



„Energia słońca – aspekty ekologiczne i ekonomiczne.”

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Krzysztof Mientus

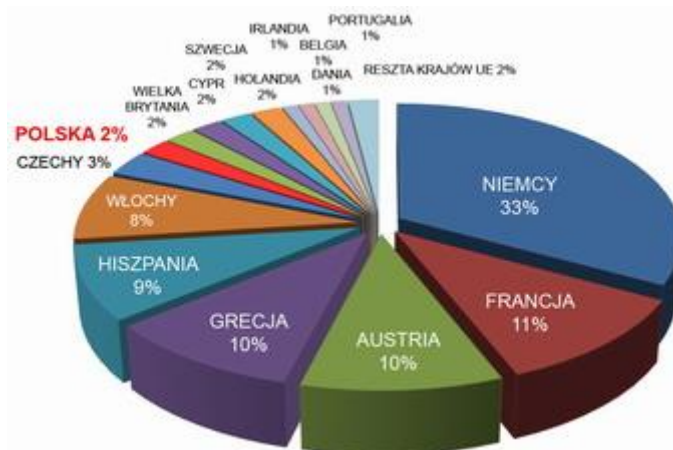
Spis treści

Energia słoneczna	3
Ogniwa fotowoltaiczne	6
Zasady doboru systemu i jego wydajność	7
Energia elektryczna pozyskana ze słońca w połączeniu z zasilaniem sieciowym (on- grid).....	8
Energia elektryczna pozyskana ze słońca bez zasilania sieciowego (off-grid)	9
Rodzaje instalacji paneli fotowoltaicznych	10
Recykling krzemowych ogniw i modułów fotowoltaicznych	14
Podsumowanie	16
Bibliografia	18

Energia słoneczna

Słońce jest gwiazdą naszego układu planetarnego, która wytwarza energię w procesach termojądrowych przemian wodoru w hel, zachodzących w niezwykle wysokiej temperaturze, która pochodzi z jądra słońca. Powstająca w wyniku tej konwersji energia wysyłana jako promieniowanie słoneczne dociera do górnej powierzchni atmosfery jako tzw. stała słoneczna w ilości $1,367 \text{ kW/m}^2$. Z czego około 20% promieniowania docierającego do powierzchni Ziemi jest przez atmosferę pochłaniane, 40% jest odbijane przez nią, a tylko 40% energii dociera do powierzchni planety gdzie jest wykorzystywana w procesie produkcji energii lub wykorzystywana dla innych potrzeb. Straty są spowodowane występowaniem gazów oraz pyłów znajdujących się w warstwach atmosfery ziemskiej. Innym dość ważnym aspektem jest eliptyczny kształt naszej planety, który powoduje że również oświetlenie jej powierzchni nie jest równomierne. Oświetlenie zależne jest pory roku, pory dnia i od szerokości geograficznej. Część docierającego promieniowania jest w różnej postaci. Część promieni słonecznych pada bezpośrednio na płaszczyznę podczas bezchmurnego nieba. Inna część zostaje rozproszona lub pochłonięta przez chmury. Część promieni zostaje także odbita od różnych przeszkód i ostatecznie dociera na płaszczyznę.

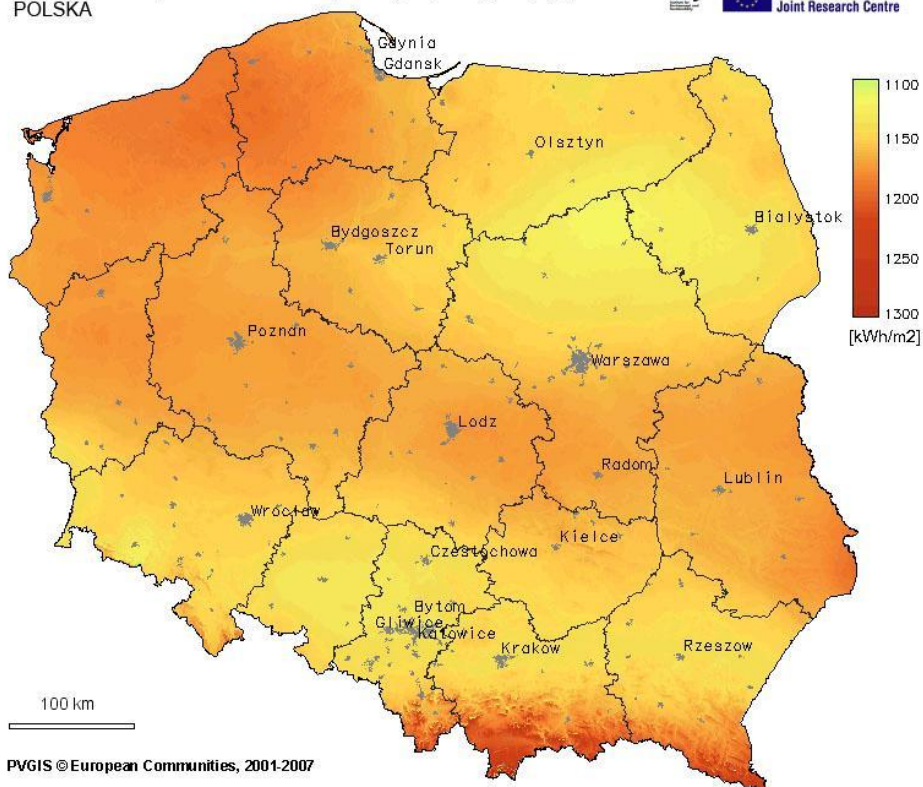
Europejskim liderem na rynku źródeł energii odnawialnej są Niemcy, gdzie również dużą rolę w gospodarce energetycznej pełnią elektrownie wiatrowe oraz inne źródła energetyczne nieemitujące zanieczyszczeń dla środowiska. Niemcy są krajem o bardzo zbliżonych warunkach nasłonecznienia do Polski. Europa północna z racji bliskości do bieguna w skali europejskiej dysponuje niższą wartością energii uzyskiwanej z promieniowania słonecznego, utrzymuje się na poziomie 900 - 1000 kWh/ m²/rok (kilowatogodziny z metra kwadratowego rocznie). Natomiast największe nasłonecznienie jest w południowej części kontynentu, gdzie wartość wynosi nawet do 2000 kWh/ m²/rok w rejonach basenu morza śródziemnego. Charakterystyka nasłonecznienia oraz zaangażowanie rynku poszczególnych państw w wykorzystanie energii pozyskanej z promieniowania słonecznego prezentuje poniższy wykres pochodzący z materiałów promujących Viedermann.



Rysunek 1 Liczba instalacji solarnych, źródło: Viedermann

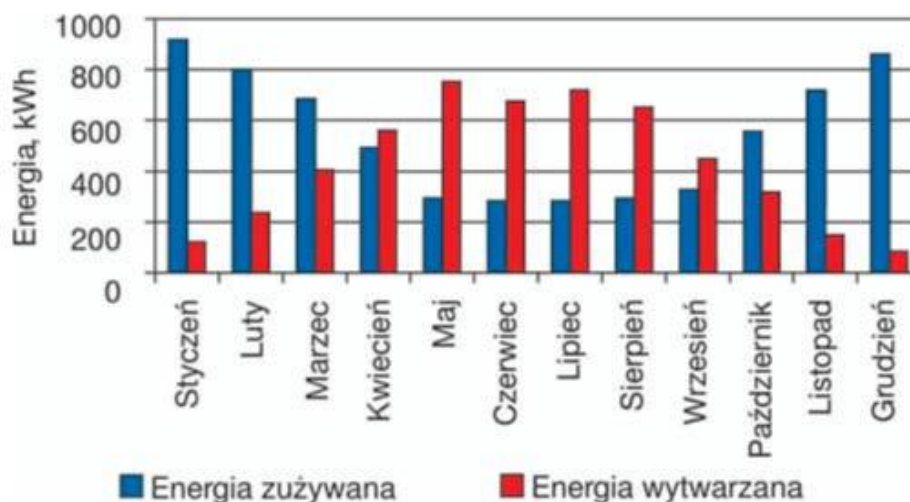
Zgodnie z zależnością w której roczne natężenie jest największe w okolicach równika. Te ilości otrzymywanej energii słonecznej są wykorzystywane na wiele sposobów wytwarzania energii elektrycznej ale również do magazynowania odbieranego ciepła zarówno w domkach rodzinnych, zabudowie mieszkaniowej, oświetleniu lokalizacji wyspowych gdzie niemożliwe jest tradycyjne zasilanie sieciowe oraz częściowo w przemyśle.

