

## OCHRONA ODGROMOWA FOTOWOLTAICZNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Henryk BORYŃ

Politechnika Gdańska

tel: 58 347 1876 e-mail: h.boryn@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono specyfikę ochrony paneli fotowoltaicznych zainstalowanych na dachu obiektu budowlanego lub wykorzystanych w elektrowniach słonecznych przed skutkami wyładowań atmosferycznych. Omówiono zasady ochrony tych urządzeń przed bezpośrednim uderzeniem pioruna i sposoby ograniczenia przepięć powstających w instalacjach elektroenergetycznych oraz sterujących i pomiarowych współpracujących z panelami. Wskazano konieczność indywidualnego rozwiązywania systemów ochronnych.

**Słowa kluczowe:** panele fotowoltaiczne, ochrona odgromowa, ochrona przeciwprzepięciowa.

### 1. WSTĘP

Układy fotowoltaiczne *PV* (ang.: *Photovoltaic*) należą do odnawialnych źródeł energii elektrycznej – bezpośrednio przetwarzają energię promieniowania słonecznego na energię elektryczną, praktycznie bez negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne.

Aktualnie obserwuje się coraz szersze stosowanie systemów *PV* w związku ze znacznym obniżeniem kosztów inwestycyjnych oraz znacznym zwiększeniem sprawności działania tych elementów, umożliwiającym stosowanie *PV* również w strefach o średnim nasłonecznieniu [5]. Przewiduje się, że systemy *PV* mogą stać się w stosunkowo niedalekiej przyszłości znaczącym odnawialnym źródłem energii elektrycznej.

W każdym przypadku stosowania wymaga się instalowania kolektorów *PV* na jak największych otwartych powierzchniach, na przykład dachach budynków lub niezabudowanych płaskich obszarach, czyli w miejscach o bezpośrednim działaniu promieni słonecznych.

Takie czynniki jak: wymagana duża powierzchnia kolektorów *PV*, niekiedy znaczne wysokości ich instalowania, duża wartość, czy stosunkowo niska wytrzymałość elektryczna udarowa elementów systemu powodują, że w rozumieniu normy [2] systemy *PV* są obciążone znacznym ryzykiem szkód piorunowych. Mogą to być zarówno uszkodzenia wynikające z bezpośredniego przepływu prądu pioruna, jak i skutki działania przepięć indukowanych w instalacjach *PV* w wyniku wyładowań w okolicy systemu. W tej sytuacji występuje konieczność dokładnego opracowania środków ochrony urządzeń *PV* przed bezpośrednim uderzeniem pioruna oraz przed przepięciami atmosferycznymi w układach sterowania *PV* oraz instalacjach elektrycznych, z którymi systemy *PV* współpracują.

### 2. OCHRONA SYSTEMÓW *PV* PRZED BEZPOŚREDNIM UDERZENIEM PIORUNA

#### 2.1. System *PV* na dachu obiektu budowlanego

System *PV* umieszczony na dachu obiektu budowlanego należy do tych urządzeń dachowych, które zgodnie z zaleceniem normy [3] należy chronić przed bezpośrednim uderzeniem pioruna za pomocą układu zwodów wyznaczających strefę ochronną o takich rozmiarach, aby całość urządzenia mieściła się wewnątrz strefy. Taki układ zapewnia brak możliwości wnikania części prądu piorunowego do wnętrza budynku, co mogłoby być niebezpieczne dla ludzi, samego budynku lub urządzeń w nim zainstalowanych.

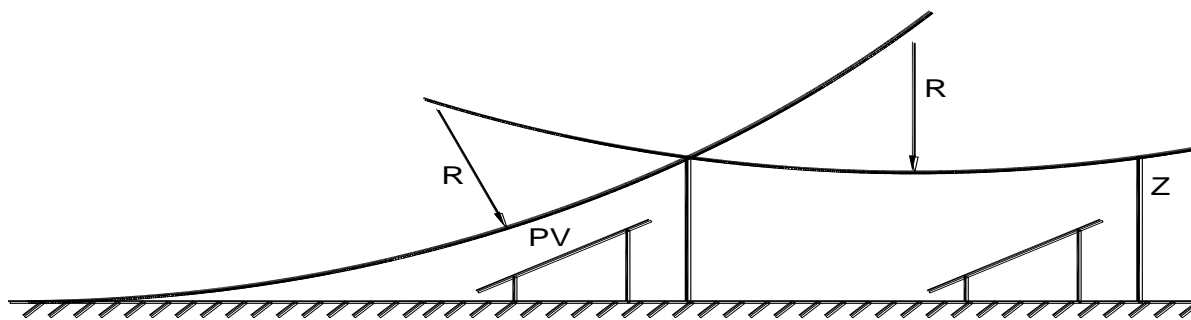
Właściwy system ochrony przed bezpośrednim uderzeniem pioruna tworzy się za pomocą odpowiedniego układu zwodów pionowych lub poziomych – zależnie od konstrukcji budynku. Do określenia wielkości i kształtu strefy ochronnej należy wykorzystać zgodnie z zaleceniem normy [3] metody:

