

Ryzyko strat odgromowych a systemy fotowoltaiczne

Streszczenie. Artykuł opisuje wybrane zagrożenia związane z eksploatacją instalacji fotowoltaicznych oraz sposoby zmniejszania związanego z tym ryzyka. Opisano wpływ instalacji fotowoltaicznej na wzrost ryzyka strat odgromowych określony na podstawie obliczeń wykonanych za pomocą programu DEHN Risk Tool. Wykonano symulacje dla trzech przypadków: elektrownie fotowoltaiczne o różnej mocy, budynek jednorodzinny usytuowany w wybranych lokalizacjach oraz obiekty o znacznej kubaturze różniące się przeznaczeniem.

Abstract. The article describes selected threats related to the operation of photovoltaic installations and the methods of reducing the associated risk. The paper describes the impact of a photovoltaic installation on the increase in the risk of lightning losses, determined on the basis of calculations made with the DEHN Risk Tool software. Simulations were carried out for three cases: photovoltaic power plants of various power, a single-family building located in selected locations, and large cubature buildings with different purposes. (**Selected threats related to the operation of photovoltaic installations**)

Słowa kluczowe: instalacja fotowoltaiczna, ochrona przeciwprzebieciowa, ochrona odgromowa, panele fotowoltaiczne,

Keywords: photovoltaic installation, surge protection, lightning protection, solar panels.

Wstęp

Kryzys energetyczny związany z ograniczonym dostępem do węglowodorów może przyczynić się do przyspieszenia procesów związanych z transformacją energetyczną w Polsce. W 2020 roku 65% krajowej energii elektrycznej wytwarzano w elektrowniach ciepłych zasilanych węglem [1]. Dążenie do obniżenia emisji CO₂ implikuje konieczność zwiększania udziału odnawialnych źródeł energii (OZE), wśród których najszybciej rozwija się sektor systemów fotowoltaicznych. Jedną z przyczyn dominacji energii słonecznej wśród OZE jest rozwój technologii wytwarzania paneli fotowoltaicznych, który przyczynił się do wzrostu ich wydajności oraz wydłużenia średniego czasu eksploatacji [2]. Dynamiczne upowszechnienie się nowych technologii skutkuje jednak pojawieniem się nowych zagrożeń, których zdiagnozowanie wymaga przeprowadzenia kompleksowej analizy. Jednym z nich są wyładowania atmosferyczne, które szczególnie w przypadku dużych powierzchni zajmowanych przez instalacje umieszczone na znacznej wysokości (dotyczy paneli montowanych na dachach budynków), mogą indukować przebiecia niszczące poszczególne podzespoły charakteryzujące się niską wytrzymałością elektryczną w warunkach udarowych [3]. Zagadnienia związane z modelowaniem ochrony odgromowej w budynkach z instalacją fotowoltaiczną szczegółowo opisano w artykule [4]. Przedstawione w nim wyniki warto uzupełnić o analizę ryzyka strat odgromowych wykonaną zgodnie z obowiązującą drugą częścią normy PN-EN 62305 [10], rozszerzoną o pozostałe wytyczne zawarte w częściach 1, 3, oraz 4 [10].

Obliczanie ryzyka strat odgromowych

Obowiązujące obecnie w Polsce zasady obliczania ryzyka strat odgromowych przy projektowaniu obiektów budowlanych określono w normie PN-EN 63205-2 [10]. Norma narzuca analityczną metodę oceny ryzyka szkody na skutek wyładowania piorunowego, którą oparto na elementach rachunku prawdopodobieństwa i teorii niezawodności, co odzwierciedla losowy charakter zjawisk piorunowych. Proponowana analiza wykorzystuje dane o statystyce szkód z licznych badań oraz obserwacji eksploatacyjnych (część 1 [10]) dzięki czemu lepiej odwzorowuje rzeczywiste przypadki zagrożeń występujących dla różnych obiektów. W części drugiej normy [10] wprowadzono określone modele niezawodnościowe dla poszczególnych przypadków oddziaływania wyładowania piorunowego. Wyróżnia się cztery typy strat odgromowych (Tabela 1) dla których określono tolerowane wartości ryzyka R_t.

