

BADANIA NAD WYKORZYSTANIEM OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH W ROLNICTWIE I PRZEMYSŁE ROLNO-SOŻYWCZYM. CZĘŚĆ I – PODSTAWY TEORETYCZNE

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

Streszczenie. W artykule przedstawiono nowe możliwości zastosowania ogniw fotowoltaicznych w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym, uzyskane poprzez wykorzystanie ich do wytwarzania wodoru metodą elektrolizy. Warunkiem uzyskania wysokiej sprawności tego procesu, jest optymalne dopasowanie ogniwa do elektrolizera. W pracy zaprezentowano modele matematyczne elektrolizera i ogniwa fotowoltaicznego oraz symulację ich wzajemnego dopasowania. Określono dzięki temu warunki zapewniające uzyskanie największej efektywności całego procesu transformacji energii słonecznej na energię zmagazynowaną w paliwie wodorowym.

Słowa kluczowe: ogniwo fotowoltaiczne, elektrolizer, wodór

WSTĘP

Ogniwo fotowoltaiczne jest źródłem energii odnawialnej i przetwarza energię słoneczną bezpośrednio na energię elektryczną. W ostatnich latach obserwujemy duży postęp w technologii modułów i systemów fotowoltaicznych oraz udane próby ich praktycznych zastosowań. Ogniwa fotowoltaiczne mogą pracować w układach z bezpośrednim zasilaniem energią elektryczną lub w układach z akumulacją energii. Wytwarzane obecnie moduły mają moce od kilkudziesięciu do kilkuset watów i mogą być ze sobą łączone, co pozwala na wykorzystanie źródeł fotowoltaicznych zarówno w układach lokalnych, jak i w większych systemach energetycznych. Szczególne możliwości zastosowań stwarza tzw. mała energetyka, związana głównie z rolnictwem, gdzie ogniwa fotowoltaiczne mogą być wykorzystane w takich energochłonnych procesach, jak suszarnictwo i produkcja szklarniowa. Perspektywnym sposobem uniezależnienia rolnictwa od zewnętrznych źródeł energii jest wytwarzanie i magazynowanie energii w postaci wodoru, uzyskiwanego w elektrolizerach wody, które mogą być zasilane przez ogniwa fotowoltaiczne. Eliminuje to podstawową niedogodność w korzystaniu z energii pochodzącej z ogniw słonecznych, jaką jest jej uzależnienie od nasłonecznienia.

Tak uzyskany wodór może być wykorzystany bezpośrednio do spalania, co jednak wiąże się z niebezpieczeństwem stosowania lub do zasilania ogniw paliwowych będących przyszłościowym źródłem energii elektrycznej i mających duże szanse zastosowania w rolnictwie oraz przemyśle rolno-spożywczym.

Ogniwa paliwowe jako wysokosprawne źródła energii elektrycznej i ciepłej, mają zastosowanie w postaci stacjonarnej do zasilania urządzeń elektrycznych oraz dostarczają ciepła o wysokich parametrach temperaturowych. Ciepło uzyskane z ogniw może być wykorzystane w procesach technologicznych przemysłu rolno-spożywczego. Obiecującą perspektywą jest zastosowanie ogniw paliwowych w napędach rolniczych, dając możliwość wykorzystania odnawialnej energii pochodzącej ze źródeł lokalnych.

PODSTAWY ELEKTROLIZY

Po zanurzeniu elektrody metalowej do roztworu elektrolitu rozpoczyna się proces przepływu ładunku elektrycznego przez granicę faz przewodzących metal-elektrolit. Zanurzenie elektrody do roztworu elektrolitu (nawet nie zawierającego jonów metalu, z którego jest wykonana) spowoduje, że w wyniku oddziaływania między elektronami metalu a cząsteczkami rozpuszczalnika i jonami elektrolitu elektroda naładuje się do pewnego potencjału. Jeżeli roztwór elektrolitu zawiera jony metalu, z którego jest zbudowana faza metaliczna elektrody, to w wyniku ich reakcji z elektronami metalu



