

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica VII (2014)

Krzysztof Pytel, Kinga Górka

Możliwości i wykorzystanie energetyki wiatrowej w Polsce

Wprowadzenie

Polska jest położona w strefie klimatu umiarkowanego o charakterze przejściowym, pomiędzy klimatem morskim a kontynentalnym, czego rezultatem jest ścieranie się wilgotnego powietrza z Atlantyku z suchym powietrzem z kontynentu euroazjatyckiego. W Polsce północnej i zachodniej przeważa klimat umiarkowany morski z łagodnymi, wilgotnymi zimami i chłodnymi latami, natomiast we wschodniej – klimat kontynentalny z ostrymi zimami oraz gorętszymi i bardziej suchymi latami [1]. Polska znajduje się więc w strefie wiatrów zmiennych z przewagą zachodnich stanowiących 60% dni wietrznych w roku. We wschodniej części kraju zwiększa się procent wiatrów wschodnich, natomiast w górach – południowych. Ponadto na przestrzeni roku układ wiatrów jest nierównomierny, co objawia się w miesiącach od lipca do września dominacją wiatrów z zachodu, z kolei w okresie zimowym, głównie w grudniu i styczniu, występowaniem wiatrów wschodnich. W Polsce są to głównie wiatry słabe i umiarkowane w zakresie prędkości od 7 do 40 km/h. Wiatry silne i bardzo silne pojawiające się nad morzem oraz w górach osiągają prędkość do ponad 120 km/h [2]. Analizując możliwości optymalnej lokalizacji miejsca pod budowę elektrowni wiatrowej, zauważamy, że sprzyjające warunki klimatyczne nigdzie nie są idealne, zaś w Polsce nie ma regionu, który mógłby w pełni służyć energetyce wiatrowej [3]. Proces rozmieszczenia parku wiatrowego rozpoczynamy od studiów kierunków i prędkości wiatrów [4]. Analizując dane długookresowe, tworzona jest dynamicznie aktualizowana mapa wiatrowa wskazująca potencjalne lokalizacje elektrowni wiatrowych [5], do których dla Polski należą okolice środkowego wybrzeża, wyspa Wolin, Suwalszczyzna, Wielkopolska, Mazowsze, Beskid Śląski, Beskid Żywiecki, Bieszczady oraz Pogórze Dynowskie. Inne lokalizacje są mniej korzystne lub niekorzystne.

Reasumując, pomimo że nie wszędzie jest korzystna tego typu inwestycja nstawiona na produkcję dużych ilości czystej energii, opłacalnym rozwiązaniem okazać się może instalacja małych elektrowni wiatrowych wykorzystujących lokalnie korzystne warunki wiatrowe. Biorąc pod uwagę warunki wiatrowe w skali makro na obszarze Polski oraz organizację i odbiór produkowanej mocy, a dalej wsparcie

dla inwestowania w produkcję energii elektrycznej z elektrowni wiatrowych, notujemy, pomimo wysokiego potencjału, dalekie miejsce Polski w rankingu państw rozwijających energetykę wiatrową [4, 6, 7, 22].

