

Biała Księga

Wytyczne dla projektantów, instalatorów
oraz rzeczoznawców ds. zabezpieczeń ppoż.



Bezpieczeństwo pożarowe instalacji PV wytyczne ds. zabezpieczeń ppoż.

Spis treści

Wprowadzenie	3
Cel	3
Pożar a systemy PV: fakty i mity	4
Ryzyko pożaru a ryzyko dla strażaków	4
Doświadczenie innych rynków	5
Niemcy	5
Wielka Brytania	6
Holandia	8
Złącza DC - konieczność i źródło błędów	8
Błędy instalacji	9
Niedopasowanie złączy DC	9
Optymalizatory mocy - niebezpieczny środek bezpieczeństwa	11
Fakty i mity na temat bezpieczeństwa ppoż. instalacji PV	13
Zalecenia dla projektantów, instalatorów, inspektorów ppoż.	14
Zalecenia dotyczące zmniejszenia ryzyka powstania pożaru	15
Dodatkowe środki w celu zmniejszenia ryzyka dla strażaków	15
Bezpieczeństwo produktów Fronius	17
Wymagana zgodność z normami	17
Bibliografia	18

Biała księga

© Fronius Polska Sp. z o.o.

Wersja 05 12/2020

Business Unit Solar Energy

Firma Fronius zastrzega sobie wszelkie prawa, w szczególności prawo do powielania, dystrybucji i tłumaczenia. Żadna część tego dokumentu nie może być w jakiegokolwiek formie: przechowywana, przetwarzana, powielana lub rozpowszechniana za pomocą systemów elektronicznych bez pisemnej zgody firmy Fronius. Informacje publikowane w niniejszym dokumencie, pomimo największej staranności w jego przygotowaniu, mogą ulec zmianie i ani autor, ani Fronius nie mogą przyjąć żadnej odpowiedzialności prawnej. Sformułowanie dotyczące płci odnosi się w równym stopniu do formy męskiej i żeńskiej.

Wprowadzenie

Systemy fotowoltaiczne to niezwykle bezpieczna technologia, ale niektórzy ludzie nadal mają nieuzasadnione obawy dotyczące bezpieczeństwa instalacji PV. Opowieści o palących się domach, które nie mogą zostać ugaszone, lub strażakach, którzy nie atakują ognia, jeśli na dachu znajduje się instalacja PV, stawiają takie systemy w złym świetle, a są zupełnie nieprawdziwe. W rzeczywistości systemy fotowoltaiczne cechuje wysoki stopień bezpieczeństwa w zakresie prewencyjnej ochrony przeciwpożarowej, a także bezpieczeństwa operacyjnego w przypadku pożaru. Wiele ostatnich analiz incydentów przeciwpożarowych związanych z PV, takich jak te z TÜV Rheinland i Fraunhofer ISE (Sepanski i inni, 2015), BRE (2017b) lub IEA PVPS (2017) pokazują, że podczas procesu produkcyjnego komponenty systemów fotowoltaicznych są testowane pod kątem rygorystycznych protokołów bezpieczeństwa i niezawodności. Daje to pewność, że spełniają one wymagania bezpieczeństwa elektrycznego wg różnych krajowych i międzynarodowych norm i wytycznych. Dodatkowo podczas planowania, budowy i eksploatacji uwzględnia się takie czynniki, jak tworzenie przegród pożarowych, dostępność, integralność funkcjonalna i bezpieczeństwo mechaniczne. Moduły, które działają jako część dachu (zintegrowane PV z budynkiem) muszą spełniać te same testy odporności ogniowej, co materiał pokrycia dachowego.

Zgodnie z Programem Międzynarodowej Agencji Energetyki fotowoltaicznej (IEA PVPS) „systemy PV nie stwarzają zagrożeń dla zdrowia, bezpieczeństwa lub środowiska w normalnych warunkach pracy, jeśli są odpowiednio zainstalowane i konserwowane przez przeszkolony personel, zgodnie z wymogami kodeksów elektrycznych.” (IEA PVPS 2017; str. 2).

Cel

Celem tego dokumentu jest ocena i prezentacja aktualnej sytuacji dotyczącej pożarów systemów fotowoltaicznych w wybranych krajach, oraz ustalenie, czy istnieje istotny wpływ takich systemów na ryzyko wystąpienia pożaru budynku. Chociaż system PV jest bardzo bezpieczną technologią, a incydenty są rzadkie, analiza ta powinna uwydatnić najczęstsze powody wystąpienia łuku elektrycznego, a tym samym możliwe powstanie pożaru. Na podstawie ustaleń tej analizy usterek w wybranych krajach wprowadzono odpowiednie środki w celu dodatkowego zmniejszenia niewielkiego i tak zagrożenia pożarowego powodowanego przez systemy PV. Chociaż instalacje elektryczne od dziesięcioleci są integralną częścią prawie każdego budynku, a strażacy wiedzą, jak sobie z nimi radzić, w społeczeństwie brakuje aktualnej wiedzy, jeśli chodzi o gaszenie pożaru, który obejmuje budynek z instalacją fotowoltaiczną. Analizując różne taktyki, działania i strategie, a także środki bezpieczeństwa zmniejszające ryzyko porażenia prądem strażaków, niniejszy dokument zawiera zalecenia dotyczące postępowania w przypadku takiego pożaru.

Pożar a systemy PV: fakty i mity

Należy zwrócić uwagę, że ogólna wiedza na temat zagrożeń pożarowych powodowanych przez systemy PV opiera się głównie na mitach, plotkach oraz niesprawdzonych informacjach. Analizując opinie producentów i instalatorów, informacje prasowe oraz literaturę (Sepanski i inni, 2015), zidentyfikowano następujące punkty, reprezentujące różnorodność nieprawidłowych informacji, które krążą w opinii publicznej:

- strażacy nie ugaszą pożaru w budynkach z systemem PV na dachu
- system PV na dachu znacznie zwiększa ryzyko pożaru
- system PV na dachu znacznie zwiększa ryzyko zranienia strażaków w sytuacjach awaryjnych
- wyłączenie instalacji PV na poziomie modułu zmniejsza ryzyko pożaru
- nie jest możliwe ugaszenie pożaru spowodowanego przez instalację PV
- system PV na dachu znacznie zwiększa prawdopodobieństwo, że budynek zostanie trafiony przez piorun

Wymienione powyżej punkty zostały przeanalizowane, w celu sprawdzenie, czy można wiarygodnie potwierdzić ich słuszność czy też są one powtarzanym niewiarygodnym mitem.

Ryzyko pożaru a ryzyko dla strażaków

Mówiąc o bezpieczeństwie systemów PV, możliwe zagrożenia związane z pożarem należy podzielić na dwie kategorie:

Ryzyko pożaru: to ryzyko opisuje prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru. Im wyższe to prawdopodobieństwo, tym większe ryzyko pożaru.

Ryzyko dla osób udzielających pomocy: ryzyko to opisuje prawdopodobieństwo, zagrożenia życia lub zdrowia personelu podczas misji ratowniczej lub przeciwpożarowej.

Te dwie kategorie są równie ważne, gdy mówimy o zwiększeniu bezpieczeństwa systemów fotowoltaicznych. Podjęcie odpowiednich działań, które zmniejszają ryzyko pożaru, bezpośrednio zmniejsza ryzyko dla osób udzielających pomocy, ponieważ brak pożaru oznacza brak zagrożenia dla osób udzielających pomocy. Dlatego powinno to stanowić najwyższy priorytet w zakresie bezpieczeństwa pożarowego instalacji fotowoltaicznych. Ta reguła nie ma jednak działania odwrotnego. Środki, które bezpośrednio wpływają na ryzyko dla służb ratowniczych, takie jak na przykład wymagania do ograniczenia napięcia na poziomie modułów PV, często nie przyczyniają się do zmniejszenia ryzyka pożaru, lecz wręcz przeciwnie: może prowadzić do zwiększonego ryzyka pożaru, co zostanie omówione w rozdziale 3. Firma Fronius kładzie nacisk na podniesienie i tak już wysokiego poziomu bezpieczeństwa w zakresie ochrony przeciwpożarowej, co bezpośrednio wpływa na zmniejszenie ryzyka służb ratowniczych, a zatem jest zrównoważonym i korzystniejszym rozwiązaniem.

