

Energia słoneczna **- ogniwa fotowoltaiczne**

...

Instalacje w budownictwie ekologicznym
(w aspekcie energii elektrycznej)



Energia słoneczna

Charakterystyka źródła energii



- Energia słoneczna jest najbardziej dostępnym rodzajem energii odnawialnych na Ziemi o prawie nieograniczonych zasobach.
- Strumień energii/mocy docierający do atmosfery Ziemi 173-178 PW (w zależności od autora). Około 30 tys. razy więcej niż wynosi moc wszystkich zainstalowanych urządzeń.
- Rozdział strumienia energii:
 - ok. 30 % jest odbijane od powierzchni Ziemi (prom. widzialne i UV),
 - ok. 47 % jest pochłaniane i reemitowane w kosmos jako prom. podczerwone,
 - ok. 23 % jest „pozostaje” na Ziemi (fotosynteza, temperatura, wiatr, ...),
 - szacunkowa ocena: 39,66 PW (ok. 23%) dociera do Ziemi, 83 PW absorbowana w atmosferze.
- Szacunkowa możliwość praktycznego wykorzystania energii 2,2 TW·a

Energia słoneczna

Charakterystyka źródła energii



- Energia fotonu E :

$$E = h \cdot f$$

h – stała Plancka $6,6 \cdot 10^{-34}$ J·s;

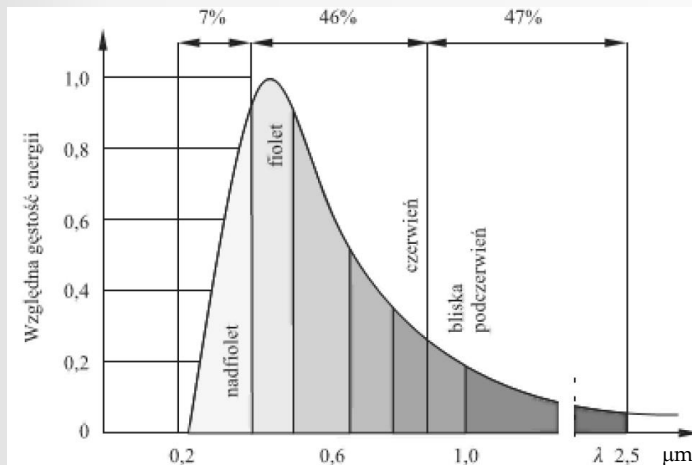
f – częstotliwość fali światła, Hz, 1/s;

- Częstotliwość fali światła f :

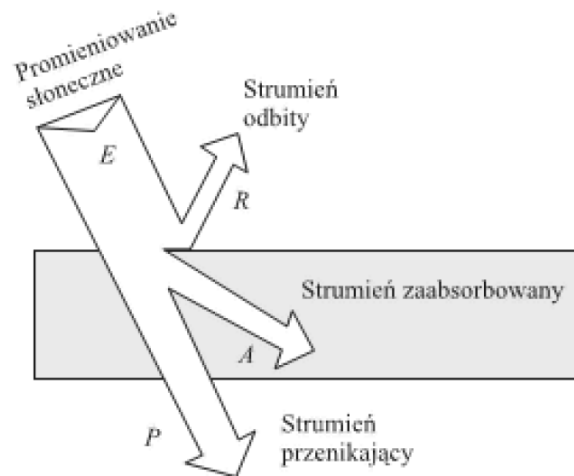
$$f = v / \lambda$$

v – prędkość fali, m/s

λ – długość fali, m.



Spektrum światła słonecznego



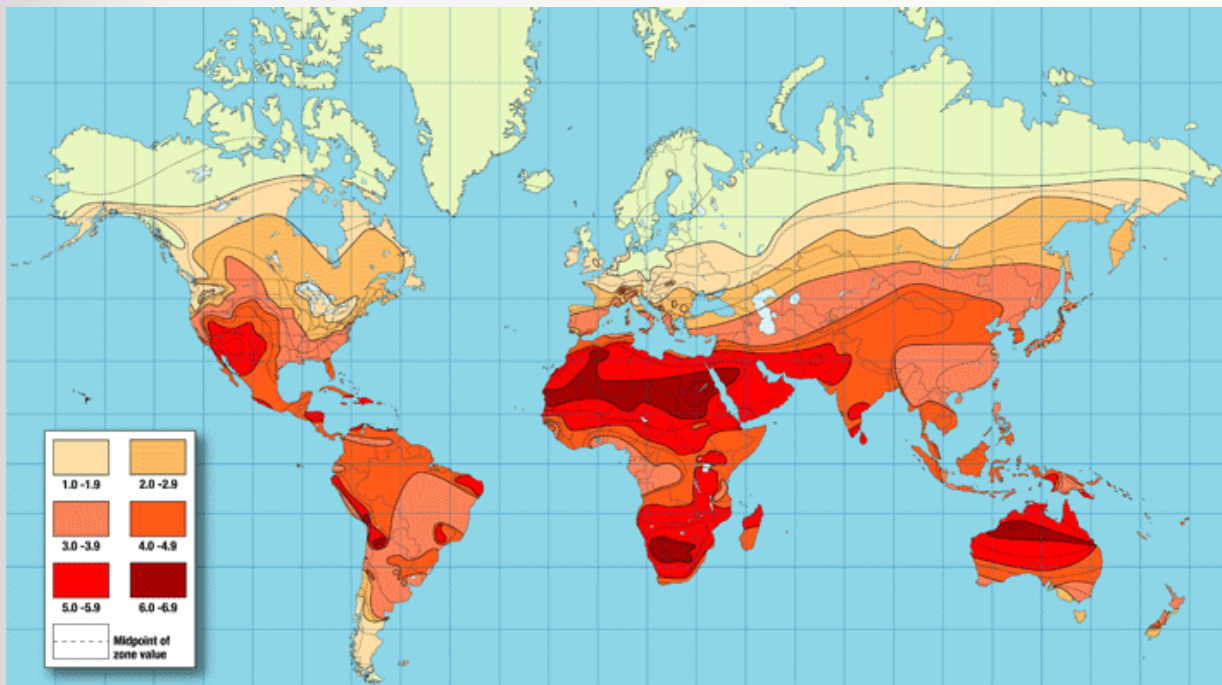
Składowe oddziaływania promieniowania na materię w mechanizmie prostym

Parametry oddziaływania energii słonecznej



- **Nasłonecznienie** - ilość energii słonecznej padającej na jednostkę powierzchni płaskiej w określonym czasie, wyrażona w MJ/m^2 ;
- **Usłonecznienie** - średnioroczne sumy czasu promieniowania słonecznego, określające liczbę godzin promieniowania słonecznego w ciągu roku (przy natężeniu promieniowania słonecznego $> 200 \text{ W}/\text{m}^2$);
- **Natężenie promieniowania słonecznego** - moc energii słonecznej przypadającą na jednostkę powierzchni, wyrażana w W/m^2 ;
- **Gęstość mocy energii słonecznej** docierającej do powierzchni Ziemi, prostopadłej do promieni słonecznych na granicy atmosfery. Wartość charakteryzująca energię słoneczną przekazywaną prostopadle na jednostkę powierzchni w jednostce czasu przy założeniu średniej odległości od Słońca ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) (solar constant). Wynosi $1\,395 \text{ kW}/\text{m}^2$ (Lewandowski, Stryczewska), 1361 (Wikipedia), NASA's Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE) $1360,8 \pm 0,5 \text{ kW}/\text{m}^2$ (NASA 2008)

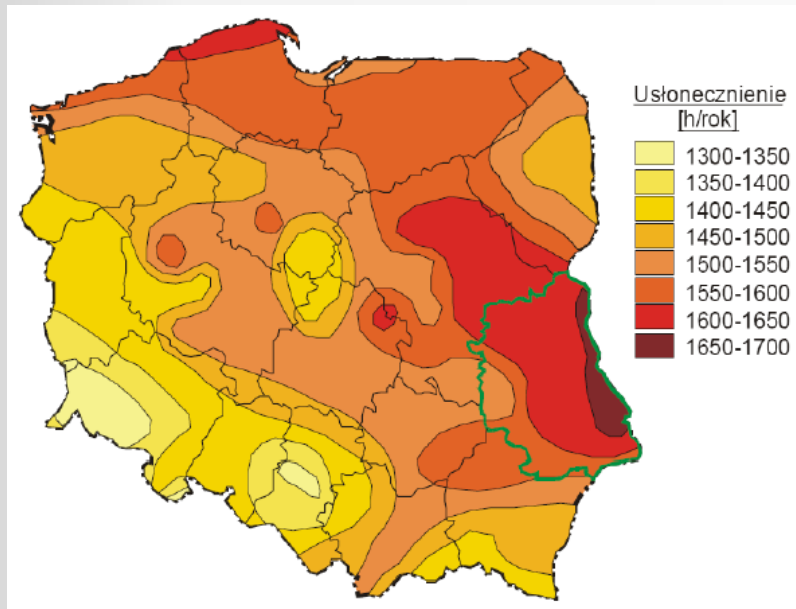
Usłonecznienie - świat



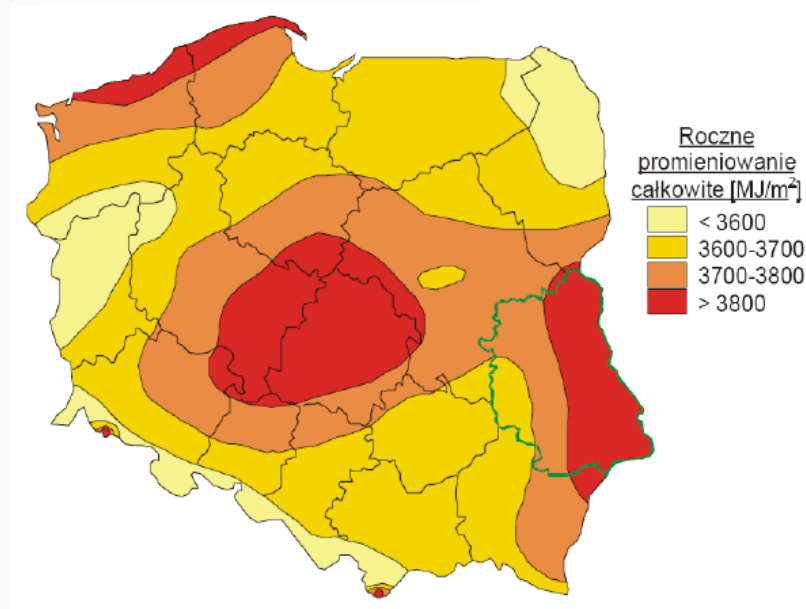
Najbardziej nasłonecznione obszary kuli ziemskiej znajdują się między 30° szerokości geograficznej północnej a 30° szerokości południowej.

