

Wpłynęło 09.11.2011 r.
Zrecenzowano 29.12.2011 r.
Zaakceptowano 14.02.2012 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Metodyka badań wielozródłowego systemu zasilania opartego na odnawialnych źródłach energii

Jakub LENARCZYK^{ABCDEF}

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Poznaniu

Streszczenie

Celem pracy było przedstawienie metodyki badań wielozródłowych systemów zasilania opartych na odnawialnych zasobach energii. W celu przeprowadzenia badań zbudowano instalację o mocy szczytowej 3,2 kW, składającą się z modułów fotowoltaicznych, generatora wiatrowego o pionowej osi obrotu oraz baterii akumulatorów wraz z przyrządami pomiarowymi. Wyniki badań umożliwią szacowanie wydajności i niezawodności samodzielnych systemów zasilania.

Słowa kluczowe: metodyka badań, energia odnawialna, zasilanie pozasieciowe, moduły fotowoltaiczne, siłownia wiatrowa

Wstęp

Wiele względów ekonomicznych, energetycznych i ekologicznych decyduje o tym, że systematyczne zwiększenie wykorzystania odnawialnych zasobów energii na obszarach wiejskich staje się w Polsce gospodarczą koniecznością. Zobowiązują nas do tego również wspólne ustalenia odpowiednich międzynarodowych organizacji i Unii Europejskiej [SZEPTYCKI, WÓJCICKI 2003].

Względy ekonomiczne to m.in. konieczność technicznej transformacji produkcji żywności w Polsce z systemu kapitałooszczędnego i pracochłonnego przez zmianę proporcji sił wytwórczych na korzyść technicznych środków produkcji [DRESZER i in. 2003].



Do względów energetycznych należy zaliczyć przede wszystkim potrzebę niezawodnych dostaw na obszary wiejskie energii elektrycznej o najlepszych parametrach i po cenach konkurencyjnych w stosunku do innych jej nośników [SZEPTYCKI, WÓJCICKI 2003].

Decydujące są również względy ekologiczne i sozologiczne – duże zużycie energii pochodzącej ze spalania paliw kopalnych wiąże się z emisją zanieczyszczeń do atmosfery, głównie związków azotu, siarki, węgla, metali ciężkich, węglowodorów alifatycznych i pyłów przemysłowych [LEWANDOWSKI 2006]. Wśród negatywnych skutków tych emisji warto wymienić ryzyko powstania smogu w dużych aglomeracjach miejskich, zakwaszenie atmosfery, gleby i wód gruntowych, zanieczyszczenie wód metalami ciężkimi, szkody górnicze, w tym zasolenie rzek wodami z kopalń, oraz zaburzenie efektu cieplarnianego wskutek akumulacji gazów szklarniowych.

Odnawialne źródła energii są przyjazne środowisku, tanie i dostępne lokalnie. Są to: energia wodna, wiatrowa, słoneczna i geotermalna oraz energia paliw stałych, ciekłych i gazowych, powstających z biomasy [WÓJCICKI 2007]. Do odnawialnych źródeł zalicza się też odzysk energii w wyniku stosowania pomp ciepłych, ogniwa paliwowe oraz wodór. Do zaopatrzenia gospodarstwa rolnego w energię elektryczną przydatne mogą być głównie: systemy fotowoltaiczne, siłownie wiatrowe i wodne oraz biogazownie rolnicze. Budowa elektrowni wodnych jest możliwa w ściśle określonych lokalizacjach a biogazownie wymagają kosztownej infrastruktury oraz rozległego zaplecza dostawców surowca, dlatego najlepszym rozwiązaniem dla gospodarstw wydaje się budowa instalacji opartych na fotoogniwach i małych turbinach wiatrowych.

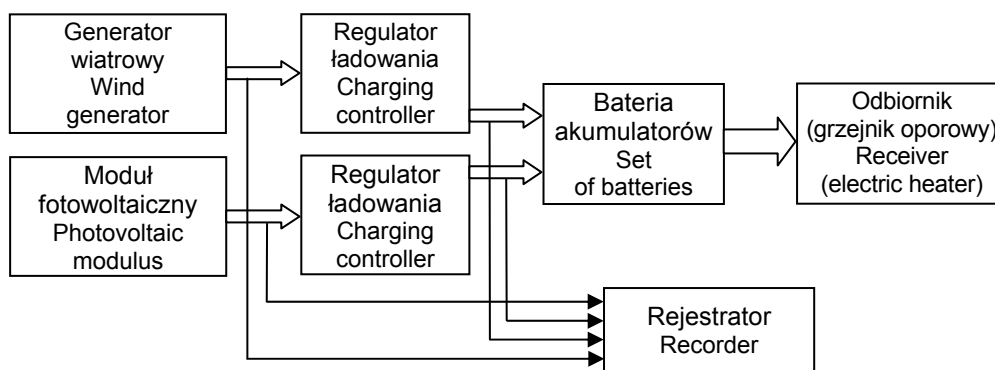
Wśród wad promieniowania słonecznego i wiatru, jako źródeł energii alternatywnej, dominuje problem cykliczności podaży energii, jej duże rozproszenie oraz niedoskonałość urządzeń, umożliwiających jej wykorzystanie. Dążenie do konstruowania coraz bardziej wydajnych instalacji jest w pełni uzasadnione.

