

Tomasz BOCZAR, Tadeusz SZCZYRBA

POLITECHNIKA OPOLSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIK AUTOMATYKI I INFORMATYKI, INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI, Prószkowska 76, 45-758 Opole

Ocena wpływu warunków meteorologicznych na sprawność turbin wiatrowych**Prof. dr hab. inż. Tomasz BOCZAR**

Kierownik Katedry Wysokich Napięć na Wydziale Elektrotechniki Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Autor lub współautor około 300 publikacji z zakresu szeroko pojętej elektrotechniki, elektroenergetyki, odnawialnych źródeł energii i metod diagnostycznych układów izolacyjnych urządzeń elektroenergetycznych, w tym ponad 40 artykułów z tzw. listy filadelfijskiej, 4 monografie autorskich, 2 monografie współautorskich, 3 książki i 1 skryptu. Ponad 120 cytowań w literaturze krajowej i światowej, indeks Hirscha: 6.

e-mail: tboczar@gmail.com**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. Obecnie sprawuje funkcję Prezesa Zarządu firmy Wind-service.com Sp. z o.o. zajmującej się wdrażaniem nowoczesnych technologii informatycznych w procesie sterowania i nadzorowania pracą elektrowni wiatrowych.

e-mail: tsrdel@gmail.com**Streszczenie**

Podstawowym celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zmian gęstości powietrza atmosferycznego na wyniki obliczeń wskaźników charakteryzujących sprawność elektrowni wiatrowych. W części wynikowej przedstawiono wykresy obrazujące wpływ zarejestrowanych parametrów atmosferycznych na przebiegi krzywej mocy i wartości sprawności. Zależności zostały wyznaczone na podstawie rejestracji temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza atmosferycznego, które wykonano dla dwóch turbin wiatrowych Tacke Tw 600.

Słowa kluczowe: turbiny wiatrowe, elektrownie wiatrowe, warunki atmosferyczne, sprawność, wydajność, efektywność.

Evaluation of the influence of weather conditions on the efficiency of wind turbines**Abstract**

The main objective of the studies whose results are presented in this paper was to determine the impact of air density changes on the calculation results of indicators characterizing the efficiency of a wind power plant. It was assumed that the efficiency is described by the amount of electricity generated in a specified period of time, under existing weather conditions for the given location and when taking into account the generated energy quality and the real efficiency of components of the wind turbine generators and their control systems. The equipment used for measuring purposes, location of measuring instruments and their calibration methods are characterized in the descriptive part of the paper. Additionally, basic recommendations on the methodology of measuring the ambient air temperature, pressure and humidity in order to determine the wind turbine efficiency are given. In the part of the paper presenting the results there are shown the graphs illustrating the impact of the recorded atmospheric parameters on the courses of the empirical power curve and the real efficiency value. The dependencies were determined on the basis of the recorded ambient air values of temperature, pressure and humidity in summer, autumn and winter periods for the two Tacke Tw 600 wind turbines. Respectively, Figs. 2-5 show the graphs presenting the impact of changes of the recorded air temperature, atmospheric pressure, relative humidity and air density on the course of the empirical power curve and the real efficiency value (Fig. 6) of the wind turbines being studied.

Keywords: wind turbines, weather conditions, efficiency, effectiveness, productivity.

1. Wprowadzenie

Podstawową cechą energii wiatru jest jej duża zmienność o charakterze stochastycznym, przy czym dotyczy to zarówno przestrzeni, jak również czasu, co w sposób decydujący wpływa na sprawność instalacji wiatrowych. W celu określenia warunków eksploatacji planowanych inwestycji w energetyce wiatrowej niezbędne jest wykonywanie, przez okres co najmniej jednego roku, pomiarów wskaźników charakteryzujących strumień powietrza, które należą do tzw. parametrów meteorologicznych i środowiskowych. Mają one charakter stochastyczny i zalicza się do

nich: wartość temperatury, wilgotności względnej oraz ciśnienia powietrza atmosferycznego, które występują na wysokości gondoli, a także rejestrowane w osi wirnika chwilowe wartości prędkości oraz kierunku przepływających mas powietrza. Natomiast do parametrów związanych bezpośrednio z lokalizacją turbiny wiatrowej, których wartości pozostają stałe w długim okresie czasu, można zaliczyć wysokość umieszczenia gondoli nad poziomem morza, a także chropowatość terenu w otoczeniu przyszłej lokalizacji [1-5].

