

Analiza funkcjonowania minisystemu fotowoltaicznego na podstawie danych z monitoringu instalacji

Mariusz Sarniak

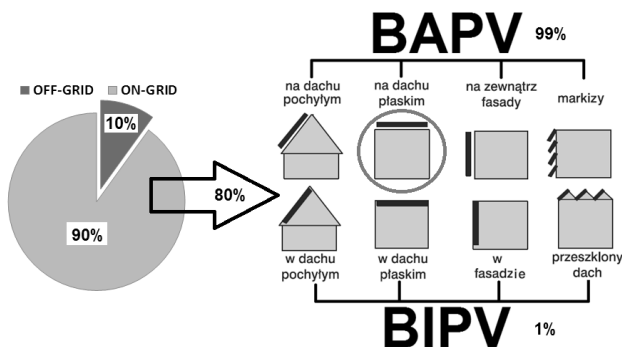
Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii
Zakład Inżynierii Systemów Mechanicznych i Automatykacji
Al. Jachowicza 2/4, 09-402 Płock, e-mail: sarniak@pw.plock.pl

Streszczenie. W artykule przeanalizowano funkcjonowanie minisystemu fotowoltaicznego na podstawie danych z monitoringu instalacji. Analiza obejmuje okres od 11 września 2014 r. do 27 lutego 2015r. Porównano dwa generatory wykonane z krzemu monokrystalicznego i polikrystalicznego. Przedstawiono przykładowe wykresy mocy dla dni o różnych warunkach nasłonecznienia. W konkluzji podkreślono konieczność przeprowadzenia analizy dla całorocznych wyników monitoringu systemu PV.

Słowa kluczowe: fotowoltaika, minisystem fotowoltaiczny, mikrofalownik, monitoring.

WPROWADZENIE

Klasyfikacja systemów fotowoltaicznych [1, 2, 8, 10, 11, 16] dołączonych do sieci elektroenergetycznej (ON-GRID), które stanowią zdecydowaną większość (rys. 1), uzależniona jest od ich wielkości wyrażonej w watach mocy szczytowej, oznaczanej W_p (ang. *Watt-peak*). W dalszej części artykułu używany będzie powszechnie stosowany skrót PV, oznaczający różne formy gramatyczne słowa fotowoltaika [3, 7, 9].



Rys. 1. Klasyfikacja systemów PV
Fig. 1. Classification of PV systems

Blisko 99 % systemów instalowanych na budynkach (rys. 1) to systemy typu BAPV (ang. *Building Applied Photovoltaics*), które nie są bezpośrednio zintegrowane z elementami konstrukcyjnymi budynku, tak jak to ma miejsce w systemach BIPV (ang. *Building Integrated Photovoltaics*).

Obecnie praktycznie wszyscy producenci falowników, stosowanych w systemach PV, zapewniają odpowiednie wyposażenie dodatkowe, które umożliwia monitorowanie ich funkcjonowania. Monitoring systemu PV to nie tylko efektywny gadżet, ale przede wszystkim ciągła rejestracja podstawowych parametrów funkcjonowania, umożliwiająca analizę i wykrywanie wszelkiego rodzaju nieprawidłowości. Podgląd danych z monitoringu z urządzeń mobilnych może również być pewnego rodzaju elementem zabezpieczającym zewnętrzne elementy systemu PV przed kradzieżą i aktami wandalizmu.

