

AUTONOMICZNE SYSTEMY FOTOWOLTAICZNE- PROBLEMATYKA

Streszczenie

Autonomiczne fotowoltaiczne systemy zasilania, z uwagi proekologiczną politykę UE, oraz malejące koszty inwestycyjne na ich zakup, coraz częściej znajdują zastosowanie w infrastrukturze i środkach transportu. Artykuł omawia budowę typowego systemu fotowoltaicznego, oraz przedstawia cechy jego elementów składowych. Wykorzystanie instalacji PV prowadzi do oszczędności na kosztach wytworzenia lub zakupu energii elektrycznej.

WSTĘP

Zjawisko fotowoltaiczne, czyli bezpośrednią konwersję światła słonecznego na energię elektryczną po raz pierwszy zaobserwował francuski fizyk E. A. Becquerel w 1839 roku. Jego doświadczenie polegało na zanurzeniu srebrnej elektrody w elektrolicie i oświetleniu jej, oraz obserwacji wzrostu konduktywności przy wzroście natężenia oświetlenia. Dokładniej zjawisko to opisali w 1877 roku brytyjscy fizycy R. Day i W. Adams, którzy stwierdzili, że selen po oświetleniu wytwarzał prąd elektryczny. Pierwsze ogniwo słoneczne zostało stworzone w USA w 1954 roku, w Bell Laboratories. Wykonane było z krzemu monokrystalicznego i posiadało sprawność 6%. W przeciągu kilku lat sprawność tę podniesiono do 10%. Początkowo, ze względu na wysokie koszty, fotoogniwa używane były komercyjnie do zasilania satelitów, sond i stacji kosmicznych. Kryzys naftowy w 1973 roku spowodował, że fotowoltaikę dostrzeżono jako potencjalną alternatywę dla energii uzyskiwanej z paliw kopalnych i zrealizowano wiele projektów badawczych w celu komercyjnego wykorzystania, obniżenia kosztów produkcji i podniesienia sprawności fotoogniw.

Wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych niesie ze sobą szereg korzyści, takich jak: dywersyfikacja zasilania w nośniki elektryczne, polepszenie bezpieczeństwa energetycznego kraju, ochrona środowiska dzięki zastępowaniu paliw kopalnych. Mając to na uwadze, Unia Europejska promuje produkcję 'zielonej energii' na swoim obszarze. Nasz kraj w 2001 roku przyjął „Strategię rozwoju energetyki odnawialnej”, według której planowany był wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych w ogólnym bilansie paliwowo-energetycznym do 7,5% w 2010 roku i do 14% w roku 2020. Ponadto, w 2008 r. Komisja Europejska ogłosiła nowy pakiet klimatyczny i projekt dyrektywy o promocji stosowania energii ze źródeł odnawialnych z nowym celem dla Polski – 15% udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie zużycia energii do 2020 roku. W kraju, od 2009 roku budynki muszą posiadać Certyfikat Energetyczny obowiązujący 10 lat i określający zużycie energii danego obiektu. W założeniach ma on przekonywać do ograniczania wykorzystywania energii na cele grzewcze, ponieważ ogrzewanie i wentylacja pochłania aż 53% energii używanej w budynkach. Dlatego wszelkie inicjatywy zmierzające do ograniczenia zapotrzebowania energii na te cele będą zyskiwały na znaczeniu w nadchodzących latach.

1. WŁAŚCIWOŚCI OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH

Jednym ze sposobów pozyskiwania energii odnawialnej jest użycie ogniw fotowoltaicznych, które umożliwiają bezpośrednią zamianę energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną. Zasadę działania ogniwa jest następująca: na warstwie krzemu uformowane jest złącze P-N. Padające na złącze fotony światła

powodują wybite elektronu z atomów półprzewodnika i w konsekwencji- powstanie par elektron-dziura o przeciwnym ładunku elektrycznym. Pary te, na skutek obecności bariery potencjału złącza zostają następnie rozdzielone- elektrony trafiają do obszaru N, a dziury do obszaru P, tym samym zwiększając napięcie złącza. Ponieważ rozdzielone ładunki stanowią nośniki nadmiarowe w danych obszarach, w rezultacie mamy do czynienia z generacją napięcia elektrycznego. Pojedyncze ogniwa łączy się w moduły, z których następnie powstają całe układy zasilania.

