

DOI: 10.5604/01.3001.0009.5192

OZE W BUDOWNICTWIE NISKOENERGETYCZNYM

Agnieszka Wantuch

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki

Streszczenie. W ostatnich latach kładzie się szczególny nacisk na produkcję energii elektrycznej w oparciu o źródła odnawialne (OZE). Celem artykułu jest przedstawienie podstawowej analizy ekonomicznej opłacalności wymiany instalacji do wytwarzania energii elektrycznej zasilanej źródłami konwencjonalnymi na ekologiczne, na przykładzie jednorodzinne budynek mieszkalnego. Analizę przeprowadzono dla instalacji fotowoltaicznej.

Słowa kluczowe: OZE, koszty energii elektrycznej, instalacja fotowoltaiczna

RES IN LOW-ENERGY BUILDINGS

Abstract. In recent years emphasis has been placed on the production of electrical energy from renewable energy sources (RES) because they seem ecologically safe and inexhaustible. This article presents a basic analysis of the economic viability of the replacement plant for the production of energy-powered conventional sources for RES. The example is a single-family residential building. Analysis performed for the photovoltaic installation.

Keywords: RES, costs of electrical energy, photovoltaic installation

Wstęp

Energia elektryczna wytwarzana jest na drodze konwersji innych rodzajów energii, takich jak energia cieplna, chemiczna, czy mechaniczna. Podstawowymi źródłami energii elektrycznej na świecie są źródła konwencjonalne (paliwa kopalne), energia jądrowa oraz odnawialne źródła energii (OZE), czyli takie, których pozyskanie nie wiąże się z długotrwałym ich deficytem, dzięki temu, że ich zasoby odnawiają się w krótkim czasie.

Jednym z wyznaczników rozwoju danego państwa jest wysokość udziału OZE w rocznej produkcji energii oraz minimalizacja jej zużycia. Wzrost udziału OZE w bilansie paliwowo-energetycznym zapisano w dokumentach Komisji Europejskiej *Biała Księga „Energia dla przyszłości: odnawialne źródła energii”* oraz *Zielona Księga „Ku europejskiej strategii bezpieczeństwa energetycznego”*. Najważniejsze cele i zadania polskiej strategii energetycznej zostały sformułowane w *Założeniach polityki energetycznej Polski do roku 2020*, przygotowanych przez Komitet Ekonomiczny Rady Ministrów.

W Unii Europejskiej wprowadzono także prawne ograniczanie zużycia energii w budynkach zarówno nowych, jak i poddawanych modernizacji [11–14].

Czy w Polsce ekonomicznie uzasadniona jest zamiana konwencjonalnych źródeł do zasilania w energię np. domów jednorodzinnych na źródła energii odnawialnej?

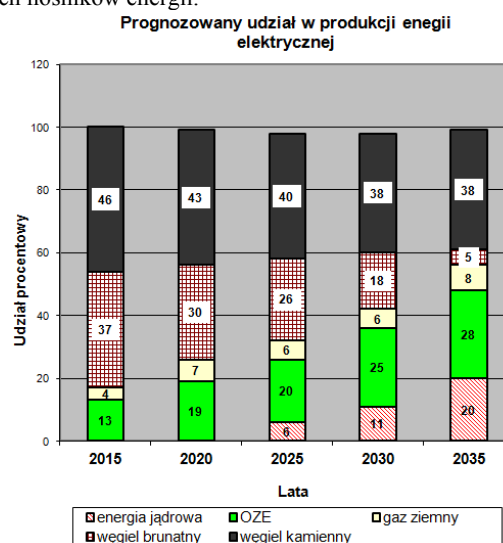
1. Potencjał OZE w Polsce

Jednym z ważniejszych powodów inwestowania w OZE jest ekonomia, czyli koszty energii elektrycznej. Jednak istotny jest także ich wpływ na zdrowie i środowisko oraz bezpieczeństwo energetyczne [8]. Alternatywne źródła energii dostępne są w każdym miejscu kuli ziemskiej, zarówno na powierzchni jak i pod nią.

