FOLIA 158

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica VII (2014)

Krzysztof Pytel, Kinga Górka, Wojciech Kulinowski

Możliwości i wykorzystanie energetyki wiatrowej w Europie

Wprowadzenie

Analizując strukturę światowej produkcji energii elektrycznej, zauważymy, że największe elektrownie to hydroelektrownie i elektrownie atomowe, które zajmują większość pozycji na liście 20 największych elektrowni na świecie. Największa to hydroelektrownia zbudowana na rzece Jangcy – Zapora Trzech Przełomów (moc 22,5 GW), potem zlokalizowana na rzece Parana zapora Itaipu (moc 14 GW), dalej zapora Guri na rzece Caroní (moc 10,055 GW) oraz Tucurui, elektrownia wodna na rzece Tocantins (moc 8,37 GW). Kolejne miejsca zajmują dopiero elektrownie atomowe (Kashiwazaki-Kariwa – 8,2 GW – Japonia, Bruce – 6,8 GW – Kanada), dopiero po 15 pozycji uplasowały się największa elektrownia wykorzystująca węgiel (Taichung o mocy 5.8 GW z Tajwanu), wykorzystująca ropę naftową (Shoaiba o mocy 5,6 GW w Arabii Saudyjskiej) oraz wykorzystująca gaz ziemny (Surgut-2 o mocy 5,6 GW z Rosji) [3].

Porównując te moce z największymi mocami oferowanymi przez farmy wiatrowe, można dojść do wniosku, że uzyskiwane w farmach wiatrowych moce są niewielkie (największa farma offshore London Array to jedynie 0,63 GW). Biorąc jednak pod uwagę dynamikę wzrostu liczby inwestycji w energetykę wiatrową, można dojść do przekonania, że jest to jeden z bardziej intratnych sposobów inwestycji kapitału. Elektrownia wiatrowa wytwarza energię elektryczną za pomocą generatorów napędzanych energią wiatru. Energia mechaniczna, a następnie elektryczna pozyskana z energii wiatru uznawana jest za ekologicznie czystą, ponieważ do wytworzenia energii nie spala się żadnego paliwa, pomijając jedynie nakłady energetyczne związane z wybudowaniem takiej elektrowni [1, 2, 14].

Spośród źródeł energii odnawialnej w Europie najprężniej rozwija się właśnie energetyka wiatrowa. Współcześnie przyrost nowych mocy w sektorze energetyki wiatrowej jest większy niż w każdej innej technologii wytwarzania energii elektrycznej. W samej tylko EU-28 w przeciągu 2013 roku moc zainstalowana wyniosła 11,2 GW [4].

Obecnie i w planach morskie farmy wiatrowe to główny kierunek rozwoju energetyki wiatrowej w Unii Europejskiej. Na Morzu Północnym czy na Bałtyku powstało wiele takich inwestycji. Nieograniczona powierzchnia, zdecydowanie większa niż na lądzie prędkość wiatru skutkują możliwością zastosowania urządzeń o większych mocach, a jednocześnie o bardziej dostosowanych do prędkości wiatru gabarytach niż na lądzie [1, 2].

W Unii Europejskiej w końcu 2013 roku **łączna moc zainstalowana w elektrowniach wiatrowych przekroczyła** 117,3 GW. Taka moc elektrowni wiatrowych odpowiada mocy kilkudziesięciu typowych elektrowni węglowych, gazowych albo atomowych [4]. Przyłączenie do sieci pierwszych 10 GW zabrało europejskiemu sektorowi wiatrowemu blisko 20 lat, natomiast kolejnych 90 GW to tylko 13 lat. Prawie połowa zainstalowanej obecnie mocy została przyłączona w przeciągu ostatnich kilku lat. Jednocześnie od roku 2000 około 28% nowo zainstalowanych mocy to inwestycje w energetykę wiatrową. Należy jednak odnotować, że inwestycje te dominowały głównie w dwóch krajach: w Niemczech oraz Wielkiej Brytanii. Energia elektryczna pozyskana z elektrowni wiatrowych w 2013 roku to 257 TWh, co na chwilę obecną zaspokaja w 8% zapotrzebowanie na energię elektryczną w Europie [4, 10].

