

**Tomasz Janusz TELESZEWSKI** (orcid id: 0000-0003-4721-7410)  
Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

## WARIANTY LOKALIZACJI ELEKTROWNI WIATROWYCH W OBSZARZE ZURBANIZOWANYM NA PODSTAWIE POMIARU PRĘDKOŚCI WIATRU - BADANIA WSTĘPNE

Przedstawiono warianty lokalizacji elektrowni wiatrowej na podstawie pomiarów prędkości powietrza w różnych częściach zabudowy miejskiej. Elektrownie wiatrowe najczęściej związane są z obszarem niezurbanizowanym ze względu na niewielką szorstkość terenu. W przypadku obszarów zurbanizowanych możliwość zastosowania elektrowni wiatrowych jest bardzo ograniczona z powodu znacznej szorstkości terenu. W przypadku terenu zabudowanego istnieje możliwość zastosowania tzw. małych miejskich elektrowni wiatrowych o osi pionowej, które mogą pracować przy stosunkowo małej prędkości powietrza. Lokalizacja elektrowni wiatrowych w obrębie budynków powinna być poprzedzona pomiarami prędkości wiatru. W pracy wykonano pomiary prędkości wiatru w różnych lokalizacjach na terenie Politechniki Białostockiej: na dachu budynku, przy ścianie budynku oraz między budynkami. Pomiary prędkości powietrza wykonano za pomocą zainstalowanych na stałe anemometrów.

**Słowa kluczowe:** elektrownie wiatrowe, obszar miejski, histogram prędkości wiatru

### WPROWADZENIE

Największy wpływ na wydajność elektrowni wiatrowej ma prędkość wiatru, która przede wszystkim zależy od usytuowania siłowni wiatrowej w terenie [1]. Wszelkiego rodzaju przeszkody terenowe w postaci zabudowań bądź drzew wpływają na zwiększenie szorstkości terenu. Przekłada się to na znaczne zmniejszenie prędkości wiatru oraz wzrost turbulencji. Zgodnie z podziałem klas szorstkości terenu [2], elektrownie wiatrowe powinny być usytuowane w dużej, otwartej przestrzeni, czyli np. na terenach uprawnych lub na otwartym morzu [2, 3]. Zważywszy na znaczną szorstkość terenu, obszary miejskie nie są korzystną lokalizacją elektrowni wiatrowych, szczególnie turbin wiatrowych o osi poziomej, które powinny być usytuowane na dominujące kierunki wiatrów. Istotnym parametrem, wpływającym na wydajność elektrowni wiatrowych, jest wysokość położenia elektrowni wiatrowej nad poziomem terenu [1]. Wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem terenu rośnie prędkość wiatru, co wpływa na wzrost wydajności turbiny wiatrowej. W miastach z wysokimi budynkami istnieje możliwość wykorzystania dachów do lokalizacji elektrowni wiatrowych. Pomimo tego, że tereny miejskie odznaczają się

dużą szorstkością terenu, negatywnie wpływają na prędkość wiatru, to należy mieć na uwadze, że dachy wysokich budynków pozwalają na uzyskanie większej prędkości wiatru. Również, przy odpowiednim rozmieszczeniu budynków, można wykorzystać tzw. efekt Venturiego [4, 5], który przejawia się wzrostem prędkości powietrza kosztem ciśnienia statycznego. W tym miejscu należy zaznaczyć, że rotory pionowe mogą być stosowane w obszarach miejskich, ponieważ działanie ich jest niezależne od kierunku wiatru. Elektrownie wiatrowe o poziomej osi obrotu wymagają dodatkowo dokładnej analizy kierunku wiatru. Na terenach zurbanizowanych mogą być stosowane małe elektrownie pionowe lub małe turbiny wiatrowe w dyfuzorze, które mogą wytwarzać energię elektryczną przy niewielkich prędkościach wiatru, które wynoszą około 5 m/s [6-8]. Należy zaznaczyć, że większość małych pionowych elektrowni ma prędkość nominalną wynoszącą 9÷12 m/s, rzadziej 5÷6 m/s. W katalogach małych elektrowni wiatrowych również pojawia się tzw. prędkość startowa, przy której rotor zaczyna się obracać. Najczęściej wynosi ona około 2 m/s. Jednak w praktyce prędkość ta nie ma wpływu na wydajność elektrowni wiatrowych.

