



Zdobysław Flisowski*, Marek Łoboda*

ROLA SYSTEMÓW AUTOMATYCZNEJ REJESTRACJI WYŁADOWAŃ PIORUNOWYCH W EKSPLOATACJI SIECI ELEKTROENERGETYCZNYCH WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Streszczenie: W ciągu ostatnich piętnastu lat dane o wyladowaniach piorunowych, uzyskiwane z systemów automatycznej ich rejestracji, znalazły szerokie zastosowanie w dziedzinie elektroenergetyki. Przedsiębiorstwa tej branży, które w wielu krajach europejskich są właścicielami takich systemów, wykorzystują dane o wyladowaniach piorunowych w czasie rzeczywistym m.in. do szybkiej identyfikacji miejsc uszkodzeń linii, wczesnej mobilizacji ekip naprawczych i skrócenia czasu redystrybucji energii elektrycznej po awariach, a także do ostrzegania ekip wykonujących prace naprawcze lub konstrukcyjne na terenie linii i stacji elektroenergetycznych. Gromadzone są również obszerne bazy danych o miejscach, czasie wystąpienia i parametrach piorunów, niezbędne do projektowania skutecznej ochrony odgromowej oraz do celów statystyczno-analitycznych.

Słowa kluczowe: wyladowania piorunowe, automatyczna rejestracja, ochrona odgromowa

1. Wstęp

Systemy automatycznej rejestracji wyladowań piorunowych LLS (ang. *Lightning Location System*) są już zainstalowane w większości krajów Zachodniej i Północnej Europy i dla wielu użytkowników z różnych branż gospodarki są źródłem informacji

* Politechnika Warszawska, Instytut Wielkich Mocy i Wysokich Napięć, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

o wyładowaniach piorunowych zarówno w czasie rzeczywistym (on-line), jak i w postaci zarchiwizowanej (off-line). Dane z systemów obejmują m.in.: czas wystąpienia, współrzędne geograficzne i rodzaj wyładowania (doziemne lub międzychmurowe), amplitudę i biegunowość prądu piorunowego oraz liczbę udarów w wyładowaniu lub przebieg czasowy prądu wyładowania.

Systemy LLS są oparte na różnych technikach detekcji pola elektromagnetycznego towarzyszącego wyładowaniom piorunowym [3], mają odpowiednio skonstruowane anteny/sensory i wykorzystują nowoczesne rozwiązania techniczne z dziedziny telekomunikacji, elektroniki, numerycznego przetwarzania sygnałów i techniki mikroprocesorowej. Powodem instalowania takich systemów są nie tylko względy naukowo-poznawcze, lecz również korzyści ekonomiczne, jakie wynikają z informacji o wyładowaniach piorunowych, uzyskiwanych na bieżąco lub z opóźnieniem i w ujęciu statystycznym.

W szeregu krajów europejskich, jak: Szwecja, Norwegia, Włochy, Hiszpania, Wielka Brytania, Niemcy lub Austria właścicielami i operatorami tego typu systemów są firmy elektroenergetyczne lub pokrewne. Najszybciej bowiem dostrzegły one wymierne dla siebie korzyści. W Polsce również system ten spotkał się z największym zainteresowaniem ze strony elektroenergetyki. Wyrazem tego może być zlecenie przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. pracy studialnej [1] i założeń techniczno-ekonomicznych dla polskiego systemu automatycznej rejestracji wyładowań atmosferycznych [2].