Potencjał energetyki wiatrowej na lądzie

Planując przedsięwzięcie aeroenergetyczne, bierze się pod uwagę szereg czynników, spośród których ważniejsza jest lokalizacja, na którą wpływ mają warunki klimatyczne danego regionu, czyli odpowiednie warunki wiatrowe. Prędkość wiatru uzależniona jest od wysokości nad poziomem gruntu i od szorstkości terenu, natomiast o szorstkości decyduje rzeźba powierzchni i przeszkody (wysokie drzewa, zabudowania). Im niższa klasa szorstkości terenu (występuje mniej przeszkód na danym obszarze), tym korzystniejsze warunki dla funkcjonowania elektrowni wiatrowej. Analizując teren według klasy szorstkości, najlepsze warunki wiatrowe znajdziemy na morskich wybrzeżach, otwartych równinach, wierzchołkach wzniesień i górskich przełęczach, na których regularnie występują silne wiatry (tab. 1) [5, 6].

Tab. 1. Energia wiatru w terenie o różnych klasach szorstkości

Klasa szorstkości	Energia [%]	Rodzaj terenu
0	100	powierzchnia wody
0,5	73	teren całkowicie otwarty
1	52	tereny lekko pofalowane
1,5–2,5	45–31	pola uprawne z nielicznymi zabudowaniami
3	24	wioski, miasteczka
3,5	18	duże miasta
4	13	bardzo duże miasta

Elektrownie wiatrowe sytuuje się z dala od przeszkód terenowych, gdyż szorstkość terenu ma wpływ na prędkość wiatru w promieniu nawet do 20 km. Ponadto ze względu na hałas wytwarzany przez turbiny lokuje się je z dala od domów mieszkalnych. Analizy warunków wiatrowych dokonuje się w oparciu o pomiary wiatru, im dłużej przeprowadzane, tym bardziej dokładne, przy użyciu ponad 30-metrowych zestawów pomiarowych z czujnikami prędkości i kierunku wiatru, ewentualnie wykorzystuje się dane zebrane przez lokalne stacje meteorologiczne, gdy taka możliwość istnieje [1, 2].

Nie dla wszystkich potencjalnych lokalizacji elektrowni wiatrowych został stworzony dokładny atlas wiatru, tylko w niektórych regionach przeprowadzone zostały jego pomiary dla potrzeb energetyki wiatrowej. Przykładowo dla Polski po analizie tych badań stwierdzono, że właściwe warunki istnieją na obszarze blisko 1/3 powierzchni kraju, gdzie prędkość wiatru na wysokości gondoli przekracza 6 m/s. Takie warunki panują w pasie nadmorskim, na Pomorzu i w północno-wschodnich rejonach kraju. Najbardziej dogodne tereny to wyspa Uznam, wybrzeże Bałtyku w pasie od Świnoujścia po Gdańsk, Kaszuby i Suwalszczyzna, dobre warunki panują również na Nizinie Mazowieckiej, w centralnej Wielkopolsce, dużym potencjałem energii wiatru dysponują górzyste i pagórkowate tereny Sudetów, Beskid Śląski i Żywiecki, Bieszczady, Pogórze Dynowskie i wschodnia część Doliny Sandomierskiej. Natomiast niesprzyjające warunki wiatrowe panują w całej prawie wyżynnej części kraju [7, 8].

W miarę rozwoju technologii energetyki wiatrowej wprowadzono na rynek turbiny przeznaczone na tereny o niskich prędkościach wiatru. Fakt ten sprawił, że obecnie na większości obszaru kraju możliwe jest wykorzystanie energii wiatru w sposób racjonalny, pod warunkiem odpowiedniego doboru turbiny do lokalizacji oraz przeprowadzenia optymalnych działań rozwojowych elektrowni wiatrowej poprzez wdrożenie najnowszych technologii [1, 2, 9].

