

Ocena ryzyka szkód piorunowych dla urządzeń technicznych w obiektach budowlanych w ujęciu nowej normy PN-EN 62305-2

Streszczenie. W referacie przedstawiono metodykę obliczania ryzyka zagrożenia piorunowego dla obiektów budowlanych wyposażonych we wrażliwe urządzenia techniczne, opartą na wymaganiach nowo wprowadzonej do norm polskich publikacji IEC. Opisano opracowany w Politechnice Warszawskiej program numeryczny do obliczania tego ryzyka oraz przykładowe wyniki obliczeń, porównując je z rezultatami otrzymanymi przy użyciu uproszczonego oprogramowania, załączonego do normy IEC 62305-2.

Abstract. The paper refers to the method of lightning risk calculation for structures and their sensitive equipment based on requirements of new IEC standard introduced as Polish Norm. The new software for lightning risk calculation developed at Warsaw University of Technology is presented and exemplary risk calculation results are described and compared with results obtained using the Risk Assessment Calculator adjoined to IEC 62305-2. (Risk assessment of lightning damages for technical equipment in structures according to new standard PN-EN (IEC) 62305-2)

Słowa kluczowe: ryzyko szkód piorunowych, obliczanie ryzyka, szkody piorunowe, zagrożenie dla urządzeń technicznych

Keywords: lightning risk, risk assessment, lightning damages, hazard for technical equipment

Wstęp

Doziemne wyładowania piorunowe oraz towarzyszące im impulsy pola elektromagnetycznego LEMP (*ang. Lightning Electromagnetic Impulse*) stanowią jedno z najbardziej groźnych źródeł zaburzeń dla urządzeń technicznych. Prądy piorunu charakteryzują się bowiem zarówno dużą wartością szczytową (nawet setki kiloamperów), jak i dużą stromością narastania (nawet setki kA/μs).

Dopuszczalne dla urządzeń i instalacji poziomy napięć zakłócających (przebieg) będących skutkiem doziemnych wyładowań atmosferycznych powinny uwzględniać dwa rodzaje zagadnień:

- aspekt bezpieczeństwa,
- aspekt funkcjonalności.

W szczególności należy uwzględnić fakt, że piorunowe napięcia zakłócenia (przebiegi) zmieniają się statystycznie i w określonych warunkach są charakteryzowane parametrami ekstremalnymi występującymi nieregularnie i uzależnionymi od miejsca eksploatacji urządzeń.

W roku 2006 do norm polskich wprowadzono publikację IEC jako PN-EN 62305-2 (U): 2006 [1] dotyczącą nowej metodyki obliczania ryzyka zagrożenia piorunowego, zarówno dla przypadku bezpośrednich wyładowań w obiekty wyposażone we wrażliwe urządzenia techniczne, jak i dla wyładowań pobliskich. Przy ocenie ryzyka jest brany pod uwagę zakres szkód, znacznie szerszy niż tylko zagrożenie ludzi lub straty materialne wynikające z bezpośredniego trafienia pioruna w obiekt. Uwzględnia się straty związane z oddziaływaniem wskutek sprzężeń przewodzonych lub indukowanych wyładowań doziemnych występujących w pobliżu obiektu

Metodyka oceny ryzyka wystąpienia szkód piorunowych

W sposobie oceny wskaźnika zagrożenia piorunowego (odpowiednik ryzyka szkód piorunowych) zamieszczonym w normie PN-86/E-05003/01 [2] jest wiele niedoskonałości. Nie uwzględnia się m.in. wartości zniszczonych urządzeń, oraz, co ważniejsze, strat, jakie mogą powstać w wyniku ich nieprawidłowego funkcjonowania lub uszkodzenia. Nie uwzględnia się też redukcji zagrożenia w przypadku zainstalowanych środków ochrony, zarówno zewnętrznej, jak i wewnętrznej, które mają wpływ na zmniejszenie prawdopodobieństwa szkód wywołanych wyładowaniami piorunowymi.