- toczącej się kuli (w pierwszej kolejności), lub
- kąta osłonowego.

Ilustrację zastosowania metody toczącej się kuli pokazano na rysunku 1. Metoda ta wykorzystuje zasadę, że elementy niedotykane przez toczącą się w każdym kierunku kulę o promieniu  $R$ , nie są narażone na bezpośrednie uderzenie pioruna. W projekcie systemu ochronnego należy tak dobrać wysokości, ilość i rozmieszczenie zwodów pionowych  $Z$ , aby wszystkie elementy *PV* nie miały styczności z kulą o promieniu  $R$  (zależnym od przyjętego poziomu ochrony budynku).

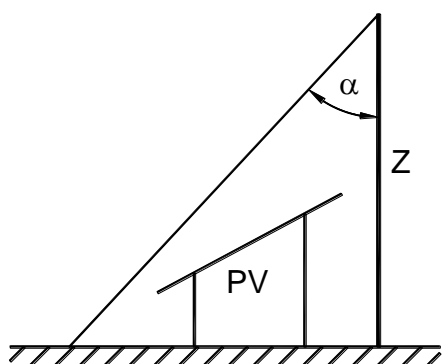
Drugą, łatwiejszą w zastosowaniu, jest metoda kąta ochronnego, której zasada jest pokazana na rysunku 2. W projekcie systemu ochronnego dobieramy wysokość zwodu pionowego  $Z$  tak, aby elementy *PV* mieściły się w jego strefie ochronnej wyznaczonej przez kąt osłonowy  $\alpha$  - o wartości zależnej od wysokości zwodu oraz przyjętego poziomu ochrony budynku [3]. Zmianę przestrzeni strefy ochronnej łatwo osiągnąć przez zwiększanie liczby lub wysokości zwodów pionowych.

Systemy *PV* często instaluje się na dachach ze spadkiem. Ochronę *PV* przed bezpośrednim uderzeniem pioruna zapewniają wtedy zwody poziome ułożone na kalenicy i krawędziach dachu, ewentualnie uzupełnione zwodami pionowymi. Na rysunku 3 pokazano trzy typowe przypadki ochrony odgromowej *PV* dla takich budynków.



Rys. 1. Ilustracja zasady wyznaczania strefy ochronnej metodą toczącej się kuli; PV – obiekt chroniony, Z – zwód pionowy, R – promień kuli wynikający z projektowanej klasy ochrony obiektu

Jeżeli budynek jest wyposażony w zewnętrzne urządzenie piorunochronne (LPS), to należy dążyć do takiego usytuowania PV (rys. 3a), aby z każdej jego strony odstęp  $d$  między krawędzią panelu a najbliższym zwodem poziomym był większy od odstęp izolacyjnego bezpiecznego  $s$  – w rozumieniu normy [3]. W takim przypadku metalową konstrukcję wsporcą panelu należy łączyć z główną szyną wyrównania potencjałów w budynku. Jeżeli ze względów technicznych nie możemy zapewnić odpowiednio dużych odstępów, czyli  $d < s$ , to musimy połączyć konstrukcję wsporcą PV z najbliższymi zwodami (rys. 3b). W takim układzie nie należy ekwipotencjalizować konstrukcji wsporczej PV.

