

**Magdalena KACHEL-JAKUBOWSKA**

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania w Inżynierii Rolniczej

**Lukasz KARASEK**

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji

ul. Poniatowskiego 1, 20-060 Lublin

e-mail: [magdalena.kacheljakubowska@up.lublin.pl](mailto:magdalena.kacheljakubowska@up.lublin.pl)

## RESOURCES AND THE POSSIBILITY OF USING WIND ENERGY IN THE PROVINCE OF LUBLIN

### Summary

*The aim of the present work was to estimate the breeziness of specific location in the Lublin province by including both quantitative and qualitative wind. Typical year meteorological data were developed for the town Włodawa using masts with a height of 10 m.a.t.l. The analysis showed that the energy potential of the chosen location was in the average wind speed at the limit of 3.49 m/s, and the highest values of wind speed (3.58 - 4.53 and 4.15 m/s) happened in a period of winter.*

**Key words:** meteorology; wind; wind speed; wind power stations; energy; experimentation; method; Poland

## ZASOBY I MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII WIATRU NA TERENIE WOJEWÓDZTWA LUBELSKIEGO

### Streszczenie

*Niniejsza praca miała na celu oszacować wietrzność określonej lokalizacji na terenie województwa lubelskiego poprzez ujęcie ilościowej oraz jakościowej wietrzności. Dane typowego roku meteorologicznego opracowane dla miejscowości Włodawa przy wykorzystaniu maszty o wysokości 10 m.n.p.g. Analiza wykazała iż potencjał energetyczny wybranej lokalizacji mieścił się w średniej prędkości wiatru w granicy 3,49 m/s, a największe wartości prędkości wiatru (3,58-4,53 i 4,15 m/s) przypadały na okres zimowy.*

**Słowa kluczowe:** meteorologia; wiatr; prędkość; siłownie wiatrowe; energia; badania; metoda; Polska

### Symbole

$n$  – prędkość obrotowa obr/min

$t$  – temperatura °C

$V$  – prędkość wiatru m/s

$\bar{V}$  – średnia prędkość wiatru

$V_T$  – średni ruch turbulentny

### 1. Wstęp

Na mocy pakietu klimatycznego UE „3x20” oraz unijnej Dyrektywy 2009/28/WE Polska została zobowiązana do zapewnienia 15% udziału energii pochodzącej z odnawialnych źródeł w ogólnym bilansie zużywanej energii elektrycznej w roku 2020 [1]. Według informacji PSE Operator [2010], produkcja energii elektrycznej wyniosła w 2010 roku około 156,3 TWh i była większa o około 3,6 proc. niż w 2009 roku, kiedy wyniosła około 150,9 TWh w tym 1,74%, a 2,7% w roku 2010 pochodziło z OZE. Zdaniem wielu ekspertów głównym czynnikiem pozwalającym na tak znaczący wzrost udziału odnawialnych źródeł w zużywanej energii, jest sektor energetyki wiatrowej. To właśnie ta dziedzina energetyki jest obecnie jedną z najprężniej rozwijających się branż w gospodarkach światowych. Jest ona ekonomicznie najbardziej zachęcającą spośród wszystkich technologii OZE.

Techniczno-ekonomiczny potencjał energetyczny wiatru w Polsce został oszacowany na 82 GW. Według „Światowego rankingu atrakcyjności inwestycyjnej w zakresie energetyki odnawialnej”, przygotowanego przez Ernst & Younga, Polska znalazła się na 14 miejscu pod względem zainteresowania inwestycjami w energetykę wiatrową [6].

Jest to dobry znak dla polskiej energetyki, biorąc pod uwagę dość duże utrudnienia w jej rozwoju ze strony prawno-administracyjnej i infrastrukturalnej. Dużą szansą na rozwój jest obecność na krajowym rynku coraz większego kapitału zagranicznego. W ślad za nim podąża także „know-how” efektywnego wykorzystania energii wiatru, przekazywany przez zagranicznych inwestorów, bardzo zainteresowanych Polską. Żaden inny sektor OZE nie może się pochwalić takim zainteresowaniem, jakim cieszy się energetyka wiatrowa.