Celem przeprowadzonych badań, których wyniki są prezentowane w niniejszym artykule, było określenie wpływu zmian zarejestrowanych parametrów atmosferycznych na przebiegi krzywej mocy i rzeczywistą sprawność będących w eksploatacji turbin wiatrowych. W szczególności dotyczy to wartości trzech mierzalnych parametrów tj.: temperatury, wilgotności względnej i ciśnienia oraz wyznaczonej na ich podstawie gęstości powietrza, którą nie można zmierzyć bezpośrednio.

2. Charakterystyka badanych turbin i zastosowanego układu pomiarowego

Badania zmierzające do oceny wpływu parametrów atmosferycznych na sprawność elektrowni wiatrowych przeprowadzono dla dwóch tego samego typu turbin wiatrowych amerykańskiej produkcji Tacke Tw 600, każda o mocy 600 kW. Są one wyposażone w trzyplatowy wirnik o średnicy 43 m, umieszczony na wieży o wysokości 52 m [6, 7, 8]. Badane turbiny są nieprzerwalnie eksploatowane od ponad 5 lat. Zostały posadowione na wysokości 286 m n.p.m, przy odległości między nimi wynoszącej 350 m. Rejestracje wartości prędkości i kierunku wiatru, kąta ustawienia piasty silnika wiatrowego, wielkości oddawanej do sieci elektroenergetycznej mocy czynnej oraz parametrów meteorologicznych wykonano za pomocą zaprojektowanego i wykonanego przez firmę Wind-service.com Sp. z o.o. systemu pomiarowego. Jest on wykorzystywany w badaniach efektywności turbin wiatrowych. Zastosowany system akwizycji danych umożliwił rejestrację pomiarów reprezentujących uśrednione wartości w przedziałach jednoczynnowych. Taka częstotliwość rejestracji pomiarów nie powoduje gwałtownego wzrostu przesyłanych danych i jednocześnie umożliwia dokładne zbadanie wpływu warunków atmosferycznych na założone wskaźniki efektywności elektrowni wiatrowych. Badania przeprowadzono w okresie 7 miesięcy od 01.07.2011 do 31.01.2012. Uzyskane w tym czasie wyniki pomiarów zostały podzielone na trzy równe zakresy: okres letni (lipiec-wrzesień), okres jesienny (październik-listopad) i zimy (grudzień-styczeń).

Do pomiarów dobranych 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

[9]. Wyposażona jest ona w zespół zintegrowanych czujników, a transmisja rejestrowanych danych do komputera odbywa się bezprzewodowo za pomocą komunikacji radiowej. Zakres pomiarowy elektronicznego termometru mieścił się w przedziale od -40°C do $+65^{\circ}\text{C}$, przy dokładności równej $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Pomiar wartości ciśnienia atmosferycznego przeprowadzono z dokładnością ± 1 hPa w zakresie (810-1080) hPa. Pomiar wilgotności względnej powietrza wykonano za pomocą zewnętrznego czujnika, przy dokładności 3% w przedziale od 0 do 100%. Wykorzystany anemometr umożliwił pomiary prędkości przepływu strumienia powietrza w zakresie (0-68) m/s, przy dokładności $\pm 0,2$ m/s. Natomiast wyniki pomiarów mocy czynnej otrzymanej na zaciskach generatora synchronicznego badanych turbin wiatrowych uzyskano od ich właściciela.



Rys. 1. Badane turbiny wiatrowe Tacke Tw 600
Fig. 1. Tested wind turbines Tacke Tw 600

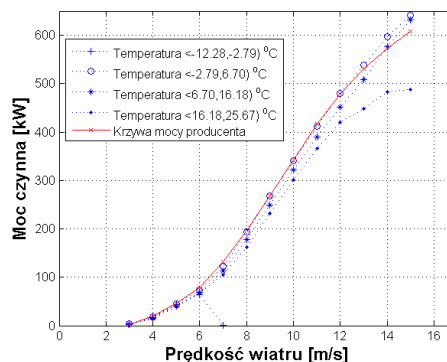
3. Analiza uzyskanych wyników

Na rys. 2-5 przedstawiono przebiegi krzywych mocy obliczone na podstawie wyników pomiarów analizowanych parametrów atmosferycznych i zestawiono w celach porównawczych z charakterystykami podawanymi w specyfikacji technicznej przez producenta turbin Tacke Tw 600 [6-8]. Natomiast na rys. 6 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 [6-8]. W ramach artykułu przedstawiono tylko wyniki uzyskane dla jednej z badanych turbin, ze względu na małe, z punktu widzenia statystycznego, różnice w uzyskanych zależnościach. Największa wartość odchylenia standardowego dla wszystkich analizowanych parametrów nie przekraczała wartości 2,4%.

