

Artur BUGAŁA\*  
Grażyna FRYDRYCHOWICZ-JASTRZĘBSKA\*

## **BILANS EKONOMICZNY PRACY UKŁADÓW NADAŻNYCH W FOTOWOLTAICE DLA LOKALNYCH WARUNKÓW MIEJSKICH**

W pracy przeprowadzono rozważania, dotyczące aspektów ekonomicznych stosowania układów nadążnych dwuosioowych w fotowoltaice, celem zwiększenia wartości produkowanej energii elektrycznej, w stosunku do analogicznych konstrukcji stacjonarnych. Na podstawie kosztów jednostkowych układów przeprowadzono symulację wartości energii do mocy maksymalnej 1 kWp. Uwzględniono przy tym zużycie energii przez elementy wykonawcze jednostki nadążnej w rozpatrywanym okresie, koszty serwisu oraz zwiększone nakłady początkowe, wynikające z wykonania układu nadążnego. Oszacowano okres zwrotu inwestycji w obu przypadkach dla dwóch wariantów rozliczenia wyprodukowanej energii.

SŁOWA KLUCZOWE: układ nadążny, układ stacjonarny, ekonomia, konwersja fotowoltaiczna

### **1. WSTĘP**

Aspekt ekonomiczny instalowania i eksploatacji układu fotowoltaicznego stanowi często złożony problem, a jego rozwiązanie wymaga uwzględnienia rodzaju i mocy instalacji, dostępnej powierzchni, technologii produkcji modułów, aktualnej ceny energii elektrycznej, możliwości wsparcia ze strony państwa lub władz lokalnych. Trudnym do jednoznacznego określenia jest rozkład nasłonecznienia, który determinuje roczny zysk energii. Dla jednostki nadążnej koszty dodatkowe inwestycji mogą być o około 30 % wyższe niż analogicznej stałopozycyjnej i nie można pominąć zużycia energii na potrzeby własne układu sterowania [1].

Systemy stacjonarne pracują z modułami zainstalowanymi w jednym całorocznym ustawieniu (optymalnym), determinowanym przez kąt pochylenia do podłoża i kąt azymutu. Układy zmiennopozycyjne umożliwiają ciągłe dostosowywanie ustawienia płaszczyzny modułu PV do aktualnych warunków celem maksymalizacji zysków.

W wyniku zastosowania płaszczyzny nadążnej jako miejsca instalacji modułów PV, można oczekiwać wzrostu produkcji energii elektrycznej nawet na poziomie 40-45 %, dla rozwiązań dwuosioowych oraz o około 30 % przy pracy jednoosiowej

---

\* Politechnika Poznańska.

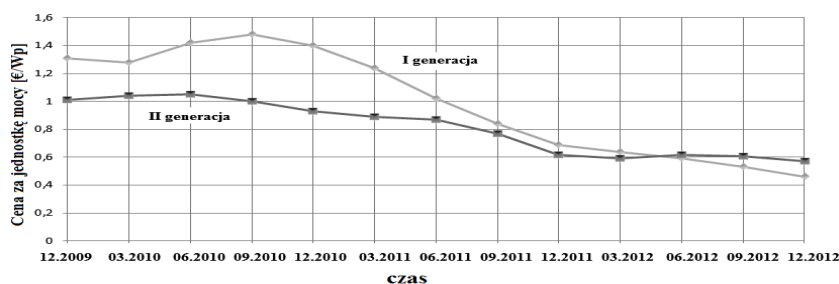
[1, 2, 3]. Oprócz szacunkowego wzrostu produkowanej energii należy uwzględnić także zwiększony koszt serwisowania. Dobrą praktyką jest zatem dysponowanie, w miejscu pracy układu, dodatkowymi elementami układu.

Aspektem o kluczowym znaczeniu, przy ocenie opłacalności eksploatacji układów PV, jest polityka władz w zakresie stosowania odnawialnych źródeł energii i proponowany model wsparcia. W wielu przypadkach czas zwrotu inwestycji jest porównywalny z czasem życia modułów, dlatego tak istotne jest dodatkowe finansowanie ze strony państwa i bonifikata z tytułu lokalnej produkcji energii elektrycznej. Sprawne mechanizmy wsparcia umożliwiają osiągnięcie parytetu, czyli konkurencyjności czystej energii w stosunku do pozyskiwanej ze źródeł konwencjonalnych. Jednym z mechanizmów jest wprowadzenie stawek gwarantowanych na odkupowaną przez zakład energetyczny energię z OZE, przez 20-letni okres. Ceny odkupu powinny być wyższe niż w przypadku energii pozyskiwanej tradycyjnie. Mechanizm ten dobrze funkcjonuje w Niemczech.

