

## Efektywność ekonomiczna funkcjonowania mikroinstalacji fotowoltaicznych wykorzystywanych przez prosumenta

### Economic cost-effectiveness of photovoltaic micro-installations used by prosumer

Bartosz Soliński, Józef Kała

Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie

**Streszczenie.** Wytwarzanie energii z odnawialnych źródeł ma szereg zalet, do których można zaliczyć m.in. pozyskanie darmowej odnawialnej w czasie i ekologicznej energii czy też uniezależnienie od dostaw energii z sieci. Dzięki tym zaletom i znaczącym spadkom cen modułów fotowoltaicznych, w ostatnim czasie, wykorzystanie odnawialnych źródeł energii do produkcji energii elektrycznej zyskuje coraz większą popularność. Wprowadzenie w systemie prawnym instytucji prosumenta, szeregu ułatwień administracyjnych, a także szeregu mechanizmów pozwalających na bilansowanie netto zużytej i wyprodukowanej przez mikro-instalację energii (ang. *net metering*), znacząco zwiększyło wielkość mocy zainstalowanej w systemach fotowoltaicznych. W artykule przedstawiono analizy efektywności ekonomicznej mikroinstalacji prosumenckiej wykorzystywanej w małym wiejskim gospodarstwie domowym. W analizach zbadano wpływ wybranych czynników, które w sposób decydujący oddziałują na poziom opłacalności ekonomicznej tego typu systemów wytwórczych. W analizach wykorzystano zarówno dane szacunkowe, jak i rzeczywiste, z funkcjonującej instalacji fotowoltaicznej, ukazując na ich podstawie istotne różnice w szacunkach energetycznych wpływające na ocenę efektywności ekonomicznej.

**Słowa kluczowe:** fotowoltaika, analiza opłacalności, mikroinstalacja, prosument

**Abstract.** Energy generation in renewable sources has several advantages, including free and green energy and independence energy supply from a grid. Thanks to these advantages and significant decreases in the prices of photovoltaic modules, recently, the use of renewable energy sources for electricity has become increasingly popular. A number of administrative facilities, as well as a number of mechanisms for balancing (*net metering*), have significantly increased the installed capacity in photovoltaic systems. The article presents economic efficiency analyzes of photovoltaic plant used in a small rural household. The analyzes examined the influence of selected factors, which decisively influence on the economic profitability level of this generation systems type. The analyzes

used both estimates (model) and actual data from a functioning photovoltaic installation, showing them significant differences in energy estimates influencing the assessment of economic efficiency.

**Keywords:** photovoltaics, cost-effectiveness analysis, micro-installation, prosumer

## Wstęp

Wytwarzanie energii z odnawialnych źródeł ma szereg zalet, do których można zaliczyć m.in. pozyskanie darmowej odnawialnej w czasie i ekologicznej energii czy też uniezależnienie od dostaw energii z sieci (Lewandowski, 2006; Soliński, 2015; Gasparatos i in., 2017). W ostatnim czasie wykorzystanie odnawialnych źródeł do produkcji energii elektrycznej zyskuje coraz większą popularność na świecie. Wynika to z kilku czynników, z których dominującymi są przede wszystkim czynniki natury ekonomicznej, związane z coraz większą redukcją kosztów instalacji fotowoltaicznych, istniejącego systemu wsparcia (prosumenckiego) oraz możliwości uzyskania dotacji, czy też preferencyjnego kredytowania dla tego typu instalacji.

Jednym z głównych problemów towarzyszących wytwarzaniu energii opartej na promieniowaniu słonecznym jest duża zmienność wielkości jej wytwarzania, wynikająca z zależności ilości produkowanej energii od aktualnych warunków pogodowych. Z jednej strony przenosi się to na niepewność szacunków energetycznych dla planowanych instalacji, a z drugiej ciągłą zmienność w czasie wpływającą na konieczność jej bilansowania. Wprowadzenie w systemie prawnym instytucji prosumenta, a także szeregu mechanizmów pozwalających na bilansowanie netto zużytej i wyprodukowanej przez mikroinstalację energii (ang. *net metering*), co znacząco redukuje niedogodności dla prosumenta.

