

Aleksander Zaremba*, Tadeusz Rodziewicz, Bogdan Graca** i Maria Waclawek****

*Katedra Elektrotechniki
Politechnika Częstochowska
al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa
e-mail: zaremba@el.pcz.czest.pl

**Zakład Badań Fizykochemicznych
Uniwersytet Opolski
ul. kard. B. Kominka 4, 45-032 Opole
tel. 077 453 89 76, e-mail: maria.waclawek@uni.opole.pl

MONITORING STACJI FOTOWOLTAICZNYCH W ŚWIETLE NORM EUROPEJSKICH

MONITORING OF PHOTOVOLTAIC STATIONS IN THE EUROPEAN STANDARDS

Streszczenie: Przedstawiono założenia nowej normy europejskiej dotyczącej monitoringu stacji fotowoltaicznych (IEC 61724). Pokazano jej zastosowanie na przykładzie mininstalacji pracującej na dachu Uniwersytetu Opolskiego.

Słowa kluczowe: monitoring, fotowoltaika, moduł PV, system PV, normy europejskie, norma IEC 61724

Summary: The new European standard IEC 61724 (concerned with photovoltaic monitoring) was presented. Application of this standard to mini photovoltaic system working on the roof of the Opole University was given.

Keywords: monitoring, photovoltaics, PV module, PV system, European standards, IEC 61724

W ciągu ostatnich dziesięciu lat wzrosło znacząco zainteresowanie i zapotrzebowanie na alternatywne źródła energii. W związku z tym zaczęto projektować i konstruować wiele rodzajów modułów fotowoltaicznych (PV), różniących się od siebie parametrami technicznymi i możliwościami aplikacyjnymi, a także pracujących w różnych warunkach, to jest przy różnym nasłonecznieniu, zmiennym współczynniku AM oraz innych ważnych parametrach otoczenia [1].

Powstała potrzeba badania oraz porównywania zachowania tych modułów z użyciem parametrów, które uwzględniałyby te różnicowania, o których wspomniano. Norma IEC 61724 [2] jest w tej kwestii nowatorska, gdyż uwzględniane w niej parametry zależą od nasłonecznienia globalnego.

Powstaje pytanie, czy jest celowe monitorowanie działających już systemów fotowoltaicznych. Aby odpowiedzieć na nie, należy zwrócić uwagę na kilka kwestii:

- sprawdzenie poprawności projektu: w trakcie monitorowania i obróbki danych powstaje możliwość zweryfikowania założeń projektu, zakładanych w nim mocy, energii i innych projektowanych parametrów. Taka weryfikacja może pomóc przy projektowaniu nowych stacji PV i uchronić przed dalszym powielaniem błędów,
- wykrywanie i usuwanie usterek: w wyniku

monitorowania nowo powstałej stacji można wykryć niedokładności wykonania względnie usterki, które pojawiły się w systemie PV, poprzez analizę działania systemu i porównanie go z opracowanymi założeniami,

- pomoc przy projektowaniu nowych instalacji: zaprojektowanie nowej instalacji w nowych warunkach klimatycznych można poprzedzić analizą działania już istniejącej w podobnych warunkach. Po zaprojektowaniu jednej dobrze działającej instalacji PV można ją kopiować, jeśli następna ma pracować w podobnych warunkach,
- określenie potencjału i zasobów energii słonecznej: w danej strefie klimatycznej, w której nie były prowadzone dokładne badania, możemy poprzez analizę wyników uzyskać informacje na temat tych właśnie wartości, w ten sposób można ocenić przydatność modułów w danych warunkach.

