

Projektowanie oraz bezpieczna eksploatacja mikroinstalacji fotowoltaicznych

Design and safe operation of photovoltaic installations

RENATA WŁODARCZYK

DOI 10.36119/15.2023.11.5

Rynek instalacji fotowoltaicznych (PV) w Polsce jest prężnie rozwijającym się sektorem energetyki odnawialnej, co ma przeciwdziałać zanieczyszczeniu klimatu i wspomóc gospodarkę w dążeniu do zwiększenia efektywności energetycznej [1-2]. Energia elektryczna wytworzona w energetyce odnawialnej we współpracy z elektrolizerami i ogniwoami paliwowymi mogą stać się wkrótce tzw. zielonymi magazynami energii [3]. Według danych sporządzonych przez Instytut Energetyki Odnawialnej (IEO) moc zainstalowana w fotowoltaikę w Polsce w 2021 r. wyniosła 7,6 GW_p, a łączne obroty na rynku PV oszacowane zostały na 16,7 mld złotych [4]. Największy udział w przyroście zainstalowanej mocy mieli indywidualni prosumenci. Według prognoz IEO w najbliższych latach dynamika wzrostu instalacji PV utrzyma się dzięki zwiększeniu mocy w farmach PV poprzez budowę kolejnych instalacji.

Inwestorów zainteresowanych budową mikroinstalacji PV oraz instalacji PV o większych mocach wciąż będzie przybywać, dlatego ważne jest, na co powinien zwrócić uwagę inwestor na etapie projektowania tych instalacji oraz ich użytkowania. W niniejszym artykule zostaną omówione poszczególne etapy tworzenia instalacji PV: od rozpoznania miejsca, doboru komponentów, projektowania i montażu, po rozruch i bezpieczną jej eksploatację. W pracy zostały omówione najczęściej pojawiające się problemy, które można spotkać w indywidualnych gospodarstwach domowych wyposażonych w panele PV oraz jakie skutki i konsekwencje mogą wywołać.

Słowa kluczowe: energetyka słoneczna, panele fotowoltaiczne, projektowanie instalacji PV, bezpieczna eksploatacja instalacji PV

The market of photovoltaic installations in Poland is a dynamically developing sector of renewable energy, which is to counteract climate pollution and help in the pursuit of increasing energy efficiency [1-2]. Renewable energy cooperating with modern hydrogen technologies will soon be an innovative energy storage [3]. According to data prepared by the Institute of Renewable Energy (IRE), the installed capacity of photovoltaics in Poland in 2021 amounted to 7.6 GW, and the total turnover on the PV market was estimated at PLN 16.7 billion [4]. Individual prosumers had the largest share in the increase in installed capacity. According to IRE forecasts, the growth dynamics of photovoltaic installations will continue in the coming years thanks to the increase in capacity in PV farms. There will be more and more investors interested in building micro-installations and installations with higher capacity, which is why it is important what the investor should pay attention to at the stage of designing the installation and its use. This article will discuss the various stages of creating an installation: from site recognition, selection of components, design and assembly, to commissioning and safe operation of the installation. The work discusses the most common problems that can be encountered in individual households equipped with photovoltaic panels and what effects and consequences they can cause.

Keywords: solar energy, photovoltaic panels, PV installation design, safe operation PV installations

Wprowadzenie

Projektowanie i bezpieczna eksploatacja instalacji PV to bardzo ważne zagadnienia. W dniu 19 września 2020 roku dokonano zmian w ustawie Prawo budowlane (Dz.U. 2020 poz. 471), która wprowadziła nowe obowiązki dla inwestora decydującego się na instalację fotowoltaiczną o mocy znamionowej powyżej 6,5 kWp. Jedną z głównych zmian jest obowiązek uzgodnienia projektu instalacji PV z rze-

czonawcą do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych pod względem zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej [5-6]. Instalacja PV musi też zostać zgłoszona do miejskiej lub powiatowej komendy Państwowej Straży Pożarnej, a w przypadku instalacji PV przekraczającej moc 50 kWp trzeba dodatkowo zdobyć pozwolenie na budowę. Te działania mają na celu przeciwdziałanie pożarom instalacji PV, do których może dojść z wielu powodów. Każdy inwestor decydujący się

na produkcję prądu z wykorzystaniem energii ze słońca za pomocą paneli PV musi mieć świadomość, że jedynie prawidłowo zaprojektowana instalacja PV przy zastosowaniu komponentów wysokiej jakości zapewni bezpieczeństwo na długie lata.

Przy projektowaniu instalacji PV jednym z najważniejszych elementów jest lokalizacja paneli PV. Miejsce ich montażu wpływa bezpośrednio na prawidłowe funkcjonowanie instalacji PV oraz produkcję prądu oraz na koszty związane z jej wybudowaniem

dr inż. Renata Włodarczyk <https://orcid.org/0000-0002-0093-5178> – Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych, Wydział Infrastruktury i Środowiska, Politechnika Częstochowska, Częstochowa.
Adres do korespondencji/ Corresponding author: renata.wlodarczyk@pcz.pl

i podłączeniem do sieci elektroenergetycznej [7-9]. Przez miejsce montażu modułów PV należy rozumieć powierzchnię przeznaczoną do ich umieszczenia, przy czym może to być połać dachowa, ściana lub grunt. Miejsce montażu wraz z położeniem instalacji PV (szerokość geograficzna), będzie wpływało między innymi na odległość między modułami PV, wielkość instalacji PV oraz jej cenę. Wybudowanie mikroinstalacji PV na dachu budynku pozwala zaoszczędzić znaczne fundusze między innymi na kosztach samej konstrukcji dzięki niższej cenie za krótsze przewody elektryczne. Budowa instalacji PV posadowionej na gruncie jest zdecydowanie droższa, ze względu na koszty dłuższych przewodów elektrycznych, konieczność wykonania wykopów pod konstrukcję nośną lub jej palowania/kafarowania. Z drugiej zaś strony w przypadku mikroinstalacji PV o większej mocy, przy małej powierzchni połączy dachowej nakierowanej na stronę południową lub trudnej do wykorzystania konstrukcji dachu (wiele załamań, znaczna liczba okien i wykuszów), montaż modułów PV do konstrukcji nośnej posadowionej na gruncie może być lepszą, bądź niekiedy wręcz jedyną opcją dla projektanta instalacji PV. Nierzadko, w przypadku bardziej skomplikowanych dachów, konieczne należy zastosować optymalizatory mocy aby zredukować straty, co również podnosi koszty instalacji PV.

