

Marcin Chrzan, Daniel Pietruszczak, Mirosław Wiktorowski

Wybrane zagadnienia projektowania instalacji elektrycznej typu OZE na przykładzie domowej elektrowni fotowoltaicznej

JEL: Q01 DOI: 10.24136/atest.2018.356

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z instalacjami fotowoltaicznymi i ich obecnym wykorzystywaniu. Omówiono domowe instalacje fotowoltaiczne i ich rodzaje. Przedstawiono korzyści, jakie dzięki nim może czerpać gospodarstwo domowe. Szczegółowo opisano elementy projektu instalacji fotowoltaicznej w domu jednorodzinnym.

Słowa kluczowe: elektrownia fotowoltaiczna, odnawialne źródła energii OZE.

Wstęp

Z posiadania domowej elektrowni fotowoltaicznej typu OZE płynnie wiele korzyści. Główna zaleta to ograniczenie rachunków za energię elektryczną do minimum opłat stałych. Jeżeli gospodarstwo domowe będzie zależne tylko od energii elektrycznej (ogrzewanie domu, wody czy gotowanie) i elektrownia fotowoltaiczna będzie odpowiadać mocą do takiego zapotrzebowania na energię to roczne koszty utrzymania domu spadną z kilku tysięcy zł do kilkuset zł. W ten sposób koszt instalacji elektrowni fotowoltaicznej jest nieodczuwalny dla budżetu domowego. Pieniądze, które i tak były by wydane na rachunki za media takie jak gaz czy paliwo do pieca opałowego pokrywają koszt zainstalowania elektrowni PV. Średni okres zwrotu instalacji wynosi od 8 do 10 lat a dzięki możliwości kredytowania takiej inwestycji zakup praktycznie jest niezauważalny dla domowego budżetu.

Media takie jak gaz ziemny lub paliwo do pieców opałowych można zastąpić jednym medium (energiją elektryczną). Dzisiejsze rozwiązania techniczne pozwalają na prowadzenie gospodarstwa domowego przy wykorzystaniu tylko energii elektrycznej. Piece gazowe lub opałowe ogrzewające budynek można zastąpić pompą ciepła która ogrzewa wodę użytkową oraz dom. Sprawności takich pomp są w okolicach 5/1, czyli każda 1kWh pobrana z sieci na podgrzanie odpowiada 5kWh energii jaką musiał by pobrać tradycyjny piec elektryczny z grzałkami oporowymi. Wyliczenia ekonomiczne przeprowadzone na powietrznej pompie ciepła i piecu gazowym wskazują iż powietrzna pompa ciepła przy temperaturach powyżej -4°C na zewnątrz jest bardziej opłacalna niż piec gazowy. Gruntowych pomp ciepła już nie dotyczą temperatury zewnętrzne ponieważ źródłem energii cieplej jest temperatura gleby w odwiertach. Jednak bardziej opłacalne są powietrzne pompy ciepła ze względu na ich koszt instalacji, okres zwrotu kosztów powietrznej pompy ciepła wynosi 5 lat, a gruntowej 15 lat. Płyty indukcyjne używane do gotowania żywności świetnie sprawdzają się już w życiu codziennym a koszty za energię jaką pobierają do pracy wcale nie jest większy od rachunków za gaz.

Elektrownia fotowoltaiczna działa bezobsługowo. Praktycznie nie wymaga żadnego serwisu, nie ma części ruchomych czy cieczy w instalacji tak jak w panelach solarnych.

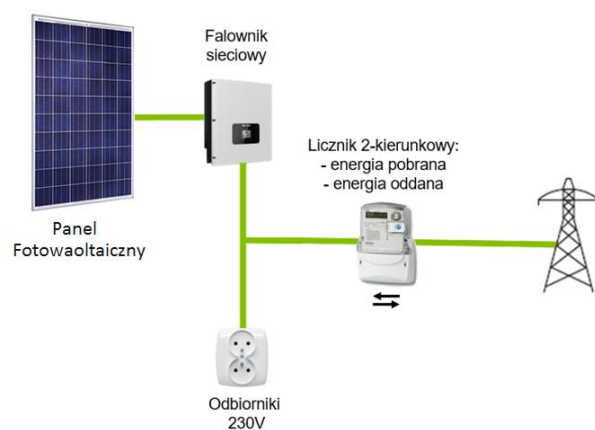
W przeciwieństwie do paneli solarnych nadwyżka energii może być oddana do sieci i tam zmagazynowana do chwili zapotrzebowania na nią. W panelach solarnych nadwyżka energii jest raczej

problemem. Długa żywotność paneli fotowoltaicznych, większość producentów udziela 25 letniej gwarancji na 80% sprawności po tym okresie. Elektrownia fotowoltaiczna nie wydziela do atmosfery żadnych spalin.

Posiadając instalację fotowoltaiczną przyczyniamy się do zmniejszenia emisji CO₂ do atmosfery.

Artykuł ma na celu ukazanie zalet z przydomowej instalacji fotowoltaicznej. Dzięki takiej instalacji przy zainstalowaniu odpowiednich urządzeń oraz źródeł ciepła można obniżyć rachunki za energię (nie tylko elektryczną, również ciepłą) w gospodarstwie domowym praktycznie do minimum stałych kosztów abonamentu przyłącza elektrycznego.

1.Podstawowe elementy instalacji fotowoltaicznych



Rys. 1. Przykładowy schemat instalacji fotowoltaicznej [3]

Podstawowa instalacja fotowoltaiczna [4] składa się z generatora PV (paneli fotowoltaicznych), przetwornicy (inwertera) i odbiornika. Jeżeli instalacja jest podłączona do sieci energetycznej wówczas stosuje się licznik dwukierunkowy w celu rozliczenia z dostawcą energii pobranej i oddanej. Takie rozwiązanie jest obecnie najbardziej popularne ze względów ekonomicznych.

- Generator PV – zespół połączonych ze sobą modułów fotowoltaicznych wytwarzających prąd stały o odpowiednich parametrach;
- Moduł fotowoltaiczny (bateria słoneczna, panel fotowoltaiczny) – urządzenie do bezpośredniej zamiany energii słonecznej na energię elektryczną. Zbudowany z połączonych ogniw fotowoltaicznych w pełni chronionych przed wpływami środowiska;
- Przetwornica (falownik) – urządzenie przetwarzające prąd stały z generatora PV na prąd przemienny, którego charakterystyka odpowiada parametrom odpowiadającym lokalnej sieci energetycznej lub odbiornikom. Przetwornice mogą być transformatorowe lub inwerterowe.

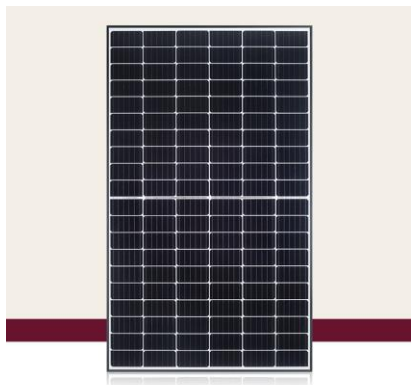
1.1.Moduł fotowoltaiczny

Moduły fotowoltaiczne przekształcają energię słoneczną na prąd stały DC. W zależności od zastosowanej technologii wykonania ogniw fotowoltaicznych panele dzielimy na:

- I generacji (z krzemu krystalicznego): polikrystaliczne, monokrystaliczne;
- II generacji (cienkowarstwowe): krzemowe amorficzne, CIGS(CIS), CdTe;
- III generacji – DSSC, polimerowe.