Lądowa energetyka wiatrowa w Polsce

Początki energetyki wiatrowej w Polsce datują się na ostatnią dekadę XX wieku, kiedy to pierwsza nowoczesna elektrownia wiatrowa Nordtank o mocy 150 kW powstała w województwie pomorskim w Lisewie, przy Elektrowni Wodnej w Żarnowcu, w 1991 roku. Kolejną inwestycją na Pomorzu była elektrownia wiatrowa w Swarzewie (Folkecenter). Dalej, w grudniu 1993 roku Nowomąg uruchomił pierwszy polski prototyp elektrowni wiatrowej EW100-22-20NOWOMAG na Górze Połom w Rytrze (Małopolska). W przeciągu kolejnych lat w Polsce powstawały następne, głównie pojedyncze siłownie wiatrowe [8]. Pierwsza duża farma wiatrowa w Polsce, Barzowice o mocy 5 MW, zlokalizowana została w Barzowickiej Górze, gmina Darłowo (woj. zachodniopomorskie) w kwietniu 2001 roku. Farma wiatrowa to zespół 6 elektrowni Vestas A/S, typu V52 o mocy 833 kW. Kolejną farmą powstałą w 2001 roku, składającą się z 9 elektrowni o mocy 2MW każda (łącznie 18 MW) była farma Cisowo. Roczną produkcję energii elektrycznej z tej farmy oszacowano na około 41 mln kWh [9]. W styczniu 2003 roku uruchomiono farmę Zagórze nad Zalewem Szczecińskim, utworzoną z 15 elektrowni Vestas V80 o mocy 2 MW każda (łącznie 30 MW). W momencie uruchomienia była to największa farma wiatrowa w Polsce z zainstalowaną mocą stanowiącą ponad połowę mocy wszystkich elektrowni wiatrowych w kraju. Rocznie farma produkuje około 56–72 GWh energii elektrycznej [9]. W 2005 r. powstała Farma Wiatrowa Lisewo (woj. pomorskie), która składała się początkowo z 14 elektrowni wiatrowych o mocy 600 kW, a rozbudowana została w 2007 roku o kolejne trzy siłownie wiatrowe (łącznie 10,8 MW) [10]. Farma Tymień, uruchomiona w 2006 roku w okolicach miejscowości Tymień koło Kołobrzegu, do 2008 roku była największą farmą wiatrową w kraju (łącznie 50 MW), składała się z 25 turbin Vestas V80 o mocy 2,0 MW każda [11]. W 2009 roku została oddana do użytku elektrownia Margonin w miejscowości Margonin, pomiędzy Wągrowcem a Piłą (woj. wielkopolskie). Farma składa się z 60 siłowni o mocy 2 MW każda (łącznie 120 MW). Rocznie produkuje około 260 GWh [12]. W 2011 roku została uruchomiona między innymi farma w Pelplinie (woj. pomorskie), zbudowana z 24 elektrowni Gamesa G90 o mocy 2 MW każda, zaś koszt inwestycji to ponad 227 mln zł [13]. Z końcem 2012 roku uruchomiono farmę Pągów (woj. opolskie). Składa się ona z 17 elektrowni VESTAS V112 o mocy 3,075 MW każda (łącznie ponad 52 MW) [14]. Na początku sierpnia 2013 roku uruchomiono farmę Taczalin (woj. dolnośląskie). Na Ziemi Legnickiej jest to największa inwestycja w odnawialne źródła energii. Farma Taczalin liczy 22 elektrownie wiatrowe REpower MM92 o mocy 2,05 MW każda (łącznie ponad 45 MW) [15]. Do końca 2013 roku farma wiatrowa w Darłowie powinna liczyć blisko 100 elektrowni wiatrowych (łącznie ponad 250 MW) [16].

Tab. 1. Elektrownie wiatrowe w Polsce (stan 30 września 2013 r.) [2, 17]

Województwo	Liczba instalacji	Łączna moc [MW]
zachodniopomorskie	54	922,896
pomorskie	35	332,280
kujawsko-pomorskie	216	297,394
warmińsko-mazurskie	24	213,075
podlaskie	20	122,700
mazowieckie	63	151,790
łódzkie	168	293,594
wielkopolskie	123	369,680
lubuskie	7	56,600
dolnośląskie	9	122,515
opolskie	6	92,149
śląskie	16	11,550
świętokrzyskie	14	6,066
małopolskie	11	2,969
podkarpackie	24	82,188
lubelskie	5	2,150
łącznie	795	3079,596

W Polsce znajduje się 795 elektrowni wiatrowych o łącznej mocy 3079,596 MW (stan 30 września 2013 r., por. tab. 1). Najwięcej farm wiatrowych działa w województwie kujawsko-pomorskim (216 instalacji). Z kolei w województwie zachodniopomorskim występuje największa łączna zainstalowana moc (922,896 MW). Tego typu elektrownie znajdują się w każdym z województw i co roku przybywają nowe.