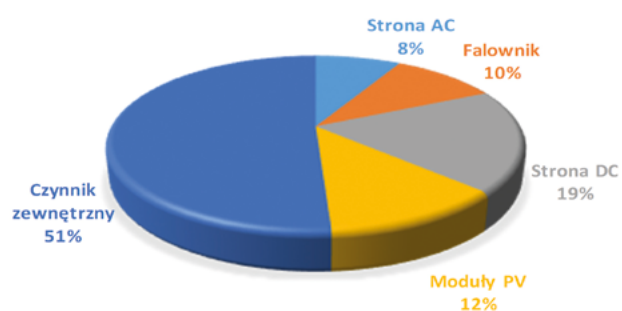
Doświadczenie innych rynków

Jak wspomniano we wstępie, ten rozdział zawiera przegląd incydentów pożarowych z udziałem systemów fotowoltaicznych na budynkach w wybranych krajach.

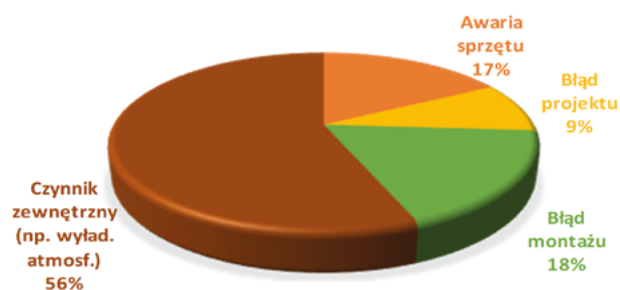
Niemcy

Niemcy są jednym z najstarszych rynków PV na Świecie i jednocześnie największym w Europie. W 2015 roku TÜV Rheinland we współpracy z Instytutem Systemów Energetyki Słonecznej im. Fraunhofera (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems; ISE) opublikował raport o incydentach pożarowych z udziałem systemów fotowoltaicznych związanych z budynkiem do roku 2013. Ta szczegółowa analiza wykazała, że oficjalnie zgłoszone zostało 430 przypadków pożaru / incydentów pożarowych, z których 210 zostało wywołanych przez systemy PV. Porównując to do łącznej liczby około 1,3 mln instalacji PV istniejących w 2013 roku, stanowi to zaledwie 0,016% wszystkich systemów PV zainstalowanych w Niemczech (Spanski i inni, 2015). Ilustracje obok pokazują rozłożenie incydentów pożarowych dla różnych typów źródeł błędów.

Analiza wykazała, że ponad 70% błędów wynika z wpływów czynników zewnętrznych lub błędów montażowych (patrz rysunek 2). Podczas gdy tylko 17% błędów powodujących pożar jest spowodowanych awarią sprzętu (patrz rysunek 2), zaledwie 10% jest usterką falownika (patrz rysunek 1).



Rysunek 1: Źródło wystąpienia pożaru instalacji PV (Sepanski i inni, 2015)



Rysunek 2: Przyczyny wystąpienia pożaru instalacji PV

Szczegółowa analiza przyczyn awarii dla zdarzeń pożarowych wskazała wystąpienie łuku elektrycznego jako głównej przyczyny pożarów z udziałem systemów fotowoltaicznych. Przyczyny te są wymienione w tabeli 1, posortowane są według składników i prawdopodobieństwa wystąpienia.

Komponent	Możliwa przyczyna wystąpienia łuku elektrycznego
Złącza DC	<ul style="list-style-type: none"> - łączenie wtyczek i gniazd DC pochodzących od różnych producentów - wtyczka lub gniazdo słabo zaciśnięta na miejscu montażu - wtyczka nie zablokowana prawidłowo - złącze mechanicznie uszkodzone lub skorodowane z powodu niewłaściwej instalacji, warunków atmosferycznych, uszkodzenia przez zwierzęta lub błędów w produkcji - wtyczka lub gniazdo słabo zaciśnięta na etapie produkcji
Zaciski śrubowe w rozdzielnicy lub falowniku (po stronie prądu stałego)	<ul style="list-style-type: none"> - zacisk został niedokładnie dokręcony, kabel niewystarczająco głęboko włożony - zbyt duży moment dokręcający skutkujący zerwaniem gwintu zacisku śrubowego - niedowymiarowane, ułożone zbyt blisko siebie przewody - zacisk dokręcony na izolacji, a nie na żyłce przewodu
Połączenie lutowane (w module)	<ul style="list-style-type: none"> - złe rozprowadzenie lutowia, starzenie z powodu naprężeń mechanicznych / termicznych
Dioda by-pass	<ul style="list-style-type: none"> - przepięcie z powodu burzy lub przepięcia łączeniowe w systemie - długotrwałe działanie przeciążenia termicznego
Moduł	<ul style="list-style-type: none"> - uszkodzenia ogniwi (mikropęknięcia, ...) - zerwane złącza ogniwi - pęknięcie ogniwa / pęknięcie szkła
Bezpieczniki DC	<ul style="list-style-type: none"> - nieprawidłowo dobrane bezpieczniki - niewłaściwa instalacja
Kabel DC	<ul style="list-style-type: none"> - długotrwałe działanie związana z pogodą (promieniowanie UV, wilgotność, zmiana temperatury, ...) - uszkodzenie spowodowane niewłaściwą instalacją (załamanie, ...) - uszkodzenie izolacji przez zwierzęta
Wyłącznik prądu stałego	<ul style="list-style-type: none"> - nieodpowiedni dla instalacji DC
Skrzynka przyłączeniowa	<ul style="list-style-type: none"> - złe połączenie lutowane - starzenie się z powodu stresu mechanicznego / termicznego
Ogólne błędy instalacji	<ul style="list-style-type: none"> - niewłaściwy stopień ochrony (wilgotność, kurz) - odwrotne włożenie kabla w dławik PG

Analiza wykazała, że obok zewnętrznych przyczyn, większość błędów prowadzących do pożarów była spowodowana awarią instalacji po stronie DC (prądu stałego) systemu fotowoltaicznego, przy czym najczęstszą przyczyną są złącza DC, które łączą moduły fotowoltaiczne w łańcuchy.

Wielka Brytania

W 2017 r. BRE National Solar Center opublikowało szczegółowy raport na temat incydentów pożarowych związanych z budynkami. Zgodnie z tym sprawozdaniem (BRE 2017a), od 2010 roku w Wielkiej Brytanii doniesiono

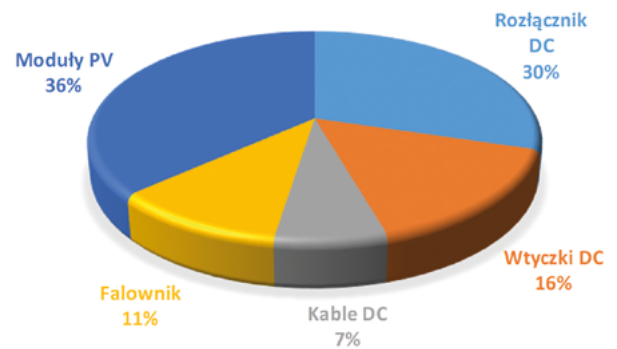
o 58 zdarzeniach pożarowych dotyczących systemów fotowoltaicznych zamontowanych na budynkach. W porównaniu do całkowitej liczby około 1 miliona systemów PV, daje to **0,0058% wszystkich zainstalowanych systemów PV**. Poniższe ilustracje pokazują alokację incydentów pożarowych do różnych typów błędów i źródeł błędów.

