

Dominik MATECKI\*

## **BADANIA EKSPERYMENTALNE HYBRYDOWEGO UKŁADU PV-TEG**

Niniejsza praca przedstawia wyniki badań eksperymentalnego układu składającego się z ogniwa PV oraz ogniwa termoelektrycznego. Celem badań jest sprawdzenie możliwości wykorzystania ogniwa termoelektrycznego jako odbiornika ciepła odpadowego pochodzącego z ogniwa fotowoltaicznego do wytworzenia energii elektrycznej przy jednoczesnym chłodzeniu panelu PV i wykorzystaniu tej energii do zasilania odbiorników małej mocy w systemach autonomicznych, np. stacjach pomiarowych lub sygnalizacyjnych.

SŁOWA KLUCZOWE: zjawisko Peltiera, zjawisko Seebecka, ogniwo fotowoltaiczne, ogniwo termoelektryczne, energy harvesting

### **1. WSTĘP**

Pozyskiwanie energii ze źródeł alternatywnych małej mocy jest obecnie popularnym tematem badań. Postępująca miniaturyzacja układów elektronicznych, za którą idzie zmniejszenie zapotrzebowania energetycznego tych układów, umożliwi wykorzystanie zjawisk fizycznych do tej pory nie kojarzonych z generacją energii elektrycznej do ich zasilania. Opis tych zjawisk i możliwość wykorzystania w celu wytworzenia energii elektrycznej kryje się pod angielskim terminem energy harvesting.

Jednym ze zjawisk wykorzystywanych do generowania energii elektrycznej jest zjawisko termoelektryczne. Zjawisko termoelektryczne to efekt zmiany gradientu temperatur występującego na styku dwóch ciał na napięcie elektryczne (zjawisko Seebecka) lub odwrotnie – bezpośrednia transformacja napięcia elektrycznego na różnicę temperatur (zjawisko Peltiera). Najczęściej zjawisko termoelektryczne wykorzystywane jest w termoparach używanych w sondach pomiarowych oraz w modułach Peltiera – urządzeniach wykorzystywanych do ogrzewania lub chłodzenia. W niniejszym artykule przedstawiono możliwość wykorzystania modułu Peltiera w celu wygenerowania energii elektrycznej z ciepła pochodzącego z modułu fotowoltaicznego. W celu pełniejszego zrozumienia idei odzysku energii cieplnej z panelu słonecznego za pomocą modułu

---

\* Politechnika Poznańska.

Peltiera, przedstawiono podstawy obu zjawisk– Seebecka oraz Peltiera. Na koniec przedstawiono podsumowanie i wnioski płynące z badań.

### 1.1. Zjawisko Seebecka

Zjawisko Seebecka zostało odkryte przez niemieckiego fizyka T. Seebecka w roku 1821. Zauważył on, że w obwodzie zamkniętym, składającym się ze złącza dwóch różnych metali mających różną temperaturę spowoduje przepływ prądu elektrycznego w tym obwodzie.

W obwodzie otwartym wypadkowa siła elektromotoryczna, zwana termoelektryczną, jest opisana zależnością:

$$E_T(T, T_0) \approx \alpha_{AB}(T - T_0) \quad (1)$$

gdzie  $T$  oraz  $T_0$  oznaczają temperaturę jednego i drugiego złącza, natomiast  $\alpha_{AB}$  to współczynnik Seebecka obwodu składającego się z dwóch materiałów  $A$  i  $B$ . Współczynnik ten jest podstawowym parametrem charakteryzującym materiały termoelektryczne. Mierzony jest w  $\mu\text{V/K}$  i wynosi kilka dla metali do kilkuset dla półprzewodników. Mimo wpływu temperatury na ten współczynnik, dla małych różnic można przyjąć, że jest on stały. Z równania (1) wynika, że siła termoelektryczna zależna jest tylko od różnicy temperatury oraz materiału użytego w złączach [1].

### 1.2. Zjawisko Peltiera

Jest to zjawisko odwrotne do zjawiska Seebecka, z punktu widzenia termodynamiki. Zachodzi w obwodzie składającym się z różnych metali lub półprzewodników, przez który przepływa prąd elektryczny. Na jednym ze złącz wydzielą się ciepło, jednocześnie na drugim jest ono pochłaniane.