Na wartość nasłonecznienia wpływ ma także kąt pochylenia osi ziemi w stosunku do płaszczyzny ekliptyki. Dlatego w okresie zimowym na tym samym obszarze dopływa dziennie do Ziemi około 20 % mniej energii niż w okresie letnim, ponieważ Słońce jest niżej i dni są krótsze .

Energia słoneczna w Polsce

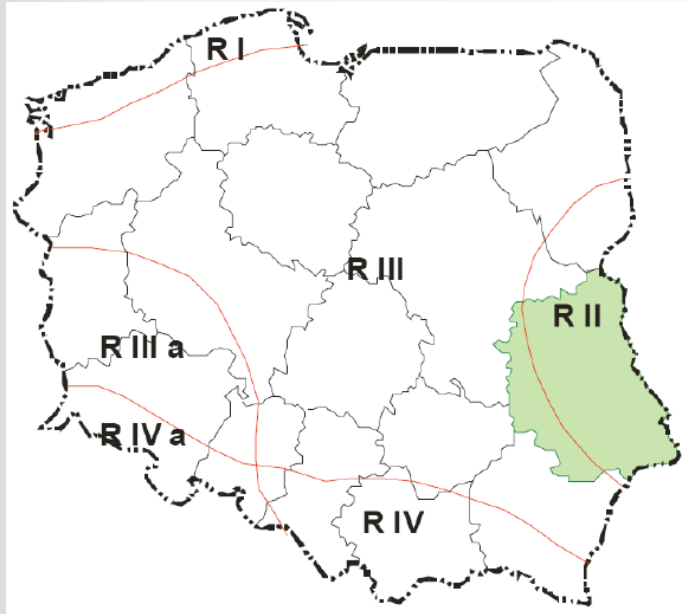


Średnie roczne sumy uśonecznienia



Roczne promieniowanie całkowite w MJ/m²

Energia słoneczna w Polsce



Rejonizacja obszaru Polski pod względem możliwości wykorzystania energii słonecznej

- **RI** - rejon nadmorski o najwyższych sumach rocznego promieniowania słonecznego o rocznych zasobach przekraczających 950 kWh/m^2 i najlepszych warunkach wykorzystania w okresie letnim i najgorszych zimą.
- **RII** - rejon wschodni o najwyższych sumach rocznego promieniowania słonecznego o rocznych zasobach przekraczających 950 kWh/m^2 .
- **RIII** - rejon centralny o rocznych zasobach $900\text{-}950 \text{ kWh/m}^2$, w obrębie którego wyodrębniono podrejon górnego dorzecza Odry RIIIa ze względu na nieznacznie wyższe zasoby w półroczu zimowym.
- **RIV** - rejon południowy o zasobach mniejszych od 900 kWh/m^2 , w którym wyodrębniono podrejon Sudetów i Przedgórze Sudeckie RIVa, ze względu na wyższe zasoby w półroczu letnim i niższe w półroczu zimowym.

Zalety i wady energii słonecznej



Zalety:

- Wszechobecność (brak problemów transportowych)
- Brak kosztów energii
- Proekologiczność (brak efektu cieplarnianego, skażenia tlenkami siarki i innych gazów, brak niszczenia warstwy ozonowej)
- Brak wpływu na bilans energetyczny Ziemi (inaczej niż ropa, węgiel, gaz)

Wady:

- Cykliczność (dzienna, roczna) i przypadkowość występowania (konieczność magazynowania energii)
- Zmienna koncentracja i niskie natężenie (konieczność zajmowania dużych obszarów, konieczność budowania systemów podążania za ruchem Słońca)
- Znaczne koszty związane z budowaniem urządzeń wspomagających

Ogniwa fotowoltaiczne - historia

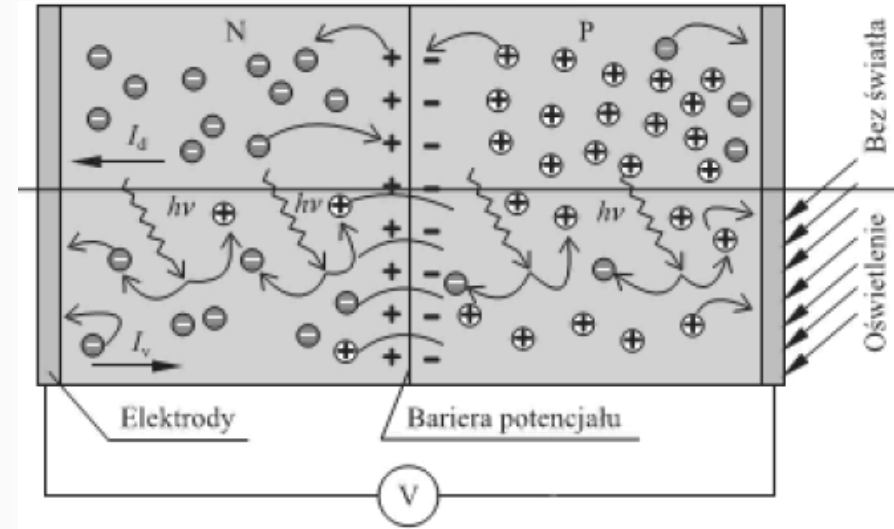


- 1839 - Alexandre Edmond Becquerel – obserwacja efektu fotowoltaicznego dwóch elektrod (chlorkowo-srebrowych) zanurzonych w elektrolicie.
- 1873 – Willoughby Smith – odkrycie czułości selenu na światło.
- 1876 – Richard Day, William Adams – potwierdzenie odkrycia Smitha.
- 1877 - William Adams – budowa pierwszej wersji źródła fotowoltaicznego. Ogniwo selenowe o sprawności ok. 0,5%.
- 1883 - William Adams, Charles Fritts – budowa kolejnej wersji źródła,
- 1888 - Edward Weston – uzyskanie amerykańskiego patentu na „Solar cel” .
- 1954 – D.C. Reynolds – praca dotycząca obserwacji efektu fotowoltaicznego w złączu Cu-monokryształ CdS stanowiąca podstawę do budowy ogniw cienkowarstwowych.
- 1954 – D.M. Chapin, S.C. Fellerand, G.L. Person – budowa ogniwa z monokryształu krzemu o sprawności ok. 6 %.

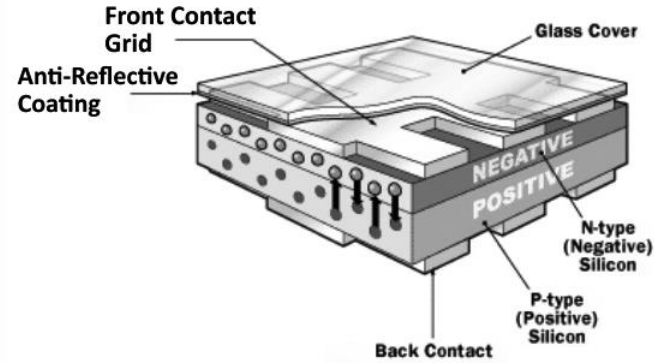
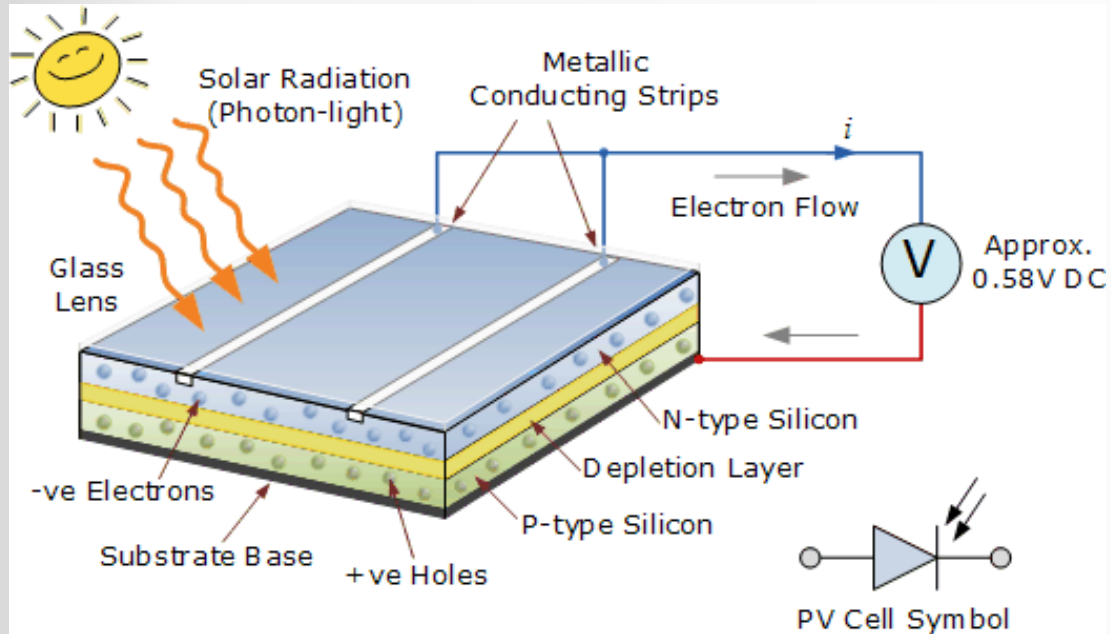
Ogniwa PV – zasada działania



- Złącze p-n stanowią dwa obszary półprzewodników. Obszar typu n domieszkowany jest tak, aby występował nadmiar elektronów – np. Si domieszkowany fosforem. Obszar typu p domieszkowany jest tak, aby występował niedobór elektronów – np. krzem domieszkowany borem.
- Bez zasilania zewnętrznego i światła, w pierwszej fazie nadmiar elektronów (-) z obszaru n dyfunduje do obszaru p. W odwrotnym kierunku symbolicznie, z obszaru p do n, przesuwane są dziury (+).
- Proces trwa do momentu wytworzenia przez nieruchome jony ujemne w obszarze p i dodatnie w obszarze n bariery potencjału. Układ wchodzi w stan równowagi. Bariera potencjału hamuje ruch ładunków. Ładunki warstwy zaporowej stają się źródłem napięcia.
- Doprowadzenie do złącza energii świetlnej pozwala na wybite z sieci krystalicznej kolejnych elektronów. Generowane są dodatkowe pary dziura-elektron. Bariera potencjału dalej stanowi źródło napięcia. W takim stanie przyłączenie do elektrod źródła odbiornika spowoduje, że przez odbiornik i złącze p-n popłynie prąd.



