

MORSKIE ELEKTROWNIE WIATROWE

dr inż. Jacek NOWICKI

Sekretarz Generalny, Stowarzyszenie Elektryków Polskich

Słowa kluczowe: morska energetyka wiatrowa (MEW), elektrownie wiatrowe, odnawialne źródła energii (OZE).

Streszczenie: Morskie elektrownie wiatrowe staną się w najbliższych dziesięcioleciach najbardziej obiecującym źródłem energii odnawialnej w Europie, zapewniając względnie duże moce generacyjne. Obecnie dwa kraje europejskie są liderami w morskiej energetyce wiatrowej w Europie: Niemcy i Wielka Brytania. W oparciu o ich doświadczenia można już pokusić się o nakreślenie wizji rozwoju tej gałęzi energetyki wytwórczej w Polsce i innych krajach regionu.

1. WPROWADZENIE

Wydaje się, że spośród wszystkich obecnie rozwijanych gałęzi energetyki odnawialnej największą dojrzałość techniczną i potencjał rozwojowy dla wprowadzenia względnie dużych mocy generacyjnych do systemów energetycznych ma morska energetyka wiatrowa (MEW). Czynniki ograniczające rozwój tej gałęzi energetyki wiatrowej na lądzie, takie jak konieczność odsunięcia elektrowni od miejsc zamieszkania ludzi oraz negatywny wpływ na krajobraz nie dotyczą instalacji morskich. Morskie elektrownie wiatrowe mogą być z powodzeniem instalowane na akwenach, na których występują duże, oddalone odpowiednio od lądu obszary szelfowe umożliwiające posadowienie masztu wiatraka na dnie. W Europie warunki takie spełniają przede wszystkim Morze Północne, Morze Bałtyckie i Morze Irlandzkie. Morze Bałtyckie jest akwenem wyjątkowo sprzyjającym rozwojowi morskiej energetyki wiatrowej. Podobnie jak Morze Północne ma ono duże, płytkie obszary szelfowe a dodatkowo charakteryzuje się niskim zasoleniem.

Spośród głównych technologii generacyjnych energii odnawialnej morskie elektrownie wiatrowe mają najwyższy współczynnik wykorzystania mocy sięgający aż 50 ÷ 60%. Dla porównania – dla lądowych elektrowni wiatrowych wynosi on ok. 30 ÷ 40% a dla instalacji fotowoltaicznych zaledwie ok. 10 ÷ 11%.

Do końca 2018 r. łączna moc zainstalowana MEW na całym świecie wyniosła 23,1 GW. Największą mocą zainstalowaną w tej gałęzi generacji pochwalić się może Wielka Brytania (7963 MW, 34% udziału światowego). Kolejnymi dwoma potentatami są: Niemcy (6380 MW; 28%) i Chińska Republika Ludowa (4588 MW, 20%). Następne liczące miejsca zajmują mniejsze

kraje europejskie: Dania (1329 MW), Belgia (1186 MW) i Holandia (1118 MW). Inne kraje Europy, Dalekiego Wschodu oraz Ameryki Północnej, pomimo głośnych deklaracji o zainteresowaniu tą dziedziną energetyki posiadają w tym rankingu jedynie śladowe udziały.

W 2018 r. w Europie przyłączono do sieci 409 nowych morskich turbin wiatrowych w ramach 18 projektów. To przyniosło 2649 MW dodatkowej mocy netto. Całkowita moc europejskich morskich elektrowni wiatrowych osiągnęła tym samym 18 499 MW, na którą składają się 4543 turbiny wiatrowe zainstalowane w 11 krajach. Oprócz tego w 2018 r. dwanaście projektów nowych elektrowni wiatrowych osiągnęło poziom końcowych decyzji inwestycyjnych o łącznej wartości 10,3 mld euro. W najbliższych latach spowoduje to włączenie do systemów energetycznych dodatkowych mocy generacyjnych o łącznej mocy 4,2 GW [5].

2. WYZWANIA TECHNOLOGICZNE

Morskie elektrownie wiatrowe stanowią wdzięczne pole dla rozwoju wielu nowoczesnych technologii począwszy od konstrukcji turbin wiatrowych poprzez kable podmorskie, platformy ze stacjami kolektorowymi, specjalistyczne statki do obsługi infrastruktury elektrowni na morzu aż do nowych technologii sondowania dna morskiego służącego przygotowaniu budowy instalacji MEW.

