

Tadeusz SZCZYRBA
Tomasz BOCZAR

BADANIE EFEKTOWNOŚCI TURBIN WIATROWYCH DUŻEJ MOCY

STRESZCZENIE *Podstawowym celem przeprowadzonych badań, było określenie wpływu zmian gęstości powietrza atmosferycznego na wyniki obliczeń wskaźników charakteryzujących efektywność elektrowni wiatrowych. Przy czym założono, że efektywność opisuje wielkość energii elektrycznej wyprodukowanej w określonym przedziale czasowym, przy istniejących warunkach atmosferycznych dla danej lokalizacji i przy uwzględnieniu jakości wyprodukowanej energii oraz rzeczywistej sprawności podzespołów prądotwórczych instalacji wiatrowych i ich układów sterowania. W części opisowej scharakteryzowano zastosowane urządzenia pomiarowe, usytuowanie mierników i sposób ich kalibracji oraz podstawowe zalecenia dotyczące metodyki wykonywania pomiarów wartości temperatury, ciśnienia oraz wilgotności powietrza atmosferycznego. Natomiast w części wynikowej przedstawiono wykresy obrazujące wpływ zarejestrowanych parametrów atmosferycznych i obliczonej na ich podstawie gęstości powietrza na przebiegi empirycznej krzywej mocy oraz na wartości rzeczywistej sprawności.*

Słowa kluczowe: turbiny wiatrowe, elektrownie wiatrowe, sprawność, wydajność, efektywność

1. WSTĘP

Cechą charakterystyczną energii wiatrowej jest jej duża zmienność o charakterze stochastycznym, nie tylko w przestrzeni, ale również w czasie, co z kolei wpływa na wydajność elektrowni. Aby móc w sposób szczegółowy określić warunki eksploatacji elektrowni wiatrowej niezbędny jest pomiar charakterystyk mas powietrza, które należą do tzw. parametrów meteorologicznych i środowiskowych obiektu. Do parametrów o charakterze stochastycznym można

mgr inż. Tadeusz SZCZYRBA, prof. dr hab. inż. Tomasz BOCZAR
e-mail: tsrdel@gmail.com, tboczar@gmail.com

Politechnika Opolska w Opolu, Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki,
Instytut Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej, Katedra Wysokich Napięć

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 261, 2013

zaliczyć: wartość temperatury, wilgotności względnej i ciśnienia powietrza atmosferycznego na wysokości gondoli, a także chwilową wartość prędkości oraz kierunku strumienia powietrza rejestrowane w osi wirnika. Natomiast do parametrów związanych bezpośrednio z lokalizacją turbiny wiatrowej, których wartości są stałe w długim okresie czasu, można zaliczyć wysokość nad poziomem morza posadowienia gondoli i chropowatość terenu [1-3].

Podstawowym celem przeprowadzonych badań było określenie, na podstawie wyników wykonanych pomiarów parametrów meteorologicznych i środowiskowych, wpływu zmian gęstości powietrza atmosferycznego na przebieg krzywej mocy oraz rzeczywistą sprawność eksploatowanej turbiny wiatrowej.

2. METODYKA WYKONYWANIA POMIARÓW

Rejestracje wartości prędkości i kierunku wiatru, ustawienia silnika wiatrowego, wielkości mocy czynnej generowanej przez instalację wiatrową oraz parametrów meteorologicznych wykonano za pomocą zaprojektowanego i zbudowanego przez firmę Wind-service.com Sp. z o.o. systemu pomiarowego, umożliwiającego badanie efektywności turbin wiatrowych. Zastosowany system akwizycji danych dokonywał rejestracji pomiarów reprezentujących uśrednione wartości w przedziałach jednonominutowych. Taka częstotliwość rejestracji pomiarów nie powoduje gwałtownego wzrostu przesyłanych danych i jednocześnie umożliwia dokładne zbadanie wpływu warunków atmosferycznych na założone wskaźniki efektywności instalacji wiatrowych. Badania wykonywano przez siedem miesięcy począwszy od 01.07.2011 do 31.01.2012 r. Uzyskane w tym okresie wyniki pomiarów zostały podzielone na trzy zakresy: okres letni (lipiec-wrzesień), okres jesienny (październik-listopad) i zimowy (grudzień-styczeń). Pomiary wykonano dla turbiny wiatrowej Vensys 64 o mocy 1,2 MW, wyposażonej w trzyplątowy wirnik o średnicy 64 m, umieszczony na wieży o wysokości 85 m (234 m n.p.m.) [4]. Jest ona nieprzerwanie eksploatowana od 2007 roku.

