

Elektrownia fotowoltaiczna w skali makro i mikro

Photovoltaic power plant on a macro and micro scale

Małgorzata Kwestarz, Łukasz Merle, Katarzyna Obrębska^{*)}

Słowa kluczowe: OZE, panel fotowoltaiczny, elektrownia fotowoltaiczna, prosument

Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawowe informacje z zakresu wiedzy technicznej dotyczącej produkcji energii elektrycznej w ogniwie fotoelektrycznym. Przenalizowano efektywność ekonomiczną elektrowni fotowoltaicznej o mocy 1 MW i 8 kW pokazując rozwiązania prawne wspierające podmioty gospodarcze i osoby fizyczne na etapie inwestycji i eksploatacji.

Keywords: RES, photovoltaic panel, photovoltaic power plant, electric manufacturer and consumer

Abstract

The article presents basic information in the field of technical knowledge concerning on the production of electricity in a photovoltaic cell. The economic efficiency of a 1 MW and 8 kW photovoltaic power plant was analyzed, showing legal solutions supporting business and private persons at an investment and operation process.

Wprowadzenie

Produkcja energii elektrycznej w elektrowniach fotowoltaicznych to rosnący lawinowo sektor energetyki odnawialnej. Szacuje się, że obecnie fotowoltaika pokrywa 3% całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną w UE. Przewiduje się, że przed 2020 r. osiągnie poziom 15%. Polska plasuje się na piątym miejscu wśród państw UE, pod względem rocznego przyrostu mocy zainstalowanej w postaci elektrowni PV (z j.ang. photovoltaic). Prognozuje się, że w bieżącym roku obroty na rynku fotowoltaiki wzrosną nawet o 25% w stosunku do roku ubiegłego i przekroczą 5 mld. zł.

Przegląd dostępnych rozwiązań technicznych

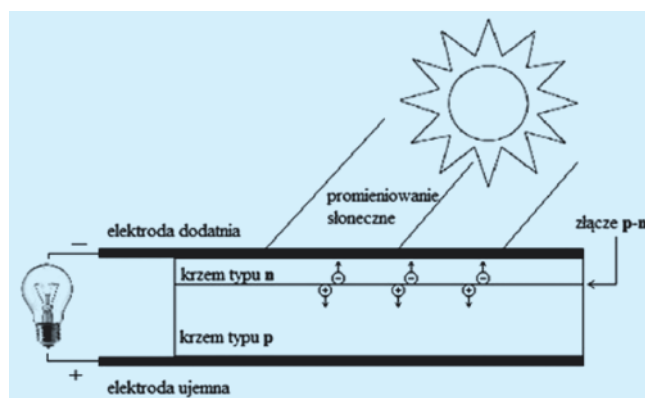
Termin fotowoltaika to określenie wywodzące się od dwóch słów photo – światło oraz voltaic – napięcie, odnoszące się do dziedziny nauki i techniki, która zajmuje się przetwarzaniem światła słonecznego w energię elektryczną. Jej początki sięgają już 1839 r., kiedy to odkryty został efekt fotowoltaiczny. Pierwsze ogniwo skonstruowano w 1873 r. Swój udział w tej dziedzinie ma również Polak – Jan Czochralski, który jest odkrywcą metody wytwarzania monokryształów krzemu, które to stały się fundamentalnym składnikiem krzemowego ogniwa słonecznego. [1]

Samo zjawisko fotowoltaiczne polega na wytworzeniu siły elektromotorycznej w półprzewodniku, na wskutek padającego promieniowania słonecznego. Efekt ten występuje w ogniwach fotowoltaicznych.

Elementami składowymi każdej instalacji fotowoltaicznej są:

- moduły fotowoltaiczne,
- inwerter,
- zabezpieczenia AC i DC,
- konstrukcja wsporcza,
- przewody i materiały dodatkowe.

Moduł fotowoltaiczny, inaczej zwany również panelem fotowoltaicznym lub baterią słoneczną jest urządzeniem, które w sposób bezpośredni zamienia energię promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Każdy panel skonstruowany jest z połączonych ze sobą ogniw fotowoltaicznych, zabezpieczonych hartowaną szybą, folią EVA i podkładem z tworzywa sztucznego, scalonych w ramie aluminiowej. Moduł jest całkowicie chroniony przed wpływem warunków atmosferycznych. Każdy panel charakteryzuje się swoją sprawnością, którą wyraża się w procentach. Stanowi ona stosunek mocy elektrycznej panelu do padającego na jego powierzchnię natężenia promieniowania słonecznego w danej chwili. Samo ogniwo fotowoltaiczne jest zaś elementem zbudowanym z półprzewodnika, w którym, w wyniku zjawiska fotowoltaicznego, dochodzi do konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Jednostkowe ogniwo to materiał bardzo delikatny i kruchy, nie nadaje się do wykorzystania do pracy, jeśli nie jest chronione od czynników zewnętrznych. [10]



Rys. 1. Schemat ogniwa fotoelektrycznego

Fig. 1. Diagram of a photoelectric cell [9]

^{*)} Dr hab. inż. Małgorzata Kwestarz (ORCID: 0000-0001-6835-9595) – Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, e-mail: malgorzata.kwestarz@pw.edu.pl

Mgr inż. Łukasz Merle, Inż. Katarzyna Obrębska – Państwowa Uczelnia Zawodowa, im. Ignacego Mościckiego w Ciechanowie, e-mail: lukasz.merle@puzim.edu.pl, katarzyna.obrebska@puzim.edu.pl

Najczęściej produkowane są ogniwa z krzemu, drugiego po tlenie najpopularniejszego pierwiastka na kuli ziemskiej, który występuje np. w piasku. Wyróżnić możemy kilka technologii do produkcji krzemowych fotoogniw (tab. 1):

- technologia krzemu monokrystalicznego,
- technologia krzemu polikrystalicznego,
- technologia krzemu amorficznego.


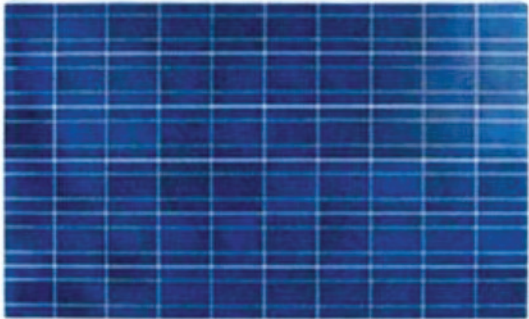
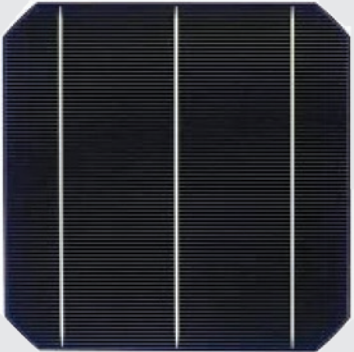
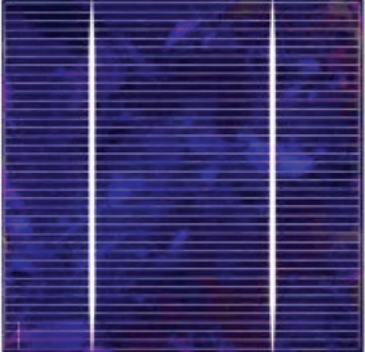
Technologia fotowoltaiczna kwalifikuje się do technologii wysoko- i średniozawansowanych. Cykl technologiczny, zastosowany przy wytwarzaniu fotoogniw, podzielić można na następujące etapy:

1. Pierwszym z etapów jest wykonywanie testów ogniwa oraz ich pomiarów, a następnie sortowanie ich wedle wydajności.
2. Kolejny etap to oczyszczanie płyt szklanych, ich mycie i osuszanie.
3. Następnie wykonuje się cięcie folii i układanie jej na szklanych płytach.

4. Później przystępuje się do lutowania ogniwa. Całkowicie zautomatyzowane lutowanie pozwala na lutowanie ogniwa w pasma.
5. Kolejny krok to lutowanie poprzeczne i kompletacja modułów poprzez lutowanie pasm.
6. Następnie odbywa się ręczne układanie. Jednocześnie z całkowicie automatycznym lutowaniem ogniwa, układane mogą być na przygotowanych płytach szklanych, prefabrykowane pasma. Wykorzystuje się w tym celu półautomatyczne urządzenia próżniowe.
7. Kolejnym etapem jest wizualna kontrola oraz wykonanie pomiarów charakterystyki prądu biernego. Zostają również naładowane pozostałe folie, niezbędne do laminowania.
8. Wykonanie laminowania zestawu folii połączonych pod próżnią, z wykorzystaniem wysokiej temperatury oraz wysokiego ciśnienia. Poprzez ten zabieg ogniwa słoneczne pozostają hermetycznie zamknięte na wiele lat.

