

## Badania wpływu ustawienia modułu fotowoltaicznego na przebiegi charakterystyk zewnętrznych

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 pracy przedstawiono badania wpływu ustawienia modułu fotowoltaicznego na przebiegi charakterystyk zewnętrznych. Badania przeprowadzono na module monokrystalicznym AEMF130. Pomiary charakterystyk wykonano w wybranych dniach dla miesięcy od września do grudnia 2012 roku. Wybierano dni, w których obserwowano bezpośrednie promieniowanie słoneczne. Wyniki przedstawiono dla parametru charakterystyki – prąd przy mocy maksymalnej. Parametrem zmiennym było ustawienie modułu w pozycji optymalnej dla danego okresu pomiarowego oraz w pozycji ustawionej przez dwuosiowy nadajny układ sterowania.

**Słowa kluczowe:** fotowoltaika, nadajny system PV, moduł fotowoltaiczny, charakterystyka prądowo-napięciowa.

### BUDOWA STANOWISKA BADAWCZEGO

Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano stanowisko do badań nadajnych systemów PV w wersji z dwuosiowym systemem sterowania. Wygląd stanowiska pokazano na fotografii na rys. 1. Dokładna lokalizacja GPS stanowiska badawczego to: 52,48°N i 19,67°E (okolice Płocka). Do sterowania wykorzystano sterownik StxL-2, który współpracuje z dwoma siłownikami elektrycznymi i posiada możliwość przełączania w manualny tryb pracy. W normalnym trybie pracy sterownik dąży do ustawienia płaszczyzny zamocowania modułu PV prostopadle do kierunku bezpośredniego promieniowania słonecznego na podstawie odczytów z dwóch par czujników promieniowania słonecznego [4].

### WPROWADZENIE

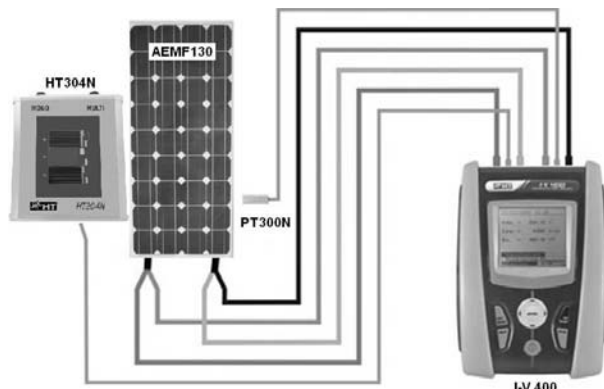
W pracy przeprowadzono pomiary charakterystyk prądowo-napięciowych monokrystalicznego modułu fotowoltaicznego AEMF130 dla wybranych dni od września do grudnia 2012 roku. Pomiary wykonywano w dniach, w których obserwowano dominację bezpośredniego promieniowania słonecznego. Jak wynika z literatury [1, 2, 5, 9, 19] i z obserwacji autora, w dniach o dominującym promieniowaniu dyfuzyjnym, wpływ ustawienia modułu na przebieg zmienności jego charakterystyki zewnętrznej jest trudny do zaobserwowania.

Najlepszym obrazem funkcjonowania modułów fotowoltaicznych, zwanych często w skrócie modułami PV, są zewnętrzne charakterystyki prądowo-napięciowe, oznaczane w skrócie I-V. W literaturze [9, 11, 12, 13] przedstawiane są liczne badania pokazujące wpływy różnych parametrów na kształt przebiegu tych charakterystyk. Istotne są szczególnie dwa zewnętrzne parametry wpływające na przebiegi charakterystyk I-V: natężenie promieniowania słonecznego i temperatura modułu, co potwierdza teoria i liczne badania [11, 16, 18].



**Rys. 1.** Fotografia stanowiska badawczego  
**Fig. 1.** Image of the test stand

Na rys. 2 przedstawiono schemat połączeń miernika charakterystyk I-V 400 do badanego modułu PV wraz z równoległym pomiarem natężenia promieniowania słonecznego (ogniwo wzorcowe - HT304N) oraz pomiarem temperatury modułu (sonda temperaturowa - PT300N) [3].