Pomimo faktu, że pierwsza elektrownia wiatrowa rozpoczęła pracę ponad dwadzieścia lat temu, dopiero ostatnie lata przyniosły bardzo dynamiczny i widoczny w Polsce rozwój tego sektora energetyki (tab. 2). Analizując dane zawarte w tabelach 1 oraz 2 zauważa się, iż początkowo elektrownie były budowane jedynie w północnej części kraju (z uwagi na lepsze warunki klimatyczne), z czasem jednak zaczęto budować elektrownie wszędzie, co jest bardzo pozytywnym zjawiskiem obrazującym rozkwit energetyki wiatrowej na obszarach całej Polski. W pierwszych latach XXI wieku nastąpił dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej w Polsce, moc zainstalowana wzrosła z 83,3 MW w 2005 roku do 1180,3 MW w roku 2010, a ponadto w 2009 roku polskie elektrownie wiatrowe wyprodukowały około 1045 GWh energii, co stanowiło 0,69% całkowitej energii elektrycznej wyprodukowanej w kraju. W tym też roku Polska została umieszczona na trzynastym miejscu spośród państw Unii Europejskiej pod względem produkcji energii wiatrowej [18].

Tab. 2. Farmy wiatrowe w Polsce o mocy powyżej 5 MW (stan 30 września 2013 r.) [2, 17]

Miejscowość	Data uruchomienia	Moc [MW]
Barzowice	2001	5
Cisowo	2001	30
Zagórze	2003	20
Lisewo	2005	10,8
Tymień	2006	50
Gniezdzewo	2006	22
Malbork	2007	18
Łebcz	2007	3,2
Kisielice	2007 i 2011	80,5
Kamieński	2007	30
Jagniątko	2007	30,6
Zajączkowo	2008	48
Śniatowo	2008	32
Łebcz II	2008	8
Krzęcin	2008	6
Karścino–Mołtowo	2008	90
Darżyno	2008	12
Inowrocław	2008	32
Hnatkowice–Orzechowce	2009	12
Łęki Dukielskie	2009	10
Suwałki	2009	41
Tychowo – Noskowo	2009	50
Margonin	2010	120
Karnice	2010	31
Karcino	2010	51
Piecki	2011	32
Tychowo	2011	35
Lipniki	2011	30
Łukaszów	2011	34
Pelplin	2011	48
Modlikowice	2011	24
Taciewo	2012	30
Pągów	2012	51
Nowy Tomyśl	2012	5
Krobia	2012	33
Golice	2012	38
Górzycza	2012	28
Taczalin	2013	44
Darłowo	W budowie 2013	250

Tab. 3. Moc zainstalowana w elektrowniach wiatrowych w Polsce w latach 2005–2013 r. (stan 31 grudnia 2013 r.) [8, 17]

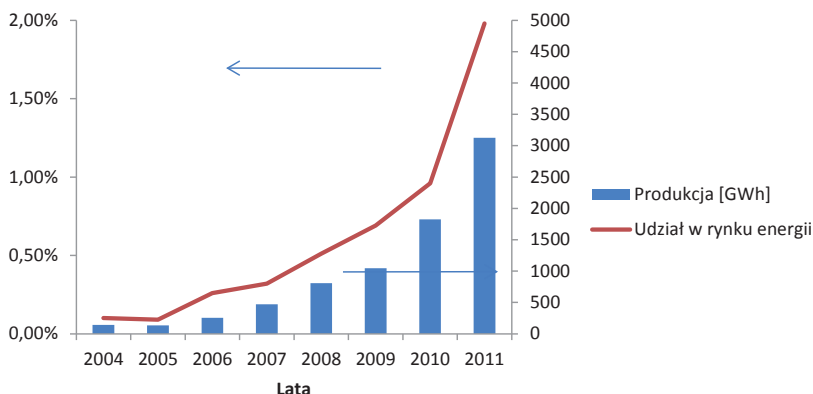
Rok	Moc zainstalowana [MW]
2005	83,280
2006	152,560
2007	287,909
2008	451,090
2009	724,657
2010	1180,272
2011	1616,361
2012	2496,748
2013	3389,541

Do końca 2011 roku łączna moc zainstalowana w elektrowniach wiatrowych w Polsce wynosiła 1616,361 MW (tab. 3). W 2012 roku nastąpił przyrost o kolejne 880,4 MW, co stanowiło łącznie 2496,748 MW mocy zainstalowanej do końca 2012 roku. Obecnie (30 września 2013 r.) elektrownie wiatrowe w Polsce cechują się łączną mocą zainstalowaną na poziomie około 3079,596 MW.

