

Morska energia odnawialna jako element zrównoważonego rozwoju gospodarczego

Abstrakt: Pozyskiwanie energii w ramach morskiej energetyki odnawialnej staje się coraz ważniejszym aspektem rozwijania miksu energetycznego poszczególnych krajów, a szerzej wdrażania strategii zrównoważonego rozwoju. W skład morskiej energetyki odnawialnej wchodzi morska energetyka wiatrowa (*offshore wind energy*) oraz energia oceaniczna (*ocean energy*), które obejmują technologie wykorzystujące w sposób bezpośredni energię pochodzącą z naturalnych właściwości mórz i oceanów. Niniejszy rozdział ma na celu przedstawienie aktualnego stanu rozwoju morskiej energetyki odnawialnej, ze szczególnym uwzględnieniem perspektywy europejskiej. Spośród przedstawionych rodzajów morskiej energetyki odnawialnej jedynie morska energetyka wiatrowa ma szeroką skalę zastosowań komercyjnych i stanowi jedyne istotne źródło pozyskiwania energii odnawialnej z mórz i oceanów. Z tego powodu zyskuje znaczenie jako ważny element dywersyfikacji produkcji energii zgodnie z celami zrównoważonego rozwoju. Z kolei energia oceaniczna, mimo że obejmuje szerokie spektrum rozwiązań technologicznych, charakteryzuje się zdecydowanie mniejszym potencjałem produkcyjnym, a funkcjonujące na świecie instalacje mają głównie charakter badawczy i demonstracyjny. Technologie te nie osiągnęły dotąd etapu pełnej komercjalizacji i w dającej się przewidzieć przyszłości energia oceaniczna nie będzie stanowić istotnego elementu miksu energetycznego.

Słowa kluczowe: morska energia odnawialna, błękitna energia, morska energia wiatrowa, energia oceaniczna, energia morską

Marine Renewable Energy as a Component of Sustainable Economic Development

Abstract: The development of marine renewable energy is becoming an increasingly important aspect of expanding the energy mix of individual countries and implementing sustainable development strategies. Marine renewable energy comprises offshore wind energy and ocean energy, the latter encompassing technologies that directly harness the natural energy of seas and oceans. This chapter aims to present the current state of marine renewable energy, with a particular focus on the European perspective. Among the types of marine renewable energy, only offshore wind energy has reached a broad scale of commercial deployment and represents the sole significant source of renewable energy from the seas and oceans. For this reason, it plays a crucial role in diversifying energy production in line with the Sustainable Development Goals. In contrast, ocean energy, although encompassing a wide range of technological solutions, has a considerably lower production potential, and existing installations worldwide are largely

of a research and demonstration nature. These technologies have not yet reached full commercial maturity, and in the foreseeable future, ocean energy is not expected to constitute a significant component of the global energy mix.

Keywords: marine renewable energy, blue energy, offshore wind energy, ocean energy, maritime energy

Wstęp

Morza i oceany, zajmujące ponad 70% powierzchni Ziemi, odgrywają istotną rolę jako źródło zasobów naturalnych wspierających rozwój gospodarczy i cywilizacyjny. Zrównoważony rozwój gospodarczy nie jest możliwy bez zrównoważonego wykorzystania mórz i oceanów, które z jednej strony stanowią kluczowe ekosystemy podtrzymujące życie, z drugiej zaś są podstawą funkcjonowania wielu sektorów gospodarki. W tym kontekście od wielu lat rozwijana i promowana jest koncepcja tzw. błękitnej gospodarki, zakładająca jednocześnie wspieranie wzrostu gospodarczego i ochronę ekosystemów morskich. W ramach tego podejścia morza i oceany postrzegane są jako obszar wymagający szczególnej ochrony oraz wdrażania działań przeciwdziałających ich dalszej degradacji, wynikającej m.in. z narastającego zanieczyszczenia, zakwaszenia wód, wzrostu temperatury i spadku bioróżnorodności. Jednocześnie koncepcja błękitnej gospodarki podkreśla rolę mórz i oceanów jako czynnika transformacji systemu gospodarczego w wymiarze ekonomicznym i społecznym poprzez stymulowanie rozwoju nowych technologii, dostarczanie cennych surowców oraz tworzenie warunków dla poprawy jakości życia ludności, w szczególności zamieszkującej obszary przybrzeżne. Koncepcja ta znalazła swoje odzwierciedlenie w Celach Zrównoważonego Rozwoju, w szczególności w Celu 14 („Życie pod wodą”), który zakłada ochronę oraz zrównoważone wykorzystywanie oceanów, mórz i zasobów morskich (UNIC, 2016).