Ze względu na położenie geograficzne Polska posiada dość duże zasoby słoneczne w porównaniu z resztą Europy, co jest porównywane z takimi państwami jak: Niemcy, Czechy czy północna część Francji. Rozkład nasłonecznienia na całej powierzchni w naszym kraju jest bardzo równy.



Rysunek 2 Napromieniowanie w Polsce na płaszczyznę nachyloną optymalnie w skali roku, źródło: JRC Komisja Europejska

Ze względów geograficznych oraz klimatycznych w naszym kraju nie ma miejsc w których inwestowanie w energię słoneczną nie byłoby uzasadnione i opłacalne w dłuższej perspektywie czasu. Jedynym wyjątkiem mogą być rejony ze specyficznym mikroklimatem gdzie spotykane są częste zamglenia, utrzymujące się zanieczyszczenia powietrza lub zalegający się śnieg. Dlatego w planowaniu inwestycji w energię słoneczną ważnym elementem jest badanie warunków nasłonecznienia rejonu. Zdecydowana większość kraju ma nasłonecznienie ponad 1000 kWh/ m² w skali roku. Dobrze nasłonecznione są regiony nadmorskie, np. Gdańsk 1117 kWh/ m²/rok czy Szczecin 1137 kWh/ m²/rok. W środkowej części wartość ta jest rzędu: 1022 kWh/ m²/rok dla Warszawy, 1011 kWh/ m²/rok Poznań. Południe kraju wygląda następująco: 1053 kWh/ m²/rok Katowice, 1052 kWh/ m²/rok Kraków co częściowo zostało zobrazowane na wcześniejszej mapie na której naniesiono nasłonecznienie dla każdego rejonu. Niewielkie różnice między wartościami podawanymi w bibliografii są spowodowane przez sposób pomiaru. Wartości te mogą być mierzone dla płaszczyzny stacjonarnej oraz nadążnej, jest to problem poruszany w dalszej części. 80% całkowitej rocznej sumy nasłonecznienia przypada na okres od kwietnia do września i tylko pozostałe 20% przypada na okres pokrywający się z sezonem grzewczym.



Rysunek 3 Bilans energii dla domu z przykładowym systemem fotowoltaicznym, źródło: Energetyka

Poza rocznym nasłonecznieniem innym ważnym parametrem jest ilość godzin słonecznych, w których możliwe jest wykorzystanie energii słonecznej. Wartość ta określa w znaczącym stopniu, jak długo możemy korzystać z docierającej na powierzchnię energii i ile jej uzyskamy. Średnio rocznie w Polsce jest około cztery i pół tysiąca godzin słonecznych. Poniższa tabela zawiera średnią dzienną ilość godzin słonecznych, w rozbięciu na miesiące dla województwa mazowieckiego.

miesiące	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
średnia [h]	8.35	10.0	11.8	13.8	15.6	16.6	16.2	14.6	12.7	10.7	8.90	7.86

Tabela 1 Dzienna ilość godzin słonecznych dla województwa mazowieckiego, źródło: ogniwaftowoltaiczne.pl

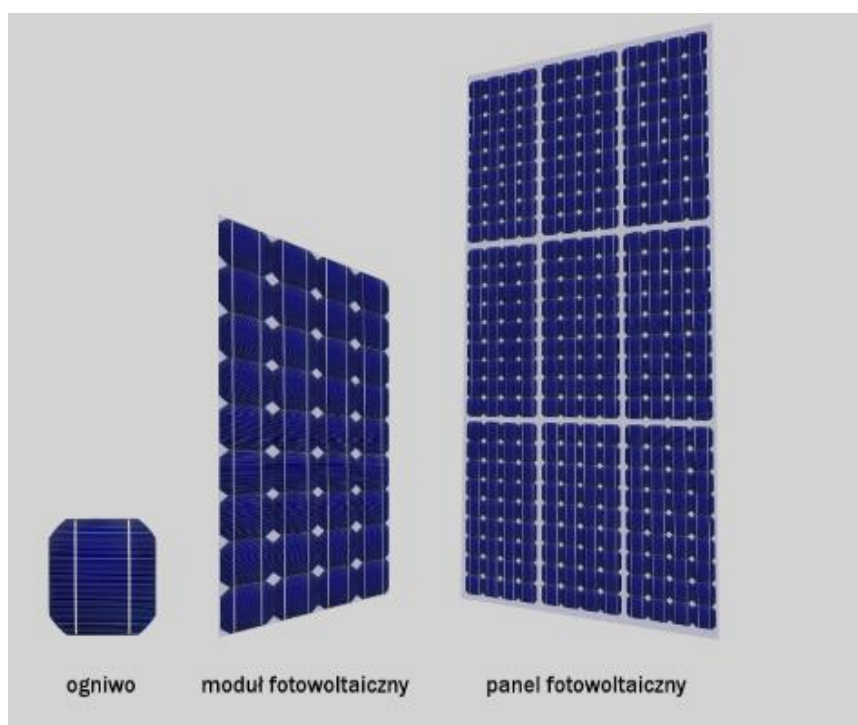
W opracowaniach i folderach reklamowych do obliczeń parametrów stosowana jest wartość chwilowa energii słonecznej. Kolejna tabela prezentuje moc chwilową zarejestrowaną przez czujnik nasłonecznienia w jednym ze śląskich miast, która została opublikowana jest m.in. w portalu poświęconemu zagadnieniom ogniwaftowoltaicznych - ogniwaftowoltaiczne.pl.

data/godzina	2009.07.03	2009.07.12	2009.08.17	2009.09.20
8:00	132 W	143 W	109 W	116 W
9:00	291 W	190 W	296 W	349 W
10:00	907 W	323 W	587 W	522 W
11:00	875 W	471 W	777 W	766 W
12:00	1209 W	1256 W	1005 W	1063 W
13:00	1301 W	1328 W	1072 W	1103 W
14:00	1141 W	1184 W	1004 W	889 W
15:00	840 W	889 W	752 W	678 W
16:00	590 W	731 W	485 W	444 W
17:00	330 W	267 W	138 W	185 W
18:00	136 W	147 W	140 W	62 W
19:00	100 W	71 W	13 W	2 W
20:00	45 W	26 W	0 W	0 W
21:00	3 W	3 W	0 W	0 W

Tabela 2 Moc chwilowa nasłonecznienia dla miast województwa śląskiego, źródło: ogniwaftowoltaiczne.pl

Ogniwa fotowoltaiczne

Jednymi z powszechnych metod wykorzystania otrzymywanej energii Słońca jest konwersja energii pochodzącej z promieniowania słonecznego w ogólnie dostępną energię elektryczną do czego służą ogniwa fotowoltaiczne, które inaczej są nazywane ogniwami słonecznymi bądź fotoogniwami. Sam proces zamiany nazwany jest konwersją fotowoltaiczną. Ogniwo fotowoltaiczne zbudowane jest z krzemowej płytki półprzewodnika, w której istnieje bariera potencjału elektrycznego, w postaci złącza positive – negative (p-n). W wyniku padania na fotoogniwo promieniowania słonecznego wybijane są elektrony z ich miejsc w strukturze półprzewodnika. Dane elektrony tworzą pary nośników w których część elektronów posiada ładunek ujemny oraz elektrony z ładunkiem dodatnim które po ich wybiciu tworzą „dziurę”. Ładunki te zostają rozdzielone przez istniejące na złączu p-n pole elektryczne, co sprawia, że w ogniwie pojawia się napięcie. Podłączenie kilku połączonych ogniw wchodzących w skład modułów fotowoltaicznych wystarczy do zasilenia urządzenia pobierającego energię o małej mocy i następuje przepływ prądu elektrycznego. Ogniwa fotowoltaiczne najczęściej wykonywane są z popularnego i często stosowanego w elektronice krzemu, który po tlenie jest najbardziej rozpowszechnionym pierwiastkiem na Ziemi występującym m. in. w piasku.



