

**Marcin WARDACH, Krzysztof KUBARSKI
Piotr PAPLICKI, Piotr CIERZNIEWSKI**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
Katedra Elektroenergetyki i Napędów Elektrycznych

Analiza możliwości realizacji autonomicznego układu zasilania domku jednorodzinnego w energię elektryczną

Abstract. *This paper presents selected problems with autonomous power supply systems using renewable energy and the possibility of their use in households. Conducted financial analysis prove that the cost of investment in a power system with 2 kW wind turbine or hybrid system of single-family home, in addition to a very favorable ecological aspect, should pay off in about several years, generating for the next years only profits.*

Keywords: *renewable energy sources, electricity, wind power, solar panels*

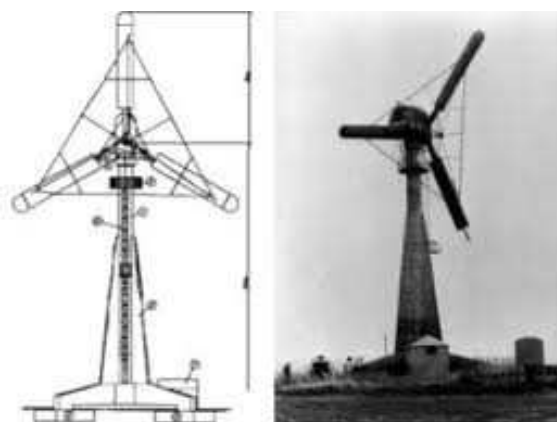
Wstęp

Energia elektryczna stała się w dzisiejszych czasach wręcz niezbędna do normalnego funkcjonowania. Rośnie liczba urządzeń elektrycznych i w konsekwencji rosną rachunki za zużywaną energię. W poszczególnych gospodarstwach domowych zużycie jest bardzo zróżnicowane, ma na to wpływ wiele czynników. Przede wszystkim zużycie energii zależy od liczby mieszkańców u danego odbiorcy. W gospodarstwie domowym najwięcej energii zużywają urządzenia służące do zmian temperatury oraz o najdłuższym okresie pracy w skali dnia. Często energia elektryczna zużywana jest również na ogrzewanie budynków oraz do podgrzewania bieżącej wody [3, 5].

Celem artykułu jest analiza opłacalności budowy autonomicznego układu zasilania w gospodarstwie domowym z zastosowaniem siłowni wiatrowej.

Rys historyczny energetyki wiatrowej

Wiatr jest odnawialnym źródłem energii. Jest to ruch powietrza spowodowany różnicą gęstości ogrzanych mas powietrza i ich przemieszczaniem ku górze. Powoduje to różnicę ciśnień, a naturalna tendencja do ich wyrównywania powoduje powstawanie wiatru. Energia wiatrów była pierwszą energią, jaką człowiek wykorzystywał z natury. Już ponad 5000 lat temu Egipcjanie wykorzystywali siłę wiatru do napędu jednożaglowych łodzi. Wraz z pojawieniem się elektryczności rozpoczęły się próby przemiany energii wiatru na energię elektryczną. Na przełomie lat 1887-1888, jeden z pionierów przemysłu elektrotechnicznego, Charles F. Brush zbudował pierwszą siłownię wiatrową, która wytwarzała prąd. Turbina miała średnicę 17 metrów i wykonana była z 144 łopat. Moc, jaką wytwarzała siłownia, to 12 kW. Konstrukcja była udana, pracowała 20 lat i była przeznaczona do ładowania akumulatorów. Pomysł rozwijał duński wynalazca Poul la Cour, który odkrył, że konstrukcje wyposażone w kilka łopat są dużo bardziej wydajne. Przełom wprowadził uczeń la Cour'a Johannes Juul. W 1950 r. skonstruował pierwszą turbinę wiatrową wyposażoną w generator prądu przemiennego (rys. 1.). Zaś w 1957 r. zbudował elektrownie wiatrową o mocy 200 kW, której założenia techniczne są uważane za nowoczesne do dzisiejszych czasów [1].



Rys. 1. Pierwsza elektrownia wiatrowa zbudowana przez Johanna Juule'a [1].