Oczywiście oprócz zalet monitorowanie pociąga za sobą także dodatkowe problemy, w głównej mierze są to:

- dodatkowe koszty: urządzeń monitorujących, stacji meteorologicznej, potrzeba zbierania danych, a więc urządzenie z pamięcią stałą (komputer), dodatkowe mocowania, kable, zwiększenie masy całej instalacji, co ma szczególnie znaczenie w przypadku fasad czy instalacji dachowych,

- zużycie energii elektrycznej z systemu PV: nowe urządzenia połączone do systemu PV i służące do jego monitorowania są zasilane zazwyczaj z sieci elektrycznej (ponieważ jest wymagana ich praca, nawet kiedy system PV nie dostarcza energii), jednak mają wpływ na bilans energii pobranej i oddanej do sieci. Dlatego też, biorąc pod uwagę zasugerowane powyżej problemy, monitorowanie stosuje się do instalacji nowego typu (aby sprawdzić poprawność projektu), a także dla instalacji montowanych w nowych warunkach klimatycznych (aby określić zasoby energii słonecznej na danym obszarze).

Monitorowanie globalne i analityczne

Często stosuje się monitorowanie tylko przyrostu energii w wybranych punktach układu (np. energię promieniowania słonecznego, padającą na system PV, dostarczaną przez moduły systemu PV oraz oddaną do sieci energetycznej). Szczególnie ważny jest ostatni parametr, ponieważ na jego podstawie dokonuje się rozliczeń z odbiorcami energii. Do takiego monitorowania potrzebne są tylko liczniki energii, więc jest to metoda niedroga, jednak pod względem ilości informacji uboga. Ten rodzaj monitoringu nazywamy monitorowaniem globalnym.

Drugim rodzajem jest monitoring analityczny. Polega on na zebraniu jak największej liczby parametrów niezbędnych do dokładnego opisu systemu fotowoltaicznego, a także do ustalenia powiązań między różnymi warunkami atmosferycznymi a działaniem tego systemu. W ten sposób zbieranych jest dużo różnych parametrów, zarówno meteorologicznych (nasłonecznienie, wilgotność, temperatura otoczenia), jak i parametrów elektrycznych systemu PV (prądy i napięcia w różnych punktach systemu, moc itp.). Przykładem zastosowania tej metody analizy systemu fotowoltaicznego jest stacja badawczo--szkoleniowa zainstalowana na południowym szczycie dachu budynku Uniwersytetu Opolskiego przy ul. kard.

B. Kominka [3, 4].

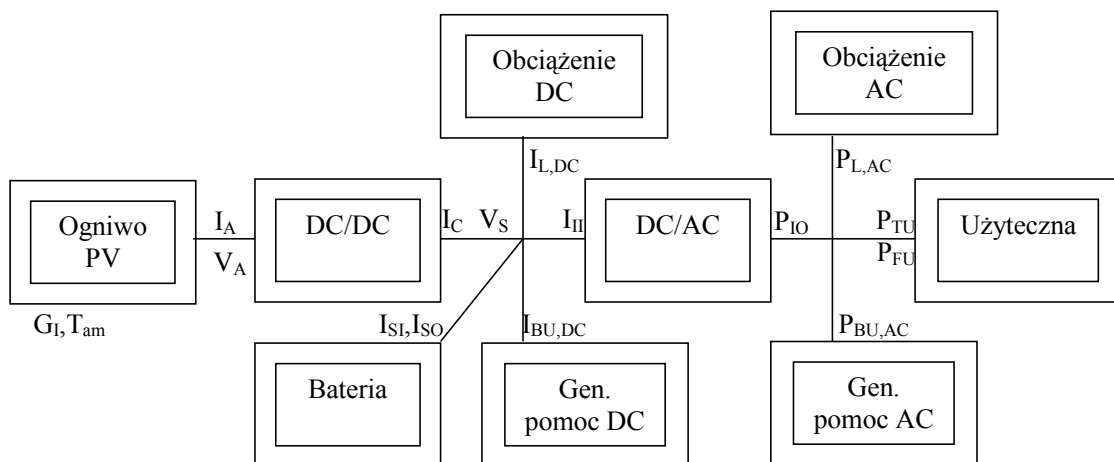
Wymagania stawiane systemom monitorującym

Monitorowanie systemów fotowoltaicznych jest operacją skomplikowaną. Nieprawidłowa instalacja czy kalibracja urządzeń pomiarowych jest często przyczyną niepowodzenia. Aby otrzymane wyniki były wiarygodne, system monitorujący musi spełnić wiele wymagań:

- system monitorujący powinien być zaprojektowany i zainstalowany w taki sposób, by w minimalnym stopniu wpływać na pracę systemu PV. Głównie chodzi o umiejscowienie czujników meteorologicznych i ich komponentów, aby nie przesłaniały kolektora PV, ponieważ wpływa to na nasłonecznienie i powoduje zmniejszenie energii docierającej do modułów,
- pomiar wielkości elektrycznych systemu PV powinien w jak najmniejszym stopniu wpływać na mierzoną wielkość,
- pobór mocy przez urządzenia monitorujące powinien być możliwie najniższy. Moc ta nie powinna przekraczać 5% mocy produkowanej przez system PV. Pobieranie zbyt dużej mocy powoduje nie tylko wypaczenie wyników, ale także straty finansowe (mniej energii zostanie odprowadzonej do sieci),
- system monitorujący powinien być odporny na trudne warunki atmosferyczne. System ten powinien działać zarówno podczas wiatru, deszczu, jak i w całym zakresie temperatur spotykanych w danych warunkach klimatycznych. Ważne jest, aby te warunki nie wpływały na jakość pomiarów i ich dokładność,
- system monitorujący powinien być odporny na zakłócenia elektromagnetyczne pochodzące tak od elementów systemu PV (np. falowników), jak i od innych elementów, mogących znajdować się w pobliżu (silniki klimatyzatorów, anteny).

W systemie fotowoltaicznym może być podłączonych wiele urządzeń, jak np.: obciążenie AC, DC, falowniki itp. Dlatego ważne jest zobrazowanie przepływu mocy oraz energii między nimi (rys. 1).

Nie wszystkie elementy umieszczone na rysunku 1 muszą występować w systemie PV, np. rzadko instaluje się generator pomocniczy DC, ale rysunek ten obrazuje, jak dużo parametrów w skrajnym przypadku należy zmierzyć i zapisać. Parametry mierzone i zapisywane zostały wymienione w tabeli 1.



Rys. 1. Diagram przepływu mocy w systemie PV [2]

Tabela 1. Parametry systemu PV [2]

Parametr	Symbol	Jednostka
Natężenie promieniowania, całkowite, w płaszczyźnie ogniwa	G_I	[W/m ²]
Temperatura otoczenia w cieniu	T_{am}	[°C]
Napięcie wyjściowe ogniwa	V_A	[V]
Prąd wyjściowy ogniwa	I_A	[A]
Prąd wyjściowy przetwornika	I_C	[A]
Prąd wejściowy baterii	I_{SI}	[A]
Prąd wyjściowy baterii	I_{SO}	[A]
Napięcie międzyprzewodowe DC (napięcie baterii)	V_S	[V]
Prąd do wszystkich specjalistycznych obciążeń DC	$I_{L,DC}$	[A]
Prąd DC falownika/prostownika (+/-)	I_{II}	[A]
Moc DC falownika/prostownika (+/-)	P_{IO}	[kW]
Moc wszystkich specjalistycznych obciążeń AC	$P_{L,AC}$	[kW]
Moc do sieci użytkowej	P_{TU}	[kW]
Moc z sieci użytkowej	P_{FU}	[kW]
Moc z generatora pomocniczego AC	$P_{BU,DC}$	[kW]
Prąd z generatora pomocniczego DC	$I_{BU,AC}$	[A]
Czas, w którym system nie pracował	t_{NAV}	[h]

Podobnie jak w przypadku rysunku 1, nie wszystkie wartości tu opisane będą występować w każdym z systemów, ale należy wziąć pod uwagę możliwość ich monitorowania w nowo powstałej stacji PV.