2. Wykorzystanie LLS w elektroenergetyce

Określenie wymiernych dla elektroenergetyki korzyści ekonomicznych, wynikających z zainstalowania systemu LLS, jest obecnie w Polsce bardzo utrudnione ze względu na złożoną strukturę i zakres działania przedsiębiorstw tej branży, tj. elektrowni, spółek dystrybucyjnych (zakładów energetycznych) i Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A. (PSE S.A.). Analiza korzyści powinna bowiem opierać się na statystykach awaryjności burzowej urządzeń układu elektroenergetycznego, na kosztach uszkodzeń czulej na zakłócenia elektromagnetyczne aparatury automatyczno-pomiarowej oraz na kosztach strat powodowanych przerwami w dostawie energii elektrycznej. Niestety, dostępne są jedynie fragmentaryczne dane statystyczne na ten temat [4]. Brak jest oceny całości kosztów strat ponoszonych przez elektroenergetykę w wyniku wyładowań piorunowych. Aby zilustrować skalę problemu w tabelach 1–3 przedstawiono udostępnione autorom statystyki awaryjności burzowej linii przesyłowych należących do PSE S.A. i do niektórych zakładów energetycznych.

W tabeli 1 podano całkowite liczby awaryjnych wyłączeń linii i wydzielono z nich — zgodnie z przyjętą klasyfikacją — wyłączenia wywołane przez burzę oraz wyłączenia, których przyczyną mogła być burza.

Zakłady energetyczne oznaczone w tabelach 2 i 3 symbolami A, B i C są zlokalizowane w różnych regionach kraju i mogą stanowić grupę reprezentatywną. Obejmują one ponad 10% wszystkich linii 110 kV. Podane w tabelach liczby wskazują na brak proporcjonalności między całkowitą długością tych linii a liczbą ich uszkodzeń. Powodem tego był wpływ zróżnicowania aktywności burzowej i topografii terenu oraz

Tabela 1. Liczby samoczynnych wyłączeń awaryjnych linii PSE S.A. w latach 1993–1996

Rok	Napięcie sieci [kV]	Awaryjne wyłączenia samoczynne Liczba	Wyłączenia spowodowane burzą (wyładowania atmosferyczne)				Wyłączenia o nieznanym przyczynie	
			Ogółem		O czasie >1 min		Liczba	%
			Liczba	%	Liczba	%		
1993	220	85	27	32	7	8	9	11
	400	31	12	39	3	10	6	19
1994	220	86	19	22	8	9	12	14
	400	33	11	33	4	12	9	27
1995	220	63	19	30	5	8	12	19
	400	37	6	16	0	0	18	49
1996	220	75	11	15	1	1	31	41
	400	32	4	13	0	0	4	13

zmienność parametrów wpływających na skuteczność ochrony odgromowej (rezystywność gruntu, konstrukcja i wysokości słupów, itp.).

Tabela 2. Awarie linii 110 kV w wybranych zakładach energetycznych w latach 1995–1996

Symbol zakładu i sumaryczna długość linii 110 kV na jego terenie	Rok	Całkowita liczba wyłączeń awaryjnych [kV]	Całkowita liczba uszkodzeń powstałych podczas zwarć Liczba	Wyłączenia spowodowane burzą (wyładowania atmosferyczne)				Wyłączenia o nieznanym przyczynie	
				Ogółem		O czasie >1 min		Liczba	%
				Liczba	%	Liczba	%		
A 1500 km	995	211	11	63	30	5	2,4	135	64
	996	205	15	43	21	6	2,9	138	67
B 1200 km	995	121	15	10	8	3	2,5	101	84
	996	122	14	11	9	4	3,3	97	46
C 800 km	995	24	8	2	8	1	4,2	0	0
	996	26	9	5	19	3	11,5	3	11,5

Na podstawie doświadczeń zagranicznych można wnioskować, że najważniejsze korzyści dla PSE S.A. i zakładów energetycznych z użytkowania systemu LLS będą polegać na:

1. Skróceniu czasu lokalizacji uszkodzenia linii przez wyładowania atmosferyczne dzięki możliwości monitorowania w czasie burzy dowolnie wybranych linii na obszarze całego kraju. Stosowany obecnie system LAS-2 pozwala określić miejsce

