



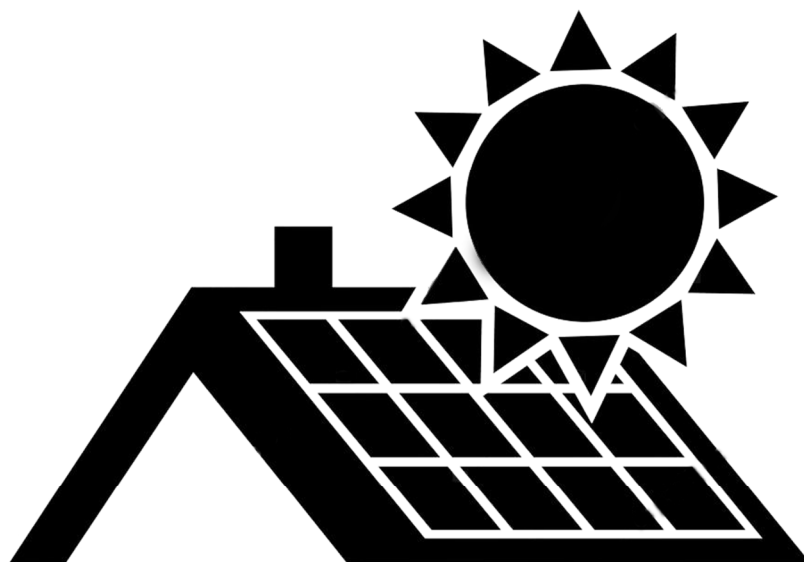
Fundusze Europejskie
dla Wielkopolski

Dofinansowane przez
Unię Europejską



SAMORZĄD
WOJEWÓDZTWA
WIELKOPOLSKIEGO

PROJEKTOWANIE I INSTALACJA SYSTEMÓW FOTOWOLTAICZNYCH



Materiały szkoleniowe

Tytuł

Projektowanie i instalacja systemów fotowoltaicznych
Materiały dydaktyczne dla uczestników szkolenia

Autor

Kamil Łodygowski

Projekt pn.

„Rozwój studiów o profilu praktycznym i form kształcenia ustawicznego
dostosowanych do potrzeb Wielkopolski Wschodniej”,
realizowany przez Akademię Nauk Stosowanych w Koninie,
jest współfinansowany przez Unię Europejską
ze środków Funduszu na rzecz Sprawiedliwej Transformacji
w ramach programu Fundusze Europejskie dla Wielkopolski 2021-2027



Fundusze Europejskie
dla Wielkopolski

Dofinansowane przez
Unię Europejską



SAMORZĄD
WOJEWÓDZTWA
WIELKOPOLSKIEGO

Wydawca

Akademia Nauk Stosowanych w Koninie
ul. Przyjaźni 1, 62-510 Konin



Spis treści

WSTĘP	4
PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI I ELEKTRONIKI	4
BUDOWA I RODZAJE OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH	6
ZASADA DZIAŁANIA OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH	7
BUDOWA PANELI FOTOWOLTAICZNYCH	8
INSTALACJA FOTOWOLTAICZNA	10
DOBÓR ZABEZPIECZEŃ I PRZEWODÓW ELEKTRYCZNYCH	16
MONTAŻ INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ	20
BIBLIOGRAFIA	30



WSTĘP

Wysyłane przez słońce promieniowanie elektromagnetyczne umożliwia życie wszystkich organizmów i stanowi siłę napędową ich ewolucji. Prawie cała energia generowana w jądrze Słońca w wyniku reakcji termojądrowych jest emitowana w postaci promieniowania, które rozchodzi się w przestrzeni kosmicznej.

Energia słoneczna, która dociera do granicy atmosfery ma moc około $1,366 \text{ kW/m}^2$ i jest to tzw. stała słoneczna. Na skutek odbicia, absorpcji i rozproszenia, w zależności od pory dnia i roku oraz stanu atmosfery, do powierzchni Ziemi dociera średnio mniej niż 50% energii. Energia słoneczna charakteryzuje się dużą zmiennością dobową, miesięczną i roczną. Nasłonecznienie w miesiącach zimowych jest nawet siedmiokrotnie mniejsze niż w miesiącach letnich. W czerwcu i lipcu do 1 m^2 dociera ponad $150 \text{ kWh/m}^2/\text{miesiąc}$ energii słonecznej, natomiast w grudniu i styczniu jest to mniej niż $25 \text{ kWh/m}^2/\text{miesiąc}$.

Promieniowanie bezpośrednie to krótkofalowe promieniowanie rozchodzące się w linii prostej od Słońca do powierzchni Ziemi. Stanowi od 30% do 55% wartości całkowitego promieniowania słonecznego i ma duży wpływ na ilość energii produkowanej przez kolektory słoneczne i ogniwa fotowoltaiczne. Udział promieniowania bezpośredniego w stosunku do całości promieniowania zmienia się w kolejnych miesiącach, największy jest w miesiącach letnich, a najmniejszy w zimowych.

Promieniowanie rozproszone (dyfuzyjne) to promieniowanie długofalowe, powstające w wyniku załamania, odbicia i częściowego pochłaniania promieniowania bezpośredniego w atmosferze ziemskiej, wskutek czego dociera do Ziemi bezkierunkowo. Udział promieniowania rozproszonego w stosunku do całości promieniowania zmienia się w kolejnych miesiącach. Największy udział ma w okresie zimowym, osiągając 70%, najmniejszy w okresie letnim – ok. 55%.

Promieniowanie odbite od powierzchni Ziemi i innych. Padające promienie ulegają odbiciu, zgodnie z zasadą mówiącą, że kąt padania równy jest kątowi odbicia. Albedo jest stosunkiem promieniowania odbitego we wszystkich kierunkach od powierzchni Ziemi do całkowitego promieniowania docierającego ze Słońca.

PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI I ELEKTRONIKI

Charakterystyka prądowo-napięciowa (rys. 9) ogniwa PV określa najważniejsze parametry pracy ogniwa, takie jak:

- prąd zwarcia I_{sc} ,
- napięcie obwodu otwartego V_{oc} .



Z charakterystyki tej można też wyznaczyć wartości prądu I_m i napięcia V_m dla maksymalnej mocy ogniwa. Posiadając takie dane, można wyznaczyć dalsze parametry pracy ogniwa, jak sprawność η , moc maksymalną P_{max} , czy tzw. współczynnik wypełnienia FF.

Dla idealnego ogniwa charakterystyka prądowo-napięciowa powinna mieć kształt prostokąta o bokach równych I_{sc} i V_{oc} . W praktyce takie ogniwa nie istnieją, dlatego maksymalna moc ogniwa wyznaczana jest ze wzoru: $P = I_m \cdot U_m$.

Współczynnik wypełnienia FF (*fill factor*) pokazuje w jakim stopniu charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa PV jest zbliżona do idealnej, czyli do pola prostokąta. Współczynnik wypełnienia obliczany jest w procentach jako stosunek pola powierzchni prostokąta o bokach I_m i V_m do pola prostokąta o bokach I_{sc} i V_{oc} . Współczynnik wypełnienia określany jest też jako stosunek mocy rzeczywistej generowanej przez moduł do mocy pozornej (hipotetycznej), obliczonej na podstawie maksymalnych charakterystyk prądu i napięcia.

Najważniejszym parametrem określającym jakość ogniwa słonecznego jest jego sprawność. Definiowana jest jako stosunek mocy maksymalnej ogniwa do mocy promieniowania światła słonecznego padającego na powierzchnię czynną tego ogniwa. Sprawność oznaczana symbolem η .

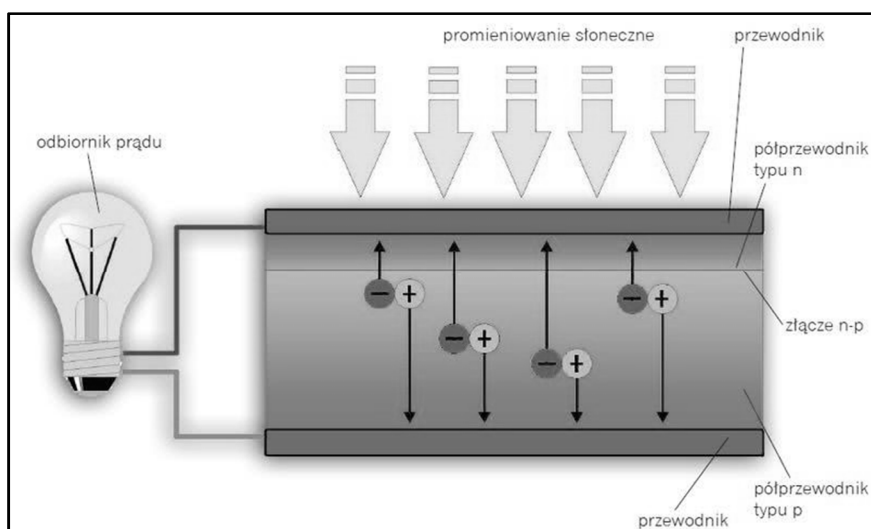
Moc pojedynczego ogniwa fotowoltaicznego jest bardzo mała, rzędu 1,5-2,5 W dla ogniwa o wymiarach 125 x 125 mm. W panelach ogniwa są więc ze sobą łączone w sposób szeregowy, równoległy lub szeregowo-równoległy. W zależności od żądanej wartości napięcia i prądu obciążenia można otrzymać panel o mocy od kilkuset watów do kilkunastu kW. Przy połączeniu szeregowym przednia elektroda pierwszego ogniwa jest połączona z tylną elektrodą ogniwa następnego. Przy takim połączeniu prąd na zaciskach układu jest równy prądowi jednego modułu. Napięcia w takim połączeniu poszczególnych ogniw sumują się. Połączenie równoległe powstaje wskutek łączenia przedniej elektrody ogniwa poprzedniego z przednią elektrodą ogniwa następnego. Prądy połączonych w ten sposób ogniw są sumowane. Panel otrzymuje na zaciskach układu napięcie panujące na module. Ze względu na parametry prądowe wejściowe falownika po stronie DC, prąd łańcucha modułów nie może przekroczyć dopuszczalnej wartości prądu na wejściu do falownika (od kilkunastu do kilkudziesięciu amperów).



BUDOWA I RODZAJE OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH

Ogniwa fotowoltaiczne bazują na bezpośredniej konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Jest to możliwe dzięki wewnętrznemu efektowi fotowoltaicznemu.