W pierwszej połowie XX wieku technologia elektrowni wiatrowych była intensywnie rozwijana. Wybuch II wojny światowej spowolnił ten proces. Do 1939 roku na obszarze Danii pracowało przeszło 1300 turbin wiatrowych. W Stanach Zjednoczonych pracowało ich około 6 milionów. Większość z nich pracowała jako Autonomiczne Układy Zasilania dla gospodarstw rolniczych rozproszonych na dużej powierzchni i często była jedynym dostępnym źródłem elektryczności. Po wojnie rozwój został przyhamowany, jednak kryzys energetyczny z 1973 roku spowodował ponowny wzrost ich rozwoju. Dopiero w latach dziewięćdziesiątych XX wieku pojawiły się urządzenia, które mogły produkować energię elektryczną na skalę przemysłową w opłacalny sposób. Dzisiejsze siłownie mają moc rzędu kilku megawatów. Obecnie moc największych konstrukcji osiąga 5 MW (rys. 2.), a przewidywany rozwój zakłada, że w 2015 roku moc pojedynczej turbiny wiatrowej może wzrosnąć nawet do 10 MW.



Rys. 2. Turbina o mocy 5 MW firmy Repower Systems w Brunsbüttel [8].

Największy rozwój energetyki wiatrowej nastąpił w ostatnich dwudziestu latach. Średnie tempo przyrostu zainstalowanej mocy w elektrowniach wiatrowych przekraczało 10% [1]. Rozwój ten spowodowany jest rosnącym wzrostem świadomości ekologicznej w krajach najbardziej rozwiniętych. W tabeli 1 zestawione zostały etapy rozwoju

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

współczesnych elektrowni wiatrowych w zależności od gabarytów oraz mocy turbiny. Z tabeli tej wynika, że największy rozwój turbin wiatrowych zaczął się od roku 1994.

Tabela 1. Umowne etapy rozwoju współczesnych elektrowni wiatrowych ze względu na rozmiary wirnika i moc generatora [1].

Lata	1955-1985	1985-1989	1987-1994	1994-2005
Średnica wirnika	Do 15 m	Do 30 m	(30...50) m	Ponad 50 m
Moc generatora	Małe przydomowe siłownie do 50 kW	Do 300 kW	Do 600 kW	850 kW... 5 MW
Uwagi	Poszukiwanie rozwiązań problemów teoretycznych; Brak międzynarodowych standardów	Pierwsze seryjne siłownie wiatrowe; Początki tworzenia standardów przemysłowych	Produkcja masowa siłowni	Przyspieszenie rozwoju technologicznego

Zużycie energii elektrycznej w domu jednorodzinnym

W tabeli 2 przedstawiono szacunkowe koszty używania urządzeń elektrycznych, które znajdują się w przeciętnym czteroosobowym gospodarstwie domowym.

Tabela 2. Miesięczne zużycie energii elektrycznej przez urządzenia gospodarstwa domowego [7].

Urządzenie elektryczne	Moc [W]	Liczba godzin w miesiącu	Zużycie energii na miesiąc [kWh]	Liczba	Cena [zł]	
					Min	Max
klimatyzacja w pokoju	750	120-720	90-540	1	49,5	297,00
podgrzewacz wody	3800	98-138	375-525	1	206,25	288,75
lodówko-zamrażarka	500	150-300	75-150	1	41,25	82,50
zmywarka	1300	8-40	20-102	1	11,00	56,10
grzejnik elektryczny	1200	30-90	30-90	4	66,00	198,00
komputer	200	25-160	5-32	2	5,50	35,20
telewizor	180	60-440	5-35	2	5,50	38,50
kuchenka mikrofalowa	1300	5-30	5-30	1	2,75	16,50
żarówka	60	17-200	1-12	5	2,75	33,00
żarówka	100	20-200	2-20	5	5,50	55,00
światl. energooszcz.	17	20-200	0,34-3,4	5	0,94	9,40
suszarka	1000	1-10	1-10	1	0,55	5,50
wentylator	115	18-52	2-6	2	2,20	6,60
wieża stereo	30	1-170	0,03-5,1	1	0,02	2,75
toster	1000	2-5	2-5	1	1,10	2,75
zegar	5	720	4	3	6,60	6,60
Razem					403,72	1089,50

Z tabeli wynika, że korzystanie ze sprzętu elektrycznego w stopniu minimalnym, kosztuje ok. 404 zł, natomiast nieoszczędne używanie – nawet ok. 1 090 zł. Średnio w

Polsce roczne zużycie energii elektrycznej w czteroosobowym gospodarstwie domowym wynosi około 4500 kWh [6] przy założeniu, że system ogrzewania jest inny niż elektryczny.