Tabela 1. Porównanie ogniwa fotowoltaicznego z krzemu krystalicznego, z uwagi na materiał półprzewodnikowy

Table 1. Comparison of photovoltaic cells with crystalline silicon due to on semiconductor material

Porównanie ogniwa fotowoltaicznego z krzemu krystalicznego, z uwagi na materiał półprzewodnikowy	
MONOKRYSTALICZNE (MONO C-SI) Typu P i Typu N	POLIKRYSTALICZNE (POLY C-SI) Typu P
Wyprodukowane z monokryształu krzemu	Wyprodukowane z krzemu polikrystalicznego
Barwa ciemnoniebieska lub czarna	Barwa jasnoniebieska
	
Źródło zdjęcia: https://elektromasters.com.pl/panele-monokrystaliczne-a-polikrystaliczne/	Źródło zdjęcia: https://elektromasters.com.pl/panele-monokrystaliczne-a-polikrystaliczne/
Ogniwa często mają zaokrąglone rogi	Ogniwa zawsze mają kształt kwadratu lub prostokąta
	
Źródło zdjęcia: https://fotowoltaikaonline.pl/panele-monokrystaliczne-czy-polikrystaliczne	Źródło zdjęcia: https://fotowoltaikaonline.pl/panele-monokrystaliczne-czy-polikrystaliczne
Największa sprawność	Sprawność niższa niż w ogniwach mono
Najwyższy wskaźnik spadku mocy wraz ze wzrostem temperatury	Wysoki wskaźnik spadku mocy wraz ze wzrostem temperatury
Wyższa cena w przeliczeniu na wat	Niższa cena w przeliczeniu na wat (średnio o 8–15% od modułów monokrystalicznych)
Udział w rynku ok. 64%	Udział w rynku ok. 31%

Źródło: Opracowanie własne w oparciu o pozycję [4].

Tabela 2. Podstawowe parametry elektryczne opisujące moduły [4]

Table 2. Basic electrical parameters describing the modules

I_{sc}	prąd zwarcia	maksymalny prąd, jaki może wygenerować moduł fotowoltaiczny w określonych warunkach środowiskowych pod napięciem równym 0 V, a więc przy zerowej mocy. Prąd ten jest uzyskiwany, kiedy dodatni biegun zwarty jest z biegunem ujemnym, bez żadnego obciążenia.
I_{mp}	prąd w punkcie maksymalnej mocy (prąd nominalny)	prąd wygenerowany przez moduł fotowoltaiczny, pod wpływem optymalnego obciążenia, co skutkuje uzyskaniem maksymalnej mocy, jaka jest możliwa do uzyskania w określonych warunkach środowiskowych.
V_{oc}	napięcie obwodu otwartego	maksymalne napięcie, jakie może uzyskać moduł fotowoltaiczny w określonych warunkach środowiskowych pod prądem równym 0 A, a więc przy zerowej mocy. Napięcie to jest uzyskiwane, kiedy modułu nie poddajemy żadnemu obciążeniu.
V_{mp}	napięcie w punkcie maksymalnej mocy (napięcie nominalne)	napięcie, jakie może uzyskać moduł fotowoltaiczny, pod wpływem optymalnego obciążenia, co skutkuje wygenerowaniem maksymalnej mocy jaka jest możliwa do uzyskania w określonych warunkach środowiskowych.

- Przystąpienie do montażu końcowego. Wykonanie obróbki krawędzi i zainstalowanie skrzynek przyłączeniowych, dodatkowo zamontowanie uszczelki i ram.
- Kolejny krok to wykonanie testu wysokiego napięcia oraz testu na niezawodność izolacji pomiędzy obwodem prądowym ogniwa, a uchwytem modułu.
- Przeprowadzenie testu mocy. W warunkach symulowanych oświetlenia słonecznego zostaje zmierzona moc paneli. Ten, który przeszedł pozytywnie test ma nadawany numer seryjny. Wszystkie parametry modułu zostają zapisane i utożsamiane z numerem seryjnym.
- Ostatni etap to wykonanie kontroli jakości oraz odbioru końcowego. Przeprowadza się kontrolę wizualną gotowych paneli, pod względem jakości ich wykonania, a także powtórna kontrolę wszystkich wcześniej wykonywanych testów jakości. [4]

Według książki *Odnawialne źródła energii*, Rolnicze surowce energetyczne, pod redakcją *Barbary Kolodziej i Mariusza Matyki* ogniwa fotowoltaiczne cechują się następującymi zaletami:

- wykorzystują niewyczerpalne i absolutnie czyste źródło energii,
- wykonywane są głównie z krzemu, czyli najbardziej rozpowszechnionego pierwiastka na Ziemi,
- nie mają zużywających się elementów ruchomych, nie ulegają korozji oraz starzeniu się,
- energia elektryczna wytwarzana jest bezpośrednio,
- sprawność przetwarzania energii jest taka sama, niezależnie od skali produkcji,
- moc jest wytwarzana nawet w pochmurne dni przy wykorzystaniu światła rozproszonego,
- obsługa i konserwacja wymagają minimalnych nakładów,
- w czasie produkcji energii elektrycznej nie powstają szkodliwe gazy.

Każdy moduł fotowoltaiczny jest opisywany poprzez podstawowe parametry elektryczne opisane w tab. 2.

Innym ważnym parametrem opisującym moduły jest ich sprawność. Na obecnym etapie rozwoju technologicznego, jedynie częściowe promieniowanie słoneczne zamieniane jest na prąd. Dostępne na rynku moduły charakteryzują się sprawnością w przedziale od 15 do 21%. Parametr ten wynika z poniższej zależności:

$$\text{Sprawność} = \frac{\text{Energia elektryczna produkowana przez moduł fotowoltaiczny}}{\text{Energia promieniowania słonecznego}}$$

Na sprawność wpływ ma wiele czynników, ale najważniejszym z nich jest spektrum promieniowania słonecznego, czyli strumień fal elektromagnetycznych, który dociera do Ziemi. [10]

Warunki badań modułów:

- STC** (Standard Test Condition – ustandaryzowane warunki testu) – przeprowadzając badania modułu tą metodą natężenie promieniowania słonecznego wynosi 1000 W/m^2 , temperatura ogniw fotowoltaicznych modułu, który jest oświetlany wynosi 25°C , natomiast spektrum promieniowania AM jest równe 1.5. Warto

wspomnieć, że takie spektrum to wzorcowe widmo promieniowania słonecznego, które odpowiada wartości optycznej masy atmosfery (*air mass*) 1.5.

- NOCT** (Nominal Operating Cell Temperature – temperatura ogniwa w nominalnych warunkach pracy) – przeprowadzając badania modułu tą metodą natężenie promieniowania słonecznego wynosi 800 W/m^2 , temperatura otoczenia, w których przeprowadzany jest test wynosi 20°C , spektrum promieniowania AM jest równe 1.5 oraz prędkość wiatru wynosi 1 m/s.

Kolejnym ważnym elementem, zwanym „sercem” instalacji fotowoltaicznej, jest inwerter (inaczej zwany falownikiem). Urządzenie to zamienia napięcie i prąd stały na napięcie i prąd przemienny, którego parametry są zgodne lub przybliżone do napięcia i prądu jakie jest w sieci energetycznej niskiego napięcia. Urządzenie to pełni również funkcje kontrolne, a także odnotowuje statystyki z produkcji energii, które są przesyłane za pomocą sieci Wi-Fi lub kabla ethernetowego do aplikacji kompatybilnej z falownikiem. Dzięki tej funkcji możliwa jest prowadzenie monitoringu produkcji z dowolnego miejsca.

