

doi:10.15199/48.2017.04.14

Analiza wpływu prędkości wiatru na generację mocy na przykładzie farmy wiatrowej

Streszczenie. Elektrownie wiatrowe jako jedne ze źródeł energii odnawialnej rozwijają się dynamicznie, a ich specyficzny charakter pracy uzależniony jest parametrami i zmiennością wiatru. W artykule zaprezentowano analizę wpływu prędkości wiatru na generację mocy na przykładzie farmy wiatrowej. Rozwój energetyki opartej na odnawialnych źródłach energii sprawia, że analizy zmienności produkcji energii elektrycznej przez farmy wiatrowe mają znaczenie w aspekcie sprzedaży i wprowadzania energii elektrycznej do sieci przesyłowej.

Abstract. Wind power as one of the renewable energy sources are developing rapidly, and the specific nature of the work depends on the performance and volatility of the wind. The article presents an analysis of the impact of wind speed for power generation on the example of a wind farm. The development of energy based on renewable energy sources makes the analysis of the variability of the production of electric energy by wind farms are important in terms of sales and the introduction of electric energy to the grid. (**Analysis of the impact of wind speed for power generation on the example of wind farm**).

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, elektrownia wiatrowa, energetyka wiatrowa, rozkład Weibulla.

Keywords: renewable energy sources, wind power plant, wind energy, Weibull distribution.

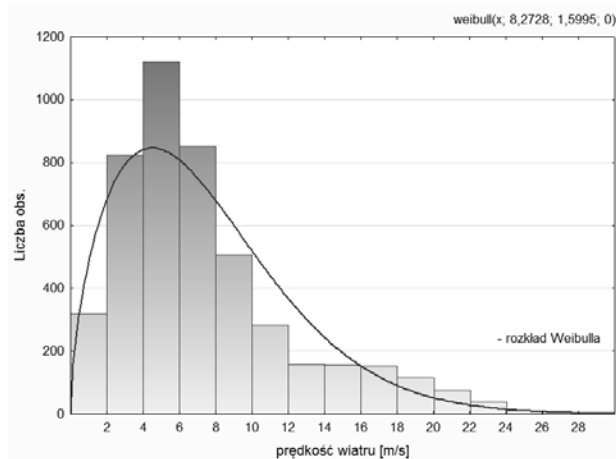
Wstęp

W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie wykorzystania odnawialnych źródeł energii do produkcji energii elektrycznej. Energetyka odnawialna odgrywa coraz większą rolę w ogólnym bilansie gospodarki elektroenergetycznej, na kilku etapach, począwszy od planowania, budowy, eksploatacji, produkcji energii elektrycznej, dystrybucji i zużycia energii [1,2,3,4]. Zobowiązania jakie przyjęła Polska w ramach dokumentu „Polityka energetyczna Polski do roku 2030” wiążą się także z wykorzystaniem zasobów OZE w finalnym bilansie produkcji energii elektrycznej [5,6,7]. Głównie obserwuje się znaczny wzrost wykorzystania energii wiatru i budowę elektrowni wiatrowych lub farm wiatrowych. Zanim inwestor zdecyduje się na budowę elektrowni wiatrowej na danym terenie musi spełnić wiele wymogów prawnych i technicznych. Przede wszystkim lokalizacja inwestycji powinna być na terenie o tzw. „dobrych warunkach wiatrowych”, nie zakłócając innych wymagań prawnych i środowiskowych. Wiatr jako źródło energii jest źródłem niestabilnym. Jego występowanie zależy od położenia geograficznego terenu, pory roku, pory dnia, wysokości nad powierzchnią ziemi, ukształtowania terenu, itp. Energia wiatru jest energią pochodzenia słonecznego. Na obszarze Polski najlepsze warunki wiatrowe występują w miesiącach jesienno-zimowych. Zmienność dobową prędkości wiatru wynika z codziennego cyklu pogodowego, polegającego na przemieszczaniu się mas powietrza spowodowanego procesem nagrzewania się w ciągu dnia i ochładzania w ciągu nocy. Produkcja energii elektrycznej w elektrowniach wiatrowych jest uwarunkowana nie tylko elementami i konstrukcją samej turbiny wiatrowej (tj. krzywej mocy), ale przede wszystkim zależy od prędkości i kierunku wiatru [8,9]. Przyjmuje się, że znaczenie użytkowe ma wiatr o prędkości 3-25 m/s (maksymalnie 30 m/s). Jednak względy techniczne ograniczają pracę silników wiatrowych od wartości prędkości wiatru.