Rysunek 4 Budowa panelu fotowoltaicznego, źródło: Sunculture

Podstawowym elementem budowy systemu fotowoltaicznego jest niewielkie ogniwo. Powierzchnie pojedynczych ogniw zawierają się w przedziale 100 – 250 cm², który zapewnia moc wahającą się w granicach ok. 1 – 3 W, przy napięciu sięgającym rzędu 0.6 V. W celu uzyskania większych mocy ogniwa łączy się w moduły fotowoltaiczne a te z kolei w panele. Poszukiwania nowych rozwiązań technologicznych mają doprowadzić do zwiększenia sprawności modułów w odniesieniu do sprawności pojedynczych ogniw oraz ogniw polikrystalicznych do 18% i monokrystalicznych do 20%, czego efektem ma być obniżenie ceny wytworzenia jednostki energii elektrycznej w systemach fotowoltaicznych. Panele są powszechnie produkowanymi i stosowanymi formami, jednak w zależności od potrzeb możliwe jest dostosowanie kształtu oraz rozmiaru do wymiaru użytej powierzchni. Pozwala to na uniwersalne zastosowanie oraz dopasowanie do istniejących powierzchni.

W porównaniu do innych źródeł energii systemy oparte o panele fotowoltaiczne nie wytwarzają dokuczliwego hałasu, który jest jednym z barier jakie stoją przed instalacjami wiatrowymi. Budowa systemów składających się z paneli fotowoltaicznych nie wymusza zmian zagospodarowaniu terenu użytkowego oraz środowiska naturalnego. Podobnie jak i inne naturalne źródła energii także i to pozwala na ograniczenie emitowania substancji szkodliwych i zanieczyszczających gazów do środowiska. Ogranicza to skutecznie wytwarzanie gazów cieplarnianych, co w dobie proekologicznych zmian w gospodarce energetycznej nie jest bez znaczenia. Mając na uwadze ograniczenia emisji narzucone przez Unię Europejską również i Polska zobowiązana jest do przebudowy sieci energetycznej w celu ograniczenia wytwarzania brudnej energii. Nie wytwarza szkodliwych zanieczyszczeń, a przez to aktywnie przyczynia się do ograniczenia negatywnych aspektów zanieczyszczenia atmosfery. Jedną z pierwszych postanowień jest akt normatywny, którego decyzją Komisji Europejskiej z dnia 14 grudnia 2006 r. jest ustalenie odpowiednich poziomów emisji gazów cieplarnianych przyznane Wspólnocie i każdemu z jej państw członkowskich (2006/944/WE). Zgodnie z treścią protokołu z Kioto poziomy emisji przyznane Wspólnocie i państwom członkowskim w odniesieniu do ton równoważnika dwutlenku węgla w pierwszym okresie ilościowo określonych zobowiązań do ograniczenia i redukcji emisji dla Polski wynosi 2673496300 ton.

Zasady doboru systemu i jego wydajność

Wymogi dotyczące projektu instalacji fotowoltaicznych wynikają głównie z otoczenia, w którym działać ma taka instalacja oraz celu, do jakiego będzie wykorzystywana. Podstawowymi elementami mającymi wpływ na wybór rodzaju systemu fotowoltaicznego są: posiadana powierzchnia do montażu paneli fotowoltaicznych (dach lub ściana budynku, wielkość działki, itp.), sposób wykorzystania wyprodukowanej energii, wielkość wyprodukowanej energii, jaką chcemy uzyskać z instalacji lub zapotrzebowanie energetyczne urządzeń, które ma obsłużyć powstający układ. Stosując jedno z powyższych kryteriów, jako punkt wyjścia przy projektowaniu system fotowoltaicznego możliwe jest dobranie takiego rozwiązania, które będzie w optymalny sposób spełnia określone wymogi użytkownika, którym mogą być zarówno instytucje jak i osoby prywatne.

System off-grid, w skład którego wchodzi akumulatory magazynujące energię ma zastosowanie przy stosunkowo małym zużyciu energii (domki jednorodzinne, letniskowe) lub w sytuacjach, gdy doprowadzenie sieci energetycznej do obiektu jest niemożliwe lub bardzo drogie. System off-grid można również konfigurować pod kątem połączenia z siecią domową w celu dostarczenia energii elektrycznej do wybranych obwodów elektrycznych.

Zdecydowanie bezpieczniejszy i bardziej opłacalny jest system on-grid gdzie zasilanie z ogniw jest połączone z siecią energetyczną. Ta opcja pozwala na sprzedaż nadwyżek energii oraz, co ważniejsze, zasilanie z sieci energetycznej w przypadku, gdy ogniwa dostarczają zbyt mało energii.

Konfiguracja systemu ogniw zależy przede wszystkim od mocy odbiorników, jakie będą włączone w obwód czyli zapotrzebowania na energię elektryczną. Możemy wyodrębnić trzy sposoby tworzenia systemu:

1. System prosty – ogniwa bezpośrednio zasilają urządzenia – w tym wypadku system składa się tylko z ogniw i sterownika. Ten system sprawdzi się tylko wtedy, gdy odbiorniki będą zasilane prądem stałym o niskim napięciu.
2. System umiarkowany – podobnie jak w systemie prostym ogniwo jest bezpośrednio podłączone do odbiornika. Jedyna różnica polega na tym, że system wyposażony jest w falownik, który zamienia prąd stały wychodzący ze sterownika na prąd zmienny o napięciu sieciowym (230 V). Tym samym możemy zasilać urządzenia przystosowane do zasilania z

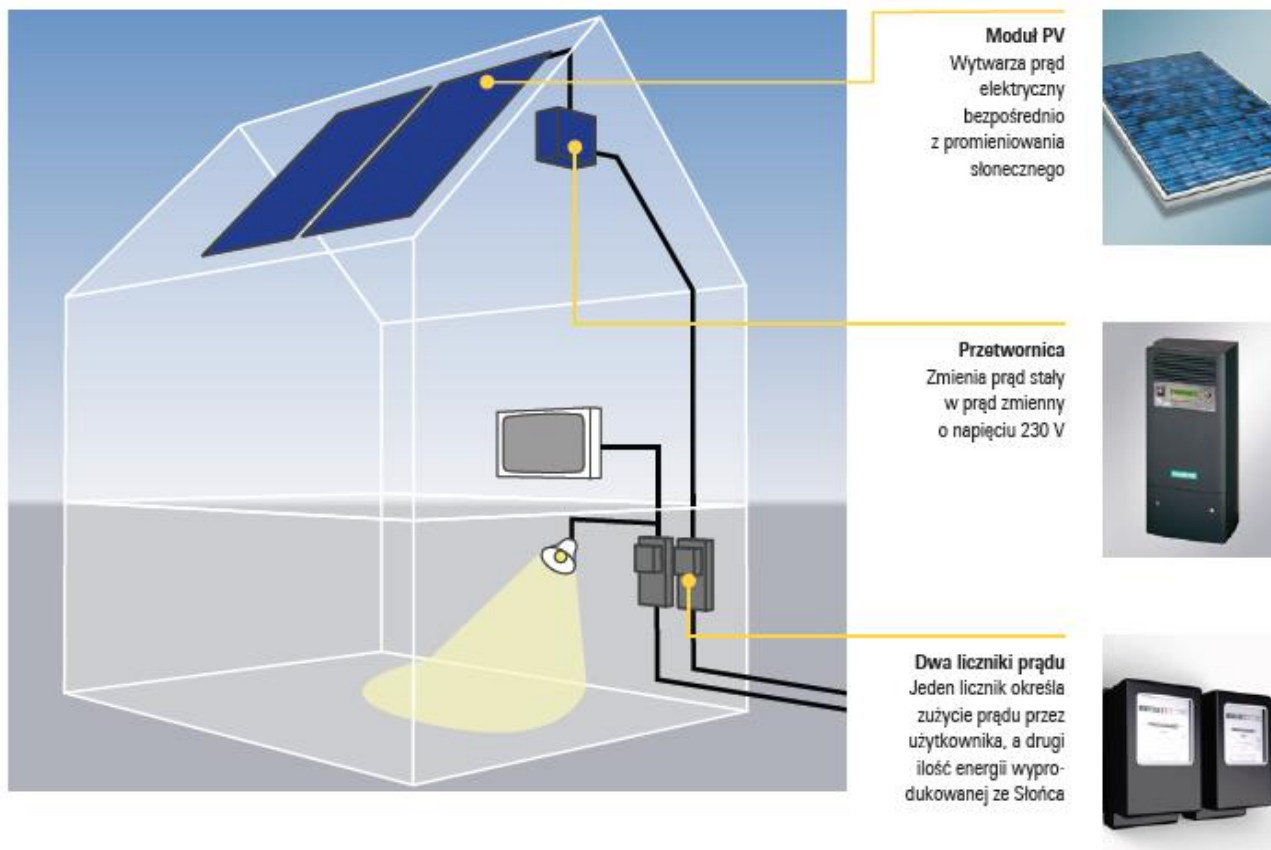
sieci publicznej. To najmniej bezpieczne sposoby wykorzystania energii pochodzącej ze słońca – dopływ energii kończy się wraz z zachodem słońca lub dużym zachmurzeniem.