Ze względu na izolację wyróżnić można dwa typy inwerterów:

- Inwertery Beztransformatorowe – najbardziej powszechne na rynku. Są lżejsze od transformatorowych i odznaczają się dużą wyższą sprawnością w szerokim zakresie obciążenia. Cechują się też szerokim zakresem napięciowym pracy, co usprawnia konfigurację generatora fotowoltaicznego.
- Inwertery Transformatorowe – wyposażone w transformator, który pozwala na galwaniczne oddzielenie strony DC (modułów PV) od strony AC (sieci elektroenergetycznej). Ze względu na koncepcję budowy dzielimy je na dwa typy:
 - z wykorzystaniem transformatora „niskiej częstotliwości” LF, znajdującego się na wyjściu inwertera i pracującego z częstotliwością 50 Hz. Dzięki jego prostej budowie charakteryzuje się niską awaryjnością. Ma też swoje wady takie jak duży rozmiar i waga oraz niska sprawność;
 - z wykorzystaniem transformatora „wysokiej częstotliwości” HF, znajdującego się na wejściu inwertera i pracującego z częstotliwością 20–24 kHz. Jego zaletą są niewielkie rozmiary i lekkość oraz wyższa sprawność niż w LF. Jeśli chodzi o wady to skomplikowana dwustopniowa budowa. [10]

Podsumowując, różni się dwa rodzaje instalacji fotowoltaicznych:

- instalacje podłączone do sieci (on grid) – są to instalacje fotowoltaiczne, w których energia elektryczna produkowana z paneli fotowoltaicznych – pod postacią prądu stałego – zostaje zamieniona za pomocą falownika w prąd przemienny, charakteryzujący się odpowiednimi parametrami, po czym zostaje wprowadzona do instalacji wewnętrznej budynku, z opcją wprowadzenia do obsługującej nas sieci energetycznej,
- instalacje wyspowe (off grid) – są to instalacje fotowoltaiczne, w których energia elektryczna produkowana z paneli fotowoltaicznych – pod postacią prądu stałego – zostaje zamieniona

za pomocą falownika w prąd przemienny, charakteryzujący się odpowiednimi parametrami. Energia nieskonsumowana na bieżące zużycie wykorzystywana jest do ładowania akumulatorów, aby później zużyć zgromadzone nadwyżki energii (np. w nocy). W tym przypadku nie występuje wprowadzanie energii elektrycznej do sieci. [10]

Rozwój technologii

W ostatnich latach odnotowuje się znaczne przyspieszenie rozwoju fotowoltaiki w Polsce. Pod koniec 2019 r. moc zainstalowana wynosiła 1500 MW. Dowodzi to trzykrotnemu wzrostowi w zestawieniu z 2018 r. Natomiast już pod koniec 2020 r. moc ta wzrosła do wartości 3960 MW. Swoją rolę w tym wzroście ma między innymi program „Mój Prąd”, prowadzony przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, który częściowo sfinansował wiele przydomowych mikroinstalacji fotowoltaicznych oraz aukcyjny system wsparcia dla instalacji około 1 MW.

Według Instytutu Energii Odnawialnej pełna statystyka mocy, zainstalowanej ze źródeł fotowoltaicznych, obejmuje następujące segmenty wielkości instalacji (tab. 3):

Tabela 3. Moc zainstalowana ze źródeł fotowoltaicznych rok 2019 oraz I kw. 2020 [8]

Table 3. Installed capacity from photovoltaic sources in 2019 and I quarter of 2020

Rodzaj instalacji	Koniec 2019 roku	I kwartał 2020
Mikroinstalacje o mocy do 50 kW	990 MW	1294 MW
Małe instalacje od 50 do 500 kW	47,38 MW	>50 MW
Instalacje PV o mocy powyżej 500 kW, (powstałe głównie w ramach systemu świadectw pochodzenia)	-	75 MW
Instalacje PV o mocy ok. 1 MW wybudowane poprzez aukcyjny system wsparcia	360 MW	400 MW

Podaż modułów fotowoltaicznych na rynku polskim

Na terenie kraju funkcjonuje przynajmniej sześć firm, które zajmują się wytwarzaniem paneli fotowoltaicznych. Wyróżnić można firmy takie jak: Selfa PV, Bruk Bet Solar, X-disc, ML System, JBGPV i Hanplast. Przeważająca część, to przedsiębiorstwa, charakteryzujące się bardzo dynamicznym rozwojem, które działają na rynku od niemal dekady. Moc produkcyjna zakładów waha się między 50, a 120 MW w skali roku. Zakres ten możliwy jest do osiągnięcia dzięki wyposażeniu w pełni automatyczne linie produkcyjne. Renoma urządzeń produkowanych w Polsce jest zatwierdzona poprzez wydawane certyfikaty i gwarancje, akceptowane na całym świecie.

Producenci krajowi poszczycić mogą się praktyczną wiedzą w zakresie technologii produkcji różnorodnych generacji paneli fotowoltaicznych. Krajowe zakłady specjalizują się nie tylko w produkcji modułów standardowych polikrystalicznymi i monokrystalicznymi, ale także w produkcji modułów w systemie BIPV (Building Integrated Photovoltaics) oraz modułów dwustronnych (bifacial). Pojawiające się na rynku panele mają różne wymiary i moce, które sięgają nawet 400W. Na uwagę zasługuje polska firma, która postawiła na dużą innowacyjność i jako jedna z nielicznych zaangażowała się w drukowanie paneli PV, przy użyciu związków organicznych. W 2018 r. przyznany został „patent na szybę z powłoką z kropek kwantowych polskiemu producentowi, który już wkrótce rozpoczyna seryjną produkcję transparentnego szkła fotowoltaicznego”.

Krajowe przedsiębiorstwa, razem z przeszło 90. wytwórcami i instytucjami badawczymi z terenu Unii Europejskiej, poświadczyły deklarację „Solar Europe Now”. Grupa polskich przedsiębiorców

zmierza do użycia „instrumentów Europejskiego Zielonego Ładu do reindustrializacji i potwierdza zasadność gospodarczą produkcji na terenie UE wszystkich komponentów niezbędnych dla fotowoltaiki”. Przedsiębiorstwa przemysłowe, które współpracują w ramach „Przemysłowego Panelu PV”, popularyzują koncepcję wpisania fotowoltaiki do przedsięwzięć wspólnego europejskiego zainteresowania (EU EPCI). Według tych firm, zasadne jest wprowadzanie krok po kroku „unijnego granicznego podatku węglowego”, który miałby dotyczyć produktów wprowadzanych na rynek spoza UE. [8]

W tab. 4 przedstawiono szacunkowe koszty instalacji elektrowni PV, w zależności od mocy zainstalowanej.

Tabela 4. Średnia cena instalacji fotowoltaicznej, w zależności od jej mocy [8]
Table 4. Average price of a photovoltaic installation, depending on its power

Wielkość instalacji	Średnia cena instalacji
3 kW	15 500 zł
10 kW	42 000 zł
40 kW	146 000 zł
100 kW	350 000 zł
500 kW	1 800 000 zł
1 MW	2 800 000 zł
5 MW	12 500 000 zł

Największy udział w kosztach, bez względu na wielkość instalacji, stanowią moduły – około 50%. Jest on jednak najmniejszy, w przypadku mikroinstalacji, gdzie drugim największym kosztem jest falownik. Przy instalacjach większych, koszty inwerterów pochłaniają mniejszą część budżetu. Do kategorii „Koszty pozostałe” zaliczamy m.in. okablowanie oraz transport, a w przypadku największych instalacji także stację transformatorową, ogrodzenie i monitoring.

Należy odnotować, że na przestrzeni ostatnich lat odnotowuje się spadek cen modułów, zarówno polikrystalicznych jak i monokrystalicznych. [8] Szacunkowe ceny, w przeliczeniu na jednostkę mocy zainstalowanej zamieszczono w tab. 5.

Tabela 5. Średnia cena netto w przeliczeniu na jednostkę mocy [8]
Table 5. Average net price per power unit

Średnia cena w roku:	Panele monokrystaliczne	Panele polikrystaliczne
2018	2,45 zł/W	1,90 zł/W
2019	1,60 zł/W	1,56 zł/W
2020	1,30 zł/W	0,96 zł/W

Ocena efektywności ekonomicznej elektrowni fotowoltaicznej w skali makro

Przedmiotowa elektrownia słoneczna o mocy około 1 MW, umiejscowiona na gruncie, składa się z następujących komponentów – tab. 6.