Ogniwa PV – budowa



Ogniwa fotowoltaiczne - typy

- **Monokrystaliczne** - wykonane jest z jednego monolitycznego kryształu krzemu. Charakteryzuje się wysoką sprawnością zazwyczaj 18-22% oraz wysoką ceną. Posiada charakterystyczny ciemny kolor.
- **Polikrystaliczne** - wykonane jest z wykryształizowanego krzemu. Charakteryzuje się sprawnością w przedziale 14-18% oraz umiarkowaną ceną. Zazwyczaj posiada charakterystyczny niebieski kolor i wyraźnie zarysowane kryształy krzemu.
- **Cienkowarstwowe z krzemu amorficznego** wykonane jest z bezpostaciowego niewykryształizowanego krzemu. Charakteryzuje się niską sprawnością w przedziale 6-10% oraz niską ceną. Zazwyczaj posiada charakterystyczny lekko bordowy kolor i brak widocznych kryształów krzemu.
- **Cienkowarstwowe ze związków półprzewodnikowych** - ogniwa z tellurku kadmu (CdTe) oraz ogniwa z selenku miedziowo - indowego CuInSe_2 (Copper - Indium - Selenide – CIS) i selenku miedziowo - indowo - galowego CuInGaSe_2 (Copper - Indium - Gallium - Diselenide – CIGS) .



Ogniwa fotowoltaiczne - rozwój



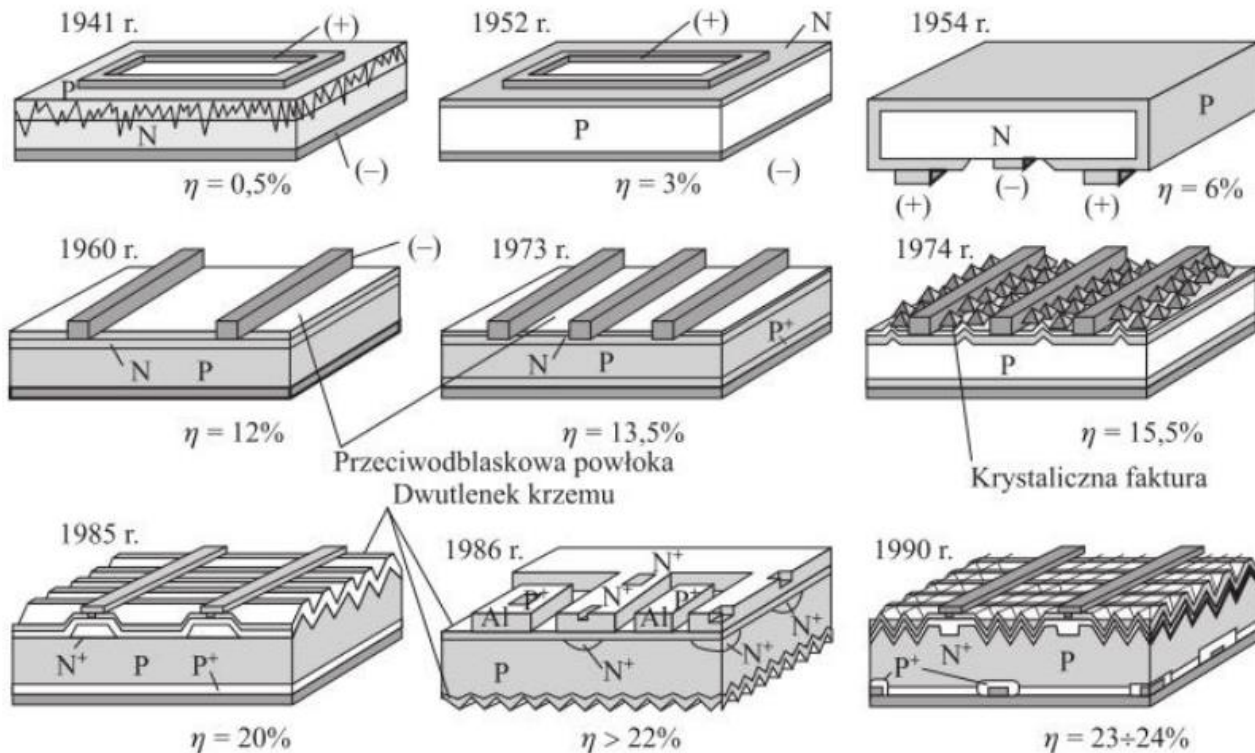
- **I generacja** –klasyczne. Ogniwa te oparte są o tradycyjne krzemowe złącze p-n produkowane z bardzo czystego (99,99999%) krzemu krystalicznego w postaci waflí grubości ok. 200-300 mikrometrów. Charakteryzują się „wysoką” sprawnością ok. 17-22% jak również wysokimi kosztami produkcji. Głównie z uwagi na wysokie koszty krzemu oraz małą automatyzację produkcji (wiele prac wykonuje pracownik). Udział w rynku ok. 82%.
- **II generacja** – także zbudowane w oparciu o złącze P-N jednak nie z krzemu krystalicznego lecz np. z tellurku kadmu (CdTe), mieszaniny miedzi, indu, galu, selenu (CIGS) czy krzemu amorficznego. Ich cechą charakterystyczną jest bardzo mała grubość warstwy półprzewodnika absorbującej światło, która zazwyczaj waha się od 1-3 mikrometrów. Z uwagi na dużą redukcję zużycia półprzewodników są znacznie tańsze w produkcji. Niższa sprawność od ogniw I generacji, która w zależności od technologii waha się od 7-15%. Obecny udział w rynku ok. 18%.
- **III generacja** – pozbawione złącza P-N. Obecnie do ogniw III generacji zaliczane są bardzo różne technologie. Celem ogniw III generacji mają być niskie koszty oraz prostota produkcji. Główną przeszkodą w ich popularyzacji jest niska sprawność oscylująca wokół kilku procent. Obecny udział w rynku ogniw III generacji nie przekracza 0,5%.

CPV- multizłączowe ogniwa, składające się z kilku ogniw z materiałów półprzewodnikowych o różnej przerwie energetycznej, ułożonych jedno na drugim. Korzysta się z soczewek i zwierciadeł w celu skupienia promieniowania słonecznego na małej powierzchni (sprawność 44,4%).

DSC (DSSC, Dye - sensitized Solar Cells) ogniwa fotoelektrochemiczne „ konwersja energii zachodzi w sposób podobny do tego, w jaki następuje w roślinach i algach. Sprawność w warunkach naturalnych wynosi poniżej 5%.

Organiczne ogniwa fotowoltaiczne (OPV) to takie, w których do absorpcji promieniowania i transportu ładunków zastosowano materiały organiczne. Rekordową wydajność w swej klasie ok. 8,3%.

Ogniwa fotowoltaiczne - rozwój



Ewolucja
konstrukcji
ogniw
fotowoltaicznych

Ogniwa PV – Charakterystyka $U=f(I)$



Charakterystyka napięciowo-prądowa ogniwa z krzemu amorficznego (a-Si) przy natężeniu oświetlenia 100 mW/cm^2 .

Sprawność konwersji energii świetlnej na elektryczną:

$$\eta = (UI)/(EA) \text{ 100\%}$$

η - sprawność, %, U – napięcie ogniwa, V;

I - natężenie prądu, A; E – natężenie światła, W/m^2 ;

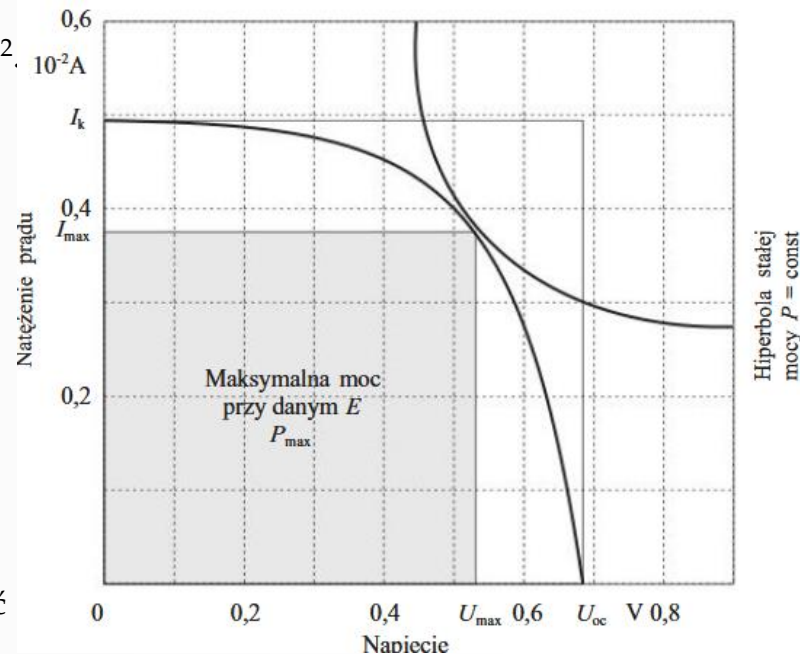
A – powierzchnia ogniwa

$$\eta = (U_{oc} I_k FF)/(EA) \text{ 100\%}$$

U_{oc} – napięcie jałowe źródła, V; I_k – prąd zwarcia, A;

FF – współczynnik wypełnienia charakterystyki, stosunek pola mocy maksymalnej do pola pod ch-ką $U=f(I)$, -.