Tabela 1. Typy strat odgromowych i ich tolerowane wartości według wymagań części 2 normy [10]

Typ strat	Opis	Wartość tolerowana
L1	utrata życia ludzkiego	10 ⁻⁵
L2	utrata usługi publicznej	10 ⁻³
L3	utrata dziedzictwa kulturowego	10 ⁻³
L4	utrata wartości ekonomicznej	określana indywidualnie

Jeżeli obliczona wartość ryzyka w jakiegokolwiek z kategorii dla danego obiektu przekracza wartości graniczne, to należy wprowadzić dodatkowe środki ochrony w zakresie zastosowania ochrony odgromowej, przeciwprzebieciowej, przeciwpożarowej. W praktyce projektowej korzysta się z różnych narzędzi ułatwiających przeprowadzenie procedury analizy ryzyka strat odgromowych. Jednym z nich jest program DEHN Risk Tool wchodzący w skład oprogramowania DEHNsupport Toolbox służącego do wspomagania procesu projektowania instalacji odgromowych, który wykorzystano do obliczenia wpływu instalacji fotowoltaicznych na wzrost ryzyka strat odgromowych dla różnych obiektów.

Ryzyko strat odgromowych dla farm fotowoltaicznych

Rozwój wielkopowierzchniowych elektrowni fotowoltaicznych przedstawiany jest jako potencjalne remedium na problemy energetyczne Polski. Największa elektrownia fotowoltaiczna w Polsce o szacunkowej powierzchni 290 ha może wygenerować w standardowych warunkach nasłonecznienia (STC) moc 204 MW [5]. Projektując instalacje fotowoltaiczne wolnostojące nie uwzględnia się zazwyczaj ochrony odgromowej, z uwagi na wytyczne niemieckiego związku ubezpieczycieli [11]. Dla innych obiektów np. o charakterze przemysłowym dokument [11] zazwyczaj proponuje LPS III, obostrzany w przypadku zagrożenia pożarowego do LPS II i wybuchowego do LPS I. Dla obiektów użyteczności publicznej, w tym domów mieszkalnych zaleca się ochronę odgromową kategorii LPS III. W każdym z powyższych przypadków – również dla instalacji fotowoltaicznych wolnostojących należy zastosować ochronę przeciwprzebieciową i instalacje wyrównania potencjałów w obiekcie [11]. Z punktu widzenia obowiązującego prawa w Polsce dla obiektów budowlanych należy stosować normy zawarte w [10], które podano w załączniku nr 1 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury [12]. W spisie występuje pewna niekonsekwencja, gdyż wyjątkowo w

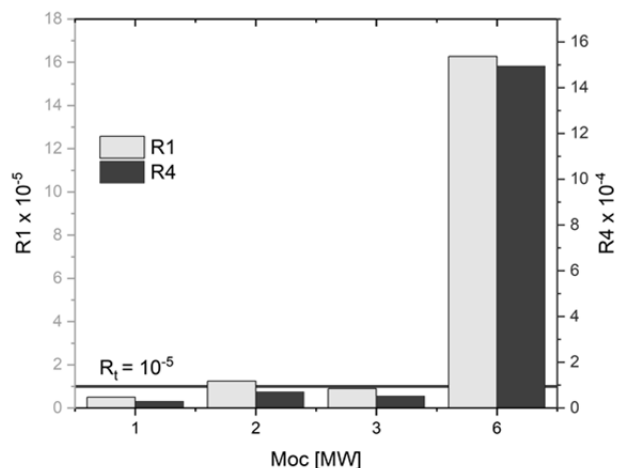
grupie norm z serii EN 62305 znajduje się arkusz drugi pochodzący z 2008 roku mimo wycofania go przez Polski Komitet Normalizacyjny i zastąpienia ostatnią edycją z 2012 roku. Poprzedni, wydany w 2008 roku, wciąż obowiązujący w przepisach [12] arkusz części drugiej normy [10] ma wymagania pozwalające w niektórych przypadkach uzyskać niższe poziomy systemów ochrony odgromowej na poziomie LPS IV lub III. Utrzymując zalecenia [12] norm obowiązujących w budownictwie przy zastosowaniu wymagania E.4.2 części trzeciej normy [10] należy uwzględnić, że z uwagi na brak innych zaleceń krajowych projektant powinien na podstawie normy szacowania ryzyka wykazać ewentualną konieczność wprowadzenia systemu ochrony odgromowej.

