

doi:10.15199/48.2021.12.19

Bezpieczeństwo pożarowe instalacji fotowoltaicznych

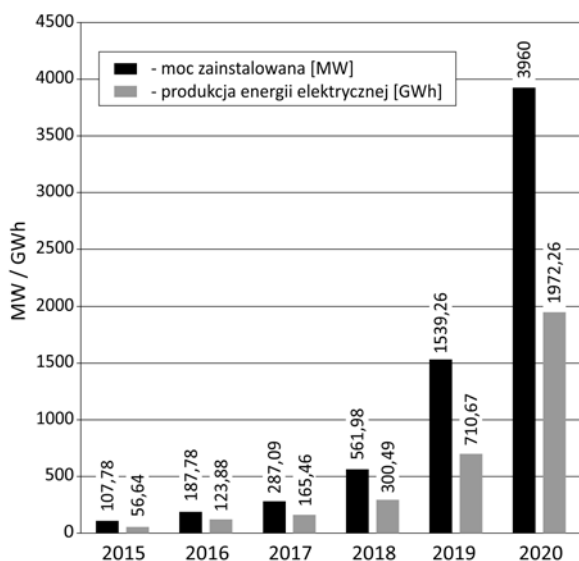
Streszczenie. Systemy fotowoltaiczne mają bardzo wysoki poziom bezpieczeństwa w zakresie prewencyjnej ochrony przeciwpożarowej pod warunkiem, że zaprojektowane oraz wykonane są w profesjonalny sposób. W artykule przeprowadzono analizę najczęstszych przyczyn wpływających na powstawanie zagrożenia pożarowego. Przedstawiono prawne oraz techniczne wymagania wpływające na bezpieczeństwo pożarowe instalacji fotowoltaicznych.

Abstract. Photovoltaic systems have a very high level of safety in terms of preventive fire protection, provided that they are designed and made in a professional manner. The paper presents an analysis of the most common causes that influence the occurrence of fire hazard. There is also presented legal and technical requirements affecting the safety of photovoltaic installations. (**Fire safety of photovoltaic installations**).

Słowa kluczowe: instalacja fotowoltaiczna, bezpieczeństwo przeciwpożarowe, złącza MC4, urządzenie do ograniczania prądów.
Keywords: photovoltaic installation, fire safety, MC4 connectors, surge protective device.

Wstęp

Wprowadzenie programu wsparcia "Mój Prąd" oraz obowiązujące regulacje prawne w zakresie pozyskiwania "zielonej energii" jak również jej zbywania, wpływają na bardzo dynamiczny rozwój sektora instalacji fotowoltaicznych (PV) [1]. Rynek instalacji PV, jest najszybciej rozwijającym się sektorem OZE w Polsce. Łączna moc zainstalowanych źródeł fotowoltaicznych na koniec 2019 roku wynosiła 1539,26 MW [2]. Według danych Agencji Rynku Energii [3], moc zainstalowana PV w Polsce na koniec 2020 roku wynosiła już 3960 MW (dynamika wzrostu liczona rok do roku - 157%).



Rys. 1. Moc zainstalowana oraz wyprodukowana energia elektryczna z instalacji PV w Polsce w latach 2015 - 2020 [2, 3]

Tabela 1. Wzrost mocy zainstalowanej instalacji PV w Polsce (liczony rok do roku)

Rok	2015	2016	2017	2018	2019	2020
wzrost	-	74%	53%	96%	173%	157%

Największa dynamika wzrostu występuje w obszarze mikroinstalacji PV (< 10 kW). W okresie od stycznia do końca czerwca 2021 roku, przyłączono do systemu elektroenergetycznego 150 836 nowych instalacji PV o łącznej mocy zainstalowanej 1 355,08 MW [3].

