

Zdobystaw Flisowski, Konrad Sobolewski, Przemysław Sul
Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny,
Zakład Wysokich Napięć i Kompatybilności Elektromagnetycznej

Czynniki wpływające na szkody piorunowe w instalacjach elektrycznych obiektów budowlanych¹⁾

Factors influencing occurrence of lightning losses in electrical installations of building facilities

Współczesne obiekty budowlane są powszechnie wyposażane w urządzenia elektryczne, teletechniczne i informatyczne, które są wrażliwe na oddziaływanie wyładowań piorunowych. Dotyczy to nie tylko wyładowań bezpośrednich w obiekt i we wchodzące do niego linie, lecz również wyładowań pobliskich [1, 2]. Wprawdzie wyładowania bezpośrednie – z uwagi na powodowane przez nie znaczne prądy i napięcia przewodzone oraz indukowane – są bardziej groźne dla tych urządzeń niż wyładowania pobliskie, ale są one niezbyt częste. Natomiast wyładowania pobliskie, trafiające w ziemię, w drzewa lub inne obiekty, chociaż wywołują mniejsze prądy i napięcia indukowane, są znacznie częstsze i dodatkowo zagrażają napięciami przewodzonymi w gruncie. Poza tym istnienie pobliskich drzew i innych obiektów przyczynia się do zmniejszenia liczby bezpośrednich wyładowań w obiekt na rzecz zwiększenia liczby i wartości indukowanych w nim przepięć.

Wyposażenie obiektu w różne urządzenia elektryczne wymaga zapewnienia im połączeń przewodowych i elektromagnetycznych z zewnętrznymi źródłami i innymi urządzeniami, co zwykle powoduje znaczne komplikacje zagrożeniowo-ochronne. Istnienie takich połączeń obiektu przyczynia się generalnie do zwiększenia liczby oddziaływań piorunowych na jego urządzenia, a dodatkowo – w przypadku połączeń zasilających obiekt w energię elektryczną – następuje wzrost zagrożenia prądami następczymi, zwłaszcza powstającymi w wyniku zwarć inicjowanych piorunowymi przeskokami na izolacji [6]. Dotyczyć to może zarówno linii niskiego napięcia, jak i linii średnich napięć, w stopniu zależnym od ich warunków strukturalno-zwarciovych. Oznacza to, że na zagrożenie

piorunowe wyposażenie obiektów ma wpływ nie tylko intensywność wyładowań piorunowych i inne czynniki strukturalno-środowiskowe całego zagrożonego nimi układu, lecz również czynniki strukturalno-środowiskowe układów zasilania i połączeń zewnętrznych.

W niniejszym artykule starano się scharakteryzować niektóre z tych czynników i dokonać oceny ich wpływu na zagrożenie wyposażenia elektrycznego obiektów budowlanych.

Wyładowania piorunowe i ich parametry

Spośród wielu form i cech charakteryzujących wyładowania atmosferyczne (wewnętrzne, doziemne, zupełne, niezupełne, odgórne, oddolne, dodatnie, ujemne, pojedyncze, wielokrotne itd.[5]) do najbardziej istotnych kwalifikują się wyładowania doziemne zupełne, pojedyncze i wielokrotne obu biegunowości. Ich intensywność charakteryzowana jest gęstością ich występowania na danym terenie i parametrami udarów prądowych [1, 2]. Gęstość wyładowań N_g na terenie Polski zawiera się w granicach od 1,0 do 3,5 wyładowań/km²/rok, a ekstremalne parametry piorunowe, odpowiadające poszczególnym poziomom ochrony (LPL – Lightning Protection Level) przyjmują wartości zestawione w tabeli 1.

Parametr n , ujmujący liczbę udarów następnym w wyładowaniu wielokrotnym, nie jest tu zbyt istotny. Istotna jest tu tylko znaczna stromość ich narastania, a więc i wartość indukowanych przez nie napięć, która może być 40-krotnie większa niż wartość przepięć indukowanych pierwszymi udarami. Natomiast priorytetową rangę mają tu – powiązane z LPL w tabeli 2 [1] – wartości parametrów piorunowych, niezbędnych do oceny wybiórczości piorunów przez uziemione elementy przewodzące obiektu.

¹⁾ Artykuł powstał na podstawie referatu wygłoszonego na VII Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Inżynieria elektryczna w budownictwie”, zorganizowanej w Krakowie, 25 października 2018 r., przez Oddział Krakowski SEP.

