

Fotowoltaika, czyli jak produkować prąd elektryczny z promieniowania Słońca

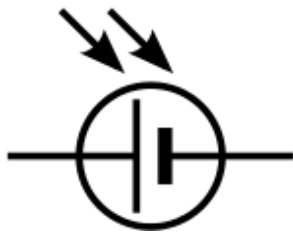
1. Wstęp

Wszystkie źródła energii na Ziemi, zarówno te kopalne, czyli węgiel, ropa i gaz, jak i odnawialne (OZE), pochodzą z energii docierającej do kuli ziemskiej w formie promieniowania słonecznego. Źródła kopalne to nic innego jak nagromadzona dzięki procesom fotosyntezy, a następnie przekształcona w wyniku różnych procesów biomasa, która została wytworzona przed milionami lat. Podobnie takie odnawialne źródła energii jak wiatr, woda, biomasa, powstają dzięki docieraniu do powierzchni Ziemi energii promieniowania Słońca. Ale najbardziej bezpośrednią formą przekształcania energii słonecznej w formy energii przydatne człowiekowi (nie licząc fotosyntezy, dzięki której organizmy roślinne wytwarzają żywność) jest produkcja energii cieplnej w tzw. kolektorach słonecznych oraz produkcja energii elektrycznej w różnego rodzaju systemach fotowoltaicznych (zwanym także systemami solarnymi lub systemami PV). Szacuje się, że w ciągu jednej godziny Słońce dostarcza do powierzchni Ziemi tyle energii, że mogłaby ona zaspokoić potrzeby ludzkości przez cały rok.

Co to jest zatem fotowoltaika? Ogólnie ujmując jest to dziedzina zajmująca się przetwarzaniem światła słonecznego bezpośrednio w energię elektryczną. Termin ten pochodzi od greckiego „photos”, czyli światło, i słowa „volt” określającego jednostkę napięcia elektrycznego.

Jak to działa? W wielkim uproszczeniu światło słoneczne padając na ogniwo fotowoltaiczne powoduje wytwarzanie prądu elektrycznego. Najważniejszym elementem słonecznych systemów wytwarzania energii elektrycznej są moduły fotowoltaiczne. Są to urządzenia służące do przemiany padającego na nie światła słonecznego bezpośrednio na prąd. Podstawowym elementem modułu jest ogniwo fotowoltaiczne. Składa się ono z płytki z półprzewodnika posiadającej złącze P - N (positive - negative, czyli plus - minus). W strukturze takiej występuje pole elektryczne (bariera potencjału). W chwili, gdy na ogniwo pada światło słoneczne, powstaje para nośników o przeciwnych ładunkach elektrycznych, elektron - dziura, które zostają następnie rozdzielone przez pole elektryczne. Rozdzielenie ładunków powoduje, iż w ogniwie powstaje napięcie. Po podłączeniu obciążenia (czyli urządzenia pobierającego energię) następuje przepływ prądu elektrycznego. Pojedyncze fotoogniwo osiąga moc ok. 1-2 W, w związku z tym do praktycznych zastosowań fotoogniwa łączy się w moduły. Moc modułu zależy od ilości wbudowanych w niego fotoogniw oraz od powierzchni czynnej modułu. Z kolei połączenie kilku czy kilkunastu modułów stanowi panel fotowoltaiczny. Ogniwa znajdują się pomiędzy dwiema foliami EVA (od ang. *Ethylene-Vinyl Acetate*, czyli kopolimer etylenu i octanu winylu), zabezpieczającymi przed działaniem czynników zewnętrznych. Od strony zewnętrznej dodatkową warstwę ochronną stanowi tafla niskożelazowego, hartowanego szkła. Jego specjalna struktura poprawia przepuszczalność fotonów promieniowania słonecznego, minimalizując odbicie promieniowania słonecznego od szkła. Najlepiej jest stosować szyby z powłoką antyrefleksyjną (ARC Glass) zapobiegającą odbijaniu się światła, która zwiększa wydajność modułu od 3,5 do nawet 5%. Folia tylna ma

za zadanie zwiększenie odporności modułu na warunki atmosferyczne i uszkodzenia mechaniczne.



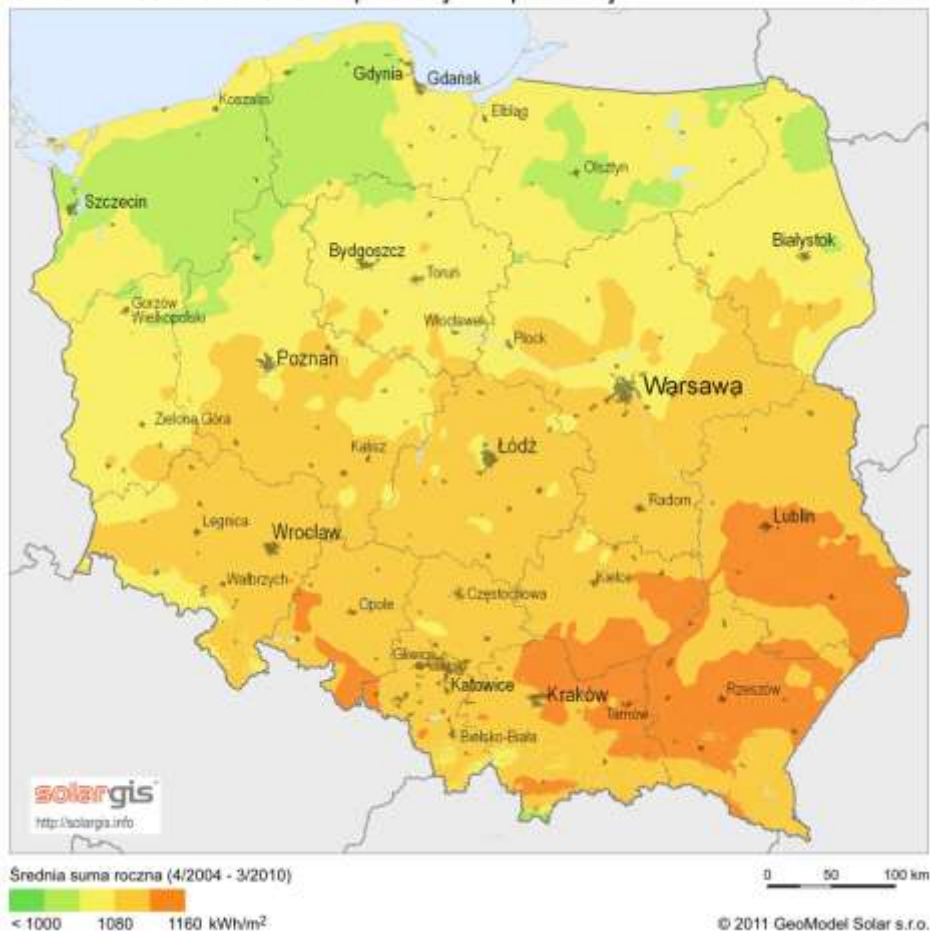
Symbol fotoogniwa oraz ogniwo



Wszyscy zdajemy sobie sprawę z tego, że kopalne źródła energii prędzej czy później się wyczerpią, a poza tym są one rozmieszczone na Ziemi bardzo nierównomiernie, co stwarza niepożądane sytuacje uzależniania się energetycznego jednych państw od innych. Większość społeczeństw marzy o „darmowej” energii, najlepiej z ekologicznych, niewyczerpywalnych, czyli odnawialnych źródeł, oraz o energetycznej niezależności. Jednym z rozwiązań, które nas do tych celów zbliżają, jest rozwój technologii ogniw fotowoltaicznych. Fotowoltaika to bardzo ekologiczne źródło energii i korzystanie z niej znacząco obniża nasz niekorzystny wpływ na środowisko naturalne i minimalizuje negatywne zmiany klimatyczne.