W nowej normie [1] zostały zawarte bardziej szczegółowe zasady oceny ryzyka szkód piorunowych w porównaniu ze stosowanym dotychczas sposobie oceny wskaźnika zagrożenia piorunowego [2]. Jest ona przydatna zwłaszcza wówczas, gdy ocena ryzyka szkód piorunowych jest niezbędna do podjęcia decyzji o konieczności stosowania ochrony odgromowej i przepięciowej, uznawanej często za niezbędny środek w EMC, mimo braku formalnej konieczności jej stosowania.

Ocena taka obejmuje:

- oszacowanie ryzyka (i jego komponentów) powodowanego przez piorunowe wyładowania doziemne w obiekty budowlane i urządzenia przeznaczone do realizacji usług publicznych oraz przez wyładowania pobliskie,
- procedurę wyboru właściwych środków ochrony w celu redukcji tego ryzyka do akceptowalnej wartości.

Wobec występowania różnych przypadków trażeń i oddziaływań piorunowych, określono zestaw komponentów ryzyka: ukierunkowanych na konkretne przyczyny szkód, na ich typy i na rodzaje strat. Wyróżnia się:

- rodzaje przyczyn, jako trafienia piorunu (S): w obiekt (S1); w ziemię w pobliżu obiektu (S2); w linie zewnętrzne dochodzące do obiektu (urządzenia usług publicznych) (S3), w ziemię w pobliżu linii zewnętrznej (w pobliżu urządzeń usług publicznych) (S4),
- typy szkód (D): porażenie istot żywych wskutek napięć krokowych i dotykowych (D1); uszkodzenie fizyczne przez pożar, wybuch, itp. (D2); uszkodzenie lub zakłócenie pracy układów elektrycznych i elektronicznych (przepięcia) (D3),
- rodzaje strat (L): utrata życia (L1); utrata usług publicznych (L2); utrata dóbr stanowiących dziedzictwo kulturowe (L3); straty materialne o wartości ekonomicznej (L4).

Ryzyko szkód piorunowych R jest wartością prawdopodobnych średnich rocznych strat. Dla każdego typu straty, jaka może wystąpić w obiekcie lub w urządzeniu, powinna być wyznaczona stosowna wartość ryzyka.

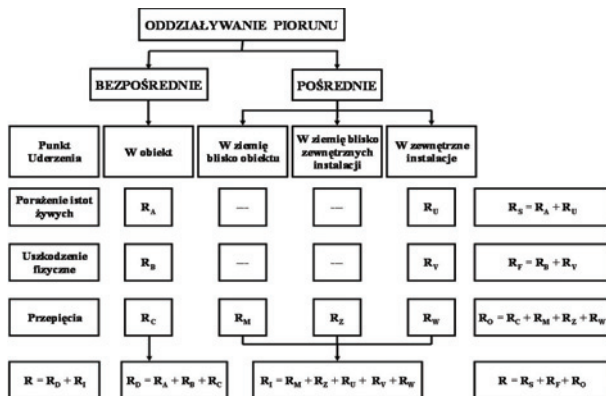
Rodzaje ryzyka, poddawane ocenie w obiekcie, mogą być następujące:

- R_1 : ryzyko utraty życia ludzkiego;
- R_2 : ryzyko utraty usługi publicznej;
- R_3 : ryzyko utraty dziedzictwa kulturowego;
- R_4 : ryzyko utraty wartości ekonomicznej.

Z kolei ryzyka w urządzeniu usługowym obejmują:

- R'_2 : ryzyko utraty usługi publicznej;
- R'_4 : ryzyko utraty wartości ekonomicznej.

Każde ryzyko R jest sumą komponentów, które można pogrupować wg źródła uszkodzenia i wg typu uszkodzenia, w sposób przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Komponenty ryzyka zagrożenia piorunowego

Ryzyko dla każdego typu szkody lub straty jest rozpatrywane jako suma właściwych komponentów. Całkowita ich suma R sprowadza się do postaci:

$$(1) \quad R = R_d + R_i$$

gdzie: R_d – ryzyko przy bezpośrednim trafieniu piorunu w obiekt, R_i – ryzyko przy uderzeniu piorunów pobliskich (trafiających w ziemię lub w linie poza budynkiem).