Analiza wybranych parametrów dla farmy wiatrowej

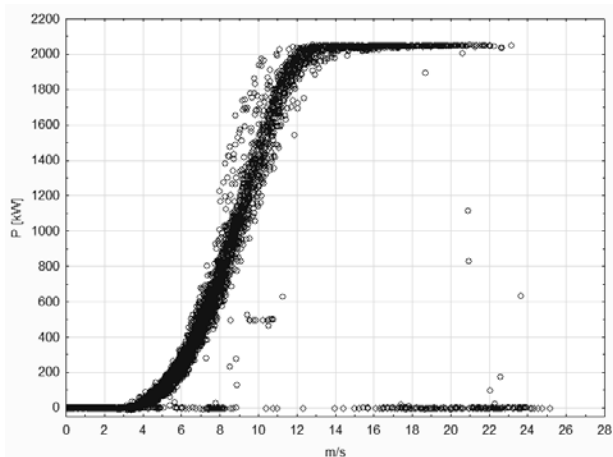
Często do wstępnej oceny potencjału energetycznego na danym terenie stosuje się średnioroczną prędkość wiatru w danej lokalizacji mierzoną na określonej wysokości. Prędkość wiatru mierzona na odpowiedniej wysokości ma charakter przypadkowy, dlatego aby otrzymać szczegółowe informacje na temat kształtowania się prędkości wiatru w

czasie korzysta się z metod probabilistycznych i odpowiedniego rozkładu [10,11]. Nie zawsze pomiary długoterminowe z różnych względów są możliwe lub dostępne.

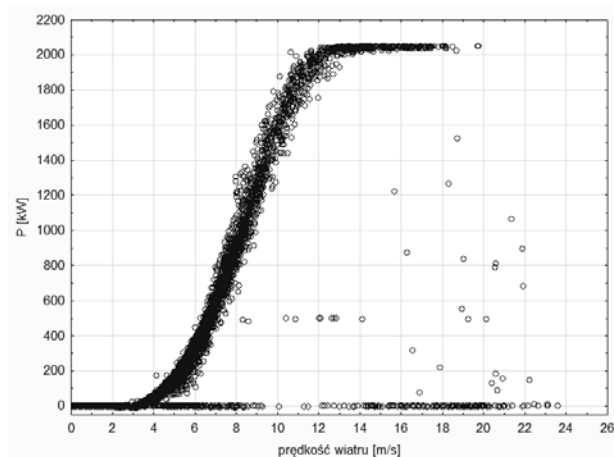


Rys.1. Histogram prędkości wiatru wraz z rozkładem Weibulla

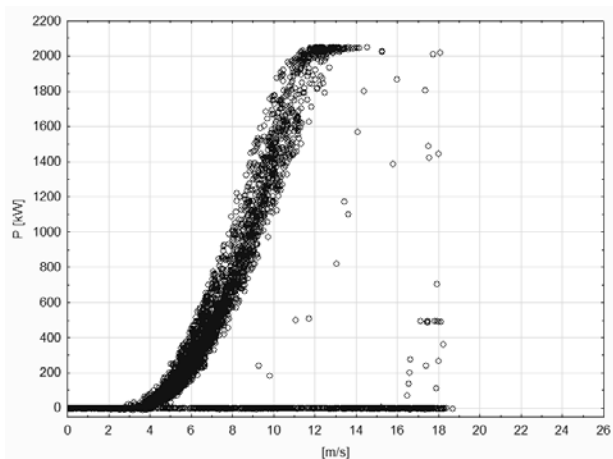
W celu identyfikacji rozkładu prędkości wiatru często dopasowuje się rozkład empiryczny do rozkładu teoretycznego poprzez porównanie częstości (liczebności) zaobserwowanych w danych rzeczywistych do częstości oczekiwanych rozkładu teoretycznego. Do modelowania prędkości wiatru na danym terenie i na określonej wysokości najczęściej stosuje się rozkład Weibulla [9]. Rozkład Weibulla w postaci graficznej przedstawia zależność spodziewanej liczby godzin wiania wiatru z określoną prędkością na wybranym terenie. Występowanie wiatru ma charakter stochastyczny, a prędkość wiatru zależy głównie od wysokości nad powierzchnią ziemi i od ukształtowania terenu. Dane zaprezentowane w niniejszym artykule ograniczone do danych jedynie dla jednego miesiąca w okresie zimowym (styczeń) dla farmy wiatrowej zlokalizowanej na terenie Podkarpacia. Na rysunku 1 przedstawiono histogram prędkości wiatru wraz z dopasowanym rozkładem Weibulla. Na rysunkach 2-6 zaprezentowano wykresy rozrzutu dla generowanej mocy i prędkości wiatru dla farmy wiatrowej.