Wskaźniki wydajności

Wartości parametrów, które uzyskano w wyniku monitorowania systemu PV, jeszcze niewiele nam mówią. Przy porównaniu systemów PV jest ważne stworzenie znormalizowanych wskaźników wydajności. Można to uzyskać przez podzielenie odnośnych bilansów energii przez moc nominalną P_o lub przez całkowitą powierzchnię ogniw A_A (i całkowite natężenie promieniowania w danej płaszczyźnie). Pierwsza droga prowadzi do otrzymania zysków całkowitych, a druga do całkowitej sprawności.

Uzyski (średnie wartości dzienne)

Znormalizowane wartości są uzyskiwane przez porównanie danych energii z mocą nominalną P_o (w kW_p) instalacji. P_o jest projektowaną wartością mocy wyjściowej modułu w maksymalnym punkcie mocy w standardowych warunkach testowych (STC):

Y_A - uzysk ogniwa jest dzienną energią otrzymaną przez moduł $E_{A,day}$ na kW_p zainstalowanego ogniwa PV, np.

$$Y_A = E_{A,day} / P_o$$

Wartość ta ma wymiar kWh/(d·kW_p) i może być również rozpatrywana jako liczba godzin pracy na dzień z mocą P_o , które dadzą taki sam uzysk energii jak zapisana całkowita wartość dla tego dnia.

Y_f - uzysk końcowy jest to użyteczna energia oddana przez elektrownię PV na zainstalowany kW_p:

$$Y_f = E_{use,PV,day} / P_o$$

Całkowite dzienne natężenie promieniowania $\int_{day} G_I dt$ w płaszczyźnie ogniwa podzielone przez natężenie

promieniowania odniesienia w płaszczyźnie modułu w standardowych warunkach testowych (STC) $G_{STC} = 1 \text{ kW/m}^2$ może być użyte jako definicja uzysku odniesienia Y_r , kiedy z definicji mocy nominalnej w STC natężenie promieniowania w płaszczyźnie ogniwa w jednostkach [kWh/m²·d] jest co do wartości równe odpowiedniej nominalnej energii wyjściowej ogniwa w jednostkach [kWh/(d·kW_p)]:

$$Y_r = \int_{day} G_I dt / G_{STC}$$

Straty

Możemy również zdefiniować znormalizowane straty jako różnice pomiędzy uzyskami, np.:

- straty modułu (L_c - *capture losses*) spowodowane są pracą modułu w gorszych warunkach niż testowe (nagrzewanie, pokrycie pyłem itp.)

$$L_c = Y_r - Y_A$$

- straty systemu (L_s - *system losses*) - spowodowane są nieoptymalnym dopasowaniem falownika, stratami w akumulatorach itp.

$$L_s = Y_A - Y_f$$

Sprawność modułu

Współczynnik PR zwany **współczynnikiem wydajności** definiujemy jako:

$$PR = Y_f / Y_r$$

Dla okresu sprawozdawczego liczącego n dni (miesiące, lat) średnie zyski i straty są uzyskiwane przez zsumowanie tych wartości i podzielenie ich przez n .

Średnia sprawność modułu podczas okresu sprawozdawczego r jest zdefiniowana jako:

$$\eta_{A,r} = E_{A,r} / E_{S,A,r}$$

gdzie $E_{S,A,r} = \int_r G_I \cdot A_A dt$; $\eta_{A,r}$ reprezentuje średnią sprawność konwersji energii ogniwa PV, która jest użyteczna do porównania z nominalną sprawnością $\eta_{A,nom}$. Ich różnica jest związana ze stratami na niedopasowanie oraz energią traconą podczas pracy.

Całkowita sprawność systemu PV podczas okresu sprawozdawczego r jest zdefiniowana jako:

$$\eta_{tot,r} = PV_{use,r} / E_{S,A,r}$$

Współczynnik $\eta_{tot,r} / \eta_{A,mean,r}$ jest sprawnością obciążenia.