Tabela 3. Liczby samoczynnych wyłączeń awaryjnych linii SN w 1995 roku

Zakład energetyczny i długość linii SN	Całkowita liczba		Liczba uszkodzeń		Brak informacji o przyczynie
	zadziałań CAZ	wyłączeń awaryjnych	podczas zwarć	spowodowanych burzą	
Zakład A, 650 km	10526		1065	353	b.d.
Zakład C, 1800 km		297	237*	b.d.	3

* — podczas jednego zwarcia występowało także po kilka uszkodzeń

uszkodzenia tylko niektórych linii WN. System ten miał do końca 1996 r. objąć jedynie 47 linii (24 linie 110 kV, 16 linii 220 kV i 7 linii 400 kV) [5], a więc niewielki odsetek istniejących linii (12% linii 220 kV i 19% linii 400 kV).

2. Ułatwieniu podejmowania przez nadzór techniczny w centrach dyspozycji mocy właściwych decyzji operacyjnych, dotyczących obchodów linii, a w szczególności zmniejszenia ich liczby, ograniczenia kontrolowanego obszaru do ok. 2 km i znacznego skrócenia czasu obchodów. Obecnie, jeżeli nie jest wiadomo co jest powodem wyłączenia linii 220 kV i 400 kV, a ponowne ich załączenia są nieudane, to dyżurny ODM w porozumieniu z dyżurnym KDM zarządza ich obchód. W liniach 400 kV zarządzane są obchody zależnie od towarzyszących okoliczności nawet po jednorazowym WZ.
3. Skróceniu czasu wyłączeń i znacznemu przyspieszeniu redystrybucji energii przez linie uszkodzone w wyniku wyładowań piorunowych.
4. Skutecznym i efektywnym ostrzeganiu ekip remontowych, naprawczych i montażowych, wykonujących prace na liniach lub na stacjach, oraz na optymalizacji harmonogramów tych prac, a tym samym zwiększeniu bezpieczeństwa załóg podczas prac polowych w niesprzyjających warunkach meteorologicznych.
5. Możliwości wprowadzania stanu gotowości i racjonalizacji podejmowanych działań profilaktycznych na wypadek burzy i wywołanych nią uszkodzeń linii na monitorowanym obszarze (zwłaszcza w pobliżu odbiorców posiadających urządzenia szczególnie czułe na zmianę parametrów napięcia zasilania).
6. Diagnostyce awaryjności burzowej oraz identyfikacji linii elektroenergetycznych lub ich fragmentów szczególnie często ulegających uszkodzeniom w wyniku wyładowań piorunowych, możliwości porównywania wyników wieloletnich obserwacji i statystyk uszkodzeń linii ze statystykami wyładowań piorunowych oraz optymalizacji metod i środków ochrony odgromowej linii o wyższej od przeciętnej awaryjności burzowej.
7. Prowadzeniu systematycznych analiz regionalnych i lokalnych gęstości wyładowań atmosferycznych oraz danych o parametrach prądów piorunowych, mogących mieć wpływ na obniżenie kosztów stosowanych środków ochrony odgromowej, dzięki wprowadzaniu dokładniejszych metod i danych dla projektowania ochrony odgromowej linii i stacji rozdzielczych.
8. Uzyskiwaniu dokładnych i obiektywnych danych do analiz statystycznych przyczyn wyłączeń i rodzajów uszkodzeń linii oraz opracowywaniu statystyki szkód wywołanych przez burze z piorunami.

3. Założenia techniczne dla polskiego systemu LLS

3.1. Kryteria wyboru systemu

Przy opracowywaniu założeń technicznych dla polskiego systemu automatycznej rejestracji wyładowań piorunowych kierowano się kryteriami podobnymi do tych, które decydowały o wyborze systemów w krajach Europy Zachodniej, ale uwzględniono odmienne warunki ekonomiczne i postęp technologiczny oferowanych rozwiązań.

