

# Analiza produktywności wybranych turbin wiatrowych w Polsce

Productivity analysis of selected wind turbines in Poland

MICHAŁ WICHLIŃSKI, NORBERT KUBUS

DOI 10.36119/15.2024.12.3

Energetyka wiatrowa jest bardzo ważnym składnikiem polskiego mixu energetycznego. W miarę odchodzenia od źródeł konwencjonalnych elektrownie wiatrowe wraz z energetyką słoneczną będą musiały wziąć na siebie ciężar produkcji energii elektrycznej. Jednakże praca turbin wiatrowych jest uzależniona do chwilowych warunków atmosferycznych, czyli od prędkości wiatru. W niniejszym artykule przedstawiono analizę produktywności czterech wybranych turbin wiatrowych znajdujących się w czterech różnych lokalizacjach. Ilość energii wyprodukowanej przez poszczególne turbiny w ciągu roku mocno się różniła. Wyraźnie widoczne jest zmniejszenie produkcji w miesiącach letnich (VI-IX) i wzrost produkcji w pozostałych miesiącach, szczególnie od X do XII. Prędkości wiatru powyżej 10 m/s, przy których turbiny pracowały, nie przekraczała 11% w ciągu roku, przez około 17% roku prędkości wiatru były poniżej 4 m/s. Przy bezwietrznej pogodzie turbiny również potrzebują energii elektrycznej do zasilania systemów wewnętrznych, analizowane turbiny musiały być zasilane z zewnątrz przez około 13% czasu w ciągu roku.  
Słowa kluczowe: energia wiatru, turbiny wiatrowe, produkcja energii, prędkość wiatru

Wind energy is a very important component of the Polish energy mix. As we move away from conventional sources, wind farms and solar energy will have to take on the burden of electricity production. However, the operation of wind turbines depends on temporary weather conditions, i.e. wind speed. This article presents an analysis of the productivity of four selected wind turbines located in four different locations. The amount of energy produced by individual turbines during the year varied significantly. A clearly visible decrease in production in the summer months (June-September) and an increase in production in the remaining months, especially from October to December, is visible. Wind speeds above 10 m/s, at which the turbines operated, did not exceed 11% during the year, for about 17% of the year wind speeds were below 4 m/s. In calm weather, turbines also need electricity to power internal systems, the analyzed turbines had to be powered from outside for about 13% of the time during the year.

Keywords: wind energy, wind turbines, energy production, wind speed

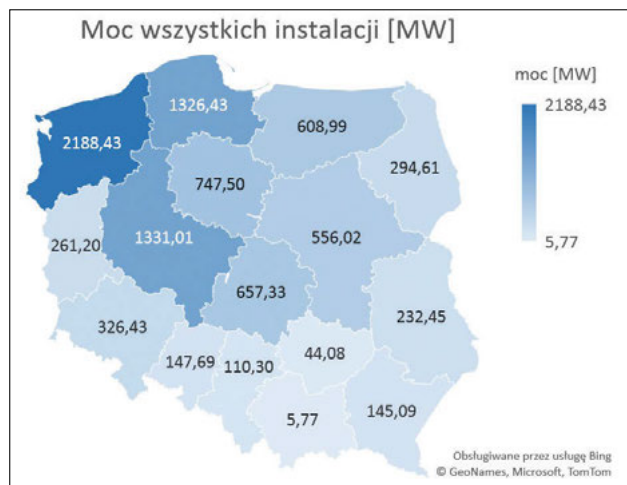
## Wprowadzenie

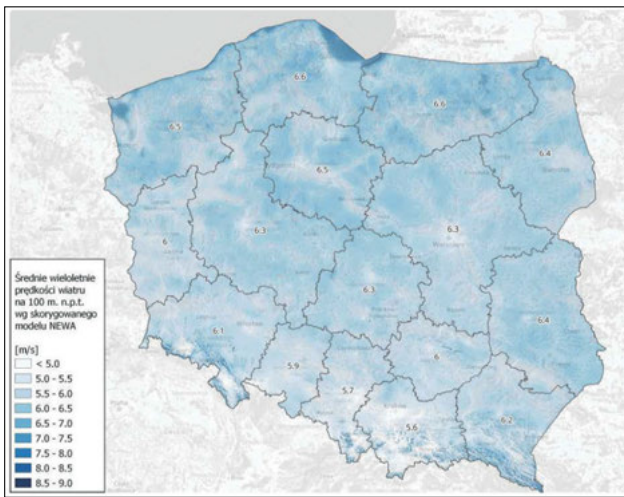
Polska energetyka wiatrowa rozwija się w Polsce od przeszło 20 lat. Pierwszą turbinę uruchomiono w Polsce w latach 90-tych, a pierwszą farmę wiatrową w roku 2001. Początkowo były to turbiny o mocy około 800 kW [6], w późniejszym okresie moc poszczególnych instalowanych turbin wiatrowych wzrastała. Obecnie największą zainstalowaną turbiną wiatrową w Polsce jest 3,45 MW zainstalowana na farmie wiatrowej Biały Bór [6]. W połowie 2024 roku moc zainstalowana turbin wiatrowych w Polsce wynosiła 9553,2 MW, co stanowiło ponad 31% mocy zainstalowanej w odnawialnych źródłach energii w Polsce [11]. Szacuje się, że do roku 2030 moc elektrowni wiatrowych wzrośnie do 14 GW [10]. W Europie tylko w roku 2023 nowe inwestycje w instalacje wiatrowe wyniosły ponad 18,3 MW, z czego 14,5 GW to instalacje onshore [10]. Łączna moc instalacji wiatro-