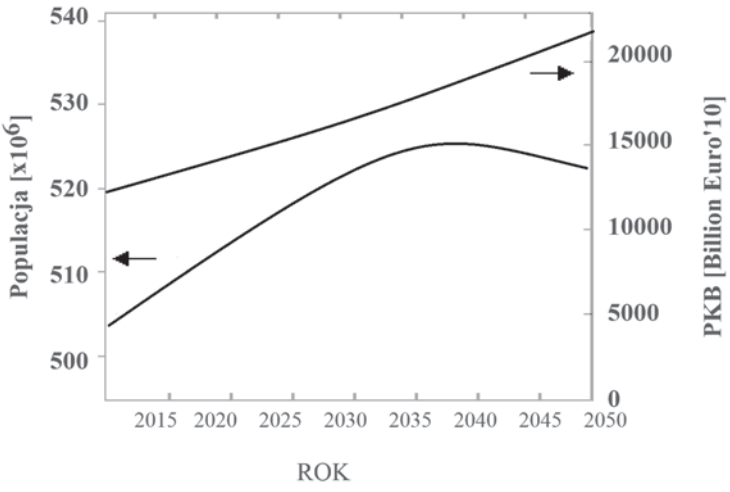
Ogromny wpływ na uruchomienie elektrowni wiatrowej mają uwarunkowania klimatyczne. Od siły, kierunku i statystycznego rozkładu prędkości wiatru zależy, czy w danym miejscu ma sens realizowanie przedsięwzięcia aeroenergetycznego.

Prognozy wykorzystania energii wiatru w Europie

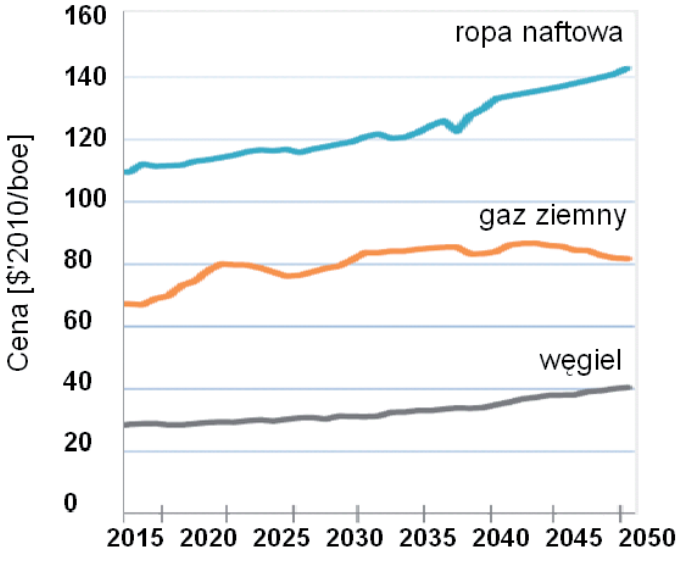
Analizując populację Europy, zauważymy przez najbliższe 30 lat ciągłą tendencję wzrostową (rys. 1). Jednocześnie prognozy dotyczące produktu krajowego brutto wskazują na niesłabnący jego wzrost (rys. 1). Prognozy zmian cen importowanych surowców energetycznych dla Europy do 2050 roku wskazują na systematyczny i niczym nieograniczony wzrost. Równocześnie bogatsze społeczeństwo będzie zużywało większe ilości energii. Można będzie zauważyć tendencję do obniżania ceny dla technologii pozyskiwania zarówno konwencjonalnych, jak i alternatywnych zasobów energetycznych, przy czym zgodnie z prognozą ceny pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych będą zniżkowały bardziej dynamicznie (rys. 3, 4). Biorąc pod uwagę trend do maksymalizacji wykorzystania OZE w UE i plany