Według prognozy zapotrzebowania na paliwa i energię do 2050 roku, przygotowanej przez Krajową Agencję Poszanowania Energii na zamówienie Ministerstwa Gospodarki, energetyka polska w połowie wieku będzie się znacznie różnić od obecnej, opartej prawie w 79% na węglu. Uwzględniając informacje portalu Energia0.pl łączna moc mikroinstalacji OZE w Polsce przekroczyła już 22 MW, z czego większość stanowią instalacje fotowoltaiczne, które w 2015 roku stanowiły 80% produkcji w przydomowych instalacjach OZE. Powodem było przede wszystkim obniżenie kosztów zakupu, montażu oraz eksploatacji tych urządzeń [15].

Według URE, na koniec 2014 całkowity potencjał OZE wyniósł 6 154,6 MW. W okresie I kw. 2014 – I kw. 2015 tylko w energetyce wiatrowej zainstalowano 274,6 MW. Na drugim miejscu znalazła się fotowoltaika – 23,1 MW w okresie marzec 2014 – marzec 2015. Na kolejnych miejscach plasują się biogazownie i elektrownie biomasowe [12]. Na rysunku 1

przedstawiono aktualne oraz prognozowane wykorzystanie różnych nośników energii.



Rys. 1. Struktura mocy osiągalnej w elektrowniach krajowych 31.12.2013 [21]

Łącznie w 2015 roku zainstalowana moc OZE wyniosła 6970,033 MW, co stanowi wzrost o 941,4 MW w stosunku do roku 2014 [1].

2. Energochłonność budynków

Ciągle rosnące koszty użytkowania budynków mieszkalnych, w których znaczną rolę odgrywa energia elektryczna, zmusza do szukania bardziej ekonomicznych źródeł jej pozyskiwania. Dodatkowo, powiększający się w miastach smog nakazuje instalowanie źródeł ekologicznych. Cennym jest także, że odnawialne źródła energii mogą w dużym stopniu zagwarantować samowystarczalność energetyczną budynków, a rozwój technologiczny przyczynia się do coraz większej dostępności instalacji OZE dla przeciętnego użytkownika.

Zmiany cen prądu w Polsce na przestrzeni ostatnich lat przedstawiono w tabeli 1 [17].

Tabela 1. Ceny prądu w Polsce (średnia cena w zł 1 kWh)

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0,36	0,38	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,50
2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0,53	0,55	0,56	0,57	0,58	0,56	0,57	0,56

Zasadniczym celem wielu prac badawczych jest wyznaczenie wielkości zużycia energii elektrycznej na dane potrzeby, zidentyfikowanie oraz możliwość zmniejszenia strat. Najczęściej stosowanym kryterium określenia efektywności energetycznej

budynku jest zbadanie jego energochłonności w oparciu o zużycie rzeczywiste bądź obliczeniowe zapotrzebowanie ciepła do ogrzania obiektu.

Znaczna większość budynków w Polsce jest starszych niż 10 lat, przez co są energochłonne i drogie w eksploatacji. W latach 80-tych wskaźnik zapotrzebowania energetycznego budynków na ciepło wahał się w granicach 220 – 350 kWh/(m²·rok). Obecnie wynosi 80 – 120 kWh/(m²·rok) [9]. Ponieważ najwięcej energii tracimy przez przegrody zewnętrzne budynków oraz okna (30%), tylko modernizacja budynków i zwiększenie ich standardu energetycznego może zmniejszyć zużycie energii nawet o 70 – 90%. Na rysunku 2 przedstawiono jakość energetyczną budynków w wybranych krajach.

Jakość energetyczna budynków.

Stan zasobów w wybranych krajach.



Rys. 2. Jakość energetyczna budynków w wybranych krajach [4]

Budynek energooszczędny to taki, który zużywa energię na określonym, możliwie niskim poziomie, przy wysokiej sprawności urządzeń i instalacji wewnętrznych. W polskich warunkach klimatycznych największy składnik w całkowitym zużyciu energii stanowi zapotrzebowanie grzewcze budynków, dlatego też obiektem energooszczędnym nazywa się budynek o niskim zapotrzebowaniu na energię dla celów grzewczych.

By dokonać wstępnej analizy opłacalności wyboru technologii OZE należy więc oszacować ilość energii koniecznej dla danego obiektu, by pokryć m.in. straty ciepła generowane przez: ściany zewnętrzne, dach, strop, podłogi na gruncie lub strop nad nieogrzewaną piwnicą, okna i drzwi zewnętrzne [5]. Jednak należy także wziąć pod uwagę takie systemy jak: oświetlenie, przygotowanie ciepłej wody użytkowej, wentylację, klimatyzację itp. W różnych krajach klasy energetyczne budynków są różne. Wg Stowarzyszenia dla Zrównoważonego Rozwoju budynki można sklasyfikować w następujący sposób (tabela 2).

