

Łukasz SZAŁATA • Agata SIEDLECKA • Cezary LEJKOWSKI

INSTALACJE FOTOWOLTAICZNE JAKO PRZYKŁAD UZASADNIONEJ EKONOMICZNIE DZIAŁALNOŚCI PROSUMENCKIEJ

Łukasz Szalata, dr inż. – Politechnika Wrocławska
Agata Siedlecka, mgr inż. – Politechnika Wrocławska
Cezary Lejkowski, mgr – Climate-KIC Polska

adres korespondencyjny:

Wydział Inżynierii Środowiska

Zakład Ekologii i Zarządzania Ryzykiem Środowiskowym

Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

e-mail: lukasz.szalata@pwr.edu.pl

PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS AS THE EXAMPLE OF ECONOMICALLY JUSTIFIED PROSUMER OPERATIONS

SUMMARY: Photovoltaic installations are the example of renewable energy sources which use solar energy. The analysis of an application of the photovoltaic installation which had been prepared for the real enterprise in Lubin was presented, as the example of an effective value of energy which could be obtained. Also, the distribution of costs and benefits was estimated. The installation of photovoltaics is one of the ways to join prosumer energetics which is supported, among others, by activities 3.1 and 3.2 in the Regional Operational Programme for the Lower Silesian Voivodeship and by the National Fund for Environmental Protection and Water Management.

KEYWORDS: photovoltaics, solar energy, prosumer

Wstęp

Wraz z rozwojem cywilizacji zwiększa się zapotrzebowanie na energię. Stwarza to konieczność poszukiwania niekonwencjonalnych źródeł energii, czyli takich, które w procesie przetwarzania (spalania) nie wykorzystują organicznych paliw kopalnych. Wśród nich wyróżnić można źródła odnawialne i nieodnawialne. Do odnawialnych, wykorzystujących w procesie przetwarzania niezakumulowaną energię słoneczną źródeł, zaliczyć można między innymi źródła wykorzystujące energię mechaniczną wody, wiatru; chemiczną biomasy, biogazu; słoneczną i/lub ciepło (geotermalne, zawarte w otoczeniu)¹.

Najbezpieczniejszym źródłem energii, niewzbudzającym sprzeciwów społecznych, jest energia słoneczna. Może być ona użytkowana na dwa sposoby: w termicznych kolektorach słonecznych wykorzystywanych głównie do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz w ogniwach fotowoltaicznych, generujących energię elektryczną. Korzystniejsze ekonomicznie wydaje się być zastosowanie ogniw fotowoltaicznych.

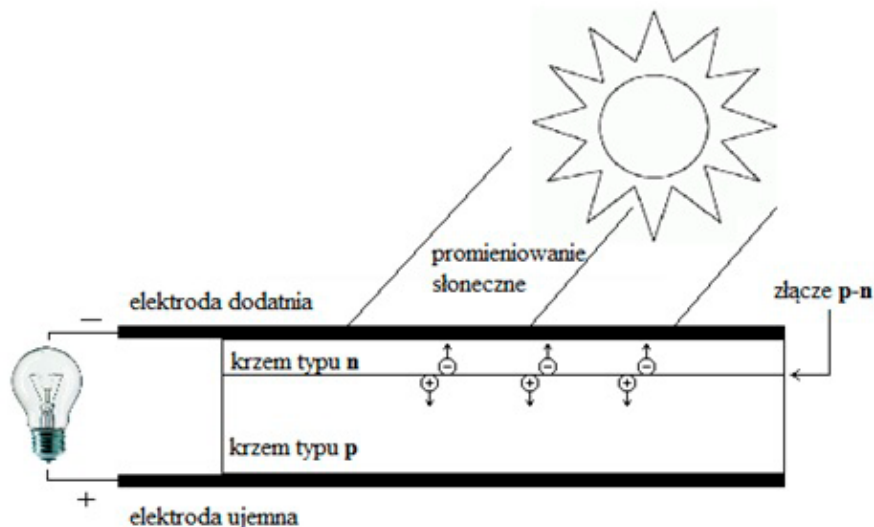
Niniejsze opracowanie przedstawia korzyści możliwe do uzyskania przez użytkowników instalacji fotowoltaicznych w kontekście działalności prosumenckiej i ma na celu analizę zasadności montażu ogniw.

Ogniwa fotowoltaiczne

Zasadą działania ogniw fotowoltaicznych (PV) jest przekształcenie energii promieniowania widzialnego i podczerwonego w energię elektryczną. Konwersja możliwa jest dzięki zastosowaniu półprzewodników – materiałów, w których sieci krystalicznej następuje przemieszczanie ładunków elektrycznych. Wyróżnia się półprzewodniki typu n (*negative*) oraz typu p (*positive*); są to np. półprzewodniki krzemowe z domieszką odpowiednio arsenu i glinu. Powstające na powierzchni styków półprzewodników p-n pole elektryczne jest wynikiem przeciwnych ładunków elektrycznych: elektronów swobodnych na powłoce walencyjnej półprzewodnika typu n i dziur na powłoce walencyjnej półprzewodnika typu p. Docierająca do złącza energia słoneczna w postaci fotonów generuje w nim pary elektron-dziura. Ich rozdzielenie powodowane jest przez przemieszczanie nadmiarowych elektro-

¹ H. Foit, *Zastosowanie odnawialnych źródeł ciepła w ogrzewnictwie i wentylacji*, Gliwice 2013, s. 17.

nów z półprzewodnika typu p do typu n i dziur z półprzewodnika typu n do typu p. Wytworzona różnica potencjałów skutkuje płynięciem prądu po zamknięciu obwodu elektrycznego².



