

Joanna RATAJCZAK*
Konrad DOMKE*

MODEL CIEPLNY OGNIW PV I KOLEKTORÓW

Parametry wyjściowe kolektorów oraz ogniw PV zależą od wielu czynników np. od poziomu natężenia napromienienia, widma promieniowania oraz od temperatury. Warunki pracy dowolnego ogniwa słonecznego ulegają zmianie wraz ze zmieniającym się charakterem padającego na nie promieniowania słonecznego. Producenci przekazują użytkownikowi własności ogniw fotowoltaicznych jako charakterystyki fabryczne, mierzone w znormalizowanych standardowych warunkach. Takie uśrednione warunki odbiegają znacznie od warunków rzeczywistych w jakich pracują układy fotowoltaiczne. Nie pozwalają one odpowiedzieć na pytanie jak zachowują się badane ogniwa w warunkach rzeczywistych. Są jednak dobrą podstawą do porównywania jakości ogniw fotowoltaicznych różnych producentów. Ważnym aspektem jest również wpływ temperatury powierzchni absorpcyjnej na sprawność ogniw różnego typu. W artykule zostaną omówione modele cieplne ogniw PV i kolektorów.

1. PODSTAWOWE WZORY I POJĘCIA

Podane poniżej wzory i zależności są ściśle związane z omawianymi w artykule zjawiskami oraz modelem cieplnym kolektora słonecznego, którego zastępczy schemat cieplny zamieszczony został na Rys. 2.

Natężenie napromienienia E_1 [W/m^2] padające na powierzchnię kolektora lub ogniwa PV zostaje w części odbite E_o [W/m^2], w części zaabsorbowane E_a [W/m^2] a w części przepuszczone E_p [W/m^2]:

$$E_1 = E_o + E_a + E_p \quad (1)$$

Natężenie promieniowania zaabsorbowanego zależy od wartości natężenia napromienienia padającego i od widmowego współczynnika pochłaniania

$$E_a = \alpha(\lambda)E_1 \quad (2)$$

$\alpha(\lambda)$ – widmowy współczynnik pochłaniania

Natężenie promieniowania odbitego określone zostało jako:

$$E_o = (1 - \alpha(\lambda))E_1 \quad (3)$$

* Politechnika Poznańska.

Natężenie napromienienia odbiornika jest równe strumieniowi promienistemu przypadającemu na jednostkę powierzchni czyli gęstości powierzchniowej strumienia promienistego q :

$$E [\text{W/m}^2] = q[\text{W/m}^2] \quad (4)$$

Gęstość strumienia ciepłego q_r wymianianego pomiędzy powierzchniami o temperaturze $T_{PV/Kol}$ i T_{ot} za pośrednictwem fal elektromagnetycznych można zapisać w postaci:

$$q_r = \sigma \varepsilon (T_{PV/Kol}) \cdot (T_{PV/Kol}^4 - T_{ot}^4) \quad (5)$$

gdzie: σ – stała Stefana Boltzmana = $5,669 \cdot 10^{-8} [\text{W/m}^2\text{K}^4]$, $\varepsilon (T_{PV/Kol})$ – emisyjność w funkcji temperatury ogniwa PV/kolektora.

Zgodnie z prawem Newtona gęstość strumienia ciepłego konwekcji q_k przekazywana przez powierzchnię o temperaturze T_{PV} gazowemu otoczeniu o temperaturze T_{ot} została opisana równaniem:

$$q_k = \alpha_k (t_{PV/Kol} - t_{ot}) \quad (6)$$

gdzie: α_k – współczynnik konwekcyjnego przejmowania ciepła.

2. MODEL CIEPLNY

Model cieplny został zaprezentowany na przykładzie kolektora słonecznego. Schemat budowy kolektora słonecznego przedstawia rysunek 1. Natomiast na Rys.2 zamieszczony został zastępczy schemat cieplny przedstawionego kolektora.