Obecnie najwyższa moc turbin przeznaczonych do zastosowania na morzu to 9,5 MW (a na lądzie 7,5 MW). Obecnie wiodącym dostawcą wiatraków dla MEW w Europie jest niemiecko-hispańska firma Siemens-Gamesa dostarczająca 69% wszystkich tego rodzaju urządzeń dla bieżąco realizowanych projektów. Kolejnym liczącym się producentem turbin morskich

jest MHI Vestas z Danii posiadający ok. 24% rynku. Następne miejsca zajmują: Senvion (5%), Bard Engineering (2%) i GE Renewable Energy (1%).



Rys.1. Turbina wiatrowa Heliade-X o mocy 12 MW produkcji firmy GE Renewable Energy. Pojęcie o wielkości urządzenia daje porównanie ze słynnymi budowlami – wieżą Eiffla i budynkiem Chryslera (rysunek górny) a także z grupą stojących obok ukończonej gondoli pracowników na zdjęciu dolnym [fot. General Electric]

Amerykański koncern General Electric pomimo niewielkiego udziału w obecnie realizowanych dostawach dostrzega ogromny potencjał w MEW. W 2018 r. GE zapowiedział wprowadzenie na rynek turbiny wiatrowej typu Heliade-X o mocy 12 MW. Na rozwój tego projektu Amerykanie planują wydać w ciągu najbliższych trzech-pięciu lat ok. 400 mln dolarów. Prototyp Heliade-X 12 MW zostanie zainstalowany w porcie w Rotterdamie w Holandii. Wysokość wiatraka tej prototypowej instalacji wyniesie ma 269 m, a średnica wirnika 220 m. Gondola Heliade-X powstaje we francuskiej fabryce GE w Saint-Nazaire. Z kolei łopaty wirnika liczące po 107 m długości produkowane są w Cherbourg w zakładach LM Wind Power. Pojedynczy wiatrak Heliade-X 12 MW ma dostarczać w skali roku 67 GWh energii elektrycznej pracując przy średnim współczynniku wykorzystania mocy wynoszącym aż 67 proc. – takie wartości GE przyjmuje dla „typowej” lokalizacji na morskie wiatraki w niemieckiej części Morza Północnego. Oczekuje się, że turbiny Heliade-X wejdą na rynek w latach 2024-25.

Nad projektami nowych, wielkich turbin wiatrowych pracują również inne firmy. W 2018 roku duńskie przedsiębiorstwo MHI Vestas poinformowało o pracach nad podniesieniu mocy turbiny typu V164 do 10 MW dla projektów MEW realizowanych w Wielkiej Brytanii, Holandii i USA. Z kolei Siemens-Gamesa de-

klaruje gotowość do komercjalizacji morskiej turbiny wiatrowej 10 MW w 2022 roku. Chiński producent Goldwind pracuje nad jednostkami 8 MW przeznaczonymi na razie na rynek dalekowschodni.

3. DOŚWIADCZENIA BRITYJSKIE I NIEMIECKIE

Jak już wspomniano wcześniej Wielka Brytania jest w dziedzinie MEW światowym liderem. U jej wybrzeży zlokalizowana jest największa na świecie morska elektrownia wiatrowa Walney, której moc w ramach ostatniej rozbudowy ukończonej w 2018 roku, podniesiono do łącznie 659 MW poprzez dobudowanie nowych wiatraków po stronie zachodniej (66 MW) i wschodniej (329 MW). W 2018 uruchomiono również elektrownie: Galloper (277,2 MW), Beatrice 2 (273 MW), Rampion (220,8 MW). W 2018 r. do brytyjskiego systemu elektroenergetycznego podłączono 1,312 GW mocy z morskich elektrowni wiatrowych. W budowie znajduje się m.in. elektrownia wiatrowa Hornsea One, która osiągnie moc aż 1,218 GW. Brytyjczycy eksperymentują z pływającymi elektrowniami wiatrowymi, w których wiatraki nie są sztywno umocowane do dna morskiego ale unoszą się na powierzchni morza na odpowiednich pływakach zakotwiczonych do dna. W 2018 uruchomiono drugą instalację pilotażową tego typu – Kincardine Pilot o mocy 2 MW. Elektrownie z wiatrakami unoszącymi się na powierzchni morza stanowią bardzo interesujące rozwiązanie dla akwenów, na których głębokość szybko zwiększa się wraz odległością od brzegu (tak jak np. na Morzu Śródziemnym).

