

Odnawialne źródła energii

Autor : WFOŚiGW w Rzeszowie, Bożena Baran

PROMIENIOWANIE SŁONECZNE

Promieniowanie słoneczne jest charakteryzowane różnymi wielkościami, z których trzy są najbardziej istotne:

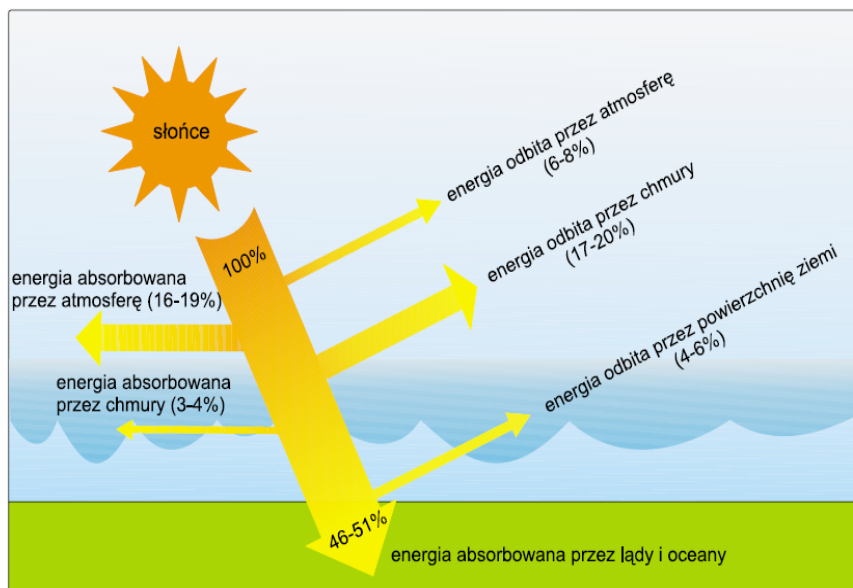
promieniowanie słoneczne całkowite G (całkowite natężenia promieniowania) [W/m^2], które jest sumą promieniowania bezpośredniego i rozproszonego

Całkowite promieniowanie słoneczne najczęściej określa się jako natężenie promieniowania słonecznego na płaską, poziomą powierzchnię, dochodzące z całej półkuli niebieskiej

napromieniowanie H [J/m^2] lub [$\text{kW}/\text{h}/\text{m}^2$] składające się z sumy napromieniowania bezpośredniego (nazywanego często nasłonecznieniem), rozproszonego i odbitego, przedstawiające energię padającą na jednostkę powierzchni w ciągu określonego czasu (roku, miesiąca, dnia, godziny); używa się również innych określeń, np., Średnie sumy promieniowania. Stosuje się także określenie "insolacja".

uśonecznienie [h] przedstawiane średnimi (w określonym czasie) liczbami godzin z bezpośrednią widoczną operacją słoneczną; stosuje się również inne określenia, np. sumy roczne uśonecznienia.

Do górnych warstw atmosfery Ziemi dociera promieniowanie słoneczne o natężeniu $1366,1 \text{ W}/\text{m}^2$. Oznacza to, że całkowita moc docierająca do atmosfery wynosi około 174 PW (petawatów). Około 30% tej mocy jest odbijane w kosmos, a kolejne 20% jest pochłaniane przez atmosferę. Do powierzchni Ziemi dociera około 89 PW, co oznacza średnio około $180 \text{ W}/\text{m}^2$. Ilość energii, jaka dociera do powierzchni ziemi w postaci promieni słonecznych mierzy się poprzez wyznaczenie tzw. natężenia promieniowania słonecznego