Teoretyczna sprawność dla ogniwa a-Si to 21%, stąd dla maksymalnego natężenia promieniowania 1000 W/m^2 można uzyskać z ogniwa 210 W/m^2 mocy elektrycznej (w rzeczywistości mniej z powodu: 55% fotonów ma energię „niewybijającą” elektronów, 36% promieniowania jest odbijane, występuje rezystancja ogniwa, wyższa temperatura przyspiesza rekombinację i zwiększa prąd wsteczny).



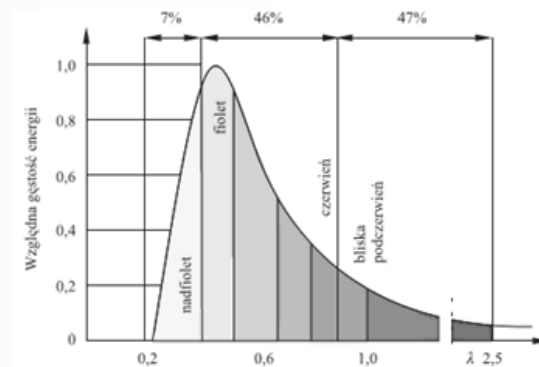
Ogniwa PV

Wpływ częstotliwości, długości fali światła



Nie wszystkie fotony mają energię zdolną do wybijania elektronów z orbit walencyjnych (np. dla których energia wyjścia wynosi 2 eV). Dokonać może tego promieniowanie o długości fali większej niż 0,64 mikrometra. Warunek spełnia tylko 30% promieniowania słonecznego.

Nie cała energia wyjścia elektronów może być wykorzystana. Około 50% energii zostaje zamieniona w anodzie na ciepło i wypromieniowana do otoczenia. W przypadku energii wyjścia na poziomie 2 eV sprawność konwersji energii światła na elektryczną wynosiłaby 15 %.



Sprawność konwersji energii słonecznej na elektryczną dla czystego krzemu o energii wyjścia 1 eV i granicznej długości fali 1,1 mikrometr.

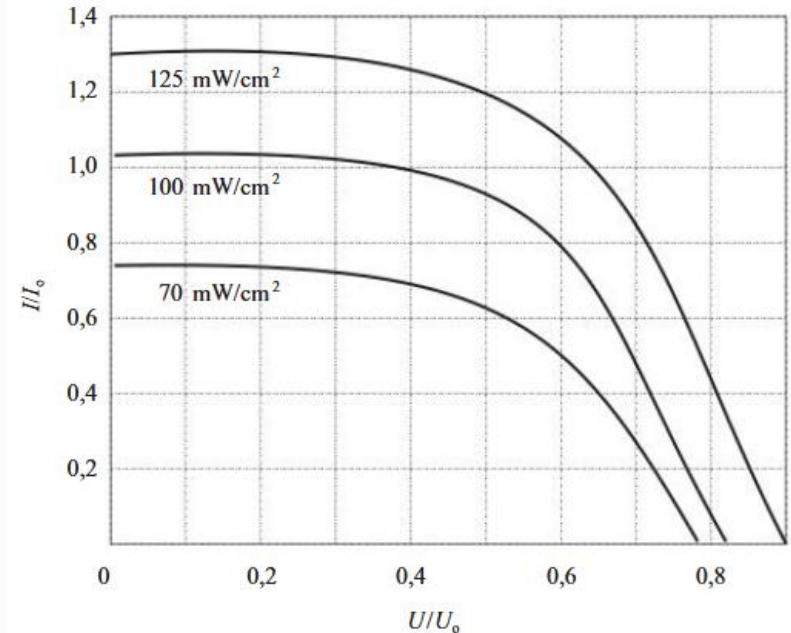
Zakres długości fali λ μm	Udział energii w danym zakresie %	Część energii ulegająca konwersji w danym zakresie %	Sprawność konwersji %
> 0,3	0	–	–
0,3 ÷ 0,5	17	0,36	6
0,5 ÷ 0,7	28	0,55	15
0,7 ÷ 0,9	20	0,73	15
0,9 ÷ 1,1	13	0,91	12
> 1,1	22	0	0
	100		48

Ogniwa PV - Wpływ nasłonecznienia



Poprawienie sprawności jest możliwe przez:

- zwiększenie wsp. FF (I_K i U_{co}) przez wdrażanie bardziej zaawansowanych technologii,
- zmniejszenie odbić (warstwy antyrefleksyjne),
- zmianę materiału ogniwa - w stosunku do a-Si sprawność Si polikrystalicznego x1,4, Si monokrystalicznego x1,8, arsenek galu (GaAs x2,2) monolityczne, dwuzłączowe (ALGaAS/Si) x 2,85
- zmniejszenie temperatury powierzchni absorpcyjnej,
- zastosowanie koncentratorów promieniowania.



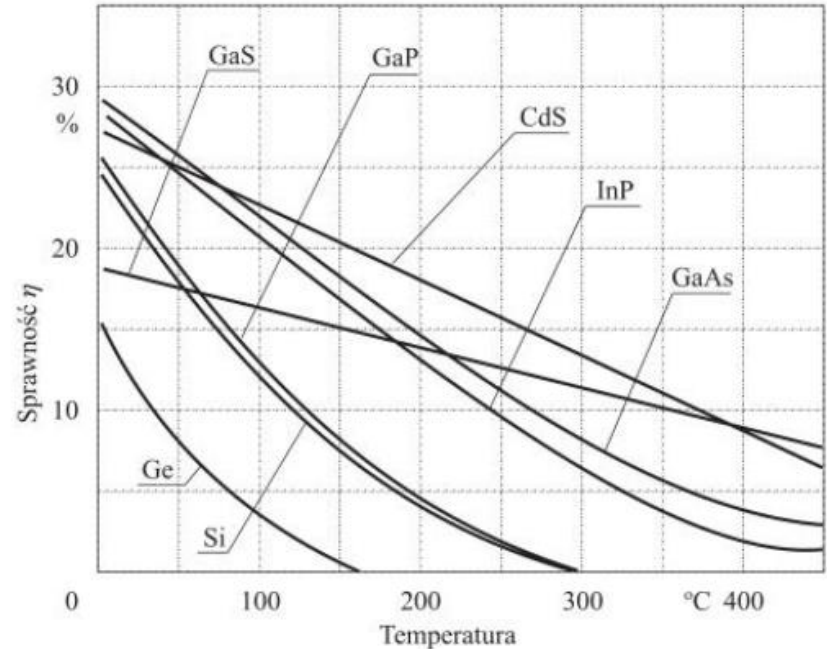
Wpływ nasłonecznienia na charakterystykę $U=f(I)$ ogniwa a-Si

Ogniwa PV - Wpływ temperatury



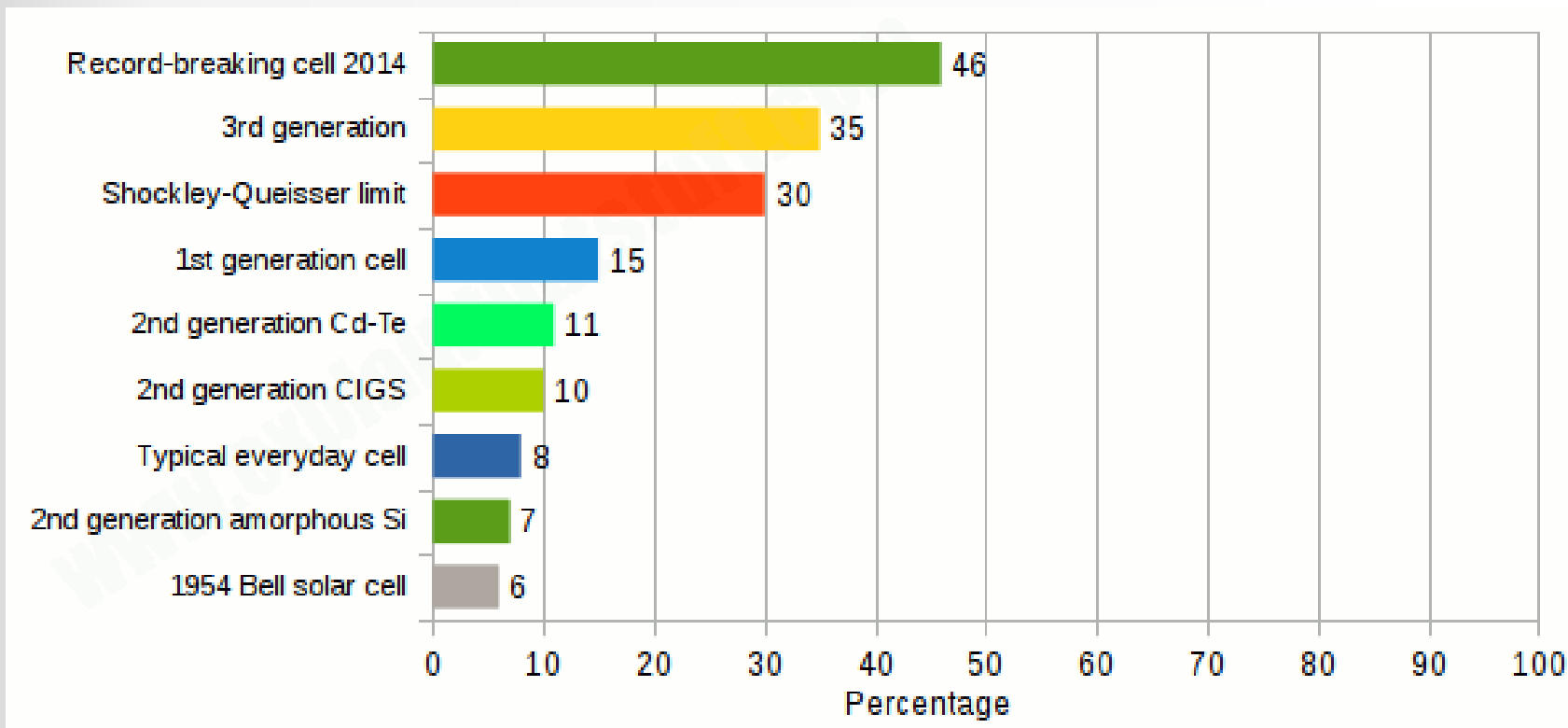
Efekty negatywne:

- wzrost amplitudy drgań sieci krystalicznej utrudniający przepływ ładunków,
- nadmierna energia ładunków pozwalająca im na przekraczanie złącza w obu kierunkach,
- zanikanie złącza PN ze względu na swobodne przemieszczanie się ładunków przez złącze,
- Przykładowo dla krzemu temperatura 300 stopni C ogranicza sprawność do zera.