Każdy komponent ryzyka przedstawiony na rysunku 1 może być wyrażony za pomocą równania ogólnego:

$$(2) \quad R_x = N_x P_x L_x$$

gdzie: N_x jest spodziewaną liczbą oddziaływania piorunów w ciągu roku, P_x jest prawdopodobieństwem wystąpienia szkody (np. uszkodzenia urządzenia lub instalacji), L_x jest wynikową stratą ekonomiczną.

W przypadku bezpośrednich wyładowań piorunowych spodziewaną liczbę trafień N_d wyznacza się z zależności:

$$(3) \quad N_d = N_g A_e C_d 10^{-6}$$

gdzie N_g – średnia roczna gęstość wyładowań doziemnych na danym terenie (1,8 lub 2,5 wyładowania/km²/rok, wg [2]), A_e – równoważna powierzchnia zbierania wyładowań przez obiekt, zależna od geometrii obiektu, C_d – współczynnik położenia obiektu.

Prawdopodobieństwo wystąpienia szkody P_x jest zależne od charakterystyki obiektu chronionego i od zastosowanych środków ochrony. Przyjmuje się, że przy braku stosowania środków ochrony wystąpienie szkody jest pewne, natomiast zastosowanie określonych środków zmienia to prawdopodobieństwo w stopniu adekwatnym do ich rodzaju i skuteczności.

Dlatego wprowadza się szereg współczynników redukujących prawdopodobieństwo uszkodzenia, uwzględniających zastosowanie środków ochrony, np. urządzenie piorunochronne o określonym poziomie skuteczności ochrony, ograniczniki przepięć na wejściu linii do obiektu, transformator na wejściu linii do obiektu, ekranowanie linii i przewodów, środki ograniczające rozprzestrzenianie się pożaru, itp.

Strata ekonomiczna L_x jest zależna od przeznaczenia obiektu, obecności ludzi, typu świadczonych usług publicznych, wartości dóbr poddanych wpływowi uszkodzenia, oraz od środków przeznaczonych do ograniczenia rozmiaru strat.

Jako tolerowane wartości kryterialne ryzyka R_T zaleca się przyjąć:

- $R_T = 10^{-5}$ – wszędzie tam, gdzie szkody mogą obejmować utratę życia człowieka,
- $R_T = 10^{-3}$ – w przypadku utraty usług publicznych oraz utraty dziedzictwa kulturowego.

W pozostałych przypadkach określenie tolerowanej wartości ryzyka powinno być dokonane przez odpowiednią instytucję. Jeżeli szkody piorunowe pociągają za sobą tylko straty ekonomiczne dla firm lub osób prywatnych, to wartość tolerowana ryzyka R_T powinna być ustalana według kryteriów czysto ekonomicznych np. przez projektanta środków ochrony, w porozumieniu z właścicielem (inwestorem) lub firmą ubezpieczeniową.

Przy określaniu potrzeby zastosowania środków ochrony samego obiektu oraz wrażliwych urządzeń technicznych stanowiących wyposażenie obiektu należy dokonać:

- identyfikacji komponentów ryzyka;
- obliczenia wartości komponentów ryzyka R_x ;
- obliczenia wartości ryzyka całkowitego R ;
- określenia ryzyka tolerowanego R_T ;
- porównania wartości ryzyka całkowitego R z wartością tolerowaną R_T .

Ochrona nie jest konieczna jeżeli $R \leq R_T$, to. W przypadku $R > R_T$ należy zastosować środki ochrony odgromowej – LPS (ang. Lightning Protection System) oraz środki dodatkowe przed oddziaływaniem LEMP odniesieniu do wszystkich zagrożeń komponentów ryzyka), jakim poddany jest obiekt i jego wyposażenie.

