



i energię tę wykorzystywano do mielenia zbóż czy napędu czerpaków nawadniających pola. Krajobraz niektórych krajów od dawna nierozłącznie związany jest z wiatrakami. Najstarsze informacje o tzw. urządzeniach wietrznych pochodzenia sumeryjskiego można znaleźć w kodeksie Hammurabiego. Heron z Aleksandrii (I wiek n.e.) zawarł w swych księgach wiele rysunków pierwszych wiatraków na długo przed pojawieniem się autentycznych dowodów ich istnienia. Pierwsze udokumentowane informacje o zbudowanych w Persji wiatrakach o pionowej osi obrotu, służących do mielenia ziarna, nawadniania gruntu oraz przecierania ryżu pojawiły się u schyłku pierwszego tysiąclecia naszej ery. Ta koncepcja wiatraka została w Europie adaptowana i udoskonalana dzięki wyprawom na Środkowy Wschód. W 1105 r. we Francji (w publikacji o podatkach) spotyka się pierwszy opis konstrukcji wiatraka o poziomej osi obrotu. Ten typ wiatraka, upowszechniony w XIV wieku, okazał się znacznie wydajniejszy od perskiego, horyzontalnego. Najstarszy znany w Europie wizerunek młyna wietrzego wertykalnego (z poziomą osią obrotu) przedstawiony jest jako inicjał pierwszej strony angielskiego psalterza z 1270 roku z Canterbury<sup>1</sup>.

Przełom XIX i XX wieku zaznaczył się jako początek końca młynów wietrznych, gdyż maszyny parowe zaczęły coraz częściej zastępować siłę wiatru. Połowa wieku dwudziestego była początkiem teoretycznych i w końcu praktycznych rozważań możliwości wykorzystania wiatru jako źródła energii elektrycznej. Prace te prowadzone były równoległe w Anglii, Danii, Niemczech i USA. Niewątpliwym dla nich bodźcem był kryzys paliwowy w 1957 roku. Kolejnym, lecz już bardziej skutecznym impulsem do dalszego rozwoju technologii wykorzystania energii wiatru był następny kryzys paliwowy w 1975 roku. Koniec lat siedemdziesiątych, a zwłaszcza lata osiemdziesiąte, to okres początku dojrzałych technologii, stałego ulepszania konstrukcji oraz systemu kontroli siłowni o mocy zainstalowanej 55-500 kW. Lata dziewięćdziesiąte wprowadzają energetykę wiatrową na arenę profesjonalnej energetyki, która dostrzega w niej zarówno zagrożenie, jak i nadzieję na pewną, tanią i czystą energię dla przyszłych pokoleń<sup>2</sup>.

Pierwsze prototypy elektrowni wiatrowej powstawały w latach osiemdziesiątych XIX wieku. W 1888 roku Charles F. Brok zbudował pierwszą automatycznie działającą elektrownię wiatrową - miała ona, jak na tamte czasy, znaczne wymiary - skrzydła wykonane z drewna cedrowego mierzyły 17 metrów. Konstrukcja ta, choć działała przez niemal 20 lat, nie była zbyt wydajna. Dopiero jej udoskonalenie, polegające na zamianie ogromnej liczby wolno obracających się skrzydeł (u Broka aż 144) na trzy szybko wirujące w powietrzu skrzydła przyniosło narodziny ekonomicznie użytecznych elektrowni wiatrowych<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> W. Jabłoński, J.Wnuk, *Odnawialne źródła energii w polityce energetycznej Unii Europejskiej i Polski. Efektywne zarządzanie inwestycjami – studia przypadków*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania i Marketingu w Sosnowcu, Sosnowiec 2004, s.114

<sup>2</sup> Tamże.

<sup>3</sup> E. Ginalska, P. Ginalski, *Energia Gigawat*, 09.2002.

Technologia pozyskiwania energii wiatrowej choć znana od stuleci, to jej intensywny rozwój dokonuje się przez ostatnie 30 lat. Podstawowym kryterium doboru turbiny wiatrowej do panujących warunków wiatrowych jest wielkość średniorocznej prędkości wiatru. Wskazane jest, aby prędkość wiatru, przy której turbina uzyskuje znamionową moc, była skorelowana ze średnioroczną prędkością wiatru w miejscu lokalizacji turbiny. Z dużej oferty rynkowej wybiera się turbiny wiatrowe spełniające to założenie, uwzględniając, że wybór odpowiedniej wysokości wieży, na której będzie zainstalowana turbina ostatecznie decyduje w jakich warunkach wiatrowych będzie pracowała turbina<sup>4</sup>. Producenci turbin proponują rozwiązania, które zoptymalizowane są do pracy przy znamionowej prędkości wiatru  $v_n = 11-17$  m/s. Ponadto oferują różne wysokości wieży od 60 do 110 m w zależności od mocy turbiny. Zazwyczaj im większa moc turbiny, tym większa średnica wirnika turbiny, a co za tym idzie wzrasta wysokość wieży, na której zainstalowana jest turbina. Ważnym parametrem turbiny jest minimalna prędkość wiatru, przy której jej wirnik zaczyna się obracać (prędkość startowa turbiny) i zaczyna produkcję energii elektrycznej. Im niższa jest prędkość startowa turbiny, tym lepiej ze względu na ilość przetwarzanej energii. Wszędzie tam, gdzie średnioroczna prędkość wiatru nie jest zbyt wysoka, najlepszymi turbinami są te o niskiej prędkości startu. Obecnie produkowane turbiny wiatrowe charakteryzują się prędkościami startowymi w przedziale od 2 do 5 m/s.

W zależności od położenia osi obrotu wirnika turbiny siłowni wiatrowej dzieli się na poziome HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbines*) i pionowe VAWT (*Vertical Axis Wind Turbines*) - występujące już raczej jako historyczne rozwiązania. Siłownie o pionowej osi obrotu produkowane były z wirnikiem Darrieusa z 2 lub 3 łopatomy w kształcie litery C. Ich zaletą było to, że pracowały już przy bardzo małej prędkości wiatru (1,5 m/s), co pozwalało praktycznie na ograniczenie do kilku metrów wysokości wieży, na której były instalowane. Generator i skrzynię przekładniową stawiano bezpośrednio na ziemi, co upraszczało późniejszą obsługę. Wadą tej konstrukcji była potrzeba wstępnego rozruchu turbiny. Dlatego do wstępnego napędzania wykorzystywany był napęd elektryczny lub na osi obrotu turbiny umieszczano dodatkowy rotor wspomagający rozruch (tzw. rotor Savoniusa). Jednak wiatr tuż nad ziemią jest zwykle zbyt mały, żeby efektywność takich konstrukcji była zadowalająca. Obecnie nie spotyka się już takich rozwiązań. Klasyczny układ, najczęściej obecnie produkowanych turbin, to pozioma oś obrotu o trzech łopatach. W eksploatacji znajdują się jeszcze rozwiązania jedno- i dwułopatowe, które mimo pewnych zalet (ograniczenie masy wirnika), posiadają istotną wadę - są źródłem większego hałasu. Dlatego te konstrukcje stały się mniej popularne i są raczej zanikające. Im większa liczba łopat, tym większy moment startowy wirnika turbiny. Rozwiązanie z 3 łopatomy jest kompromisem między wydajnością a trwałością turbiny. Łopaty o długości 20-40 m wykonane z włókien szklanych lub węglowych

