

Jacek NAWROT
Politechnika Częstochowska

ANALIZA EFEKTYWNOŚCI WYKONANIA I EKSPLOATACJI INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ W BUDYNKU BIUROWYM

W niniejszej publikacji przeanalizowano zasadność wykonania i eksploatacji dachowej instalacji fotowoltaicznej w budynku biurowym o pow. 860 m². Przeanalizowano uwarunkowania formalnoprawne dla tego typu instalacji. Zaproponowano rozwiązanie techniczne dostosowane do warunków technicznych obiektu. Określono czas zwrotu nakładów, jakie należy ponieść na wykonanie takiej instalacji.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, instalacja fotowoltaiczna

WPROWADZENIE

Zwiększające się zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz ciągły wzrost kosztów jej wytwarzania i sprzedaży skłania odbiorców do poszukiwania rozwiązań, mających na celu obniżenie kosztów pozyskania energii elektrycznej, a także (choćby częściowego) zabezpieczenia się na wypadek przerw w jej dostawach. Z drugiej strony z uwagi na malejące zasoby tradycyjnych surowców energetycznych oraz coraz większą dbałość o środowisko naturalne promowane są instalacje wykorzystujące odnawialne źródła energii (energię wiatru, słońca itp.), tzw. „zieloną” energię.

Jednym z takich rozwiązań, które może zostać zastosowane praktycznie w każdym warunkach, jest mikroelektrownia w postaci dachowej instalacji fotowoltaicznej. Nie wymaga ona specyficznych warunków lokalizacyjnych (jakie muszą być spełnione np. dla elektrowni wiatrowych lub biogazowni), nie oddziałuje ujemnie na otoczenie. Jediną jej wadą jest możliwość wytwarzania energii elektrycznej tylko w ciągu dnia. W związku z tym, z uwagi na ograniczone możliwości jej magazynowania, energia ta powinna być zużywana na bieżąco (przy założeniu, że nie będzie odsprzedawana, tylko wykorzystywana na własne potrzeby). Obiektami, które pozwalają na racjonalne wykorzystanie energii elektrycznej wytwarzanej przez instalację fotowoltaiczną, są zatem wszelkie budynki, w których jest ona zużywana przede wszystkim w ciągu dnia: zakłady pracy pracujące na 1 lub 2 zmiany, urzędy, szkoły, biura itp. W niniejszym artykule podjęto próbę oszacowania efektywności wykonania i eksploatacji dachowej mikroinstalacji fotowoltaicznej w budynku biurowym o pow. całkowitej ok. 860 m², zlokalizowanym w Częstochowie.

1. WPŁYW UWARUNKOWAŃ FORMALNOPRAWNYCH NA WYBÓR NAJEFEKTYWNIJSZEGO ROZWIĄZANIA

Przepisy regulujące zasady wytwarzania i sprzedaży energii elektrycznej zawarte są w ustawie Prawo energetyczne [1] oraz w przypadku energii odnawialnej w projekcie Ustawy o Odnawialnych Źródłach Energii [2]. Wybierając konkretne rozwiązanie, należy przeanalizować wszystkie możliwe warianty pod kątem regulacji zawartych w ww. aktach prawnych i wybrać najkorzystniejszy z nich (dla przyjętych założeń).

Pierwszym czynnikiem, jaki należy rozważyć przy wyborze typu instalacji, jest jej wielkość. Według [2], instalacje wykorzystujące odnawialne źródła energii z uwagi na ich wielkość podzielić można na mikroinstalacje (o zainstalowanej mocy ≤ 40 kW), małe instalacje (o mocy przekraczającej 40 kW, ale nie większej niż 200 kW) i pozostałe, które z uwagi na zainstalowaną moc (powyżej 200 kW) mają charakter przemysłowy. Najkorzystniejsze warunki (ograniczenie procedur formalnoprawnych) stworzone zostały dla podmiotów chcących inwestować w mikroinstalacje: wytwarzanie energii w tych instalacjach przez osoby fizyczne nie jest traktowane jako działalność gospodarcza, zagwarantowano odbiór nadmiaru wytworzonej w takich instalacjach energii elektrycznej itp.