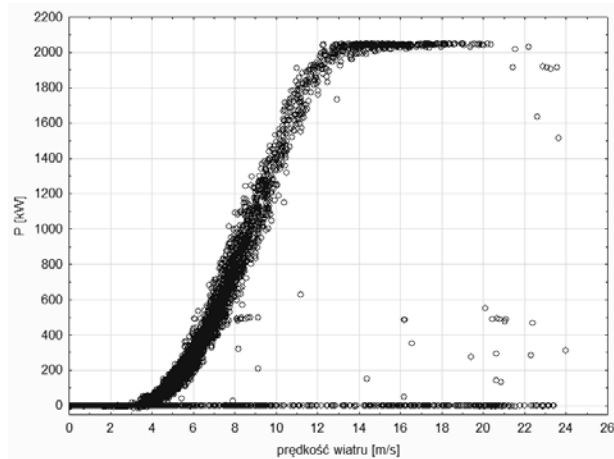
Rys.2. Wykres rozrzutu między generowaną mocą a prędkością wiatru dla turbiny wiatrowej I



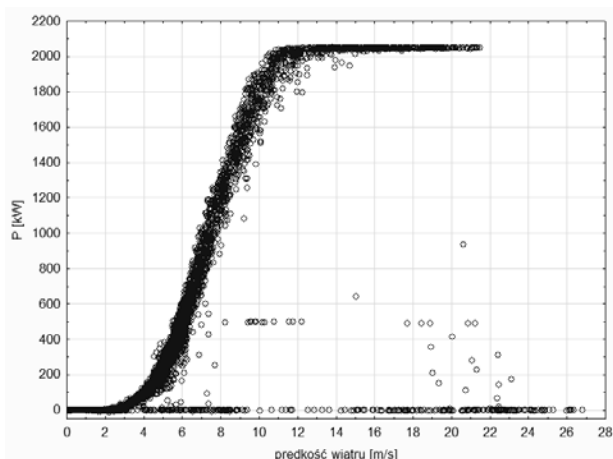
Rys.5. Wykres rozrzutu między generowaną mocą a prędkością wiatru dla turbiny wiatrowej IV



Rys.3. Wykres rozrzutu między generowaną mocą a prędkością wiatru dla turbiny wiatrowej II

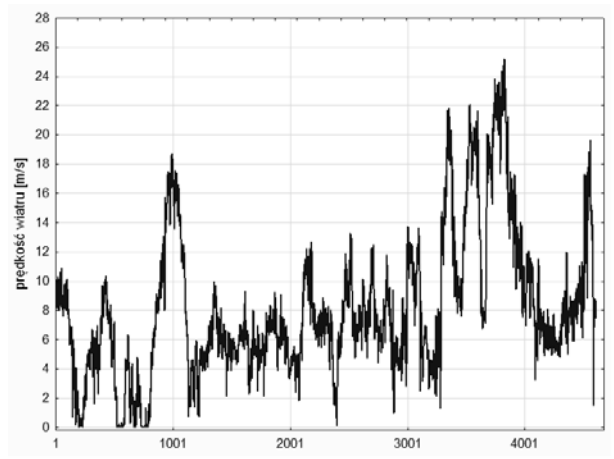


Rys.6. Wykres rozrzutu między generowaną mocą a prędkością wiatru dla turbiny wiatrowej V



Rys.4. Wykres rozrzutu między generowaną mocą a prędkością wiatru dla turbiny wiatrowej III

Można zauważyć, iż różne są poziomy generowanej mocy i różne są prędkości wiatru, pomimo lokalizacji turbin w bliskim sąsiedztwie.