Do pomiarów wybranych parametrów meteorologicznych zastosowano stację pogodową Vantage Pro2 firmy Davis, którą umieszczono w obudowie z wentylowaną osłoną i zlokalizowano za wirnikiem turbiny wiatrowej bezpośrednio na dachu jej gondoli [5]. Wyposażona jest ona w zespół zintegrowanych czujników, a transmisja rejestrowanych danych do komputera odbywa się bezprzewodowo na drodze radiowej. Zakres pomiarowy elektronicznego termometru był w przedziale od -40°C do $+65^{\circ}\text{C}$, przy dokładności równej $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Pomiar wartości ciśnienia atmosferycznego wykonywany był z dokładnością ± 1 hPa w zakresie (810-1080) hPa. Pomiary wilgotności przeprowadzono

za pomocą zewnętrznego czujnika wilgotności względnej powietrza, umożliwiającego rejestrację w zakresie od 0 do 100%, z dokładnością 3%. Zastosowany anemometr umożliwił pomiar prędkości przepływu powietrza w zakresie (0-68) m/s, z dokładnością +/-0,2 m/s. Natomiast wyniki pomiarów mocy czynnej uzyskiwanej na zaciskach generatora synchronicznego badanej turbiny wiatrowej otrzymano bezpośrednio od jej właściciela.

3. ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

W celach porównawczych na rysunkach 1 – 4 przedstawiono przebiegi krzywych mocy podawanych przez producenta turbiny Vensys 64 [6] i wyznaczone na podstawie wyników pomiarów analizowanych parametrów środowiskowych. Natomiast na rysunku 5 zilustrowano wpływ zmian gęstości powietrza na wartość rzeczywistej sprawności badanej elektrowni wiatrowej, wyznaczonej w funkcji prędkości wiatru, którą odniesiono do danych określonych przez jej producenta [6]. Przy czym wartość sprawności rzeczywistej η'_{ue} turbiny wiatrowej wyznaczono za pomocą zależności [1]:

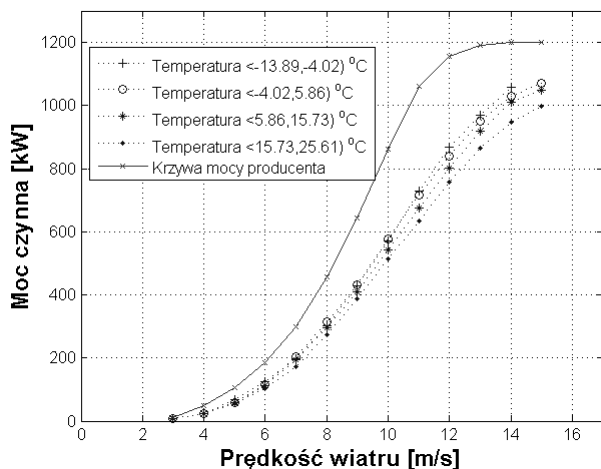
$$\eta'_{ue} = \frac{P_{ue}}{P_e}, \quad (1)$$

gdzie:

- P_{ue} – moc wygenerowana przez eksploatowaną turbinę wiatrową, obliczona na podstawie przeprowadzonych pomiarów,
- P_e – moc nowej elektrowni wiatrowej wyznaczona dla danej prędkości wiatru, określona na podstawie danych podawanych przez producenta turbiny.

Wykresy zostały wyznaczone oddzielnie dla czterech dobranych przedziałów zarejestrowanych wartości: temperatury, ciśnienia i wilgotności oraz wyznaczonej na ich podstawie wartości gęstości powietrza atmosferycznego na wysokości gondoli badanej turbiny.