Drugim czynnikiem, jaki należałoby wziąć pod uwagę, jest wielkość produkowanej energii w stosunku do planowanego zużycia. Energię elektryczną można produkować tylko dla własnych potrzeb lub w większej ilości, a jej nadmiar odsprzedać. Według [2], energia elektryczna wytworzona w mikroinstalacji przyłączonej do sieci dystrybucyjnej musi zostać zakupiona przez dystrybutora (sprzedawcę z urzędu) działającego na danym terenie po cenie równej 80% średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej w poprzednim roku kalendarzowym, która na chwilę obecną wynosi 0,1567 zł/kWh. Jednak aby tak wytworzoną energię wytwórca mógł sprzedać, musi zgodnie z art. 32 [1] uzyskać koncesję, co wiąże się ze spełnieniem wymaganych ww. przepisami warunków oraz poniesieniem pewnych kosztów.

Kolejnym czynnikiem mogącym mieć wpływ na dokonywany wybór są ewentualne przychody ze sprzedaży praw majątkowych wynikających ze świadectw pochodzenia dla energii elektrycznej z odnawialnych źródeł (tzw. „zielone certyfikaty”). Zgodnie z [1], na wniosek wytwórcy energii z odnawialnych źródeł Prezes URE wydaje „świadectwo pochodzenia”. Prawa majątkowe wynikające z tych świadectw są zbywalne i są przedmiotem obrotu na Towarowej Giełdzie Energii. Średnioważona cena w miesiącu marcu 2014 r. na instrumencie PMOZE_A („zielone certyfikaty”) wyniosła 202,94 PLN/kWh, a wolumen obrotu uwzględniający zarówno transakcje sesyjne, jak i pozasesyjne był równy 4 174 977 MWh [3].

Biorąc pod uwagę powyższe czynniki oraz możliwą do wykorzystania powierzchnię dachu budynku, uznano, iż najkorzystniejszym rozwiązaniem będzie mikroinstalacja. Analizując cenę 1 kWh, jaką obecnie płaci właściciel budynku, sprzedaż energii wytworzonej przez własną instalację miałaby sens jedynie wtedy, jeśli nie mogłaby być ona w całości zużyta na potrzeby własne. Uwzględniając

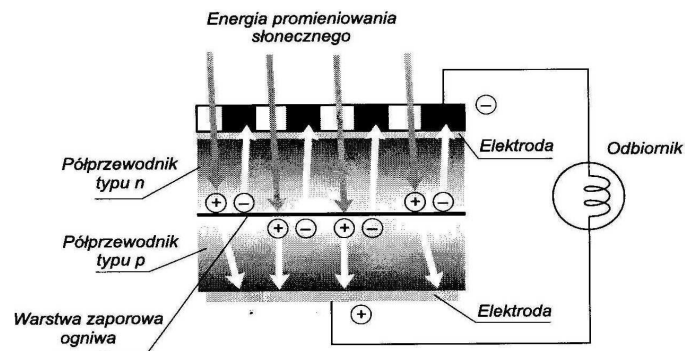
dostępną ilość miejsca na dachu na ewentualną instalację oraz wynikające stąd moce produkcyjne, ewentualny nadmiar energii, jaki mógłby zostać sprzedany, jest na tyle niewielki, że zrezygnowano z tej opcji, zakładając jej wytwarzanie tylko na własne potrzeby. W takim przypadku wytwórcy energii elektrycznej nie będzie przysługiwało prawo do otrzymania świadectw pochodzenia i tym samym zostanie pozbawiony ewentualnych dochodów z tytułu ich sprzedaży, które z uwagi na niewielką wartość nadwyżki wyprodukowanej, a niewykorzystanej na własne potrzeby energii nie zrekompensowałyby nakładów związanych z uzyskaniem wymaganej koncesji.

Reasumując, po przeanalizowaniu ww. czynników uznano, że najkorzystniejszym rozwiązaniem z uwagi na uwarunkowania formalnoprawne dla rozpatrywanego obiektu będzie mikroinstalacja w rozumieniu [2].