Rysunek 1. Schemat ogniw fotowoltaicznych

Źródło: opracowanie własne na podstawie: I. Góralczyk, R. Tytko, *Fotowoltaika: urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne*, Kraków 2015, s. 191.

Sprawność fotoogniw podawana przez producentów odnosi się do warunków STC, to znaczy do mocy promieniowania słonecznego równej 1000 W/m^2 i temperatury równej 25°C ³.

Sprawności, jakie można uzyskać z różnych rodzajów fotoogniw, przedstawia rysunek 2⁴.

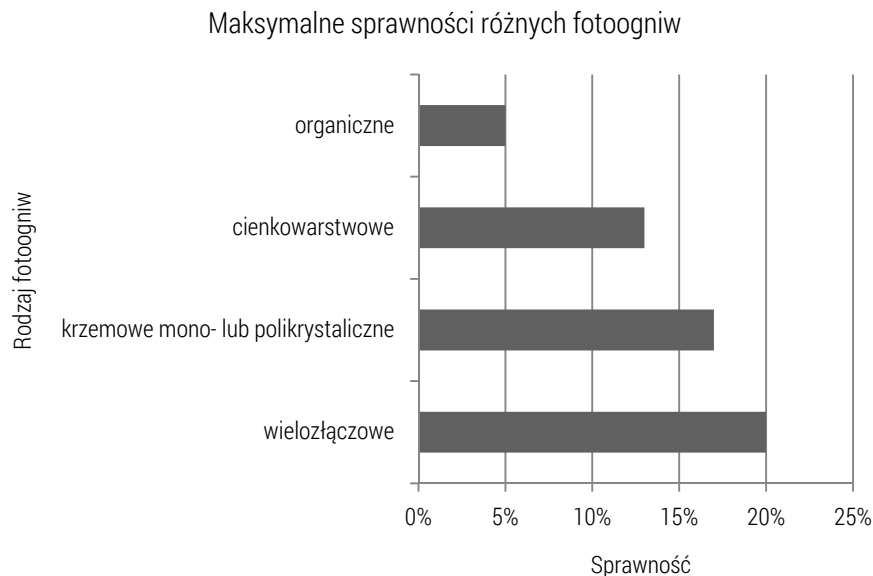
Współczesne ogniwa fotowoltaiczne charakteryzują się spadkiem mocy wraz z upływem czasu ich użytkowania, przy czym w pierwszym roku spadek ten może wynosić do około 5% (następnie praca urządzeń stabilizuje się), zaś w perspektywie 25 lat – spadek może wynieść nawet do 20% początkowej mocy⁵. Powyższe informacje należy uwzględnić przy rozpatrywaniu celowości konkretnej instalacji.

² I. Góralczyk, R. Tytko, *Fotowoltaika: urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne*, Kraków 2015, s. 191.

³ I. Góralczyk, R. Tytko, op. cit., s. 195.

⁴ Ibidem, s. 192.

⁵ Ibidem, s. 196-197.



Rysunek 2. Sprawności różnych rodzajów fotoogniw

Źródło: opracowanie własne na podstawie: I. Góralczyk, R. Tytko, op. cit., s. 192.

Energię słoneczną docierającą do atmosfery ziemskiej podzielić można na promieniowanie bezpośrednie, mające największy wpływ na funkcjonowanie ogniw PV; rozproszone, umożliwiające działanie systemów fotowoltaicznych w pochmurne, pozornie bezsłoneczne dni i promieniowanie odbite, nieuwzględniane w systemach fotoelektrycznych ze względu na nieprzewidywalny kierunek odbicia. Całkowita moc energii słonecznej docierającej do Ziemi wynosi około $81000 \cdot 10^6$ MW. Na samym terytorium Polski potencjalna energia możliwa do uzyskania z promieniowania słonecznego wynosi 1340 PJ (peta dżul, 10^{15} J); szacuje się jednak, iż po 2020 roku uzyskiwane będzie tylko 20 PJ (niespełna 1,5%)⁶. Można zatem wnioskować o teoretycznie nieograniczonym rozwoju krajowej energetyki słonecznej. Średnia wartość napromieniowania słonecznego w Polsce wynosi około 1000-1100 kWh/m², zaś liczba „słonecznych” godzin w ciągu roku: 1600 h. Średnia moc promieniowania wynosi około $1\ 000\ 000/1600 = 625$ W/m²⁷. Największym zainteresowaniem instalacje fotowoltaiczne cieszą się w zbliżonych pod względem klimatu do Polski Niemczech, gdzie od lipca 2011 do końca 2012 roku zainstalowano ponad 2 mln ogniw PV o mocy 7 kW każde⁸.

⁶ Ibidem, s. 185.

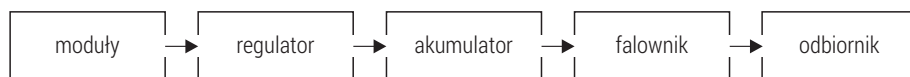
⁷ Ibidem.

⁸ J. Popczyk, *Energetyka prosumencka jako skutek konwergencji postępu technologicznego i rozwoju społecznego*, Biblioteka źródłowa energetyki prosumenckiej, 2014, s. 2.