Wpływ temperatury na sprawność
wybranych typów ogniw

Ogniwa PV – Sprawność źródeł

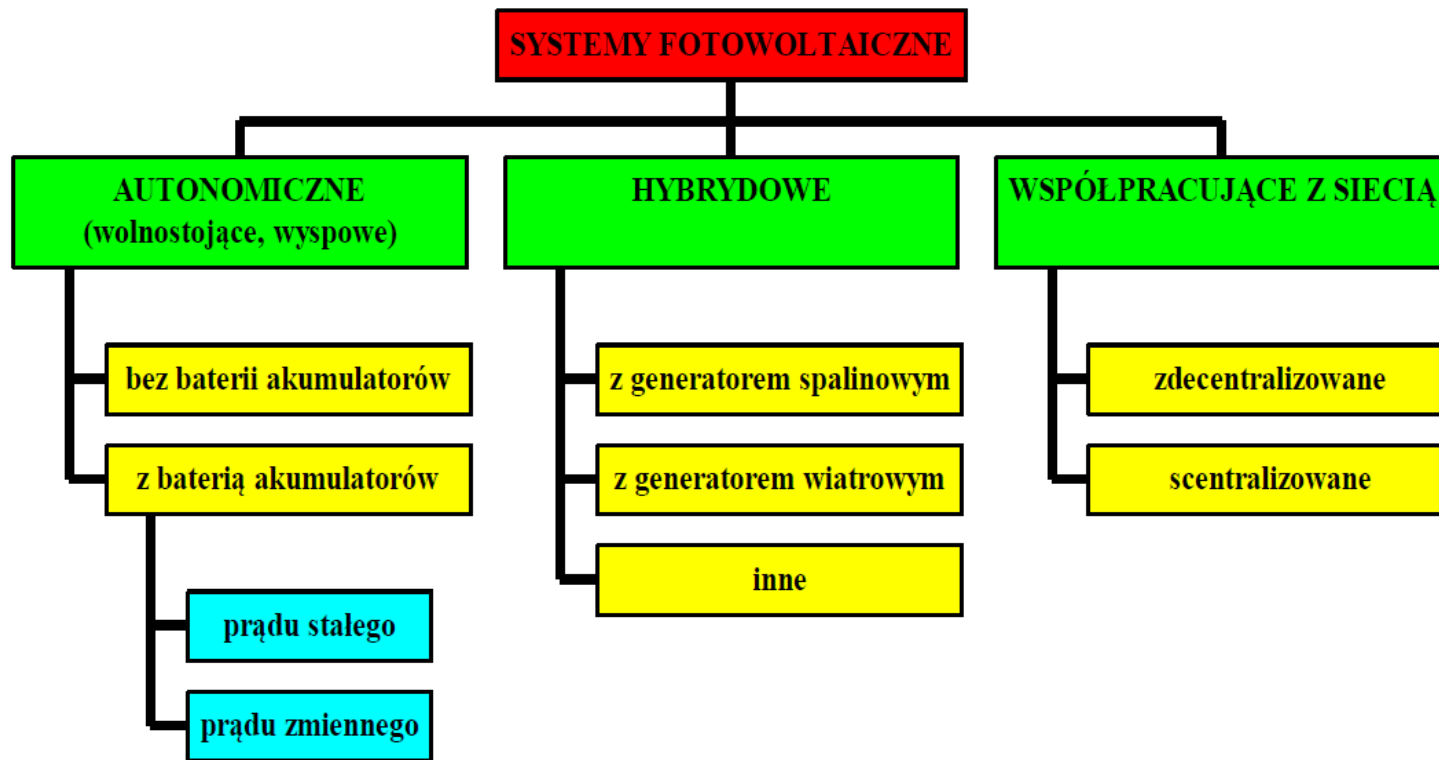


Baterie fotowolaltyczne

- Ogniwo -> moduł (panel) -> panel (bateria)
- Pojedyncze ogniwo pozwala na zasilanie jedynie „małych” odbiorników.
- Moc standardowego ogniwa słonecznego, zależnie od jego typu i dla normalnych warunków, zamyka się w granicach ok. (1-1,5) W przy napięciu (0,5-0,6) V i prądzie około 2 A.
- Ogniwa słoneczne, jako źródła stałego prądu elektrycznego, pozwalają się bez większych trudności łączyć szeregowo lub równolegle w systemy wyższych mocy nazywane powszechnie panelami słonecznym. Celem zwiększenia wartości prądu ogniwa łączone są równolegle. Przez połączenie szeregowo ogniw słonecznych uzyskuje się zwiększenie napięcia na wyjściu zespołu.
- Wartość prądu oddawanego przez powstały zespół zależy od najłabszego ogniwa szeregu. Przy łączeniu szeregowym ogniw słonecznych należy dobierać zatem elementy tej samej powierzchni i z możliwie zbliżoną charakterystyką prądowo-napięciową (w praktyce ten sam typ oraz ten sam producent).
- Dostępne na rynku moduły są najczęściej szeregowo połączonymi ogniwami słonecznymi. Polikrystaliczne moduły zawierają do 44, monokrystaliczne do 36 ogniw. Moduły mają moc w granicach 12-150 W. Dla zastosowań w elektrowniach słonecznych produkowane są moduły o mocach do 300 W.

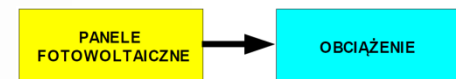
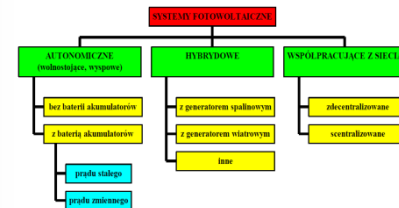


Systemy fotowoltaiczne - klasyfikacja



Systemy autonomiczne bez akumulatorów

- Systemy autonomiczne (wolnostojące lub wyspowe) nie mają połączenia z siecią elektroenergetyczną, a więc korzystają jedynie z energii produkowanej w ogniwach słonecznych.
- Zaletą systemów autonomicznych bez akumulatora jest niski koszt inwestycyjny oraz prostota, a co za tym idzie duża niezawodność. Mogą one być stosowane jedynie tam, gdzie dopuszczalne są przerwy w dostawie energii elektrycznej. Największym obszarem zastosowań takich układów jest rolnictwo, np.: wentylacja, nawadnianie, pojenie bydła itp.
- Systemy autonomiczne można podzielić na: systemy bez baterii akumulatorów pracujące zwykle jako układy prądu stałego oraz systemy z baterią akumulatorów, które w zależności od wymagań użytkownika budowane są jako układy prądu stałego lub przemiennego.



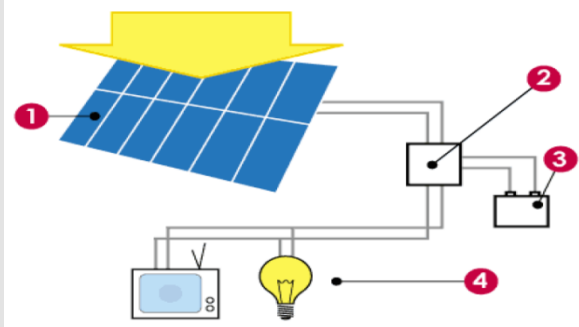
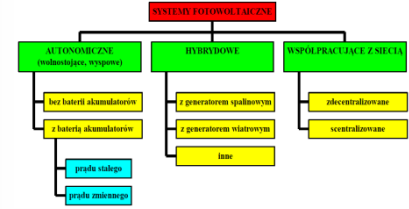
Schemat blokowy systemu autonomicznego bez akumulatora



Zastosowania systemu autonomicznego bez akumulatora: dojarka do mleka

Systemy autonomiczne z baterią akumulatorów

- Systemy autonomiczne z baterią akumulatorów wymagają większych nakładów inwestycyjnych, ale dzięki istnieniu baterii akumulatorów mogą dostarczać energię elektryczną w nocy lub przy małym nasłonecznieniu.
- Rysunek przedstawia system prądu przemiennego, w którym wykorzystany jest falownik, aby osiągnąć parametry sieciowe dla odbiorników.
- Jeszcze prostszym systemem tego typu jest system prądu stałego, który nie zawiera falownika tylko regulator napięcia.
- Systemy znajdują zastosowanie przeważnie w małej żegludze, samochodach kempingowych, małych domkach letniskowych, znakach drogowych i lampach ulicznych itp.



