



mgr inż. Katarzyna Znajdek

dr inż. Maciej Sibiński

mgr inż. Sylwia Walczak

Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych

Politechnika Łódzka

ul. Wólczańska 211/215, 90-924 Łódź

Analiza parametrów modułów PV różnych typów w warunkach rzeczywistych

Słowa kluczowe: instalacja fotowoltaiczna, moduły i panele fotowoltaiczne, odnawialne źródła energii.

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki półtorarocznych pomiarów parametrów elektrycznych instalacji fotowoltaicznej, zainstalowanej na budynku Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej. System wyposażony jest w połączone szeregowo moduły fotowoltaiczne różnych typów, które za pośrednictwem falowników przekazują energię elektryczną do sieci wewnętrznej uczelni. Za pomocą urządzenia do monitoringu i archiwizacji danych, parametry instalacji przekazywane są na serwer, gdzie są magazynowane oraz udostępniane on-line.

1. WPROWADZENIE

Zgodnie z założeniami „Krajowego Planu Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych”, przyjętego przez Radę Ministrów w dniu 7 grudnia 2010 r., do roku 2020 w Polsce 15,5% energii końcowej brutto będzie pochodziło ze źródeł odnawialnych [1]. Rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE) przyczynia się do pokrycia wzrastającego zapotrzebowania na energię i niesie za sobą większy stopień uniezależnienia się od dostaw energii z importu. Promowanie wykorzystania OZE pozwala na zwiększenie stopnia dywersyfikacji źródeł dostaw oraz stworzenie warunków do rozwoju energetyki rozproszonej opartej na lokalnie dostępnych surowcach [2].

Najbardziej uniwersalnym i mającym najwięcej zastosowań rodzajem energii jest energia elektryczna. Fotowoltaika, jako „narzędzie” do pozyskiwania odnawialnej energii elektrycznej z promieniowania słonecznego, uznawana jest za technologię, w tym zakresie, najbardziej przyjazną środowisku. Wytwarzaniu energii elektrycznej przez systemy ogniw słonecznych nie towarzyszą żadne zanieczyszczenia emitowane do środowiska naturalnego, degradacja krajobrazu, zakłócenia funkcjonowania fauny i flory ani hałas.

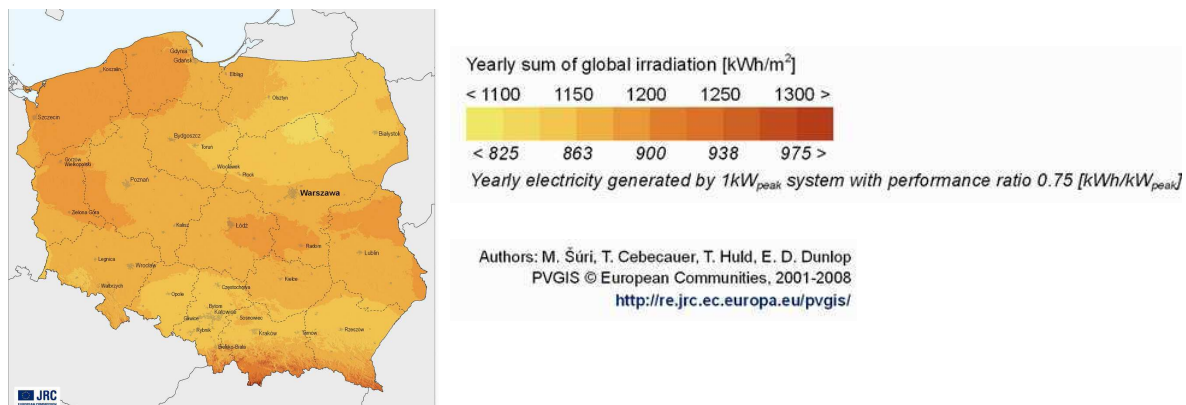
Nie ulega wątpliwości, że zastosowanie na szeroką skalę modułów PV umożliwiłoby przyspieszenie przyrostu mocy zainstalowanej w odnawialnych źródłach energii. Instalacja niewielkich systemów fotowoltaicznych nie wymaga długotrwałych przygotowań, a dodatkowe udogodnienie stanowi fakt możliwości wykorzystania powierzchni dachowych, a co za tym idzie brak potrzeby przeprowadzania zmian w planach zagospodarowania przestrzennego. Z tego punktu widzenia fotowoltaika w Polsce może okazać się szybką alternatywą zrealizowania brakującej mocy OZE [1].