Tabela 6. Składowe instalacji o mocy 999,9 kW [6]
Table 6. Components of an installation with a power of 999.9 kW

MATERIAŁ	JEDNOSTKA	IŁOŚĆ
Moduły fotowoltaiczne SWISS SOLAR 450W	szt.	2222
Falownik Solis-50K	szt.	17
Konstrukcja montażowa	kpl.	1
Zabezpieczenia AC i DC	kpl.	1
Kabel DC	m	3100
Kabel AC	m	5400
Pozostałe akcesoria	kpl.	1
Stacja transformatorowa	kpl.	1

IBEX 144MHC-COSMOS BLACK 435-455

MONOKRYSTALICZNE MODUŁY SŁONECZNE

PARAMETRY ELEKTRYCZNE W STC					
Maksymalna Moc (Pmax)	435	440	445	450	455
Tolerancja	0/+5W	0/+5W	0/+5W	0/+5W	0/+5W
Prąd Przy Maks. Moc (Impp) [A]	10.66A	10.73A	10.80A	10.87A	10.94A
Napięcie znamionowe Vmpp [V]	40.8V	41.0V	41.2V	41.4V	41.6V
Prąd Zwarcia (Isc) [A]	11.25A	11.32A	11.39A	11.46A	11.53A
Napięcie obwodu otwartego Uoc [V]	49.39V	49.59V	49.79V	49.99V	50.19V
Wydajność w STC (%)	19.55%	19.78%	20.00%	20.22%	20.45%
Klasa zastosowania	Class A	Class A	Class A	Class A	Class A

Specyfikacja zgodnie z STC (Standardowe warunki badań); natężenie napromienienia 1000 W/m² | temperatura modułu 25°C | masa powietrza = 1,5

PARAMETRY ELEKTRYCZNE W NOCT					
Moc w Pmpp [Wp]	321	324	327	330	333
Prąd znamionowy Impp [A]	8.53	8.59	8.65	8.7	8.75
Napięcie znamionowe Vmpp [V]	37.56	37.67	37.78	37.89	38.00
Zwarcie Isc [A]	9.09	9.16	9.23	9.3	9.37
Napięcie obwodu otwartego Uoc [V]	45.48	45.51	45.54	45.57	45.6

NOCT (nominalna temperatura komory roboczej); natężenia napromienienia 800 W/m² | prędkość wiatru 1 m/s | temp. otoczenia 20°C | temp. komory roboczej 45 +/-2°C | Masa powietrza = 1,5

ACK 450.

Rys. 2. Parametry modułu SWISS SOLAR IBEX-144MHC COSMOS BL [3]

Fig. 2. SWISS SOLAR IBEX-144MHC COSMOS BL parameters

Przy wyborze komponentów do elektrowni fotowoltaicznej w skali makro, szczególna uwaga skupia się na cenach jednostkowych urządzeń i ich sprawności, a także gwarancji produkcyjnej. Z racji tego, że największą część kosztów pochłaniają moduły fotowoltaiczne, inwestorzy często spotykają się z dylematem przy ich wyborze. Kierowanie się przeliczeniem ceny

„za wat” przy tak dużej inwestycji nie jest do końca słuszne. Dla przykładu, zakup paneli do elektrowni wielkości 999,9 kW, o mocy 280 W kosztowałby mniej, jednak ich ilość, w stosunku do paneli o mocy 450 W, wzrosłaby o przeszło 1340 szt. Oznacza to, zużycie znacznie większej ilości powierzchni, konstrukcji montażowej, przewodów oraz poniesienie większych kosztów również z tytułu samych prac montażowych. Jest to, więc jednoznacznie nieopłacalne.

W analizowanym przykładzie wybrano moduły fotowoltaiczne to SWISS SOLAR IBEX-144MHC COSMOS BLACK 450 o mocy 450 W każdy.

Charakterystyka modułu:

- Wymiar: 2115 × 1052 × 40 mm, powierzchnia około 2,22 m².
- Waga jednej szt. 25,5 kg.
- Temperatura pracy od -40 do +85°C. M
- Maksymalne obciążenie śniegiem: 5400 Pa.
- 20 lat gwarancji produkcyjnej
- 30 lat gwarancji wydajności liniowej.

Wybrano również falowniki to SOLIS-50 K, o znamionowej mocy wyjściowej 50 kW.

- Wymiar falownika: 630 × 700 × 357 mm.
- Waga jednej szt. 63 kg.
- Roboczy zakres otoczenia od -25 do +60°C
- Stopień ochrony IP65
- Topologia: Beztransformatory.
- 10 lat gwarancji produkcyjnej
- Zużycie własne <1 W (noc)
- Inteligentne redundantne chłodzenie wentylatorem
- Ponad 98,8% maksymalnej sprawności

Ocena efektywności ekonomicznej elektrowni PV w skali makro

Całkowite nakłady inwestycyjne elektrowni fotowoltaicznej w skali makro o mocy 1 WW wynoszą **3 458 878,00 zł**. Szczegółowa kalkulacja została przedstawiona w tab. 7.

Nazwa modelu	Solis-50K
Wejście DC	
Zalecana maksymalna moc wejściowa	60kW
Maks. napięcie wejściowe	1100V
Napięcie znamionowe	600V
Napięcie rozruchowe	200V
Zakres napięcia MPPT	200-1000V
Maks. prąd wejściowy	4*28.5A
Maks. prąd zwarcia	4*44.5A
Numer MPPT / Maks. Liczba stringów	4/12
Wyjście AC	
Znamionowa moc wyjściowa	50kW
Maks. pozorna moc wyjściowa	55kVA
Maks. moc wyjściowa	55kW
Napięcie nominalne	3/N/PE, 220/380V, 230/400V
Znamionowa częstotliwość sieci	50/60Hz
Znamionowy prąd wyjściowy sieci	72.2A/76A
Maks. prąd wyjściowy	83.3A
Współczynnik Moc	> 0,99 (0,8...1...0,8)
Całkowite zniekształcenie harmoniczne prądu	<3%
Efektywność	
Maks. wydajność	98.8%
Maks. Wydajność UE	98.4%

Rys. 3. Parametry falownika Solis-50K [2]

Fig. 3. Parameters of the Solis-50K inverter

Tabela 7. Kalkulacja szczegółowa inwestycji [5]

Table 7. Detailed investment calculation

Nakłady inwestycyjne – kalkulacja szczegółowa	
Zakup działki o powierzchni 1,6 ha	86 000,00 zł
Instalacja fotowoltaiczna	3 022 878,00 zł
Przygotowanie terenu pod inwestycję – prace ziemne i fundamentowe wycinka drzew	440 000,00 zł
Projekt (projekt koncepcyjny, wykonawczy – elektryczny i budowlany, pomiary geodezyjne)	164 000,00 zł
Panele fotowoltaiczne	1 199 880,00 zł
<i>Ilość sztuk</i>	2 222
<i>Cena jednostkowa panelu</i>	540,00 zł
Inwertery typ 1	210 970,00 zł
<i>Ilość sztuk</i>	17
<i>Cena jednostkowa inwertera typ 1</i>	12 410,00 zł
Inwertery typ 2	– zł
<i>Ilość sztuk</i>	0
<i>Cena jednostkowa inwertera typ 2</i>	– zł
Inwertery typ 3	– zł
<i>Ilość sztuk</i>	0
<i>Cena jednostkowa inwertera typ 3</i>	– zł
Komponenty wspierające pracę systemu PV po stronie DC i AC	30 000,00 zł
Ilość stołów (instalacje naziemne)/systemów mocujących (dach)	396 000,00 zł
<i>Ilość sztuk</i>	180
<i>Cena jednostkowa 1 stołu/systemu mocującego</i>	2 200,00 zł
Kabel DC	12 400,00 zł
<i>Ilość mb</i>	3 100
<i>Cena jednostkowa 1 mb kabla DC</i>	4,00 zł
Kabel AC	253 800,00 zł
<i>Ilość mb</i>	5 400
<i>Cena jednostkowa 1 mb kabla AC</i>	47,00 zł
Montaż modułów PV	117 766,00 zł
<i>Ilość sztuk</i>	2 222
<i>Cena jednostkowa montażu 1 modułu</i>	53,00 zł
Montaż inwerterów	16 082,00 zł
<i>Ilość sztuk</i>	17
<i>Cena jednostkowa montażu 1 inwertera</i>	946,00 zł
Montaż stołów (instalacje naziemne)/systemów mocowań (dach)	145 980,00 zł
<i>Ilość sztuk</i>	180
<i>Cena jednostkowa montażu 1 stołu/systemu mocującego</i>	811,00 zł
Pozostałe akcesoria (skrzynki rozdzielcze, sterowniki itp.) – komponenty n/n wraz z montażem	36 000,00 zł
Transformator wraz z przyłączeniem	250 000,00 zł
Monitoring obiektu (centralka, kamery, kable)	30 000,00 zł
Ogrodzenie obszaru instalacji PV	70 000,00 zł
Łączna długość ogrodzenia [m]	500
Koszt ogrodzenia [mb.]	140,00 zł
Razem:	3 458 878,00 zł