Przedstawione na wykresach charakterystyki zostały wyznaczone oddzielnie dla czterech dobranych przedziałów zarejestrowanych wartości: temperatury, ciśnienia i wilgotności oraz obliczonej na ich podstawie wartości gęstości powietrza atmosferycznego na wysokości gondoli badanych turbin.

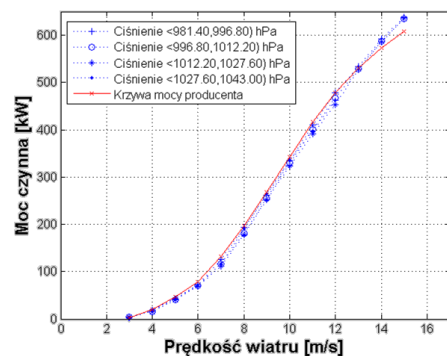
W okresie letnim przedział zarejestrowanych wartości temperatury mieścił się w granicach od $14,1^{\circ}\text{C}$ do $25,7^{\circ}\text{C}$, a wartość średnia była równa $17,2^{\circ}\text{C}$. W okresie jesiennym zanotowano tendencję spadkową temperatur, począwszy od wartości ok. $18,2^{\circ}\text{C}$ do ok. -2°C . Średnia temperatura w tym okresie wynosiła $6,3^{\circ}\text{C}$. Natomiast w okresie zimowym wartość średnia temperatury była równa $1,3^{\circ}\text{C}$, a przedział wartości był w zakresie od $-12,3^{\circ}\text{C}$ do $6,8^{\circ}\text{C}$. Należy zauważyć, że jedynie w drugiej połowie stycznia 2012 roku występowały temperatury poniżej -5°C . Dla badanych

turbin wiatrowych nie zarejestrowano odpowiednio reprezentatywnej grupy pomiarów, dla których wartości temperatury zawierały się w zakresie $<-12,28, -2,79)^{\circ}\text{C}$ (rys. 2).



Rys. 2. Wpływ zmian wartości temperatury powietrza na przebieg empirycznej krzywej mocy turbiny wiatrowej Tacke Tw 600 nr 1
Fig. 2. Impact of changes of the air temperature value on the course of the empirical power curve of wind turbine Tacke Tw 600 no 1

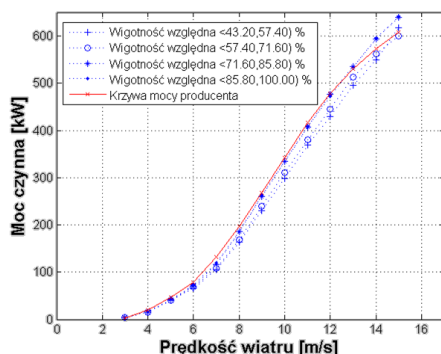
W okresie letnim wartość ciśnienia atmosferycznego zarejestrowana na wysokości gondoli mieściła się w przedziale (987,3-1022,3) hPa, a jego wartość średnia była równa 1004,5 hPa. Jesienią średnia wartość ciśnienia atmosferycznego była wyższa i wyniosła 1013,5 hPa. Dużo większa była także wartość odchylenia standardowego od wartości średniej pomiarów (8,1 hPa). Minimalne ciśnienie w tym okresie wynosiło 994,5 hPa, natomiast największa zarejestrowana wartość była równa 1030,3 hPa. Podobnie okres zimowy charakteryzował się dużym rozrzutem wartości od wartości średniej równej 1003,2 hPa. Odchylenie standardowe dla tego okresu wynosi ok. 11 hPa. Minimalne ciśnienie w tym okresie wynosiło 972,5 hPa, natomiast największa zarejestrowana wartość była równa 1033,3 hPa.