Ekstremalne wartości parametrów pioruna odpowiadające poszczególnym LPL

Parametr udaru	Symbol	Jednostka	Ekstremalne wartości			
			LPL I	LPL II	LPL III	LPL IV
Wartość szczytowa udaru „+”	I	kA	200	150		100
Wartość szczytowa udaru „-”	I	kA	100	75		50
Stromość narastania udaru następnego	S	kA/ μ s	200	150		100
Energia właściwa udaru „+”	W/R	MJ/ Ω	10	5,6		2,5
Kształt udaru „+”; „-”; następnego	T_1/T_2	μ s/ μ s	10 / 350; 1/200; 0,25 / 100			
Ładunek wyładowania	Q	As	300	225		150

Tabela 2

Parametry decydujące o wybiórczości wyładowań piorunowych

Minimalna wartość szczytowa prądu	I , kA	3	5	10	16
Minimalna odległość decyzji wybiórczej	r , m	20	30	45	60
Prawdopodobieństwo wystąpienia większych wartości	P	0,99	0,97	0,91	0,84

Liczba oddziaływających na obiekt piorunów N jest równa iloczynowi gęstości występujących na danym terenie wyładowań doziemnych N_g i równoważnej powierzchni ich zbierania przez obiekt A_{eq} [2], czyli wartości:

$$N = N_g A_{eq} \quad (1)$$

Liczba N_g może być określona na podstawie danych zarejestrowanych przez system lokalizacji wyładowań piorunowych (LLS – *Lightning Location System*) lub po prostu na podstawie charakterystyki izokeraunicznej danego terenu, czyli na podstawie – spodziewanej na nim, w ciągu roku – liczby dni burzowych N_D , według zależności:

$$N_g = 0,1 N_D \quad (2)$$

Powierzchnia A_{eq} zależy od rozmiarów obiektu i od jego kształtu, który zwykle jest opisywany w uproszczeniu prostopadłością. W takim przypadku nadaje się mu odpowiednie wymiary poziome a , b [m] oraz wysokość h [m], pozwalające wyznaczyć tę równoważną powierzchnię i spodziewaną liczbę trafień w obiekt z zależności:

$$N = N_g A_{eq} = N_g [ab + 2(a+b)mh + \pi m^2 h^2] 10^{-6} \quad (3)$$

przy czym m jest – zmieniającą się z wysokością obiektu h – jej krotnością, określoną zależnością [5]:

$$m = 13,4 h^{-0,48} \quad (4)$$

i przyjmując – dla obiektów o wysokości: $h = 7$ m, 10 m, 15 m i 20 m – następujące wartości: $m = 5,3; 4,4; 3,7; 3,2$.

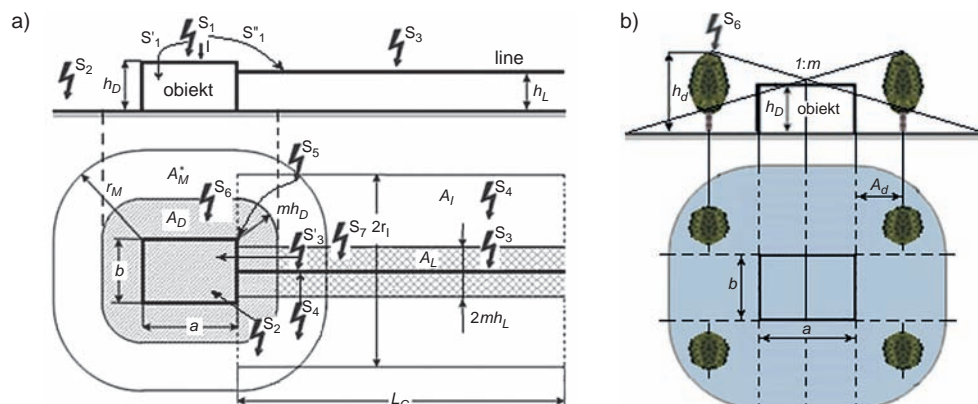
Jeżeli obiekt ma np. wymiary $a = 8$ m, $b = 15$ m, $h = 10$ m i znajduje się na terenie, gdzie $N_g = 2/\text{km}^2/\text{rok}$, to krotność $m = 4,4$ i powierzchnia równoważna $A_{eq} = 0,008226 \text{ km}^2$, a liczba trafień w obiekt w ciągu roku $N = 0,0165$, co oznacza, że na okres ok. 60 lat przypada jedno trafienie. Z kolei, jeżeli obiektem jest linia napowietrzna na otwartej przestrzeni, to w zależności (3) należy pominąć ostatni składnik sumy w nawiasie kwadratowym, co przy $b = 1$ km i $a \approx 0$ daje następującą zależność na określenie liczby trafień:

$$N = N_g A_{eq} = N_g 2mh 10^{-3} \quad (5)$$

Wynika z niej, że gdy $N_g = 2/\text{km}^2/\text{rok}$, $h = 10$ m i $m = 4,4$, to liczba $N = 0,176/\text{km}/\text{rok}$, a zatem na ok. 6 lat przypada jedno trafienie w kilometrowy odcinek linii.