2. Promieniowanie słoneczne w Polsce, a produkcja prądu

Przy rozważaniach na temat perspektyw rozwoju fotowoltaiki w Polsce często pojawia się pytanie, czy promieniowanie Słońca w naszym kraju jest wystarczające, żeby móc z niego efektywnie produkować prąd? Przecież jesteśmy krajem, w którym Słońce nie świeci zbyt często? Otóż przeciętne natężenie promieniowania w Polsce wynosi ok. 1000 kWh/m²/rok, podobnie jak w większości krajów leżących na tej samej co Polska szerokości geograficznej.



Po uwzględnieniu zmniejszenia nasłonecznienia w okresie zimowym można przyjąć, że rocznie z promieniowania słonecznego można pozyskać około 500 kWh/m² energii. O tym, że jest to ilość wystarczająca do efektywnego działania systemów fotowoltaicznych, może świadczyć chociażby przykład Niemiec – w analogicznych warunkach słonecznych łączna moc zainstalowana systemów fotowoltaicznych wynosi tam już ponad 38 GW, co daje udział fotowoltaiki w niemieckim rynku energii na poziomie ok. 6%. Rekord produkcji prądu ze Słońca Niemcy pobili 17 kwietnia 2015 roku, gdy o godzinie 13:00 do sieci energetycznej panele dostarczały 25 GW. Prawie równocześnie, bo godzinę później, farmy wiatrowe dostarczały 24 GW. Oznaczało to, że tego dnia OZE dostarczały ponad połowę zapotrzebowania na prąd. Dla porównania w Polsce, według danych Urzędu Regulacji Energetyki, potencjalna moc paneli słonecznych to wciąż około 3 MW i nieznaczny ułamek procenta udziału w rynku energii elektrycznej. Szacuje się, że gdyby 1% powierzchni Polski pokryć ogniwami fotowoltaicznymi przetwarzającymi energię słoneczną ze sprawnością 15%, produkowalibyśmy trzykrotnie więcej energii elektrycznej niż wytwarza się w kraju obecnie ze wszystkich źródeł. Na razie jest to oczywiście niemożliwe, ale pojawia się jednak coraz więcej przesłanek sprzyjających rozwojowi fotowoltaiki w Polsce. Przede wszystkim ceny paneli fotowoltaicznych stają się coraz niższe, a państwo w coraz większym stopniu zaczyna wspierać ten rodzaj energii, w wyniku czego ekonomika instalacji staje się coraz korzystniejsza. Pojawiają się też coraz lepsze urządzenia solarne, bo naukowcy na całym świecie intensywnie pracują nad nowymi, bardziej efektywnymi rozwiązaniami. Aspekty ekologiczne, w tym bezemisyjność tej technologii produkcji prądu, również przemawiają za rozwojem fotowoltaiki (emisja CO₂ pojawia się tylko na etapie produkcji systemów fotowoltaicznych). Rozwiązania prawne wspierające rozwój słonecznych elektrowni rozpalają

wyobraźnię nawet niedawnych sceptyków tej formy energii odnawialnej. Czy zatem nastał już czas na inwestowanie w prąd ze Słońca? Jeśli tak, to co trzeba wiedzieć na ten temat? Czy poza zaletami są jakieś minusy tej formy energii odnawialnej?

Trzeba na przykład wiedzieć, że moc zainstalowanych odnawialnych źródeł energii nie oznacza, że one cały czas tyle tej energii produkują. Jest to tylko moc nominalna, potencjalna, uzyskiwana podczas optymalnych warunków nasłonecznienia paneli. Rzeczywisty wskaźnik wykorzystania tej mocy jest znacznie mniejszy. Fotoogniwa wytwarzają prąd tylko wtedy, gdy pada na nie promieniowanie słoneczne. Ich wydajność spada, gdy zmniejsza się kąt padania promieni słonecznych na panel, i dość drastycznie spada, gdy niebo jest zachmurzone (do około 15% mocy nominalnej). W Niemczech, jak podaje Instytut Fraunhofera, w roku 2014 wskaźnik wykorzystania wynosił dla instalacji fotowoltaicznych 9,8%. Oznacza to, że średnio z jednego kilowata (kW) mocy zainstalowanej wyprodukowano niecałe 100 W energii. Dla turbin wiatrowych wskaźnik ten był znacznie lepszy, bo wyniósł ok. 16,5% (turbiny pracują także w nocy, oczywiście gdy wieje wiatr). Relatywnie najlepiej ten wskaźnik wypada dla elektrowni wodnych.

W praktyce w Polsce z systemu o mocy 1kW przy panelach nieruchomych i ustawionych pod optymalnym kątem, czyli skierowanych na południe i pochylonych pod kątem około 30° , można uzyskać od 850 do 950 kWh (kilowatogodzin) energii. Ilość tę można zwiększyć o około 25 – 30% umieszczając panele na tzw. urządzeniu nadążnym, zwanym też systemem wodzącym lub najczęściej z angielska „trackerem”.



Tracker pojedynczy w ogrodzie

Urządzenie nadążne (tracker) składa się na ogół ze słupa osadzonego w gruncie, na którym znajduje się ruchoma, obrotowa głowica, do której przymocowany jest zespół paneli. Trackery wyposażone są w urządzenia śledzące aktualne położenie Słońca i za pomocą silniczków elektrycznych (najczęściej krokowych) ustawiających panele w optymalne (prostopadłe) położenie względem Słońca. Prostsze wersje trackerów mają tylko jedną oś obrotu – zespół paneli ustawiony jest pod stałym kątem do powierzchni ziemi (optymalnym dla konkretnej wysokości geograficznej), a obracany jest wokół osi pionowej podążając za Słońcem od jego wschodu do zachodu. Wersje „pełne” pozwalają na poruszanie się zespołu paneli w dwóch osiach i taki tracker ustawia panele także w zależności od pory roku, czyli od wysokości Słońca nad horyzontem. Trzeba jednak wiedzieć, że tracker jest rozwiązaniem dość droгим i potencjalnie awaryjnym (duża ilość części ruchomych). W przypadku instalowania obok siebie większej liczby trackerów trzeba pamiętać, że muszą być one tak rozmieszczone, aby w żadnym swoim położeniu nie zacięniały się wzajemnie.