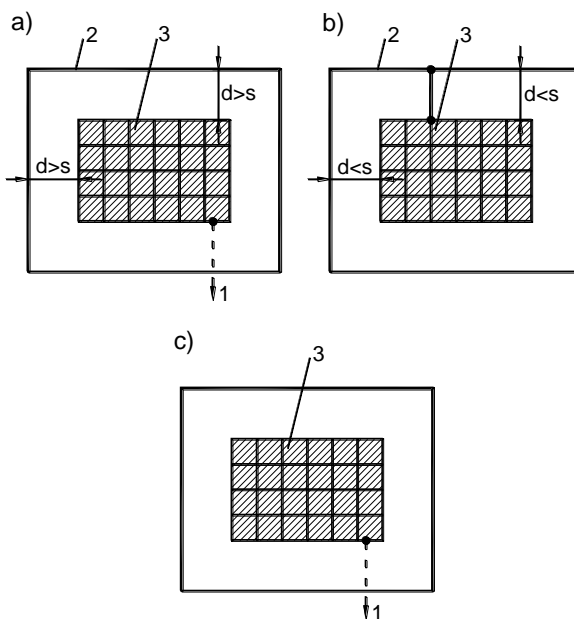


Rys. 2. Ilustracja zasady wyznaczania strefy ochronnej metodą kąta ochronnego; PV – obiekt chroniony, Z – zwód pionowy,  $\alpha$  – kąt ochronny wynikający z projektowanej klasy ochrony obiektu oraz wysokości zwodu

Ostatni możliwy przypadek to budynek, dla którego nie przewidujemy ochrony odgromowej, co uzasadniają odpowiednie obliczenia ryzyka szkód piorunowych przeprowadzone według normy [2]. Jak wynika z rysunku 3c należy w takim układzie dokonać ekwipotencjalizacji systemu PV, czyli połączyć przewodem wyrównawczym bezpośrednim (1 – rys. 3c) konstrukcję wsporcą panelu PV z główną szyną wyrównania potencjału w budynku.

## 2.2. Elektrownie słoneczne

Innym stosowanym coraz częściej zastosowaniem elementów fotowoltaicznych są elektrownie słoneczne, składające się z bardzo wielu połączonych równolegle i szeregowo paneli indywidualnych. Elektrownie takie są budowane na dużych niezabudowanych płaskich obszarach o powierzchni wielu hektarów. Niektóre eksploatowane obiekty osiągają sumaryczną moc nawet kilkudziesięciu megawatów (np. 40 MWp – elektrownia Solar Power Plant w Woldpolenz, Niemcy).



Rys. 3. Ochrona paneli PV zainstalowanych na dachach pochyłych przed bezpośrednim uderzeniem pioruna; 1 – przewód wyrównawczy bezpośredni do głównej szyny wyrównawczej potencjału, 2 – zwody poziome na kalenicy i krawędziach dachu, 3 – panel PV

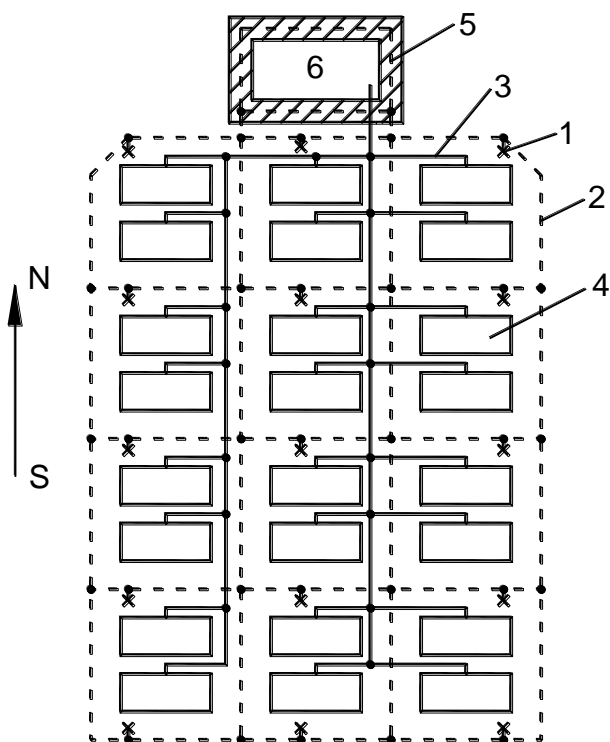
Mimo tego, że w elektrowni słonecznej nie ma elementów o znacznej wysokości, to ze względu na znaczny zajmowany obszar takie elektrownie narażone są na liczne wyładowania atmosferyczne i wymagają starannej ochrony odgromowej.

Ocenę zagrożenia piorunowego dla elektrowni fotowoltaicznej należy przeprowadzić zgodnie z zaleceniem normy [2]. Obliczeniami powinny być objęte wszystkie elementy elektrowni, zarówno budynek obsługi jak i elementy PV rozmieszczone w terenie. Rezultat obliczeń to wymagana klasa ochrony odgromowej zapewniająca ryzyko szkód piorunowych na poziomie niższym niż wartość tolerowana – zwykle jest to nie mniej niż klasa III.