Wyłączając kategorię „Nieznany typ błędu”, większość incydentów pożarowych wynika z czynników zewnętrznych i błędów instalacji. Tylko około 9% wszystkich zdarzeń pożarowych jest weryfikowany jako awaria sprzętu (patrz rysunek 4).

Poniższa lista przedstawia główne przyczyny powstawania łuków elektrycznych zidentyfikowane w raporcie (BRE 2017a). Wiele z nich dotyczy problemów ze złączami DC. W przeciwieństwie do tabeli 1, lista ta nie jest sortowana według prawdopodobieństwa wystąpienia.

- Wnikanie wilgoci powodujące degradację połączeń w złączach, skrzynkach połączeniowych i przełącznikach
- Nieprawidłowo zaciśnięte styki złącz
- Łączenie niekompatybilnych wtyczek i gniazd
- Wtyczki i gniazda nie są w pełni złączone
- Niezupełnie dokręcone śruby lub luźne zaciski śrubowe w skrzynkach przyłączeniowych lub rozłącznikach izolacyjnych
- Słabo lutowane połączenia w skrzynce przyłączeniowej modułów fotowoltaicznych lub inne wady skrzynki przyłączeniowej
- Uszkodzenie podzespołu (np. przerwane busbary w module fotowoltaicznym)

Podobnie jak w przypadku Niemiec (patrz rozdział 2.1), analiza incydentów pożarowych związanych z systemami fotowoltaicznymi na budynkach w Wielkiej Brytanii wykazała, że obok zewnętrznych źródeł błędów, większość błędów prowadzących do pożaru wynika z awarii instalacji po stronie DC systemu PV.



Rysunek 3: Źródło wystąpienia pożaru instalacji PV w Wlk. Brytanii (dane z BRE 2017a)



Rysunek 4: Przyczyny wystąpienia pożaru instalacji PV w Wlk. Brytanii (dane z BRE 2017a)

Holandia

Holenderska Organizacja Stosowanych Badań Naukowych (TNO) zakończyła w 2018 roku dochodzenie w sprawie szeregu incydentów pożarowych z udziałem dachowych systemów PV.

W 2018 roku stwierdzono 23 incydenty pożarowe domów, co stanowi zaledwie 0,014% wszystkich około 170 tysięcy domowych instalacji PV zarejestrowanych na koniec 2018 roku w Holandii.

Raport TNO stwierdził, że około 70% pożarów zostało spowodowanych przez wadliwe złącza DC, a zwłaszcza przez stosowanie złączy typu MC4 pochodzących od różnych producentów.

Jeśli dwa złącza nie łączą się prawidłowo lub jeśli między dwoma różnymi materiałami styku wystę-

puje warstwa korozyjna, może pojawić się podwyższona rezystancja styku. Miejsce to nagrzewa się, gdy płynie prąd i pojawia się „gorący punkt”. Ze względu na pojawienie się ciepła, materiał kontaktu może dyfundować lub nawet stopić się, aż do momentu gdy połączenie zostanie całkowicie przerwane. W tym przypadku nad – początkowo bardzo małą – szczeliną powietrzną może wytworzyć się łuk szeregowy, a to może prowadzić do pożaru.

Inne incydenty pożarowe były spowodowane akumulacją ciepła, skrzynkami przyłączeniowymi modułów bliskością instalacji domowych materiałów palnych, przy czym każdy z tych czynników stanowił 10% przypadków.

Złącza DC - konieczność i źródło błędów

Wszystkie przedstawione badania wykazały, że złącza DC są jedną z głównych przyczyn pojawiania się łuków elektrycznych w instalacji fotowoltaicznej. Inne kraje, jak Włochy (Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco 2015), również zgłosiły, że problemy ze złączami prądu stałego są główną przyczyną awarii, które mogą doprowadzić do pożaru. Podczas ostatnich pożarów w Stanach Zjednoczonych, które dotyczyły instalacji fotowoltaicznych na dachu w kilku sklepach Walmart w latach 2012-2018, złącza DC zostały podobnie uznane za najbardziej prawdopodobną przyczynę pożarów (Roselund, PV Magazine 2019, Lopez, Business Insider 2019).

Dwie główne przyczyny występowania łuków szeregowych w złączach prądu stałego to:

- Błędy instalacji: złącza nieprawidłowo połączone razem oraz słabe mocowanie złączy na kablu.
- Połączenia realizowane za pomocą złączy różnych producentów (niedopasowanie).

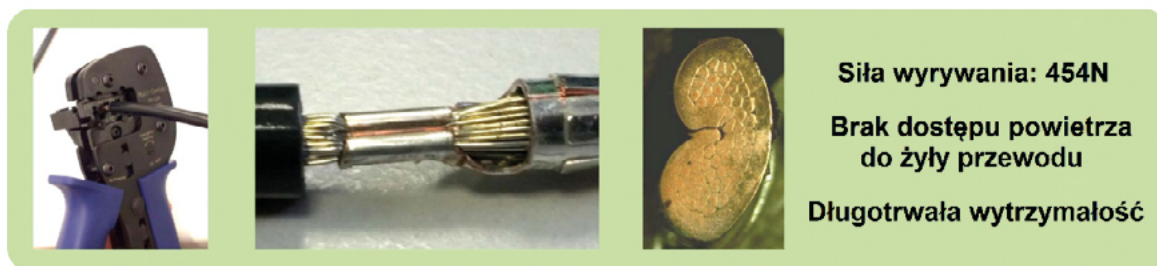
W tym rozdziale omówiono główne problemy ze złączami prądu stałego.

Błędy instalacji

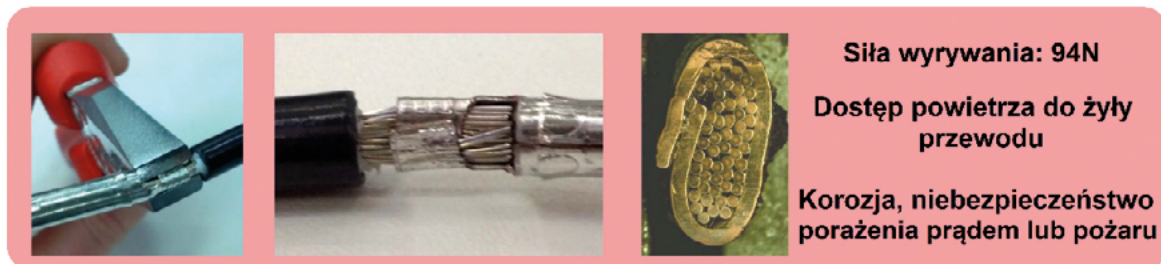
Błąd ludzki jest uważany za główną przyczynę pożarów (Sepanski i in. 2015, BRE 2017c, s. 10). Najczęstsze rodzaje błędów instalacji obejmują złącza, które nie są całkowicie włożone, a także słabe zaciskanie złączy na kablach w miejscu instalacji, oba skutkujące złymi połączeniami o wyższej rezystancji przejścia, co znacznie zwiększa ryzyko powstania łuku.

Typowe źródła błędów to:

- użycie niewłaściwych narzędzi do zaciskania, takich jak szczypce uniwersalne (rys. 5) lub zaciskarki niskiej jakości.
- brak precyzji podczas montażu złączy, np. z powodu presji czasu lub trudnych warunków.
- niewystarczające przeszkolenie osób wykonujących połączenia.