2. PODSTAWOWE INFORMACJE DOTYCZĄCE INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH

2.1. Zasada działania ogniwa fotowoltaicznego

Ogniwo fotowoltaiczne wykorzystuje zjawisko generowania energii elektrycznej przez materiał półprzewodnikowy absorbujący promieniowanie słoneczne, w wyniku czego uwalniane są elektrony z wiązań chemicznych międzyatomowych. Aby w półprzewodniku wyzwolić swobodny elektron, należy dostarczyć mu określoną porcję energii, nie mniejszą niż energia przerwy energetycznej, która dla krzemu w temperaturze pokojowej (300 K) wynosi $E = 1,12 \text{ eV}$. Schemat funkcjonowania ogniwa fotowoltaicznego pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat działania ogniwa fotowoltaicznego [4]

Połączenie półprzewodnika typu p z półprzewodnikiem typu n powoduje powstanie złącza p-n (positive-negative). Padające na ogniwo fotony powodują uwolnienie elektronów, które pozostawiają po sobie dziury. Powstałe w ten sposób pary nośników o przeciwnych ładunkach przemieszczają się w taki sposób, że elektrony trafiają z obszaru n do p, a dziury z obszaru p do n. Na złączu wytwarza się napięcie

elektryczne. Jeżeli do obwodu podłączony zostanie odbiornik pobierający energię elektryczną, dojdzie do przepływu prądu elektrycznego.

2.2. Rodzaje modułów PV

W zależności od rodzaju zastosowanych ogniw moduły fotowoltaiczne (PV) dzielimy na:

- monokrystaliczne (zawierające ogniwa z monolitycznego kryształu krzemu o uporządkowanej strukturze wewnętrznej) o sprawności do ok. 17%,
- polikrystaliczne (zawierające ogniwa najczęściej z wykryształizowanego krzemu, charakteryzujące się niejednorodną powierzchnią) o sprawności do ok. 14%,
- cienkowarstwowe (np. CIGS lub z krzemu amorficznego, warstwa aktywnego półprzewodnika wynosi kilka mikrometrów) o sprawności do ok. 14%.

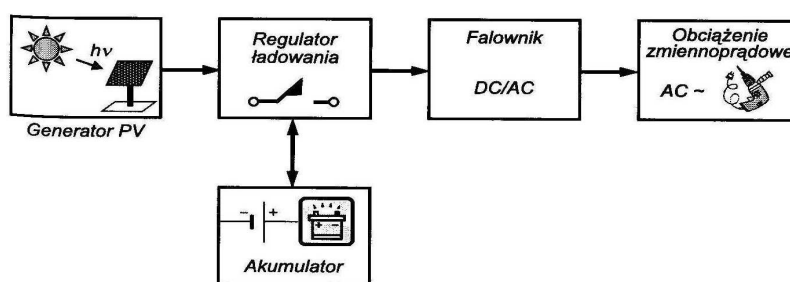
Poprzez równoległe łączenie modułów (PV) można uzyskać generatory fotowoltaiczne o mocy wyjściowej rzędu nawet kilku megawatów.

2.3. Fotowoltaiczne systemy zasilania

Istnieją dwa podstawowe typy fotowoltaicznych systemów zasilania:

- systemy autonomiczne - niepodłączone do sieci i obsługujące zazwyczaj konkretny obiekt lub grupę obiektów,
- systemy dołączone do sieci - przekazujące wytworzoną energię do sieci dystrybucyjnej.

System autonomiczny (rys. 2) zasilający urządzenia zmiennoprądowe powinien składać się z następujących elementów: generatora PV, akumulatora - magazynującego energię na czas, w którym nie jest ona wytwarzana przez instalację (np. noc), regulatora ładowania - zabezpieczającego akumulatory przed przeładowaniem, falownika - przekształcającego prąd stały w zmienny.

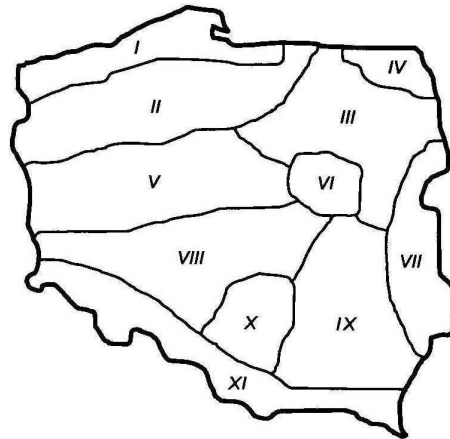


Rys. 2. Schemat autonomicznej instalacji fotowoltaicznej [4]

System dołączony do sieci wyposażony jest ponadto w liczniki mierzące ilość energii dostarczonej (ewentualna nadwyżka) oraz ilość energii pobieranej (ewentualny niedobór) z sieci energetycznej.