Aby oszacować ryzyko strat odgromowych na jakie narażone są farmy fotowoltaiczne wykonano obliczenia dla kilku rzeczywistych obiektów usytuowanych w Polsce. Jako obiekt badawczy posłużyły wielkopowierzchniowe instalacje fotowoltaiczne o mocy przekraczającej 1 MW zlokalizowane na terenie Polski północnej ($N_g = 1,8$). W obliczeniach przyjęto, że panele są podłączone do sieci energetycznej za pomocą linii kablowej poprzez dwuuzwojeniowy transformator (współczynnik korekcyjny transformatora $C_t = 0,2$). W Tabeli 2 zebrano informacje dotyczące powierzchni tych instalacji oznaczonych jako A_0 (dane na podstawie [6]), ich powierzchni zbierania (A_d) oraz powierzchni zbierania w pobliżu obiektu (A_m), którą zgodnie z częścią drugą normy PN-EN 62305 [10] uwzględniono jako odległość 250 m od obrysu obiektu.

Tabela 2. Zestawienie powierzchni działki (A_0), powierzchni zbierania obiektu (A_d) i powierzchni zbierania w pobliżu obiektu (A_m) dla elektrowni fotowoltaicznych o różnej mocy

Moc [MW]	A_0 [m ²]	A_d [m ²]	A_m [m ²]
1	16300	14015	352967
2	30300	34456	428365
3	20500	17953	335922
6	96000	82905	579571

Na podstawie danych zawartych w Tabeli 2 można stwierdzić, że nie występuje prosta korelacja pomiędzy mocą elektrowni fotowoltaicznej, a zajmowaną przez nią powierzchnią. Czynniki, które mogą wpływać na takie zjawisko są różnice w ukształtowaniu terenu i związane z tym sposób rozmieszczenia modułów fotowoltaicznych. Dodatkowo występują rozbieżności pomiędzy wydajnością konwersji energii słonecznej na elektryczną paneli wykorzystanych do budowy elektrowni. Rysunek 1 przedstawia wykres zależności współczynników ryzyka odpowiadającym stratom typu L1 i L4 (Tabela 1) dla elektrowni fotowoltaicznych o mocy 1, 2, 3 i 6 MW. Obliczone ryzyko utraty życia ludzkiego (R1) dla elektrowni o mocy 1 i 3 MW jest mniejsze od wartości tolerowanej $R_t = 10^{-5}$. W przypadku farmy fotowoltaicznej o mocy 2 MW próg ten nieznacznie przekroczone, co wynika ze stosunkowo dużej wartości parametru A_d . (w tym przypadku zastosowano większe odstępy między grupami paneli w porównaniu do innych analizowanych przypadków). Ryzyko R1 dla elektrowni o mocy 6 MW znacznie przewyższa wartość tolerowaną, co świadczy o występowaniu zagrożenia dla życia pracowników znajdujących się na terenie takiego obiektu w trakcie burzy [7]. Ryzyko utraty wartości ekonomicznej (R4) zachowuje się analogicznie do R1. Mając na względzie rosnące koszty bazujących na krzemie modułów fotowoltaicznych warto rozważyć przeprowadzenie analizy ekonomicznej opłacalności LPS dla farm fotowoltaicznych.



Rys. 1. Ryzyko utraty życia ludzkiego (R1) i wartości ekonomicznej (R4) dla elektrowni fotowoltaicznych o mocy odpowiednio: 1 MW, 2 MW, 3 MW i 6 MW. Czerwona linia odpowiada wartości tolerowanej R_t dla strat typu L1