Urządzenie zewnętrznej ochrony odgromowej o wymaganej klasie dla systemu paneli PV umieszczonych w terenie należy zaprojektować stosując metodę toczącej się kuli. Zasadę stosowania tej metody ilustruje rysunek 1. W wyniku zastosowania metody możemy jednoznacznie określić geometrię układu zwodów pionowych Z rozmieszczonych na terenie elektrowni (rys. 4), czyli wyznaczyć wysokość zwodów, ich ilość oraz miejsce zainstalowania. Zaprojektowany układ zwodów należy optymalizować biorąc pod uwagę następujące, w części przeciwstawne warunki:

- wszystkie panele PV muszą mieścić się w strefach ochronnych zwodów, wyznaczonych przez kulę o średnicy  $R$  wynikającej z klasy ochrony projektowanego systemu LPS,
- wysokość i liczba zwodów należy ograniczyć do minimum z uwagi na koszt urządzenia,
- odległość między daną linią zwodów a następnym szeregiem paneli PV (patrząc w kierunku padania promieni słonecznych – rys. 4) musi być wystarczająco duża, aby panele nie były zasłaniane cieniem zwodów,
- odstęp między każdym zwodem a najbliższą uziemioną konstrukcją sąsiedniego panelu PV muszą być większe niż wymagany przez normę [3] bezpieczny odstęp izolacyjny  $s$ .

Budynek obsługi elektrowni słonecznej wymaga również zainstalowania zewnętrznego urządzenia piorunochronnego, ale może to być typowa konstrukcja opracowana zgodnie z zaleceniami norm [1, 3]. Nie ma w tym przypadku żadnych specyficznych wymagań wynikających z rodzaju obiektu chronionego i prowadzonej w nim działalności technicznej. Należy zastosować znane z budownictwa ogólnego procedury związane z projektowaniem i wykonywaniem takich instalacji.



Rys. 4. Schematyczny plan elektrowni słonecznej; 1 – zwody pionowe, 2 – uziemienie kratowe terenu elektrowni, 3 – linie kablowe DC, 4 – panele PV z indywidualnymi szafkami rozdzielczymi, 5 – uziemienie fundamentowe budynku, 6 - budynek obsługi

Zewnętrzne urządzenie piorunochronne stosowane w elektrowni słonecznej musi być połączone z systemem uziemiającym obejmującym cały obszar zajęty przez elektrownię z uwagi na konieczność ekwipotencjalizacji terenu. Jak pokazano na rysunku 4 na tym obszarze należy zbudować uziemienie kratowe z oczkami o rozmiarach 20 m x 20 m, umieszczone na głębokości  $0,5 \div 0,8$  m pod powierzchnią gruntu, wykonane z taśmy stalowej ocynkowanej o przekroju  $120 \text{ mm}^2$ . Na węzłach kraty muszą być zastosowane specjalne krzyżowe zaciski, zapewniające dobrą stycz-

ność krzyżujących się przewodów, odpowiednio zabezpieczone przed korozją.

Metalowe konstrukcje wsporcze, na których umieszcza się panele PV należy łączyć do uziemienia kratowego bezpośrednimi przewodami wyrównawczymi co około 10 m. Budynek obsługi powinien mieć zaprojektowane uziemienie fundamentowe połączone przynajmniej jednym połączeniem wyrównawczym z uziemieniem kratowym terenu elektrowni.

Połączenia wewnętrzne korzystnie zmniejszają wypadkową rezystencję uziemienia całego układu i zapewniają wyrównanie potencjału na terenie elektrowni. Taka konstrukcja uziemienia wyraźnie obniża narażenia przepięciowe działające na kable DC łączące panele PV ze sobą i budynkiem obsługi, występujące w trakcie uderzenia pioruna w system ochrony elektrowni.

Równie starannie należy zaprojektować system wyrównania potencjału w budynku obsługi elektrowni na wejściu z zewnątrz wszystkich instalacji przewodzących. Instalacje te muszą być przyłączone za pomocą bezpośrednich połączeń wyrównawczych do głównej szyny wyrównania potencjału umieszczonej w pomieszczeniu przyłączeniowym w pobliżu miejsca wprowadzenia instalacji do budynku tak, aby połączenia wyrównawcze były jak najkrótsze. Połączeniami wyrównawczymi należy objąć nie tylko ekrany kabli energetycznych i pomiarowych, ale również metalowe elementy konstrukcyjne budynku. Taki system ekwipotencjalizacji zabezpiecza budynek przed wpływieniem części prądu piorunowego do wnętrza sterowni.