Wybór miejsca, w którym mają być ustawione moduły PV jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na stopień ich wykorzystania do produkcji prądu elektrycznego. Wyboru dokonuje się na podstawie parametru zwanego nasłonecznieniem. Analizując mapy nasłonecznienia dla Polski, można założyć, że prawie cały obszar naszego kraju mieści się w strefie nasłonecznienia o mocy od 1000 do 1150 kWh/m² na rok [10-11]. W celu określenia dokładnych danych nasłonecznienia dla wybranego obszaru projektanta może posłużyć się jednym ze specjalistycznych programów do analizy danych meteorologicznych [12]. W przypadku modułów ustawionych idealnie na południe ilość energii promieniowania słonecznego docierająca do powierzchni ogniw PV może wynieść do 1 280 kWh/m² na rok. Obliczenie przewidywanych rocznych uzysków na podstawie nasłonecznienia jest nieodzowną częścią projektu i ważną informacją dla inwestora, który musi zostać poinformowany o możliwej ilości energii elektrycznej jaką wyprodukuje jego instalacja PV. Jest to wiedza na tyle niezbędna, że w zależności od wielu czynników wpływających na prawidłowe funkcjonowanie in-

stalacji fotowoltaicznej roczne uzyski mogą okazać się niewystarczające do pokrycia pełnego zapotrzebowania obiektu na energię elektryczną. Należy pamiętać, że przewidywane roczne uzyski energii elektrycznej podlegają nieustannym zmianom i różnią się w zależności od wykorzystanej metody lub programu. Przewidywane roczne uzyski można obliczyć przy pomocy:

- wzoru na ilość produkowanej energii ($E_{\text{rzeczywista}}$) [10],
- kalkulatorów uzysków z instalacji PV,
- programów do analizy i symulacji funkcjonowania instalacji PV.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie poszczególnych etapów tworzenia instalacji: od rozpoznania miejsca, doboru komponentów, projektowania i montażu, po rozruch. Celem jest też opis zasady bezpiecznej eksploatacji instalacji PV i omówienie najczęściej pojawiających się problemów, z jakimi można spotkać się w indywidualnych gospodarstwach domowych wyposażonych w panele PV, skutki oraz konsekwencje ich występowania.

Projektowanie instalacji PV

- na co inwestor musi zwrócić uwagę

Jak wspomniano we wstępnej części artykułu, lokalizacja instalacji PV jest podstawowym czynnikiem, od którego zależy jej koszt oraz efektywność produkcji prądu elektrycznego. Poprzez lokalizację instalacji PV należy rozumieć kilka najistotniejszych aspektów [11]:

- położenie instalacji PV – szerokość i wysokość geograficzna,
- miejsce montażu modułów PV – grunt lub dach budynku/obiektu,
- strefa nasłonecznienia.

Dodatkowo, przed rozpoczęciem pracy nad projektem mikroinstalacji PV, niezbędne są informacje dotyczące jakości komponentów, z których ona składa się: falownik, konstrukcja montażowa, okablowanie, zabezpieczenia. Ponadto podczas rozmowy z potencjalnym inwestorem, należy uwzględnić takie aspekty, jak:

- cena poszczególnych komponentów – nie należy kierować się tylko kryterium cenowym, ponieważ często niska cena wiąże się ze słabą jakością; również nie zawsze najdroższy produkt będzie tym najlepszym;
- jakość – należy wybrać komponenty o jak najlepszych parametrach, takich jak ich sprawność, niewielkie wymiary, czy wytrzymałość, co zapewni długą żywotność instalacji PV oraz jej bezpieczeństwo;
- gwarancja – standardem powinna być gwarancja min. 10 lat na uszkodzenia

i 25 lat na moc modułów PV oraz 10 lat na falownik.

Bardzo ważnym zagadnieniem na etapie projektowania instalacji PV podczas rozmów z inwestorem jest dobór falownika. Aby falownik przekształcał prąd stały na zmienny z jak najwyższą sprawnością musi być on odpowiednio dociążony, co oznacza, że moc instalacji PV powinna przekraczać moc AC (wyjściową) falownika [9, 12-13]. Z tego powodu, większość producentów falowników w karcie katalogowej urządzenia, zamieszcza informacje dotyczące maksymalnej mocy DC (wejściowej), jaką mogą przyjąć ich urządzenia, która wynosi najczęściej 120 lub 150% jego mocy AC. W teorii oznacza to, iż taki falownik można przewymiarować (dociążyć) nawet o 150% jego mocy wyjściowej, lecz w praktyce wartość ta dotyczy tylko instalacji PV nakierowanych na wschód-zachód, gdzie przez większość dnia zaledwie część modułów PV produkuje energię elektryczną w danej chwili. Obciążenie falownika dla instalacji PV usytuowanej w całości na jedną stronę (najczęściej południową) nie powinno przekraczać 120% jego mocy AC.

Kolejną kwestią jest dobór okablowania i zabezpieczeń elektrycznych dla mikroinstalacji fotowoltaicznej. Istotną informacją jest w tym przypadku rodzaj oraz liczba modułów PV, jak również ich odległość od falownika [13]. Jeżeli projektant instalacji PV nie jest jednocześnie elektrykiem i nie ma kwalifikacji elektrycznych, wszelkie sprawy dotyczące doboru elementów związanych z branżą elektryczną powinny zostać konsultowane z wykwalifikowanym elektrykiem. Pomocnym narzędziem w procesie doboru okablowania i zabezpieczeń może być jeden z wielu specjalistycznych programów do projektowania i analizy instalacji PV. Programy takie zostały stworzone przez ekspertów z dziedziny elektrotechniki i są poddawane nieustannym aktualizacjom. Dodatkowo, jak wspomniano wcześniej, należy pamiętać o wprowadzonych 19 września 2020 roku zmianach w prawie budowlanym, które dotyczą między innymi przepisów przeciwpożarowych instalacji PV [5, 14]. Zgodnie z nimi w przypadku budowy instalacji PV o mocy równej lub przekraczającej 6,5 kW_p musi jej projekt zostać skonsultowany z rzeczoznawcą z Państwowej Straży Pożarnej, a instalacja ta musi obowiązkowo posiadać wyłącznik przeciwpożarowy [14-15].

Konstrukcja wykorzystywana do montażu modułów PV składa się zazwyczaj z elementów wykonanych z aluminium z dodatkowymi elementami stalowymi, zaś

jej rodzaj zależy bezpośrednio od miejsca przeznaczonego pod moduły PV. W przypadku gruntowych instalacji PV stosuje się konstrukcje jedno – lub dwupodporowe, a liczba podpór zależy w głównej mierze od rodzaju podłoża, ciężaru modułów PV, ich wielkości, czy też od wymagań samego inwestora. Z kolei dla instalacji PV z modułami PV montowanymi na dachu wykorzystuje się konstrukcję z wykorzystaniem szyn montażowych, których mocowanie zmienia się w zależności od rodzaju pokrycia dachu oraz jego kąta nachylenia [13]. Przy montażu modułów PV równoległe z dachem stosuje się elementy montażowe dostosowane do pokrycia dachu, natomiast w przypadku konieczności podniesienia modułów PV na dachu płaskim bądź o niewielkim spadku wykorzystuje się konstrukcję na trójkątach zwykłych i regulowanych lub balaście.

