

PRYZAGRODOWA ELEKTROWNIA WIATROWA ŹRÓDŁEM TANIEJ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Stanisław Turowski, Rafał Nowowiejski

*Katedra Inżynierii Systemów Agrotechnicznych,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

Streszczenie. Artykuł przedstawia analizę korzyści z zastosowania turbiny wiatrowej o mocy 30 kW w modelowym gospodarstwie rolnym jako dodatkowe źródło energii elektrycznej. Wykonano dla niego bilans energii oraz analizę ekonomiczną. Wykazano, że gospodarstwo dysponowałoby nadwyżką energii elektrycznej możliwej do odsprzedania zewnętrznemu dystrybutorowi energii.

Słowa kluczowe: mała elektrownia wiatrowa, bilans energii, koszty energii

Wstęp

Małe elektrownie wiatrowe sieciowe (do 100 kW) można lokalizować bezpośrednio u odbiorców energii elektrycznej i przyłączać do jego instalacji elektrycznej [Sumera 2009, Jastrzębska 2007]. Stąd eliminuje się prawie całkowicie straty energii w instalacji elektrycznej oraz poprawia warunki napięciowe pracy odbiorników elektrycznych włączonych do tej instalacji. Umożliwia to również przekazywanie wygenerowanej nadwyżki energii elektrycznej do lokalnej sieci elektroenergetycznej nn.

Systemowe i autonomiczne małe elektrownie wiatrowe instalowane masowo w gospodarstwach rolnych byłyby dużym wsparciem planów redukcji emisji CO₂ i oszczędności paliw kopalnych. Wykorzystanie energii wiatru w ten sposób nie napotyka takich barier technicznych, ekologicznych, społecznych jak to ma miejsce w przypadku dużych elektrowni wiatrowych systemowych. Jednakże, w obecnym stanie prawnym inwestycja w małą energetykę nie ma wsparcia w postaci dotacji z NFOS, środków pomocowych unijnych oraz nie może uzyskać korzyści z tzw. zielonych świadectw pochodzenia. Zagadnieniu wdrażania przyzagrodowych małych elektrowni wiatrowych poświęcony jest przedstawiony artykuł.

Analizowane gospodarstwo rolne

1. Ogólne dane gospodarstwa
 - Liczba mieszkańców (M) 7 osób
 - Powierzchnia domu mieszkalnego 150 m²
 - Obszar użytków rolnych 200 ha
 - Obszar zwierząt w przeliczeniu na sztuki duże (DJP) 80 szt.
 - Kierunek produkcji chów bydła mlecznego

2. Lokalizacja – warunki wiatrowe

Gospodarstwo jest położone w pasie nadmorskim, w strefie o bardzo korzystnych warunkach wiatrowych charakteryzującymi się następującymi parametrami:

- Średnioroczna prędkość wiatru $\bar{v} = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- Okres czasu tzw. wiatrów „energetycznych” – ok. 185 dni,
- Czas trwania wiatrów słabych (do $3,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) i ciszy – ok. 180 dni
- Jednostkowy potencjał energetyczny wiatru – ok. $1250 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, gdzie a – rok.

3. Zapotrzebowanie mocy i energii elektrycznej

Badane gospodarstwo jest dobrze wyposażone w odbiorniki energii elektrycznej. Więc zużycie energii jest powyżej przeciętnego. Aby ustalić jego wartość przyjęto następujące tzw. wskaźnikami jednostkowego zapotrzebowania [Sobański, Turowski 1983]:

- dla gospodarstwa domowego – $850 \text{ kWh} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$;
- dla produkcji rolnej – $350 \text{ kWh} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$.

Stąd spodziewane zużycie energii elektrycznej wynosi $E_g = 76 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$, w tym:

- dla gospodarstwa domowego – $6 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$;
- dla produkcji rolnej – $70 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$.

Dobowe średnie zapotrzebowanie gospodarstwa oszacowano na ok. $208 \text{ kWh} \cdot \text{doba}^{-1}$.

Oszacowana szczytowa moc gospodarstwa przy założonych wartościach czasów rocznego trwania obciążenia maksymalnego ($1800 \text{ h} \cdot \text{a}^{-1}$ – dla odbiorników domowych i $2000 \text{ h} \cdot \text{a}^{-1}$ – dla odbiorników produkcyjnych) oraz założonym współczynnikiem jednoczesności (przyjęto wartość 0,7) – wynosi $P_s = 26,8 \text{ kW}$.