2. BADANA INSTALACJA FOTOWOLTAICZNA

Pomiary parametrów elektrycznych modułów PV zostały przeprowadzone dla instalacji fotowoltaicznej zainstalowanej na dachu budynku głównego Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej. Moduły zamontowane są na nieruchomych stelażach zorientowanych pod kątem optymalnym w kierunku południowym.

2.1. Promieniowanie słoneczne w warunkach centralnej Polski

Wartości promieniowania słonecznego dla Polski zostały podane według informacji europejskiej bazy meteorologicznej PVGIS. Portal <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> umożliwia pobranie map ilustrujących roczną sumę promieniowania słonecznego na metr kwadratowy powierzchni poziomej (*horizontal plane*) bądź pochylonej pod optymalnym kątem (*optimum angle*), stanowiącą średnią z dziesięciu lat pomiarów. Ponieważ badane moduły PV skierowane są pod kątem, na rys. 1 przedstawiony został wariant drugi.



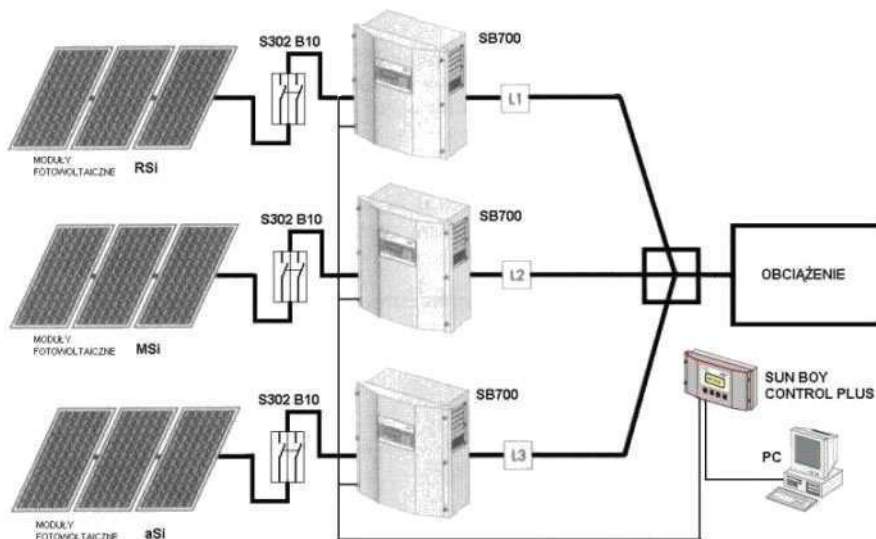
Rys. 1. Średnia roczna wartość promieniowania słonecznego na m² na terenie Polski [3]

Z powyższej mapy wynika, iż roczna wartość promieniowania słonecznego przypadającego na jeden metr kwadratowy w Polsce waha się w granicach od ok. 1100 do ok. 1300 kWh/m². Najwyższymi wartościami promieniowania słonecznego charakteryzują się tereny góryste w województwach małopolskim, podkarpackim i śląskim. Najmniej korzystne warunki nasłonecznienia natomiast przypadają na północno-wschodni obszar kraju. Miasto Łódź, na terenie którego przeprowadzane były pomiary, znajduje się w środkowej części skali z ilością promieniowania równą ok. 1200 kWh/m² rocznie. Są to warunki stosunkowo korzystne w skali kraju.

2.2. Rodzaje zainstalowanych modułów i falowników PV

W skład badanej instalacji fotowoltaicznej wchodzi trzy łańcuchy modułów PV sprzęgnięte z siecią energetyczną za pomocą oddzielnych falowników fotowoltaicznych. Falowniki podłączone są do urządzenia monitorującego, jakim w tym przypadku jest Sunny Boy Control Plus. Następnie za pomocą interfejsu RS485 dane przesyłane są do komputera, gdzie są magazynowane w celu późniejszej analizy i obróbki wyników.

Łączna moc badanej instalacji wynosi 1734 W_p. Rys. 2 przedstawia szczegółowy schemat badanego systemu fotowoltaicznego. W tabeli 1 zestawione zostały parametry i ilość wszystkich urządzeń wchodzących w skład instalacji.