### 2. Metodyka i cel badań

Celem niniejszej pracy jest zebranie fundamentalnych zagadnień dotyczących energetyki wiatrowej obejmujące istotę przepływu wiatru oraz oszacowaniu wietrzności określonej lokalizacji.

Do opracowania wybrano dane typowego roku meteorologicznego opracowane dla stacji meteorologicznej w miejscowości Włodawa w województwie lubelskim. Wykorzystane dane opierają się na ciągu pomiarów dokonanych masztem o wysokości 10 m.n.p.g. Dane powstały z wyników pomiarów prowadzonych od roku 1971 do 2000. Poniższe obliczenia powstały na podstawie 8760 serii danych zawierających informacje o dacie i godzinie pomiaru, kierunku i prędkości wiatru, temperaturze powietrza i wilgotności względnej, a także sile promieniowania słonecznego i jej kierunku. Dane o kierunku wiatru podzielono na 36 sektorów, co 10°, gdzie sektor 36 odpowiada przedziałowi 355-5°, czyli kierunkowi N, sektor 9 (85-95°) – E, sektor 18 (175-185°) – S, sektor 27 (265-275°) – W. Dane prędkości wiatru zostały zaokrąglone do liczb całkowitych.

### 3. Wyniki badań

#### 3.1. Ilościowe i jakościowe ujęcie wietrzności

Wiatr w warstwie granicznej cechuje się silnie nielaminarnym przepływem. Jeśli potraktujemy ruch atmosfery ziemskiej jako płynu lepkiego wokół ziemi, to warstwę graniczną będziemy traktować jak warstwę przyścienną, w której ruch ulega dużym zaburzeniom. Obecne możliwości techniczne pozwalają wykorzystywać energię wiatru na wysokości do 200 m.n.p.g. Jest to część, w której oddziałują na siebie ruchy skali makrometeorologicznej i mezometeorologicznej oraz turbulencje wywołane przez kształt i charakter podłoża. Taki stan rzeczy znacznie utrudnia dokładny opis cech wiatru, który mógłby określić jego przydatność do energetyki wiatrowej. Zaobserwowano jednak, na podstawie wieloletnich pomiarów, że wiatr można z dobrym przybliżeniem traktować jako sumę dwóch

nakładających się na siebie ruchów : średniego  $\bar{V}$  oraz oscylującego wokół wartości średnich ruchu turbulentnego  $V_T$ . Można zatem wypadkową prędkość wiatru zapisać jako:

$$V = \bar{V} + V_T \quad (1)$$

Na podstawie pomiarów z całego roku określono za pomocą wzoru (1) wartości średnich miesięcznych prędkości wiatru oraz średniej z całego roku (tab. 1).

Tab. 1. Średnie wartości prędkości wiatru i temperatury powietrza dla poszczególnych miesięcy i całego roku  
Table 1. The average values of wind speed and air temperature for each month and all year

Miesiące	V[m/s]	t [°C]
styczeń	4,53	-2,46
luty	4,14	-3,35
marzec	4,21	2,82
kwiecień	3,62	7,88
maj	3,06	13,26
czerwiec	2,87	16,58
lipiec	2,94	18,39
sierpień	2,52	17,20
wrzesień	3,24	12,91
październik	3,41	8,09
listopad	3,83	0,84
grudzień	3,58	-1,13
<b>Średnia</b>	<b>3,49</b>	<b>7,59</b>

#### 3.2. Statystyczny model opisu wiatru

Samo określenie średniej prędkości wiatru nie daje dostatecznej informacji na temat warunków wiatrowych wybranego miejsca. Potrzebna jest informacja o rozkładzie prędkości na przestrzeni roku, czy poszczególnych miesięcy oraz o częstości jej występowania, żeby dobrze określić ilość energii, jaką może wyprodukować dana turbina. Takiej informacji dostarczają narzędzia statystyczne, oparte na prawdopodobieństwie wystąpienia prędkości o danej wartości. Na podstawie wielu prób z danymi pomiarowymi ustalono, iż dobry opis rzeczywistych warunków dają rozkład