Ogniwa fotowoltaiczne są zbudowane z półprzewodników, najpopularniejszym pierwiastkiem wykorzystywanym w budowie jest krzem (Si). Panele składają się z dwóch warstw półprzewodników, które oddzielone są od siebie barierą zaporową. Warstwy są wykonane z tego samego materiału, ale ilość elektronów jest różna. Dlatego półprzewodnik jest określany jako połączenie warstw o nazwach p i n. Warstwa p ma małą ilość elektronów, natomiast warstwa n ma ich nadmiar [11] (rys. 1).



Rys. 1. Budowa ogniw fotowoltaicznego [13]

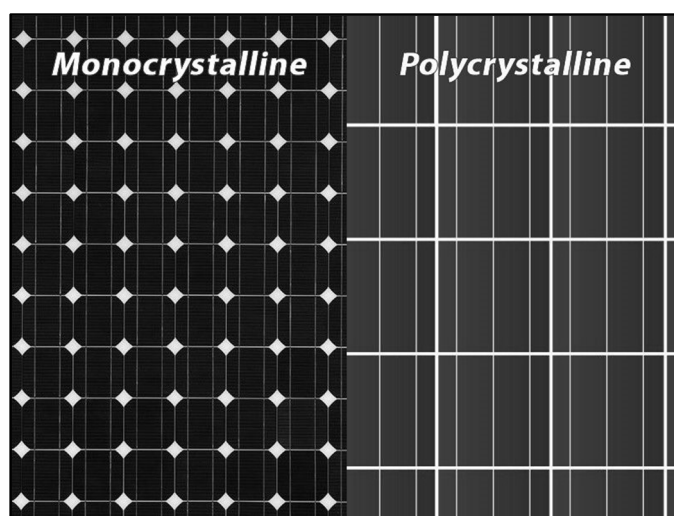
Materiałem, który najczęściej wykorzystuje się przy ogniwach fotowoltaicznych jest krzem. Jest wytwarzany poprzez przetwarzanie piasku (SiO_2). Uzyskanie tego surowca w postaci czystej jest niemożliwe, a krzem bez mankamentów jest materiałem niestabilnym. Jednakże, wraz z ubiegającym czasem, pojawiają się niedoskonałości. Celem uzyskania wymagającej przewodności elektrycznej półprzewodników typu p i n wykorzystuje się domieszkowanie innymi pierwiastkami.

Półprzewodnik typu n uzyskujemy przez dołączenie atomów pierwiastków z liczbą elektronów walencyjnych większą niż atomy krzemu. Natomiast w celu uzyskania półprzewodnika typu p dodaje się atomy o mniejszej liczbie elektronów walencyjnych. Pierwiastki, które używane są najczęściej przy domieszkowaniu półprzewodnika typu n, to głównie fosfor (P), arsen (As) oraz antymon (Sb), a dla półprzewodnika typu p to: bor (B), gal (Ga), tal (Tl), glin (Al), ind (In). Wykorzystanie domieszkowania półprzewodników umożliwia na powstanie złącza p-n, czyli diody, która daje możliwość na oddzielenie



dodatnich i ujemnych nośników energii dzięki polu elektrycznemu. Brak złącza spowodowałby, że nośniki nie dotarłyby do obwodu zewnętrznego, a jedynie by rekombinowały [10].

Ogniwa fotowoltaiczne mogą różnić się materiałem, z którego są wykonywane, i sposobem produkcji, co spowodowało, że dzielone są na trzy generacje i odróżnia je różna sprawność. Do pierwszej generacji zaliczamy ogniwa wykonane z krzemu krystalicznego i dzielą się na mono- i polikrystaliczne (rys. 2).

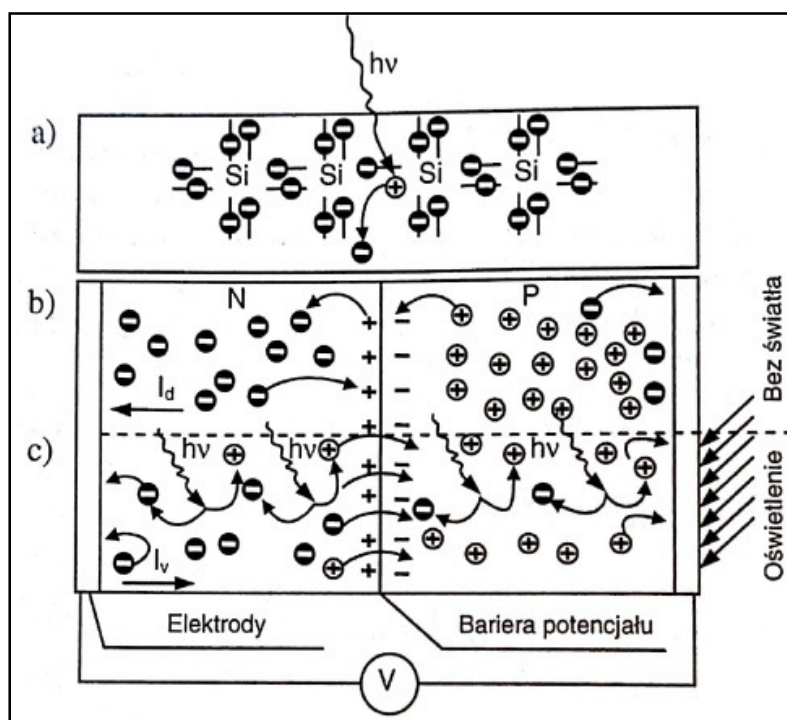


Rys. 2. Ogniwo mono- i polikrystaliczne [12]

ZASADA DZIAŁANIA OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH

Aby zrozumieć zasadę działania ogniw fotowoltaicznych, należy wyjaśnić, na czym polega zjawisko konwersji fotowoltaicznej. Energia promieniowania słonecznego wybija w półprzewodnikach elektrony z pasma walencyjnego na pasmo przewodnictwa. W wyniku wybicia w wiązaniu sieci krystalicznej elektronu (-) powstaje ładunek dodatni, tzw. dziura (rys. 3a). W momencie rekombinacji dziury z elektronem sąsiedniego węzła sieci powstaje nowa dziura. W półprzewodnikach typu p znajdują się w większości same dziury, natomiast w przewodniku typu n jest przewaga ładunków ujemnych. Do krystalicznej struktury materiału bazowego, w większości przypadków krzemu, prowadzone są atomy np. fosforu, które mają charakter donoru (typ n) lub np. bor, który ma charakter akceptora (typ p). Powstaje bariera zaporowa na granicy dwóch półprzewodników. W wyniku rekombinacji bariera potencjału jest ujemna dla typu p i dodatnia dla typu n. Zasada działania tej bariery zależy od tego, czy na półprzewodnik pada światło, czy nie. Przy braku oświetlenia dziury zmieniają położenie na lewą stronę, wówczas płynie wsteczny prąd dyfuzyjny I_d o małym natężeniu (rys. 3b). Wiązki światła padające na złącze p-n o energii większej niż szerokość przerwy energetycznej półprzewodnika, skutkuje powstawaniem w tym miejscu pary elektron (-)

– dziura (+). Pole elektryczne, które jest wokół półprzewodnika przenosi nośniki o różnych ładunkach w przeciwne strony, czyli dziury do obszaru p, a elektrony do obszaru n. W wyniku tego powstaje zewnętrzne napięcie elektryczne zwane efektem fotowoltaicznym. Nośniki nadmiarowe, czyli rozdzielone ładunki, mają nieskończony czas życia. Napięcie na złączu p-n jest niezmiennie i działa jak ogniwo elektryczne (rys. 3c) [9].



Rys. 3. Mechanizm fotowoltaiczny: a) mechanizm powstawania dziury, b) wsteczny szczątkowy prąd dyfuzyjny (bez światła), c) przepływ prądu (oświetlenie) [2, s. 146]

BUDOWA PANELI FOTOWOLTAICZNYCH

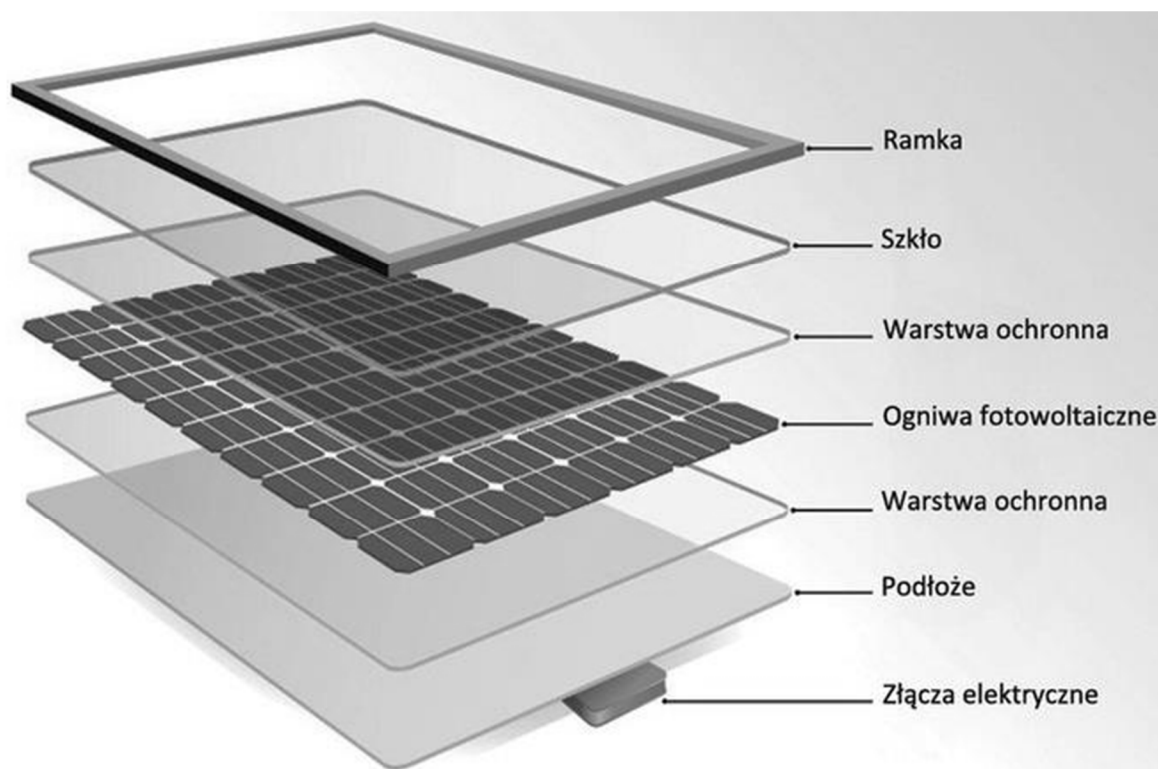
Rozpatrując konstrukcję pojedynczego panelu fotowoltaicznego, można wyszczególnić kilka warstw. I tak, zaczynając od góry, moduł fotowoltaiczny składa się z:

1. Hartowanej szyby – zwykle o grubości ok. 3 mm, której zadaniem jest chronienie dalszych części modułu przed czynnikami zewnętrznymi (m.in. gradem, deszczem, żrącymi substancjami). Szkło fotowoltaiczne dodatkowo pokrywane jest specjalnymi powłokami, np. powłoką antyrefleksyjną, która minimalizuje odbicie promieni słonecznych, zwiększając produkcję, czy też powłoką hydrofobową, która ułatwia samoczyszczenie i utrudnia osadzanie się zabrudzeń.
2. Pierwsza warstwa enkapsulantu, czyli innymi słowy, pierwsza warstwa specjalnej folii, która hermetycznie zalaminowana chroni wnętrze modułu (w tym połączenia elektryczne) przed brudem, wilgocią i innymi czynnikami zewnętrznymi. Laminacja

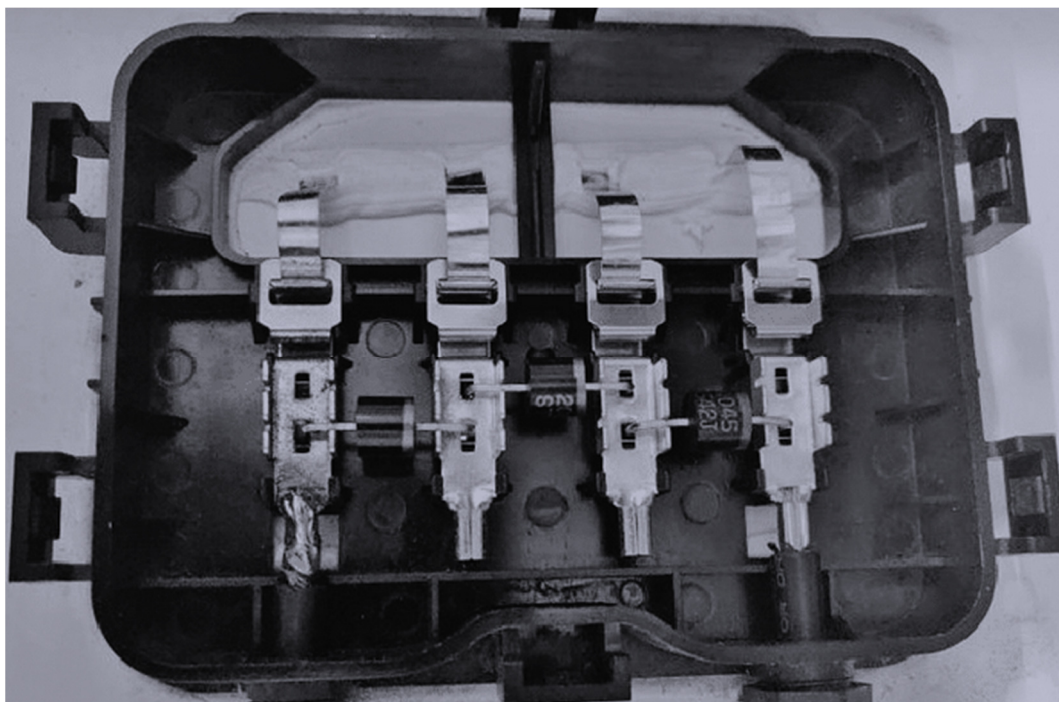


dodatkowo zwiększa wytrzymałość modułu. Najpopularniejszym enkapsulantem jest tzw. folia EVA (etylenowy polioctan winylu), która ma ok. 90% udział w rynku.

3. Warstwa połączonych ogniw fotowoltaicznych, czyli najważniejsza część modułu, ale jednocześnie jedna z najcieńszych części modułu PV. Grubość warstwy krzemowej w module PV, w zależności od rodzaju ogniw, wynosi od ok. 0,3 mm do kilku, kilkudziesięciu mikronów.
4. Druga warstwa enkapsulantu, która wraz z pierwszą tworzy szczelną ochronę płytek krzemowych.
5. Folia elektroizolacyjna, czyli tylna warstwa modułu, która nie tylko chroni moduł, ale też często nadaje mu kolor.
6. Aluminiowa rama, której zadaniem jest nadanie sztywności i wytrzymałości całej konstrukcji.
7. Puszka przyłączeniowa – ostatnim elementem modułu jest zlokalizowana w tylnej części modułu puszka, w której znajdują się diody obejściowe (bocznikujące) oraz przewody ze złączami pozwalającymi łączyć moduły w instalację.



Rys. 4. Budowa panelu fotowoltaicznego [5]



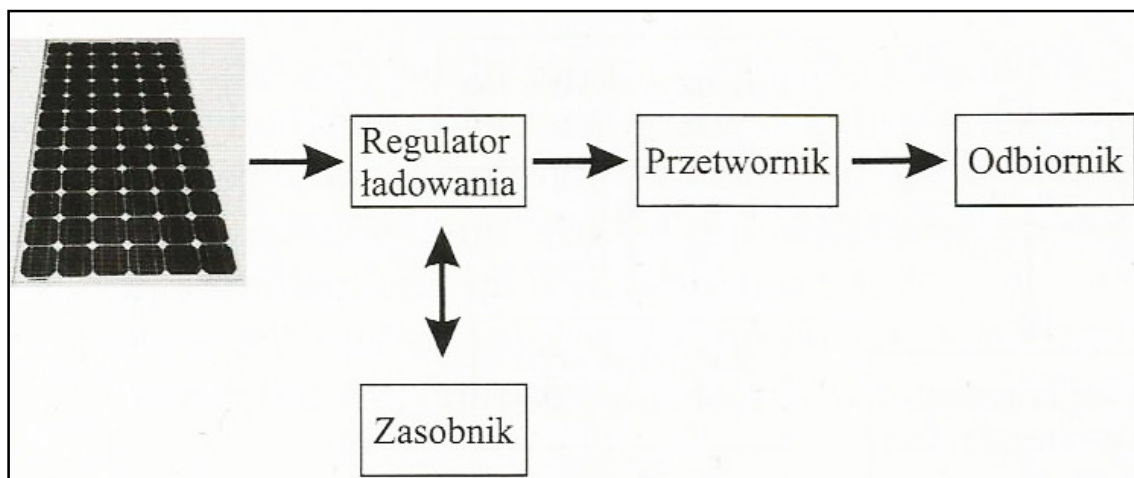
Rys. 5. Diody bocznikujące w puszcze połączeniowej

INSTALACJA FOTOWOLTAICZNA

Instalacje *off-grid* są to układy niepodłączone do sieci energetycznej. Przedstawiono to na rysunku 6. Ich projektowanie stwarza problem, gdyż trzeba odpowiednio dopasować źródło zasilania, które musi cały czas pokrywać zapotrzebowanie na energię elektryczną obiektu. W tym celu najpierw są prowadzone badania i obliczenia, aby znać pobór mocy przez cały rok i móc ustalić liczbę paneli fotowoltaicznych. Dodatkowym elementem, jaki jest potrzebny w przeciwieństwie do *on-grid*, to akumulatory, które mają na celu magazynowanie nadwyżki energii wytworzonej w dzień i wykorzystanie jej w nocy, gdy natężenie promieniowania słonecznego jest zbyt małe. Przez to, że instalacja ma pokryć potrzeby całoroczne - jest przewymiarowana. Aby zmniejszyć wymiary paneli, dodaje się inne źródło energii elektrycznej, które będzie efektywniejsze w nocy, np. pozyskuje się energię z wiatru.

Głównymi elementami instalacji są:

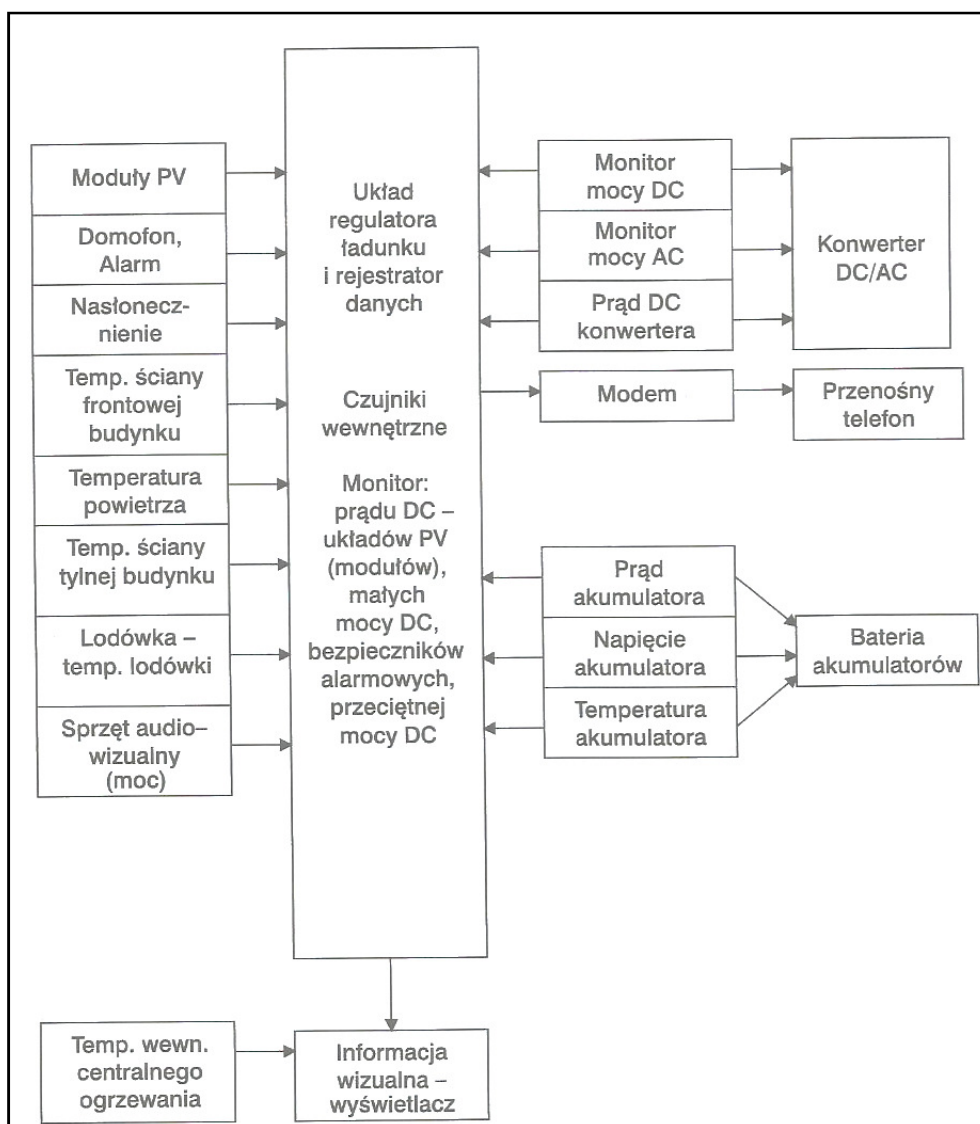
- a) panele fotowoltaiczne,
- b) akumulatory,
- c) sterownik ładowania akumulatorów (regulator),
- d) falownik, jeżeli odbiornik energii jest na prąd przemienny.