I generacji (z krzemu krystalicznego)

Monokrystaliczne panele obecnie są najsprawniejszymi panelami fotowoltaicznymi, charakteryzują się sprawnością sięgającą 20 % oraz długą żywotnością (min. 82% sprawności po upływie 25 lat).



Rys. 2. Panel monokrystaliczny o mocy 330Wp i sprawności 19,9% [5]

Jednak technologia produkcji monokryształów wymaga większego zużycia energii, co wiąże się z większą ceną paneli monokrystalicznych. Cele w tych panelach wytwarza się przez hodowanie pojedynczego kryształu. Ponieważ kryształy te mają zwykle kształt owalny, wafle monokrystaliczne są cięte na charakterystyczne wzory, które nadają im rozpoznawalny wygląd: pokrojone komórki krzemowe odsłaniają brakujące narożniki w strukturze przypominającej kratkę. Struktura krystaliczna celi jest równomierna, dając stały ciemnoniebieski kolor i brak śladów po ziarnach, co zapewnia jej najlepszą czystość i najwyższą wydajność.

Panele wykonane w technologii monokrystalicznej charakteryzują się dobrą sprawnością w rozproszonym świetle, czyli nie wymagają pełnego nasłonecznienia. Przekłada się to na większą produkcję energii elektrycznej w skali roku w krajach takich jak np. Polska.

Panele polikrystaliczne na dzień dzisiejszy są najczęściej instalowanymi modułami fotowoltaicznymi. Mają najlepszy stosunek ceny do sprawności - 17,4%. Niższa cena związana jest z mniejszymi kosztami produkcji.



Rys. 3. Panel polikrystaliczny o mocy 285Wp i sprawności 17,1% [6]

Polikryształy powstają przez wlanie stopionego krzemu do odlewu. Jednakże, z powodu tej metody, struktura krystaliczna jest niedoskonała, tworząc granice, w których formacja kryształu pęka. Daje to krzemowi polikrystalicznemu swój charakterystyczny wygląd, ponieważ wzór typu kamienia podkreśla granice w kryształach. Z powodu tych zanieczyszczeń w kryształach, krzem polikrystaliczny jest mniej wydajny w porównaniu z monokrystalicznym. Jednak ten proces wytwarzania zużywa mniej energii i materiałów, co daje mu znaczną przewagę kosztową nad krzemem monokrystalicznym. (Polikrystaliczny i wielokrystaliczny często są synonimami, ale wielokrystaliczny często odnosi się do krzemu z kryształami większymi niż 1mm.)

II generacji (cienkowarstwowe)

Cienkowarstwowe panele fotowoltaiczne charakteryzują się niższą sprawnością i żywotnością w stosunku do I generacji. Ich stosunek ceny do sprawności jednak nie jest najgorszy. Koszty produkcji paneli cienkowarstwowych są o wiele tańsze od krzemowych. Cienkowarstwowe panele słoneczne są wytwarzane przez umieszczenie jednej lub wielu folii z materiału fotowoltaicznego (takiego jak krzem, kadm lub miedź) na podłożu. Te rodzaje paneli słonecznych są najłatwiejsze do wyprodukowania, a korzyści skali sprawiają, że są one tańsze z powodu mniejszej ilości materiału potrzebnego do produkcji. Są również elastyczne - co otwiera wiele możliwości na alternatywne zastosowania - i mniej podatne na działanie wysokich temperatur. Głównym problemem jest to, że zajmują dużo miejsca, generalnie czyniąc je nieprzydatnymi do instalacji domowych. Ponadto posiadają najkrótsze gwarancje, ponieważ ich żywotność jest krótsza niż monokrystalicznych paneli słonecznych. Mogą jednak stanowić dobrą opcję wyboru spośród różnych paneli słonecznych, w których jest dużo miejsca.



Rys. 4. Panel z krzemu amorficznego (amorficzny) [7]

Panele z krzemu amorficznego - bezpostaciowe ogniwa krzemowe są wytwarzane przez osadzanie krzemu w cienkiej jednorodnej warstwie na podłożu, zamiast tworzenia sztywnej struktury krystalicznej. Ponieważ amorficzny krzem pochłania światło bardziej efektywnie niż krzem krystaliczny, komórki mogą być cieńsze - stąd jego alternatywna nazwa "cienkowarstwowej" PV. Amorficzny krzem może być osadzony na szerokiej gamie podłoży, zarówno sztywnych, jak i elastycznych, co czyni go idealnym do zakrzywionych powierzchni lub klejenia bezpośrednio na pokrycia dachowe. Technologia ta jest jednak mniej wydajna niż krzem krystaliczny, z typową wydajnością, około 6-10%, ale wydaje się łatwiejsza i tańsza w produkcji. Jeśli powierzchnia dachu nie jest ograniczona, dobrym rozwiązaniem może być produkt amorficzny. Jednakże, jeśli wymagana jest maksymalna wydajność na metr kwadratowy, projektanci powinni wybrać technologię krystaliczną. [8]

Panele CIGS(CIS), CdTe

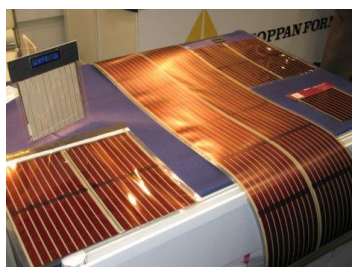


Rys. 5. Ogniwo CIGS na elastycznym plastikowym podłożu [9]

Wiele innych materiałów, takich jak telluride kadmu (CdTe) i dysplinu miedzi (CIS), jest obecnie używanych w modułach fotowoltaicznych. Atrakcyjność tych technologii polega na tym, że można je wytwarzać w stosunkowo tańszych procesach przemysłowych, na pewno w porównaniu z technologiami krzemu krystalicznego, ale zazwyczaj oferują one wyższą wydajność modułów niż amorficzny krzem. Większość oferuje nieco mniejszą wydajność: CIS jest zwykle wydajna 10-15%, a CdTe około 8-14%. Wadą jest stosowanie wysoce toksycznych metali, takich jak kadm, oraz potrzeba zarówno starannie kontrolowanej produkcji, jak i usuwania zużytego sprzętu; chociaż typowy moduł CdTe zawiera tylko 0,1% kadmu, który według doniesień jest niższy niż w pojedynczym akumulatorze NiCd o rozmiarze AA.

