

# ochrona odgromowa systemów fotowoltaicznych na rozległych dachach płaskich

prof. dr hab. inż. Andrzej Sowa – Politechnika Białostocka

**Systemy fotowoltaiczne PV (ang. Photovoltaic) przetwarzają bezpośrednio promieniowanie słoneczne na energię elektryczną bez zanieczyszczeń, hałasu i innych zmian w środowisku naturalnym. Fakt ten, w połączeniu ze spadkiem kosztów systemów PV, powoduje szybki rozwój tego rodzaju źródeł zasilania.**

W każdym z systemów PV wymagane jest umieszczenie kolektorów fotowoltaicznych w miejscach bezpośredniego działania promieni słonecznych. Takim miejscem są dachy płaskie obiektów budowlanych. Wzrastające powierzchnie coraz częściej stosowanych kolektorów powodują wzrost zagrożenia piorunowego systemów PV. Stwarza to potrzebę rozważenia sposobów ochrony kolektorów przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym oraz przed przepięciami atmosferycznymi w instalacjach prądu stałego i przemiennego oraz w systemach sterujących pracą systemu (jeśli takie systemy sterowania są stosowane).

## ochrona przed bezpośrednim działaniem prądu piorunowego

Wykorzystując zalecenia zawarte w normach ochrony odgromowej obiektów budowlanych [1, 2, 3] przedstawione zostaną zasady ochrony odgromowej kolektorów fotowoltaicznych umieszczanych na płaskich dachach budynków (fot. 1.).

### streszczenie

W artykule przedstawiono zasady ochrony kolektorów fotowoltaicznych przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym. Szczegółowo omówiono sposoby wyznaczania odstępów izolacyjnych pomiędzy elementami urządzenia piorunochronnego a kolektorami.

W przypadku montażu kolektorów fotowoltaicznych na dachu obiektu budowlanego chronionego przed wyładowaniami piorunowymi należy skoordynować przewidywane rozwiązanie ochrony odgromowej kolektorów z elementami już istniejącego urządzenia piorunochronnego.

W takich obiektach zainstalowanie kolektorów należy potraktować jako zmiany w ich wyposażeniu [2, 5], co może wymagać modyfikacji istniejących urządzeń piorunochronnych.

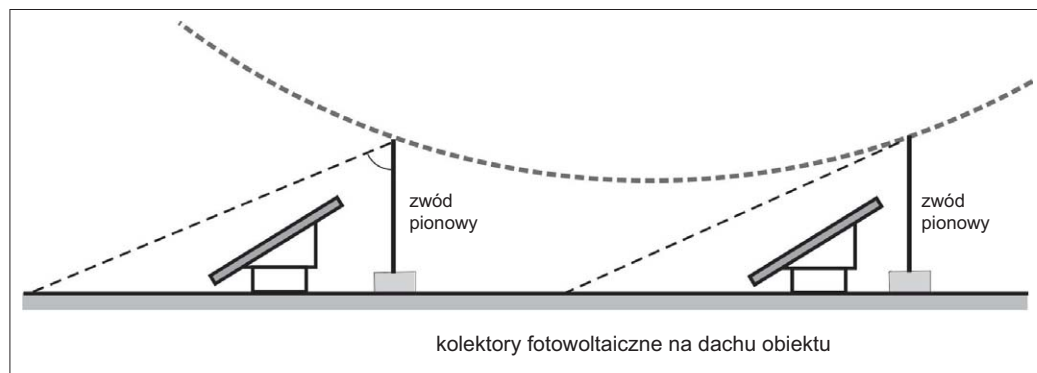
Przystępując do projektowania ochrony odgromowej kolektorów fotowoltaicznych należy spełnić przedstawione poniżej zalecenia:

- poznać projekt istniejącego urządzenia piorunochronnego obiektu, wyniki prowadzonych oględzin i przeglądów okresowych oraz dokonać przeglądu jego obecnego stanu zwracając szczególną uwagę na istniejący stan systemu uzimowego (sprawdzenie stopnia skorodowania),