nastąpi dodatkowe rozdzielenie ładunków i kolejna zmiana potencjału elektrody. Reakcja (1) w stanie równowagi biegnie w obu kierunkach, a z szybkościami tej reakcji (równymi sobie w obydwu kierunkach) jest związany pewien prąd wymiany. Gęstość prądu wymiany j_0 wyraża dynamiczne zachowanie elektrody, w której w stanie równowagi w obie strony płynie pewien prąd, gdyż równowaga elektrody ma charakter dynamiczny – w jednostce czasu tyle samo moli postaci R (zredukowanej) przechodzi w postaci O (utlenioną), co postaci O w postaci R. W stanie równowagi każda elektroda przyjmie właściwy dla niej potencjał, określony przez rodzaje i stężenia substancji obecnych w jej otoczeniu. Potencjał elektrody jest niemierzalny, jego wartość określa się w stosunku do potencjału standardowej elektrody wodorowej, który przyjęto jako równy zero. Równowagowy potencjał elektrody E określamy na podstawie wzoru Nernsta [Kisza 2000a]:

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_r}{a_o} \quad (2)$$

gdzie: E^0 – standardowy potencjał elektrody, V ($p = 10^5$ Pa; $T = 298,15$ K)

R – stała gazowa $8,314207 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

T – temperatura, K

n – liczba elektronów biorących udział w elementarnej reakcji elektrodowej

F – stała Faradaya ($96484 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$)

a_r – aktywność postaci zredukowanej reagenta na powierzchni elektrody

a_o – aktywność postaci utlenionej reagenta na powierzchni elektrody

Zgodnie ze wzorem (2) równowagowy potencjał anodowy przyjmuje wartość dodatnią, a potencjał katodowy ujemną (konwencja sztokholmska).

Teoretyczne napięcie rozkładowe elektrolizera ΔU_r możemy obliczyć jako różnicę równowagowych potencjałów dwóch elektrod (anody i katody), zwanych inaczej półogniwami:

$$\Delta U_r = E_a - E_c \quad (3)$$

W czasie elektrolizy procesy elektrochemiczne zachodzą równocześnie na obu elektrodach (brak równowagi) i na skutek przepływu prądu występuje zjawisko polaryzacji elektrod. Praktyczne napięcie rozkładowe ΔU jest większe od teoretycznego o wielkość ΔU_n zwaną nadnapięciem:

$$\Delta U = \Delta U_r + \Delta U_n \quad (4)$$

Nadnapięcie jest dodatkowym napięciem, jakie należy przyłożyć do elektrod w celu wywołania zjawiska elektrolizy. Nadnapięcie jest skutkiem występowania nadpotencjałów elektrodowych (anodowego i katodowego). Nadpotencjał anodowy jest zawsze dodatni, a nadpotencjał katodowy ujemny. Wartość nadnapięcia obliczamy jako różnicę nadpotencjałów – anodowego i katodowego:

$$\Delta U_n = \eta_a - \eta_c \quad (5)$$

Nadpotencjał jest miarą wytrącenia elektrody ze stanu równowagi. Proces elektrodowy składa się z kilku etapów (z każdym z nich związany jest pewien nadpotencjał) [Dylewski i in. 1999, Kiszka 2000b]:

- proces przeniesienia ładunku elektrycznego (wymiana elektronów pomiędzy reagentem a elektrodą) – nadpotencjał aktywacyjny,
- transport reagenta od lub do elektrody spowodowany gradientem pola elektrycznego (migracja) – nadpotencjał omowy,
- transport reagenta od lub do elektrody spowodowany gradientem potencjału chemicznego, czyli na skutek różnicy stężeń (dyfuzja) – nadpotencjał dyfuzyjny i stężeniowy,
- proces krystalizacji produktu reakcji (metal) na powierzchni elektrody – nadpotencjał krystalizacji,
- reakcje chemiczne bezpośrednio poprzedzające lub następujące po etapie wymiany ładunku – nadpotencjał reakcji.

Z punktu widzenia elektrolizy istotna jest zależność gęstości prądu elektrodowego j od nadpotencjału elektrody η . Z powyższych rozważań wynika, że każde utrudnienie reakcji przeniesienia ładunku wytwarza dodatkowy nadpotencjał, co sprawia że doświadczalnie wyznaczona zależność $j = f(\eta)$ może być obciążona wpływami różnych nadpotencjałów i jej interpretacja jest skomplikowana. Największe znaczenie w danej reakcji ma ten rodzaj nadpotencjału, z którym związany jest najwolniej przebiegający etap procesu elektrodowego. Z punktu widzenia kinetyki procesów elektrodowych decydującą rolę pełni tu reakcja przeniesienia ładunku i związany z nią nadpotencjał aktywacyjny. Zależność gęstości prądu elektrodowego od nadpotencjału aktywacyjnego opisuje równanie Butlera-Volmera [Kiszka 2000b], zwane krzywą polaryzacji elektrody:

$$j = j_0 \left\{ \exp \left[(1-\beta) \frac{F}{RT} \eta \right] - \exp \left(-\beta \frac{F}{RT} \eta \right) \right\} \quad (6)$$

gdzie: j_0 – gęstość prądu wymiany, $A \cdot cm^{-2}$
 β – współczynnik symetrii (równy około 0,5)

Zależność (6) dotyczy procesu, w którym w elementarnej reakcji elektrodowej wymieniany jest jeden elektron. Gdy w reakcji bierze udział większa liczba elektronów, równanie Butlera-Volmera przyjmie postać:

$$j = j_0 \left[\exp \left(\alpha_a \frac{F}{RT} \eta \right) - \exp \left(-\alpha_c \frac{F}{RT} \eta \right) \right] \quad (7)$$

gdzie: α_a – współczynnik przeniesienia ładunku dla procesu anodowego,
 α_c – współczynnik przeniesienia ładunku dla procesu katodowego.

Dla małych wartości nadpotencjałów ($-20 \text{ mV} < \eta < 20 \text{ mV}$) możemy występujące w równaniach (6) i (7) funkcje wykładnicze rozwinąć w szereg Maclaurina, uzyskując następujące zależności liniowe:

$$j = j_0 \frac{F}{RT} \eta \quad \text{– dla reakcji jednoelektronowej} \quad (8)$$

$$j = j_0 \frac{(\alpha_a + \alpha_c)F}{RT} \eta \quad \text{– dla reakcji wieloelektronowej} \quad (9)$$

W przypadku dużych dodatnich wartości nadpotencjału ($\eta_a > 0,1 \text{ V}$), czyli dla anodowego utleniania, drugi człon w nawiasie równania (6) i (7) można pominąć i wówczas otrzymujemy zależności:

$$j_a = j_0 \exp \left[(1-\beta) \frac{F}{RT} \eta_a \right] \quad \text{– dla reakcji jednoelektronowej} \quad (10)$$

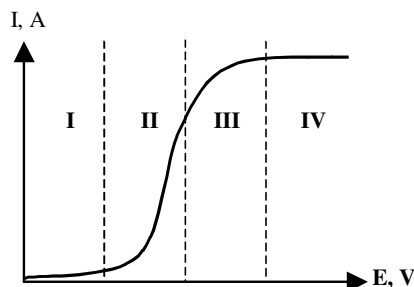
$$j_a = j_0 \exp \left(\alpha_a \frac{F}{RT} \eta_a \right) \quad \text{– dla reakcji wieloelektronowej} \quad (11)$$

Analogicznie dla dużych ujemnych wartości nadpotencjału ($\eta_c < -0,1 \text{ V}$), czyli dla katodowej redukcji, pierwszy człon w nawiasie równania (6) i (7) można pominąć i wtedy uzyskamy równania:

$$j_c = -j_0 \exp \left(-\beta \frac{F}{RT} \eta_c \right) \quad \text{– dla reakcji jednoelektronowej} \quad (12)$$

$$j_c = -j_0 \exp \left(-\alpha_c \frac{F}{RT} \eta_c \right) \quad \text{– dla reakcji wieloelektronowej} \quad (13)$$

Miarą szybkości procesu elektrodowego jest natężenie prądu. Zależność prądu elektrodowego I od potencjału elektrody E przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Zależność natężenia prądu elektrolizy od potencjału elektrody
Fig. 1. Electrolysis current as the function of the electrode potential