Rozmieszczenie modułów fotowoltaicznych mikroinstalacji

Jednym z nieodzownych części każdego projektu instalacji i mikroinstalacji PV jest właściwe rozplanowanie (roz rozmieszczenie) modułów PV. Jest to jeden z istotniejszych etapów ze względu na wymogi projektowe, zapewnienie jak najlepszego nasłonecznienia przy zachowaniu estetycznej wizualizacji obiektu [16-17]. Na podstawie szkiców, zdjęć lub rzutów powierzchni wyznaczonej pod montaż instalacji PV, projektant jest w stanie wykonać jej rysunek bądź model (w zależności od programu i stawianych wymagań), a następnie rozmieścić moduły PV. Projektant instalacji PV może dokonać rozplanowania modułów PV za pomocą programów 2D oraz 3D. W przypadku mikroinstalacji PV (moc do 50 kW_p) oraz instalacji PV o niewielkich mocach (do kilkuset kW) projektanci posługują się przede wszystkim programami do wizualizacji, analizy i symulacji w układzie 3D, natomiast dla projektów dużych instalacji PV i farm PV (zazwyczaj powyżej 1 MW_p) najczęściej korzysta się z programów 2D. W przypadku programów do projektowania i wizualizacji 3D rozplanowanie mikroinstalacji PV jest bardziej skomplikowane i czasochłonne, lecz uzyskany efekt jest znacznie bliższy rzeczywistości. Poprzez wykonanie modelu 3D obiektu, a następnie naniesienie znajdujących się na nim elementów zachowując ich przybliżone kształty i wymiary, projektant instalacji PV jest w stanie dokładniej wyznaczyć miejsce pod budowę mikroinstalacji PV. Co najważniejsze, w przypadku korzystania z programów 3D, możliwe jest wygenerowanie w dość realistycznym stop-

niu zacielenia spowodowanego przez moduły PV i ewentualne inne elementy, co umożliwia modyfikację ustawień modułów PV i ograniczenie strat w instalacji PV. Niezależnie od rodzaju programu, należy pamiętać o zachowaniu właściwego kąta nachylenia modułów PV. Wykonanie rozplanowania instalacji PV w programie do projektowania 2D jest zazwyczaj nie tylko prostsze i szybsze, ale pozwala na umieszczenie dodatkowych elementów i obiektów. Rzut płaski z góry pozwala w przejrzysty sposób oznaczyć moduły PV fotowoltaiczne, konstrukcję nośną, falowniki, przebieg kabli elektrycznych itp. Zastosowanie programów 2D uniemożliwia analizę wygenerowania zacielenia w czasie rzeczywistym, co utrudnia projektowanie ułożenia modułów PV w przypadku dachowych mikroinstalacji PV.

Montaż mikroinstalacji PV

Po dokonaniu obliczeń związanych z określeniem mocy mikroinstalacji PV, ustaleniu jej lokalizacji, doborze komponentów i rozplanowaniu modułów PV, następuje etap budowy instalacji. W zależności od liczby i wielkości modułów PV oraz stopnia skomplikowania powierzchni pod ich montaż, okres ten może trwać nawet do kilkunastu dni. Dla mikroinstalacji PV o mocy około 10 kW_p okres ten wynosi najczęściej od 1 do 3 dni, natomiast w przypadku mniejszych mocy, budowa może trwać dłużej. Wykonanie mikroinstalacji PV można podzielić na 3 najważniejsze etapy:

- montaż konstrukcji nośnej,
- montaż modułów PV,
- montaż falownika.

Pierwszy etap, czyli montaż konstrukcji nośnej pod moduły PV, jest zazwyczaj najtrudniejszym i najbardziej czasochłonnym ze wszystkich trzech etapów. Poziom jego skomplikowania uzależniony jest głównie od technologii montażu konstrukcji nośnej, którą dostosowuje się w zależności od miejsca oraz rodzaju pokrycia dachowego bądź podłoża pod moduły PV. Dla gruntowej mikroinstalacji PV różnicę stanowi rodzaj podparcia, czyli liczba słupów (podpór) konstrukcyjnych, które stabilizuje się poprzez ich wbicie przy pomocy kafara lub zabetonowanie. Budowa konstrukcji dwupodporowej zajmuje więcej czasu, ponieważ konieczne jest wytyczenie miejsca pod słupy, natomiast budowa konstrukcji jednopodporowej będzie wymagała głębszego wbicia i zabetonowania słupów. Mocowanie modułów PV na dachu z wykorzystaniem systemu szynowego, wymaga zastosowania różnego rodzaju zamocowań w zależności od ro-

dzaju pokrycia tj.: haki (dachówka ceramiczna, karpiówka, łupkowa i inne), szpilki (blachodachówka i cienka blacha), dwugwinty (papa, gont bitumiczny), trapezy (blacha trapezowa i warstwowa), balast (stropodach, beton).

Etap samego montażu modułów PV do istniejącej już konstrukcji nośnej jest dość szybki i rozpoczyna się od umieszczenia wpustów przesuwanych z kulką w szynach montażowych, a następnie przymocowania do nich klem, po czym następuje podłączenie przewodów za pomocą konektorów oraz ustawienie modułów PV i ich przykręcenie do klem. Ważne jest, że w przypadku bezramowych modułów PV należy zastosować specjalne zaciski z gumowymi podkładkami w celu utrzymania stabilności przy ich obciążeniu śniegiem i wiatrem [9]. Przed dokonaniem ostatecznego montażu modułów PV do konstrukcji nośnej, należy jeszcze pamiętać o ich prawidłowym ustawieniu. Moduły PV można bowiem umieścić w orientacji pionowej lub poziomej zależnie od rozplanowania wykonanego przez projektanta. Musimy jednak pamiętać, że tak jak w przypadku umieszczenia skrzynki przyłączeniowej (junction box) po środku, odwrócenie modułów fotowoltaicznych nie stanowi żadnej różnicy, tak ułożenie jej na górnej części tyłu modułu PV może stanowić pewne komplikacje. Wynika to z ograniczeń długości przewodu przyłączeniowego modułu PV, który w przypadku umiejscowienia skrzynki przyłączeniowej na górze może być niewystarczająco długi do połączenia ze sobą modułów PV o większych wymiarach. Wydawać by się mogło, że najlepszym wyjściem może być odwrócenie modułów PV tak, aby umożliwić połączenie górnego i dolnego ich rzędu, lecz okupione jest to zwiększeniem ryzyka przedostania się wilgoci do skrzynki przyłączeniowej. W przypadku braku aprobaty ze strony producenta modułów PV na ich montaż ku dołowi, jedynym wyjściem jest zastosowanie dodatkowych przewodów.