Ryzyko strat odgromowych w budownictwie mieszkalnym

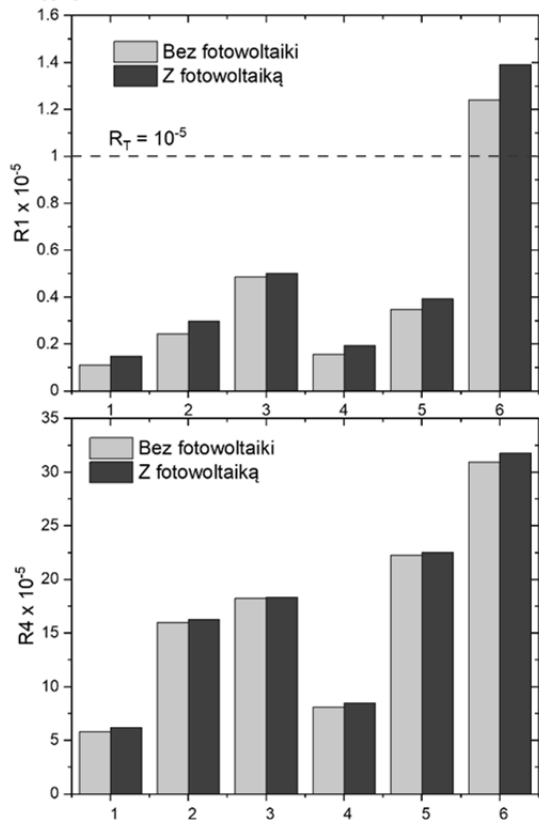
Wiodącą grupę technologii prosumenckich w sektorze nieemisyjnych źródeł energii elektrycznej stanowią instalacje fotowoltaiczne, których moc w Polsce w lipcu 2022 przekroczyła 10 GW, w czym dominujący udział mają instalacje o jednostkowej mocy nieprzekraczającej 50 kW [8]. Za taki stan rzeczy odpowiada rosnąca popularność mikroinstalacji na budynkach mieszkalnych związana z dofinansowaniami z programu „Mój Prąd” [9]. Rozwiązanie to pozwala na obniżenie kosztów transformacji energetycznej, jednakże wiąże się z powstaniem nowych zagrożeń dla gospodarstw domowych. Jednym z nich jest zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia strat odgromowych wynikające ze wzrostu powierzchni zbierania budynku po zainstalowaniu paneli fotowoltaicznych. W celu oszacowania tego ryzyka w programie DEHN Risk Tool wykonano model typowego domu jednorodzinnego w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 10 m x 8 m x 7 m (wysokość). W symulacji założono, że budynek jest zasilany przez linię kablową o długości 1000 m oraz występuje brak instalacji odgromowej (LPS) i ograniczników przepięć (SPD).

Obliczenia wykazały, że powierzchnia zbierania obiektu po zainstalowaniu na dachu paneli fotowoltaicznych wzrasta o ponad 19%. Dla umieszczenia tej samej instalacji fotowoltaicznej w pobliżu budynku (minimalny odstęp $d_{min} = 10$ m) obserwowano nieznaczny wzrost powierzchni zbierania. Następnie przeprowadzono analizę ryzyka strat odgromowych dla sześciu różnych przypadków, które zestawiono w Tabeli 3. Wartości poszczególnych współczynników dobrano w taki sposób, aby odwzorować zróżnicowanie warunków środowiskowych występujących w Polsce.

Tabela 3. Zestawienie charakterystyk otoczenia budynku wykorzystanych podczas obliczeń ryzyka strat odgromowych dla typowego budynku mieszkalnego (C_d – współczynnik położenia, C_e – współczynnik środowiskowy)

	Środowisko					
	miejskie		wiejskie		odossobnione	
Polska północna ($N_g = 1,8$)	1	$C_e = 0,5$	2	$C_e = 1$	3	$C_e = 1$
		$C_d = 0,25$		$C_d = 0,5$		$C_d = 1$
Polska południowa ($N_g = 2,5$)	4	$C_e = 0,5$	5	$C_e = 1$	6	$C_e = 1$
		$C_d = 0,25$		$C_d = 0,5$		$C_d = 2$

Na rysunku 2 pokazano wyniki obliczeń dla ryzyka utraty życia ludzkiego (R1) i wartości ekonomicznej (R4) w wyniku wylądowań atmosferycznych dla typowego budynku mieszkalnego przed i po montażu instalacji fotowoltaicznej. Na podstawie wykresów można stwierdzić, iż wzrost powierzchni zbierania budynku przekłada się jedynie w niewielkim stopniu na zwiększenie parametrów ryzyka R1 i R4. Dla obiektów o niewielkich rozmiarach czynnikiem determinującym wartość ryzyka strat odgromowych jest powierzchnia zbierania linii zasilającej [10]. Niemniej jednak w niektórych przypadkach zainstalowanie paneli fotowoltaicznych na dachu budynku może spowodować przekroczenie tolerowanej wartości ryzyka, co wiąże się z koniecznością wprowadzenia środków ochrony odgromowej. Przeprowadzone obliczenia wykazały, iż zamontowanie paneli fotowoltaicznych na powierzchni ziemi przekłada się w znacznie mniejszym stopniu na wzrost ryzyka strat odgromowych niż w sytuacji, gdy umieści się je na dachu budynku. Ponadto montaż instalacji fotowoltaicznej na obiekcie posiadającym system ochrony odgromowej LPS wiąże się z koniecznością jego przeprojektowania, tak, aby nadal w sposób poprawny pełnił swą funkcję. Zazwyczaj instalacja fotowoltaiczna powoduje konieczność zastosowania wyższych zwodów pionowych oraz wykonania ponownej analizy odstępów separacyjnych.