Opory cieplne, przedstawione na zastępczym schemacie cieplnym (Rys. 2), określone są wzorami:

a) przewodzenie

- ścianka płaska jednowarstwowa

$$R_p = \sum \frac{l}{\lambda S} \quad (7)$$

- ścianka płaska wielowarstwowa

$$R_p = \sum \frac{l_i}{\lambda_i S} \quad (8)$$

- walec wydrążony jednowarstwowy

$$R_p = \frac{l}{2\pi L \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (9)$$

b) przewodzenie ciepła – konwekcja na ściance

- konwekcyjna wymiana z płaskiej powierzchni

$$R_k = \frac{l}{\alpha_k S} \quad (10)$$

- konwekcyjna wymiana z powierzchni walca (wewnętrznej lub zewnętrznej)

$$R_k = \frac{l}{2\pi L \alpha_k} \quad (11)$$

- c) radiacja – przekazywanie ciepła przez promieniowanie
 - radiacyjna wymiana z płaskiej powierzchni

$$R_r = \frac{l}{\alpha_r S} \quad (12)$$

gdzie współczynnik przejmowania ciepła α_r przez promieniowanie jest funkcją:

$$\alpha_r = \sigma \frac{(T_1)^4 - (T_2)^4}{T_1 - T_2} \Phi_{1-2} \quad (12)$$

a Φ_{1-2} to zastępczy współczynnik konfiguracji.

Dla powierzchni S_1 i S_2 , z których powierzchnia S_1 znajduje się wewnątrz powierzchni S_2 Φ_{1-2} określa się wzorem [2]:

$$\Phi_{1-2} = \frac{l}{\frac{l}{\varepsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \left(\frac{l}{\varepsilon_2} - l \right)} \quad (13)$$

Wzory określające Φ_{1-2} dla innych przypadków podano w literaturze [2].

Bilans energetyczny dla przykładowego węzła – nr 5 (Rys.2)– przedstawia równanie:

$$q_{k5} + q_{r6} - q_{p7} = 0 \quad (14)$$

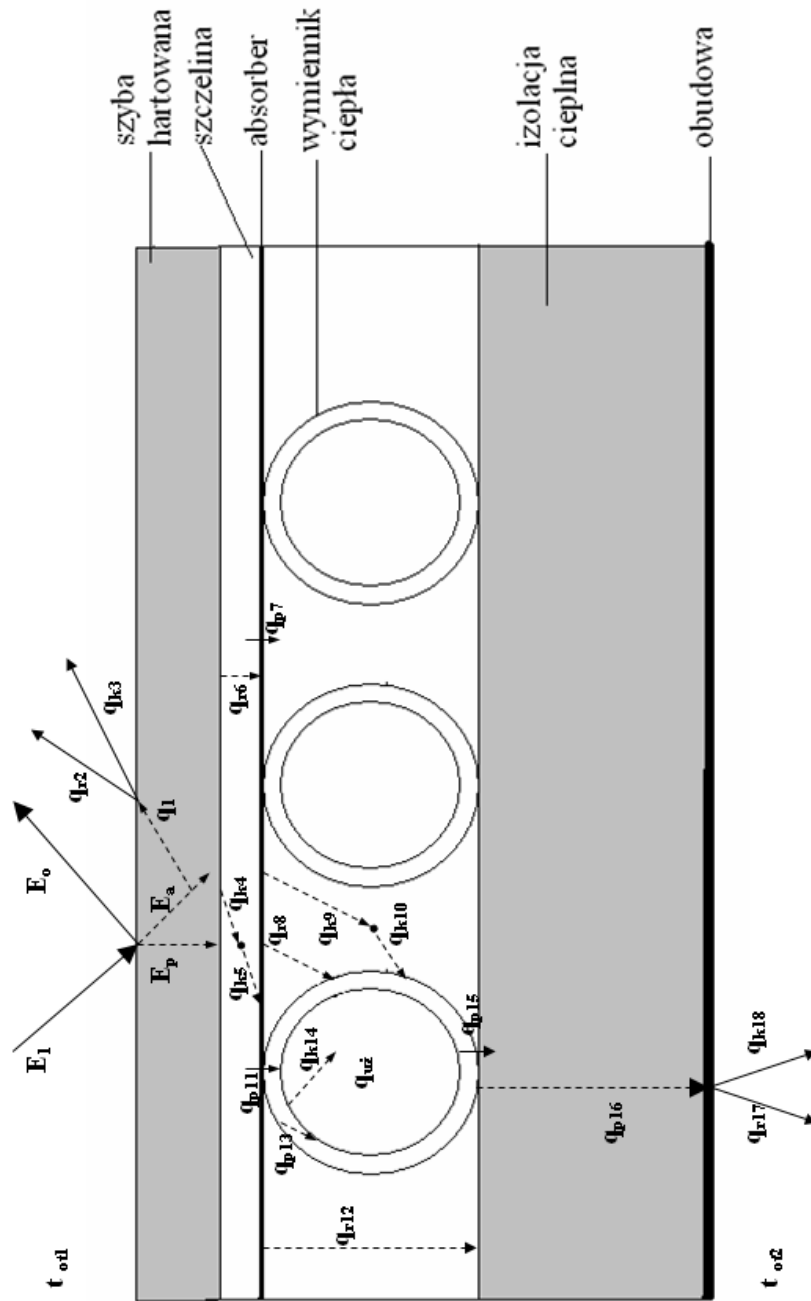
3. WARUNKI PRACY OGNIW PV I KOLEKTORÓW

Należy zwrócić uwagę, że parametry wyjściowe rozpatrywanych ogniów PV zależą od:

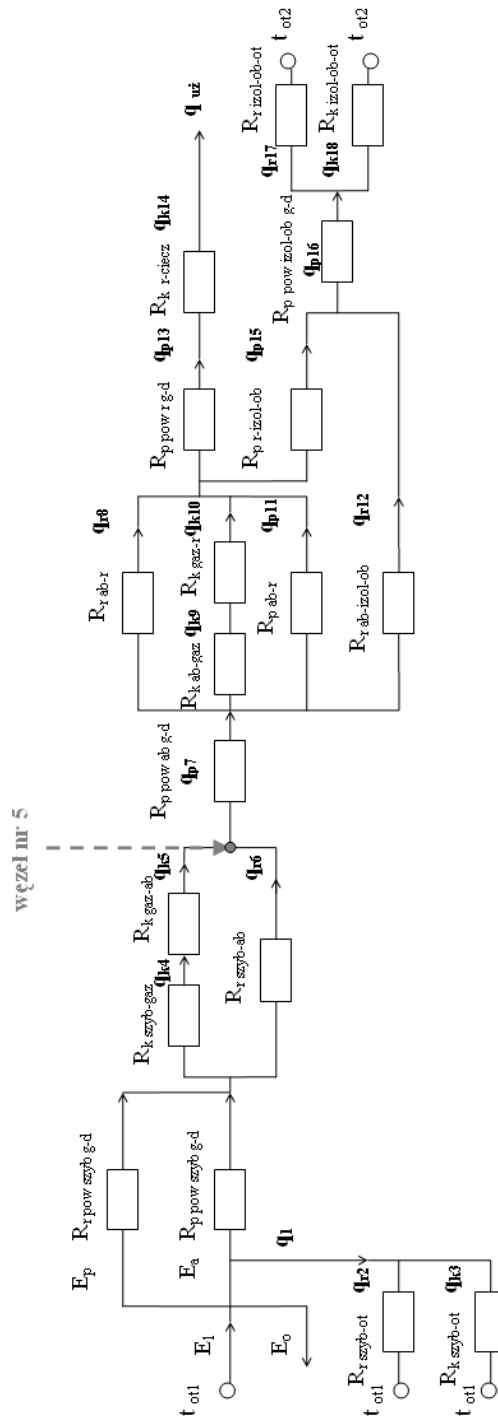
- widma promieniowania (długości fali promieniowania),
- dopasowania tego widma do materiału,
- poziomu natężenia napromienienia,
- oraz od temperatury.

Poziom natężenia napromienienia wynosi odpowiednio:

- w dzień z bezchmurnym, niebieskim, niebem – 1000 W/m^2 ,
- w dzień, gdy Słońce przebija się przez chmury – 600 W/m^2 ,
- w dzień, gdy Słońce przebija się przez zamglenia – 300 W/m^2 ,
- w pochmurny, zimowy dzień – 100 W/m^2 .