Rys. 6. Schemat systemu off-grid [7, s. 337]

Instalacje on-grid są podłączone do sieci energetycznej, dzięki czemu ilość produkowanej energii nie jest określana przez zapotrzebowanie budynku. Nadwyżki energii, jakie zostały wyprodukowane, można oddać do sieci, a gdy warunki pogodowe nie pozwalają na wyprodukowanie odpowiedniej ilości energii, zostaje ona dostarczona z sieci. Instalacja ta jest funkcjonalna, gdy powierzchnia na jakiej może zostać zamontowany układ paneli nie jest wystarczająca na całoroczne pokrycie zapotrzebowania w energię elektryczną.

Układ on-grid wyróżnia się tym, że aby móc oddawać energię do sieci energetycznej, musi być zamontowany inwerter, który odczytuje parametry sieci. Jest połączeniem instalacji obiektu z siecią. Jego zadaniem jest zamiana prądu stałego generowanego przez ogniwa na przemienny o częstotliwości 50 Hz i napięciu 230 V/400 V. Ma on również kontrolować, aby instalacja była wykorzystana w optymalnych warunkach. W tym celu inwerter utrzymuje swoją pracę jak najbliżej punktu mocy maksymalnej generatora przy pomocy układu śledzenia punktu MPP (rys. 9).



Rys. 7. Schemat blokowy układu on-grid [8, s. 167]

Inwerter pełni również takie funkcje, jak zabezpieczanie instalacji i odłączenie jej, jeżeli zarejestrowane parametry odbiegają od normy. Jego zadaniem może być także monitorowanie i zbieranie danych na temat wyprodukowanej energii, wykorzystanej energii na własne potrzeby, energii oddanej do sieci z podziałem na wyniki godzinowe, dzienne, miesięczne czy nawet roczne. Inwertery najwyższej jakości mogą również działać w kierunku: sieć energetyczna – odbiorca, poprawiając jakość otrzymanego produktu poprzez kompensację odchylen fali sinusoidalnej i przeciwdziałając przeładowaniu sieci energetycznej [9].



Rys. 8. Przykładowy inwerter firmy SUNNY BOY [3]

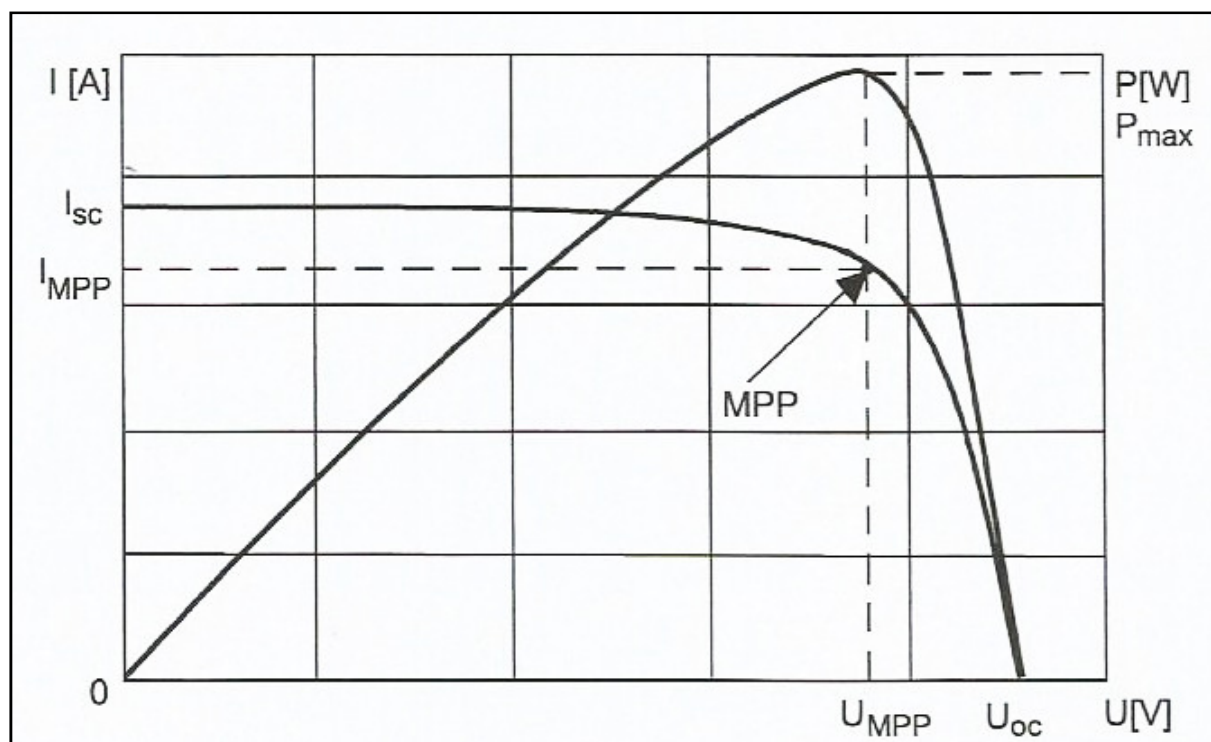
Celem określenia, ile energii wyprodukujemy na własne potrzeby, a ile zostanie oddane do sieci, należy wziąć pod uwagę takie czynniki, jak: straty związane z zacienieniem, straty związane z wzrostem temperatury na panelu, strat w przewodach, inwerterze.

Jak wspomniano wcześniej, inwerter jest łącznikiem pomiędzy ogniwami a siecią energetyczną. Podstawowym zadaniem jest zamiana prądu stałego generowanego w ogniwach na prąd zmienny o parametrach panujących w sieci. Inwertery można podzielić ze względu na ich zastosowanie w przesyłaniu energii. Mogą rozdzielać, aby część była wykorzystywana w sieci budynku, a część oddawana do sieci. Mogą tylko konwertować energię, monitorować ją i oddawać do sieci energetycznej. Część energii może zostać zmagazynowana w akumulatorze, który jest zabezpieczeniem do funkcjonowania czujników podczas braku zasilania od strony sieci energetycznej i paneli fotowoltaicznych. Każdy inwerter utrzymuje swój punkt pracy w pobliżu punktu mocy maksymalnej układu ogniw. Punkt ten to najkorzystniejsza wartość napięcia i prądu powodująca największą wartość uzyskanej mocy panelu. Położenie na wykresie tego punktu jest zmienne, gdyż na moc maksymalną ma wpływ temperatura wewnętrzna ogniw, nasłonecznienie, podłączone

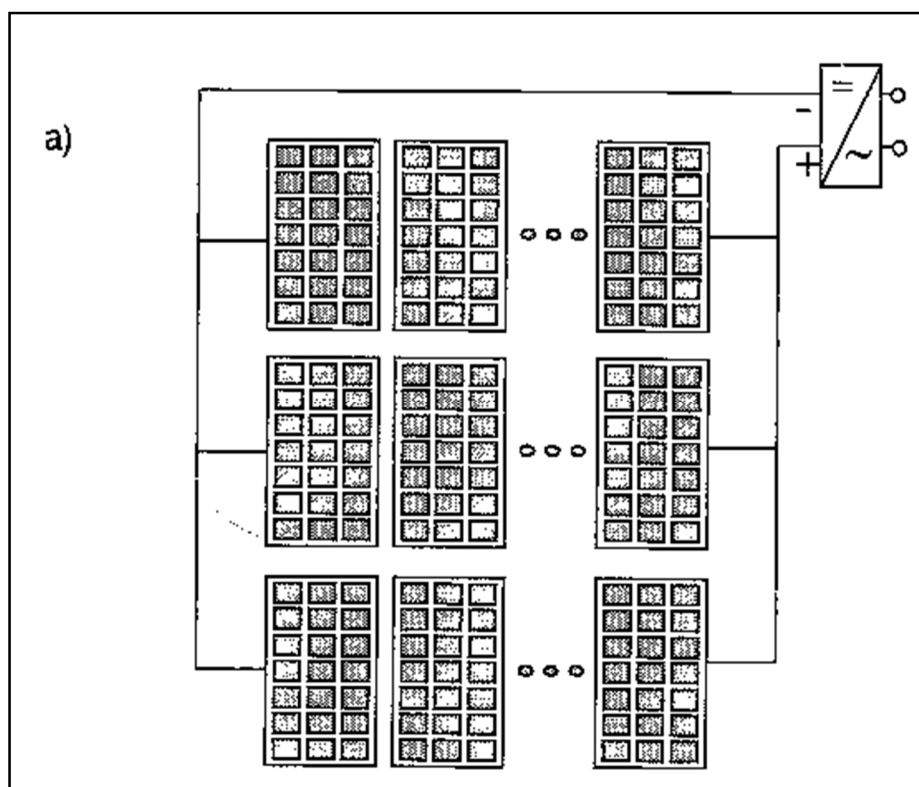


odbiorniki. W tym celu instalowany jest inwerter, aby kontrolował najkorzystniejsze wykorzystanie paneli.

