

BADANIA NAD WYKORZYSTANIEM OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH W ROLNICTWIE I PRZEMYSŁE ROLNO-SPOŻYWCZYM. CZEŚĆ II. BADANIA LABORATORYJNE

Marek Adamiec, Marek Kuna-Broniowski,
Izabela Kuna-Broniowska

Streszczenie. W artykule zostały przedstawione wyniki badań dotyczących aspektów współpracy baterii ogniwo fotowoltaicznych z laboratoryjnym elektrolizerem wody. Wyznaczone zostały charakterystyki prądowo-napięciowe elektrolizera (w różnych warunkach pracy) i modułów fotowoltaicznych (w różnych konfiguracjach połączeń i w zależności od natężenia napromieniowania słonecznego). Obliczone zostało zużycie energii elektrycznej w procesie elektrolizy wody i sprawność przemiany energii elektrycznej w energię chemiczną wodoru. W sposób graficzny zaprezentowane zostały wyniki dopasowania baterii ogniwo fotowoltaicznych do zasilania elektrolizera, tak aby energia promieniowania słonecznego została jak najlepiej wykorzystana.

Słowa kluczowe: ogniwo fotowoltaiczne, elektrolizer, wodór

WSTĘP

Wykorzystanie paliwa wodorowego w rolnictwie związane jest z rozwojem technologii, w których energia chemiczna wodoru przetwarzana jest na inne rodzaje energii (elektryczna, cieplna). W przemyśle rolno-spożywczym wodór wykorzystywany jest w procesie uwodorniania olejów. Rozwój ogniwo paliwowych może znacznie zwiększyć zapotrzebowanie na wodór i przyczynić się do wykorzystania naturalnych źródeł energii w procesie jego wytwarzania. Elektroliza wody jest jednym ze sposobów produkcji paliwa wodorowego, w którym otrzymywany gaz charakteryzuje się dużą czystością. Woda posiada bardzo małą przewodność elektryczną, dlatego elektrolizie poddaje się wodne roztwory elektrolitu, który stanowi najczęściej wodorotlenek sodu NaOH i wodorotlenek potasu KOH. Stosuje się roztwory alkaliczne 20% NaOH lub 25–30% KOH, cechujące się dużą przewodnością elektryczną [Smoliński 1998, Dylewski 1999]. Do sporządzania roztworów elektrolitu powinno się stosować bardzo czystą wodę, tak aby

zanieczyszczenia nie utrudniały reakcji chemicznych. Uzyskanie 1 m³ wodoru wymaga zużycia energii o wartości 4,3 do 5,7 kWh [Nowacki 1983]. Elektrolizery stosowane do elektrolizy wody można podzielić na:

- niskociśnieniowe (pracujące pod ciśnieniem zbliżonym do atmosferycznego),
- wysokociśnieniowe (ciśnienie wytwarzanych gazów osiąga wartość do 3 MPa),
- z elektrolitem ze stałego polimeru [Kisza 2000a].

Elektrolityczne otrzymywanie wodoru jest kosztowne w porównaniu ze sposobami chemicznymi, w których wykorzystuje się surowce naturalne (węgiel i wodę, gaz ziemny, oleje lekkie). Ekonomiczność procesu elektrolizy można zwiększyć przez zastosowanie, jako źródeł energii elektrycznej, urządzeń będących przetwornikami energii pochodzącej ze źródeł naturalnych (ogniwa fotowoltaiczne, elektrownie wiatrowe, hydroelektrownie). Ogniwo fotowoltaiczne w sposób szczególny nadaje się do zasilania elektrolizera ze względu na kształt swojej charakterystyki prądowo-napięciowej, która spełnia wymagania tego odbiornika [Kisza 2000b].

