

ANALIZA PRACY RÓŻNYCH PROFILI ŁOPAT PĘDNIKA SIŁOWNI WIATROWEJ

Marcin Dębowski, Leszek Romański, Jerzy Bieniek
Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W artykule przeanalizowano pracę trzech różnych profili łopat koła wiatrowego. Wśród wybranych konstrukcji, na których prowadzone były analizy znalazły się następujące profile: fabryczny dostarczony wraz z siłownią, Gottinger GOE 413 Airfoil oraz profil S NREL 822. Dla każdego profilu wykreślono charakterystykę mocy w funkcji prędkości wiatru. Każda z łopat, po zamontowaniu do siłowni wiatrowej Firmy Komel model JSW 750–12, została poddana badaniom w zakresie prędkości wiatru 6,5 do 14,5 m·s⁻¹. Pomiary wykonano po stronie napięcia stałego, po zmianie prądu przemiennego na stały przez prostownik sześciopulsowy. Na podstawie uzyskanych charakterystyk można stwierdzić, że siłownia w zakresie badanych prędkości generuje najwyższą moc dla profilu fabrycznego. Siłownia napędzana kołem wiatrowym z dwoma zaproponowanymi profilami generowała mniej energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: siłownia wiatrowa, energetyka, profile łopat

Wstęp

Z roku na rok procentowy udział energii elektrycznej wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii (OZE) jest coraz większy. W obecnej chwili wartość ta wynosi prawie 3 000 MW. Do osiągnięcia tego wyniku w największej mierze przyczyniła się energetyka wiatrowa. Na koniec 2011 roku moc zainstalowana pochodząca od elektrowni wiatrowych wynosiła ponad 1 616 MW. Była wyższa niż na koniec 2010 roku o 436 MW [Granica 3000 MW w energetyce odnawialnej przełamana]. Zgodnie z przewidywaniami raportu „Wizja rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 r.” udział mocy zainstalowanej w Polskim Systemie Elektroenergetycznym dla energetyki wiatrowej w 2020 r. wyniesie 6 087 MW [Wiśniewski i in. 2009]. Dodatkowo raport klasyfikuje elektrownie wiatrowe jako ekologiczne źródło energii o najniższych nakładach inwestycyjnych.

Energetyka wiatrowa to duże siłownie, których moc sięga ponad 2 MW oraz małe wolnostojące jednostki, legitymujące się mocą od kilkuset watów, do kilku kilowatów. Są one przeznaczone do dostarczania energii elektrycznej do miejsc, w których budowa sieci prze-

syłowej oraz infrastruktury elektroenergetycznej jest ekonomicznie nieopłacalna. Małe OZE mogą być stosowane w ramach zapotrzebowania na energię w gospodarstwach rolnych oraz infrastrukturę z nimi związaną np. stacje meteorologiczne, monitoring obszarów leśnych, systemy oświetlenia znaków drogowych oraz tablic reklamowych, napowietrzania stawów rybnych, itp. [Sałagan i in. 2011]. Alternatywą dla małych siłowni wiatrowych są ogniwa fotowoltaiczne, jednak ze względu na wysoką cenę oraz niską sprawność są one mniej konkurencyjne [Styczyński 2008, Filipowicz 2004, Akhamov 2006]

Cel badań

Celem badań była analiza pracy trzech profili łopat pędnika siłowni wiatrowej. W czasie badań wyznaczono generowaną moc elektryczną dla każdego z profili, wykreślono charakterystyki mocy w funkcji czasu oraz przeprowadzono ich analizę.

Przedmiot i metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem siłowni wiatrowej Firmy Komel model JSW 750-12. Konstrukcyjnie jest to elektrownia o poziomej osi obrotu, napędzana trójłopatowym kołem wiatrowym. Prąd elektryczny wytwarzany jest przez trójfazowy generator synchroniczny z magnesami trwałymi. Napięcie przemienne przetwarzane jest na stałe przez sześciopulsowy mostek prostowniczy [Tomaszkiewicz 2009]. Szczegółowy wykaz parametrów, wraz z wartościami, został podany w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry siłowni wiatrowej Komel JSW 750-12
Table 1. Parameters of a wind power plant Komel JSW 750-12

Nazwa parametru	Wartość
Znamionowa moc elektryczna [W]	120
Znamionowa prędkość wiatru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	12
Maksymalna prędkość wiatru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	30
Minimalna prędkość wiatru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,5
Średnica pędnika [m]	0,75
Ilość łopat pędnika [szt.]	3

Źródło: Tomasziewicz 2009

Do badań wytypowano 3 profile pędnika. Pierwszy to profil proponowany przez producenta, w dalszej części nazywany fabryczny (rys. 2). Dwa pozostałe, to profile zaproponowane przez autorów, które zostały wybrane na podstawie studiów literaturowych [Lee 2000]. Są to profile Gottinger GOE 413 Airfoil (rys. 3) oraz S NREL 822 (rys. 4).