Tabela 8. Wpływ komponentów na cenę

Table 8. Influence of components on the price

Element elektrowni słonecznej	Udział w kosztach [%]
Działka o powierzchni 1,6 ha	2,5%
Przygotowanie terenu pod inwestycję	12,7%
Prace projektowe	4,7%
Moduły fotowoltaiczne	34,7%
Falowniki	6,1%
Zabezpieczenia	0,9%
Konstrukcja	11,4%
Okablowanie DC	0,4%
Okablowanie AC	7,3%
Prace konstrukcyjno budowlane oraz pomiary	8,1%
Pozostałe akcesoria	1,0%
Transformator wraz z przyłączeniem	7,2%
Monitoring	0,9%
Ogrodzenie	2,0%

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 9. Koszty stałe inwestycji w skali roku

Table 9. Fixed investment costs per year

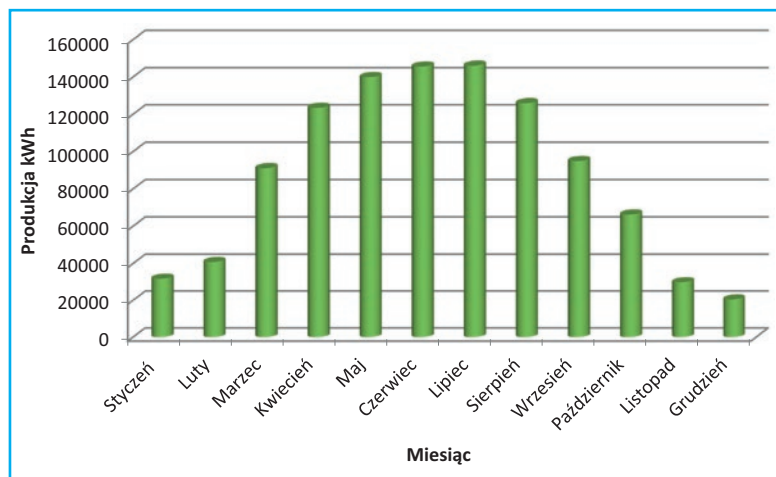
Oplata serwisowa	Oplata obejmuje usługę serwisowania oraz nadzoru nad właściwą pracą instalacji. Usługa jest najczęściej oferowana przez wykonawców instalacji.	30 000 zł
Podatek od gruntu	Jego wysokość może się różnić, w zależności od gminy, w której znajduje się inwestycja.	13 580 zł
Zużycie energii na potrzeby własne	Przyjęto, że zapotrzebowanie farmy na pokrycie potrzeb własnych będzie wynosić 500 kWh miesięcznie.	2160 zł
Koszty ubezpieczenia	Zabezpieczenie na wypadek zdarzeń losowych takich jak np. pożar lub kradzież instalacji. Około 0,7% wartości inwestycji.	24 852,42 zł

Największa część kwoty w budowie farmy fotowoltaicznej to koszt modułów, na drugim miejscu plasuje się przygotowanie terenu pod inwestycję, a na trzecim konstrukcja (tab. 8).

Suma kosztów stałych, tzw. kosztów O&M (koszty eksploatacji i utrzymania) dla elektrowni PV o mocy ok. 1 MW wynosi **70 592,42 zł** rocznie. Dane szczegółowe przedstawiono w tab. 9. [11]

Prognozowana produkcja energii elektrycznej

Produktywność farmy fotowoltaicznej zależy od wielu czynników. Do kluczowych zalicza się występowanie w danym regionie nasłonecznienia, czystość atmosfery, jak również parametry techniczne urządzeń, tj. rodzaju zainstalowanych modułów fotowoltaicznych, kąt nachylenia modułów, awaryjności komponentów, oraz jakość obsługi czyli właściwy i regularny serwis, a także ewentualnych przestoju w pracy elektrowni, spowodowanych np. przez osoby trzecie tj. kradzież jej elementów. Z uwagi na wahania w zakresie nasłonecznienia w naszym kraju, przyjmując na potrzeby analizy, że instalacja jest zlokalizowana w miejscowości Lublin i ukierunkowana



Rys. 4. Ilość energii wytworzonej z instalacji fotowoltaicznej o mocy 999,9 kW w poszczególnych miesiącach [6]

Fig. 4. Amount of energy generated from a photovoltaic installation with a capacity of 999.9 kW per months

Tabela 10. Założenia inwestycyjne dla różnych wariantów w systemie aukcyjnym [4]

Table 10. Investment assumptions for various variants in the auction system

	Wariant I	Wariant II	Wariant III
Wysokość dofinansowania (% nakładów inwestycyjnych)	0%	20%	40%
Wysokość dofinansowania [zł]	- zł	691 775,60 zł	1 383 551,20 zł
Skorygowana cena zł/MWh	360,00 zł	314,47 zł	268,94 zł
Wysokość zaciągniętego kredytu	2 075 326,80 zł	1 660 261,44 zł	1 245 196,08 zł
Wkład własny	1 383 551,20 zł	1 106 840,96 zł	830 130,72 zł

na południe, pod kątem nachylenia o wartości 30°, wówczas będzie produkowała ok. 1055 MWh energii elektrycznej w ciągu roku. [2]

Uzysk roczny wyliczony w programie PV SOL – **105 5812,14 kWh**.

Na rys. 2 przedstawiono produkcję energii elektrycznej w rozbiu na poszczególne miesiące standardowego roku.

Elektrownia fotowoltaiczna w skali makro jako dostawca energii elektrycznej do systemu elektroenergetycznego

Według ROZPORZĄDZENIA MINISTRA KLIMATU z dnia 24 kwietnia 2020 r. w sprawie ceny referencyjnej energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w 2020 r. oraz okresów obowiązujących wytwórców, którzy wygrali aukcje w 2020 r.: „§2.1. Cena referencyjna dla instalacji odnawialnego źródła energii, o których mowa w art. 72 ust. 1 pkt 1 i 2 ustawy:

30) o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 1 MW, wykorzystujących wyłącznie energię promieniowania słonecznego do wytwarzania energii elektrycznej, wynosi 360 zł/MWh;

31) o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej większej niż 1 MW, wykorzystujących wyłącznie energię promieniowania słonecznego do wytwarzania energii elektrycznej, wynosi 340 zł/MWh;”.

Przedmiotowa instalacja posiada moc 0,9999 MW, stąd też cena referencyjna wynosi 360 zł/MWh. Cena skorygowana, to jest końcowa cena sprzedaży energii, korzystając z systemu aukcyjnego, jest zależna od wartości przyznanego dofinansowania.

Punktem startowym przeprowadzanej analizy finansowo-ekonomicznej jest kwiecień 2022, okres analizowany obejmuje zaś 30 lat eksploatacji. Punkt początkowy poprzedzony jest czasem na realizację przedsięwzięcia, uwzględniającym fazę planowania oraz fizyczną budowę instalacji i wynosi 18 miesięcy. Na czas eksploatacji przyjęto wsparcie przedsięwzięcia poprzez udział w systemie aukcyjnym, przez okres 15 lat. Po tym czasie sprzedaż energii przeniesie się na rynek hurtowy.

W przeprowadzanej analizie założone zostały trzy warianty finansowania inwestycji:

1. Dofinansowanie 0%, instalacja finansowana z kredytu i wkładu własnego w proporcji 60%/40%;
 2. Dofinansowanie 20%, pozostała kwota finansowana z kredytu i wkładu własnego w proporcji 60%/40%;
 3. Dofinansowanie 40%, pozostała kwota finansowana z kredytu i wkładu własnego w proporcji 60%/40%.
- Dane liczbowe zamieszczono w tab. 10.

Analiza rentowności dla finansowania w systemie aukcyjnym

Podstawowym wskaźnikiem oceny opłacalności dla inwestycji jest NPV, czyli wartość bieżąca inwestycji netto. Konieczne jest, aby wartość ta była równa lub większa od 0, tylko wtedy przedsięwzięcie jest ekonomicznie uzasadnione. W obliczeniach przyjęto, że stopa zwrotu wynosi 6%. Przyjęty został również 0,5% spadek produkcji energii w skali każdego roku, wynikający ze spadku mocy paneli (degradacja techniczna).