Jednym z efektów środowiskowych wynikających z zastosowania ogniw fotowoltaicznych jest ograniczenie emisji CO₂ o około 1300 ton w ciągu roku (przy pracy elektrowni o mocy 1 MW)⁹.

Rodzaje instalacji PV

Instalacja PV składa się z wielu elementów pozwalających dostarczyć energię elektryczną do odbiornika (rysunek 3).



Rysunek 3. Elementy układu PV

Źródło: opracowanie własne na podstawie I. Góralczyk, R. Tytko, op. cit., s. 241-262.

Instalacje PV mogą pracować w układzie autonomicznym (wydzielonym, tak zwanym *off-grid*) i na sieć „sztywną” (*on-grid*). Pierwszy z nich może być zastosowany, gdy występują trudności z podłączeniem do sieci (na przykład ze względu na odległość). Wytworzona energia jest wówczas akumulowana i wykorzystywana w zależności od potrzeb. Alternatywnym rozwiązaniem jest podłączenie paneli fotowoltaicznych do sieci energetycznej za pomocą inwertera. Wówczas użytkownik swobodnie korzysta z energii elektrycznej, a rozliczenie z dostawcą energii następuje poprzez różnicę pomiaru energii wykorzystanej i wprowadzonej do sieci przez panele¹⁰. Instalacje *on-grid* stanowią przykład generacji rozproszonej, definiowanej przez Komisję Europejską jako „zintegrowane lub autonomiczne wykorzystanie małych modularnych źródeł energii elektrycznej przez przedsiębiorstwa energetyczne, ich klientów, prywatnych użytkowników oraz inne strony, w zastosowaniach przynoszących korzyść systemowi elektroenergetycznemu, specyficznym podmiotom użytkownika końcowego lub obydwu stronom”¹¹. Inna definicja energetyki rozproszonej mówi, że są to małe jednostki wytwórcze (o mocy znamionowej 50-150 kW) przyłączone bezpośrednio do elektroenergetycznych sieci rozdzielczych lub zlokalizowane w sieci odbiorcy (za urządzeniem

⁹ I. Góralczyk, R. Tytko, op. cit., s. 189.

¹⁰ I. Góralczyk, R. Tytko, *Racjonalna gospodarka energią: wybrane zagadnienia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne*, Kraków 2015, s. 255-256.

¹¹ B. Sedler, *Alternatywne formy generacji rozproszonej, z uwzględnieniem OZE, w tym małej energetyki jądrowej*, w: B. Mickiewicz (red.), *Najnowsze osiągnięcia z zakresu OZE wraz z przedstawieniem barier we wdrażaniu wyników badań do praktyki gospodarczej oraz sugestiami ich rozwiązań*, Koszalin 2012, s. 99-128.

kontrolno-rozliczeniowym), produkujące także energię z odnawialnych źródeł lub energię elektryczną w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła¹².

Korzystnym rozwiązaniem mogą być również hybrydowe panele słoneczne, będące w istocie zintegrowanymi kolektorami termicznymi i ogniwami PV. Wzrost temperatury obniża poziom wydajności fotoogniwi o około 0,5%/K. Aby temu zapobiec, stosuje się system chłodzenia ogniw PV (na przykład poprzez umieszczone na spodzie układu rurki z wodą – wymiennikiem ciepła), co daje podwójną korzyść: zniwelowanie negatywnego działania wysokiej temperatury na ogniwo przy możliwości wykorzystania odzyskanego ciepła. Sprawności urządzeń hybrydowych wykazują efekt synergiczny¹³.

Prosument – nowa jakość na rynku energetycznym

Na rynku energetycznym pojawia się zjawisko **energetyki prosumenckiej**. Prosument to jednocześnie producent i konsument energii¹⁴:

Prosument = **producent** + **konsument**

Według Popczyka, prosument to „dotychczasowy odbiorca, który podejmuje produkcję energii elektrycznej na własne potrzeby”¹⁵.

Postawę prosumencką ma propagować przede wszystkim uchwalona 20 lutego 2015 roku ustawa o odnawialnych źródłach energii, zmieniająca dotychczasowe przepisy w tym zakresie, między innymi tak zwany „mały trójpak energetyczny”. Ustawa o OZE stanowi między innymi o obowiązku zakupu energii elektrycznej z nowo budowanych instalacji OZE do 10 kW po stałej taryfie gwarantowanej przez 15 lat, obowiązek zakupu niewykorzystanej energii elektrycznej po cenie wynoszącej 100% średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym w poprzednim kwartale, rozliczanie różnic pomiędzy ilością energii elektrycznej pobranej z sieci, a ilością energii wprowadzonej do sieci w okresach półrocznych (*net-metering*)¹⁶. Ustawa nie precyzuje, czy inwestorzy, którzy uzyskali dotację na budowę instalacji OZE będą mogli korzystać z taryfy gwarantowanej, natomiast po 2016 mogą oni liczyć na zyski ze sprzedaży nadwyżek energii (po cenie ryn-

¹² A. Myczko, A. Kliber, L. Tupalski, *Odnawialne źródła energii a hybrydowe systemy energetyczne*, w: B. Mickiewicz (red.), op. cit., s. 81-98.

¹³ I. Góralczyk, R. Tytko, *Fotowoltaika...*, s. 209-210.

¹⁴ K. Księżopolski (red.), *Odnawialne źródła energii w Polsce: wybrane problemy bezpieczeństwa, polityki i administracji*, Warszawa 2013, s. 175.