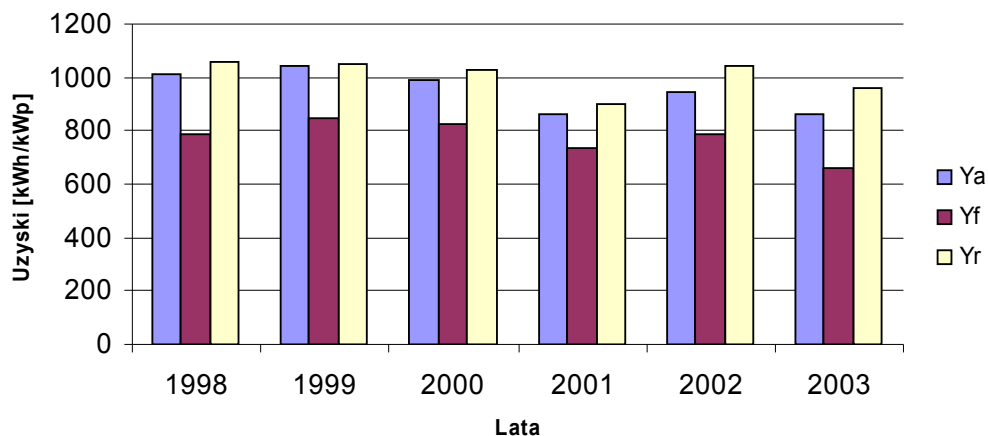
W dalszej części artykułu zostanie zaprezentowane zastosowanie tych metod do stacji fotowoltaicznej Uniwersytetu Opolskiego.

Ministacja fotowoltaiczna Uniwersytetu Opolskiego

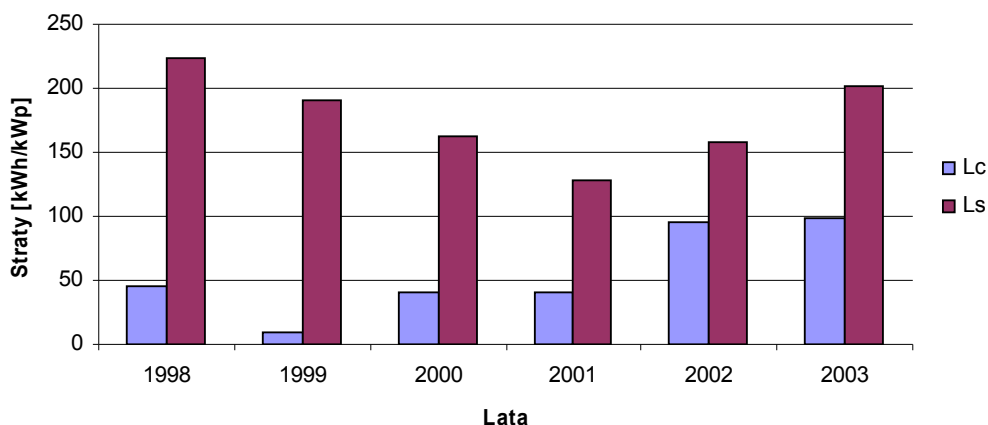
W kwietniu 1997 r. w Uniwersytecie Opolskim uruchomiono automatyczne stanowisko do akwizycji podstawowych parametrów stacji fotowoltaicznej oraz danych metrologicznych [3, 4]. Do niego podłączono moduł o mocy nominalnej $P_{nom} = 20 \text{ W}_p$ (w warunkach STC), który zainstalowano na południowym szczycie dachu

uniwersyteckiego budynku przy ul. kard. B. Kominka 4. Moduł ten znajduje się na terenie odkrytym i przewiewnym na wysokości czwartego piętra względem powierzchni Ziemi. Z danych, które są gromadzone za pomocą tej stacji,