wych w Europie w roku 2023 wynosiła 272 GW, z czego 238 GW na lądzie. Z szacunkowych danych wynika, że do roku 2028 w krajach Unii Europejskiej zainstalowanych zostanie 93 GW nowych farm wiatrowych na lądzie.

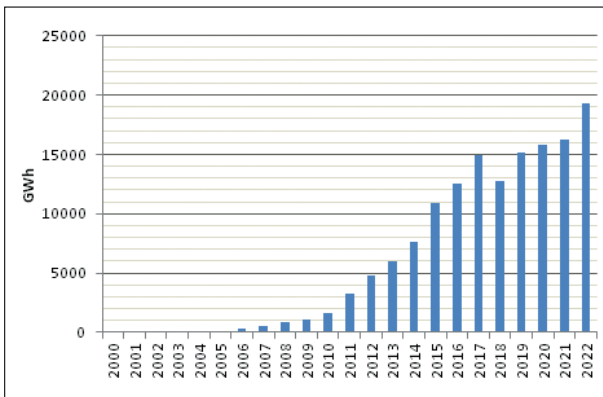
**Rys. 1.** Moc zainstalowanych turbin wiatrowych w poszczególnych województwach w 2023 roku [5]  
**Fig. 1.** Power of installed wind turbines in individual voivodships in 2023 [5]

Największa moc zainstalowanych turbin wiatrowych jest w północno zachodniej Polsce, z kolei najmniej na południu kraju (rys. 1). Pokrywa się to z średnimi prędkościami wiatru w Polsce przedstawionymi na rys. 2 [9]. Największa farma wiatrowa w Polsce –





**Rys. 2.** Długoterminowe prędkości wiatru na 100 m n.p.t. w Polsce. Wartości liczbowe to średnia dla poszczególnych województw [9]  
**Fig. 2.** Long-term wind speeds at 100 m above sea level in Poland. The numerical values are the average for individual voivodeships [9]



**Rys. 3.** Ilość energii wyprodukowanej przez elektrownie wiatrowe w Polsce w latach 2000 – 2022 [8]  
**Fig. 3.** The amount of energy produced by wind farms in Poland in 2000 – 2022 [8]

Potęgowo ma moc 219 MW i składa się na nią 81 turbin o mocach 2,5 i 2,75 MW [14]. Drugie miejsce zajmuje farma wiatrowa Margonin, gdzie pracuje 60 turbin wiatrowych o łącznej mocy 120 MW. Farmę tę jest podzielona na dwie części mniejszą wschodnią, gdzie pracuje 11 turbin i większą zachodnią z 49 turbinami. Każda z tych turbin ma moc 2MW [3].

Ilość wyprodukowanej energii przez turbiny wiatrowe rośnie praktycznie z roku na rok. Choć od roku 2017 przyrost ten był stosunkowo niewielki, to rok 2022 przyniósł znaczący wzrost i ilość wyprodukowanej przez turbiny wiatrowe energii wyniosła 19325 GWh (rys. 3) [9]. W dniu 3 lutego 2024 roku polska energetyka wiatrowa ustanowiła rekord produkcji. W tym dniu o godzinie 13:00 wyprodukowano blisko 8500 MWh [14].