Celem pracy jest przedstawienie metodyki badania zaprojektowanej instalacji, umożliwiającej zasilanie odbiorników energii elektrycznej w gospodarstwie rolnym energią pochodzącą ze źródeł odnawialnych – słońca i wiatru.

Na podstawie wyników badań przeprowadzonych według zaproponowanej metodyki będzie można odpowiedzieć na pytania: w jakim stopniu wybrane urządzenia umożliwią pokrycie zapotrzebowania na energię z wybranych źródeł odnawialnych w gospodarstwie rodzinnym oraz jaki powinien być dobór parametrów technicznych elementów instalacji w celu zapewnienia nieprzerwanego zasilania odbiorników?

Materiał i metoda badań

Badania prowadzono na stanowisku badawczym, składającym się z 4 głównych zespołów (rys. 1).



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys.1. Schemat blokowy badanej instalacji

Fig. 1. Block diagram of investigated installation

1. Zespół generatora wiatrowego (fot. 1), składający się z generatora o pionowej osi obrotu i trójłopatowym wirniku typu Darrieusa (H-rotor) oraz prądnicy trójfazowej synchronicznej PMzg132M-16B, o następujących parametrach: moc nominalna – 2,5 kVA, prędkość obrotowa – $375 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$, częstotliwość – 50 Hz, napięcie przemienne międzyfazowe – $3 \times 100 \text{ V}$. Modyfikacje w postaci przesunięcia elementów skrzydeł w płaszczyźnie pionowej i umocowania przewodnic strug powietrza zaproponowano na podstawie doświadczeń w tunelu aerodynamicznym z zastosowaniem modeli.



Źródło: fot. J. Lenarczyk.
Source: photo J. Lenarczyk.



Źródło: fot. J. Lenarczyk.
Source: photo J. Lenarczyk.

Fot. 1. Zespół generatora wiatrowego o pionowej osi obrotu
Photo 2. Generator with vertical axis
wind turbine

Fot. 2. Zespół modułów fotowoltaicznych na mobilnej konstrukcji nośnej
Photo 2. Mobile photovoltaic array

2. Zespół modułów fotowoltaicznych PV (fot. 2), w którego skład wchodzi 4 moduły fotowoltaiczne typu Solar Module NE-Q7E3E o następujących nominalnych danych technicznych: pole powierzchni czynnej – 1,18 m², maksymalna moc nominalna – 167 W, napięcie robocze – 34,6 V, maksymalne natężenie robocze – 4,83 A. Moduły fotowoltaiczne ustawiono w orientacji południowej, pod kątem nachylenia do płaszczyzny gruntu ok. 35°. Zgodnie z literaturą [KLUGMANN-RADZIEMSKA, KLUGMANN 2002], jest to najbardziej efektywny sposób ustawienia modułów PV w miesiącach letnich dla równoleżnika 52°N.
3. Bateria ośmiu akumulatorów TROJAN T-105 o napięciu nominalnym 6 V, pojemności 5-godzinnej 185 Ah i pojemności 20-godzinnej 225 Ah, połączonych szeregowo, w celu uzyskania napięcia wyjściowego 48 V oraz odbiornik o stałej rezystancji, którym jest grzejnik oporowy „Sonico” HC1808 o mocy 2000 W.
4. Ośmiokanałowy programowalny moduł wejść analogowych z rejestracją wyników „M-800” wraz z oprogramowaniem komputerowym, używany do pomiarów.

W trakcie badań co 10 s rejestrowano napięcie i natężenie prądu (z dokładnością do 0,1 V i 0,1 A), wytwarzanego na generatorze wiatrowym, I parze modułów PV oraz II parze modułów PV, a także wybrane parametry meteorologiczne: irradancję (W·m⁻²), prędkość (m·s⁻¹) i kierunek wiatru.

Wyniki pomiarów z karty pamięci rejestratora „M-800” wprowadzano do zaprogramowanego wcześniej arkusza kalkulacyjnego MS Excel, a następnie przetwarzano (porządkowano, obliczono średnie, zestawiano z danymi meteorologicznymi) i interpretowano wyniki.