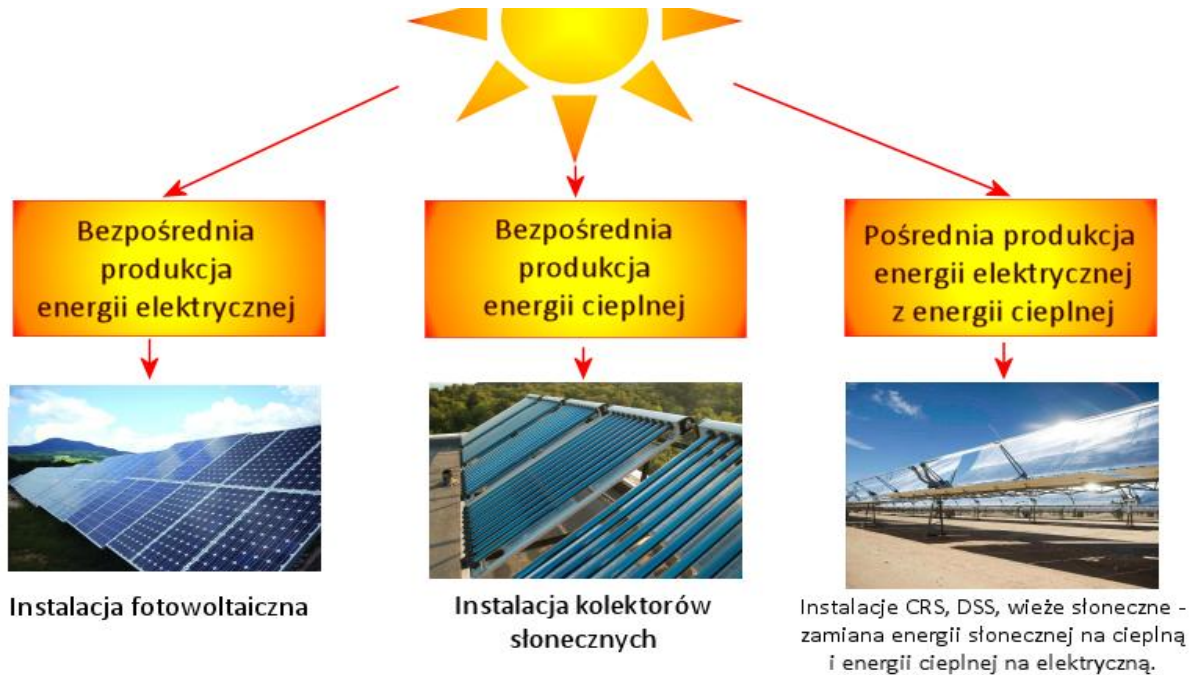
Rys. 13. Bilans energii słonecznej docierającej do powierzchni ziemi (Dane liczbowe na podst. materiałów informacyjnych *Earth Energy Society of Canada* – www.earthenergy.ca oraz *Commercial Earth Energy Systems...*, 2002)

Konwersja energii promieniowania słonecznego

- Konwersja na terenie Polski nasłonecznienie waha się w granicach $900-1200 \text{ kWh}/\text{m}^2$,
- Średnie uśonecznienie wynosi 1600 godzin na rok,
- Około 80% całkowitej rocznej sumy nasłonecznienia przypada na 6 miesięcy sezonu wiosenno-letniego (od początku kwietnia do końca września),

Czas operacji słonecznej w lecie wydłuża się do 16 godzin na dzień, natomiast w zimie skraca się do 8 godzin dziennie

- - fototermiczna (Kolektory) – energia cieplna
- - fotowoltaiczna (ogniwa PV) – energia elektryczna



OGNIWA FOTOWOLTAICZNE

Czym jest ogniwo fotowoltaiczne?

Jest to element półprzewodnikowy (najczęściej z krzemu, selenu lub germanu), który pod wpływem padającego światła naturalnego (słonecznego) lub sztucznego wytwarza prąd. Ogniwo fotowoltaiczne może być również nazywane ogniwem PV lub po prostu ogniwem słonecznym. Ogniwa takie połączone ze sobą stanowią panel słoneczny

Ogniwo fotowoltaiczne to podstawowy element elektrowni fotowoltaicznej. Zadaniem modułu fotowoltaicznego jest zamiana energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną w postaci prądu stałego DC.

Ogniwa fotowoltaiczne do wytwarzania energii elektrycznej z promieniowania słonecznego:

- hybrydowe
- termosłoneczne
- wysokotemperaturowe
- dachówki fotowoltaiczne
- elastyczne cienkowarstwowe
- okna z przezroczystych ogniwo
- elektrownie słoneczne



Baterie słoneczne występują również pod innymi nazwami, np.: panel słoneczny, moduł fotowoltaiczny, fotoogniwo. Mogą służyć do ładowania akumulatorów lub do bezpośredniego zasilania urządzeń elektrycznych. Ilość produkowanej energii zależy od natężenia promieniowania słonecznego. W słoneczny dzień napromieniowanie wynosi około 1000 W/m^2 , przy zachmurzonym niebie lub w półcieniu spada do $100\text{-}200 \text{ W/m}^2$. Panel fotowoltaiczny jest szczególnie wrażliwy na częściowe zacienienie. **Produkuje tyle prądu ile najłabsze z ogniw**, więc zacienienie jednego z nich obniża sprawność całej baterii