Ilość ciepła  $Q$ , pochłanianego lub wydzielanego na złączu, opisana jest zależnością:

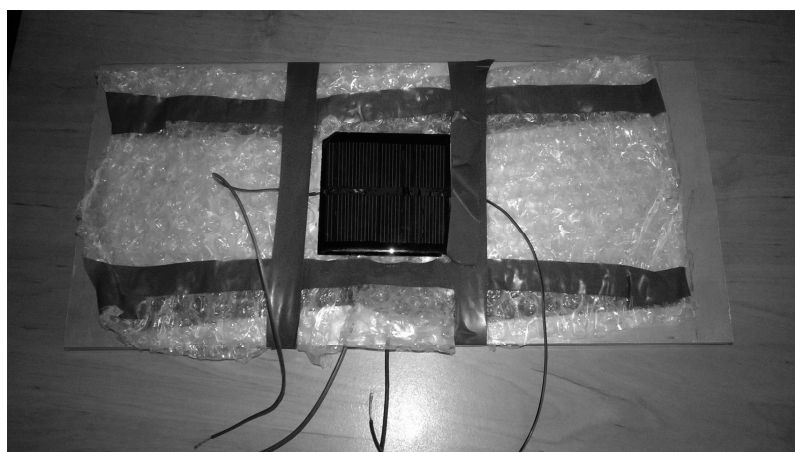
$$Q = \Pi_{AB} \cdot I \quad (2)$$

gdzie  $\Pi_{AB}$  jest współczynnikiem Peltiera materiału  $A$  i  $B$  (stanowiącego sumę współczynników obu materiałów),  $I$  to prąd przepływający przez układ. Kierunek przepływu prądu oraz wartość współczynnika Peltiera stanowią o tym, czy ciepło jest pochłaniane czy oddawane [2].

## 2. BADANIA EKSPERYMENTALNE UKŁADU PV-TEG

Układ do badań eksperymentalnych składa się z modułu Peltiera oraz modułu fotowoltaicznego. Badanie polegało na oświetleniu panelu fotowoltaicznego żarówką o mocy 60 W. Pod panelem znajdował się moduł Peltiera, który odbierał ciepło od panelu, bezpośrednio przetwarzając je na energię elektryczną.

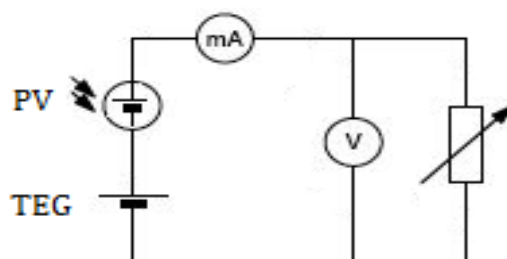
Druga strona modułu została zamontowana do radiatora. Dzięki temu została osiągnięta stała różnica temperatur między stroną ciepłą a zimną modułu, wynoszącą około 8 °C. Aby ciepło pochodzące z żarówki docierało wyłącznie do modułu Peltiera, radiator został odseparowany termicznie od źródła światła folią bąbelkową. Ilustracja układu do badań został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Układ eksperymentalny PV-TEG

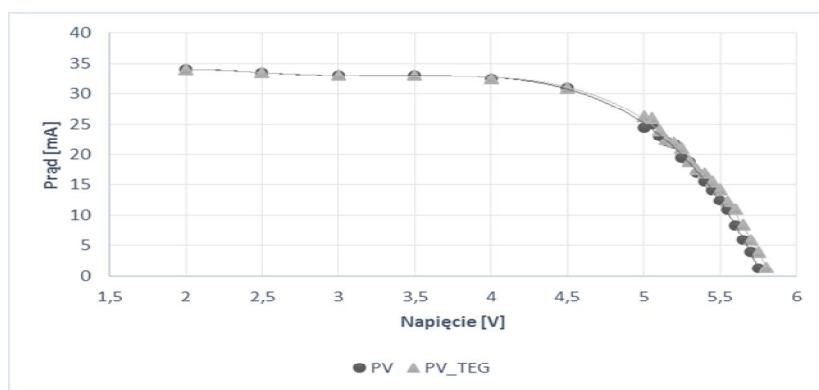
W opisywanym przypadku moduł Peltiera pełnił rolę źródła termoelektrycznego (ang. TEG– thermoelectric generator). Moduły Peltiera (inaczej chłodzarki termoelektryczne, ang. TEC– thermoelectric coolers) i źródła termoelektryczne zbudowane są podobnie– zarówno pod względem konstrukcji jak i użytych materiałów. Różnica polega na temperaturze pracy urządzeń– ze względu na inne docelowe przeznaczenie, urządzenia TEG oferują znacznie większy zakres temperatur. Użyty do badań moduł PM-40X40-89 firmy Stonecold pracuje przy temperaturze maksymalnej 138 °C [3]. Dla porównania, urządzenia TEG zbudowane, podobnie jak przedstawiony moduł Peltiera, z tellurku bizmutu ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ), osiągają maksymalną temperaturę pracy 250 °C. Należy jednak zauważyć, że cena urządzeń TEC w porównaniu do modułów TEG jest nawet dwudziestokrotnie niższa. [4] Ponadto założeniem badań było uzyskanie warunków, jakie mogą wystąpić na nasłonecznionym dachu budynku w okresie letnim w Polsce. Przy takim założeniu użycie modułów TEG staje się nieuzasadnione ekonomicznie. Użyte do badań ogniwo słoneczne charakteryzowało się mocą znamionową 0,4 W oraz napięciem 5,5 V.