Rys. 1. Schemat budowy kolektora słonecznego [wg 13] z zaznaczonymi strumieniami q

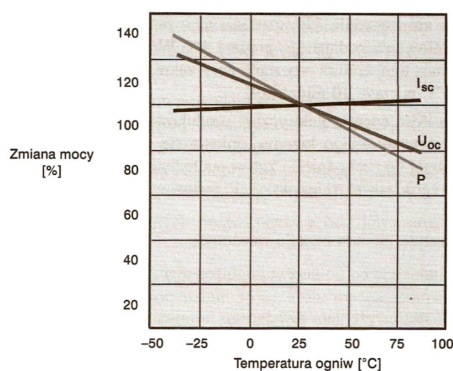


Rys. 2. Zastępczy schemat cieplny kolektora słonecznego

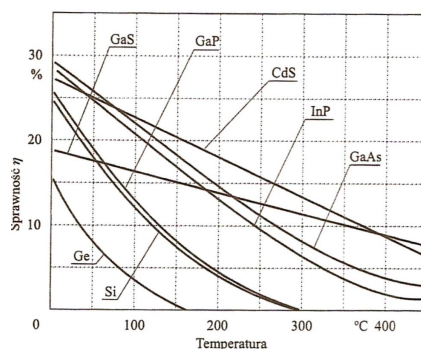
Dlatego dowolne ogniwo słoneczne posiada inne warunki pracy wraz ze zmieniającym się charakterem (intensywność, skład widmowy) padającego na nie promieniowania słonecznego.

Producenci przekazują użytkownikowi własności ogniw fotowoltaicznych jako tzw. charakterystyki nominalne. Pomiary wykonywane są w znormalizowanych standardowych warunkach zwanych STC (Standard Test Condition), które zdefiniowane są następująco:

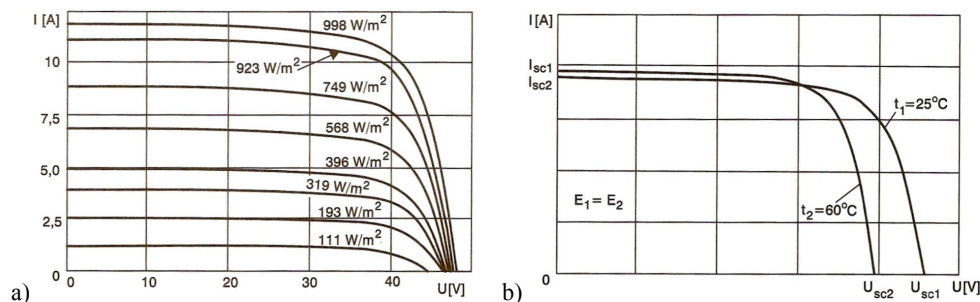
- natężenie promieniowania słonecznego: 1000 W/m^2 ,
- widmo słoneczne AM= 1,5 (bezczmurne niebo w południe),
- temperatura modułu: 25°C [11].



Rys. 3. Procentowa zmiana mocy maksymalnej, napięcia otwartego obwodu i prądu zwarcia dla różnych wartości temperatury ogniw (punkt odniesienia przyjęto dla temperatury 25°C) [4]



Rys. 4. Wpływ temperatury powierzchni absorpcyjnej na sprawność różnych ogniw PV [6]



Rys. 5. a) Wpływ natężenia promieniowania na przebieg charakterystyki prądowo – napięciowej b) Wpływ temperatury ogniw na przebieg charakterystyki prądowo napięciowej [4]

Straty energetyczne wpływające na moc wyjściową rozpatrywanych ogniw PV zależą od widma promieniowania (długości fali promieniowania) oraz od dopasowania tego widma do materiału. W rzeczywistych układach moc uzyskiwana w ogniwach jest mniejsza wskutek strat spowodowanych m. in.

odbiciem promieniowania od powierzchni ogniwa czy wpływem temperatury ogniwa (Rys. 3). Dzieje się tak dlatego, że podwyższona temperatura ogniwa przyspiesza proces rekombinacji dziur i w efekcie przyspiesza wzrost przepływu prądu wstecznego [6]. Ogniwa PV najlepiej pracują w określonej temperaturze (temperatura pracy ogniwa nie powinna być ani za wysoka ani za niska), danej dla materiału, z którego są wykonane – np. krzem w temperaturze ok. 298K (25°C) jest dobrym materiałem fotowoltaicznym, a w temperaturach wysokich np. ok. 473K (198°C) sprawność konwersji ogniwa maleje do poziomu 5% wartości odpowiadającej 298K [4]. Temperatura ogniwa rzadko odpowiada warunkom STC – jej wzrost redukuje otrzymane napięcie i moc o ok. 0,5% na każdy 1°C. Wynosi ona ~50°C gdy na dworze jest ~30°C, a ~0°C gdy ~(-25°C). Ważnym aspektem jest więc wpływ temperatury powierzchni absorpcyjnej na sprawność ogniw różnego typu (Rys. 4).