W początkowej fazie prąd praktycznie nie płynie (obszar I), potencjał nie przekroczył jeszcze wartości równowagowego potencjału elektrody. Niewielki wzrost natężenia prądu wynika z ładowania podwójnej warstwy elektrycznej metal – elektrolit. Następnie rozpoczyna się znaczący wzrost natężenia prądu wskutek intensywnego przebiegu reakcji elektrolizy (obszar II). Wzrost natężenia prądu ma charakter wykładniczy. Decydujące znaczenie ma tutaj transport jonów z głębi roztworu do powierzchni elektrody, w początkowej fazie wzrostu prądu szybkość transportu jonów jest większa od szybkości reakcji elektrodowej. W tej fazie reakcji występuje głównie nadpotencjał aktywacyjny. Dalsze zwiększanie potencjału elektrody powoduje, że szybkość procesów transportu (migracji i dyfuzji) staje się porównywalna z szybkością reakcji przeniesienia ładunku, a następnie zaczyna maleć (obszar III). Dużą rolę odgrywa teraz nadpotencjał omowy, dyfuzyjny i stężeniowy. Dochodzi do sytuacji, gdzie szybkość procesu elektrodowego jest znacznie większa od szybkości transportu masy do elektrod i każdy jon, który dotrze do elektrody, ulega natychmiastowej reakcji elektrodowej. Dalszy wzrost napięcia nie powoduje już wzrostu natężenia prądu (obszar IV). Zjawiska te możemy wyjaśnić na podstawie równania:

$$I = nFAg_i [c_i^0 - c_i(0, t)] \quad (14)$$

gdzie: I – prąd elektrodowy, A

A – powierzchnia elektrody, cm^2

g_i – współczynnik przepływu masy, $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$

c_i^0 – stężenie reagenta w głębi roztworu, $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$

$c_i(0, t)$ – stężenie reagenta na powierzchni elektrody, $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$

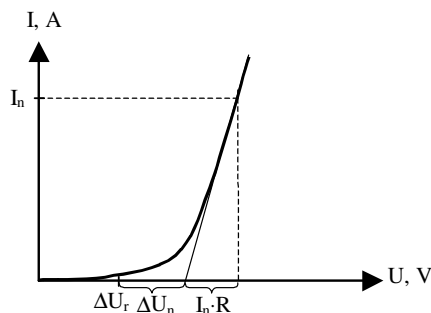
Zwiększając szybkość procesu elektrodowego przez wzrost potencjału, powodujemy większe zużycie jonu i na elektrodzie i doprowadzamy do sytuacji, gdy to stężenie spada do zera, a różnica $c_i^0 - c_i(0, t)$ osiąga wartość maksymalną c_i^0 . Natężenie prądu reakcji elektrodowej wzrośnie w tym procesie do wartości maksymalnej (prąd graniczny):

$$I_{\text{gran}} = nFAg_i c_i^0 \quad (15)$$

Dla reakcji katodowej prąd graniczny przyjmuje znak minus. Elektrolizer powinien pracować w drugiej części obszaru II na charakterystyce $I = f(E)$.

BILANS NAPIĘCIOWY ELEKTROLIZERA

Elektrolizer jest urządzeniem, w którym przepływ prądu elektrycznego powoduje przebieg niesamorzutnych procesów chemicznych. Charakterystyka prądowo-napięciowa elektrolizera została przedstawiona na rysunku 2.



Rys. 2. Charakterystyka prądowo – napięciowa elektrolizera
Fig. 2. Current-voltage characteristics of the electrolyser

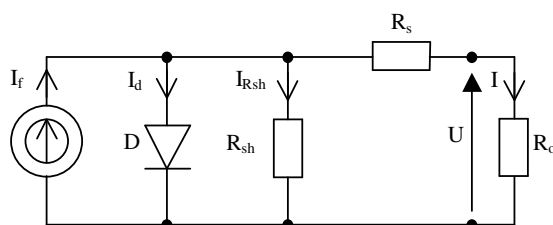
W praktyce przy większych wartościach natężenia prądu charakterystyka zbliża się do liniowej, ponieważ dominują spadki napięć na rezystancji elektrolitu i w elementach konstrukcyjnych elektrolizera [Dylewski i in. 1999]. Na charakterystyce zostało zaznaczone teoretyczne napięcie rozkładowe $\Delta U_r = E_a - E_c$. Nadnapięcie $\Delta U_n = \eta_a - \eta_c$ możemy w przybliżeniu wyznaczyć przez ekstrapolację prostoliniowej części wykresu do natężenia prądu $I = 0$. Wartość $I_n \cdot R$ oznacza spadek napięcia na rezystancjach elektrolizera R przy przepływie prądu I_n . Bilans napięciowy elektrolizera jest to suma poszczególnych składowych napięcia przyłożonego do zacisków elektrolizera (nadpotencjały omowe są tutaj traktowane jako spadki napięć na poszczególnych rezystancjach elektrolizera):