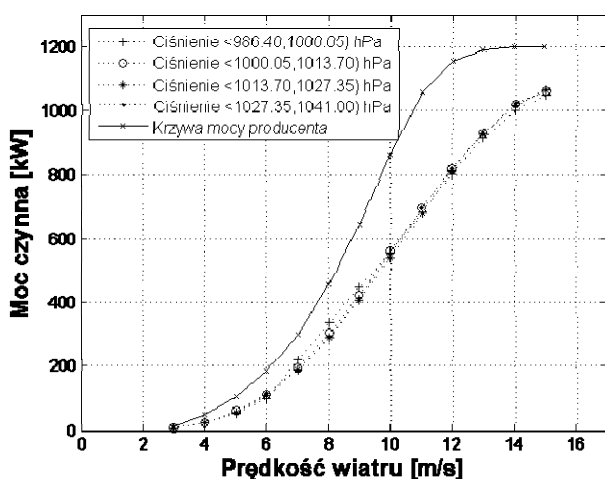
W okresie letnim przedział zarejestrowanych temperatur wynosił od 15,73⁰C do 25,61⁰C. W okresie jesiennym zanotowano tendencję spadkową temperatur, począwszy od wartości 15,73⁰C do 5,86⁰C. Natomiast w okresie zimowym przedział wartości był w zakresie od -4,02⁰C do 5,86⁰C. Należy zauważyć, że jedynie w ostatnich dniach stycznia 2012 roku występowały temperatury poniżej -5⁰C (do -13,89⁰C).



Rys. 1. Wpływ zmian wartości temperatury powietrza na przebieg empirycznej krzywej mocy turbiny wiatrowej Vensys 64

W okresie letnim wartość ciśnienia atmosferycznego na wysokości gondoli była w zakresie (1027,35-1041) hPa. Jesienią średnia wartość ciśnienia atmosferycznego była wyższa i wyniosła

1015,1 hPa. Dużo większa była także wartość odchylenia standardowego od wartości średniej pomiarów (7,5 hPa). Minimalne ciśnienie w tym okresie wynosiło 997,1 hPa, natomiast największa zarejestrowana wartość to 1031,5 hPa. Podobnie okres zimowy charakteryzował się również dużym rozrzutem wartości od wartości średniej równej 1005,91 hPa. Odchylenie standardowe dla tego okresu wynosi ok. 12 hPa. Minimalne ciśnienie w tym okresie wynosiło 986,4 hPa, natomiast największa zarejestrowana wartość to 1032,1 hPa.



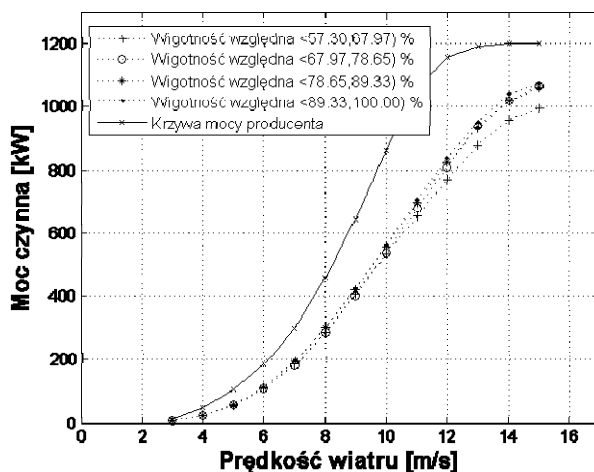
Rys. 2. Wpływ ciśnienia atmosferycznego na empiryczną krzywą mocy turbiny wiatrowej Vensys 64

W okresie letnim wilgotność powietrza była najmniejsza. W ciągu doby zarejestrowano największe wartości wilgotności w godzinach wieczornych, nocnych i porannych, natomiast najniższe w południe. Jest to zgodne