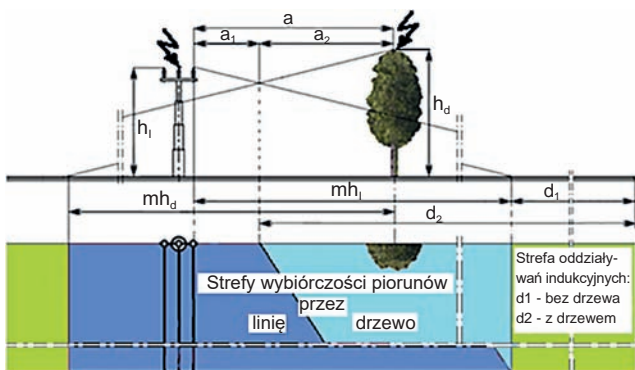
Stopień oddziaływania wyładowań piorunowych na obiekt i na jego wyposażenie elektryczne zależy od miejsca trafienia tych wyładowań (rys. 1). W postanowieniach normatywnych [2] wyróżnia się trafienia bezpośrednie S_1 w obiekt i S_3 we wchodzącą do niego linię oraz trafienia S_2 w pobliżu obiektu i S_4 w pobliżu tej linii. Oznacza to, że każdemu z tych trafień przypisano tylko jedno oddziaływanie albo na obiekt, albo na linię. Tymczasem każde z tych trafień może oddziaływać jednocześnie na obiekt i na linię.

Rys. 1. Przypadki oddziaływań piorunowych na obiekt
a) odosobniony z wchodzącą do niego linią,
b) otoczony wyższymi drzewami



Trafienie w obiekt S_1 razi go bezpośrednio prądem, ale jednocześnie staje się źródłem napięć indukowanych w jego obwodach instalacyjnych S_1' i we wchodzącej do niego linii S_1'' . Podobnie trafienia w linię S_3 – oprócz bezpośredniego wymuszania w niej prądów i napięć – oddziałują indukcyjnie na obwody instalacyjne obiektu S_3' , a wyodrębnione trafienia pobliskie S_2 i S_4 mogą być źródłem jednoczesnych oddziaływań indukcyjnych, zarówno na obwody instalacyjne obiektu jak i na wchodzące do niego linie.

Wyróżnione powyżej oddziaływania nie wyczerpują jeszcze wszystkich możliwych przypadków. Należy tu zwrócić szczególną uwagę na prądy i napięcia w gruncie, przewodzone od wszystkich pobliskich wyładowań S_5 do elementów przewodzących, pograżonych w tym gruncie i połączonych z instalacjami obiektu, a także na napięcia i prądy indukowane w obiekcie S_6 , i w linii S_7 przez wyładowania trafiające w bardziej zbliżone do nich drzewa i inne objekty [7]. Mogą one ograniczyć, nawet do zera, liczbę trafień bezpośrednich w obiekt (rys. 1b), a jednocześnie zwiększają liczbę napięć indukowanych i ich wartości, co wynika – jak pokazano na rysunku 2 – z przybliżenia kanału piorunowego do narażonych urządzeń (linii i obiektu).

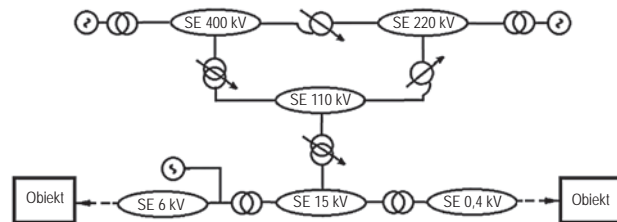


Rys. 2. Ilustracja wpływu pobliskich drzew (obiektów) na zasięg powierzchni równoważnej