III generacji – DSSC, polimerowe

Ogniwa słoneczne trzeciej generacji wykorzystują materiały organiczne, takie jak małe cząsteczki lub polimery. Tak więc polimerowe ogniwa słoneczne są pod kategorią organicznych ogniw słonecznych. Trzecia generacja obejmuje również drogie eksperymentalne, wielozłączowe ogniwa słoneczne o wysokich osiągnięciach, które posiadają światowy rekord wydajności ogniw słonecznych. Ten rodzaj ma tylko do pewnego stopnia zastosowanie komercyjne ze względu na bardzo wysoką cenę produkcji. Nowa klasa cienkowarstwowych ogniw słonecznych będących obecnie przedmiotem badań to perowskity ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$), które wykazują ogromny potencjał z rekordową wydajnością przekraczającą 20% na bardzo małym obszarze. Z drugiej strony polimerowe ogniwa słoneczne lub plastikowe ogniwa słoneczne oferują szereg korzyści, takich jak prosta, szybka i niedroga produkcja na dużą skalę oraz stosowanie materiałów, które są łatwo dostępne i potencjalnie niedrogie. Polimerowe ogniwa słoneczne można wytwarzać za pomocą znanych przemysłowych technologii Roll-to-Roll (R^2R), które można porównać do drukowania gazet. Chociaż wydajność i stabilność ogniw słonecznych trzeciej generacji jest nadal ograniczona w porównaniu z ogniwami słonecznymi pierwszej i drugiej generacji, mają one ogromny potencjał i są już komercjalizowane. Zainteresowanie badaniami w polimerowych ogniwach słonecznych znacznie wzrosło w ostatnich latach i obecnie można je produkować po cenie umożliwiającej realizację projektów.



Rys. 6. Ogniwa/panel III generacji zbudowany w oparciu o ogniwa polimerowe [10]

1.2. Inwertery

Generatory fotowoltaiczne wytwarzają napięcie stałe o wartości dochodzących do 1000V. Takie napięcie musi być przetworzone aby można było je wykorzystać do zasilania odbiorników przeciętnego gospodarstwa domowego. Do tego celu stosuje się przetwornice napięcia, zwane również inwerterami, które dzisiaj praktycznie stały się mózgiem elektrowni. Chociaż głównym zadaniem falownika jest zamiana mocy prądu stałego na użyteczną moc prądu przemiennego, jego rola rozszerza się. Inwertery umożliwiają monitorowanie dzięki czemu instalatorzy i właściciele mogą zobaczyć, jak działa ich elektrownia. Falowniki mogą również dostarczać informacje diagnostyczne, aby pomóc zidentyfikować i naprawić problemy z instalacją fotowoltaiczną. Niektóre potrafią monitorować niezależnie każdy panel generatora PV przez co instalacja nie jest narażona na zacienienia oraz umożliwiają pełny podgląd na pracę każdego z panelu z osobna. Te ważne komponenty coraz częściej wykorzystują funkcje decyzyjne i kontrolne, aby poprawić stabilność i wydajność sieci. Wraz z rozwojem systemów solarno-magazynowych, falowniki przejmują również odpowiedzialność za zarządzanie akumulatorami.

W zależności od typu instalacji oraz mocy generatorów fotowoltaicznych stosuje się różne przetwornice.

Inwertery transformatorowe



Rys. 7. Inwerter transformatorowy Fronius IG 15 [11]

Jak sama nazwa wskazuje składają się z transformatora. W porównaniu do falownikowych charakteryzują się niższą sprawnością oraz większą wagą. Jednak jeżeli instalacja fotowoltaiczna wymaga uziemienia jednego z biegunów generatora PV (w celu uniknięcia matowienia szkła w panelach) są one idealnym rozwiązaniem. Sytuacja ta ma miejsce gdy generator składa się z paneli cienkowarstwowych, amorficznych i niektórych krzemowych. Brak uziemienia bieguna generatora powoduje wytrącanie się jonów sodu ze szkła i jego matowienie. Dzięki swojej budowie inwerter transformatorowy pełni funkcję separatora galwanicznego dzięki czemu w chwili zwarcia po stronie DC nie przepływa prąd zwarciaowy przez inwerter. [12]

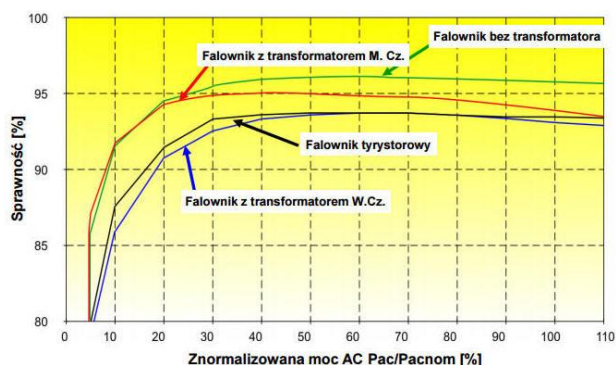
Inwertery beztransformatorowe



Rys. 8. Inwerter beztransformatorowy Fronius Symo [13]

Inwertery beztransformatorowe zyskują coraz większą popularność na rynkach europejskich. Beztransformatorowe falowniki są lekkie, kompaktowe i stosunkowo niedrogie. Ponieważ wykorzystują przełączanie elektroniczne zamiast przełączania mechanicznego, znacznie zmniejsza się ilość ciepła wytwarzanego przez standardowe falowniki. Przetwornice beztransformatorowe zachowują wyjątkową zdolność do wykorzystania dwóch trackerów mocy, które pozwalają na traktowanie instalacji jako osobnych generatorów. Innymi słowy panele PV można instalować w dwóch różnych kierunkach (tj. Na północ i zachód) na tym samym dachu (np. dwuspadowym) i generować moc wyjściową DC w oddzielnych godzinach szczytowych z optymalnymi efektami. Tradycyjne falowniki pracują tylko w jednym punkcie mocy, co oznacza, że panele, które pracują przy niższych częstotliwościach, obniżą moc wyjściową DC dla całego systemu.

Beztransformatorowe falowniki nie posiadają izolacji elektrycznej między obwodami prądu stałego i zmiennego. Może to powodować pewne obawy związane z uziemieniem i / lub ochroną przed wyładowaniami atmosferycznymi. Aby przetwornica beztransformatorowa była zgodna ze specyfikacjami należy zastosować specjalnie zaprojektowany i droższy przewód PV. Najnowsze inwertery wyposażone są w zabezpieczenia przeciwprzepięciowe oraz wyłączniki różnicowo prądowe.

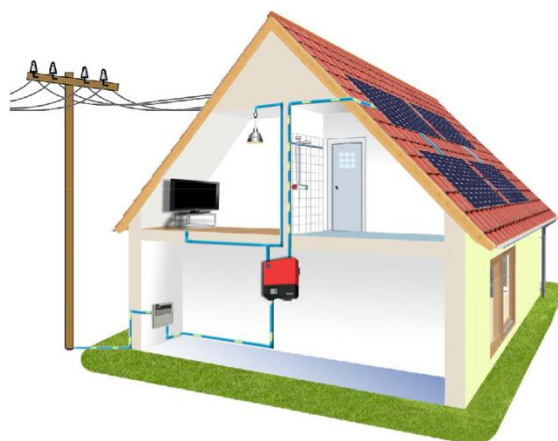


Rys. 9. Sprawność falowników w zależności od typu [14]

Inwertery sieciowe

Inwertery sieciowe zbudowane są do pracy z siecią energetyczną (on-grid). W zależności od rodzaju przyłącza energetycznego obiektu stosuje się falowniki jedno lub trójfazowe. Inwerter przekształca prąd stały na prąd o takich samych parametrach jak sieć energetyczna dzięki czemu mogą oddawać nadwyżkę energii do sieci publicznej. W chwili zaniku napięcia z sieci energetycznej falownik rozłącza napięcie po stronie DC. Spowodowane jest to kwestiami bezpieczeństwa i ochrony odbiorców. Instalacja fotowoltaiczna niewyposażona w baterię akumulatorów nie jest stabilnym źródłem energii przez co w chwili braku energii sieci ener-