Analizując ilość energii elektrycznej wytworzonej w elektrowniach wiatrowych w latach 2005–2013 (tab. 4) zaobserwować można produkcję 135 GWh w 2005 roku, następnie z każdym kolejnym rokiem powstawały nowe farmy wiatrowe, produkowały w 2007 roku 472 GWh, a w 2010 roku było 1823,3 GWh. Na koniec roku 2011 osiągnięto 3126,5 GWh energii elektrycznej pozyskanej z energii wiatru (rys. 1). W kolejnym roku nastąpił przyrost o 1472,3 GWh, co stanowiło produkcję 4598,9 GWh energii w 2012 roku. Do końca września 2013 roku polskie elektrownie wiatrowe przyczyniły się do produkcji 2854,4 GWh energii elektrycznej.

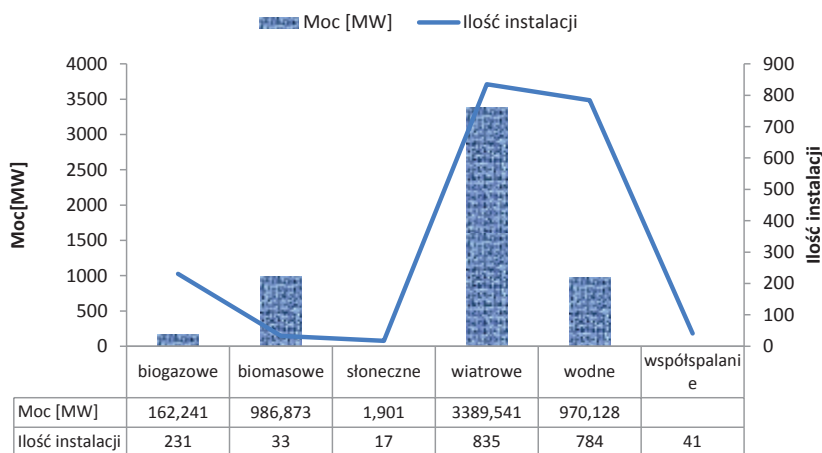
Tab. 4. Ilość energii elektrycznej wytworzonej w elektrowniach wiatrowych w latach 2005–2013 (stan na 30 września 2013 r.) [8, 17]

Rok	Ilość [MWh]
2005	135 291,628
2006	257 037,412
2007	472 116,429
2008	806 318,563
2009	1 045 166,230
2010	1 823 297,061
2011	3 126 526,394
2012	4 598 875,025
2013	2 854 408,440



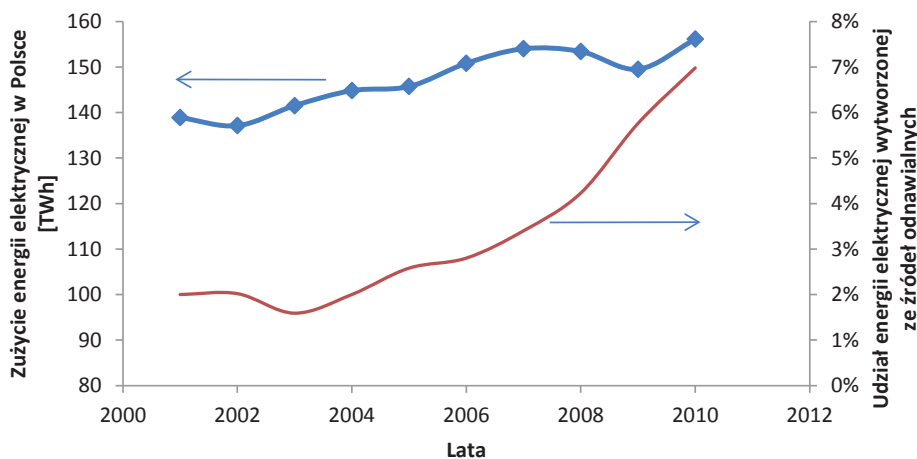
Rys. 1. Udział energii wiatru w krajowym zużyciu energii elektrycznej w latach 2004–2011 [17]