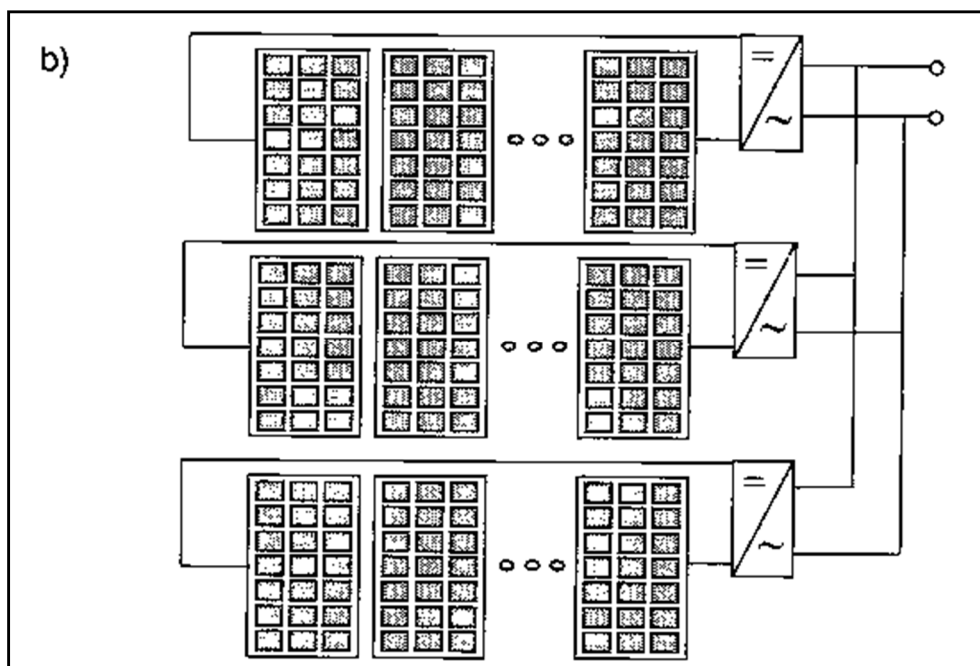
Inwertery można połączyć na trzy sposoby, które przedstawiono na rysunkach 10, 11 i 12. Są one uzależnione od mocy instalacji. Systemy z centralnym inwerterem instalowane są dla układów do mocy kilkuset kilowatów. Jeżeli instalacja składa się z łańcuchów o mocy nieprzekraczającej 2,5 kW, stosuje się dla nich osobny falownik. Gdy szansa na zacienienie pojedynczego panelu jest duża, instalowane są razem panele różnych mocy i parametrów, w takim przypadku inwertery dołączone są do każdego z modułów [9].



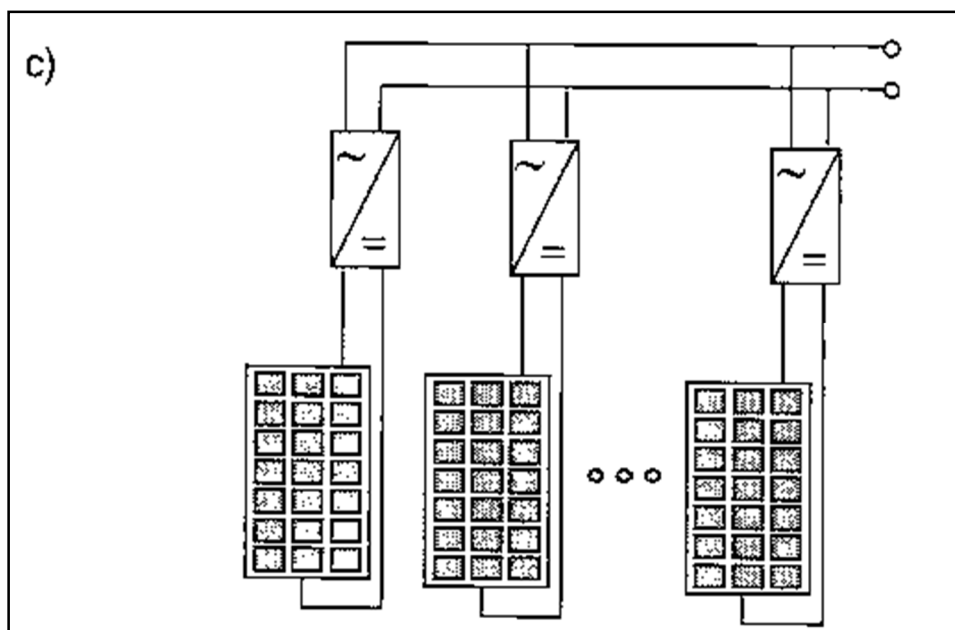
Rys. 9. Charakterystyka prądowo-napięciowa
oraz moc ogniwa fotowoltaicznego w funkcji napięcia [8, s. 57]



Rys. 10. System z centralnym inwerterem [8, s. 160]



Rys. 11. System z inwerterem dla poszczególnych łańcuchów [8, s. 160]



Rys. 12. System z inwerterem indywidualnie dla każdego z modułów [8, s. 160]

Aby dobrać inwerter, należy znać parametry instalacji. Najważniejsze dane techniczne:

- a) moc wejściowa DC generowana przez panele,
- b) wartość maksymalnego napięcia,
- c) wartość napięcia dla maksymalnej mocy,
- d) minimalna wartość mocy generowanej,
- e) pobór mocy w czasie oczekiwania,
- f) wartość mocy na wyjściu,
- g) wartość prądu na wyjściu,
- h) sprawność inwertera w zakresie obciążenia.

Instalacje fotowoltaiczne, których moc generowana nie przekracza 5 kW, jest tworzona jako instalacja jednofazowa. Najczęściej stosowany jest wtedy tylko jeden falownik.

DOBÓR ZABEZPIECZEŃ I PRZEWODÓW ELEKTRYCZNYCH

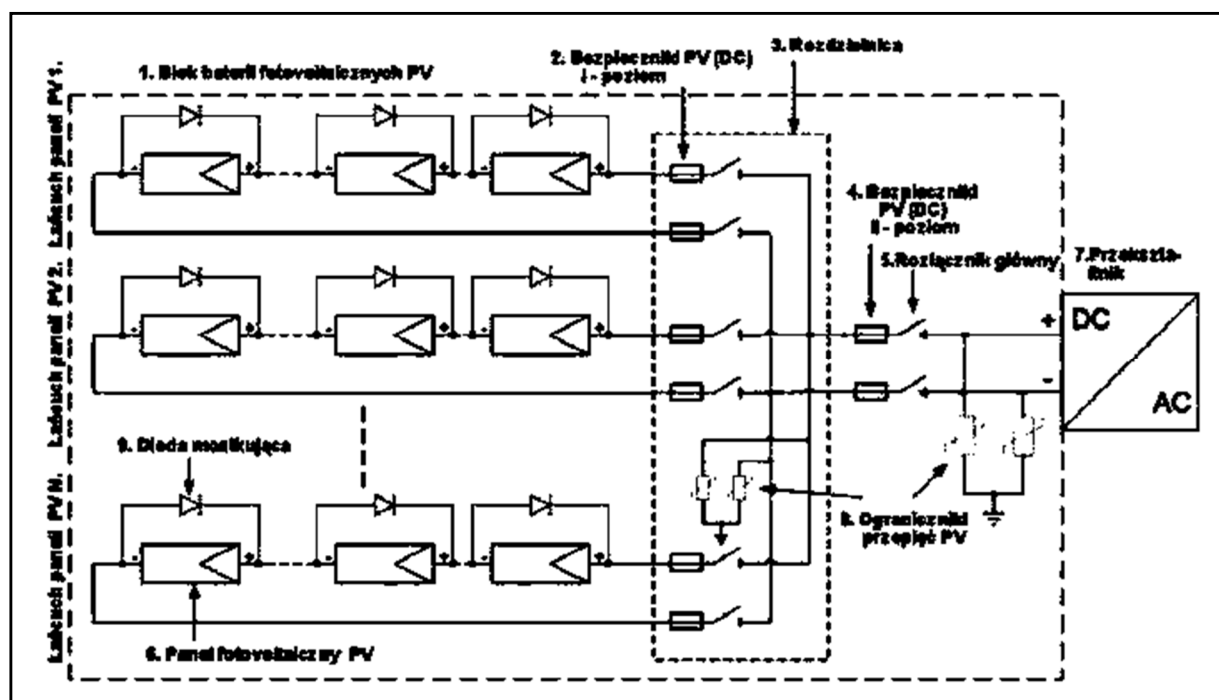
Systemy fotowoltaiczne są narażone na szereg awarii powstałych na skutek czynników zewnętrznych lub wewnętrznych: ukrytych wad zastosowanych urządzeń w instalacji,



warunków pogodowych, zwierząt, aktów wandalizmu czy chociażby zakłóceń pracy sieci elektroenergetycznej (odbiorczej). Biorąc pod uwagę stosunkowo duży koszt instalacji PV, a także długi okres zwrotu samego przedsięwzięcia (od kilku do kilkunastu lat), zadaniem projektanta jest odpowiednie zaprojektowanie systemu zabezpieczeń, poświęcając szczególną uwagę na zabezpieczeniu kosztownych elementów instalacji, np. inwertera. W tym celu, uwzględniając wyżej wymienione informacje, w systemach fotowoltaicznych projektuje się:

- a) zabezpieczenia po stronie DC (od strony paneli fotowoltaicznych),
- b) zabezpieczenia po stronie wyjścia AC falownika.

Zabezpieczenia po stronie DC paneli fotowoltaicznych dzielą się na zabezpieczenia nadprądowe, ograniczniki przepięć. Natomiast typowe odłączenie obwodu od sieci elektroenergetycznej może być realizowane przez wykorzystanie rozłącznika bezpiecznikowego. Te pierwsze (wkładki topikowe o charakterystyce gPV, stanowiące I-wszy poziom zabezpieczeń, i wyłączniki instalacyjne) chronią instalację przed zwarciami oraz przetężeniami. Ochronniki przepięć stosuje się w celu zapobiegania przejściowym przepięciom w systemie przez ograniczanie przepływu i częstotliwości prądu następczego, spowodowanym najczęściej przez uderzenie pioruna w instalację [9].



Rys. 13. Przykładowy schemat instalacji PV i miejsca montażu zabezpieczeń [4]



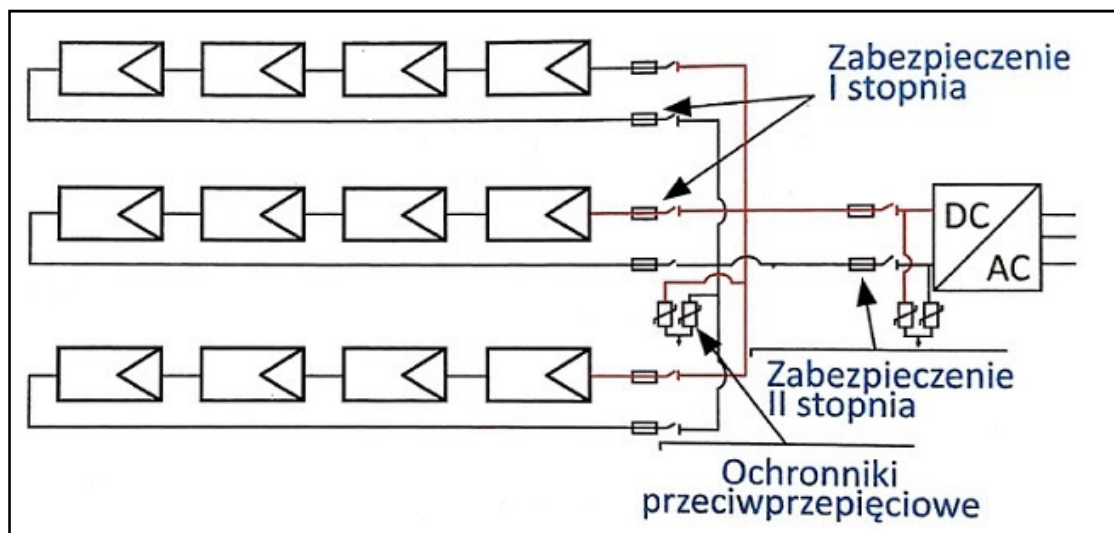
Zabezpieczenie po stronie DC możemy również podzielić na dwa stopnie:

- I. zabezpieczenie łańcucha paneli (nie zawsze jest konieczny),
- II. zabezpieczenie współpracujące z rozłącznikiem głównym.