METODY BADAŃ

Badania laboratoryjne przeprowadzone zostały w układzie, w którym energia promieniowania słonecznego została wykorzystana do wytwarzania wodoru w procesie elektrolizy wody. Główne aspekty badań stanowiskowych to modelowanie współpracy baterii ogni w fotowoltaicznych z elektrolizerem wody, wytwarzanie i gromadzenie paliwa wodorowego oraz obliczenie zużycia energii elektrycznej w procesie wytwarzania wodoru. Przeprowadzone zostały badania dotyczące dopasowania baterii ogni w fotowoltaicznych do współpracy z niskociśnieniowym laboratoryjnym elektrolizerem wody w zmiennych warunkach nasłonecznienia. Pomiar w układzie ogniwo fotowoltaiczne–elektrolizer analizowane były pod kątem wykorzystania mocy ogniwa. Do badań została użyta bateria ogni w fotowoltaicznych (Solar Power LTD Lapss) składająca się z sześciu modułów o maksymalnej mocy 30 W każdy. Jeden moduł fotowoltaiczny pracował w stanie zwarcia i spełniał rolę miernika natężenia napromieniowania słonecznego. Pozostałe moduły zostały wykorzystane jako źródło energii elektrycznej do zasilania niskociśnieniowego elektrolizera wody z elektrodami niklowymi w postaci prętów. Do gromadzenia wodoru w postaci gazowej skonstruowany został zbiornik szklany wyposażony w odpowiednie zawory. Zbiornik zaopatrzony został w podziałkę, umożliwiającą pomiar objętości zgromadzonego gazu.

Stanowisko wyposażone zostało w komputer z kartą pomiarową do rejestracji charakterystyk prądowo-napięciowych elektrolizera i ogni w fotowoltaicznych. W ramach badań elektrolizera została wyznaczona jego charakterystyka prądowo-napięciowa, przy różnych temperaturach elektrolitu (25°C, 30°C i 45°C), który stanowił wodny roztwór KOH (25% wag.). Charakterystyka $I = f(U)$ w temperaturze 25°C została wyznaczona dla dwóch przypadków pracy elektrolizera. W pierwszym przypadku wydzielający się na katodzie wodór nie był zbierany i gromadzony w zbiorniku, natomiast w drugiej próbie pręt stanowiący katodę elektrolizera został przykryty kloszem szklanym w celu gromadzenia gazu w zbiorniku. Na podstawie pomiarów obliczone zostało zużycie energii elektrycznej przy wytwarzaniu 1 m³ wodoru, dla różnych wartości prądu płyną-

cego przez elektrolizer (0,5 A, 1 A, 1,5 A), oraz sprawność termiczna elektrolizera. Następnie wyznaczone zostały charakterystyki odpowiednio połączonych modułów fotowoltaicznych, dla różnych natężeń napromieniowania słonecznego. W sposób graficzny przedstawione zostały na wspólnym wykresie charakterystyki elektrolizera i baterii ogniw fotowoltaicznych, przy takim połączeniu modułów, aby ich moc została jak najlepiej wykorzystana.

WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 1 zaprezentowane zostały charakterystyki prądowo-napięciowe elektrolizera, wyznaczone podczas elektrolizy wodnego roztworu KOH (25% wag.), dla różnych temperatur elektrolitu. Elektrolizer zbadany został w czasie pracy bez zainstalowanego zbiornika gazu oraz w stanie, gdy wytwarzany wodór był gromadzony w szklanym zbiorniku (katoda została przykryta szklanym kloszem).

Na podstawie pomiarów obliczono zużycie energii elektrycznej przy wytwarzaniu wodoru metodą elektrolizy wodnego roztworu KOH (25% wag.) dla trzech wartości prądu. Wyznaczona została sprawność termiczna elektrolizera, przyjmując wartość opałową gazowego wodoru równą $13 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ (tab. 1).