Programy do obliczeń ryzyka szkód piorunowych

W załączniku do normy PN-EN 62305-2 [1] został zamieszczony uproszczony program obliczeniowy do analizy ryzyka opracowany przez grupę roboczą TC 81 IEC z udziałem przedstawicieli Polski (także w wersji polskojęzycznej) [5]. Program ten nazwany IEC Risk Assessment Calculator (RAC) uwzględnia w obliczeniach zaledwie ok. 30 z ponad 70. parametrów zawartych w tekście normy i jest jedynie uproszczoną wersją analizy ryzyka zagrożenia piorunowego (rys. 2 a).

W Politechnice Warszawskiej opracowano alternatywną, pełną wersję oprogramowania o roboczej nazwie ALRISK (ang. Alternative Lightning Risk Calculation Software) [3,4,6]. Do obsługi programu jest wymagana przeglądarka internetowa zainstalowana na komputerze użytkownika, sieć komputerowa działająca w standardzie TCP/IP oraz platforma dla serwera. Wszystkie te trzy składniki mogą zostać zainstalowane na jednym komputerze, np. o architekturze PC i systemie operacyjnym Linux. Opracowano dwie wersje językowe nowego programu – polską oraz angielską. Przykładowy widok okna aplikacji został zamieszczony na rysunku 2 b.

Przykładowe obliczenia porównawcze ryzyka szkód piorunowych i wnioski

Przy użyciu obu programów RAC i ALRISK wykonano obliczenia ryzyka szkód piorunowych dla dwóch obiektów: A – budynku biurowego oraz B – stacji bazowej GSM, z antenami umieszczonymi na stalowej wieży. Zestawienie głównych danych przyjętych do obliczeń dla obu obiektów zamieszczono w tabelach 1 i 2. Dla obu obiektów przyjęto takie same wartości gęstości wyładowań doziemnych – 2,5 wył/km²/rok.

Obliczone wartości komponentów ryzyka szkód piorunowych dla analizowanych przypadków są zamieszczone w tabeli 3. Większość komponentów obliczonych przy użyciu programu ALRISK jest znacznie większa w porównaniu z wartościami uzyskanymi przy

zastosowaniu programu RAC (z wyjątkiem komponentu R_W , którego program RAC nie uwzględnia w ogóle).

a)

b)

Rys. 2. Widok aplikacji programów do obliczeń ryzyka szkód piorunowych: a) uproszczonego kalkulatora RAC, b) programu ALRISK (wersja polskojęzyczna).

Tabela 1. Dane dla budynku biurowego

Parametr	Opis i wartość współczynnika
Wymiary budynku	40 x 20 x 25 m
Współczynnik położenia	$C_d = 0.5$ (inne obiekty o tej samej lub o niższej wysokości)
Charakterystyka linii dochodzących do obiektu	Dwie linie kablowe o długości 250 m, brak transformatora w obiekcie
Współczynnik środowiskowy	$C_e = 0$ (obszar miejski)
Klasa urządzenia piorunochronnego LPS	III - IV
Poziom wytrzymałości udarowej urządzeń	$U_p = 2.5$ kV
Rodzaj strat	Utrata życia (L_1)
Inne współczynniki	$L_f = 0.05$ (straty w obiekcie wskutek szkody fizycznej) $L_o = 0.1$ (straty w obiekcie wskutek awarii układów wewnętrznych) $r_a = 0.001$ (powierzchnia gruntu o rezystancji $R < 1$ k Ω), $r_p = 0.5$ (środki ochrony ppoż), $r_f = 0.1$ (wysokie ryzyko pożaru), $h_z = 5$ (średni poziom paniki)

Największa różnica w otrzymanych wynikach uwidoczniła się w przypadku budynku biurowego dla komponentu R_A , który jest ok. 3 rzędów wielkości większy niż obliczony za pomocą RAC. Jest to spowodowane tym, że niektóre środki ochrony redukujące ryzyko zagrożenia dla ludzi nie są uwzględnione w programie RAC, np. współczynniki związane z redukcją ryzyka przez izolację przewodów lub ze stosowaniem środków ochrony przeciwpożarowej.

