

Marek ŁOBODA<sup>1</sup>

## AKTUALIZACJA DANYCH O CZĘSTOŚCI DOZIEMNYCH WYŁADOWAŃ ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE DO OCENY RYZYKA ZAGROŻENIA PIORUNOWEGO OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

Opisano wymagania w zakresie oceny ryzyka szkód piorunowych w oparciu o metodykę zawartą w serii norm dotyczących ochrony odgromowej obiektów budowlanych. Zwrócono uwagę na konieczność aktualizacji danych o gęstości doziemnych wyładowań atmosferycznych na obszarze Polski. Przedstawiono publikowane dane o liczbie dni burzowych z różnych źródeł oraz porównano je z aktualnymi danymi dostępnymi z systemów automatycznej detekcji wyładowań atmosferycznych dla wybranych miejsc na obszarze Polski. Wskazano na znaczące różnice w wartościach powierzchniowej gęstości wyładowań dla tych samych miejsc w Polsce oraz na konieczność dyskusji o rekomendacji dla danych przyjmowanych do projektowania ochrony odgromowej obiektów budowlanych.

**Słowa kluczowe:** Wyładowania atmosferyczne, ryzyko strat piorunowych, ochrona odgromowa, gęstość wyładowań doziemnych.

### 1. Wprowadzenie

Zgodnie z metodyką oceny ryzyka szkód piorunowych opisaną w normie PN-EN 62305-2 [1], wartość tego ryzyka powinna stanowić podstawę do podjęcia przez projektanta i inwestora decyzji o konieczności instalacji urządzenia piorunochronnego (LPS), a także o zastosowaniu dodatkowych środków ochrony przed przepięciami atmosferycznymi instalacji i urządzeń technicznych znajdujących się w obiekcie budowlanym zgodnie z normami [2]. W obliczeniach tego ryzyka uwzględnia się parametry charakteryzujące obiekt podlegający ochronie, jego usytuowanie, wyposażenie, otoczenie, a także środki redukujące

---

<sup>1</sup> Marek Łoboda, Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75, tel.: 22 2347966, marek.loboda@ee.pw.edu.pl

skutki oddziaływania bezpośrednich i pobliskich doziemnych wyładowań atmosferycznych. Podstawowym parametrem, który bezpośrednio i wprost proporcjonalnie wpływa na ocenę zagrożenia piorunowego oraz wartość ryzyka szkód piorunowych jest częstość występowania doziemnych wyładowań atmosferycznych na obszarze, gdzie jest zlokalizowany chroniony obiekt - czyli tzw. roczna gęstość doziemnych wyładowań piorunowych w roku -  $N_g$ .

Wartość gęstości powierzchniowej wyładowań doziemnych na danym obszarze nie jest w dostatecznym stopniu znana projektantom urządzeń piorunochronnych, a przyjmowana do obliczeń ryzyka często jest obarczona dużym błędem, gdyż wyznaczana jest na podstawie nieaktualnych już danych meteorologicznych. Wielu projektantom nie jest wiadomo, że poza dość już dawno opublikowanymi mapami izokraunicznymi (mapami dni z burzą) są dostępne w Polsce informacje o gęstości doziemnych wyładowań pochodzące z systemów automatycznej lokalizacji wyładowań – LLS (ang. Lightning Location System). Są to systemy komercyjne, obsługiwane przez niezależnych operatorów, takie jak LINET [3], PERUN [4] czy CELDN [5]. Jeśli specjaliści uzyskają dostępno danych z LLS to zwykle nie są świadomi, jak wiarygodne są dane o doziemnych wyładowaniach i jakie czynniki mogą wpływać na poprawne określenie wartości gęstości powierzchniowej wyładowań  $N_g$  na danym obszarze w Polsce.

Intencją autora jest zasygnalizowanie powyższego problemu i konieczności podjęcia dyskusji przez polskich specjalistów w dziedzinie ochrony odgromowej i badań wyładowań atmosferycznych na temat aktualizacji danych o intensywności wyładowań doziemnych na obszarze Polski, niezbędnych do projektowania ochrony odgromowej obiektów budowlanych. Problem ten jest tym bardziej aktualny, że po opublikowaniu w sierpniu 2013 r. najnowszej broszury technicznej CIGRE (TB 540) [6], dotyczącej parametrów wyładowań atmosferycznych do zastosowań inżynierskich także na forum międzynarodowym rozpoczęto dyskusję o konieczności weryfikacji parametrów prądów wyładowań piorunowych do zastosowań normalizacyjnych [7].