Określenie ilości wytworzonej energii

Ilość wytworzonej energii obliczono na podstawie danych z rejestratora. Chwilowe wartości napięcia i natężenia prądu posłużyły do wyznaczenia mocy zgodnie ze wzorem:

$$P = UI \quad (1)$$

gdzie:

U – napięcie robocze prądu [V],

I – natężenie prądu [A].

Energia jest iloczynem chwilowej mocy i czasu:

$$E = \int P dt$$

Po rozwinięciu całki na sumę iloczynów prawa strona wzoru przybiera postać, umożliwiającą wykonanie obliczeń z dokładnością do 0,1 Wh:

$$E = \frac{P_0 + P_1}{2} \cdot \Delta t_1 + \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot \Delta t_2 + \frac{P_2 + P_3}{2} \cdot \Delta t_3 + \dots + \frac{P_{n-1} + P_n}{2} \cdot \Delta t_n \quad (2)$$

gdzie:

P_1, P_2, \dots, P_n – kolejne wartości mocy chwilowej [W],

$\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ – kolejne odcinki czasu, odpowiadające mocy chwilowej [min].

Wyznaczono średnią godzinną, dzienną i miesięczną wartość energii wytwarzanej w dwuźródłowej instalacji. Średnia dzienna wartość energii umożliwia obliczenie potrzebnej pojemności elektrycznej baterii akumulatorów zgodnie ze wzorem:

$$Q = \frac{E_u}{U} \eta_a \quad (3)$$

gdzie:

Q – pojemność baterii akumulatorów [Ah],

E_u – energia uzyskana [Wh],

U – napięcie instalacji [V],

η_a – sprawność akumulatorów [%], przyjęto $\eta_a = 70\%$.

Pojemność akumulatorów zależy również od jednorazowego chwilowego poboru mocy W_{max} (wyznaczonego na podstawie liczby odbiorników pracujących w tym samym czasie). Zakłada się, że akumulator nie powinien być obciążony mocą większą niż odpowiadająca jego pojemności dziesięciogodzinnej $Q_{(10\text{ h})}$.

Wyznaczanie zapotrzebowania na energię elektryczną gospodarstwa rolnego na podstawie odbiorników prądu

Do obliczenia teoretycznego zapotrzebowania na energię elektryczną gospodarstwa [kWh] oraz mocy szczytowej [W] na podstawie liczby odbiorników i czasu ich eksploatacji wykorzystano ankietę, sporządzoną w arkuszu kalkulacyjnym MS Excel (tab. 1).

Suma mocy znamionowych urządzeń pracujących jednocześnie umożliwiła wyznaczenie jednorazowego chwilowego poboru mocy. Suma wartości zużycia energii umożliwiła wyznaczenie dobowego zapotrzebowania na energię elektryczną. Wyniki obliczeń zostaną porównane z aktualnymi rachunkami za energię elektryczną badanego gospodarstwa rolnego.

Bilans energii

Średnią miesięczną ilość energii wytworzonej w dwuźródłowej instalacji porównano z miesięcznym zapotrzebowaniem na energię elektryczną gospodarstwa rolnego (określonym na podstawie liczby i czasu eksploatacji odbiorników prądu). Wyniki umożliwiły wyznaczenie liczby odbiorników, które mogą być jednocześnie zasilane z odnawialnych źródeł energii oraz określenie parametrów instalacji, która zapewniłaby stałe, pozasieciowe zasilanie gospodarstwa rolnego.

Tabela 1. Poglądowy fragment ankiety dotyczącej zapotrzebowania na energię elektryczną

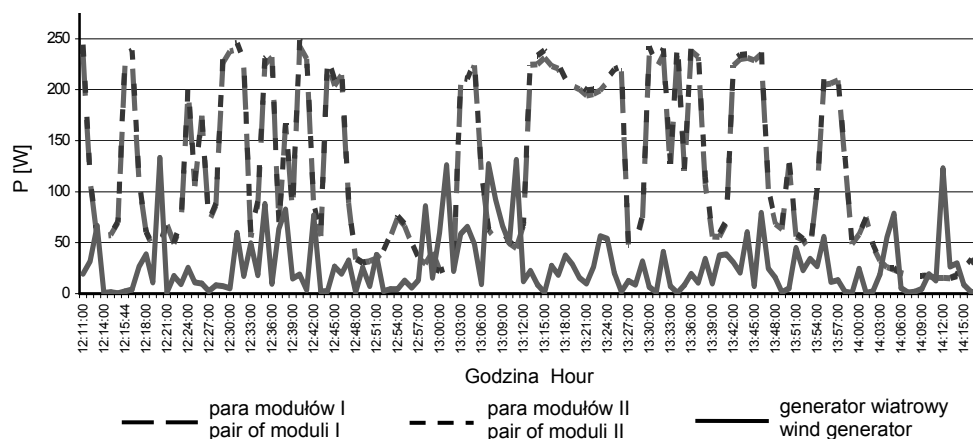
Table 1. Demonstrative fragment of the questionnaire concerning demand on electric energy

