

Jacek NAWROT

Politechnika Częstochowska

ANALIZA EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ AUTONOMICZNEJ ELEKTROWNI HYBRYDOWEJ SOLARNO-WIATROWEJ

W niniejszej publikacji przeprowadzono analizę opłacalności wykonania i eksploatacji autonomicznej elektrowni hybrydowej solarno-wiatrowej o łącznej mocy 3,5 kW. Instalacja składa się z turbiny wiatrowej o mocy znamionowej 2 kW oraz zestawu paneli fotowoltaicznych o mocy 1,5 kW. Zaproponowano przykładowe rozwiązanie techniczne analizowanej elektrowni. Oszacowano wartość nakładów przeznaczonych na wykonanie, uruchomienie i eksploatację instalacji, dokonano porównania kosztów wytworzenia energii elektrycznej z elektrowni z kosztami energii dostarczanej z sieci energetycznej.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, instalacja fotowoltaiczna, elektrownia wiatrowa, elektrownia hybrydowa

WPROWADZENIE

Rosnące koszty energii elektrycznej dostarczanej do odbiorców z sieci energetycznej, a także unijne regulacje prawne zmierzające do zwiększenia udziału energii odnawialnej w ogólnym bilansie energetycznym krajów członkowskich stwarzają warunki do poszukiwania rozwiązań stanowiących alternatywę dla tradycyjnych źródeł pozyskiwania energii. W niniejszej pracy przedstawiono rozważania dotyczące efektywności ekonomicznej elektrowni produkującej energię elektryczną na potrzeby typowego domu jednorodzinnego, zamieszkanego przez czteroosobową rodzinę. Przyjęto założenie, że instalacja będzie autonomiczna, w 100% ekologiczna i zapewni bezpieczeństwo energetyczne obiektu bez konieczności posiłkowania się energią z sieci. Jedynym rozwiązaniem spełniającym powyższe kryteria, które może być stosowane na w miarę masową skalę, cechującym się dodatkowo stosunkowo małą wrażliwością na uwarunkowania lokalizacyjne, jest elektrownia hybrydowa solarno-wiatrowa. Taka instalacja pozwala na wytwarzanie energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych (w ciągu dnia przy w miarę bezchmurnym niebie) oraz z turbiny wiatrowej (przez całą dobę przy sprzyjających warunkach atmosferycznych).

Przyjęto lokalizację elektrowni w rejonie Częstochowy oraz założono, że spełnione są wszystkie niezbędne czynniki pozwalające na jej realizację (uwarunkowania formalnoprawne, wielkość i lokalizacja działki, konstrukcja budynku itp.).

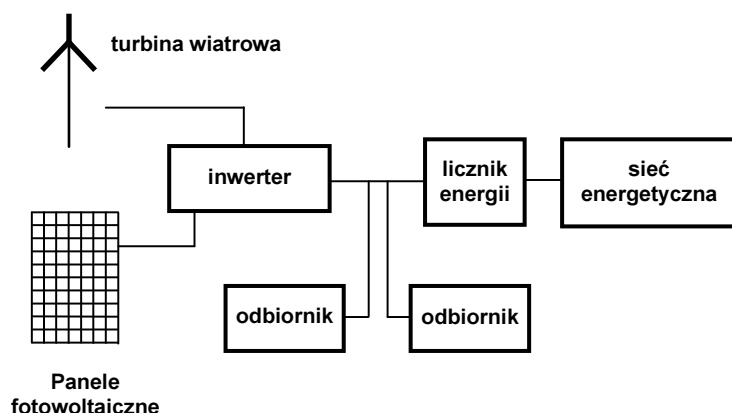
1. ZASADA DZIAŁANIA HYBRYDOWEJ ELEKTROWNI SOLARNO-WIATROWEJ

1.1. Wiadomości wstępne

Elektrownia hybrydowa solarno-wiatrowa pozwala na produkcję energii elektrycznej, wykorzystując zarówno energię solarą, jak i energię wiatru. Ponieważ zazwyczaj dni pochmurne są jednocześnie dniami wietrznymi, elektrownia tego typu może wytwarzać energię elektryczną w sposób niemalże ciągły. Oczywiście zdarzają się również okresy bezwietrzne i bezsłoneczne, ale nie trwają one zbyt długo - wtedy energia pozyskiwana jest z akumulatorów ładowanych w czasie funkcjonowania elektrowni. Zasadniczą cechą takiej instalacji jest połączenie we wspólny układ dwóch źródeł energii: turbiny wiatrowej oraz paneli fotowoltaicznych. Zgodnie z [1], układem hybrydowym jest „instalacja odnawialnego źródła energii, wytwarzająca energię elektryczną albo energię elektryczną lub ciepło, w której w procesie wytwarzania energii elektrycznej lub ciepła wykorzystywane są nośniki energii wytwarzane oddzielnie z odnawialnych źródeł energii”. A zatem prezentowane w niniejszej pracy rozwiązanie można nazwać układem hybrydowym.

1.2. Budowa i sposób funkcjonowania

Istnieją różne konfiguracje układów zasilania budynków. Jeżeli elektrownia jest połączona z zewnętrzną siecią energetyczną - instalacja typu on-grid [2] (rys. 1), istnieje możliwość odprowadzania nadwyżki wyprodukowanej energii elektrycznej, a także w razie wystąpienia niedoborów pobrania jej z sieci.

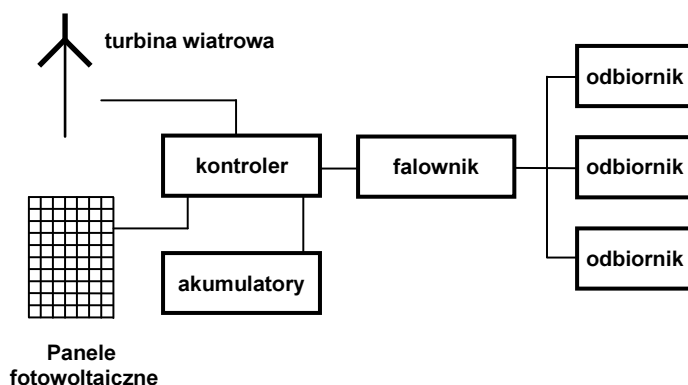


Rys. 1. Schemat ideowy układu solarno-wiatrowego pracującego w trybie on-grid

Takie rozwiązanie wymaga wykonania dwóch rodzajów instalacji: tradycyjnego przyłącza energetycznego oraz elektrowni hybrydowej i ponoszenia kosztów związanych z ich funkcjonowaniem, ale za to daje większe bezpieczeństwo energetyczne jego użytkownikom.

Energia elektryczna wytworzona za pomocą turbiny wiatrowej lub paneli fotowoltaicznych płynie do inwertera, gdzie jest konwertowana na napięcie sieciowe i przesyłana do odbiorników lub w przypadku nadwyżki produkcji poprzez licznik energii do sieci. W przypadku większego niż aktualna produkcja elektrowni zapotrzebowania na energię jej niedobór również poprzez licznik pobierany jest z sieci.

W przypadku braku połączenia elektrowni z zewnętrzną siecią energetyczną (instalacja typu off-grid [2]) mamy do czynienia z układem autonomicznym, który musi zapewnić samowystarczalność jego użytkownikowi. Schemat instalacji off-grid pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat ideowy układu solarno-wiatrowego pracującego w trybie off-grid

Energia elektryczna wytworzona za pomocą turbiny wiatrowej lub paneli fotowoltaicznych płynie do hybrydowego kontrolera układu, który reguluje pracę źródeł energii oraz zarządza ładowaniem baterii akumulatorów. Z akumulatorów energia kierowana jest do falownika, w którym następuje konwersja napięcia stałego na zmienne, a stamtąd do odbiorników.

2. PROPONOWANE ROZWIĄZANIE

2.1. Kryteria wyboru

Układy hybrydowe solarno-wiatrowe mogą być konfigurowane w dość dowolny sposób. W zależności od całkowitego zapotrzebowania na moc można tak dobrać wielkość turbiny wiatrowej oraz paneli fotowoltaicznych, aby jak najefektywniej wykorzystać uwarunkowania lokalizacyjne działki, na której elektrownia ma być zlokalizowana (strefa heliograficzna, strefa wietrzności, gęstość i wysokość okolicznej zabudowy, zadrzewienie terenu itp.).

Na potrzeby niniejszej analizy przyjęto roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną w wysokości 4400 kWh. Założono ponadto, że istnieją warunki, aby panele fotowoltaiczne zamontować na południowej połaci dachu budynku,

natomiast maszt turbiny wiatrowej wykonany będzie jako wolno stojący. Z uwagi na wymiary działki zrezygnowano z masztu z odciągami na rzecz masztu rurowego.

2.2. Dobór komponentów systemu

Na rynku dostępnych jest wiele rozwiązań dotyczących hybrydowych elektrowni solarno-wiatrowych. Wybierając poszczególne urządzenia kierowano się wskaźnikiem jakości do ceny, dobierając ich parametry, uwzględniono czynniki wymienione w pkt. 2.1. Przyjęto instalację składającą się z: turbiny wiatrowej THK2 z pionową osią obrotu o mocy 2 kW, mocowaną na maszcie rurowym SAW-9,2/250 o wysokości 9,2 m wraz z osprzętem do łamania masztu (rys. 3), zestawu 6 paneli fotowoltaicznych Amerisolar AS 6P30 250 W o powierzchni ok. 10 m² i łącznej mocy 1,5 kW, hybrydowego kontrolera ładowania WST2-1,5/96, falownika jedno-fazowego F1T 5/96 oraz baterii 8 akumulatorów HZY 12-110 Solar o napięciu 12 V i pojemności 118 Ah każdy.



Rys. 3. Osprzęt do łamania masztu rurowego wg [3]

Uwzględniając moc znamionową turbiny wiatrowej, strefę energetyczną wiatru dla założonej lokalizacji (IV) [4] oraz przyjmując współczynnik wykorzystania zdolności produkcyjnych na poziomie 20%, obliczono roczną ilość wyprodukowa-

nej przez turbinę energii elektrycznej (jako iloczyn mocy turbiny, ilości godzin w roku oraz współczynnika wykorzystania równego 0,2), która wyniesie 3504 kWh.

Wielkość energii elektrycznej uzyskiwanej z paneli fotowoltaicznych można określić, uwzględniając warunki heliograficzne (nasłonecznienie na powierzchnię horyzontalną), współczynnik korekcyjny uwzględniający nachylenie paneli (w omawianym przykładzie kąt nachylenia będzie równy kątowi spadku połaci dachowej), moc modułów, współczynnik wydajności (uwzględniający poziom wszystkich strat: na przewodach, falowniku, modułach, z uwagi na zabrudzenie paneli itp. - przyjęto wartość 85%) oraz natężenie promieniowania słonecznego, przy którym testowane są moduły fotowoltaiczne (STC) - przyjęto wartość 1000 kW/m^2 . Prognozowane ilości wyprodukowanej energii elektrycznej w poszczególnych miesiącach przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Przewidywana miesięczna produkcja energii elektrycznej

	miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Szacowana miesięczna produkcja energii [kWh]	55	61	109	141	145	205	206	187	124	78	37	30

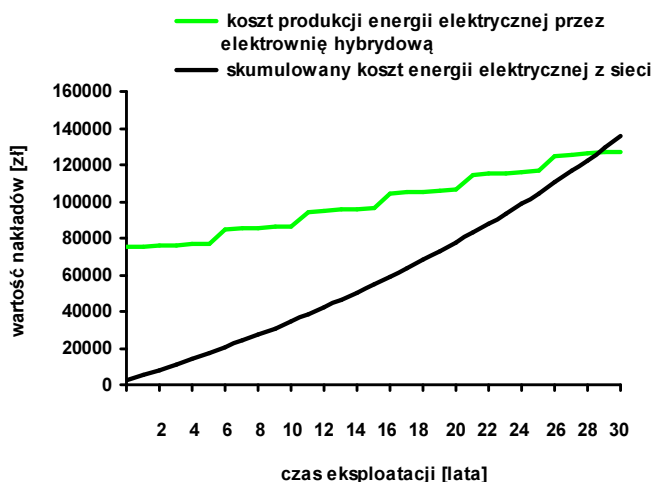
Całkowita ilość energii elektrycznej uzyskana z paneli fotowoltaicznych w ciągu roku wyniesie 1378 kWh. Łączna wielkość energii wytworzonej przez hybrydową elektrownię solarno-wiatrową wyniesie 4882 kWh.

3. ANALIZA EKONOMICZNA

W celu przeprowadzenia analizy ekonomicznej rozpatrywanej hybrydowej elektrowni solarno-wiatrowej przyjęto:

- zużycie energii elektrycznej w ciągu roku: 4400 kWh,
- koszt zakupu elektrowni (wraz z montażem): 75 000,00 zł,
- konieczność wymiany baterii akumulatorów co ok. 5 lat: 7500,00 zł/zestaw
- koszty eksploatacyjne (serwis, drobne naprawy): 0,5% wartości elektrowni,
- średni koszt tradycyjnego przyłącza do sieci energetycznej: 2500,00 zł
- sumaryczna cena energii elektrycznej (wraz z opłatą przesyłową): 0,60 zł,
- coroczny wzrost ceny energii elektrycznej: 3%.

Uwzględniając powyższe czynniki, policzono, po jakim okresie eksploatacji nastąpiłby zwrot poniesionych kosztów związanych z realizacją rozpatrywanej elektrowni, traktując ją jako alternatywę dla zasilania budynku z zewnętrznej sieci energetycznej. Zakładając, że nie wystąpiłaby konieczność poniesienia dodatkowych nakładów (większe naprawy, uszkodzenia powodujące konieczność wymiany niektórych elementów instalacji), zwrot z takiej inwestycji nastąpiłby po około 29 latach eksploatacji (rys. 4).



Rys. 4. Okres zwrotu z inwestycji w hybrydową elektrownię solarno-wiatrową

PODSUMOWANIE

Biorąc pod uwagę wyniki przeprowadzonej analizy, można stwierdzić, iż obliczony okres zwrotu nakładów poniesionych na budowę i eksploatację hybrydowej elektrowni solarno-wiatrowej jest na tyle duży, iż stawia pod znakiem zapytania ekonomiczny sens takiej inwestycji w polskich warunkach klimatycznych. W przeprowadzonych rozważaniach przyjęto dość optymistyczne założenie bezawaryjnej pracy instalacji i tym samym nie uwzględniono kosztów ewentualnej wymiany uszkodzonych urządzeń wchodzących w skład systemu (poza okresową wymianą akumulatorów). Każde takie zdarzenie będzie powodowało wzrost kosztów eksploatacji instalacji, a w konsekwencji wydłużenie obliczonego okresu zwrotu. Nie uwzględniono również następującego z upływem czasu spadku sprawności paneli fotowoltaicznych. Ponieważ założono, że rozważana elektrownia jest jedynym źródłem energii elektrycznej (układ autonomiczny), w celu zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego systemu należałoby go wyposażać w agregat prądotwórczy, który w awaryjnych sytuacjach zapewniłby energię niezbędną do podstawowego funkcjonowania użytkowników. Taka rozbudowa (z uwagi na wzrost kosztów) spowodowałaby dalsze wydłużenie czasu zwrotu poniesionych nakładów. Sytuacja ta mogłaby się zmienić w przypadku gwałtownego wzrostu cen energii elektrycznej dostarczanej z sieci lub znaczącego wsparcia przez państwo wytwórców „zielonej” energii.

Racjonalnym uzasadnieniem dla budowy analizowanej elektrowni byłaby sytuacja, w której użytkownik nie miałby możliwości podłączenia swojej posesji do zewnętrznej sieci energetycznej np. z uwagi na lokalizację działki (tereny nieuzbrojone w infrastrukturę energetyczną). W takim przypadku inwestor jest zmuszony do budowy własnego systemu wytwarzania energii i hybrydowa elek-

rownia solarno-wiatrowa jest rozwiązaniem, które na pewno należałoby wziąć pod uwagę.

Niewątpliwie zaletą takiej jak omawiana elektrownia jest pewna niezależność od centralnego systemu energetycznego kraju. Jednak taki czynnik należałoby uwzględnić przy podejmowaniu ewentualnej decyzji inwestycyjnej w przypadku znacznego zwiększenia się prawdopodobieństwa wystąpienia przerw w dostawach energii z sieci (zamachy terrorystyczne, klęski żywiołowe itp.).

Przeprowadzona analiza dotyczy polskich warunków klimatycznych i polskich uwarunkowań prawnych. Przy bardziej sprzyjającym położeniu geograficznym (z uwagi na warunki heliograficzne oraz wietrzność), a także innym systemie prawnym w zakresie OZE wyniki analizy opłacalności budowy i eksploatacji takiej elektrowni byłyby zapewne korzystniejsze [5].

Szansą na popularyzację elektrowni produkujących „zieloną” energię jest dalszy rozwój technologiczny energetyki opartej o OZE, skutkiem czego będzie powstawanie bardziej wydajnych instalacji w przystępnych cenach. W związku z tym nastąpi zmniejszenie dysproporcji między ceną energii z sieci energetycznej a ceną energii „zielonej”. Z drugiej strony panująca na świecie tendencja do zwiększania udziału „czystej” energii w ogólnoswiatowym bilansie energetycznym wymusi rozwiązania prawne i finansowe wspierające wytwórców energii z OZE. Te dwa czynniki powinny spowodować, iż w ciągu kilku najbliższych lat elektrownie produkujące „zieloną” energię będą mogły pod względem ekonomicznym konkurować z tradycyjnymi wytwórcami energii elektrycznej.

LITERATURA

- [1] Ustawa z dn. 20.02.2015 r. o odnawialnych źródłach energii, Dz.U. 2015, poz. 478.
- [2] Paska J., Wytwarzanie rozproszonej energii elektrycznej i ciepła, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010.
- [3] <http://virtech.pl/elektrownie-wiatrowe/maszty-rurowe/1041-maszt-rurowy-saw-9-2-250>
- [4] Lorenc H., Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce, Materiały badawcze IMGW 1996, seria: Meteorologia 25.
- [5] Patel M.R., Wind and Solar Power Systems, Design, Analysis, and Operation, Taylor & Francis Group, Boca Raton 2006.

ANALYSIS OF THE ECONOMIC PROFITABILITY OF AUTONOMOUS WIND-SOLAR HYBRID POWER PLANT

In this publication the analysis of the profitability of implementation and operation of the wind-solar hybrid power with a combined power of 3,5 kW was conducted. The installation consists of 2 kW wind turbine and a set of 1,5 kW photovoltaic panels. An experimental technical solution has been suggested. The value of the costs

required for the implementation launching and operation of the installation has been estimated. The comparison of the cost of producing electricity from the power plant with the cost of energy supplied by conventional method from electric network has been made.

Keywords: renewable energy sources, photovoltaic installation, wind power plant, wind-solar hybrid power plant