## 2. KOSZT ELEMENTÓW INSTALACJI

Na całkowity koszt układu fotowoltaicznego stacjonarnego składają się: koszt modułu, falownika (przy pracy on-line) oraz konstrukcji wsporczej. Średnia cena modułów fotowoltaicznych cienkowarstwowych za 1 Wp w grudniu 2013 roku wynosiła 0,65 € (0,45-1,1 €), dla modułów krzemowych 0,59 €/Wp [4]. Rozpiętość cenowa zależy od własności materiałowych i technologii, co z kolei przekłada się na okres bezawaryjnej pracy. Cena modułów fotowoltaicznych w dalszym ciągu wykazuje tendencję zniżkową.

Na rysunku 1 przedstawiono dynamikę zmian cen modułów krzemowych (I generacja) oraz cienkowarstwowych (II generacja) w okresie od grudnia 2009 do grudnia 2012 roku.



Rys. 1. Przebieg zmienności cen modułów w okresie 2009-2012 [4]

Przy wyborze modułów należy kierować się wymogami w odniesieniu do planowanego przeznaczenia. Dla mikroinstalacji o mocy do 40 kWp koszt modułów szacuje się na około 40 % kosztu całej inwestycji. W przypadku

analizowanego układu koszt modułu polikrystalicznego I generacji o mocy 210 Wp firmy Yohkon wyniósł 730 zł (0,81 €/Wp).

Na rysunku 2 przedstawiono widok układów PV z wykorzystaniem których dokonano długookresowych pomiarów produkcji energii elektrycznej i oceny ekonomicznej.



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe z układem stacjonarnym i nadążnym

Znaczący udział w kosztach inwestycji (nawet 35%) ma przemiennik DC/AC. W przypadku analizowanego układu stacjonarnego koszt zakupu mikroinwertera o mocy 240 W firmy Enecsys wyniósł 672 zł. Koszt systemu mocowań modułów do konstrukcji wsporczych montowanych na dachu skośnym szacuje się na około 10 % sumarycznych kosztów. Montaż na płaskim dachu implikuje 1,7-krotny wzrost wydatków. Parametry elektryczne i nieelektryczne modułów oraz falowników zastosowanych w rozpatrywanych układach przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry modułów i falowników w badanych układach

<b>I.p.</b>	<b>Parametr elektryczny modułu</b>	<b>Wartość</b>
1	Moc maksymalna	210 Wp
2	Napięcie w punkcie mocy maksymalnej	29,64 V
3	Prąd w punkcie mocy maksymalnej	6,98 A
4	Napięcie obwodu otwartego	35,94 V
5	Prąd zwarcia	7,6 A
6	Sprawność	12,61 %
7	Tolerancja mocy	+/- 3 %
-	<b>Parametry mikroinwertera DC/AC</b>	<b>Wartość</b>
1	Nominalna moc wejściowa	240 W
2	Maksymalne napięcie DC	44 V
3	Minimalne napięcie DC	20 V
4	Zakres napięć MPPT	23 V...35 V
5	Maksymalny prąd wejściowy	12 A
6	Zakres temperaturowy pracy	-40 °C...85 °C
7	Stopień ochrony przed wodą i pyłem	IP66
8	Chłodzenie	Naturalne

### 3. EKONOMICZNA ANALIZA SYSTEMU PV

Przy obliczaniu opłacalności instalacji fotowoltaicznej, zarówno w konfiguracji stacjonarnej jak i nadążnej modułów PV, rozpatrzyć należy dwie możliwości rozliczenia wyprodukowanej energii elektrycznej:

- część energii elektrycznej jest wykorzystana na potrzeby własne, co daje oszczędność około 0,56 zł/kWh brutto. Nadwyżka produkowanej energii sprzedawana jest do sieci w cenie 0,156 zł/kWh, co stanowi 80% średniej ceny energii elektrycznej za poprzedni rok.