Zespół (farma) trackerów

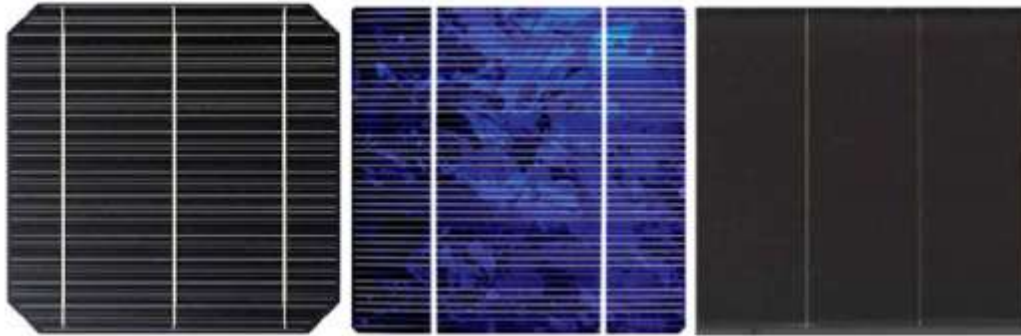
3. Podstawowe informacje o fotowoltaice



Patrząc na różne instalacje fotowoltaiczne można zauważyć, że mają one różne kolory i odcienie. Jedne są bordowe, inne ciemnogrnatowe do czarnych, jeszcze inne bardziej niebieskie z wyraźnymi kryształami. Warto wiedzieć, że kolor ogniwa zależy od technologii produkcji oraz użytego materiału. Obecnie około 85% ogniw dostępnych na rynku zbudowana jest z krzemu. Wśród nich wyróżniamy:

- Ogniwa monokrystaliczne - wykonane z jednego monolitycznego kryształu krzemu. Charakteryzują się wysoką sprawnością, zazwyczaj 18-22%, oraz niestety wysoką ceną. Posiadają charakterystyczny ciemny kolor.
- Ogniwa polikrystaliczne, wykonane z wykryształizowanego krzemu. Charakteryzują się sprawnością w przedziale 14-18% oraz umiarkowaną ceną. Zazwyczaj posiadają charakterystyczny niebieski kolor i wyraźnie zarysowane kryształy krzemu.
- Ogniwa amorficzne, wykonane z bezpostaciowego, niewykryształizowanego krzemu. Charakteryzują się niską sprawnością (w przedziale 6-10%), ale za to niską ceną. Zazwyczaj posiadają charakterystyczny, lekko bordowy kolor i brak widocznych

kryształów krzemu.



Od lewej - ogniwo krzemowe monokrystaliczne, polikrystaliczne, amorficzne

Obecnie obserwuje się szybki rozwój tzw. ogniw fotowoltaicznych drugiej generacji:

- Ogniwa CdTe wykonane z wykorzystaniem półprzewodnikowego tellurku kadmu CdTe. W tej technologii zazwyczaj cały moduł zbudowany jest z jednego ogniwa, a jego sprawność wynosi 10-14%. Ale amerykańska firma First Solar podała niedawno, że w swojej fabryce w Ohio wyprodukowała ogniwo CdTe o sprawności 21,5% i ma nadzieję na dalszy wzrost jego sprawności. Z uwagi na bardzo niskie zużycie półprzewodnika ogniwa oparte o tellurek kadmu charakteryzują się dobrym stosunkiem ceny do mocy.
- Ogniwa CIGS wykonane z mieszaniny półprzewodników takich jak miedź, ind, gal i selen, tzw. CIGS. W tej technologii bardzo często cały moduł zbudowany jest z jednego ogniwa, a jego sprawność wynosi 12-14%. W przypadku ogniw opartych o CIGS możliwa jest produkcja metodą przemysłowego nadruku, który jest bardzo tanim i wydajnym sposobem produkcji ogniw.



Od lewej - ogniwo CIGS i ogniwo CdTe

Ogniwa CdTe, CIGS, a także niektóre ogniwa z krzemu amorficznego to tak zwane ogniwa cienkowarstwowe, w których warstwa aktywnego półprzewodnika ma grubość kilku mikrometrów, czyli jest blisko 100 razy cieńsza niż w przypadku ogniw z krzemu, poli- czy monokrystalicznego. Cienkowarstwowe ogniwa II generacji dzięki znacznej redukcji zużycia półprzewodników charakteryzują się korzystnym stosunkiem ceny do mocy.

Warto wiedzieć, że obecnie znane są już ogniwa o efektywności (na razie tylko w warunkach laboratoryjnych) powyżej 40%. Jednak powszechnie stosowane dotychczas i masowo produkowane ogniwa osiągają efektywność do około 20%.

Prowadzone są również badania nad ogniwami polimerowymi i organicznymi (zwanymi ogniwami III generacji), które mimo mniejszej efektywności miałyby korzystniejszy stosunek energii do ceny wytworzenia. Obiecująco wyglądają też badania pod kątem wykorzystania do produkcji tanich ogniw słonecznych materiałów (minerałów) określanych jako perowskity. W marcu 2014 r. polska fizyk Olga Malinkiewicz za pracę nad ich wykorzystaniem w fotowoltaice otrzymała główną nagrodę w prestiżowym konkursie naukowym Photonics 21.

Amerykański Massachusetts Institute of Technology (MIT) poinformował o opracowaniu nowego typu ogniwa węglowego, które może pracować dla zakresu widma odpowiadającemu podczerwieni. Konwencjonalne ogniwa krzemowe nie wykorzystują tego zakresu widma fali. Łącząc krzemowe ogniwa słoneczne oraz składające się jedynie z węgla nowe ogniwa, opracowane przez profesora Michaela Strano i jego zespół z MIT, można wykorzystać cały zakres widma światła. Materiał jest przezroczysty dla światła widzialnego, stąd tradycyjne komórki fotoogniw można łączyć z węglowymi za pomocą nakładania jednej warstwy na drugą. Profesor Strano uważa jednak, że technologia węglowa wymaga jeszcze dopracowania. Badania dotyczą dwóch form węgla, nanorurek węglowych oraz węgla C60, czyli formy znanej jako fulleren. Nanorurki węglowe oferują niesamowite możliwości zwiększenia wydajności ogniw słonecznych i zdaniem wielu naukowców być może są przyszłością fotowoltaiki.