$$U = E_a + \eta_a - E_c - \eta_c + \Delta U_a + \Delta U_c + \Delta U_s + \Delta U_{ma} + \Delta U_{mc} \quad (16)$$

gdzie: E_a – równowagowy potencjał anody,
 E_c – równowagowy potencjał katody,
 η_a – nadpotencjał anodowy,
 η_c – nadpotencjał katodowy,
 ΔU_a – spadek napięcia na rezystancji elektrolitu (pomiędzy anodą a separatorem),
 ΔU_c – spadek napięcia na rezystancji elektrolitu (pomiędzy katodą a separatorem),
 ΔU_s – spadek napięcia na rezystancji separatora,
 ΔU_{ma} – spadek napięcia w materiale konstrukcyjnym anody i na zacisku prądowym,
 ΔU_{mc} – spadek napięcia w materiale konstrukcyjnym katody i na zacisku prądowym.

MODEL MATEMATYCZNY OGNIWA FOTOWOLTAICZNEGO

Elementarną częścią ogniwa fotowoltaicznego jest komórka, będąca złączem półprzewodnika typu p i typu n. Fotony padające na komórkę fotowoltaiczną i posiadające odpowiednią energię, uwalniają elektrony, tworząc pary elektron – dziura. Elektron uzyskując odpowiednią energię, przemieszcza się w kierunku złącza np, gdzie pod wpływem pola elektrycznego zostaje skierowany do strefy n. Między bokami n i p złącza powstaje napięcie. Komórka fotowoltaiczna posiada małą wytrzymałość mechaniczną i brak odporności na wilgoć, a wytwarzane przez nią napięcie osiąga wartość około 0,5 V. Z tych względów komórki łączone są w moduły szeregowo i równoległe, dla uzyskania odpowiednich napięć i prądów. Do opisu pracy komórki fotowoltaicznej może być wykorzystany jej prosty model jednodiodowy (rys. 3) [Smoliński 1998].



Rys. 3. Schemat zastępczy komórki fotowoltaicznej
Fig. 3. Equivalent electrical schema of the photovoltaic cell

Na podstawie powyższego schematu możemy napisać równanie opisujące charakterystykę prądowo-napięciową komórki fotowoltaicznej:

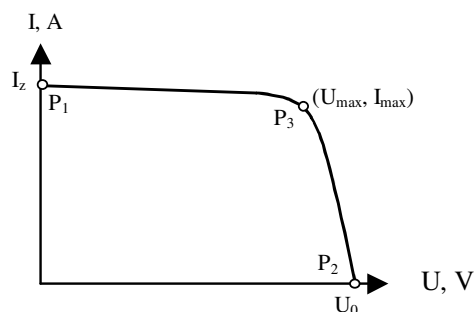
$$I = I_f - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(U + IR_s)}{mkT} \right] - 1 \right\} - \frac{U + IR_s}{R_{sh}} \quad (17)$$

gdzie: I – prąd wytwarzany przez komórkę fotowoltaiczną, A
 U – napięcie na zaciskach komórki, V
 I_f – fotoprąd (jest funkcją temperatury i nasłonecznienia), A
 I_0 – prąd nasycenia złącza (zależny od temperatury), A
 q – ładunek elementarny ($1,602 \cdot 10^{-19}$ C)
 m – współczynnik dobroci diody (1...2)
 k – stała Boltzmana ($1,381 \cdot 10^{-23}$ J·K⁻¹)
 T – temperatura komórki, K
 R_s – rezystancja szeregową komórki, Ω
 R_{sh} – rezystancja równoległa komórki, Ω
 R_o – rezystancja odbiornika, Ω

Na charakterystyce $I = f(U)$ komórki fotowoltaicznej możemy wyróżnić trzy charakterystyczne punkty:

- P_1 ($U = 0, I = I_z$) – punkt określający prąd zwarcia komórki fotowoltaicznej,
- P_2 ($U = U_0, I = 0$) – punkt określający napięcie jałowe komórki fotowoltaicznej,

- P_3 ($U = U_{\max}$, $I = I_{\max}$) – punkt określający napięcie i prąd w punkcie mocy maksymalnej komórki fotowoltaicznej.