Wymóg wg normy PN-EN 60352-2:
siła wyrywania (4mm²) >310N



Rysunek 5: Porównanie połączenia z poprawnymi i nieprawidłowymi szczypcami do zaciskania (Berginski, 2013)

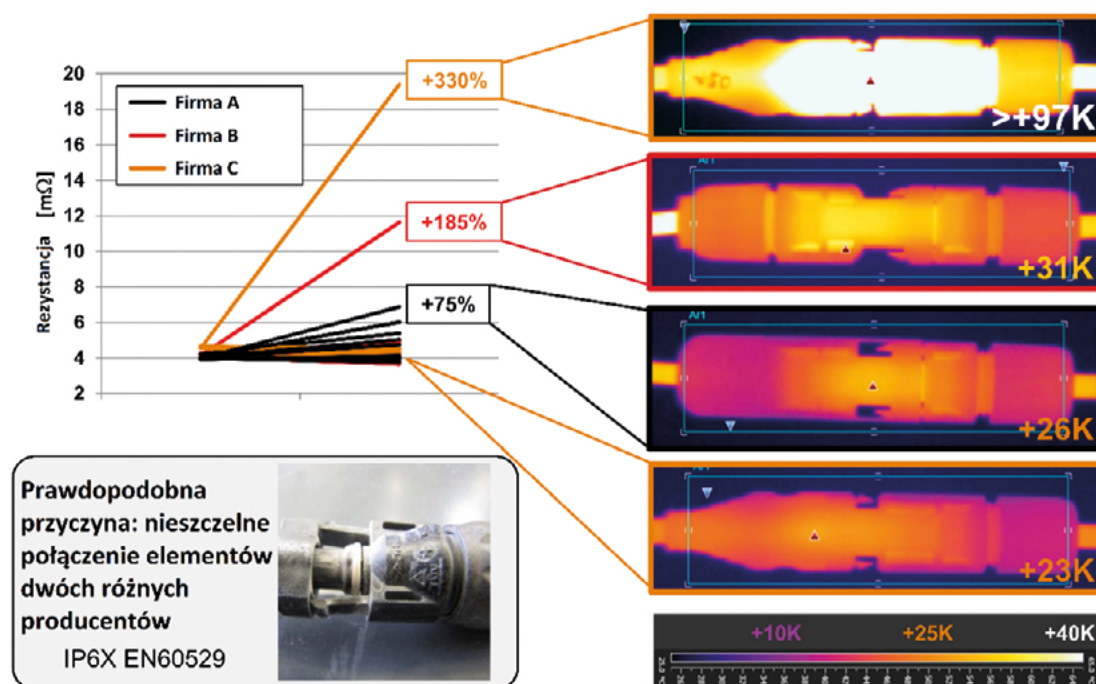
Niedopasowanie złączy DC

Mówiąc o problemach ze złączami DC, często pojawia się termin „niedopasowanie” (lub „brak kompatybilności”). Niedopasowanie oznacza, że połączenie między złączem męskim i żeńskim jest wykonywane za pomocą złączy DC różnych producentów. Poza nieprawidłowym montażem złączy, niedopasowanie jest uważane za jedno z głównych źródeł błędów, co sprawia, że złącza DC częściej się zapalają. Ale dlaczego to takie duże ryzyko? Zidentyfikowano następujące przyczyny:

- Różni producenci używają różnych materiałów. Może to prowadzić do:
 - niekompatybilności chemicznej powodującej łuk elektryczny
 - różnej rozszerzalności cieplnej powodującej wnikanie wody i korozję.
- Małe różnice w konstrukcji i tolerancjach mechanicznych złączy, które mogą powodować iskrzenie

Multi-Contact (obecnie Stäubli Electrical Connectors AG), producent najczęściej stosowanego złącza DC MC4, przeprowadził testy laboratoryjne na połączeniach ze złączami pochodzącymi od innych producentów. Wyniki wykazały zwiększoną oporność, prowadzącą do wzrostu temperatury do 97°C (rysunek 6), podczas podłączenia „kompatybilnych” złączy MC4 pochodzących od różnych producentów.

Chociaż wielu producentów złączy DC często twierdzi, że ich produkty są „kompatybilne z MC4”, nie istnieją żadne międzynarodowe standardy testowania współdziałania, jak podkreśla UL (IAEI NEWS, 2016). Ponadto sam Stäubli nie rozpoznaje żadnego produktu innej firmy jako kompatybilnego ze złączami MC4. W normie IEC-TR-63225:2019, s. 4 stwierdzono, że „to twierdzenie o zgodności jest potencjalnie mylące, ponieważ sugeruje bezpieczną interoperacyjność złączy prądu stałego różnych producentów”.



Rysunek 6: Wyniki przyspieszonych testów degradacji dla niedopasowanych kombinacji złączy między Stäubli MC4 i złączami różnych producentów (Berginski, 2013)

IEC 60364-7-712:2017, sekcja 712.526.1 - Połączenia elektryczne: „Złącza męskie i żeńskie połączone ze sobą powinny być tego samego typu od tego samego producenta, tj. złącze męskie jednego producenta i złącze żeńskie innego producenta nie mogą być wykorzystywane do wykonania połączenia”. Inne ważne instytuty krajowe zgadzają się również, że niedopasowanie złączy DC jest główną przyczyną przypadkowych pożarów,

np. VDE DKE. W ogłoszeniu VDE DKE wyraźnie stwierdzono, że złącza męskie i żeńskie różnych producentów nie mogą być łączone (VDE DKE, 2018). Pomimo jasnych oświadczeń i przepisów problem niedopasowania nadal występuje, a często niedopasowane połączenia są wykonywane w zewnętrznych punktach łączenia łańcuchów. Zdarza się to często, ponieważ instalatorzy, szczególnie podczas łączenia różnych łańcuchów lub łańcuchów z falownikiem, muszą używać dłuższych kabli z ewentualnie zainstalowanym innym złączem. W takich sytuacjach, aby nie unieważnić gwarancji modułu poprzez odcięcie złącza DC od kabli modułu, instalatorzy są zwykle zmuszeni do instalowania złącza DC różnych producentów.

Aby rozwiązać te problemy, IEC omawia obecnie środki długoterminowe, mające na celu opracowanie wspólnego standardu interfejsu, a także tymczasowe (IEC-TR-63225:2019). Ta ostatnia obejmuje zakaz stosowania terminu „kompatybilny z MC4”, a także wymóg, aby producenci modułów określali złącza lub dostarczali zapasowe złącza tego samego typu co stosowane w modułach, w przeciwnym razie powinni pozwolić na przecięcie złącz bez unieważnienia gwarancji na moduł.

Optymalizatory mocy - niebezpieczny środek bezpieczeństwa

Oczywiste jest, że złącza DC są potrzebne do połączenia modułów fotowoltaicznych, a także do podłączenia powstałych ciągów do falownika, niestety każde dodatkowe połączenie na dachu zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru. Dlatego przy projektowaniu systemu fotowoltaicznego minimalizacja liczby punktów kontaktowych na dachu powinna być ważnym założeniem w celu zwiększenia bezpieczeństwa systemów fotowoltaicznych.

Jak zauważyli TÜV Rheinland i Fraunhofer ISE (Sepanski i in. 2015, s. 204): „Każdy dodatkowy element stwarza ryzyko dodatkowych punktów kontaktowych i innych źródeł błędów. „Elegancki” system z jak najmniejszą liczbą komponentów ma tę zaletę, że ma mniej punktów, w których może dojść do uszkodzenia systemu”.