Źródło: foto. Dębowski

Rys 1. Siłownia wiatrowa Fir-my Komel JSW 750-12
Fig 1. A wind power plant Komel JSW 750-12



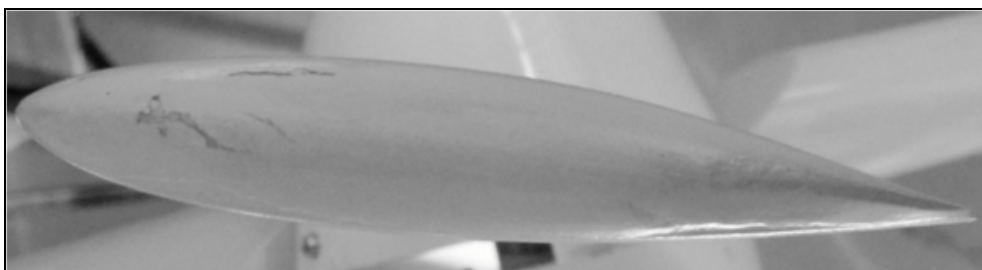
Źródło: foto. Dębowski

Rys. 2. Profil fabryczny, dostarczany wraz z siłownią JSW 750-12
Fig. 2. A pre-built profile supplied along with a power plant JSW 750-12



Źródło: foto. Dębowski

Rys 3. Profil Gottinger GOE 413 Airfoil
Fig 3. Gottinger Profile GOE 413 Airfoil

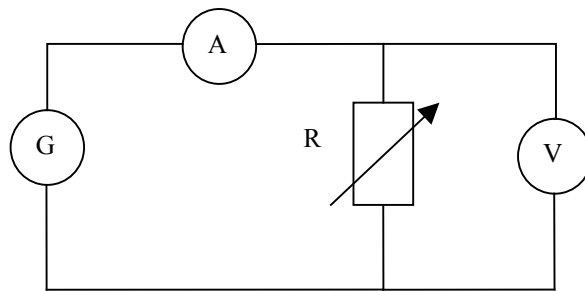


Źródło: foto. Dębowski

Rys 4. Profil S NREL 822
Fig 4. S NREL 822 profile

Porównanie pracy poszczególnych profili zostało oparte na pomiarze mocy elektrycznej generowanej przez siłownię. Taki sposób postępowania pozwolił na eliminację wprowadzenia dodatkowych urządzeń pomiarowych w strefę koła wiatrowego. Urządzenia takie powodowałyby zakłócenia przepływu, co utrudnia w sposób bezpośredni pomiary momentu obrotowego i prędkości obrotowej pędnika [Charkiewicz, Romański 2008].

Pomiar mocy odbywał się za prostownikiem po stronie stałej. Straty prostownika zostały pominięte w rozważaniach ze względu na fakt, że celem pracy jest porównanie poszczególnych profili, a nie analiza pracy samej siłowni. Do pomiaru wykorzystano układ elektryczny [Nalepa i in. 2008, Parchański 1995] zaprezentowany na rysunku 5.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Schemat układu pomiarowego: G – generator synchroniczny z magnesami trwałymi, A – amperomierz, V – woltomierz, R – opornica suwakowa 2,35 Ohma
 Fig. 5. Schematic representation of the measurement system: G – synchronous generator with stable magnets, A – ammeter, V – voltmeter, R – slide stock rail 2.35 Ohm

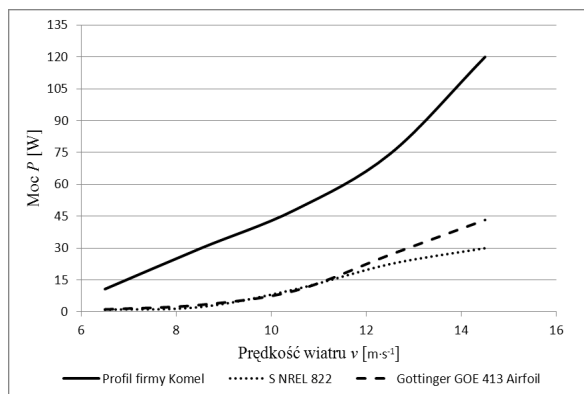
Do pomiaru napięcia zastosowano multimetr Metex M-3630D, natomiast do pomiaru prądu służył multimetr Metex M-4660M.

Wyniki badań i ich analiza

Na rysunku 6 przedstawiono charakterystyki mocy w funkcji prędkości wiatru trzech badanych profili łopat pędnika.

W związku z ograniczeniami technicznymi nie można było ustalić prędkości startowej. Jeżeli jednak charakterystyki zachowują swój kształt dla mniejszych prędkości, to można stwierdzić, że prędkość startowa dla profilu fabrycznego jest zgodna z zapewnieniami producenta [Tomaszkiewicz 2009]. Jej wartość oscyluje w granicach $2,5\text{--}3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dla dwóch pozostałych profili wartość ta będzie wyższa i będzie zawierać się w przedziale $5\text{--}6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Moc znamionowa deklarowana przez producenta została osiągnięta przez profil fabryczny. Według danych technicznych siłownia JSW 750–12 powinna generować 120 W przy $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Wartość ta została osiągnięta, ale dla prędkości wiatru wynoszącej $14,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 6. Charakterystyki mocy w funkcji prędkości wiatru trzech badanych profili łopat pędnika
Fig. 6. Power characteristics as a function of wind speed of three examined profiles of the propeller blades

Dwa pozostałe profile osiągnęły zdecydowanie niższą moc. Było to odpowiednio 44 W dla profilu Gottinger GOE 413 Airfoil oraz 30 W dla profilu S NREL 822. Tak samo jak w przypadku łopat fabrycznych, wartości te zostały osiągnięte przy prędkości wiatru 14,5 m·s⁻¹.