Ogniwa posiadają szereg zalet, takich jak:

- brak strat przesyłowych,
- niezależność od dostawców energii,
- każda kilowatogodzina wytworzona za pomocą fotowoltaicznego generatora zapobiega emisji do atmosfery około jednego kilograma dwutlenku węgla (CO₂) i po kilka gramów dwutlenku siarki (SO₂) oraz tlenków azotu (NO_x),
- niskie koszty obsługi,
- modułowość systemów, a więc możliwość ich rozbudowy w miarę potrzeb,
- niezawodność,
- prostota działania,
- łatwość montażu,
- żywotność ponad 25 lat (w tym okresie może nastąpić spadek mocy maksymalnie o 20%),
- bezgłośna praca.

W chwili obecnej, technologie wytwarzania modułów fotowoltaicznych można podzielić na: starsze- grubowarstwowe, oraz nowsze – cienkowarstwowe (ang. thin film). Wśród tych pierwszych wyróżnić można: ogniwa monokrystaliczne c-Si (podstawowa technologia, wykonane z jednego, monolitycznego kryształu krzemu), ogniwa multikrystaliczne multi c-Si (składające się z wielu domen monokryształów), oraz wyciągane, wstęgowe Ribbon Si (nazwa pochodzi od technologii wytwarzania). Z kolei wśród cienkowarstwowych wyróżniamy: wykonane z półprzewodnikowego tellurku kadmu ogniwa CdTe, ogniwa CIGS (wykonane z mieszaniny półprzewodników: miedzi, indu, galu i selenu), oraz ogniwa wykonane z amorficznego krzemu (a-Si). W ogniwach cienkowarstwowych, warstwa aktywnego półprzewodnika ma około grubość kilku mikrometrów i jest blisko 100 razy cieńsza niż w przypadku ogniw c-Si i multi c-Si.

Podstawowym parametrem modułu jest jego nominalna moc wyjściowa, wyrażana w Watach mocy szczytowej (W_p, ang. peak Watt), czyli moc uzyskana z danego modułu w warunkach STC (Standard Test Conditions), odpowiadających temperaturze modułu 25°C, natężeniu promieniowania słonecznego 1000W/m² i rozkładowi spektralnemu promieniowania AM 1,5 (bezczerwone niebo w południe) [1]

Sprawności ogniw wykonanych według poszczególnych technologii, wraz z ceną jednostkową za wat mocy szczytowej zainstalowanej pokazano na rys. 1.

Jak widać, teoretyczna sprawność ogniw fotowoltaicznych sięga 29% (za wyjątkiem ogniw z amorficznego krzemu - w tym wypadku wynosi ona 20%). Żółtym kolorem na wykresie pokazano sprawności ogniw wyselekcjonowanych do pracy w warunkach laboratoryjnych. Od razu widać, że ich sprawności są niższe od teoretycznych. Różnica sięga od 4% w przypadku krystalicznego krzemu do 12,3% w przypadku ogniw CdTe. Sprawności tych modułów są najwyższe dla ogniw grubowarstwowych krzemowych (odpowiednio, 25% i 20,4%), zaś niższe dla ogniw wykonanych w technologiach cienkowarstwowych (20,3% dla CIGS, 16,7% dla CdTe, wreszcie 12,5% dla a-Si). Niższa sprawność ogniw cienkowarstwowych może wynikać z faktu, że jest to technologia wciąż nowa i mniej opanowana przez producentów. Omówione trendy utrzymują się dla modułów produkowanych seryjnie (pasek szary na rys. 1), z tym, że tu sprawności modułów są odpowiednio niższe i w przypadku ogniw krzemowych sięgają wartości 23%, zaś dla ogniw cienkowarstwowych kształtują się na poziomie od 15,7% dla technologii CIGS do 8,2% dla ogniw a-Si. Z kolei wykresy cen jednostkowych pokazują, że wyższa sprawność ogniw grubowarstwowych ma swoją cenę - są one około 30% droższe od ogniw cienkowarstwowych. Tym niemniej, nawet one mają sprawność na ogół nie przekraczającą 22% dla ogniw produkcji seryjnej.

Z niskimi wartościami sprawności wiąże się konieczność posiadania odpowiednio dużej powierzchni, na której można zainstalować fotowoltaiczny generator. Wymagana powierzchnia do zainstalowania ogniw o mocy szczytowej 1kWp wynosi orientacyjnie od 8-9m² dla ogniw grubowarstwowych do nawet 20m² dla ogniw a-Si.

