

jest także wzrostem stężenia węglanów na powierzchni granulek wodorotlenku sodu, co hamuje absorpcję tego gazu.

Literatura

[1] https://pl.wikipedia.org/wiki/Wodorotlenek_sodu, 16.09.16.

[2] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrojemno%C5%9B%C4%87>, 16.09.16.

[3] Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków (red. Dojlido J.), Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1999.

[4] Zou J.H., Zhou Z.J., Wang F.C., Zhang W., Dai Z.H., Liu H.F., Yu Z.H., 2007, Modeling reaction kinetics of petroleum coke gasification with CO₂, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, **46** (7), 630-636.

Andrzej Żarczyński, Martyna Niedbalska, Marcin Zaborowski

andrzej.zarczyński@p.lodz.pl; 175038@edu.p.lodz.pl; marcin.zaborowski@p.lodz.pl

Institut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Ocena efektywności energetycznej dwóch turbin wiatrowych firmy Vensys

Wstęp

Według przyjętych w Unii Europejskiej założeń, produkcja energii z odnawialnych źródeł (OZE) w skali całej Wspólnoty ma w 2020 r. osiągnąć poziom 20%, a w poszczególnych krajach najmniej 15% [1-7]. Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych, m. in. biogazowni [2, 3, 8-15], siłowni (turbin) wiatrowych [1, 4, 16-26], paneli słonecznych [9, 27], wykorzystania siły spływu wód [28, 29], mimo różnych mankamentów znajduje istotne wsparcie ekonomiczne w państwach Unii Europejskiej i niektórych innych krajach świata [4-21]. Jedną z dróg prowadzących do osiągnięcia tego ambitnego celu jest rozwój energetyki wiatrowej [1, 4, 16-26]. Jednak ocena w społeczeństwie tego rodzaju energetyki OZE nie jest jednoznaczna. Wśród korzyści podkreśla się w szczególności brak emisji zanieczyszczeń podczas produkcji energii elektrycznej i niewielkie koszty eksploatacyjne. Poważnymi mankamentami tego źródła energii jest fakt, iż jest ono zależne od siły wiatru, tj. niestabilne w czasie, a przy tym turbiny wiatrowe generują hałas, zwłaszcza dokuczliwy przy usytuowaniu siłowni w pobliżu osiedli ludzkich. Ponadto energetyka wiatrowa powoduje zmiany w krajobrazie, uciążliwości zdrowotne i obniża atrakcyjność rekreacyjną, a niekiedy i materialną danego terenu [1, 4, 16-19, 21, 25]. Stwierdzane są także straty wśród populacji nietoperzy oraz ptaków [18, 20, 25]. Powyższe negatywy są przyczyną utrzymywania się złej opinii o energetyce wiatrowej i źródłem protestów społecznych,

zwłaszcza, gdy realna staje się na danym terenie budowa farm wiatrowych [25, 30]. Mimo to realizowane są w tym obszarze OZE zarówno badania podstawowe, półtechniczne jak i prace wdrożeniowe w wielu krajach świata, w tym i w Polsce [22-24, 26, 31]. Wymagają one jednak znacznych środków finansowych, których niedobór w Polsce jest wciąż problemem oczekującym rozwiązania.

Przedmiot i Metody Badawcze

Analizie poddawano pracę farmy wiatrowej zlokalizowanej w miejscowości Wincentów składającej się z trzech turbin energetycznych, lecz obserwacje wykonano tylko dwóch jednostek wyprodukowanych przez firmę Vensys o mocy znamionowej po 1,5 MW każda. Analizowane siłownie wiatrowe zostały zainstalowane w sierpniu 2014 r., każda wysokości 100 m i średnicy łopaty 77 m. Trzecia typu ENERCON E 66 oddana do użytku w 2012 r., o mocy także 1,5 MW nie była badana ze względów technicznych. Powstanie analizowanej farmy wiatrowej jest efektem realizacji projektu pt. „Budowa elektrowni wiatrowej o mocy 4,5 MW w miejscowości Wincentów, gmina Rusiec, woj. łódzkie”, obejmującego budowę trzech turbin wiatrowych. Projekt ów otrzymał wsparcie finansowe Unii Europejskiej w ramach działania 9.4. pt. „Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych” Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko [32]. Farmę wiatrową będącą częścią firmy pod nazwą Zakład Usługowo-Handlowy Czesław Szymański



(Wincentów, ul. Grabowa 33, 97-400 Bełchatów)¹ zbudowano na tyłach stacji paliw (fot. 1), w odległości kilkuset metrów od drogi krajowej numer 74.