W ogólnym krajowym zużyciu energii elektrycznej udział energii wiatrowej stopniowo wzrasta (rys. 1). W 2004 roku z energii wiatru wyprodukowano 142,3 GWh, co stanowiło 0,10% zużycia całkowitej energii elektrycznej, w 2007 roku zależność ta wynosiła 0,32% (472,1 GWh), a w 2011 roku wzrosła do 1,98% (3126,5 GWh). Stopniowo zwiększa się zużycie energii wiatrowej w Polsce, co jest dobrym znakiem w rozwoju polityki wiatrowej. Do końca września 2013 roku w Polsce zarejestrowanych było 795 instalacji o łącznej mocy 3079,596 MW, przy czym w porównaniu z innymi źródłami odnawialnymi moc zainstalowana w elektrowniach wiatrowych jest 3 razy większa niż moc zainstalowana w elektrowniach wykorzystujących biomasę do celów energetycznych czy elektrowni wodnych. Energia pozyskana z wiatru stanowi blisko 59,5% mocy zainstalowanej w odnawialnych źródłach energii (rys. 2).



Rys 2. Zestawienie instalacji odnawialnych źródeł energii w Polsce (stan na 31 grudnia 2013 r.) [17]

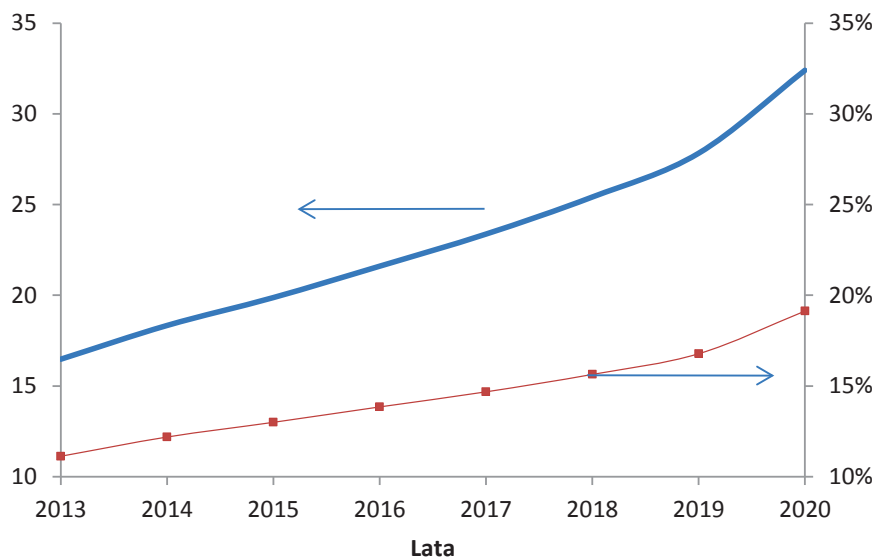
Energia elektryczna wytwarzana ze źródeł odnawialnych co roku stopniowo wzrasta. Produkcja energii odnawialnej w stosunku do ogólnej energii elektrycznej w 2001 roku kształtowała się na poziomie 2%, w 2005 roku wynosiła 2,58%, by w 2010 roku osiągnąć poziom 6,98% udziału (rys. 3). Jest to proces powolny, ale widać wzrost zainteresowania tego rodzaju przedsięwzięciami.