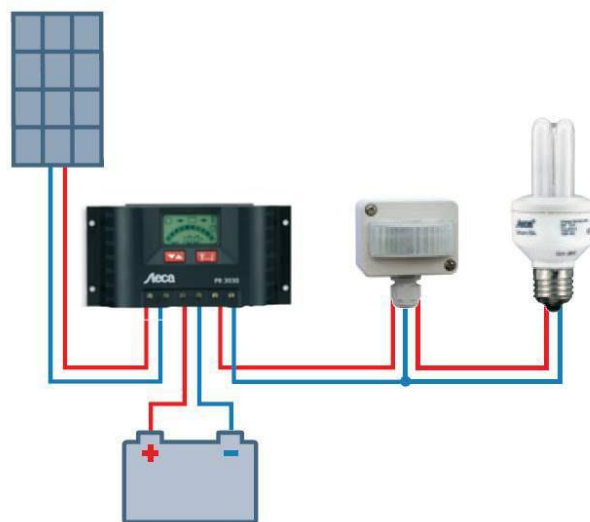
tycznej mogłoby dochodzić do spadków napięć i uszkodzeń odbiorców.



Rys. 10. Przykład działania inwertera sieciowego [15]

Inwertery wyspowe

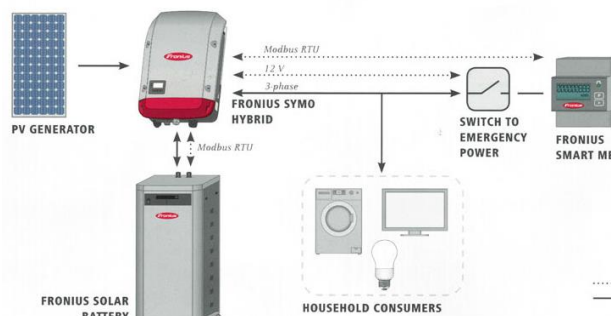
Inwertery sieciowe pracują w instalacjach off-grid, czyli bez współpracy z siecią energetyczną. Zazwyczaj są one połączone z wewnętrzną siecią budynku i baterią akumulatorów. Ładują akumulatory, kontrolują ich pracę i zasilają wewnętrzną instalację elektryczną.



Rys. 11. Układ połączeń inwertera wyspowego [16]

Inwertery hybrydowe

Inwertery hybrydowe są połączeniem inwerterów sieciowych i wyspowych. Współpracują z siecią energetyczną, ładują akumulatory i monitorują ich pracę. Dzięki baterii akumulatorów nie rozłączają napięcia po stronie DC w chwili zaniku braku energii z sieci.



Rys. 12. Układ połączenia inwertera hybrydowego [17]

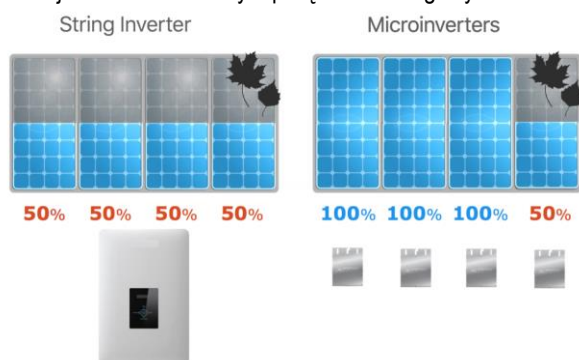
Mikroinwertery

Mikroinwertery jak sama nazwa wskazuje stosuje się do małych mocy generatorów fotowoltaicznych. Na dzień dzisiejszy ich maksymalna moc przyłączeniowa nie przekracza 300 W.



Rys. 13. Mikroinwerter [18]

Są zwykle instalowane na tyle każdego panelu i odpowiadają tylko za pracę panelu, na którym są zainstalowane. Dzięki czemu moc całego generatora nie jest uzależniona od zacięń paneli tak jak ma to miejsce w standardowym połączeniu stringowym.



Rys. 14. Praca generatora PV podczas zacięcia jednego z paneli, w zależności od zastosowanego systemu PV [19]

Zastosowanie mikroinwerterów w znacznym stopniu poprawia pracę całej instalacji fotowoltaicznej. Generator nie jest narażony na zacięcia poszczególnych paneli, ani na usterkę któregoś z nich. Dodatkowo mamy możliwość monitorowania pracy każdego panelu z osobna co pozwala na szybkie zdiagnozowanie pracy generatora oraz wykrycie wadliwego panelu. Jedyną wadą takiego rozwiązania jest większy koszt instalacji, jednak mając dzięki temu lepsze uzyski szybko ta różnica powinna się zwrócić.

2. Rodzaje instalacji fotowoltaicznych

Instalacje fotowoltaiczne można podzielić na dwa podstawowe systemy:

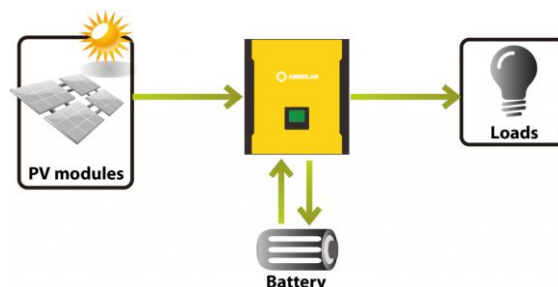
- of grid – niezależne od sieci, będące jedynym źródłem energii;
- on grid – współpracujące z siecią energetyczną;
- hybrydowe – połączenie instalacji on grid i of grid.

2.1. System of grid

System of grid (współpraca) jest niezależny od sieci energetycznej. Najczęściej ma zastosowanie tam gdzie nie można liczyć na zasilanie z sieci. Głównie stosowany w przyczepkach kempingowych, domkach letniskowych. Instalacje of grid głównie składają się z generatora fotowoltaicznego, regulatora ładowania, przetwornicy – Rysunek 16. (lub z inwertera wyspowego – Rysunek 17.) oraz baterii akumulatorów.



Rys. 15. Schemat połączenia instalacji of grid z regulatorem ładowania i przetwornicą [18]



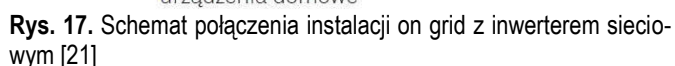
Rys. 16. Schemat połączenia instalacji of grid z inwerterem wyspowym [20]

Są to zazwyczaj instalacje małej mocy i ze względów ekonomicznych nie przekraczają 10kWp. Biorąc pod uwagę koszt zakupu i serwisowania takiej instalacji jest ona nie opłacalna w przypadku kiedy chcielibyśmy się uniezależnić od sieci energetycznej mając do niej dostęp. Mniej więcej co 10 lat akumulatory wymagają wymiany co stanowi główny koszt instalacji a czas zwrotu takiej instalacji to ponad 15 lat. Tak więc instalacje te mają zastosowanie tylko w miejscach gdzie nie ma dostępu do sieci energetycznej.