Ostatnim ważnym etapem jest umiejscowienie i montaż falownika oraz podpięcie do niego przeprowadzonych wcześniej przewodów elektrycznych od modułów PV. W celu wyboru miejsca montażu falownika należy zwrócić uwagę na następujące aspekty:

- temperaturę otoczenia – większość falowników ma temperaturowy zakres pracy od -25 do +60 °C, lub od -40 do +60 °C,
- rodzaj chłodzenia – może być naturalne lub wymuszone; co decyduje o możliwości montażu falownika w danym pomieszczeniu,

- poziom hałasu – zależy w dużej mierze od rodzaju chłodzenia oraz wpływa częściowo na miejsce montażu falownika,
 - masę – niektóre falowniki o mocy AC 10 kW ważą nawet około 40 kg; miejsce montażu musi przenieść to obciążenie,
 - dopuszczalne miejsce montażu – w większości falowniki przeznaczone są zarówno do pracy wewnątrz jak i na zewnątrz obiektu.
- Informacje podane powyżej powinny znajdować się w kartach katalogowych falowników, a w przypadku braku danych, należy skontaktować się z dystrybutorem lub serwisem urządzenia. W przypadku gruntowej mikroinstalacji PV falownik montuje się do konstrukcji nośnej w specjalnie wyznaczonym w tym celu miejscu (falownik podwieszany) lub na podwyższeniu w postaci np. płytki betonowej umieszczonej pod modułami PV (falownik stojący). Dachowa mikroinstalacja PV pozwala na znacznie większą dowolność wyboru pomieszczenia pod montaż falownika, lecz ostateczna kwestia wyboru jego lokalizacji powinna zostać zawsze skonsultowana z inwestorem. Wynika to głównie z faktu, iż do prawidłowego funkcjonowania falownik powinien zostać zamontowany w miejscu o umiarkowanej temperaturze, z minimum 30 cm wolnej przestrzeni dookoła siebie oraz brakiem zapylenia w obiekcie. Fakt ten sprawia, iż wielu instalatorów decyduje się na montaż falownika w takich pomieszczeniach jak garaże, składziki lub nawet garderoby, czy domowe siłownie.

Po wybraniu miejsca dla falownika i jego zamontowaniu, należy zamontować skrzynkę z zabezpieczeniami. Przygotowaną skrzynkę montujemy zazwyczaj pod lub obok falownika tak, aby droga przewodzenia przewodów była jak najkrótsza. Warto zaznaczyć, że przewody elektryczne muszą być przeciągnięte w peszlu. Sam proces podpinania przewodów elektrycznych do falownika polega na wpięciu ich w odpowiednie gniazda kontrolera MPPT (Maximum Power Point Tracking – śledzenie punktu mocy maksymalnej) za pomocą konektorów [10, 13].

Po zakończeniu montażu wszystkich elementów wchodzących w skład mikroinstalacji PV należy przeprowadzić odbiór końcowy inwestycji. W tym celu najpierw instalator instalacji PV lub elektryk musi dokonać pierwszego rozruchu falownika oraz skontrolować jego parametry elektryczne. Proces uruchamiania falownika może różnić się w zależności od jego modelu oraz producenta, ale podstawowe zasady pozostają takie same:

- włączenie strony prądu stałego (DC) falownika, zazwyczaj za pomocą pokrętki lub switcha, co powinno spowodować zapalenie się czerwonej diody na falowniku,
- włączenie strony prądu zmiennego (AC) za pomocą przełącznika umieszczonego w skrzynce z zabezpieczeniami, co rozpoczyna sekwencję startową falownika,
- po odczekaniu kilkunastu do kilkudziesięciu sekund powinna zaświecić się zielona dioda, która oznacza prawidłowe działanie falownika i rozpoczęcie produkcji energii elektrycznej przez mikroinstalację PV,
- ostatnim etapem jest sprawdzenie prawidłowego napięcia na modułach PV.

Sposoby monitorowania instalacji fotowoltaicznych

Istnieje kilka metod obserwacji produkcji energii elektrycznej oraz prawidłowej pracy instalacji PV, z czego do najbardziej znanych z nich zalicza się [17]:

- odczyt produkcji z wyświetlacza falownika,
- monitoring on-line pracy falownika,
- pomiar ilości energii elektrycznej oddawanej do sieci.

Odczyt produkcji energii elektrycznej przy pomocy wyświetlacza falownika jest najbardziej podstawową metodą monitorowania uzysków. Pozwala on na obserwację zarówno aktualnej, jak i ogólnej produkcji z modułów PV oraz zawiera informacje o ewentualnie występujących błędach bez konieczności połączenia z internetem. Niestety przez konieczność fizycznej interakcji z falownikiem nie jest możliwe dokonanie wygodnego odczytu uzysków i błędów na odległość, a to z kolei wiąże się z coraz większą chęcią ze strony producentów falowników do rezygnacji z instalowania wyświetlaczy i tym samym obniżania kosztów. Monitorowanie on-line za pomocą strony internetowej i/lub aplikacji na telefon jest aktualnie najbardziej popularną formą obserwowania funkcjonowania instalacji PV. Podłączony do falownika i przetwarzający jego dane router wifi, pozwala sprawdzić nie tylko aktualne uzyski, ale również wygenerować dane od momentu uruchomienia falownika z dokładnością nawet do 5 minut. Dodatkowo obserwowanie on-line daje instalatorowi szansę na szybką reakcję oraz naprawę ewentualnych usterek. Ważnym wymogiem jest stałe zapewnienie falownikowi dostępu do internetu, co musi być uwzględnione podczas wyboru miejsca na montaż falownika, tak, aby był

możliwy stały monitoring działania instalacji PV. Ilość energii elektrycznej oddawanej do sieci elektroenergetycznej można sprawdzić przy pomocy specjalnego urządzenia mierniczego. Jest nim dość niewielkie urządzenie o kształcie przypominającym tabletkę, które umieszcza się na porcie optycznym licznika dwukierunkowego. Urządzenie współpracuje z aplikacją mobilną zainstalowaną na smartphonach. Urządzenie takie ma za zadanie czytać i zapisywać dane o pobranej oraz oddanej do sieci energii elektrycznej na specjalnie przeznaczony w tym celu platformie.