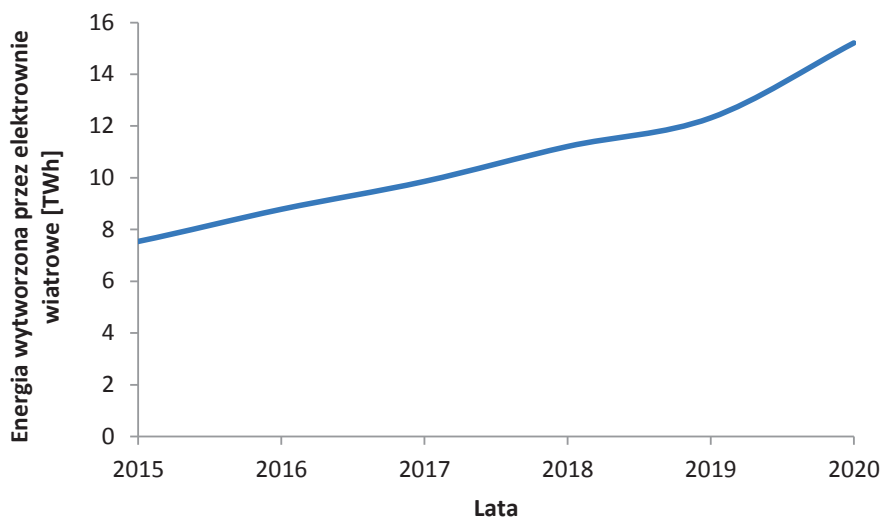
Rys 3. Zużycie energii elektrycznej oraz procentowy udział energii elektrycznej wytworzonej z OZE w zużyciu energii elektrycznej w Polsce w latach 2001–2010 [17]

W Polsce będzie produkowane 15% energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, jak zakłada Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych. Uzyskanie przez Polskę zakładanego udziału energii z OZE w całości produkowanej energii w roku 2020 z 0,5-procentową nadwyżką energii ze źródeł odnawialnych umożliwi przekazanie tej nadwyżki państwom członkowskim [17]. Celem strategicznym polityki energetycznej w Polsce jest zwiększenie udziału energii wytwarzanej w odnawialnych źródłach w bilansie energii finalnej do 15%, co wynika z dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku. Aby zrealizować ten cel, udział procentowy energii elektrycznej wytworzonej w źródłach energii odnawialnej w całkowitym krajowym zużyciu energii elektrycznej brutto powinien osiągnąć poziom 19,13% w 2020 roku (rys. 4).

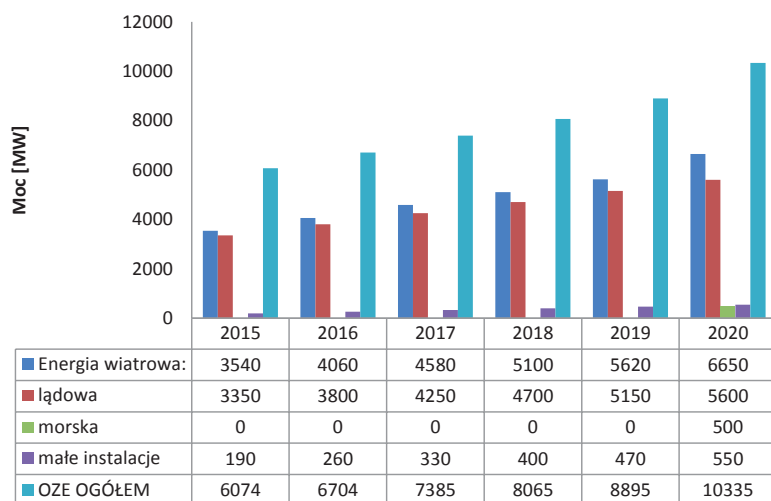
Zgodnie z założeniami Ministerstwa Gospodarki wielkość produkcji energii elektrycznej przez turbiny wiatrowe w latach 2013–2020 będzie stopniowo rosła. W 2013 roku planowane jest, by energia wytworzona w elektrowniach wiatrowych wynosiła 5 327 GWh, a już w 2020 roku ma ona stanowić 15 210 GWh (rys. 5, 6).