Zagrożenia prądowe i przepięciowe

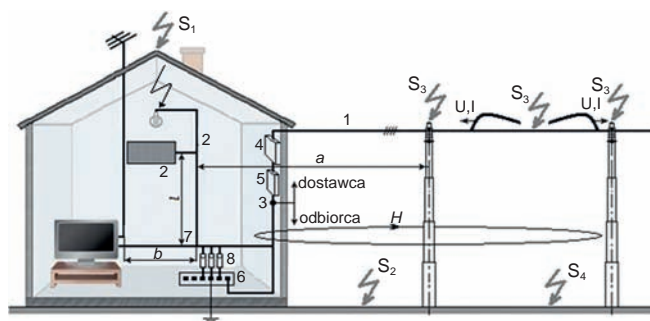
W instalacjach elektrycznych obiektu budowlanego nie można rozpatrywać zjawisk prądowych przepięciowych w odwołaniu od struktury i środowiska układu zasilającego, zwanego siecią elektroenergetyczną (SE) [8] i tworzonego przez zespół połączonych ze sobą elementów składowych, należących do pełnego lub częściowego zakresu napięciowego (rys. 3). Pełny zakres obejmuje napięcia od najwyższych (NN) poprzez wysokie (WN) i średnie (SN) do napięć niskich (nn). Instalacje elektryczne obiektów budowlanych należą do zakresu częściowego, obejmującego głównie niskie i często średnie napięcia, w których elementami składowymi są: linie (napowietrzne, kablowe i napowietrzno-kablowe), stacje, rozdzielnie i ich urządzenia wyposażeniowe, a więc i instalacje elektryczne obiektów, które są zasilane z linii bezpośrednio lub za pomocą transformatorów.

Zagrożenie piorunowe sieci jest tożsame z zagrożeniem tworzących ją elementów, co sprawia możliwość selektywnego podejścia do awaryjności piorunowej konkretnego elementu składowego sieci, z uwzględnieniem istotnych jej czynników lokalnych (własnych i środowiskowych) oraz oddziałujących na nie wyładowań piorunowych w zależności od ich parametrów.



Rys. 3. Struktura układu przesyłowo rozdzielczego lub sieci elektroenergetycznych (SE) w krajowym systemie elektroenergetycznym (SEE)

W podejściu selektywnym uwagę należy koncentrować na zagrożeniu linii niskich i *średnich napięć*, a w szczególności na zagrożeniu ich izolacji i przyłączonych do nich instalacji elektrycznych z ich wyposażeniem (rys. 4). Zwykle uszkodzenia występujące w urządzeniach znajdujących się pod napięciem zależą od prądów zwarciovych, a napięcia i prądy piorunowe służą tylko do ich inicjacji. Prądy piorunowe mają decydujący wpływ na stopień uszkodzenia urządzeń instalacyjnych obiektu z reguły w przypadku instalacji odłączonych od zasilania lub zasilanych z układu w miejscach charakteryzujących się niewielkimi prądami zwarciovymi.



Rys. 4. Obiekt z instalacją zasilaną z napowietrznej linii nn
1 – szyna, 2 – instalacja z urządzeniami odbiorczymi,
3 – punkt zmiany zakresu odpowiedzialności, 4 – złącze,
5 – licznik (rozdzielnica), 6 – szyna wyrównawcza,
7 – rozgałęzienie, 8 – SPD, $S_{1,2,3,4}$ – miejsca trafień

Z najpoważniejszymi uszkodzeniami, czysto piorunowymi, w urządzeniach elektrycznych obiektu (jak na rys. 4), należy się liczyć w przypadku trafień bezpośrednich w obiekt, niezależnie od tego czy istnieje, czy nie istnieje urządzenie piorunochronne (LPS). Przy istnieniu LPS prąd przepływa do instalacji przez szynę wyrównawczą, a przy braku LPS następuje jego dopływ do górnych części instalacji w wyniku bezpośredniego lub pośredniego (po przeskoaku iskrowym) dotarcia do nich kanału piorunowego. Zawsze należy się liczyć z pojawieniem się w instalacji prądów całkowitych lub częściowych o biegunowości dodatniej i wartościach ekstremalnych (tab.1), które w przypadku przyłączonych do złącza czterech przewodów mogą osiągać – zależnie od stopnia LPL – wartości od 12,5 kA do 25 kA i powodować w obwodach instalacyjnych znaczne przepięcia, wymagające właściwego doboru urządzeń do ich ograniczenia (SPD) [3].