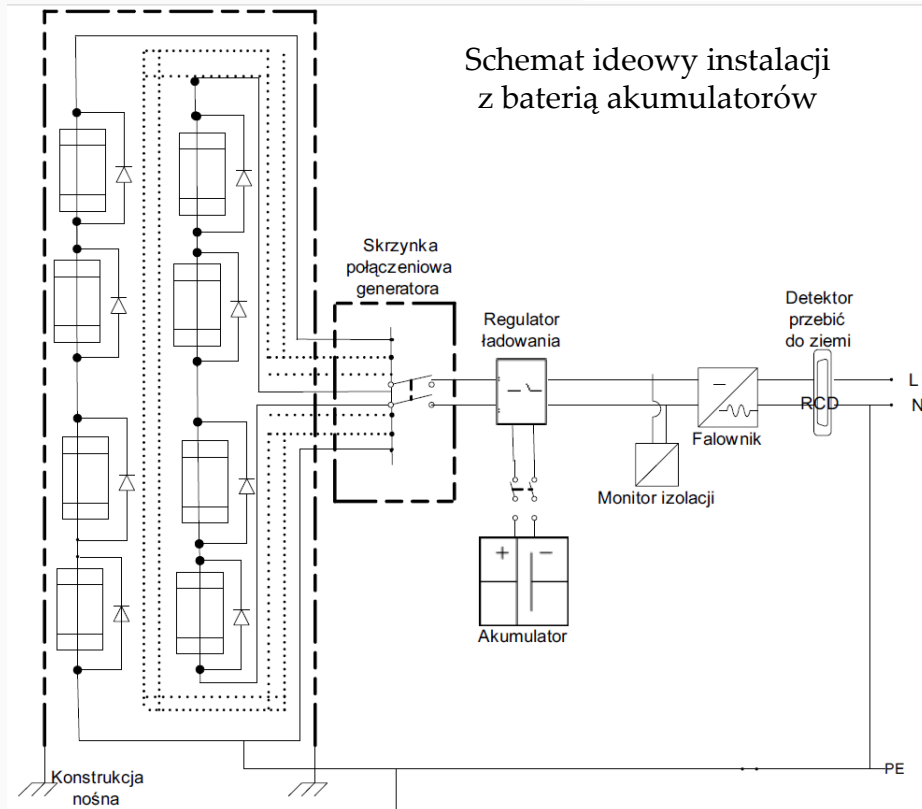
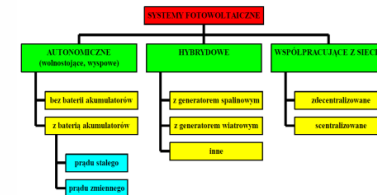
System autonomiczny na napięcie przemiennie: 1 – panel fotowoltaiczny; 2 - falownik z regulatorem napięcia; 3 - akumulator; 4 - odbiorniki 230 V



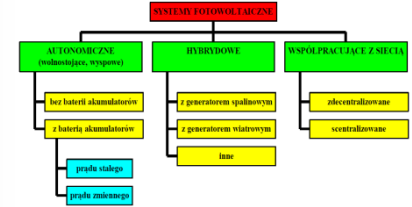
Lampa oświetleniowa i znak drogowy z zasilaniem bateryjnym

Systemy autonomiczne z baterią akumulatorów

- Typowy system magazynowania nadmiaru energii stosowany w systemach PV, pracujących w gospodarstwach domowych, na ogół przewiduje 8 kWh magazynowania energii na 8 godzin.
- Oznacza to, że bateria będzie działać z obciążeniem o mocy 1 kW przez 8 godzin, gdzie obciążenie 1 kW stanowi średnie wykorzystanie mocy energii elektrycznej w domu przez 8 godzin.

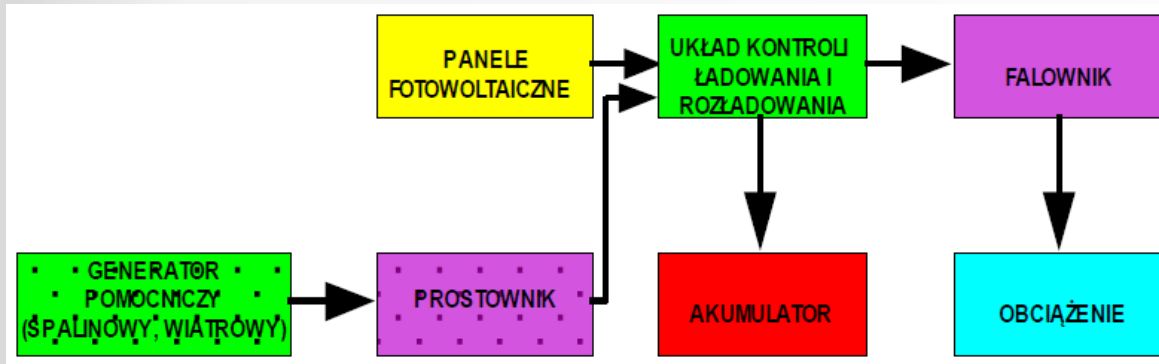


Systemy hybrydowe



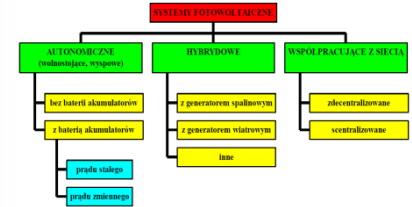
- Są połączeniem autonomicznego systemu fotowoltaicznego z innym systemem wytwarzania energii elektrycznej, takim jak: generator spalinowy, generator wiatrowy lub mała elektrownia wodna.
- Stosowane są w celu pokrycia pełnego zapotrzebowania na energię elektryczną w określonym z reguły niewielkim obszarze, będącym poza zasięgiem sieci elektroenergetycznej. Np. w systemach z gen. spalinowym moc wynosi ok. (1-50) kW.
- Systemy hybrydowe mniejszych mocy stosowane są głównie w rolnictwie: napędy pomp wody, wentylacja i suszenie, chłodziarki, małe stacje meteorologiczne itp. W takich systemach z reguły generator słoneczny i spalinowy pracują niezależnie od siebie.
- Systemy hybrydowe większych mocy wykorzystywane są głównie do zasilania małych ośrodków wczasowych i wysokogórskich osad. Bardzo dobrym rozwiązaniem jest połączenie dwóch źródeł energii odnawialnej: słonecznej i wiatrowej oraz zastosowanie magazynu energii w postaci baterii akumulatorów.

Systemy hybrydowe



Schemat blokowy systemu hybrydowego

Widok systemu hybrydowego zasilającego stację meteorologiczną w górach



Systemy współpracujące z siecią zasilającą



- Systemy współpracujące z siecią zasilającą (nazywane też elektrowniami słonecznymi) składają się z odpowiednio połączonych modułów słonecznych dołączonych do sieci zasilającej poprzez przekształtnik energoelektroniczny.
- Nie zawierają one akumulatorów, a cała produkowana energia elektryczna jest przyjmowana przez sieć elektroenergetyczną.
- Systemy takie można ogólnie podzielić na:
 - zdecentralizowane montowane na dachach i elewacjach budynków, barierach,
 - scentralizowane zajmujące duże powierzchnie terenu, wyposażone w urządzenia śledzące ruch Słońca, często także w koncentratory promieniowania. Ich moce przekraczają obecnie 1MW.

Systemy współpracujące z siecią Zdecentralizowane



Zdecentralizowane montowane na dachach i elewacjach budynków, barierach.



Systemy współpracujące z siecią

Scentralizowane



Scentralizowane zajmujące duże powierzchnie terenu (elektrownie).



Panele - charakterystyka

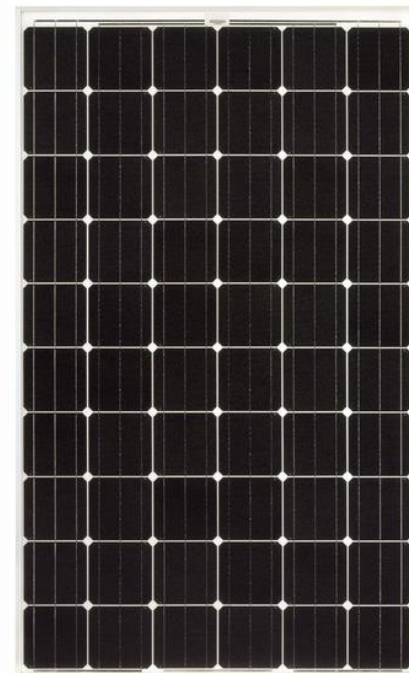
- Panel słoneczny o mocy 150W 12V Celline
- Moduł zbudowany jest z trzydziestu sześciu polikrystalicznych ogniw, umieszczonych na sztywnym lekkim podłożu kompozytowym, zabezpieczonych przed uszkodzeniami twardym szkłem antyrefleksyjnym.
- Gwarancja: 5 lat
- Żywotność: po 10 latach 90% mocy, po 25 latach 80% mocy
- Cena brutto: 599,00 zł (629,00 zł w 2017, <http://www.soltec.sklep.pl/>)



Celline 150W – 12 V	
Moc maksymalna [<u>P_{max}</u>]	150 W
Napięcie nominalne [U]	12 V
Napięcie maksymalne (jałowe) [<u>U_{oc}</u>]	21,6 V
Napięcie w punkcie mocy maksymalnej [<u>U_m</u>]	17,2 V
Prąd zwarcia [<u>I_{sc}</u>]	9,25 A
Prąd w punkcie mocy maksymalnej [<u>I_m</u>]	8,72 A
Wymiary	1483 x 665 x 35 mm
Waga	12 kg

Panele - charakterystyka

- Panel słoneczny o mocy 300W 24V SHARP NURC300
- Moduł zbudowany jest z sześćdziesięciu monokrystalicznych ogniw , umieszczonych na sztywnym lekkim podłożu kompozytowym, zabezpieczonych przed uszkodzeniami twardym szkłem antyrefleksyjnym.
- Gwarancja: 10 lat
- Żywotność: po 12 latach 90% mocy, po 25 latach 80% mocy
- Cena brutto: 1290,00 zł (<http://www.soltec.sklep.pl/>; 1000,00 zł, recost.pl)



Parametry elektryczne	
Moc maks. [Pmax]	300 W
Prąd w punkcie mocy maksymalnej [Impp]	9,63 A
Napięcie w punkcie mocy maks. [Vmpp]	31,2 V
Prąd zwarcia [Isc]	9,97 A
Napięcie maksymalne (jałowe) [Voc]	39,4 V
Temperatura pracy	-40 do + 85°C
Maksymalne napięcie systemowe	1000 V DC

Inwertery

charakterystyka

- Inwerter sieciowy StecaGrid 1500
- Cena brutto: 4 127,63 zł (<http://www.soltec.sklep.pl/>)
- Cena brutto: 2 479,00 zł (<https://sklepsoltech.pl/>)