### 3. OCHRONA PRZECIWPRIEPĘCIOWA SYSTEMÓW PV

Systemy fotowoltaiczne zainstalowane na dachu budynku lub tworzące indywidualną elektrownię słoneczną współpracują z wieloma innymi instalacjami i urządzeniami. Wymagają więc nie tylko omówionej wcześniej ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi i termicznymi wynikającymi z bezpośredniego uderzenia pioruna, ale również ochrony przed skutkami działania przepięć. Zagrożenie przepięciami jest wynikiem przepływu prądu bezpośrednio wyładowania w obiekt lub indukowania się przepięć w obwodach systemów PV w wyniku pobliskiego wyładowania piorunowego.

Skutek działania przepięć to uszkodzenia urządzeń i konieczność ich wymiany oraz straty materialne związane z remontem urządzeń i okresowymi przerwami pracy. Projektując ochronę przeciwprzepięciową systemów PV należy liczyć się z koniecznością ochrony:

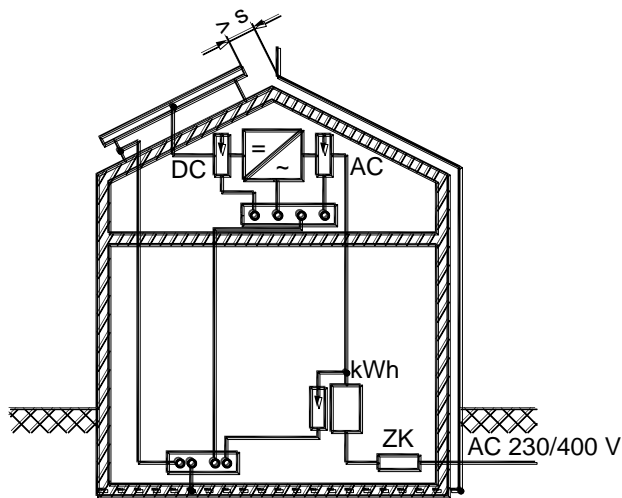
- kolektorów fotowoltaicznych,
- falowników,
- układów kontroli i sterowania różnych źródeł energii współpracujących w systemach hybrydowych oraz
- układów ładowania akumulatorów,

zależnie od przeznaczenia i budowy chronionego systemu. Stosowane w praktyce układy ochrony przeciwprzepięciowej systemów PV są jednoznacznie związane z ich przeznaczeniem, miejscem zainstalowania oraz konstrukcją układu ochrony odgromowej.

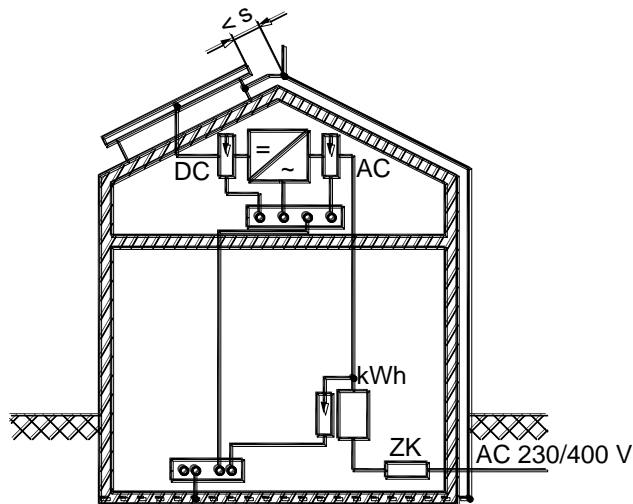
#### 3.1. Ochrona przeciwprzepięciowa systemów PV na dachu budynku z instalacją odgromową

Jest to klasyczny przypadek wykorzystania systemu PV w nowoczesnym budownictwie energooszczędnym, w którym energia wytwarzana przez panel PV jest wykorzystywa-

na na wewnętrzne potrzeby budynku, a jej nadmiar oddawany do sieci elektroenergetycznej. Przewiduje się, że takie rozproszone systemy wytwórcze mogą stać się w przyszłości istotnym odnawialnym źródłem energii elektrycznej w związku z coraz powszechniejszym ich stosowaniem oraz spodziewanymi zmianami klimatycznymi.