W dalszych rozważaniach do obliczeń przyjęto cenę 0,60 zł za 1 kWh. Jest to przybliżona stawka (zależna jeszcze od ilości zużytej energii elektrycznej), wynikająca z taryfy G11 za energię elektryczną w województwie zachodniopomorskim. Należy dodać, że obliczając opłacalność autonomicznych układów zasilania w okresie 10, 15 czy 20 lat trudno jest przewidzieć ceny energii. Dlatego w obliczeniach założono, że cena energii będzie stała, na poziomie 0,60 zł, a trend rosnący ceny za 1 kWh będzie działał jedynie na korzyść ewentualnej inwestycji.

Uwarunkowania prawne budowy przydomowej siłowni wiatrowej

Najważniejsze akty prawne regulujące i opisujące zasady wytwarzania i dystrybucji energii w Polsce to:

- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. „Prawo Energetyczne” (Dz. U. Nr 54, z 1997 r., poz. 348 ze zmianami),
- Rozporządzenie ministra gospodarki z dnia 2 lutego 1999r w sprawie obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła ze źródeł niekonwencjonalnych (Dz. U. z roku 1999 Nr 13, poz. 119).
- Przyjęte przez rząd RP w lutym 2000 r. „Założenia polityki energetycznej Polski do roku 2020”.

Przepisy ustawy „Prawo Energetyczne” między innymi definiują źródła energii odnawialnej jako źródła wykorzystujące w procesie przetwarzania, niezakumulowaną energię słoneczną w rozmaitych postaciach, w szczególności energię promieniowania słonecznego, wiatru. Rozporządzenie ministra gospodarki z 2 lutego 1999 r. wzmacnia pozycję niezależnego wytwórcy energii i mówi o obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła ze źródeł niekonwencjonalnych – w tym odnawialnych oraz o zakresie tego obowiązku. Niestety należy podkreślić, że w założeniach polityki energetycznej Polski do roku 2020 zapisane jest, że Polska nie posiada dużego potencjału energii odnawialnej.

Zgodnie z polskim prawem przed rozpoczęciem budowy siłowni wiatrowej należy uzyskać wiele pozwoleń. Uzyskanie wszystkich pozwoleń jest bardzo czasochłonne oraz często odpłatne, w związku z czym może być czynnikiem hamującym i zniechęcającym do budowy układu zasilania z elektrownią wiatrową. Dlatego stosując się do pewnych reguł, które jednak ograniczają możliwości, można uniknąć wypełniania sporej liczby formalności.

Wszystkie budowle posiadające fundamenty muszą być zgłaszane do miejscowego urzędu miasta. Chcąc postawić taką budowlę konieczne jest uzyskanie pozwolenia na budowę. Jednak obiekty bezfundamentowe można stawiać bez pozwolenia. Dlatego w dalszej analizie maszt, na którym będzie pracować elektrownia wiatrowa będzie osadzony bez fundamentów. W celu zwiększenia sztywności konstrukcji zaproponowano zastosowanie linek odciągowych, które będą wspierać konstrukcję (rys. 3.). Takie rozwiązanie w znaczącym stopniu ogranicza wielkość generatora, jaki może być zastosowany. Masa generatora o mocy 3 kW wynosi 280 kg, maszt nie byłby w stanie pracować z tak ciężkim generatorem. Elektrownie o mocy 2 kW są zdecydowanie lżejsze. Taki maszt będzie w stanie pracować z generatorem o mocy 2 kW, ponieważ waży on ok. 40 kg.

Następnym obostrzeniem, na jakie należy zwrócić uwagę, jest wysokość całej konstrukcji. Wysokość masztu nie może przekroczyć 15 metrów. Jeśli elektrownia przekracza tą wartość, to podlega zgłoszeniu do urzędu miasta, w celu naniesienia na mapkę przeszkód lotniczych.

Jeśli planuje się wyprodukowaną energię wprowadzać do sieci energetycznej, właściciel elektrowni wiatrowej staje się automatycznie producentem energii. Wówczas

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

konieczne jest uzyskanie koncesji na sprzedaż energii oraz opłacanie podatku dochodowego. Należy podkreślić, że jeżeli wyprodukowana energia posiada parametry sieciowe (napięcie, częstotliwość), to zakład energetyczny jest zmuszony wykupić energię według stawek wcześniej ustalonych. Przy produkcji na własny użytek koncesje i pozwolenia nie są wymagane. Obie sieci muszą być wówczas koniecznie od siebie odizolowane, zarówno przewody fazowe jak i neutralne. Przy produkcji na własny użytek nie odprowadza się żadnych podatków.



Rys. 3. Przymiowa siłownia wiatrowa [8].