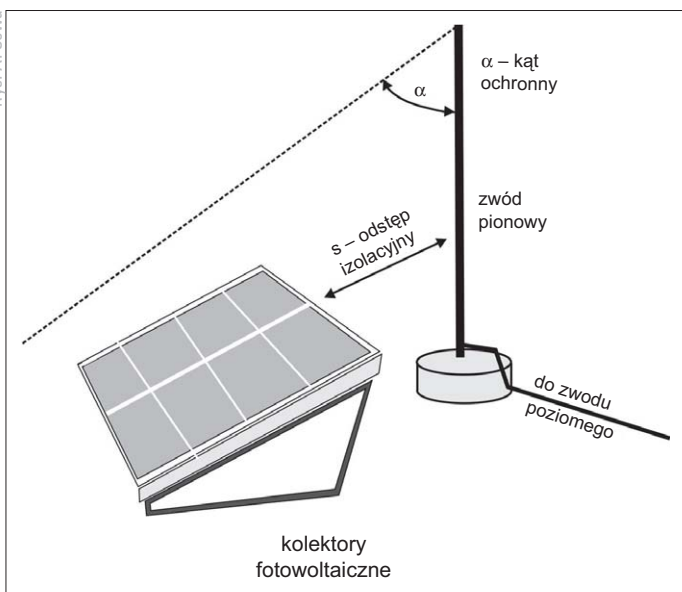
Fot. 1. Kolektory fotowoltaiczne na płaskim dachu obiektu budowlanego [10]

- sprawdzić istniejące rozwiązanie systemu ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym. Dotyczy to szczególnie rozmieszczenia układu SPD typu 1, który zgodnie z wymaganiami norm ochrony odgromowej powinien znajdować się w obiekcie posiadającym urządzenie piorunochronne,
- przeprowadzić analizę ryzyka obiektu z zainstalowanymi kolektorami fotowoltaicznymi i określić wymagany poziom ochrony. Sprawdzić, czy wymagania wynikające z wyznaczonego poziomu ochrony spełnia urządzenie piorunochronne już istniejące na obiekcie,
- w przypadku stwierdzenia niższego poziomu ochrony instalacji istniejącej na obiekcie, w porównaniu z poziomem wyznaczonych dla obiektu z kolektorami, należy



Rys. 1. Ochrona odgromowa kolektorów na dachu płaskim

Rys. A. Sowa



**Rys. 2.** Zależność kąta osłonowego od wysokości zwodu oraz wybranego poziomu ochrony

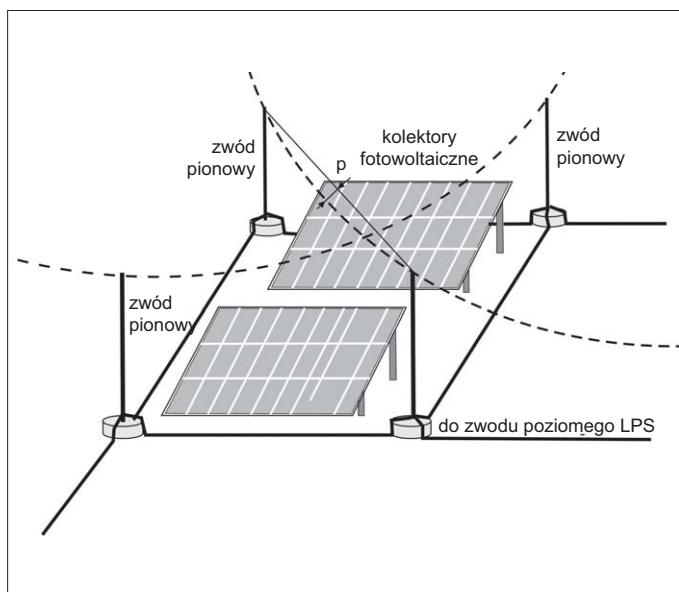
dokonać uzupełnień lub modernizacji istniejącego urządzenia piorunochronnego,

- po spełnieniu powyższych wymagań należy przystąpić do projektowania i wykonywania urządzenia piorunochronnego chroniące-

go kolektory oraz inne urządzenia systemu fotowoltaicznego.

Przeprowadzając analizę ryzyka należy uwzględnić m.in.:

- wymagane środki finansowe wymagane do redukcji zagrożenia piorunowego,



**Rys. 3.** Zasada określania stref ochronnych za pomocą kąta ochronnego oraz toczącej się po dachu kuli

- koszty ewentualnych napraw uszkodzonych systemów,
- różnice w opłatach ubezpieczeniowych w przypadku systemu, który posiada lub jest pozbawiony urządzenia piorunochronnego,

- wartość mienia narażonego na szkodę,
- inne czynniki związane z wymaganiami, jakie stawiane są przed instalacją elektryczną, do której doprowadzana jest energia z systemu fotowoltaicznego.

reklama



## Wiosenne pakiety – w zestawach tablety

### „Pakiet wiosenny” zawiera:

- 5x DEHNshield TNS 255** (DSH TNS 255) – kombinowany ogranicznik przepięć typu 1 na bazie iskierników, nr kat. 941 400;
- 10x DEHNguard M TNS 275** (DG M TNS 275) – ogranicznik przepięć typu 2, nr kat. 952 400;
- 1x PENTAGRAM TAB 7.5 Dual Core IPS** – tablet multimedialny z systemem Android.