2.2. System on grid

System on grid jest obecnie najpopularniejszym rozwiązaniem w instalacjach fotowoltaicznych. Dzięki współpracy z siecią energetyczną nie trzeba dokonywać zakupu drogich baterii akumulatorów. A dzięki ustawie działającej w Polsce od 1 lipca 2016 r. o programie „Opust” osoby mające status „Prosumenta” mogą oddawać nadwyżki energii do sieci, po czym 80% wartości tej energii jest odliczane od rachunku po danym okresie rozliczeniowy. Dzięki temu koszty za energię elektryczną można ograniczyć do minimum. W celu rozliczenia energii pobranej i oddanej instalacja on grid musi być wyposażona w licznik dwukierunkowy, który zazwyczaj instaluje dostawca energii. Jeżeli zostanie zainstalowana i uruchomiona instalacja fotowoltaiczna bez licznika dwukierunkowego, nadwyżka energii elektrycznej oddana do sieci zostanie policzona przez licznik jednokierunkowy jako energia pobrana z sieci. Dlatego instalując elektrownie fotowoltaiczną współpracującą z siecią należy pamiętać o zgłoszeniu tego faktu dostawcy energii.

System on grid ma jednak wadę, otóż w chwili zaniku napięcia z sieci energetycznej instalacja fotowoltaiczna wyłącza się. Inwerter sieciowy w chwili zaniku napięcia AC z sieci odłącza również stronę DC. Przyczyną takiego działania jest brak stabilnego źródła zasilania co przyczynia się do spadków napięcia i uszkodzeń odbiorników.



System hybrydowy jest połączeniem instalacji on grid z of grid. Zazwyczaj składa się z generatora PV, inwertera sieciowego połączonego z inwerterem wyspowym – Rys. 19. lub inwertera hybrydowego – Rys. 20., baterii akumulatorów i dwukierunkowego licznika energii.

The diagram illustrates a hybrid solar power system. It starts with solar panels (Panele) connected to an Inverter Sunny Boy. This inverter is connected to an Inverter Sunny Island. The Sunny Island is connected to a public grid (Sieć publiczna) and also to internal loads (Odbiory wewnętrzne) via a yellow cable. The system also includes batteries (Akumulatory) connected to the Sunny Island.

The diagram illustrates a home energy storage system. On the left, three power sources are shown: 'Solar power (option)' represented by a sun and solar panel icon, 'Generator' represented by a generator icon, and 'Utility' represented by a power line tower icon. Red lines connect these sources to a central 'Battery' unit, which is a large white rectangular box with a digital display. Below the battery is an 'External Battery packs' unit, represented by a black battery icon. A double-headed red arrow connects the central battery to the external battery packs. On the right, blue lines connect the central battery to a group of 'Home Appliances', which include a smartphone, a Wi-Fi router, a computer monitor, a desktop tower, a fan, and a television.

Instalacje tego typu są świetnym rozwiązaniem w sytuacjach kiedy są częste zaniki energii z sieci elektrycznej i bardzo nam zależy na ciągłym zasilaniu odbiorników. Inwerter hybrydowy odpowiednio rozdziela energię elektryczną. Kiedy jest nadprodukcja energii z instalacji fotowoltaicznej zaczynają być ładowane akumulatory, gdy akumulatory zostaną w pełni naładowane oddawana jest energia do sieci. W sytuacji zaniku napięcia z sieci energetycznej

Od doboru mocy instalacji fotowoltaicznej w znacznym stopniu zależy szybkość zwrotu kosztów poniesionych na jej zainstalowanie. Zbyt mała moc elektrowni będzie generowała mniej energii, zbyt duża będzie produkować jej nadmiar z czego nie będzie można czerpać żadnych dodatkowych korzyści. Aby dokonać odpowiedniego doboru potrzebny jest pewien przelicznik. Po pierwsze musimy wiedzieć jakie jest zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną, do tego niezbędne są rachunki za energię. Zakład energetyczny PGE bardzo ułatwia nam to zadanie podając na rachunku ilość kWh zużytych w poprzednim roku kalendarzowym (Rysunek 21). Jeżeli dostawca energii nie podaje takich danych należy podsumować według rachunków ilość zużytych kWh w roku kalendarzowym, lub zwrócić się do dostawcy energii o podsumowanie zeszłoroczne.

FAKTURA VAT nr _____										Strona 2 z 3			
Szczegółowe rozliczenie faktury													
Nr účtadu ponovorený: _____					Rozúčtovanie za okres 20.12.2017 – 28.02.2018								
MESZKANIE _____					Grupa tarify: G11		Numer čísla _____						
		Date-odcz:	W Wskazanie	Mn	Jm	Ilość	C-nrto	W-netto	VAT	W-VAT	W-brutto		
E. Obrót - Energia elektryczna													
Energia elektryczna czynna cabodobowa													
		20.12.2017	14105,00										
		01.01.2018	5	1	kWh	66,00	0,2430	15,91	23%	3,66	19,57		
		28.02.2018	14171,00			kWh	317,00	0,2410	77,93	23%	17,72	94,75	
Razem E:								92,94	21,38	114,32			
D. Dystrybucja													
Oplata statla**													
		0,00°	0,0000 Mies	KW/m-c	0,00	8,4600	0,00	23%	0,00	0,00	0,00		
		0,00°	2,0000 Mies	KW/m-c	2,00	18,5100	17,02	23%	3,91	20,93			
Oplata zmrienna cabodobowa **													
						kWh	66,00	0,2202	14,53	23%	3,34	17,87	
						kWh	317,00	0,2221	70,41	23%	16,19	86,60	
Oplata zmrienna cca **													
						kWh	66,00	0,0037	0,24	23%	0,06	0,30	
						kWh	317,00	0,0090	0,90	23%	0,00	0,00	
Oplata abonamentowa													
						m-c	0,0000	2,55	0,00	23%	0,00	0,00	
						m-c	2,0000	2,40	0,48	23%	1,10	5,90	
Razem D:								107,00	24,60	131,60			
Ilość energii zużytej w roku 2017: 1361.3007 kWh													
OGÓŁEM													
		Ilość kWh:	383,00	Średnia cena kWh:		0,64209		199,94	45,98	245,92			
Faktura uwzględnia podatek akcyzowy od 383,00 kWh energii elektrycznej w wysokości 7,66 zł													
Opisane szczegóły rozliczeń:													
G11 - grupa taryfowa E - energia elektryczna D - dystrybucja, Nr liczn - numer taryfowej formidła													
Data-odcz - data odczytu kłd; Data-odcz cabodobowa Ruzenie - R0 - odczyt rozliczeniowy podany przez odbiorcę, R1 - odczyt rozliczeniowy zaliczki, D - odczyt licznika ciembierowocenia,													
W wskazuje wydział, W1 - odczyt cabodobowa Ruzenie, R0 - odczyt rozliczeniowy podany przez odbiorcę, R1 - odczyt rozliczeniowy zaliczki,													
D - odczyt rozliczeniowy na podstawie tridobowocenia Zdużenie energii elek													