Badania, które nastąpiły po pożarach USA w Walmart, o których mowa powyżej, ujawniły, że zanim

te zdarzenia miały miejsce, firma instalacyjna będąca właścicielem instalacji fotowoltaicznych wymieniała wadliwe złącza i optymalizatory w całym kraju (Lopez, Business Insider 2019). Oczywiste jest, że chociaż złącza zostały uznane za główną przyczynę pożaru, dodatkowe urządzenia MLPE (ang. Module Level; Power Electronics - elektronika mocy na poziomie modułu) mogą nadal mieć negatywny wpływ na bezpieczeństwo, zwłaszcza jeśli chodzi o określenie liczby złączy na dachu.

Niezintegrowane układy elektroenergetyczne, takie jak klasyczne optymalizatory mocy prądu stałego, stosowane w celu spełnienia wymagań wyłączania na poziomie modułu w USA (NEC 2017), wymagają zastosowania dodatkowych złączy prądu stałego na każdym module. Oznacza to, że liczba punktów połączenia na dachu zostanie znacznie zwiększona. W celach ilustracyjnych rysunek 7 pokazuje układ PV

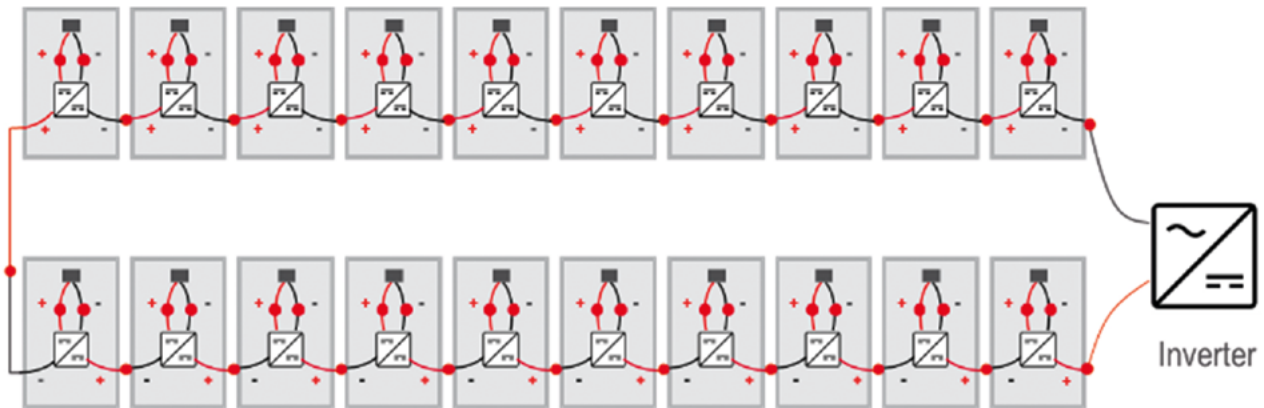
o mocy 6 kWp z dwiema możliwymi konfiguracjami: jedną z modernizowanymi optymalizatorami prądu stałego, a drugą z falownikiem szeregowym.

Jak pokazano, dodatkowe urządzenia zainstalowane na modułach fotowoltaicznych w obwodzie prądu stałego z grubszą trzykrotnie zwiększają liczbę punktów styku na dachu: 61 złączy z optymalizatorami, w porównaniu do 21 złączy dla falownika łańcuchowego. Sytuacja nie zmieniłaby się znacząco przy użyciu jednego optymalizatora co 2 lub 4 moduły

(odpowiednio 51 i 46 złączy), jednak optymalizacja byłaby mniej skuteczna.

Dlatego znacznie bardziej prawdopodobne jest wystąpienie błędów instalacji i niedopasowania złączy prądu stałego, co z kolei zwiększa ryzyko pożaru. To ostatnie jest dalej zwiększane, ponieważ niektórzy producenci optymalizatorów dostarczają swoim produktom bardzo niewiele opcji różnych producentów złączy DC (ECN TNO 2019), co stwarza większe ryzyko niedopasowania podczas montażu.

System o mocy 6 kWp z optymalizatorami



System o mocy 6 kWp z falownikiem łańcuchowym



- Punkt połączenia między wtykiem i gniazdem złącza DC
- ☒ Optymalizator

Rysunek 7: Porównanie dwóch konfiguracji systemu o mocy 6 kW z dodatkowymi optymalizatorami (u góry) i falownikiem łańcuchowym (u dołu).

Ponadto posiadanie energoelektronicznych urządzeń dla każdego modułu dodaje znaczną liczbę komponentów zamontowanych na dachu, co zwiększy złożoność systemu i wskaźnik awaryjności produktu. Oznacza to, że konserwacja będzie wymagana częściej, co powoduje wzrost kosztów i zwiększa ryzyko dla personelu serwisowego z powodu dodatkowego czasu spędzonego na dachu (upadki są główną przyczyną śmierci w miejscach pracy na budowie), jak podkreślono w Elsevier SciTech Połącz (Plante, 2018).

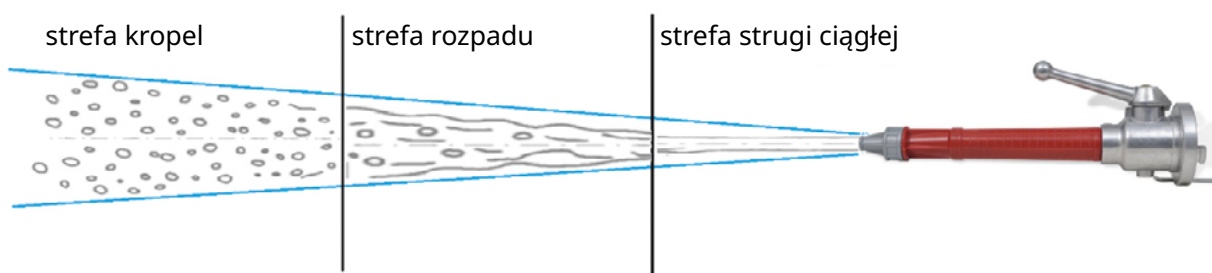
Fakty i mity na temat bezpieczeństwa ppoż. instalacji PV

We wspólnym badaniu branżowym przeprowadzonym w Niemczech (Fraunhofer ISE 2017) stwierdzono, że systemy fotowoltaiczne **nie stanowią szczególnego zagrożenia dla strażaków**, o ile strażacy przestrzegają zasad bezpieczeństwa. Systemy PV mogą być obsługiwane w taki sam sposób jak inne urządzenia elektryczne pod napięciem. Zgodnie z wynikami prac badawczych przeprowadzonych przez BRE National Solar Center (BRE 2017b), wyłączniki systemów PV w obwodzie DC są nadal postrzegane jako niesprawdzona technologia. Ta technologia musi jeszcze udowodnić swoją niezawodność przez cały okres użytkowania systemu fotowoltaicznego. Instalacja takich urządzeń może **zapewnić strażakom fałszywe poczucie bezpieczeństwa**, co może prowadzić do wypadków, urazów lub pogorszenia stanu zdrowia, ponieważ uszkodzony układ fotowoltaiczny może nadal być zasilany energią. Ten sam wniosek można wyciągnąć także w odniesieniu do wyłączenia napięcia na poziomie modułów.

W rzeczywistości, w badaniu TÜV Rheinland i Fraunhofer ISE (Sepanski i in., 2015, str. 206) zakłada się, że instalacja przełącznika DC, tzw. „wyłącznika strażaka”, **zwiększa ryzyko pożaru**. Główną przyczyną pożaru w systemie PV jest wystąpienie łuku elektrycznego, a większość pożarów spowodowanych przez systemy PV można przypisać błędom instalacji (BRE 2017c; str. 10).