$$K_{odk.} = 0,8 \cdot 195 \text{ zł} / MWh \quad (1)$$

- odkup energii elektrycznej po stawkach gwarantowanych [5] (na podstawie przewidywań ustawy o odnawialnych źródłach energii). I tak:
  - a) instalacje PV o mocy maksymalnej 10 kWp na konstrukcji budowlanej 1,30 zł/kWh,
  - b) instalacje PV o mocy maksymalnej 10 kWp poza budynkiem 1,15 zł/kWh,
  - c) instalacje PV o mocy większej niż 10 kWp nie przekraczającej 100 kWp na budynku 1,15 zł/kWh,
  - d) instalacje PV o mocy większej niż 10 kWp nie przekraczającej 100 kWp poza budynkiem 1,10 zł/kWh.

Analizie ekonomicznej poddano instalację o mocy 1,05 kWp, co odpowiada 5 jednostkom mocy maksymalnej 210 Wp. Pojedyncza jednostka stanowi rzeczywisty obiekt badań. W układzie stacjonarnym oszacowano roczną produkcję energii na poziomie 1016,4 kWh, a w nadążnym (po uwzględnieniu strat na sterowanie) 1244,5 kWh. W skali roku założono spadek wydajności o 0,7 % i 5 % wzrost cen energii, stały nieuwzględniający zmiany wartości pieniądza w czasie koszt prac serwisowych, 100 zł dla układu stacjonarnego i 150 zł dla nadążnego.

#### *Wariant nr 1*

Produkcja energii elektrycznej przez oba układy fotowoltaiczne będzie wykorzystywana na potrzeby własne bytowe, a nadwyżka odsprzedawana do sieci po cenie 0,156 zł/kWh (wg zmian w ustawie OZE z listopada 2013 roku). Przeznaczenie części energii do zasilenia grzałki elektrycznej do podgrzania wody użytkowej w wyniku częściowego zastąpienia ogrzewania gazowego wiąże się z oszczędnością rzędu 0,3 zł/kWh.

Bilans wyprodukowanej energii przedstawiono na rysunku 3.

Interpretację graficzną wartości dochodu wynikającego z przyjętego sposobu rozliczenia w odniesieniu do kosztów inwestycyjnych w obu układach przedstawiono na rysunku 4 i 5.

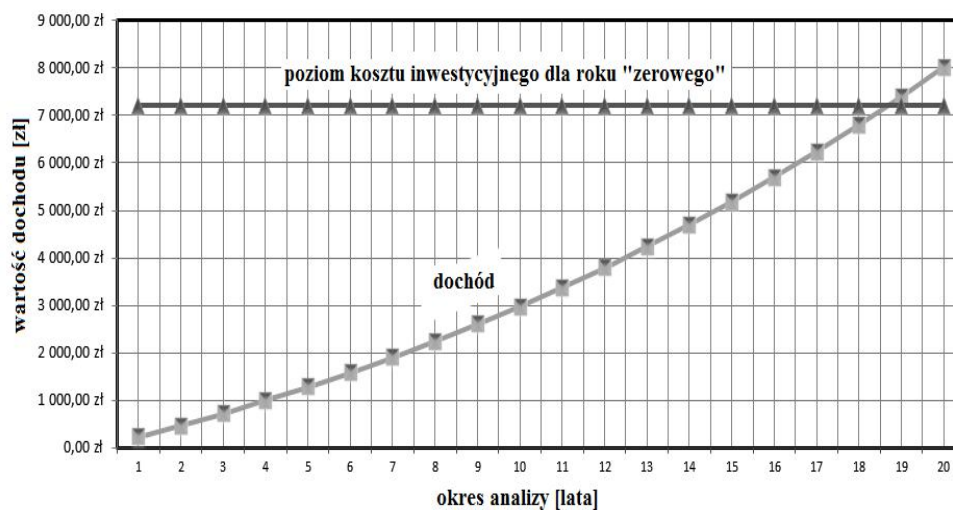
#### *Wariant nr 2*

Zasadnicza część wyprodukowanej energii zostanie oddana do sieci ze stawkami odkupu (ustawa o OZE) 1,3 zł/kWh. Na podstawie przeprowadzonej