Średni współczynnik wykorzystania turbin wiatrowych oscyluje od 2014 roku w granicach od 25 do 30%, dla turbin on-shore i powyżej 30% dla turbin offshore [13]. W roku 2021 było to 27,31% [7]. Jednakże współczynnik wykorzystania mocno zależy od konkretnej lokalizacji, rodzaju turbiny wiatrowej, a także od wietrzności w określonym roku. W publikacji [1] Boccard zebrał wyniki współczynnika wykorzystania turbin wiatrowych z różnych lokalizacji, wartość tych współczynników waha się od 19 do 51% w zależności od cech konkretnej turbiny, lokalizacji i okresu. W przypadku krajów europejskich średni współczynnik wykorzy-

stania energii wiatru przez turbiny wiatrowe w latach 2003 – 2007 nie przekraczał 21% (od 18,3% dla Niemiec do 29,3% dla Irlandii) [1]. Istniejące farmy wiatrowe charakteryzują się znaczną zmiennością średniego rocznego współczynnika mocy, który w przypadku europejskich farm wiatrowych wynosi średnio 21% dla farm lądowych i 32% dla farm morskich. Konkretnymi przykładami są, lądowa farma wiatrowa Margonin gdzie współczynnik mocy wyniósł 26% i morska farma wiatrowa North Hoyle ze współczynnikiem mocy 25%. Znacznie wyższy współczynnik wykorzystania mocy ma także morska farma wiatrowa Scroby Sands ze współczynnikiem 35% [15]. Straty mocy farm wiatrowych są silnie związane z ich lokalizacją i przeważającymi kierunkami wiatru. W przypadku źle zaprojektowanej farmy

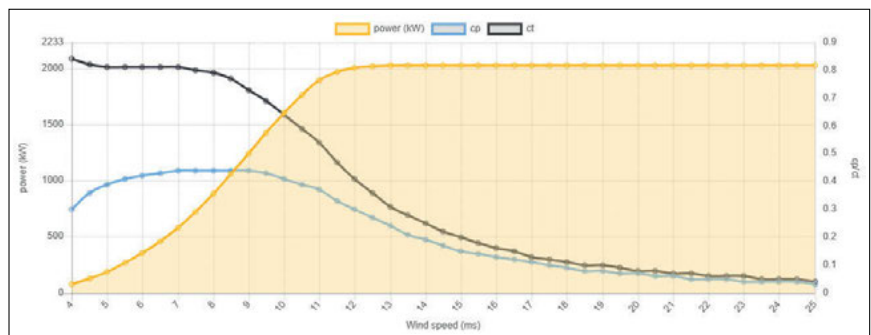
wiatrowej mogą one osiągnąć 23%, a w przypadku prawidłowo zaprojektowanej farmy wiatrowej 12,5% [15].

Część wyprodukowanej energii elektrycznej wyprodukowanej przez turbiny wiatrowe jest tracona na skutek strat spowodowanych transportem i dystrybucją. Szacuje się, że w Polsce straty z tego tytułu (dla sieci wysokiego, średniego i niskiego napięcia) wyniosły w latach 2010 – 2015 średnio 7%, przy czym w roku 2010 było to 8,2%, natomiast w 2015 wartość ta spadła do 6,9% [12].

Innym zagrożeniem dla turbin wiatrowych jest ich oblodzenie, na które szczególnie są narażone turbiny zlokalizowane w chłodnym klimacie. W skrajnych przypadkach oblodzenie łopatek turbiny może być na tyle duże by uniemożliwić rozpoczęcie pracy turbiny. Straty z powodu oblodzenia łopatek turbin wiatrowych mogą sięgać 20% rocznej produkcji energii, ponadto mogą powodować dodatkowe obciążenia wszystkich podzespołów turbiny, co w konsekwencji może spowodować skrócenie ich żywotności [2].

## Opis turbin wykorzystanych w artykule

Analiza przeprowadzona została na podstawie danych pomiarowych, które zostały zarejestrowane za pomocą anemometrów zamontowanych na dachu gondoli każdej turbiny. Pomiar był ciągły i wykonywany cyklicznie co 10 minut (z uśrednionej wartości w danych 10 minutach). Każda z czterech analizowanych turbin wiatrowych firmy Vestas Wind Systems V90 2.0 MW posiada taką samą moc zainstalowaną. Różnica w ich danych produkcji wynosi kilka lat. Elektrownie działają pod wiatr z regulowanym kątem wychylenia łopatek, aktywnym systemem obrotu oraz wirnikiem składającym się z trzech łopatek [4]. Turbina Vestas V90 2 MW osiąga maksymalną moc przy prędkości wiatru 13 m/s. Taka moc jest utrzymywana w zakresie prędkości wiatru 13-25 m/s. Z uwagi na względy bezpieczeństwa, turbina zatrzymuje się, gdy prędkość wiatru przekroczy 25 m/s. Elektrownia wiatrowa jest w stanie wyprodukować 50% mocy zainstalowanej (czyli



**Rys.4** Krzywa mocy, współczynnik sprawności, oraz współczynnik siły ciągu analizowanej turbiny Vestas V90 2 MW [4]  
**Fig.4** Power curve, efficiency coefficient, and thrust coefficient of the analyzed Vestas V90 2 MW turbine [4]

1 MW) przy prędkości wiatru 8,3 m/s. Minimalna prędkość wiatru, przy której generator zaczyna produkować energię, wynosi 4 m/s. Krzywa mocy (power curve) jest charakterystyką mocy turbiny wiatrowej, która ukazuje, jak zmienia się moc generowana przez turbinę wiatrową w zależności od bieżącej prędkości wiatru. Ta krzywa zależy od cech konstrukcyjnych turbiny, typu mechanizmu, wykorzystanych systemów sterowania oraz innych czynników [16] (rys. 4).