Dachy budynków mogą być zagospodarowane na potrzeby energetyki wiatrowej, tym bardziej że małe elektrownie wiatrowe (do wysokości nieprzekraczającej 3 m) mogą być instalowane na dachach budynków bez zgłoszenia oraz pozwolenia na budowę [9]. W przypadku posadowienia elektrowni wiatrowej na maszcie z fundamentem wymagane jest już pozwolenie na budowę.

Celem publikacji jest przedstawienie wstępnych badań prędkości wiatru na terenie kampusu Politechniki Białostockiej w różnych lokalizacjach w obrębie istniejących budynków. W celu wstępnej analizy prędkości wiatru zostały wyznaczone histogramy prędkości wiatru oraz średnioroczne prędkości wiatru w czterech punktach pomiarowych w okolicach budynków Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska.

## 1. METODA POMIARU PRĘDKOŚCI WIATRU

Badania prędkości wiatru rejestrowano przez okres jednego roku, tj. od 1.01.2016 do 1.01.2017. Pomiary wykonano rejestratorem wyposażonym w anemometr typu Vintage Pro firmy Davis Instruments z dokładnością  $\pm 0,1$  m/s w czterech różnych lokalizacjach, na różnych wysokościach nad poziomem terenu. Pomiar przeprowadzono w sposób ciągły, a rejestrowane wyniki zostały uśrednione z 10-minutowego okresu pomiarowego w systemie rejestracji „wiatrometr.pl”. Lokalizacje punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 1. Najwyżej położony punkt pomiarowy nr 1 umieszczony został na budynku A na wysokości 13 m nad poziomem terenu. Punkt nr 2 znajdował się na dachu łącznika budynków A i B (budynki Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska) w odległości 2,0 m od ściany budynku A, na wysokości 4,5 m nad poziomem terenu. Punkt 3 usytuowano na dachu budynku B na wysokości 4,5 m nad poziomem terenu pomiędzy budynkami A i C (budynek INNO-EKO-TECH). Punkt 4 umieszczono na maszcie przed budynkiem A na wysokości 6 m nad poziomem terenu.



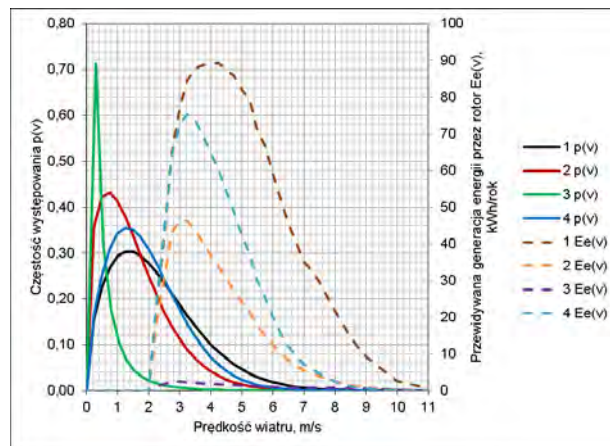
Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w obrębie budynków PB

## 2. WYNIKI POMIARÓW PRĘDKOŚCI WIATRU - SZACUNKOWA ENERGIA

Rozkład częstości występowania danej prędkości wiatru wyznaczono przez sumowanie ilości pomiarów dziesięciominutowych  $n_i$  występowania prędkości wiatru w danym przedziale prędkości  $(u_i, u_{i+1})$ . Częstości występowania danej prędkości wiatru wyznaczono jako stosunek  $n_i$  do liczby wszystkich pomiarów w danym okresie. W celu wyznaczenia charakterystyk czasowych wiatru określających częstość występowania poszczególnych prędkości wiatru posłużono się rozkładem Weibulla:

$$p(u) = \frac{k}{A} \left( \frac{u}{A} \right)^{k-1} e^{-\left( \frac{u}{A} \right)^k} \quad (1)$$

gdzie  $A$  i  $k$  są parametrami decydującymi o kształcie rozkładu  $p(u)$ .



Rys. 2. Histogramy prędkości wiatru oraz energia wyprodukowana przez przyjętą elektrownię wiatrową dla poszczególnych punktów pomiarowych

Rezultaty obliczeń rozkładu Weibulla prędkości wiatru dla poszczególnych punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 2. W lokalizacjach 1, 2 i 4 naj-

większą częstością występowania danej prędkości wiatru charakteryzują się wiatry o prędkości równej 1 m/s, natomiast w punkcie 3 dla prędkości wynoszącej 0,25 m/s. Prawdopodobieństwo występowania prędkości 5 m/s jest największe dla punktu 1 oraz 4 i wynosi odpowiednio 4 i 2,8%. Niewielkie prędkości wiatru dla punktu 3 świadczą o tym, że punkt ten znajduje się w cieniu aerodynamicznym dwóch budynków A i C.