Na świecie dotychczas zainstalowano około 12 200 turbin wiatrowych typu VENSYS o łącznej mocy znamionowej ponad 19 200 MW. Turbiny Vensys produkują dwa zakłady firmy Vensys Energy AG znajdujące się na terenie Niemiec, tj. w Neunkirchen – głównej siedzibie firmy oraz w Diepholz, gdzie usytuowana jest spółka-córka. Firma oferuje szereg rodzajów turbin, które różnią się średnicą łopaty wirnika, wysokością wieży oraz mocą mieszczącą się w zakresie 1-3 MW. Turbina wiatrowa firmy Vensys o mocy znamionowej 1,5 MW cechuje się względnie prostą konstrukcją oraz dużą wydajnością, a przy tym spełnia wymagania sieci elektroenergetycznej w Polsce [35, 36]. Cechą wyróżniającą elektrownie wiatrowe firmy Vensys jest napęd bezprzekładniowy, a także chłodzenie powietrzem, technologia użycia magnesów trwałych oraz efektywny konwerter energii [34]. Rezygnacja z przekładni oznacza redukcję kosztów napraw i konserwacji oraz zwiększa wydajność, zwłaszcza podczas pracy w warunkach częściowego obciążenia. Wysokiej jakości magnesy trwałe eliminują potrzebę wzbudzenia, co wpływa na wzrost wydajności energetycznej. System chłodzenia powietrzem, zarówno generatora jak i przetwornicy częstotliwości VENSYS, zmniejsza liczbę elementów instalacji i eliminuje potrzebę stosowania środków chłodzących i prac konserwacyjnych [33].

Badano pracę dwóch turbin typu Vensys 77, których parametry techniczne zamieszczono w ostatnim wierszu tabeli 1. Celem badań była ocena efektywności energetycznej dwóch turbin wiatrowych oznaczonych numerami 1 i 2 oraz porównanie ich wydajności. Analizowano wpływ

¹ Autorzy publikacji uprzejmie dziękują Panu Czesławowi Szymańskiemu – właścicielowi elektrowni wiatrowych w Wincentowie, za umożliwienie wykonania badań Pani Martynie Niedbalskiej w ramach realizacji jej pracy inżynierskiej, a także za zgodę na opublikowanie uzyskanych wyników w czasopiśmie Eliksir.

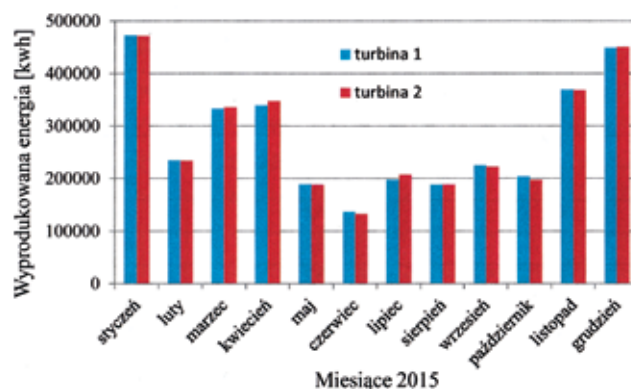


Fot. 1. Badana farma wiatrowa w miejscowości Wincentów (fot. M. Niedbalska)

siły wiatru jak również czasu działania turbin na ilość produkowanej przez nie energii w okresie całego 2015 roku. Przedstawiono także szczegółowe dane średnie zebrane w trzech wybranych miesiącach oraz dwóch dniach grudnia 2015 r. Wyniki przedstawiono na rys. 1 i 2, a także w tabelach 2 oraz 3.