## **2. Ryzyko zagrożenia piorunowego a częstość oddziaływania wyładowań doziemnych na obiekt i jego wyposażenie**

W stosowanych obecnie nowoczesnych procedurach i metodach projektowania instalacji piorunochronnej zawartych w drugiej edycji serii norm EN 62305 [1] (aktualnie trzy części są dostępne dotychczas jedynie tylko w języku angielskim) nie zmieniono ogólnych zasad oceny ryzyka szkód piorunowych, w stosunku do wcześniejszej wersji tych norm dostępnych w języku polskim.

Ogólną zależnością wykorzystywaną w normie [1] do oceny zagrożenia piorunowego obiektów i ich wyposażenia jest określenie ryzyka szkód piorunowych  $R$ , jako:

$$R = (1 - e^{-Npt}) \cdot L \quad (1)$$

gdzie:

- $N$  jest średnią występującą w czasie  $t$  częstością wyładowań piorunowych mogących wywołać szkodę w obiekcie,
- $p$  jest prawdopodobieństwem wywołania szkody przez doziemne wyładowanie piorunowe,
- $L$  jest współczynnikiem uwzględniającym wartość lub zakres strat powstałych na skutek wyładowania.

Funkcję wykładniczą zastąpiono dwoma pierwszymi wyrazami jej rozwinięcia w szereg Taylora, otrzymując zależność uproszczoną:

$$R = N \cdot p \cdot L \quad (2)$$

Średnia roczna częstość wyładowań piorunowych, używana w obliczeniach jako spodziewana częstość wyładowań piorunowych jest wyznaczana z zależności:

$$N = N_g \cdot A \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

gdzie:

- $N_g$  jest średnią roczną gęstością doziemnych wyładowań piorunowych trafiających w powierzchnię  $1 \text{ km}^2$ ,
- $A$  jest powierzchnią równoważną zbierania wyładowań przez obiekt [ $\text{m}^2$ ].

Wartości gęstości doziemnych wyładowań piorunowych  $N_g$  są wyznaczane w wielu krajach na podstawie wieloletnich wyników ich rejestracji przez systemy detekcji i lokalizacji wyładowań piorunowych LLS (ang. Lightning Location System) lub na podstawie map izokeraunicznych, czyli map rocznych dni z burzą z piorunami. W Polsce obecnie praktycznie nie stosuje się do projektowania urządzeń piorunochronnych danych z systemów LLS, jakkolwiek dane z systemu SAFIR (PERUN) [4] są dostępne od 2001 r. a od 2006 r. z systemu LINET [3] (charakteryzującego się najlepszą jakością danych o wyładowaniach doziemnych ze wszystkich dostępnych systemów LLS na obszarze Polski).

Jeśli z jakichkolwiek powodów nie jest możliwe określenie wartości  $N_g$  na podstawie wieloletnich rejestracji archiwizowanych przez systemy LLS, a są dostępne wiarygodne mapy izokerauniczne, to wartości  $N_g$  można oszacować z zależności zamieszczonej w [1]:

$$N_g = 0,1 \cdot T_d \quad (4)$$

gdzie  $T_d$  jest liczbą dni burzowych w roku.

We wcześniejszej wersji normy [1] była proponowana zależność:

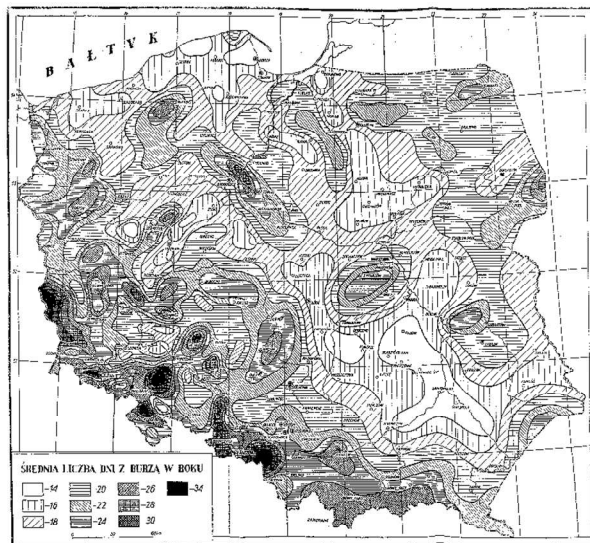
$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \quad (5)$$