Elektrownie wiatrowe są również źródłem hałasu. Zgodnie z przepisami obiekt i urządzenia stanowiące źródło hałasu należy lokalizować tak, aby nie naruszał dopuszczalnych poziomów hałasu. Większość małych elektrowni wiatrowych spełnia ten wymóg. Zakładając, że miejscem budowy będzie obszar mało zaludniony nie powinno być problemu z lokalizacją elektrowni. W miejscach, gdzie hałas jest bardzo niepożądany, alternatywą może być zastosowanie niegenerujących hałasu paneli słonecznych.

Analiza finansowa autonomicznego układu zasilania z siłownią wiatrową

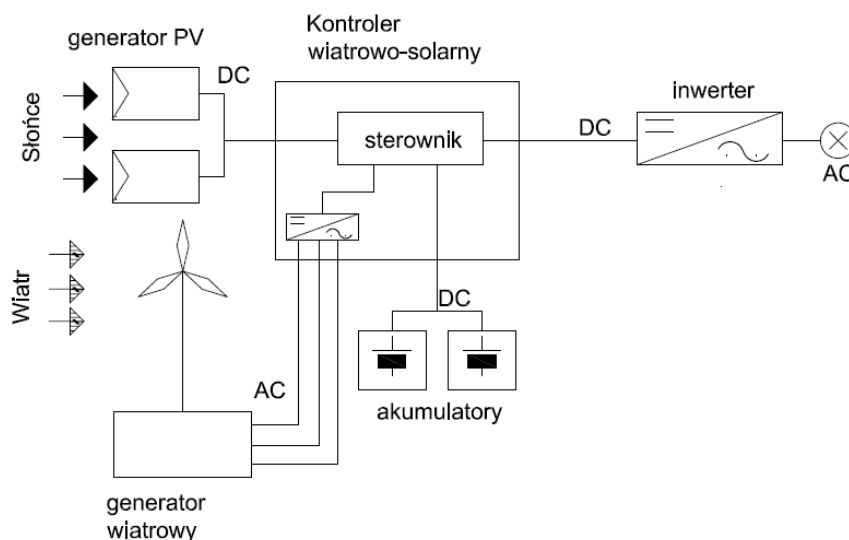
Średnia roczna prędkość wiatru w Polsce wynosi 4 m/s [2]. Przy takich warunkach wietrznych w ciągu roku wybrany generator wiatrowy o mocy 2 kW jest w stanie wytworzyć 2 943 kWh energii elektrycznej [3]. Taka ilość wytwarzanej przez wiatrak energii daje zysk w wysokości 1 765,80 zł rocznie. Koszt zakupu oraz montażu generatora o mocy 2 kW (w tym koszty; masztu wraz z osprzętem, 10 szt. akumulatorów 100 Ah 12V, kontrolera ładowania, przetwornicy 120 DC/~230AC, robocizny itp.) wyniesie ok. 15 650 zł [7]. W analizie założono ponadto, że konserwacje całego układu z generatorem będą przeprowadzane w cyklu raz na 5 lat i będą kosztować ok. 3 000 zł. Największą część kwoty konserwacji będzie przeznaczana na wymianę zużytych akumulatorów. Przy tak postawionych założeniach koszt instalacji zwróci się po ok. 13 latach. Należy podkreślić, że zastosowanie prostszych układów – bez akumulatorów

energii np. do ogrzewania domu lub podgrzewania wody – znacząco zredukowałyby koszty i sprawiły, że instalacja zwróciłaby się już po kilku latach od zamontowania.

Analiza finansowa autonomicznego hybrydowego układu zasilania z siłownią wiatrową i panelami słonecznymi

Układ hybrydowy jest to jednostka wytwórcza wytwarzająca energię elektryczną albo energię elektryczną i ciepło, w której w procesie wytwarzania wykorzystywane są nośniki energii wytwarzane oddzielnie w odnawialnych źródłach energii. W analizowanym przypadku zaproponowano wykorzystanie energii słońca i wiatru do produkcji energii elektrycznej.

Podstawową wadą odnawialnych źródeł energii jest silna zależność ilości produkowanej energii od aktualnych warunków pogodowych, w wyniku czego prognozowanie produkcji energii przez te źródła jest bardzo kłopotliwe. Chcąc zwiększyć możliwości wykorzystania tych źródeł zaczęto stosować układy hybrydowe. Dostępność energii słonecznej jest uzależniona od pory dnia oraz roku. Energia wiatru jest również mało przewidywalna. Zastosowanie takiego połączenia źródeł energii zwiększa niezawodność układu, w którym te dwa rodzaje energii doskonale się uzupełniają. Głównym celem instalowania ogniw fotowoltaicznych w hybrydowych układach zasilania jest bowiem zapewnienie dostawy energii podczas bezwietrznych dni. Systemy hybrydowe, dla zapewnienia efektywnego wykorzystania różnych sposobów wytwarzania energii, mają zazwyczaj bardziej skomplikowane układy sterowania i kontroli (często wykorzystujące zaawansowaną technologię mikroprocesorową). Na rysunku 4. przedstawiono schemat blokowy układu hybrydowego z generatorem wiatrowym i ogniwami fotowoltaicznymi.



