

## WPLYW ZMIAN ZASAD OCENY ZAGROŻENIA PIORUNOWEGO NA POTRZEBĘ STOSOWANIA OCHRONY ODGROMOWEJ I JEJ KATEGORIĘ

Tomasz MAKSIMOWICZ, Mirosław ZIELENKIEWICZ

Centrum Ochrony przed Przepięciami i Zakłóceniami Elektromagnetycznymi w Białymstoku,  
ul. Myśliwska 2, 15-569 Białystok  
tel.: 501 388 922 e-mail: t.maksimowicz@rst.pl  
tel.: 609 644 828 e-mail: m.zielenkiewicz@rst.pl

**Streszczenie:** Na przestrzeni ostatnich dekad wraz ze zmianami aktów normalizacyjnych w zakresie ochrony odgromowej transformacji ulegały także procedury, według których podejmowana jest decyzja o potrzebie stosowania instalacji odgromowej obiektów budowlanych. W artykule przedstawiono przegląd praktyk oceny zagrożenia piorunowego w normach dotyczących ochrony odgromowej poczynając od normy PN-E-05003:1986 i kończąc na aktualnej drugiej edycji norm PN-EN 62305-2:2012, dokonano porównania poszczególnych toków postępowania ze wskazaniem ich wad i zalet, a także zamieszczono przykłady wyników oceny potrzeby stosowania i doboru kategorii instalacji odgromowej według różnych norm dla typowych obiektów budowlanych. Przedstawiona analiza obliczeń zagrożenia piorunowego pokazuje, iż różne procedury oceny ryzyka kolejnych wersji omawianych norm dają odmienne wyniki.

**Słowa kluczowe:** ochrona odgromowa, zagrożenie piorunowe, analiza ryzyka.

### 1. WSTĘP

Akty normalizacyjne w zakresie oceny zagrożenia piorunowego obiektów budowlanych i potrzeby stosowania instalacji odgromowej (LPS – ang. *lightning protection system*) w ciągu ostatnich dekad kilkakrotnie ulegały istotnym zmianom. Ich historia została ostatnio opisana w publikacji H. Borynia [1], gdzie można znaleźć informacje sięgające początków ochrony odgromowej na terenie Rzeczypospolitej Polskiej w roku 1784. Pierwsze zalecenia normalizacyjne zawarte w normie PNE/22 z 1931 r. [2] ograniczały się jedynie do wskazania obiektów, które taką ochroną powinny być objęte. Dopiero w okresie powojennym w normie PN-E 05003:1955 [3] wprowadzono pierwszy algorytm oceny zagrożenia piorunowego polegający na obliczeniu wskaźnika  $W_z$ , którego wartość określała, czy instalacja LPS jest konieczna, wskazana lub nie jest wymagana. Wartość wskaźnika  $W_z$  obliczana była na podstawie wartości umownych współczynników zależnych między innymi od przeznaczenia budowli, jej zawartości, stosowanych materiałów konstrukcyjnych, wymiarów, otoczenia, położenia i średniego rocznego czasu trwania burz na danym terenie. Algorytm ten zmodyfikowano dopiero w 1986 r. w kolejnej edycji normy PN-E 05003 [4]. Idea polegająca na obliczeniu wskaźnika  $W$  pozostała zbliżona do wersji pierwotnej, znaczącym zmianom uległ jednak sposób

obliczenia jego wartości. Istotne zmiany pojawiły się w 2001 roku, wraz z opublikowaniem przez Polski Komitet Normalizacyjny międzynarodowej normy PN-IEC 61024 [5], polegające przede wszystkim na wprowadzeniu pojęcia poziomu ochrony odgromowej LPL (ang. *lightning protection level*). Radykalne zmiany w podejściu do oceny zagrożenia piorunowego wprowadziła jednak dopiero seria norm PN-EN 62305. W jej drugim arkuszu [6] przedstawiono złożoną procedurę zarządzania ryzykiem, której celem jest nie tylko określenie potrzeby stosowania ochrony odgromowej i jej ewentualnego wymaganego poziomu, ale także dobór środków ochrony niezbędnych do ograniczenia ryzyka oddziaływania wyładowania piorunowego na obiekt budowlany do określonego tolerowanego poziomu.

### 2. PRZEGLĄD ZMIAN ALGORYTMÓW OCENY ZAGROŻENIA PIORUNOWEGO

#### 2.1. Norma PN-E-05003-1:1986 [4]

Idea oceny zagrożenia piorunowego według tej edycji norm polegała na obliczeniu wskaźnika zagrożenia piorunowego  $W$  według następującej zależności:

$$W = n \cdot m \cdot N \cdot A \cdot p \quad (1)$$

gdzie:

- $n$  – współczynnik uwzględniający liczbę ludzi w obiekcie:  
 $n = 1$  do 1 osoby na 10 m<sup>2</sup> powierzchni,  
 $n = 2$  przy większej liczbie osób;
- $m$  – współczynnik uwzględniający położenie obiektu:  
 $m = 0,5$  dla obiektów w zwartej zabudowie,  
 $m = 1$  dla pozostałych obiektów;
- $N$  – roczna gęstość powierzchniowa wyładowań doziemnych zależna od położenia geograficznego obiektu (szerokości geograficznej):  
 $N = 1,8 \cdot 10^{-6}$  m<sup>-2</sup> dla obszarów powyżej 51°30'  
 $N = 2,5 \cdot 10^{-6}$  m<sup>-2</sup> dla obszarów poniżej 51°30'
- $A$  – równoważna powierzchnia zbierania wyładowań przez obiekt obliczana na podstawie powierzchni zajmowanej przez obiekt ( $S$ ), długości jego obrysu ( $l$ ) i wysokości ( $h$ ):

$$A = S + 4 \cdot l \cdot h + 50h^2; \quad (2)$$

$p$  – prawdopodobieństwo wywołania szkody wyznaczone na podstawie współczynników (określanych na podstawie tablic) uwzględniających rodzaj obiektu ( $R$ ), jego zawartość ( $Z$ ) i konstrukcję ( $K$ ):

$$p = R \cdot (Z+K). \quad (3)$$

W zależności od obliczonej wartości  $W$  określano trzy stopnie zagrożenia piorunowego, według których podejmowana była decyzja o stosowaniu instalacji piorunochronnej (tablica 1).