źródło: SMA

Rys. 2. Schemat badanej instalacji fotowoltaicznej

Jak już wspomniano, w badanym systemie funkcjonują trzy rodzaje modułów fotowoltaicznych, z których każdy jest wykonany inną technologią i charakteryzuje się innymi parametrami oraz wydajnością. Wymienione na powyższym schemacie (rys. 2) rodzaje modułów oznaczają odpowiednio następujące technologie produkcji:

- R-Si: krzem wstęgowy/taśmowy (*ribbon silicon*)



Fot. 1. Badany panel – łańcuch 6 modułów fotowoltaicznych R-Si (producent: *Evergreen Solar*)

- M-Si: krzem multikrystaliczny – struktura polikrystaliczna, w której wielkość ziaren zawiera się w granicach od 1 mm do 10 cm



Fot. 2. Badany panel – łańcuch 6 modułów fotowoltaicznych M-Si (producent: *Solarfabric*)

- a-Si: cienkowarstwowa struktura amorficznego krzemu



Fot. 3. Badany panel – łańcuch 6 modułów fotowoltaicznych a-Si (producent: *Uni-Solar*)

Tabela 1. Urządzenia wchodzące w skład badanej instalacji PV

Urządzenie	Parametry		Ilość w systemie
<i>Moduł R-Si</i>	moc szczytowa	110 W _p	6
	napięcie wyjściowe	12/24 V	
<i>Moduł M-Si</i>	moc szczytowa	115 W _p	6
	napięcie wyjściowe	12 V	
<i>Moduł a-Si</i>	moc szczytowa	64 W _p	6
	napięcie wyjściowe	12 V	
<i>Falownik</i>	nominalna moc wejściowa	700 W	3
	napięcie wyjściowe	230V	
<i>Sunny Boy Control +</i>	odczyt, przesył i magazynowanie danych		1
<i>Serwer</i>	komputer PC, udostępnianie i archiwizacja danych		1

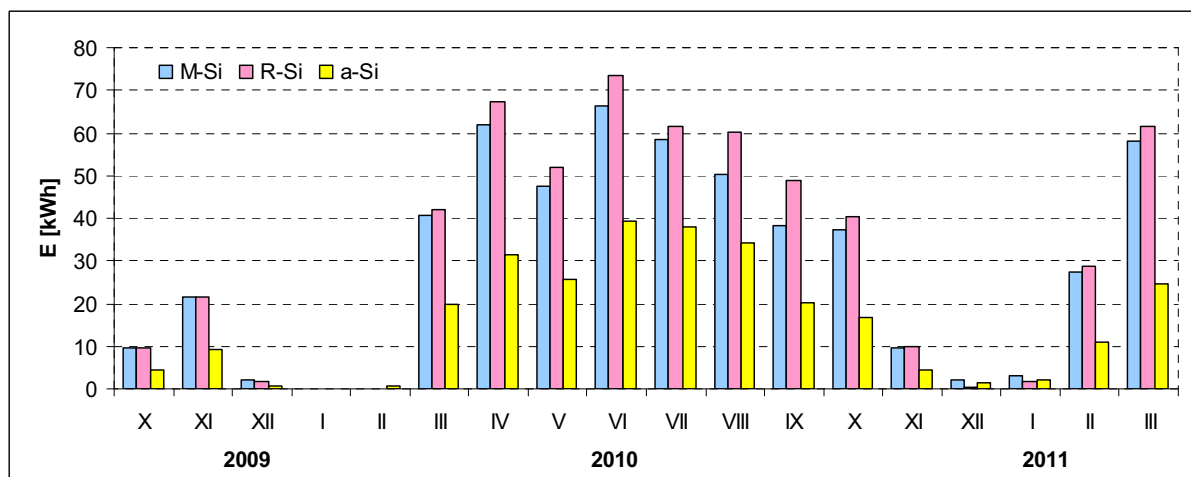
Falowniki zastosowane w badanym systemie są urządzeniami typu Sunny Boy 700 przetwarzającymi energię elektryczną z wysoką sprawnością (92-93%) oraz optymalną niezawodnością. Inwertery fotowoltaiczne Sunny Boy 700 konwertują napięcie stałe, pochodzące z instalacji PV, na napięcie przemiennie odprowadzane do sieci energetycznej. Prąd odprowadzany przez falownik do sieci ma kształt idealnej sinusoidy, dzięki kontroli procesu przez wbudowany mikroprocesor. Sunny Boy 700 automatycznie wyszukuje, dla danej instalacji fotowoltaicznej, punkt mocy maksymalnej MPP (*Maximum Power Point*) i samoczynnie dobiera najbardziej optymalny jej tryb [4].