Rys. 4. Schemat blokowy AUZ w układzie hybrydowym [3].

Analizę przeprowadzono przy tych samych założeniach jak w przypadku wcześniej przedstawionej analizy dotyczącej siłowni wiatrowej z dodatkowymi założeniami, że ogniwa fotowoltaiczne o mocy 1 kW w ciągu roku są w stanie wytworzyć ok. 1000 kWh [4], ich koszt zakupu i montażu wyniesie 9 tys. zł, a żywotność paneli fotowoltaicznych

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

wyniesie ok. 30 lat. W związku z tym koszt konserwacji pozostanie taki sam, jak w przypadku układu wyłącznie z turbiną wiatrową.

Przy ww. warunkach w ciągu roku analizowany układ hybrydowy jest w stanie wytworzyć ok. 4 000 kWh energii elektrycznej, co daje zysk w wysokości 2 400 zł. Przy tak postawionych założeniach koszt instalacji zwróci się, podobnie jak w przypadku układu z samą siłownią wiatrową, po ok. 13 latach. W przypadku hybrydowego układu należy pamiętać, że wiatrowe oraz słoneczne źródła energii elektrycznej będą się wzajemnie uzupełniać, ale należy liczyć się z koniecznością początkowego zainwestowania w kwocie o ok. 60% wyższej niż w przypadku układu wyłącznie z turbiną wiatrową.

Podsumowanie

W pracy scharakteryzowane zostały wybrane autonomiczne układy zasilania wykorzystujące energię odnawialną oraz możliwości ich wykorzystania w gospodarstwach domowych. Z przeprowadzonej analizy finansowej wynika, że inwestycja w stosunkowo zaawansowany technicznie autonomiczny układ zasilania domu jednorodzinnego z siłownią wiatrową o mocy 2 kW, oprócz bardzo korzystnego aspektu ekologicznego, powinna zwrócić się po ok. 13 latach, generując w następnych latach już tylko zyski. Należy się spodziewać, że prostsze układy bez magazynowania energii elektrycznej zwrócą się już po kilku latach od inwestycji.

Ponadto z analizy wynika, że zastosowanie zaproponowanego hybrydowego układu zasilania domu jednorodzinnego z elektrownią wiatrową oraz panelami słonecznymi również powinno zwrócić się po ok. 13 latach, ale wymaga zainwestowania środków pieniężnych większych o ok. 60% niż inwestycja w układ zasilania składający się wyłącznie z generatora wiatrowego. Należy pamiętać, że źródła energii elektrycznej wchodzące w skład układów hybrydowych wzajemnie się uzupełniają, w związku z tym można się spodziewać, że występowanie braków zasilania będzie występowało dużo rzadziej niż w przypadku zastosowania pojedynczego źródła.

Literatura

1. Boczar T.: Energetyka wiatrowa – aktualne możliwości wykorzystania. Wydawnictwo Pomiary Automatyka Kontrola. Warszawa 2007
2. Lorenc Halina. Atlas klimatu Polski, IMGW, 2005
3. Kubarski Krzysztof. Analiza możliwości realizacji autonomicznego układu zasilania domu jednorodzinnego w energię elektryczną, praca dyplomowa magisterska, 2011
4. Nowak W., Stachel A.: Stan i perspektywy wykorzystania niektórych odnawialnych źródeł energii w Polsce. Wydawnictwo uczelniane Politechniki Szczecińskiej. Szczecin 2004
5. Wiśniewski Grzegorz. Odnawialne źródła energii jako element rozwoju lokalnego. Europejskie centrum energii odnawialnej. Warszawa 2003
6. <http://postcarbon.pl>
7. <http://www.generatory-wiatrowe.pl>
8. <http://www.lmwindpower.com>

Autorzy: dr inż. Marcin Wardach, mgr inż. Krzysztof Kubarski, dr inż. Piotr Paplicki, dr inż. Piotr Cierzniewski, Katedra Elektroenergetyki i Napędów Elektrycznych, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: marwar@zut.edu.pl.