Jednym z kluczowych sektorów identyfikowanych w ramach koncepcji błękitnej gospodarki jest pozyskiwanie energii z obszarów morskich i oceanicznych, niekiedy określane jako tzw. błękitna energia, a w ujęciu literatury przedmiotu częściej jako morska energetyka odnawialna (ang. *marine renewable energy*). W skład morskiej energetyki odnawialnej wchodzi morska energetyka wiatrowa (ang. *offshore wind energy*) oraz energia oceaniczna (ang. *ocean energy*), która obejmuje technologie wykorzystujące w sposób bezpośredni energię pochodzącą z naturalnych właściwości mórz i oceanów, będące efektem ich dynamicznych procesów fizycznych i chemicznych, takich jak ruch fal, pływy czy prądy morskie, temperatura i zasolenie (Ringwood, 2022). Spośród wymienionych tylko morska energetyka wiatrowa ma dzisiaj szerokie zastosowanie komercyjne i przy obecnym rozwoju technologii jawi się jako jedyne istotne źródło pozyskiwania energii odnawialnej z mórz i oceanów (European Commission, 2025). W tym kontekście błękitna energia stopniowo zyskuje znaczenie jako istotny element zwiększania znaczenia odnawialnych źródeł energii i dywersyfikacji produkcji energii zgodnie z celami zrównoważonego rozwoju.

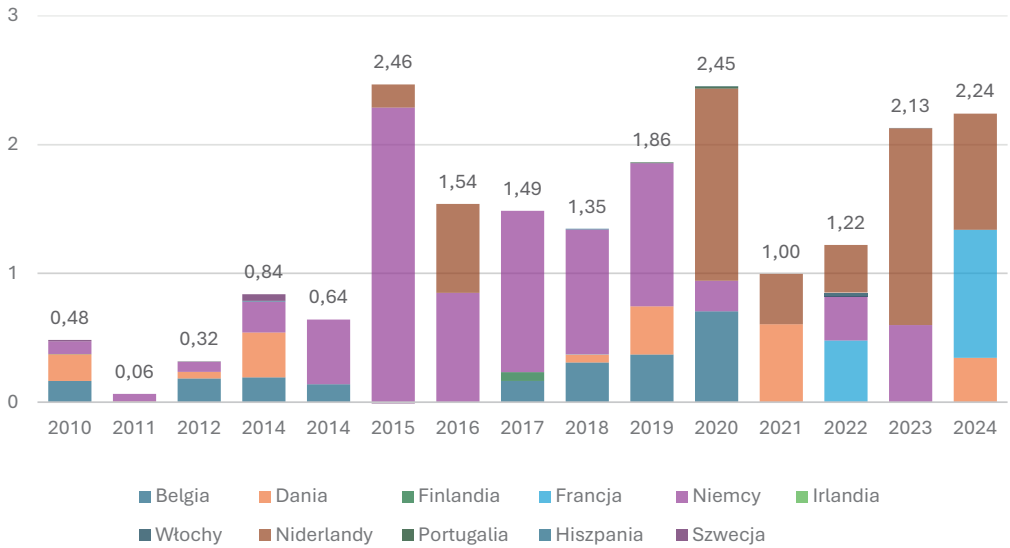
Niniejszy rozdział ma na celu przedstawienie aktualnego stanu rozwoju morskiej energetyki odnawialnej, ze szczególnym uwzględnieniem perspektywy europejskiej. W pierwszej części zaprezentowano morską energetykę wiatrową, ze wskazaniem dotychczasowego

rozwoju i perspektyw dalszej ekspansji sektora. W drugiej części syntetycznie przedstawiono najważniejsze technologie zaliczane do energii oceanicznej, wraz z oceną ich potencjału i perspektyw ewentualnego wykorzystania komercyjnego w przyszłości.