Pakiet dostępny w najlepszych hurtowniach elektrotechnicznych\*. Zapytaj swojego sprzedawcę o cenę!

DEHN chroni.

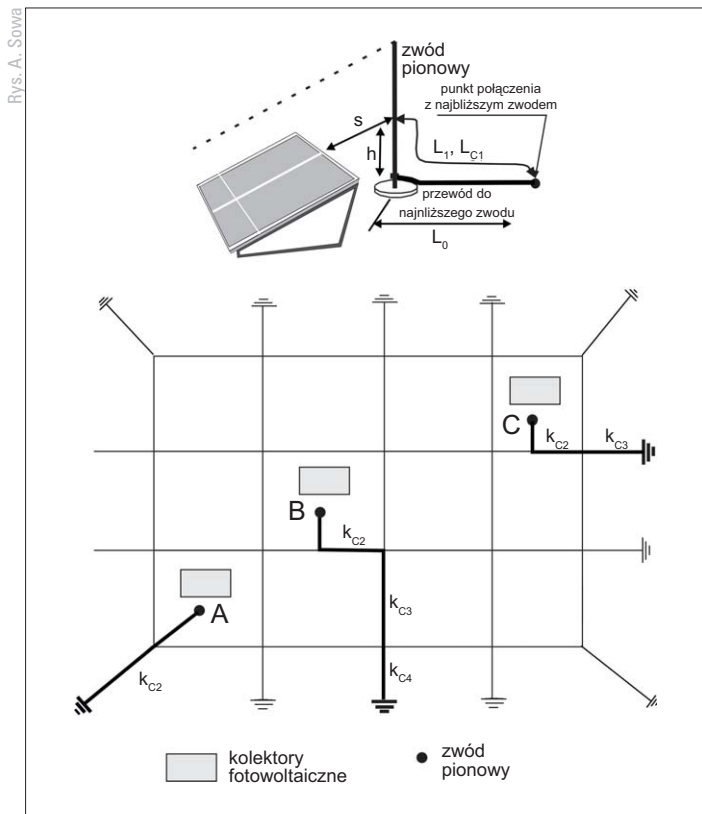
Ochrona odgromowa, ochrona przed przepięciami, sprzęt bezpieczeństwa

DEHN POLSKA sp. z o.o.

ul. Poleczki 23, 02-822 Warszawa, tel./fax (22) 335-24-66 do 69, www.dehn.pl

Współczynnik	Wartość
$k_i$ – uzależniony od klasy LPS	0,08 – I klasa LPS 0,06 – II klasa LPS 0,04 – III i IV klasa LPS
$k_m$ – uzależniony od materiału odstepu izolacyjnego	1 – powietrze 0,5 – beton, cegła
$L$ – długość w metrach	Długość mierzona wzdłuż przewodu odprowadzającego od punktu rozpatrywanego zbliżenia do punktu najbliższego połączenia wyrównawczego

Tab. 1. Wartości współczynników występujących w zależności określającej wartość odstepu izolacyjnego



Rys. 4. Analizowany przypadek ochrony odgromowej urządzenia na dachu obiektu budowlanego z urządzeniem piorunochronnym

Dokładne zasady wyboru poziomów ochrony przedstawiono w normie PN-EN 62305-2 [2, 5].

Projektowane urządzenie piorunochronne powinno spełniać następujące wymagania:

- zapewnić ochronę kolektorów oraz innych urządzeń systemu fotowoltaicznego przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym,
- podczas bezpośredniego wyładowania w elementy stworzonego urządzenia piorunochronnego stacji prąd piorunowy powinien być odprowadzony do systemu uziomowego bezpiecznie dla urządzeń na dachu oraz instalacji i urządzeń w środku obiektu budowlanego,
- systemy wyrównywania potencjałów oraz uziomowy powinny zapewnić poprawne działanie systemów fotowoltaicznych oraz bezpieczeństwo ludzi w obiekcie.

Poniżej przeanalizowany zostanie przypadek ochrony odgromowej ko-

lektorów fotowoltaicznych umieszczonych na rozległym dachu płaskim obiektu budowlanego (fot. 1).