Ryzyko szkód piorunowych  $R$  powinno być mniejsze od wartości  $R_A$  uznanej za akceptowalną. Proponowane wartości  $R_A$  są także zamieszczone w [2] i wpływają bezpośrednio na podjęcie decyzji o konieczności i poziomie stosowanych środków ochrony odgromowej zewnętrznej i wewnętrznej.

Niestety, ani we wcześniejszej, ani w najnowszej wersji serii norm PN-EN 62305 [1] nie uściślono wymagań co do jakości danych o rocznych gęstościach doziemnych wyładowań atmosferycznych na danym obszarze, dostępnych zarówno z systemów automatycznej ich detekcji lub określanych na podstawie map izokeraunicznych.

### 3. Ewolucja danych o intensywności wyładowań atmosferycznych przyjmowanych w Polsce do oceny ryzyka szkód piorunowych uwagi

Jedną z pierwszych opublikowanych na podstawie długoletnich obserwacji map dni z burzą (map izokeraunicznych) w Polsce była mapa opublikowana przez M. Stopę [8], którą zamieszczono na rys.1.



Rys.1. Mapa dni z burzą na obszarze Polski z 1962r. [8]

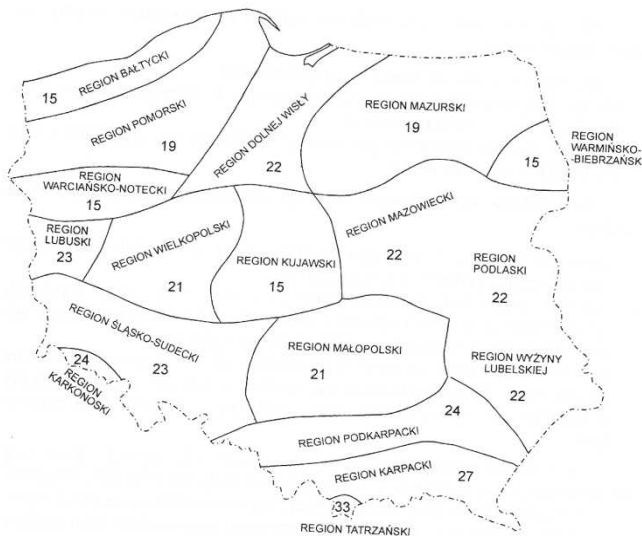
Fig.1. Thunderstorm days map of Poland from 1962 [8]

Na podstawie tej mapy opracowano aproksymację gęstości wyładowań doziemnych, przyjętą w normie ochrony odgromowej PN-86/E-5003/1 [9], w której w sposób uproszczony uzależniono wartość średniej rocznej gęstości doziemnych wyładowań piorunowych w Polsce od szerokości geograficznej, na jakiej jest zlokalizowany chroniony obiekt.

Dla obszarów o szerokości geograficznej na północ od  $51^{\circ}30'$  zalecano przyjmować wartość  $N_g = 1,8$  wył./rok·km<sup>2</sup>, a dla pozostałych części Polski wartość  $N_g = 2,5$  wył./rok·km<sup>2</sup>. Należy podkreślić, że wartości te są jeszcze często stosowane obecnie przez wielu projektantów urządzeń piorunochronnych.