Wyniki i Dyskusja

Na rys. 1 przedstawiono zależność skali produkcji energii elektrycznej przez obie turbiny wiatrowe w okresie kolejnych 12 miesięcy 2015 r.



Rys. 1. Produkcja energii w poszczególnych miesiącach w 2015 roku

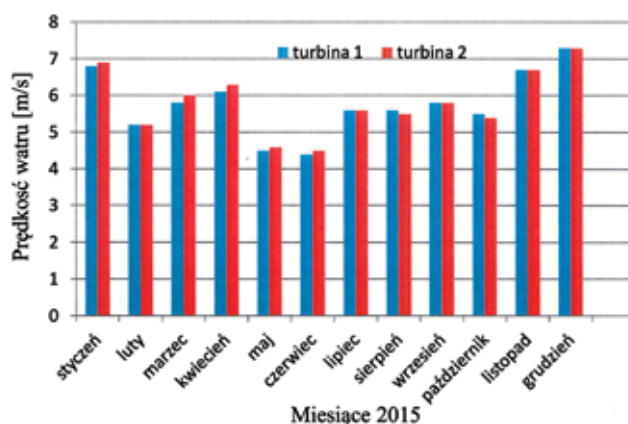
Tabela 1. Specyfikacja techniczna turbin typu Vensys 77 [33, 34]

Moc [MW]	Użyteczna prędkość wiatru [m/s]	Zakres prędkości obrotowej U/min	Wysokość wieży [m]	Średnica łopaty [m]
1,0	3-22	8-16,5	85	77
1,0	3-22	8-16,5	100	77
1,5	3-22	9,0-17,3	61,5	77
1,5	3-22	9,0-17,3	85	77
1,5	3-22	9,0-17,3	100	77

Na podstawie powyższych danych stwierdzono duże dysproporcje dotyczące poszczególnych miesięcy. Najwięcej energii elektrycznej turbiny 1 oraz 2 wyprodukowały w styczniu, tj. 473 503 kWh oraz 472 232 kWh. Turbina 1 wyprodukowała o 1271 kWh więcej niż turbina 2. Najmniej efektywnie turbiny pracowały w miesiącu czerwcu, produkcja energii wyniosła wtedy odpowiednio: 137 710 kWh przez turbinę 1 oraz 133 990 kWh przez siłownię 2. Widzimy, że rozbieżność jest bardzo duża, średnia różnica produkcji między styczniem, a czerwcem wyniosła 268 462,5 kWh. Różnica ta to praktycznie dwukrotność produkcji w czerwcu. Średniomiesięczna produkcja energii przez turbinę 1 to 278 739 kWh, natomiast przez turbinę 2 to 279 378 kWh.

Najważniejszym parametrem decydującym o wielkości produkowanej energii jest siła wiejącego wiatru. Rys. 2 przedstawia uśrednioną wartość prędkości wiejącego wiatru w poszczególnych miesiącach. Wiatr wiał z największą siłą w miesiącach zimowych, najwyższą wartość odnotowano w grudniu – 7,3 m/s. Z równie dużą prędkością wiał także w listopadzie i styczniu. Sytuacja zmieniła się w miesiącach letnich, najłagodniejszy średni wiatr wystąpił w czerwcu, tj. 4,4 oraz 4,5 m/s. Wartości średnioroczne wiatru to 5,78 m/s zmierzone przy turbinie 1 oraz 5,82 m/s odnotowane w odniesieniu do turbiny 2.