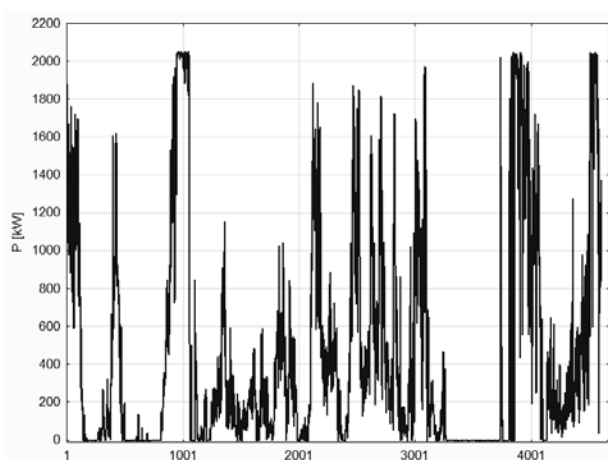


Rys.7. Przebieg prędkości wiatru dla turbiny wiatrowej I w ciągu jednego miesiąca (styczeń)

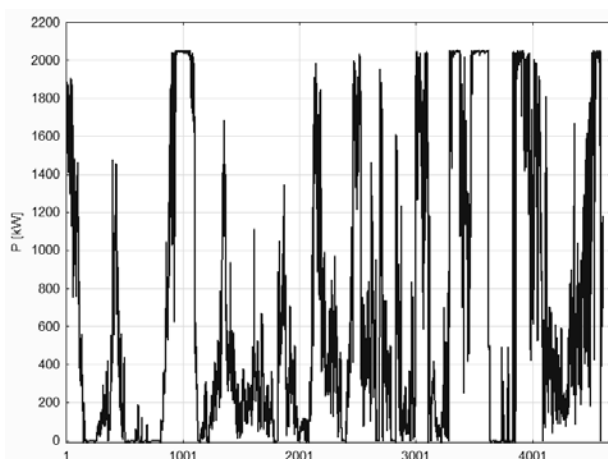
Dla turbiny II maksymalna zmierzona prędkość wiatru wynosiła 18,71 m/s, dla pozostałych maksymalna prędkość wiatru kształtowała się w granicach 23,59 - 26,83 m/s.



Rys.8. Przebieg temperatury na zewnątrz turbiny wiatrowej I w ciągu jednego miesiąca (styczeń)



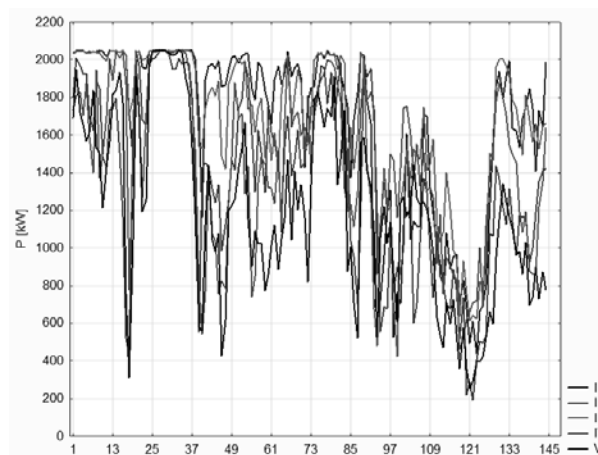
Rys.9. Przebieg generowanej mocy w turbinie wiatrowej II (styczeń)



Rys.10. Przebieg generowanej mocy w turbinie wiatrowej III (styczeń)