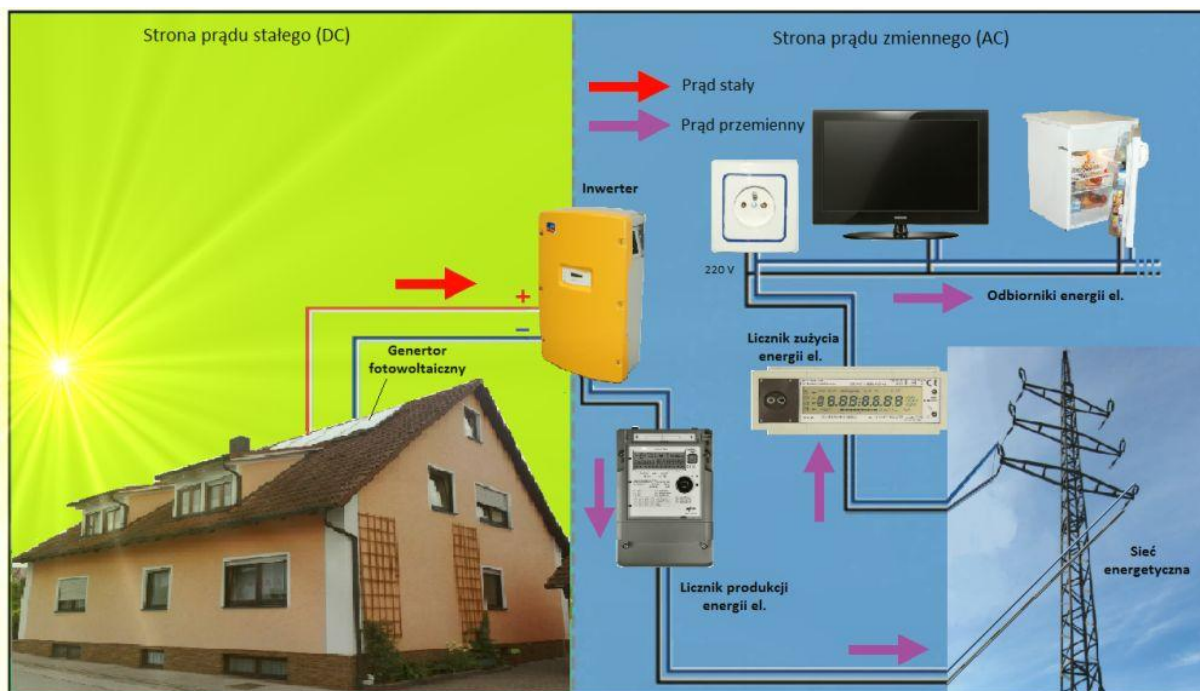


Podstawowe pojęcia:

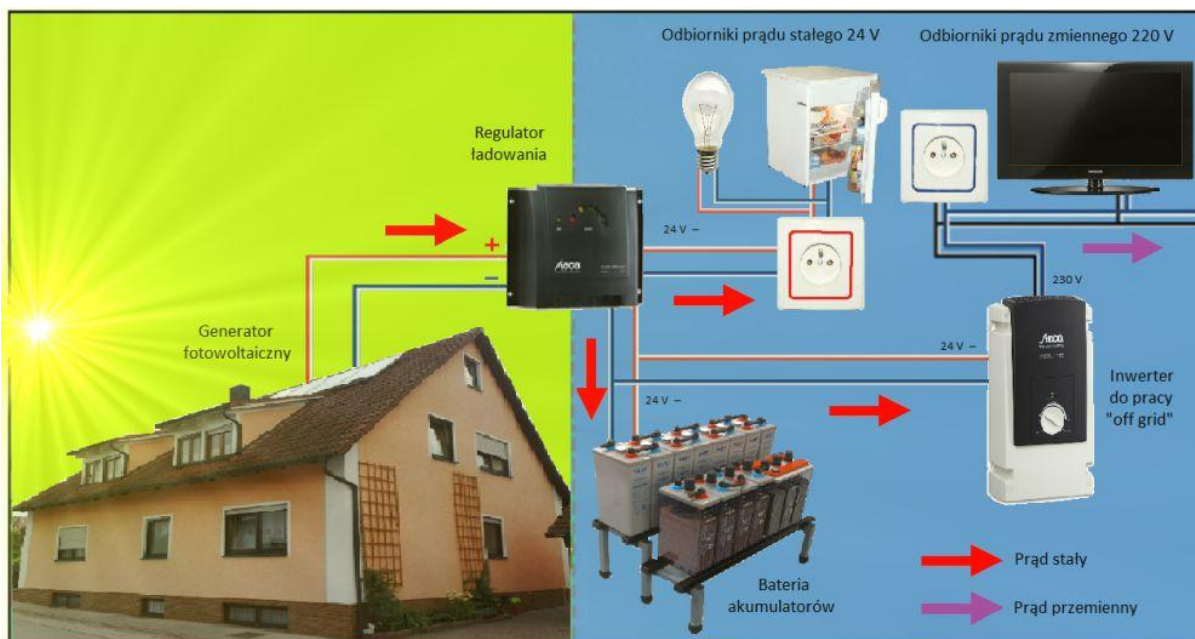
Efekt fotowoltaiczny – pod wpływem działania promieniowania słonecznego, tworzenie siły elektromotorycznej, który wykorzystywany jest w ogniwach fotowoltaicznych

Panel fotowoltaiczny – urządzenie do zamiany energii słonecznej na energię elektryczną

Instalacja podłączona do sieci (on grid) – energia produkowana z paneli fotowoltaicznych wykorzystana na potrzeby urządzeń domowych, a nadwyżka sprzedawana jest do sieci energetycznej



Instalacja podłączona do sieci (off grid) – energia produkowana z paneli fotowoltaicznych wykorzystywana jest na potrzeby urządzeń domowych, a nadwyżka wykorzystywana jest do ładowania akumulatorów

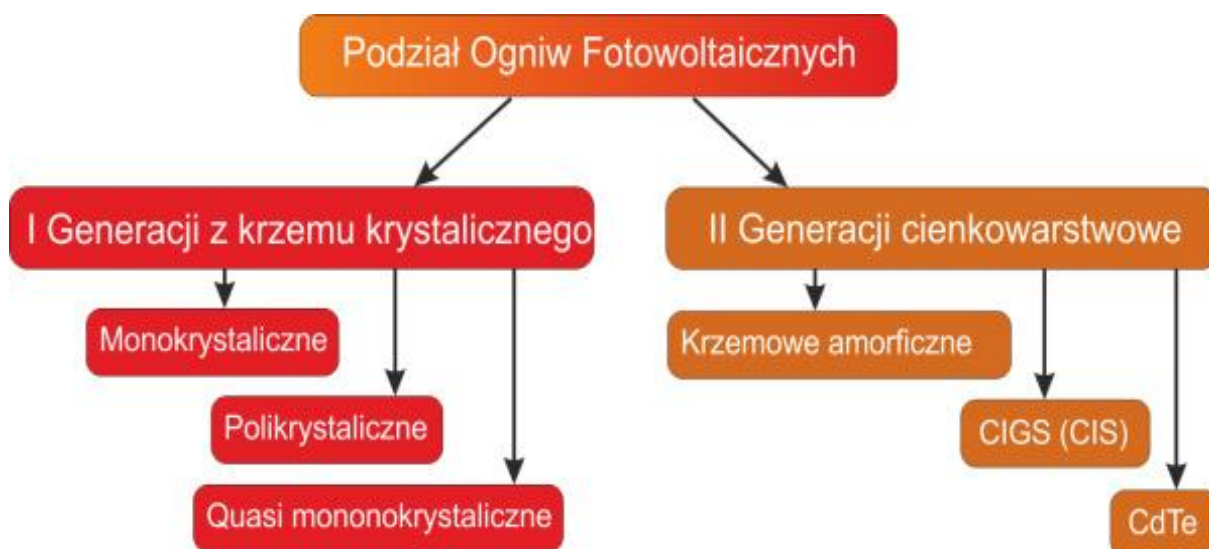


Falownik(Inwenter) – urządzenie zamieniające prąd stały na prąd zmienny o parametrach zgodnych lub zbliżonych do prądu sieciowego niskiego napięcia. Urządzenie zmieniające wyprodukowany z modułów PV prąd stały na prąd zmienny o parametrach prądu w sieci elektrycznej niskiego napięcia (230/400V 50Hz)