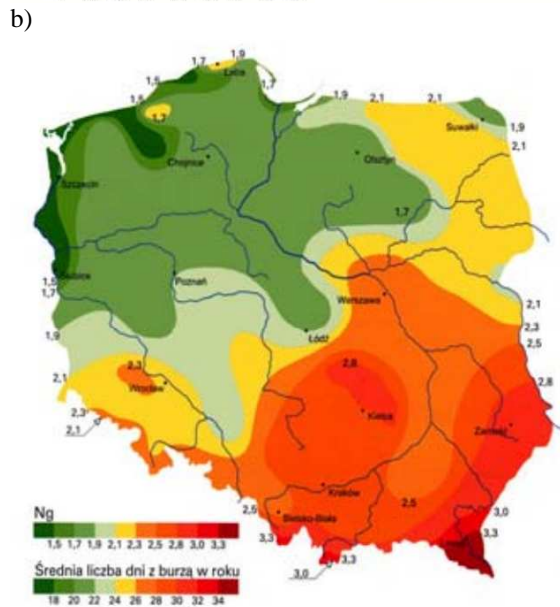
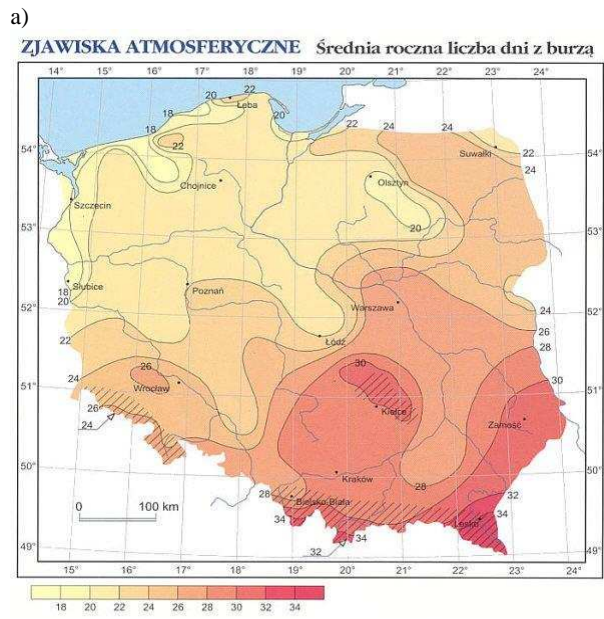
W 1999 r. H. Markiewicz zamieścił w monografii dotyczącej bezpieczeństwa w elektroenergetyce [10] nową interpretację w/w mapy, jakkolwiek nie podał materiałów źródłowych, z których korzystał. Wynik tego działania jest przedstawiony na rys. 2.

W 2005 r. został opublikowany Atlas Klimatu Polski, autorstwa H. Lorenc [11], w którym zamieszczono mapę średniej rocznej liczby dni z burzą, będącą wynikiem analizy 30-letnich danych pomiarowo-observacyjnych, wykonanych w latach 1966-2000 na 60 stacjach meteorologicznych IMGW (rys. 3a). Interpretację tej mapy z przekształceniem liczby dni z burzą na średnią gęstość doziemnych wyładowań atmosferycznych zamieścił W. Skomudek [12] w monografii dotyczącej przepięć w sieciach elektroenergetycznych, gdzie użyto zależności między liczbą dni z burzą a gęstością wyładowań podaną we wzorze (5).



Rys. 2. Mapa dni z burzą wg H. Markiewicza [10]

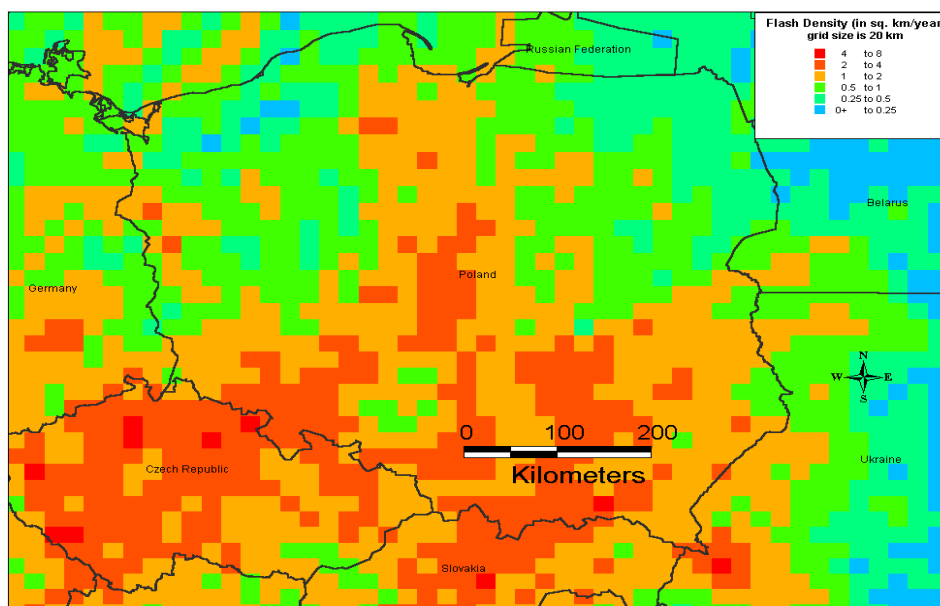
Fig. 2. Thunderstorm days map according to H. Markiewicz [10]