Rys. 5. Ochrona przeciwprzepięciowa systemów PV na dachu budynku z instalacją odgromową z zachowaniem bezpiecznego odstępu izolacyjnego  $s$ , =/~ – falownik, ZK – złącze kablowe



Rys. 6. Ochrona przeciwprzepięciowa systemów PV na dachu budynku z instalacją odgromową bez zachowania bezpiecznego odstępu izolacyjnego  $s$ , =/~ – falownik, ZK – złącze kablowe

Sposób ochrony systemów PV przed przepięciami tego typu jest jednoznacznie zależny od konstrukcji instalacji odgromowej zabezpieczającej system fotowoltaiczny. Wyróżnia się dwa przypadki konstrukcji: z zachowaniem bezpiecznego odstępu izolacyjnego  $s$  (patrz p.2.1) – szczegóły wyznaczania odstępu podano w normie [3] oraz bez zachowania odstępu  $s$ .

Rozwiązanie ochrony przeciwprzepięciowej systemu PV dla przypadku pierwszego pokazano na rysunku 5. Zachowanie w instalacji bezpiecznego odstępu izolacyjnego  $s$  daje gwarancję, że prąd wyładowania piorunowego nie wniknie do wnętrza budynku przez instalację DC łączącą panel PV z instalacją elektryczną budynku. Do ochrony falownika DC/AC umieszczonego na poddaszu należy więc przewidzieć ograniczniki typu 2 (dwa, między biegunami plus/minus i ziemią). Ograniczniki muszą mieć konstrukcję przeznaczoną specjalnie do układów DC – z przyłączaną

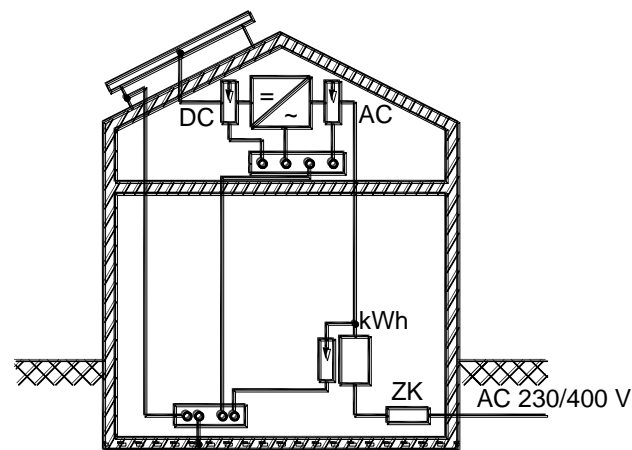
automatycznie równoległą gałęzią bezpiecznikową umożliwiającą przerywanie prądów zwarciovych w obwodzie napięcia stałego [6]. Jeżeli od panelu PV są prowadzone instalacje sygnałowe związane z kontrolą i sterowaniem panelem, to również i te instalacje należy zabezpieczyć ogranicznikami typu 2, ale przewidzianymi do pracy instalacjach sygnałowych.

Strona napięcia przemiennego falownika połączona z siecią elektroenergetyczną powinna być chroniona w typowy wielostopniowy sposób przewidziany dla takich instalacji, wynikający z zastosowanego systemu sieci TN-S czy TT o napięciu 400/230V. Na wejściu tej instalacji do budynku należy zainstalować pierwszy stopień ochrony, czyli ograniczniki typu 1, ze względu na możliwość wnikania części prądu piorunowego od strony szyny wyrównania potencjału. Natomiast na zaciskach falownika DC/AC drugi stopień ochrony, czyli ograniczniki typu 2.

W chronionym budynku należy także zainstalować system ekwipotencjalizacji składający się z głównej szyny wyrównania potencjału, do której łączy się bezpośrednio metalową konstrukcję wsporczą panelu PV oraz inne elementy instalacji budynku przewidziane przez normę [3] dołączenia z szyną. Lokalna szyna wyrównania potencjału, umieszczona na poddaszu jest przeznaczona do ekwipotencjalizacji urządzeń zainstalowanych w górnej części budynku. Połączenia wyrównawcze należy prowadzić równoległe możliwie blisko linii AC i DC, aby uniknąć tworzenia pętli indukcyjnych wywołujących duże przepięcia indukowane.