<sup>4</sup> A. Chochowski, *Energetyka wiatrowa* [w:], F. Krawiec (red.), *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Wybrane problemy*, Difin, Warszawa 2010, s.125.

montowane są na wale, który jest połączony ze skrzynią biegów i generatorem. Elementy te umieszczone są w gondoli mocowanej do wieży o wysokości 40-100 m wykonanej jako konstrukcja stalowa lub żelbetowa. Gondola instalowana na szczycie wieży obraca się tak, by jak najkorzystniej ustawić wirnik do kierunku wiatru. Bardzo ważnym elementem konstrukcyjnym turbiny są łożyska wirnika, które determinują trwałość siłowni. Klasyfikacja turbin wiatrowych uwzględnia także ustawienie wirnika na wieży względem wiejącego wiatru: *up-wind* - przed wieżą, *down-wind* - za wieżą (rzadziej stosowany ze względu na straty spowodowane częściowym zacienieniem wirnika przez konstrukcję wieży)<sup>5</sup>.

W latach 70. ubiegłego wieku opracowano konstrukcję turbiny o osi poziomej wyposażonej dodatkowo w dyfuzor, w którym umieszczono wirnik turbiny. Dyfuzor to odcinek rury o zmiennej średnicy, wywołujący przy wewnętrznym przepływie powietrza zmiany podciśnienia. Szczelina w dyfuzorze, znajdująca się za wirnikiem, dodatkowo wywołuje przyrost prędkości powietrza przepływającego przez wirnik, co podnosi sprawność siłowni. Takie rozwiązania dobrze sprawdzają się, wykorzystując wiatry nadmorskie (*off-shore*). Budowane konstrukcje osiągają moc 3,5 MW i mają wydajność znacznie większą niż turbina tych samych rozmiarów, ale bez dyfuzora. Ze względu na zmienną prędkość obrotową wirnika turbiny, uzależnioną od prędkości wiatru, ważnym zagadnieniem jest właściwy dobór generatora elektrycznego i układu sterującego. Typ zastosowanego generatora zależy od wielkości siłowni wiatrowej i celu, jakiemu ma służyć całość, czyli elektrownia wiatrowa. Wyróżnia się dwa rozwiązania: elektrownia pracująca na sieć wydzieloną (autonomiczna) oraz elektrownia przyłączona do sieci energetyki zawodowej, oddająca energię do systemu elektroenergetycznego<sup>6</sup>. Większość instalowanych obecnie turbin wiatrowych to urządzenia o poziomej osi wirnika i trzech łopatach. Wielkoskalowe turbiny wiatrowe są instalowane na wieżach o wysokości od kilkudziesięciu do ponad 100 m zależnie od typu turbiny, jej mocy oraz warunków wiatrowych jej lokalizacji. Na rynku oferowane są także turbiny o bardzo szerokim zakresie mocy - od kilku do kilkudziesięciu watów do kilku MW. Największa dostępna turbina wiatrowa ma obecnie 7 MW, jednak prowadzone są także prace nad budową urządzeń o większej mocy, nawet 10 MW. Wydajność turbiny jest określana przez współczynnik wykorzystania mocy, który określa ilość energii, jaką elektrownia wiatrowa jest w stanie wyprodukować w ciągu roku w stosunku do maksymalnej możliwej produkcji. Współczynnik ten jest wyrażony w procentach lub w godzinach pracy z pełną mocą w ciągu roku. Współczesne, prawidłowo zlokalizowane lądowe turbiny wiatrowe mają współczynnik wykorzystania mocy powyżej 30%, w optymalnych lokalizacjach nawet powyżej 35%. Morskie farmy wiatrowe mają znacznie większą wydajność - powyżej 40%, a najnowsze rozwiązania w tym zakresie nawet do 50%. Typowa turbina wiatrowa rozpoczyna pracę przy prędkości wiatru 3-4 m/s i osiąga moc nominalną przy prędkości 11-12 m/s. Większość

<sup>5</sup> Tamże.

<sup>6</sup> Tamże.

obszaru Polski mamy do czynienia z niewielkimi prędkościami wiatru. Przełomowe znaczenie dla rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce ma wprowadzenie na rynek turbin przeznaczonych na obszary o niskiej wietrzności (czyli większość terenu Polski). Są to urządzenia o zwiększonej powierzchni wirnika (długość łopat) w stosunku do mocy generatora.

Najważniejsi producenci turbin wiatrowych o małej mocy (do 100 kW) to: Bergey Windturbins Corporation, Southwest Windpower oraz Nord Energy. Wśród producentów turbin wiatrowych o dużej mocy (powyżej kilkuset kW) dominują Enercon, Gamesa, HSV, Jacobs, Langerwey, Mitsubishi, Nedwind, NEG Micon, Nordex, POverWind, Siemens, Tacke, Vestac, Wind Energy Group, Wind World oraz Zond. W Polsce produkcją turbin zajmuje się Nowosądecka Fabryka Urządzeń Górniczych NOWOMAG produkująca turbiny o mocy 160 kW oraz szczecińska spółka ENWIA i firma Dr Ząber. Znane są również próby podejmowane przez Zakład Remontów i Produkcji Sprzętu Lotniczego – Edward Margański, które wyprodukowały prototyp wirnika wykorzystującego efekt Magnusa. Praktyczna realizacja siłowni okazała się jednak porażką (Acowind A63, Pagórki k. Elbląga). Produkcja profesjonalnych turbin wiatrowych wymaga jednak dużego kapitału, dostępu do nowoczesnych technologii oraz długoletniego doświadczenia. W związku z tym polscy producenci nie mogą w chwili obecnej stanowić konkurencji na rynku dla zagranicznych przedsiębiorstw, które w konstrukcji turbin wiatrowych specjalizują się od wielu lat. Szansą jednak może być rynek małej energetyki na prywatne potrzeby, a także kooperacja z dużymi producentami.