Tabela 2. Dane dla wieży GSM

Parametr	Opis i wartość współczynnika
Wymiary	15 x 15 x 70 m
Współczynnik położenia	$C_d = 1.0$ (obiekt odosobniony)
Charakterystyka linii dochodzących do obiektu	Dwie linie napowietrzne o długości do 250 m, transformator
Współczynnik środowiskowy	$C_e = 1$ (obszar wiejski)
Poziom wytrzymałości udarowej urządzeń	$U_p = 1.5$ kV
Klasa urządzenia LPS	I
Rodzaj strat	Utrata usług publicznych (L_2)
Inne współczynniki	$t = 8760$ (roczny czas utraty usług, w godzinach) $n_p/n_i = 0.01$ (liczba nieobsługiwanych użytkowników/ liczba obsługiwanych użytkowników)

Tabela 3. Wyniki obliczeń komponentów ryzyka

	A - Budynek biurowy (L_1 – utrata życia)		B - stacja GSM (L_2 – utrata usług)	
	RAC	ALRISK	RAC	ALRISK
R_D	3.86E-05	4.81e-04	4.89e-05	9.75e-05
R_I	2.90E-04	1.48e-04	2.30e-04	3.30e-05
$R_D + R_I$	3.29E-04	6.28e-04	2.79e-04	1.31e-04
R_T	1.00e-05		1.00e-03	
R_A	3.86e-08	3.85e-12	0.00e+00	0.00e+00
R_B	3.86e-05	4.81e-04	4.25e-05	8.48e-05
R_C	0.00e+00	0.00e+00	6.38e-06	1.27e-05
R_M	0.00e+00	0.00e+00	1.15e-05	5.06e-06
R_{LI}	5.81e-08	1.31e-10	0.00e+00	0.00e+00
R_V	2.90e-04	1.64e-05	3.14e-06	2.54e-05
R_W	0.00e+00	1.31e-04	3.14e-06	2.54e-06
R_Z	0.00e+00	0.00e+00	2.12e-04	4.20e-06

Porównując przykładowe wyniki obliczeń ryzyka przy zastosowaniu załączonego do normy [1] programu RAC oraz alternatywnego programu ALRISK opracowanego w Politechnice Warszawskiej [3,5], można stwierdzić, że uproszczony program RAC w ogólności zaniża wartości poszczególnych komponentów ryzyka szkód piorunowych w porównaniu z przypadkiem, gdy uwzględnia się wszystkie współczynniki zamieszczone w nowej normie PN-EN 62305-2 [1].

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2003-2006 jako projekt badawczy nr 4T10A 009 25.

LITERATURA

- [1] PN-EN 62305-2: 2006 (U). Ochrona odgromowa: Część 2: Zarządzanie ryzykiem.
- [2] PN-86/E-05003/01. Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Wymagania ogólne.
- [3] Łoboda M., Szewczyk M., Flisowski Z.: Lightning Risk Numerical Calculation Programme Based on Draft of New Version of IEC 62305-2. *Int. Conference on Lightning Protection (ICLP)*, Kraków, 2-6 września 2002, 10b.4, 842-847.
- [4] Surtes A.J., Gillespie A., Kern A., Rousseau A.: The Risk Assessment Calculator as a Simple Tool for the Application of the Standard IEC 62305-2. *VIII International Symposium on Lightning Protection*, 21-25. 11. 2005, Sao Paulo, Brazylia.
- [5] Łoboda M., Szewczyk M., Flisowski Z.: Metoda analizy ryzyka szkód piorunowych i jej oprogramowanie. *IV Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna Urządzenia Piorunochronne w Projektowaniu i Budowie*, Kraków, 2005, 31- 39.

Autorzy: dr inż. Marek Łoboda, Politechnika Warszawska, Katedra Wysokich Napięć i Aparatów Elektrycznych, ul. Koszykowa 75, 00 - 662 Warszawa, E-mail: marek.loboda@ien.pw.edu.pl; mgr inż. Marcin Szewczyk, Marcin.Szewczyk@ee.pw.edu.pl