Morska energetyka wiatrowa

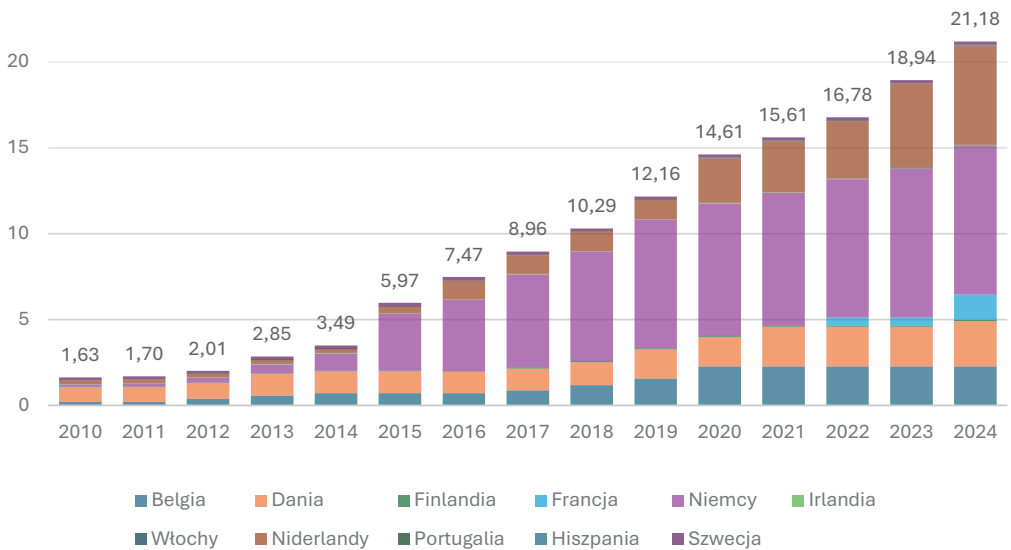
Od zbudowania pierwszej na świecie morskiej farmy wiatrowej (*Vindeby Offshore Wind Farm*, 1991) u wybrzeży duńskiej wyspy Lolland minęły już ponad trzy dekady, a sektor pozyskiwania energii z tego źródła rozwinął się niezwykle dynamicznie i stał się jednym z filarów transformacji energetycznej w kierunku odnawialnych źródeł (gospodarkamorska.pl, 2017). Historycznie liderem w wykorzystaniu morskiej energetyki wiatrowej były państwa europejskie, a akwenem morskim, na którym były budowane pierwsze komercyjne farmy wiatrowe na większą skalę, było Morze Północne, zapewniające odpowiednie warunki geograficzne (stabilność wiatrów i mała głębokość) oraz bliskość infrastruktury i odbiorców. Tym samym pobliskie kraje stały się liderem produkcji energii z tego źródła na skalę światową (NCM, 2025). Już w 2008 roku Komisja Europejska wskazała, że instalacje morskie będą odgrywały coraz większą rolę w sektorze energetyki wiatrowej w Europie. Mimo ich bardziej skomplikowanej i kosztownej instalacji oferują i wykorzystują szereg korzyści, takich jak: stabilność i siła wiatrów, możliwość stawiania turbin o dużej mocy produkcyjnej czy mniejsze ryzyko wystąpienia konfliktów społecznych wynikających z konkurowania o przestrzeń na lądzie. Komisja zaznaczyła, że morskie farmy wiatrowe mają potencjał stanowić znaczące lokalne źródło czystej energii odnawialnej, co pozostaje istotnym i aktualnym atutem tego sektora (European Commission, 2008). Podkreślano przy tym, że sektor ten powinien stać się istotnym elementem tzw. niebieskiego wzrostu i wykorzystania potencjału morskiego państw europejskich poprzez wspieranie inwestycji i zatrudnienia. Już wówczas prognozowano, że do 2030 roku instalacje mocy na morzu mogą być większe niż na lądzie (Komisja Europejska, 2012). Ciągły rozwój tej technologii pozwala na budowanie coraz większych i bardziej oddalonych od lądu turbin, a technologia pływających turbin umożliwia inwestycje i rozwój sektora w miejscach i krajach, dla których wcześniej był on ograniczony – co z perspektywy Europy ma znaczenie dla rozwoju farm na większych głębokościach Oceanu Atlantyckiego (Komisja Europejska, 2014).