Aktualnie dominujący udział w polskim rynku ma firma Vestas oraz Gamesa. Mniejsze znaczenie mają firmy GE Wind Energy, Siemens, Enercon oraz Fuhrlander i Nordex.

## **Energetyka wiatrowa na świecie**

Aktualny rozwój energetyki wiatrowej na świecie odbywa się w dwóch podstawowych kierunkach:

1. Lądowa energetyka wiatrowa, w ramach której wyróżnia się:
  - wielkoskalową energetykę wiatrową tj. pojedyncze turbiny o mocach zwykle powyżej 1 MW lub farmy wiatrowe (złożone z kilku lub kilkudziesięciu turbin wiatrowych), produkujące energię elektryczną w celu jej sprzedaży do sieci,
  - małą (rozproszoną) energetykę wiatrową, pojedyncze turbiny wiatrowe o mocy nie przekraczającej 100 kW, zlokalizowane głównie w pobliżu domostw jako alternatywne źródło energii; małe elektrownie wiatrowe znajdują zastosowanie także tam, gdzie brak uzasadnienia ekonomicznego dla doprowadzenia energii z sieci elektroenergetycznej (np. zasilanie oświetlenia znaków drogowych, billboardów itp.),
  - energetykę wiatrową średniej skali pojedyncze turbiny o mocach z przedziału z reguły 200 – 600 kW, przyłączone do sieci

elektroenergetycznej, będące w posiadaniu osób indywidualnych, małych przedsiębiorstw lub społeczności lokalnych.

2. Morska energetyka wiatrowa (ang. offshore wind power), to farmy wiatrowe zlokalizowane na otwartych wodach morskich; obecnie są to konstrukcje trwale związane z dnem morskim, jednakże badasie również możliwości budowy turbin pływających, przeznaczonych do instalowania w miejscach znacznie oddalonych od lądu, na większych głębokościach<sup>7</sup>.

Globalna moc elektrowni wiatrowych w 2011 roku wyniosła 237 GW. Przez wiele lat światowym liderem w zakresie energetyki wiatrowej były Stany Zjednoczone. Od 2010 r. pozycję lidera na rynku energetyki wiatrowej objęły Chiny. W porównaniu z rokiem 1996 moc farm wiatrowych na świecie zwiększyła się ponad trzydziestokrotnie. Inwestycje poczynione w samym roku 2010 szacowane są na prawie 50 miliardów euro, zaś przyrost mocy zainstalowanej w energetyce wiatrowej na całym świecie to prawie 40 GW.

Wśród trzech scenariuszy rozwoju energetyki wiatrowej podanych przez Światową Radę Energetyki Wiatrowej prognoza bazowa zakłada wzrost mocy do 573 GW w 2030 r. najbardziej optymistyczna prognoza przewiduje w tym czasie 2 341 GW rocznej mocy zainstalowanej. Zmiany na rynku energetyki wiatrowej zachodzą bardzo dynamicznie i wielokierunkowo, trudno więc jednoznacznie powiedzieć, który z tych scenariuszy jest najbardziej prawdopodobny. Biorąc pod uwagę chińskie inwestycje oraz ich dynamikę wydaje się, że wariant optymistyczny jest możliwy do realizacji.

Tabela 1. Scenariusze rozwoju energetyki wiatrowej na świecie (MW)

Scenariusz	Lata			
	2010	2015	2020	2030
Bazowy	185 258	295 783	415 433	572 733
Umiarkowany	198 717	460 364	832 251	1 777 550
Zaawansowany	201 657	533 233	1 071 415	2 341 984

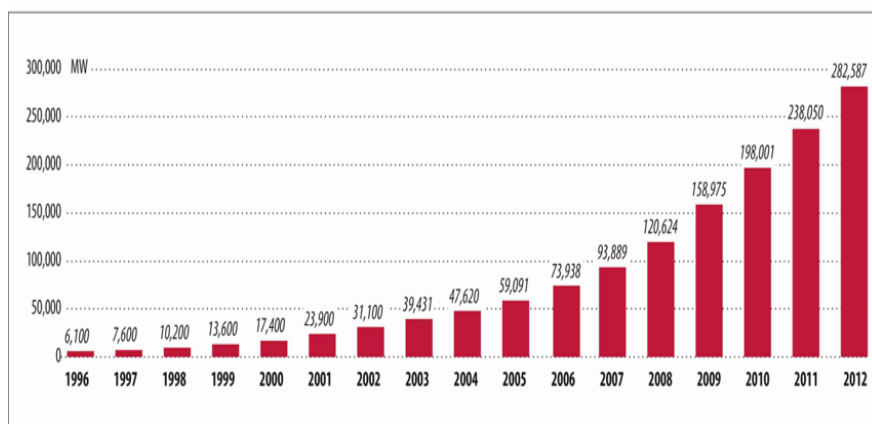
Źródło: Światowa Rada Energetyki Wiatrowej, <http://www.gwec.net>

Rok 2010 był szczególnie dla energetyki wiatrowej. W 2010 r. po raz pierwszy moce zainstalowane w energetyce wiatrowej w krajach rozwijających się przewyższyły inwestycje w tym zakresie na tradycyjnych rynkach krajów OECD. Największy przyrost mocy zanotowano w Azji, głównie za sprawą intensywnych inwestycji w Chinach. W 2010 r. inwestycje w energetykę wiatrową stanowiły niemal dwukrotność inwestycji europejskich. Chiny zainstalowały wówczas elektrownie wiatrowe o mocy 18,9 GW, osiągając w sumie moc 42,3 GW. Spośród innych krajów azjatyckich ważne inwestycje w energetykę wiatrową poczyniły Indie.

<sup>7</sup> Tamże.

Intensywny wzrost gospodarczy oraz przyrost ludności spowodował znaczne zwiększenie popytu na energię w tym kraju. Władze Indii szacują, że popyt na energetykę wiatrową wynosi 78,7 GW, zaś faktyczne moce szacowane są przez ekspertów na 13,1 GW. Powoli spada intensywność podejmowanych przedsięwzięć w energetykę wiatrową na Starym Kontynencie. Nowe inwestycje powstają głównie w państwach wschodniej Europy, przodują w tym zakresie Rumunia, Bułgaria i Polska. Marginalne znaczenie ma jeszcze energetyka wiatrowa w Ameryce Południowej czy Afryce. Największe moce zainstalowane są w Brazylii oraz Meksyku, zaś z krajów afrykańskich jest to Egipt oraz Maroko.