**Tablica 1.** Stopnie zagrożenia piorunowego wg [4]

Wartość $W$	Stopień zagrożenia	Ochrona odgromowa
$W \leq 5 \cdot 10^{-5}$	Małe	zbędna
$5 \cdot 10^{-5} < W \leq 10^{-4}$	Średnie	zalecana
$W > 10^{-4}$	Duże	wymagana

Powyższa procedura określała co prawda, czy ochrona odgromowa jest wymagana, lecz nie definiowała środków, jakie należy w tym celu stosować. Zasady projektowania ochrony zależne były od typu obiektu i występującego w nim zagrożenia i opisane były w kolejnych arkuszach normy dotyczących według przyjętego nazewnictwa trzech rodzajów ochrony: podstawowej, obostrzonej i specjalnej.

Według Polskiego Komitetu Normalizacyjnego norma PN-E-05003-01:1986 [4] wycofana została bez zastąpienia dopiero w 2009 r., czyli w momencie opublikowania serii norm PN-EN 62305.

## 2.2. Norma PN-IEC-61024-1-1:2001 [5, 6]

Przez pewien okres równoległe z normą PN-E-05003-01:1986 [4] stosowana była seria norm międzynarodowych PN-IEC 61024-1 o takiej samej nazwie: „Ochrona odgromowa obiektów budowlanych”, co było powodem poważnych frustracji projektantów i inspektorów nadzoru budowlanego w tym okresie ze względu na prawne problemy z wyborem odpowiedniej drogi stosowania normy. Ta edycja norm odgromowych wprowadziła obowiązującą do dziś klasyfikację poziomów ochrony odgromowej i klasy instalacji odgromowych, definiując wymagania dotyczące zasad projektowania LPS.

Zgodnie z wymaganiami zawartymi w pierwszym arkuszu normy PN-IEC 61024-1-1 [5] kryterium dla potrzeby stosowania ochrony odgromowej stanowiła akceptowalna średnia roczna gęstość wyładowań  $N_c$ , które mogą oddziaływać na obiekt. W wersji pierwotnej [5] dla obiektów zwykłych należało przyjmować wartość  $N_c = 10^{-2}$ , co oznaczało, że akceptowana jest częstość wyładowań w obiekt wynosi jeden raz na sto lat. Po wprowadzeniu w roku 2002 przez Komitet Techniczny nr 55 do spraw Instalacji Elektrycznych i Ochrony Odgromowej Obiektów Budowlanych przy Polskim Komitecie Ochrony Odgromowej poprawki do polskiej wersji normy (PN-IEC 61024-1-1:2001/Ap1:2002 [6]) wartość tę, bez merytorycznego uzasadnienia zmniejszono do  $N_c = 10^{-3}$ , co oznaczało, że akceptowalna częstość wyładowań w obiekt wynosiła tylko jeden raz na tysiąc lat! Zaostrzyło to w znacznym stopniu potrzebę stosowania ochrony odgromowej i doprowadziło do znacznego przeszacowania zagrożenia piorunowego typowych obiektów w Rzeczypospolitej Polskiej i – w rezultacie – do nadmiernego wzrostu kosztów ochrony odgromowej. Bardziej szczegółowo problem ten został opisany w publikacji [9].

Zgodnie z algorytmem oceny zagrożenia piorunowego przedstawionym w normie PN-IEC 61024-1-1 wartość akceptowalną  $N_c$  należało porównać ze statystyczną częstością  $N_d$  wyładowań w ten obiekt będącą iloczynem lokalnej rocznej gęstości wyładowań w rozpatrywanym terenie  $N_g$  i równoważnej powierzchni zbierania wyładowań przez rozpatrywany obiekt  $A_e$ :

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6}. \quad (4)$$

Jeżeli lokalna gęstość wyładowań  $N_g$  nie była znana, to można było przyjąć wartość  $N$  analogicznie jak w [4] lub wyznaczyć ją na podstawie średniej rocznej liczby dni burzowych  $T_d$  na danym obszarze (uzyskiwanej z map izokeraunicznych) z zależności:

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

Powierzchnię zbierania wyładowań  $A_e$  dla obiektów odosobnionych wyznacza się do dnia dzisiejszego jako obszar ograniczony linią utworzoną przez punkty przecięcia powierzchni ziemi przez linię prostą o nachyleniu 1:3 wiodoną wokół obiektu, przebiegającą stycznie do górnych części obiektu. Dodatkowo przy wyznaczaniu powierzchni  $A_e$  należało uwzględnić ukształtowanie terenu (zagłębienia, pagórki) oraz obecność sąsiednich obiektów. Metoda ta jest bardziej dokładna od formuły zaproponowanej w PN-E-05003, ale wymaga dokładniejszej analizy graficznej.

Podstawowym założeniem do stosowania instalacji odgromowej według PN-IEC 61024 było spełnienie warunku, gdy  $N_d > N_c$ . Należało wtedy zastosować LPS o skuteczności:

$$E \geq 1 - N_c/N_d \quad (6)$$

Poszczególnym poziomom ochrony przypisane zostały klasy LPS o określonej skuteczności  $E$  zgodnie z tablicą 2 zamieszczoną w arkuszu normy.

**Tablica 2.** Skuteczność LPS i odpowiadające im poziomy ochrony według zaleceń normy PN-IEC-61024-1-1:2001 [5]

Poziom ochrony LPL	Skuteczność LPS $E$
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Jak napisano we wcześniejszej publikacji [9] taki sposób prezentacji doboru ochrony odgromowej oznaczał, iż w powszechnej praktyce projektanci, stosując tablicę skuteczności z normy PN-IEC 61024-1-1 [5], mylnie zakładali, iż dla obliczonej wartości skuteczności  $E < 0,8$  ochrona odgromowa nie była wymagana, zaś IV poziom ochrony dotyczy obliczonych skuteczności z przedziału  $0,8 \leq E < 0,9$ . W rzeczywistości, w myśl zaleceń tej normy, czwartemu poziomowi ochrony odpowiadała obliczona skuteczność z przedziału  $0 < E \leq 0,80$ , a gdy wyliczona skuteczność przekraczała wartość 0,98 należało zastosować dodatkowe środki ochrony odgromowej oprócz tych, które były zalecane dla poziomu pierwszego [9].