Rys. 2. Schemat połączeń podczas pomiarów charakterystyk I-V  
Fig. 2. Wiring diagram for the measurement of I-V characteristics

Miernik I-V 400 jest urządzeniem, przy wykorzystaniu którego można wykonać pełną charakterystykę zewnętrzną modułu PV wg normy PN-EN 60891 [20]. Jak widać na rys. 2 pomiary wykonywane są metodą czteroprzewodową, kompensującą długości przewodów połączeniowych. Dodatkowo miernikiem można wykonać pomiar rezystancji szeregowej modułu PV. Wewnętrzna baza danych miernika może pomieścić do 30 danych różnych modułów PV oraz ok. 200 zmierzonych charakterystyk I-V. Miernik posiada również optoizolacyjne łącze do współpracy z komputerem PC za pośrednictwem portu szeregowego USB. Wyniki są tą drogą eksportowane do oprogramowania TOPVIEW. Parametry nominalne badanego modułu PV przedstawiono w tabeli 1.

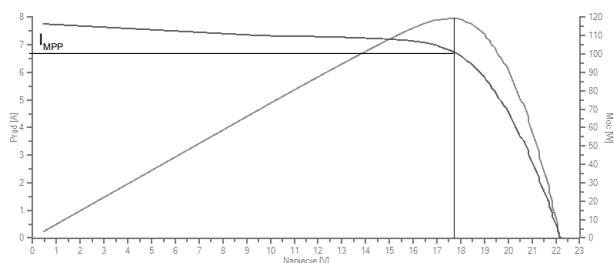
Tabela 1. Parametry nominalne modułu AEMF130 [8]  
Table 1. Nominal parameters of AEMF130 module [8]

Parametr modułu	Wartość
Liczba ogniw monokrystalicznych	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
Waga modułu	12 kg

## METODYKA I ZAKRES BADAŃ

Analizę teoretyczną optymalnego ustawienia odbiornika promieniowania słonecznego przeprowadził autor w pracy [17], zakładając korektę położenia powierzchni modułu PV w stosunku do kierunku bezpośredniego promieniowania słonecznego z częstotliwością, co ok. 60 minut. Pomiary charakterystyk I-V modułu PV wykonywano dwukrotnie dla każdej godziny wykonywania pomiarów: pierwszy raz dla pozycji optymalnej systemu stacjonarnego, a drugi dla

systemu nadążnego. Pozycję ustawienia manualnego dla systemu stacjonarnego ustawiano wg metodyki opisanej przez autora w pracy [17]. Na rys. 3 przedstawiono przykładowy wykres charakterystyki I-V, wykonanej miernikiem I-V 400 i następnie wykreślonej w programie TOPVIEW.



Rys. 3. Przykładowa charakterystyka I-V z zaznaczonym punktem pomiarowym

Fig. 3. Exemplary I-V characteristics with the marked measuring point

Na wykresie każdej charakterystyki I-V można odczytać trzy, istotne z punktu widzenia funkcjonowania modułu PV, punkty [16]: dwa punkty przecięcia wykresu z osiami napięcia i prądu oraz punkt mocy maksymalnej, zaznaczony na rys. 3. Dla celów porównawczych do dalszych rozważań wybrano natężenie prądu modułu PV w punkcie mocy maksymalnej (ozn. z ang. MPP - Maximum Power Point), oznaczone na rys. 3 symbolem „ $I_{MPP}$ ”. Parametr ten najlepiej obrazuje wpływ ustawienia modułu PV w stosunku do kierunku bezpośredniego promieniowania słonecznego i w niewielkim stopniu zależy od zmian temperatury. Jest to istotne z tego względu, że podczas pomiarów obserwowano różnice temperatur w poszczególnych godzinach pomiarów charakterystyk I-V. Z powodu wykonywania badań przy dominującym bezpośrednim promieniowaniu słonecznym, pomiary wykonywano w wybranych dniach miesiący: wrzesień i październik 2012 roku w godzinach: 8-16, natomiast w miesiącach listopad i grudzień 2012 roku w godzinach 9-15.

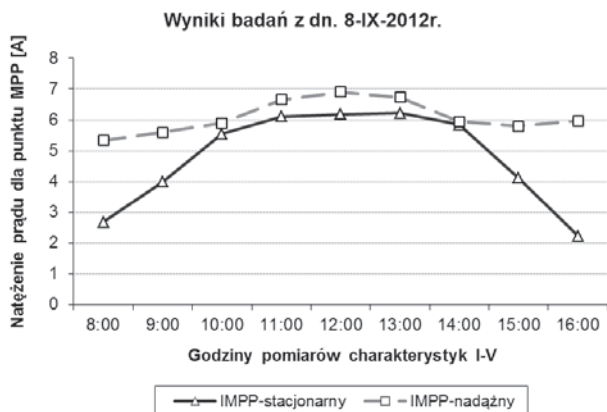
## WYNIKI BADAŃ

Często spotykane w literaturze [np. 12, 13] stwierdzenia, że zastosowanie nadążnych (zwanych też niekiedy śledzącymi) systemów PV powoduje wzrost ich wydajności o ok. 40-50 %, należy zweryfikować zawsze dla lokalnych warunków pracy takiego systemu.