Rys. 3. Wpływ zmian wartości ciśnienia atmosferycznego na empiryczną krzywą mocy turbiny wiatrowej Tacke Tw 600 nr 1
Fig. 3. Impact of changes of the atmospheric pressure value on the empirical power curve of wind turbine Tacke Tw 600 no 1

W okresie letnim zarejestrowano najmniejszą wilgotność powietrza. W ciągu doby występowały 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 wilgotności, którą zarejestrowano w okresie letnim, była równa 70,1%. W okresie jesieni występowały wyższe wartości wilgotności względnej, a jej wartość średnia była równa 80,6%. Natomiast w okresie zimowym zarejestrowano jeszcze wyższą, niż w przypadku poprzednich okresów, średnią wartość wilgotności względnej równą 85,7%. Można również zaobserwować mniejsze zróżnicowanie zmierzonych wartości niż w okresie jesiennym. Jedynie w ostatnich dniach stycznia, gdzie występowały niższe temperatury, wilgotność względna zmniejszyła się do wartości poniżej 56%.

Uzyskane dla danej lokalizacji wyniki pomiarów wilgotności mogą być dodatkowo wykorzystane do oceny stopnia narażenia instalacji wiatrowych na szkodliwe oddziaływanie szadzi. W przypadku, gdy wilgotne powietrze zawierające drobne krople przechłodzonej wody (mgła) napływa na obszar o często jeszcze niższej temperaturze, na eksponowanych powierzchniach mogą powstawać lodowe igielki w kierunku, z którego napływają zimne i wilgotne masy powietrza. Ulegają one zlepianiu przez zamarzające krople wody, w wyniku czego tworzą się charakterystyczne szczytki. W szczególności dotyczy to krawędzi i miejsc ostro zakończonych przedmiotów znajdujących się po stronie zewnętrznej. W przypadku turbin wiatrowych ilość powstającego na śmigłach osadu zwiększa ich ciężar oraz zmienia warunki aerodynamiczne co w konsekwencji powoduje znaczne obniżenie sprawności i w ich konsekwencji wydajności. Dlatego prowadząc pomiary prędkości wiatru na obszarach planowanych inwestycji wiatrowych można wykonywać rejestracje parametrów meteorologicznych, na podstawie których można określić stopień narażenia danej lokalizacji na częstotliwość powstawania szadzi.



Rys. 4. Wpływ zmian wartości wilgotności względnej na empiryczną krzywą mocy turbiny wiatrowej Tacke Tw 600 nr 1

Fig. 4. Impact of changes of the relative humidity value on the empirical power curve of wind turbine Tacke Tw 600 no 1

W wykonanych analizach uwzględniono gęstość powietrza wilgotnego (ρ) która, zgodnie z prawem Daltona, jest równa sumie gęstości powietrza suchego (ρ_s) i gęstości pary wodnej (ρ_p). Obie wielkości uzyskuje się korzystając z równania stanu Clapeyrona [10, 11]:

$$\frac{p}{\rho} = RT, \quad (1)$$

gdzie: p - ciśnienie atmosferyczne powietrza [Pa], ρ - gęstość powietrza wilgotnego [kg/m^3], R - indywidualna stała gazowa powietrza wilgotnego [$\text{J}/(\text{kg K})$], T - temperatura [K].

Przy czym gęstość powietrza suchego wyznaczona może być na podstawie następującej zależności [10, 11]:

$$\rho_s = \frac{p-e}{R_s T} = \frac{p-e}{287,05 T}, \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right], \quad (2)$$

dla pary wodnej natomiast z równania [10,11]:

$$\rho_p = \frac{p-e}{R_v T} = \frac{p-e}{461,53 T}, \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]. \quad (3)$$

po zsumowaniu zależności (2) i (3), gęstość powietrza wilgotnego jest równa [10, 11]:

$$\rho = \frac{0,003484(p-0,378 e)}{T}, \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]. \quad (4)$$

Ponieważ na podstawie pomiarów uzyskuje się wartość wilgotności względnej, należy uwzględnić maksymalną prężność pary wodnej, którą można wyznaczyć na podstawie zależności [10, 11]:

$$E_{hpa} = 6,1078 \cdot 10^{\{(T-273,15) \cdot A\}/\{(T-273,15) + B\}}, \quad (5)$$

gdzie: T - temperatura powietrza wyrażoną w K, A i B - parametry o wartościach równych odpowiednio:

$$A = 7,5; B = 237,3, \text{ dla } T > 273,15 \text{ [K]},$$

$$A = 9,5; B = 265,5, \text{ dla pozostałych temperatur.}$$

W konsekwencji gęstość wilgotnego powietrza, uwzględniając maksymalną prężność pary wodnej, określana jest z następującej zależności [10, 11]:

$$\rho = \frac{0,003484(p-0,378 \cdot 10^{-2} E_{hpa})}{T}, \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right], \quad (6)$$

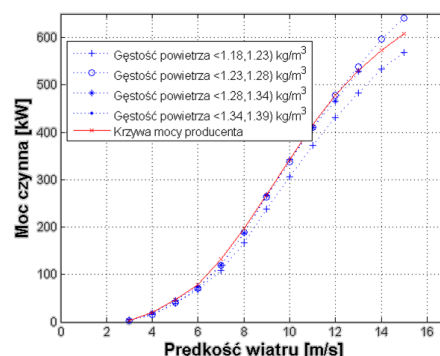
gdzie: f - wartość zmierzonej wilgotności względnej [%].