Przedstawione powyżej zasady uzależniały potrzebę stosowania LPS jedynie od wymiarów geometrycznych obiektu i jego położenia geograficznego. Nie uwzględniało się żadnych właściwości obiektu tak jak to miało miejsce w PN-E-05003. Należy także zwrócić uwagę, że po wprowadzeniu poprawki [6] dotyczącej wartości  $N_c$  wymagania dotyczące stosowania LPS uległy znacznemu, niezasadnemu obostrzeniu.

Norma to została wycofana i zastąpiona przez serię norm PN-EN 62305.

### 2.3. Norma PN-EN-62305-2:2008 (ed.1) [7]

Opublikowanie w latach 2008 – 2009 czteroarkuszowej serii norm PN-EN 62305 można uznać za rewolucję w odniesieniu do zmian, jakie wprowadzała ona do procedury oceny potrzeby stosowania ochrony odgromowej. Znamienny jest przy tym fakt, iż w poprzednich wersjach norm opis tych procedur zajmował jedynie niewielki fragment publikowanych dokumentów a same obliczenia nie były czasochłonne, zaś w serii norm PN-EN 62305 procedurze tej poświęcono cały osobny drugi arkusz normy [7] zatytułowany „Zarządzanie ryzykiem”, który wydrukowano na ponad 100 stronach.

Procedura oceny zagrożenia piorunowego opisana w PN-EN 62305-2 polega na obliczeniu ryzyka całkowitego  $R$  i doborze odpowiednich środków ochrony, takich by wartość  $R$  nie przekraczała uzgodnionego dopuszczalnego ryzyka tolerowanego  $R_T$ . Analizowane może być ryzyko w odniesieniu do różnych typów strat:

- $R_1$  – ryzyko utraty życia ludzkiego lub trwałego porażenia,
- $R_2$  – ryzyko utraty usług publicznych,
- $R_3$  – ryzyko utraty dziedzictwa kulturowego,
- $R_4$  – ryzyko poniesienia strat materialnych.

Dopuszczalne wartości ryzyka tolerowanego przedstawiono w Tabelcy 3.

**Tabelca 3.** Typowe wartości ryzyka tolerowanego  $R_T$  [7]

Typ straty		$R_T$ (rok <sup>-1</sup> )
Utrata życia ludzkiego lub trwałe porażenie	$R_1$	$10^{-5}$
Utrata usług publicznych	$R_2$	$10^{-3}$
Utrata dziedzictwa kulturowego	$R_3$	$10^{-3}$

Ryzyko ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  lub  $R_4$ ) jest sumą komponentów  $R_x$  zależnych od źródła zagrożenia:

- bezpośrednie wyładowanie w obiekt (S1),
  - wyładowanie w pobliżu obiektu (S2),
  - wyładowanie w urządzenie usługowe (S3),
  - wyładowanie w pobliżu urządzenia usługowego (S4)
- oraz od typu wywołanej szkody:
- porażenie istot żywych (D1),
  - uszkodzenie fizyczne (D2),
  - awaria układów elektrycznych i elektronicznych (D3).

Przez wymienione powyżej urządzenie usługowe należy rozumieć zewnętrzne systemy przewodzące dochodzące do obiektu, takie jak linie energetyczne linie telekomunikacyjne lub inne instalacje wyposażone w metalowe rury.

W porównaniu do poprzednich norm nie jest już zatem brane pod uwagę wyłącznie zagrożenie związane z wyładowaniem bezpośrednim w obiekt, ale także z wyładowaniami pośrednimi (w pobliżu obiektu i w przyłączone linie zewnętrzne oraz w ich pobliżu).

W serii norm PN-EN 62305 liczba wyładowań atmosferycznych, które mogą oddziaływać na obiekt zależy od nie tylko od średniej rocznej gęstości wyładowań w danym regionie  $N_g$  (1/km<sup>2</sup>/rok), i wymiarów geometrycznych obiektu, ale również od wymiarów geometrycznych przyłączonych do niego urządzeń usługowych (powierzchni zbierania wyładowań). Dodatkowo należy uwzględnić również od charakterystykę obiektu i przyłączonych do niego urządzeń usługowych oraz charakterystyki otaczającego środowiska. W związku z tym powierzchnie zbierania wyładowań wyznaczane są z uwzględnieniem wymiarów

geometrycznych obiektu oraz od długości linii usługowych i wysokości ich zawieszenia nad gruntem. W przypadku powierzchni zbierania wyładowań bezpośrednich trafiających w obiekt ( $A_{db}$ ) i przyłączone linie napowietrzne ( $A_l$ ) wykorzystuje się metodę „3H” analogicznie jak w poprzedniej wersji norm PN-IEC 61024. Powierzchnie zbierania wyładowań pobliskich wyznacza się w promieniu 250 m od granic obiektu ( $A_M$ ) i w odległości 500 m od trasy linii napowietrznej ( $A_l$ ). W przypadku zewnętrznych linii kablowych do wyznaczenia powierzchni zbierania ( $A_L$ ,  $A_l$ ) uwzględniana jest rezystywność gruntu  $\rho$ . Wpływ otoczenia na powierzchnie zbierania obiektu oraz linii zewnętrznych uwzględniany jest za pomocą współczynników korekcyjnych  $C_x$ .

**Tabelca 4.** Klasyfikacja komponentów ryzyka  $R_x$

Źródło szkody / Typ szkody	S1	S2	S3	S4
D1	$R_A$	-	$R_U$	-
D2	$R_B$	-	$R_V$	-
D3	$R_C$	$R_M$	$R_W$	$R_Z$

Każdy komponent ryzyka  $R_x$  jest iloczynem:

$$R_x = N_x \cdot P_X \cdot L_X \quad (7)$$

gdzie:

- $N_x$  – średnia roczna liczba groźnych zdarzeń związanych z wyładowaniami piorunowymi,
- $P_X$  – prawdopodobieństwo wywołania szkody,
- $L_x$  – średnia wartość pośrednich strat.