Dzięki ustawie działającej w Polsce od 1 lipca 2016 r. mówiącej o programie „Opust” możemy liczyć na 80% w instalacjach do 10kWp, i 70% w instalacjach od 10 do 40kWp odliczenia energii oddanej od rachunku za energię pobraną. Czyli jeżeli oddamy w danym okresie rozliczeniowym do sieci 1000kWh to od rachunku przy instalacji do 10kWp będzie odliczone 800kWh, pod warunkiem że ilość kWh pobrana nie będzie mniejsza niż oddana. Program „Opust” nie zakłada wynagrodzenia za większą ilość energii oddanej niż została pobrana. W obliczeniach przyjąć należy również procentową wartość konsumpcji własnej energii wyprodukowanej przez instalację fotowoltaiczną do energii oddanej do sieci. W przeciętnym domku jednorodzinnym wynosi ona 20%, czyli 80% energii wyprodukowanej przez instalację PV zostanie oddane do sieci energetycznej. Ostatnie założenie do wyliczenia mocy to ilość uzyskanych kWh z 1kWp instalacji fotowoltaicznej w roku. W Polsce należy przyjąć od 900-1100kWh/rok. Jest to uwarunkowane tym jakiej sprawności będziemy posiadali instalacje. Uśredniając założenia można przyjąć wartość 1000kWp/rok z 1kWp instalacji. Mając już wszystkie dane można przystąpić do obliczeń ze wzoru (1).

- Ek – ilość zużywanej rocznie energii [kWh]
- a – procentowy udział bieżącej konsumpcji własnej [%]
- b - procentowy udział ilości energii oddanej do sieci [%]

- opust - do 10 kW 0,8 powyżej 0,7
- $a+b = 100\%$
- Uzysk – roczna produkcja energii z 1kWp zainstalowanej mocy przez instalację PV [kWh] [24]

Z powyższego wzoru można również uzyskać przelicznik wstępnego doboru mocy elektrowni fotowoltaicznej na podstawie wartości rachunków za energię lub ilości energii w kWh. Na przykład dla typowej instalacji do 10kWp (opust 0.8) przelicznik będzie wyglądał następująco: Za każdą 1kWh/rok należy dobrać 1,25Wp mocy elektrowni fotowoltaicznej, Za każdą 1 zł w rachunkach za rok należy dobrać 27,5Wp elektrowni fotowoltaicznej.

Dzięki takim obliczeniom można w szybki sposób dobrać moc instalacji do indywidualnego gospodarstwa domowego w taki sposób aby elektrownia pozwoliła na obniżenie rachunków za energię do minimum. Niestety nie jest możliwe obniżenie rachunków do zera ponieważ nie da się uniknąć opłat stałych np. opłata stała lub opłata abonamentowa z a przyłącz elektryczny. Są to jednak niewielkie koszty w porównaniu do wartości energii na rachunkach. [24]

4. Projekt instalacji fotowoltaicznej w domu jednorodzinnym

Przedmiotem opracowania jest projekt instalacji elektrycznej OZE opartej na domowej elektrowni fotowoltaicznej [28]. Instalacja ta będzie służyła do produkcji energii elektrycznej z promieniowania słonecznego na potrzeby własne budynku.

Projektowana instalacja fotowoltaiczna będzie miała moc 5,6Kw. i składać z 20 sztuk paneli polikrystalicznych o mocy 280Wp każdy. Prąd pochodzący z generatora PV będzie przetwarzany przez trójfazowy beztransformatorowy inwerter fotowoltaiczny o mocy 5kW.

Zakres opracowania obejmuje:

- Montaż paneli fotowoltaicznych – opisane zostaną moduły jakie zostały dobrane do instalacji oraz ich system montażowy jaki został dobrany w zależności od pokrycia dachu;
- Montaż beztransformatorowego inwertera fotowoltaicznego – opisany zostanie inwerter jaki został dobrany do instalacji i dobór jego mocy uzależniony od mocy generatora PV;
- Montaż rozdzielnic po stronie DC i AC – opisane zostanie wyposażenie rozdzielnic po stronie napięcia stałego oraz zmiennego.

Generator elektrowni fotowoltaicznej umiejscowiony zostanie na dachu skośnym budynku od strony południowej. Budynek zasilany jest z sieci elektroenergetycznej z przyłącza trójfazowego o napięciu 400V. Inwerter fotowoltaiczny będzie podpięty do rozdzielni głównej wewnętrznej sieci budynku.

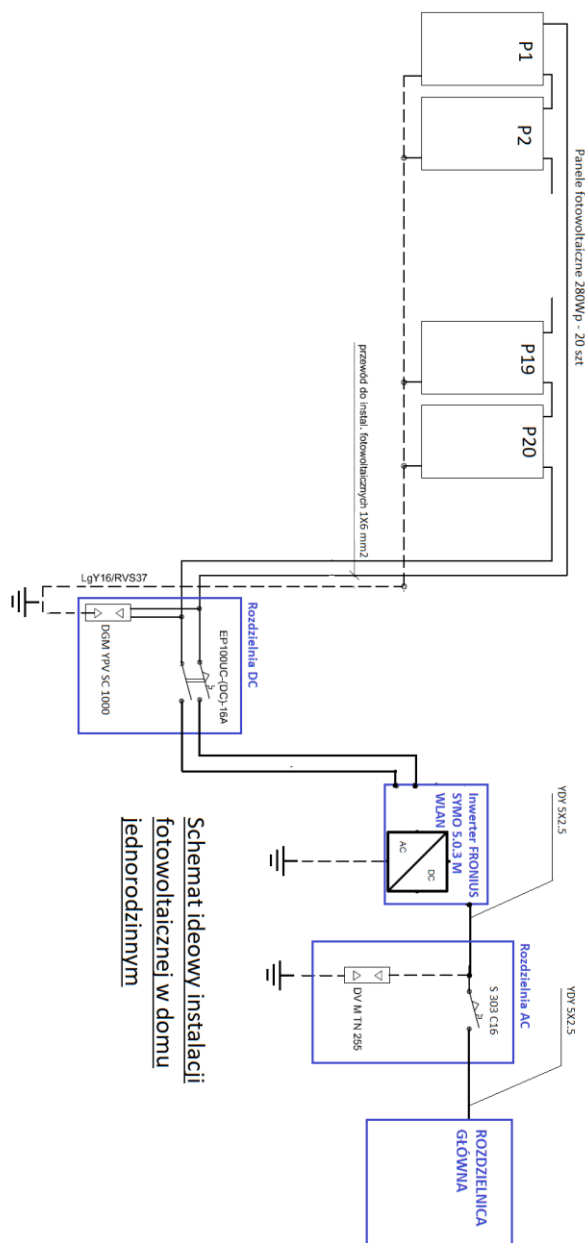
Opis rozwiązań technicznych w projekcie

Zaprojektowana elektrownia PV będzie składać się z 20 sztuk polikrystalicznych paneli o mocy 280Wp połączonych szeregowo w jednym stringu. Instalacja fotowoltaiczna będzie pracować w systemie „on-grid”, a jej moc będzie wynosiła 5,6kWp. Trójfazowy beztransformatorowy inwerter sieciowy będzie przetwarzał prąd stały z generatora PV na prąd o zmienny o parametrach identycznych jak w sieci elektroenergetycznej. Zadaniem inwertera będzie również sterowanie i bilansowanie energią elektryczną z instalacji fotowoltaicznej tak aby jak największa część tej energii została użyta na potrzeby własne wewnętrznej sieci elektrycznej, a jej nadmiar zostanie oddany i zmagazynowany w lokalnej sieci energetycznej. Podczas niedoboru energii z instalacji fotowoltaicznej zostanie pobrana reszta energii z lokalnej sieci energetycznej. Do celów

opomiarowania energii oddanej i pobranej z sieci niezbędne jest zamontowanie w przyłączy budynku licznika dwukierunkowego. W tym celu należy wystosować odpowiednie pismo do lokalnego dostawcy energii.