Szacuje się, że ogromne inwestycje w brytyjski sektor MEW pozwalają na utrzymanie ponad 7 tysięcy miejsc pracy. Wielka Brytania od samego początku budowała łańcuch dostaw dla energetyki wiatrowej, startując niemal od zera. Dzisiaj jest on w stanie zrealizować do 50 proc. inwestycji. Kolejne doświadczenie to system wsparcia i warunki regulacyjne: system local content, a więc zaangażowania lokalnych przedsiębiorstw. Wielka Brytania rozwinęła również własny, unikalny model finansowania inwestycji w MEW. Brytyjskie firmy działające w łańcuchu dostaw morskiej energetyki wiatrowej w znacznej mierze wywodzą się z sektora ropy i gazu. Dawniej wiele spośród nich budowało platformy wiertnicze na Morzu Północnym.



Rys.2. Stacja transformatorowo-rozdzielcza umieszczona na platformie morskiej obsługująca niemiecką elektrownię Arkona na Bałtyku [fot. Chantiers de l'Atlantique]



Rys. 3. Montaż elektrowni wiatrowej na morzu przy użyciu wyspecjalizowanego statku. Jednostki tego rodzaju mogłyby być budowane w polskich stoczniach dla krajowego programu MEW [fot. Wind Europe]

We wrześniu 2019 roku poinformowano o rozstrzygnięciu w Wielkiej Brytanii aukcji, w której inwestorzy planujący budowę morskich farm wiatrowych zaoferowali ceny za energię dużo niższe od średnich cen energii na brytyjskim rynku hurtowym. Aukcje takie prowadzone są na rynku brytyjskim już od 2015 r. Korzysta z nich przede wszystkim MEW, podczas gdy obecnie praktycznie są z nich wyłączone lądowa energetyka wiatrowa i fotowoltaika. Pierwsza aukcja dla odnawialnych źródeł energii, przeznaczona dla „dojrzałych” technologii, przeprowadzona została na początku 2015 r. Przyznano wówczas gwarancje ceny energii dla 15 projektów lądowych farm wiatrowych i tylko 5 inwestycji zakładających budowę farm fotowoltaicznych o łącznej mocy 72 MW. Stawki za sprzedaż energii z trzech zwycięskich projektów fotowoltaicznych wyniosły około 79 GBP/MWh, a w przypadku dwóch pozostałych projektów fotowoltaiki zaproponowano cenę na poziomie 50 GBP/MWh. Obecnie za sprzedaż energii z morskich elektrowni wiatrowych deweloperzy zaproponowali rekordowo niskie ceny – wynoszące nawet poniżej 40 funtów/MWh (najniższa cena wyniosła 39,65 GBP/MWh), podczas gdy średnia, ubiegłoroczna cena energii na rynku hurtowym w Wielkiej Brytanii wynosiła około 52 GBP/MWh.

Władze brytyjskie dążą do tego, aby MEW do 2030 r. pokrywała 30% krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną. Planuje się zatem budowę kolejnych elektrowni wiatrowych o łącznej mocy 30 GW, czyli o 22 GW więcej niż obecnie. Osiągnięcie takiego wyniku ma zapewnić postawienie na brytyjskich wodach terytorialnych farm wiatrowych o łącznej mocy 30 GW, czyli o 22 GW więcej niż obecnie. Powiększanie brytyjskiego potencjału MEW mają zapewnić kolejne, organizowane co dwa lata aukcje z budżetem na poziomie 557 mln funtów.