Na Rys. 5a) i b) przedstawiono wpływ natężenia promieniowania i temperatury ogniw na przebieg charakterystyki prądowo – napięciowej ogniwa PV. Natężenie prądu wzrasta istotnie ze wzrostem natężenia promieniowania (Rys. 5a)) [4]. Z charakterystyki prądowo – napięciowej (Rys 5 b)) wynika, że napięcie wyjściowe generowane przez pojedyncze ogniwo PV zależy istotnie od temperatury ogniw [4].

W celu poprawy sprawności ogniw PV stosuje się m. in. [4, 6]:

- koncentratory promieniowania słonecznego,
- różne materiały, z których wykonuje się ogniwa (np. c-Si, mc-Si, cienkowarstwowe, amorficzne),
- powierzchnie odpowiednio fakturowane – ukształtowane (tak aby miało miejsce wnikanie promieni równoległych, a nie ich odbicie),
- i powłoki antyrefleksyjne (aby zmniejszyć odbicia).

3. UWAGI KOŃCOWE

W artykule został zaprezentowany model cieplny kolektora słonecznego – jego schemat budowy z zaznaczonymi strumieniami cieplnymi oraz zastępczy schemat cieplny z oporami cieplnymi – przewodzenia, konwekcji i radiacji.

Stosowane powszechnie warunki pomiarowe odbiegają znacznie od warunków rzeczywistych (zmiennie nasłonecznienie) w jakich pracują układy fotowoltaiczne. Standard Test Condition nie pozwalają odpowiedzieć na pytanie jak zachowują się badane panele w warunkach rzeczywistych. W tej sytuacji najlepiej byłoby zbadać panele w terenie, ale takie badanie jest dość niepraktyczne z punktu widzenia środowiska produkcyjnego. STC są jednak dobrą podstawą do porównywania jakości ogniw fotowoltaicznych różnych producentów.

Ważnym elementem jest również zmniejszenie temperatury powierzchni absorpcyjnej kolektora lub ogniwa PV.

LITERATURA

- [1] Gronowicz J., Niekonwencjonalne źródła energii, Państwowe Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom - Poznań, 2010.
- [2] Hauser J., Elektrotechnika Podstawy elektrotermii i techniki świetlnej, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2006.
- [3] Jarzębski Z., Energia słoneczna konwersja fotowoltaiczna, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1990.
- [4] Klugmann–Radziemska E., Fotowoltaika w teorii i praktyce, Wydawnictwo BTC, Legionowo, 2010.
- [5] Klugmann E., Klugmann–Radziemska E., Ogniwa i moduły fotowoltaiczne oraz inne niekonwencjonalne źródła energii, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, 2005.
- [6] Lewandowski W. M., Proekologiczne odnawialne źródła energii, Warszawa, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne 2007.
- [7] Nowicki J., Promieniowanie słoneczne jako źródło energii, Warszawa, Wydawnictwo Arkady 1980.
- [8] Palz W., Solar electricity, Butterworths, Unesco, 1978.
- [9] Pluta Z., Słoneczne pasywne instalacje przygotowania ciepłej wody użytkowej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1998.
- [10] Pluta Z., Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
- [11] Ratajczak J., Conformity Assessment of the Solar Simulators Spectrums and the Solar Radiation Spectrum in the Actual Weather Conditions Conference Intertech 2010 (19 – 21 maj).
- [12] Sarniak M., Podstawy fotowoltaiki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2008.
- [13] Wiśniewski G., Gołębiowski S., Gryciuk M., Kurowski K., Więcka A., Kolektory słoneczne energia słoneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle, Dom Wydawniczy Medium, Warszawa, 2008.

THERMAL MODEL PV CELLS AND COLLECTORS

Output parameters tested collectors and PV panels depends on several factors such as the level of irradiance, the spectrum of radiation and temperature. Any solar cell has a different operating conditions with the changing nature of the incident solar radiation on them. Manufacturers provide the user ownership of the characteristics of the photovoltaic module factory, measured in a standardized under standard conditions. These averaged conditions deviate significantly from actual conditions in which they operate photovoltaic systems. They do not allow to answer the question how to behave panels tested in real conditions. But there are a good basis for comparing the quality of PV modules from different manufacturers. An important aspect is the effect of temperature of absorption surface of the cell efficiency of various types. This paper will discuss the thermal models of solar PV cells and collectors.