Rys. 3. Mapy dni z burzą: a) wg IMGW [11], b) mapa dni z burzą i gęstość wyładowań wg W. Skomudka [12]

Fig.3. Thunderstorm days maps according to: a) IMGW [11], b) W. Skomudek [12] with  $N_g$

Pierwszą opublikowaną mapą gęstości doziemnych wyładowań atmosferycznych na obszarze Polski była mapa zarejestrowana przez zainstalowany w 2000 r. system automatycznej detekcji wyładowań atmosferycznych CELDN, stanowiący część ogólnoeuropejskiego komercyjnego systemu detekcji wyładowań EUCLID [5]. System ten obejmuje swoim zasięgiem Niemcy, Węgry, Czechy i część obszaru Polski. Mapę tę przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Mapa średnich gęstości wyładowań doziemnych na obszarze Polski utworzona na podstawie danych zarejestrowanych przez sieć CELDN w 2001r. [13]; wyróżniono obszary o powierzchni 20 x 20 km

Fig.4. Map of average lightning density over Poland recorded by CELDN in 2001 [13]; squares are 20 x 20 km

Mapy gęstości wyładowań doziemnych dostępnych z systemu PERUN oraz LINET opracowanych w ramach współpracy naukowej PW, IMGW oraz niemieckiej firmy Nowcast [14] zamieszczono na rys. 5. Przedstawiają one mapy gęstości wyładowań doziemnych z obszaru Polski zarejestrowanych w 2008r. o jednakowej średniej wartości, dla obszarów o wymiarach 50 x 50 km.

Na podstawie przedstawionych wcześniej danych według map z dni z burzą oraz przykładowych map gęstości wyładowań zarejestrowanych przez trzy różne systemy automatycznej detekcji wyładowań dokonano porównania wartości gęstości wyładowań, które mogłyby być użyte do oceny ryzyka szkód piorunowych, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 62305-2 [1]. Porównanie to zamieszczono w tabeli 1. Obliczenia gęstości wyładowań doziemnych dla map dni

z burzą wykonano na podstawie zależności (4). Widoczne jest, że w zależności od źródła danych o intensywności wyładowań doziemnych dla wybranych miejscowości w Polsce – Warszawy, Krakowa, Gdańska i Rzeszowa różnice są bardzo istotne. W takich samych proporcjach będą różnić się wartości ryzyka szkód piorunowych (co rzutuje na ocenę poziomu ochrony odgromowej) dla położonych w różnych rejonach Polski obiektów, nie różniących się parametrami oraz wyposażeniem technicznym.