Tabela 2. Klasyfikacja energetyczna budynków według Stowarzyszenia na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju

Klasa energetyczna	Ocena energetyczna	Wskaźnik EU [kWh/(m ² ·rok)]	Okres budowy
A++	Zeroenergetyczny	do 10	aktualnie
A+	Pasywny	do 15	
A	Niskoenergetyczny	od 15 do 45	
B	Energooszczędny	od 45 do 80	
C	Średnio energooszczędny	od 80 do 100	od 1999 r.
D	Średnio energochłonny (spełniający aktualne wymagania prawne)	od 100 do 150	
E	Energochłonny	od 150 do 250	do 1998 r.
F	Wysoko energochłonny	ponad 250	do 1982 r.

Wskaźnik EU oznacza zapotrzebowanie na energię użytkową i określa roczną ilość energii dla ogrzewania (chłodzenia), wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej [10].

Według [9] wyróżniamy następujące typy budynków:

- dom niskoenergetyczny (LEH) – budynek, w którym roczne zapotrzebowanie na ciepło wynosi poniżej 70 kWh/(m²·rok). Domy takie posiadają dobrą izolację termiczną, zredukowane mostki cieplne;
- dom pasywny (PH) – roczne zapotrzebowanie na ciepło (wg standardów niemieckich) schodzi poniżej 15 kWh/(m²·rok);

- dom samowystarczalny (SSH) – nie wymaga dostaw energii z zewnątrz.

3. Analiza opłacalności zasilania budynku mieszkalnego w energię z OZE

W budownictwie, a szczególnie w budynkach zbudowanych wiele lat temu, znaczne oszczędności energii można uzyskać dzięki termomodernizacji. Bardzo ważne staje się w tym przypadku także racjonalne wykorzystanie energii do celów grzewczych, czy oświetleniowych.

Podjęcie decyzję o wyborze źródła energii, należy wziąć pod uwagę takie aspekty, jak minimum prac związanych z podłączeniem źródła; ekologię – maksymalna ochrona środowiska; ekonomię – rachunek zysków i kosztów, a co za tym idzie, także możliwości finansowania, np. dopłaty do modernizacji.

Charakterystyka budynku

W celu ukierunkowania analizy skupimy się na budynku jednorodzinny, wybudowanym w roku 1980, poddanemu termomodernizacji. Jest to budynek jednopiętrowy o wysokości 10 m, podpiwniczony, dach dwuspadowy o powierzchni 115 m² i nachyleniu ok. 45°. Ogrzewanie realizowane jest za pomocą centralnego ogrzewania zasilanego kotłem na węgiel kamienny firmy MCE o mocy 19 kW, którego średnia sprawność wynosi 78%. Pomieszczenia ogrzewane są przez kaloryfery naścienne [3].

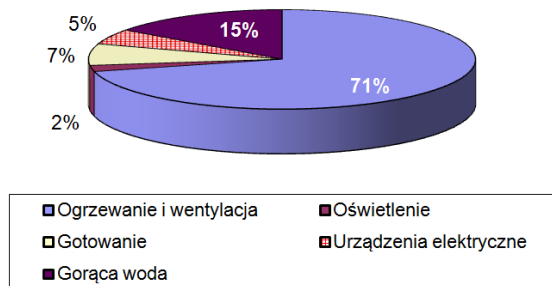
Pomieszczenia i ciepła woda użytkowa podgrzewane są za pomocą pieca centralnego ogrzewania połączonego ze zbiornikiem na ciepłą wodę, skąd zasilane są grzejniki w pomieszczeniach. Energia do podgrzania wody w zbiorniku pochodzi ze spalania węgla kamiennego w kotle. Roczne zużycie węgla kamiennego wynosi ok. 7 ton.

Zapotrzebowanie na energię

Każdy budynek, który jako obiekt spełnia w czasie normalnego użytkowania określone funkcje wymaga dostarczenia odpowiedniej ilości energii. Potrzeby energetyczne budynku jednorodzinny można podzielić na: ogrzewanie pomieszczeń, oświetlenie, przygotowanie ciepłej wody użytkowej, potrzeby bytowe (gotowanie, inne urządzenia elektryczne).