BUDOWA MINISYSTEMU PV NA DACHU PŁASKIM

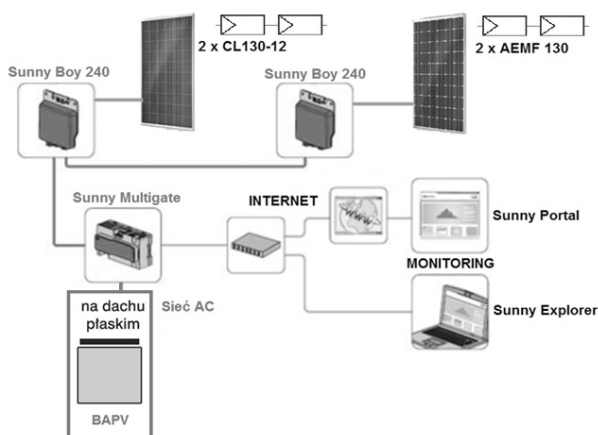
Minisystem PV, którego funkcjonowanie będzie analizowane, został zainstalowany na dachu budynku Politechniki Warszawskiej Filii w Płocku przy Al. Jachowicza 2/4. Na rys. 2 przedstawiono fotografię generatora PV, zbudowanego z dwóch par szeregowo połączonych modułów PV wykonanych w dwóch najpopularniejszych technologiach: z krzemu monokrystalicznego (po prawej) oraz z krzemu polikrystalicznego (po lewej).

Moduły PV są zamontowane w kierunku azymutalnym skierowanym na Południe i pod kątem pochylenia względem poziomu 45° . Dwa mikrofalowniki **Sunny Boy 240** zostały zainstalowane bezpośrednio pod modułami PV na dachu budynku. Na rys. 3 przedstawiono schemat połączeń wszystkich elementów systemu PV. Ważnym elementem systemu PV jest urządzenie **Sunny Multigate**, które łączy minisystem PV z siecią elektryczną budynku



Rys. 2. Fotografia minisystemu PV – „Politechnika-Płock”
Fig. 2. Minisystem PV Photography – „Politechnika-Płock”

(podłączenie do jednej fazy) oraz z routerem sieci komputerowej, podłączonym do Internetu. Do jednego urządzenia Sunny Multigate można podłączyć maksymalnie 12 mikrofalowników Sunny Boy 240. Aby dane z instalacji PV były wysyłane na serwer **Sunny Portal** konieczna jest rejestracja instalacji na podstawie nadanych przez producenta indywidualnych numerów urządzeń. Po prawidłowo przeprowadzonym procesie rejestracji system z częstotliwością co 15 min. wysyła dane na serwer oddzielnie dla każdego mikrofalownika. Istnieje również możliwość monitoringu lokalnego przy użyciu aplikacji **Sunny Explorer**, jeżeli lokalizacja systemu nie umożliwia podłączenia jej do Internetu.



Rys. 3. Schemat minisystemu PV
Fig. 3. Diagram of PV minisystem

Parametry nominalne, wyznaczone przez producenta w warunkach laboratoryjnych STC (*ang. Standard Test Condition*) [4, 5] modułów PV przedstawiono w tabeli 1, a interpretację podstawowych parametrów charakterystyki prądowo-napięciowej i wykresu mocy omówiono już w poprzednich publikacjach autora [13, 14]. Zamierzone było wykorzystanie do budowy minisystemu PV modułów o tych samych parametrach, różniących się jedynie technologią wykonania ogniw PV.

Tabela 1. Parametry nominalne modułów: **AEMF130** i **CL130-12** [4, 5]

Table 1. Nominal parameters of modules: **AEMF130** and **CL130-12** [4, 5]

Parametr modułów	Wartość
Liczba ogniw ($5'' \approx 125 \times 125$ mm)	36 sztuk
Moc maksymalna P_{MPP}	130 W
Napięcie w punkcie mocy maksymalnej U_{MPP}	17,2 V
Prąd w punkcie mocy maksymalnej I_{MPP}	7,56 A
Napięcie obwodu otwartego U_{OC}	21,6 V
Prąd zwarcia modułu I_{SC}	8,02 A
Wymiary modułu	1483x655x35 mm

W tabeli 2 podano podstawowe parametry mikrofalownika Sunny Boy 240. Falownik ten został wykonany w technologii transformatorowej wysokiej częstotliwości. Falowniki tego typu charakteryzują się najwyższą sprawnością w górnym zakresie napięcia pracy.