Tabela 1. Obliczenie zużycia energii elektrycznej do wytwarzania wodoru w procesie elektrolizy wodnego roztworu KOH

Table 1. The calculation of the consumption of electrical energy for production hydrogen during electrolyze of water solution KOH

U, V	I, A	t, s	T, °C	V _{H₂} , m ³	E, kWh·10 ⁻⁴	E', kWh·m ⁻³	E'', MJ·m ⁻³	W, MJ·m ⁻³	η _t , %
3,4	0,5	1500	25	10 ⁻⁴	7,08	7,08	25,49	13	0,51
5,8	1	600	25	10 ⁻⁴	9,66	9,66	34,78	13	0,37
7,4	1,5	480	25	10 ⁻⁴	14,8	14,8	53,28	13	0,24

U – napięcie na zaciskach elektrolizera – the voltage on connectors of electrolyzer,

I – prąd elektrolizera – the current of electrolyzer,

t – czas, w którym uzyskano $1\cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ wodoru – the time during it $1\cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ of hydrogen was obtained,

T – temperatura elektrolitu – the temperature of electrolyte,

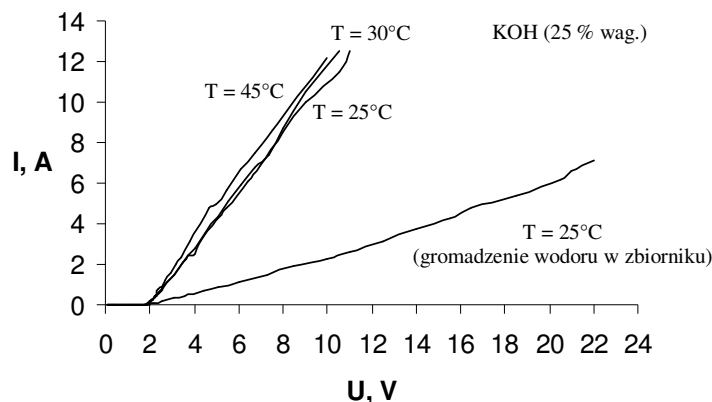
V_{H₂} – objętość wodoru – the volume of hydrogen,

E – energia elektryczna zużyta do wytworzenia $1\cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ wodoru ($E = U\cdot I\cdot t$) – the electrical energy used up for production $1\cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ hydrogen ($E = U\cdot I\cdot t$),

E' – energia elektryczna potrzebna do wytworzenia 1 m^3 wodoru – the electrical energy needed for production of 1 m^3 of hydrogen,

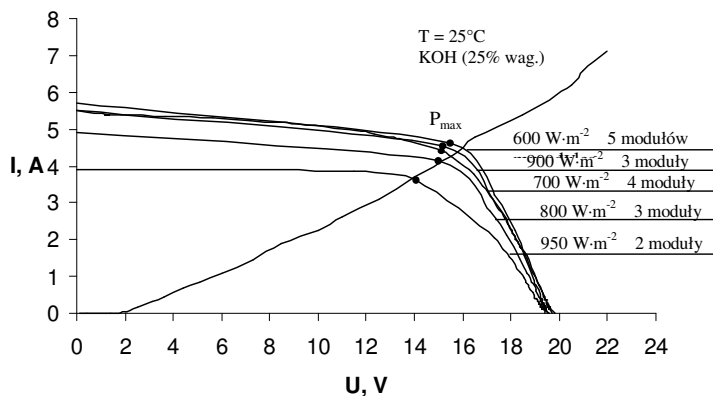
W – górna wartość opałowa gazowego wodoru – the upper calorific value of gas-hydrogen,

η_t – sprawność termiczna elektrolizera ($\eta_t = W/E'$) – the thermal efficiency of electrolyzer ($\eta_t = W/E'$).