W Niemczech rząd niezwykle silnie wspiera rozwój MEW stanowiący część transformacji energetycznej (niem. Energiewende). 2018 r. Niemcy włączyły do systemu elektroenergetycznego 136 turbin morskich o mocy 0,969 GW na Morzu Północnym i Morzu Bał-

tyckim. Trzy największe elektrownie wiatrowe powstałe w ostatnim okresie to: Merkur Offshore (120 MW), Arkona (384 MW) i Borkum Riffgrund (464,2 MW). Morska elektrownia wiatrowa Arkona na niemieckiej części Morza Bałtyckiego, 35 km na północny wschód od wyspy Rugii, została oficjalnie uruchomiona w dniu 16 kwietnia 2019 r. Inwestorami tego przedsięwzięcia, którego koszt budowy wyniósł 1,2 mld euro, są niemiecki E.ON i norweski Equinor. Elektrownia wyposażona jest w 60 turbin wiatrowych o mocy ponad 6 MW każda. Elektrownia Arkona o łącznej mocy 385 MW zajmuje obszar o powierzchni 39 kilometrów kwadratowych. Wiatraki ustawione są na fundamentach jednopalowych, na głębokości wody od 23 do 37 metrów.

Elektrownia Arkona przyłączona została do sieci niemieckiego operatora – firmy 50 Hertz, który kosztem 1,3 mld euro zbudował podmorskie połączenie kablowe Ostwind-1 o napięciu 220 kV. Połączenie kablowe ma długość 93 km, z czego 90 km przebiega po dnie morza, łącząc podstację Lubmin z obszarem Bałtyku przeznaczonym pod kolejne inwestycje MEW. Oprócz elektrowni Arkona do połączenia kablowego Ostwind-1 przyłączona jest elektrownia Wikinger o mocy 350 MW (zbudowana kosztem 1,4 mld euro przez firmę Iberdrola). Trzy nowo-budowane elektrownie: Baltic Eagle, Wikinger Süd (obie budowane przez Iberdrolę) oraz Arcadis Ost 1 (budowana przez belgijską firmę Parkwind) przyłączone zostaną do sieci firmy 50 Hertz za pomocą nowego połączenia – Ostwind-2, równoległego z trasą linii Ostwind-1.

Firma TenneT planuje budowę stałoprądowego kabla podmorskiego NordLink z Niemiec do Norwegii o długości 620 km umożliwiającego przesył mocy 1,4 GW i wzajemne wspieranie się i rezerwowanie systemów generacyjnych – północno-niemieckiego dysponującego dużą mocą morskich elektrowni wiatrowych i norweskiego od dziesięcioleci bazującego na klasycznych, dużych elektrowniach wodnych. Uruchomienie tego połączenia planowane jest na 2020 r.

4. MORSKA ENERGETYKA WIATROWA W POLSCE

Polska uważana jest w ocenach zachodnioeuropejskich ekspertów za rynek wschodzący MEW o największym, niewykorzystanym potencjale w Europie. W powstającym planie zagospodarowania obszarów morskich polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej (WSE) na Bałtyku dla budowy morskich elektrowni wiatrowych wyznaczono trzy obszary o łącznej powierzchni ok. 2,5 tys. km². Obszar WSE rozciąga się do 200 mil morskich poza morzem terytorialnym. Polska ma obecnie uregulowane granice strefy ze wszystkimi sąsiadami: Szwecją, Danią, Niemcami i Rosją. W granicach WSE kraj ma wyłączność na prowadzenie rybołówstwa, eksploatację surowców naturalnych spód dna morskiego oraz wznoszenie konstrukcji i instalacji – w tym elektrowni wiatrowych. Korzystając z doświadczeń duńskich i niemieckich dokonano oszacowania potencjału wytwórczego jaki osiągnąć mogą przyszłe polskie morskie elektrownie wiatrowe. Łącz-

nie moc zainstalowana może wynieść 10-12 GW mocy a energia elektryczna generowana rocznie 50 TWh, co w przybliżeniu odpowiada jednej trzeciej obecnego zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce (dane wg raportu PTMEW).

Realizacja polskiego programu MEW może wygenerować blisko 80 tysięcy nowych miejsc pracy i ok. 60 mld PLN wartości dodanej do PKB. Budowa infrastruktury MEW wiąże się z ogromnym zużyciem materiałów konstrukcyjnych – przede wszystkim stali. Ocenia się, że budowa polskich instalacji MEW o łącznej mocy 6 GW w latach 2020-2030 wiązać się będzie ze zużyciem ok. 1,2 miliona ton stali. Rozwój MEW stanowi zatem ogromną szansę i wyzwanie dla polskiego przemysłu hutniczego, elektromaszynowego i stoczniowego. Przedsiębiorstwa działające w Polsce mogą dostarczyć do 50% komponentów potrzebnych do budowy morskich elektrowni wiatrowych.