¹⁵ J. Popczyk, op. cit., s. 5.

¹⁶ Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. 2015 poz. 478); www.nfosigw.gov.pl [20-11-2015].

kowej) oraz system półrocznych rozliczeń¹⁷. Dotychczasowy „mały trójpak energetyczny” nie sprzyjał pełnej implementacji prawa UE, gdyż proponowana cena skupowania energii z OZE od prosumentów wynosiła jedynie 80% ceny rynkowej za poprzedni rok¹⁸.

Jak wykazano, motywacją do instalowania urządzeń OZE u indywidualnych inwestorów (głównie osób prywatnych) są między innymi możliwość uzyskania dofinansowania, wpływ osób z otoczenia, mała awaryjność technologii OZE, a także tendencje rozwoju OZE. Nie bez znaczenia pozostaje fakt, iż wiele firm instalacyjnych bierze na siebie część odpowiedzialności związanej z uzyskaniem dofinansowania / dotacji na instalacje¹⁹.

Do inwestycji skłaniają też dynamiczne zmiany na rynku PV. Jak podaje serwis odnawialnezrodlaenergii.pl, w raporcie GTM Research z września 2015 roku przewiduje się spadek przeciętnej ceny instalacji PV o 40% w 2020 roku w porównaniu z ceną obecną, co wiąże się między innymi z wprowadzeniem taryf gwarantowanych w Europie. Zwrócono przy tym uwagę, iż koszty montażu (usług) spadają znacznie wolniej, niż koszty samego modułu (w 2007 roku w USA tzw. koszty „miękkie” stanowiły 58%, obecnie zaś: 75%)²⁰. Na spadek kosztów istotny wpływ ma rozwój technologii PV, a przede wszystkim wzrost sprawności instalacji. Należy jednak mieć na uwadze, iż wysokie sprawności uzyskiwane w testach laboratoryjnych nie od razu przełożą się na wzrost sprawności produktów oferowanych na rynku. Mimo to, doniesienia o uzyskanych parametrach wydają się być bardzo optymistyczne – przykładem może być osiągnięcie przez francuską firmę Soitec 46% sprawności skoncentrowanych ogniw CPV; firma wprowadziła na rynek ogniwa o sprawności 31,8%, a jej celem jest uzyskanie 50%²¹.

Z drugiej strony, rozwój drukowanych ogniw PV może przynieść znaczną redukcję kosztów ogniw i instalacji. Nowe ogniwa są obecnie wytwarzane w skali laboratoryjnej – drukowane w 3D na cienkich foliach o dowolnych kształtach i rozmiarach. Wydajność drukowanych ogniw bazujących na perowskitach sięga 20%²². Dodatkowo, płaskie i giętne folie można bez problemów montować na elewacjach i dachach, co znacznie ogranicza koszty inwestycji związane z montażem. Obecnie wielu producentów zewnętrznych płyt wielowarstwowych testuje w swoich centrach badawczych zintegrowa-

¹⁷ www.nfosigw.gov.pl [20-11-2015].

¹⁸ K. Księżopolski (red.), op. cit., s. 33.

¹⁹ A. Hilarowicz, J. Koziół (red.), *Odnawialne źródła energii – badania oddziaływań społecznych*, Gliwice 2013, s. 53.

²⁰ www.odnawialnezrodlaenergii.pl [01-02-2016].

²¹ www.gramwzielone.pl [01-02-2016].

²² *Ibidem* [14-02-2016].

ne panele z giętkiej folii jako integralny element konstrukcji elewacyjnych i dachowych.

Długofalowe spekulacje na temat zmian cen energii elektrycznej są obarczone dużym błędem. Łatwiej jest zweryfikować prognozy na kolejny rok – Paweł Owczarski, prezes Polskiego Prądu, w październiku 2015 roku zauważył na przykład, iż giełdowe ceny energii elektrycznej na 2016 rok były niższe o 5-6% w porównaniu z rokiem 2015, ale na ich zmianę będzie miała wpływ polityka rządu odnośnie sektora wydobywania węgla kamiennego. Ponadto, spodziewany jest wzrost opłat dystrybucyjnych o 1-3%, co w konsekwencji nie da oszczędności odbiorcom indywidualnym (tak zwanemu sektorowi G)²³.

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej prowadzi obecnie program wsparcia inwestorów OZE „Prosument” na lata 2015-2020²⁴. Dofinansowania przewidziane są również w przypadku wymiany istniejących instalacji na nowe; nie ma jednak możliwości uzyskania wsparcia dla systemów wykorzystujących jedynie źródła ciepła. Szacuje się, że jednym ze skutków środowiskowych wdrożenia programu będzie coroczne ograniczenie emisji CO₂ o 215 000 t. Budżet programu wynosi 800 mln złotych na lata 2014-2022. Dofinansowanie może przybrać formę pożyczki lub kredytu do 100% kosztów kwalifikowanych instalacji na 15 lat przy oprocentowaniu równym 1% lub dotację w wysokości 15 lub 30%, przy czym koszty kwalifikowane muszą zawierać się w przedziale od 100 do 450 tysięcy złotych w zależności od beneficjenta i rodzaju instalacji. Osoby fizyczne, wspólnoty i wspólnoty mieszkaniowe mogą składać wnioski za pośrednictwem banków (Bank Ochrony Środowiska) lub Wojewódzkich Funduszy Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej²⁵.