W małych gospodarstwach rolnych prowadzących działalność rolną istnieje większe zapotrzebowanie na energię elektryczną, która jest zużywana m.in. do podgrzewania wody wykorzystywanej w hodowli zwierząt (pojenie, mycie), oświetlenia budynków gospodarczych czy też działania urządzeń elektrycznych. Jednocześnie gospodarstwa te dysponują budynkami gospodarczymi z dużymi połaciami dachowymi, na których często istnieje możliwość instalacji modułów fotowoltaicznych.

## Cel, materiał i metoda badawcza

Wprowadzenie nowego systemu wsparcia mikroinstalacji istotnie zmieniło zasady i reguły rozliczania energii oddanej do sieci przez wytwórcę (prosumenta). Zmiany te mają odzwierciedlenie w kształtowaniu się opłacalności tego rodzaju inwestycji.

Celem badań było przedstawienie analizy efektywności ekonomicznej mikroinstalacji prosumenckiej wykorzystywanej w małym wiejskim gospodarstwie. Badaniem objęto instalację fotowoltaiczną (PV) małej mocy, która była zlokalizowana w Polsce Południowej. Dane dotyczące produktywności instalacji fotowoltaicznej pozyskano z bazy danych PV-GIS (ang. *Solar radiation database: SAF PVGIS-classic*), która zawiera uaktualnione dane o natężeniu promieniowania słonecznego w miejscu instalacji

badanej elektrowni PV, oraz wyznaczono na podstawie rzeczywistych odczytów energetycznych badanej instalacji PV.

W analizie zbadano wpływ szeregu czynników, które w sposób decydujący oddziałują na poziom opłacalności ekonomicznej. W analizach wykorzystano zarówno dane szacunkowe, jak i rzeczywiste, z funkcjonującej instalacji fotowoltaicznej, ukazując na ich podstawie istotne różnice w szacunkach energetycznych wpływające na ocenę efektywności ekonomicznej.

W badaniach wykorzystano następujące metody oceny efektywności ekonomicznej:

- prosty okres zwrotu,
- wartość zaktualizowaną netto (*NPV*),
- wewnętrzną stopę zwrotu (*IRR*).

Prosta stopa zwrotu informuje nas o okresie, w jakim przyszłe efekty inwestycji (w tym przypadku oszczędności energii i związane z tym efekty finansowe) zrównają się z poniesionymi nakładami inwestycyjnymi. Z kolei wartość zaktualizowana netto (*NPV*) pozwala określić obecną wartość wpływów i wydatków pieniężnych związanych z realizacją inwestycji. Wartość zaktualizowaną netto można określić jako zaktualizowaną na moment przeprowadzenia oceny korzyści, jakie może przynieść realizacja danego projektu. Do jej wyznaczenia wykorzystuje się wzór (1):

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{E_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

w którym:

$CF_t$  – strumień pieniężny w okresie  $t$ ,

$r$  – koszt kapitału (stopa dyskontowa),

$t$  – kolejny rok okresu obliczeniowego  $t = (0, 1, 2, 3 \dots, n)$ ,

Kryterium oceny projektu jest w tym przypadku oparte na wartości *NPV*. Gdy  $NPV > 0$  to projekt może być realizowany, a gdy  $NPV = 0$  to decyzja jest niejednoznaczna, projekt może ale nie musi być realizowany. Natomiast gdy  $NPV < 0$  to projekt powinien zostać odrzucony, czyli nie powinno się podejmować decyzji związanej z realizacją danego przedsięwzięcia.