Najważniejsze kryterium odnosi się do dokładności lokalizacji wyładowań. Uwzględniając potrzeby elektroenergetyki założono, że dokładności ta powinna być utrzymana na poziomie 0,5 km na całym obszarze Polski, a w rejonach o dużym zagęszczeniu sieci — nawet na poziomie 0,25 km.

Podobnej rangi jest kryterium odnoszące się do efektywności detekcji wyładowań. Jest to rejestrowany odsetek ogólnej liczby wyładowań. Stuprocentowej efektywności detekcji nie zapewnia żadnen z dostępnych obecnie systemów. Za zadowalającą dla całego obszaru kraju można uznać efektywność nie mniejszą niż 80%.

Podane kryteria mogą być spełnione przy minimalnej liczbie antensensorów (ograniczonej odległości między nimi) i odpowiadającej wymaganiom producenta specyfice miejsc ich instalacji. Oczywiście należy wziąć pod uwagę analizę kosztów zakupu i instalacji systemu. Zróznicowanie kosztów wiąże się głównie z liczbą anten i z warunkami transmisji danych za pośrednictwem łącz telekomunikacyjnych.

Jeszcze jedno ważne kryterium dotyczy możliwości współpracy systemu z systemami w krajach sąsiednich, np. w Niemczech, Skandynawii lub Austrii. Współpraca taka pozwoli zwiększyć dokładność systemu polskiego bez potrzeby ponoszenia dodatkowych nakładów finansowych.

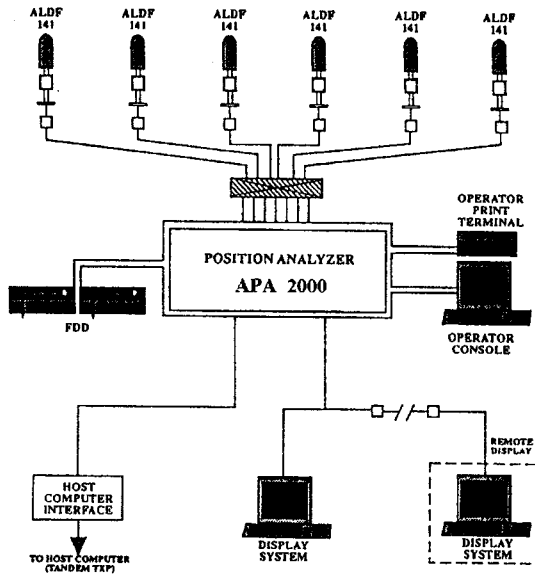
3.2. Konfiguracja i etapy instalacji systemu w Polsce

Optymalnym obecnie rozwiązaniem jest system LLP IMPACT [3]. System ten, instalowany w Polsce, powinien zawierać [2]:

1. Minimum 5 a docelowo 10 anten/sensorów wykrywających automatycznie wyładowania piorunowe.
2. Centralny Analizator Lokalizacji typu APA 2000 wyposażony w moduł:
 - **LP2000**, pozwalający gromadzić i przechowywać dane z poszczególnych anten, monitorować ich aktualny stan i obliczać miejsca lokalizacji wyładowań,
 - **DA2000**, pozwalający kontrolować pracę całego systemu, wykonywać analizy statystyczne z wizualizacją aktywności poszczególnych anten/sensorów,
 - **NM2000**, pozwalający kontrolować dostęp do systemu poszczególnych użytkowników, archiwizować dane o wyładowaniach i dostarczyć je do wyspecjalizowanych programów.
3. System połączeń telekomunikacyjnych pomiędzy antenami/sensorami a centralnym analizatorem z możliwością wykorzystania: sieci Telekomunikacji Polskiej S.A., sieci światłowodowej TEL-ENERGO S.A. i sieci Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