Turbiny, które zostały wykorzystane do analizy zlokalizowane są w czterech województwach (rys. 5):

- V44586 Gniewino – pomorskie,
- V201524 Brudzewice – zachodniopomorskie,
- V44966 Ciechanów – mazowieckie,
- V44577 Krośnice – łódzkie.



Rys. 5. Lokalizacja analizowanych turbin wiatrowych  
Fig. 5. Location of the analyzed wind turbines

### Analiza wyników badań

Spośród badanych turbin wiatrowych w roku 2021 elektrownia V44577, działająca w Krośniewicach, osiągnęła największą produkcję energii elektrycznej, która wyniosła 5,72 GWh. Warto zaznaczyć, że jest to moc czynna uwzględniająca pobraną energię na potrzeby własne. Natomiast turbina zlokalizowana w Gniewinie wygenerowała najmniejszą ilość energii, osiągając wynik 4,51 GWh (tab. 1).

Tabela 1 Produkcja energii elektrycznej w roku 2021 przez analizowane turbiny  
Table 1. Electricity production in 2021 by the analyzed turbines

Turbina	Wyprodukowana energia elektryczna	
	MWh	GWh
Brudzewice	4924,86	4,92
Krośniewice	5715,41	5,72
Gniewino	4511,03	4,51
Ciechanów	4726,43	4,73

Wskaźnik produkcji do mocy zainstalowanej odzwierciedla efektywność wykorzystania zainstalowanej mocy do generowania energii elektrycznej. W przypadku turbin

wiatrowych, istnieje pojęcie współczynnika wykorzystania mocy, który określa, jaka część energii elektrycznej wygenerowanej w ciągu roku byłaby równoważna energii, gdyby turbina działała z maksymalną mocą przez cały rok. W 2021 roku najwyższy współczynnik produkcji do mocy zainstalowanej odnotowano w elektrowni wiatrowej w Krośniewicach, co jest zgodne z danymi dotyczącymi produkcji. Różnica między najbardziej efektywną, a najmniej w 2021 roku wynosi 6,9%. W przypadku takich samych parametrów turbin, takie rozbieżności można uznać za znaczące. Średni współczynnik produkcji do mocy zainstalowanej dla turbiny wiatrowej Vestas V90 o mocy 2MW (tab. 2).

Tabela 2 Stosunek wyprodukowanej energii do mocy zainstalowanej [%] w 2021 roku  
Table 2. Ratio of produced energy to installed capacity [%] in 2021

Rok 2021	Stosunek wyprodukowanej energii do mocy zainstalowanej [%]				Wartość średnia
	Brudzewice	Krośniewice	Gniewino	Ciechanów	
	28,11	32,62	25,75	26,98	28,36

Tabela 3 Średnia prędkość wiatru w 2021 roku w danych lokalizacjach (z danych 10-minutowych)

Table 3 Average wind speed in 2021 at given locations (from 10-minute data)

	Średnia prędkość wiatru w roku 2021
Turbina	m/s
Brudzewice	6,25
Krośniewice	6,70
Gniewino	6,06
Ciechanów	6,14

Średnia prędkość wiatru w 2021 roku w okresie rocznym w danych lokalizacjach została przedstawiona w tabeli 3.

Średnia roczna prędkość wiatru nie jest tak istotna jak dwa inne parametry, które mają kluczowe znaczenie dla efektywności turbiny wiatrowej. Pierwszym istotnym czynnikiem jest liczba godzin, w których wiatr wieje z prędkością powyżej 10 m/s. Drugim ważnym czynnikiem jest prędkość wiatru, przy której turbina Vestas V90 2MW generuje maksymalną energię elektryczną, czyli 13 m/s. Ta prędkość jest punktem, w którym turbina osiąga najwyższą możliwą produkcję energii. Im

więcej godzin w roku, kiedy wiatr przekracza tę prędkość, tym większa jest potencjalna produkcja energii elektrycznej. Dodatkowo, wartością istotną jest liczba godzin z wiatrem poniżej 4 m/s. Oznacza to, ile godzin wiatr wieł ze zbyt niską prędkością, aby turbina weszła w stan produkcji.