Tab. 2. Specyfikacja techniczna instalacji PV [Opracowanie własne]

Moc instalacji 5,6 kWp			
Lp.	Nazwa	Parametry	Ilość
1.	Panel polikrystaliczny	280 Wp	20
2.	Inwerter beztransformatorowy	5 kW	1
3.	Moc nominalna elektrowni	5,6 kWp	
4.	Ilość kWh wyprodukowanych w roku	5600 kWh/rok	



Rys. 20. Schemat ideowy instalacji fotowoltaicznej w domu jednorodzinnym [Opracowanie własne]

Zestawienie materiałowe instalacji fotowoltaicznej przedstawiono w Tab. 3.:

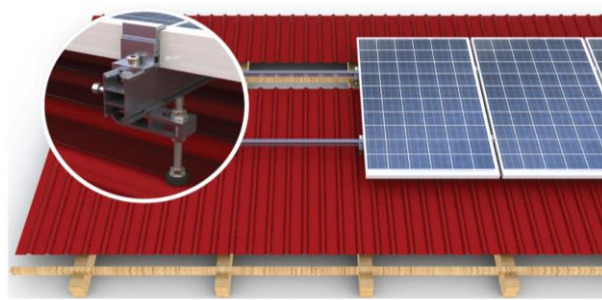
Tab. 3. Zestawienie materiałów [Opracowanie własne]

Lp.	Nazwa	J.M.	Ilość
1.	Panele fotowoltaiczne 280 Wp	Szt.	20
2.	Konstrukcja do montażu paneli fotowoltaicznych	kpl.	1
3.	Przewód solarny 6mm ²	mb.	50
4.	Rozdzielnia n/T 12 mod. IP 40	Szt.	2
5.	Inwerter fotowoltaiczny 5 kW	Szt.	1
6.	Przewód YDY 5x2,5 mm ²	mb.	25
7.	Przewód Lgy 16 żo	mb.	30
8.	Rura ochronna RKGL 25	mb.	50
9.	Wyłącznik nadprądowy EP 100UC 2P 10A	Szt.	1
10.	Ogranicznik przepięć Typ 2 PV 1000V DC 3P	Szt.	1
11.	Ogranicznik przepięć klasy B+C 4P 25 kA	Szt.	1
12.	Wyłącznik nadprądowy 3P C 16A 6kA AC	Szt.	1
13.	Przewód YDY 5x2,5 mm ² 750 V	mb.	15

Panele fotowoltaiczne

Panele fotowoltaiczne przetwarzają promieniowanie słoneczne w energię elektryczną. Łączy się je szeregowo w łańcuchy poprzez kable o izolacji przystosowanej do napięcia stałego o wartości max. 1000V. Prąd stały wyprodukowany przez moduły fotowoltaiczne płynie kablami do inwertera który przekształca go na prąd zmienny o parametrach wymaganych przez odbiorniki. Moduły mocowane są do dachu odpowiednią konstrukcją systemową która jest dobrana odpowiednio do usytuowania paneli oraz powierzchni dachu. W projektowanej instalacji fotowoltaicznej zastosowane będą moduły polikrystaliczne o znamionowej mocy 280Wp.

do grubości ramy klemy. Odpowiednim rozwiązaniem będzie zastosowanie systemowej konstrukcji montażowej do paneli B-02 marki Corab.



Rys. 22. Systemowa konstrukcja montażowa do modułów fotowoltaicznych B-02 [26]

Tab. 3. Specyfikacja techniczna konstrukcji B-02 [26]

Specyfikacja techniczna

Sztuka montażowa	Orientacja paneli: pionowa		Orientacja paneli: pozioma	
	Index:	Waga systemu (1kW)	Index:	Waga systemu (1kW)
	SMA-30x50 KLJK	XFS_B027 9,1 kg	XFS_B028	14,67 kg

Projektowana instalacja fotowoltaiczna wyposażona będzie w inwerter wyspowy. Jego zadaniem będzie przekształcenie prądu stałego z paneli fotowoltaicznych na prąd zmienny o parametrach odpowiednich dla odbiorników. Inwerter zabezpieczony jest w zabezpieczenie przed pracą wyspową to znaczy iż w chwili zaniku napięcia z sieci energetycznej inwerter rozłączy napięcie po stronie modułów fotowoltaicznych. Aby dobrać moc inwertera do instalacji fotowoltaicznej należy przyjąć 90% wartości łącznej mocy znamionowej zainstalowanych paneli. Spowodowane jest to tym iż panele bardzo rzadko osiągają swoją moc maksymalną i aby inwerter przez większość czasu działał z najlepszą sprawnością należy dobrać moc o 10% mniejszą od łącznej mocy zainstalowanych paneli. Inwertery marki Fronius dodatkowo wyposażone są w moduł WiFi dzięki czemu mogą się komunikować bezprzewodowo z siecią internetową. Pozwala to na zdalne monitorowanie pracy w trybie rzeczywistym elektrowni fotowoltaicznej oraz prowadzenie historii uzysków.

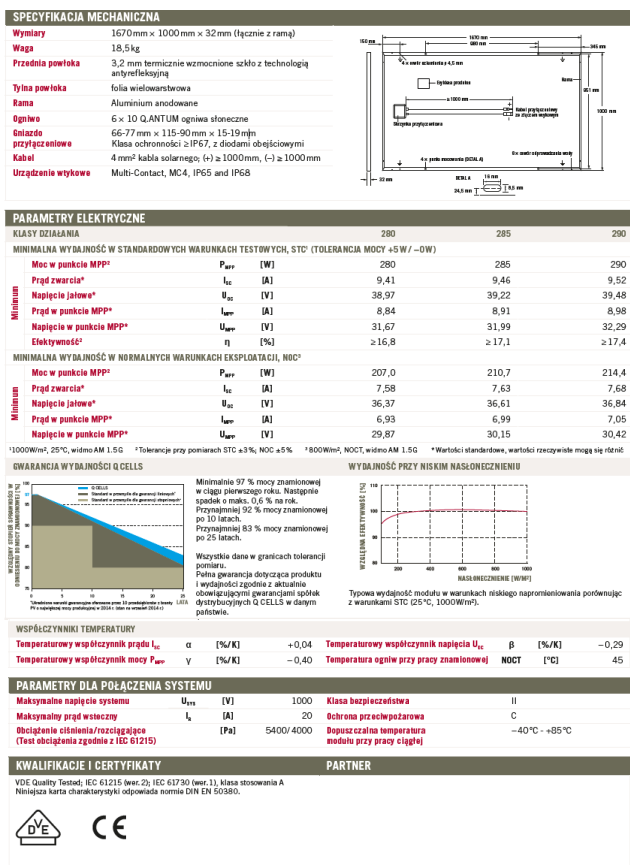
W celu zabezpieczenia instalacji należy wykonać dwie rozdzielnie. Jedna po stronie napięcia DC, druga po stronie napięcia AC. Rozdzielnia po stronie napięcia stałego powinna zostać wyposażona w wyłącznik nadprądowy EP100UC 10A oraz ogranicznik przepięć Typ 2 PV 1000V DC 3P w celu ochrony przepięciowej. Natomiast rozdzielnia na stronie napięcia AC powinna zostać wyposażona w wyłącznik nadprądowy 3P C 16A 6kA AC oraz ogranicznik przepięć klasy B+C 4P 25kA.