Zalecenia dla niemieckich strażaków i służb ratowniczych w przypadku incydentu, który może spowodować ryzyko kontaktu z elektrycznymi instalacjami pod napięciem, mają również zastosowanie do systemów fotowoltaicznych. Niemiecka norma VDE 0132:2008 „*Gaszenie pożarów w instalacjach elektrycznych lub w ich pobliżu*”, określa odległości bezpieczeństwa dla służb ratowniczych, które powinny pomóc im uniknąć ryzyka porażenia prądem, gdy znajdują się blisko części pod napięciem podczas gaszenia pożaru, w tym potencjalnie uszkodzonego systemu fotowoltaicznego. W przypadku instalacji fotowoltaicznej o maksymalnym napięciu do 1,5kV, VDE 0132:2008 zaleca minimalną bezpieczną odległość 1 m, jeśli gasi się pożar za pomocą rozpylonego strumienia wody i 5 m przy użyciu ciągłego strumienia wody.

Na przykład w Austrii podobne odległości bezpieczeństwa są zalecane w oficjalnych dokumentach szkoleniowych dla strażaków. ÖNORM F2190 definiuje następujące odległości bezpieczeństwa między częściami pod napięciem do 1 kV, a puszczkiem znormalizowanej prądownicy CM, która jest powszechnie stosowana: strumień wody rozproszony - 1 m, strumień wody zwarty - 5 m



Rysunek 8: Strefy strumienia wody

Możliwość gaszenia pełnym strumieniem wynika ze zjawiska rozpadu ciągłej strugi cieczy spowodowanej ruchem turbulentnym. Strumień cieczy przechodzi przez strefę rozpadu do strefy kropeł (rys. 8). Długości poszczególnych stref zależą przede wszystkim od prędkości strugi, geometrii otworu wylotowego oraz fizycznych właściwości cieczy. Dlatego zależność bezpiecznej odległości przy stosowaniu zwartego prądu gaśniczego zależy m.in od wartości napięcia i średnicy wylotu prądownicy. Odległość 5m jest bezpieczna dla napięcia do 3kV przy średnicy wylotu nie większej niż 18mm.

Aby wykazać, że odległość bezpieczeństwa jest wystarczająca do ochrony personelu ratowniczego przed porażeniem prądem elektrycznym, przeprowadzono test w Niemczech (Fire Retardants Online 2011 cytowany w BRE 2017b). W tym teście podpalono instalację fotowoltaiczną, aby wykryć wpływ pożaru na moduły fotowoltaiczne. Oprócz innych ustaleń, wyniki wykazały, że jeśli minimalne odległości bezpieczeństwa zalecane w wytycznych niemieckich strażaków są spełnione podczas gaszenia pożaru, nie powstają żadne nietypowe zagrożenia.

Zalecenia dla projektantów, instalatorów, inspektorów ppoż.

Najważniejszym ustaleniem, które zostało potwierdzone przez Fraunhofer ISE (Fraunhofer ISE 2017), TÜV Rheinland (Sepanski i inni 2017), BRE National Solar Center (BRE 2017a) oraz program Międzynarodowej Agencji Energetyki „Photovoltaic Power Systems Program” (IEA PVPS 2017) jest to, że elementy systemów PV są testowane zgodnie z bardzo rygorystycznymi protokołami bezpieczeństwa i niezawodności podczas procesu produkcyjnego i spełniają wymagania bezpieczeństwa elektrycznego różnych krajowych i międzynarodowych norm i standardów. Jeśli są prawidłowo zainstalowane, nie stwarzają zagrożenia dla zdrowia, bezpieczeństwa ani środowiska w normalnych warunkach pracy. Wśród ograniczonej do tej pory liczby pożarów fotowoltaicznych stwierdzono, że główna przyczyna pożaru jest związana ze złączami prądu stałego, głównie z powodu wadliwej instalacji złączy, a także ich niedopasowania.

Zalecenia dotyczące zmniejszenia ryzyka powstania pożaru

Aby maksymalnie zwiększyć bezpieczeństwo systemu PV i zmniejszyć ryzyko pożaru, zaleca się:

- **Profesjonalny montaż i uruchomienie:** w szczególności wykonanie i odbiór instalacji zgodnie z normą PN-EN 62446-1: „Systemy fotowoltaiczne (PV) -- Wymagania dotyczące badań, dokumentacji i utrzymania -- Część 1: Systemy podłączone do sieci -- Dokumentacja, odbiory i nadzór” zawiera listę punktów, które należy sprawdzić przed uruchomieniem System PV.
- **Okresową konserwację instalacji fotowoltaicznej:** w szczególności IEC 62446-2: „Systemy fotowoltaiczne - Wymagania dotyczące testowania, dokumentacji i konserwacji - Część 2: Systemy podłączone do sieci - Konserwacja systemów PV” daje dobre wskazówki dotyczące takiej okresowej konserwacji .
- **Codzienny automatyczny monitoring stanu izolacji DC:** przed uruchomieniem falownik sprawdza stan izolacji po stronie DC. Jeśli zostanie wykryty błąd, falownik nie uruchomi się i powiadomi, że nastąpiła usterka. Monitorowanie to jest również wykonywane podczas pracy instalacji. Jeśli podczas pracy wykryta zostanie nieprawidłowość, falownik wyłączy się i wyświetli kod błędu.
- **Monitorowanie systemu fotowoltaicznego:** właściciel systemu fotowoltaicznego, powinien monitorować system PV tak, aby cały czas mieć podgląd produkcji. System monitorowania zapewnia przegląd działania systemu i ostrzega użytkownika, jeśli występuje jakakolwiek nieprawidłowość. Zmniejszenie mocy niezależnie od warunków pogodowych może być oznaką usterki w systemie, która może doprowadzić do pożaru.

Jak wspomniano w rozdziale 1.3, podejmowanie odpowiednich działań, które zmniejszają ryzyko pożaru, bezpośrednio zmniejsza ryzyko dla ratowników, ponieważ brak pożaru oznacza brak zagrożenia dla ratowników, np. strażaków. Po zminimalizowaniu ryzyka pożaru można wprowadzić dodatkowe środki bezpieczeństwa dla strażaków, z których najważniejsze omówiono w następnym rozdziale.

Dodatkowe środki w celu zmniejszenia ryzyka dla strażaków

Zalecane są dodatkowe środki zmniejszające ryzyko dla strażaków.

Na podstawie ustaleń z rozdziału 4 zaleca się następujące środki w celu zmniejszenia ryzyka:

- **Czytelne i łatwo widoczne oznakowanie lub oznakowanie komponentów fotowoltaicznych:** Czas jest ważnym czynnikiem podczas walki z ogniem! Po dotarciu do miejsca pożaru, dowódca grupy roboczej musi ustalić sytuację i opracować strategię operacyjną, aby poradzić sobie z ogniem i obsłużyć inne zadania, takie jak np. ratowanie ludzi. Dowódca grupy roboczej jest przeszkolony do przeprowadzania dynamicznej oceny ryzyka potencjalnych zagrożeń na miejscu. Przed przekazaniem rozkazów swojemu zastępowi, ważne jest, aby był on poinformowany, czy system PV jest zainstalowany na budynku, czy nie.

- **Zachowanie bezpiecznej odległości:** niezachowanie bezpiecznych odległości opisanych w rozdziale 3 może spowodować zagrożeniem dla personelu ratunkowego. Zaleca się przestrzegać bezpiecznych odległości w celu uniknięcia obrażeń lub porażenia prądem elektrycznym.
- **Rozłącznik DC:** to urządzenie zapewnia, że falownik zostanie odłączony od modułów w razie awarii.

Najważniejsze dla bezpieczeństwa strażaków jest okresowe kształcenie i szkolenie. Wiedza o tym, co robić w wyjątkowej sytuacji, oszczędza czas, dobra materialnie i – co najważniejsze – życie. Strażacy są dobrze wyszkoleni, a obsługa systemów elektrycznych nie jest dla nich niczym nowym. Dopóki zdają sobie sprawę, że na miejscu mogą wystąpić szczególne zagrożenia, są w stanie sobie z nimi poradzić.