Problemy i zagrożenia w instalacji fotowoltaicznej

Z uwagi na fakt, że instalacja elektryczna jest źródłem napięć powyżej 24V może stanowić niebezpieczeństwo dla zdrowia i życia. Nie tylko samo napięcie stanowi zagrożenie. Większy problem dotyczy wysokich wartości natężenia prądu, które może osiągnąć w średnio rozbudowanej instalacji wartości powyżej 100 A [10]. Tak wysokie wartości natężenia prądów stanowią zagrożenie nie tylko ze względu na ewentualne porażenia, ale również w przypadku zwarcia zagrożenie pożarem. Do oszacowania ryzyka pożaru instalacji PV mogą posłużyć badania, które są prowadzone przez niezależne instytuty badawcze. Według brytyjskiego BRE National Solar Centre czy niemieckiego TÜV Rheinland liczba pożarów wywołana przez instalacje PV w odniesieniu do wszystkich pożarów mierzy się w promilach [14]. A więc jeśli instalacja PV wykonana jest prawidłowo, pożary zdarzają się niezwykle rzadko.

Przyczyną pożaru może być zwarcie w instalacji, brak zabezpieczeń elektrycznych, uderzenie pioruna, uszkodzenie złączy lub błędnie wykonana instalacja.

Podczas eksploatacji instalacji PV użytkownik może spotkać się z wieloma problemami, które spowodują pogorszenie sprawności instalacji lub zatrzymanie jej dalszej pracy. Istotne jest, aby jak najszybciej usunąć przyczyny powstających problemów podczas użytkowania, aby nie dopuścić w najgorszym przypadku do pożaru instalacji PV. W modułach PV nie można wykonywać żadnych napraw, poza czyszczeniem ich powierzchni czołowej, wymianą skrzynki przyłączeniowej lub diody bocznikującej, więc jeśli pojawi się awaria, jej usunięcie zwykle związane jest z wymianą modułu PV.

Awarią modułu PV nazywa się zazwyczaj efekt, który obniża jego moc lub stwarza zagrożenie bezpieczeństwa pracy

instalacji PV. Zjawiska o charakterze czy-
sto „kosmetycznym”, które nie mają wpły-
wu na moc oraz zagrożenie, są uważane
za uszkodzenie modułu PV – brak awarii.
Według Raportu [18] problem, który jest
spowodowany niewłaściwą obsługą lub
lokalnym środowiskiem, nie jest uważany
za „awarię”. Wśród przyczyn, które nie
wywołują awarii można wskazać: zabrud-
zenie modułu PV, wyładowanie atmosfery-
czne. Z drugiej strony, defekty spowodo-
wane dużym obciążeniem śniegiem są
uważane za awarię modułu PV, jeśli uleg-
nie on zniszczeniu w wyniku dużego
i długotrwałego obciążenia śniegiem.
Niezależnie od tego, czy mamy do czynie-
nia z awarią czy uszkodzeniem w więk-
szości przypadków stan ten wpływa na
pracę modułu PV.

W tabeli 1 zamieszczono wyniki anali-
zy uwzględniającej wpływ czynników na
pracę paneli PV w zależności od rodzaju

ści elementów instalacji PV na możliwość
wystąpienia problemów eksploatacyjnych.

- Często popełniane błędy to:
- niewłaściwy transport i brak zabezpie-
czeń w samochodzie i w trakcie prze-
chowywania np. upadek panelu, ude-
rzenie, chodzenie po panelach;
 - zarysowanie przedniej szyby;
 - uszkodzenie obudowy, ramy;
 - zbyt mocne dociąganie śrub monta-
żowych;
 - brak zgodności montażu z instrukcją
projektanta lub producenta;
 - stosowanie łączników niezgodnych
z instrukcją np. stosowanie tanich za-
mienników.

Jakość elementów instalacji fotowoltaicznej a usterki

Jakość użytych komponentów do pro-
dukcji modułów PV, a także sam przebieg
procesu ich produkcji przekłada się na ja-

kość (panele typu szkło-szkło) nie mają
folii i są bardziej odporne na działanie
czynników chemicznych oraz możliwe
błędy montażowe.

Korozja ogniwa PV oraz przewodów
elektrycznych powoduje spadek wydajno-
ści instalacji PV oraz zagrożenie pożarem
(patrz Tabela 1). Przyczyny pojawienia się
pęknięć mogą wynikać z popełnianych
błędów montażowych – montaż niezgodny
z instrukcją (np. niewłaściwy docisk śrub
montażowych) lub mogą wynikać z działa-
nia czynników atmosferycznych (np. opad
gradu, upadek gałęzi, itp.). W cienkowar-
stwowych modułach PV możliwe jest poja-
wienie się innego rodzaju korozji wywołu-
jącej spadek mocy modułu PV. Jony sodo-
we Na⁺ obecne w chroniącej moduł PV
szybie reagują ze składnikami warstwy
TCO (Transparent Conducting Oxide)
w wyniku czego warstwa TCO przestaje
być przezroczysta. W celu eliminacji wy-
stępowania tego zjawiska stosuje się do-
datkowe powłoki rozdzielające szkło od
TCO tzw. warstwy laminatu, tak aby nie
dochodziło do reakcji między składnikami
warstw. Korozja TCO jest procesem, który
nieodwracalnie niszczy i uszkadza moduły
PV. Jak wynika z doniesień literaturowych
[9] korozja TCO może doprowadzić
w ciągu kilku lat do konieczności wymiany
cienkowarstwowych modułów PV. Inną
przyczyną pojawienia się pęknięć w mo-
dule PV, a tym samym korozji, w później-
szym okresie jego eksploatacji, jest pod-
wyższenie temperatury spowodowanej za-
cienieniem. W tym przypadku zacieniona
część ogniwa PV nie będzie produkować
prądu. W najgorszym razie mikropęknię-
cia powodują miejscowy wzrost temperatu-
ry (tzw. „hot-spoty”), które z czasem mogą
przepalić folię zabezpieczającą ogniwo
PV. A w przypadku kontaktu z elementem
metalowym, na przykład ramą panelu PV,
może dojść do powstania łuku elektryczne-
go, co w konsekwencji wyłączy moduł PV
z produkcji prądu. Problem może zatrzy-
mać się na tym etapie, jednak w modułach
PV gorszej jakości może dojść do dalszej
degradacji w postaci wystąpienia wspo-
mnianych „ślimaczych ścieżek”. Ślimacze
ścieżki („snail trails”) są efektem mikro-
pęknięć oraz odbarwienia srebrnej pasty
z przodu busbarów. Sama zmiana koloru
przy busbarach nie wywołuje większych
szkod ani nie przeszkadza w pracy, ale
jeśli występują też mikropęknięcia, to od-
barwienia wnikają w głąb modułu PV, ob-
niżając jego wydajność. W najgorszym
razie mikropęknięcia powodują miejscowy
wzrost temperatury (hot-spoty), która
z czasem może przepalić folię zabezpie-
czającą z tyłu modułu PV. Jeśli w pobliżu