Podsumowanie

Przedstawiony w artykule projekt instalacji fotowoltaicznej ukazuje składowe elementy oraz ich rodzaje w zależności od systemu w jakim działa instalacja. Na przykładzie paneli fotowoltaicznych można dostrzec, iż najnowsze technologie nie są jeszcze tak bardzo opłacalne. Na dzień dzisiejszy najlepszym rozwiązaniem są panele krzemowe pierwszej generacji których technologia sięga już prawie 50 lat. Najnowsze technologie osiągają sprawności 20% jednak ich żywotność jest słaba przez co opłacalność ich stosowania jest mała. Okres zwrotu standardowej instalacji fotowoltaicznej wynosi około 8-10 lat więc podzespoły powinny mieć żywotność przynajmniej dwa razy dłuższą aby inwestycja była opłacalna. Największy koszt instalacji fotowoltaicznej stanowią moduły fotowoltaiczne oraz inwerter.

Rys. 21. Specyfikacja techniczna dobrego modułu fotowoltaicznego. [25]

Projektowana instalacja montowana będzie na dachu pochyłym pod kątem 40 stopni, pokrytym blachą dachówką. Do takiego usytuowania modułów najlepiej zastosować konstrukcję systemową składającą się z profili aluminiowych przymocowanych do konstrukcji dachu za pomocą śrub z podwójnym gwintem. Moduły będą montowane na profilach aluminiowych poprzez specjalnie dobrane



Panele pierwszej generacji mają 25-letnią gwarancję producenta na 80% minimalnej sprawności po tym okresie. Inwertery w zależności od firmy posiadają okres standardowej gwarancji od 5 do 12 lat, jednak okres ten można odpłatnie przedłużyć. Reszta podzespołów instalacji nie stanowi znaczącej wartości aby mogły wpłynąć na opłacalność inwestycji. Elektrownie fotowoltaiczne są praktycznie bezobsługowe oraz nie posiadają części ruchomych co znacznie wpływa na ich korzyść w przeciwieństwie do paneli solarnych gdzie należy kontrolować na przykład stan płynu w układzie lub pracę pompy obiegowej.

Celem artykułu było wskazanie zalet płynących z posiadania instalacji fotowoltaicznej. Nie da się ukryć iż stosowanie takich rozwiązań staje się coraz bardziej popularne i należy się spodziewać że niedługo każde gospodarstwo będzie wyposażone w taką instalację. Paliwa kopalne w przyszłości zostaną wyczerpane przez co korzystanie z odnawialnych źródeł energii będzie nieuniknione.

Bibliografia:

1. http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/meth_reg.html), CDIAC.
2. <http://www.klasterenergia.wroc.pl/storage/File/prezentacje/Zasoby%20energii%20na%20swiecie.pdf>.
3. <https://besthaus.pl/uslugi/systemy-fotowoltaiczne>
4. Szymański B., *Instalacje fotowoltaiczne*, Wydanie III, GLOBEenergia, Kraków 2014.
5. <https://www.q-cells.com/en/index/products/solar-panels/residential>
6. <https://www.q-cells.com/en/index/products/solar-panels/cni>.
7. <http://cruiser3miasto.pl/astonsystem/prosument.html>.
8. Szymański B., *Małe instalacje fotowoltaiczne*, Kraków 2013.
9. https://en.wikipedia.org/wiki/Copper_indium_gallium_selenide_solar_cells
10. <http://solaris18.blogspot.com/2010/04/ogniwa-fotowoltaiczne-i-ich-generacje.html>
11. <https://sunsol.pl/produkty/inwertery-solarne/fronius/fronius-ig-15/>
12. Selder K, Frącz R., ędrzejewska T., *Elektroinstalator*, numer 02/2013, Instalator Polski Sp. z o. o., 2013.
13. https://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-5972509A-D9874B5C/fronius_poland/hs.xsl/83_26011.htm#.WwSQL0iFN PY.
14. <http://www.instsani.pl/505/falowniki>.
15. <http://www.gsphotovoltaika.pl/fotowoltaika/rodzaje-instalacji>
16. <http://ekosed.pl/oferta/fotowoltaika/z-akumulatorami-off-grid/>
17. <https://www.fronius.com/pl-pl/poland/energia-sloneczna/kompetencje/rozwiązania-w-dziedzinie-gromadzenia-energii>
18. <https://www.sklep.asat.pl/pl/p/Mikroinwerter-248W-Envertech-EVT248-Wieland/559>
19. <http://www.tindosolar.com.au/learn-more/micro-inverters/>
20. <https://abi-solar.com/pl/produkty/fotoelektryczne-inwertery/autonomiczni-sloneczni-inwertery/>
21. <https://www.budujemydom.pl/kolektory-sloneczne/21219-instalacje-fotowoltaiczne-system-on-grid-czy-off-grid>.
22. http://ekovolt.pl/?page_id=27.
23. <http://ecotechnologies.pl/nowe-inwertery-grid-mozliwoscia-wspolpracy-siecia,735>
24. Szymański B., *Instalacje fotowoltaiczne*, Wydanie VI, GLOBEenergia, 2017.
25. <https://marketelektryczny.pl/pl/fotowoltaika/category-326689753/filters/producent-qcells>.
26. <https://fotowoltaika.corab.eu/oferta/systemy-mocowan/dachy-skosne/>
27. <http://www.fronius.com/pl-pl/poland/energia-sloneczna/produkty-i-rozwiazania/wszystkie-produkty/falownik/fronius-symo/fronius-symo-5-0-3-m>.
28. Wiktorowski M., *Projekt instalacji elektrycznej OZE opartej na domowej elektrowni fotowoltaicznej*, Praca dyplomowa magisterska, Wydział Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Promotor: Dr inż. Daniel Pietruszczak, Radom 2018.

Selected issues of the design of electrical installation RES type on the example of a home photovoltaic plant

The paper presents issues related to renewable energy sources and their current use. Home photovoltaic installations RES and their types are discussed. It presents the benefits that a basic household can derive from it. Details of the photovoltaic system design in a monocular house are described.

Keywords: photovoltaic power plant, renewable energy sources RES.

Autorzy:

Dr hab. inż. Marcin Chrzan, prof. UTH – Wydział Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, e-mail: m.chrzan@uthrad.pl

Dr inż. Daniel Pietruszczak – adiunkt, Wydział Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, e-mail: d.pietruszczak@uthrad.pl

Mgr inż. Mirosław Wiktorowski – absolwent (2018 r.) Wydziału Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, Nr albumu: 106614