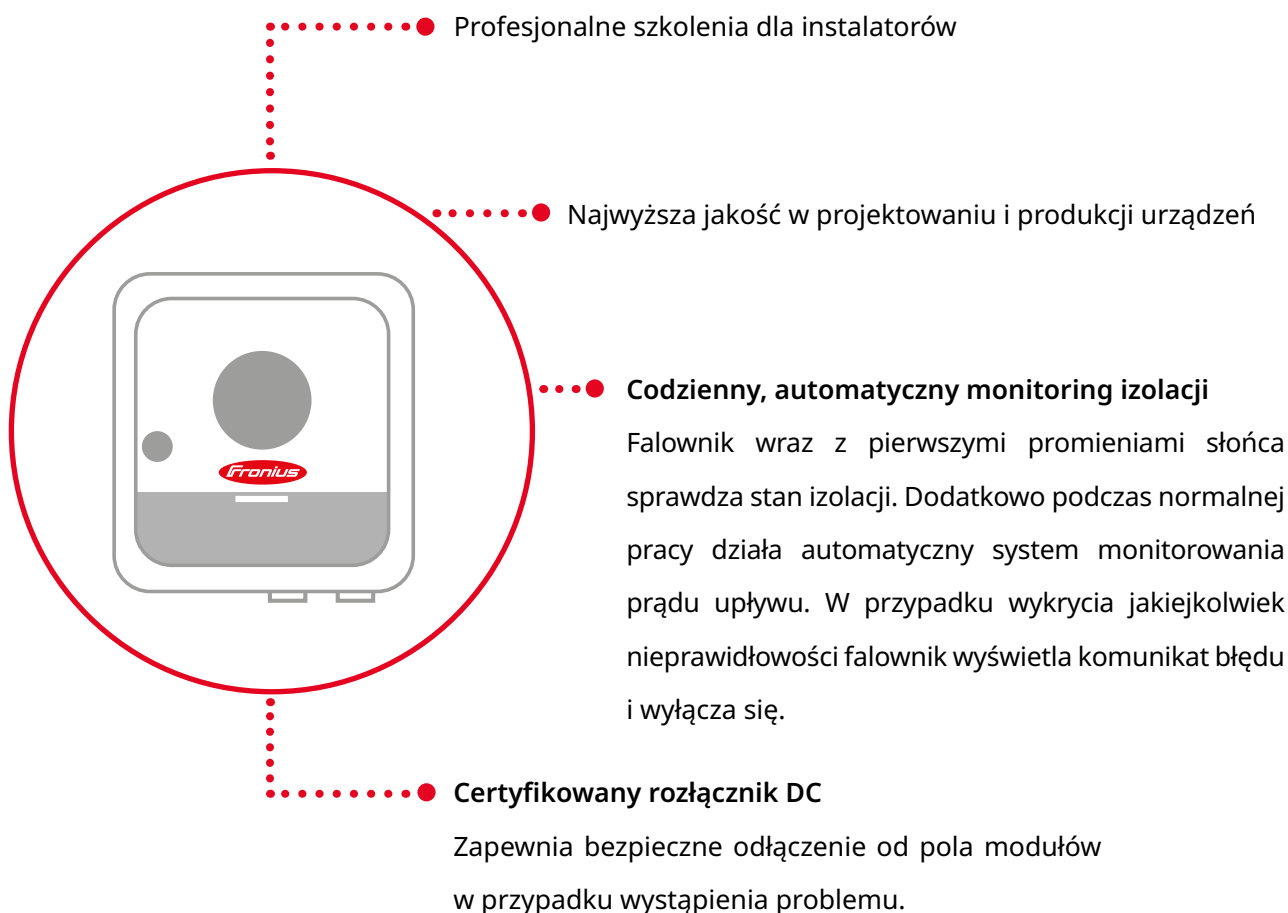
Jeśli przyjrzeć się zidentyfikowanym pogłoskom wymienionym w rozdziale 1.1, najprostszym sposobem udowodnienia, że są fałszywe, jest porównanie ich z faktami z ostatnich badań:

- **Strażacy nie ugaszają pożaru w budynkach z systemem PV na dachu:** „Na podstawie dotychczasowych badań wszystkie stwierdzenia, że straż pożarna nie mogła ugasić pożaru domu z powodu instalacji fotowoltaicznej, okazały się nieprawdziwe.” (Fraunhofer ISE 2017).
- **System fotowoltaiczny na dachu znacznie zwiększa ryzyko pożaru:** „Dotychczas 0,006% wszystkich systemów fotowoltaicznych w Niemczech było źródłem pożaru, który spowodował poważne szkody!"; „Instalacje fotowoltaiczne nie stwarzają większego zagrożenia pożarowego niż jakiegokolwiek inne urządzenia techniczne.” (Fraunhofer ISE 2017).
- **System fotowoltaiczny na dachu znacznie zwiększa ryzyko, że strażacy odniosą obrażenia w sytuacjach awaryjnych:** „W Niemczech żaden strażak nie doznał obrażeń spowodowanych przez energię z systemu PV podczas gaszenia pożaru.” (Fraunhofer ISE 2017).
- **Wyłączenie instalacji PV na poziomie modułu zmniejsza ryzyko pożaru:** „... rozłączniki systemów PV w obwodzie DC są nadal postrzegane jako niesprawdzona technologia, która musi jeszcze udowodnić swoją niezawodność przez cały okres użytkowania systemu fotowoltaicznego, a instalacja takich urządzeń może zapewnić strażakom fałszywe poczucie bezpieczeństwa,„ (BRE 2017b).
- **Nie jest możliwe ugaszenie pożaru spowodowanego przez instalację PV:** „Podobnie jak w przypadku każdej instalacji elektrycznej, w zależności od rodzaju łuku elektrycznego możliwe jest również ugaszenie pożaru za pomocą wody z odległości od jednego do pięciu metrów.” (Fraunhofer ISE 2017).
- **System fotowoltaiczny na dachu znacznie zwiększa prawdopodobieństwo, że budynek zostanie trafiony przez piorun:** „Jeśli system PV zostanie zainstalowany na budynku, nie zwiększy to możliwości uderzenia pioruna, pod warunkiem, że system fotowoltaiczny nie wystaje znacząco poza budynek.” (BDSW 2008).

Opierając się na wynikach ostatnich publikacji ekspertów branży PV, badaniach naukowych przytoczone w rozdziale na początku tego opracowania twierdzenia okazały się fikcją i pogłoskami a nie faktami.

Bezpieczeństwo produktów Fronius

Firma Fronius bardzo poważnie podchodzi do kwestii bezpieczeństwa i chociaż PV jest bezpieczną technologią, nieustannie staramy się poprawić wysoki już poziom bezpieczeństwa naszych produktów. Jest to jeden z naszych najwyższych priorytetów. Poniższy rysunek przedstawia obszary, na których koncentruje się firma Fronius:



Rysunek 9: Obszary, na których koncentruje się firma Fronius

Firma Fronius koncentruje się na zmniejszeniu ryzyka wystąpienia pożaru, co bezpośrednio wpływa na ryzyko dla osób udzielających pomocy w sytuacjach awaryjnych i dlatego jest to najbardziej zrównoważone i korzystne podejście. Jak pokazano w rozdziale 2 i 3, awarie instalacji są najczęstszymi przyczynami wystąpienia pożaru. Najbardziej skutecznym środkiem poprawy bezpieczeństwa systemów PV są profesjonalne szkolenia dla instalatorów, które zapewniają wysoką jakość instalacji i zmniejszają ryzyko pożaru, a także ryzyko dla strażaków.