Tabela 2. Parametry nominalne mikrofalownika Sunny Boy 240 [6]

Table 2. Nominal parameters of Sunny Boy 240 microinverter [6]

Parametr	Wartość
Maksymalna moc wejściowa DC	245 W
Maksymalne napięcie wejściowe DC	45 V
Zakres roboczego napięcia DC	23÷32 V
Maksymalny prąd wejściowy DC	8,5 A
Sprawność max./EURO	95,8 %/95,3 %

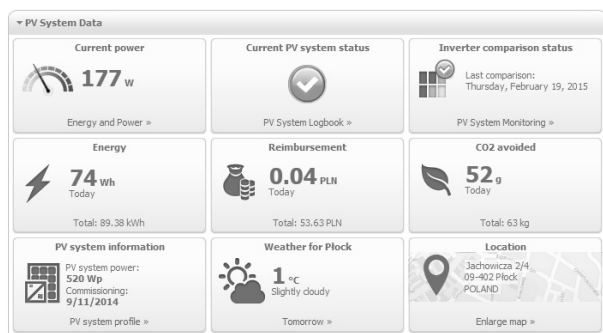
Prawidłowość doboru falownika do generatora PV potwierdzono w programie **Sunny Design**, który służy do projektowania systemów PV. Maksymalna moc generatora PV w warunkach STC, wynosząca w systemie 260 W jest dopuszczalna ze względu na to, że w strefie klimatycznej Europy Środkowej dopuszcza się współczynnik nadmierowości mocy modułów PV w stosunku do nominalnej mocy falowników nawet do 120 % [9, 16].

ANALIZA DANYCH Z MONITORINGU INSTALACJI PV

Po poprawnym zarejestrowaniu instalacji na serwerze Sunny Portal możemy się zalogować i obserwować podstawowe parametry funkcjonowania systemu PV (rys. 4). Liczba instalacji zarejestrowanych na Sunny Portal na terenie Polski na dzień 27-02-2015r. wynosiła 126 sztuk instalacji PV o różnych mocach.

Dostępne są również wykresy mocy i energii dla każdego mikroinwertera w zestawieniach: dzień, miesiąc, rok i łącznie. Możliwy jest też eksport danych w postaci plików arkusza kalkulacyjnego, co umożliwia dokładną analizę danych w oprogramowaniu zewnętrznym. Ze względu na słabą widoczność wykresów skopiowanych z Sunny Portal w dalszej części artykułu wykresy wykonano w arkuszu kalkulacyjnym na podstawie plików danych z monitoringu.

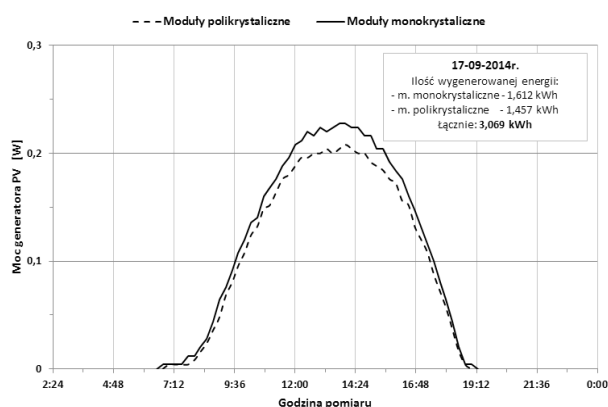
PV System Overview | Politechnika-Płock



Rys. 4. Dane monitoringu systemu PV na Sunny Portal [15]
Fig. 4. PV system data monitoring on the Sunny Portal [15]

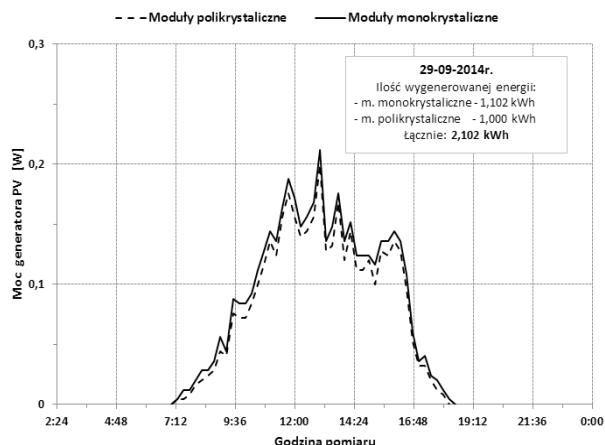
Na przedstawionych dalej w pracy wykresach mocy dla przykładowych dni zastosowano takie same skalowanie osi dla lepszego zobrazowania różnic.

Na rys. 5 przedstawiono dane z monitoringu dla dnia 17-09-2014r., w którym była stabilna słoneczna pogoda i dominowała składowa bezpośredniego promieniowania słonecznego. W tych warunkach widać wyraźną przewagę w ilości generowanej energii dla generatora PV, zbudowanego z dwóch modułów monokrystalicznych. Na rys. 6 z kolei przedstawiono dane z monitoringu dla dnia 29-09-2014r., w którym warunki nasłonecznienia były zmienne i występowały częściowe zachmurzenia. W tych zmiennych warunkach dalej obserwowano przewagę w ogólnej ilości generowanej energii dla modułów monokrystalicznych, ale w podczas spadków mocy obie linie na wykresie zaczynały się do siebie zbliżać, można więc wnioskować, że w gorszych warunkach nasłonecznienia dominacja modułów monokrystalicznych nie jest już tak wyraźna.



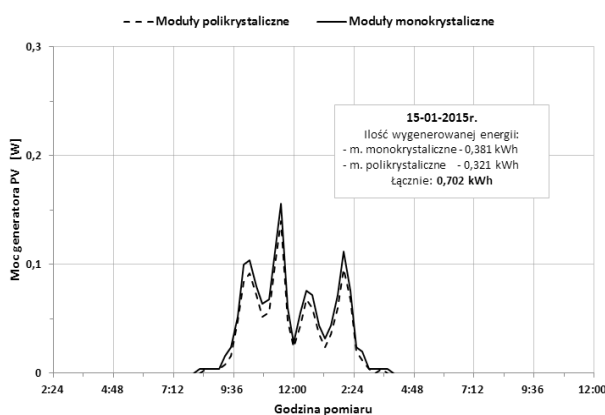
Rys. 5. Dane z monitoringu z dnia 17-09-2014r.
Fig. 5. Monitoring data on 17-09-2014r.

Na rys. 7 i 8 przedstawiono wykresy mocy dla dwóch dni stycznia 2015 roku. Tu z kolei zaobserwowano sytuację, w której mikrofalownik podłączony do generatora PV, zbudowanego z modułów monokrystalicznych w pewnym momencie wyłączył się i zbyt niskie parametry generatora nie umożliwiły ponowne włączenie w tym dniu (29-01-2015 r.). Sytuacja ta miała miejsce kiedy moc generatorów PV spadła poniżej 30 % mocy uzyskiwanej we wrześniu (rys. 5).

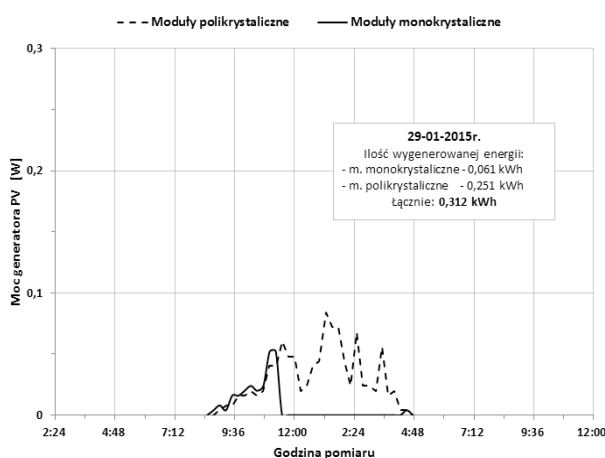


Rys. 6. Dane z monitoringu z dnia 29-09-2014 r.
Fig. 6. Monitoring data on 29-09-2014 r.

Analizując dobowe wykresy mocy dla dwóch generatorów PV, wykonanych z krzemu polikrystalicznego i monokrystalicznego, można wyraźnie dostrzec następującą prawidłowość: podczas gdy mamy wyraźne wzrosty mocy, będące następstwem dominacji bezpośredniego promieniowania słonecznego, zdecydowanie więcej energii generują moduły monokrystaliczne.



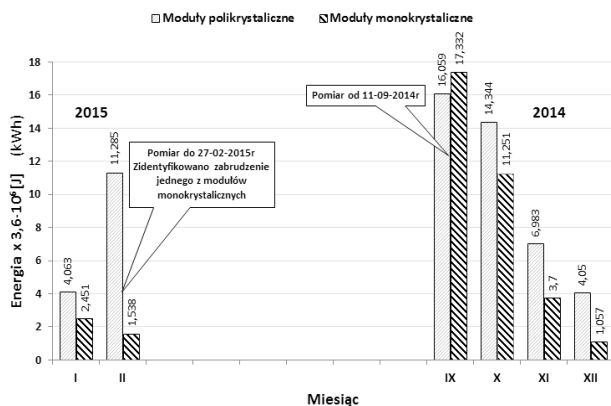
Rys. 7. Dane z monitoringu z dnia 15-01-2015 r.
Fig. 7. Monitoring data on 15-01-2015 r.



Rys. 8. Dane z monitoringu z dnia 29-01-2015 r.
Fig. 8. Monitoring data on 29-01-2015 r.

ZBIORCZE WYNIKI MONITORINGU

Na rys. 9 przedstawiono zbiorcze wyniki ilości wygenerowanej energii w minisystemie PV w całym analizowanym okresie funkcjonowania, czyli od 11-09-2014 r. do 27-02-2015 r. Tylko w jednym miesiącu wrześniu 2014 r. zaobserwowano większą ilość wygenerowanej energii w generatorze PV, zbudowanym z modułów monokrystalicznych. W pozostałych miesiącach jesienno-zimowych dominował pod tym względem generator PV z modułów polikrystalicznych.



Rys. 9. Energia wygenerowana w okresie od 11-09-2014 do 27-02-2015 (łącznie: **94,113 kWh**)

Fig. 9. The energy generated in the period from 11-09-2014 to 27-02-2015 (total: **94.113 kWh**)

Ciekawa sytuacja miała miejsce w miesiącu lutym 2015 r. kiedy nastąpiło drastyczne obniżenie ilości energii, generowanej w generatorze z modułów monokrystalicznych. W wyniku przeprowadzonej inspekcji instalacji na dachu budynku w dn. 19-02-2015r. stwierdzono zabrudzenie ptasimi odchodami części jednego z modułów monokrystalicznych. Po wyczyszczeniu generator rozpoczął normalną pracę, nie znana jest niestety dokładna data powstania zanieczyszczenia, ale ze względu na znaczną stratę energii musiało to nastąpić już w pierwszych dniach lutego 2015 r.

WNIOSKI

1. Analiza monitoringu instalacji w rozpatrywanym okresie, czyli od 11 września 2014r. do 27 lutego 2015 r. wykazała dużą różnicę w ilości łącznie generowanej w systemie PV energii pomiędzy miesiącem letnim wrześniem, a zimowym grudniem, w którym to wygenerowano ponad sześciokrotnie razy mniej energii.
2. W rozpatrywanym okresie jesienno-zimowym więcej energii uzyskiwano w generatorze, zbudowanym z modułów polikrystalicznych (56,784 kWh). Łącznie minisystem PV wygenerował: **94,113 kWh** energii elektrycznej.
3. Na dobowych wykresach mocy szczególnie w godzinach okołopołudniowych obserwowano wyraźnie większe

moce (piki mocy) w generatorze PV z modułów monokrystalicznych, co może być przesłanką do postawienia hipotezy, że przy dominacji bezpośredniego promieniowania słonecznego ten typ modułu jest wydajniejszy energetycznie.

4. Dla pełnego obrazu funkcjonowania obu typów generatorów PV w tej konkretnej lokalizacji należy kontynuować pomiary, aby uzyskać wyniki całoroczne i wtedy ponownie dokonać analizy danych z monitoringu. Do pełnego obrazu funkcjonowania minisystemu PV cenne byłyby również wyniki pomiarów z najbliższej stacji meteorologicznej Płock-Trzepowo.

BIBLIOGRAFIA

1. **Jarzębski Z. M. 1990:** Energia Słoneczna, konwersja fotowoltaiczna. PWN, Warszawa.
2. **Kaiser H. 1995:** Wykorzystanie energii słonecznej. Wydawnictwo AGH, Kraków.
3. **Kapica J., Ścibisz M. 2013:** Employing empirical mode decomposition to determine solar radiation intensity curve. TEKA. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE. Vol.13, No. 1, 65-70. Lublin-Rzeszów.
4. Karta produktu modułu AEMF130. 2012. Active Energy: <http://www.actionenergy.pl>.
5. Karta produktu modułu CL130-12P. 2012. Soltec S. C.: <http://www.soltec.pl>.
6. Katalog produktów 2014 – **SMA Solar Technology AG:** <http://www.sma.de>.
7. **Klugmann-Radziemska E. 2010:** Fotowoltaika w teorii i praktyce. Wydawnictwo BTC. Legionowo.
8. **Messenger R. A., Ventre J. 2010:** Photovoltaic Systems Engineering. Third Edition. CRC Press – 527 pp. ISBN: 978-1-4398-0292-2.
9. **Pliński M. 2013:** Podstawy projektowania systemów fotowoltaicznych – cz.3. Jak dobrać falowniki do instalacji PV. Magazyn Fotowoltaika. Wydawnictwo PUBLIKA-TECH. Nr 3/2013, 10-15. Warszawa.
10. **Pluta Z. 2000:** Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
11. **Sarniak M. 2008:** Podstawy fotowoltaiki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa.
12. **Sarniak M. 2012:** The method of selection of optimum fitting parameters for stationary photovoltaic systems and optimum control parameters for tracking photovoltaic systems. TEKA COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE. Vol.12, No. 1, 243-246. Lublin-Lugansk.
13. **Sarniak M. 2013:** Badania wpływu ustawienia modułu fotowoltaicznego na przebiegi charakterystyk zewnętrznych. MOTROL. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE. Vol. 15. No. 1, 115-118. Lublin-Rzeszów.
14. **Sarniak M. 2014:** Uproszczona metoda doboru inwertera do systemu fotowoltaicznego dołączonego do sieci. MOTROL. COMMISSION OF MOTORIZATION AND

ENERGETICS IN AGRICULTURE. Vol. 16. No. 1, 135-140. Lublin-Rzeszów.

15. **Sunny Portal 2015:** Strona internetowa systemu monitoringu **SMA Solar Technology AG:** <https://www.sunnyportal.com>.
16. **Szymański B. 2014:** Instalacje fotowoltaiczne. Wydanie III. GEOSYSTEM, Redakcja GLOBEnergia. Kraków.

ANALYSIS OF FUNCTIONING PHOTOVOLTAIC
MINISYSTEM BASED ON DATA
MONITORING SYSTEM

Summary. The article analyzes the functioning of the photovoltaic minisystem based on data from the monitoring system. The analysis covers the period from September 11, 2014. to February 27, 2015. Compared two generators made of monocrystalline and polycrystalline silicon. Exemplary power for days with different lighting conditions. In conclusion underlined the need for full-year analysis results of the monitoring of the PV system.

Key words: photovoltaics, PV minisystem, microinverter, monitoring.