Jeżeli obiekt byłby otoczony wyższymi od niego drzewami (jak na rys. 1b), to w grę mogłyby wchodzić tylko nadchodzące z linii przepięcia bezpośrednie i przepięcia w niej indukowane

oraz przepięcia indukowane w obiekcie. Wywołanie przepięć bezpośrednich w linii trafieniami w nią między obiektem a pierwszym jej słupem nie jest wykluczone, ale mało prawdopodobne, gdyż zwykle wysokość obiektu jest większa niż linii, a odległość do pierwszego słupa niewielka. Gdyby jednak takie trafienie miało miejsce, to prąd wnikaący do obiektu byłby o połowę mniejszy niż prąd trafienia bezpośredniego w obiekt. Zresztą w każdym przypadku trafień piorunowych w linii, prądy wnikaące z nich do instalacji obiektu ulegają redukcji, a to stanowi podstawę do uznania za ekstremalne (według tab. 1), wartości prądów piorunowych biegunowości ujemnej, czyli o połowę mniejszych niż w przypadku trafień piorunowych w obiekt.

Wnikaące do obiektu przepięcia bezpośrednie, powodowane trafieniami w wierzchołek pierwszego słupa lub poza nim w przewód linii (rys. 4), oraz przepięcia indukowane nie przekraczają spadku napięcia na tym słupie [5, 6]. Spadek ten, wywołany całkowitym prądem piorunowym ($i_s = i$), powoduje na izolatorze przeskok odwrotny i przenosi się na przewód wchodzący do obiektu, mając wartość wynikającą z zależności:

$$u_s = R_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt} \quad (6)$$

w której:

- R_s – rezystancja uziemienia słupa,
- L_s – indukcyjność słupa,
- di_s/dt – stromość narastania prądu w słupie.

Przy trafieniu piorunu w przewód linii, połowa całkowitego prądu $i/2$ dochodzi do wierzchołka słupa i po przeskoku na izolatorze ulega rozptyłowi. Część prądu w słupie przyjmuje wartość wynikającą z zależności:

$$i_s = \frac{Z_r}{Z_r + 2Z_s} i \quad (7)$$

przy czym:

- Z_r – impedancja falowa przewodu linii,
- Z_s – impedancja falowa słupa.

Przyjmując, dla wielkości występujących w zależności (6), następujące wartości: $R_s = 10 \text{ W}$; $i_s = 30 \text{ kA}$; $L_s = 10 \text{ }\mu\text{H}$; $di_s/dt = 30 \text{ kA}/\mu\text{s}$, uzyskuje się napięcie na słupie o wartości $u_s \approx 600 \text{ kV}$.

Jak już wspomniano, prąd i_s w trafionym przez piorun słupie – w chwili przeskoku na jego izolatorze (tak, jak i każdy inny prąd wyładowań pobliskich) – jest równy całkowitemu prądowi pioruna (i). Prąd ten w wyniku sprzężenia magnetycznego H może indukować odpowiednio napięcia i prądy w wewnętrznych pętlach instalacji elektrycznych. Jeżeli, na przykład, pętlę tworzy obwód o wymiarach l i b (jak na rys. 4) i znajduje się on w odległości a od słupa z prądem i_s , to uzyskuje się w przerwie tej pętli napięcie wyrażone zależnością:

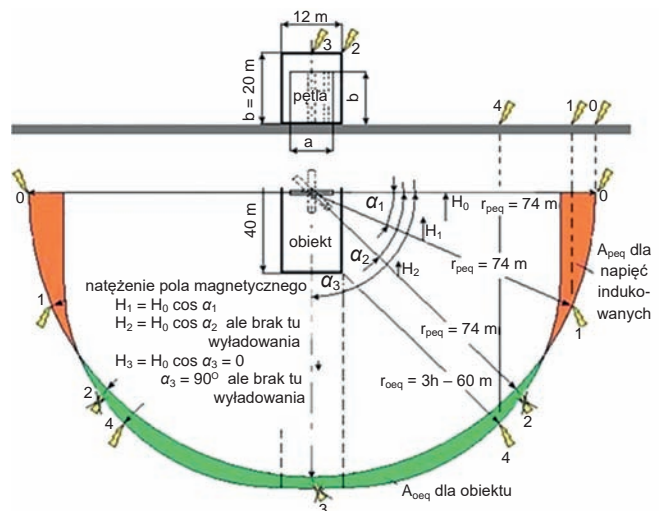
$$u = 0,2l \frac{di_s}{dt} \ln \frac{a+b}{a} \quad (8)$$

Jeżeli na przykład stromość prądu w słupie $di_s/dt = 30 \text{ kA}/\mu\text{s}$, pętla znajduje się w odległości $a = 40 \text{ m}$ od słupa, ma wymiary $l = 2,5 \text{ m}$ i $b = 4 \text{ m}$, to w przerwie tej pętli wystąpi napięcie o wartości $u \approx 1,5 \text{ kV}$, która odpowiada pierwszej kategorii przepięć [4] i nie stwarza większego zagrożenia dla urządzeń, ale może zakłócić ich pracę. W obiekcie mogą występować urzą-

żenia z pętlami o mniejszych wymiarach, ale wówczas o ich zagrożeniu decydują przyłączone do nich pętle zewnętrzne, np. utworzone przez przewody zasilające.

Przepięcia indukowane przez pobliskie wyładowania w pętlach instalacyjnych obiektu zależą też m.in. od struktury układu, uwidocznionego na rysunku 5, gdzie kanał piorunowy może znaleźć się w tej samej płaszczyźnie, co pętla (największe zagrożenie) lub w płaszczyźnie od niej odchylonej.

Kolor pomarańczowy na rysunku 5 oznacza powierzchnię oddziaływań indukcyjnych, wykraczającą poza powierzchnię równoważną danego obiektu, a kolor zielony odwrotnie – powierzchnię równoważną tego obiektu, która wykracza poza powierzchnię oddziaływań indukcyjnych. Płaszczyzna pętli może być usytuowana pod dowolnym kątem α względem prostej łączącej środek pętli z kanałem. Przy $\alpha = 0^\circ$ linie pola są prostopadłe do powierzchni pętli, a indukowane w niej napięcia są największe. Natomiast przy $\alpha = 90^\circ$ linie pola nie przenikają powierzchni pętli i nie ma w niej napięcia indukowanego. Jak widać, tylko niewielkie kąty są istotne dla liczących się oddziaływań indukcyjnych i one – z uwagi na losowość zdarzeń – muszą służyć za podstawę przy szacowaniu realnego zagrożenia.



Rys. 5. Układ pętli instalacyjnej względem kanału piorunowego i zasięgi jego oddziaływania

Zasięg powierzchni równoważnej obiektu jest wyznaczony promieniem r_{oeq} , a zasięg oddziaływań indukcyjnych promieniem r_{peq} . Oznacza to, że maksymalne sprzężenie magnetyczne wymaga spełnienia warunku $r_{peq} > r_{oeq}$, a tym samym warunku:

$$u_i = 0,2b \left(\ln \frac{r_{peq} + 0,5a}{r_{peq} - 0,5a} \right) \frac{di}{dt} > U_w \quad (9)$$

zgodnie z którym napięcie indukowane u_i staje się większe niż napięcie U_w wytrzymałwane przez rozpatrywane urządzenie (jego kategorię przepięć). Oznacza to również, że problem zagrożenia napięciem u_i znika, jeżeli minimalny zasięg powierzchni równoważnej obiektu spełnia warunek:

$$r_{pegmin} < \left\{ -0,5a \left[1 + \exp \left(\frac{U_w}{0,2b \frac{di}{dt}} \right) \right] \right\} \left[1 - \exp \left(\frac{U_w}{0,2b \frac{di}{dt}} \right) \right] \quad (10)$$

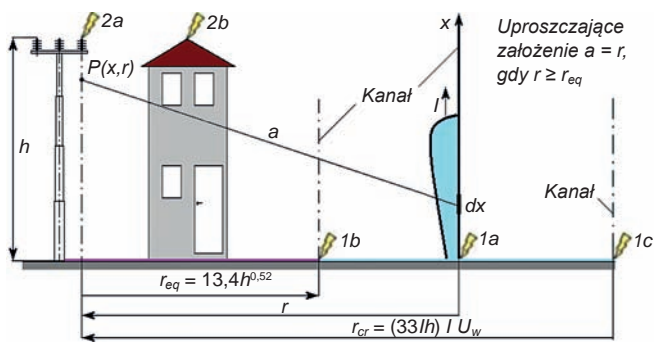
Przykład

Gdy pętla ma długość $a = 1,4$ m i wysokość $b = 10$ m, a stromość $di/dt = 39,9$ kA/ μ s i napięcie wytrzymałowe $U_w = 1,5$ kV, to zasięg oddziaływań indukcyjnych ma wartość $r_{peq\ min} = 74$ m.

Na pewną uwagę zasługują jeszcze – wspomniane wcześniej – napięcia indukowane w linii i wnikające z niej do instalacji obiektu i napięcia wywoływane przez trafienia piorunowe w powierzchnię ziemi lub w drzewa i przewodzone od kanału piorunowego w gruncie do pobliskich elementów przewodzących, na przykład do kabli wprowadzanych do obiektu.