Tabela 2. Nowe instalacje PV przyłączone do systemu w Polsce (w roku 2021) [3]

Rok 2021	Liczba nowych instalacji PV	Moc zainstalowana
	[szt.]	[MW]
Styczeń	18 596	154,94
Luty	14 643	130,84
Marzec	24 865	218,69
Kwiecień	27 902	252,13
Maj	29 559	236,55
Czerwiec	35 271	361,93
SUMA:	150 836	1 355,08

Instalacje PV to bardzo bezpieczna technologia pod względem ochrony przeciwporażeniowej jak również przeciwpożarowej. Systemy fotowoltaiczne mają bardzo wysoki poziom bezpieczeństwa w zakresie prewencyjnej ochrony przeciwpożarowej pod warunkiem, że zaprojektowane oraz wykonane są w profesjonalny sposób. W artykule przeprowadzono analizę najczęstszych przyczyn wpływających na powstawanie zagrożenia pożarowego, przedstawiono prawne oraz techniczne wymagania wpływające na bezpieczeństwo pożarowe instalacji PV.

Przyczyny pożarów instalacji PV

Instalacje PV montowane na obiektach budowlanych jak również w wariantach wolnostojących, traktowane są jako część składowa instalacji elektrycznych niskiego napięcia do których zostały przyłączone. W trakcie projektowania i budowy instalacji PV, należy spełnić znormalizowane wymagania techniczne, dotyczące instalacji elektrycznych niskiego napięcia oraz dodatkowo wymagania wynikające ze specyfiki pracy obwodów prądu stałego o napięciu do 1000 V [4-6].

Projektując i budując instalacje PV, należy odpowiednio dobrać środki ochrony przeciwporażeniowej [7], uwzględnić negatywny wpływ czynników środowiskowych, tak aby cała instalacja prawidłowo funkcjonowała przez zakładany okres eksploatacji oraz aby nie stwarzała niebezpieczeństwa dla osób postronnych [8]. Zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie [4], obwody strony DC należy traktować jako urządzenia pod napięciem, nawet jeśli cała instalacja PV jest odłączona od strony AC (od sieci elektroenergetycznej).

Instalacje PV prawidłowo zaprojektowane i zbudowane są bardzo bezpieczne pod względem ochrony przeciwporażeniowej jak również pożarowej [9]. W mediach często pojawiają się informacje o palących się domach na dachach których zamontowane zostały moduły PV. Przekazywane informacje na temat zagrożeń pożarowych

wynikających z instalacji PV, opierają się bardzo często na niesprawdzonych i niepotwierdzonych wiadomościach, plotkach lub opiniach osób postronnych.

W Polsce, Wydział Przetwarzania Danych Operacyjnych Krajowego Centrum Koordynacji Ratownictwa i Ochrony Ludności, prowadzi statystyki przypuszczalnych przyczyn pożarów. Statystyki te obejmują swoim zakresem między innymi, przyczyny wynikające z wad oraz nieprawidłowej eksploatacji instalacji i urządzeń elektrycznych. Niestety, niema wydzielonej grupy dotyczącej bezpośrednio instalacji PV. Analizując dane za lata 2015-2020 (tabela 3), pomimo bardzo dynamicznego przyrostu liczby oddanych do eksploatacji instalacji PV, niema to żadnego przełożenia na liczbę zaistniałych pożarów. Liczby przypuszczalnych przyczyn na przestrzeni sześciu lat, utrzymują się na podobnych poziomach z widoczną zniżką w roku 2020.

Tabela 3. Przypuszczalne przyczyny pożarów w Polsce (wybrane - dotyczące instalacji elektrycznych) w latach 2015-2020

ROK					
2015	2016	2017	2018	2019	2020
Liczba pożarów - ogółem					
184793	126214	125871	149424	153497	128735
Wady urządzeń i instalacji elektrycznych w szczególności przewody, osprzęt oświetlenia, odbiorniki bez urządzeń grzewczych					
5737	5292	5361	5718	5773	5151
Nieprawidłowa eksploatacja urządzeń i instalacji elektrycznych					
429	450	455	466	449	397
Wady elektrycznych urządzeń ogrzewczych w szczególności: piece, grzałki, kuchnie					
327	318	348	372	341	306
Nieprawidłowa eksploatacja elektrycznych urządzeń ogrzewczych					
131	153	136	166	161	138
Wyładowania atmosferyczne					
731	b.d.	542	524	539	336

W krajach Europy Zachodniej publikowane są raporty firm ubezpieczeniowych dotyczące przyczyn zaistniałych pożarów obiektów mieszkalnych i przemysłowych [10].