Dostępne na rynku (również w Polsce) są rozwiązania, pozwalające na wytwarzanie tzw. przeziernych (przezroczystych) paneli fotowoltaicznych zatopionych w taflach szklanych i służących do produkcji szyb okiennych, nadających się do montażu w oknach, na elewacjach budynków czy w przezroczystych świetlikach. Konstruowane są również hybrydowe panele słoneczne, złożone z dwóch warstw – pierwsza to przezroczyste ogniwo fotowoltaiczne produkujące prąd, druga to kolektor słoneczny wytwarzający ciepło. Dostępne na rynku są także panele fotowoltaiczne w kształcie dachówek (funkcjonują pod nazwami dachówki PV, dachówki solarne itp.), które mogą być równocześnie pokryciem dachowym i solarną elektrownią.



Pokrycie dachowe z dachówek solarnych

Czy powyższe informacje oznaczają, że lepiej jest wstrzymać się z działaniami zmierzającymi do instalowania elektrowni słonecznych do czasu upowszechnienia się tych najnowszych technologii? Każdy musi na to pytanie odpowiedzieć sobie sam, ale wydaje się, że jest to dylemat podobny do tego, jaki mamy z komputerami. Wiemy, że co roku pojawiają się coraz lepsze modele, często też coraz tańsze, więc mamy wybór – kupić aktualny model i z niego korzystać i rozwijać się, często też zarabiać dzięki niemu, czy czekać na nowsze, lepsze i czasami tańsze urządzenia i rozwiązania? Chyba jednak wybór powinien paść na rozwiązanie pierwsze, czyli inwestycję w solarną elektrownię teraz, o ile mamy ku temu warunki, a rachunek ekonomiczny wykaże, że zamortyzuje się ona w sensownym czasie. Dla wielu argumentem za takim działaniem będzie też chęć działania na rzecz ochrony środowiska oraz świadomość pewnej niezależności od dostawcy prądu i jego dyktatu cenowego.

4. Jak wykorzystywana jest fotowoltaika

Ogniwa fotowoltaiczne wykorzystywane są przez człowieka już od wielu lat. Pierwsze profesjonalne zestawy ogniw zaczęto instalować na statkach kosmicznych oraz w technologiach wojskowych, a następnie, jak często bywa, ta technologia zaczęła znajdować zastosowanie do celów cywilnych, czyli zasilania w energię elektryczną wielu urządzeń codziennego użytku. W powszechnym użyciu znajdują się np. kalkulatory zasilane energią Słońca, solarne znaki drogowe podświetlane lampami LED, jachty i statki morskie korzystają z tej energii do zasilania swoich urządzeń elektrycznych. Po oceanach pływa już też wielki statek morski zasilany energią słoneczną i budowane są następne. Świat przemierza obecnie ogromny samolot Solar Impulse 2 zasilany wyłącznie energią słoneczną. Testuje się elektryczne samochody pokryte panelami słonecznymi doładowującymi baterie, powstają systemy solarnych lamp ulicznych, w sprzedaży są solarne ładowarki do laptopów, telefonów komórkowych i innych urządzeń elektronicznych.



Bydgoski tramwaj wodny „Słonecznik” zasilany energią słoneczną

Bydgoska firma FROSTA od wielu już lat eksploatuje elektrownię słoneczną o powierzchni około 600 m² i mocy nominalnej 80,5 kW, używając energii do zasilania silników elektrycznych napędzających urządzenia chłodnicze (zdjęcie poniżej). Elektrownia zbudowana jest z krzemowych ogniw fotowoltaicznych, które przetwarzają promieniowanie słoneczne na energię elektryczną. Panele na dachu chłodni pozwalają zaoszczędzić nawet do 30% energii zużywanej do wychłodzenia mroźni.



Elektrownia słoneczna na dachu chłodni firmy FROSTA w Bydgoszczy

Ostatnio coraz częściej instaluje się panele fotowoltaiczne o dużych powierzchniach (i tym samym dużych mocach) do produkcji prądu czy to na własne potrzeby (domowe lub produkcyjne), czy do wprowadzenia do sieci energetycznej (sprzedaż energii elektrycznej dystrybutorowi). Coraz poważniej przez dużych inwestorów rozważane są plany budowy profesjonalnych elektrowni słonecznych o wielkich powierzchniach. Np. PGE Energia Odnawialna uruchamia na górze Żar (województwo śląskie) pilotażową elektrownię fotowoltaiczną o mocy 200 kW. Nowy terminal lotniska na Okęciu w dużym stopniu zasilany jest w prąd z instalacji fotowoltaicznej. Wkrótce ruszy farma fotowoltaiczna zbudowana na

działce o powierzchni ok. 2 ha w Długim Kącie koło Biłgoraja, której moc docelowo ma wynosić 1 MW. Spółka „Zielone Słońce” uruchomiła w Wielkopolsce 15 stycznia 2015 roku farmę fotowoltaiczną o mocy 0,9 MW w gminie Kwilicz. W RSP Lubosina, również w Wielkopolsce, działa farma o mocy 40 KW.

Wiele wskazuje na to, że niebawem panele fotowoltaiczne na polskich domach staną się tak powszechnym widokiem, jak w np. w Niemczech, chociaż jeszcze dzisiaj dom, który ma własne źródło prądu, to rzadkość.



Dom jednorodzinny z panelami słonecznymi na dachu – własne źródło prądu

Zdaniem ekspertów już niedługo domowa elektrownia słoneczna nie będzie nikogo dziwiła. Koszty poniesione na inwestycję w urządzenia do wytwarzania energii elektrycznej zapoczątkują nie tylko niższymi rachunkami, ale pozwolą też zarobić. Inwestycja w słoneczne źródło energii będzie się zwracać coraz szybciej. Stało się to realne i możliwe dzięki wsparciu państwa zapisanemu w Ustawie z 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (tak zwana Ustawa o OZE). Ustawa ta określa między innymi zasady i warunki wytwarzania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii, mechanizmy i instrumenty wspierające wytwarzanie tej energii oraz zasady realizacji krajowego planu działania w zakresie OZE. Ustawa o OZE staje się istotnym elementem wprowadzania w życie koncepcji budowy w Polsce energetyki rozproszonej, ale zintegrowanej w jedną sieć, składającej się z wielu różnorodnych źródeł energii przyłączonych do ogólnopolskiej sieci. Te źródła to zarówno bloki elektrociepłowni opartych na węglu kamiennym i brunatnym, na gazie ziemnym, w przyszłości prawdopodobnie zastępowanych przez energetykę jądrową, jak i energetyka ze źródeł odnawialnych - wiatrowa, wodna, oparta o biomasę oraz energetyka słoneczna. Zdaniem ekspertów koncepcja taka zapewni nam stabilność systemu zaopatrzenia Polski w energię, uniezależni ją od politycznych wpływów dostawców surowców do jej wytwarzania, zapewni bezpieczeństwo energetyczne, poprawi poziom samowystarczalności energetycznej kraju, korzystnie wpłynie na środowisko przyrodnicze, a także ożywi naszą gospodarkę.