Należy zwrócić uwagę, że pomimo osiągnięcia zdecydowanie niższych mocy przez profile Gottinger GOE 413 Airfoil oraz S NREL 822, łopaty tych typów charakteryzowały się zdecydowanie łagodniejszym przyrostem krzywej mocy.

Merytorycznie może okazać się, bardzo ważną kwestią zmiana kąta łopat, dla różnych prędkości wiatru. Kwestia ta ze względu na ograniczenia mechaniczne nie została uwzględniona w ramach aktualnych badań. W dalszych badaniach należy precyzyjnie określić optymalny kąt mocowania łopat, najlepiej z dokładności do 0,5 stopnia. Dodatkowo może być interesującym zagadnieniem praca łopat przy wyższych prędkościach wiatru do 20 m·s⁻¹.

Wnioski

1. Siłownia wiatrowa Komel JSW 750–12 osiąga moc znamionową wynoszącą 120 W dla profilu fabrycznego przy prędkości wiatru 14,5 m·s⁻¹.
2. Profile Geo Gottinger 413 Airfoil oraz S NREL 822 cechowały się podobnymi charakterystykami mocy w funkcji prędkości wiatru. Przy jej prędkości wynoszącej 14,5 m·s⁻¹ pierwszy profil generował o 30% więcej mocy.
3. W zakresie badanych prędkości wiatru, profil fabryczny charakteryzował się najwyższym przyrostem mocy.
4. W dalszych pracach badawczych dotyczących profili należy uwzględnić zmianę kąta mocowania łopat w pędniku oraz wyższe prędkości wiatru do 20 m·s⁻¹.

Bibliografia

- Akhmatov V. (2006): Induction generators for wind power. Vorg Inc. ISBN 0906522 404.
- Charkiewicz M., Romański L. (2008): Wpływ konfuzora na moc siłowni wiatrowej umieszczonej w obudowie rurowej. *Inżynieria Rolnicza*, 4(102), 141-146.
- Filipowicz M. (2004): Małe turbiny wiatrowe. *Nafta & Gaz Biznes*, 21-25.
- Lee E. (2000): Optimization of Turbomachinery Airfoil Shapes in Viscous Unsteady Compressible Flows. Pennsylvania State University, 20-41.
- Nalepa K., Neugebauer M., Sołowiej P. (2008): Metodyka badań małych siłowni wiatrowych. *Inżynieria Rolnicza*, 2(100), 209-214.
- Parchański J. (1995): Miernictwo elektryczne i elektroniczne. WSiP, Warszawa, 179-200.
- Salagan P., Dobek T., Wieliczko P. (2011): Możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii w gospodarstwach rolnych i gminach wiejskich. *Inżynieria Rolnicza*, 9(134), 207-213.
- Styczyński Z. (2008): Materiały do wykładu Renewable energy sources. Wrocław, 1-17.
- Tomaszkiewicz W. (red.). (2009): Instrukcja obsługi siłowni wiatrowej typu: JSW 750-12. Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Elektrycznych „KOMEL”, Sosnowiec.
- Wiśniewski G., Dziamski P., Michałowska-Knap K., Oniszk-Popławska A., Regulski P. (2009): Wizja rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020r. [online], Warszawa, Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej, ISBN 0239-3646.
- Granica 3000 MW w energetyce odnawialnej przełamana [online], Katowice, PTWP-ONLINE Sp. z o.o., 13-01-2012, [dostęp 29.01.2012], Dostępny w Internecie: http://energetyka.wnp.pl/granica-3000-mw-w-energetyce-odnawialnej-przelamana,160032_1_0_0.html

OPERATION ANALYSIS OF VARIOUS BLADES PROFILES OF A WIND POWER PLANT PROPELLER

Abstract. Operation of three different profiles of blades of a wind wheel was analysed in the article. There were the following profiles among the selected structures, on which analysis were carried out: a pre-built profile supplied with a power plant, Gottinger GOW 413 Airfoil and S NREL 822 profile. Power characteristics as a function of wind velocity was drawn for each profile. Each blade, after being mounted to Komel wind power plant model JSW 750-12 was examined in relation to wind speed 6.5 to 14.5 m·s⁻¹. Measures were carried out on the side of direct voltage, after converting alternating current into direct current by a rectifier. It may be concluded based on the obtained characteristics that a wind power plant in relation to the examined velocities generates the highest power for a pre-built profile. A power plant driven by a wind wheel with two suggested profiles generated less electric energy.

Key words: wind power plant, the power industry, profiles of blades

Adres do korespondencji:

Jerzy Bieniek; e-mail: jerzy.bieniek@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chelmońskiego 37/41
51-630 Wrocław