Wewnętrzna stopa zwrotu (*IRR*) jest to taka wielkość stopy dyskontowej  $r$  – oznaczana jako *IRR* – przy której następuje zrównanie zdyskontowanych wpływów ze zdyskontowanymi wydatkami lub – co jest równoznaczne – gdy wartość  $NPV = 0$ . Informuje ona w sposób bezpośredni o stopie rentowności danego przedsięwzięcia. Wewnętrzną stopę zwrotu *IRR* można wyznaczyć ze wzoru (2):

$$IRR = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=1}^n E_t (1 + IRR)^{(n-t)}}{E_0}} - 1 \quad (2)$$

Wielkość *IRR* można interpretować jako stopę zwrotu zainwestowanego kapitału lub jako graniczny koszt, po jakim może być zgromadzony kapitał na sfinansowanie danego przedsięwzięcia.

## System wsparcia mikroinstalacji fotowoltaicznych dla prosumentów

W dniu 1 lipca 2016 r. weszła w życie ustawa z dnia 22 czerwca 2016 r. o zmianie ustawy z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz. U. z 2015, poz. 478 z późn. zm.), opublikowana w Dz. U. z 2016 r. poz. 925, zwanej dalej ustawą o OZE, która wprowadziła nowe zasady rozliczenia energii elektrycznej dla klientów indywidualnych, zwanych dalej prosumentami. Ustawa ta mianem prosumenta określa odbiorcę końcowego dokonującego zakupu energii elektrycznej na podstawie umowy kompleksowej, wytwarzającego energię elektryczną, wyłącznie z odnawialnych źródeł energii w mikroinstalacji, w celu jej zużycia na potrzeby własne, niezwiązane z wykonywaną działalnością gospodarczą, regulowaną ustawą z dnia 2 lipca 2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej (Dz. U. z 2015 r. poz. 584 z późn. zm.).

W ustawie mikroinstalacja została zdefiniowana jako instalacja odnawialnego źródła energii o łącznej mocy zainstalowanej energii elektrycznej nie większej niż 40 kW, przyłączona do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV lub o mocy osiągalnej cieplnej w skojarzeniu nie większej niż 120 kW. Wytwarzanie w mikroinstalacji i wprowadzanie do sieci energii elektrycznej przez prosumenta nie stanowi działalności gospodarczej w rozumieniu ustawy o swobodzie działalności gospodarczej. Nie jest też świadczeniem usług ani sprzedażą w rozumieniu ustawy z dnia 11 marca 2004 r. o podatku od towarów i usług (tj. Dz. U. z 2016 r. poz. 710 z późn. zm.).

Przy użytkowaniu instalacji fotowoltaicznej, w pierwszej kolejności, wyprodukowana energia elektryczna jest zużywana na zaspokojenie bieżących potrzeb gospodarstwa domowego. Jeżeli produkcja energii jest większa niż wynosi bieżące zużycie, wytworzona nadwyżka jest oddawana do sieci energetycznej. Ustawa wprowadza tzw. *net-metering*, czyli system rozliczenia okresowego w formie opustu do faktury:

- w przypadku instalacji do 10 kW: 0,8 kWh (energii pobranej) dla każdej 1 kWh energii wprowadzonej przez prosumenta do sieci elektroenergetycznej,
- w przypadku instalacji powyżej 10 kW: 0,7 kWh (energii pobranej) dla każdej 1 kWh energii wprowadzonej przez prosumenta do sieci elektroenergetycznej.

Sprzedawca dokonuje rozliczenia ilości energii elektrycznej wprowadzonej i pobranej z sieci przez prosumenta zgodnie z okresami przyjętymi w umowie kompleksowej – najczęściej 6 miesięcy.

Ilość wprowadzonej i pobranej przez prosumenta energii jest rozliczana po wcześniejszym sumarycznym bilansowaniu ilości energii ze wszystkich faz dla trójfazowych mikroinstalacji. Od ilości rozliczonej energii elektrycznej, prosument nie uiszcza:

- na rzecz sprzedawcy – opłat z tytułu jej rozliczenia,
- opłat za usługę dystrybucji.