Wymagana zgodność z normami

Projektowanie i instalowanie systemów fotowoltaicznych powinno spełniać wymagania następujących norm:

Numer normy	Tytuł normy
PN-EN 62852:2015-05	Złącza DC stosowane w systemach fotowoltaicznych -- Wymagania bezpieczeństwa i badania
PN-EN 61439-2:2011	Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe -- Część 2: Rozdzielnice i sterownice do rozdziału energii elektrycznej
PN-EN 50565-1:2014-11	Przewody elektryczne -- Wytyczne stosowania przewodów na napięcie znamionowe nieprzekraczające 450/750 V (U0/U) -- Część 1: Wskazówki ogólne
PN-EN 50618:2015-03	Kable i przewody elektryczne do systemów fotowoltaicznych
PN-EN 62446-1:2016-08	Systemy fotowoltaiczne (PV) -- Wymagania dotyczące badań, dokumentacji i utrzymania -- Część 1: Systemy podłączone do sieci -- Dokumentacja, odbiory i nadzór
IEC 62446-2	Systemy fotowoltaiczne (PV) - Wymagania dotyczące badań, dokumentacji i utrzymania - Część 2: Systemy podłączone do sieci - Konserwacja systemów PV
PN-HD 60364-7-712	Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji -- Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania

Bibliografia

- [1] Norma Austriacka, 1989 r., ÖNORM F2190: Multi-purpose branchpipe: Requirements, Tests, Standard labelling; ("Rozgałęźna prądownica wody: wymagania, testy, standardowe oznakowanie")
- [2] BSW, 2008, Lightning- and overvoltage protection for PV Systems on Buildings ("Ochrona odgromowa i przepięciowa w systemach fotowoltaicznych na budynkach") https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/content_files/mb_bswsolar_blitzsch.pdf
- [3] Berginski M., Multi-Contact, 2013, Sichere Steckverbindungen: Paarung von Fremdprodukten / Crimpen im Feld, 2.ter Workshop PV Brandsicherheit: http://www.pv-brandsicherheit.de/fileadmin/WS_24-01-13/09_Berginski_Sichere_Steckverbindungen.pdf, Freiburg
- [4] BRE National Solar Centre, 2017a, Fire and Solar PV Systems – Investigations and Evidence ("Pożar a systemy fotowoltaiczne - badania i dowody") https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/630639/fire-solar-pv-systems-investigations-evidence.pdf
- [5] BRE National Solar Centre, 2017b, Fire and Solar PV Systems – Literature Review. ("Pożar a systemy fotowoltaiczne - przegląd literatury"). https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/630638/fire-solar-pv-systems-literature-review.pdf
- [6] BRE National Solar Centre, 2017c, Fire and Solar PV Systems – Recommendations for the Fire and Rescue Services ("Pożar a systemy fotowoltaiczne - zalecenia dla służb pożarnictwa i ratownictwa"). https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/630641/fire-solar-pv-systems-frs-recommendations.pdf
- [7] Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, 2015, Relazione tecnica sugli incendi coinvolgenti impianti fotovoltaici 1a cura del NUCLEO INVESTIGATIVO ANTINCENDI, Rome

- [8] ECN TNO, 2019, Brandincidenten met fotovoltaische (PV) systemen in Nederland – Een inventarisatie. www.tno.nl, Petten
- [9] Fire Retardants Online, 2011, Photovoltaic array fire test. Proceedings of Photovoltaics and Fire: Separating Fact from Fiction, BRE, Watford (“Test pożarowy generatorów fotowoltaicznych. Materiały nt. fotowoltaiki i pozaów: oddzielanie faktów od mitów”)
- [10] Fraunhofer ISE, 2019, Recent Facts about Photovoltaics in Germany. Fraunhofer ISE, Division Photovoltaic Modules, Systems and Reliability, Freiburg (“Najnowsze fakty dotyczące fotowoltaiki w Niemczech. Fraunhofer ISE, Podział modułów fotowoltaicznych, Systemy i niezawodność”)
- [11] IAEI NEWS, January-February 2016, UL Question Corner: How to Use UL Product Spec <https://iaeimagazine.org/magazine/2016/01/18/ul-question-corner-how-to-use-ul-product-spec>
- [12] IEA PVPS Task 12, 2017, Photovoltaics and Firefighters’ Operations: Best Practice in Selected Countries (“Fotowoltaika a działania strażaków: Najlepsze praktyki w wybranych krajach”)
- [13] IEC, 2017a, IEC 62446-1: Systemy fotowoltaiczne (PV) - Wymagania dotyczące testowania, dokumentacji i konserwacji - Część 1: Systemy przyłączone do sieci - Dokumentacja, testy uruchamiania i kontrola
- [14] IEC, 2017b, IEC 62446-2: Systemy fotowoltaiczne (PV) - Wymagania dotyczące testowania, dokumentacji i konserwacji - Część 2: Systemy przyłączone do sieci - Konserwacja systemów fotowoltaicznych
- [15] IEC TR 63225: 2019, Incompatibility of connectors for DC-applications in photovoltaic systems
- [16] Lopez L., Business Insider, 2019, Last year, Tesla initiated ‚Project Titan’ - a stealth nationwide program to replace solar-panel parts that could cause fires, Business Insider: <https://www.businessinsider.com/tesla=-project-titan-replace-bad-solar-panel-parts2019-8-?r=DE&IR=T>
- [17] National Fire Protection Association, 2016, NFPA 70® National Electrical Code®, 2017 edition
- [18] Plante R. H., Elsevier SciTech Connect, 2018, Rapid Shutdown of PV Systems Using String Inverters, Micro Inverters, or Power Optimizers: <http://scitechconnect.elsevier.com/rapid-shutdown-pv-systems-inverters-power-optimizers/>
- [19] Roselund C., PV Magazine, 2019, Making the connection: Fires & electrical balance of systems: <https://pv-magazine-usa.com/2019/09/03/not-making-the-connection-fires-electrical-balance-of-systems/>
- [20] Sepanski, A., Reil, F., Vaaßen, W., Janknecht, E., Hupach, U., Bogdanski, N., van Heeckeren, B., Schmidt, H., Bopp, G., Laukamp, H., Grab, R., Philipp, S., Thiem, H., Huber, J., Haselhuhn, R., Häberlin, H., Krutzke, A., Neu, B., Richter, A., Bansemer, B., Halfmann, M., 2015, Assessment of the fire risk in PV-arrays and development of security concepts for risk minimization. TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Köln („Ocena ryzyka pożaru w tablicach fotowoltaicznych i opracowanie koncepcji bezpieczeństwa w celu minimalizacji ryzyka.”)
- [21] Stäubli Electrical Connectors AG, 2019, Statement in respect to PV connectors from third-party suppliers as being intermateable with the MC4 connector family: [https://ec.staubli.com/AcroFiles/PV-Portal/SZ_Cross-Connection_\(en\).pdf](https://ec.staubli.com/AcroFiles/PV-Portal/SZ_Cross-Connection_(en).pdf)
- [22] VDE, 2008, VDE 0132:2008 Firefighting and assistance in or near electric installations (“Gaszenie i wsparcie w instalacjach elektrycznych lub w ich pobliżu”)
- [23] “Cross-mating of connectors was chief cause of Netherlands PV fires” <https://www.pv-magazine.com/2019/04/12/cross-mating-of-connectors-was-chief-cause-of-netherlands-pv-fires/>
- [24] VDE DKE, 2018, Kompatibilität von Steckverbindern für die Gleichspannungsseite: <https://www.dke.de/resource/blob/1790030/c2e-5a0b0fe1ab72553edeab9ab98ebd6/kompatibilitaet-steckverbinder-pdf-data.pdf>
- Odwiedź strony www.fronius.pl oraz www.forum-fronius.pl, aby uzyskać dodatkowe informacje.