Prawdopodobieństwo wystąpienia strat  $P_X$  zależy przede wszystkim od zastosowanych środków ochrony odgromowej i przed przepięciami oraz od charakterystyki układów wewnętrznych obiektu i linii zewnętrznych. Analiza ryzyka ma na celu ocenę potrzeby stosowania nie tylko samego LPS ale również innych środków ochrony takich jak układy ograniczników przepięć (SPD *ang. surge protection device*) czy ekrany przestrzenne. Wartości  $P_X$  ustalane są na podstawie tablic zawartych w normie.

Roczna średnia wartość strat  $L_x$  zależy od rozmiaru szkody, jaka może wystąpić w następstwie wyładowania piorunowego i pośrednich skutków, jakie może ona powodować. Wartości strat można wyznaczyć na podstawie przedstawionych w normie zależności lub na podstawie wartości podanych w tablicach dla typowych obiektów. W zależności od charakterystyki obiektu uwzględnia się dodatkowo współczynniki redukcyjne ( $r_a$ ,  $r_u$ ,  $r_p$ ,  $r_f$ ) lub zwiększające ( $h_z$ ) straty.

Dokładniejszy dobór środków ochrony można przeprowadzić dzieląc dodatkowo analizowany obiekt na strefy o jednakowej charakterystyce, których nie należy jednak mylić ze strefami ochrony LPZ (*ang. lightning protection zone*). Komplikuje te jednak znacznie i tak złożoną procedurę obliczenia.

Należy dodać, iż po raz pierwszy w tej serii norm odgromowych pojawił się zapis zamieszczony już na wstępie PN-EN 62305-2, dający wolną rękę projektantowi, w myśl którego, może on podjąć decyzję o stosowaniu środków ochrony bez względu na wynik analizy wszędzie tam, gdzie uzna, że ryzyko jest nie do uniknięcia.

Ocena potrzeby stosowania instalacji odgromowej według PN-EN 62305-2 jest procedurą zdecydowanie bardziej złożoną i czasochłonną niż w przypadku wcześniej

obowiązujących norm. Świadczy o tym chociażby zamieszczenie w wykazie aż 152 symboli i skrótów wykorzystywanych w trakcie analizy. W powszechnej opinii projektantów procedura ta jest zbyt trudna, co w rezultacie prowadzi do pomijania jej przy doborze środków ochrony odgromowej w wielu współczesnych projektach. Oczywiście, projektanci mogą skorzystać z obecnej na rynku, niezbyt licznej oferty płatnych i bezpłatnych programów komputerowych opracowanych specjalnie w celu wspomoczenia ich pracy przy wyborze środków ochrony odgromowej. Jednak brak ich autoryzacji przez wiarygodną instytucję nie ułatwia sytuacji projektantów. W rezultacie wiarygodność współczesnych projektów w tym zakresie należy uznać za niedostateczną.

Pierwsza edycja norm odgromowych PN-EN 62305 opublikowana w latach 2008 – 2009 jest uznawana za aktualnie prawnie obowiązującą z uwagi na jej przywołanie w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [10]. Według Polskiego Komitetu Normalizacyjnego aktualna jest jednak druga edycja norm opublikowana w latach 2011 – 2012. Jednak - zgodnie z postanowieniami ustawy o normalizacji [11] - może być ona przywołana w tym rozporządzeniu dopiero po przetłumaczeniu na język polski. Dotyczy to obecnie wyłącznie pierwszego arkusza normy przetłumaczonego na język polski w roku 2012. Spór w tym zakresie należy uznać za niezasadny z uwagi na stosunkowo słabą znajomość języka angielskiego wśród projektantów, a opieszałość Polskiego Komitetu Normalizacyjnego w tłumaczeniu tak ważnych dla gospodarki narodowej norm odgromowych jest niezrozumiała.

#### 2.4. Norma PN-EN-62305-2:2012 (ed.2) [8]

Kolejna edycja drugiego arkusza normy PN-EN 62305 opublikowana została w 2012 r. [8], lecz niestety tylko w języku oryginalnym (j. angielski). Zakres wprowadzonych w nim zmian jest jednak istotny i z uwagi na jego fundamentalne znaczenie dla projektów ochrony odgromowej arkusz ten powinien być wprowadzany w języku polskim niezwłocznie po ratyfikowaniu przez CENELEC (Europejski Komitet Normalizacyjny Elektrotechniki.)

Ogólna zasada i algorytm analizy ryzyka w normie PN-EN 62305-2 [8] pozostały bez zmian. Wprowadzone zmiany dotyczą sposobu wyznaczania wybranych współczynników lub ich stabelaryzowanych wartości. Istotne zmiany dotyczą między innymi:

- uproszczenia zależności dla powierzchni zbierania urządzeń usługowych;
- zwiększenia powierzchni zbierania wyładowań w pobliżu zagrożonego obiektu w wyniku przesunięcia linii obrysu tej powierzchni od obrysu obiektu z 250 m aż na odległość 500 m;
- zwiększenia powierzchni zbierania w pobliżu linii zewnętrznych (aż 4-krotnie dla linii napowietrznych);
- modyfikacji sposobu wyznaczania wartości prawdopodobieństw wystąpienia szkody  $P_x$ , pozwalającej na jednoczesne uwzględnienie kilku środków ochrony;
- zaostżenia wartości ryzyka tolerowanego  $R_T$  dla utraty dziedzictwa kulturowego z  $R_3 = 10^{-3}$  do  $10^{-4}$ ;
- wprowadzenia konieczności uwzględnienia składowych wartości start dla poszczególnych stref obiektu.

Wprowadzone zmiany w niektórych przypadkach ułatwiają i upraszczają obliczenia. Bardziej złożone, w stosunku do pierwszej edycji, stało się jednak szacowanie strat w obiektach wielostrefowych, które wymaga głębszej analizy charakterystyk obiektu i ścisłej współpracy projektanta z inwestorem.

Wprowadzone zmiany są na tyle znaczące, że opracowane dotychczas pomocnicze programy komputerowe będą wymagały znacznej aktualizacji do nowej wersji normy.