W ostatnich latach roczne przyrosty instalowanej mocy morskiej energetyki wiatrowej w Unii Europejskiej wahały się w przedziale 1–2,5 GW (Wykres 1), co ostatecznie skutkowało łączną mocą sektora w 2024 roku na poziomie ponad 21 GW (Wykres 2). Najwięcej w tym zakresie inwestowano w Niemczech, Niderlandach, Danii i Belgii, a w ostatnich latach także we Francji. Tym samym to właśnie te kraje odpowiadają za największe udziały w produkcji energii z morskich turbin, z wyraźnie dominującą pozycją Niemiec i Niderlandów, posiadających łącznie 2/3 mocy w tym obszarze w ramach całej UE. Zgodnie z wyliczeniami Komisji Europejskiej omawiany sektor jest w ostatnich latach jednym z najszybciej rozwijających się sektorów unijnej gospodarki (w ujęciu wartości dodanej brutto i zysków), ponieważ pośrednio i bezpośrednio w całej UE tworzy blisko 50 tys. miejsc pracy (European Commission, 2025).



Wykres 1. Roczne przyrosty mocy zainstalowanej morskiej energii wiatrowej w Unii Europejskiej w latach 2010–2024 (GW)

ŹRÓDŁO: EUROPEAN COMMISSION, 2025

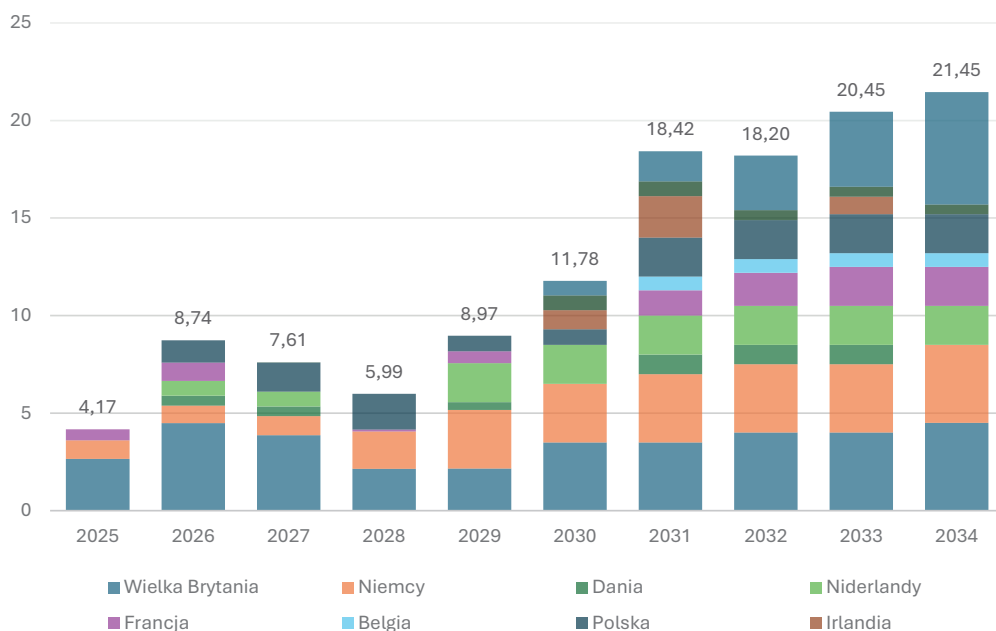


Wykres 2. Skumulowana moc zainstalowanej morskiej energii wiatrowej w Unii Europejskiej w latach 2010–2024 (GW)

ŹRÓDŁO: EUROPEAN COMMISSION, 2025

Spośród państw europejskich nieujmowanych już w statystykach UE niekwestionowanym liderem w zakresie morskiej energetyki wiatrowej jest Wielka Brytania. Całkowita moc farm wiatrowych na morzu w 2023 roku wyniosła 14,7 GW. Już połowa mocy produkcyjnej energii wiatrowej w Wielkiej Brytanii jest wytwarzana właśnie przez turbiny *offshore*. Dynamiczny rozwój sektora sprawia, że do 2030 roku łączna moc produkcyjna w tym zakresie jest planowana na poziomie nawet 50 GW (Wyatt i in., 2023). To właśnie w tym kraju są budowane jedne z największych i najbardziej oddalonych od wybrzeża farm morskich na świecie (*Hornsea I i II, Dogger Bank*). W Wielkiej Brytanii rozwijane są także technologie dotyczące pływających morskich farm wiatrowych, co otwiera nowe możliwości instalacji turbin na trudno dostępnych wcześniej obszarach (u wybrzeży Szkocji i Szetlandów), a kraj pozostaje europejskim liderem także w tym aspekcie (Tethys, 2025) (DBWF, 2025) (NRF, 2025).