Strukturę zużycia energii w budynkach w Polsce przedstawiono na rysunku 3.

Udział procentowy zużycia energii w budynku



Rys. 3. Struktura zużycia energii w budynkach [4]

Do obliczeń wartości energii zużytej w ciągu roku ze spalania paliw kopalnych przyjęto: wartość energetyczną dla węgla kamiennego – 7,5 kWh/kg, cenę jednej tony węgla kamiennego 650 zł, roczne zapotrzebowanie na energię cieplną z węgla dla 10 ton – 75000 kWh. Miesięczne zużycie gazu propan-butan dla kuchni to ok. 9 kg (koszt – 49 zł), co po przeliczeniu daje w ciągu roku zużycie 1348,8 kWh. Roczne zużycie energii potrzebnej do zasilania urządzeń znajdujących się w budynku oraz do oświetlania pomieszczeń wynosi średnio 3835,9 kWh [19]. Roczny bilans zużycia i kosztów energii w domu przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Roczny bilans i koszty zużycia energii elektrycznej [3]

Rodzaj energii wykorzystywanej w badanym obiekcie	Zużycie energii [kWh]	Koszt energii [zł]
Energia elektryczna	3836	2147,6
Węgiel kamienny	52500	5200
Gaz propan-butan	1349	520
Razem	57685	7654

Zastosowanie systemów fotowoltaicznych

Do modernizacji zasilania budynku w energię elektryczną zaproponowano instalację fotowoltaiczną. W budownictwie może być wykorzystana energia promieniowania słonecznego podlegająca dwóm podstawowym formom konwersji w energię użyteczną:

- konwersji fotowoltaicznej, tzn. zamianie energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną w ogniwach fotowoltaicznych;
- konwersji fototermicznej, czyli przetwarzaniu energii promieniowania słonecznego w ciepło [16].

W instalacjach fotowoltaicznych promieniowanie słoneczne pada bezpośrednio na kolektor i przetwarzane jest na energię elektryczną. Prąd może zostać zużyty na potrzeby własne lub wprowadzony do ogólnej sieci elektroenergetycznej. Zależnie od wielkości i rodzaju powierzchni, którą dysponujemy, instalacje fotowoltaiczne mogą być zamontowane na dachach lub fasadach budynków, a także jako instalacje wolnostojące. Niewątpliwą zaletą instalacji fotowoltaicznej jest to, że produkuje energię elektryczną bez emisji CO₂.

Promieniowanie słoneczne to strumień energii, który jest emitowany przez Słońce równomiernie w każdym kierunku. Miarą wielkości promieniowania słonecznego docierającego do ziemi jest tzw. stała słoneczna. Jest to wartość gęstości strumienia energii promieniowania słonecznego na powierzchni stratosfery i obecnie wynosi 1,4 kW/m². Do powierzchni Ziemi dociera tylko ok. 40% energii [4]. Roczna wartość natężenia promieniowania na naszej szerokości geograficznej, zależnie od regionu, waha się od ponad 900 do prawie 1100 kWh/m² [2].

Dobierając elementy układu fotowoltaicznego, należy określić sposób wykonania ogniw oraz uwzględnić powierzchnię do montażu ogniw, wielkość produkowanej energii i sposób jej wykorzystania, jak również zapotrzebowanie energetyczne urządzeń. Poziom opłacalności inwestycji zależy od doboru odpowiedniego systemu pracy źródeł fotowoltaicznych wraz z uwzględnieniem charakterystyki odbiorcy.

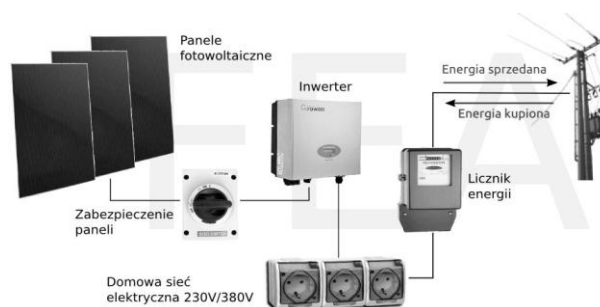
Systemy on-grid generują prąd za pomocą paneli słonecznych i przekazują je wprost do inwertera sieciowego, który przekazuje zmienioną energię w postaci 230 V lub 400 V do sieci elektrycznej budynku. Energia wytworzona w ten sposób jest łączona z energią sieciową.