### 3. PORÓWNANIE WYNIKÓW OCENY RYZYKA ZAGROŻENIA PIORUNOWEGO WEDŁUG RÓŻNYCH WERSJI POLSKICH NORM OCHRONY ODGROMOWEJ

W dalszej części artykułu przedstawione zostaną przykłady określania potrzeby stosowania LPS i jego klasy według norm [4-8] dla wybranych obiektów takich jak:

- dom jednorodzinny,
- hala przemysłowa,
- radiowo telewizyjne centrum nadawcze (RTCN).

We wszystkich przypadkach przyjęto następujące założenia ogólne:

- średnia liczba dni burzowych w roku  $T_d = 30$  dni;
- obiekty położone w terenie odosobnionym (środownisko wiejskie);
- zasilanie obiektu: linia podziemna, nieekranowana, rezystywność gruntu  $\rho = 500 \Omega\text{m}$ , długość linii  $L_c = 1000$  m, wytrzymałość udarowa przyłączonych urządzeń  $U_w = 2,5$  kV, linia położona w terenie odosobnionym;
- linia telefoniczna: linia napowietrzna; nieekranowana, wysokość zawieszenia linii  $H_c = 6$  m, długość linii  $L_c = 1000$  m, wytrzymałość udarowa przyłączonych urządzeń  $U_w = 1,5$  kV, linia położona w terenie odosobnionym;
- pomija się właściwości ekranujące obiektów, okablowanie wewnętrzne nieekranowane, brak trasowania linii;
- obiekty jednostrefowe, analizowana tylko strefa wewnętrzna;
- brak specjalnego zagrożenia.

Większość powyższych charakterystyk jest istotna jedynie przy ocenie dokonywanej według edycji norm najnowszej serii PN-EN 62305 [7, 8], które, jak już przedstawiono to wcześniej, wymagają przeprowadzenia bardziej szczegółowej analizy obiektu i jego otoczenia.

Dodatkowo przedstawiono także wyniki obliczeń wykonane według zaleceń normy PN-IEC 61024 dla przykładów obiektów przedstawionych w załącznikach obu edycji norm PN-EN 62305 w celu pokazania różnic w wymaganych poziomach LPL. Dla ograniczenia objętości artykułu zamieszczono jedynie wyniki końcowe bez prezentowania szczegółowych obliczeń.

Przy analizie zalecanych środków ochrony odgromowej należy pamiętać, że zawsze w przypadku określenia potrzeby stosowania instalacji odgromowej LPS obligatoryjne jest także stosowanie układów ochrony przed przepięciami (SPD.)

#### 3.1. Dom jednorodzinny

Jako pierwszy zostanie rozpatrzony przykład typowego wiejskiego domu jednorodzinnego o wymiarach  $15 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 6 \text{ m}$  (szerokość  $\times$  długość  $\times$  wysokość). Powierzchnia zbierania wyładowań bezpośrednich dla takiego budynku

wynosi 2 578 m<sup>2</sup>. Dla norm serii PN-EN 62305 analizowane jest ryzyko utraty życia ludzkiego  $R_1$ . Do budynku doprowadzone są następujące przewodzące linie usługowe: kablowa linia zasilająca niskiego napięcia oraz napowietrzna linia telefoniczna. Zakłada się zwykle niebezpieczeństwo pożarowe. Rodzaj podłoża wewnątrz obiektu: drewno. Wartości strat przyjęto zgodnie z przykładem domu wiejskiego podanym w normach PN-EN 62305. Wyniki oceny ryzyka dla domu jednorodzinnego zostały przedstawione w tablicy 5.

**Tablica 5.** Ocena ryzyka zagrożenia piorunowego dla domu jednorodzinnego

Norma	Wymagane środki ochrony
PN-E-05003-1:1986	ochrona nie wymagana
PN-IEC 61024-1-1:2001	ochrona nie wymagana
PN-IEC 61024-1-1:2001/Ap1	LPS klasy III.
PN-EN 62305-2:2009	LPS klasy IV.
PN-EN 62305-2:2012	LPS klasy IV. + środki ochrony ppoż. lub LPS klasy III.

Już na prostym przykładzie typowego domu jednorodzinnego położonego w terenie wiejskim widać znaczne rozbieżności pomiędzy wynikami oceny według poszczególnych norm. Według PN-E-05003 oraz wg normy PN-IEC 61024 przy założeniu wartości współczynnika  $N_c = 10^{-2}$  ochrona odgromowa dla takiego obiektu nie jest wymagana. Po uwzględnieniu poprawki wprowadzonej przez KT 55 do PN-IEC 61024 ( $N_c = 10^{-3}$ ) ten sam dom wymaga zastosowania już LPS klasy III. Dla tego przykładu ochrona odgromowa jest także wymagana po przeprowadzeniu analizy zagrożenia piorunowego według procedury obu edycji norm serii PN-EN 62305. Dla pierwszej edycji normy wymagana jest instalacja LPS klasy IV, a dla edycji drugiej - LPS klasy III, przy czym dopuszczalne jest zastosowanie LPS klasy IV pod warunkiem zastosowania także środków ochrony przeciwpożarowej, np.: w postaci gaśnic ręcznych lub systemu alarmu pożarowego wyposażonego w czujki pożarowe.

W przypadku analizy ryzyka według norm PN-EN 62305 istotny wpływ na końcowy wynik mają poszczególne założenia przyjmowane do obliczeń. Przykładowo: na podstawie analizy wykonanej według obu edycji norm PN-EN 62305, przy założeniu niskiego niebezpieczeństwa pożarowego, instalacja odgromowa nie jest wymagana, a do ochrony takiego obiektu wystarczające jest zastosowanie na wejściu zewnętrznych linii usługowych ograniczników przepięć SPD dostosowanych do poziomu ochrony LPL IV.