Państwa europejskie pozostaną jednym z wiodących regionów dla sektora morskiej energii wiatrowej także w nadchodzących latach, a prognozowane moce przyłączeniowe z turbin morskich wskazują na dalszy dynamiczny rozwój sektora. Nowe znaczące inwestycje w tym obszarze są planowane zarówno przez tradycyjnych inwestorów i liderów w pozyskiwaniu tego rodzaju energii (Wielka Brytania, Niemcy, Niderlandy), jak i przez kraje, które dopiero będą uruchamiać moce produkcyjne w tym zakresie (Wykres 3).

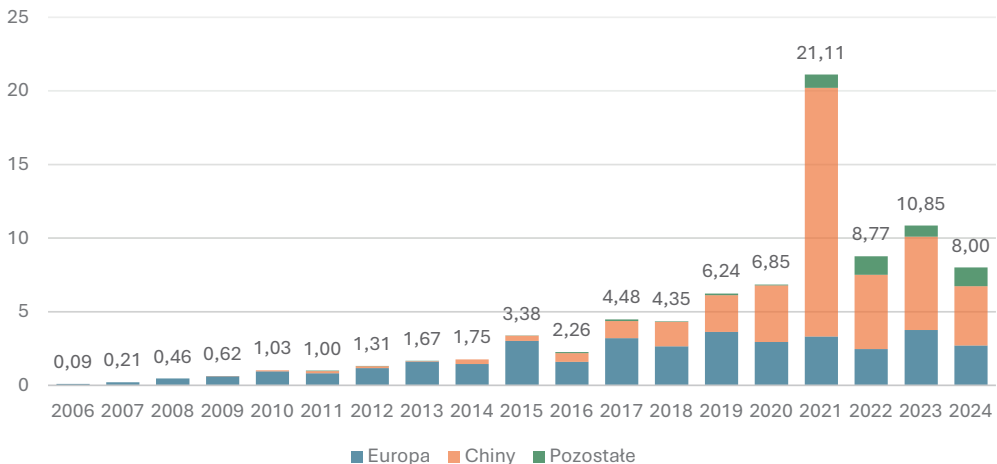


Wykres 3. Prognozowane roczne przyrosty zainstalowanej morskiej energii wiatrowej w Europie w latach 2025–2034 (GW)

ŹRÓDŁO: GWEC, 2025

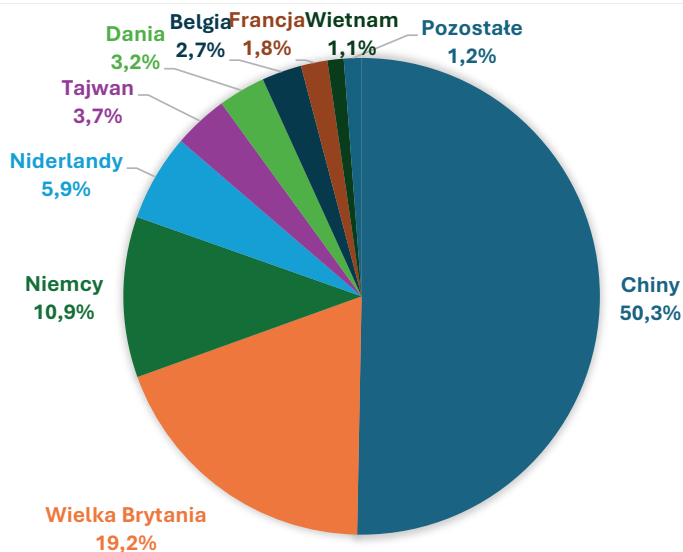
Planowane do końca obecnej dekady nowe przyłączenia mocy w Europie mogą osiągnąć poziom zbliżony do 50 GW, natomiast po 2030 roku tempo rozwoju sektora ma ulec dalszemu przyspieszeniu, umożliwiając coroczny wzrost mocy wytwórczych morskich farm wiatrowych na poziomie około 20 GW. W latach 2025–2034 łączne moce produkcyjne na kontynencie europejskim zostaną zwiększone o 126 GW, z czego blisko 60% – w trzech najszybciej rosnących rynkach (Wielka Brytania 27,7%, Niemcy 20,1%, Polska 11,2%). Nowe projekty mają być rozwijane także w krajach, które nie posiadają obecnie tego rodzaju instalacji, takich jak kraje bałtyckie, Grecja czy Rumunia (GWEC, 2025). Prognozowany dynamiczny rozwój sektora w perspektywie najbliższych lat i kolejnych dekad wskazuje, że łączna moc morskiej energetyki wiatrowej w Unii Europejskiej, zgodnie z przyjętymi strategiami, powinna osiągnąć do 2050 roku poziom około 300 GW (European Commission, 2020).