Należy pamiętać o montażu zabezpieczeń po stronie DC zarówno na biegunie dodatnim, jak i ujemnym. Dobrym rozwiązaniem jest również stosowanie ochronnika przepięć nie tylko osobno dla łańcuchów paneli, ale także osobno dla obwodu głównego, który biegnie od falownika. Zabezpieczenie należy zawsze dobierać dla określonego obwodu, ponieważ ogólne zabezpieczenia DC nie dają należytej ochrony z uwagi na specyfikę pracy instalacji PV (np. duże prądy zwarciovowe, gdy ulegnie zacienieniu jeden moduł, zmiana polaryzacji).

Celem dodatkowej ochrony przed przepływem prądu zwarciovowego na skutek zacienienia poszczególnych modułów, należy zastosować w układzie diody bocznikujące, które umożliwiają dalszą pracę systemu fotowoltaicznego z pominięciem zaciemnionego modułu (rys. 5).

Jeśli instalacja składa się tylko z jednego rzędu paneli PV, można pominąć pierwszy stopień zabezpieczeń. Dla systemu złożonego z trzech i więcej rzędów należy stosować zabezpieczenia dla każdego z rzędów [9].



Rys. 14. Przykładowy schemat instalacji fotowoltaicznej
wraz z zabezpieczeniami obu rodzajów [1, s. 60]



Po stronie AC natomiast stosowane są analogicznie zabezpieczenia nadprądowe, ochronnik przepięć, rozłącznik główny napięcia oraz wyłącznik różnicowo-prądowy w celu zachowania ochrony przeciwporażeniowej. Dobierając zabezpieczenia po stronie AC, należy uwzględnić rodzaj falownika (jednofazowy, trójfazowy).

Jeśli między rozdzielnią główną, która wyposażona jest w ochronniki przepięć, a falownikiem odległość jest mniejsza niż 5 m, można zrezygnować z ochronników po stronie AC inwertera.

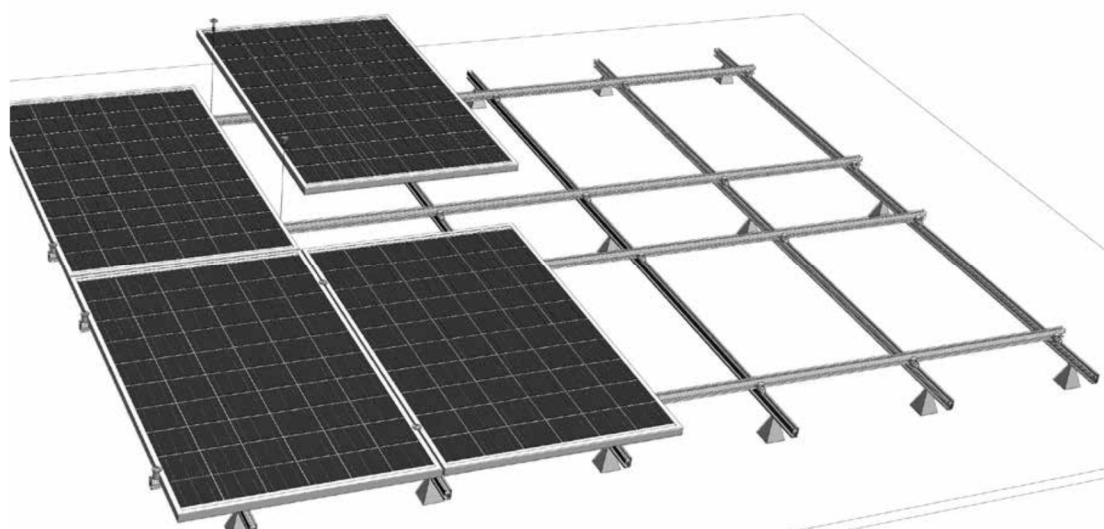
W klasycznej instalacji on-grid, oddającej wytworzoną energię elektryczną do sieci, wszystkie przewody prowadzące od modułów są zebrane do skrzynki rozdzielczej, która jest połączona z siecią energetyczną przez inwerter (DC/AC). Falownik, zaraz po modułach fotowoltaicznych, jest jednym z najważniejszych elementów instalacji. Jego zadaniem jest konwersja napięcia stałego (DC) produkowanego przez panele PV, na napięcie zmienne (AC) o wartościach odpowiednich dla danej sieci elektroenergetycznej [9].



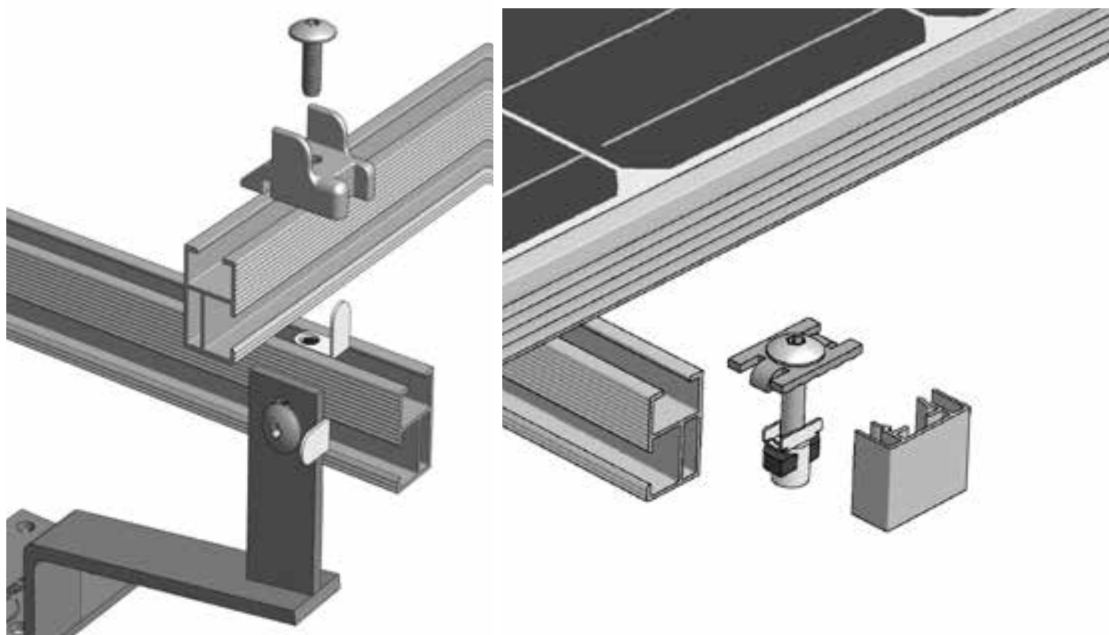
MONTAŻ INSTALACJI FOTWOLATICZNEJ

Zasady wykonywania montażu mechanicznego:

- 1) moduły fotowoltaiczne powinny zostać zamontowane na systemie montażowym, zachowującym równoległości, oraz prostopadłości pomiędzy profilami i uchwytami w nim zastosowanymi;
- 2) odległości między poszczególnymi uchwytami montowanymi do krokwi/płatwi nie mogą przekraczać dopuszczalnej maksymalnej odległości, jeżeli taka podana została przez producenta systemu montażowego;
- 3) wszystkie profile konstrukcji powinny być ze sobą metaliczne połączone, za pomocą łączników/płaskowników lub przewodem Cu 16 mm²;
- 4) należy uwzględnić możliwość wydłużenia się profili metalowych przy wysokich temperaturach, w tym celu należy pozostawić odstęp między dwoma profilami, odpowiedni dla rozszerzalności cieplnej materiału z którego został wykonany (ok. 2-3 cm);
- 5) w przypadku montażu na dachu, należy zachować odpowiednią przestrzeń między poszyciem dachu a modułami, aby zapewnić prawidłową cyrkulację powietrza (min. 10 cm);
- 6) odstępy między modułami wyznaczają zaciski mocujące; dodatkowo z każdej strony rzędu modułów profil, do którego są one mocowane, powinien być dłuższy min. 2 cm, aby można przymocować zacisk końcowy;
- 7) profile nośne konstrukcji montażowej należy umieścić w odległości równej maksymalnie 1 długości dłuższego boku (zgodnie z rys. 15);
- 8) zaciski mocujące należy montować zawsze na dłuższej krawędzi modułu;
- 9) zaciski mocujące należy dokręcać z siłą, nie powodującą widocznych uszkodzeń ram modułu.



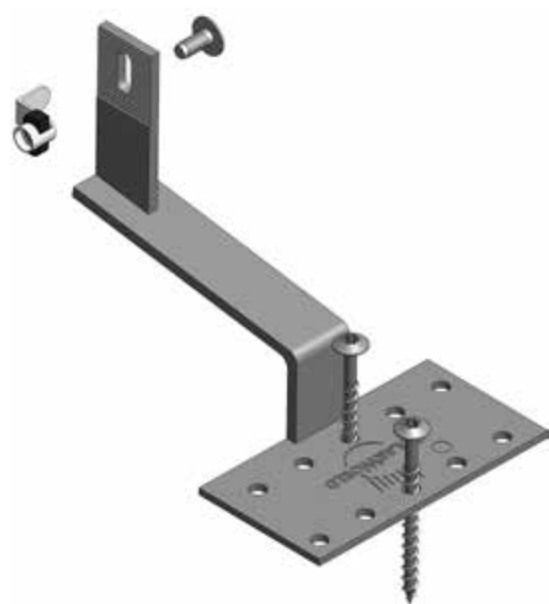
Rys. 15. Budowa układu mocowania



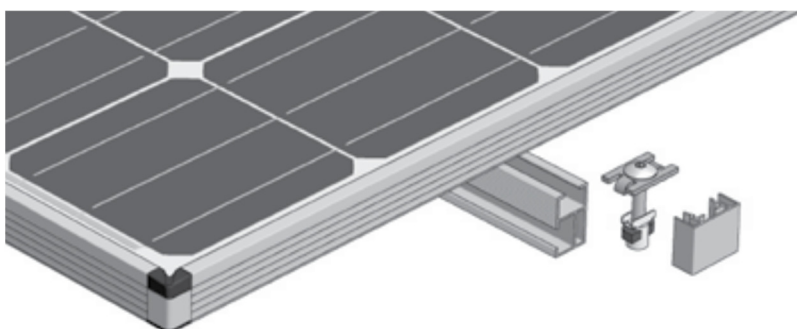
Rys. 16. Zapinka modułu na krawędzi



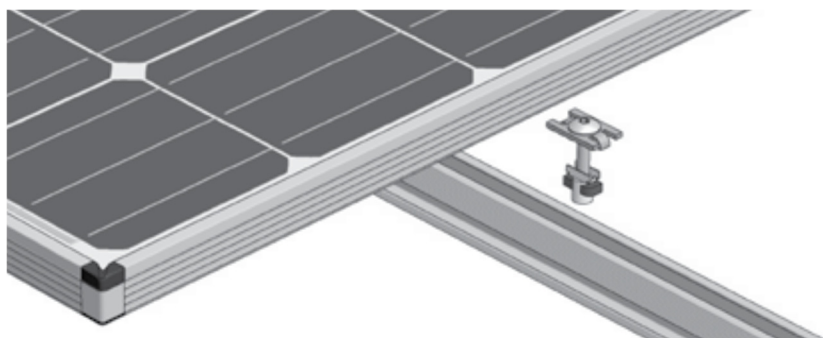
Rys. 17. Śruby dwugwintowe + kołnierz podwójny
(np. do montażu na dachach krytych blachą trapezową)