Dzięki falownikowi energia z paneli PV może być wykorzystana do zasilania wszystkich urządzeń znajdujących się w budynku

Moduły fotowoltaiczne ze względu na technologię i budowę dzielimy na:

- cienkowarstwowe
- klasyczne z krzemu krystalicznego



CdTe – półprzewodnik telurek kadmu

CIS/CIGS - mieszanina miedzi, indu galu i selenu(CIGS) lub miedzi, indu i selenu (CIS)

FILM: https://www.youtube.com/watch?v=O2aJFa_eb-8

Sprawność modułów

Typ modułu	Sprawność	Spadek wydajności w wysokiej temp.
Monokrystaliczny	15-18%	0,43 - 0,5%/°C
Quasi-monokrystaliczny	15-17%	0,38 – 0,45%/°C
Polikrystaliczny	14-16%	0,40 – 0,47%/°C
Amorficzny	6-10%	0,18 – 0,25%/°C
CdTe	10-14%	0,20 -0,25%/°C
CIGS/CIS	11-15%	0,35 - 0,45%/°C

Systemy montażowe:

Dachowe
Naziemne

- Nieruchome
- Podążające za słońcem

Dachowe



Naziemne:



Dobór zestawu modułów PV do zasilania domku jednorodzinnego

Przykładowa oferta - moduły z krzemu monokrystalicznego

Typ fotoogniwa		SQ70	SQ75	SQ80	SQ140	SQ150	SQ160
Moc max	W	70	75	80	140	150	160
Napięcie Nominalne	V	12	12	12	24	24	24
Napięcie Moccy max	V	16,5	17	17,5	33	34	35
Prąd zwarcia	A	4,7	4,8	4,9	4,7	4,8	4,9
Max napięcie	V	21,4	21,7	21,8	42,8	43,4	43,5
Wymiary							
Długość	mm	1200	1200	1200	1622	1622	1622
Szerokość	mm	527	527	527	814	814	814
Masa	kg	7,6	7,6	7,6	17,2	17,2	17,2

Do modułów należy dobrać:

- 1) Regulator ładowania
- 2) Inwerter
- 3) Zestaw akumulatorów
- 4) Zestaw montażowy
- 5) Zestaw okablowania

SKŁADOWE KOSZTÓW INSTALACJI PV

Koszt modułów 40-55%

Koszt falowników 10-25%

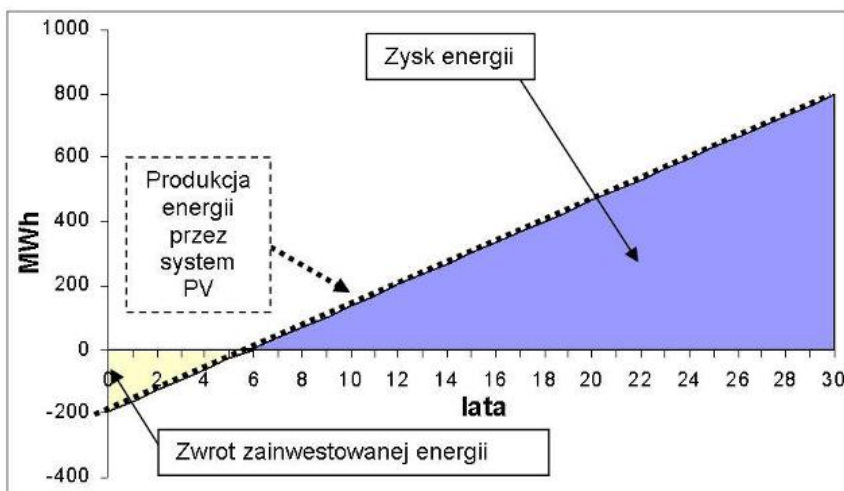
Montaż i konfiguracja 12-17%

System mocowania 7-20%

Istotnym wskaźnikiem decydującym o rozwoju fotowoltaiki jest **okres zwrotu energii**, określający czas, w którym system wyprodukuje tyle energii, ile włożono w jego produkcję.

Oszacowania czasu, jaki potrzebny jest do zwrotu energii zużytej do produkcji systemów PV, mieszczą się w granicach od 2 (dla standardowych modułów cienkowarstwowych bez ram) do 6 lat (dla standardowych modułów krystalicznych w ramach).