Global Cumulative Installed Wind Capacity 1996-2012



Source: GWEC

Rysunek 1. Moc farm wiatrowych na świecie w latach 1996-2012 w MW

Źródło: „Global Wind Report. Annual market update 2012”, GWEC, <http://www.gwec.net>

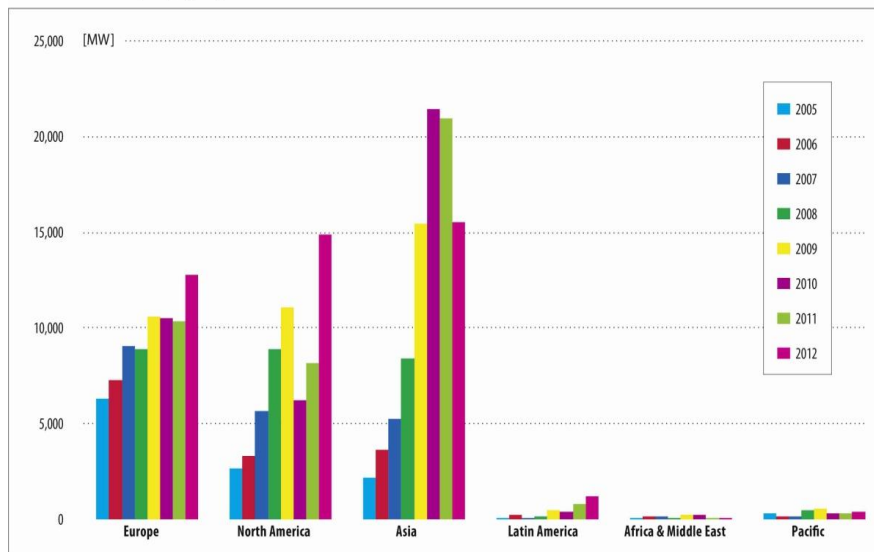
Światowym liderem na rynku energetyki wiatrowej od 2010 r. są Chiny. Moc chińskiej energetyki wiatrowej podwoiła się między 2006 a 2009 r. Z kolei w 2010 r. moc elektrowni wiatrowych osiągnęła prawie 48 GW, co oznacza wzrost w porównaniu z rokiem poprzednim o 73%. Inwestycje poczynione w Chinach szacowane są na około 20 miliardów dolarów. Władze Chin chcą osiągnąć do 2020 r. moc 200 GW oraz produkcję 440 TWh. Chiński rynek energii wiatrowej jest podzielony pomiędzy pięciu dużych producentów oraz kilka firm publicznych, które w sumie wytwarzają 70% energii<sup>8</sup>.

W 2010 r. pozycję lidera pod względem zainstalowanych w energetyce wiatrowej mocy straciły Stany Zjednoczone. Zainstalowana w 2010 r. stanowiła zaledwie połowę mocy zainstalowanej w roku poprzednim, tj. 5,1 GW. W 2010 r. Stany Zjednoczone dysponowały łączną mocą 40,2 GW (w 2009 r. było to

<sup>8</sup> Global Wind Report. Annual market update 2012, GWEC, <http://www.gwec.net>.

35,1 GW). Spośród 50 amerykańskich stanów, 38 dysponuje elektrowniami wiatrowym, z czego 14 mocą powyżej 1 GW.

Annual Installed Capacity by Region 2005-2012



Source: GWEC

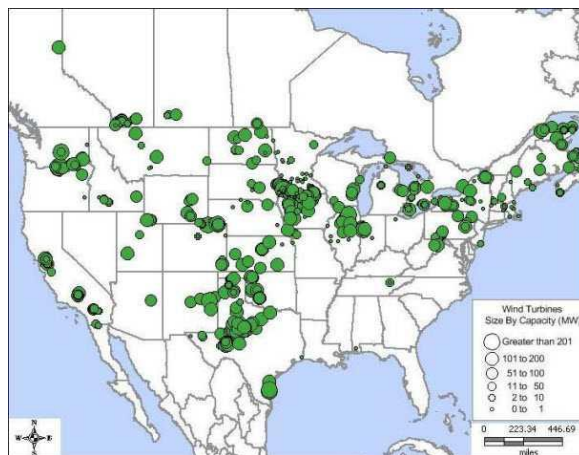
Rysunek 2. Roczny przyrost mocy elektrowni wiatrowych według kontynentów w latach 2003-2012 w MW

Źródło: „Global Wind Report. Annual market update 2012”, GWEC, <http://www.gwec.net>

Liderem jest Texas z mocą ponad 10 GW, która zaspokaja prawie 8% popytu na energię w tym stanie. Na drugim miejscu jest stan Iowa z mocami prawie 3,7 GW oraz produkcją zaspokajającą 20% potrzeb energetycznych stanu. Największe inwestycje w energetyce wiatrowej poczyniono jednak w stanie Illinois oraz California. Władze Stanów Zjednoczonych planują, że do 2030 r. energetyka wiatrowa będzie zaspokajała 20% potrzeb energetycznych w tym kraju (w 2010 r. jest to ok. 2%).

Trzecie miejsce w energetyce wiatrowej na świecie zajmują Niemcy z mocami 27,2 GW. Produkcja elektrowni wiatrowych w Niemczech zaspokaja obecnie 6,2% potrzeb energetycznych tego kraju. Wśród liderów światowego rynku energetyki wiatrowej pojawia się jeszcze pięć państw europejskich: Hiszpania, Włochy, Francja, Wielka Brytania oraz Dania.





Rysunek 3. Rozmieszczenie elektrowni wiatrowych w USA wg mocy w 2010 roku

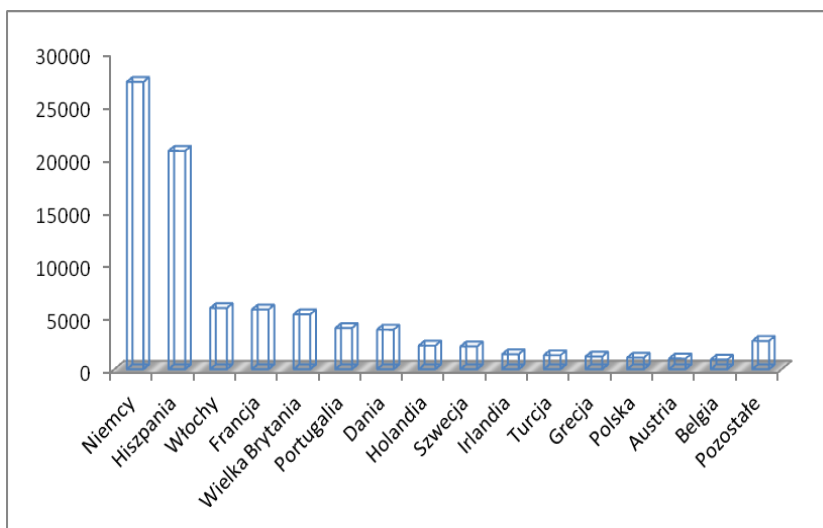
Źródło: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=2470>