Dobór elektrowni wiatrowej

Przy wyborze elektrowni wiatrowej dla badanego gospodarstwa przyjęto założenia:

A. Elektrownia ma wygenerować co najmniej taką ilość energii elektrycznej jaką pobiera w ciągu roku analizowane gospodarstwo, czyli:

$$E_w \geq E_g = 76 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$$

B. Moc znamionowa (elektryczna) elektrowni ustalona dla prędkości znamionowej wiatru ($v_n = 2\bar{v} = 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) powinna być nie niższa niż mocy szczytowa gospodarstwa, czyli:

$$P_{wn} \geq P_s = 26,8 \text{ kW}$$

Wyznaczenie mocy elektrycznej

Moc znamionową elektrowni wiatrowej można obliczyć z ogólnie znanego wzoru:

$$P_{wn} = 0,5\rho \cdot \eta_a \cdot \eta_m \cdot F \cdot v_n^3 \quad (1)$$

gdzie:

- ρ – gęstość powietrza (przyjęto $1,23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
- η_a – sprawność aerodynamiczna rozważanej turbiny wiatrowej (przyjęto 0,4),
- η_m – sprawność mechaniczna (ogólna) turbiny, przekładni i prądnicy elektrycznej (przyjęto łącznie 0,8),
- F – powierzchnia „omiatana” przez wirnik turbiny wiatrowej [m^2],
- v_n – przyjęta znamionowa prędkość wiatru ($8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Po przekształceniach wzoru (1) i uwzględnieniu warunku (B) „omiot” wirnika turbiny wynosi

$$F \geq \frac{P_s}{0,5 \cdot \rho \cdot \eta_a \cdot \eta_m \cdot v^3} = \frac{26,8 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 1,23 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 8^3} = 267 \text{ m}^2$$

Po dokonaniu przeglądu dostępnych rozwiązań konstrukcyjnych elektrowni wiatrowych przyjęto do dalszej analizy elektrownię z turbiną wiatrową 3-łopatową o pionowej osi obrotu i 3-fazową prądnicą asynchroniczną o następujących parametrach:

- moc znamionowa generatora elektrycznego $P_{wn} = 30 \text{ kW}$;
- średnica wirnika $D = 20 \text{ m}$;
- „omiot” wirnika turbiny $F = 314 \text{ m}^2$;
- wysokość masztu 12 m .

Energia elektryczna

Dla danej lokalizacji ($a_j = 1250 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) spodziewana ilość energii elektrycznej wygenerowanej rocznie przez tę elektrownię może być wyznaczona z następującej zależności:

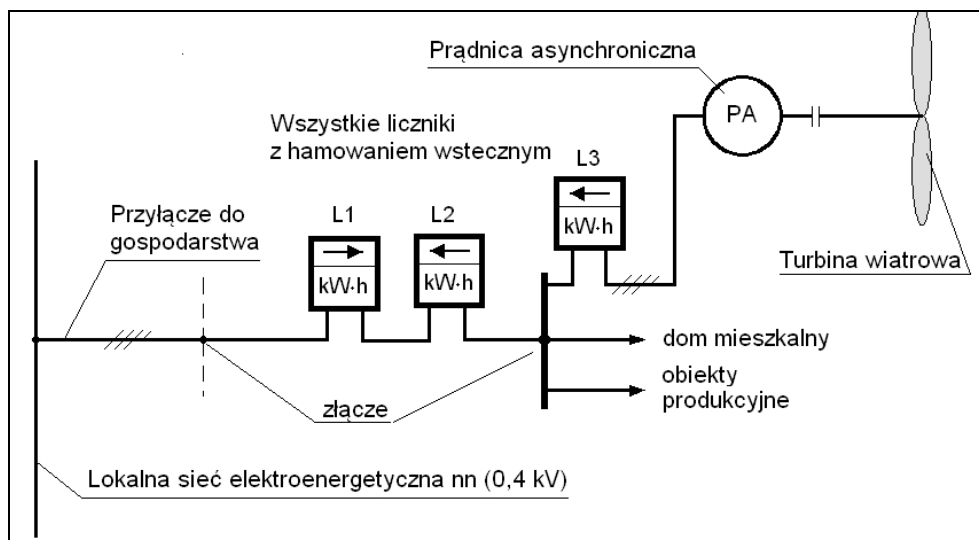
$$E_w = a_j \cdot F \cdot \eta_a \cdot \eta_m = 1250 \cdot 314 \cdot 0,4 \cdot 0,8 = 12560 \text{ kWh} \cdot \text{a}^{-1} \quad (2)$$

Czyli spełniony jest warunek (A), bowiem $E_w = 125,6 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1} > E_g = 76 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$.