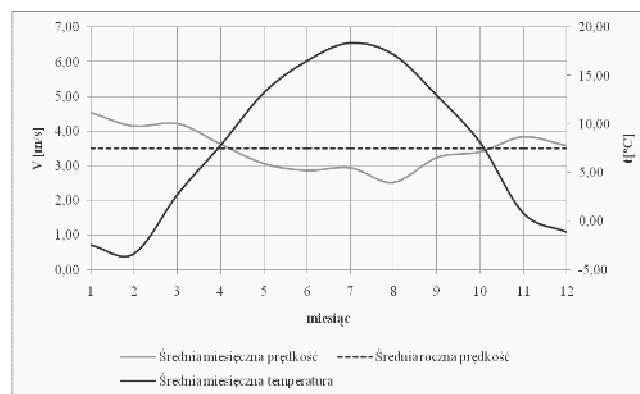
Weibulla oraz rozkład Rayleigha. Opracowanie obu funkcji opiera się o dane pomiarowe z odpowiednio długiego, reprezentatywnego okresu czasu. Rozkład Weibulla jest funkcją dwuparametrową zależną od parametru kształtu  $\gamma$  oraz parametru skali  $\beta$ , zależnego od średniej prędkości wiatru. Rozkład Rayleigha jest w zasadzie przypadkiem rozkładu Weibulla, przy stałym parametrze  $\gamma = 2$ . Ze względu na mniejszą dokładność aproksymacji autorzy nie zajmowali się rozkładem Rayleigha. Stosowanie statystyki do opisu danego terenu ma jeszcze jedną ważną zaletę. Pozwala na aproksymowanie wyników na tereny przyległe, przez co staje się niezbędnym narzędziem określającym cechy okolic pod kątem energetyki wiatrowej.

#### 3.3. Oszacowanie potencjału energetycznego wybranej lokalizacji

Na podstawie pomiarów z całego roku określono za pomocą wzoru (2) wartości średnich miesięcznych prędkości wiatru i oraz średniej z całego roku.

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (2)$$

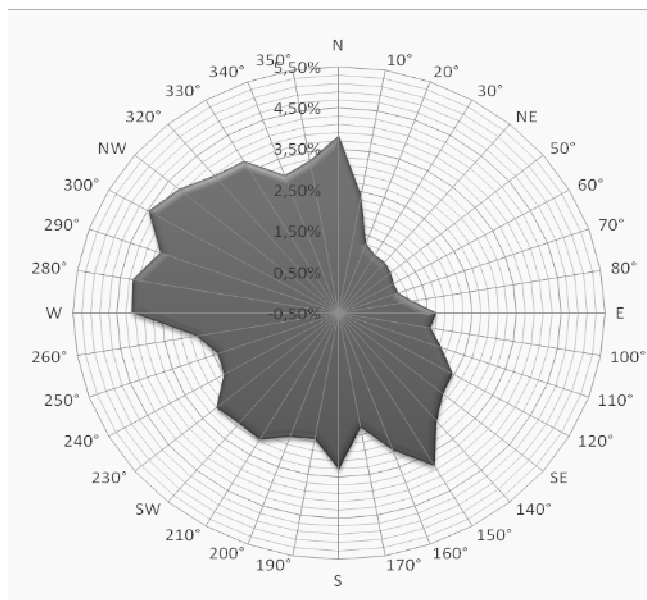
Wyznaczono także średnie miesięczne i roczną średnią temperaturę powietrza. Wyniki przedstawiono w tab. 1. Badając otoczenie punktu, w którym znajduje się anemometr pomiarowy, za pomocą map topograficznych i lotniczych zdjęć określono klasę szorstkości terenu jako 2, a parametr  $\alpha = 0,22$ . Rys. 1. przedstawia wstępną charakterystykę punktu pomiarowego. Znajdują się na nim wyniki (tab.). Analizując go można wywnioskować, iż największe wartości prędkości wiatru przypadają na okres zimowy, czyli czas zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną. Taka charakterystyka jest cechą całego obszaru Polski, o czym z resztą często wspomina literatura przedmiotu. Jest to zaleta energetyki wiatrowej.