3. System profesjonalny – pozwala na magazynowanie energii. System ten zawiera wszystkie elementy, jakie występują w systemie umiarkowanym. Jego dodatkową składową są akumulatory pozwalające na magazynowanie wytworzonej energii elektrycznej i wykorzystywanie jej wtedy, kiedy jest potrzebna. Można go stosować w całym spektrum rozwiązań, od najmniejszych do dużych instalacji, w zależności od powierzchni paneli i pojemności akumulatorów.

Systemy umiarkowany i profesjonalny mogą działać zarówno podłączone do sieci publicznej jak i jako samodzielne źródło zasilania. Wielkość obciążenia instalacji zasilającej jest najistotniejszym czynnikiem decydującym o doborze mocy ogniw oraz kształtującym późniejszą pracę systemu. W literaturze przyjmowana jest zasada, że przy systemie prostym i umiarkowanym moc ogniwa powinna być większa co najmniej dwukrotnie od mocy odbiorników podłączonych do obwodu ogniwa. W systemie profesjonalnym nie ma takiej zależności, ponieważ część obciążenia przejmują akumulatory dostarczające energię do odbiorników, nawet jeżeli nie ma słońca. Przyjmuje się, że moc ogniwa powinna być 30% większa od mocy wymaganej przez odbiorniki. Dodatkowo bardzo ważnym elementem jest moc przetwornika (falownika), która musi być co najmniej 20% większa od mocy obciążenia systemu zasilania. Powyższe założenia są „średnią rynkową”, dlatego każdy projekt indywidualnego planowania. Znając doskonale charakterystyki urządzeń poszczególnych firm, lokalizację inwestycji, możliwości finansowe system taki jest dobierany do indywidualnych potrzeb energetycznych.

Energia elektryczna pozyskana ze słońca w połączeniu z zasilaniem sieciowym (on-grid)

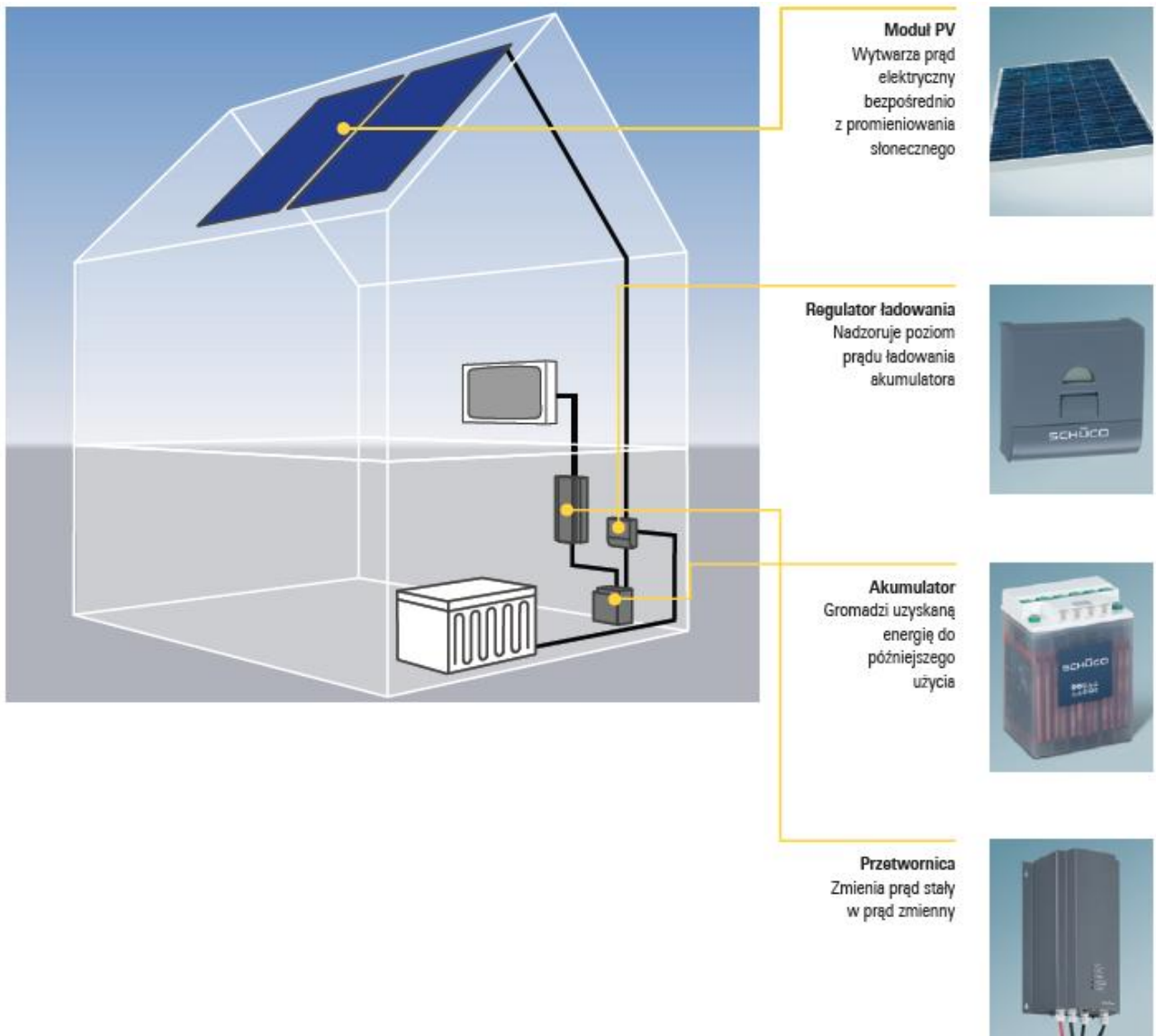
Jak wcześniej opisywano moduł fotowoltaiczny zbudowany jest z dużej ilości fotoogniw, które dzięki wewnętrznym połączeniom wytwarzają prąd dostarczany do gniazd elektrycznych umieszczonych z tyłu modułu. Jest to jednak prąd stały. Wszystkie urządzenia stosowane w przemyśle, biurach oraz gospodarstwach domowych jest zaprojektowanych i przystosowanych do napięcia zmiennego. Wymusza to zastosowanie w systemie fotowoltaicznym przetwornicy zmieniającej prąd stały na prąd zmienny o napięciu 230V. Zgodnie z założeniami prąd w całości przekazywany jest do sieci publicznej, a zamontowany licznik pokazuje ilość wyprodukowanej przez system energii. Do głównych zalet zalicza się zastosowanie modułów o dużej wydajności w budowie systemu oraz możliwość szerokiego i uniwersalnego wykorzystania dzięki szerokiej ofercie systemów montażowych dostępnych na rynku. Budowę takiego systemu prezentuje m. in. SCHÜCO.