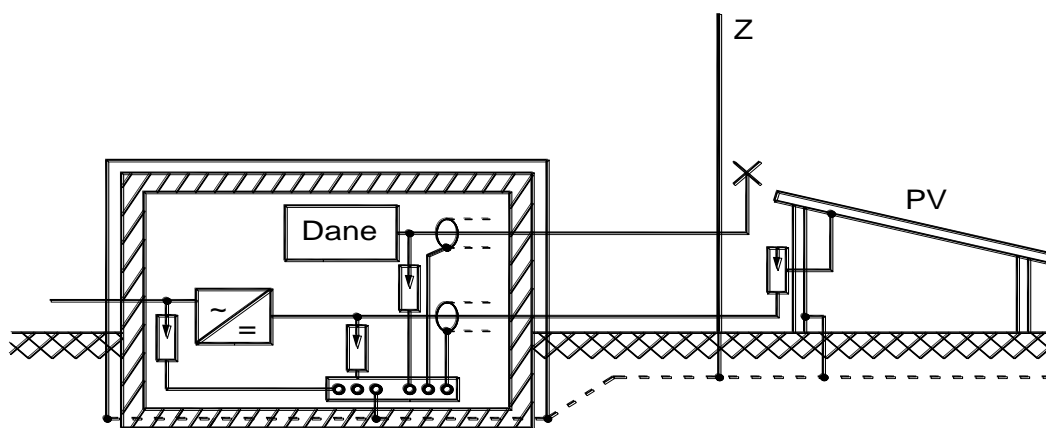
Drugim przypadkiem to instalacja panelu PV na budynku z instalacją odgromową, ale bez zachowania bezpiecznego odstępu izolacyjnego  $s$  (rys. 6). Występuje on wtedy, gdy panel instalowany jest na dachu o metalowym pokryciu lub, gdy ze względów ekonomicznych dążymy do całkowitego zakrycia powierzchni dachu panelami PV.

Warunki pracy systemu PV ulegają istotnej zmianie w porównaniu z sytuacją poprzednią. Wprawdzie nadal panel jest umieszczony w strefie ochronnej zwodów, ale ze względu na konieczność ekwipotencjalizacji elementów na dachu jego konstrukcja wsporcza musi być bezpośrednio połączona z najbliższymi zwodami. Część prądu piorunowego może więc wnikać do instalacji przewodzących wprowadzonych do wnętrza budynku. Można zrezygnować z połączenia wyrównawczego między panelem PV a główną szyną wyrównawczą oraz należy zaciski falownika DC/AC zabezpieczyć obustronnie ogranicznikami typu 1. W pozostałej części instalacji nie ma potrzeby wprowadzania żadnych zmian.



Rys. 7. Ochrona przeciwprzepięciowa systemów PV na dachu budynku bez instalacji odgromowej, =/~ – falownik, ZK – złącze kablowe





Rys. 8. Ochrona przeciwprzepięciowa systemów PV w elektrowni słonecznej, Z – zwód pionowy, X – układ do pomiaru warunków atmosferycznych, ~/= – falownik

### 3.2. Ochrona przeciwprzepięciowa systemu PV na dachu budynku bez instalacji odgromowej

Jak wspomniano wcześniej instalacja paneli PV nie zwiększa wartości ryzyka szkód piorunowych wyznaczonego dla budynku, wynikającego z jego konstrukcji i usytuowania, a więc panele można też instalować na budynkach, na których zgodnie z normą [1] nie ma potrzeby budowy zewnętrznego urządzenia piorunochronnego. Nie zwalnia to oczywiście z konieczności instalacji w systemie odpowiednich ograniczników przepięć oraz budowy układu ekwipotencjalizacji.

Na rysunku 7 pokazano przykład rozwiązania ochrony przeciwprzepięciowej w sytuacji, gdy budynek nie ma instalacji odgromowej. Analizowany układ jest narażony wyłącznie na działanie przepięć indukowanych związanych z pobliskim wyładowaniem atmosferycznym. Zaciski DC i AC falownika i instalacja elektroenergetyczna AC na wejściu do budynku w rozdzielnicy głównej są chronione ogranicznikami przepięć typu 2.

Dodatkowo należy zauważyć, że w systemie ochronnym można nie instalować ogranicznika przepięć na zaciskach AC falownika, jeżeli długość przewodu między falownikiem a rozdzielnicą główną nie jest większa niż 5 m. W takim przypadku działanie ochronne ogranicznika zainstalowanego w rozdzielnicy sięga również do zacisków falownika.

System ekwipotencjalizacji budynku w omawianym przypadku jest taki sam jak w układzie z instalacją odgromową i zachowanym bezpiecznym odstępem izolacyjnym.