Nadwyżką energii elektrycznej wprowadzonej przez prosumenta do sieci, wobec ilości energii pobranej przez niego z tej sieci, dysponuje sprzedawca, w celu pokrycia kosztów rozliczenia, w tym opłat (m.in. za usługę dystrybucji). Na wykorzystanie nadwyżek wyprodukowanej energii oraz energii wprowadzonej do sieci nie wcześniej niż 1 lipca 2016 r., prosument posiada 365 dni od daty odczytu rozliczeniowego, po upływie powyższego okresu traci taką możliwość.

Zgodnie z ustawą o odnawialnych źródłach energii prosument ma obowiązek rozliczenia energii elektrycznej na podstawie zawartej umowy kompleksowej. Podmiot posiadający rozdzielone umowy nie może zostać uznany za prosumenta i podlegać rozliczeniom uwzględniającym opusty.

## Czynniki wpływające na efektywność ekonomiczną i energetyczną instalacji fotowoltaicznej w obecnym systemie prosument

Decydując się na montaż instalacji fotowoltaicznej, należy wziąć pod uwagę szereg czynników. Do głównych z nich możemy zaliczyć:

- dostępną moc przyłączeniową,
- typ instalacji (jednofazowa, trójfazowa),
- aktualne zużycie energii elektrycznej,
- powierzchnię do zainstalowania instalacji (powierzchnię dachu), jej nośność oraz orientację i deklinację.

Kolejne czynniki związane będą z dalszymi perspektywami i możliwościami przeorientowania funkcjonowania gospodarstwa domowego w kierunku zwiększenia zużycia energii, np. poprzez elektryczne ogrzewanie wody użytkowej, zasilanie samochodu elektrycznego czy też w kierunku zmniejszenia zużycia energii, np. instalacja oświetlenia led.

Wszystkie wyżej wymienione czynniki będą determinowały optymalną wielkość mocy do instalacji w systemie fotowoltaicznym. Jeśli założymy, że moc przyłączeniowa dla budynku jednorodzinnego to z reguły około 10 kW, wtedy bez dodatkowych formalności istnieje możliwość montażu instalacji fotowoltaicznej. W takim zakresie mocy, zgodnie z ustawą o odnawialnych źródłach energii, można zastosować najkorzystniejszy współczynnik bilansowania na poziomie 0,8.

## Technologie wykorzystania energii Słońca – ogniwa fotowoltaiczne

Ogniwa fotowoltaiczne są przykładem bezpośredniego wykorzystania energii promieniowania słonecznego. W wyniku konwersji fotowoltaicznej wytwarzają energię elektryczną prądu stałego. Od momentu zaobserwowania zjawiska fotowoltaicznego

poszukiwano materiałów, które posiadałyby optymalne właściwości fotoelektryczne, jednakże dopiero od połowy XX w. zaobserwowano nasilenie badań nad właściwościami materiałów na większą skalę. Najbardziej popularnym obecnie materiałem w fotowoltaice jest krzem i w przypadku jego wykorzystania stosuje się dwa typy ogniw (Soliński i in., 2015):

- ogniwa monokrystaliczne – charakteryzujące się dobrą sprawnością konwersji fotowoltaicznej w produkcji komercyjnej, która waha się w granicach 15–18%, natomiast w laboratoriach wynieść może nawet 25%,
- ogniwa polikrystaliczne – charakteryzujące się stosunkowo prostym procesem wytwarzania, niższymi kosztami w stosunku do ogniw monokrystalicznych, a ich sprawność konwersji fotowoltaicznej w produkcji komercyjnej waha się w granicach 13–16%, a w laboratoriach około 20%.

Prowadzone są badania nad innymi materiałami półprzewodnikowymi, które często mają lepsze właściwości energetyczne niż krzem.

Jednak ogniwa fotowoltaiczne i budowane z ich wykorzystaniem moduły, a następnie panele fotowoltaiczne, nie są jedynymi elementami składowymi elektrowni fotowoltaicznej. W skład typowego systemu fotowoltaicznego wchodzi (Soliński i in., 2015):

- moduły fotowoltaiczne,
- inwerter sieciowy DC/AC – służący do zamiany prądu stałego na prąd przemienny, a ponadto mający zdolność synchronizowania się z siecią energetyczną,
- infrastruktura elektryczna systemu fotowoltaicznego, w tym kable połączeniowe układu PV (odporne na działanie promieni UV i czynników atmosferycznych) oraz konektory połączeniowe,
- systemy montażowe modułów fotowoltaicznych.