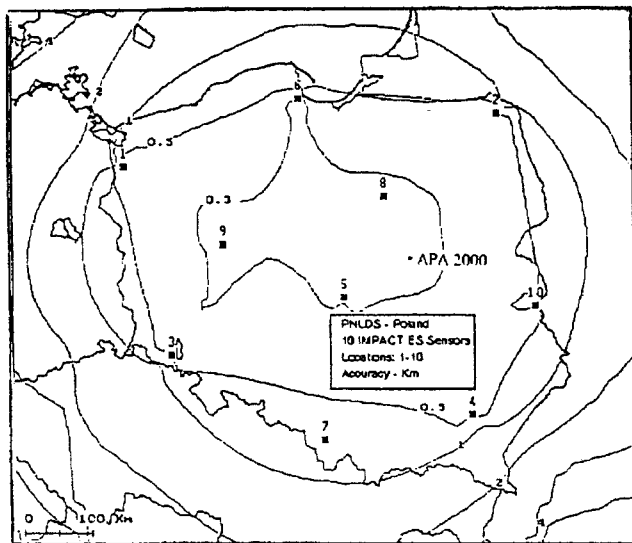
4. System graficznej wizualizacji danych (NDS) z pakietem programów narzędziowych do współpracy z komputerami użytkowników, umożliwiającymi im bieżącą obserwację rozwoju burzy, lokalizację miejsc poszczególnych wyładowań z jednoczesnym podawaniem informacji o parametrach wyładowań.
5. Wyszczególnione oprogramowanie FALLS, umożliwiające monitoring linii elektroenergetycznych, wykonywanie analiz statystycznych ich awaryjności burzowej na wybranych obszarach, planowanie nowych inwestycji z uwzględnieniem skutecznej ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej.

Przykładowy zespół urządzeń systemu LLP IMPACT przedstawiono na rysunku 1.

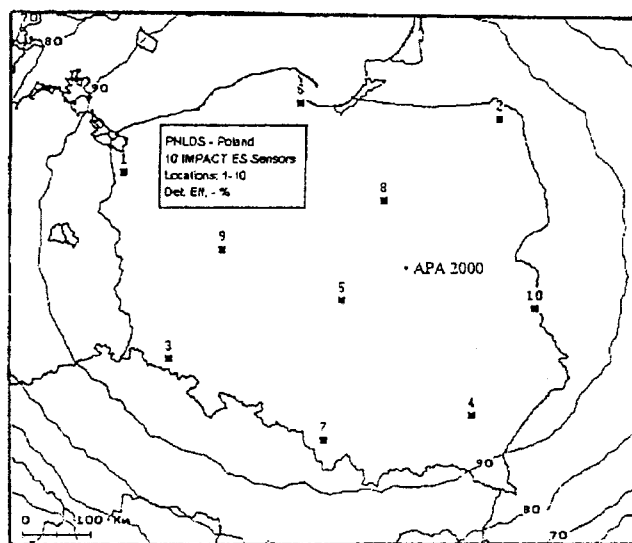


Rys. 1. Typowa konfiguracja elementów systemu LLP IMPACT

Przewidywane rozmieszczenie anten/sensorów na terenie Polski wraz z oszacowaniem dokładności lokalizacji i efektywności detekcji wyładowań piorunowych jest przedstawione na rysunkach 2 i 3. Cyfry oznaczają następujące miejscowości: 1 – Szczecin, 2 – Białystok, 3 – Jelenia Góra, 4 – Rzeszów, 5 – Łódź, 6 – Gdańsk, 7 – Bielsko-Biała, 8 – Mława, 9 – Poznań i 10 – Włodawa. Wytypowano je na podstawie wizji lokalnej i szeregu analiz z uwzględnieniem wymagań producenta systemu. Proponuje się trzy etapy rozmieszczenia anten/sensorów: etap 1 – anteny 1–5, etap 2 – anteny 6–8 i etap 3 – anteny 9 i 10. Po zrealizowaniu etapu 1 możliwa będzie detekcja i lokalizacja wyładowań piorunowych na całym obszarze Polski z dokładnością do 2 km i efektywnością do 80%. Rozbudowa systemu do konfiguracji docelowej oraz związane z tym stopniowe zwiększanie dokładności i efektywności lokalizacji wyładowań na obszarze kraju mogą zostać osiągnięte w ciągu 1–2 lat po rozpoczęciu realizacji inwestycji.