Wzór do obliczenia NPV:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} - I_0 \quad (1)$$

Gdzie:

CF_i – przepływy pieniężne,

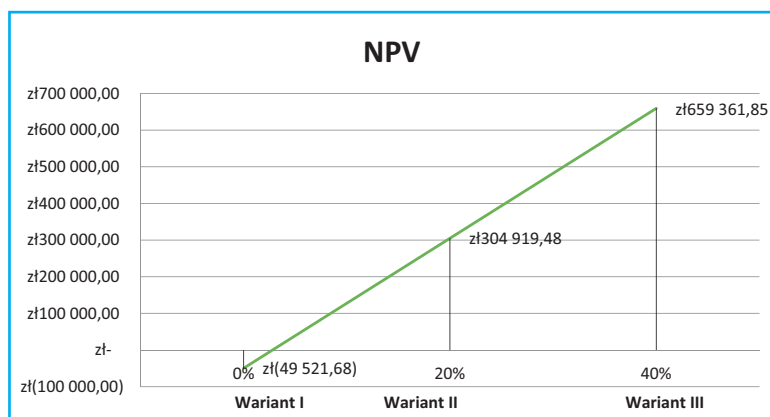
I_0 – nakłady początkowe,

n – liczba okresów,

r – wymagana stopa zwrotu.

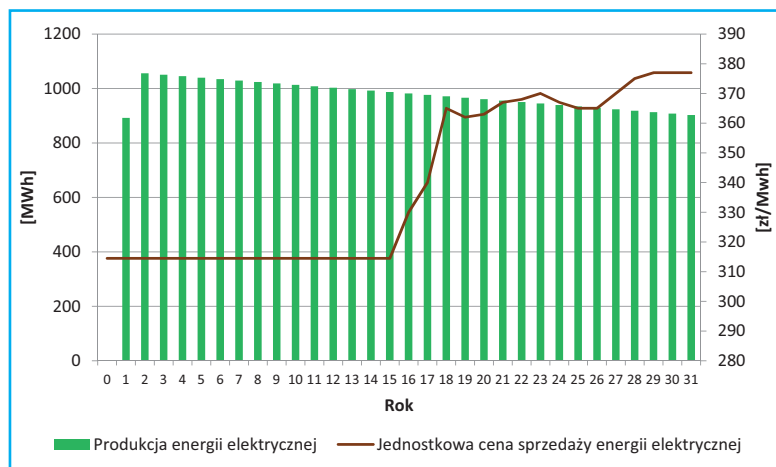
Z przeprowadzonej analizy wynika, że przy przyjętych założeniach technicznych oraz inwestycyjnych, wariant II i III znajduje ekonomiczne uzasadnienie.

ROI (z ang. *return on investment*, zwrot z inwestycji) – jest jednym z finansowych wskaźników rentowności, który stosuje się, aby zmierzyć efektywność działania danej inwestycji.



Rys. 5. Zależność wartości bieżącej netto od dofinansowania do nakładów inwestycyjnych [7]

Fig. 5. Dependence of the net present value from co-financing to capital expenditure



Rys. 6. Produkcja energii elektrycznej i zakładana cena sprzedaży w trakcie eksploatacji dla Wariantu II [7]

Fig. 6. Electricity production and the assumed sale price during operation for Option II

Metoda ta wykorzystywana jest, aby zmierzyć bezwzględną opłacalność. Może być „interpretowana ekonomicznie, jako stopa zwrotu z nakładów inwestycyjnych poniesionych na realizację danej inwestycji”. ROI kwalifikuje się do metod prostych, których założeniem jest, że „nadwyżkowa korzyść netto z inwestycji mierzona jest memoriałowym zyskiem i wartość pieniądza w czasie jest stała.”

Wskaźnik obliczany jest, według poniższego wzoru:

$$ROI = \frac{\text{zysk operacyjny opodatkowany}}{\text{całkowite nakłady inwestycyjne}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Im wyższy jest przedmiotowy wskaźnik, tym inwestycja jest bardziej rentowna.

Tabela 11. Wartości wskaźnika ROI dla poszczególnych wariantów, w systemie aukcyjnym

Table 11. ROI values for variants in the auction system

	Wariant I	Wariant II	Wariant III
ROI	73%	86%	104%

Źródło: Opracowanie własne.

Elektrownia PV jako producent energii elektrycznej na polskim rynku

Drugim rozważanym wariantem przeprowadzenia inwestycji, jest montaż elektrowni, w celu pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną dużego przedsiębiorstwa produkcyjnego. Moc instalacji zapewni dostawę energii na potrzeby wszelkich urządzeń, w tym również pomp ciepła, które mają na celu zapewnienie ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia. Dodatkowo, przy obiekcie zostaną zainstalowane stacje ładowania dla pojazdów hybrydowych i elektrycznych.

Tabela 12. Czas zwrotu inwestycji w poszczególnych wariantach, dla przedsiębiorstwa

Table 12. Simple Payback Time of investment in variants, for an enterprise

	Wariant I	Wariant II	Wariant III
Dofinansowanie	0%	40%	60%
Koszt instalacji z uwzględnieniem dofinansowania oraz kosztów stałych w skali 15 lat	4 517 764,30 zł	3 134 213,10 zł	2 442 437,50 zł
Oszczędność na kosztach zakupu energii elektrycznej w skali roku	484 500 zł	484 500 zł	484 500 zł
Prosty czas zwrotu	9,3 lat	6,5 lat	5,0 lat

Źródło: Opracowanie własne.

Przyjęte zostaje, że całkowite zapotrzebowanie roczne przedsiębiorstwa to 950 MWh. Pozostała energia wytworzona, będzie odsprzedawana do sieci. Warto zaznaczyć, że tak duże zapotrzebowanie wynika z faktu, iż przedsiębiorstwo będzie całkowicie niezależne, a wszystkie urządzenia zasilane będą energią elektryczną.

W przeprowadzanej analizie, założone zostały trzy warianty finansowania inwestycji:

1. Dofinansowanie 0%, instalacja finansowana ze środków własnych przedsiębiorstwa.
2. Dofinansowanie 40%, pozostała kwota finansowana ze środków własnych przedsiębiorstwa.
3. Dofinansowanie 60%, pozostała kwota finansowana ze środków własnych przedsiębiorstwa.

Do przeprowadzenia analizy rentowności w tym przypadku, wykonane zostaną obliczenia prostego czasu zwrotu SPBT (z ang. Simple Pay Back Time). Ta nieskomplikowana metoda statyczna, ukazuje jaki czas jest niezbędny, aby odzyskać początkowe nakłady, poniesione na realizację inwestycji.

Przyjąć należy cenę zakupu i dystrybucji energii elektrycznej na poziomie około 510 zł/MWh.

Koszt pokrycia zapotrzebowania w skali roku 950 MWh * 510 zł/MWh = 484 500 zł (tab. 12). [12]

Elektrownia fotowoltaiczna w skali mikro

Instalacja fotowoltaiczna nazywana w skali makro elektrownią PV, w skali mikro składa się z analogicznych elementów jak elektrownia fotowoltaiczna. Do głównych zalicza się zestaw paneli fotowoltaicznych oraz inwerter (falownik).

Przyjmuje się, że mikroinstalacja to instalacja odnawialnego źródła energii (OZE) elektrycznej o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 50 kW. Nie ma konieczności, aby instalacja OZE przyłączana w jednym punkcie obejmowała tylko jeden rodzaj OZE, dopuszczalne jest instalowanie hybrydowych instalacji OZE jak np. instalacja fotowoltaiczna + siłownia wiatrowa.

Zdecydowani w przypadku mikroelektrowni fotowoltaicznych, zlokalizowanych na terenie bądź budynkach należących do osób prywatnych, realizowany jest zdecydowanie odmienny od omówionego powyżej model biznesowy. Opiera się on na relacji prosument – system elektroenergetyczny.

Zjawisko prosumpcji to nie wynalazek ostatnich czasów. Zarówno produkcja jak i związana z nią konsumpcja dóbr i usług przez wytwórcę jest znana już od wczesnego rozwoju naszej cywilizacji.

Obecnie tylko forma ulega zmianie, co wynika bezpośrednio z rozwoju technologii. Sam termin prosument jest połączeniem słów producent i konsument.

W odniesieniu do technologii elektrycznych już w 1972 r., Marshall McLuhan i Barrington Nevitt sformułowali tezę, że wraz z rozwojem nowych technologii elektrycznych konsument będzie coraz częściej stawać się producentem.

Mówiąc o Polsce, to prosument występuje w ustawie z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii jako „prosument energii odnawialnej”.