## Energetyka wiatrowa w Europie

W Europie, drugi rok z rzędu energetyka wiatrowa znalazła się na czele ze względu na wartość mocy nowych urządzeń wykorzystujących ekologiczne źródła energii elektrycznej. Stanowiła ona 39% mocy wszystkich nowych źródeł. W 2009 roku dynamiczny trend w zakresie wykorzystania energetyki wiatrowej został potwierdzony 23-procentowym przyrostem mocy siłowni wiatrowych. Europejskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej (EWEA) wartość nowych instalacji w UE o mocy 10 163 MW wycenia na 13 miliardów euro. Całkowita moc wszystkich odnawialnych źródeł energii wzrosła w Europie o 20 550 MW do 821 006 na koniec 2009 r., z czego energetyka wiatrowa zwiększyła udział z 64 719 MW do 74 767 MW (9,1%). Obecnie podsektor wiatrowy w Europie daje zatrudnienie prawie 200 000 osób. Szacunki EWEA podają, że w roku o przeciętnej europejskiej wietrzności farmy wiatrowe są obecnie w stanie zaspokoić 4,8% unijnego zapotrzebowania na prąd. Energetyka wiatrowa zastępując paliwa kopalne, może być wykorzystana do szybkiego ograniczenia emisji zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych.

W 2009 r. energia uzyskana z wiatru pozwoliła uniknąć emisji 106 milionów ton CO<sub>2</sub>, ekwiwalentu emisji 25% (53 milionów) samochodów zarejestrowanych w Unii Europejskiej. Komisja Europejska w scenariuszu „Energy trends to 2030” spodziewa się przyłączenia urządzeń o mocy 333 GW w dekadzie 2011-2020, z czego 136 GW (41%) będzie przypadać na energetykę wiatrową. Ponadto Komisja szacuje, że 64% nowych mocy przysporzy sektor energetyki wiatrowej, 17% stanowić będą źródła wykorzystujące gaz, 12% węgiel, 4% energię nuklearną i 3% ropę.

Liderem rynku europejskiego w zakresie energetyki wiatrowej są Niemcy z zainstalowaną mocą w 2010 r. ponad 27 GW. Przyrost mocy w tym roku w porównaniu z ubiegłym to około 1,5 GW. To mniej niż w poprzednich latach, uważa się, że zmniejszone inwestycje są skutkiem trwającego także w Niemczech kryzysu ekonomicznego. Jednak już na 2011 r. planuje się inwestycje dające 1,8 GW mocy. Energetyka wiatrowa zaspokajała w 2010 r. 6,2% niemieckich potrzeb. Rząd niemiecki planuje zwiększyć tę wielkość do 17% w 2020 r. Największe moce energii wiatrowej zainstalowane są w Dolnej Saksonii (6,6 GW)<sup>9</sup>.



Rysunek 4. Moc farm wiatrowych wg państw w Europie w 2010 r. w MW

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych „Global Wind Report. Annual market update 2010”, GWEC, [http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/Global\\_Wind\\_2007\\_report/GWEC%20Global%20Wind%20Report%202010%20low%20res.pdf](http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/Global_Wind_2007_report/GWEC%20Global%20Wind%20Report%202010%20low%20res.pdf)

Ważne miejsce w europejskim rynku energetyki wiatrowej zajmuje Hiszpania. Pomimo kryzysu w 2010 roku moc elektrowni wiatrowych zwiększyła się o prawie 8% (tj. 1,5 GW) osiągając 20,7 GW. W Hiszpanii duże znaczenie ma roczna wietrzność. Rok 2010 był znacznie bardziej wietrzny niż średnie dane dotyczące wietrzności dla Hiszpanii. Dzięki zwiększonym podmuchom wiatru w 2010 r. udało się wyprodukować prawie 43 TWh, co zaspokoiło ponad 16% krajowych potrzeb energetycznych. W Hiszpanii energia odnawialna stanowi 38% wyprodukowanej energii,

<sup>9</sup> Na podstawie danych „Global Wind Report. Annual market update 2010”, GWEC, [http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/Global\\_Wind\\_2007\\_report/GWEC%20Global%20Wind%20Report%202010%20low%20res.pdf](http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/Global_Wind_2007_report/GWEC%20Global%20Wind%20Report%202010%20low%20res.pdf).

z czego dominujące znaczenie ma właśnie energetyka wiatrowa. Hiszpańskie władze mają ogromne plany odnośnie energetyki wiatrowej. Do 2020 r. ma ona stać się najważniejszym źródłem energii z mocą ok. 28 GW, zaspokajającą prawie 20% potrzeb energetycznych Hiszpanii (tylko gaz będzie miał więcej, tj.35%)<sup>10</sup>.

Stabilne w czasie inwestycje podejmuje Francja. Od 2005 r. przyrost francuskich mocy w energetyce wiatrowej to ok.1 GW/rocznie. W 2010 r. Francja dysponowała mocami ok. 3,5 GW, zaspokajając tym samym niespełna 2% potrzeb energetycznych kraju. Francuskie plany odnośnie energetyki wiatrowej mówią o 25 GW mocy w 2020 r. oraz 10% zaspokajanych potrzeb energetycznych. Energetyka wiatrowa ma stanowić jedną czwartą energii ze źródeł odnawialnych.

W Europie to Wielka Brytania jest postrzegana jako najlepsze miejsce dla inwestycji wiatrowych, chociaż w chwili obecnej jeszcze nie wykorzystywanych w sposób optymalny. W 2010 r. w Wielkiej Brytanii powstało 40 nowych farm wiatrowych o mocy 962 MW (dla porównania w Polsce obecnie moc wszystkich farm wiatrowych ma zaledwie 1350 MW). Największe skupiska farm wiatrowych znajdują się w Szkocji, na północnym zachodzie Anglii oraz w Walii. Sama Szkocja dysponowała w 2010 r. mocami 376 MW. Produkcja energii wiatrowej zaspokajała w 2010 r. prawie 9% potrzeb energetycznych kraju. Moce Wielkiej Brytanii szacowane są na ok.5,2 GW. Od 2005 r. są one zwiększane o ok. 1 GW rocznie.