Rys. 1. Charakterystyki prądowo-napięciowe niskociśnieniowego elektrolizera laboratoryjnego typu MT 3847

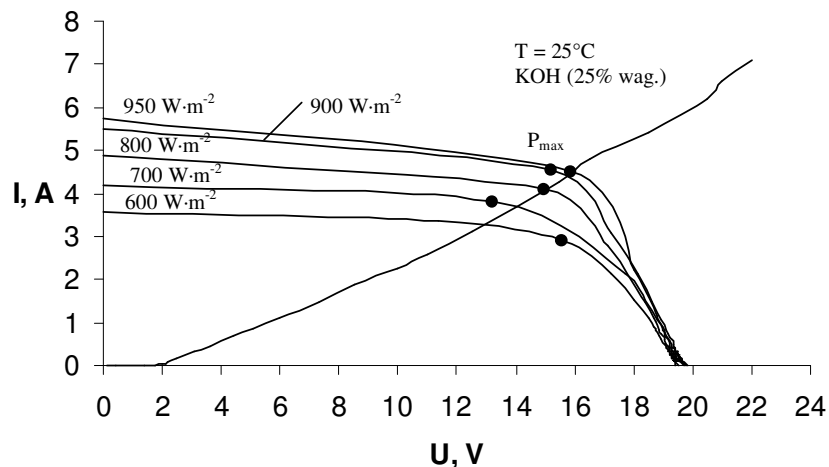
Fig. 1. The current-voltage characteristics of low pressure laboratory electrolyzer MT 3847



Rys. 2. Charakterystyki prądowo-napięciowe baterii słonecznej i elektrolizera przy zmianach nasłonecznienia i konfiguracji układu (łączenie równoległe modułów)

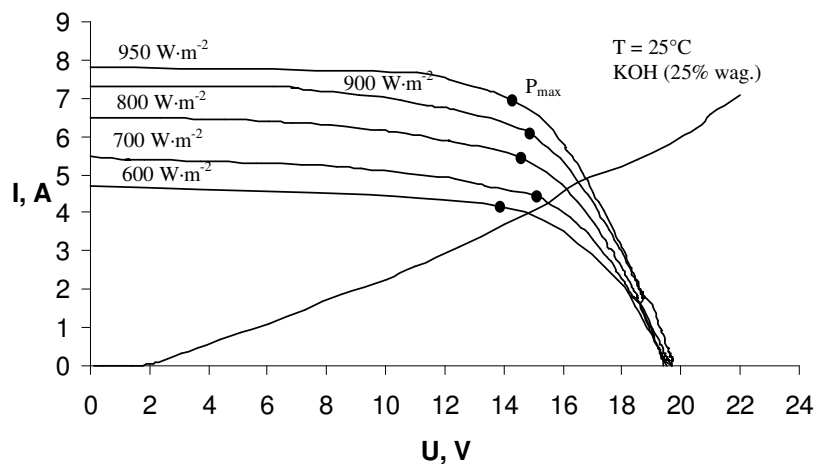
Fig. 2. The current-voltage characteristics of solar battery and of electrolyzer with changes of insolation and of configuration of system (parallel communication)

Badania przeprowadzone w układzie ogniwo fotowoltaiczne – elektrolizer wykazały, że najbardziej ekonomiczna współpraca, ze względu na wykorzystanie mocy ogniwa, występuje w zakresie natężenia napromieniowania słonecznego od 600 do 950 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Na rysunku 2 zostały zaprezentowane charakterystyki $I = f(U)$ ogniwa fotowoltaicznego przy równoległym połączeniu odpowiedniej liczby modułów, tak aby w zależności od natężenia napromieniowania słonecznego, moc ogniwa zasilającego elektrolizer została jak najlepiej wykorzystana (charakterystyka elektrolizera powinna przecinać charakterystykę ogniwa w pobliżu punktu mocy maksymalnej). Na charakterystykach ogniwa fotowoltaicznego zostały zaznaczone punkty, w których ogniwo osiąga maksymalną moc.