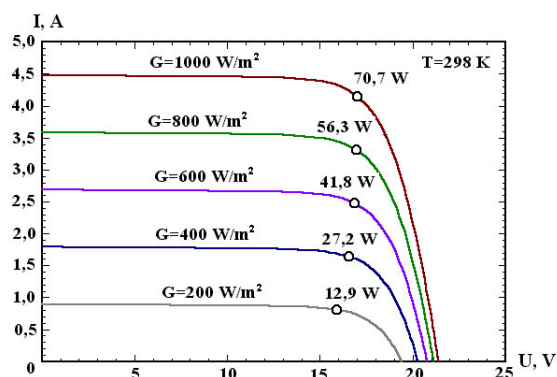


Rys. 4. Charakterystyka prądowo-napięciowa komórki fotowoltaicznej
Fig. 4. Current-voltage characteristics of the photovoltaic cell

Na odcinku P_1P_3 charakterystyki ogniwo fotowoltaiczne pracuje jako źródło prądowe, na nachylenie charakterystyki wpływa rezystancja równoległa R_{sh} . Na odcinku P_2P_3 charakterystyki ogniwo fotowoltaiczne pracuje jako źródło napięciowe, Rezystancja szeregową R_s wpływa na nachylenie charakterystyki. W punkcie P_3 ogniwa fotowoltaicznego nie można zaliczyć do typowych źródeł prądowych ani napięciowych [Smoliński 1998].

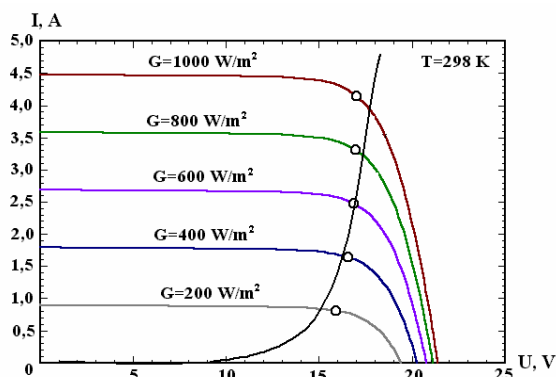
WSPÓŁPRACA OGNIWA FOTOWOLTAICZNEGO Z ELEKTROLIZEREM

Na pracę i charakterystykę $I = f(U)$ ogniwa fotowoltaicznego największy wpływ ma natężenie napromieniowania G oraz temperatura T . Na rysunku 5 przedstawiona została charakterystyka $I = f(U)$ ogniwa fotowoltaicznego typu BP270L o mocy znamionowej 70 W dla różnych wartości natężenia napromieniowania [Karta katalogowa ogniwa BP270L].



Rys. 5. Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa fotowoltaicznego typu BP270L
Fig. 5. Current-voltage characteristics of the photovoltaic cell type BP270L

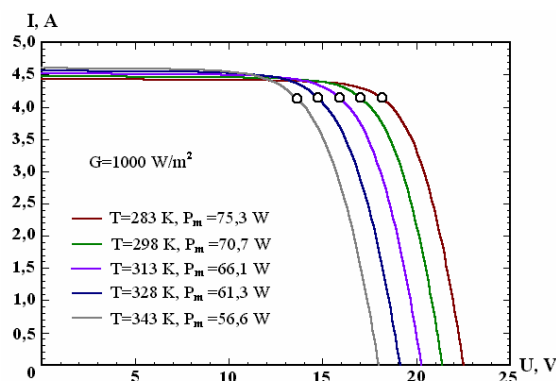
Na poszczególnych krzywych zaznaczone zostały punkty pracy ogniwa przy wytwarzaniu maksymalnej mocy P_{\max} . Dla najbardziej efektywnego wykorzystania ogniwa fotowoltaicznego jako źródła zasilania, charakterystyka prądowo-napięciowa odbiornika powinna przecinać jego charakterystykę w punkcie mocy maksymalnej. Na podstawie rysunku 5 możemy stwierdzić, że odbiornik zasilany przez ogniwo fotowoltaiczne powinien charakteryzować się małą wartością rezystancji dynamicznej dU/dI . Warunek ten bardzo dobrze spełniają elektrolizery. Rysunek 6 pokazuje przykładowe dopasowanie charakterystyki $I = f(U)$ elektrolizera do charakterystyk prądowo-napięciowych ogniwa fotowoltaicznego.