Przykładowo w Niemczech, w 2013 roku zgłoszono 430 przypadków pożarów (incydentów pożarowych), z których 210 zostało wywołanych bezpośrednio przez instalacji PV. Porównując to do łącznej liczby około 1,3 mln instalacji PV (istniejących w 2013 roku), stanowi to 0,016% wszystkich systemów PV zainstalowanych w tym kraju [10].

W Wielkiej Brytanii, w latach 2010÷2017 odnotowano 58 zdarzeń pożarowych dotyczących instalacji PV zamontowanych na budynkach. W porównaniu do całkowitej liczby około 1 mln systemów PV, stanowi to 0,0058% [10].

W Holandii, w roku 2018 stwierdzono 23 incydenty pożarowe z udziałem instalacji PV co stanowi 0,014% wszystkich, około 170 tysięcy zarejestrowanych domowych instalacji PV [10].

Analizując informacje zawarte w raportach powypadkowych z poszczególnych krajów, można stwierdzić że:

- 70% przyczyn zaistniałych pożarów instalacji PV dotyczy wpływów zewnętrznych lub błędów montażowych polegających na niedopasowaniu lub złym montażu złączy w obwodach DC;
- 20% przyczyn to awarie osprzętu;
- 10 % przyczyn to usterki falowników.

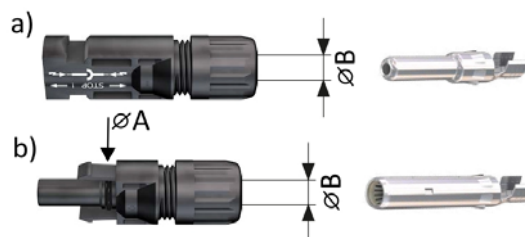
Większość przeprowadzonych badań i analiz powypadkowych, jednoznacznie stwierdza, że główną przyczyną powstawania pożarów instalacji PV to niedopasowanie złączy w obwodach DC. Łączenie ze sobą złączy pochodzących od różnych producentów lub nieprawidłowe zaciskanie złączy na kablu, prowadzi do wzrostu rezystancji i przegrzewaniem się połączeń co może wywołać pojawienie się w tych punktach łuku elektrycznego oraz zainicjować pożar.

Złącza w obwodach DC instalacji PV

Najpopularniejszym rozwiązaniem, stosowanym do łączenia elementów w obwodach DC instalacji PV są złącza typu MC4. Złącza tego typu opracowane zostały i wprowadzone na rynek przez firmę Multi-Contact (obecnie Staubli Electrical Connectors AG). Skrót MC pochodzi od inicjałów pierwotnej nazwy firmy, 4 - to średnica zewnętrzna wtyku męskiego i gniazda żeńskiego w milimetrach. Ze względu na brak znormalizowanych wymagań technicznych dotyczących budowy złączy MC-4, występują problemy z ich kompatybilnością w przypadku łączenia wtyków męskich i żeńskich pochodzących od różnych producentów. W tabeli 4 zestawiono podstawowe parametry techniczne złączy MC4 produkowanych przez firmę Staubli [11].