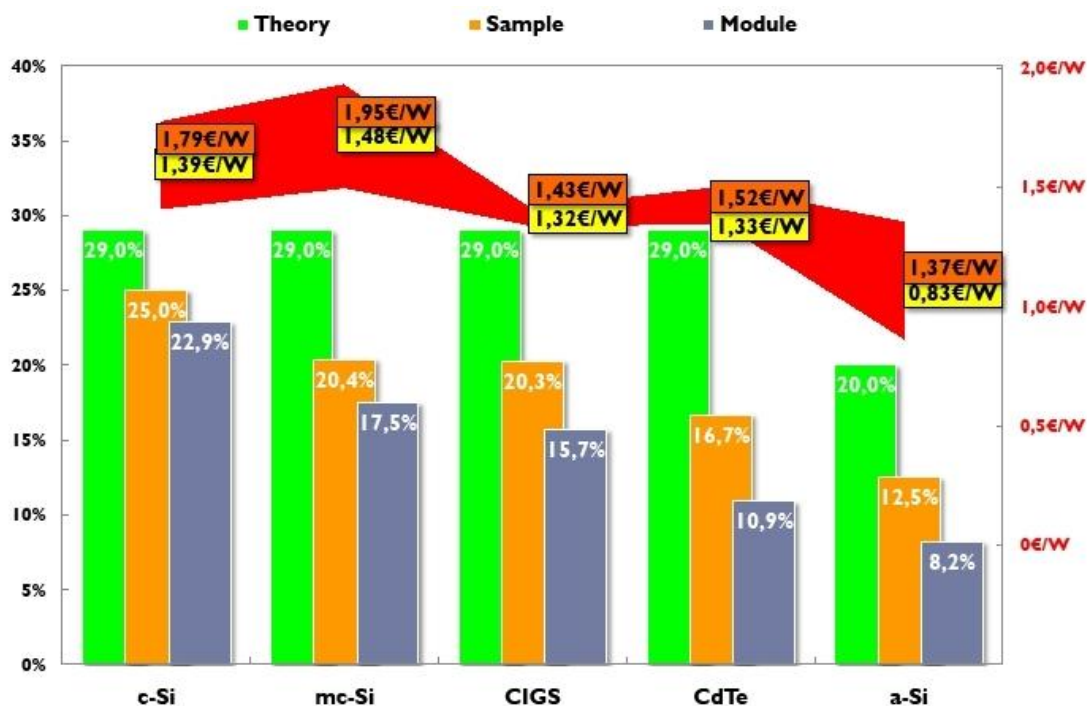
2. AUTONOMICZNE SYSTEMY FOTOWOLTAICZNE

Można wyróżnić 3 obszary zastosowań fotowoltaiki: elektronika powszechnego użytku, systemy wolnostojące i systemy dołączone do sieci elektroenergetycznej. Oprócz najbardziej znanych powszechnie zastosowań w elektronice użytkowej (zasilanie zegar-

ków, kalkulatorów, zabawek itp.), systemy fotowoltaiczne stosujemy m.in. w nawigacji (do zasilania morskich, śródlądowych i lotniczych znaków nawigacyjnych), rolnictwie i leśnictwie (zasilanie elektrycznych urządzeń ochrony pastwisk i lasów, instalacji nawadniających i osuszających, urządzeń ochrony przeciwpożarowej), telekomunikacji (zasilanie stacji przekaźnikowych telefonii komórkowej lub autonomicznych radiostacji itp.), transporcie (zasilanie oświetlenia znaków drogowych), meteorologii, automatyce, turystyce itp. W chwili obecnej, w kraju [3] istnieją pojedyncze systemy fotowoltaiczne dołączone do sieci elektroenergetycznej (szkoły w Bielawie, Koninie i Falenicy - moc ok. 4kW, kilka systemów wolnostojących na stacjach benzynowych BP - moc ok. 35kW), autonomiczne systemy zasilania boi nawigacyjnych na Bałtyku - moc ok. 12kW, pojedyncze systemy demonstracyjne na uczelniach - moc ok. 3kW łącznie, oraz kilka małych systemów na kempingach - ok. 10-15kW łącznie. Realizowane są projekty dotyczące wykorzystania ogniw fotowoltaicznych do zasilania odbiorników energii elektrycznej w pojazdach komunikacji miejskiej [4]. W Szczecinie panele fotowoltaiczne stanowią zasilanie dla parkomatów, oraz systemu roweru miejskiego.

Omówione przykłady zastosowania fotowoltaiki to w większości przypadków systemy autonomiczne, tzw. off-grid. Stosuje się je przede wszystkim w miejscach, gdzie nie jest wymagane standardowe napięcie sieci 230/400V prądu przemianowego. Typowy system off-grid składa się z baterii ogniw fotowoltaicznych, regulatora ładowania, akumulatora i odbiornika, lub grupy odbiorników (rys. 2).