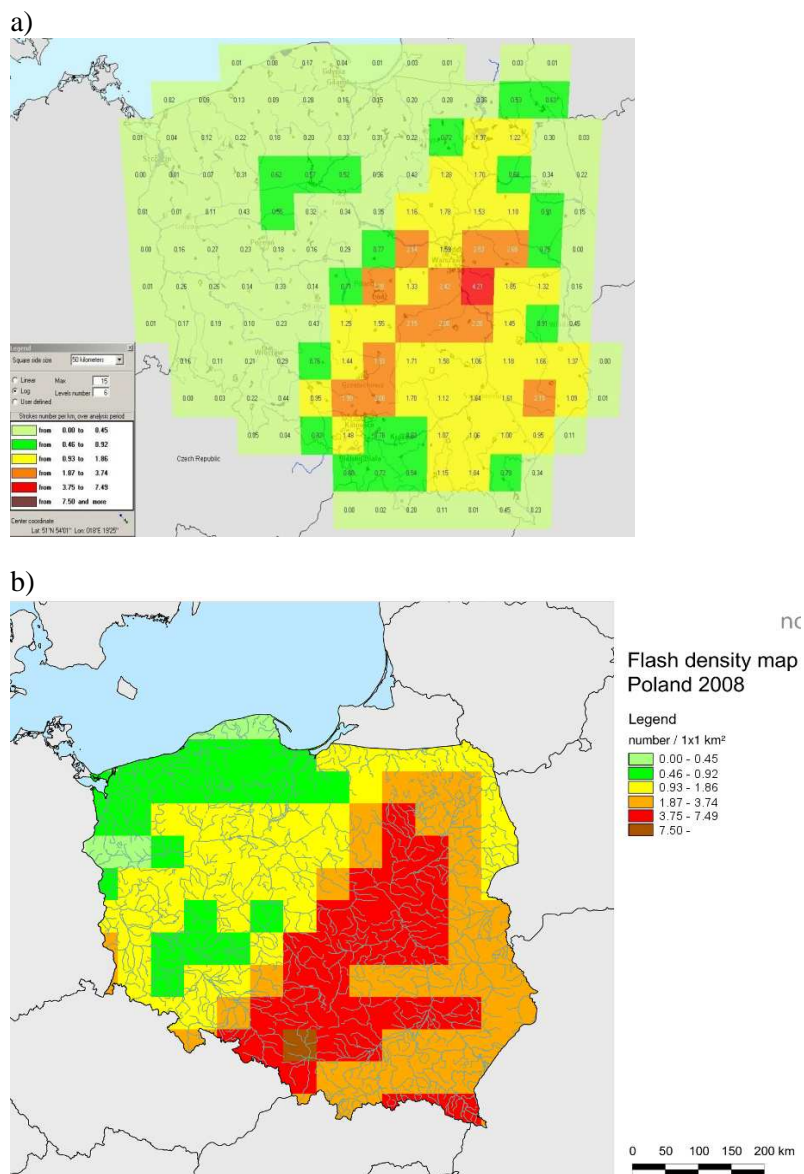
Tabela 1. Porównanie średnich wartości rocznej gęstości wyładowań doziemnych na różnych obszarach Polski wg danych z różnych źródeł literaturowych.

Table 1. Comparison of average annual lightning densities in different sites in Poland according to different published data.

Miejscowość	Wartość gęstości wyładowań doziemnych $N_g$ [wył./km <sup>2</sup> rok]							
	Źródło danych							
	M.Stopa [8]	PN-E/ 5003-1 [9]	H. Mar- kiewicz [10]	H. Lo- renc [11]	W. Sko- mudek [12]	CELDN 2001 [13]	PERUN 2008 [14]	LINET 2008 [14]
<b>Warszawa</b>	2,0	1,8	2,2	2,6	2,3	1,5	1,7	5,5
<b>Kraków</b>	1,8	2,5	2,1	2,8	2,8	6,0	0,8	5,5
<b>Gdańsk</b>	1,6	1,8	2,2	2,0	1,5	1,5	0,2	0,25
<b>Rzeszów</b>	1,8	2,5	2,7	2,7	2,4	1,5	1,1	2,7

Znaczne różnice wartości gęstości wyładowań doziemnych zarejestrowane przez systemy CELDN, PERUN i LINET wynikają głównie z różnych technik detekcji doziemnych wyładowań atmosferycznych stosowanych w poszczególnych systemach a także ze zróżnicowanej liczby anten poszczególnych systemów oraz miejsc ich lokalizacji na obszarze Polski.





Rys. 5. Gęstości powierzchniowe wyładowań doziemnych zarejestrowanych w 2008r. na obszarze Polski przez: (a) system PERUN [14], (b) LINET [14]; wymiary obszarów wynoszą 50 x 50 km [8]

Fig.5. Lightning flash densities recorded over Poland in 2008 by: a) PERUN[14], b) LINET [14]; squares are 50 x 50 km [8]

## 4. Wnioski

Wraz z wprowadzeniem nowej metody oceny ryzyka zagrożenia oraz strat piorunowych dla obiektów budowlanych, zamieszczonej w serii norm PN-EN 62305 istnieje potrzeba aktualizacji rekomendacji co do wartości gęstości wyładowań doziemnych do analizy tego ryzyka.