Tabela 4. Parametry techniczne złączy MC4 [11]

Napięcie znamionowe	1000/1500 V DC
Prąd znamionowy (30°)	2,5 mm ² : 39 A 4,0 mm ² : 51 A 6,0 mm ² : 65 A 10,0 mm ² : 104 A
Znamionowe napięcie udarowe	12 kV
Zakres temperatur otoczenia	-40°C ÷ +85°C
Górna temperatura graniczna	+ 105°C
Stopień ochrony (szczelności) - w stanie rozłączenia	IP65 IP2X
Kategoria przepięciowa / stopień zanieczyszczenia	KATIII/3
Rezystancja styku złącza	≤ 0,35 mΩ
System blokady	typ zatrzaskowy
Klasa bezpieczeństwa	II
Rodzaj zakończenia (połączenie z kablem)	zaciskanie
Materiał kontaktowy	miedź cynowana
Ostrzeżenie	nie rozłączać pod obciążeniem
Materiał izolacyjny	PC/PA (poliamid)
Klasa płomienia	UL94-V0



Rys. 2. Złącze MC4, a) wtyk męski, b) gniazdo żeńskie (ØA - średnica uszczelki pomiędzy wtykiem a gniazdem, ØB - średnica uszczelki pomiędzy złączem a kablem) [11]

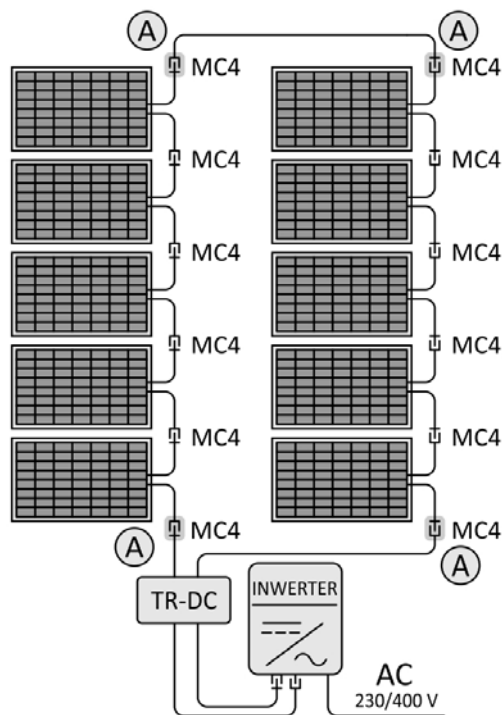
Niekompatybilność złączy MC4 wyprodukowanych przez różnych producentów polega na różnych tolerancjach wykonania mechanicznego części męskiej i żeńskiej co wpływa bezpośrednio na rezystancję przejścia złącza. Kolejnym problemem jest uszczelka pomiędzy częściami złącza (rys. 2 - ØA), która powinna zapewnić odpowiedni poziom szczelności i zabezpieczyć złącze przed wnikaniem wilgoci. Niedopasowanie części złącza w tym elemencie powoduje przyspieszony proces degradacji złącza elektrycznego.

Częstym błędem popełnianym na etapie montażu jest również niedopasowanie złączy do średnicy zewnętrznej łączonych kabli (rys. 2 - ØB). Złącza MC4 produkowane są w różnych wersjach dostosowanych do przekrojów poprzecznych żył kabli, stosowanych w obwodach DC instalacji PV.

Tabela 5. Rodzaje złączy MC4 produkowanych przez firmę Staubli w zależności od przekroju żyły łączonych kabli [11]

ØB Średnica zewnętrzna kabla [mm]	Przekrój żyły kabla		
	1,5/2,5 mm ²	4/6 mm ²	10 mm ²
4,7 ÷ 6,2	PV-K...T4/2,5I	PV-K...T4/6I	
5,7 ÷ 7,4	PV-K...T4/2,5X	PV-K...T4/6X	
6,0 ÷ 8,8	PV-K...T4/2,5II	PV-K...T4/6II	PV-K...T4/8II

Moduły PV, standardowo wykorzystywane do budowy instalacji PV, produkowane są z przewodami zakończonymi oryginalnie złączami MC4 umożliwiającymi łączenie ich szeregowo w łańcuchy. W szeregowym łańcuchu moduły PV powinny być tego samego typu i posiadać identyczne parametry techniczne. Problemy z niedopasowanymi złączami MC4 pojawiają się przy wykonywaniu dodatkowych połączeń w obwodach DC, np. pomiędzy sąsiednimi rzędami modułów PV lub pomiędzy skrajnymi modułami w łańcuchu a kolejnymi elementami obwodu.