2.4. Wielkość promieniowania słonecznego w Polsce

Na podstawie ekspertyzy Komitetu Termodynamiki i Spalania PAN [4] obszar Polski podzielony został (pod kątem przydatności dla energetyki słonecznej) na 11 regionów (rys. 3).



Rys. 3. Orientacyjny podział Polski na rejony heliograficzne [4]

Najlepsze warunki występują w północnej i południowo-wschodniej Polsce, najgorsze na Górnym Śląsku. Średnie wartości nasłonecznienia i uśłonecznienia dla Polski wynoszą odpowiednio $3510 \text{ MJ}\cdot\text{m}^2\cdot\text{rok}^{-1}$ oraz $1580 \text{ h}\cdot\text{rok}^{-1}$.

Mimo iż Polska z uwagi na położenie geograficzne ma gorsze warunki helioenergetyczne niż np. kraje Europy Południowej, przy zwiększającej się sprawności i jednocześnie spadających cenach ogniw PV, a także przy rosnącym zapotrzebowaniu na „zieloną energię”, stosowanie instalacji fotowoltaicznych w naszym kraju wydaje się w pełni uzasadnione.

3. DOBÓR ROZWIĄZANIA DLA ROZWAŻANEGO OBIEKTU

3.1. Założenia wstępne

Założono, że z uwagi na istniejący stan zagospodarowania działki, na której zlokalizowany jest budynek, jedynym dostępnym miejscem na montaż instalacji jest jego dach. Bryła budynku jest zbliżona do prostokąta o wymiarach $8,4 \times 47,0 \text{ m}$, wysokość w kalenicy wynosi $8,75 \text{ m}$, a powierzchnia całkowita jest równa 860 m^2 (rys. 4). Z uwagi na orientację obiektu względem głównych kierunków świata najefektywniejsze umiejscowienie instalacji to połać południowo-wschodnia, której powierzchnia netto (po odliczeniu pow. okien dachowych, kominów, kominków wentylacyjnych, itp.) wynosi ok. 170 m^2 .



Rys. 4. Widok budynku od strony południowo-wschodniej

3.2. Dobór instalacji

Na podstawie omówionych wcześniej założeń przyjęto rozwiązanie zaproponowane przez firmę Inovativ. Instalacja ta składa się z 32 paneli polikrystalicznych ZnShine ZXP6-60-240Wp Poly, każdy o jednostkowej mocy znamionowej 240 Wp (gdzie Wp oznacza moc szczytową przy pełnym nasłonecznieniu), o powierzchni całkowitej 51,2 m², falownika trójfazowego StecaGrid 8000 + 3 ph (z opcją dostosowania ilości produkowanej energii do wysokości aktualnego zużycia), okablowania oraz liczników energii. Całkowita moc tej instalacji jest równa 8,16 kWp.

Analizując dotychczasowe miesięczne zużycie energii kształtujące się na poziomie 1000÷1200 kWh, przyjęto, że instalacja w miesiącach wiosenno-letnich będzie pokrywała zapotrzebowanie w ok. 100%, w pozostałym okresie, z uwagi na mniejsze nasłonecznienie, produkowana ilość energii będzie mniejsza. Prognozowaną wielkość miesięcznie produkowanej energii elektrycznej (przy uwzględnieniu lokalnych warunków heliograficznych) przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Przewidywana miesięczna produkcja energii elektrycznej [5]

	Miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Szacowana miesięczna produkcja energii [kWh]	299	332	596	768	1057	1115	1123	1017	672	425	202	165