Prosumentem jest więc to podmiot, który jednocześnie produkuje i konsumuje energię wytworzoną w mikroinstalacji, czyli taki, który:

- wytwarza energię elektryczną na własne potrzeby tylko z odnawialnych źródeł energii w mikroinstalacji,
- jest odbiorcą końcowym, nie wykorzystuje energii na potrzeby wytwarzania, przesyłania lub dystrybucji energii elektrycznej,
- dokonuje zakupu energii elektrycznej na podstawie umowy kompleksowej – wystawiana faktura będzie pomniejszana o opusty wynikające z ilości energii oddanej do sieci,
- wytwarzanie energii elektrycznej nie stanowi przeważającej działalności gospodarczej.

Prosument musi mieć zawartą umowę kompleksową ze sprzedawcą dedykowanym do rozliczenia usługi kompleksowej, (czyli sprzedaży i dystrybucji energii elektrycznej), z uwzględnieniem opustów za ilość energii oddanej do sieci.

Rozliczenie dla Prosumenta odbywa się ze sprzedawcą energii elektrycznej i polega na przeliczeniu pomiarów energii pobranej oraz tej oddanej do sieci, w zależności od łącznej mocy zainstalowanej mikroinstalacji:

- dla instalacji nie większej niż 10 kW – w stosunku ilościowym: energia pobrana (1), energia oddana (0,8),
- dla instalacji większej niż 10 kW – w stosunku ilościowym: energia pobrana (1), energia oddana (0,7).

Rozliczenia ilości energii dokonywane są na podstawie odczytów licznika dwukierunkowego, przypisanego do danego prosumenta. Dane pomiarowe w tym przypadku obejmą także godzinowe ilości energii elektrycznej, wprowadzonej i pobranej z sieci dystrybucyjnej przez prosumenta energii odnawialnej, po wcześniejszym sumarycznym bilansowaniu ilości energii wprowadzonej i pobranej z sieci dystrybucyjnej z wszystkich faz dla trójfazowych mikroinstalacji.

Zaznaczyć należy, że od ilości rozliczonej energii elektrycznej, prosument energii odnawialnej nie uiszcza:

- na rzecz sprzedawcy, opłat z tytułu jej rozliczenia,
- opłat za usługę dystrybucji, których wysokość zależy od ilości energii elektrycznej pobranej przez prosumenta energii odnawialnej; opłaty te są uiszczane przez sprzedawcę, wobec operatora systemu dystrybucyjnego elektroenergetycznego, do sieci, którego przyłączona jest mikroinstalacja.

Program Priorytetowy „Mój Prąd” – to program, o którym mowa w art. 22 ustawy z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2019 r., poz. 1447 z późn. zm.) został opracowany przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 27 czerwca 2019 r. w sprawie rodzajów programów i projektów przeznaczonych do realizacji w ramach Krajowego systemu zielonych inwestycji (Dz. U. 2019 r., poz. 1209) określający podmioty, które mogą się ubiegać o dofinansowanie, rodzaje projektów kwalifikujących się do dofinansowania, warunki udzielenia dofinansowania oraz kryteria oceny wniosków o dofinansowanie; zwany dalej „Programem”.

Upraszczając, zgodnie z informacjami przedstawianymi przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej „Mój Prąd” to – program dofinansowania instalacji fotowoltaicznych ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Zadaniem programu jest wspieranie rozwoju energetyki prosumenckiej, dokładniej rzecz ujmując segmentu obejmującego mikroinstalacje fotowoltaiczne, to znaczy takie, których w tym przypadku zainstalowana moc elektryczna mieści się w przedziale od 2 kW do 10 kW, jednocześnie służących na potrzeby istniejących budynków mieszkalnych. Zastrzec należy, że dofinansowania nie można skorzystać w realizacji projektów

polegających na zwiększeniu mocy już istniejącej instalacji fotowoltaicznej. Głównym celem programu jest zwiększenie produkcji energii elektrycznej z mikroinstalacji fotowoltaicznych.

W przypadku korzystania z programu „Mój Prąd” pojęcie mikroinstalacji zawęzić należy tylko do instalacje fotowoltaicznych o mocy od 2 kW do 10 kW.

Z programu skorzystać mogą beneficjenci będący osobami fizycznymi, wytwarzającymi energię elektryczną do własnego użytku, mające jednocześnie zawartą umowę kompleksową z Operatorem Sieci Dystrybucyjnej (zakładem energetycznym). Kompleksową to znaczy taką umowę z zakładem energetycznym, która to reguluje tematykę związaną z wprowadzeniem do sieci energii elektrycznej wytworzonej w mikroinstalacji. Osoby te jednocześnie muszą być właścicielem lub współwłaścicielem instalacji fotowoltaicznej, na której dofinansowanie składają wniosek. Osoby takie skorzystać mogą z dofinansowania, będącego dotacją do maksymalnie 50% kosztów kwalifikowanych wykonania mikroinstalacji fotowoltaicznej, jednak nie więcej jak 5 tys. zł w przeliczeniu na jedno przedsięwzięcie.

Warunki programu „Mój Prąd” nie wykluczają samodzielnego zakupu a dalej montażu poszczególnych podzespołów dla mikroinstalacji fotowoltaicznej, jednakże najprostszym sposobem jest zlecenie takiego zadania wyspecjalizowanej firmie. Wynika to zarówno ze względów prawnych i względów bezpieczeństwa, podyktowanych oddzielnymi przepisami. Budowa mikroinstalacji oraz instalacji łączącej ją z siecią energetyczną powinna być wykonana przez uprawnionego instalatora, który musi posiadać odpowiednie kwalifikacje, pozwalające na montaż źródeł wytwórczych tj.:

- ważny certyfikat potwierdzający kwalifikacje do instalowania odnawialnych źródeł energii (art. 136 i art. 145 ustawy o odnawialnych źródłach energii) lub,
- ważne świadectwo kwalifikacyjne uprawniające do zajmowania się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci w zakresie dozoru i w zakresie eksploatacji lub,
- uprawnienia budowlane w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych.

Należy pamiętać również, że instalacja powinna być wykonana zgodnie z obowiązującymi przepisami, w szczególności z: NC RfG (*Kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączania jednostek wytwórczych do sieci*) i Wymogami Ogólnego Stosowania opracowanymi na podstawie przepisów NC RfG, Instrukcją Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej oraz normami i zasadami wiedzy technicznej.

Jedyny wyjątek stanowią gotowe modułowe instalacje w typie PLUG and PLAY, dla których nie ma wymogów:

- instalacji przez uprawnionego instalatora,
- spełnienia wymogów NC RfG, tym samym nie jest wymagany certyfikat sprzętu.

Są jeszcze dwa zasadnicze aspekty przemawiające za zlecenie wykonania inwestycji wyspecjalizowanym podmiotom:

- po pierwsze jest wartość podatku VAT, który w takim przypadku wyniesie 8 zamiast 23% kiedy to sami jako osoba fizyczna chcielibyśmy zakupić komponenty do budowy instalacji,
- po drugie doświadczenia instalatorów w przygotowywaniu dokumentacji niezbędnej przy zgłaszaniu przyłączenia mikroinstalacji do sieci elektroenergetycznej oraz składaniu wniosku o dofinansowanie budowy.

Zgłoszenie przyłączenia mikroinstalacji do sieci elektroenergetycznej do Operatora Sieci Dystrybucyjnej musi nastąpić co najmniej 30 dni przed dniem planowanego przyłączenia do sieci.

Aspekty ekonomiczne i analiza przypadku

Z dniem 23 listopada 2019 r. weszły w życie przepisy nowelizujące art. 21 ust. 1 pkt 129a ustawy PIT. Skutkiem czego jest rozszerzenie z dniem 23 listopada 2019 r. zakresu zwolnienia z po-

datku dochodowego od osób fizycznych. Zwolnienie to obejmuje teraz wszystkie dotacje i inne świadczenia bezzwrotne (w tym kwoty umorzonych pożyczek) otrzymywane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz wojewódzkich funduszy ochrony środowiska i gospodarki wodnej na przygotowanie dokumentacji oraz realizację przedsięwzięć. Stąd też dofinansowanie udzielone w ramach programu „Mój Prąd” korzystają ze zwolnienia z podatku dochodowego. Oznacza to, że otrzymanych środków podatnik nie jest obowiązany wykazać w zeznaniu rocznym PIT.