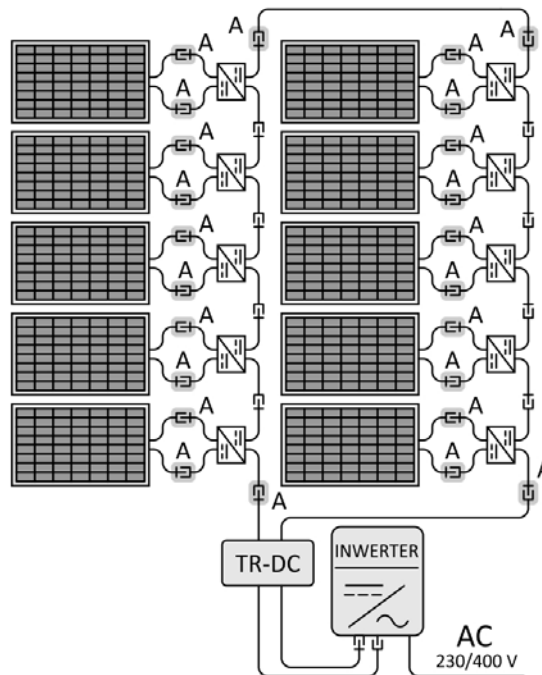


Rys. 3. Schemat przykładowego obwodu DC instalacji PV (jednego łańcucha modułów PV)

W przypadku prostej instalacji PV, składającej się z jednego łańcucha modułów PV, niedopasowanie złączy MC4 może wystąpić w czterech punktach zaznaczonych literą A na rysunku 3. Jeżeli w instalacji PV zostały zastosowane optymalizatory (zwiększające sprawność produkcji energii elektrycznej), to dla takiej samej konfiguracji instalacji PV, liczba niewłaściwych połączeń wzrasta do 24 punktów zaznaczonych literą A na rysunku 4.

Ze względu na możliwość wystąpienia niedopasowania złączy MC4, powinno się dążyć do minimalizacji liczby

połączeń w obwodach DC. Montowanie w obwodach DC dodatkowych urządzeń, takich jak optymalizatory lub mikroinwertery, które produkowane są przez innych producentów niż moduły PV, bezpośrednio wpływa na zwiększenie ryzyka wystąpienia zagrożenia pożarowego.



Rys. 4. Schemat przykładowego obwodu DC instalacji PV z zastosowaniem optymalizatorów (jednego łańcucha modułów PV)

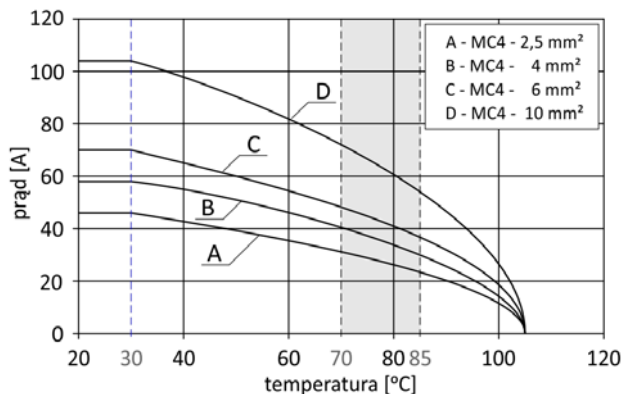
Kryteria projektowe obwodów DC instalacji PV

Projektując instalacje PV należy uwzględnić warunki w jakich te instalacje będą pracowały oraz czynniki środowiskowe na które będą narażone. Obwody modułów PV montowane na powierzchni dachów budynków, narażone są na pracę w bardzo szerokim zakresie temperatur (w Polsce przyjmuje się od -25°C do nawet 90°C), obecność wody oraz promieniowania UV. Dobierając na etapie projektowym poszczególne elementy składowe obwodów DC: okablowanie, złącza, tablice rozdzielcze, urządzenia zabezpieczające, należy uwzględnić wymienione wyżej czynniki, wymagania normy [4] oraz prawidłowo dobrać obciążalność prądową długotrwałą, poszczególnych elementów.