Największe możliwości wykorzystania energii Słońca mają mieszkańcy terenów wiejskich, a zwłaszcza rolnicy. Otwarte przestrzenie, duża ilość i duże powierzchnie korzystnie usytuowanych połaci dachowych na budynkach mieszkalnych i gospodarskich, duże potrzeby energetyczne (na potrzeby domowe i produkcyjne) – to istotne przesłanki do tego, aby wykorzystać sprzyjające warunki, jakie stworzyła ustawa o OZE. Pewną barierą, która może spowolnić procesy inwestycyjne w fotowoltaikę na wsi, jest fakt, że ciągle duża ilość pokryć dachowych na wsiach to rakotwórcze materiały azbestowe. A warto pamiętać, że Polska realizuje obecnie **Program Oczyszczania Kraju z Azbestu**. Głównym celem Programu jest **usunięcie i unieszkodliwienie wyrobów zawierających azbest do 2032 r.** W związku z tym nie warto na pokryciach azbestowych instalować paneli fotowoltaicznych. Również zgodnie z przepisami ekipy montażowe nie mogą prowadzić żadnych prac powodujących uwalnianie się włókien azbestu. W sytuacji, gdy planowane jest instalowanie paneli fotowoltaicznych na połaciach dachowych pokrytych azbestem, warto połączyć tę inwestycję z wcześniejszym usunięciem azbestu.

5. System off-grid czy system on-grid (inaczej grid-connected)?

Do czasu uchwalenia ustawy o OZE można było rozważać wybór między dwoma systemami instalowania własnego źródła energii. **System typu „off-grid”** to system autonomiczny, działający bez podłączenia do sieci elektrycznej. Składa się ze źródła prądu, czyli paneli fotowoltaicznych, własnej sieci łączącej źródło prądu z odbiornikami, oraz z bufora, czyli baterii akumulatorów. Gdy źródło prądu pracuje, a odbiorniki są wyłączone lub nie wykorzystują w pełni możliwości paneli, nadwyżka prądu gromadzona jest w akumulatorach. W sytuacji, gdy odbiorniki potrzebują więcej energii niż aktualnie panele jej wytwarzają, energia pobierana jest także (lub tylko) z akumulatorów. Wadą tego systemu jest wysoki koszt akumulatorów, ich ograniczona żywotność i konieczność okresowej obsługi, a następnie wymiany. Ale system ten dobrze sprawdza się na obiektach mobilnych (łodziach, statkach, przyczepach kempingowych itp.).

System „on-grid” jest systemem połączonym z siecią energetyczną. Charakteryzuje się połączeniem paneli bezpośrednio z inwerterem, który zamienia prąd stały, wytworzony przez moduły, na prąd przemienny o parametrach jednakowych z dostarczonym z sieci energetycznej. W ten sposób wytworzoną energię możemy wykorzystywać przez cały czas pracy modułów, a niewykorzystaną energię oddać do sieci. W tym systemie sieć pełni funkcję swego rodzaju magazynu energii, czyli akumulatora, o praktycznie nieograniczonej pojemności. Ustawa o OZE zakłada taką możliwość na bardzo atrakcyjnych warunkach zarówno jeśli chodzi o system rozliczeń (będzie to tzw. net-metering), jak i o stawki za jednostkę energii.

6. A może spółdzielnie energetyczne?

Przewidując gwałtowny rozwój energetyki ze źródeł odnawialnych w Polsce, warto korzystać z różnych ciekawych rozwiązań i doświadczeń naszych zachodnich sąsiadów. Tam na przykład obywatele produkujący energię z OZE coraz częściej organizują się we wspólnoty zajmujące się zaopatrzeniem okolicznych mieszkańców w prąd i ciepło. Większość tych wspólnot przyjmuje formę spółdzielni. „Spółdzielnie energetyczne” nie tylko zaopatrują swoich członków w energię, ale także zarabiają na sprzedaży jej do sieci. W zdecydowanej

większości członkami takich organizacji są rolnicy, bo to oni dysponują terenami czy powierzchniami do instalowania siłowni wiatrowych czy solarnych, są producentami biomasy do spalania czy produkcji biogazu. Okoliczni mieszkańcy, korzystający z dostaw tańszego ciepła czy prądu, bez większych oporów tolerują wszelkie uciążliwości wynikające z obecności w swoim otoczeniu instalacji do ich wytwarzania (głównie chodzi o biogazownie i siłownie wiatrowe). Polscy rolnicy też mają te atuty – duże połacie dachowe skierowane na południe na swoich domach mieszkalnych, jeszcze większe na zabudowaniach gospodarczych, mają tereny do solarnych instalacji naziemnych, no i płacą niemałe rachunki za zużytą w domu i gospodarstwie energię elektryczną. Brakuje jedynie jasnych ram prawnych do podobnej jak w Niemczech współpracy oraz dobrych doświadczeń wzajemnej współpracy w obszarach innych niż produkcja rolna.



Instalacja solarna na dachu wiaty na sprzęt rolniczy (*źródło – RAWICOM*)



Instalacja solarna na dachu wiaty na słomę (źródło – RAWICOM)



Naziemna instalacja solarna – okolice Łabiszyna (źródło – RAWICOM)

7. Prosument – nowe pojęcie

Słowo „prosument” weszło do polskiego języka niedawno. Oznacza ono kogoś, kto jednocześnie jest i producentem energii elektrycznej, i zarazem jej konsumentem (czyli jest to zbitka dwóch słów – producent i konsument). Oficjalnie słowo to zaistniało dzięki programowi Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej o tej nazwie i z charakterystycznym logo.



Celem programu „*Wspieranie rozproszonych, odnawialnych źródeł energii Prosument - linia dofinansowania z przeznaczeniem na zakup i montaż mikroinstalacji odnawialnych źródeł energii*” jest ograniczenie lub uniknięcie emisji CO₂ w wyniku zwiększenia produkcji energii z odnawialnych źródeł, poprzez zakup i montaż małych instalacji lub mikroinstalacji odnawialnych źródeł energii, do produkcji energii elektrycznej lub ciepła i energii elektrycznej dla osób fizycznych oraz wspólnot lub spółdzielni mieszkaniowych. Program promuje nowe technologie OZE oraz postawy prosumenckie (podniesienie świadomości inwestorskiej i ekologicznej). Program wpływa także na rozwój rynku dostawców urządzeń i instalatorów oraz zwiększenie liczby miejsc pracy w tym sektorze. Jest kontynuacją i rozszerzeniem zakończonego w 2014 r. programu „*Wspieranie rozproszonych, odnawialnych źródeł energii. Część 3) Dopłaty na częściowe spłaty kapitału kredytów bankowych przeznaczonych na zakup i montaż kolektorów słonecznych dla osób fizycznych i wspólnot mieszkaniowych*”.