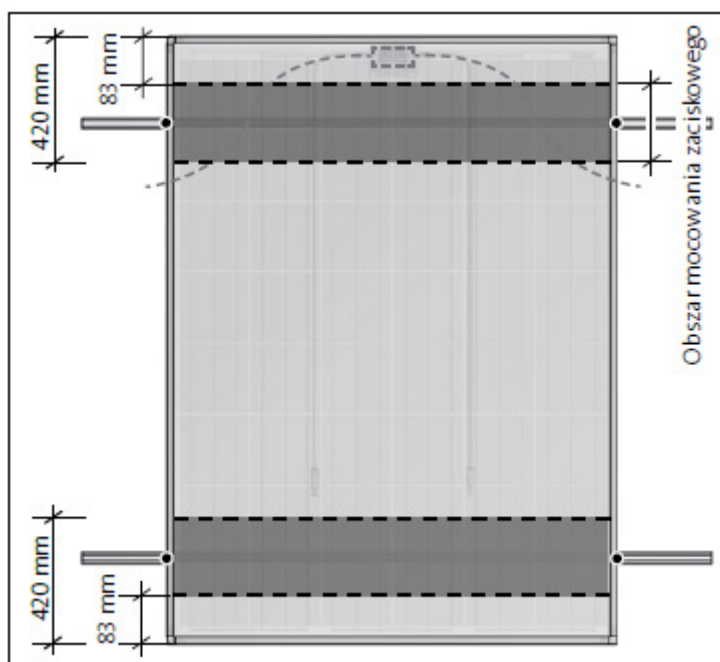
Rys. 18. Hak dachowy (do montażu na dachach krytych dachówką)



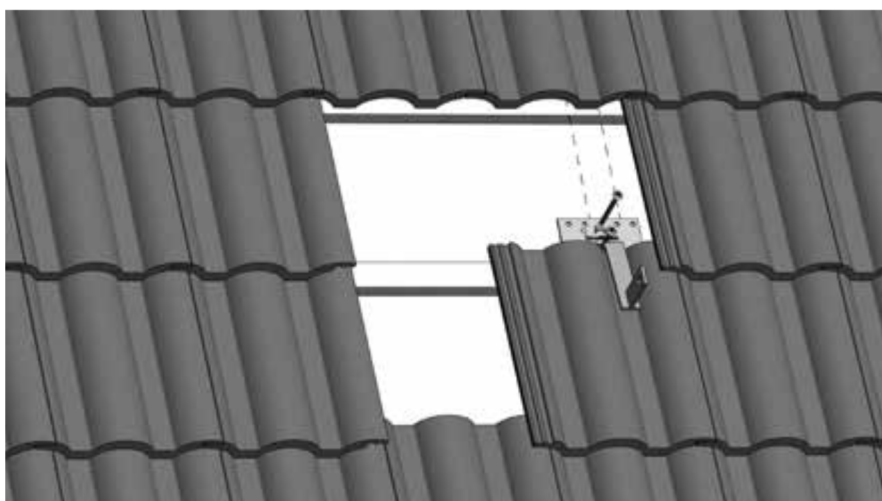
Rys. 19. Montaż klem na krawędzi



Rys. 20. Montaż klem wewnątrz

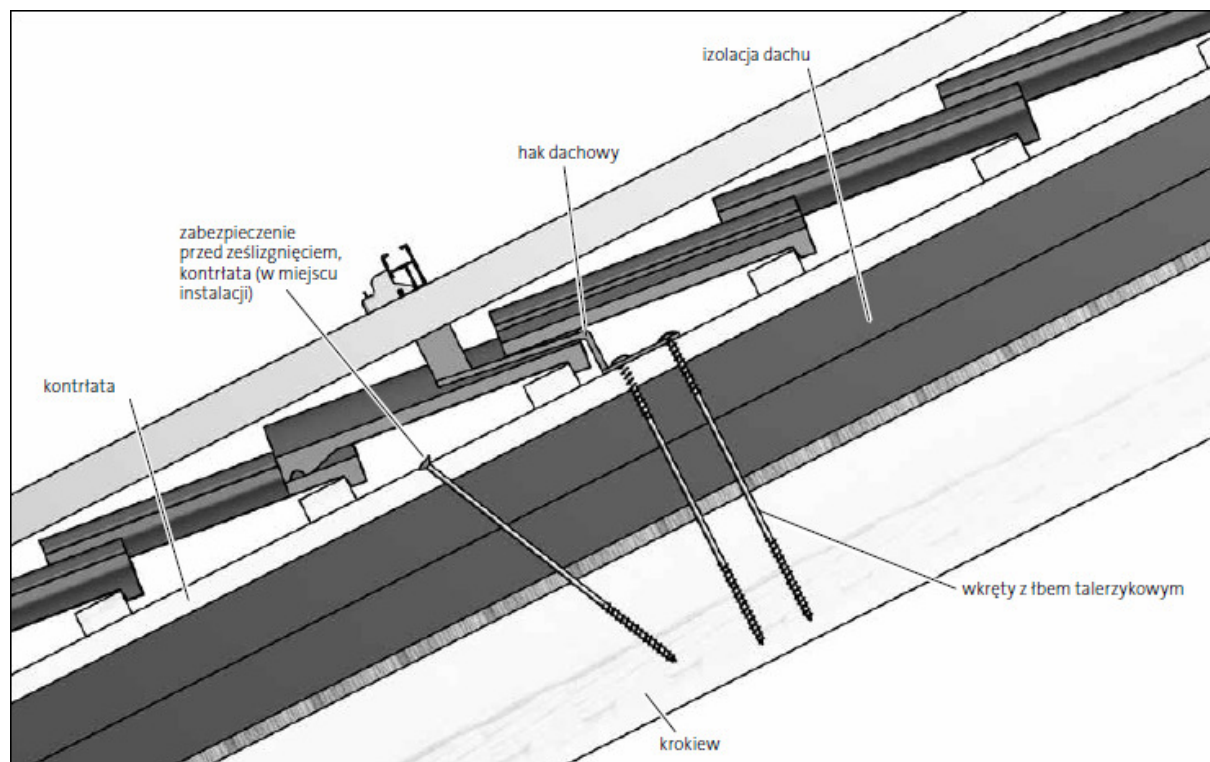


Rys. 21. Obszary mocowania zaciskowego przy położeniu symetrycznym

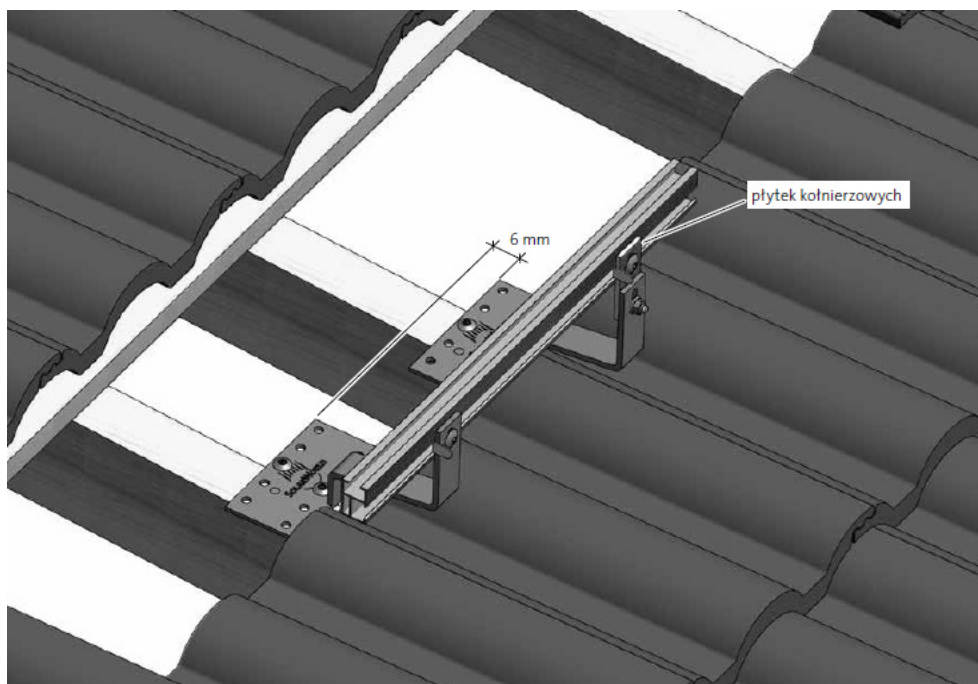


Rys. 22. Montaż ramienia haka dachowego.