Innym źródłem pozyskiwania funduszy są Regionalne Programy Operacyjne. Ich budżet oparty jest na środkach pozyskiwanych z Unii Europejskiej, a decyzje o rodzaju dofinansowanych inwestycji podejmowane są na szczeblu wojewódzkim – każde województwo ma osobny RPO. Projekt Szczegółowego opisu osi priorytetowych RPO Województwa Dolnośląskiego charakteryzuje działania między innymi w obszarze osi priorytetowej 3. „Gospodarka niskoemisyjna”. Na szczególną uwagę zasługują działania 3.1 i 3.2, których celem jest odpowiednio: zwiększony poziom produkcji energii ze źródeł odnawialnych w województwie dolnośląskim oraz zwiększona efektywność energetyczna w małych i średnich przedsiębiorstwach (termomodernizacja). O środki na realizację projektu mogą ubiegać się jednostki samorządu terytorialnego, ich związki i stowarzyszenia oraz przedsiębiorstwa. Ze względu na autonomiczny charakter RPO, chcąc pozyskać środki na realizację inwestycji

²³ www.energiadirect.pl [01-02-2016].

²⁴ www.nfosigw.gov.pl [20-11-2015].

²⁵ www.nfosigw.gov.pl [20-11-2015].

należy sprawdzić, jakie obszary technologiczne mogą być dofinansowywane w danym województwie²⁶.

Analiza rentowności inwestycji

Podstawowym kryterium przy podejmowaniu decyzji o inwestycji w ogniw PV powinna być ich rentowność. O opłacalności decyduje wiele czynników, jak rodzaj zamontowanego modułu, jego powierzchnia, ustawienie, zapotrzebowanie energetyczne budynku, cena komercyjnej energii elektrycznej, skala uzyskanego dofinansowania. W obliczeniach warto uwzględnić prognozy zmiany cen energii konwencjonalnej, zwłaszcza w kontekście nowelizacji ustaw, mających z założenia wspierać energetykę prosumencką. W ramach dyskusji nad celowością inwestycji w instalację modułów fotowoltaicznych posłużono się przykładowymi danymi – obliczeniami wykonanymi dla przedsiębiorstwa produkcyjno-handlowego działającego na terenie Lubina. Propozycja zamontowania modułów PV jest wynikiem opracowania raportu w ramach projektu „Firma XXI wieku to ekologiczna firma” (POKL.02.01.01-00-055/13) współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego. Jednym z sugerowanych działań proekologicznych było ograniczenie korzystania z konwencjonalnej energii elektrycznej poprzez zamontowanie układu fotoogniw. Propozycję poparto analizą SWOT (mocne/słabe strony, szanse, zagrożenia), w której wykazano zasadność instalacji ogniw fotowoltaicznych ze względu na ciągły rozwój technologii produkcji i eksploatacji PV, praktycznie eliminujący wykazane w analizie słabe strony i zagrożenia²⁷.

Kosztyorys planowanej inwestycji obejmował obliczenia realnego uzysku energii elektrycznej z ogniw fotowoltaicznych, przy uwzględnieniu parametrów takich jak m.in. rodzaj ogniwa, położenie budynku, usytuowanie paneli oraz różnego rodzaju starty w stosunku do energii finalnej brutto.

²⁶ Szczegółowy opis osi priorytetowych Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Dolnośląskiego 2014-2020, Projekt wersja 1, Wrocław 2015.

²⁷ Ł. Szałata, Opracowanie w ramach projektu „Firma XXI wieku to ekologiczna firma” (POKL.02.01.01-00-055/13), Wrocław 2014.

Tabela 1. Analiza SWOT dla energii pozyskiwanej z promieniowania słonecznego

POZYTYWNE	NEGATYWNE
Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> • brak emisji gazów cieplarnianych; • duża niezawodność; • szybkość realizacji inwestycji; • nowe technologie 	<ul style="list-style-type: none"> • brak systemów magazynowania nadwyżek energii elektrycznej i systemów dystrybucji wyprodukowanej energii; • produkcja ogniw krzemowych stwarza zagrożenie dla środowiska; • skomplikowane procedury środowiskowe (w przypadku obszarów Natura 2000)
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • stały, zauważalny wzrost potencjału technologicznego produkcji paneli PVT i PV; • wykorzystanie powierzchni dachowych na terenach miejskich; • wzrastająca świadomość społeczna w zakresie inwestycji prośrodowiskowych; • obniżanie kosztów produkcji paneli i modułów. 	<ul style="list-style-type: none"> • niskiej jakości technologie; • żywotność paneli; • problem ze sprzedażą energii do sieci

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Ł. Szałata, op. cit.

Analizowana instalacja składała się z 80 modułów fotowoltaicznych i 1 falownika. Moc generatora fotowoltaicznego o łącznej powierzchni 133,1 m² wynosiła 20 kWp (p – *peak*, moc szczytowa). W poniższej tabeli przedstawiono kolejne etapy obliczeń wartości energii elektrycznej możliwej do uzyskania dzięki zastosowaniu modułów.

Dla rozważanego terenu (Lubin) napromieniowanie słoneczne wynosi 1089,4 kWh/m².

W instalacji o mocy szczytowej 20 kWp wygenerować można 18 032 kWh energii (AC), co daje około 902 kWh/kWp specyficznego zysku rocznego. Z uzyskanych 18 032 kWh/rok, zasilanie sieciowe pochłania 5237 kWh/rok, zatem fotoogniwa pokrywają 12 795 kWh/rok. Dla oszacowanego zużycia 30 022 kWh w odbiorniku, energia uzyskana z ogniw PV pokrywa 42,6% zapotrzebowania.