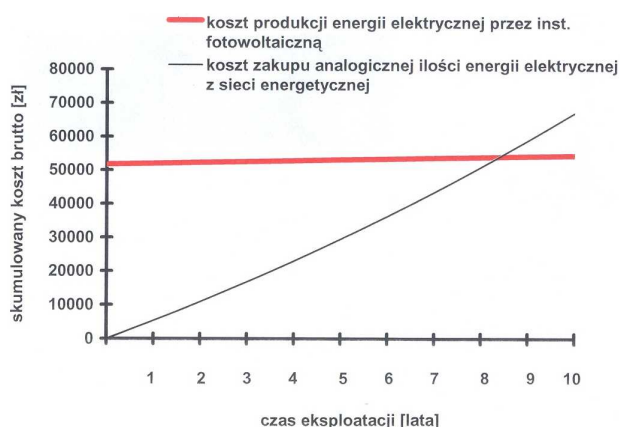
4. ANALIZA OPŁACALNOŚCI

W przeprowadzonej analizie opłacalności zakupu i eksploatacji instalacji fotowoltaicznej przyjęto następujące założenia:

- średnie miesięczne zużycie energii elektrycznej 1100 kWh
- aktualny koszt energii elektrycznej brutto (uwzględniający opłaty stałe i zmienne) ponoszony przez właściciela wynosi 0,66 zł/kWh

- szacowany roczny wzrost cen energii elektrycznej 5%
- roczny spadek mocy modułów 0,7%
- koszt wykonania instalacji fotowoltaicznej 51 600 zł brutto
- roczne koszty przeglądów, konserwacji i drobnych napraw bieżących 0,5% wartości początkowej instalacji.

Na rysunku 5 pokazano prognozowane koszty zaopatrzenia w energię elektryczną z sieci energetycznej i instalacji fotowoltaicznej.



Rys. 5. Porównanie kosztów energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej i sieci energetycznej

Średnie roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną analizowanego budynku przy dotychczasowym sposobie użytkowania wynosi 13 200 kWh. Szacowana ilość energii elektrycznej produkowana w ciągu roku przez zaprojektowaną instalację fotowoltaiczną wyniesie 8179 kWh, stąd w rocznym bilansie energetycznym budynku różnica równa 5021 kWh będzie musiała zostać zakupiona z sieci energetycznej. Poniesione nakłady inwestycyjne zwrócą się w dziewiątym roku eksploatacji instalacji (rys. 5).

PODSUMOWANIE

Z uwagi na niespełna dziewięcioletni okres zwrotu poniesionych nakładów zaproponowana instalacja fotowoltaiczna wydaje się atrakcyjnym uzupełnieniem dotychczasowego sposobu zaopatrywania budynku w energię elektryczną. Ponieważ okres największego poboru energii (godziny pracy firm zajmujących budynek) pokrywa się z najlepszym dobowym okresem jej produkcji (godz. 7.00-17.00) energia będzie zużywana na bieżąco - wyeliminowano tym samym koszty związane z jej ewentualnym magazynowaniem.

Zaproponowana instalacja może być również traktowana jako częściowe uniezależnienie się od sieciowej energii elektrycznej i stanowić swego rodzaju zabezpieczenie na wypadek przerw w dostawie prądu sieciowego.

W przypadku zmiany regulacji prawnych lub uwarunkowań ekonomicznych istnieje możliwość rozbudowy instalacji i zwiększenia jej mocy, celem sprzedaży wyprodukowanej, a niezużytej na własne potrzeby energii elektrycznej.

LITERATURA

- [1] Ustawa z dn. 09.04.1997 Prawo energetyczne, DzU 1997, Nr 54, poz. 348 z późn. zmianami.
- [2] Projekt Ustawy o OZE, <http://legislacja.rcl.gov.pl/lista/2/projekt/19349>.
- [3] <http://www.tge.pl/pl/27/aktualnosci/426/podsumowanie-pierwszego-kwartalu-2014-r-na-rynku-praw-majatkowych-towarowej-gieldy-energii>.
- [4] Sarniak M., Podstawy fotowoltaiki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [5] Oferta techniczno-handlowa firmy INOVATIV, maj 2014.

ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION AND OPERATION EFFICIENCY OF THE PHOTOVOLTAIC INSTALLATION IN AN OFFICE BUILDING

In this publication the validity of the implementation and operation of the photovoltaic roof installation in an office building with an area of 860 m² has been analysed. Formal and legal determinants for this type of installation have been examined. Technical solution adapted to the technical specifications of the object has been proposed. Return time is specified to be incurred for the execution of the installation.

Keywords: renewable energy sources, photovoltaic installation