Standardową temperaturą otoczenia, dla której w normach lub katalogach definiowane są obciążalności długotrwałe różnych urządzeń oraz przewodów jest temperatura 30°C (tabela 4 – obciążalność złączy MC4). Zgodnie z wymaganiami normy [4], przy projektowaniu obwodów poddawanych bezpośredniemu nagrzewaniu od spodniej strony modułów PV, należy przyjmować temperaturę otoczenia nie mniejszą niż 70°C. Spełnienie powyższego warunku wymusza zastosowanie odpowiednich współczynników przeliczeniowych obniżających dopuszczalną obciążalność prądową dla przyjętej temperatury otoczenia. Nie uwzględnienie przy doborze poszczególnych elementów, dopuszczalnej obciążalności prądowej w rzeczywistej temperaturze otoczenia skutkować będzie przyspieszoną degradacją termiczną izolacji oraz ryzykiem powstania pożaru.

Na rysunku 5 przedstawiono wpływ temperatury otoczenia na dopuszczalną obciążalność prądową złączy MC4 dla poszczególnych rodzajów, w zależności od przekroju żyły łączonych kabli [11]. Producent złączy MC4,

na etapie projektowym zaleca przyjmowanie maksymalnej temperatury otoczenia na poziomie 85°C. Maksymalną dopuszczalną temperaturę pracy złącza MC4, producent określa na 105°C [11].



Rys. 5. Wpływ temperatury otoczenia na dopuszczalną obciążalność prądową złączy MC4 [11].

Wymagania prawne i techniczne stawiane instalacją PV

Spełnienie odpowiednich standardów bezpieczeństwa pożarowego to jedna z podstawowych kwestii nowoczesnego budownictwa. Zgodnie z zapisami wprowadzonymi do ustawy Prawo budowlane [12], od 19 września 2020 roku konieczne jest wskazanie warunków ochrony przeciwpożarowej dla nowo projektowanych instalacji PV, gdy moc zainstalowanych modułów PV będzie większa niż 6,5 kWp. Wprowadzono również obowiązek uzgadniania projektu technicznego instalacji PV pod względem ochrony przeciwpożarowej z rzeczoznawcą do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych oraz obowiązek zawiadomienia organów Państwowej Straży Pożarnej o zakończeniu budowy instalacji PV i planowaniu przystąpienia do jej użytkowania [12].

Warunkiem uzyskania uzgodnienia jest zawarcie w projekcie technicznym instalacji PV następujących wymagań [13]:

- konieczność łączenia elementów obwodów DC za pomocą złączy tego samego typu (np. MC4) i pochodzących od tego samego producenta;
- ograniczenie do minimum liczby połączeń w obwodach DC;
- prowadzenie przewodów DC będących stale pod napięciem w metalowych korytach kablowych z uwzględnieniem ich ochrony przed ostrymi krawędziami;
- prowadzenie oprzewodowania DC w odległości min. 10 cm od powierzchni dachów, pokrytych materiałami palnymi;
- konieczność uszczelniania przejść oprzewodowania przez budowlane przegrody oddzielenia pożarowego do wymaganej pierwotnie odporności ogniowej;
- konieczność wykonywania badań odbiorczych całej instalacji w zakresie poprawności wykonania oraz skuteczności zastosowanych środków ochrony przeciwpożarowej [14];
- konieczność umieszczania oznakowania "Niebezpieczeństwo - wysokie napięcie DC", na trasach oprzewodowania DC będącego stale pod napięciem nawet po wyłączeniu instalacji;
- konieczność wprowadzenia oznakowania w budynkach zgodnie z wytycznymi normy [4], poprzez umieszczenie odpowiednich piktogramów informacyjnych w miejscu przyłączenia instalacji PV do instalacji elektrycznej niskiego napięcia, przy układzie pomiarowo-

rozliczeniowym oraz przy głównym wyłączniku zasilania dla całego obiektu.