## Wydajność energetyczna elektrowni fotowoltaicznej

Pierwszym krokiem przy projektowaniu systemu fotowoltaicznego jest określenie mocy jednostki wytwórczej, zależnej od przyszłego wykorzystania elektrowni i możliwości instalacyjnych. Na podstawie przewidywanego zapotrzebowania na energię elektryczną oraz wiedzy na temat lokalnych warunków słonecznych można w przybliżeniu wyliczyć moc elektrowni słonecznej.

Istnieje wiele sposobów doboru mocy instalacji, ze względu na różne kryteria m.in. prawdopodobieństwo utraty dostaw (LLPP), dostosowanie do maksymalnego obciążenia krótkoterminowego, dostosowanie do zapotrzebowania w danym okresie czasu czy też kryteria związane z bilansowaniem zapotrzebowania na energię lub kosztami (zob. Mahesh i Sandhu, 2015).

Analizując obecny stan prawny w Polsce dla mikroinstalacji wykorzystywanej przez prosumenta (przedstawiony powyżej) najlepszym sposobem będzie podejście związane z bilansowaniem rocznym, czyli minimalizacją różnicy pomiędzy zapotrzebowaniem gospodarstwa domowego na energię w ciągu roku a energią wytworzoną

przez instalację fotowoltaiczną. Należy przy tym mieć na uwadze nadwyżkę wielkości energii, która zostanie rozliczona ze współczynnikiem 0,8.

Poniżej przedstawiono dwie analizy produktywności: pierwszą bazującą na danych szacunkowych (modelowych), a drugą na danych rzeczywiste funkcjonującej instalacji fotowoltaicznej, w celu pokazania występujących różnic i problemów związanych z szacunkiem efektywności ekonomicznej i energetycznej, bazujących na danych szacunkowych.

Badana instalacja fotowoltaiczna zlokalizowana jest w Polsce Południowej i charakteryzuje się następującymi wartościami inklinacji i orientacji w stosunku do kierunku południowego (inklinacja: 39 stopni, orientacja -30 stopni) oraz następującymi parametrami technicznymi: 19 sztuk modułów fotowoltaicznych REC 260PE o łącznej mocy 4,94 kWp oraz inwerter ABB TRIO 8,5 TL.

## Dane szacunkowe dotyczące efektywności energetycznej instalacji fotowoltaicznej

W celu wyznaczenia wydajności energetycznej z elektrowni fotowoltaicznej wykorzystano bazę danych PV-GIS (ang. *Solar radiationdatabase*: SAF PVGIS-classic) zawierającą uaktualnione dane o natężeniu promieniowania słonecznego w miejscu instalacji badanej elektrowni. Obliczeń dokonano dla południowej części Polski. Według wyliczeń w badanej lokalizacji wyniosła ona 4610 kWh rocznie.

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- kąt nachylenia paneli 39°,
- moduły fotowoltaiczne w technologii krzemowej,
- sprawność konwersji 14%,
- moc zainstalowana 4,9 kW,
- straty temperaturowe 7,2%,
- straty odbiciowe 3,1%,
- pozostałe straty (przesył energii, inwerter) 14%.

W tabeli 1 przedstawiono wielkości średniej miesięcznej produktywności uzyskanej z badanej lokalizacji dla danych modelowych i rzeczywistych.

Należy pamiętać o możliwej zmienności zasobów oraz zmniejszeniu sprawności PV w ciągu kolejnych lat (średnio ok. 1% w ciągu roku), a także wpływie lokalnych warunków na bieżącą sprawność systemu, np. oblodzenie czy zwiększone opady śniegu, usytuowanie w nieoptymalnym kierunku i płaszczyźnie (kątzie), zacienienie. Dodatkowo należy uwzględnić możliwości zwiększenia lub zmniejszenia zużycia energii w przyszłości, w wyniku wykorzystania dodatkowych urządzeń (np. klimatyzacji) lub zastosowania rozwiązań energooszczędnych (np. oświetlenie led), czy też przeznaczenia energii na inne cele (np. przygotowanie CWU).