### 3.2. Hala przemysłowa

Kolejny przykład stanowi budynek hali przemysłowej o wymiarach 50 m × 200 m × 10 m (szerokość × długość × wysokość). Powierzchnia zbierania wyładowań bezpośrednich takiego obiektu wynosi 27 827 m<sup>2</sup> i jest ponad 10 razy większa niż dla rozpatrywanego wcześniej przykładu domu jednorodzinnego. Dla norm serii PN-EN 62305 analizowane ryzyko utraty życia ludzkiego  $R_1$ . Obiekt zasilany jest linią kablową średniego napięcia doprowadzoną do stacji transformatorowej SN/nn. Zakłada się zwykle niebezpieczeństwo pożarowe. Rodzaj podłoża wewnątrz obiektu: beton. Przyjmuje się wartości strat dla ryzyka  $R_1$  typowe dla obiektów skalsyfikowanych jako „przemysłowe”.

Wyniki oceny ryzyka dla przykładu hali przemysłowej przedstawione w tablicy 6 po raz kolejny wskazują na znaczne

rozbieżności między aktualnie obowiązującymi a wcześniej stosowanymi normami. Według normy PN-IEC 61024 przy założeniu, że  $N_c = 10^{-2}$  wymagana jest III klasa LPS, natomiast po uwzględnieniu poprawki wprowadzonej przez KT 55 do PN-IEC 61024 ( $N_c = 10^{-3}$ ) wymagana jest już klasa LPS I+ (z dodatkowymi środkami ochrony). Według obu edycji norm serii 62305 do ochrony obiektu wystarczająca jest instalacja LPS klasy IV., czyli taka jak dla domu jednorodzinnego. Porównując kubatury rozpatrywanego w niniejszym artykule domu jednorodzinnego i hali przemysłowej logiczną wydaje się potrzeba stosowania instalacji odgromowej o wyższej klasie dla hali przemysłowej. Jednak z uwagi na mniejsze wartości strat dla obiektów przemysłowych zalecane w normach [7, 8] w porównaniu strat dla budynków mieszkalnych, pomimo znacznej różnicy w wielkości powierzchni zbierania wyładowań piorunowych, klasy wymaganej ochrony odgromowej są dla obydwu przypadków podobne.

**Tablica 6.** Ocena ryzyka zagrożenia piorunowego dla hali przemysłowej

Norma	Wymagane środki ochrony
PN-E-05003-1:1986	ochrona wymagana
PN-IEC 61024-1-1:2001	LPS klasy III
PN-IEC 61024-1-1:2001/Ap1	LPS klasy I+
PN-EN 62305-2:2009	LPS klasy IV
PN-EN 62305-2:2012	LPS klasy IV

W przypadku obiektów przemysłowych występować może ponadto znaczna liczba obwodów zewnętrznych (np. linie zasilające główna i rezerwowa, oświetlenie zewnętrzne terenu, obwody systemów alarmowych i dozoru wizyjnego CCTV, obwody sterujące), które należy traktować także jako urządzenia usługowe. W zamieszczonym przykładzie, dla celów porównawczych uwzględniono jedynie zewnętrzną linię zasilającą i telefoniczną, więc prezentowane wyniki obliczeń należy uznać za zaniżone w stosunku do charakterystyk rzeczywistych. Z praktyki zawodowej autorów wynika, że uwzględnienie podczas oceny zagrożenia piorunowego, prowadzonej według PN-EN 62305, znacznej liczby zewnętrznych linii usługowych może prowadzić do sytuacji, w której dla redukcji ryzyka wystąpienia szkody poniżej poziomu tolerowanego często wymagane jest zastosowanie układów SPD o parametrach odpowiadających wyższemu poziomowi ochrony LPL niż wymagana klasa instalacji odgromowej LPS. Dobór SPD w zależności od poziomu ochrony odgromowej jest łatwy do zrealizowania dla obwodów zasilania niskiego napięcia, ale komplikuje się w przypadku licznych obwodów sygnałowych. Wymagania dotyczące parametrów ograniczników przepięć w zależności od poziomu LPL powinny, zdaniem autorów mniejszego artykułu, zostać bardziej szczegółowo opisane w przyszłych wersjach norm odgromowych, adekwatnie do realnie występujących zagrożeń.

### 3.3. Radiowo-Telewizyjne Centrum Nadawcze

Jako kolejny przykład do porównania wybrano dla odróżnienia obiekt Radiowo-Telewizyjnego Centrum Nadawczego (RTCN) z masztem antenowym o znacznej wysokości wynoszącej 300 m. Powierzchnia zbierania wyładowań bezpośrednich takiego obiektu wynosi aż 2 544 690 m<sup>2</sup> i jest określona wyłącznie przez powierzchnię zbierania wnoszoną przez konstrukcję masztu (powierzchnia zbierania budynków w takim przypadku jest znacznie mniejsza i zawsze zawiera się w powierzchni zbierania masztu). Dla norm serii PN-EN 62305 analizowane jest

ryzyko utraty życia ludzkiego  $R_1$  oraz dodatkowo ryzyko utraty świadczenia usług publicznych  $R_2$ , zazwyczaj najistotniejsze dla takich obiektów. Obiekt zasilono podziemną linią kablową średniego napięcia doprowadzoną do stacji transformatorowej SN/nn. Zakłada się zwykle niebezpieczeństwo pożarowe. Rodzaj podłoża wewnątrz obiektu: ceramika. Przyjmuje się następujące wartości strat: dla ryzyka  $R_1$  - typowe dla obiektów sklasyfikowanych w normie jako „inne”, a dla ryzyka  $R_2$  - typowe dla obiektów „TV”. Wyniki analizy przedstawiono w tablicy 7.

Z oceny prowadzonej według procedury zawartej w normach międzynarodowych PN-IEC 61024 oraz PN-EN 62305-2 [5-8] wynika, iż dla obiektów takich jak RTCN z masztem antenowym o wysokości 300 m, z uwagi na znaczne zagrożenie życia ludzkiego, wymagana jest instalacja odgromowa klasy LPS I+. Jest to, oczywiście, związane ze znaczną powierzchnią zbierania wyładowań bezpośrednich wysokiego masztu antenowego. Dodatkowo, według wyliczeń ryzyka prowadzonych na podstawie norm serii PN-EN 62305, w takim RTCN wymagane jest zastosowanie środków ochrony przeciwpożarowej.