Nowe procesy produkcyjne oraz zwiększona skala produkcji powinny obniżyć czas zwrotu energii do mniej niż roku w przypadku modułów oraz do mniej niż 2 lat w przypadku kompletnych systemów.



Ogniwa fotowoltaiczne – produkcja

Od początku XXI wieku produkcja rozwija się w tempie około 40% rocznie. W 2011 roku łączna moc zainstalowanych ogniw słonecznych wynosiła 67 GW i zaspokajały one 0,5% światowego zapotrzebowania na energię elektryczną.

Gdy produkcja ogniw PV (w rozbiciu na kontynenty (kraje) w roku 2008 wynosiła:

1. Chiny 2,3 GW (31,5 %)
2. Europa 1,9 GW (26,1 %)
3. Japonia 1,2 GW (16,5%)
4. Tajwan 0,8 GW (10,1 %)
5. USA 0,4 GW (5,6 %)
6. Pozostałe 0,7 GW (9,7 %)

To na koniec 2014 roku wynosi blisko 140 GW (gigawaty) zainstalowanej mocy. Najwięcej instalacji zainstalowanych jest u naszych zachodnich sąsiadów – Niemiec;

Analiza techniczno-ekonomiczna sprawności baterii fotowoltaicznych

Obecnie znanych jest wiele typów materiałów umożliwiających uzyskanie efektu fotowoltaicznego. W przemyśle najczęściej wykorzystywane są ogniwa zbudowane na bazie **krzemu monokrystalicznego**

Monokrystaliczne ogniwa fotowoltaiczne wykazują najwyższe sprawności konwersji ze wszystkich ogniw krzemowych, ale również są **najdroższe w produkcji**. W badaniach laboratoryjnych ogniwa osiągają sprawności **24%**, natomiast produkowane na skalę masową **~17%**.

Niższy koszt jest ogniw **polikrystalicznych** ale sprawność tych ogniw też **jest niższa**. W chwili obecnej przemysł fotowoltaiczny oparty jest głównie **na krzemie krystalicznym i polikrystalicznym (~ 80% światowej produkcji)**.

Przewiduje się, że następna generacja ogniw fotowoltaicznych będzie się opierać na technologiach znanych jako technologie "*cienkowarstwowe*". Dzięki stosowaniu bardzo cienkich warstw (*grubości pojedynczych mikrometrów*) drogiego materiału półprzewodnikowego na tanich podłożach **można znacznie zredukować** całkowity koszt ogniwa fotowoltaicznego.

Ogniwa **cienkowarstwowe są mniej sprawne** od najlepszych ogniw z krzemu krystalicznego, ale oczekuje się, że przy produkcji na skalę masową, będą one znacznie tańsze.

Obecnie, najbardziej zaawansowane ogniwa **cienkowarstwowe** (pojedyncze, podwójne i potrójne) wykonane są z **krzemu amorficznego** (a-Si) i jego stopów (a-SiGe, a-SiC). Ogniwa potrójne osiągnęły w skali laboratoryjnej sprawność **13%**. Ogniwa z krzemu amorficznego są powszechnie używane w produktach wymagających małej mocy zasilania (kalkulatory, zegarki, itp.).

Największe sprawności przetwarzania promieniowania słonecznego (**do 30 %**) uzyskuje się z ogniw wytworzonych z arsenku galu (GaAs), ale ogniwa te są najdroższe i dlatego stosowane przede wszystkim w zastosowaniach w kosmosie.

Ogniwa z krzemu amorficznego

Zaletami ogniw wytworzonych z **krzemu amorficznego są**: mały koszt materiału, niewielkie zużycie energii przy produkcji modułu (niskie temperaturze procesu), zintegrowane połączenia ogniw i możliwość uzyskania dużych powierzchni.

Ogniwa i moduły mogą być produkowane w dowolnych kształtach i rozmiarach oraz projektowane w sposób umożliwiający integrację z fasadami i dachami budynków lub w postaci dachówek.

Mogą być one projektowane jako nieprzezroczyste lub półprzezroczyste.

Jednakże wydajność ogniwa **jest niższa niż w przypadku krzemu krystalicznego**.

Duże zaangażowanie przemysłu w technologii cienkowarstwowe rokuje nadzieję na obniżenie kosztów produkcji.