Rys. 4. Planowany udział odnawialnych źródeł energii według Krajowego planu działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych [17]



Rys. 5. Prognozowana wielkość produkcji energii elektrycznej przez turbiny wiatrowe w latach 2015–2020 [19]



Rys 6. Prognozowana moc turbin wiatrowych w latach 2015–2020 w stosunku do zainstalowanej mocy ogółem [19]

Morska energetyka wiatrowa w Polsce

W Polsce morska energetyka wiatrowa w ogóle nie jest rozwinięta. Jak dotąd na polskim Bałtyku nie uruchomiono żadnej elektrowni wiatrowej, mimo iż Polska posiada duży potencjał w zakresie budowy morskich farm wiatrowych, co wynika to z warunków naturalnych – obszar polskiej strefy ekonomicznej jest jednym z większych potencjałów energii wiatru na Morzu Bałtyckim. W związku z planami inwestycyjnymi, które wynikają z wniosków o wydanie pozwoleń lokalizacyjnych dla morskich farm wiatrowych na polskich obszarach morskich, a także na podstawie licznych szacowań możliwe jest, by do roku 2025 powstały morskie farmy wiatrowe o łącznej mocy sięgającej 5 GW, co zapewniłoby produkcję energii na poziomie rzędu 19 TWh rocznie i ułatwiłoby osiągnięcie celów unijnych w zakresie udziału energii odnawialnej [20].

W Polsce, zgodnie z ustawą o obszarach morskich, morskie farmy wiatrowe mogą być lokalizowane tylko na obszarze wyłącznej strefy ekonomicznej, czyli w odległości około 22,22 km od brzegu. Wyłączna strefa ekonomiczna Polski obejmuje obszar około 22,5 tys. km² [21]. Całkowita powierzchnia obszarów morskich, na których można uruchomić farmy wiatrowe wynosi 3590 km², co – uwzględniając uwarunkowania ekonomiczne – odpowiada potencjałowi rzędu 20 GW [21]. Utworzono mapę obszarów morskich, gdzie mogą być potencjalnie lokalizowane farmy wiatrowe [21]. Wybrano ponad 100 najbardziej odpowiednich miejsc o łącznej powierzchni 2503,45 km²:

- Ławica Słupska – 50 miejsc, 1079,64 km².
- Żarnowiec – 12 miejsc, 284,22 km².

- Ławica Środkowa – 22 miejsca, 501,61 km².
- Okolice Ławicy Odrzańskiej – 25 miejsc, 637,98 km² [21].

Polska polityka energetyczna zakłada stworzenie potencjału morskich farm wiatrowych na Morzu Bałtyckim, jednak pierwsza polska morska farma wiatrowa na Bałtyku może powstać najwcześniej w 2019 roku, przy czym zostały już wydane warunki przyłączenia dla mocy ponad 2 GW, określono warunki przyłączenia dla farm zlokalizowanych w rejonie Ławicy Środkowej oraz Ławicy Słupskiej na Bałtyku, natomiast prąd ma być z nich doprowadzany do stacji w Żarnowcu (1045 MW) i w Słupsku (1200 MW) [15, 17–19].

Choć inwestycje w morskie farmy wiatrowe stanowią większy poziom ryzyka niż inwestycje w lądowe elektrownie wiatrowe, niemniej jednak doświadczenia międzynarodowe pokazują, że przy stosownej skali inwestycji można znacząco obniżyć koszty wytwarzania energii elektrycznej. Morskie farmy wiatrowe mogą być jednym z bardziej efektywnych źródeł wytwarzania energii odnawialnej, gdyż produkcja energii z morskich farm wiatrowych może być nawet dwukrotnie większa niż ich lądowych odpowiedników [15, 17, 19, 21].