Rys. 2. Ryzyko utraty życia ludzkiego (R1) i wartości ekonomicznej (R4) dla typowego budynku mieszkalnego z instalacją fotowoltaiczną i bez niej (szczegóły w tekście i w Tabeli 3)

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że w przypadku farm fotowoltaicznych o dużej mocy istnieje konieczność stosowania LPS, który chroniłby pracowników zajmujących się serwisowaniem takich systemów. Czynności związane z konserwacją takich instalacji wykonywane są zazwyczaj latem, co pokrywa się z okresem największego prawdopodobieństwa występowania wylądowań atmosferycznych [7]. Zagrożenie

porażenia piorunem na terenie farmy fotowoltaicznej jest potęgowane przez usytuowanie takich obiektów na otwartej przestrzeni z dala od budynków mogących stanowić schronienie dla osób tam przebywających. Odpowiednio dobrany system ochrony odgromowej pozwala również na zmniejszenie ryzyka wystąpienia strat ekonomicznych, co jest istotne z punktu widzenia opłacalności inwestycji.

Rozpowszechnienie się prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych spowodowało wzrost zainteresowania zagadnieniami dotyczącymi ich wpływu na bezpieczeństwo obiektów, na których są montowane. Wykonane symulacje ukazują, iż wzrost zagrożenia piorunowego związany z pojawieniem się na dachu budynku paneli fotowoltaicznych jest nieznaczny. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku obiektów o innym przeznaczeniu takich jak biurowce lub szkoły. Zainstalowanie paneli fotowoltaicznych na budynku zazwyczaj powoduje konieczność odpowiednich zmian w systemie zwodów tak, aby zachować skuteczność jego działania.

Autorzy: mgr inż. Leszek Litzbarski, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, E-mail: leszek.litzbarski@pg.edu.pl; dr hab. inż. Marek Olesz, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, E-mail: marek.olesz@pg.edu.pl; mgr inż. Konrad Seklecki, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, E-mail: konrad.seklecki@pg.edu.pl; dr inż. Mikołaj Nowak, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, E-mail: mikolaj.nowak@pg.edu.pl

LITERATURA

- [1] S. Tokarski, "Transformacja energetyczna--zapotrzebowanie na źródła energii pierwotnej w perspektywie 2040 r. Co się zmieni po wybuchu wojny na Ukrainie?," *Nowa Energ.*, pp. 10–16, 2022.
- [2] V. V. Tyagi, N. A. A. Rahim, N. A. Rahim, and J. A. /L. Selvaraj, "Progress in solar PV technology: Research and achievement," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 20, pp. 443–461, 2013.
- [3] H. Boryń, "Ochrona odgromowa fotowoltaicznych źródeł energii elektrycznej," *Zesz. Nauk. Wydz. Elektrotechniki i Autom. Politech. Gdańskiej*, pp. 21–26, 2010.
- [4] E. Sobieska and K. Sobolewski, "Modelowanie i symulacje instalacji ochrony odgromowej dla obiektów wyposażonych w instalację fotowoltaiczną," *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 97, no. 6, pp. 86–90, 2021.
- [5] "https://enerad.pl/fotowoltaika/najwieksze-farmy-fotowoltaiczne-w-polsce-ranking/," 2022.
- [6] "https://www.geoportal.gov.pl/."
- [7] D. Baczyński, P. Helt, P. Kapler, and S. Piotrowski Paweł and Robak, "Narażenie pracowników zajmujących się instalacją, serwisem oraz demontażem systemów fotowoltaicznych na szkodliwe czynniki fizyczne," *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 93, 2017.
- [8] J. Popczyk, "Oddolna budowa energetycznej odporności elektroprosumenckiej JST w miejsce bezpieczeństwa energetycznego w schodzącej rządowej polityce energetycznej," *Biul. PPTe2050 nr*, vol. 1, p. 5, 2022.
- [9] K. Mik, P. Zawadzki, J. Tarłowski, M. Bugaj, P. Grygiel, and S. Bykuć, "Multifaceted Analyses of Four Different Prototype Lightweight Photovoltaic Modules of Novel Structure," *Energies*, vol. 14, no. 8, 2021.
- [10] PN-EN 62305 - wersja polska. Ochrona odgromowa - Część 1: Zasady ogólne, Część 2: Zarządzanie ryzykiem, Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia, Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach
- [11] Publikacja niemieckiego związku ubezpieczycieli (GDV e. V.), Ukierunkowana na ryzyko ochrona odgromowa i ochrona przed przepięciami. VdS 2010: 2020- 06 (projekt)
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie). Dz.U. 2022 poz. 1225