Bateria paneli fotowoltaicznych wytwarza energię elektryczną. Podczas doboru liczby i rodzajów paneli należy wziąć pod uwagę, że rzeczywiste warunki nasłonecznienia są zmienne i w praktyce otrzymujemy dużo mniejsze ilości produkowanej energii elektrycznej niż zadeklarowane przez producenta wartości szczytowe, zależne dodatkowo od pory roku i ilości dni słonecznych w miesiącu [5]. Szacunkowo, w miesiącach letnich, ze względu na zmienne warunki nasłonecznienia, otrzymuje się moc wyjściową rzędu 85-90% wartości wynikających z mocy szczytowej zainstalowanej. Dodatkowo, również temperatura modułu rzadko odpowiada warunkom STC. Przyjmuje się, że jej wzrost o 1°C redukuje otrzymane napięcie i moc o około 0,5% [1]. Niskie temperatury powodują z kolei wzrost



Rys. 1. Stosunek sprawności i jednostkowych cen ogniw fotowoltaicznych wykonanych według poszczególnych technologii produkcji, wraz z ceną jednostkową za 1W mocy szczytowej, na styczeń 2011 [2]

prądu modułu, o czym również należy pamiętać przy projektowaniu instalacji.

Akumulatory bezobsługowe stosowane w fotowoltaice wykonywane są obecnie w 2 technologiach: AGM (ang. absorbed glass matt; cały elektrolit jest wchłonięty przez separatory z włókna szklanego umieszczone pomiędzy płytami), oraz żelowej (elektrolit w postaci żelu) [6].

Regulator ładowania, jest umieszczony w obwodzie pomiędzy baterią słoneczną a akumulatorem i grupą odbiorników. Jego zadaniem jest kontrola prądu ładowania tak, aby utrzymywać akumulator w pełni naładowany i nie dopuścić zarówno do jego przeładowania, jak i całkowitego rozładowania. Inną jego funkcją jest niedopuszczenie do przepływu tzw. „ciemnego prądu”, czyli prądu płynącego od akumulatora przez moduły fotowoltaiczne w przypadku braku nasłonecznienia (jeśli moduły nie posiadają zabezpieczenia- diody zwrotnej). Wyróżnić można dwa podstawowe typy regulatorów: regulatory PWM (Pulse With Modulation), oraz MPPT (Maximum Power Point Tracking) [7]. Te pierwsze działają na zasadzie ładowania impulsowego, a długość impulsu jest dobierana na podstawie pomiarów napięcia akumulatora oraz parametrów pracy systemu. Te drugie z kolei automatycznie śledzą maksymalny punkt pracy modułu, czyli dobierają parametry pracy w zależności od obciążenia, nasłonecznienia, temperatury i innych czynników. Regulatory MPPT mogą dostarczyć od 10% do nawet 30% więcej energii z modułu w porównaniu do regulatorów PWM.

Odbiornik w systemach autonomicznych zazwyczaj ma niewielką moc, pozwalającą na długotrwale zasilanie z akumulatora doładowywanego przez baterię paneli słonecznych. W większości przypadków jest to jakieś urządzenie oświetlające, lub odbiornik elektroniczny o niewielkiej mocy. W pojazdach samochodowych, lub na jachtach instalacja służy tylko do doładowywania akumulatora.

W Katedrze Klimatyzacji i Transportu Chłodniczego Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego trwają prace nad przyłączeniem do takiej instalacji termoelektrycznego urządzenia chłodniczego niewielkiej mocy. Stworzono stanowisko badawcze będące instalacją off-grid (rys. 3). Składa się ono z 2 paneli polikrystalicznych o mocy 40Wp, akumulatora AGM o pojemności 22Ah, oraz regulatora ładowania PWM. Instalacja pracuje na napięcie 12V.