Kolejnym ważnym parametrem decydującym o ilości produkowanej energii jest liczba godzin pracy turbiny wiatrowej. Tabela 2 zawiera dane dotyczące pracy obu turbin w okresie trzech miesięcy (wrzesień, październik i listopad)



Rys. 2. Średnia prędkość wiatru w poszczególnych miesiącach 2015 roku

oraz w dniach 22 i 23 grudnia 2015 r., z uwzględnieniem czasu działania oraz wydajności. Należy pamiętać, że warunkiem koniecznym do pracy turbiny jest wiatr o prędkości minimum 3 m/s. Gdy wiatr wieje z mniejszą prędkością, siłownia wiatrowa nie uruchamia się. Wydajność turbiny wyrażono w procentach, a oznacza ona liczbę godzin w których siłownia działała w stosunku do całkowitego czasu, w którym po uruchomieniu się mogła pracować. Stwierdzono, że dzienna produkcja energii elektrycznej także zależała od siły wiatru, np. wynosiła około 24 707 kWh przy średniej sile wiatru 9,65 m/s, natomiast około 28 304 kWh przy wietrze 10,2 m/s.

Tabela 2. Dane dotyczące pracy obu turbin w okresie trzech miesięcy i w wybranych dniach grudnia 2015 r.

Okres	Numer turbiny	Ilość wyprodukowanej energii [kWh]	Prędkość wiatru [m/s]	Liczba godzin pracy turbiny w miesiącu	Wydajność w godzinach pracy turbiny [%]
Wrzesień	1	225 332	5,8	716,0	99,97
	2	223 452	5,8	711,9	99,21
Październik	1	204 220	5,5	739,5	99,99
	2	198 190	5,4	738,6	99,99
Listopad	1	370 083	6,7	717,7	99,96
	2	369 019	6,7	717,3	99,90
22 grudnia	1	28 167	10,02	24	100
	2	28 442	10,02	24	100
23 grudnia	1	24 288	9,60	22	91,67
	2	25 127	9,50	23	95,83



Tabela 3. Dane dotyczące warunków pracy i produkcji energii elektrycznej przez badane turbiny w okresie 2015 r.

Numer turbiny	Rzeczywista /teoretyczna ilość wyprodukowanej energii * [kWh/rok]	Średnia prędkość wiatru [m/s]	Roczna liczba godzin pracy turbiny	Roczna wydajność turbiny w % godzin pracy
1	3 344 865/3 547 887*	5,78	8663,5	99,5
2	3 352 535/3 559 900*	5,82	8640,4	99,4

* obliczenia wykonano korzystając z zależności produkcji energii elektrycznej od prędkości wiatru zamieszczonych w internecie na stronie Portal Polish Wind Energy [34].

Z informacji udzielonych przez Właściciela elektrowni wiatrowej wynika, iż system komputerowy turbin wiatrowych co pewien czas samoczynnie resetuje się lub wprowadza aktualizacje i w tym czasie siłownia przestaje pracować. Wynikające stąd zakłócenia są przyczyną obniżania się wydajności turbin, a tym samym zmniejszenia liczby godzin ich pracy.

Tabela 3 zawiera zestawienie średniorocznej produkcji energii dla obu turbin wiatrowych. W okresie całego roku turbina 1 wyprodukowała 3 344 865 kWh energii elektrycznej, natomiast turbina 2 – 3 352 535 kWh. Turbina numer dwa była wydajniejsza energetycznie od jednostki numer jeden tylko o 7670 kWh. Stwierdzono, że wyniki rzeczywiste ilości wyprodukowanej energii elektrycznej przez obie turbiny są tylko nieznacznie niższe od teoretycznych, obliczonych dla tej samej prędkości wiatru [34].

Wnioski

Analiza literatury dotyczącej energetyki wiatrowej oraz badania dwóch turbin Vensys 77 o mocy znamionowej po 1,5 MW, zbudowanych w sierpniu 2014 roku w Wincentowie, umożliwiły sformułowanie następujących wniosków:

- wytwarzanie energii elektrycznej z wykorzystaniem siły wiatru jest jednym z efektywnych kierunków energetyki OZE mimo, że wykazuje zmienność w czasie;
- istotnymi mankamentami tego źródła energii jest także hałas generowany przez turbiny wiatrowe, zwłaszcza dokuczliwy przy umiejscowieniu siłowni w pobliżu osiedli ludzkich, ponadto zmiany w krajobrazie i spadek

atrakcyjności rekreacyjnej, a niekiedy wartości danego terenu;