Szacunkową energię  $E_{ei}$  wyprodukowaną przez elektrownię wiatrową w ciągu jednego roku w danym przedziale prędkości wyznaczono według następującej zależności [10]:

$$E_{ei} = P_{ei} t_i \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

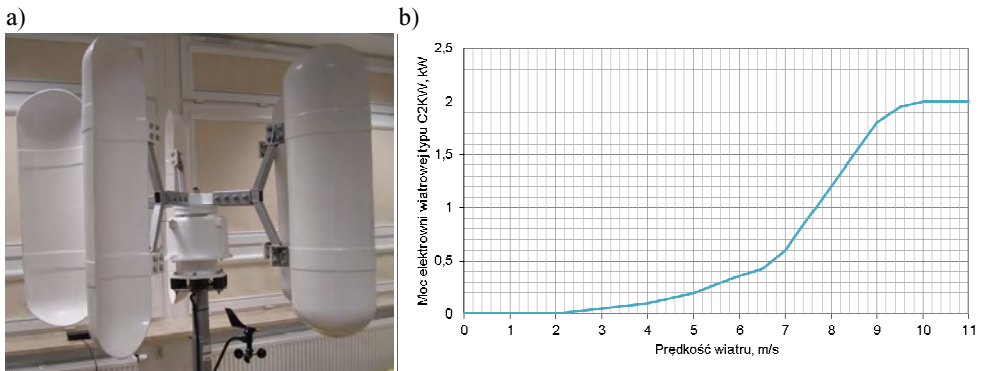
gdzie  $P_e$  jest to wartość mocy odczytana z charakterystyki elektrowni wiatrowej, natomiast czas trwania  $t_i$  w ciągu jednego roku ( $T = 8760$  h) wiatru o prędkości średniej  $u_i$  w danym przedziale  $\Delta u_i$  można wyznaczyć jako iloczyn częstości występowania poszczególnych prędkości wiatru i podstawowego rocznego okresu pomiarowego  $T$ :

$$t_i = p_i(u_i)T = p_i(u_i)8760 \quad [\text{h}] \quad (3)$$

Całkowita przewidywana generacja energii przez elektrownię wiatrową w ciągu roku jest sumą energii  $E_{ei}$  z wszystkich przedziałów  $\Delta u_i$ :

$$E_e = \sum_{i=1}^k E_{ei} \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

Do dalszych rozważań przyjęto elektrownię wiatrową o osi pionowej typu C2KW o mocy znamionowej 2 kW. Rysunki 3a-b przedstawiają widok ogólny elektrowni wiatrowej (rys. 3a) oraz charakterystykę mocy tej elektrowni (rys. 3b). Wybrana elektrownia wiatrowa charakteryzuje się niewielką prędkością startową (2 m/s) oraz małą nominalną prędkością obrotową (55 obr/min).



Rys. 3. Pionowa elektrownia wiatrowa typu C2KW: a) widok ogólny (fot. T.J. Teleszewski), b) charakterystyka mocy elektrowni

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki obliczeń przewidywanej produkcji energii przez elektrownię ze wzoru (2) w poszczególnych przedziałach prędkości. Szacunkową energię wytworzoną przez rotor typu C2KW od 1.01.2016 do 1.01.2017 roku, obliczoną na podstawie wzoru (4), dla poszczególnych punktów pomiarowych zaprezentowano w tabeli 1. Elektrownia wiatrowa zlokalizowana w punkcie 1 wyprodukuje odpowiednio około 1,7; 2,8 i aż 41 razy więcej energii niż w punktach 4, 2 i 3. Największa szacunkowa generacja energii zlokalizowana jest w najwyższym punkcie (Nr 1), co jest związane ze wzrostem prędkości powietrza wraz ze wzrostem wysokości położenia elektrowni wiatrowej. W przypadku obszarów zabudowanych wysokimi budynkami na prędkość wiatru mają wpływ również sąsiednie budynki. Przewidywana energia wytworzona w punkcie 2 jest około 15 razy większa niż w punkcie 3 pomimo tego, że oba punkty znajdują się na tej samej wysokości oraz usytuowane są w cieniu aerodynamicznych budynków A i C. Znacznie większa generacja energii w punkcie 2 związana jest z tym, że punkt ten znajduje się blisko naroży budynków A i B, w okolicach którego może dochodzić do wzrostu prędkości [10].