Na całkowitą powierzchnię składało się 40 modułów usytuowanych od strony wschodniej (97°) o nachyleniu 10° i powierzchni 66,5 m² oraz 40 modułów usytuowanych od strony zachodniej (277°) o nachyleniu 10° i powierzchni 66,5 m² (moduły polikrystaliczne krzemowe, wolnostojące na dachu płaskim). Ogół strat szacowanego udziału nasłonecznienia na moduł w stosunku do padającego napromieniowania globalnego (rysunek 4) nie przekracza 10%. Podobne rezultaty uzyskano w przypadku znamionowej energii fotowoltaicznej (rysunek 5).

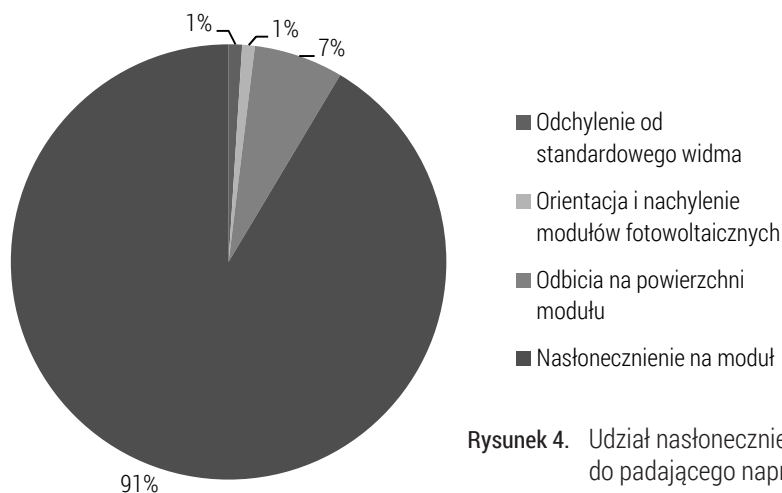
Tabela 2. Obliczenia możliwej do uzyskania energii elektrycznej z modułu fotowoltaicznego

Wyszczególnienie	Uzyskana energia
Napromieniowanie globalne	1 089,4 kWh/m²
Odchylenie od standardowego widma	- 10,89 kWh/m ²
Orientacja i nachylenie modułów fotowoltaicznych	- 10,24 kWh/m ²
Odbicia na powierzchni modułu	- 72,16 kWh/m ²
Nasłonecznienie na moduł	996,1 kWh/m²
Nasłonecznienie fotowoltaiczne	996,1 × 133,07 = 132 554,3 kWh
Konwersja STC dla $\eta = 15,06\%$	- 112 595,49 kWh
Znamionowa energia fotowoltaiczna	19 958,8 kWh
Pozostałe straty	- 1 262,1 kWh
Energia fotowoltaiczna prądu stałego	18 696,7 kWh
Zakres napięcia / adaptacja MPP	- 102,51 kWh
Energia PV (DC)	18 594,2 kWh
Konwersja DC/AC i inne straty	- 562,1 kWh
Wygenerowana energii fotowoltaiczna	18 032,1 kWh

Wartości podane w tabeli są zaokrąglonymi wartościami otrzymanymi w toku obliczeń i mogą nieznacznie różnić się od wartości rzeczywistych

Źródło: opracowanie własne na podstawie: J. Jurczyk, Projekt 029/2014.

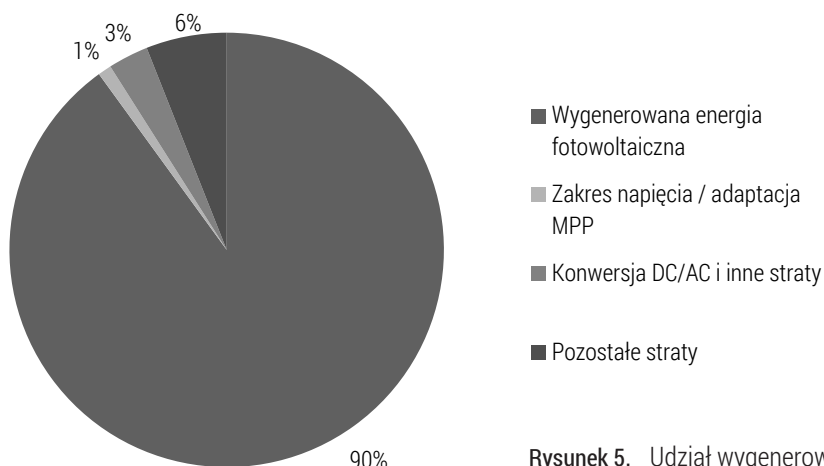
Straty kWh/m² w stosunku do napromieniowania globalnego (100%)



Rysunek 4. Udział nasłonecznienia na moduł w stosunku do padającego napromieniowania globalnego

Źródło: opracowanie własne na podstawie J. Jurczyk, op. cit.