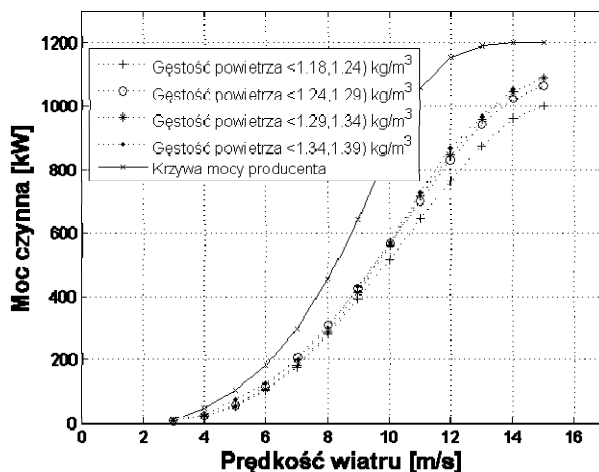
z cyrkulacją mas powietrza związaną z występowaniem nasłonecznienia w ciągu doby. Średnia wartość zarejestrowana w okresie letnim była równa 75,8%.

Okres jesienny charakteryzował się wyższą wilgotnością względną, której wartość średnia wynosiła 85,8%.

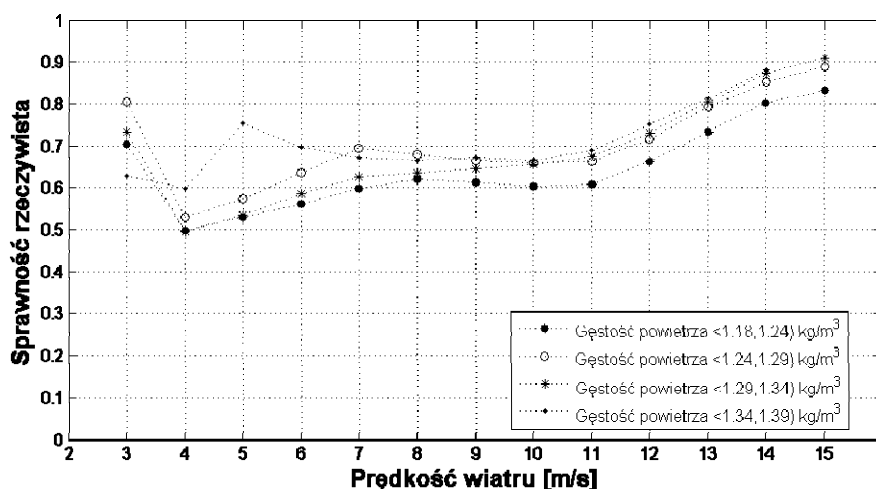
Rys. 3. Wpływ wilgotności powietrza na empiryczną krzywą mocy turbiny wiatrowej Vensys 64



Rys. 4. Wpływ gęstości powietrza na empiryczną krzywą mocy turbiny wiatrowej Vensys 64



Natomiast w okresie zimowym otrzymano jeszcze wyższą wartość wilgotności względnej równą 88,6% niż w przypadku poprzednio badanych okresów, można również zaobserwować mniejsze różnicowanie wartości niż w okresie jesiennym. Jedynie w ostatnich dniach stycznia, gdzie odnotowano najniższe temperatury, wilgotność względna uległa obniżeniu się do wartości poniżej 60%.



Rys. 5. Wpływ gęstości powietrza na rzeczywistą sprawność turbiny wiatrowej Vensys 64

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski:

- zmiana temperatury powietrza wpływa na wielkość mocy generowanej przez badaną turbinę wiatrową. Im temperatura jest niższa, tym elektrownia jest w stanie wyprodukować więcej energii przy tej samej prędkości wiatru. Dla przykładu, zamiana temperatury od wartości poniżej – $4,02^{\circ}\text{C}$ do wartości powyżej $15,73^{\circ}\text{C}$, przy prędkości wiatru (5-6) m/s, powoduje obniżenie wartości generowanej mocy średnio aż o 18%. Obniżenie wartości temperatury powietrza w otoczeniu turbiny wiatrowej, powoduje wzrost gęstości powietrza i tym samym zwiększa się gęstość mocy wiatru, co skutkuje zwiększeniem produkowanej energii.
- Na rysunkach 3 i 4 można zauważyć stosunkowo mały wpływ zmian ciśnienia atmosferycznego na średnią wartość generowanej mocy przez elektrownię wiatrową dla większych prędkości wiatru. W przypadku mniejszych prędkości wiatru, wpływ ten jest większy, nie można jednakże w sposób jednoznaczny określić znaku korelacji.
- Istnieje odwrotna niż dla temperatury otoczenia zależność wpływu zmian wilgotności powietrza na wielkość mocy generowanej przez badaną turbinę wiatrową. Im wilgotność względna jest większa, tym można zauwa-