Moduły i panele fotowoltaiczne

Pojedyncze ogniwo fotowoltaiczne produkuje zazwyczaj pomiędzy **1 a 2 W**, jest to niewystarczające dla większości zastosowań.

Dla uzyskania większych napięć lub prądów **ogniwa łączone są szeregowo lub równolegle tworząc moduł fotowoltaiczny.**

Moc takich modułów wyrażana jest w **watach mocy szczytowej** (Wp - watt peak), zwykle kształtuje się pomiędzy **30 a 120 Wp** (pow. od 0,3 do 1 m²), zdefiniowanych jako moc dostarczana przez nie w warunkach standardowych (STC), tj. przy promieniowaniu słonecznym o mocy 1000 W/m², temperaturze otoczenia 25°C i parametrze **AM 1.5**.

Parametr **AM1.5** (Air Mass) w dużym uproszczeniu wskazuje pod jakim kątem znajduje się bateria względem Ziemi. Kąt ten wynosi 42 stopnie. W praktyce moduły rzadko pracują przy warunkach standardowych, więc użyteczne jest posiadanie charakterystyk prądowo-napięciowych (I - V) wydajności modułu w szerokim zakresie warunków pracy.

Czas życia modułów fotowoltaicznych przewiduje się **20 - 30 lat.**

Aktualnie wytwarza się specjalne moduły, które są zintegrowane z dachami lub fasadami budynków.

Ostatnim osiągnięciem w tej dziedzinie jest wytworzenie półprzezroczystego modułu, który może być używany jako okno w budynkach.

Systemy fotowoltaiczne

Wyróżnia się trzy podstawowe konfiguracje systemów fotowoltaicznych:

**wolnostojące,
hybrydowe
i dołączone do sieci.**

SYSTEMY WOLNOSTOJĄCE

Systemy wolnostojące korzystają jedynie z energii produkowanej w ogniwach fotowoltaicznych. System taki składa się z:

- panelu fotowoltaicznego,
- akumulatora
- urządzenia kontrolującego stopień naładowania akumulatora .

Akumulatory muszą mieć więc wystarczająco dużą pojemność, aby zapewnić dostarczanie energii w nocy oraz w okresach złej pogody

Wolnostojące systemy profesjonalne mają zwykle niskie wydajności, ponieważ pracują prawie przy stałym obciążeniu przez cały rok i ich zestawy modułów muszą być wystarczająco duże aby zapewnić dostateczną ilość energii w zimie, co powoduje, że część energii elektrycznej produkowanej w lecie jest bezużyteczna.

Typowe systemy w Polsce (podobnie jak w Europie) mają roczne współczynniki sprawności pomiędzy **20% a 30%** (odpowiednik przeciętnych wydajności rzędu **200 - 550 kWh/kWp/rok**).

Systemy hybrydowe są kombinacją panelu fotowoltaicznego i innego systemu wytwarzania energii takiego, jak np. generator spalinowy, gazowy lub wiatrowy.

Dla zapewnienia efektywnego wykorzystania różnych sposobów wytwarzania energii systemy hybrydowe mają bardziej skomplikowane układy kontrolne niż systemy wolnostojące.

Dzięki wykorzystaniu dodatkowego źródła energii panel fotowoltaiczny może być mniejszy niż w analogicznych systemie wolnostojącym, stąd też w niektórych przypadkach **system hybrydowy jest tańszy.**

SYSTEMY DOŁĄCZONE DO SIECI

Systemy dołączone do sieci mogą mieć **postać elektrowni z dużą ilością paneli fotowoltaicznych oddających energię do sieci elektroenergetycznej.**

Projektowanie systemów fotowoltaicznych jest optymalizowane przy użyciu programów komputerowych, które dopasowują przewidywany profil obciążenia w ciągu roku i dnia do przeciętnego słonecznego napromieniowania na danym obszarze.

Wydajność systemu zależy od promieniowania słonecznego podającego na zestaw modułów PV.

Wydajność wolnostojących, małych wiejskich systemów elektryfikacyjnych, zmienia się w szerokim zakresie w zależności od sposobu jego użytkowania przez odbiorców. Małe systemy wiejskie mają

roczne współczynniki sprawności pomiędzy **30% a 60%** (odpowiednik przeciętnych wydajności rzędu **300 - 1000 kWh/kWp na rok**).