Elektrownia ta może być podstawowym źródłem energii zasilającej gospodarstwo rolne oraz jej nadwyżki, która może być sprzedana lokalnemu dystrybutorowi.

Schemat włączenia elektrowni do instalacji elektrycznej gospodarstwa

Moc prądnicy jest porównywalna z mocą odbiorników elektrycznych zainstalowanych w domu i obiektach produkcyjnych stąd możliwe jest bezpośrednie włączenie dobranej elektrowni do istniejącej instalacji elektrycznej gospodarstwa. Uproszczony schemat ideowy tego włączenia oraz proponowany układ pomiarowy strumieni energii pokazano na rys. 1.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Uproszczony schemat włączenia elektrowni wiatrowej i układu pomiarowego przepływu energii elektrycznej w analizowanym gospodarstwie rolnym. **Oznaczenia:** L1 – licznik energii elektrycznej pobieranej z lokalnej sieci elektroenerget. nn; L2 – licznik energii elektrycznej sprzedawanej do lokalnej sieci; L3 – licznik energii elektrycznej wygenerowanej przez elektrownię wiatrową

Fig. 1. Simplified diagram for including wind power plant and metre circuit for electric energy flow in the analysed farm. **Symbols:** L1 – metre for electric energy drawn from local low-voltage power system; L2 – metre for electric energy sold for local low-voltage network; L3 – metre for electric energy generated by wind power plant

Bilans energii elektrycznej gospodarstwa

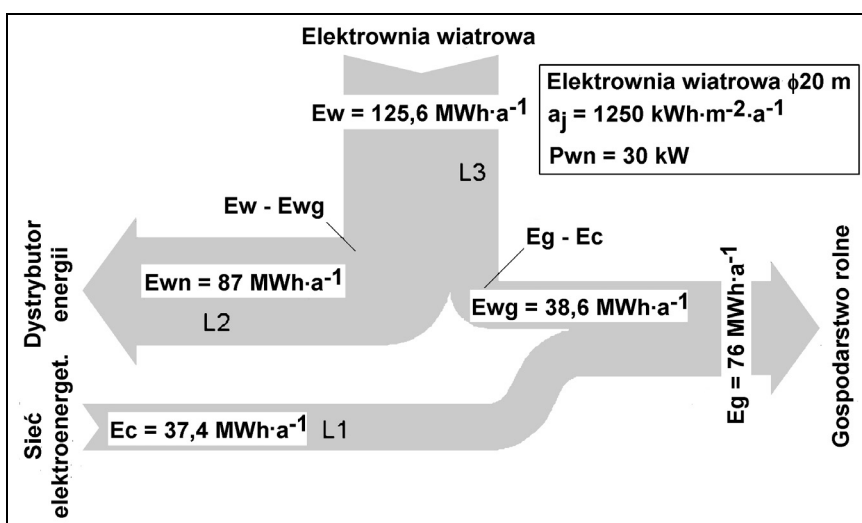
Zainstalowana elektrownia wiatrowa zmienia gospodarkę energią elektryczną, gdyż w bilansie poza energią elektryczną zużywaną przez odbiorniki pojawiają się dodatkowe strumienie charakteryzujące wymianę tej energii z lokalną siecią elektroenergetyczną. Wykres Sankey'a tego bilansu pokazano na rys. 2. Składa się on z następujących strumieni energii:

- E_g – energia elektryczna pobierana przez odbiorniki w gospodarstwie ($76 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$);
- E_w – energia elektryczna generowana ($125,6 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$), rejestrowana przez licznik L₃;
- E_{wg} – część wygenerowanej energii, wykorzystywana w gospodarstwie ($38,6 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$);
- E_{wn} – część energii elektrycznej wygenerowanej w elektrowni wiatrowej, sprzedawana do miejscowej sieci elektroenergetycznej ($87 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$), rejestrowana przez licznik L₂;

Przyzagrodowa elektrownia...

- E_c – energia pobierana przez gospodarstwo z lokalnej sieci elektroenergetycznej ($180 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1} \cdot 208 \text{ kWh} \cdot \text{d}^{-1} = 37,4 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$), rejestrowana przez licznik L_1 .