żyć większą wartość mocy, przy tej samej prędkości przepływającego powietrza przez koło wiatrowe. Dla przykładu, gdy wilgotność powietrza wzrasta od 68% do wartości powyżej 89% to wielkość mocy generowanej przez urządzenie wzrasta o 18 % (przy prędkości wiatru 5-6 m/s).

- Zwiększenie gęstość powietrza powoduje, przy tej samej prędkości wiatru, wzrost generowanej przez turbinę wiatrową energii. Dlatego w okresie zimowym, gdy temperatura jest niska i ciśnienie jest wysokie co powoduje, że gęstość powietrza jest wysoka, występuje największa wydajność turbiny.

Wyniki przedstawione stanowią efekt pierwszego etapu badań realizowanych w ramach pracy doktorskiej mgr inż. T. Szczyrby. Obecnie prowadzone są analogiczne pomiary dla turbin wiatrowych innych mocy, różnych producentów i zróżnicowanym czasie eksploatacji.

LITERATURA

1. Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E.: Wind energy: handbook. John Wiley & Sons Ltd, New York, 2009.
2. Boczar T.: Wykorzystanie energii wiatru, Wydawnictwo PAK, Gliwice, 2010.
3. Lubośny Z.: Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2009.
4. http://www.thewindpower.net/turbine_en_273_vensys_64.php – data odsłony 30.08.2012 r.
5. <http://www.sadnet.pl/stacje-meteo-davis-vantage-pro-2.html> – data odsłony 30.08.2012 r.
6. <http://www.indigowindenergy.com/VENSYS-2006-Prasentation.pdf> – data odsłony 30.08.2012 r.

Rękopis dostarczono dnia 11.03.2013 r.

RESEARCH STUDIES ON THE EFFICIENCY OF WIND TURBINE GENERATORS

Tadeusz SZCZYRBA, Tomasz BOCZAR

ABSTRACT *The primary objective of the research studies was to determine the impact of the air density changes on the calculation results of indicators characterizing the efficiency of a wind power plant. The equipment used for measuring purposes, location of metres*

and their calibration methods were characterized in the descriptive part of the article. Additionally, basic recommendations on the methodology of measuring the ambient air values of temperature, pressure and humidity. Wherein, it was assumed that the efficiency is being described by the electric force generated in a specified period of time, under existing weather conditions for the given location, taking into account the quality of the generated energy and the real efficiency of components of the wind turbine generators and their control systems. In the part of the describing the results, graphs showing the impact of the recorded atmospheric parameters on the courses of empirical power curve and the real efficiency value were presented.

Keywords: *wind turbine, efficiency, power curve, wind power plant, generator*



Mgr inż. Tadeusz SZCZYRBA. Absolwent kierunku Elektronika i Telekomunikacja Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. Prowadzi prace badawcze w zakresie badania efektywności elektrowni wiatrowych oraz ich optymalizacji. Realizuje pracę doktorską pod opieką naukową prof. T. Boczara na Wydziale Elektrotechniki Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej.

Prof. dr hab. inż. Tomasz BOCZAR. Kierownik Katedry Wysokich Napięć na Wydziale Elektrotechniki Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Autor lub współautor około trzystu publikacji z zakresu szeroko pojętej elektrotechniki, elektroenergetyki, odnawialnych źródeł energii i metod diagnostycznych układów izolacyjnych urządzeń elektroenergetycznych, w tym ponad czterdziestu artykułów z tzw. listy filadelfijskiej, czterech monografii autorskich, dwóch monografii współautorskich, trzech książek i jednego skryptu. Ponad sto dwadzieścia cytowań w literaturze krajowej i światowej, indeks Hirscha: 6.