Podsumowanie

Jedną z głównych przyczyn powstawania zagrożenia pożarowego instalacji PV jest nieprawidłowe wykonanie połączeń systemowymi złączami w obwodach DC. Najpopularniejsze złącza typu MC4, wytwarzane przez różnych producentów, nie zawsze są między sobą w pełni kompatybilne ze względu na różne tolerancje produkcji jak również różną rozszerzalność cieplną.

Na oprzewodowanie obwodów DC należy stosować kable jednożyłowe o dopuszczalnej temperaturze pracy nie mniejszej niż 90°C i wysokiej odporności na promieniowanie UV. Ze względu na temperaturę pracy i sposób instalacji, wyznaczając dopuszczalną długotrwałą obciążalność prądową, wymagane jest stosowanie współczynników korekcyjnych w odniesieniu do maksymalnej temperatury otoczenia.

Zgodnie z wymogami normy [4] wszystkie urządzenia elektryczne montowane po stronie DC aż do zacisków DC inwertera powinny mieć izolację w II klasie lub równoważną. Maksymalne napięcie w obwodzie DC, łączącym pojedyncze moduły PV w łańcuchy nie może przekroczyć wartości 1000 V DC. Ograniczniki SPD typ T2 (warystorowe), montowane w obwodach DC powinny mieć konfigurację CT2 oraz odpowiednią wartość napięcia pracy. Stosowanie ograniczników o konfiguracji CT1 („2+0”) zwiększa ryzyko powstania pożaru.

Autorzy: dr inż. Paweł Czaja, Politechnika Częstochowska, Katedra Automatyki, Elektrotechniki i Optoelektroniki, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: pawel.czaja@pcz.pl

LITERATURA

- [1] Szczerbowski R.: Instalacje fotowoltaiczne - aspekty techniczno-ekonomiczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 10, 31-36
- [2] Energia ze źródeł odnawialnych w 2019 r. *Analizy statystyczne*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa (2020), ISSN: 1898-43479
- [3] Informacja statystyczna o energii elektrycznej, Agencja Rynku Energii S.A., nr 4/328 (2021), ISSN: 1232-5457
- [4] Norma PN-HD 60364-7-712:2016-05 Instalacje niskiego napięcia. Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania
- [5] Petrone G., Spagnuolo G., Teodorescu R., Veerachary M., Vitelli M.: Reliability issues in photovoltaic power processing systems, *Industrial Electronics IEEE Transactions on*, Volume 55 (2008), Issue 7, 2569-2580
- [6] Messenger R. A., Ventre J.: Photovoltaic systems engineering, Taylor&Francis Group, (2010)
- [7] Czaja P.: Środki ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach fotowoltaicznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 91 (2015), nr 12, 73-76
- [8] Norma PN-HD 60364-4-41:2017-09 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym
- [9] Eltawil M. A., Zhao Z.: Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 14, Issue 1, (2010), 112-129
- [10] Bezpieczeństwo pożarowe instalacji PV, Fronius, (2020)
- [11] MC4 & MC4-Evo 2 for low-voltage DC applications up to 100 A, Stäubli Description Report, (2021)
- [12] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane, Dz.U. z 2020 r. poz. 1333, z późniejszymi zmianami
- [13] Fotowoltaiczny dekalog dobrych praktyk, SBF Polska PV, Kraków (2021)
- [14] Czaja P.: Reception and exploitation tests of photovoltaic installations, *2018 Progress in Applied Electrical Engineering*, PAEE (2018), DOI: 10.1109/PAEE.2018.844116