### 3.3. Ochrona przeciwprzepięciowa systemu PV w elektrowniach słonecznych

System ochrony przeciwprzepięciowej elektrowni fotowoltaicznej musi uwzględniać narażenia przepięciowe wynikające z rozległości układu, a więc nie tylko przepięcia powstające przy bezpośrednim wyładowaniu w obiekt, ale również przepięcia indukowane powstałe przy uderzeniach pobliskich.

W systemie należy więc zbudować efektywny układ ekwipotencjalizacji urządzeń. Do głównej szyny wyrównania potencjału umieszczonej w budynku obsługi muszą być przyłączone połączeniami bezpośrednimi wszystkie instalacje przewodzące wprowadzone do budynku. Do wykonania instalacji napięcia stałego łączącej panele PV z falownikiem umieszczonym w budynku obsługi należy zastosować kable ekranowane. Podobnie należy wykonać instalacje sterujące i pomiarowe.

Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki, ISSN 1425-5766, Nr 27/2010

Jak pokazano na rysunku 8 zaciski AC i DC falownika elektrowni należy chronić ogranicznikami typu 1 umieszczonymi w pobliżu wejścia do budynku odpowiednich kabli. Ograniczniki przepięciowe muszą być również zamontowane w indywidualnych szafkach przyłączeniowych umieszczonych w każdym module PV. W tym przypadku wystarczą ograniczniki typu 2, jako że moduły te są chronione przed bezpośrednim uderzeniem pioruna przez system zwozów pionowych. Należy jednak pamiętać, o czym wspomniano już wyżej, aby ograniczniki zastosowane w instalacji DC miały specjalną konstrukcję (z przyłączaną automatycznie równoległą gałęzią bezpiecznikową) umożliwiającą wyłączenie prądu zwarciovego w tej instalacji.

W podobny sposób należy chronić obwody kontroli i sterowania elektrowni, czyli pomiaru temperatury pracy modułów PV, temperatury otoczenia na terenie elektrowni oraz prędkości wiatru. Czujniki do pomiaru tych wielkości są umieszczone na poszczególnych panelach PV, natomiast operator ma możliwość zdalnego odczytu ich wskazań i odpowiedniej regulacji pracy systemu. Nie ma potrzeby ochrony przeciwprzepięciowej samych czujników pomiarowych skoro znajdują się w strefie ochronnej zwozów. Natomiast ekranowane przewody doprowadzające sygnały pomiarowe do panelu akwizycji danych w budynku obsługi należy ekwipotencjalizować na wejściu do budynku ogranicznikami przepięć typu 1 przewidzianymi do instalacji sygnałowych.

## 4. PODSUMOWANIE

Elementy fotowoltaiczne są stosowane do budowy lokalnych rozproszonych źródeł energii elektrycznej, jak również do konstruowania dużych elektrowni słonecznych. Należy przypuszczać, że znaczny postęp w technologii produkcji tych elementów umożliwi powszechne tworzenie wydajnych odnawialnych źródeł energii elektrycznej.

Elementy fotowoltaiczne z uwagi na swoje właściwości oraz konstrukcję wymagają specjalnej ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej zapewniającej możliwość bezawaryjnej wieloletniej eksploatacji. Każdy układ wymaga indywidualnego rozwiązania systemu ochronnego.

## 5. BIBLIOGRAFIA

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 zagrożenia życia.
4. PN-EN 62305-4:2009 Ochrona odgromowa. Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach budowlanych.
5. Nowak W., Stachel A.: Kolektory słoneczne i panele fotowoltaiczne jako źródło energii w małych instalacjach cieplnych i elektroenergetycznych. Materiały konf. „Energia odnawialna w zastosowaniach”. INFOTECH. Gdańsk, 2007. Ref. nr 2. ISBN 987-83-9217-11-5-7.
6. DEHN+SÖHNE. Lightning protection guide. 2nd updated edition. 2007. ISBN 3-00-015975-4.

## LIGHTNING PROTECTION OF PHOTOVOLTAIC SOURCES OF ELECTRIC ENERGY

**Key-words:** photovoltaic panels, lightning protection, surge protection.

This paper presents the specific protection against lightning of photovoltaic panels installed on the roof of a building, or used in solar power stations. The principles of protection against direct lightning stroke of these devices and ways to reduce the effect of the overvoltages in the power, control and measurement installations, cooperating with *PV* panels are presented. It is stated that the individual protective systems are needed.