zaspokojenia w blisko 50% zapotrzebowania na energię elektryczną przy wykorzystaniu źródeł energii odnawialnej (rys. 5, 6), istnieje potrzeba zrealizowania szeregu inwestycji związanych z odnawialnymi źródłami energii [5, 10]. Jedną z dróg prowadzących do realizacji tego celu są inwestycje w energetykę wiatrową, zlokalizowane zarówno na ladzie, jak i na morzu. Łącznie w krajach UE w 2013 roku powstały instalacje energetyki odnawialnej na łączną moc 25 450 GW, zrealizowano inwestycje w energetykę wiatrową o łącznej mocy 11 159 GW, co stanowiło w samej Unii Europejskiej około 44% wszystkich inwestycji w energetykę odnawialną [4, 10]. Analizując udziały nowo powstałych instalacji w produkcji energii elektrycznej z poszczególnych zasobów energetycznych w 2013 roku, zauważamy trwającą od szeregu lat dominację instalacji pozyskujących energię wiatru. Przedsiębiorstwa aeroenergetyczne zainstalowały około 32% z 35 181 MW wszystkich nowo powstałych instalacji. Biorąc pod uwagę fakt, iż zużycie energii elektrycznej w UE w 2013 roku wyniosło 3,280 TWh, i porównując to z produkcją lądowych i morskich farm wiatrowych (odpowiednio 233 TWh i 24 TWh), można wnioskować, iż sumaryczne 7,8% energii elektrycznej wyprodukowanej w instalacjach wiatrowych to niewiele w stosunku do dalekosiężnych planów dotyczących energetycznego wykorzystania energii przemieszczających się mas powietrza.

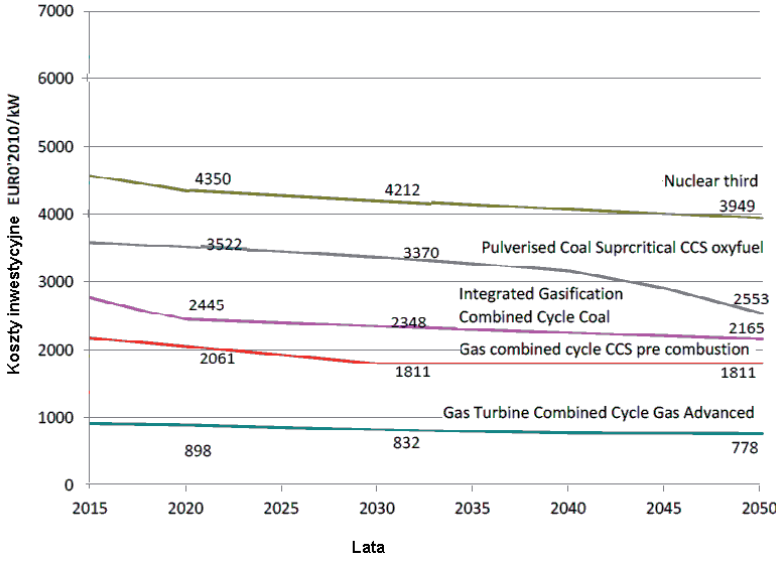
W krajach Unii Europejskiej z roku na rok wzrasta liczba instalacji turbin wiatrowych. Na wykresie przedstawionym na stronie 111 (rys. 7) widać, jaka jest tendencja zainstalowanej mocy w energetyce wiatrowej na przestrzeni lat 2000–2013. W 2005 roku zamontowano 6,5 GW, czyli dwa razy więcej instalacji niż w roku 2000, zaś w 2013 roku osiągnięto 11 159 GW mocy w energetyce wiatrowej, nieco mniej niż w rekordowym 2012 roku [4, 5, 10, 11].