Rys. 1. Wykres średnich prędkości miesięcznych i rocznej oraz średnich miesięcznych temperatur  
Fig. 1. Average monthly and annual rate, and average monthly temperatures

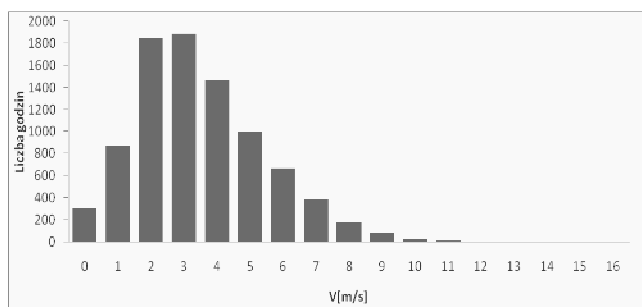
Kolejnym krokiem było opracowanie róży wiatrów, przedstawionej na rys. 2. Została ona stworzona dla 36 sektorów. Dla każdego z nich zliczono liczbę wystąpień prędkości większej od zera, a następnie podzielono przez liczbę wszystkich rekordów (8760). W rezultacie sektory o największej częstotliwości występowania wiatru obejmują za-

kres od  $265^\circ$  do  $5^\circ$ . Z niego pochodzi 38,56% wszystkich wystąpień prędkości. Cisze stanowiły 3,5% czasu pomiarów. Na rys. 3 przedstawiono liczbę wystąpień, czyli w rzeczywistości godzin w ciągu roku, kiedy pojawiały się poszczególne wartości prędkości wiatru. Daje to wstępne zobrazowanie miejsca pomiaru, i pozwoli w dalszym etapie obliczenie sprawdzić prawidłowość dobranych parametrów rozkładu Weibulla.



Rys. 2. Róża częstotliwości występowania wiatru dla 36 sektorów

*Fig. 2. Rose of wind frequency for 36 segments*



Rys. 3. Rzeczywisty rozkład prędkości wiatru z całego okresu pomiarowego

*Fig. 3. The actual wind speed distribution of the entire measurement period*

Wykres wskazuje, iż najczęściej pojawiającą się prędkością była wartość 3 m/s (22%). W zasadzie prędkości średnie nie przekraczały wartości 14 m/s. Maksymalna uśredniona prędkość wyniosła 13 m/s i wystąpiła tylko raz. Są to dane dla wysokości pomiarowej wynoszącej 10 m.n.p.g.

Następnie obliczono prawdopodobieństwa, według rozkładu Weibulla, korzystając ze wzoru (3):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V - \bar{V})^2}{N}} \quad (3)$$

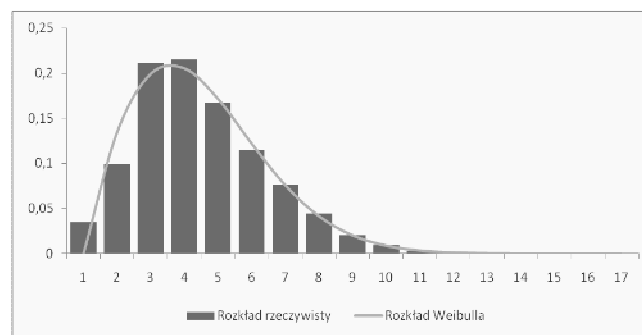
obliczono odchylenie standardowe dla całego roku. Parametry  $\gamma$  ze wzoru (4):

$$\gamma = \left( \frac{\sigma}{\bar{V}} \right)^{-1,09} \quad (4)$$

oraz  $\beta$  ze wzoru (5):

$$\beta = \frac{\bar{V} \cdot \gamma^{2,6674}}{0,184 + 0,816 \cdot \gamma^{2,73955}} \quad (5)$$