Dofinansowanie przedsięwzięć obejmuje zakup i montaż nowych instalacji i mikroinstalacji odnawialnych źródeł energii do produkcji:

- energii elektrycznej lub
- ciepła i energii elektrycznej (połączone w jedną instalację lub oddzielne instalacje w budynku),

dla potrzeb budynków mieszkalnych jednorodzinnych lub wielorodzinnych, w tym dla wymiany istniejących instalacji na bardziej efektywne i przyjazne środowisku. Program nie przewiduje dofinansowania dla przedsięwzięć polegających na zakupie i montażu wyłącznie instalacji źródeł ciepła. Beneficjentami programu będą osoby fizyczne, spółdzielnie mieszkaniowe, wspólnoty mieszkaniowe oraz jednostki samorządu terytorialnego i ich związki.

Efektem ekologicznym programu ma być coroczne ograniczenie emisji CO₂ w wysokości 215 000 Mg oraz roczna produkcja energii z odnawialnych źródeł 470 000 MWh.

Budżet programu wynosi 800 mln zł na lata 2014-2022 z możliwością zawierania umów pożyczek (kredytu) do 2020 r.

Z programu finansowane będą instalacje do produkcji energii elektrycznej lub ciepła i energii elektrycznej wykorzystujące:

- źródła ciepła opalane biomasą, pompy ciepła oraz kolektory słoneczne o zainstalowanej mocy cieplnej do 300 kWt,
- systemy fotowoltaiczne, małe elektrownie wiatrowe, oraz układy mikrokogeneracyjne (w tym mikrobiogazownie) o zainstalowanej mocy elektrycznej do 40 kWe.

Podstawowe zasady udzielania dofinansowania:

- pożyczka/kredyt preferencyjny wraz z dotacją łącznie do 100% kosztów kwalifikowanych instalacji,
- dotacja w wysokości 20% lub 40% dofinansowania (15% lub 30% po 2015 r.),
- maksymalna wysokość kosztów kwalifikowanych 100 tys. zł - 450 tys. zł, w zależności od rodzaju beneficjenta i przedsięwzięcia,
- określony maksymalny jednostkowy koszt kwalifikowany dla każdego rodzaju instalacji,
- oprocentowanie pożyczki/kredytu: 1%,
- maksymalny okres finansowania pożyczką/kredytem: 15 lat.
- wykluczenie możliwości uzyskania dofinansowania kosztów przedsięwzięcia z innych środków publicznych

Program będzie wdrażany na trzy sposoby:

a) dla jednostek samorządu terytorialnego (jst) i ich związków

- pożyczki wraz z dotacjami dla jst,
- wybór osób fizycznych, wspólnot mieszkaniowych lub spółdzielni mieszkaniowych (dysponujących lub zarządzających budynkami wskazanymi do zainstalowania małych lub mikroinstalacji OZE) należy do jst,
- nabór wniosków od jst w trybie ciągłym, prowadzony przez NFOŚiGW,
- kwota pożyczki wraz z dotacją \geq 1000 tys. zł.

b) za pośrednictwem banków

- środki udostępnione bankom, z przeznaczeniem na udzielanie kredytów bankowych łącznie z dotacjami,
- nabór wniosków od osób fizycznych, wspólnot i spółdzielni mieszkaniowych, w trybie ciągłym, prowadzony przez banki.

c) za pośrednictwem WFOŚiGW

- środki udostępnione WFOŚiGW z przeznaczeniem na udzielenie pożyczek łącznie z dotacjami,
- nabór wniosków od osób fizycznych, wspólnot i spółdzielni mieszkaniowych, w trybie ciągłym, prowadzony przez wojewódzkie fundusze, które podpiszą umowy z NFOŚiGW.

Dotacja w programie NFOŚiGW „Prosument” w wysokości 40% wydaje się bardzo atrakcyjna i wiele firm instalujących urządzenia solarne odnotowuje dzięki niemu zwiększone zainteresowanie potencjalnych inwestorów. Jednak po dokładnej analizie warunków otrzymania dotacji okazuje się, że rzeczywista wysokość dotacji (tzw. dotacja netto) jest dużo niższa niż deklarowane w programie 40%. Poniżej przykładowe wyliczenie kosztów uzyskania dotacji dla hipotetycznej instalacji solarnej o wartości 20 000 zł.

Koszty kwalifikowane	20 000 zł	100%
Dotacja brutto	8 000 zł	40%
Dodatkowa marża firmy instalacyjnej	2 000 zł	10%
Podatek dochodowy od dotacji (18%)	1 440 zł	7%
Koszt projektu instalacji (obligatoryjny)	850 zł	4%
Koszty przygotowania dokumentacji dla banku	450 zł	2%
Prowizja banku	360 zł	2%
Dotacja netto	2 900 zł	15%

8. Jakie rozwiązania dla prosumentów wnosi Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Ustawa o OZE)

Obecnie pojęcia „prosument” używa się najczęściej w kontekście Ustawy o OZE określając tym mianem właściciela mikroinstalacji, czyli instalacji odnawialnego źródła energii o łącznej mocy elektrycznej nie większej niż 40 kW, przyłączonej do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV, który wytwarza energię elektryczną na własne potrzeby, a nadwyżki odprowadza do sieci i sprzedaje firmie dystrybucyjnej.

Ustawa definiuje m.in. takie pojęcia właśnie jak mikroinstalacja (czyli odnawialne źródło energii o łącznej mocy elektrycznej do 40 kW) oraz mała instalacja (od 40 do 200 kW), definiuje też samo pojęcie odnawialnego źródła energii. OZE to w myśl ustawy „odnawialne, niekopalne źródło energii obejmujące energię wiatru, energię promieniowania słonecznego, energię aerotermalną, energię geotermalną, energię hydrotermalną, hydroenergię, energię fal, prądów i pływów morskich, energię otrzymywaną z biomasy, biogazu, biogazu rolniczego oraz z biopłynów”.

Bardzo istotnym zapisem ustawy (art. 4) jest stwierdzenie, że „**Wytwórca energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w mikroinstalacji będący osobą fizyczną niewykonywającą działalności gospodarczej ... , który wytwarza energię elektryczną w celu jej zużycia na własne potrzeby, może sprzedawać niewykorzystaną energię elektryczną wytworzoną przez niego w mikroinstalacji i wprowadzoną do sieci dystrybucyjnej**”. I co jest również bardzo ważne – „**Wytwarzanie i sprzedaż energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii ... w mikroinstalacji nie stanowi działalności gospodarczej w rozumieniu ustawy o swobodzie działalności gospodarczej**”. Ale w myśl art. 7 ustawy o OZE wytwarzanie energii w małej instalacji, czyli od 40 kW do 200 kW, jest już działalnością gospodarczą regulowaną i wymaga wpisu do rejestru wytwórców wykonujących działalność gospodarczą w zakresie małych instalacji. Jednak, zgodnie z zapisem art. 3 ustawy o OZE, podjęcie i wykonywanie działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania energii elektrycznej z OZE w mikroinstalacji i w małej instalacji (a także z biogazu rolniczego i z biopłynów) **nie wymaga uzyskania koncesji określonej w ustawie Prawo energetyczne**.