Dynamiczny rozwój sektora w ostatnich latach nie ogranicza się jedynie do Europy, a najważniejszym czynnikiem kształtującym globalny krajobraz morskiej energetyki wiatrowej jest szybka ekspansja tego sektora w Chinach (Wykres 4). Państwo to zajmuje obecnie pozycję największego producenta energii z morskich farm wiatrowych, odpowiadając za ponad połowę światowej mocy zainstalowanej w turbinach *offshore* (Wykres 5). W ciągu 15 lat od uruchomienia pierwszej farmy wiatrowej (*Donghai Bridge Wind Farm*) w 2010 roku Chiny rozbudowały moc produkcyjną do 41 GW. Szczególny pod tym względem był rok 2021, kiedy uruchomiono wiele farm wiatrowych (m.in. *Jiangsu Qidong*), odpowiadających za większość globalnego przyrostu produkcji morskiej energii wiatrowej i podłączających do sieci w ciągu jednego roku więcej mocy niż wynosiła łączna moc zainstalowana w sektorze *offshore* w jakimkolwiek wcześniejszym roku na świecie (Durakovic, 2021) (USDE, 2022).



Wykres 4. Roczne przyrosty mocy zainstalowanej morskiej energii wiatrowej na świecie w latach 2006–2024 (GW)

ŹRÓDŁO: GWEC, 2025

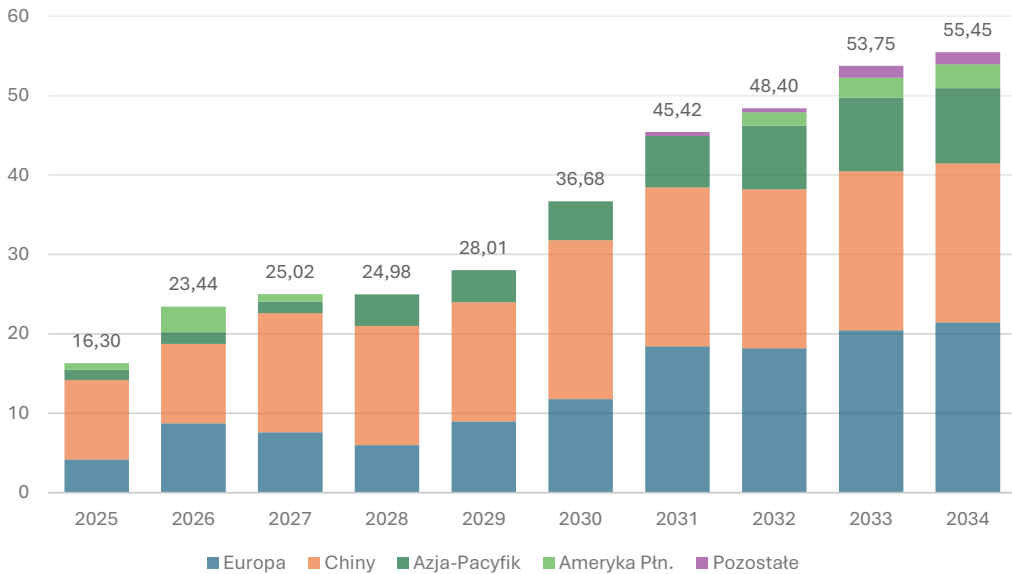


Wykres 5. Udział w globalnej mocy zainstalowanej morskiej energii wiatrowej na świecie w 2024 roku