Podsumowanie

Energetyka wiatrowa dynamicznie się rozwija w Polsce, nie tylko z powodu konieczności realizacji celów Unii Europejskiej w zakresie redukcji emisji dwutlenku węgla oraz wzrostu wykorzystania energii z odnawialnych źródeł, ale także z powodu potrzeby modernizacji polskiej energetyki. Farmy wiatrowe, jak każde duże przedsięwzięcia infrastrukturalne, mogą powodować liczne konflikty środowiskowe i społeczne. Bogata krajowa sieć obszarów chronionych oraz rozproszona zabudowa na terenach wiejskich powodują konieczność bardzo wnikliwego wyboru lokalizacji pod elektrownie wiatrowe. Podstawowa zasada wyboru lokalizacji dla tego typu inwestycji to właściwe prognozowanie skutków środowiskowych i społecznych realizacji przedsięwzięcia. Eksploatacja elektrowni wiatrowych niepowodujących zanieczyszczeń gleb, wód, powietrza, niegenerująca szkodliwego dla człowieka promieniowania elektromagnetycznego, cechująca się szeregiem płynących z niej korzyści ekologicznych ma ogromne szanse na rozwój zarówno na lądzie, jak i na morzu.

Literatura

- [1] Analiza wymaganego poziomu wsparcia dla morskich elektrowni wiatrowych w Polsce w perspektywie do 2025 roku, Warszawa 2012, dokument opracowany przez ekspertów Fundacji na Rzecz Energetyki Zrównoważonej.
- [2] Drugi krajowy plan działań dotyczący efektywności energetycznej dla Polski, 2011.
- [3] Gumuła S., Pytel K., Stępniewski Ł., *Wpływ parametrów konstrukcyjnych wirnika elektrowni wiatrowej na sprawność konwersji energii wiatru w energię mechaniczną*, Mechanika (Kraków), AGH, t. 20, z. 4, 2001, s. 401–414.

- [6] Gumuła S., Pytel K., Stępniewski Ł., *Wpływ warunków pracy wirnika elektrowni wiatrowej na konwersję energii wiatru w energię mechaniczną*, AGH, Kraków, t. 20, z. 4, 2001, s. 425–433.
- [7] Hudy W., Jaracz K., *Analysis of the parametric optimization of the direct torque control of the slip-ring motor by method of Takahashi*, XV Jubileuszowe Sympozjum „Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki” PPEEm pod patronatem Komitetu Elektrotechniki PAN Gliwice, 11–13 grudnia 2012 r.
- [8] Jakubiak J., Maciukiewicz R., Piasecka A., *Energia wiatrowa*, Wydawnictwo Powszechno-Dydaktyczne, Słupsk 2010.
- [9] Lewandowski M., *Proekologiczne źródła energii odnawialnej*, WNT, Warszawa 2002.
- [10] Wiśniewski G., Ligus M., Arcipowska A., *Morski wiatr kontra atom. Analiza porównawcza kosztów morskiej energetyki wiatrowej i energetyki jądrowej oraz ich potencjału tworzenia miejsc pracy*, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2012.
- [11] Wiśniewski G., Koć S., Michałowska-Knap K., *Energetyka wiatrowa stan aktualny i perspektywy rozwoju w Polsce*, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2012.

<http://www.dzienwiatru.eu>

<http://www.ugdarlowo.pl>

<http://www.ewsa.com.pl>

<http://www.zb.eco.pl>

<http://www.margonin.pl>

<http://pl.wikipedia.org>

<http://www.wilkow.pl>

<http://energetyka.wnp.pl>

<http://globenergia.pl>

<http://ure.gov.pl>

<http://www.swiatlo.info.pl>

<http://www.biomasa.org>

<http://www.psew.pl>

Capacities and the Use of Wind Energy in Poland

Abstract

The energy industry is the cornerstone of the economy of each country, because wind energy is used by all sectors of the economy commerce. It is possible to estimate the price of energy in the energy market and to adapt it to invest in renewable energy sources. The present paper conducts an analysis of the profitability of investing in wind energy. Aspects of social, economic and educational of wind energy projects are also presented.

Key words: wind energy, ecology, renewable sources of energy

Krzysztof Pytel, Kinga Górka, Wojciech Kulinowski

Instytut Techniki

Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN

ul. Podchorążych 2

30-084 Kraków, Polska