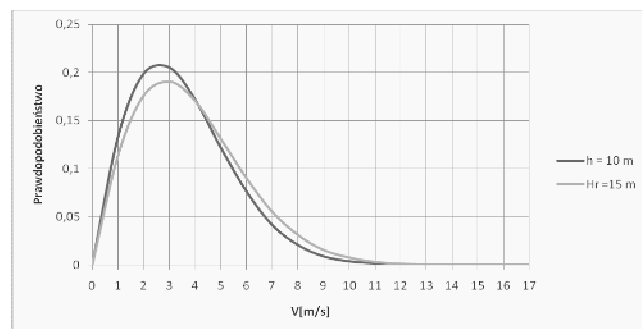
Mając już wszystkie potrzebne czynniki rozkładu, obliczono kolejno prawdopodobieństwa  $f(V)$  i dystrybuantę  $F(V)$ , dla wartości  $V$  od 0 do 20 m/s. Ponieważ przy  $V > 17$  m/s wartość rozkładu gęstości prawdopodobieństwa jest bliska 0, a dystrybuanta osiąga 1, zmniejszono maksimum osi OX wykresu z rys. 4 dla większej jasności i przejrzystości wykresu. Nakładając wykres gęstości prawdopodobieństwa na rzeczywisty rozkład prędkości wiatru sprawdzono, czy wybrana metoda doboru parametrów rozkładu dobrze odwzorowuje warunki rzeczywiste. Przedstawia to rys. 4. Wynika z niego, iż rozkład Weibulla idealnie wpasowuje się w rozkład rzeczywisty, a zatem prawidłowe jest stosowanie wspomnianych wyżej wzorów.



Rys. 4. Dopasowanie rozkładu Weibulla do rzeczywistego rozkładu prędkości

*Fig. 4. Fitting Weibull distribution to the actual velocity distribution*

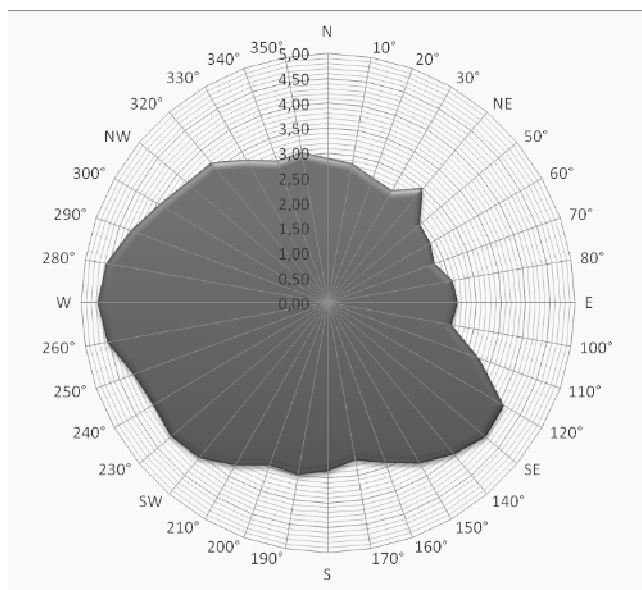
Parametry rozkładu wynoszą  $\gamma = 1,87$ , a  $\beta = 3,93$  m/s. Opierając się o wzór potęgowy obliczono prędkość średnią na wysokości  $H_r = 15$  m.. Dla danej wysokości dokonano obliczeń produkcji energii elektrycznej przez małą turbinę wiatrową, dla której również stworzono rozkład Weibulla. Na rys. 5 zamieszczono rozkłady gęstości prawdopodobieństwa dla obu wysokości. Dla wysokości 15m.n.p.g.  $\gamma = 1,87$ , a  $\beta = 4,29$  m/s,  $\bar{V}_{Hr} = 3,83$  m/s.