Tabela 1. Rodzaj usterek i ich wpływ na pracę paneli PV

Rodzaj usterek	Spadek napięcia	Spadek natężenia prądu	Spadek mocy	Zagrożenie porażenia prądem	Możliwa przyczyna pożaru
Zacienienie modułów	+	+	+		
Niedopasowanie prądowe	+		+		
Niedopasowanie napięciowe		+	+		
Brak diody by-pass			+		+
Mikrouszkodzenia				+	+
Zwarcie doziemne				+	+
Uszkodzenie złączy					+
Brak zabezpieczeń instalacji				+	+
Delaminacja			+		

usterki. Na podstawie raportu Technical
Risks in PV Projects [19], projekt SolarBan-
kability ufundowanego przez Komisję Euro-
pejską Horizon 2020 opracowano podane
poniższe dane. Zacienienie modułów PV,
niedopasowanie prądowe i napięciowe
skutkują spadkiem napięcia i/lub natężenia
w module PV, a w konsekwencji spadkiem
jego mocy. Przypadki zniszczeń takie jak:
mikrouszkodzenia, uszkodzenia złączy,
zwarcie doziemne, nieprawidłowe zabez-
pieczenie instalacji lub nawet ich brak,
grożą porażeniem prądem i są przyczyna-
mi pożaru. W następnym rozdziale po-
szczególne usterki oraz błędy zostaną opi-
sane szerzej.

Błędy projektowe i montażowe w instalacjach fotowoltaicznych

Błędy montażowe i instalacyjne są naj-
bardziej kosztownymi i najczęściej wystę-
pującymi rodzajami problemów. W niniej-
szym rozdziale skupiono się na omówieniu
najczęściej występujących błędów i uste-
rek, a przede wszystkim na wpływie jako-

kość produktu, a tym samym na żywotność
i mało awaryjną pracę instalacji PV.

W praktyce znane są usterki, które
mimo ich występowania, nie przerywają
pracy modułów PV. Częstym problemem
w użytkowaniu modułów PV okazuje się
delaminacja, która polega na odwarstwie-
niu folii EVA, stanowiącej zabezpieczenie
przed czynnikami atmosferycznymi. Pane-
le PV składają się z kilku połączonych
warstw, z których każda spełnia ważną
funkcję użytkową i zabezpieczającą. Od-
klejanie poszczególnych warstw między
szkłem a folią EVA, ogniwem, busbarami,
czy tylną folią ochronną jest częstą przy-
czyną pojawiania się wilgoci, co powodu-
je korozję. Jedną z przyczyn odwarstwie-
nia jest nieumiejętne dobranie parametrów
w trakcie laminowania modułów PV. Dela-
minacja wpływa na ograniczenie ilości
absorbowanego promieniowania słonecz-
nego co powoduje spadek wydajności in-
stalacji PV. Delaminacja nie powoduje na-
tychmiastowego zepsucia się modułu PV,
ale zjawisko to przyspiesza degradację
oraz obniża jego moc. Panele PV pokryte

uszkodzonej folii znajduje się element metalowy np. rama modułu PV, wtedy może dojść do powstania łuku elektrycznego, co nawet może wywołać pożar.

Mikrouszkodzenia związane są z istnieniem bardzo małych wad materiałowych w postaci mikropęknięć, które często są bardzo trudne do uchwycenia podczas kontroli jakości modułu PV. Takie mikrouszkodzenia mogą powstać pod wpływem chociażby działania czynników chemicznych czy działania bardzo wysokiej temperatury. Do uszkodzeń modułów PV często dochodzi również podczas nieuważnego transportowania, magazynowania czy montażu. Powstanie takich mikrouszkodzeń wiąże się z powstawaniem tzw. gorących punktów (*hot-spotów*) wspomnianych już wcześniej, w których temperatura pracy modułu PV będzie osiągać znacznie wyższą temperaturę niż w miejscach nieuszkodzonych. Znaczne podniesienie temperatury pracy (nawet do 250°C) w tych miejscach modułu PV, może stwarzać zagrożenie samozapłonem [10, 12]. Gorące punkty wpływają na straty w uzyskach energii, a także przyspieszają zużycie modułów PV. W trakcie eksploatacji instalacji PV powstanie mikrouszkodzeń związane jest m.in. z chodzeniem po modułach PV w nieodpowiednim obuwiu np. przez osoby myjące panele PV. Hot-spots mogą powstać właśnie w efekcie mikropęknięć, częściowego zacielenia paneli, błędów produkcyjnych paneli lub niestarannego montażu i magazynowania.

Do ważnych wad będących cechą charakterystyczną paneli o niskiej jakości jest efekt PID („Potential Induced Degradation”) czyli degradacja wywołana indukowaniem się napięcia. Zjawisko to powoduje, że prąd „wycieka” do uziemionej ramy modułu PV, co nie tylko sprawia, że prąd trafia do ziemi, ale też niszczy ogniwa PV. Zatem zjawisko to powoduje duże straty energii elektrycznej i może być poważnym problemem w eksploatacji instalacji PV. Testy odporności na efekt PID przeprowadzają specjalistyczne jednostki badawcze.

Utrata mocy przez moduły PV to kolejny problem, z którym okresowo mogą spotkać się użytkownicy instalacji PV. Problem ten jest związany z *okresowym zacieleniem lub niedopasowaniem prądowym i napięciowym*. Zacielenie może być związane z nieodpowiednim zaplanowaniem miejsca montażu paneli PV, gdy nie ma zachowanej odległości od przeszkód, które rzucają cień np. kominów czy drzew znajdujących się w pobliżu obiektu. Wówczas moduły PV nie pracują w pełnym zakresie mocy, a to powoduje znaczne spadki w wielkości generowanej energii elektrycznej. Dlatego, tak ważne jest odpowiednie zaplanowanie miejsca pod budowę instalacji PV. W przypadku zacielenia połowy ogniwa PV spadek natężenia prądu wyno-

si 50% [10]. To, jak wpłynie zacielenie na ilość powstającej energii elektrycznej zależy od sposobu połączenia ogniw PV. Równoległe połączenie ogniw PV podczas zacielenia powoduje utratę mocy proporcjonalną do stopnia ich zacielenia i liczby zacielenionych ogniw PV. W praktyce w modułach PV, aby osiągnąć wyższe napięcia, ogniwa PV są połączone szeregowo. Ten sposób łączenia powoduje, że spadek generowanego prądu w całym module PV wystąpi w przypadku zacielenia chociażby jednego ogniwa PV. Wartość natężenia prądu połączonych szeregowo ogniw PV będzie równa prądowi płynącemu przez zacielenione ogniwa PV. To nie jedyny problem w przypadku zacielenia instalacji PV. Ponadto w zacielenionym ogniwie PV dochodzi do wydzielania się ciepła na skutek odwrócenia polaryzacji, co może doprowadzić do jego przegrzewania, a nawet do jego przepalenia. W celu zapobieżenia negatywnym skutkom zacielenia, montuje się w puszkach przyłączeniowych modułów diody by-pass, których polaryzacja jest przeciwna do ogniw PV. W przypadku wystąpienia zacielenia, dioda powoduje, że przepływ prądu omijając zacieleną sekcję ogniw PV. Jedna dioda przypisana jest do pewnej grupy ogniw PV, a w przypadku jej uszkodzenia należy dokonać tylko jej wymiany. Z reguły na jeden moduł PV przypadają trzy diody, każda z nich odpowiada za daną sekcję ogniw PV. Koszt zakupu skrzynki przyłączeniowej z diodami by-pass do modułu PV o mocy 250W to wydatek około 100 zł [10].