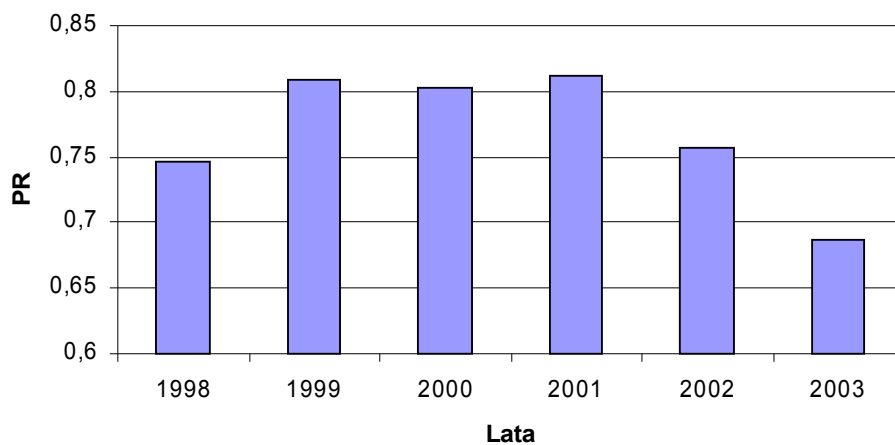
można obliczyć następujące wskaźniki wydajności: uzysk ogniwa, uzysk końcowy, uzysk referencyjny, straty ogniwa jak również systemowe oraz współczynnik PR. Wskaźniki te przedstawiono na rysunkach 2-4.



Rys. 2. Uzyski energii w poszczególnych latach



Rys. 3. Straty w poszczególnych latach działania systemu



Rys. 4. Zmiany współczynnika PR w poszczególnych latach

Wnioski

1. Zastosowanie normy IEC 61 724 umożliwia (ponieważ mamy do czynienia ze wskaźnikami względem mocy nominalnej) monitorowanie różnych modułów fotowoltaicznych w różnych warunkach klimatycznych.
2. Wartość współczynnika PR dla stacji PV Uniwersytetu Opolskiego kształtowała się na poziomie 70÷82% (typowe wartości dla tego typu modułów to 0,65÷0,8). W październiku 2003 r. nastąpiło uszkodzenie akumulatora, co spowodowało obniżenie wartości tego współczynnika do 68%.
3. Roczna energia oddawana przez system PV na zainstalowany 1 kW_p mocy oscyluje w granicach 700÷860 kWh/kW_p. Występująca różnica między wartością energii wygenerowanej a energią faktycznie oddaną jest spowodowana niedopasowaniem obciążenia oraz baterii akumulatorów do systemu PV w godzinach dużych nasłonecznień, co ma wpływ na zwiększenie strat systemu (L_s).
4. Przeprowadzone badania pokazały, że opłacalne jest stosowanie systemów fotowoltaicznych w klimacie południowej Polski.
5. Podczas okresu, w którym system PV był monitorowany, nie zaobserwowano uszkodzeń modułów fotowoltaicznych ani samego systemu monitorowania. Potwierdzono słuszność twierdzenia, że systemy PV nadają się do długotrwałego wykorzystania.

Literatura

- [1] Rodziewicz T., Ząbkowska-Waławek M. i Żdanowicz T.: *Wykorzystanie modułów fotowoltaicznych w obszarach o większych szerokościach geograficznych*. Chem. Dydak. Ekol. Metrol., 1998, 3(1-2), 45-50.
- [2] Europejska norma: IEC 61 724 Photovoltaic System Performance Monitoring - Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis.
- [3] Rodziewicz T. i Ząbkowska-Waławek M.: *Moduł fotowoltaiczny do celów badawczych i dydaktycznych*. Chem. Dydak. Ekol., 1997, 2(1-2), 79-85.
- [4] Czerniak J., Rodziewicz T., Waławek M. i Zaremba A.: *Badawczo--szkoleniowa stacja fotowoltaiczna i meteorologiczna*. Księga konferencyjna/Proceedings ECOpole'03, Proc. XII Central European Conference ECOpole'03, Jamrozowa Polana 16-18.10.2003. TChIE, Opole 2003, 177-181.
- [5] Żdanowicz T., Graca B., Rodziewicz T., Waławek M. i Zaremba A.: *Model autonomicznej stacji PV Uniwersytetu Opolskiego*. Księga konferencyjna/Proceedings ECOpole'04, Proc. XIII Central European Conference ECOpole'04, Jamrozowa Polana 21-23.10.2004. TChIE, Opole 2004, 385-390.