Rys. 6. Dopasowanie charakterystyki prądowo-napięciowej elektrolizera do charakterystyk modułu fotowoltaicznego

Fig. 6. Fitting the current-voltage characteristics of the electrolyser with the characteristics of the photovoltaic cell

Wpływ temperatury na charakterystykę ogniwa fotowoltaicznego typu BP270L przedstawia rysunek 7 [Karta katalogowa ogniwa fotowoltaicznego typu BP270L]. Punkt mocy maksymalnej przemieszcza się wzdłuż osi x, co oznacza, że wartość natężenia prądu I_{\max} jest w przybliżeniu stała, zmienia się natomiast wartość napięcia U_{\max} .



Rys. 7. Wpływ temperatury na charakterystykę $I = f(U)$ ogniwa fotowoltaicznego typu BP270L

Fig. 7. Effect of the temperature on the characteristic $I = f(U)$ the photovoltaic cell BP270L

Temperatura pracy elektrolizera nie jest bezpośrednio związana z temperaturą otoczenia, w którym pracuje urządzenie zasilające (np. ogniwo fotowoltaiczne). Temperatura wpływa w różny sposób na poszczególne czynniki procesu elektrolizy i jej optymalna wartość jest ustalana dla konkretnych procesów chemicznych i układów elektrolizerów. Charakterystyka $I = f(U)$ elektrolizera zasilanego przez moduł fotowoltaiczny, powinna być dopasowana do jego charakterystyki prądowo-napięciowej w taki sposób, aby straty mocy spowodowane różnicą temperatur były jak najmniejsze.

WNIOSKI

1. Zastosowanie ogniw fotowoltaicznych bezpośrednio do zasilania elektrolizerów, umożliwia zgromadzenie energii słonecznej w postaci paliwa wodorowego, które następnie może być użytkowane przez różne odbiorniki energii. Aby jednak proces ten był wydajny i opłacalny, należy uzyskać dopasowanie ogniw do elektrolizera. Przedstawione modele i algorytmy umożliwiają matematyczne modelowanie takiego procesu.

2. Z analizy charakterystyk ogniwa fotowoltaicznego i elektrolizera wynika, że po przekroczeniu napięcia rozkładowego elektrolizera, na jego charakterystyce prądowo-napięciowej obserwujemy duży wzrost natężenia prądu przy niewielkim wzroście napięcia. Taki kształt charakterystyki umożliwia zasilanie elektrolizera przez ogniwo fotowoltaiczne i optymalne wykorzystanie jego mocy przy zmiennym natężeniu oświetlenia. W rezultacie daje to możliwość uzyskania wysokiej sprawności przemian energetycznych i pełnego wykorzystania obydwu urządzeń.

3. Elektrolizer może być wykorzystywany do uzyskiwania wodoru z innych źródeł energii niż ogniwo fotowoltaiczne (np. energii wiatru), dzięki odpowiedniemu doborowi charakterystyk można przełączać elektrolizer na różne źródła zasilania bez utraty sprawności i wydajności.

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.
- Smoliński S., 1998. Fotowoltaiczne źródła energii i ich zastosowania. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Karta katalogowa ogniwa fotowoltaicznego typu BP270L produkowanego przez BP Solar – Wielka Brytania.

**INVESTIGATIONS ON APPLICATION THE PHOTOVOLTAIC CELLS
IN THE AGRICULTURE AND AGRO-ALIMENTARY INDUSTRY.
PART I – THEORETICAL BASIS**

Abstract. The paper describe new possibilities the application of the photovoltaic cells in agriculture and agro-alimentary industry, obtained by their use to produce the hydrogen by electrolyze. The principal condition of the high efficiency of the process, is fitting the photovoltaic cell with the electrolyser. In the paper are presented mathematics models of the elektrolyser and photovoltaic cell and also the simulation their mutually fitting. The optimal condition of the fitting were established. It permit to obtain the maximal efficiency of the all process of the transformation the solar energy into the energy stocked into hydrogen fuel.

Key words: photovoltaic cell, electrolyser, hydrogen

Marek Adamiec, Katedra Pojazdów Samochodowych Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

Marek Kuna-Broniowski, Zakład Elektrotechniki i Systemów Pomiarowych Akademii Rolniczej w Lublinie, ul. Doświadczalna 50a, 20-218 Lublin

Izabela Kuna-Broniowska, Katedra Zastosowań Matematyki Akademii Rolniczej w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin