyświetlić charakterystykę kierunkową detekcji powiązaną także z odległością, wykresy pokazujące statystykę detekcji w czasie, w okresie do kilku dni a także wskaźniki procentowe uderzeń i lokalizacji ukazujące pracę każdej stacji.

Dodatkowo dla załogowanych uczestników dostępne są charakterystyki czasowe i częstotliwościowe sygnałów od wyładowań zarejestrowanych przez wszystkie stacje systemu. Duża ilość dostępnych sygnałów i danych wymaga jednak odpowiedniej selekcji. Uzyskane informacje z systemu Blitzortung mogą być wartościowym uzupełnieniem podczas analizy danych z profesjonalnych systemów detekcji [5, 6] jak również przy modelowaniu matematycznym zjawisk propagacji piorunowego pola elektromagnetycznego [7, 8].

## Literatura

- [1] Norma PN-EN 50536. Ochrona przed piorunami – burzowy system ostrzegawczy (2011).
- [2] Bodzak P.: Detekcja i lokalizacja wyładowań atmosferycznych, Warszawa 2006, <http://www.imgw.pl> (2017).
- [3] Gamracki M.: Modelowanie matematyczne piorunowych zaburzeń elektromagnetycznych w liniach transmisyjnych, praca doktorska, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, 2004.

- [4] Egon Wanke, Richo Andersen, Tobias Volgnandt: World-Wide Low-Cost Community-Based Time-of-Arrival Lightning Detection and Lightning Location Network, 2016, <http://www.blitzortung.org>.
- [5] Karnas G., Masłowski G.: Preliminary measurements and analysis of lightning electric field recorded at the observation station in the South-east part of Poland, *Przeegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, NR 7/2014, s. 97-99.
- [6] Karnas G., Masłowski G., Barański P.: Power Spectrum Density Analysis of Intra-Cloud Lightning Discharge Components from Electric Field Recordings in Poland, 33rd International Conference on Lightning Protection, Estoril, Portugal, 2016.
- [7] Gamracki M.: Modelowanie matematyczne propagacji piorunowego zaburzenia elektromagnetycznego nad ziemią, *Przeegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, NR 2/2012, s. 23-25.
- [8] Gamracki M.: Modelowanie propagacji piorunowego zaburzenia elektromagnetycznego nad stratną ziemią, *Przeegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, NR. 7/2014, s. 171-174.

## CONSTRUCTION AND OPERATION LIGHTNING DETECTION AND LOCATIONS SYSTEM BLITZORTUNG

### Summary

This paper describes the structure and basis of the Blitzortung system for detection and location of lightning. The initial chapters describe the basis for the operation of such systems, frequency bands used for the detection of lightning and the most frequently used method for the detection and location used in such systems. Also mentioned other commercial systems, lightning detection and location of operating in the world. Paper show the advantages and disadvantages of detection systems operating at low and high frequencies. Described in more detail the Blitzortung system and the elements included in each detection station, the types of currently operating station (device versions named RED and BLUE), their features and functionality. Described the types and construction of antennas used to detect the magnetic and electric fields by the stations of the Blitzortung system. Shows the position of detection stations on the area of central Europe and the USA. In the next part the paper describes some of the possibilities offered by the Blitzortung system. In example the controller version RED shows the effect of the station receiving signals from the antenna and its possibilities for filtering signals which not coming from the discharge. Also describes some other features offered by the Blitzortung system and compared it with professional systems. Show some example from registration in the form of a map section with marked locations of discharge, map of density all discharges recorded by the system in 2015 on Poland area and sample time characteristics of discharge.

**Keywords:** lightning, lightning detection system, location of lightning, electromagnetic field

DOI: 10.7862/re.2017.3

*Tekst złożono w redakcji: marzec 2017*

*Przyjęto do druku: maj 2017*