Zwarcie doziemne to jedna z najczęściej pojawiających się usterek w pracy instalacji PV. Jest ono wynikiem zetknięcia się przewodów elektrycznych pomiędzy elementami generatora fotowoltaicznego (modułu PV lub przewodów) z uziemieniem, bądź też w wyniku uszkodzenia elementu modułu PV (np. ramy), czy także w wyniku uszkodzenia przewodów (podczas prac instalacyjnych lub przez gryzonia). Usterka ta stanowi niebezpieczeństwo porażenia prądem, jak również zagrożenie pożarem. Zwarcie doziemne sygnalizowane jest przez falownik przez zgłoszenie błędu. Wówczas falownik odłącza generator PV od sieci elektrycznej. Aby zlokalizować miejsce zwarcia modułów PV należy dokonać pomiaru napięcia między minusem i uziemieniem oraz plusem i uziemieniem. Zwarcie doziemne występuje wówczas gdy suma napięć między minusem a ziemią oraz plusem a ziemią jest w przybliżeniu równa napięciu między plusem i minusem [4]. Przed podłączeniem modułów PV do sieci elektrycznej należy zawsze sprawdzić czy nie ma zwarcia doziemnego. W przeciwnym razie istnieje ryzyko powstania łuku elektrycznego.

Uszkodzenie złączy to kolejna przyczyna wadliwej pracy instalacji PV. Uszkodzenie złączy może doprowadzić do ich przegrzewania, co w efekcie może wywołać pożar całej instalacji PV.

Analizując przyczyny, w których może dojść do zniszczenia modułów PV, a w rezultacie do awarii instalacji PV, należy mieć na uwadze, że zniszczone urządzenia trzeba będzie zutylizować. Unia Europejska, opracowała i wdrożyła dyrektywę WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive), w której moduły PV są traktowane jako urządzenia elektroniczne. Zgodnie z unijnymi zaleceniami, producenci modułów PV zainstalowanych w UE powinni pokryć koszty ich zbiórki i recyklingu [20-22]. Na chwilę obecną, to właściciel instalacji musi ją zutylizować na własny koszt. Nie można jednak tego zrobić samemu np. oddając moduły PV razem z odpadami wielkogabarytowymi. Potrzebna jest wyspecjalizowana firma, która powinna wydać zaświadczenie potwierdzające realizację takiej usługi. Kraje Unii Europejskiej wypracowały zakres działań w zapisach rozporządzenia w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (WEEE), które wymaga od wszystkich producentów dostarczających panele słoneczne na rynek UE do finansowania kosztów związanych z demontażem, transportem i recyklingiem.

Zabezpieczenia instalacji fotowoltaicznych

W projektowaniu instalacji PV niezwykle ważne jest odpowiednie *dobranie zabezpieczeń przewodów i kabli* gdyż ich brak stwarza bezpośrednio zagrożenie zwarcia instalacji lub porażenia prądem. Przewody elektryczne dedykowane do instalacji PV muszą odznaczać się dobrą izolacją z uwagi na ich narażenie na czynniki środowiskowe (większość przewodów poprowadzona jest na zewnątrz budynków). Kable stosowane w instalacjach PV muszą więc posiadać grubszą izolację, a przewody miedziane dodatkowo są cynowane.

W instalacjach PV wyróżnia się między innymi zabezpieczenia nadprądowe (do których należą wyłączniki i bezpieczniki), ograniczniki przepięć, rozłączniki oraz instalację uziemiającą i odgromową. W przypadku łączenia równoległego kilku stringów w modułach lub panelach PV, istnieje konieczność stosowania bezpieczników po stronie prądu stałego (DC), w przypadku gdy łączy się więcej niż dwa szeregi z uwagi na powstający prąd wsteczny, którego wartość może przekraczać dopuszczalny prąd rewersyjny. Bezpieczniki takie mają specjalną wkładkę topikową i są specjalnie dedykowane do instalacji PV (nawet przy niewielkich przeciężeniach wyłączają instalację PV, aby nie uszkodzić modułów).

Uzupełnienie ochrony odgromowej stanowią ograniczniki przepięć, które zabezpieczają instalację PV przed skutkami przepięć w sieci elektrycznej, które mogą powstać jako skutek uderzenia pioruna lub podczas jej awarii. Stosowane w instalacjach PV falowniki również należy zabezpieczyć na wypadek prac serwisowych. W tym celu stosuje się wyłączniki zarówno po stronie prądu stałego jak i zmiennego.

Ważnym elementem ochrony przeciwporażeniowej i przeciwprzepięciowej stanowią uziemienie i połączenia wyrównawcze, które poprawiają bezpieczeństwo pracy instalacji PV, szczególnie w przypadku uszkodzenia modułów PV lub w trakcie wystąpienia wyładowań atmosferycznych.

W przypadku projektowania instalacji odgromowej niezwykle ważne jest zachowanie odpowiednich odstępów izolacyjnych pomiędzy elementami instalacji PV a elementami instalacji odgromowej, aby nie dopuścić do powstania łuku elektrycznego lub wystąpienia przeskoków iskiei. Niezwykle istotne jest wykonanie badania skuteczności ochrony przeciwporażeniowej zgodnie z obowiązującymi normami zaraz po wykonaniu instalacji PV. Odpowiednio sporządzona dokumentacja jest potwierdzeniem dla użytkownika i inwestora, że cała instalacja PV działa poprawnie [15].

Podsumowanie

Prawidłowe wykonanie projektu mikroinstalacji PV jest warunkiem jej poprawnego działania. Projekt jest źródłem wiedzy dla inwestora, w którym znajdują się informacje o właściwościach i parametrach komponentów, przedstawia wizualizację, schematy, dane techniczne instalacji PV oraz zawiera karty komponentów. Dane zawarte w projekcie to: moc całkowita mikroinstalacji PV, liczba modułów PV, miejsce montażu modułów PV (rozplanowanie), kąt nachylenia oraz usytuowanie modułów PV względem azymutu, rodzaj konstrukcji montażowej, rodzaj i moc falownika, podłączenie modułów PV do kontrolera MPPT falownika, trasa przejścia przewodu/kabla elektrycznego (tylko w przypadku instalacji PV posadowionej na gruncie), montaż wyłącznika przeciwpożarowego (w przypadku instalacji PV powyżej 6,5 kW_p).