Jak dotąd najbardziej zaawansowane są projekty MEW realizowane przez krajowe firmy: Polenergia i PGE (Polska Grupa Energetyczna). Swego wielkiego zainteresowania wejściem w tą gałąź energetyki nie kryją też PKN Orlen i Tauron. Nie brak również inwestorów zagranicznych. Niemiecka firma RWE Renewables kupiła w październiku 2019 r. udziały w czterech projektach budowy farm wiatrowych w polskiej części Bałtyku o łącznym potencjale 1,5 GW.



Rys. 4. Mapa projektowanych morskich elektrowni wiatrowych w polskiej Wyłącznej Strefie Ekonomicznej na Bałtyku [rys. WysokieNapiecie.pl]

Pod koniec stycznia 2019 Polskie Sieci Elektroenergetyczne wydały warunki przyłączenia morskich farm wiatrowych spółkom MFW Bałtyk II (Polenergia/Equinor 240 MW), Polenergia Bałtyk I (Polenergia 1560 MW), Baltic Trade and Invest (350 MW), Elektrownia Wiatrowa Baltica-2 (1498 MW, PGE) i Baltic Power (1200 MW, PKN Orlen). W sumie wydane warunki przyłączenia obejmują źródła generacyjne o mocy 4848 MW. Pierwsze polskie elektrownie wiatrowe będą budowane na szelfie w pasie od Ustki do Władysławowa, poza wodami terytorialnymi RP, w obszarze polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej. Najmniejsza odległość wież wiatrakowych od brzegu wynosić ma ok. 20 km.

W chwili obecnej (koniec 2019 r.) projekty polskiej MEW znajdują się wciąż na etapie projektowania i badań. Kolejnymi działaniami niezbędnymi dla realizacji wielkich działań inwestycyjnych w tej dziedzinie będą:

rozbudowa portów morskich, budowa wyspecjalizowanych jednostek pływających i przygotowanie odpowiedniej infrastruktury przyłączeniowej ze strony krajowego systemu elektroenergetycznego.

Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej w swym raporcie [3] podaje następujące warunki politycznego wsparcia dla kontynuacji i rozwoju MEW w Polsce:

- Zagwarantowanie odpowiedniej powierzchni i lokalizacji dla farm wiatrowych w powstającym planie zagospodarowania przestrzennego polskich obszarów morskich.
- Zdefiniowanie priorytetów wykorzystania polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej na korzyść morskich farm wiatrowych.
- Uwzględnienie odpowiednio dużej powierzchni pod infrastrukturę techniczną niezbędną do przyłączenia morskich elektrowni wiatrowych do krajowego systemu elektroenergetycznego w powstającym planie zagospodarowania przestrzennego polskich obszarów morskich.
- Atrakcyjny i stabilny system wsparcia dla morskich farm wiatrowych, w tym gwarancja sprzedaży energii z morskich farm wiatrowych po odpowiedniej cenie.

Program MEW dla Polski może stać się jednym z motorów rozwoju gospodarczego kraju po roku 2020, gdy zakończy się obecna perspektywa finansowa środków pomocowych dopływających do polskiej gospodarki z Unii Europejskiej.

5. BIBLIOGRAFIA

1. A report by the European Wind Energy Association - August 2015, *Wind energy scenarios for 2030*
2. Aleksander Gul, ABB Sp. z o.o., *Innowacyjne rozwiązania zastosowane w Kompleksie Morskich Farm Wiatrowych Wielkiej Mocy, z uwzględnieniem wymagań dla zabezpieczenia morskiej sieci kablowej prądu stałego*. Referat na III Kongres Elektryki Polskiej, Warszawa, kwiecień 2019
3. Raport Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej – Przyszłość Morskiej Energetyki wiatrowej w Polsce, maj 2019 r.
4. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy – *2018 Offshore Wind Technology Market Report*, Washington D.C. 2018
5. Wind Europe – *Offshore Wind in Europe. Key trends and statistics 2019*.