Statystyczne źródła danych o wyładowaniach atmosferycznych na obszarze Polski, oparte zarówno na rocznych liczbach dni z burzą, jak i na danych archiwizowanych przez systemy automatycznej detekcji zainstalowane na obszarze Polski są obciążone określonymi błędami uwarunkowanymi m.in.:

- dla systemów LLS: techniką rejestracji wyładowań przez LLS i sposobem dyskryminacji wyładowań doziemnych spośród wszystkich rejestrowanych wyładowań (między chmurami i wewnątrz chmury burzowej), konfiguracji i liczby anten rejestrujących wyładowania na danym obszarze, efektywności detekcji wyładowań doziemnych przez systemy LLS uzależnionej m.in. od liczby anten i stosowanej techniki detekcji)
- dla map burzowych (izokeraunicznych): liczby stacji meteorologicznych na danym obszarze Polski, sposobem oceny wystąpienia wyładowań doziemnych oraz raportowania dni z burzą.

Właściwe instytucje w Polsce zajmujące się problematyką ochrony odgromowej – np. KT 55 Polskiego Komitetu Normalizacji i/lub eksperckie – np. Polski Komitet Ochrony Odgromowej SEP powinny podjąć analizę dostępnych i aktualnych informacji o intensywności wyładowań atmosferycznych na obszarze Polski oraz zarekomendować nowe dane o gęstości wyładowań doziemnych do analizy ryzyka szkód piorunowych.

## Literatura

- [1] PN-EN 62305-2: 2008 Ochrona odgromowa – część 2. Zarządzanie ryzykiem.
- [2] PN-EN 62305- 1,-2,-3: 2011 Ochrona odgromowa
- [3] [www.nowcast.pl](http://www.nowcast.pl)
- [4] [www.imgw.pl](http://www.imgw.pl)
- [5] [www.euclid.org](http://www.euclid.org)
- [6] CIGRE Technical Brochure 549, Lightning Parameters for Engineering Applications 2013, <http://www.e-cigre.org/Order/select.asp?ID=15897>
- [7] [www.ten350.com](http://www.ten350.com)
- [8] M. Stopa: Burze w Polsce. Prace Geograficzne IG PAN, 1962,34, s. 108-185.
- [9] PN-86/E-5003/1. Ochrona odgromowa obiektów budowlanych.
- [10] H. Markiewicz: Bezpieczeństwo w elektroenergetyce, WNT, Warszawa 1999, s.345.

- [11] H. Lorenc: Atlas Klimatu Polski, IMGW 2005.
- [12] W. Skomudek: Analiza i ocena skutków przepięć w elektroenergetycznych sieciach średniego i wysokiego napięcia, Politechnika Opolska, Studia i monografie, z. 225, Opole 2008.
- [13] R. Holle, R. Zaharescu, M. Łoboda: Availability of lightning data in Poland from the Central European Lightning Detection Network, *26<sup>th</sup> Int. Conference on Lightning Protection (ICLP)*, Kraków, 2-6 wrzesień 2002, referat 2b.4, s. 117- 120.
- [14] M. Łoboda: Detekcja wyładowań atmosferycznych na obszarze Polski, *Przegląd Elektrotechniczny*, 9'2009, s.256-260.

## **LIGHTNING DENSITY DATA UPDATING IN POLAND FOR LIGHTNING RISK ASSESSMENT OF STRUCTURES**

### **S u m m a r y**

In the paper are described requirements on lightning risk assessment based on international standards of lightning protection of structures. The attention was paid to the necessity of updating the actual lightning density data in Poland. There are presented historically published thunderstorm day data and compared with actual data available from lightning location systems for selected sites in Poland. It was shown the evidence of significant differences of lightning densities values for individual sites depending of lightning data source and it was proposed the discussion of new recommendations for accepted values of lightning data densities necessary for lightning protection design procedures of structures in Poland.

**Keywords:** Lightning discharges, risk of lightning damage, lightning protection, lightning flash density.

DOI: 10.7862/re.2013.11

*Tekst złożono w redakcji:* wrzesień 2013

*Przyjęto do druku:* grudzień 2013