Na podstawie równania (6) wyznaczono rzeczywistą wartość gęstości powietrza dla warunków pracy elektrowni wiatrowej. W konsekwencji umożliwiło to określenie poprawności zastosowanych przez producenta założeń związanych z wyznaczaniem krzywych mocy i sprawności badanych turbin. Natomiast w tablicy 1 przedstawiono wartości wybranych wskaźników statystyk opisowych charakteryzujących rzeczywistą gęstość powietrza wyznaczoną na podstawie wyników pomiarów wartości: temperatury, ciśnienia i wilgotności względnej. Obliczone wartości w celach porównawczych zestawiono oddzielnie dla trzech rozpatrywanych okresów, w których realizowano pomiary.

Tab. 1. Wskaźniki statystyk opisowych charakteryzujące obliczoną gęstość powietrza w otoczeniu elektrowni wiatrowej Tacke Tw 600

Tab. 1. Indicators of descriptive statistics characterizing the air density for wind turbine Tacke Tw 600

Wskaźnik statystyk opisowych	Okres letni [kg/m^3]	Okres jesienny [kg/m^3]	Okres zimowy [kg/m^3]
Średnia arytmetyczna	1,216	1,276	1,286
Wartość maksymalna	1,259	1,334	1,390
Wartość minimalna	1,176	1,209	1,235
Odchylenie standardowe	0,017	0,029	0,035
Mediana	1,214	1,273	1,278
Moda	1,176	1,209	1,235



Rys. 5. Wpływ zmian wartości gęstości powietrza na empiryczną krzywą mocy turbiny wiatrowej Tacke Tw 600 nr 1

Fig. 5. Impact of changes of the air density value on the empirical power curve of wind turbine Tacke Tw 600 no 1

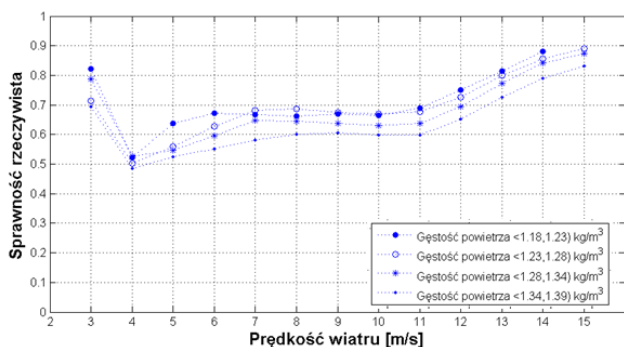
Należy podkreślić, że standardowo dla prezentowanych w opisach technicznych przez producentów turbin wiatrowych krzywych mocy, obrazujących wzajemną zależność wielkości wytwa-

rzanej mocy od prędkości wiatru, nie podawane są wartości parametrów meteorologicznych, dla których zostały one wyznaczone. W większości przypadków wykreślone zależności dotyczą jedynie uśrednionej wartości gęstości powietrza przyjmowanej na poziomie 1,225 kg/m³. Natomiast z przeprowadzonych badań i analiz wynika, że zmiana wartości parametrów meteorologicznych związanych z gęstością powietrza wpływa na wielkość produkowanej przez instalacje wiatrowe energii elektrycznej i na ich rzeczywistą sprawność.

Wartość rzeczywistą sprawności η'_{ue} dla badanych turbin wiatrowych wyznaczono za pomocą zależności [1-5]:

$$\eta'_{ue} = \frac{P_{ue}}{P_e} \quad (7)$$

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.