Rodzaj odbiornika Kind of receiver	Liczba Number	Moc znamionowa Power rating [W]	Średni dobowy czas pracy odbiornika Average daily work-time of receiver [h]	Zużycie energii na dobę Energy consumption per 24 hrs [kWh]	Uwagi Notes
Świelówka Fluorescent lamp	4	35	4	0,84	zimą x 100% in winter x 100%
Ogrzewacz wody 80 l Water heater 80 l	1	1 500	3	4,5	3 cykle napełniania i ogrzania do 75°C, dziennie zużycie dla 4 osób 3 cycles of filling and heating up to 75°C, daily consumption for 4 persons
...

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Wyniki wstępnych pomiarów

Wyniki wstępnych pomiarów, przeprowadzonych w dniu 12 października 2011 r. w godzinach 12:00–14:30, przedstawiono na wykresie (rys. 2):



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 2. Moc obliczona na podstawie zarejestrowanych parametrów elementów instalacji wieloźródłowej: modułów PV i generatora wiatrowego; pomiary co 10 s w godzinach od 12:00–14:30 UTC+2:00

Fig. 2. Registered power of multi-source installation: PV modules (dotted lines) and wind generator (continuous line); data were collected every 10 sec., between 12:00–14:30 UTC+2:00

Zakres prezentowanych danych wybrano tak, by były reprezentatywne dla zróżnicowanych warunków pogodowych, zarówno wiatrowych, jak i słonecznych, które wystąpiły w danym dniu.

Wnioski

1. Próby przeprowadzone na stanowisku badawczym wykazały poprawność założeń konstrukcyjnych – stanowisko umożliwia rejestrację oraz dalszą obróbkę i analizę wyników pomiarów.
2. Przedstawiona powyżej metodyka badań dwuźródłowego systemu zasilania małej mocy może być przydatna w badaniach eksploatacyjnych instalacji zarówno komercyjnych, jak i prototypowych. Na podstawie wyników badań przeprowadzonych według zaproponowanej metodyki, można oszacować opłacalność planowanych inwestycji, polegających na wyposażeniu gospodarstwa rolnego w niskonapięciowe systemy zasilania pozasieciowego.

Bibliografia

DRESZER K.A., MICHAŁEK R., ROSZKOWSKI A. 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Kraków-Lublin-Warszawa. PTIR. ISBN 83-91705-30-7 ss. 256.

KLUGMANN-RDZIEMSKA E., KLUGMANN E. 2002. Systemy słonecznego ogrzewania i zasilania elektrycznego budynków. Białystok. Wydaw. Ekonomia i Środowisko. ISBN 83-88771-22-1 ss. 125.

LEWANDOWSKI W.M. 2006. Proekologiczne odnawialne źródła energii. Warszawa. WNT. ISBN 83-204-3112-3 ss. 432.

SZEPTYCKI A., WÓJCICKI Z. 2003. Postęp technologiczny i nakłady energetyczne w rolnictwie do 2020 r. Warszawa. IBMER. ISBN 83-86264-96-9 ss. 146.

WÓJCICKI Z. 2007. Poszanowanie energii i środowiska w rolnictwie i na obszarach wiejskich. Warszawa. IBMER. ISBN 978-8-389806-17-8 ss. 33.

Jakub Lenarczyk

METHODOLOGY OF TESTING THE MULTI-SOURCE, STAND-ALONE POWER SUPPLY SYSTEM, BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

Summary

Paper presented the methodology of testing the multi-source, stand-alone power supply systems, based on the resources of renewable energy. The experimental installation built for measurement purposes, consisted of wind generator with vertical

axis of rotation, photovoltaic modules and set of batteries with measuring instruments. Total peak power of the system reached 3.2 kW. Results of tests provide the data for predicting efficiency of stand-alone power supply systems.

Key words: investigation methodology, renewable energy, power supply, photovoltaic modules, wind power station

Adres do korespondencji:

mgr. inż. Jakub Lenarczyk
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Oddział w Poznaniu
ul. Biskupińska 67, 60-463 Poznań
tel. 61 820-33-31; jaklenar@itep.edu.pl