W 2021 roku, w miejscowości Krośniewice liczba godzin wietrznych z prędkością wiatru powyżej 13 m/s wyniosła 135 godzin, co stanowiło 1,5% czasu w ciągu roku. Natomiast liczba godzin, w których prędkość wiatru nie pozwalała na produkcję energii, była największa w Ciechanowie i wyniosła 1783 godziny, co stanowiło aż 20,4% czasu w ciągu roku. Warto zauważyć, że w miejscowości Gniewino występowała zaskakująco niska

liczba godzin z wiatrem powyżej 10 m/s. Stanowiło to tylko 6,2% czasu w ciągu roku. Liczba dni, w których to zjawisko występowało, wyniosła 539. Pomimo, że miejscowość Gniewino jest położona na Pomorzu, w niedalekiej odległości od morza, wypadło w tej statystyce najgorzej z analizowanych turbin. W Krośniewicach, liczba godzin z wiatrem przekraczającym 10 m/s wyniosła 938, co stanowiło 10,7% całkowitego czasu w ciągu roku. Porównując tę samą wartość dla turbiny w Ciechanowie, jest to o 347 godzin więcej, co przekłada się na końcową ilość wyprodukowanej energii w ciągu roku (tab.4).

Na podstawie uśrednionych wyników prędkości wiatru w różnych okresach pór roku dla czterech analizowanych turbin wiatrowych, można stwierdzić, że jesienią średnia prędkość wiatru była największa i wyniosła 7,09 m/s. W Polsce zazwyczaj okres zimy uważa się za czas z największym potencjałem wietrzny. Jednak ta zależność nie musi występować regularnie rok po roku. Zimą z uśrednionych pomiarów prędkości wiatru wieła 6,59 m/s, a wiosną było to 6,25 m/s. Latem prędkość wiatru jest najniższa w porównaniu z innymi porami roku

Tabela 4 Liczba godzin w roku z wiatrem, o danej prędkości  
Table 4 Number of hours per year with wind at a given speed

Turbina	Jedn.	Ilość godzin w roku z wiatrem powyżej 10 m/s	Ilość godzin w roku z wiatrem powyżej 13 m/s	Ilość godzin w roku z wiatrem poniżej 4 m/s
		godz.	godz.	godz.
Brudzewice	godz.	683	92	1572
	%	7,8	1,0	17,9
Krośniewice	godz.	938	135	1332
	%	10,7	1,5	15,2
Gniewino	godz.	539	74	1518
	%	6,2	0,8	17,3
Ciechanów	godz.	591	74	1783
	%	6,7	0,8	20,4



**Rys. 6.** Prędkość wiatru z analizowanych turbin wiatrowych z podziałem na pory roku [2021]  
**Fig. 6.** Wind speed from the analyzed wind turbines divided into seasons [2021]

ści wiatru w czasie. Dane te zebrano dla okresu jednego roku (2021) i przedstawiono na rys. 7-10 w klasach o szerokości 1 m/s. W przypadku turbiny zlokalizowanej w Burdzewicach (rys. 7) najczęściej mieliśmy do czynienia z wiatrami o prędkościach od 5 do 8 m/s, które wiały przez ponad 60% roku.

Dla turbiny znajdującej się w Ciechanowie najczęściej mieliśmy do czynienia z wiatrem o prędkościach od 6 do 8 m/s, które stanowiły blisko 50% częstotliwości występowania wiatru (rys. 8).

i wynosiła tylko 5,26 m/s. Warto zauważyć, że w tym okresie często występują burze, które wiążą się z silnymi podmuchami wiatru. Takie podmuchy mogą wpływać negatywnie na pracę elektrowni (rys. 6).

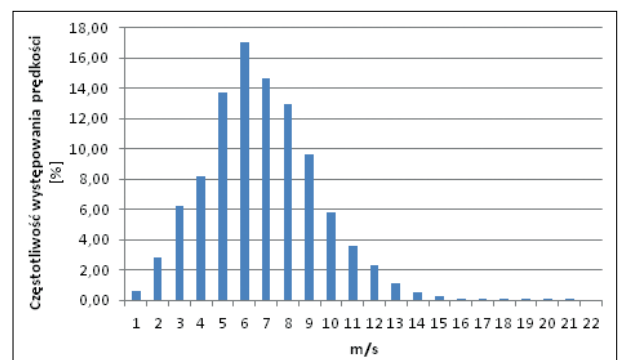
Ważnym aspektem analizy pracy turbin wiatrowych jest ocena ich wydajności w maksymalnych zakresach produkcji. W tym kontekście elektrownia w Krośniewicach wyróżnia się jako najbardziej efektywna pod względem produkcji energii elektrycznej przez cały rok. Turbina o mocy 2 MW zdołała pracować w swoich maksymalnych możliwościach przez 194 godziny, a na poziomie co najmniej 98% przez 389 godzin. Z kolei elektrownia w Gniewinie osiągnęła jedynie 20 godzin pracy na maksymalnych zakresach, natomiast na poziomie co najmniej 98% pracowała przez 107 godzin. Te różnice w wykorzystaniu maksymalnych możliwości pracy turbiny miały znaczący wpływ na ogólną produkcję energii w ciągu całego roku. W przypadku turbin V90 o mocy 2 MW, średni czas pracy w zakresie minimum 50% wyniósł od 17,9% do 26,8% w 2021 roku (tab. 5).