**Tabela 1.** Miesięczne produktywność instalacji fotowoltaicznej – dane szacunkowe (modelowe) i rzeczywiste**Table 1.** The monthly productivity of the photovoltaic installation – estimated (model) and actual

Miesiąc / Month	Miesięczna produkcja – dane modelowe (kWh) Monthly production – model data (kWh)	Miesięczna produkcja – dane rzeczywiste (kWh) Monthly production – real data (kWh)
Styczeń / January	138	214
Luty / February	202	235
Marzec / March	418	400
Kwiecień / April	548	452
Maj / May	575	674
Czerwiec / June	556	744
Lipiec / July	586	639
Sierpień / August	561	694
Wrzesień / September	426	564
Październik / October	314	245
Listopad / November	167	156
Grudzień / December	121	155
Średnia miesięczna wielkość energii (dla całego roku) / Average monthly energy generation (for the whole year)	384	431
Całkowita wielkość energii wytworzona w ciągu roku / Total energy generation during the year	4610	5173

*Źródło:* Opracowanie własne.

*Source:* Autor's study.

## Dane rzeczywiste dotyczące efektywności energetycznej instalacji fotowoltaicznej

Wydajność energetyczną wyznaczono na podstawie rzeczywistych odczytów energetycznych działającej instalacji PV w ciągu roku i wyniosła ona 5173 kWh/rok (tab. 1).

Warte zauważenia są też fakty związane z tym, że pracująca instalacja w zasadzie nigdy nie osiąga swojej mocy maksymalnej, co związane jest ze stratami temperatu-



rowymi modułów fotowoltaicznych. Maksymalna moc chwilowa badanej instalacja została osiągnięta 5 czerwca 2017 r. – na poziomie 4726 W, natomiast maksymalna wielkość dziennej produkcji została osiągnięta 2 czerwca 2017 r. – na poziomie 35 kWh.

## Ocena efektywności ekonomicznej elektrowni fotowoltaicznej

Do oceny efektywności ekonomicznej wykorzystano metody przedstawione powyżej oraz określono niezbędne założenia, które przedstawiono w tabeli 2. Nakłady inwestycyjne przyjęto na podstawie oferty rynkowej uzyskanej na badany system fotowoltaiczny, a do analiz kosztów przyjęto montaż modułów fotowoltaicznych wskazanych wcześniej (19 sztuk) o mocy łącznej 4,9 kW.

**Tabela 2.** Nakłady inwestycyjne i źródła finansowania  
**Table 2.** Investment cost and source of financing

Pozycja / Position	Wielkość / Quantity
Nakłady inwestycyjne / Investment cost	32 900 zł
Kwota dotacji / Amount of subsidy	40% nakładów inwestycyjnych 40% of investment cost
Kwota kredytu / Amount of loan	19 740 zł
Okres kredytowania / Loan period	60 miesięcy / 60 month
Oprocentowanie kredytu Credit interest rate	stała stopa 1% w stosunku rocznym Fixed annually rate 1%
Prowizja / Provision	3% kwoty kredytu / 3% amount of loan

Źródło: Opracowanie własne  
Source: Autor's study

Ze względu na to, że urządzenia te w zasadzie nie wymagają dozoru, w analizach pominięto koszty eksploatacyjne. Należy pamiętać, że koszty te związane są z obsługą, drobną naprawą elementów montażowych, przeglądami układu i w znaczącej części mogą być przeprowadzone samodzielnie przez właściciela gospodarstwa domowego, czy też małego gospodarstwa rolnego. Wyższe koszty eksploatacyjne mogą wystąpić po upływie gwarancji, jednak w tym uproszczonym rachunku zostały one pominięte.