Straty kWh w stosunku do znamionowej energii fotowoltaicznej (100%)



Rysunek 5. Udział wygenerowanej energii fotowoltaicznej w stosunku do energii znamionowej

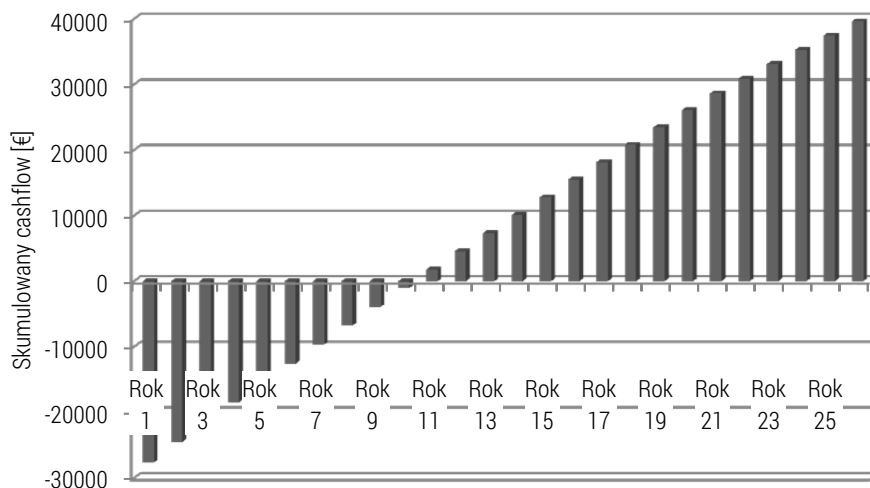
Źródło: opracowanie własne na podstawie: J. Jurczyk, op. cit.

Dla inwestycji wycenionej na 28 400 euro szacunkowy okres amortyzacji wynosi niespełna 10 lat, a zysk po 25 latach użytkowania (gwarancja producenta) – ponad 9 000 euro²⁸. Instalacja pozwala zmniejszyć emisję CO₂ o 21 613 kg/rok, co w przybliżeniu zgadza się z danymi literaturowymi (1300 t CO₂/rok przy instalacji 1 MW, jak podano powyżej). Przeprowadzona analiza pokazuje, iż ilość możliwej do uzyskania energii z ogniw PV jest zawsze niższa od podawanej w specyfikacji producenta i może wahać się w zależności od usytuowania modułów. Pierwszym krokiem przy podejmowaniu decyzji o montażu jest zatem wykonanie szczegółowego kosztorysu i określenie terminu zwrotu poniesionych wydatków. Niewątpliwie, okres amortyzacji znacznie skróci się w przypadku uzyskania dofinansowania na inwestycję. Wyniki analizy rentowności inwestycji – skumulowany cashflow dla okresu 26 lat, uwzględniający koszt inwestycji oraz oszczędności na zakupie energii przedstawia rysunek 6.

Istotą korzyści jest znaczne uniezależnienie konsumenta od wahań cen za energię elektryczną proponowanych przez dostawcę, jak również ograniczenie ryzyka związanego ze zwiększeniem opłat dodatkowych nakładanych

²⁸ J. Jurczyk, op. cit.

Skumulowany cashflow dla okresu 26 lat



Rysunek 6. Analiza rentowności inwestycji

Źródło: opracowanie własne na podstawie J. Jurczyk, op. cit.

na odbiorcę. Ryzyko wiąże się między innymi z możliwością nieoczekiwanej, znacznej obniżki cen energii – jest to jednak scenariusz mało prawdopodobny.

Inwestycja w PV wiąże się z koniecznością wykonania indywidualnych analiz w docelowym regionie, tak, aby można było wyznaczyć ilość możliwej do uzyskania energii w zależności od usytuowania paneli oraz promieniowania docierającego do obiektu. Mniej sprzyjające warunki pogodowe mogą nieznacznie ograniczyć ilość energii – nie można jednak z całą stanowczością wnioskować o rentowności inwestycji jedynie na podstawie położenia geograficznego – usytuowanie paneli, kąt nachylenia czy otaczająca zabudowa mogą przyczynić się do powstawania różnic, dlatego zaleca się zlecenie sprzężenia szczegółowych analiz wyspecjalizowanym w tej dziedzinie przedsiębiorstwom. Wartości napromieniowania w Polsce wynoszą 900-1200 kWh/m², jednak ich precyzyjne określenie w danym punkcie jest trudne – można w tym celu korzystać z map meteorologicznych, ale należy pamiętać, że są one obarczone błędem²⁹.

Prognozowane roczne oszczędności na zakupie energii dla analizowanego przedsiębiorstwa wahają się od 2148,69 do 2715,58 euro. W obliczeniach uwzględniono wzrost kosztów energii elektrycznej (przy stopie wzrostu cen

²⁹ www.veelman.com [01-02-2016].

energii 2%). Analiza rentowności z natury opiera się na prognozowanych, komercyjnych cenach energii elektrycznej.

Wnioski

W dobie wyczerpywania się kopalnych źródeł i wzrostu cen energii aktywność prosumencka wydaje się być rozwiązaniem korzystnym ekonomicznie i ekologicznie. Za instalacją ogniw fotowoltaicznych przemawiają możliwości odsprzedawania nadmiaru wygenerowanej w danej chwili energii do sieci (systemy *on-grid*) oraz uzyskania wsparcia finansowego z różnych źródeł.

Błędnym przekonaniem jest, iż moduły PV lub PVT sprawdzają się tylko w strefach klimatu charakteryzującego się wysokim stopniem usłonecznienia. Nawet w pochmurne, pozornie „bezsłoneczne” dni, ilość energii promieniowania rozproszonego umożliwia pracę modułów.