Turbina V90 firmy Vestas, aby poprawnie funkcjonować, potrzebuje podłączenia z sie-

**Tabela 6 Zapotrzebowanie i oddanie energii do sieci elektroenergetycznej, przez analizowane turbiny wiatrowe w 2021 roku**

	Burdzewice	Krośnice	Gniewino	Ciechanów
Średnia produkcja energii na godzinę [kWh]:	562	652	515	540
Średnia dzienna produkcja energii [kWh]:	13493	15659	12359	12949
Liczba godzin, w których turbina potrzebowała energii [h]	1106 (13%)	1077 (12%)	1109 (12%)	1326 (15%)
Liczba godzin, w których turbina pracowała [h]	7651 (87%)	7683 (88%)	7651 (88%)	7434 (85%)

**Rys. 7.** Gęstość rozkładu prawdopodobieństwa prędkości wiatru dla turbiny w Burdzewicach  
**Fig. 7.** Probability distribution density of wind speed for the turbine in Burdzewice



Niezwykle istotną kwestią jest jak przedstawiała się gęstość rozkładu prawdopodobieństwa dla prędkości wiatru w przypadku poszczególnych turbin. Jest to związane ze stochastycznym charakterem zmian prędko-

W przypadku turbiny znajdującej się w Gniewinie najczęściej w ciągu roku wiało z prędkościami od 4 do 9 m/s. W porównaniu z innymi analizowanymi lokalizacjami wiatru z przedziału od 5 do 6 m/s wiał przez ponad 18% w ciągu roku (rys. 9).

Dla turbiny zlokalizowanej w Krośniewicach najczęściej wiało z prędkościami od 5 do 8 m/s, z tym, że w poszczególnych przedziałach prędkości wiatru częstotliwość jego występowania była bardzo zbliżona do siebie i wahała się od 12 do 14% (rys. 10).

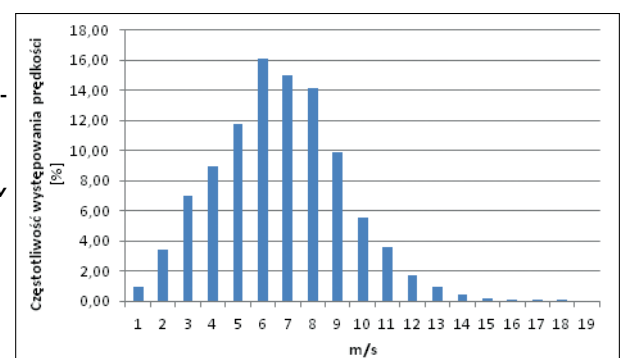
Wiatr odgrywa kluczową rolę w produkcji energii elektrycznej przez turbiny wiatrowe.

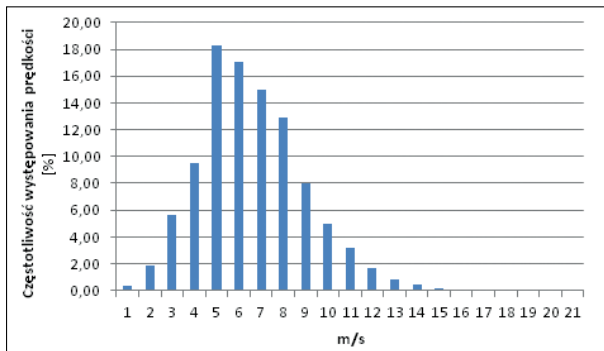
**Tabela 5 Liczba godzin pracy analizowanych turbin wiatrowych w 2021 roku**  
**Table 5. Number of operating hours of the analyzed wind turbines in 2021**

Ilość godzin, w których:	Burdzewice		Krośnice		Gniewino		Ciechanów	
	h	%	h	%	h	%	h	%
Turbina pracowała na 100%	122	1,4	194	2,2	20	0,2	81	0,9
Turbina pracowała na min 98%	302	3,4	389	4,4	107	1,2	213	2,4
Turbina pracowała na min 50%	1845	21,1	2350	26,8	1572	17,9	1686	19,2
Turbina produkowała mniej niż 50 % (lub potrzebowała energii z sieci)	6916	78,9	6411	73,2	7189	82,1	7074	80,8