Wytwórca energii elektrycznej w mikroinstalacji musi pamiętać o obowiązku pisemnego poinformowania operatora systemu elektroenergetycznego, do którego sieci chce się przyłączyć, o terminie przyłączenia mikroinstalacji, jej planowanej lokalizacji i jej mocy, nie później niż 30 dni przed dniem planowanego przyłączenia.

Ustawa wprowadziła też pojęcie „sprzedawcy zobowiązanego”, którym jest wyznaczony przez Prezesa URE sprzedawca energii elektrycznej, na którym spoczywa **obowiązek zakupu**

energii elektrycznej, wytworzonej w mikroinstalacji i niewykorzystanej przez wytwórcę. **Obowiązek zakupu energii elektrycznej wytworzonej z OZE w mikroinstalacji, ale po raz pierwszy, powstaje od pierwszego dnia wprowadzenia tej energii do sieci dystrybucyjnej i trwa przez okres kolejnych 15 lat, nie dłużej jednak niż do 31 grudnia 2035 roku.**

Niezwykle ważne dla prosumenta są zapisy ustawy mówiące o tym, że „sprzedawca zobowiązany” musi energię z mikroinstalacji wytworzoną z OZE kupić i to **po określonej stałej cenie jednostkowej**. Jest to tzw. „cena gwarantowana”. Cena ta **dla mikroinstalacji o mocy do 3 kW włącznie** wynosi:

- dla energii promieniowania słonecznego – 0,75 zł za 1 kWh,
- dla energii wiatru na lądzie - 0,75 zł za 1 kWh,
- dla hydroenergii - 0,75 zł za 1 kWh.

Gwarantowana cena zakupu prądu z mikroinstalacji do 3 kW obowiązuje do momentu, gdy łączna moc oddanych do użytku źródeł (nie tylko ze źródeł solarnych!) nie przekroczy w całym kraju 300 MW.

Gwarantowana cena zakupu prądu z **mikroinstalacji o mocy powyżej 3 kW do 10 kW włącznie** wynosi:

- dla energii promieniowania słonecznego – 0,65 zł za 1 kWh,
- dla energii wiatru na lądzie - 0,65 zł za 1 kWh,
- dla hydroenergii - 0,65 zł za 1 kWh,
- dla biogazu rolniczego – 0,70 zł za 1 kWh.

Gwarantowana cena zakupu prądu z mikroinstalacji o mocy powyżej 3 kW do 10 kW włącznie obowiązuje do momentu, gdy łączna moc oddanych do użytku źródeł (nie tylko ze źródeł solarnych!) nie przekroczy w całym kraju 500 MW. Jak więc widać, taryfy gwarantowane dla mikroinstalacji dostępne będą dla tych, którzy zgłoszą je do „sprzedawcy zobowiązanego”, nim łączna moc przyłączonych mikroinstalacji nie przekroczy 800MW.

Uwaga!

Ustawa zastrzega jednak, że ta wysokość cen może zostać przez Ministra Gospodarki zmieniona odpowiednim rozporządzeniem, gdy znacząco zmienią się technologie wytwarzania prądu z OZE lub zmieni się polityka energetyczna państwa.

Bardzo istotnym, korzystnym dla prosumenta zapisem Ustawy o OZE jest tzw. net-metering. **Net-metering** to sposób rozliczania (bilansowania) co pół roku ilości energii elektrycznej oddanej do sieci, a ilością energii z tej sieci pobranej. Rozliczenia tego dokonuje się na podstawie wskazań urządzeń pomiarowo-rozliczeniowych. Taki system pozwala na traktowanie sieci energetycznej jako bardzo pojemnego i wygodnego magazynu czy też „akumulatora energii”, do którego „ładuje” się nadwyżki wyprodukowanej energii lub uzupełnia z niego jej niedobory.

9. Jak powinna wyglądać poprawna oferta wykonawcy instalacji solarnej

Planując budowę mikroinstalacji solarnej warto najpierw określić jej pożądaną moc nominalną. Na ogół wylicza się ją na podstawie dotychczasowego zużycia energii elektrycznej w skali roku (takich danych dostarczą nam rachunki za prąd). Wielkość tę zwiększamy w przypadku planowania eksploatacji nowych odbiorników energii, np. wykorzystania prądu do ogrzewania wody, zasilania klimatyzacji czy zasilania pomp ciepła. Znając oczekiwaną moc instalacji solarnej można określić potrzebną powierzchnię paneli słonecznych, uwzględniając lokalne warunki nasłonecznienia (choć najczęściej przyjmuje się wielkości średnie dla Polski, czyli 1000 W/m^2), rodzaj i sprawność modułów oraz możliwą ich lokalizację. Trzeba wcześniej wybrać najlepszą dostępną w naszych warunkach lokalizację i rodzaj instalacji – czy będzie to skierowana na południe połącz dachowa (najlepiej o nachyleniu $30 - 32^\circ$), czy będzie to instalacja rusztowa usadowiona na gruncie, czy będzie to tracker. Wiedzieć musimy, że instalacja solarna nie może być zacieniana, nawet częściowo czy okresowo, bo to bardzo obniża jej sprawność. Planując lokalizację instalacji warto pamiętać, że nawet niewielkie dzisiaj drzewa za kilka czy kilkanaście lat będą duże i mogą nam zacienić panele. W przypadku, gdy nie jesteśmy właścicielami działek położonych w bezpośrednim sąsiedztwie planowanej instalacji, dobrze jest znać plany ich zagospodarowania w celu upewnienia się, że nie pojawią się na nich obiekty mogące zasłaniać Słońce. Przy wszystkich tych czynnościach warto zasięgnąć rady doświadczonych instalatorów.

Istnieją narzędzia ułatwiające określanie szeregu potrzebnych parametrów związanych z budową systemu fotowoltaicznego. Popularny jest np. dostępny w Internecie kalkulator systemów PV – „PvCalc v.1.1”. Wprowadzając potrzebne dane do kalkulatora można obserwować ich wpływ na poszczególne parametry systemu. Przy obliczaniu mocy systemu pod uwagę brane są:

- sposób instalacji, czyli ustawienie w pionie i poziomie,
- rodzaj instalacji – system nieruchomy/system na trackerze,
- stopień pokrycia zapotrzebowania energetycznego (ilość energii wytwarzanej przez system w stosunku do ilości energii zużywanej),
- położenie geograficzne instalacji,
- moc oraz sprawność modułów użytych do budowy instalacji.

Dzięki kalkulatorowi łatwiej jest obliczyć:

- zapotrzebowanie energetyczne,
- wielkość (moc) systemu fotowoltaicznego,
- ilość potrzebnych modułów solarnych,
- powierzchnię zajmowaną przez system.

Przykładowe wyliczenie z zastosowaniem kalkulatora PvCalc dla typowej instalacji solarnej

Wprowadzone parametry (w trybie automatycznym):

Ilość mieszkańców – 4 osoby

Średnie zużycie energii na osobę – 650 kWh

Zakładany stopień pokrycia zapotrzebowania – 100%

Rodzaj i sposób instalacji – system nieruchomy zainstalowany pod kątem 30°

Lokalizacja systemu – region kujawsko-pomorski

Zastosowane moduły – moc 200 W, sprawność 18%

Wyniki:

Zużycie energii – 2600 kWh

Zapotrzebowanie energetyczne – 2600 kWh (100%)

Powierzchnia modułu – 1,1 m²

Wymagana liczba paneli – 12 sztuk

Moc elektrowni solarnej – 2400 Wp

Powierzchnia zajmowana przez moduły – minimum 13,3 m²

Mając orientację co do naszych oczekiwań w stosunku do planowanej instalacji można rozpocząć poszukiwania jej wykonawcy, kierując się udokumentowanym doświadczeniem poszczególnych wykonawców, ich renomą na rynku, jakością i profesjonalizmem oferty itp. Po wyborze wykonawcy instalacji solarnej powinniśmy oczekiwać od niego kompletnej oferty przygotowanej indywidualnie dla naszych potrzeb i warunków. Oferta powinna zawierać co najmniej następujące elementy:

1. Zakres czynności doradczych i projektowych :

- sporządzenie koncepcyjnego projektu instalacji elektrowni fotowoltaicznej,
- specyfikacja techniczna wykonania i odbioru robót,
- dokonanie uzgodnień dokumentacji projektowej z Zakładem Energetycznym,
- uzyskanie w imieniu Zamawiającego i na jego rzecz, wszelkich opinii, uzgodnień, pozwoleń, opinii i decyzji administracyjnych niezbędnych do projektowania i rozpoczęcia części wykonawczej,
- ewentualne wykonanie koncepcji realizacji instalacji elektrowni fotowoltaicznej na potrzebę pozyskania dofinansowania,
- koncepcja zawierać powinna niezbędną dokumentację techniczną wraz z niezbędnymi danymi finansowymi określającymi szacowaną wartość inwestycji.

2. Etapy realizacji elektrowni fotowoltaicznej stanowiące następujące roboty budowlane:

- przygotowanie terenu (połaci dachowej lub gruntu) pod inwestycję,
- dostawa i montaż konstrukcji nośnej,
- dostawa i montaż paneli fotowoltaicznych,

- okablowanie urządzeń,
- dostawa i montaż inwerterów ,
- dostawa i montaż szaf głównych – elektrycznych.

3. Specyfikacje techniczne kluczowych elementów elektrowni fotowoltaicznej:

- konstrukcji nośnej lub w przypadku instalacji nadążnej - trackera,
- modułów fotowoltaicznych (istotna jest ich moc maksymalna, tolerancja mocy, sprawność modułu – wszystko to w określonych warunkach nasłonecznienia i temperatury ogniwa,
- inwerterów.

4. Cenę całego systemu fotowoltaicznego oraz warunki płatności.

5. Gwarancje (na poszczególne elementy oraz na cały system).

6. Warunki ubezpieczenia i serwisowania systemu.

Większość dostawców systemów fotowoltaicznych podaje w swojej ofercie także analizę ekonomiczną pokazującą szacowane wielkości roczne produkcji energii, prognozowane roczne przychody z instalacji uwzględniające spadek sprawności modułów, roczne koszty ubezpieczenia i serwisu oraz roczne zyski. Można wówczas określić okres zwrotu kosztów instalacji systemu oraz narastająco zyski.

10. Jakimi przesłankami kierować się przy wyborze modułu fotowoltaicznego do mikroinstalacji?

Przy wyborze modułów do mikroinstalacji nie należy raczej kierować się rozwiązaniami stosowanymi w wielkich, profesjonalnych instalacjach, bo nie każde rozwiązanie, które na nich dobrze się spisuje, będzie odpowiednie dla kilkuwatowej elektrowni.

1. Warto wybierać moduły fotowoltaiczne w ramach. Moduły bez ramek są co prawda tańsze i często stosowane w przypadku modułów cienkowarstwowych, ale są one trudniejsze w poprawnym montażu i mniej odporne na uszkodzenia mechaniczne.
2. Wybierać moduły z powłoką antyrefleksyjną, bo dzięki niej dość istotnie zwiększa się ich wydajność. Ponadto moduły z szybą ARC (czyli z powłoką antyrefleksyjną) nie są istotnie droższe od zwykłych szyb niskożelazowych.
3. Do małej instalacji lepsze są moduły niskoprądowe i wysokonapięciowe. W małej instalacji często pojawia się problem zbyt niskiego napięcia, co obniża efektywność pracy falownika.
4. Warto sprawdzić, czy oferowane moduły posiadają stosowne certyfikaty.
5. Nie nadmiernie ufać bardzo długim, na 25 – 30 lat, gwarancjom. Jej wyegzekwowanie po kilkunastu latach wydaje się dość iluzoryczne i mało realne.
6. W przypadku instalacji modułów na dachach warto wybierać moduły o niskim temperaturowym wskaźniku mocy. Taki wskaźnik oznacza, że w upalne dni i przy słabej na ogół wentylacji instalacji na dachu spadek wydajności modułu nie będzie zbyt duży.
7. Raczej należy unikać modułów z krzemu amorficznego. Mają one niską sprawność, co wymaga większych powierzchni i podnosi koszty montażu, mają też bardzo niski prąd pracy wymagający licznych połączeń równoległych i co za tym idzie konieczność zabezpieczenia

każdego łańcucha modułów bezpiecznikami lub diodami blokującymi. Jedyną zaletą tych modułów jest ich niska cena jednostki mocy nominalnej.

8. Wybierać moduły testowane na zjawisko PID. Coraz częściej na kartach katalogowych można znaleźć informację, że dany moduł jest testowany pod kątem PID-u lub jest PID-free. Zjawisko PID stanowi realny problem w instalacjach fotowoltaicznych. Degradacja indukowanym napięciem (PID – Potential Induced Degradation) to w uproszczeniu utrata mocy przez moduł PV powodowana niewielkim wpływającym prądem przy wysokim napięciu. Jest to problem, który dotyczy zarówno moduły z krzemu krystalicznego jak i cienkowarstwowe. Problem PID-u to ciągle nowe i nie do końca poznane zjawisko, które początkowo obniża wydajność modułów, a gdy utrzymuje się dłużej, prowadzi do przyspieszonej degradacji ogniw i obniżenia uzysku energii.

Podsumowując – w przypadku mikroinstalacji najlepszym wyborem są moduły krzemowe mono- lub polikrystaliczne, o mocach około 200 Wp, albo moduły CIGS o mocach 130 Wp lub większych, ale o sprawności powyżej 12%.