Rys. 3. Charakterystyki prądowo-napięciowe baterii słonecznej (trzy moduły połączone równolegle) i elektrolizera przy zmiennych nasłonecznieniach

Fig. 3. The current-voltage characteristics of solar battery (three parallel communication modules) and of electrolyzer with changing insolation



Rys.4. Charakterystyki prądowo-napięciowe baterii słonecznej (cztery moduły połączone równolegle) i elektrolizera przy zmiennych nasłonecznieniach

Fig. 4. The current-voltage characteristics of solar battery (four parallel communication modules) and of electrolyzer with changing insolation

Przyjmując podczas badań kryterium zmienności nasłonecznienia, najlepsze dopasowanie charakterystyk ogniwa fotowoltaicznego do charakterystyki elektrolizera udało się uzyskać przy równoległym połączeniu w baterię trzech i czterech modułów (rys. 3 i rys. 4).

WNIOSKI

1. Temperatura elektrolitu (wodny roztwór KOH, 25% wag.) w przedziale 25–45°C ma niewielki wpływ na charakterystykę prądowo-napięciową niskociśnieniowego elektrolizera wody. Korzystniejszy kształt charakterystyki uzyskiwany jest przy wyższej temperaturze elektrolitu. Zakrycie elektrody prętowej elektrolizera przez szklany klosz zbiornika gazu powoduje utrudnienie w procesie przepływu prądu jonowego przez elektrolit i większe straty mocy w procesie elektrolizy.

2. Wzrost prądu elektrolizera powoduje większe spadki napięć na rezystancjach układu, zwiększenie się nadpotencjałów elektrodowych oraz straty ciepłe. Czynniki te powodują konieczność wzrostu napięcia przyłożonego do elektrod elektrolizera, co w rezultacie powoduje większe zużycie energii elektrycznej przy wydzielaniu się takiej samej objętości wodoru i obniżenie sprawności termicznej elektrolizera.

3. Charakterystyka prądowo-napięciowa elektrolizera pozwala na ekonomiczne wykorzystanie do jego zasilania baterii ogni w fotowoltaicznych, przy odpowiedniej konfiguracji układu, w zależności od warunków natężenia napromieniowania słonecznego.

PIŚMIENNICTWO

- Dylewski R., Gnot W., Gonet M., 1999. Elektrochemia Przemysłowa – wybrane procesy i zagadnienia. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Kisza A., 2000a. Elektrochemia I – jonika. WNT, Warszawa.
- Kisza A., 2000b. Elektrochemia II – elektrodyka WNT, Warszawa.
- Nowacki P. J., 1983. Wodór jako nowy nośnik energii. PAN, Wrocław.
- Smoliński S., 1998. Fotowoltaiczne źródła energii i ich zastosowania. Wyd. SGGW, Warszawa.

INVESTIGATION ON APPLICATION THE PHOTOVOLTAIC CELLS IN THE AGRICULTURE AND AGRO-ALIMENTARY INDUSTRY. PART II. LABORATORY INVESTIGATION

Abstract: The paper deals with aspects of the association photovoltaic battery with laboratory electrolyzer of water. The electrical current-voltage characteristics of electrolyzer and photovoltaic modules are given. The consumption of electrical energy during electrolyze of water and performance of conversion into chemical energy of hydrogen are calculated. The results of fitting the photovoltaic battery cells to feed of electrolyzer with the best exploit of solar energy are graphically presented.

Keywords: photovoltaic cell, electrolyzer, hydrogen

Marek Adamiec *Katedra Pojazdów Samochodowych. Politechnika Lubelska,*
e-mail: adamiec@archimedes.pol.lublin.pl

Marek Kuna-Broniowski *Katedra Podstaw Techniki. Akademia Rolnicza w Lublinie,*
e-mail: mkuna@faunus.ar.lublin.pl

Izabela Kuna-Broniowska, *Katedra Zastosowań Matematyki. Akademia Rolnicza w Lublinie,*
e-mail: izakuna@ursus.ar.lublin.pl