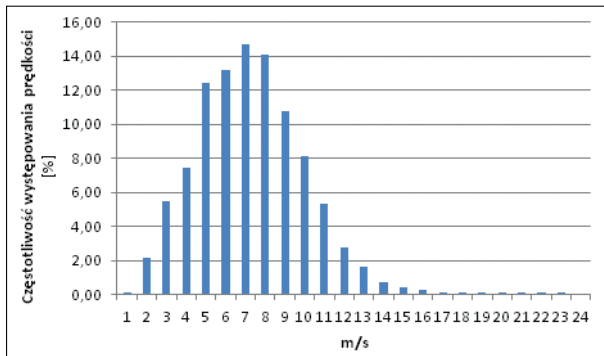
cią elektroenergetyczną. Poniższa tabela prezentuje liczbę godzin w ciągu roku, w których analizowane turbiny wymagały zasilania z sieci w celu zapewnienia poprawnej pracy wszystkich zabezpieczeń i systemów oraz procentowy udział pracy elektrowni w ciągu roku. V90 o mocy 2 MW potrzebuje dostaw energii z sieci przez ponad 1000 godzin w ciągu roku, nie generując jednocześnie własnej energii. Średnia produkcja energii dziennie wynosi około 13 MWh (tab. 6).

**Rys. 8.** Gęstość rozkładu prawdopodobieństwa prędkości wiatru dla turbiny w Ciechanowie  
**Fig. 8.** Probability distribution density of wind speed for the turbine in Ciechanów

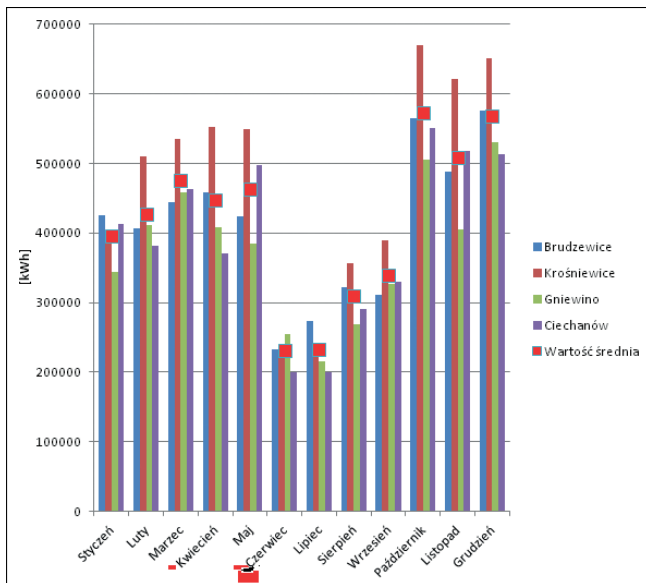




**Rys. 9.**  
Gęstość rozkładu prawdopodobieństwa prędkości wiatru dla turbiny w Gniewino  
*Fig. 9. Probability distribution density of wind speed for the turbine in Gniewino*



**Rys. 10.**  
Gęstość rozkładu prawdopodobieństwa prędkości wiatru dla turbiny w Krośniewicach  
*Fig. 10. Probability distribution density of wind speed for the turbine in Krośniewicach*



**Rys. 11.**  
Produkcja energii elektrycznej z analizowanych turbin wiatrowych w poszczególnych miesiącach 2021 roku  
*Fig. 11. Electricity production from the analyzed wind turbines in individual months of 2021*

Poniżej przedstawiono produkcję miesięczną analizowanych turbin wiatrowych, oraz wartość średnią dla wszystkich czterech turbin. Największą ilość energii wyprodukowała turbina Krośniewice, ilość wyprodukowanej przez nią energii w niektórych miesiącach była o około 10000 kWh większa niż turbin w pozostałych lokalizacjach. Wartość średnia dla wszystkich czterech turbin pokazuje zdecydowane zmniejszenie ilości wyprodukowanej energii w miesiącach letnich (czerwiec – wrzesień) oraz wzrost produkcji, szczególnie w miesiącach październik-grudzień (rys. 11).