Największa farma wiatrowa nie tylko w Europie, ale obecnie na świecie, zlokalizowana jest właśnie w Wielkiej Brytanii. Farma Thanet oddana do użytku w 2010 r., należąca do firmy Vattenfall, dysponuje mocą ok. 300 MW (100 turbin). Inną ważną inwestycją jest farma wiatrowa Whitlee w Szkocji dysponująca 140 turbinami o łącznej mocy 322 MW. Wielka Brytania ma zamiar do 2020 r. zwiększyć produkcję energii wiatrowej tak, by zaspokajała ona 15% popytu na energię elektryczną w tym kraju.

Na uwagę zasługuje jeszcze energetyka wiatrowa w Rumunii. W 2006 r. dysponowała ona mocą zaledwie 3 MW, zaś w 2010 r. było to już 462 MW. Wprawdzie system energetyczny Rumunii oparty jest przede wszystkim na czarnej energii (46%), to znaczący udział ma także energetyka wodna (34%) oraz atomowa (20%). Uważa się, że Rumunia posiada bardzo dobre warunki dla energetyki wiatrowej – średnia prędkość wiatru to ok. 7 m/s, a w najlepszych energetycznie regionach nad Morzem Czarnym prędkość ta jest znacznie wyższa. Rumunia ma bardzo ambitne plany odnośnie przyszłości – planuje wzrost mocy zainstalowanych w energetyce wiatrowej do 5 GW w 2020 r.

Niezwykle ważne znaczenie w europejskiej energetyce wiatrowej mają morskie elektrownie wiatrowe. Kraje Europy Północnej przodują obecnie w rozwoju morskiej energetyki wiatrowej. Pod koniec 2010 roku na Morzu Północnym i Bałtyku zainstalowanych było 2 946 MW farm wiatrowych. Najwięcej z nich działało w Wielkiej Brytanii (13 farm o łącznej mocy 1 341 MW) oraz Danii (12 farm o łącznej mocy 854 MW). Ocenia się, że w fazie realizacji jest obecnie 3 500 MW farm wiatrowych, a 19 000 MW znajduje się

<sup>10</sup> Tamże.

w zaawansowanej fazie rozwoju<sup>11</sup>. W północnej Europie istnieje obecnie ponad 350 nowych koncepcji projektów wiatrowych na morzu, o łącznej mocy ponad 170 GW, z czego ponad 40 GW może zostać zrealizowanych do około 2020 roku. W dłuższej perspektywie czasu (2030 rok), w północnej Europie może zostać zrealizowane 115 GW morskich farm wiatrowych. Ambicje te znalazły odzwierciedlenie w Krajowych Planach Działania (KPD) w zakresie energii ze źródeł odnawialnych, przesłanych przez kraje UE do Komisji Europejskiej w roku 2010. Według zamieszczonych w nich scenariuszy, do roku 2020 kraje Europy północnej zakładają instalację 37 174 MW farm wiatrowych na morzu. Najwięcej z nich (12 990 MW) miałyby zostać uruchomionych w Wielkiej Brytanii, Niemczech (10 000 MW) i Francji (6 000 MW). Także Polska umieściła w Krajowym Planie Działania 500 MW morskich farm wiatrowych<sup>12</sup>.

Rozwój morskiej energetyki wiatrowej koncentruje się obecnie na Morzu Północnym. Analizy rynkowe wskazują, że o ile utrzyma się obecny trend, to do roku 2020 na Bałtyku farmy wiatrowe powstawać będą głównie w krajach obecnie już rozwijających na tym akwenie energetykę wiatrową (Niemcy, Dania). Dopiero w latach 2020-2030 nastąpi intensyfikacja rozwoju rynku w tym regionie, także w krajach dotąd mniej zaawansowanych w przygotowywaniu projektów morskich farm wiatrowych. Obecnie największą działającą farmą wiatrową na Bałtyku to duński projekt Rødsand II (207 MW), oddany jesienią 2010 roku. W roku 2011 ukończono pierwszą fazę niemieckiego projektu Baltic (Baltic 1) należącego do EnBW, o mocy 48,3 MW. Kolejna faza projektu, określana jako Baltic 2 (d. Kriegers Flak) będzie miała moc 288 MW, a jej oddanie do użytku planowane jest na rok 2013. Zgodnie z danymi operatora systemu przesyłowego 50Hertz, umowy przyłączeniowe posiadało w roku 2010 czternaście niemieckich farm wiatrowych na Bałtyku, o łącznej mocy 3 500 MW<sup>13</sup>.

## Sytuacja w sektorze energetyki wiatrowej w Polsce

Najnowsze opublikowane dane podają, iż w Polsce w energetyce wiatrowej zainstalowanych jest **2644,898 MW** (stan na dzień 31.03.2013). Na koniec 2011 r. było 1616 MW. Rok 2012 dał przyrost o 880 MW. Nasycenie elektrowniami wiatrowymi w Polsce należy jednak do najniższych w Europie. Moc zainstalowana w energetyce wiatrowej na mieszkańca, to 0,012 kW, a na km<sup>2</sup> obszaru lądowego przypada 1,44 kW<sup>14</sup>. Łącznie w Polsce posadowionych jest 743<sup>15</sup> koncesjonowanych źródeł.

<sup>11</sup> G. Wiśniewski, M. Ligus, K. Michałowska-Knap, *Morski wiatr kontra atom. Analiza porównawcza kosztów morskiej energetyki wiatrowej i energetyki jądrowej oraz ich potencjału tworzenia miejsc pracy*, 2011, s. 19

<sup>12</sup> Tamże.

<sup>13</sup> Tamże.

<sup>14</sup> Stan czerwiec 2013 r., źródło URE.

<sup>15</sup> Stan na czerwiec 2013.

Nasylenie elektrowniami wiatrowymi w Polsce należy do najniższych w Europie. Moc zainstalowana w energetyce wiatrowej na mieszkańca, to 0,012 kW, a na km<sup>2</sup> obszaru lądowego przypada 1,44 kW. Mimo to energetyka wiatrowa wysunęła się na pierwsze miejsce w Polsce wśród alternatywnych źródeł energii. O ile kilka lat temu działały pojedyncze skupiska kilku siłowni, to obecnie powstają profesjonalne instalacje o coraz większej mocy. Największym zrealizowanym projektem jest jak dotąd farma wiatrowa w Margoninie, wybudowana przez EDP Renováveis, o mocy 120 MW, jednak docelowo będzie skupiać elektrownie wiatrowe o łącznej mocy 240 MW. Wśród najważniejszych można wymienić następujące projekty: Jagniątkowo (EPA, 30,6 MW), Jeleniewo (RWE, 41 MW), Kamieńsk (PGE, 30 MW), Karcino (Dong, 76,5 MW), Karścino (Iberdrola, 69 MW), Kisielice (Iberdrola, 40,5 MW), Łosino (J-Power, Mitsui, 48 MW), Puck (PEP, 22 MW), Suwałki (RWE, 41,4 MW), Tochowo (RP Global, 50 MW), Tymień (EEZ, 50 MW), Zagórze (Vattenfall, 30 MW), Zajęczkowo i Widzino (Mitsui, J-Power, 90 MW).