Rys. 2. Oszacowana symulacyjnie dokładność lokalizacji wylądowań docelowej konfiguracji polskiego systemu LLP IMPACT (1-10 lokalizacje anten, 0,3 i 0,5 odpowiednio kontury obszarów o dokładności lokalizacji 0,3 km i 0,5 km)



Rys. 3. Oszacowana symulacyjnie efektywność detekcji wylądowań docelowej konfiguracji polskiego systemu LLP IMPACT (1-10 lokalizacje anten, 90 i 80 - kontury obszarów o efektywności detekcji odpowiednio 90% i 80%)

4. Podsumowanie

Automatyczny system detekcji i lokalizacji wylądowań atmosferycznych przynosi wymierne korzyści dla energetyki i szeregu innych gałęzi gospodarki w wielu krajach Europy i świata. Potrzeba jego zainstalowania w Polsce jest oczywista. Oczekuje się rozstrzygnięć dotyczących inwestora systemu (prowadzone są negocjacje) i określenia zasad na jakich system ten będzie funkcjonował w Polsce.

Spośród analizowanych systemów automatycznej lokalizacji wylądowań atmosferycznych najbardziej przydatne dla energetyki parametry ma system LLP IMPACT produkcji amerykańskiej firmy Global Atmospheric Inc. Przy instalacji tego systemu w Polsce należy przyjąć rozwiązanie wariantowe, polegające na etapowym jego wyposażeniu w coraz większą liczbę anten/sensorów, a mianowicie 5, 8 i 10, przy czym w każdym z kolejnych etapów musi być zapewniony zasięg obejmujący cały obszar kraju.

Literatura

- [1] **Flisowski Z., Łoboda M., Gidziński Z.:** *Studium możliwości i korzyści wynikających z zainstalowania w Polsce automatycznego systemu rejestracji wylądowań atmosferycznych i jego wpływu na obniżenie awaryjności oraz kosztów eksploatacji sieci elektroenergetycznych.* PSE S.A. KDM Wydział Ruchu. Prace naukowo-badawcze, rozwojowe i studialne. Warszawa 1995
- [2] **Flisowski Z., Łoboda M., Gidziński Z.:** *Założenia techniczno-ekonomiczne polskiego systemu automatycznej rejestracji wylądowań atmosferycznych.* PSE S.A. KDM Wydział Ruchu. Prace naukowo-badawcze, rozwojowe i studialne. Warszawa 1996
- [3] *Technical Specification Impact Series LLS.* Lightning Location and Protection. Inc. USA
- [4] *Analiza i statystyka awaryjności urządzeń i aparatury pierwotnej w krajowym systemie energetycznym 110-750 kV za lata 1993-1996.* Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. Dyrekcja Przesyłu, Wydział Stacji. Warszawa 1996
- [5] **Kwiatkowski A.:** *Wykorzystanie komputerowego systemu lokalizacji uszkodzeń linii WN w krajowym systemie elektroenergetycznym.* Materiały Sympozjalne IX Targi/Giełda Nowoczesna Technika w Energetyce. Bielsko-Biała, 15-17.09.1996, Tom II, s. 319-324

THE ROLE OF THE LIGHTNING LOCATION SYSTEMS IN MAINTENANCE OF HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINES

In the paper are described main benefits for power utilities and power grid companies from usage on-line and off-line lightning data from Lightning Location System and its possible applications in Polish power industry.

Some basic information on the project for installation LLS in Poland and its technical characteristics like lightning location accuracy, detection efficiency, number of antennas and localisation sites and are also given.