Dotatkową zachętą do budowy mikroinstalacji fotowoltaicznych na własne potrzeby jest możliwość skorzystania z ulgi termomodernizacyjnej – czyli odliczenia od podatku w zeznaniu rocznym kosztów poniesionych na budowę ów instalacji. Pamiętać należy jednak, że w przypadku przedstawienia kosztu zakupu i montażu instalacji dofinansowanej ze środków Programu „Mój Prąd” do rozliczenia w ramach ulgi termomodernizacyjnej, należy pomniejszyć kwotę przedstawioną do odliczenia o wartość otrzymanego dofinansowania. Np.: koszt poniesiony przez inwestora na wykonanie mikroinstalacji fotowoltaicznych to 24000 zł, dofinansowanie z programu „Mój Prąd” to (50% kosztów kwalifikowanych nie więcej jak 5000 zł) 5000 zł, czyli odliczenie w ramach ulgi termomodernizacyjnej może obejmować kwotę $24000 - 5000 = 19000$ zł.

Dla celów obliczeń ekonomicznej zasadności budowy mikroinstalacji (mikroelektrowni) fotowoltaicznej przeanalizowano elektrownie w skali mikro zainstalowaną na budynku jednorodzinnym, położonym na północnym Mazowszu w Ciechanowie.

Instalacja o mocy 8,1 kWp wykonana z 18 paneli fotowoltaicznych o mocy 450 W każdy i falownika o maksymalnej mocy wejścia (DC): 7,2 kW. Panele zostały zamontowane na dwóch połaciach dachowych po 9 szt. paneli na każdej skierowanych wschód-zachód o kącie nachylenia 40 st. Pokrytych blachą na rąbek stojący. Łączny koszt wykonania kompletnej instalacji wraz z dokumentacją techniczną to 23 660 zł z uwzględnieniem 8% opodatkowania podatkiem VAT. Analizowane gospodarstwo domowe w skali roku zużywa maksymalnie 5 900 kWh, z czego 2 700 kWh stanowi pobór dokonany przez powietrzną PC typu split celem ogrzewania budynku i przygotowanie CWU dla 4 os., rodziny. Pozostałe 3 200 kWh to bieżące zużycie energii na bytowanie codzienne domowników.

Przyjęto, że średnia bieżąca cena 1 kWh energii elektrycznej na północnym Mazowszu wynosi 0,72 zł. Stawka ta uwzględnia nie tylko cenę 1 kWh energii czynnej ale również opłaty abonamentowe, opłaty sieciowe stałe, zmienne, opłaty jakościowe, opłaty OZE. Stąd też roczny koszt energii elektrycznej dla analizowanego gospodarstwa wynosi 4 248 zł.

Instalacja została przewymiarowana aż o 37% ze względu na sytuowanie paneli wschód-zachód, planowane zwiększenie zużycia energii elektrycznej przez domowników i występujące okresowo zacienienie instalacji.

Zakładając statystycznie, że analizowana instalacja jest w stanie wytworzyć z 1 kWp rocznie 850 kWh energii elektrycznej można przyjąć produkcję na poziomie 6885 kWh/rok. Dlatego też

Tabela 13. Nakłady inwestycyjne na elektrownię fotowoltaiczną w skali mikro
Table 13. Investment costs on a micro scale photovoltaic power plant

23 660,00 zł	– całkowity koszt budowy instalacji fotowoltaicznej
5 000,00 zł	– bezzwrotna dotacja z programu „Mój Prąd”
18 660,00 zł	– koszty poniesione przez inwestora po odliczeniu dotacji
3 358,80 zł	– 18% ulgi termomodernizacyjnej (odliczenie od podatku dochodowego w rocznym zeznaniu PIT)
15 301,20 zł	– realne nakłady finansowe poniesione przez inwestora na budowę mikroinstalacji fotowoltaicznej po odliczeniu dotacji i ulgi podatkowej

założono, że instalacja w pełni pokrywa zapotrzebowanie analizowanego gospodarstwa domowego na zużycie energii elektrycznej.

W tab. 13 przedstawiono nakłady inwestycyjne

Zakładając brak wzrostu ceny 1 kWh energii elektrycznej SPBT wynosi 3,6 roku.

Analizowana elektrownia fotowoltaiczna w skali mikro może stanowić interesująca inwestycję nadwyżki środków finansowych, szczególnie przy aktualnych niskich stopach oprocentowania na lokatach bankowych – 1%–1,5%. Przy ulokowaniu kapitału w budowie instalacji fotowoltaicznej i nawet przy utrzymaniu dotychczasowych cen prądu, oprocentowanie zainwestowanych środków jest możliwe nawet na poziomie 27% w skali roku. Śmiało można więc powiedzieć, że w obecnej sytuacji ekonomicznej i uwarunkowaniach prawnych, ekologia wynikająca z budowy przydomowych elektrowni fotowoltaicznych w skali mikro idzie w parze z ekonomicznym rachunkiem dla inwestora.

Podsumowanie

Elektrownie fotowoltaiczne w skali makro i mikro to inwestycje charakteryzujące się atrakcyjnymi wartościami wskaźników ekonomicznych: SBBT, NPV i ROI, co z pewnością jest rekomendacją do ich implementacji.

Niemniej, z perspektywy Zielonego Ładu, również stanowią interesujący sektor producentów tzw. zielonej energii elektrycznej. Zgodnie z danymi KOBIZE wskaźnik jednostkowej emisji CO₂ dla odbiorcy końcowego energii elektrycznej wynosił 719 kg/MWh, w obliczeniach emisji za 2020 r.

Dla analizowanych elektrowni uniknięta emisja wynosi odpowiednio: 758 Mg/rok, w przypadku elektrowni PV w skali makro i 5 Mg/rok, w przypadku elektrowni PV w skali mikro.

W perspektywie 2030 r. celem jest osiągnięcie jednostkowej emisji dla produkcji energii elektrycznej w Polsce na poziomie 566 kg CO₂/1 MWh_{ee}. Dla porównania: Czechy – 435 kg, Bułgaria – 365 kg i Niemcy – 248 kg. Średnia emisyjność dla UE wynosić będzie 153 kg CO₂ na 1 MWh. Najniższe wskaźniki – po 14 kg – będą mieć Dania i Szwecja. Energetyka solarna zawężona do fotowoltaiki to jedna z możliwości osiągnięcia celów w drodze do bezemisyjnej gospodarki.

LITERATURA

- [1] Dębowski M., A. Luberański, M. Michalski, A. Petrukanec, P. Polewka. 2018. Praktyczny Poradnik Instalatora, Wydanie drugie, ATUM Sp. z o.o.
- [2] Karta katalogowa falownika Solis-50K <https://www.sklep.asat.pl/pl/p/Falownik-inwerter-Solis-50kW-50K-dongle-gratis-/825>.
- [3] Karta katalogowa modułu SWISS SOLAR IBEX-144MHC COSMOS BLACK 450 – <https://www.waltaksolar.com/wp-content/uploads/downloads/swiss-solar/IBEX-MHC144-COSMOS-BLACK-435-455.pdf>
- [4] Kołodziej Barbara, Mariusz Matyka. 2012. Odnawialne źródła energii, Rolnicze surowce energetyczne, Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne Sp. z o.o.
- [5] Materiały szkoleniowe otrzymane w ramach Webinarium „Analiza rentowności i ryzyka inwestycji budowy instalacji fotowoltaicznej z programem InvestPV” z dnia 12.01.2021 r.
- [6] Projekt koncepcyjny instalacji fotowoltaicznej o mocy 1 MW wykonany w programie PV SOL, przez firmę Evo Energy Sp. z o.o.
- [7] Raczkiwicz M. 2019. Zakład Statystyk i Prognoz, ARE S.A. – Opłacalność ekonomiczna farmy fotowoltaicznej do 1 MW w warunkach polskich.
- [8] Raport IEO Rynek Fotowoltaiki w Polsce 2020.pdf – dostęp z dnia 28.02.2021 r.
- [9] Szalata Łukasz, Agata Siedlecka, Cezary Lejkowski. 2016. Instalacje Fotowoltaiczne Jako Przykład Uzasadnionej Ekonomicznie Działalności Przemysłowej.
- [10] Szymański Bogdan. 2020. Instalacja Fotowoltaiczne, GLOBENERGIA Sp. z o.o.
- [11] Treła Grzegorz. 2013. „Analiza opłacalności projektów fotowoltaicznych”, nr 3.
- [12] Obrębska K. 2021. Praca dyplomowa inżynierska, Ocena rentowności elektrowni słonecznej o mocy 1 MW, Państwowa Uczelnia Zawodowa im. Ignacego Mościckiego w Ciechanowie, Wydział Inżynierii i Ekonomii.