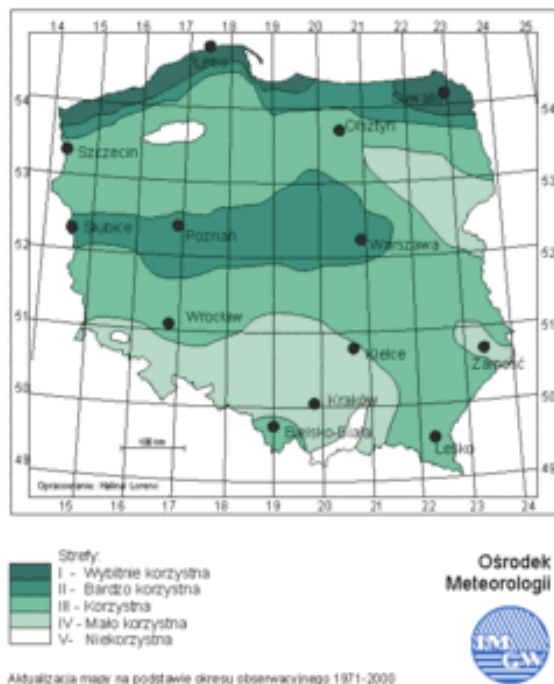
Rozmieszczenie elektrowni wiatrowych zależy od uwarunkowań przyrodniczych. Pomiarom wietrzności zajmuje się Ośrodek Meteorologii. W Polsce tylko w niewielu miejscach sezonowo prędkość wiatru przekracza 4 m/s, co uznawane jest za minimum, aby mogły pracować urządzenia prądotwórcze wiatraków energetycznych. Średnia prędkość wiatrów wynosi 2,8 m/s w porze letniej i 3,8 m/s w zimie. Polska leży w strefie o przeciętnych warunkach wietrzności. Konsekwencją niskiej wietrzności jest to, że elektrownia wiatrowa wybudowana w Danii dostarczy 100 kW energii, podczas gdy taka sama elektrownia wybudowana w rejonie Szczecina dostarczy tylko 17,3 kW.

Ze względu na możliwości wykorzystania energii wiatru (dla prędkości powyżej 4 m/s) korzystne warunki ma 2/3 terytorium Polski (Rysunek: Strefy energetyczne wiatru w Polsce). Najlepsze warunki wiatrowe w Polsce panują nad Bałtykiem, w okolicach Suwalszczyzny oraz na Podkarpaciu. Polskimi "zagłębiami wiatrowymi" są przybrzeżne pasy w okolicach Darłowa i Pucka. Względnie dobre warunki panują w Wielkopolsce i na Mazowszu<sup>16</sup>.

Jak wynika z danych Urzędu Regulacji Energetyki (URE), udział farm wiatrowych o łącznej mocy 1096 MW osiągnął w całkowitym bilansie poziom prawie 46%, zaś elektrowni wodnych był niższy o około 7%. Tymczasem jeszcze w 2009 r. to elektrownie wodne zdecydowanie dominowały z zainstalowaną mocą około 945 MW. Różnica między nimi stanowiła przeszło 220 MW. Przez niespełna rok siłownie na wiatr zdecydowanie prześcignęły dotychczasowego przodownika.

W 2011 r. nastąpił dalszy wzrost mocy elektrowni wiatrowych do 1 351 MW. Gdyby wiatraki utrzymały dotychczasową tendencję, a pozyskiwanie energii z innych źródeł odbywało się w takim samym tempie jak teraz, to już za dwa lata moc wiatraków w ogólnym bilansie mocy z odnawialnych źródeł energii mogłaby wynieść 70%.

<sup>16</sup> A. Chochowski, *Energetyka wiatrowa* [w:] A. Chochowski, F. Krawiec (red.), *Zarządzanie w energetyce. Konceptcje, zasoby, strategie, struktury, procesy i technologie energetyki odnawialnej*, Difin, Warszawa, 2008, s. 255.



Rysunek 5. Strefy energetyczne wiatru w Polsce

Źródło: PSEW, <http://www.psew.pl>

Prognoza rozwoju energetyki wiatrowej przewiduje zainstalowanie mocy wynoszącej ok. 13 GWe w 2020 r. – w tym 11 GWe w lądowych farmach wiatrowych, 1,5 GW w morskich farmach wiatrowych oraz 600 MW w małych elektrowniach wiatrowych. Zamieszczone w tabeli 2 dane stanowią prognozę opublikowaną w styczniu 2010 r. W chwili obecnej są już informacje o inwestycjach, jakie zamierza podjąć PGE w zakresie energetyki wiatrowej na Bałtyku. W grupie PGE zostały utworzone trzy spółki celowe, które mają realizować projekty budowy morskich farm wiatrowych.

EO Baltica i Elektrownia Wiatrowa Resko z grupy PGE utworzyły w czerwcu spółki celowe Elektrownia Wiatrowa Baltica 1, Elektrownia Wiatrowa Baltica 2 oraz Elektrownia Wiatrowa Baltica 3. Spółki celowe zostały powołane w celu złożenia wniosków o wydanie pozwolenia na wznoszenie i wykorzystywanie sztucznych wysp, konstrukcji i urządzeń w polskich obszarach morskich. Po uzyskaniu takich pozwoleń spółki będą realizowały projekty związane z morskimi farmami wiatrowymi. Pierwotnie PGE planowała do 2020 roku zainstalować na Bałtyku farmy wiatrowe o mocy 1000 MW. Spółka zakładała, że te morskie farmy będą produkować

rocznie 4-4,5 TWh energii, a miały być wyposażane w turbiny o mocy 3,6-5 MW i kosztować około 13,4 mld zł.