Przykładowo system „wiejski” ze współczynnikiem sprawności **50%**, w południowej Europie, gdzie promieniowanie słoneczne wynosi **1600 kWh/m²/rok** może dać **800 kWh/kWp/rok**, w Polsce natomiast, gdzie promieniowanie słoneczne wynosi **~1000 kWh/m²/rok**, system ten mógłby dać jedynie **500 kWh/kWp/rok**.

Niestety SPBT w polskich warunkach klimatycznych wynosi **>21 lat**.

Analiza ekonomiczna – dom jednorodzinny

Koszty inwestycyjne za 1 kW - 10 m² baterii fotowoltaicznych – **26 000 zł**

Uzysk energii **~1250 kWh/rok**

Oszczędności **600 zł** (1250 x 0,48 zł /kWh)

Sprzedaż Zielonych Certyfikatów **587,5 zł**

(1250 x 0,47zł kWh)

SPBT = 26000:1187,5 = **21,2 lat**

Niestety instalacje baterii fotowoltaicznych bez dofinansowania zewnętrznego jeszcze są nieopłacalne.

Przykład realizacji- Domowa instalacja fotowoltaiczna na trackerach

Krótki opis:

System PV składa się z 2 trackerów, każdy po **30 paneli** fotowoltaicznych, każdy o mocy 200 Wp (p-*peak*)moc szczytowa, maksymalna) co daje razem moc nominalną **12 kWp**(30x2x200).

Dwie instalacje fotowoltaiczne zostały zainstalowane na trackerach dwuosioowych, podążających za słońcem w płaszczyźnie pionowej i poziomej. Dzięki zainstalowaniu czujników kierunku padania światła, panele **są zawsze ustawione prostopadle do kąta padania światła** słonecznego (większa efektywność 30 %)

W słoneczny dzień lata obie instalacje fotowoltaiczne produkują ok. **80-90 kWh**. Jesienią w dniach o umiarkowanym zachmurzeniu jest to **40 kWh**. Jest to wynik lepszy niż wskazywały prognozy

Gdy energii ze słońca jest zbyt mało w stosunku do bieżącego zapotrzebowania, instalacja przełącza się na sieć zewnętrzną w całości lub uzupełnia brakującą część z sieci energetycznej.

Dla przykładu: jeśli instalacja PV produkuje **4 kW**, a zapotrzebowanie jest na **6 kW**, to brakujące **2 kW** jest "dociągane" z sieci.

Gdy produkowanej energii jest za dużo, **przepływa ona do sieci dystrybucyjnej** przy spełnieniu wielu warunków technicznych, których **pilnuje elektronika** inwertera oraz automatyka (uzgodniona w siecią)

Wszystko to jest otoczone warstwą zabezpieczeń technicznych - np. w przypadku zaniku prądu do zera (np. prace na lokalnym transformatorze) cała instalacja w ułamku sekundy wyłącza się, tak by nie porazić pracującego na lokalnym transformatorze pracownika sieci.

Korzyści są oczywiste: liczniki energii stają w miejscu.

a) Rocznie opłaty inwestora za energię elektryczną, (oświetlenie, c.o i cwu) to ok. **8.500 zł**.

Ogrzewanie i c.w.u w budynku uzyskuje się za pomocą zasilania pompy ciepła woda-woda o mocy **14 kW** oraz grzałki wspomagającej o mocy **6 kW**. Jako zabezpieczenie jest jeszcze jedna grzałka **6 kW**, ale w ostatnim roku włączyła się tylko raz, gdy temperatura spadła poniżej **-30°C** – informuje użytkownik

Roczne koszty energii dzięki zainstalowaniu systemu PV ok. **1.000 zł** (z **8,5 tys** pierwotnie). Technicznie jest możliwe zejście z kosztami **do zera**, gdy zamontuje się **akumulator ciepła w postaci 1.000-litrowego** zasobnika buforowego wyposażonego w grzałkę o mocy **2 kW**, który odbierze i przechowa nadmiar prądu z instalacji fotowoltaicznej w postaci wody nagranej do 85°C.

To jest podwójnie opłacalne, bo obniżą się koszty dwóch podmiotów gospodarczych, które prowadzi inwestor, ale co ważniejsze - może w swojej działalności biznesowej (zajmuje się pośrednictwem w sprzedaży paneli) przekonywać przyszłych klientów do fotowoltaiki, pokazując im realną, prawdziwą instalację demonstracyjną.