Do analiz ekonomicznych wykorzystano przedstawione powyżej metody, przyjmując następujące założenia:

- okres analizy przyjęto na 15 lat, w którym ta instalacja może pracować z gwarantowaną mocą wyjściową (maksymalne zmniejszenie wydajności 0,7% rocznie, według danych producenta modułów),

- 40% energii będzie bezpośrednio zużywane a pozostała część zostanie przesłana do sieci elektroenergetycznej,
- cenę energii przyjęto dla ceny z taryfy G11 Tauron sprzedaż i dystrybucja, dającą kwotę 0,437 zł/kWh + VAT,
- stopa dyskontowa 2,5% (stopa oprocentowania długoterminowych obligacji skarbu państwa).

W tabeli 3 zestawiono wyniki uzyskane dla wyżej przedstawionych założeń i dla danych szacunkowych (modelowych) dotyczących wielkości energii oraz dla rzeczywistej wielkości energii wytworzonej w funkcjonującej instalacji fotowoltaicznej.

**Tabela 3.** Wyniki analiz ekonomicznych  
**Table 3.** Results of the economic analysis

Parametr / Parameter	Wartości dla danych szacunkowych Values for estimated data (model)	Wartości dla danych rzeczywistych Values for real data
wielkości bez uwzględnienia dotacji / quantities without subsidies		
NPV	-6 690 zł	-4 843 zł
SPBT – okres zwrotu / SPBT – payback period	16 lat	15 lat
wielkości po uwzględnieniu dotacji (40%) / quantities with subsidies (40%)		
NPV	6 149 zł	7 995 zł
SPBT – okres zwrotu / SPBT – payback period	10 lat	9 lat
IRR – wewnętrzna stopa zwrotu	7,3%	8,6%

*Źródło:* Opracowanie własne  
*Source:* Autor's study

## Wnioski

Wyniki analiz efektywności energetycznej i ekonomicznej jednoznacznie potwierdzają, że oparcie się na danych szacunkowych (modelowych) może znacząco odbiegać od danych rzeczywistych uzyskiwanych wielkości rocznej produkcji energii elektrycznej przez instalację. Należy też pamiętać, że badano jedynie jeden wybrany rok, a kolejne lata mogą się nieco różnić pod względem nasłonecznienia, co będzie miało pewien wpływ na otrzymane wyniki oceny ekonomicznej.

Uzyskane oszczędności zużycia energii (wynikające z pokrycia go produkcją własną) i związane z nimi oszczędności finansowe, na podstawie danych rzeczywistych okazały się bardziej korzystne. Z jednej strony instalacja wytwarza więcej energii niż wskazywały dane szacunkowe (modelowe), niestety z drugiej strony pokrycie energii bezpośrednio zużywanej (bilansowanie) wyniosło zaledwie 20%, co spowodowało konieczność magazynowania energii w sieci i następnie zastosowanie opustu 0,8. Niekorzystnie wpłynęło to na wykorzystanie instalacji i uzyskane oszczędności, ponieważ w pierwszym półroczu, wyprodukowano zbyt dużo energii w stosunku do zużycia i nawet po zastosowaniu przelicznika 0,8 nie odzyskano około 350 kWh (zostało to za darmo przekazane do sieci), a w drugim półroczu wielkość energii po opuszczeniu nie wystarczała do pokrycia zapotrzebowania i wystąpiła konieczność zapłaty za 142 kWh energii elektrycznej, którą można było pośrednio zbilansować z pierwszym półroczem.

Analizy ekonomiczne wykazały, że wykorzystanie tego rodzaju instalacji bez uzyskania dotacji jest nieopłacalne. Dopiero dotacja sprawia, że inwestycja staje się interesująca dla prosumenta, co pokazuje dodatnia wartość NPV. Okres zwrotu wynosi wtedy około 9 lat.