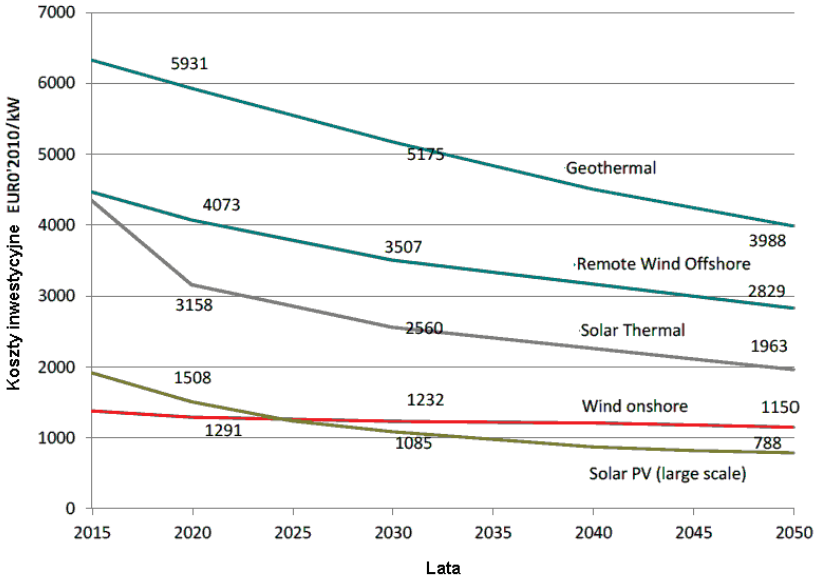
Rys. 1. Prognozy zmian populacji i produktu krajowego brutto (GPD) dla Europy do 2050 roku



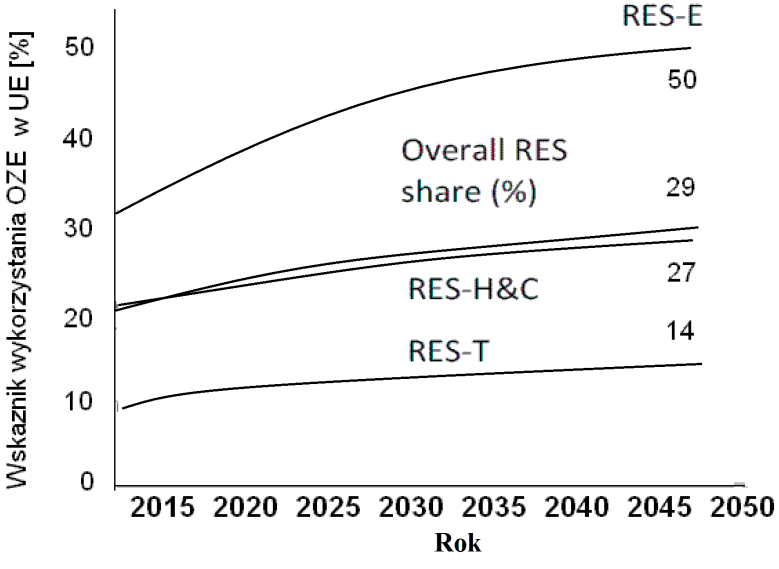
Rys. 2. Prognozy zmian cen importowanych surowców energetycznych dla Europy do 2050 roku



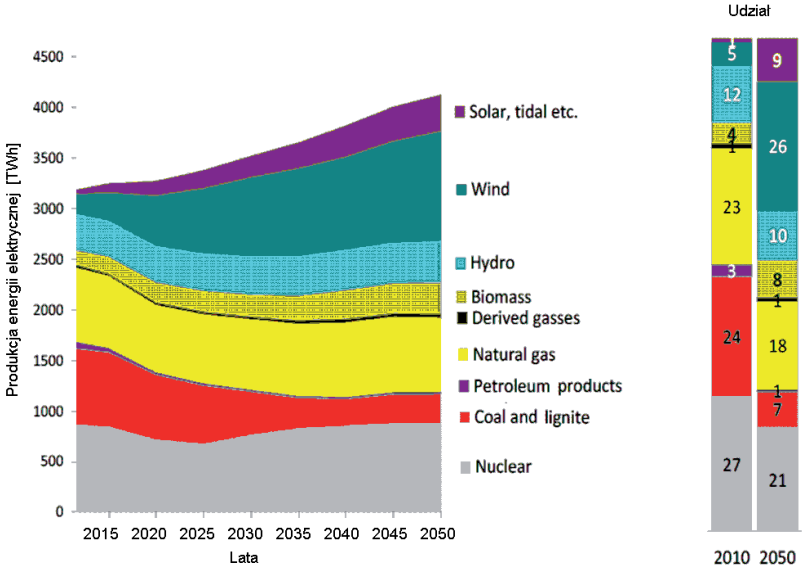
Rys. 3. Kształtowanie się kosztów inwestycyjnych dla technologii wytwarzania energii (nie OZE)