Na podstawie analizy zasad związanych z przygotowaniem i opracowaniem projektu mikroinstalacji PV, sformułowano najistotniejsze wnioski:

- moc mikroinstalacji PV powinna być przewymiarowana w zależności od procentowej ilości energii elektrycznej odzyskiwanej z sieci dystrybucyjnej,
- dobór najważniejszych komponentów do instalacji PV powinien być uprzednio uzgodniony z inwestorem przed ich ostatecznym zatwierdzeniem,

- część projektowa związana z branżą elektryczną powinna zostać skonsultowana z wykwalifikowanym elektrykiem lub oceniona przy wykorzystaniu specjalistycznych programów,
- rozplanowanie modułów PV powinno odzwierciedlać w miarę możliwości rzeczywisty stan powierzchni przeznaczonej pod ich montaż,
- technologia montażu konstrukcji nośnej pod moduły PV musi być dobrana w zależności od rodzaju znajdującej się pod nią powierzchni nośnej,
- rodzaj monitoringu pracy instalacji PV uzależniony jest od rodzaju falownika i powinien zostać dostosowany do indywidualnych wymagań klienta,
- zgłoszenie przyłączenia mikroinstalacji PV jest niezbędne w celu uzyskania pozwolenia na magazynowanie nadprodukcji energii elektrycznej w sieci elektroenergetycznej,
- karty katalogowe wszystkich komponentów, schemat elektryczny i uprawnienia UDT projektanta są niezbędnymi załącznikami projektu mikroinstalacji PV.

Podczas eksploatacji instalacji PV użytkownik może spotkać się z wieloma problemami, które spowodują pogorszenie sprawności lub zatrzymanie jej dalszej pracy. Istotne jest, aby jak najszybciej usunąć przyczyny powstających problemów podczas użytkowania, aby nie dopuścić, w najgorszym przypadku, do pożaru instalacji. Jeśli jakość wykorzystywanych elementów jest niska lub proces transportu czy montażu nie uwzględnia podstawowych zasad i procedur, dochodzi do powstania mikropęknięć, które z kolei prowadzą do powstania wielu innych negatywnych zjawisk w instalacji PV. Jak wynika z powyższej analizy, większość problemów wynika z błędów projektowych i wykonawczych samych urządzeń.

Do najczęstszych i jednocześnie najkosztowniejszych przyczyn awarii występujących w instalacjach PV należą:

- brak zabezpieczeń instalacji PV i przewodów,
- pęknięcie szyby,
- PID,
- ślimacze ścieżki,
- wadliwa folia ochronna modułu PV lub jej odklejenie się,
- hot-spoty,
- zabrudzenia modułów PV,
- awaria diody bocznikowej.

Dostępne na rynku moduły PV tej samej generacji niejednokrotnie różnią się znacznie ceną. Podczas wyboru oferty, należy pamiętać, aby wybierać elementy o wysokiej jakości. Ich producenci przeprowadzają ciągłą kontrolę w trakcie produkcji, a także wykonują testy jakości.

Founding: The scientific research was funded by the statute subvention of Czestochowa University of Technology, Faculty of Infrastructure and Environment. The research was funded by the project No. BS/PB400/301/23.

LITERATURE

- [1] Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku (PEP 2040) (in Polish), https://www.gov.pl/documents/33372/436746/PEP2040_projekt_v12_2018-11-23.pdf/ee3374f4-10c3-5ad8-1843-f58dae119936 (accessed on 22 April 2021)
- [2] Krajowy plan na rzecz energii i klimatu <https://bip.mos.gov.pl/index.php?id=5608> (accessed on August 2023)
- [3] R. Włodarczyk, The use of fuel cell technology as electricity and heat generators in residential buildings, *Instal*, 6 (2021) DOI 10.36119/15.2021.6.2
- [4] *Gospodarka energetyczna i gazownictwo w 2021 r.* (accessed on August 2023)
- [5] Nowe obowiązki inwestora instalacji fotowoltaicznej – Onninen (accessed on August 2023)
- [6] <https://ieo.pl/pl/aktualnosci/1591-raport-rynek-fotowoltaiki-w-polsce-2022> (accessed on August 2023)
- [7] <https://krainaoze.pl/upload/Katalogi/Panele/karta-panel-ja-solar-jam72s10-400-mr-sr.pdf> (accessed on August 2023)
- [8] https://www.emiter.net.pl/sites/default/files/produkty_pliki/jam60s10_320-340_pr-pl.pdf (accessed on August 2023)
- [9] Oszczak W., *Kolektory słoneczne i fotoogniwa*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności sp. z o.o., Warszawa 2012
- [10] Szumański B., *Instalacje fotowoltaiczne*, Globenergia sp. z o.o., Kraków 2020
- [11] Klugmann-Radziemska E., 2010, *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, Wydawnictwo BTC, Legionowo 2010(in polish).
- [12] Jastrzębska G., 2014, *Ogniwa słoneczne Budowa, technologia i zastosowanie*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2014 (in polish).
- [13] Flizikowski, 2016, Flizikowski J., Mroziński A. *Inżynieria instalacji fotowoltaicznych*, Wydawnictwo współfinansowane ze środków funduszy norweskich oraz środków krajowych, Bydgoszcz 2016 (in polish).
- [14] <https://www.gov.pl/web/kppsp-olawa/panele-fotowoltaiczne-czy-bac-sie-pozaru> (accessed on August 2023)
- [15] <https://www.elektro.info.pl/artukul/fotowoltaika/161074,fotowoltaika-normy-i-przepisy-dotyczace-ochrony-odgromowej-i-przepieciowej> (accessed on August 2023)
- [16] https://www.solaryours.com/wp-content/uploads/2019/12/LR6-72PE-370M_Datasheet_EN.pdf (accessed on August 2023)
- [17] https://www.enea.pl/dladomu/obsługa_klienta_i_kontakt/2020/z-mi-edytowalny-10032020.pdf (accessed on August 2023)
- [18] Review of failures of photovoltaic modules, Photovoltaics Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T13-01:2014
- [19] www.solarbankability.eu (accessed on August 2023)
- [20] R. Włodarczyk, Analysis of the photovoltaic waste-recycling process in Polish conditions – A short review, *Sustainability*, 2022, 14, 4739, <https://doi.org/10.3390/su14084739>
- [21] WEEE, 2012, Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/19/UE, Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, 2012.
- [22] Unia, która mierzy wyżej, 2020, Wytyczne polityczne na następną kadencję Komisji Europejskiej (2019-2024), Bruksela 2020.