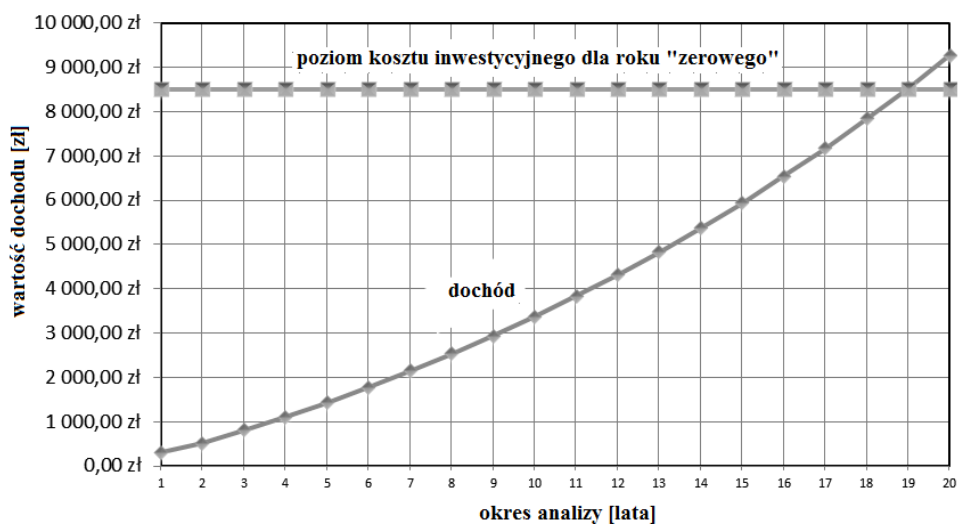
analizy ekonomicznej zinterpretowano graficznie wyniki obliczeń, przy czym wyznaczono okres zwrotu dla obu układów, rys. 6 i 7.



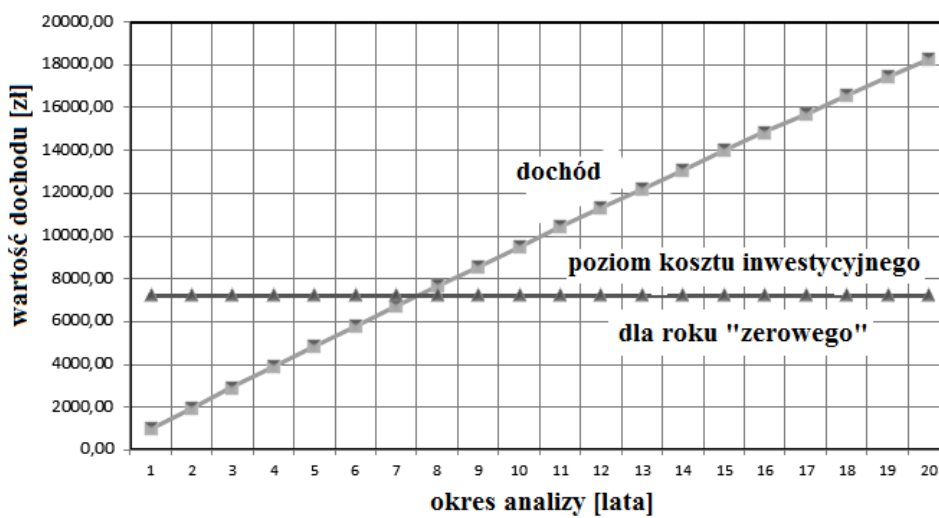
Rys. 3. Bilans wykorzystania produkowanej energii