Z bilansu energii elektrycznej wynika, że dzięki elektrowni wiatrowej zakup energii zmniejsza się z ilości $76 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$ do $37,4 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$, czyli o ok. $38,7 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$). Powstałą nadwyżkę wygenerowanej energii w ilości $87 \text{ MWh} \cdot \text{a}^{-1}$, można sprzedać do lokalnej sieci elektroenergetycznej, zwiększając dochodowość gospodarstwa rolnego.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Bilans energii elektrycznej rozpatrywanego gospodarstwa rolnego
Fig. 2. Electric energy balance for the examined farm

Analiza kosztów generacji energii elektrycznej elektrowni wiatrowej

1. Nakłady inwestycyjne

Do analizy nakładów inwestycyjnych przyjęto dane dla elektrowni wiatrowej firmy Dr ZĄBER o mocy 30 kW. Wymieniona elektrownia charakteryzuje się następującymi nakładami inwestycyjnymi:

- cena elektrowni	180000 PLN
- wykonanie fundamentu	11000 PLN
- podłączenie do instalacji elektrycznej	5000 PLN

razem: 196000 PLN

Razem koszty nakładowe wraz z 22% VAT

$K_n = 239120 \text{ PLN}$

2. Koszty jednostkowe generacji energii elektrycznej

Do obliczenia wartości jednostkowych kosztów generacji energii elektrycznej dla analizowanej elektrowni zastosowano metodę „kosztów rocznych” inwestycji [Kopecki 1960; Kusto 2000]. Koszty roczne składają się z odpisu amortyzacyjnego oraz odpisu na remonty a także kosztów osobowych i rzeczowych obsługi ponoszonych w ciągu roku i ewentualnie odpisów na spłatę kredytu.

W analizie kosztów jednostkowych przyjęto następujące założenia:

- odpis amortyzacyjny $a = 5\%$ (przyjęto okres $N = 20$ lat);
- odpis na remonty $r = 1,5\%$;
- odpis na spłatę kredytu $p = 8\%$;
- koszty osobowe i rzeczowe obsługi $K_0 = 3500$ PLN/a

Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu następujących zależności dla kosztów rocznych:

$$K_n = \frac{K_n(a+r+p)}{100} + K_0 \quad [\text{PLN} \cdot a^{-1}] \quad (3)$$

Przyjęto następujące sposoby finansowania inwestycji:

- środki własne ($p = 0$);
- środki własne – 50% i kredyt – 50% ($p = 8\%$);
- kredyt 100% ($p = 8\%$).

Koszty jednostkowe generacji energii elektrycznej obliczono jako:

$$k_j = \frac{K_r}{E_w} [\text{PLN} \cdot \text{MWh}^{-1}] \quad (4)$$

gdzie:

K_r – koszt roczny obliczany dla podanych przypadków finansowania;

$E_w = 125,6$ MWh $\cdot a^{-1}$ – energia elektr. wygenerowana przez elektrownię wiatrową.

Zestawienie obliczonych jednostkowych kosztów energii elektrycznej wygenerowanej w analizowanej elektrowni wiatrowej dla różnych sposobów jej finansowania oraz aktualne ceny taryfowe energii elektrycznej zawiera poniższa tabela.

Tabela 1. Koszty jednostkowe generacji energii elektrycznej i ceny energii

Table 1. Unit costs for electric energy production and energy prices

Lp.	Wyszczególnienie	Oznaczenie	Wartość [PLN \cdot MWh ⁻¹]
1	Inwestycja ze środków własnych	k_{ia}	152
2	Inwestycja mieszana (50% - środki własne i 50% kredyt ($p = 8\%$))	k_{jb}	328
3	Inwestycja w 100% kredyt ($p = 8\%$)	k_{jc}	304
4	Cena energii (taryfa G12)	C_E	556
5	Cena energii elektr. sprzedawanej dystrybutorowi (0,85 ceny energii elektrycznej bez przesyłu)	C_{ES}	214

Źródło: obliczenia własne autorów

Aspekt ekonomiczny i ekologiczny

W celu określenia efektywności ekonomicznej wykorzystania w gospodarstwie rolnym małej elektrowni wiatrowej sieciowej, porównano roczne koszty energii wykorzystywanej w gospodarstwie. Badano 2 warianty zasilania gospodarstwa:

- Wariant I (bez elektrowni wiatrowej) – całość energii elektrycznej zużywanej w gospodarstwie jest kupowana u dystrybutora;
- Wariant II (z elektrownią wiatrową) – ok. 50% energii zasilającej gospodarstwo pochodzi z elektrowni wiatrowej, a pozostała część jest kupowana u dystrybutora. Nadwyżka wygenerowanej energii jest sprzedawana do lokalnej sieci elektroenergetycznej. Wyniki obliczeń zawiera tabela 2.