Na rysunkach 4-7 przedstawiono wyniki badań natężenia prądu dla punktu mocy maksymalnej modułu AEMF130 wg opisanej wcześniej metodyki. Wyniki te odczytano z charakterystyk I-V, które były wykonywane dwukrotnie dla każdej godziny pomiarowej.

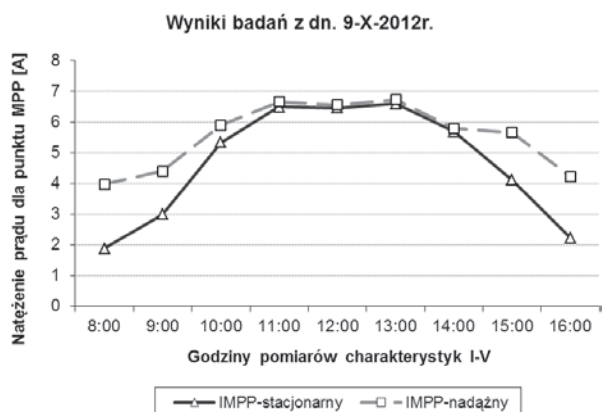
## WNIOSKI

1. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów charakterystyk w rozpatrywanym okresie i dla badanego modułu AEMF130 można stwierdzić, że częstotliwość zmian ustawienia modułu PV w stosunku do kierunku



Rys. 4. Wyniki pomiarów natężeń prądu w punkcie mocy maksymalnej  $I_{MPP}$  modułu PV z dnia 8 września 2012 roku

Fig. 4. The results of measurements of currents at the maximum power point  $I_{MPP}$  PV module of 8 September 2012



Rys. 5. Wyniki pomiarów natężeń prądu w punkcie mocy maksymalnej  $I_{MPP}$  modułu PV z dnia 9 października 2012 roku

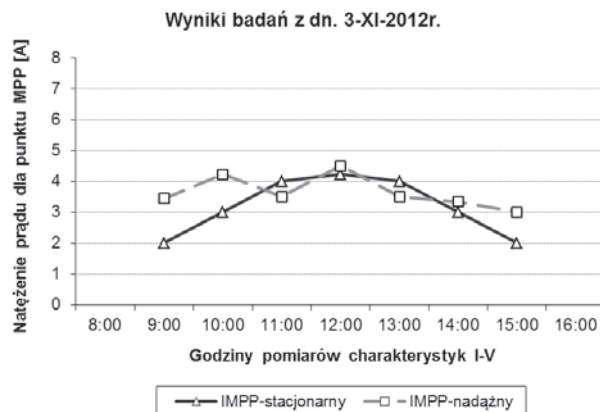
Fig. 5. The results of measurements of currents at the maximum power point  $I_{MPP}$  PV module of 9 October 2012

bezpośredniego promieniowania słonecznego, co ok. 1 godzinę można uznać za w zupełności wystarczającą. W godzinach: 11-13 można nawet ten czas wydłużyć, co wyraźnie widać na rys. 4-7.

- Istotne różnice (rzędu 2-3 A) wartości badanego parametru funkcjonowania modułu PV zaobserwowano w godzinach przedpołudniowych i popołudniowych. Nieznacznie większe różnice natężenia prądu w punkcie maksymalnej mocy modułu obserwowano w godzinach przedpołudniowych.
- Z przeprowadzonych badań jednoznacznie wynika, że stosowanie układów nadążnych w budowie systemów PV ma zdecydowanie korzystniejszy wpływ na przebiegi charakterystyk I-V w miesiącach wrzesień i październik. W listopadzie i grudniu należałoby przeanalizować ogólny bilans energetyczny systemu PV, aby ocenić, czy stosowanie tych układów ma uzasadnienie ekonomiczne.

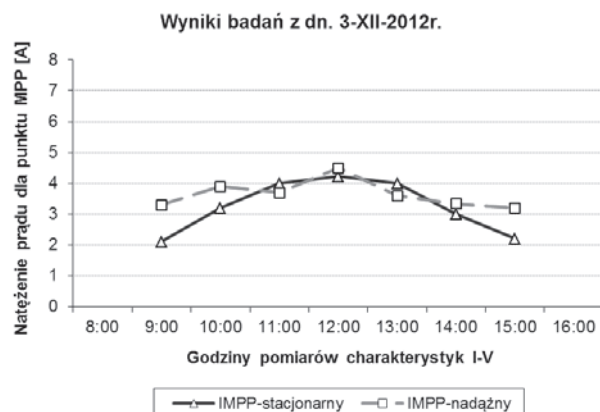
#### LITERATURA

- Chochowski A., Czekański D. 2005: Pomiary pyrometryczne na stanowisku SGGW-Ursynów. Polska Energetyka Słoneczna nr 2/2005, s. 15-19.