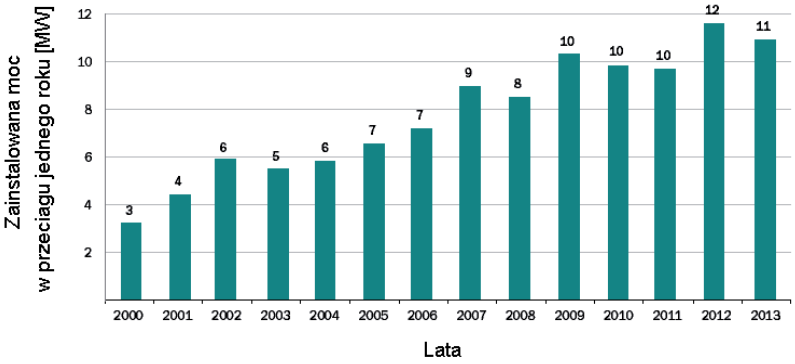
Rys. 4. Kształtowanie się kosztów inwestycyjnych dla technologii wytwarzania energii (OZE)



Rys. 5. Prognozy zmian wskaźnika wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Unii Europejskiej do 2050 roku



Rys. 6. Prognozy zmian ilości energii elektrycznej produkowanej z wybranych zasobów energetycznych i udziały tych zasobów w produkcji energii elektrycznej w Unii Europejskiej do 2050 roku



Rys. 7. Łączna moc farm wiatrowych instalowana rocznie do końca 2013 roku w Europie

W 2000 roku aż 85% zainstalowanego potencjału w Europie zrealizowano w Niemczech, Danii i w Hiszpanii, natomiast w roku 2013 te trzy kraje odpowiadały już za 53% mocy zainstalowanych w Unii Europejskiej, Niemcy z 34,3 GW oraz Hiszpania z instalacjami o mocy 23 GW przodują w produkcji energii z wiatru w 2013 roku. Obecnie energetyka wiatrowa w Europie jest najbardziej rozwinięta

w Niemczech, Hiszpanii, Wielkiej Brytanii, Włoszech i Francji. Mimo iż Włochy posiadają jedne z gorszych warunków wiatrowych, zajmują wysokie miejsce w produkcji energii elektrycznej z energetyki wiatrowej ze względu na bardzo dobrą politykę dla energetyki wiatru. Polska zostaje w tyle i trudno będzie osiągnąć takie rezultaty, jak Niemcy, Hiszpania czy Wielka Brytania. Udział Polski kształtuje się na poziomie blisko 3%, co klasyfikuje ją na 9. pozycji pod względem zainstalowanej mocy do 2013 roku (wyprzedza w rankingu między innymi Holandię czy Rumunię). Analizując dane statystyczne pod względem nowych instalacji powstałych w 2013 roku, na czoło klasyfikacji wybijają się Niemcy ze swoimi 3,238 GW, za nimi plasują się Wielka Brytania (1,883 GW) i Polska (0,894 GW) [4, 10].

W 2013 roku zainstalowano 1,567 MW elektrowni zlokalizowanych poza lądem. Na łącznie 418 turbin wiatrowych zebranych w 22 farmy wiatrowe największą moc zainstalowano w Wielkiej Brytanii, Danii, Niemczech i Belgii (odpowiednio 733 MW, 350 MW, 240 MW, 192 MW). Średnia moc elektrowni offshore podłączonej do sieci elektrycznej to około 4 MW. Obecnie spośród 6,562 MW elektrowni offshore 66% jest zlokalizowanych na Morzu Północnym (4,363 MW, 66%), 17% na Morzu Bałtyckim (1,143 MW), pozostałe 16% zlokalizowano na Oceanie Atlantyckim [11].