Rysunek 5 Schemat systemu fotowoltaicznego z zasilaniem sieciowym, źródło: SCHÜCO

Energia elektryczna pozyskana ze słońca bez zasilania sieciowego (off-grid)

Przypadek w którym niemożliwe jest podpięcie systemu do sieci mamy do czynienia z systemem wyspowym którego wytwarzany potencjał jest akumulowany. W przeciwieństwie do systemów z przyłączeniem do sieci, w systemach niezależnych można bezpośrednio korzystać z prądu uzyskanego z promieniowania słonecznego. Prąd ten można również gromadzić w akumulatorach aby zapewnić nieprzerwany dostęp do energii. Systemy niezależne od sieci mogą funkcjonować w połączeniu z odbiornikiem prądu stałego lub zmiennego. Jednak najbardziej efektywne jest zastosowanie takiego rozwiązania w generatorach hybrydowych gdzie system fotowoltaiczny jest częścią systemu zasilającego. Do zalet takiego rozwiązania jest wymieniana niezależność od publicznej sieci energetycznej, wysoka elastyczność, dzięki pakietom i rozwiązaniom stosowanym podczas projektowania, wysoka jakość użytych komponentów gwarantuje bezpieczeństwo systemu oraz większe bezpieczeństwo energetyczne.



Rysunek 6 Schemat systemu fotowoltaicznego bez zasilania sieciowego, źródło: SCHÜCO

Rodzaje instalacji paneli fotowoltaicznych

Stosunkowo duży koszt modułów fotowoltaicznych, jest powodem poszukiwania coraz to nowszych rozwiązań, mających zapewnić jak największy uzysk energetyczny. Z tego względu konstruktorzy stacji fotowoltaicznych skupiają swoją uwagę na poszukiwaniu tanich i skutecznych rozwiązań mających na celu zapewnienie ogniom właściwego oświetlenia.

W procesie optymalnego wykorzystania energii promieniowania słonecznego, istotną kwestią jest odpowiednie zaprojektowanie instalacji fotowoltaicznej.

W projekcie najważniejszym czynnikiem decydującym o maksymalizacji ilości pozyskiwanej energii jest odpowiednie ustawianie (lokalizacja) ogniw słonecznych. Wiąże się to m.in. z dobraniem optymalnego kąta azymutu modułu. Maksymalną moc odbieraną przez moduł można uzyskać w przypadku prostopadłego padania strumienia energii słonecznej na powierzchnię modułu. Jak pokazują wyniki symulacji i przeprowadzone obserwacje eksperymentalne, właściwe zastosowanie znanego z podstaw fizyki wzoru:

$$E = E_0 \cos a$$

gdzie:

E - promieniowanie efektywne,

E₀ - promieniowanie całkowite,

a - kąt padania promieni na powierzchnię ogniwa,

Tam, gdzie celem jest optymalne pozyskiwanie energii słonecznej znajdują zastosowanie systemy nadążne, stale śledzące ruch słońca na nieboskłonie. Inteligentne systemy nadążne obliczają pozycję Słońca oraz porównuje wartości promieniowania jakie w danym czasie dociera na płaszczyznę ogniwa.

Parametry Energetyczne	Typ instalacji	Stała	Ruchoma		
			W osi poziomej	W osi pionowej	W obu osiach
Średnie dzienne nasłonecznienie [kWh/m ²]		5.31	6.31	6.48	7.26
Nadwyżka średniego nasłonecznienia [%]			19	21	37
Średnia dzienna energia [Wh/m ²]		312	380	380	433
Nadwyżka dziennej energii [%]			19	22	39

Tabela 3 Porównanie wartości nasłonecznienia i energii dla instalacji stałych i ruchomych.

Opublikowane przez amerykańskie centrum „Florida Solar Center” (FSC) rezultaty eksperymentów przeprowadzonych oraz wieloletnie badania uczelni w Polsce, które zajmujące się problematyką ruchomych instalacji fotowoltaicznych, publikują argumenty za stosowaniem układów nadążnych. Ruchome konstrukcje stacji fotowoltaicznych, pracujące w jednej osi mogą dostarczyć do 20% więcej energii a w przypadku modułów sterowanych w obu osiach instalacji, przyrost energii może wynosić aż 40%, w stosunku do konstrukcji stałych. Wykorzystanie w instalacjach fotowoltaicznych systemów nadążnych zaowocować przyrostem energii nawet o 40% w stosunku do instalacji stałych, które są ustawione pod stałym kątem. Prowadzone są eksperymenty nad układami nadążnymi stacji fotowoltaicznych, ze względu na złożoność, konkretnych rozwiązań, trudno jest przyjąć jednoznaczne kryterium klasyfikacyjne.

Rozważając budowę wyróżnia się dwa rodzaje instalacji dla paneli fotowoltaicznych:

- Instalacje nieruchome, które pracującą dla ustalonych w określonych warunkach, stałych, kątów azymutalnych Słońca i nachylenia do płaszczyzny horyzontu konstrukcji.
- Instalacje ruchome umożliwiają ustawienie płaszczyzny pod kątem prostopadłym do promieniowania bezpośredniego. Umożliwiające ruch modułu wokół stałej osi pionowej (zmiana elewacji), przy założeniu, że nachylenie do poziomu jest odpowiednie. Umożliwiające ruch modułu wzdłuż osi poziomej (zmiana azymutu), przy założeniu, że moduł jest nachylony do poziomu pod stałym kątem. Umożliwiające ruch w obu osiach.

Dokładniej określając systemy nadążne stosowane obecnie można klasyfikować układy stacji fotowoltaicznych, ze względu na sposób zmiany położenia, rodzaj mechanizmu obrotowego, rodzaj elementów napędowych, sposób zasilania, system sterowania oraz charakter układów sterujących. Jeśli kryterium podziału będzie sposób zmiany położenia można określić następujące kategorie:

- Ręczny, które polega na okresowej zmianie ustawienia w jednej lub obu osiach.
- Automatyczna regulacja bazuje na nadzorowanej i monitorowanej pracy kontrolowanej przez układy sterowania.

Kolejnym kryterium podziału może być rodzaj mechanizmu obrotowego zastosowanego w systemie nadążnym:

- Zawieszenie biegunowe, w której oś obrotu jest równoległa do osi Ziemi.
- Zawieszenie azymut-elewacja jest bardziej złożonym mechanicznie ponieważ występuje tu niezależny obrót w każdej osi.

Ze względu na miejsce oraz rodzaj wykorzystania instalacji fotowoltaicznych wyróżnia się również podział ze względu na sposób zasilania instalacji, gdzie wyróżniane są:

- Samonapędzające się, całkowicie autonomiczne systemy. W takich przypadkach Cześć produkowanej energii przeznaczana jest do napędzania silników sterujących. Może to wymagać zastosowania dodatkowych modułów fotowoltaicznych, przeznaczonych tylko do zasilania serwo mechanizmów. Jednakże w takim przypadku dąży się do całkowitej autonomiczności.
- Pobierające energię z zewnątrz, gdzie wymuszone jest podłączenie zasilania z zewnętrznego np. z sieci. Stosowane są w sytuacjach okresowego użytkowania stacji fotowoltaicznej.