Przy założeniu, że taki obiekt jest bezobsługowy (pominięcie obecności ludzi w wyliczeniach zagrożenia piorunowego) według norm PN-EN 62305 analizowane jest tylko ryzyko utraty świadczenia usług publicznych  $R_2$ . W takim przypadku ochrona obiektu powinna być zapewniona przede wszystkim za pomocą układu ograniczników przepięć o parametrach odpowiadających drugiemu poziomowi ochrony odgromowej LPL II oraz instalacji odgromowej LPS IV lub środków ochrony ppoż. Wydaje się jednak, że dla obiektu takiego jak RTCN instalacja odgromowa klasy IV jest zbyt niska. Projektant może wtedy zawsze, bazując na swoim doświadczeniu, zastosować LPS wyższej klasy, jeżeli uzna to za stosowne.

**Tablica 7.** Ocena ryzyka zagrożenia piorunowego dla obiektu Radiowo-Telewizyjnego Centrum Nadawczego

Norma	Wymagane środki ochrony
PN-E-05003-1:1986	ochrona wymagana
PN-IEC 61024-1-1:2001	LPS I+
PN-IEC 61024-1-1:2001/Ap1	LPS I+
PN-EN 62305-2:2009	$R_1$ : LPS klasy I + środki ochrony ppoż. $R_2$ : SPD dla LPL II + LPS klasy IV lub środki ochrony ppoż.
PN-EN 62305-2:2012	$R_1$ : LPS klasy I + środki ochrony ppoż. $R_2$ : SPD dla LPL II + LPS klasy IV lub środki ochrony ppoż.

Należy zauważyć, że w analizie tak wysokich obiektów zgodnie z wymaganiami pierwszej edycji PN-EN 62305 [7] wyładowania w pobliżu obiektu nie są brane pod uwagę, co należy uznać za ewidentny błąd, gdyż powierzchnia zbierania wyładowań pobliskich w takim przypadku zawiera się całkowicie w powierzchni zbierania wyładowań bezpośrednich. W związku z tym, że powierzchnia zbierania wyładowań pobliskich w tej edycji norm jest liczona jako różnica powierzchni wyznaczonej w promieniu 250 m od obrysu obiektu i powierzchni zbierania wyładowań bezpośrednich, to dla obiektów odosobnionych o wysokości powyżej około 83 m różnica ta staje się ujemna. Problem ten został rozwiązany w drugiej edycji normy [8], w której uwzględnia się dla wyładowań w pobliżu obiektu

powierzchnię zbierania w promieniu 500 m od obrysu obiektu bez względu na wielkość powierzchni zbierania wyładowań bezpośrednich. Wydaje się jednak, iż konieczne jest prowadzenie dalszych prac nad modyfikacją sposobu wyznaczania powierzchni zbierania dla tak wysokich budowli.

Dla obiektu RTCN uzasadniona wydaje się także konieczność przeprowadzenia dodatkowej analizy ryzyka utraty wartości materialnych  $R_4$ , które w tym przypadku związane są z potrzebą naprawy lub wymiany kosztownej aparatury, ale również ze stratami finansowymi związanymi z karami jakie operator obiektu zobowiązany jest płacić w związku z przerwą w transmisji sygnałów na przykład naziemnej telewizji cyfrowej. Przeprowadzenie takiej analizy nie jest jednak możliwe bez szczegółowych, dokładnych informacji dotyczących wysokości strat i czasów związanych z przywróceniem systemu do stanu normalnej pracy.

### 3.4. Przykłady z norm serii PN-EN 62305-2

Dla łatwiejszego zrozumienia złożonych algorytmów oceny ryzyka według norm PN-EN 62305-2 w załącznikach do norm przedstawiono przykładowe obliczenia dla obiektów takich jak:

- dom wiejski,
- budynek biurowy,
- szpital,
- blok mieszkalny.

Założenia dla powyższych obiektów opisane są w [7, 8]. W niniejszym artykule dla tych samych obiektów przeprowadzono ocenę ryzyka według PN-IEC 61024 przy obu wartościach  $N_C$  ( $10^{-2}$  i  $10^{-3}$ ) w celu ukazania różnic w poziomach ochrony odgromowej LPL wymaganych przez aktualne i poprzednie normy odgromowe.

Zestawienie otrzymanych rezultatów przedstawione w tablicy 8 doskonale pokazuje jak znaczące różnice występują w wynikach oceny ryzyka przy zastosowaniu poszczególnych norm. Wyniki przy stosowaniu obu edycji norm serii PN-EN 62305-2 są zbliżone jednak w istotny sposób różnią się od tych otrzymanych przy zastosowaniu algorytmów wg PN-IEC 61024. Różnice pomiędzy poszczególnymi normami najlepiej pokazuje przykład budynku biurowego, dla którego każda z norm zaleca inną klasę instalacji odgromowej. Szczególną uwagę zwracają wyniki otrzymane na podstawie PN-IEC 61024-1-1 [5] po uwzględnieniu poprawki Ap1 [6], gdzie wymagania odnośnie klasy LPS są najbardziej rygorystyczne. Warto także zauważyć, że normy serii 62305 pozwalają zastosować kilka wariantów ochrony danego obiektu.

## 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzone porównanie pokazuje jak znaczne różnice w zakresie oceny potrzeby stosowania ochrony odgromowej występują między aktualnymi i wcześniejszymi normami. Najbardziej rygorystycznym kryterium zawierała norma PN-IEC 61024 po nieuzasadnionym merytorycznie wprowadzeniu zaniżonego współczynnika akceptowalnej średniej rocznej gęstości wyładowań  $N_C$ , jakie mogą oddziaływać na obiekt. W wyniku zastosowania tak drastycznego kryterium wymagane były najwyższe klasy LPS w historii ochrony odgromowej. W okresie stosowania tej normy ochrony odgromowej wymagał nawet obiekt o wymiarach  $3 \times 3 \times 3$  m lub słup o wysokości 4 m (przy założeniu  $T_d = 30$  dni), co jednoznacznie świadczy o tym, że

przyjęta wartości  $N_c = 10^{-3}$  była zbyt rygorystyczna [9]. Klasy LPS określone według procedur oceny zawartych w normach serii PN-EN 62305 są zazwyczaj zdecydowanie niższe.