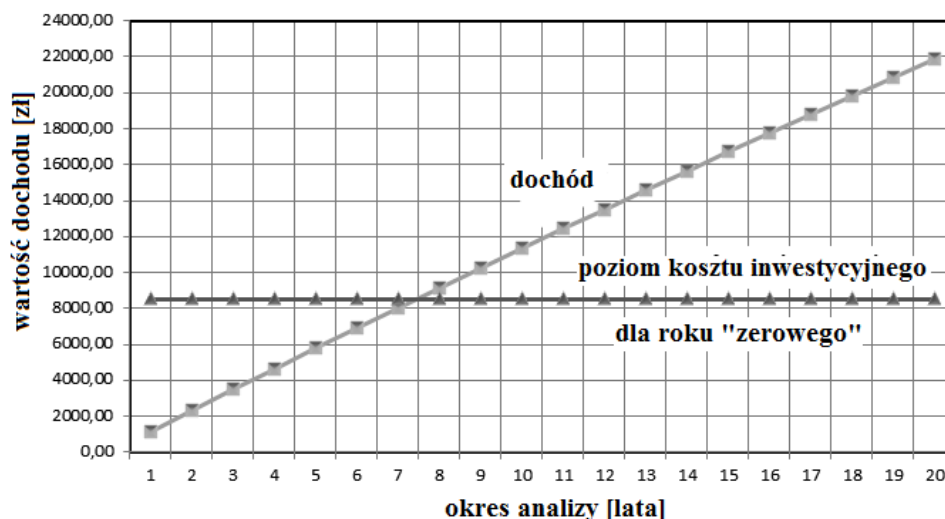
Rys. 4. Wartość dochodu w stosunku do nakładów dla układu stacjonarnego



Rys. 5. Wartość dochodu w stosunku do nakładów dla układu nadążnego



Rys. 6. Wartość dochodu wynikającego z przyjętego sposobu rozliczenia w stosunku do nakładów dla układu stacjonarnego



Rys. 7. Wartość dochodu wynikającego z przyjętego sposobu rozliczenia w stosunku do nakładów dla układu nadążnego

#### 4. PODSUMOWANIE

- Przy wyznaczaniu okresu zwrotu inwestycji PV należy wziąć pod uwagę czynniki klimatyczne, technologiczne, eksploatacyjne i finansowe.
- Wielkość produkowanej energii zależy od nasłonecznienia, liczby godzin słonecznych, technologii produkcji modułów i jakości ich wykonania, temperatury pracy, a przede wszystkim sposobu pracy.
- Opłacalność inwestycji zależy od modelu wsparcia proponowanego przez państwo, wysokości dopłat i ceny energii, np. zgodnie z czwartą wersją projektu ustawy OZE, przyłączenie instalacji o mocy do 40 kWp jest bezpłatne. Ważna jest cena odkupu energii, sposób rozliczania energii netto.
- Na podstawie przeprowadzonej analizy określono okres zwrotu inwestycji, dla instalacji stacjonarnej oraz nadążnej dwuosiowej. Dla wariantu I, przy stosunkowo dużym wykorzystaniu energii na potrzeby własne, okres zwrotu inwestycji wynosi 19 lat dla obu układów. W II przypadku, przy uwzględnieniu stawek feed in tariff, czas zwrotu dla układu stacjonarnego wynosi 7 lat, a dla konstrukcji nadążnej 6 lat i 10 miesięcy.
- Współczynnik wykorzystania własnego, rozumiany jako różnica między energią skonsumowaną a przekazaną do sieci, powinien być jak największy.
- Obecnie stawki feed-in będą ustalane na podstawie systemu aukcyjnego, indywidualnie dla każdego inwestora na okres 15 lat [6].

## LITERATURA

- [1] Dhanabal R., et al.: Comparison of efficiencies of solar tracker systems with static panel single-axis tracking system and dual-axis tracking system with fixed mount, *International Journal of Engineering and Technology*, 5, 2013, s. 1925-1932.
- [2] Serhan M., El-Chaar L.: Two axes sun tracking system: Comparison with a fixed system, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality, ICREPQ'10*, 2010.
- [3] Jastrzębska G., Bugała A.: Comparison of the efficiency of solar modules operating with a two-axis follow-up system and with a fixed mount system, *Przegląd Elektrotechniczny*, 1, 2014, s. 63-65.
- [4] <http://www.ensolar.com/> (dostęp: 10.11.2013r.)
- [5] Szymański B.: *Instalacje fotowoltaiczne*, wydanie II, Geosystem, 2013.
- [6] Projekt ustawy o odnawialnych źródłach energii, Projekt z dnia 31.12.2013, Wersja 4.1, s. 46-66.

### **ECONOMIC BALANCE FOR TRACKING SYSTEMS IN PHOTOVOLTAICS FOR LOCAL URBAN CONDITIONS**

The work presents considerations on the economic aspects of the use of two-axis tracking system in photovoltaics, in order to increase the value of energy produced, comparing to the stationary structure. In calculations energy consumption of the actuators, maintenance costs and increased initial costs were taken into account. Payback period in both cases for the two variants was estimated.