Biorąc za kryterium sposób w jaki system sterowania podejmuje funkcje decyzyjne dla regulacji obrotem:

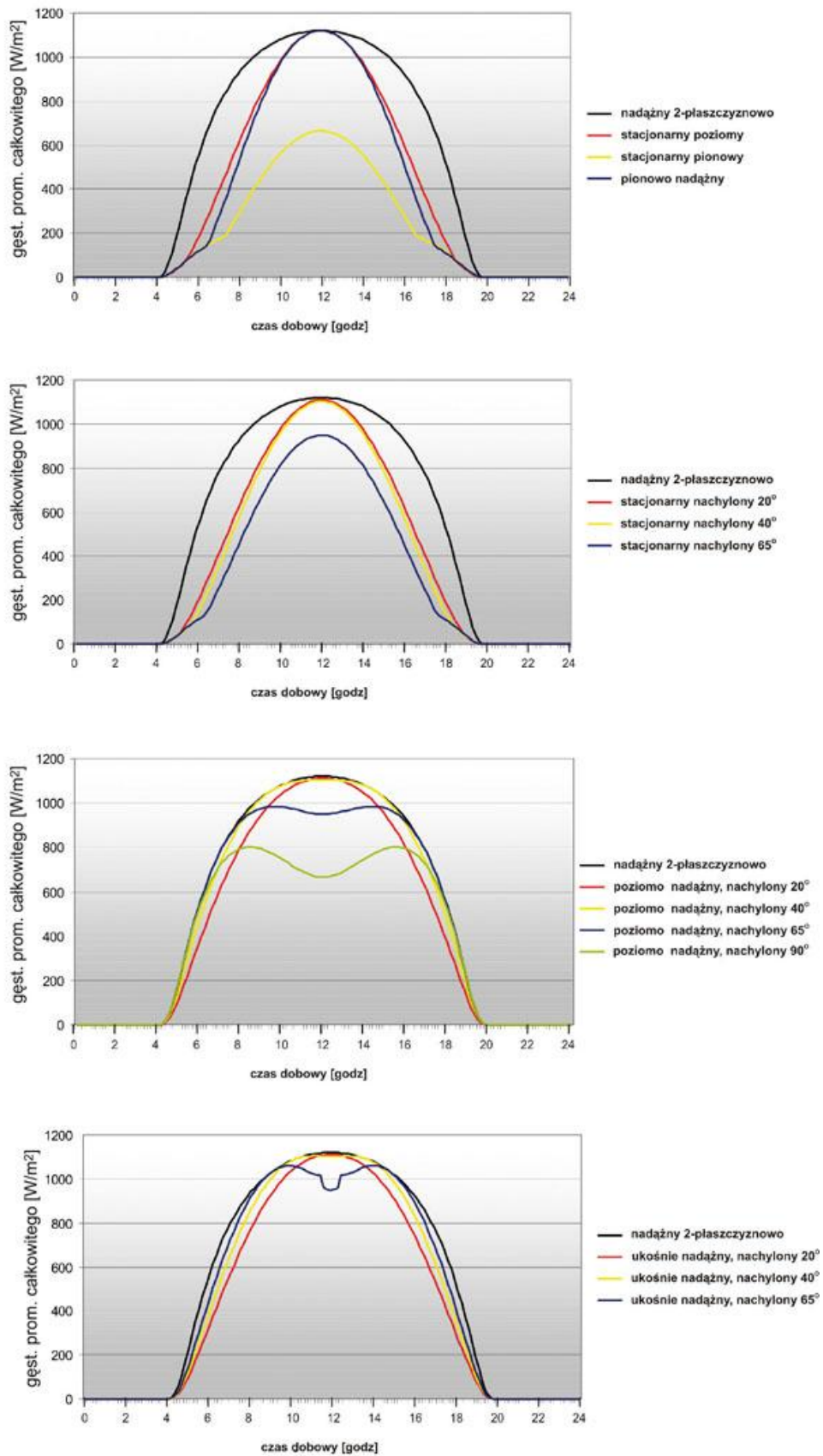
- Układ otwarty, w którym ogniwa fotowoltaiczne ustawiane są na podstawie wyliczonej pozycji Słońca na nieboskłonie, dla danego miejsca o określonych współrzędnych. Pozycjonowanie odbywa się w określonych odstępach czasu. Od konstrukcji nośnej modułów, wymaga się dużej dokładności pozycjonowania i wytrzymałości mechanicznej. W systemach jest często stosowany układ zegarowy. Niezbędne jest stosowanie dodatkowych układów pomiarowych odpowiedzialnych za podanie aktualnego położenia ogniw. Cechy tego typu układów to: stosunkowo wysokie koszty energetyczne sterowania i mała efektywność, zwłaszcza w miesiącach zimowych.
- Układ zamknięty oprócz informacji o położeniu fotoogniw pobiera informacje o natężeniu oświetlenia w danej chwili. Stosować tu można różnego rodzaju czujniki dla określenia oświetlenia, np., dostarczające informację o kierunku padania promieniowania, mierzenie promieniowania rozproszonego, stosunku promieniowania całkowitego do bezpośredniego, monitorujące inne ważne czynniki wpływające na ilość uzyskanej energii.
- Układy hybrydowe korzystają z rozwiązań połączonych dostępnymi układami zamkniętego i otwartego.

Kryterium ze względu na charakter układów sterujących:

- Analogowe do sterowania układem wykorzystują analogowe podzespoły pneumatyczne, hydrauliczne bądź mechaniczne.
- Cyfrowe układy stosują szeroko rozumianą elektroniczną technikę cyfrową, od poziomu bramek logicznych do komputera PC z przemysłowymi kartami pomiarowo-kontrolnymi. Najczęściej spotyka się specjalizowane systemy mikroprocesorowe wyposażone w odpowiednie układy we/wy (np. przetworniki A/C i C/A). Rozwój techniki mikroprocesorowej pozwala dziś na tworzenie bardzo zaawansowanych urządzeń przy ich relatywnie niskim koszcie.

Klasyfikacja konstrukcji nośnych ze względu na sposób mocowania baterii słonecznych:

- Oś obrotu jest równoległa do osi ziemi. Takie mocowanie pozwala stosować bardzo prosty układ sterowania, gdyż ruch słońca można z dużą dokładnością aproksymować jednostajnym ruchem prostoliniowym. W tym przypadku, kąt pochylenia ogniw równy jest szerokości lokalizacji instalacji, pomniejszonej o kąt deklinacji słonecznej i wymaga niewielkich korekt, raz na kilka dni. Instalacje tego typu są proste i tanie w konstrukcji, wymaga się od nich: stabilnej konstrukcji i dobrego ułożyskowania głównej, skośnej osi obrotu.
- Główna oś obrotu jest prostopadła do linii horyzontu. Pozwala to na dopasowanie kąta azymutu fotoogniw, do aktualnej pozycji słońca na nieboskłonie. Druga oś obrotu jest równoległa do horyzontu, umożliwiając ustawienie kąta horyzontalnego do wysokości słońca.



Rysunek 7 Promieniowanie łączne docierające w skali doby do kolektorów słonecznych o różnych stopniach swobody i kątach nachylenia β - dla przykładu 22 czerwca, źródło: Chłodnictwo i Klimatyzacja

Aby można było ocenić możliwości wykorzystania instalacji fotowoltaicznych w Polsce do generowania energii elektrycznej na szeroką skalę, należy przeprowadzić analizę warunków

klimatycznych pod względem wykorzystania energii z promieniowania słonecznego a także analizę ekonomiczną opłacalności inwestycji w system fotowoltaiczny. Cena energii elektrycznej, produkowanej na bazie spalania paliw kopalnych nieustannie wzrasta, podczas gdy koszt produkcji modułów PV i innych składników systemów fotowoltaicznych systematycznie maleje. Nakłady inwestycyjne dla systemów fotowoltaicznych różnią się znacznie w zależności od kilku czynników, takich jak:

- wielkość systemu,
- lokalizacja,
- możliwości podłączenia do sieci elektroenergetycznej,
- specyfikacja techniczna z uwzględnieniem kosztów wszystkich elementów instalacji.

Kraj	instalacje off-grid < 1 kW [EURO/W _p]	instalacje off-grid > 1 kW [EURO/W _p]	instalacje on-grid < 10 kW [EURO/W _p]	instalacje on-grid > 10 kW [EURO/W _p]
Niemcy	-	-	3,9-4,5	3,7
Hiszpania	11,4-14,4	9,7-11,4	7,0-7,5	5,7-6,0
Norwegia	15,0-21,7	-	10,8-14,4	-
USA	4,8-6,1	5,4-6,8	4,8-6,1	4,4

Tabela 4 Koszty inwestycyjne w wybranych krajach (dane na 2008 r.), źródło: Czysta Energia

Według badań wykonanych przez Fraunhofer Institute we Freiburgu, koszt energii generowanej w systemach fotowoltaicznych zrówna się z ceną, jaką konsumenci zapłacą dostawcom energii w 2020 r. Wcześniej może to nastąpić w lepiej usłonecznionych krajach. Jednocześnie im więcej modułów będzie produkowanych i sprzedawanych na całym świecie, tym bardziej obniży się koszt zainstalowania mocy jednostkowej. W latach 2008-2013 przewiduje się rozwój rynku ogniw i modułów fotowoltaicznych na świecie średnio o 23%. Prognozowany był spadek tempa wzrostu produkcji od 2010 r. i ustabilizowanie się tego wskaźnika na bardziej wyrównanym poziomie niż to miało miejsce w latach wcześniejszych.

Okres zwrotu inwestycji określa się na podstawie kosztów inwestycyjnych, eksploatacyjnych, w tym związanych z obsługą techniczną i naprawami usterek, ilości generowanej energii elektrycznej i jej ceny w danym kraju z uwzględnieniem obowiązujących taryf. Koszt wygenerowania jednostkowej energii elektrycznej może być obliczony na podstawie wzoru:

$$C_{elktr} = \frac{A_0 + A_{op}}{n * E_{el}}$$

gdzie: A_0 – koszty inwestycyjne,

A_{op} - koszty obsługi technicznej instalacji w całym okresie eksploatacji,

n - okres eksploatacji (20-30 lat),

E_{el} - energia elektryczna produkowana rocznie w [kWh].

W 2008 r. aż 99% wyprodukowanych modułów PV zostało zamontowanych w instalacjach podłączonych do sieci elektroenergetycznej w Europie, a globalnie udział instalacji pracujących na sieć wynosi 70%. Przewidywany jest stały wzrost instalowanej w systemach PV mocy – do 9,7 GW w 2013 r., średnio o 22% w stosunku rocznym. Przekłada się to na wzrost nakładów inwestycyjnych z 30 mld dol. w 2008 r. do przewidywanych 60 mld dol. w 2013 r.

Recykling krzemowych ogniw i modułów fotowoltaicznych

Producenci udzielają 20–30-letniej gwarancji na moduły fotowoltaiczne, które są już od lat 80 XX wieku stosowane na skalę komercyjną. Wzrost ilości produkowanych i instalowanych modułów rodzi problem zagospodarowania wyeksploatowanych oraz uszkodzonych urządzeń. Przywiduje się, że w Europie w roku 2010 ilość zużytych modułów wyniesie 290 ton, a do roku 2040 zwiększy się do 33 500 ton. Wiąże się to z koniecznością opracowania ekologicznej i ekonomicznie opłacalnej technologii recyklingu wszystkich materiałów użytych do produkcji ogniw.

Odpad krzemowy powstający podczas wytwarzania materiału wyjściowego dla przemysłu fotowoltaicznego oraz elektronicznego, może być ponownie wykorzystany w do produkcji urządzeń. Podstawowymi metodami wytwarzania bloków monokrystalicznych są: metoda Czochralskiego oraz metoda topienia strefowego, natomiast produkcja krzemu polikrystalicznego wymaga z kolei stosowania metod ukierunkowanej krystalizacji i odlewania w formy. Obecnie wykonuje się panele wyłącznie z ogniw w kształcie kwadratów, o wymiarach: 50 × 50 mm, 100 × 100 mm, 125 × 125 mm lub 150 × 150 mm, ze ściętymi narożami co pozwala na lepsze upakowanie ogniw na powierzchni. Istnieje zatem konieczność przycięcia boków wytworzonego monokryształu, o przekroju kołowym, dożądanego kształtu. Należy także zadbać o zagospodarowanie proszku krzemowego, powstającego podczas rozcinania monokrystalicznych i polikrystalicznych bloków na płytki krzemowe. Recykling zużytych i wyeksploatowanych ogniw i modułów, powinien być tak prowadzony, by maksymalizować wykorzystanie tych samych materiałów w produkcji kolejnych (nowych) urządzeń, uwzględniając przy tym minimalizację nakładów na ich przetworzenie.

Materiał	Ilość [kg/m ²]	Udział masowy [%]	Stopień odzysku [%]
Szkło	10	74,16	90
Aluminium	1,39	10,30	100
Ogniwa PV	0,47	3,48	90
EVA, Tedlar	1,37	10,15	-
Kontakty elektryczne	0,1	0,75	90
Substancje spajające	0,16	1,16	-

Tabela 5 Odzysk materiałów w recyklingu krzemowych modułów PV, źródło: Renewable Energy Word Magazine

Trudnym problemem jest obecnie opracowanie optymalnej technologii oraz oszacowanie kosztów inwestycyjnych instalacji do recyklingu. Jest szczególnie interesujące ze względu na ograniczoną podaż czystego krzemu do produkcji ogniw PV i konieczność jego odzyskiwania. Prowadzenie recyklingu zużytych lub uszkodzonych krzemowych modułów i ogniw PV wymaga zastosowania dwóch zasadniczych etapów:

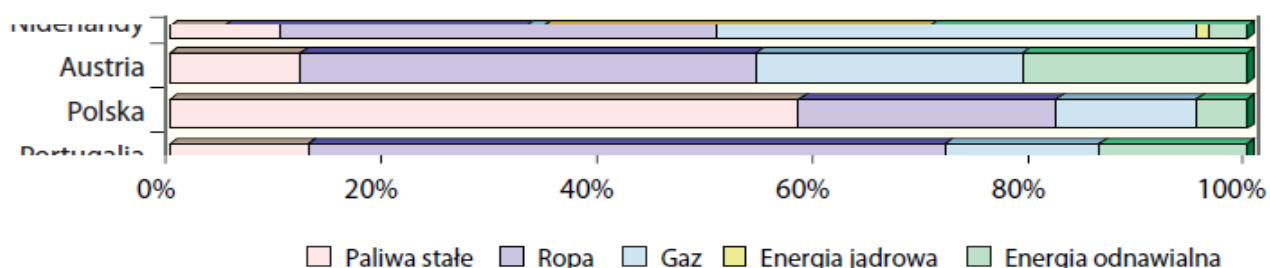
- I. separacji ogniw PV - W procesie tym ogniwa wchodzące w skład komercyjnego modułu PV zostają rozdzielone – w wyniku zastosowania procesów termicznych lub chemicznych.
- II. oczyszczania powierzchni ogniw PV- Na tym etapie oddzielone z modułów PV ogniwa poddaje się procesowi oczyszczenia, podczas którego usuwane zostają warstwy niepożądane. Usuwanie poszczególnych warstw musi przebiegać w taki sposób, aby możliwe było odzyskanie podłoża krzemowego, nadającego się do ponownego zastosowania.

Krzem do zastosowań fotowoltaicznych jest materiałem pośrednim pomiędzy krzemem używanym do zastosowań elektronicznych, a krzemem metalurgicznym. Dynamiczny wzrost wykorzystania ogniw i modułów fotowoltaicznych wymaga dostarczania coraz większej ilości surowców pierwotnych potrzebnych do produkcji. Opracowanie efektywnych metod umożliwiających skuteczne zagospodarowanie odpadów produkcyjnych, pozwalając na odzysk surowców wtórnych. Powoduje to korzyści ekologiczne, ekonomiczne oraz poprawia bilans surowcowo-materiałowy, umożliwiając oszczędności w odniesieniu do materiałów wytwarzanych, a także umożliwia pokrycie części ciągłe zwiększającego się zapotrzebowania na krzem.

Podsumowanie

Suma energii promieniowania słonecznego dla Polski mieści się w granicach 950-1150 kWh/m²/rok. Natomiast średnioroczna liczba godzin nasłonecznionych wynosi 1600. Jeśli założymy, iż w roku jest 8.7 godzin, systemy solarne są wydajne w 18-20%. Wadą systemu jest dziś to, że ze względu na małą popularność tego typu instalacji w naszym kraju, urządzenia fotowoltaiczne są stosunkowo drogie. Dlatego koszt wytworzenia energii elektrycznej w przeliczeniu na kWh jest wciąż wysoki i przekłada się na długi okres zwrotu inwestycji. Może on sięgać od kilku do kilkunastu lat. Wyliczenia zwrotu muszą być kalkulowane indywidualnie, w zależności od tego, w jaki sposób instalacja będzie wykorzystywana. Systemy fotowoltaiczne w naszym kraju są wciąż niedoceniane. Choć z czasem zauważalne jest coraz częstsze wykorzystanie technologii w miejscach wyspowych oraz jako części systemu hybrydowego, gdzie system fotowoltaiczny wspiera inne źródła energii.

Bardziej popularną metodą wykorzystywania promieniowania jest magazynowanie ciepła. Wykorzystywane jest to do uzyskania ciepłej wody użytkowej poprzez kolektory słoneczne montowane na dachach domków rodzinnych. Pozwala to zaoszczędzić energię potrzebną do ogrzania CWU przy stosunkowo niskim koszcie instalacji co przyspiesza okres zwrotu inwestycji. W odróżnieniu od rządu naszych zachodnich sąsiadów tj. Niemcy, Czesi, w naszym kraju nie ma dotychczas dobrze rozwiniętego systemu dopłat do instalacji fotowoltaicznych. Na szczęście, w niektórych miastach Polski fotowoltaika została już włączona do systemu dopłat gminnych, co powinno uatrakcyjnić i zachęcić instytucje, firmy i osoby prywatne tą formą wytwarzania energii elektrycznej. Oraz coraz więcej uruchamianych jest dopłat dla potencjalnych inwestorów co powinno poprawić procentowy udział wykorzystania promieniowania słonecznego w gospodarce energetycznej.



Rysunek 8 Zużycie energii z podziałem na rodzaj paliwa w, źródło: Komisja Europejska

Zgodnie z publikacją Komisji Europejskiej głównym źródłem energii są elektrownie produkujące „brudną” energię w procesie spalania przy czym wykorzystywane są surowce kopalniane oraz częściowo emitowane są zanieczyszczenia. Zgodnie z dyrektywami o nisko emisyjnych ograniczeniach tradycyjnych źródeł również nasz kraj zostanie zmuszony do procentowego udziału „czystej energii” w gospodarce energetycznej.

Systemy fotowoltaiczne z racji wykorzystywanej energii oraz budowy mają swoje wady. Są to ograniczenia natężenia promieniowania słonecznego w pochmurne dni. Żywotność oraz wydajność modułów krzemowych jest ograniczona gdyż z czasem wartości się zmieniają i uzyskana wartość energii jest mniejsza. Także jeszcze stosunkowo wysoka cena takich systemów nie pozwala na szersze zastosowanie. Jednym z takich sposobów jest zastosowanie systemów nadążnych, których zadaniem jest jak najefektywniejsze wykorzystanie paneli w produkcji energii poprzez prostopadłe ustawienie w stosunku do promieniowania bezpośredniego. Wśród literatury podawany są zyski w okolicach 50% w porównaniu do systemów stacjonarnych. Systemy nadążne do działania również potrzebują energii elektrycznej, dlatego też jednym z aspektów projektowania takich systemów jest szukanie urządzeń energooszczędnych oraz poszukiwanie algorytmów obliczających zyskowność wytwarzania energii.

Fotowoltaika jest ważnym elementem źródeł odnawialnych. Systemy takie nie wytwarzają uciążliwego hałasu. Badania nad systemami fotowoltaicznymi są prowadzone od wielu lat czego efektem jest bezpieczeństwo oraz wysoka niezawodność takiego rozwiązania. Szacunkowa żywotność panelu wynosi 30 lat zachowując swoje działania podczas których objęte są gwarancją producentów aby wydajność nie spadła poniżej 80%. Panele fotowoltaiczne mogą być utylizowane, a zatem materiały z procesu wytwarzania mogą być ponownie wykorzystane. Takie zachowanie ma pozytywny wpływ na środowisko oraz pozwala zmniejszyć ilość potrzebnej energii w procesie produkcji. Systemy o partach o moduły fotowoltaiczne ze względu na budowę nie potrzebują konserwacji i są bardzo łatwe w instalacji. Możliwy jest montaż w każdym dowolnym miejscu na każdej płaszczyźnie która nadaje się do odbierania energii słonecznej. Znajdują bardzo szerokie zastosowanie w obszarach „wyspowych”, gdzie nieopłacalne lub niemożliwe jest podpięcie do tradycyjnej sieci. Czas zwrotu energii oraz inwestycji w produkcji paneli wciąż maleje co oznacza że panel podczas swego „życia” wytwarza 6-18 więcej energii niż potrzebne było do jego wytworzenia. Coraz większe zainteresowanie energią słoneczną powoduje że coraz więcej firm zajmuje się produkcją. Co za tym idzie również powstają miejsca pracy oraz gospodarka również zyska. Energia słoneczna jest ciągle emitowana i puki co jest niewyczerpalnym źródłem które zapewnia bezpieczeństwo energetyczne w dostawach energii w Europie.

Warto również wspomnieć że ciągle poszukiwane są nowe metody konwersji energii słonecznej na elektryczną czego przykładem może być „Wieża Słońca”, gdzie promieniowanie nagrzewa powietrze które wprawi w ruch turbiny.

Bibliografia

- Energia słoneczna*. Pobrano marzec 18, 2011 z lokalizacji Portal energii odnawialnej:
<http://www.ogniwafotowoltaiczne.pl/pl/energiasloneczna>
- Eric Anderson, C. D. (2003). Solar Panel Peak Power Tracking System. WORCESTER.
- Europejska, K. (2007). Przeciwdziałanie zmianom klimatycznym. *Dyrekcja Generalna ds. Komunikacji Społecznej*. Bruksela: Urząd Oficjalnych Publikacji Wspólnot Europejskich, 2008.
- Ewa Klugmann-Radziemska, P. O. (2010, czerwiec). Aspekty ekologiczne i ekonomiczne recyklingu. *NAFTA-GAZ*.
- J. Chojnacki, p. d. *Systemy fotowoltaiczne*. Pobrano z lokalizacji Fotowoltaika i sensory:
<http://www.pvs.agh.edu.pl/pl/index.php?option=content&pcontent=1&task=view&id=21&Itemid=53>
- KASPERSKI, J. (2006, 11). Kolektory słoneczne stacjonarne i nadążne różnych stopni swobody. *Energia słoneczna do napędu urządzeń klimatyzacyjnych. Chłodnictwo i Klimatyzacja*.
- Klugmann-Radziemska, d. E. (2011, styczeń). Koszty inwestycyjne instalacji fotowoltaicznych. *Czysta Energia*.
- Klugmann-Radziemska, d. E. (2011, listopad). Przyszłość fotowoltaiki – instalacje zintegrowane z budynkiem (BIPV). *Czysta Energia*.
- Knyps, P. *Zasoby słoneczne w Polsce*. Pobrano marzec 18, 2011 z lokalizacji Laboratorium Fotowoltaiki PW:
<http://pv.pl/zasoby-sloneczne-w-polsce>
- Kurowski, d. i. (2007, listopad). Kolektory słoneczne w Polsce – rynek i technologia. *Czysta Energia*.
- materiałów, R. n. *Ogniwa fotowoltaiczne w praktyce*. Pobrano marzec 18, 2011 z lokalizacji Fachowy elektryk:
<http://www.fachowyelektryk.pl/index.php/porady/porady-fachowego-elektryka/335-ogniwa-fotowoltaiczne-w-praktyce.html>
- PAP. *PSE Operator: spada zużycie energii elektrycznej*. Pobrano marzec 18, 2011 z lokalizacji wyborcza.biz: PSE Operator: spada zużycie energii elektrycznej
- prof. dr hab. inż. J. Chojnacki, d. i. *Informacja o systemach fotowoltaicznych*. Pobrano marzec 18, 2011 z lokalizacji Fotowoltaika i sensory w proekologicznym rozwoju Małopolski:
<http://www.pvs.agh.edu.pl/pl/index.php?option=content&pcontent=1&task=view&id=21&Itemid=53>
- Viedermann. *Materiały promocyjne*.