Podstawowe zasady ochrony przed bezpośrednim oddziaływaniem prądu piorunowego zawarto w normach ochrony odgromowej [3, 4], w których stwierdzono, że „wszystkie urządzenia dachowe z materiałów izolacyjnych lub przewodzących, które zawierają wyposażenie elektryczne i/lub służące przetwarzaniu informacji, powinny znajdować się w przestrzeni ochronnej układu zwodów”.

Jeśli powyższe zalecenia nie będą spełnione, to bezpośrednie wyładowanie piorunowe w elementy systemu PV może doprowadzić do zniszczenia samego systemu fotowoltaicznego oraz instalacji elektrycznej i urządzeń zainstalowanych wewnątrz obiektu budowlanego.

Ochronę przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym zapewnia umieszczenie elementów systemu fotowoltaicznego w przestrzeni chronionej. Taką przestrzeń można stworzyć stosując odpowiednio dobrane układy zwodów pionowych (rys. 1.) lub poziomych.

Określając obszar przestrzeni chronionej tworzonej przez pojedynczy zwód lub kilka zwodów należy uwzględnić wymagania dotyczące kątów ochronnych oraz odstępów izolacyjnych uniemożliwiających powstawanie przeskoków iskrowych.

Zalecenia norm ochrony odgromowej [3] uzależniają wartości kątów ochronnych od poziomów ochrony wymaganych dla rozważanego obiektu oraz wysokości zwodów (rys. 2.).

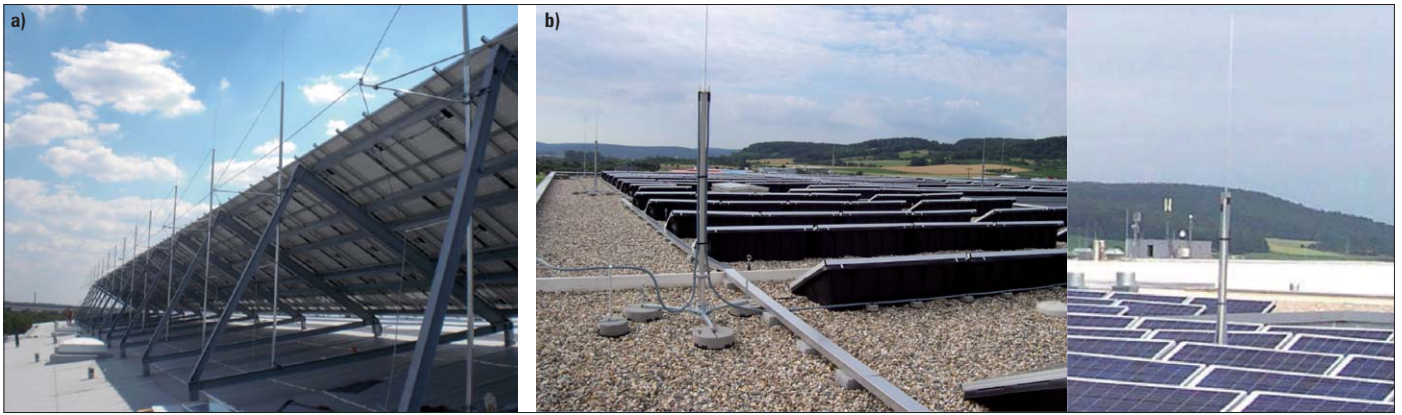
W przypadku kilku kolektorów strefę ochronną tworzoną przez zwody można wyznaczyć wykorzystując zasadę toczącej się po dachu kuli. W tych miejscach na powierzchni dachu, które nie są dotykane przez kulę, nie istnieje zagrożenie bezpośrednim uderzeniem pioruna (rys. 1. i 3.). Wartości promienia kuli wynoszą 20 m, 30 m, 45 m i 60 m odpowiednio dla I, II, III i IV poziomu ochrony odgromowej.

Tworząc system zwodów na dachach obiektów budowlanych na-

Przypadki	Odstępy izolacyjne
Przypadek A	$k_{c1} = 1, \quad k_{c2} = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c}{h}} = \frac{1}{2 \cdot 14} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{20m}{8m}} \cong 0,407$ $s \geq \frac{k_i}{k_m} (k_{c1} \cdot L_1 + k_{c2} \cdot H) = 0,04 \cdot (1 \cdot 8m + 0,407 \cdot 8m) = 0,45m$ $S \geq 45cm$
Przypadek B	$k_{c1} = 1, \quad k_{c2} = 0,5, \quad k_{c3} = 0,25, \quad k_{c4} = 0,125$ $s \geq \frac{k_i}{k_m} \left( k_{c1} \cdot L_1 + k_{c2} \cdot \frac{c}{2} + k_{c3} \cdot c + k_{c4} \cdot H \right) =$ $0,04 \cdot (1 \cdot 8m + 0,5 \cdot 10m + 0,25 \cdot 20m + 0,125 \cdot 8m) = 0,76m$ $S \geq 76cm$
Przypadek C	$k_{c1} = 1, \quad k_{c2} = 0,5, \quad k_{c3} = 0,25$ $s \geq \frac{k_i}{k_m} \left( k_{c1} \cdot L_1 + k_{c2} \cdot \frac{c}{2} + k_{c3} \cdot H \right) = 0,04 \cdot (1 \cdot 8m + 0,5 \cdot 10m + 0,25 \cdot 8m) = 0,6m$ $S \geq 60cm$

Tab. 2. Przykłady wyznaczania odstępów izolacyjnych





Fot. 2. Przykładowe rozwiązania ochrony odgromowej kolektorów fotowoltaicznych na dachach płaskich: a) wykorzystanie izolacyjnych elementów dystansujących, b) wykorzystanie przewodów o izolacji wysokonapięciowej [10]

leży uwzględnić nie tylko wymiary strefy osłonowej, ale również zachowując odpowiednie odstępy izolacyjne, uniemożliwiające wystąpienie przeskoków iskrowych pomiędzy zwodami i przewodami instalacji piorunochronnej a chronionymi urządzeniami.

W normach ochrony odgromowej przyjęto określać minimalne wartości odstępów izolacyjnych za pomocą następującej zależności:

$$s \geq k_1 \frac{k_c}{k_m} \cdot L$$

Wartości zastosowanych współczynników zestawiono w tabeli 1. W większości obiektów budowlanych, wyznaczając długość  $L$  pomiędzy miejscem wyładowania a najbliższym miejscem uziemienia przewodu odprowadzającego, uwzględniamy przewody, w których płyną prądy o różnych wartościach.

Z tego faktu wynikają zmiany wartości współczynników  $k_c$  dla poszczególnych przewodów instalacji piorunochronnej i należy to uwzględnić przy obliczaniu odstępów izolacyjnych. Odstęp izolacyjny dla takiego przypadku określany jest zależnością:

$$s \geq \frac{k_1}{k_m} \left( k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot l_2 + \dots \right) + k_{cm} \cdot l_m$$

gdzie:

$l_1, l_2, \dots, l_m$  – odcinki przewodów instalacji piorunochronnej, w których płyną prądy o różnych wartościach, określane przez współczynniki  $k_{c1}, k_{c2}, \dots, k_{cm}$ .

W zaleceniach normy ochrony odgromowej [4] w wybranym sposobie wyznaczania współczynnika  $k_c$  przyjęto następujące założenia:

- dla dowolnego przewodu, który jest elementem drogi  $L$ , wartość współczynnika  $k_c$  określa zależność:

reklama

Polski  
Producent  
Osprzętu  
Odgromowego



# BŁYSKAWICA

UCHWYTY, ZŁĄCZA

ŚRUBY, PRĘTY

MASZTY I IGLICE

INNE



*Śpij spokojnie to tylko burza*

[www.blyskawica.com.pl](http://www.blyskawica.com.pl)

55-200 Oława • Ścinawa Polska 76 • tel./fax 71 313 39 03, 71 302 84 94



Fot. 3. Ochrona elementów systemu fotowoltaicznego przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym [10]

$$k_c = \frac{I_{lx}}{I_p}$$

gdzie:

$I_{lx}$  i  $I_p$  – odpowiednio wartości szczytowe prądu płynącego w dowolnym przewodzie urządzenia piorunochronnego (stanowiącego część drogi L) oraz prądu piorunowego,

2. analizując wartości prądów płynących w poszczególnych elementach tworzących drogę L należy przyjąć, że po przejściu przez punkt krzyżowania się zwodów prąd płynący w kolejnym elemencie, wzdłuż drogi L, jest równy połowie prądu wpływającego do tego punktu,
3. łącząc przewód idący od zwodu pionowego ze zwodem poziomym urządzenia piorunochronnego zakłada się równomierny podział prądu w tym zwodzie,
4. w przypadku przewodów odprowadzających należy porównać wartości współczynników  $k_c$  wyznaczonych za pomocą punktów 2 i 3 oraz zależności  $k_c=1/n$  (gdzie n jest liczbą

przewodów odprowadzających) i wybrać większą wartość.