Przeprowadzone analizy wskazują też na kilka kolejnych wniosków dotyczących wykorzystania tego typu instalacji w małych gospodarstwach rolnych:

1. Moc instalacji fotowoltaicznej powinna być tak dobrana, by wyprodukowana energia elektryczna całkowicie bilansowała energię pobraną z sieci (należy uwzględnić to, że niezbilansowaną część energii odzyska się ze współczynnikiem 0,8).
2. Jak najwięcej energii było zużyte w momencie jej wytworzenia, wtedy jak najmniej energii będzie oddawane do sieci za darmo (nadwyżka po bilansowaniu i zastosowaniu opustów).
3. Bezprzedmiotowe jest rozważanie magazynowania energii elektrycznej wytworzonej w instalacjach fotowoltaicznych, dla których jest możliwość bilansowania i rozliczania netto z energią pobraną z sieci (ang. *net metering*), ponieważ jest to nieopłacalne.
4. Ze względu na ogólne bilansowanie wskazana jest instalacja trójfazowa.
5. Instalowanie elektrowni fotowoltaicznej o mocy powyżej 10 kW (bilansowanej współczynnikiem 0,7 do 1) należy rozważyć tylko wówczas, gdy jest potrzeba zużywania większej ilości energii elektrycznej, np.: w gospodarstwie rolnym dysponującym budynkami gospodarczymi z dużymi połączeniami dachowymi i dużą mocą przyłączeniową (np. do 40 kW), do ogrzewania domu czy też ładowania samochodu elektrycznego.

Wiedząc, że największą korzyść z instalacji fotowoltaicznej uzyska się wówczas, gdy jak najwięcej energii zostanie zużyte w momencie jej wytworzenia (energia zbilansowana), wydaje się, że gospodarstwa domowe powinny także rozważyć zmianę funkcjonowania tak, by pewne działania, np. pranie, gotowanie, prasowanie, podgrzewanie wody były czynione w momencie wytwarzania energii przez instalację fotowoltaiczną. Wykorzystanie instalacji fotowoltaicznych jest więc szansą na zmniejszenie kosztów funkcjonowania drobnych gospodarstw rolnych.

System prosumencki w przyszłości powinien rozwijać się w kierunku możliwości tzw. sprzedaży sąsiedzkiej, ponieważ wielu mieszkańców, np. rolnicy posiadają budynki gospodarcze o dużych powierzchniach dachów, optymalnie zorientowanych co do kierunku i kąta powierzchni dachu, na których można instalować elektrownie fotowoltaiczne o mocy do 40kW, a wytworzoną energię z instalacji o takiej mocy nie są w stanie zużyć ani zbilansować w własnym gospodarstwie. Rozliczenie wspólnie z sąsiadem dałoby większą możliwość wykorzystania instalacji fotowoltaicznych.

## Bibliografia

- Gasparatos, A., Doll, C, Esteban, M., Ahmed, A., Olang, T. (2017). Renewable energy and biodiversity: implication for transitioning to a Green Economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 161–184.
- Lewandowski, W. (2006). *Proekologiczne odnawialne źródła energii*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- Mahesh, A., Sandhu, K. (2015). Hybrid wind-photovoltaic energy system developments: critical review and findings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1135–1147.
- Soliński, B. (2015). *Zarządzanie hybrydowymi systemami wytwarzania energii elektrycznej wykorzystującymi odnawialne źródła energii*. Kraków: Wydawnictwa AGH.
- Soliński, B., Matusik, M., Ostrowski, J., Soliński, I., Turoń, K. (2015). *Modelowanie funkcjonowania hybrydowych wiatrowo-słonecznych systemów wytwarzania energii elektrycznej*. Kraków: Wydawnictwa AGH.
- Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 r. (Dz.U. 2015 poz. 478).

---

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.01.2018

Do cytowania – For citation:

Soliński, B., Kała, J. (2017). Efektywność ekonomiczna funkcjonowania mikroinstalacji fotowoltaicznych wykorzystywanych przez prosumenta [Economic cost-effectiveness of photovoltaic micro-installations used by prosumer]. *Problemy Drobnych Gospodarstw Rolnych – Problems of Small Agricultural Holdings*, 4, 105–116. doi: <http://dx.doi.org/10.15576/PDGR/2017.4.105>