Rys. 6. Wyniki pomiarów natężeń prądu w punkcie mocy maksymalnej  $I_{MPP}$  modułu PV z dnia 3 listopada 2012 roku

Fig. 6. The results of measurements of currents at the maximum power point  $I_{MPP}$  PV module of 3 November 2012



Rys. 7. Wyniki pomiarów natężeń prądu w punkcie mocy maksymalnej  $I_{MPP}$  modułu PV z dnia 3 grudnia 2012 roku

Fig. 7. The results of measurements of currents at the maximum power point  $I_{MPP}$  PV module of 3 December 2012

- Chwieduk D. 2006: Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku. Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa.
- Instrukcja obsługi miernika charakterystyk I-V 400. 2012. Firma TOMTRONIX, Łódź.
- Instrukcja obsługi sterownika StxL-2: [http://xllabs.pl/aukcje\\_pliki/instrukcja\\_STxL-2.pdf](http://xllabs.pl/aukcje_pliki/instrukcja_STxL-2.pdf).
- Jarzębski Z. M. 1990: Energia Słoneczna, konwersja fotowoltaiczna. PWN, Warszawa.
- Kaiser H. 1995: Wykorzystanie energii słonecznej. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Kapica J. 2011: Application of a microcontroller in simulation of the photovoltaic generators. TEKA Kom. Mot. i Energ. Roln. – OL PAN, v. 11, 173-180.
- Karta produktu modułu AEMF130. 2012. Active Energy: <http://www.actionenergy.pl>.
- Klugmann E. Klugmann-Radziemska E. 2005: Ogniwa i moduły fotowoltaiczne oraz inne niekonwencjonalne źródła energii. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- Marecki J. 1995: Podstawy przemian energetycznych. WNT, Warszawa.

11. **Messenger R. A., Ventre J. 2010:** Photovoltaic Systems Engineering. Third Edition. CRC Press 2010 - 527 pp. ISBN: 978-1-4398-0292-2.
12. **Myczko A., Karłowski J., Lenarczyk J. 2010:** Porównanie efektywności energetycznej zestawu modułów fotowoltaicznych stacjonarnych i pracujących w układzie nadążnym w warunkach gospodarstwa rolnego. Problemy Inżynierii Rolniczej nr 4/2010.
13. **Nalepa K., Neugebauer M., Spłowiej P., Chmielewski R. 2009:** Wykorzystanie mikrokontrolera jednocukładowego do sterowania optymalnym ustawieniem płaszczyzny ogniwa fotowoltaicznego w stosunku do słońca. Inżynieria Rolnicza 8(117)/2009.
14. **Nowicki J. 1980:** Promieniowanie słoneczne jako źródło energii. Arkady, Warszawa.
15. **Pluta Z. 2000:** Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
16. **Sarniak M. 2008:** Podstawy fotowoltaiki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa.
17. **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.
18. **Szymański B. 2013:** Małe instalacje fotowoltaiczne. Wydanie I. GLOBEnergia. Kraków.
19. **Tymiński J. 1997:** Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w Polsce do 2030 roku. Aspekt energetyczny i ekologiczny. Wydawnictwo IBMER, Warszawa.
20. PN-EN 60891: 2010: Postępowanie zapewniające korekcję temperatury i natężenia promieniowania do pomierzonych charakterystyk prądowo napięciowych krystalicznych urządzeń krzemowo-fotowoltaicznych.

INVESTIGATIONS INTO THE INFLUENCE  
OF THE SETTING OF A PHOTOVOLTAIC  
MODULE ON THE COURSES OF EXTERNAL  
CHARACTERISTICS

**Summary.** The paper presents investigations of the influence of the setting of a photovoltaic module on the courses of the external characteristics. The tests were performed on an AEMF130 monocrystalline module. The measurement of the characteristics was made on selected days in the months from September until December 2012. Days with direct sunlight were chosen for testing. The results were shown for the parameter characteristics: current at maximum power point. The variable parameter was the setting of the module in an optimum position for a given measurement period and the position set by the bi-axial tracking control system. **Key words:** photovoltaics, PV tracking system, PV module, current-voltage characteristics.