Sposób wyznaczania odstępów izolacyjnych zostanie przedstawiony na przykładzie ochrony odgromowej kolektorów fotowoltaicznych umieszczonych na dachu obiektu budowlanego o wymiarach 60 m×80 m i wysokości H=8 m. Podstawowe informacje niezbędne do wyznaczenia odstępów izolacyjnych zestawiono poniżej:

- do ochrony kolektora słonecznego wykorzystano zwód pionowy, który połączono ze zwodem poziomym,
- n=14 przewodów odprowadzających urządzenia piorunochronnego,
- IV poziom ochrony odgromowej,
- współczynnik  $k_1=0,04$ , siatka zwodów na dachu o wymiarze 20 m×20 m,
- odstęp izolacyjny w powietrzu, współczynnik  $k_m=1$ ,
- odstęp izolacyjny wyznaczony jest na wysokości h=1 m, długość przewodu łączącego zwód pionowy

ze zwodem poziomym  $L_0=7$  m,  $L_1=L_0+h=8$  m (rys. 4),

- przykłady liczbowe wyznaczania odstępów izolacyjnych przedstawiono w tabeli 2.,
- otrzymane wyniki wskazują, że w zależności od miejsca zainstalowania kolektorów fotowoltaicznych występują różne odstępów izolacyjne.

W przedstawionym przykładzie zmieniły się od 45 cm do 76 cm i do ochrony kolektorów można zastosować:

- zwody pionowe (rozwiązanie przedstawione na rysunku 4.),
- zwody mocowane za pomocą izolowanych elementów dystansujących bezpośrednio do elementów kolektorów (fot. 2a),
- przewody o izolacji wysokonapięciowej zastępującej wymagane odstępów izolacyjne (fot. 2b).

W niektórych obiektach budowlanych nie jest możliwa ochrona elementów systemu fotowoltaicznego przed bezpośrednim oddziaływaniem prądu piorunowego. W takich przypadkach wskazana jest ochrona przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym, np. wykorzystując dodatkowe zwody mocowane do kolektorów. Przykładowe rozwiązania ochrony kolektorów przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym, ale nie przed oddziaływaniem rozpryskającego się prądu piorunowego, przedstawiono na fotografii 3.

## podsumowanie

Poprawnie zaprojektowane i wykonane urządzenie piorunochronne powinno zapewnić ochronę systemów fotowoltaicznych przed bezpośrednim wyładowaniem piorunowym i wyeliminować możliwość wniesienia prądu piorunowego do obiektu. Tworząc taką ochronę należy umieścić chronione elementy systemu fotowoltaicznego w przestrzeniach chronionych i zachować bezpieczne odstępów izolacyjne pomiędzy nimi a elementami urządzenia piorunochronnego. W artykule przedstawiono zasady wyznaczania takich odstępów

w przypadku umieszczenia kolektorów na rozległych dachach płaskich. Należy zauważyć, że zapewnienie bezawaryjnego działania systemów fotowoltaicznych wymaga dodatkowo ograniczenia napięć i prądów udarowych występujących w instalacji elektrycznej oraz obwodach sygnałowych.

## literatura

1. PN-EN 62305-1:2008 Ochrona odgromowa. Część 1: Wymagania ogólne.
2. PN-EN 62305-2:2008 Ochrona odgromowa. Część 2: Zarządzanie ryzykiem.
3. PN-EN 62305-3:2009 Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów budowlanych i zagrożenie życia.
4. PN-EN 62305-3:2011 Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia.
5. PN-EN 62305-2:07, 2012 Ochrona odgromowa. Część 2: Zarządzanie ryzykiem.
6. S. M. Pietruszko, Systemy fotowoltaiczne w zastosowaniach energetycznych.
7. F. Figler, Blitzschutz von Photovoltaik-Anlagen. VDB-INFO1.
8. F. Figler, Zusätzliche Informationen zum Blitzschutz von Photovoltaik-Anlagen. VDB-INFO 1A.
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 10 grudnia 2010 zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2010 r., nr 239, poz. 1597).
10. Materiały informacyjne firmy DEHN.

## abstract

### Lightning protection of photovoltaic systems on large flat-roofed structures

In article the protection of photovoltaic modules against direct lightning stroke are presented. Special attention was paid on calculation of separation distances between elements of lightning protection system and PV modules.