Dobór klasy LPS według PN-IEC 61024 opierał się jedynie na podstawie wymiarów geometrycznych obiektu, chociaż już w starszych normach serii PN-E-05003 [3, 4] podejmowane były próby uwzględniania również charakterystyki obiektu. Istotną zmianą wprowadzoną w PN-EN 62305-2 było uwzględnienie poza zagrożeniem wyładowania bezpośredniego także ryzyka związanego z oddziaływaniem wyładowań pobliskich oraz wyładowań oddziaływujących na przyłączone linie zewnętrzne. Uwzględnianie szczegółowej charakterystyki obiektu, przyłączonych linii zewnętrznych, podziału obiektu na strefy, zastosowanych środków ochrony ppoż., czy też szacowanie strat wymaga jednak przeprowadzenia znacznie głębszej analizy i, często, bezpośredniej współpracy z właścicielem obiektu.

Prostota algorytmów przyjętych w starszych normach niemal zawsze gwarantowała, że dla danego obiektu klasa LPS wyznaczona przez różnych projektantów była taka sama. W obecnie stosowanej procedurze wynik oceny ryzyka w

dużym stopniu może zależeć od ogólnego podejścia projektanta do zagadnienia ochrony odgromowej i przyjętych przez niego założeń.

Stosowanie norm nie jest obecnie obligatoryjne [11]. Odstępstwo od tej zasady stanowią jednak normy przywołane w stosownych rozporządzeniach stanowiących akty prawne. Taka sytuacja występuje w przypadku pierwszej edycji norm odgromowych serii PN-EN 62305 [7], które aktualnie są przywołane w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [10]. Niestety w dalszym ciągu można spotkać jeszcze projekty wykonywane według nieaktualnych już norm PN-IEC 61024, co świadczy albo o braku wiedzy o wykazie norm przywołanych we wspomnianym rozporządzeniu wśród projektantów albo o braku umiejętności zastosowania niezwykle skomplikowanej procedury oceny zagrożenia piorunowego zamieszczonej w aktualnej normie odgromowej serii PN-EN 62305.

**Tablica 8.** Porównanie wymaganej klasy LPS na podstawie oceny zagrożenia piorunowego przeprowadzonej na podstawie wybranych norm dla przykładów obiektów rozpatrzonych w normach serii PN-EN 62305-2

Obiekt (wymiary w m)	PN-IEC 61024-1-1		PN-EN 62305-2	
	$N_c = 0,01$ [5]	$N_c = 0,001$ [6]	Edycja 1 - 2008 [7]	Edycja 2 - 2012 [8]
Dom wiejski (15 × 20 × 6)	LPS klasy III.	LPS klasy II	a) SPD odpowiadający LPL IV b) LPS klasy IV	
Budynek biurowy (40 × 20 × 25)	LPS klasy II	LPS klasy I+	a) LPS klasy IV b) SPD dla LPL IV + automatyczny system ppoż.	a) LPS klasy III b) LPS klasy IV + ręczny sprzęt ppoż.
Szpital (50 × 150 × 10)	LPS klasy III	LPS klasy I+	a) LPS klasy I (SPD 1,5x) + automatyczny system ppoż. + ekran EM ażurowy o oku siatki $w = 0,5$ m b) LPS klasy I (SPD 3x) + automatyczny system ppoż. c) LPS klasy I + (SPD2x) + automatyczny system ppoż. + ekran EM ażurowy o oku siatki $w = 0,1$ m	
Blok mieszkalny (30 × 20 × 20)	LPS klasy III	LPS klasy I+	a) LPS klasy III b) LPS klasy IV + ręczny sprzęt ppoż.	
EM – elektromagnetyczny; SPD 1,5x, SPD 2x, SPD 3x – skoordynowany układ SPD zaprojektowany przy założeniu wyższych parametrów prądu pioruna dla danej klasy LPS				

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. Boryń H.: Zmiany zasad oceny zagrożenia piorunowego budynków w normalizacji krajowej, INPE nr 146-147, s. 3-18, 2011.
2. PNE/22 – 1931 Wskazówki co do ochrony budowli od elektrycznych wyładowań atmosferycznych oraz instrukcja dla kontroli urządzeń piorunochronnych z pięcioma rysunkami.
3. PN-E 05003:1955: Ochrona budowli od wyładowań atmosferycznych. Przepisy ogólne.
4. PN-E-05003-1:1986: Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Wymagania ogólne.
5. PN-IEC 61024-1-1:2001: Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. Wybór poziomów ochrony dla urządzeń piorunochronnych.
6. PN-IEC 61024-1-1:2001/Ap1:2002: Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. Wybór poziomów ochrony dla urządzeń piorunochronnych.
7. PN-EN 62305-2:2008: Ochrona odgromowa. Część 2: Zarządzanie ryzykiem.
8. PN-EN 62305-2:2012: Ochrona odgromowa. Część 2: Zarządzanie ryzykiem.
9. Anisierowicz K., Zielenkiewicz M.: Problemy związane z wyborem poziomu ochrony dla urządzeń piorunochronnych. Elektro-info, nr 4/2007.
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002, nr 75, poz. 690 z późn. zmianami)
11. Ustawa z dnia 12 września 2002 r. o normalizacji (Dz. U. 2002, nr 169, poz. 1386 z późn. zmianami)

## **INFLUENCE OF CHANGES OF LIGHTNING THREAT ASSESSMENT PRINCIPLES ON THE NEED OF LIGHTNING PROTECTION AND ITS CATEGORY**

Principles of lightning threat assessment for buildings have changed seriously with revision of normative documents regarding lightning protection in Poland over the last few decades. This paper presents review of principles according to lightning protection standards from PN-E-05003:1986 to PN-EN 62305-2:2012. All the procedure has been compared with indication of advantages and disadvantages of each of them. Examples of results of lightning threat assessment for typical buildings like country house, office building, hospital, industrial hall and radio and television broadcasting centre are presented and compared. According to different standards different results can be obtained.

**Keywords:** lightning protection, lightning threat, risk assessment.