- odnotowywane są także straty przyrodnicze, zwykle wynikające z lokalizacji turbin na szlakach przelotu ptaków i nietoperzy;
- powyższe negatywy są przyczyną złej opinii o energetyce wiatrowej i protestów społecznych, zwłaszcza, gdy realna staje się na danym terenie budowa nowych farm wiatrowych;
- stwierdzono, że w 2015 r. obydwie turbiny wiatrowe Vensys 77 wytwarzały energię elektryczną z porównywalną efektywnością; turbina 2 wyprodukowała nieco więcej energii niż turbina 1;
- produkcja energii elektrycznej z udziałem obydwu turbin była największa w styczniu i grudniu, a najmniejsza w czerwcu, przy czym zależała głównie od prędkości wiatru;
- stwierdzono, że dzienna produkcja energii także zależała od prędkości wiatru;
- produkowana energia elektryczna przekazywana była odpłatnie do zbiorczej sieci energetycznej, chociaż istniała możliwość jej gospodarczego zużytkowania przez Właściciela siłowni wiatrowych [25].

Literatura

- Wiśniewski G., Michałowska-Knapp K., 2010, Wizja rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 r., Czysta Energia, 4, 24-28.
- Curkowski A., Mroczkowski P., Oniszk-Popławska A., Wiśniewski G., Biogaz rolniczy – produkcja i wykorzystanie. Mazowiecka Agencja Energetyczna Sp. z o. o., Warszawa 2009, http://www.mae.com.pl/files/poradnik_biogazowy_mae.pdf, 26.10.2016.
- Aleksandrow S., Michalak D., 2013, Analiza potencjału re-

gionu łódzkiego pod kątem budowy biogazowni, *Acta Innovations*, 7, 28-44.

[4] Mroczek B., Kurpas D., Klera M., 2013, Sustainable Development and Wind Farms, *Problemy Ekorozwoju/Problems of Sustainable Development*, 8(2), 113-122.

[5] Czerna-Grygiel J., 2013, Technologie w produkcji energii odnawialnej a zrównoważona polityka energetyczna, *Ekologia i Technika*, 21(5), 244-249.

[6] Kochański M., 2014, Finansowanie instrumentów poprawy efektywności energetycznej w Polsce w latach 2014-2020, *Acta Innovations*, 10, 65-86.

[7] Kardasz P., Bentkowska M., Błasiński T., Cieńciała M., Doscoczek J., Haller P., Magdziak-Tokłowicz M., 2014, Stan odnawialnych źródeł energii w Polsce, *Aura*, 8, 8-11.

[8] Kociotek-Belawejder E., Wilk Ł., 2011, Przegląd metod usuwania siarkowodoru z biogazu, *Przem. Chem.*, 90(3), 389-397.

[9] Sibiński M. 2014, wykorzystanie instalacji fotowoltaicznych w celu poprawy niezależności energetycznej mleczarni wyposażonej w reaktor biogazowy, *Acta Innovations*, 10, 14-30.

[10] Żarczyński A., Rosiak K., Anielak P., Wolf W., 2014, Praktyczne metody oczyszczania biogazu z siarkowodoru. Cz. 1. Zastosowanie sorbentów stałych, *Acta Innovations*, 12, 24-35.

[11] Zagdański D., 2014, Realizacja i funkcjonowanie biogazowni rolniczej. Przykład wybranego obiektu, *Aura*, 6, 16-18.

[12] Klemba K., 2015, Biogazownia jako potencjalne źródło zagrożeń emisjami odorowymi oraz działania prewencyjne, *Eliksir*, 2, 22-27.

[13] Smolarek T., 2016, Kalkulator biogazowy jako użyteczne narzędzie do obliczeń wskaźników pracy biogazowni, *Eliksir* 1(3), 52-55.

[14] Borek K., 2016, Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce, *Aura*, 7-8, 21-23.

[15] Kwaśny J., Balcerzak W., Rezka P., 2016, Biogaz i charakterystyka wybranych metod jego odsiarczania, *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, 33(63), 129-141.