Tabela 2. Przyrost mocy elektrowni wiatrowych w Polsce do 2020 r. wg rozmieszczenia i mocy (MW)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
EW na lądzie	920	1404	2303	3202	4101	5000	6561	8098	9060	10008	10893
EW na morzu	0	0	0	0	0	0	0	0	500	1000	1500
Małe EW	1	5	10	70	130	190	250	310	369	429	600

Źródło: Raport „Wizja energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 r.”, PSEW

Polska, ze względu na długość linii brzegowej oraz znaczący obszar morza terytorialnego i wyłącznej strefy ekonomicznej, posiada jeden z najbardziej znaczących potencjałów technicznych morskiej energetyki wiatrowej na Bałtyku. Potencjał ten jest jednakże znacznie ograniczony poprzez uwarunkowania środowiskowe oraz intensywne użytkowanie przestrzeni morskiej na inne cele gospodarcze. Brak jest obecnie kompleksowego planu zagospodarowania dla polskich obszarów morskich. Trwają prace nad przygotowaniem planów pilotażowych, w których uwzględnione zostaną również zagadnienia morskiej energetyki wiatrowej. Instytut Morski w Gdańsku podjął próbę zidentyfikowania obszarów, które mogłyby być wykorzystane na potrzeby morskiej energetyki wiatrowej. W szczególności wykluczono obszary:

- zwyczajowych szlaków morskich i możliwych utrudnień nawigacyjnych,
- wykorzystywane na cele militarne,
- podlegające ochronie obszarowej ze względów środowiskowych (ochrona brzegów, NATURA 2000),
- wykorzystywane na cele rybołówstwa.

W warunkach polskich oznacza to w praktyce konieczność budowy farm wiatrowych poza morzem terytorialnym (w wyłącznej strefie ekonomicznej). Założenie realizacji farm wiatrowych na morzu poza obszarem NATURA 2000 powoduje, że wykluczone zostaną obszary do izobaty 20 m oraz Ławica Słupska. Większość obszarów możliwej lokalizacji farm wiatrowych zlokalizowana jest w sąsiedztwie Ławicy Słupskiej oraz na Ławicy Środkowej. Całkowita powierzchnia obszarów, na których można zlokalizować morskie farmy wiatrowe, została przez Instytut Morski określona jako 3 590 km<sup>2</sup>, co odpowiada potencjałowi technicznemu rzędu 35 GW. Uwzględniając jednakże uwarunkowania ekonomiczne (np. odległość od lądu), należy ograniczyć go obecnie do około 20 GW.

Lokalizacje na Ławicy Środkowej, jako odległe od lądu o ponad 80 km, mogą zostać wykorzystane dopiero w dalszej perspektywie czasowej<sup>17</sup>.

Analiza energetyki wiatrowej dostarcza wielu wniosków. W 2020 r. elektrownie wiatrowe mogą stać się najtańszym odnawialnym źródłem energii elektrycznej - technologią, w której koszty produkcji energii będą porównywalne z kosztami produkcji energii elektrycznej w funkcjonujących elektrowniach jądrowych. Udział elektrowni wiatrowych w produkcji energii elektrycznej będzie szybko wzrastać, do 17% w 2020 r. i prawie 29% w 2030 r. Energetyka wiatrowa to jedna z najtańszych opcji technologicznych redukcji emisji CO<sub>2</sub>. Zgodnie z opracowanym scenariuszem, redukcja emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery za sprawą energetyki wiatrowej wyniesie 33 mln ton w 2020 r., z dalszym potencjałem wzrostu do 65 mln ton w 2030 r. Prognozowany jest wzrost liczby zatrudnionych w energetyce wiatrowej z ponad 2000 osób (ekwiwalent pełnoetatowych stanowisk pracy) w 2008 r. do 66 tysięcy w 2020 r. Rozwój energetyki wiatrowej może wpłynąć na lokalną aktywizację gospodarczą. W 2020 r. do kas gminnych z tytułu podatku od nieruchomości może wpłynąć nawet 212 mln zł/rok (ok. 2% wszystkich przychodów własnych gmin wiejskich, a w gminach o korzystnych warunkach wietrzności nawet do 17%). Przychody dzierżawców (rolników) z terenów pod elektrownie wiatrowe w 2020 r. mogą wynosić ponad 100 mln zł/rok. Energetyka wiatrowa wniesie istotny wkład w realizację Dyrektywy 2009/28/WE, w perspektywie 2020 r. Przy prognozowanym w niniejszym raporcie osiągnięciu przez Polskę 21% udziału wyprodukowanej zielonej energii w zużyciu energii finalnej brutto w 2020 roku, energetyka wiatrowa dostarczyłaby 14,5% całości energii z OZE. Udział energetyki wiatrowej w zużyciu zielonej energii elektrycznej może wzrosnąć z obecnych ok. 15% do ponad 62% w 2020 r., a jej udział w zużyciu energii finalnej brutto może osiągnąć 3,8%.

## Bibliografia

- Chochowski A., *Energetyka wiatrowa* [w:] Chochowski A., Krawiec F. (red.), *Zarządzanie w energetyce. Koncepcje, zasoby, strategie, struktury, procesy i technologie energetyki odnawialnej*, Difin, Warszawa, 2008.
- Chochowski A., *Energetyka wiatrowa* [w:] Krawiec F. (red.), *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Wybrane problemy*, Difin, Warszawa 2010.
- Ginalska E., Ginalski P., *Energia Gigawat*, 09.2002.
- Global Wind Report. Annual market update 2012*, GWEC, <http://www.gwec.net>
- Jabłoński W., Wnuk J., *Odnawialne źródła energii w polityce energetycznej Unii Europejskiej i Polski. Efektywne zarządzanie inwestycjami – studia przypadków*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania i Marketingu w Sosnowcu, Sosnowiec 2004.

<sup>17</sup> G.Wiśniewski, M. Ligus, K. Michałowska-Knap, op.cit., s. 20



- Kuciński K.(red.), *Energia w czasach kryzysu*, Difin, Warszawa 2006.
- Niedziółka D., *Rynek energii w Polsce*, Difin, Warszawa 2010.
- Niedziółka M., *Analiza opłacalności farm wiatrowych w Polsce* [w:] Niedziółka D. (red.), *Zielona energia w Polsce*, CEDEWU, Warszawa 2012.
- Wiśniewski G., Ligus M., Michałowska-Knap K., *Morski wiatr kontra atom. Analiza porównawcza kosztów morskiej energetyki wiatrowej i energetyki jądrowej oraz ich potencjału tworzenia miejsc pracy*, 2011.
- Wiśniewski G., Michałowska-Knap K., Koć S., *Energetyka wiatrowa – stan aktualny i perspektywy rozwoju w Polsce*, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2012, <http://www.ieo.pl>