Rys. 5. Rozkład Weibulla gęstości prawdopodobieństwa prędkości  $f(V)$  dla wysokości pomiarowej  $h$  i wysokości osi wirnika turbin  $H_r$

*Fig. 5. Weibull probability density distribution of speed  $f(V)$  for measurement height  $h$  and the axis of the turbine  $H_r$*

Dla zwiększenia dokładności obliczono prędkości średnie i odchylenia standardowe dla 36 sektorów, po czym wyznaczono dla nich rozkłady Weibulla gęstości prawdopodobieństwa. Na rys. 6 przedstawiono różę prędkości średnich.



Rys. 6. Róża prędkości średnich wiatru z 36 sektorów dla 10m.n.p.g

Fig. 6. Rose of average wind speed from 36 sectors for 10m.a.t.l

Sektory o najniższych szczytach charakteryzują się zarazem największym przesunięciem w kierunku większych prędkości, a zatem jest większe prawdopodobieństwo wystąpienia silniejszych wiatrów. Do tych sektorów zaliczyć można przedziały od 120 do 150° oraz od 260 do 290°.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Opierając się na badaniach Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, a zwłaszcza na pracy Lorenc [2], można wymienić kilka stref zróżnicowania zasobów energii wiatru. Daje to podstawy do twierdzenia, jakoby w Polsce występowały zasoby wiatru zbliżone do zasobów Niemiec, lidera europejskiego w energetyce wiatrowej. Biorąc pod uwagę zasoby wiatru w Polsce możliwe do wykorzystania (82GW) [6], oraz obecną moc zainstalowanych turbin wiatrowych (794 MW na koniec 2009 roku) [4] Polska jest rynkiem dopiero rozwijającym się, o niespożytkowanym potencjale.

Wiatr jest zjawiskiem bardzo zmiennym w czasie i przestrzeni. Jest on wynikiem różnic ciśnienia mas powietrza, które z kolei pochodzi od nierównomiernego nagrzewania się powierzchni ziemi. Warstwa przyziemna atmosfery charakteryzuje się dużą zmiennością wiatru, wynikającą w części z ukształtowania powierzchni łądów i mórz. Wiatr jest ponad to wprost proporcjonalny do gęstości powietrza, a jego stabilny rozkład występuje z reguły powyżej 300m.n.p.g.

Analiza wietrzności dowolnego terenu musi być poparta pomiarami prowadzonymi przez okres co najmniej jednego roku. Ważne jest, aby pomiar był ciągły, prowadzony w jednym miejscu, przy zachowaniu stałego czasu uśredniania. Dla zachowania reprezentatywności danych, zalecane jest stosowanie czasu uśredniania 10 minut, aczkolwiek tolerowane są maksymalnie uśrednienia w przedziale godzinnym.

Oszacowanie potencjału energetycznego wybranej lokalizacji wykazało, że średnia prędkości wiatru mieściła się w granicy 3,49 m/s, a największe wartości prędkości wiatru (3,58-4,53 i 4,15 m/s) przypadają na okres zimowy, czyli czas zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną. Taki rozkład temperatury sprawia, że turbiny wiatrowe o małej mocy doskonale uzupełniają się z kolektorami słonecznymi, panelami PV oraz pompami ciepła, tworząc hybrydowe układy zasilania i ogrzewania domów czy pomieszczeń gospodarczych.

#### 5. Bibliografia

- [1] Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. 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.
- [2] Lorenc H.: Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce. Warszawa: IMGW, 1996.
- [3] OSP, 2010. PSE Operator przewiduje nieznaczny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w 2010 roku. <http://www.pse-operator.pl/index.php?dzid=14&did=695>.
- [4] Michałowska-Knap K., Wiśniewski G.: Potencjał energetyki wiatrowej i biomasy w województwie zachodniopomorskim do roku 2020/2030. Raport. Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa, 2011.
- [5] Raport KSE. Zestawienie danych ilościowych dotyczących funkcjonowania KSE (Dane operatywne – wielkości brutto). 2010.
- [6] Wiśniewski, G., Knap-Michałowska, K., Dziamski, P., Oniszk-Popławska, A., Regulski, P.: Wizja rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 r. Warszawa: Polskie Stowarzyszenie Energetyki Odnawialnej, 2009.