Tabela 2. Koszty energii elektrycznej dla rozważanych wariantów zasilania gospodarstwa
Table 2. Electric energy costs for the considered farm power supply variants

Wyszczególnienie	Koszty roczne energii [PLN · a ⁻¹]	Różnica kosztów wariant I – wariant II
Wariant I – bez elektrowni wiatrowej	43016	-
Wariant II – z elektrownią wiatrową.		
Sposób finansowania inwestycji:		
a) 100% - środki własne	21585	21431
b) 50% - środki własne, 50% kredyt	31145	11871
c) 100% - kredyt	40705	2311
1. W wariantcie I uwzględniono aktualną cenę energii elektrycznej.		
2. W wariantcie II uwzględniono odpisy amortyzacyjne i na remonty a także koszt kredytu.		

Źródło: obliczenia własne autorów

Wnioski

Na obszarach wiejskich w Polsce możliwe jest zainstalowanie bezpośrednio w gospodarstwach rolnych wielu tysięcy małych sieciowych elektrowni wiatrowych. Miałyby to istotne znaczenie dla wsparcia krajowych planów realizacji międzynarodowych zobowiązań Polski w zakresie redukcji emisji CO₂ i ograniczenia spalania paliw kopalnych w energetyce zawodowej. Mogłyby to przynieść jeszcze szereg korzyści społecznych jak stworzenie warunków dla przemysłowego wykonywania komponentów do budowy małych elektrowni wiatrowych, zwiększenie zainteresowania problematyką wykorzystania odnawialnych źródeł energii na wsi, rozwój badań naukowych i prac konstrukcyjno-badawczych w zakresie problematyki budowy małych elektrowni wiatrowych itp.

Przeprowadzona analiza bilansu energetycznego i kosztów generacji energii elektrycznej w przykładowym gospodarstwie rolnym z przyzagrodową małą elektrownią wiatrową pozwala na sformułowanie następujących wniosków szczegółowych:

1. Możliwe jest zmniejszenie nawet o 50% ilości zakupywanej przez gospodarstwo energii elektrycznej.
2. Gospodarstwo może znacznie zwiększyć ogólną dochodowość z tytułu sprzedawanej dystrybutorowi nadwyżki wygenerowanej energii elektrycznej. W badanym przypadku nadwyżka ta może sięgać wartości nawet 30 tys. zł na rok. Korzyści gospodarstwa mo-

gą być jeszcze znacznie większe gdyby objęte było ono systemem uprawnień do sprzedaży tzw. „zielonych” świadectw pochodzenia za generację energii elektrycznej w przyzagrodowej elektrowni wiatrowej. Zysk ten przy aktualnej wartości jednostkowej 300 PLN·MWh⁻¹ – może wynosić nawet ok. 38 tys. zł rocznie.

3. Poza możliwością poprawy dochodowości gospodarstwa elektrownia wiatrowa dzięki wygenerowanej w ciągu roku energii elektrycznej w ilości 125,6 MWh uzyskuje się następujące efekty ekologiczne:
 - redukcję emisji dwutlenku węgla w ilości ok. 101 Mg·a⁻¹;
 - oszczędność węgla energetycznego w ilości ok. 88 Mg·a⁻¹.

Bibliografia

- Dreszer K., Michalek R., Roszkowski A.:** 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. ISBN 83-917053-0-7, wyd. PTIR, Kraków, Lublin, Warszawa
- Sumera T.** 2009. Lokalna generacja wiatrowa. GLOB Energia. Nr 3. s. 20-22.
- Jastrzębska G.** 2007. Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. ISBN: 978-83-204-3507-8, Warszawa, WNT 2007
- Sobański R., Turowski St.** 1983. Opracowanie wskaźników jednostkowego zużycia paliwa i energii w sektorze bytowo-komunalnym-strefa wiejska. Politechnika Szczecińska. Katedra Techniki Ciepłej. Maszynopis powielony. Szczecin.
- Kopecki K.** 1960. Ogólne założenia i metoda rachunku gospodarczego w elektroenergetyce. Komitet Elektryfikacji Polski PAN. t. V. cz. I. Warszawa
- Kusto Z.** 2000. Rentowność elektrowni wiatrowych. Rynek Instalacyjny. Nr 2. ISBN/ISSN 1230-9540.

FARMSTEAD WIND POWER PLANT – THE SOURCE OF INEXPENSIVE ELECTRIC ENERGY

Abstract. The article presents the analysis of benefits resulting from using a 30 kW wind turbine as an additional electric energy source in a model farm. An energy balance and economic analysis have been completed for the farm. It has been proved that the farm would possess an electric energy surplus it could sell to an external power distributor.

Key words: small wind power plant, energy balance, energy costs

Adres do korespondencji:

Rafał Nowowiejski; e-mail: rafal.nowowiejski@zut.edu.pl
Katedra Inżynierii Systemów Agrotechnicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI/1
71-459 Szczecin