Wyznaczanie, we wchodzącej do obiektu linii, napięć indukowanych przez pobliskie wyładowania piorunowe (rys. 6), wymaga znajomości, wytwarzanego przez nie, pod przewodami linii, np. w punkcie $P(x,r)$, natężenia pola elektrycznego E_x . Natężenie to uzyskuje się z – opartej na antenowej teorii fal – zależności [5]:

$$E_x = -\frac{30I}{\sqrt{x^2+r^2}} \quad (11)$$



Rys. 6. Układ obliczeniowy napięć indukowanych w linii

W linii bez sąsiednich obiektów w grę wchodzi wyładowania występujące od niej w odległości większej niż r_{eq} i mniejszej niż r_{cr} . Wówczas w układzie, jak na rysunku 6, można w przybliżeniu przyjąć, że $r \gg x$, $a \approx r$ i że w każdym punkcie $P(x,r)$, na całej wysokości h , natężenie pola elektrycznego ma średnią wartość:

$$E_{x\bar{s}r} = -\frac{30Ik}{r} \quad (12)$$

Uznając za optymalną dla współczynnika k wartość $k = 1,1$ i mnożąc zoptymalizowaną w ten sposób wartość natężenia pola $E_{x\bar{s}r}$ przez wysokość linii h uzyskuje się zależność – ujmującą napięcie indukowane w linii – w postaci:

$$u_i = \frac{33Ih}{r} \quad (13)$$

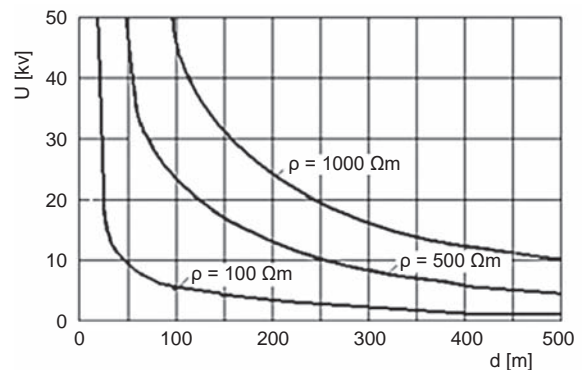
Granica strefy znaczących oddziaływań indukcyjnych wyładowania piorunowego na linię jest wyznaczona przez – zwymiarowany na rysunku 6 – zasięg krytyczny $r_{cr} = 33lh/U_w$ i zależy od napięcia U_w wytrzymałowego przez zagrożone urządzenie, a więc od ich kategorii przepięć [4]. Na przykład, jeżeli urządzenie jest zaliczone do pierwszej kategorii przepięć ($U_w = 1,5$ kV), prąd piorunu ma wartość $I = 100$ kA, a wysokość linii $h = 7$ m, to wyładowanie piorunowe staje się niegroźne do-

piero w odległości większej niż $r_{cr} = 15,4$ km. Istnienie sąsiednich obiektów powoduje przybliżenie kanału piorunowego do linii (trafienie $2b$ na rys. 6), a w konsekwencji zwiększa w niej liczbę i wartość napięć indukowanych kosztem liczby przepięć bezpośrednich.

Ostatni, lecz nie mniej istotny, z rozważanych tu czynników oddziaływania piorunowego na wyposażenie elektryczne obiektu dotyczy sprężer rezystancyjnych, jakie występują między pograżonymi w gruncie przewodzącymi elementami instalacji obiektów a pobliskim kanałem piorunowym (trafienie S_5 na rys. 1a). Efektem takich sprężer są napięcia powstające na tych elementach i osiągające wartości wynikające z zależności:

$$U = \frac{I\rho}{2\pi d} \quad (14)$$

Wartości U maleją hiperbolicznie ze wzrostem odległości d od kanału piorunowego, co z ilustrowano na rysunku 7, przy rezystywności gruntu ρ , jako parametrze.