2.3. System akwizycji i archiwizacji danych

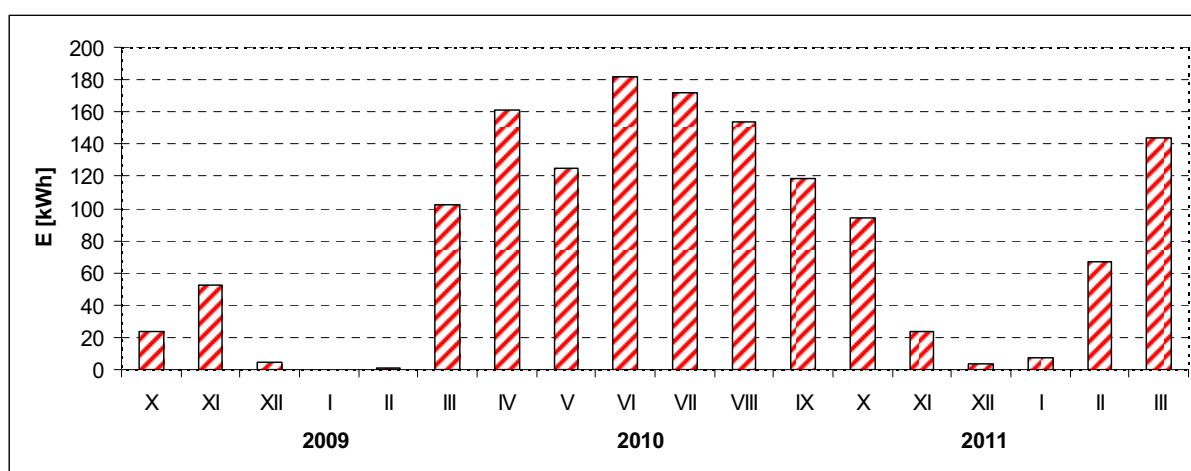
Funkcję systemu zbierającego i magazynującego dane pełni w badanej instalacji urządzenie dedykowane Sunny Boy Control Plus połączone z serwerem, który z kolei umożliwia archiwizację dużej ilości danych, a także ich udostępnianie on-line. Urządzenie posiada kanały analogowe i cyfrowe oraz wyjścia pozwalające na połączenie z komputerem, dzięki czemu uproszczone jest przetwarzanie zapisanych danych. Sunny Boy Control Plus może komunikować się z falownikami Sunny Boy 700 poprzez port RS485 lub RS232 (w tym przypadku RS485). Jako główne zalety urządzenia Sunny Boy Control Plus producent wymienia następujące punkty: pomiar bezpośredni; nieprzerwany monitoring wydajności systemu PV; analiza i identyfikacja możliwych błędów i awarii w pracy modułów; wygodne korzystanie ze zbieranych danych (prosty interfejs użytkownika); możliwość przetwarzania pozyskanych danych.

3. WYNIKI I ANALIZA POMIARÓW ENERGETYCZNYCH

Pomiary energetyczne badanej instalacji fotowoltaicznej były prowadzone od października 2009 r. do marca 2011 r., co daje możliwość półtorarocznej analizy zebranych wyników. Na rys. 3 przedstawiony jest wykres miesięcznego uzysku energetycznego, wyrażonego w kWh, z podziałem na rodzaje badanych modułów. Podane wartości reprezentują energię uzyskaną z kolejnych łańcuchów modułów PV różnych typów (po 6 modułów w serii). Rys. 4 natomiast prezentuje całkowitą energię elektryczną wytworzoną przez instalację w badanym okresie, z podziałem na miesiące. W czasie półtora roku pracy system paneli fotowoltaicznych dostarczył do sieci wewnętrznej Politechniki Łódzkiej niemal 1,5 MW energii.



Rys. 3. Miesięczny uzysk energii dla poszczególnych typów paneli PV



Rys. 4. Sumaryczny miesięczny uzysk energii dla całego systemu

Powyższe zestawienia potwierdzają najbardziej naturalną i niemal oczywistą tezę, iż w warunkach klimatycznych naszego kraju, największy uzysk energetyczny z fotowoltaiki możliwy jest w miesiącach letnich, a także wiosennych i wczesnej jesieni. Interesująca natomiast jest obserwacja znaczących różnic w ilości produkowanej energii dla tych samych miesięcy w kolejnym roku pracy. Przykładem jest tu miesiąc październik 2010 r., w którym instalacja fotowoltaiczna wyprodukowała ponad czterokrotność energii wytworzonej w roku poprzednim. Jeszcze lepszym przykładem tego typu może wydawać się luty w latach 2010, gdzie uzysk energetyczny nie osiągnął nawet 1 kWh, i 2011, kiedy z instalacji pozyskano niemal 70 kWh. W tym przypadku jednak, tak małe wartości energii wytworzonej w 2010 roku, uwarunkowane były złogami śniegu zalegającego wówczas na dachu budynku, w tym na modułach, co uniemożliwiało poprawne działanie instalacji. Niemniej jednak różnice klimatyczne wpływające na sprawność modułów fotowoltaicznych są zauważalne, dlatego też konieczna jest ciągła i długookresowy i ciągły monitoring tego typu systemów.