Porównano dwa przypadki pracy układu. W pierwszym moduł Peltiera oraz ogniwo PV połączone zostały szeregowo. W drugim odłączono moduł Peltiera. W obu przypadkach uzyskano charakterystyki napięciowo prądowe które porównano ze sobą. Schemat pomiarowy przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat pomiarowy układu eksperymentalnego PV-TEG

Na kolejnym rysunku przedstawione zostały uzyskane charakterystyki napięciowo-prądowe. Pierwsza z nich reprezentuje układ z modułem Peltiera i ogniwo PV, druga natomiast układ bez modułu Peltiera.

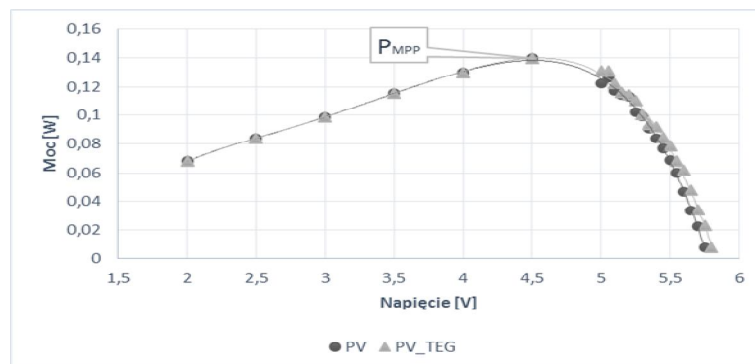


Rys. 3. Charakterystyki napięciowo-prądowe ogniwa PV i układu PV-TEG

Na podstawie charakterystyki z rysunku 3 można wywnioskować, że połączenie szeregowo do modułu PV ogniwa termoelektrycznego powoduje wzrost wartości przepływającego prądu o około 1 mA. Różnica ta wzrasta do ponad 2 mA wraz ze zwiększaniem się wartości napięcia. Wzrost natężenia prądu jest widoczny w zakresie napięcia powyżej 4,5 V. Poniżej tej wartości różnica natężenia prądu jest niezauważalna.

Na podstawie pomiarów uzyskano charakterystyki mocy, które zostały przedstawione na rysunku 4.

Punkt maksymalnej mocy  $P_{MPP}$  osiągnięto przy napięciu 4,5 V. Maksymalna moc, zarówno układu hybrydowego jak i bez modułu Peltiera, wyniosła 140 mW. Układ hybrydowy osiągnął większą moc w porównaniu z samym ogniwo PV powyżej napięcia 4,5 V. Wzrost mocy wyniósł od 1 mW dla napięcia około 5 V do 2 mW powyżej 5,5 V.



Rys. 4. Charakterystyki mocy ogniw PV i układu PV-TEG z zaznaczonym punktem mocy maksymalnej  $P_{MPP}$

Użycie modułu Peltiera jako źródła termoelektrycznego, wykorzystującego ciepło odpadowe pochodzące z ogniw słonecznych, dało zauważalny wzrost uzyskanej mocy w porównaniu z samym ogniwem fotowoltaicznym. Układ hybrydowy jest przy tym prosty i stosunkowo tani. Wykorzystanie uzyskanej dodatkowej mocy wymaga jednak kontynuacji badań nad układem.

### 3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania eksperymentalne układu hybrydowego, składającego się z ogniw słonecznych i modułu Peltiera pokazują, że możliwe jest wykorzystanie ciepła odpadowego pochodzącego z ogniw PV i przekształcenie jej w energię elektryczną. Dalsze badania obejmują możliwość wykorzystania takiego układu jako źródła autonomicznej małej mocy. Przewiduje się także prace wykorzystujące kilka takich układów połączonych ze sobą w celu zwiększenia uzyskiwanej mocy.

### LITERATURA

- [1] Sawielew I.W., Wykłady z fizyki, tom 3, Warszawa, PWN 1998
- [2] Markowski P., Właściwości termoelektryczne kompozytów grubowarstwowych, Wrocław 2008.
- [3] Karta katalogowa Stonecold PM-40X40-89
- [4] Nesarajah M., Frey G., Thermoelectric Power Generation: Peltier Element versus Thermoelectric Generator, Industrial Electronics Society, IECON 2016- 42nd Annual Conference of the IEEE.

**EXPERIMENTAL STUDIES OF HYBRID PV– PELTIER MODULE SYSTEM**

This paper presents the results of an experimental system consisting of a photovoltaic cell (PV) and thermoelectric generator (TEG). The aim of the research is the possibility of using TEG as a receiver of waste heat from the photovoltaic cell to generate electricity while cooling the PV panel and use this energy to power low–power receivers in autonomous systems, eg. measurement or signaling stations.

*(Received: 09. 02. 2017, revised: 25. 02. 2017)*