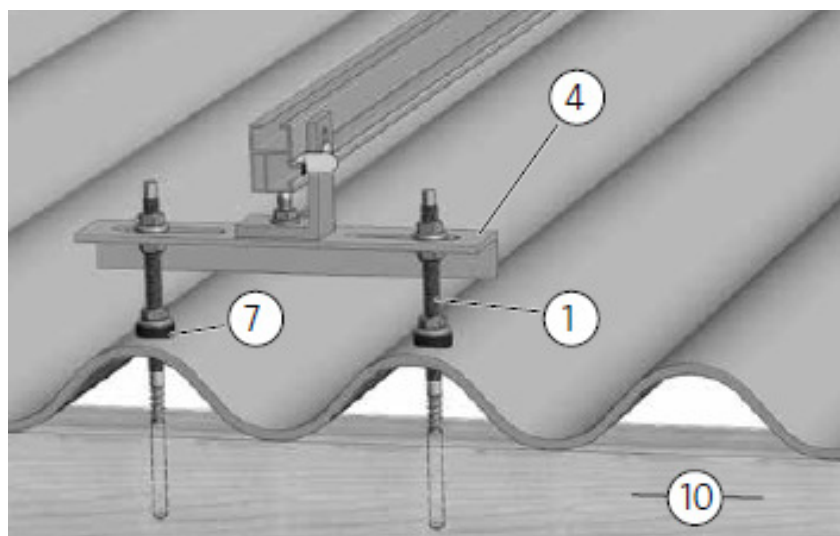
Objaśnienie: ustawić w najniższym punkcie zakładki dachówkowej i przymocować dwoma wkrętami do krokwi. Odległość między dachówką a hakiem powinna wtedy wynosić ≥ 5 mm, ewentualnie można podłożyć płytę bazową.



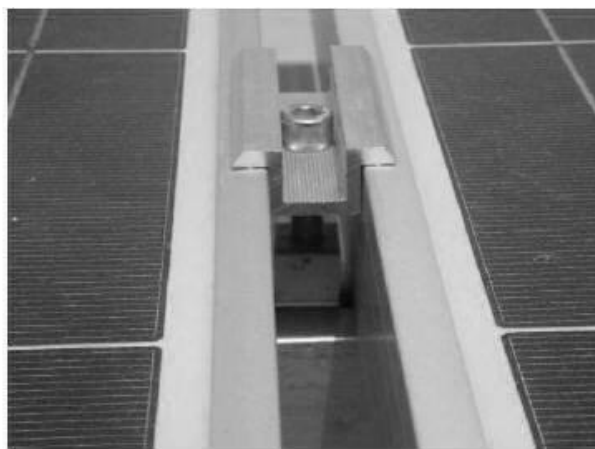
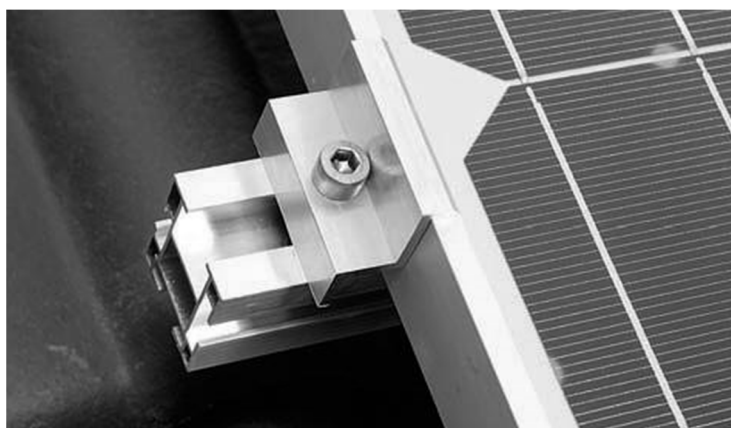
Rys. 23. Połączenie z konstrukcją dachu



Rys. 24. Połączenie z konstrukcją dachu



Rys. 25. Mocowania śruby dwugwintowej: 1) śruba dwugwintowa M10/12, 4) kołnierz podwójny, 7) uszczelka EPDM, 10) drewniana konstrukcja nośna



Rys. 26. Montaż klem



Zasady wykonywania montażu elektrycznego

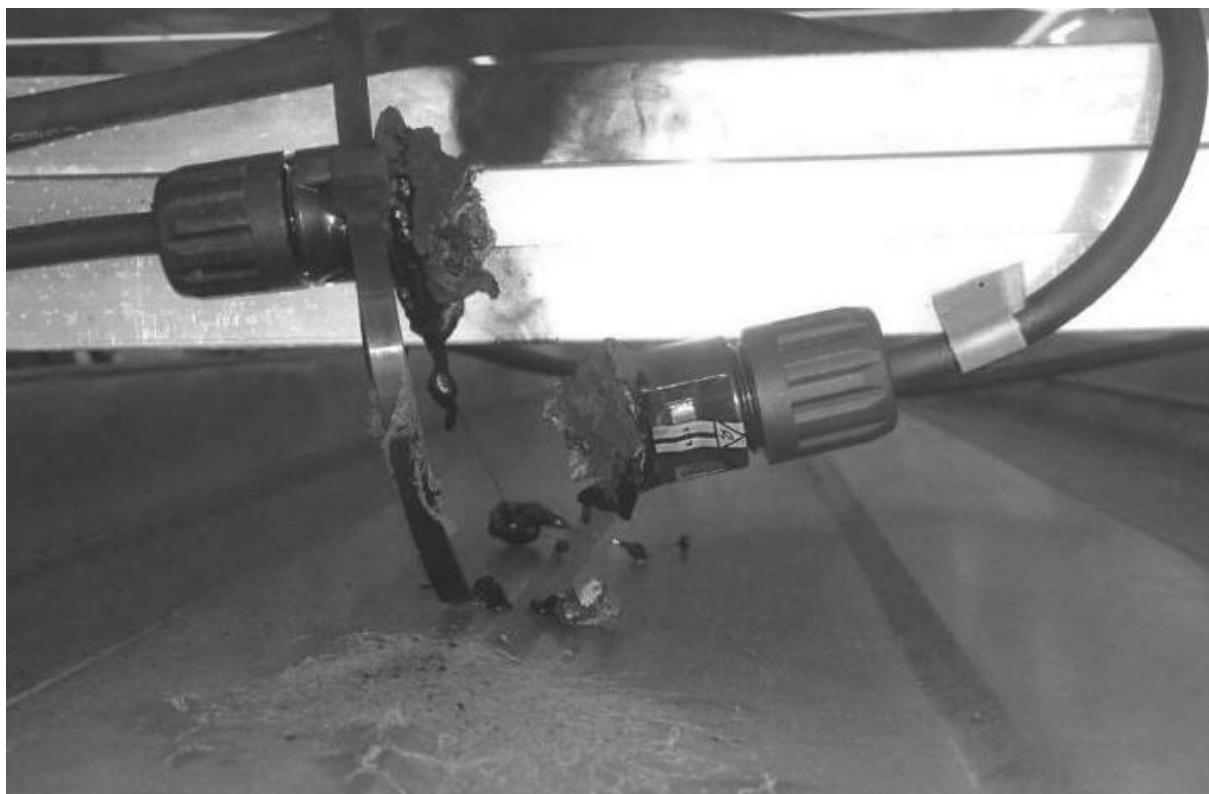
Moduły fotowoltaiczne mogą być łączone w szeregi (stringi), z zachowaniem poniższych warunków:

- 1) napięcie całego stringu modułów w maksymalnym punkcie pracy, przy temperaturze pracy 80°C (dla polskich warunków atmosferycznych) musi być większe od niższego napięcia wejścia DC inwertera;
- 2) napięcie zwarcia U_{oc} przy temperaturze -20°C (dla polskich warunków atmosferycznych) musi być mniejsze od maksymalnego napięcia DC inwertera;
- 3) maksymalny prąd wejściowy DC inwertera nie może być przekroczony;
- 4) moc generatora powinna mieścić się w zakresie 105-120% mocy wejścia od strony DC inwertera;
- 5) połączenia modułów należy wykonać poprzez łączenie ze sobą kolejnych biegunów modułu, przy pomocy konektorów zainstalowanych na zakończeniach przewodów.
- 6) Należy zastosować odpowiednią ochronę przed wyładowaniami atmosferycznymi, zgodnie z obowiązującymi normami i przepisami, w szczególności:
 - na budynkach z instalacją odgromową sprawdzić czy odstęp izolacyjny między modułami, a zwodami poziomymi został zachowany, a następnie dokonać prawidłowego uziemienia modułów oraz konstrukcji montażowej;
 - na budynkach bez instalacji odgromowej uziemić moduły oraz konstrukcję montażową bezpośrednio z GSU budynku;
 - w projektach naziemnych zastosować odpowiednią ochronę odgromową obliczoną na podstawie obowiązujących norm;
- 7) zastosować odpowiednią klasę zabezpieczenia przepięciowego, zarówno po stronie DC, jak i AC systemu;
- 8) wszystkie metalowe części instalacji fotowoltaicznej powinny zostać uziemione; zaleca się również stosowanie miejscowych połączeń wyrównawczych.

Do połączeń między modułami i innymi urządzeniami systemu fotowoltaicznego, należy stosować tylko certyfikowane przewody, charakteryzujące się:

- odpornością na promieniowanie UV;
- szerokim zakresem temperatur pracy;
- podwójną izolacją;
- odpornością izolacji na napięcie do 1000 V;
- dużą wytrzymałością mechaniczną.

Przewody o przeciwnych potencjałach należy układać jeden przy drugim, starając się nie układać ich w pętlach.



Rys. 27. Błędnie zaciśnięty konektor może powodować w czasie pracy iskrzenie,
a w skrajnym przypadku prowadzić do pożaru



Rys. 28. Prawidłowe umiejscowienie konektora w prawce



Rys. 29. Kontrola jakości zaciśniętych konektorów



29



BIBLIOGRAFIA

1. Dębowski M., Luberański A., Michalski M., Petrukanec A., Polewka P., *Praktyczny poradnik instalatora. Systemy fotowoltaiczne i słoneczne systemy grzewcze*, ATUM, Wrocław 2018.
2. Gronowicz J., *Niekonwencjonalne źródła energii*, Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom–Poznań, 2010.
3. <http://elve.pl/baza-wiedzy/inwerter-fotowoltaiczny>
4. <http://www.instsani.pl/511/zabezpieczenia-instalacji-pv>
5. <https://tripenergy.pl/jak-zbudowany-jest-panel-fotowoltaiczny/>
6. Instrukcja montażu i użytkowania modułu fotowoltaicznego SV60P.4-250.
7. Jastrzębska G., *Ogniwa słoneczne budowa, technologia i zastosowanie*, WKŁ, Warszawa 2013.
8. Klugmann-Radziemska E., *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, btc, Legionowo 2010.
9. Pietrzak K., *Projekt instalacji fotowoltaicznej on-grid dla budynku jednorodzinnego*, praca inżynierska, PWSZ w Koninie, Konin 2019.
10. Słanina M., *Projekt instalacji on-grid dla obiektu sportowego*, praca inżynierska, PWSZ w Koninie, Konin 2019.
11. Szulc A., *Projekt instalacji fotowoltaicznej on-grid dla budynku jednorodzinnego*, praca inżynierska, PWSZ w Koninie, Konin 2019.
12. www.baltic-energy.pl/panele-monokrystaliczne-polikrystaliczne/
13. www.budujemydom.pl/kolektory-sloneczne/21217-w-jaki-sposob-dzialaja-ogniwa-fotowoltaiczne