W celu wykonania dokładniejszej analizy, uzysk energetyczny dla całego roku 2010, przeliczono na pozyskaną w tym czasie energię przypadającą na jeden kilowat szczytowy zainstalowanej mocy (tabela 2). Takie wyliczenia umożliwiają wiarygodne porównanie badanej instalacji z innymi tego typu zestawieniami, np. badanych w innych warunkach geograficznych lub wyposażonych w system nadążny.

Z obliczeń zawartych w tabeli wynika, iż dane podawane przez producentów modułów fotowoltaicznych nie są do końca jednoznaczne. Okazuje się, że z 1 kW zainstalowanej mocy

Tabela 2. Roczny uzysk energii w 2010 r, w przeliczeniu na 1kW_p zainstalowanej mocy

Typ modułu	Moc zainstalowana [W _p]	Roczny uzysk energii w 2010 r. [kWh]	Roczny uzysk energii w 2010 r. z 1 kW _p zainstalowanej mocy [kWh]
<i>R-Si</i>	660	455,62	690,33
<i>M-Si</i>	690	412,82	598,28
<i>a-Si</i>	384	231,83	603,72
<i>razem</i>	1734	1136,73	655,55

szczytowej, z modułu PV wykonanego w technologii wstęgowej można uzyskać nawet 15% więcej energii niż w przypadku przyrządów z krzemu multikrystalicznego czy amorficznego.

Porównanie rocznego uzysku energii z całej badanej instalacji (przypadającego na 1 kW_p zainstalowanej mocy) z przykładowymi danymi dla systemów nadążnych w Polsce północnej [5] i w Niemczech [6], pokazuje, iż rozwiązania wyposażone w system śledzący Słońce są w stanie wyprodukować ponad 30% więcej energii niż instalacje nieruchome.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiona analiza jest wynikiem osiemnastomiesięcznego monitoringu statycznej instalacji fotowoltaicznej złożonej z trzech różnych typów modułów PV, zorientowanych pod kątem optymalnym, o łącznej mocy szczytowej 1734 W_p. Bieżące oraz archiwalne zestawienia energetyczne dostępne są przez autorską stronę: <http://www.dsod.pl/fotowoltaika>.

W dalszych planach rozwojowych badanej instalacji przewidywane jest dołączenie do systemu fotowoltaicznego stacji pogodowej, monitorującej rzeczywiste warunki meteorologiczne w badanym obszarze, takie jak: wartość promieniowania słonecznego, temperaturę, wilgotność czy prędkość wiatru. Ponadto obecnie jest już podłączony do systemu kolejny łańcuch modułów PV, tym razem wykonany w cienkowarstwowej technologii heterozłączonej CIS. Moduły CIS i CIGS są potencjalną alternatywą dla krzemowych przyrządów PV, co wynika ze stosunkowo wysokiej sprawności ogniw tego typu przy zdecydowanie niższych kosztach wytwarzania w stosunku do modułów krzemowych [7]. Z tego względu wskazana jest także analiza ich pracy w warunkach rzeczywistych.

PODZIĘKOWANIA

Katarzyna Znajdek i Sylwia Walczak są stypendystkami w ramach projektu „Bioenergia dla Regionu – Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów”, współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] „Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych” Ministerstwa Gospodarki przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 7 grudnia 2010 r.
- [2] M. Šúri, T. A. Huld, E. D. Dunlop, H. A. Ossenbrink, „*Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries*“, Solar Energy, 81, 1295–1305, 2007, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgris/>
- [3] <http://www.mg.gov.pl/>
- [4] „*Sunny Boy 700 – Technical Description, String Inverter for Photovoltaic Plants*“ SB700-11:EE0502.
- [5] E. Radziemska, P. Meler, A. Rosińska, „*Analiza możliwości wytwarzania energii elektrycznej w warunkach klimatycznych Polski północnej na podstawie wielomiesięcznego monitoringu*“, I Krajowa Konferencja Fotowoltaiki, 9-11 X, Krynica-Zdrój 2009.
- [6] A. Kimber, L. Mitchell, H. Wenger, „*First Year Performance of a 10 MWp Tracking PV Plant in Bavaria Germany*“, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 4-8 IX, Germany, 2006.
- [7] B. Werner, „*Modelowanie cienkowarstwowych modułów fotowoltaicznych typu CIGS, pracujących w warunkach naturalnych*“, I Krajowa Konferencja Fotowoltaiki, 9-11 X, Krynica-Zdrój 2009.