Rys. 6. Wpływ zmian wartości gęstości powietrza na rzeczywistą sprawność turbiny wiatrowej Tacke Tw 600 nr 1

Fig. 6. Impact of changes of the air density value on the real efficiency of wind turbine Tacke Tw 600 no 1

4. Wnioski

Na podstawie analizy uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski:

- zmiana temperatury powietrza wpływa na wartość generowanej mocy przez obie badane turbiny wiatrowe (rys. 2). Im wartość temperatury jest niższa, tym elektrownie mogą, dla danej prędkości wiatru, wyprodukować więcej energii elektrycznej. Przy czym zależność ta jest bardziej znacząca dla prędkości wiatru powyżej 10 m/s. Dla przykładu, wzrost temperatury od wartości -2,8°C do wartości powyżej 16,2°C, przy prędkości wiatru (7-8) m/s, powoduje obniżenie średnio generowanej mocy aż o (20-21)%. Obniżenie temperatury powietrza w otoczeniu turbin wiatrowych powoduje wzrost gęstości powietrza i tym samym zwiększa się gęstość mocy przemieszczających się mas powietrza, co skutkuje zwiększeniem wielkości produkowanej energii.
- Na rys. 3 można zauważyć stosunkowo mały wpływ zmian ciśnienia atmosferycznego na średnią wartość generowanej mocy przez badane turbiny wiatrowe. Wyznaczone charakterystyki, niezależnie od prędkości wiatru, praktycznie się pokrywają z krzywą mocy podawaną w specyfikacji technicznej przez ich producenta.
- Istnieje odwrotna niż dla temperatury otoczenia zależność wpływu zmian wilgotności powietrza na wielkość generowanej

mocy przez badaną turbinę wiatrową. Im wilgotność względna jest większa, tym można zauważyć większą wartość mocy, przy tej samej prędkości przepływającego powietrza przez koło wiatrowe (rys. 4). Przy czym wpływ ten jest mniejszy niż przy zmianach temperatury otoczenia.

- Zwiększenie gęstości powietrza powoduje, przy tej samej prędkości wiatru, wzrost generowanej przez turbinę wiatrową energii (rys. 5). Dlatego w okresie zimowym, gdy temperatura jest niska i ciśnienie jest wysokie, co z kolei powoduje, że gęstość powietrza jest wysoka, występuje największa wydajność turbiny.

Wydaje się koniecznym wprowadzanie korekt w przedstawianych przez producentów zależnościach, które uwzględniałyby wpływ zmian gęstości powietrza. Tego typu informacja wydaje się istotna dla potencjalnych inwestorów ponieważ parametr ten ma bezpośredni wpływ na wielkość mocy strumienia powietrza przepływającego przez wirnik turbiny wiatrowej według zależności:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A_s V^3, \quad (8)$$

gdzie: P_w - moc strumienia powietrza przepływającego przez powierzchnię określoną przez skrzydła silnika wiatrowego, ρ - objętościowa gęstość powietrza, A_s - pole powierzchni, określonej przez skrzydła silnika wiatrowego, V^3 - prędkość wiatru przepływającego przez silnik wiatrowy i tym samym na sprawność turbin wiatrowych [1-5, 12].

Przedstawione w artykule wyniki stanowią efekt pierwszego etapu badań realizowanych w ramach rozprawy doktorskiej mgr inż. T. Szczyrby. Aktualnie wykonywane są w analogiczny jak opisany wyżej sposób pomiary dla turbin wiatrowych innych mocy, różnych producentów i o zróżnicowanym czasie eksploatacji.

5. 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] Hau E.: Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. Springer, 2012.
- [5] Gasch R., Twele J.: Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation. Solarpraxis AG, 2002.
- [6] <http://www.wind-strom.de/technik.html>, data odsłony: 19-09-2012.
- [7] <http://www.mywindpowersystem.com/marketplace/wp-content/uploads/2009/09/Tacke-TW-600-Wind-Turbine.pdf>, data odsłony: 19.09.2012.
- [8] http://www.thewindpower.net/turbine_technical_en_354_tacke_tw600.php - data odsłony 19.09.2012
- [9] <http://www.sadnet.pl/stacje-meteo-davis-vantage-pro-2.html> - data odsłony 30.08.2012.
- [10] Wagenaar J. W., Eecen P. J.: Dependence of Power Performance on Atmospheric Conditions and Possible Corrections, EWEA, Brussels, Belgium, 2011.
- [11] Stamper E., Koral R. L.: Handbook of Air Conditioning, Heating, and Ventilating. Industrial Press, Inc.; 3 edition, 1979.
- [12] Soliński I., Ostrowski J., Soliński B.: Energia wiatru. Komputerowy system monitoring. Wydawnictwa AGH, Kraków, 2010.

otrzymano / received: 21.09.2012

przyjęto do druku / accepted: 01.11.2012

artykuł recenzowany / revised paper