**Podsumowanie**

Z analizy wyników badań wynika, że prędkość wiatru odgrywa dużą rolę w generowaniu energii elektrycznej przez turbiny

wiatrowe. Zmienność i dostępność wiatru w ciągu roku są również kluczowe. Dlatego przy inwestycji w turbiny wiatrowe istotne jest przeprowadzenie badań dotyczących prędkości wiatru w wybranej lokalizacji. Przykładowa turbina wiatrowa o mocy 2 MW w Polsce, zainstalowana na lądzie może rocznie wyprodukować około 5 GWh energii elektrycznej. Efektywność wytwarzanej mocy z analizowanych turbin wyniosła około 28% w stosunku do zainstalowanej mocy. Przez około 13% czasu w ciągu roku analizowane turbiny potrzebowały zewnętrznego zasilania z powodu zbyt niskiej prędkości wiatru. Czas pracy poszczególnych turbin z mocami bliskimi mocy maksymalnej (od 98 do 100%) trwał tylko od 1,4% do 6,6% roku w zależności od lokalizacji. Zmienność warunków atmosferycznych w ciągu roku po-

woduje znaczny spadek ilości wytworzonej energii w miesiącach letnich i prawie dwukrotny wzrost w miesiącach jesiennych i zimowych. Pomimo tych wszystkich ograniczeń trzeba zauważyć, że turbiny te wyprodukowały ciągu roku prawie 20 GWh energii elektrycznej nie powodując przy tym żadnej emisji zanieczyszczeń do środowiska.

**LITERATURA**

- [1] Bocard, N. Capacity factor of wind power realized values vs. estimates. *Energy Policy* 2009, 37, 2679–2688; doi: 10.2139/ssrn.1285435.
- [2] Gao, L.; Tao, T.; Liu, Y.; Hu, H. A field study of ice accretion and its effects on the power production of utility-scale wind turbines. *Renew. Energy* 2021, 167, 917–928; doi: 10.1016/j.renene.2020.12.014.
- [3] Gawronska, G.; Gawronski, K.; Król, K.; Gajęcka, K. Wind farms in Poland—Legal and location conditions. The case of Margonin wind farm. *Gll Geomat.* 2019, 3, 25–39; doi: 10.15576/GLL/2019.3.25.
- [4] <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/248-vestas-v90-gridstreamer> (dostęp: 6.11.2024).
- [5] <https://ieo.pl/aktualnosci/1676-energetyka-wiatrowa-w-polsce-marzec-2024-rekordowe-przyrosty-mocy-wiatrowych-w-latach-2022-2023> (dostęp: 2.11.2024).
- [6] <https://inzynieria.com/budownictwo/rankingi/66685,najwieksze-farmy-wiatrowe-w-polsce-2023-top-10,pozycja-rankingu-3-farma-wiatrowa-bialy-bor> (dostęp: 3.11.2024).
- [7] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Energetyka\\_wiatrowa\\_w\\_Polsce](https://pl.wikipedia.org/wiki/Energetyka_wiatrowa_w_Polsce) (dostęp: 2.11.2024).
- [8] <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/gospodarka-paliwowo-energetyczna-w-latach-2021-i-2022,4,18.html> (dostęp: 4.11.2024).
- [9] [https://www.psew.pl/wp-content/uploads/2024/09/Psew\\_2024\\_Energia\\_nowo\\_poprawione.pdf](https://www.psew.pl/wp-content/uploads/2024/09/Psew_2024_Energia_nowo_poprawione.pdf) (dostęp: 4.11.2024).
- [10] <https://www.psew.pl/wp-content/uploads/2024/10/Wind-energy-in-Poland-Report-2024.pdf> (dostęp: 4.11.2024).
- [11] <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-farm-wiatrowych-w-polsce/> (dostęp: 4.11.2024).
- [12] Linnemann, T.; Vallana, G. Wind energy in Germany and Europe Pt 2 Status, potentials and challenges for baseload application: European situation in 2017. *Int. Z. Fur. Kernenerg.* 2019, 64, 141–148.
- [13] Malecha Z., Sierpowski K.; Badania numeryczne wpływu erozji oraz zabrudzeń łopaty na pracę turbiny wiatrowej; 7-8/2023 Instal s.7-13; doi: 10.36119/15.2023.7-8.1.
- [14] Malecha Z.; Analiza ekonomiczna oraz wykorzystania mocy dla farmy wiatrowej typu offshore na Morzu Bałtyckim; 01/2023 Instal s. 4-11; doi: 10.36119/15.2023.1.1.
- [15] Malecha, Z.; Dsouza, G. Modeling of Wind Turbine Interactions and Wind Farm Losses Using the Velocity-Dependent Actuator Disc Model. *Computation* 2023, 11, 213; doi:10.3390/computation11110213.
- [16] Specyfikacja ogólna V90-1.8/2.0MW 50 Hz VCS, Vestas Denmark, 2012 strona 5,6,9,16,17,21.

*Publikacja została sfinansowana ze środków dotacji statutowej Politechniki Częstochowskiej, Wydziału Infrastruktury i Środowiska.*