Zakłada się, że energia elektryczna pozyskana z wiatru w 2020 roku będzie stanowić 20% zużycia energii elektrycznej w Unii Europejskiej. Z kolei w 2030 roku planowane jest osiągnięcie produkcji energii elektrycznej z farm wiatrowych w wysokości 33% zapotrzebowania na energię elektryczną, by w roku 2050 energia wiatrowa wynosiła 50% zapotrzebowania na energię elektryczną [4, 11].

Prognozy wykorzystania energii wiatru w Polsce

W ostatnich latach zauważa się dynamiczny rozwój w sektorze energetyki wiatrowej w kraju. Obecnie energetyka wiatrowa ma znaczący udział w rynku. Zgodnie z Krajowym Planem Działań (KPD), ma odegrać ona wiodącą rolę w realizacji 15% pozyskiwania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w 2020 roku [9].

Energetyka wiatrowa nie jest jednorodną technologią i jej potencjał został oszacowany przy uwzględnieniu różnych czynników technologicznych. Opracowywane mapy warunków wiatrowych dla Polski zazwyczaj różnią się między sobą. Dostępne pomiary i analizy wskazują, że najwyższe poziomy prędkości wiatru w naszym kraju występują na północno-wschodnich krańcach Polski oraz na wybrzeżu Bałtyku. Rozwój lądowej energetyki wiatrowej w Polsce jest uzależniony głównie od powierzchni dostępnej dla lokalizowania siłowni wiatrowych i ograniczony przez uwarunkowania środowiskowe, infrastrukturalne oraz ekonomiczne [8, 9].

Równocześnie dla rozwoju energetyki wiatrowej istotnym ograniczeniem przestrzennym jest występowanie i powiększanie się terenów chronionych (32% powierzchni kraju), w tym obszarów, które należą do sieci NATURA 2000. Tereny otulin obszarów chronionych czy obszary gęsto zaludnione wykluczają lokalizację elektrowni wiatrowych. Najwięcej ograniczeń występuje w południowej i północnej części kraju [8, 11].

Mając na uwadze aktualne uwarunkowania polityczne i rynkowe, w latach 2014–2020 najwięcej turbin wiatrowych może zostać umiejscowionych w województwach nadmorskich, co może się zmienić w przypadku zmiany systemu wsparcia dla energetyki wiatrowej na poziomie krajowym. Również rozwój technologii wiatrowej czy upowszechnienie się siłowni wiatrowych przeznaczonych na obszary o niższych prędkościach wiatru może spowodować, że będzie możliwe wykorzystanie nowych terenów województw Polski centralnej i wschodniej [7, 8].

Ze względu na długość linii brzegowej, znaczący obszar morza terytorialnego, jak również wyłącznej strefy ekonomicznej Polska posiada bardzo znaczący potencjał dla realizacji morskiej energetyki wiatrowej na Morzu Bałtyckim. Cały dostępny obszar morski charakteryzuje się korzystnymi warunkami wiatrowymi. Całkowita powierzchnia obszarów morskich, na których można uruchomić farmy wiatrowe wynosi 3590 km^2, co po uwzględnieniu uwarunkowań ekonomicznych i ekologicznych odpowiada potencjałowi do 7,5 GW. Natomiast obszarami morskimi, gdzie mogą być lokalizowane farmy wiatrowe są przykładowo: Ławica Słupska, Żarnowiec, Ławica Środkowa czy okolice Ławicy Odrzańskiej, których łączna powierzchnia wynosi 2503,45 km^2. W procesie szacowania wielkości zasobów oraz ze względu na obecny stan rozwoju technologii wiatrowej, czy zakładając prawidłowy dobór turbiny wiatrowej do lokalizacji, potencjał możliwej do wykorzystania mocy przemieszczających się mas powietrza to 82 GW na lądzie oraz 7,5 GW na morzu [12, 13].