Rys. 7. Napięcia sprężer rezystancyjnych

Jak widać, napięcia wywoływane pobliskimi wyładowaniami piorunowymi w powierzchnię ziemi, lub w znajdujące się na niej drzewa, i przewodzone w gruncie do znajdujących się w nim elementów przewodzących i przyłączonych do szyny wyrównawczej obiektu, mogą mieć stosunkowo duże wartości, które poprzez tę szynę przenoszą się do obwodów instalacyjnych.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych rozważań można w sposób oczywisty stwierdzić, że skutki oddziaływania wyładowań piorunowych na wyposażenie elektryczne obiektów zależą od wielu czynników i mogą być bardzo zróżnicowane. Największe zagrożenie stwarzają wyładowania bezpośrednie w obiekt i ocena tego zagrożenia powinna być oparta na ekstremalnych parametrach wyładowań biegunowości dodatniej. Ekstremalne parametry wyładowań ujemnych mogą być brane pod uwagę tylko wtedy, gdy nie ma bezpośrednich wyładowań w obiekt i jego wyposażenie elektryczne jest narażone na przepięcia wywoływane trafieniami we wchodzące do obiektu linii i na przepięcia powodowane wyładowaniami pobliskimi, w tym na przepięcia indukowane, których wartość jest uzależniona w sposób zasadniczy od stromości narastania udarów następujących w wyładowaniu wielokrotnym.

Przy ocenie zagrożenia urządzeń elektrycznych w obiekcie budowlanym należy zdecydowanie odróżniać liczbę spodziewanych groźnych zdarzeń i powodowanych nimi przepięć od ich wartości, gdyż ich liczbę stanowią wszystkie zdarzenia, a liczące się wartości są związane tylko z trafieniami bezpośrednimi w obiekt, a jeżeli takich nie ma, to tylko z trafieniami we wchodzące do obiektu linie i znajdujące się w bardzo bliskim sąsiedztwie inne obiekty lub drzewa.

PIŚMIENNICTWO

- [1] PN-EN 62305-1:2010 – Ochrona odgromowa. Część 1: Ogólne zasady.
- [2] PN-EN 62305-2:2011 – Ochrona odgromowa. Część 2: Zarządzanie ryzykiem.
- [3] PN-EN 61643-11:2013 – Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia. Część 11: Urządzenia ograniczające prze-

pięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia. Wymagania i metody badań (oryg.).

- [4] PN-EN 60664-1: 2006. Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia. Część 1: Zasady, wymagania i badania.
- [5] Flisowski Z., *Trendy rozwojowe ochrony odgromowej budowli. Część I. Wyładowania piorunowe jako źródło zagrożenia*. PWN, Warszawa 1985.
- [6] Flisowski Z. *Technika wysokich napięć*. WNT, Warszawa 2015, wyd. VI.
- [7] Flisowski Z., Sul P., Subtleties affecting the exactness of the assessment of the structure lightning hazard. Materiały 34 ICLP, Rzeszów 2018.
- [8] Wasiak I., *Elektroenergetyka w zarysie. Przesył i rozdział energii elektrycznej*. Skrypt, Politechnika Łódzka, Łódź 2010.



Jarosław Wiater

Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny,
Laboratorium Techniki Wysokich Napięć

Laboratoryjne badania odporności na prądy piorunowe przewodzących i nieprzewodzących próbek pokrycia dachowego¹⁾

Laboratory testing of conductive and non-conductive roof covering samples resistance to lightning currents

Na poziom bezpieczeństwa obiektów budowlanych mają bezpośredni wpływ występujące w naturze burze, ich pioruny i powodowane przez nie przepięcia. Istotne zagrożenia stanowi prąd doziemnego wyładowania piorunowego. Przepływowi prądu piorunowego przez urządzenie piorunochronne, elementy konstrukcyjne obiektu lub inne instalacje przewodzące mogą towarzyszyć następujące zjawiska (rys. 1):

- erozja termiczna metalu w miejscu kontaktu z kanałem piorunowym,
- rozżarzenie elementów metalowych wzdłuż drogi przepływu prądu,
- elektrodynamiczna deformacja torów prądowych,

- uszkodzenia mechaniczne spowodowane wstrząsową falą akustyczną,
- iskrzenie na stykach elementów przewodzących.

W zależności od charakteru obiektu i zastosowanego urządzenia piorunochronnego dominujące są zwykle tylko niektóre z wymienionych zjawisk. Najgorszy scenariusz występuje przy braku urządzenia piorunochronnego.

Przy współpracy z firmą projektową i wykonawczą przeprowadzono badania skutków przepływu prądu piorunowego przez różnego rodzaju poszycia dachowe. Poniżej opisane badania odzwierciedlają sytuację, w której dochodzi do bezpośredniego wyładowania piorunowego w poszycie dachowe niechronione lub chronione w sposób niewłaściwy od wyładowań piorunowych. Materiał powstał ku przestrodze – dla osób chcących „oszczędzić” podczas budowy nowego obiektu.

¹⁾ Artykuł powstał na podstawie referatu wygłoszonego na VII Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Inżynieria elektryczna w budownictwie”, zorganizowanej w Krakowie, 25 października 2018 r., przez Oddział Krakowski SEP.