W polskich warunkach klimatycznych stosuje się głównie kolektory o typie absorbującym. Absorber pokryty jest warstwą pochłaniającą promieniowanie bezpośrednie oraz rozproszone. Kolektor pracuje w warunkach zewnętrznych, przez co narażony jest na wysokie temperatury robocze wewnątrz obudowy oraz niskie (ujemne) temperatury zewnętrzne. Gwałtowne zmiany warunków pracy kolektora stawiają przed nim szczególne wymagania jakościowe, które dotyczą jego wytrzymałości na bardzo szybkie zmiany termiczne zewnętrzne i wewnętrzne (norma EN 12975-2).

Instalacja fotowoltaiczna

Dla użytkownika ważna jest wydajność i koszty zakupu urządzenia. W Polsce, z systemu o mocy 1 kWp, można rocznie uzyskać energię ok. 900 kWh. Sprawność modułów waha się na poziomie ok. 10–16 %.

Do obliczeń wybrano wariant instalacji fotowoltaicznej bez akumulatorów (rys. 4). Założony projektowo czas pracy instalacji solarnej wynosi ok. 20–25 lat.



Rys. 4. Schemat podłączenia instalacji on-grid [18]

Wybrano ogniwa słoneczne firmy Solar-energy, model PV-SE-250 polikrystaliczny (gwarancja wydajności 30 lat [20]). Zestaw składa się z 28 modułów polikrystalicznych wysokiej klasy o wydajności 250 Wp (watt peak – jednostka mocy modułu fotowoltaicznego; wydajność techniczna ogniw zależy od wielu czynników, jak np.: orientacja i nachylenie dachu, zacienienie, temperatura) każdy, systemu mocowania do dachu skośnego, okablowania oraz konektorów. Moc zestawu (znamionowa moc ogniw fotowoltaicznych podawana jest dla temperatury 25°C oraz nasłonecznienia 1000 W/m², tzw. warunki STC – Standard Test Condition) to 7 kWp, a powierzchnia potrzebna do instalacji wynosi 46,29 m². Ogniwa ułożone są na południowej stronie dachu pod kątem 45°. Taka mała elektrownia w przypadku bezchmurnej pogody bez problemu zasilą cały budynek, jednocześnie nadwyżkę energii sprzedając do operatora. Parametry modułu można odnaleźć w [20]. Do wybranych ogniw fotowoltaicznych producent rekomenduje Inwerter Q3 QX³7000, którego zaletami są: MPP (Maximum Power Point) tracking, który pozwala na maksymalną produkcję prądu w stosunku do nasłonecznienia, długa żywotność, sprawność do 98%, funkcja Plug&Play umożliwiającą wizualizację danych na stronie internetowej.

Ze względu na możliwość przesyłu energii elektrycznej od odbiorcy do systemu oraz od systemu do odbiorcy, konieczne jest zainstalowanie nowego licznika, który musi określić sumaryczną moc, jaka została przesłana pomiędzy obiektem a siecią energetyczną. Dlatego zaproponowano inteligentny licznik Grupy Aparator – ESOX. Jego główne cechy funkcjonalne to: dwukierunkowy pomiar energii czynnej, pomiar mocy chwilowych, maksymalnych, nadmiarowych, skumulowanych oraz pomiar mocy i energii strat w transformatorze. Posiada on rejestr tysięcy zdarzeń ze znacznikami czasu oraz pomiar parametrów sieci energetycznej. Można się z nim połączyć przez: GSM, PLC, LAN, RS-485, RS-232, Radio SRD, M-Bus oraz port optyczny. Konieczny jest także zakup odpowiedniej aparatury łączeniowo-montażowej, przewodów itp., która także zostanie uwzględniona w kosztach inwestycyjnych [5].

Koszty inwestycji

Obliczenia wykonano dla przedstawionego powyżej zestawu. W tabeli 4 przedstawiono elementy składowe zestawu oraz sumaryczny koszt inwestycyjny. Należy do nich dodać także koszty eksploatacyjne (konserwacja, ubezpieczenie, wymiana okablowania i inne), przykładowe kwoty podano w [20].