	StecaGrid 1500	StecaGrid 2000	StecaGrid 2500
Strona wejścia DC (strona modułów PV)			
Maksymalne napięcie wejściowe	420 V		600 V
Minimalne napięcie wejściowe do zasilania	75 ... 250 V		125 ... 500 V
Liczba wejść MPPT	1		
Maksymalny prąd wejściowy	11,5 A		
Maksymalna moc wejściowa przy maksymalnej mocy czynnej	1 540 W	2 050 W	2 560 W
Maksymalna zalecana moc modułów PV	1 800 W	2 500 W	3 100 W
Strona wyjścia AC (strona sieci elektroenergetycznej)			
Napięcie sieci	185...276 V (max. wartość szczytowa sieci do max. napięcia PV)		
Znamionowe napięcie sieci	230 V		
Maksymalny prąd wyjściowy	12 A		14 A
Maksymalna moc czynna (cos fi = 1)	1 500 W	2 000 W	2 500 W
Maksymalna moc czynna (cos fi = 0.95)	1 500 W	2 000 W	2 500 W
Maksymalna moc pozorna (cos fi = 0.95)	1 850 VA	2 100 VA	2 630 VA
Moc znamionowa	1 500 W	2 000 W	2 500 W
Znamionowa częstotliwość	50 lub 60 Hz		
Częstotliwość	45 ... 65 Hz (zależnie od ustawień dla kraju)		
Pobór mocy nocka	< 2 W		
Liczba zasilanych faz	Jedna faza		

Akumulatory- charakterystyka

- Akumulator Victron AGM 90Ah/12V
- Cena brutto: 1 269,36zł (<http://www.soltec.sklep.pl/>)
1 117,38 zł - <http://www.ecosolar.pl/>
- Pojemność znamionowa: 20 godzin rozładowywania przy temp. 25°C
- Żywotność w trybie podtrzymania: 7-10 lat przy temp. 20°C
- Projektowa ilość cykli życia: 400 cykli przy rozładowaniu 80%; 600 cykli przy rozładowaniu 50%; 1500 cykli przy rozładowaniu 30%
- Technologia: płaskie płyty AGM (elektrolit zaabsorbowany w separatorze z matą szklaną)
- Zaciski: miedziane
- Pojemność: 90 Ah
- Napięcie: 12 V
- Wymiary: 350 x 167 x 183
- Waga: 27 kg



- Akumulator żelowy Victron Energy GEL 12V/90Ah
- Cena brutto: 1 295,81 zł (<http://www.soltec.sklep.pl/>)
1 147,17 zł - <http://www.ecosolar.pl/>
- Pojemność znamionowa: 20 godzin rozładowywania przy temp. 25°C
- Żywotność w trybie podtrzymania: 12 lat przy temp. 20°C
- Projektowa ilość cykli życia: 500 cykli przy rozładowaniu 80%; 750 cykli przy rozładowaniu 50%; 1800 cykli przy rozładowaniu 30%
- Technologia: płaskie płyty żelowe (elektrolit jest unieruchomiony w postaci żelu)
- Zaciski: miedziane
- Pojemność: 90 Ah
- Napięcie: 12 V
- Wymiary: 350 x 167 x 183 mm
- Waga: 26 kg



Akumulatory

- charakterystyka

- Akumulator litowy Victron Energy 12,8V/90Ah – BMS
- Cena brutto:
- 6 124,66 zł (<http://www.soltec.sklep.pl/>)
- 5 840,00 zł (<https://sailstore.pl/>)



Akumulatory z BMS (z zaawansowanym systemem zarządzania energią)					
Model / Parametry	LFP-CB 12.8/200	LFP-BMS 12.8/60	LFP-BMS 12.8/90	LFP-BMS 12.8/160	LFP-BMS 12.8/200
Napięcie nominalne [V]	12.8 V	12.8 V	12.8 V	12.8 V	12.8 V
Nominalna pojemność przy (25°C)* [Ah]	200 Ah	60 Ah	90 Ah	160 Ah	200 Ah
Nominalna pojemność przy (0°C)* [Ah]	160 Ah	48 Ah	72 Ah	130 Ah	160 Ah
Nominalna pojemność przy (-20°C)* [Ah]	100 Ah	30 Ah	45 Ah	80 Ah	100 Ah
Energia znamionowa przy (25°C)	2560 Wh	768 Ah	1152 Ah	2048 Ah	2560 Ah
* Prąd rozładowywania					
Ilość cykli					
Przy rozładowaniu 80%	2500 cykli				
Przy rozładowaniu 70%	3000 cykli				
Przy rozładowaniu 50%	5000 cykli				
Rozładowywanie					
Max. ciągły prąd rozładowania [A]	500 A	180 A	270 A	400 A	500 A
Zalecany ciągły prąd rozładowania [A]	do 200 A	do 60 A	do 90 A	do 160 A	do 200 A
Max. 10 s prąd [A]	1500 A	600 A	900 A	1200 A	1500 A
Końcowe napięcie rozładowywania [V]	11 V	11 V	11 V	11 V	11 V

Akumulatory

- charakterystyka

- Bateria Powerwall (prod. Tesla)
- Nowa wersja baterii dla domów - Powerwall 2.0 (rok 2017).
- Koszt 5,5 tysiąca dolarów (koszt Powerwall - 3,5 tys. dol.).
- Pojemność - można magazynować do 14 kWh energii.



Usable Capacity
13.5 kWh

Depth of Discharge
100%

Efficiency
90% round-trip

Power
7kW peak / 5kW continuous

Supported Applications
Solar self-consumption
Back-up power
Time-Based control
Off-grid capabilities (coming soon)

Scalable
Up to 10 Powerwalls

Operating Temperature
-4°F to 122°F / -20°C to 50°C

Dimensions
L x W x D: 44" x 29" x 5.5"
(1150mm x 755mm x 155mm)

Weight
276 lbs / 125 kg

Installation
Floor or wall mounted
Indoor or outdoor

Certification
North American and International standards
Grid code compliant

Order summary

\$5,900 1 Powerwall

\$700 Supporting hardware

\$6,600 Total equipment cost

Your final design and pricing will be based on your electrical panel, home energy usage, number of Powerwalls, and where you'd like your Powerwall installed. Typical installation cost ranges from \$1,000 to \$3,000. This does not include solar installation, electrical upgrades (if necessary), taxes, permit fees, or any retailer / connection charges that may apply.



Gotowe rozwiązania

- **Kompletny jednofazowy System Fotowoltaiczny Sieciowy 1,59 kW**
- Cena brutto: 10 015,00 zł (<http://www.soltec.sklep.pl/>)



- **W skład systemu wchodzi:**
- Panele fotowoltaiczne SHARP o mocy 265W - 6 sztuk
- Inwerter sieciowy niemieckiego producenta StecaGrid coolcept 1500 o mocy 1,5 kW
- Konstrukcja montażowa na dach skośny - 1 kpl.
- Konektory MC4 - kpl.
- Zabezpieczenia AC i DC Typu C
- Przewód solarny 4mm² - 40 mb

- **Kompletny trójfazowy System Fotowoltaiczny Sieciowy 3,18 kW**
- Cena brutto: 17 900,00 zł (<http://www.soltec.sklep.pl/>)



- **W skład systemu wchodzi:**
- Panele fotowoltaiczne SHARP o mocy 265W - 12 sztuk
- Inwerter sieciowy niemieckiego producenta StecaGrid 3203 o mocy 3,2 kW
- Konstrukcja montażowa na dach skośny - 1 kpl.
- Konektory MC4 - kpl.
- Zabezpieczenia AC i DC Typu C
- Przewód solarny 4mm² - 40 mb



Odsprzedaż energii – Prosument (reklama)



- Program Prosument umożliwia posiadanie własnej instalacji bez wkładu własnego:
- 40% dotacji + 60% kredytu z oprocentowaniem 1% rocznie = ZERO złotych wkładu własnego.
 - Instalacja fotowoltaiczna bez wkładu własnego.
 - Szybszy zwrot inwestycji - już po 7 latach.
 - Oszczędność na rachunkach za energię elektryczną.
- Cena skupu energii z instalacji dofinansowanej z programu Prosument nie jest stała i wynosi 100% ceny rynkowej z ubiegłego roku, czyli obecnie 0,20 zł za 1kWh. Obowiązek skupu energii dotyczy wszystkich prosumentów, jednak cena skupu energii z dofinansowanej mikroinstalacji sprawia, że bardziej opłaca się dobranie mocy zestawu fotowoltaicznego tak, aby ilość wyprodukowanej energii nie przekraczała zapotrzebowania.
- System stawek gwarantowanych zapewnia cenę skupu energii z mikroinstalacji, przez kolejne 15 lat:
 - 0,75zł za 1kWh od wytwórcy energii z mikroinstalacji o mocy 3kW
 - 0,65zł za 1kWh od wytwórcy energii z mikroinstalacji o mocy 3-10kW
- Dzięki taryfom gwarantowanym właściciele instalacji mogą zarobić 2-3 razy tyle co na lokacie w banku.
- **Uwaga! Program Prosument jest już nieaktualny. Ostatni nabór Programu Prosument odbył się w sierpniu 2015, a Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska zastąpi go programem Region, czyli pożyczkami bez dotacji (wg <http://ekofachowcy.pl/fotowoltaika/ogniwa-fotowoltaiczne>)**

Ogniwa fotowoltaiczne w nawierzchni drogowej



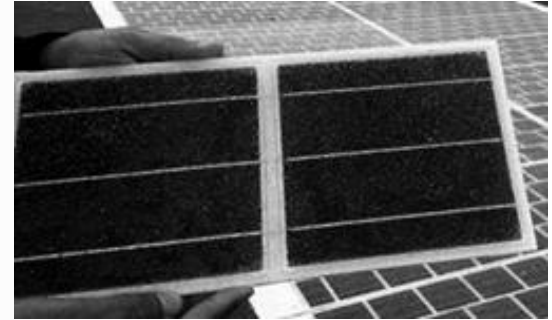
- Typowe ogniwa fotowoltaiczne pracują z wydajnością rzędu 15%. Przy założeniu mocy panelu ogniw $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ można spodziewać się generowania mocy 150 W przez panel o polu powierzchni 1 m^2 przy pełnym nasłonecznieniu. Jednak idealne warunki panują jedynie przez część dnia i mocno wpływają na nie zjawiska atmosferyczne i zanieczyszczenie ogniw. Z tego powodu panele ogniw łączy się w grupy, które wymagają znacznych powierzchni.
- Drogi, parkingi, place dostarczają powierzchni, w której można zainstalować ogniwa fotowoltaiczne.
- W zakresie praktycznego wprowadzania nowych technologii pozyskiwania energii słonecznej z powierzchni dróg rzeczywiste efekty osiągają dwie organizacje:
 - firma Colas razem French National Institute of Solar Energy (INES) w ramach projektu Wattway,
 - amerykańska firma Solar Roadways Incorporated.