Podsumowanie

Pod względem nakładów inwestycyjnych energetyka wiatrowa jest konkurencyjna wobec innych technologii wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Wyróżnia się także niższymi kosztami eksploatacyjnymi. Przewiduje się, że wraz z postępem technologicznym w dziedzinie energetyki wiatrowej wzrośnie roczny czas wykorzystania mocy nominalnej siłowni wiatrowych. Odnosi się to w szczególności do morskiej energetyki wiatrowej. Dzięki temu już do 2020 roku będzie można osiągnąć widoczny spadek jednostkowych nakładów inwestycyjnych. Jednak będzie to uzależnione od systemu wsparcia dla energetyki wiatrowej, kierunków czy tempa rozwoju systemu elektroenergetycznego. W pewnym zakresie będzie zależne również od mobilizacji inwestorów oraz zaangażowania samorządów terytorialnych.

W aspekcie społeczno-gospodarczym energetyka wiatrowa ma korzystny wpływ na rynek pracy oraz aktywność gospodarczą. Dodatkowo ma potencjalnie duże znaczenie dla rozwoju lokalnego i regionalnego poprzez zwiększanie przychodów samorządów lokalnych. Wpływa również korzystnie na środowisko naturalne, ma znaczący wpływ na redukcję emisji gazów cieplarnianych. Dlatego znaczącą rolę odgrywa kształtowanie polityki państwa, tak by całe społeczeństwo oraz gospodarka mogła korzystać z tego ogromnego potencjału, który tkwi w zasobach energii wiatru.

Warto podjąć wszelkie kroki dla rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce.

Literatura

[1] Gumuła S., Pytel K., Stępniewski Ł., *Wpływ parametrów konstrukcyjnych wirnika elektrowni wiatrowej na sprawność konwersji energii wiatru w energię mechaniczną*, Mechanika, AGH, Kraków 2001, t. 20, z. 4, s. 401–414.
[2] Gumuła St., Pytel K., Stępniewski Ł., *Wpływ warunków pracy wirnika elektrowni wiatrowej na konwersję energii wiatru w energię mechaniczną*, Mechanika, AGH, Kraków 2001, t. 20, z. 4, s. 425–433.
[3] http://www.forbes.com.
[4] *Wind in power 2013 European statistics*, The European Wind Energy Association, 2014.
[5] Pytel K., *Availability and reliability analysis of large wind turbine systems in chosen localizations in Poland*, Journal of KONBiN, Volume 20, Issue 1 (Dec 2011).
[6] http://www.biomasa.org.
[7] Nalepa K., Miąskowski W., Pietkiewicz P., Piechocki J., Bogacz P., *Poradnik małej energetyki wiatrowej*, Olsztyn 2011.
[8] Wiśniewski G., Michałowska-Knap K., Oniszk-Popławska A., *Określenie potencjału energetycznego regionów Polski w zakresie odnawialnych źródeł energii – wnioski dla Regionalnych Programów Operacyjnych na okres programowania 2014–2020*, Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, Warszawa 2011.
[9] Wiśniewski G., Koć S., Michałowska-Knap K., *Energetyka wiatrowa – stan aktualny i perspektywy rozwoju w Polsce*, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2012.
[10] Eu Energy, Transport and GHG Emissions. Trends to 2050. Reference Scenario 2013. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014.
[11] *The European offshore wind industry – key trends and statistics 2013*. A report by the European Wind Energy Association. January 2014.
[12] www.ekoenergia.pl.
[13] www.psew.pl.
[14] 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 2012 pod patronatem Komitetu Elektrotechniki PAN, Gliwice, 11–13 grudnia 2012.

Capacities and the Use of Wind Energy in Europe

Abstract

The aim of the study is to analyze the possibilities of wind energy development and the utilization of wind energy for energy security so as to guarantee the proper functioning of the economy in the European Union. Land and offshore wind power generation in Europe and statistical data are described, and selected aspects of wind energy projects are presented. What is more, the paper indicates the possibility of the development of the wind energy sector on land and offshore.

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