Rys. 3. Elementy składowe stanowiska autonomicznej instalacji fotowoltaicznej

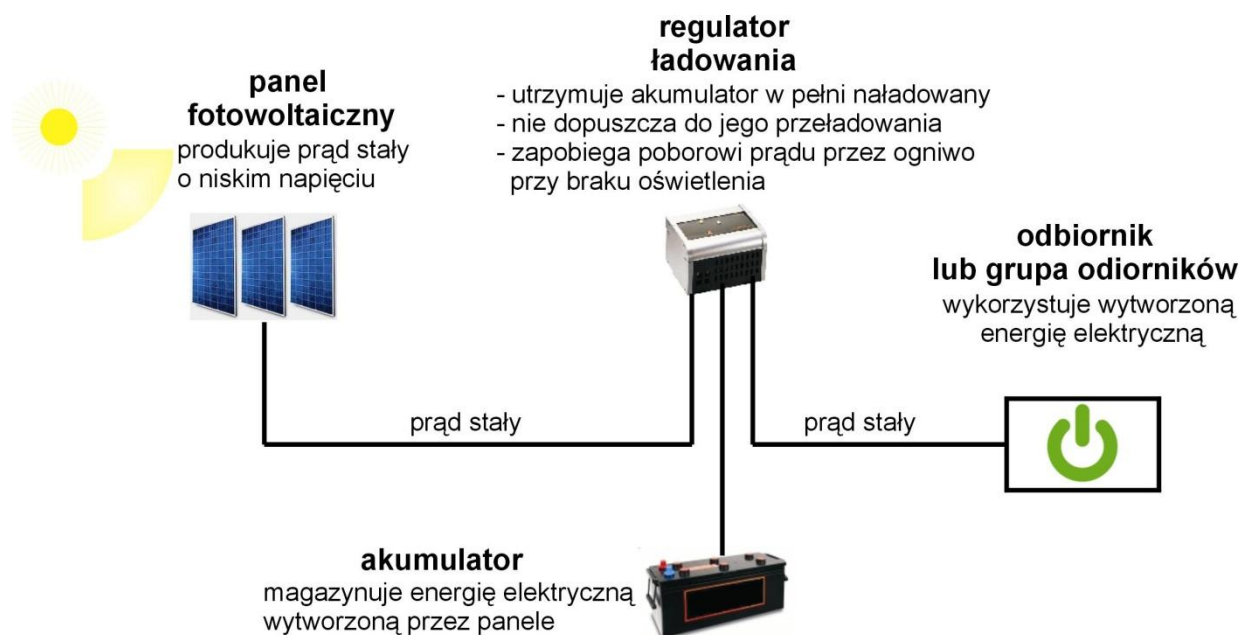
Stanowisko umożliwi przeprowadzenie badań nad czynnikami wpływającymi na efektywność zasilania odbiorników energii elektrycznej, takimi jak: nasłonecznienie, kąt ustawienia paneli, średnia produkcja energii na dobę w zależności od pory roku.

PODSUMOWANIE

Autonomiczne fotowoltaiczne systemy zasilania, z uwagi na proekologiczną politykę UE, oraz malejące koszty inwestycyjne na ich zakup, coraz częściej znajdują zastosowanie w infrastrukturze i środkach transportu. Przedstawiono budowę typowego systemu fotowoltaicznego, oraz cechy jego elementów składowych. Wykorzystanie instalacji PV prowadzi do oszczędności na kosztach wytworzenia lub zakupu energii elektrycznej.

BIBLIOGRAFIA

1. Klugmann-Radziemska E., *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, Wydawnictwo BTC, Legionowo 2010
2. *Solar cell efficiency tables (version 37)*, Photon 1/2011
3. Ciach R., Żelazny J., *Fotowoltaika – prąd elektryczny ze światła słonecznego*, Europejski Instytut Ekologii i Recyklingu - http://www.frnm.org.pl/pl/frnm/publikacje/Fotowoltaika_prad_el_ze_slonca.pdf
4. Wendeker M., Barański G., Gęca M., *Analiza ekonomiczna zastosowania technologii autobusowych struktur fotowoltaicznych w warunkach miejskich*, Logistyka 3/2014, str. 6652-6659



Rys. 2. Schemat instalacji fotowoltaicznej typu off-grid

5. Zapałowicz Z., Szyszka D., *Instalacja fotowoltaiczna naddżna z modułami monokrystalicznymi*, Czysta energia nr 10/2010
6. <http://www.modernhome.pl/Akumulatory-cinfo-pol-22.html>
7. <http://www.system-pv.com/technika/regulatory-pwm-i-mppt.html>

AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEMS - ISSUES

Abstract

Stand-alone photovoltaic power systems are being increasingly used in the infrastructure and transport, because of eco-friendly policy of the EU and decreasing investment costs for their purchase. The article discusses the construction of a typical photovoltaic system and places the characteristics of its components. The use of PV installations leads to savings in production costs or purchase of electricity.

Autorzy:

dr inż. Michał Chmielowski – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Techniki Morskiej i Transportu

dr inż. Tomasz Łokietek – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Techniki Morskiej i Transportu