Ogniwa fotowoltaiczne w nawierzchni drogowej - Wattway

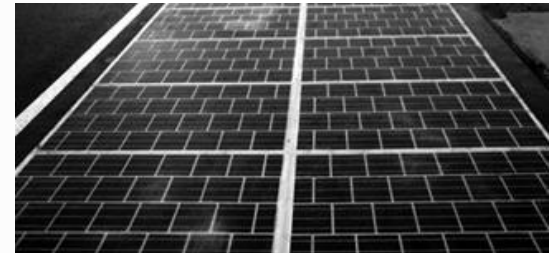


Cechy charakteryzujące nawierzchnię generującą energię są następujące:

- teoretyczna możliwość wygenerowania energii elektrycznej dla pojedynczego gospodarstwa domowego przez 20 m² nawierzchni (bez grzania),
- możliwość nakładania powierzchni generującej energię elektryczną na istniejące nawierzchnie bez dodatkowych prac budowlanych,
- wytrzymałość mechaniczna pozwalająca na obciążenie powierzchni pojazdem,
- struktura niepowodująca poślizgów pojazdów,
- elastyczność uwzględniająca zmiany termiczne.



Widok pojedynczego panelu fotowoltaicznego



Widok nawierzchni drogi z osadzonymi panelami

Ogniwa fotowoltaiczne w nawierzchni drogowej - Wattway



Panele Wattway są już testowane praktycznie :

- Vendéspace (Francja, czerwiec 2016) - electric car charging station – testowa powierzchnia 50 m² została pokryta 42 panelami fotowoltaicznymi. Panele mają generować rocznie 6300 kWh i dostarczać energii do ładowania akumulatorów samochodów elektrycznych;
- droga RD5 (Francja, grudzień 2016) – droga o długości 1 km pokryta panelami na powierzchni 2800 m². Energia generowana na drodze przesyłana będzie do sieci energetycznej Enedis. Szacowana roczna produkcja energii ma wynosić 280 MWh. Szacunkowa dzienna produkcja energii ma wynosić średnio 767 kWh oraz maksymalnie 1500 kWh na dzień w okresie letnim;
- testowa instalacja 50 m² drogowych paneli solarnych w Georgia Visitor Information Center (West Point, USA, December 2016). Oczekiwana jest roczna produkcja energii rzędu 7000 kWh.
- przygotowania do wykonania 18 milowego odcinka drogi międzystanowej Interstate 85 razem z Ray Foundation i Georgia Department of Transportation.



Stacja ładowania
pojazdów Vendéspace



Instalacja ekspery-
mentalna Georgia (USA)

Ogniwa fotowoltaiczne w nawierzchni drogowej - Solar Roadways

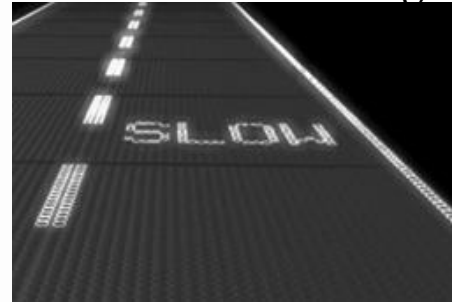


Główne funkcje paneli tworzących nawierzchnię drogi są następujące:

- brak mięknięcia w wysokich temperaturach,
- generowanie energii elektrycznej z energii słonecznej,
- wyświetlanie linii drogowych i znaków,
- usuwanie śniegu i lodu,
- modularność ułatwiająca naprawy nawierzchni,
- brak konieczności malowania,
- możliwość ładowania pojazdów elektrycznych,
- przechowywanie i transportowanie wody,
- możliwość prowadzenia dodatkowego okablowania w nawierzchni,
- łatwość rozwijania technologii.



Widok pojedynczego panelu fotowoltaicznego

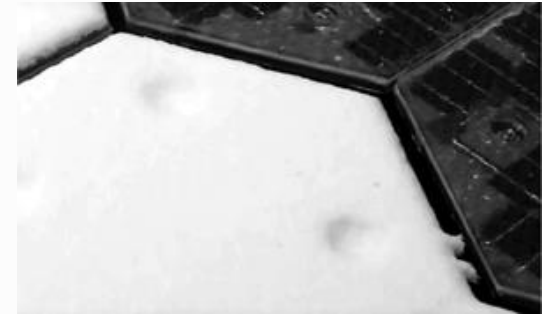


Fragment drogi z dynamicznym napisem

Ogniwa fotowoltaiczne w nawierzchni drogowej - Solar Roadways



- Panele zawierają zintegrowaną elektronikę sterującą działaniem elementów oświetleniowych, grzewczych, służących do monitorowania ruchu i ładowania samochodów elektrycznych.
- Rozwiązanie jednak znajduje się w fazie praktycznych testów.
- W praktyce nawierzchnia Solar Roadways funkcjonuje jedynie w postaci niewielkiego miejsca postojowego.
- Można mieć nadzieję że finansowanie z United States Department of Transportation wprowadzi projekt w fazę praktycznych testów drogowych lub wykaże, że jest to rozwiązanie zbyt kosztowne i niemożliwe do realizacji na większą skalę.



Rozmrażanie śniegu przez podgrzewania panelu



Parking wykonany z paneli SR3

Ogniwa fotowoltaiczne - dach solarny

- Solarny dach Tesli (po zakupie przez Teslę firmy SolarCity za 2,1 miliarda dolarów).
- Odmiany dachówki solarnej: z gładką powierzchnią lub fakturą np. Textured Glass Tile, Slate Glass Tile, Tuscan Glass Tile, Smooth Glass Tile.
- Możliwość produkcji dachówek łupkowych ("French slate tile").
- Wg informacji Tesli: typowy właściciel domu zapłaci 21,85 dol. za pokrycie nowymi dachówkami stopę kwadratową dachu (ok. 910 złotych, za metr kwadratowy).
- Wg Consumer Reports zamontowanie zwykłych dachówek na dachu o powierzchni około 280 metrów kwadratowych to koszt około 45 tysięcy dolarów. Dach Tesli kosztowałby w tym przypadku około 65 tysięcy dolarów.

Lokalizacja
ogniwa
słonecznego w
dachówce



Dachówki "Tuscan
glass", szklane
dachówki, imitujące
ceramiczne w stylu
śródziemnomorskim



Dach pokryty
dachówkami z
ogniwami PV



Podsumowanie



Zalety:

- Wszechobecność energii (brak problemów transportowych)
- Brak kosztów zakupu energii
- Proekologiczność (brak efektu cieplarnianego, skażenia tlenkami siarki i gazu, brak niszczenia warstwy ozonowej)
- Brak wpływu na bilans energetyczny ziemi (inaczej niż ropa, węgiel, gaz)
- Możliwość wykorzystania w miejscach bez infrastruktury energetycznej (góry, pola, ...)
- Prostota instalacji wolnostojących (wyspowych)
- Dedykowane do urządzeń pracujących w okresie dużego nasłonecznienia (klimatyzacja, chłodnictwo, ogrzewanie wody, ...)
- Potencjalna możliwość oddawania energii do sieci energetycznej

Wady:

- Cykliczność (dzienna, roczna) i przypadkowość występowania (konieczność magazynowania energii)
- Zmienna koncentracja i niskie natężenie (konieczność zajmowania dużych obszarów, konieczność budowania systemów podążania za ruchem Słońca)
- Znaczne koszty związane z budowaniem instalacji i urządzeń wspomagających
- Długi okres zwrotu inwestycji w przypadku odbiorcy indywidualnego
- Brak stabilnych uregulowań prawnych i ekonomicznych dotyczących zwrotu/magazynowania energii w sieci dostawcy energii

Materiały źródłowe



- Stryczewska H.D. (red): Energie odnawialne. Przegląd technologii i zastosowań. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2012.
- Lewandowski W.M.: Proekologiczne odnawialne źródła energii. WNT, Warszawa 2013.
- Willeke G.P., Räuber A.: On The History of Terrestrial PV Development: With a Focus on Germany Semiconductors and Semimetals. Vol 87, 7-48, 2012.
- http://www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=263:ogniwa-fotowoltaiczne-i-ich-generacje&catid=51:slonce&Itemid=214
- Szymański B.: Ogniwa fotowoltaiczne i ich generacje.
<http://solaris18.blogspot.com/2010/04/ogniwa-fotowoltaiczne-i-ich-generacje.html>
- Woodford C. 2016. Solar cells. <http://www.explainthatstuff.com/solarcells.html>
- www.pv.pl - polski serwer zastosowania fotowoltaiki, informacje z całej Polski.
- www.eren.doe.gov - strona rządu USA z materiałami inf. na temat fotowoltaiki
- www.pvportal.com - ogólnoświatowy portal zajmujący się tylko fotowoltaiką
- <http://ekofachowcy.pl/fotowoltaika/ogniwa-fotowoltaiczne>
- <http://www.soltec.sklep.pl>
- Edwards L., Sanyo announces world's most efficient solar module, <http://phys.org/news/195885853.html>, w Ewa Krac, Krzysztof Górecki, Współczesne Problemy Energetyki Solarnej, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 75, 2012, s. 68-86.