Tabela 1. Przewidywana produkcja energii przez rotor C2KW od 1.01.2016 do 1.01.2017 roku

Nr punktu pomiarowego	Przewidywana generacja energii rotoru C2KW (1.01.2016-1.01.2017) [kWh]
1	1516
2	539
3	37
4	871

## PODSUMOWANIE

Wszystkie punkty pomiarowe charakteryzowały się niewielkimi prędkościami wiatru. Prawdopodobieństwo wystąpienia prędkości wiatru, dla których mogłyby być stosowane typowe małe elektrownie wiatrowe, tj. 5 m/s, nie przekroczyła 5%, co eliminuje stosowanie większości elektrowni wiatrowych w tych punktach. Największe prędkości wiatru zmierzono na najwyższym dachu. Prędkość wiatru o największej wartości prawdopodobieństwa występowania we wszystkich punktach wynosi około 1 m/s i jest zbyt mała do poprawnej pracy elektrowni wiatrowej. Duże różnice w wartościach przewidywanej energii produkowanej przez przyjęty rotor w wybranych punktach wskazują na to, że przed wyborem lokalizacji elektrowni wiatrowej na terenie zurbanizowanym należy określić wpływ sąsiednich budynków na wietrzność. W kolejnych badaniach zostaną wykonane pomiary prędkości wiatru na terenie kampusu Politechniki Białostockiej na wyższych budynkach.

## Podziękowanie

*Badania zostały zrealizowane w ramach pracy statutowej nr S/WBiIŚ Katedry Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Białostockiej i sfinansowane ze środków na naukę MNiSzW.*

## LITERATURA

- [1] Mathew S., Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics, Springer, Netherlands, 2006.
- [2] Sen Z., Terrain topography classification for wind energy generation, Renewable Energy 1999, 16, 904-907.
- [3] Tian W., Ozbay A., Hu H., Terrain effects on characteristics of surface wind and wind turbine wakes, Procedia Engineering 2015, 126, 542-548.
- [4] Dunlap D.W., At New Trade Center, Seeking Lively (but Secure) Streets, The New York Times, December 7, 2006.
- [5] Blocken B., Moonen P., Stathopoulos T., Carmeliet J., A numerical study on the existence of the Venturi-effect in passages between perpendicular buildings, Journal of Engineering Mechanics 2008, 134(12).
- [6] Svorcan J., Stupar S., Komarov D., Peković O., Kostić I., Aerodynamic design and analysis of a small-scale vertical axis wind turbine, Journal of Mechanical Science and Technology 2013, 27(8), 2367-2373.
- [7] Saravana Kannan T., Mutasher S.A., Kenny Lau Y.H., Design and flow velocity simulation of diffuser augmented wind turbine using CFD, Journal of Engineering Science and Technology 2013, 8(4), 372-384.
- [8] <http://www.alternative-energy-news.info/small-low-speed-wind-turbine>
- [9] Prawo budowlane. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r.
- [10] Michalak P., Ocena zasobów energii wiatru na potrzeby małej energetyki wiatrowej, Elektrotechnika i Elektronika 2009, 28(1-2), 14-19.
- [11] Kaiser M., Badania tunelowe przepływu powietrza w otoczeniu wysokich budynków, Prace Instytutu Lotnictwa 2008, 3-4, 189-191.

## LOCALIZATION OF WIND POWER PLANTS IN URBAN AREAS BASED ON WIND SPEED MEASUREMENT - INTRODUCTION

**This paper presents the variants of wind turbine location based on the measurements of air velocity in different parts of urban development. Wind-power plants are most often associated with non-urbanized areas due to the small rough terrain. In the case of urbanized areas, the possibility of using wind turbines is very limited due to the considerable rough terrain. In the case of built-up areas it is possible to use the so-called urban vertical wind turbines that can operate at relatively low air velocities. The location of the wind power plant within the building should be measured by the wind speed. Wind speed measurements were carried out at various locations in the Białystok Technical University on the roof of the building, on the wall of the building and between buildings. Measurements of air velocity were carried out using permanently installed anemometers.**

**Keywords:** wind turbines, urban area, wind speed histogram