Tabela 4. Zestawienie kosztów inwestycyjnych instalacji zestawu fotowoltaicznego [20]

Zestaw fotowoltaiczny on-grid 3 fazowy o mocy 7kWp	
Moduł PV-SE-250 polikrystaliczny	28 sztuk
Inwerter Q3 QX ³ 7000	1 sztuka
Konstrukcja montażowa (blachodachówka, szyna 25x47)	28 sztuk
Okablowanie 4 mm ²	2 x 40 m
Konektory	kpl
Powierzchnia modułów	46,92 m ²
Masa modułów	504 kg
Szacunkowa produkcja energii elektrycznej	6 650 kWh/rok
Cena zestawu brutto	36 505,00 zł

Do obliczania kosztów wytwarzania energii elektrycznej należy wyznaczyć koszt jednostkowy. Uwzględnia się czas funkcjonowania obiektu oraz koszty poniesionych nakładów inwestycyjnych. Wszystkie wartości należy sprowadzić do wspólnego momentu czasowego z wykorzystaniem rachunku dyskonta [6].

Jeśli weźmie się pod uwagę, iż nadwyżka wyprodukowanej energii zostanie oddana do sieci, można oszacować przychody, które będzie generowała instalacja. Roczna produkcja energii może wynieść ok. 6,65 MWh, co oznacza, że suma energii wyprodukowanej przewyższa zapotrzebowanie budynku. Przy obliczeniach należy wziąć pod uwagę cenę uzyskaną ze sprzedaży energii, oszczędności związane z brakiem konieczności zakupu energii oraz sprzedaż zielonych certyfikatów [20]. Szacowane roczne przychody to ok. 4800 zł [5].

Przyjmując, że w pierwszym roku przychód wyniesie tylko połowę planowanego (czas budowy elektrowni oraz optymalizacja), okres zwrotu inwestycji powinien nastąpić już po 10 latach [1]. Do obliczeń wzięto pod uwagę: koszt inwestycji (wystąpi w 1 roku), koszt eksploatacji, przychód, przepływ pieniężny.

Obliczono współczynniki NPV i IRR [7]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0$$

gdzie: CF_t – przepływy gotówkowe w okresie t , r – stopa dyskontowa, I_0 – nakłady początkowe, t – kolejne okresy (lata) inwestycji.

Dla powyższej inwestycji współczynnik NPV (Net Present Value) wynosi 18137 zł. IRR (Internal Rate of Return) jest stopą dyskontową, przy której wskaźnik NPV = 0. Wewnętrzna stopa zwrotu IRR dla badanej inwestycji wynosi 622% [3]. Wynika z tego, że inwestycja jest opłacalna.

4. Podsumowanie

Budynki w Polsce mają duże zapotrzebowanie energetyczne. Ich udział w bilansie energetycznym jest na tyle znaczący, że należy pojmować działania prowadzące do zwiększenia efektywności energetycznej w sektorze budownictwa.

Jak pokazano powyżej inwestowanie w energetykę opartą na OZE nie jest tylko modą, lecz w pewnej perspektywie także źródłem wymiernych korzyści. Elektrownia fotowoltaiczna, nawet przy zmiennej wielkości produkcji energii latem i zimą, może pokryć całe zapotrzebowanie na energię zużywaną na własne potrzeby obiektu. Nadwyżka energii, która zostanie sprzedana operatorowi jest „czystą energią”, dzięki czemu zwiększa udział energii odnawialnej w ogólnej krajowej produkcji. Co ważne, zgodnie z nowelizacją ustawy o OZE, od lipca 2016 za każdą kWh energii wprowadzoną do sieci operatora prosument ma uzyskać prawo do odpowiedniego rabatu na energię pobieraną z sieci [22].

Zaletą systemu fotowoltaicznego jest lekkość, niezawodność, niezależność od rosnących cen energii konwencjonalnej, atrakcyjność – źródło mocy niewymagające operatora, paliwa i transportu, nie wymaga magazynowania opału oraz utylizacji produktów spalania, brak zanieczyszczenia środowiska. Dodatkowo emisja CO₂ została zmniejszona o ilość gazu wyemitowanego przy produkcji tej energii z konwencjonalnej elektrowni węglowej.