Mimo wszelkich trudności, przede wszystkim wysokich kosztów inwestycyjnych, a także – niezależnie od przekonań proekologicznych (lub ich braku), należy mieć świadomość, że w związku z ogólnymi trendami UE w nadchodzących latach rezygnacja z konwencjonalnych źródeł energii na rzecz energii pozyskiwanej z OZE stanie się w Polsce koniecznością, a nowelizacja prawa (wspólnotowego i polskiego) będą tym zmianom sprzyjać.

Wbrew powszechnie panującym opiniom, postawa proekologiczna nie musi oznaczać dobrowolnego ponoszenia dodatkowych kosztów na rzecz ochrony środowiska. W wielu przypadkach korzyści z podjętych działań są podwójne: zysk związany z wykorzystaniem odnawialnej energii słonecznej to jednocześnie ograniczenie emisji szkodliwych gazów do atmosfery. Należy jednak mieć na uwadze, że na środowisko naturalne oddziałuje całokształt ludzkich działań. Ograniczenie emisji gazów dzięki eksploatacji ogniw PV musi korespondować z przyjazną środowisku technologią wytwarzania fotogniw. W tym celu przeprowadza się szczegółowe analizy LCA (*Life Cycle Assessment*) wykazujące te etapy w całym cyklu życia danego produktu, które negatywnie wpływają na środowisko.

Kluczowym elementem mającym wpływ na ROI w instalacje fotowoltaiczne ma technologia, która w najbliższych latach może zrewolucjonizować rynek PV. Ogniwa drukowane mogą być do 5 razy tańsze od konwencjonalnych, więc nawet przy stosunkowo mniejszej sprawności (rzędu 20%) będą atrakcyjne dla indywidualnych inwestorów.

Podsumowując:

- uzyskanie dofinansowania na budowę instalacji PV znacznie obniża ponoszone koszty – warto korzystać z programów NFOŚiGW i RPO, wspierających działalność prosumencką oraz innych dostępnych źródeł finansowania;
- beneficjenci mogą cieszyć się nie tylko pożyczkami, ale też dotacjami bezwrotnymi – jest to szansa na długofalowe obniżenie kosztów energii elektrycznej i zamianę konwencjonalnych źródeł na odnawialną energię;
- nowelizacja ustawy o OZE promuje wykorzystanie energii słonecznej i uposaża prosumentów w stosowne zabezpieczenia, gwarantujące sprzedaż nadmiaru wyprodukowanej energii do sieci;
- w powyższym kontekście należy krytycznie ocenić, iż w Polityce energetycznej Polski do 2030 rozwojowi energii odnawialnej opartej na źródłach fotowoltaicznych przypisuje się znikomą rolę (zakłada się natomiast udział energii jądrowej w produkcji energii elektrycznej powyżej 10% w 2030 roku), zwłaszcza mocno marginalizowaną w stosunku do znaczenia energetycznego biomasy oraz energetyki wiatrowej (nacisk na powstanie średnio 1 biogazowni w gminie do 2020 roku)³⁰;
- instalacje fotowoltaiczne stanowią realne uzupełnienie miksu energetycznego i mają ekonomiczne uzasadnienie w działalności prosumenckiej.

Wkład autorów w powstanie artykułu

dr inż. Łukasz Szalata – 33%

mgr inż. Agata Siedlecka – 33%

mgr inż. Cezary Lejkowski – 33%

Literatura

Foit H., *Zastosowanie odnawialnych źródeł ciepła w ogrzewnictwie i wentylacji*, Gliwice 2013

Góralczyk I., Tytko R., *Fotowoltaika: urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne*, Kraków 2015

Góralczyk I., Tytko R., *Racjonalna gospodarka energią: wybrane zagadnienia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne*, Kraków 2015

Hilarowicz A., Koziół J. (red.), *Odnawialne źródła energii – badania oddziaływań społecznych*, Gliwice 2013

Jurczyk J., Projekt 029/2014

³⁰ Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Warszawa 2009.

- Księżopolski K. (red.), *Odnawialne źródła energii w Polsce: wybrane problemy bezpieczeństwa, polityki i administracji*, Warszawa 2013
- Myczko A., Kliber A., Tupalski L., *Odnawialne źródła energii a hybrydowe systemy energetyczne*, w: B. Mickiewicz (red.), *Najnowsze osiągnięcia z zakresu OZE wraz z przedstawieniem barier we wdrażaniu wyników badań do praktyki gospodarczej oraz sugestiami ich rozwiązań*, Koszalin 2012
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Warszawa 2009
- Popczyk J., *Energetyka prosumencka jako skutek konwergencji postępu technologicznego i rozwoju społecznego*, Biblioteka źródłowa energetyki prosumenckiej, 2014
- Sedler B., *Alternatywne formy generacji rozproszonej, z uwzględnieniem OZE, w tym małej energetyki jądrowej*, w: B. Mickiewicz (red.), *Najnowsze osiągnięcia z zakresu OZE wraz z przedstawieniem barier we wdrażaniu wyników badań do praktyki gospodarczej oraz sugestiami ich rozwiązań*, Koszalin 2012
- Szałata Ł., *Opracowanie w ramach projektu „Firma XXI wieku to ekologiczna firma” (POKL.02.01.01-00-055/13)*, Wrocław 2014
- Szczegółowy opis osi priorytetowych Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Dolnośląskiego 2014-2020, Projekt wersja 1, Wrocław 2015
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. 2015 poz. 478)
- www.energiadirect.pl
- www.gramwzielone.pl
- www.nfosigw.gov.pl
- www.odnawialnezrodlaenergii.pl
- www.veelman.com