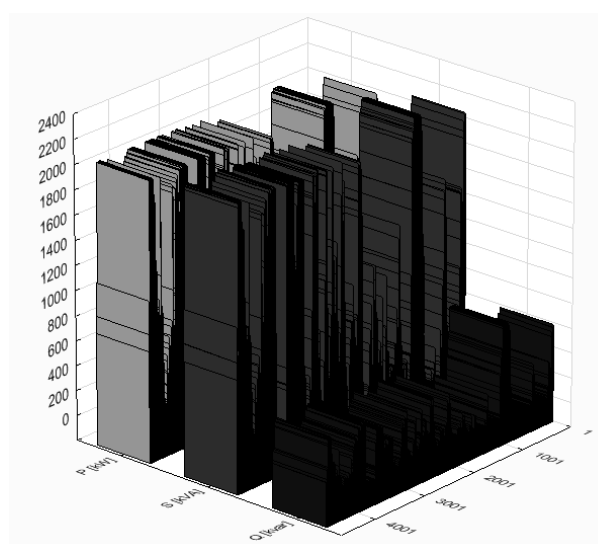
Na rysunku 7 przedstawiono przebieg prędkości wiatru dla turbiny wiatrowej I w ciągu analizowanego miesiąca (w ciągu 31 dni z pomiarami co 10 minut, co daje 4464 pomiary), a na rysunku 8 przebieg temperatury na zewnątrz turbiny I. Dla porównania generowanej mocy czynnej na rysunku 9 i na rysunku 10 zaprezentowano przebiegi dla

dwóch turbin wiatrowych w ciągu jednego miesiąca (styczeń). Widoczne na wykresach różne wartości mocy czynnej są związane ze specyficznym charakterem pracy turbiny wiatrowej, uwarunkowanej prędkością wiatru. Brak generacji oznacza planowany przestój lub zerową prędkość wiatru. Na rysunku 11 dla porównania przedstawiono przebieg generowanej mocy czynnej we wszystkich pięciu turbinach wiatrowych w ciągu jednej doby (dla 5 stycznia).



Rys.11. Przebieg generowanej mocy w turbinach wiatrowych I-V w ciągu 24 godzin doby

Pomimo lokalizacji turbin wiatrowych w sąsiedztwie widać różnice w poziomie generowanej mocy w tym samym czasie w każdej z turbin wiatrowych, a tym samym różnej ilości produkowanej i wprowadzanej energii elektrycznej do sieci dystrybucyjnej.



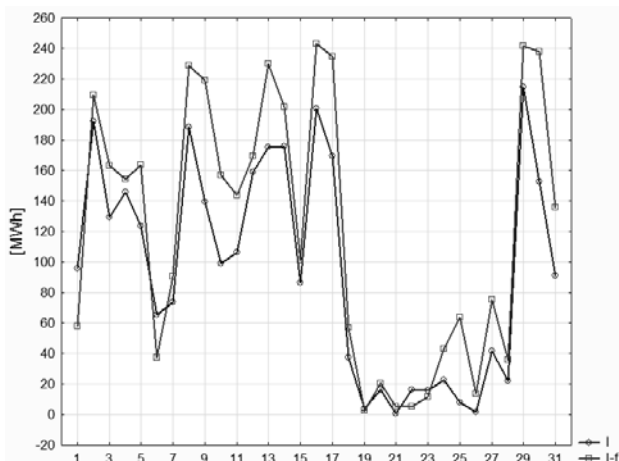
Rys.12. Wykres generowanej mocy czynnej P, mocy pozornej S i mocy bierniej Q w ciągu jednego miesiąca (styczeń) w turbinie wiatrowej I

Właściwa regulacja i odpowiednie sterowanie kątem ustawienia łopaty wirnika i kierunku ustawienia gondoli w zależności od prędkości i kierunku wiatru również ma wpływ na poziom mocy wyjściowej, a przede wszystkim ma zapewnić wymagania jakościowe energii elektrycznej oddawanej do sieci elektroenergetycznej [1,13]. W

publikacji [4] zaprezentowano podstawowe metody wykorzystywane do regulacji mocy.

Na rysunku 12 przedstawiono wykres generowanej mocy czynnej P , mocy pozornej S i mocy bierniej Q w ciągu jednego miesiąca (styczeń) w turbinie wiatrowej I.

Zmienność w czasie produkowanej energii elektrycznej jest istotna także z powodu obliczania prognoz dotyczących produkcji energii elektrycznej. Na rysunku 13 przedstawiono przebiegi dla dobowej produkcji energii elektrycznej (I) i dobowej prognozowanej produkcji energii elektrycznej ($I-f$) dla analizowanego miesiąca (stycznia) [14,15]. Wartości prognozowanej energii elektrycznej były wyższe od rzeczywistości wyprodukowanej energii elektrycznej dla wszystkich dni rozpatrywanego miesiąca.