[16] Van den Berg G. P., 2004, Effects of the wind profile at night on wind turbine sound, *Journal of Sound and Vibration*, 277(4-5), 955-970.

[17] Leventhall G., 2006, Infrasound from wind turbines: fact, fiction or deception, *Canadian Acoustics*, 34(2), 29-36.

[18] Kunz T. H., Arnett E. B., Erickson W. P., Hoar A. R., Johnson G. D., Larkin R. P., Strickland M. D., Thresher R. W., Tuttle M. D., 2007, Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses, *Frontiers in Ecological and the Environment*, 5(6), 315-324.

[19] Pedersen E., Wayne K., 2007, Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments, *Occupational and Environmental Medicine*, 64(7), 480-486.

[20] Wuczyński A., Chylarecki P., Tryjanowski P., 2009, Ptaki a rozwój energetyki wiatrowej – aktualne problemy, *Chrońmy Przyrodę*

Ojczystą, 65(5), 323-328.

[21] Shephard D., Mc Bridge D., Welch D., Dirks K.N., Hill E.M., 2011, Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life, *Noise Health*, 13(54), 333-339.

[22] Szczyrba T., Boczar T., 2013, Badanie efektywności turbin wiatrowych dużej mocy, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, 261, 97-104.

[23] Jarzyna W., Pawłowski A., Viktorovich N., 2014, Technological development of wind energy and compliance with the requirements for sustainable development, *Problemy Ekorozwoju – Problems of Sustainable Development*, 9(1), 167-177.

[24] Piasecka I., Kruszelnicka W., Ropińska P., Tomporowski A., 2015, Ocena energochłonności cyklu istnienia lądowej elektrowni wiatrowej typu Vestas V100, *Ekologia i Technika*, 23(3), 149-152.

[25] Niedbalska M., Praca inżynierska pt. Analiza wpływu na środowisko siłowni wiatrowych i ocena efektywności energetycznej dwóch jednostek firmy Vensys, *Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Politechnika Łódzka, Łódź* 2015.

[26] Witowski A., 2016, Wielka Brytania inwestuje w energetykę wiatrową, *Przemysł Chemiczny*, 95(9), 1670.

[27] Zarębski P., Borzyszkowski J., Marczak M., 2015, Sustainable Development and Tourism. Example of Investments Connected with the Installation of Solar Collectors in Seaside Lodging Facilities, *Annual Set The Environment Protection/Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 143-164.

[28] Majewski W., 2015, Kompleksowe zagospodarowanie dolnej Wisły szansą dla regionu i Polski, *Gospodarka Wodna*, 2, 47-52.

[29] Granatowicz J., 2016, Siarzewo i kolejne stopnie wodne na dolnej Wiśle w kontekście potencjału hydroenergetycznego Polski, *Gospodarka Wodna*, 8, 232-235.

[30] Staniszevska M., 2014, Syndrom Nimby jako przykład konfliktu społecznego o charakterze lokalnym, *Acta Innovations*, 12, 17-23.

[31] Korycki K., 2014, Możliwości CTT OZE w zakresie pomiarów wietrzności, badania mikroturbin wiatrowych i napowietrzania terenów miejskich, *Acta Innovations*, 13, 25-30.

[32] Zakład Usługowo-Handlowy Czesław Szymański, *O Nas*, <http://www.ewwincenow.pl/>, 22.08.2016.

[33] Więcej energii dla naszej przyszłości, <http://www.vensys.de/energy-pl/unternehmen/ueber-uns.php>, 05.10.2016.

[34] Portal Polish Wind Energy, Vensys 77, <http://www.polishwindenergy.com/index.php/elektrownie-wiatrowe-w-polsce/item/45-vensys-77>, 25.10.2016.

[35] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, *Dz. U.* 2015, poz. 478.

[36] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne, *Dz. U.* 1997, nr 54, poz. 348, tekst jednolity *Dz. U.* 2012, poz. 1059 oraz *Dz. U.* 2013, poz. 984 i poz. 1238.