Szacowany czas zwrotu inwestycji przy założonych kosztach i przychodach kształtuje się na poziomie 10 lat. Oczywiście jest to wariant optymistyczny. Jednak analizując rachunek za energię elektryczną z 2015 roku można łatwo zauważyć, że same koszty dystrybucji pochłaniają około połowę ceny rzeczywiście zużytej energii elektrycznej. Koszty przesyłu ponoszone są zależnie od

liczby odebranych kilowatogodzin. W przypadku inwestycji w małą elektrownię fotowoltaiczną można obniżyć straty związane z przesyłem energii na duże odległości, ponieważ energia jest produkowana w miejscu jej wykorzystania, stąd straty przesyłowe są znacznie mniejsze i tym samym eliminowany jest jeden z czynników odpowiadających za wysoką cenę energii [7].

Jednak należy pamiętać, że energetyczna polityka Polski w ostatnich latach uległa znacznym zmianom i może się ona zmienić również w kolejnych latach zarówno na korzyść, jak i niekorzyść inwestora.

Ze względu na niewielką objętość artykułu pominięto pewne obliczenia, posługując się tylko wynikiem końcowym.

Literatura

- [1] Derski B.: Tak ma wyglądać energetyka w Polsce w 2050, Wysokienapiecie.pl, [6.10.2015].
- [2] Głuchy D.: Analiza porównawcza opłacalności inwestycji w źródła fotowoltaiczne, IAPGOŚ, 4b/2012, 28–31.
- [3] Kopacz P. (promotor Wantuch A.): Odnawialne źródła energii w budownictwie energetycznym. Praca dyplomowa inżynierska, Kraków 2016.
- [4] Lis P.: Efektywność energetyczna w systemach budowlano-instalacyjnych, Materiały dydaktyczne, Częstochowa 2009.
- [5] Pasierb S., Bogacki M., Osicki A., Wojtulewicz J.: Odnawialne Źródła Energii. Efektywne wykorzystanie w budynkach i finansowanie przedsięwzięć. Poradnik. Fundacja na rzecz efektywnego wykorzystania energii, 2008.
- [6] Paska J.: Metodyka oceny kosztów wytwarzania energii elektrycznej, Rynek Energii, kwiecień 2012.
- [7] Sojka M.: Analiza ekonomiczna dla domu jednorodzinnego zasilanego z elektrowni fotowoltaicznej, Gliwice 2013.
- [8] Wantuch A., Janowski M.: Czy OZE są konkurencyjne dla źródeł konwencjonalnych, IAPGOŚ, 4/2014, 105-108, [DOI: 10.5604/20830157.1130208].
- [9] Zimny J.: Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym, Polska Geotermalna Asocjacja, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
- [10] Żurawski J.: Efektywność energetyczna w budownictwie, DAEiŚ, 2013.
- [11] Dyrektywa 2006/32/WE z dnia 5 kwietnia 2006 r., w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych.
- [12] Dyrektywa 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią.
- [13] Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.
- [14] Dyrektywa 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [15] <http://energia0.pl/oze/technologie/item/490-coraz-wiecej-inwestujemy-w-zielona-energie> [4.04.2016].
- [16] <http://ioze.pl/energetyka-sloneczna/kategoria-artykulow/potencjal-energetyczny-2> [5.07.2016].
- [17] <http://www.cenapradu.strefa.pl/> [5.07.2016].
- [18] http://www.fea.com.pl/oferta_2_2.html [5.07.2016].
- [19] <http://www.instalacjebudowlane.pl/5044-23-40-wartosc-energetyczna-wegla-gazu-oleju-i-innych-paliw.html> [18.02.2016].
- [20] <http://www.solta.info.pl/index.php/zestawy-fotowoltaiczne/zestaw-o-mocy-7-kw> [4.07.2016].
- [21] Urząd Regulacji Energetyki, Rynek Energii, stan na 31.12.2015.
- [22] Ustawa z dnia 22.06.2016 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw, Dz.U. 2016 poz. 925.

Dr inż. Agnieszka Wantuch
e-mail: awantuch@agh.edu.pl

Ukończyła studia na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie na Wydziale EAiE na kierunku elektrotechnika. Od 2004 zatrudniona na stanowisku asystenta na Wydziale EAiEB w Katedrze Elektrotechniki i Elektroenergetyki. W 2012 roku uzyskała tytuł doktora nauk technicznych w dyscyplinie Elektrotechnika.



otrzymano/received: 15.08.2016

przyjęto do druku/accepted: 30.10.2016