Rys.13. Przebiegi dla dobowej produkcji energii elektrycznej (I) i dobowej prognozowanej produkcji energii elektrycznej ($I-f$) dla analizowanego miesiąca

Podsumowanie

Ciągły wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną niesie za sobą konieczność powstawania nowych źródeł energii. Dużego znaczenia nabierają proekologiczne i niskoemisyjne odnawialne źródła energii. Czynnikiem ograniczającym wzrost ich instalacji może być infrastruktura lokalna, rynek finansowy, a przede wszystkim regulacje prawne. Specyfika produkcji energii elektrycznej w farmie wiatrowej zależy głównie od prędkości wiatru na terenie lokalizacji farmy. Zmienność parametrów wiatru w przestrzeni stanowią przede wszystkim różnice występujące pomiędzy warunkami wiatrowymi w różnych punktach geograficznych, a także zależą od szorstkości terenu. Szorstkość terenu zależy od jego topografii. W artykule zaprezentowano analizę danych dla farmy wiatrowej zlokalizowanej na terenie Podkarpacia. Przedstawiono wybrane wyniki generowanej mocy, prędkości wiatru i temperatury. Wartość generowanej mocy w elektrowniach wiatrowych zależy nie tylko od typu turbiny, ale głównie od prędkości wiatru. Do modelowania rozkładu prędkości wiatru często korzysta się z metod probabilistycznych, głównie z rozkładu Weibulla. Znaczenie ma także

zmienność produkcji energii elektrycznej, ze względu na prognozowanie produkcji i sprzedaży energii elektrycznej. Przeszacowanie i niedoszacowanie produkcji energii elektrycznej w zależności od umowy z operatorem sieci elektroenergetycznej może skutkować karami finansowymi. Zaprezentowane przebiegi dla dobowej produkcji energii elektrycznej (wyprodukowanej) i przebiegi dobowej prognozowanej produkcji energii elektrycznej dla jednego miesiąca znacznie różnią się od siebie. Stąd wynika konieczność w przyszłości opracowania nowych prognoz z wykorzystaniem odpowiednich metod predykcji.

Autorzy: dr inż. Wiesława Malska, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Energoelektroniki, Elektroenergetyki i Systemów Złożonych, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów E-mail: wmalska@prz.edu.pl; dr hab. inż. Damian Mazur, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Elektrotechniki i Podstaw Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, E-mail: mazur@prz.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Lubośny Z., Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym, WNT, Warszawa 2006
- [2] Soliński B., Soliński I., Energetyka wiatrowa w Polsce, *Polityka Energetyczna*, t. 7 z. 1, 2004
- [3] Paska J., Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2010
- [4] Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, WNT, Warszawa 2011
- [5] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997, Prawo energetyczne (Dz.U.2006.89.625).
- [6] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1099/2008 z dnia 22 października 2008 r. w sprawie statystyki energii (Dz. U. L 304 z 14.11.2008, z późn. zm.)
- [7] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dz. U. L 140 z 5.6.2009)
- [8] Janiczek R., Przygodzki M., Rozproszone źródła energii w systemie elektroenergetycznym, *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice 2006
- [9] Boczar T., Energia wiatrowa. Aktualne możliwości wykorzystania, *PAK*, Warszawa 2007
- [10] <http://www.statsoft.pl>
- [11] Rابية M., Statystyka z programem STATISTICA, *Helion*, 2012
- [12] Chmielniak T., Technologie energetyczne, *WNT*, Warszawa 2008
- [13] Lewandowski W., Proekologiczne odnawialne źródła energii, *WNT*, Warszawa 2007
- [14] Piotrowski P., Analiza statystyczna danych mających wpływ na produkcję energii elektrycznej przez farmę wiatrową oraz przykładowe prognozy krótkoterminowe, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr. 3a, 161-164
- [15] Piotrowski P., Analiza statystyczna oraz prognozy dobowej produkcji energii przez farmę wiatrową z horyzontem 1 doby, *Elektro.info* nr. (103) 2012, nr.4, 48-52