ŹRÓDŁO: GWEC, 2025

W początkowym etapie rozwoju sektora morskie farmy wiatrowe były lokalizowane relatywnie blisko linii brzegowej. W 2024 roku Ministerstwo Zasobów Naturalnych Chińskiej Republiki Ludowej wydało decyzje administracyjne umożliwiające realizację kolejnych projektów w większej odległości od wybrzeża (co najmniej 30 km) oraz na akwenach o większych głębokościach. Oznacza to nowy etap w rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Chinach, które już obecnie posiadają w tym sektorze istotny potencjał produkcyjny. W ostatnich latach znacząco rozwinęto infrastrukturę związaną z produkcją i obsługą morskich turbin w wielu miastach na wybrzeżu (np. Yancheng, Nantong, Yangjiang, Shantou). Potencjał produkcyjny Chin w tym zakresie jest szacowany na około 20 GW rocznie, co – zgodnie z dostępnymi prognozami – powinno stanowić poziom wystarczający do zaspokojenia przewidywanego popytu inwestycyjnego kraju w perspektywie kolejnej dekady (GWEC, 2025).

Chiny pozostaną dynamicznym rynkiem w tym obszarze także w nadchodzących latach, zwiększając planowane moce produkcyjne z turbin *offshore* o kolejne 65 GW do końca dekady i kolejne 100 GW do 2035 roku. Będą tym samym odpowiadały za istotny udział rozwoju globalnego rynku morskiej energii wiatrowej (Wykres 6). Należy w tym miejscu zauważyć, że wraz z Chinami przewidywany jest rozwój tego sektora w całym regionie Azji-Pacyfiku. Prognozowany jest, szczególnie po 2030 roku, znaczący rozwój morskiej energetyki wiatrowej także w innych krajach regionu. Na wyróżnienie w tym kontekście zasługuje Tajwan, który już dzisiaj jest drugim po Chinach najważniejszym rynkiem regionu i odpowiada za 3,7% globalnych mocy produkcyjnych. Prognozuje się dalszą



Wykres 6. Prognozowane roczne przyrosty zainstalowanej morskiej energii wiatrowej na świecie w latach 2025–2034 (GW)

ŹRÓDŁO: GWEC, 2025

rozbudowę mocy produkcyjnych w latach 2026–2035 o kolejne 15 GW, co ma istotne znaczenie dla gospodarki Tajwanu, praktycznie całkowicie uzależnionej od importu źródeł energii z zagranicy. Swoje farmy wiatrowe planują rozwijać również Korea Południowa i Japonia, z których każda ma odpowiadać za około 4% przyrostu mocy w regionie Azji i Pacyfiku do 2034 roku. W przypadku Japonii decydujący jest rozwój technologii pływających turbin *offshore*, które ze względu na specyfikę geograficzną akwenów wokół Japonii będą dominującą technologią w rozwoju sektora.

Europa i region Azji-Pacyfiku wraz z Chinami praktycznie zdominują przewidywany rozwój sektora morskiej energii odnawialnej w nadchodzącej dekadzie. Planowane instalacje w Stanach Zjednoczonych stoją pod znakiem zapytania, a prognozy rozwoju tego rynku w USA w ostatnim czasie zostały mocno ograniczone. Uwarunkowania regulacyjne i obecna polityka władz amerykańskich, wstrzymująca wszystkie aukcje dzierżawy obszarów morskich na szelfie kontynentalnym, oraz nakładane na partnerów handlowych cła znacząco utrudnią rozwój projektów w nadchodzących latach. Aktualnie prognozuje się zainstalowanie jedynie 6 GW mocy w USA do końca dekady. Pozostaje to w wyraźnej sprzeczności z prognozami rozwoju sektora w ujęciu globalnym, dla którego całkowity przyrost mocy produkcyjnych w latach 2025–2034 szacowany jest na poziomie 350 GW. Tym samym skumulowana moc zainstalowanej morskiej energii wiatrowej na świecie wzrośnie do około 441 GW (GWEC, 2025). Choć przyrost ten wskazuje na niezwykle dużą dynamikę rozwoju sektora, szczególnie w regionach Europy i Azji-Pacyfiku, w debacie

dotyczącej konieczności zrównoważonego rozwoju podkreślana jest konieczność dalszego znaczącego rozbudowywania możliwości produkcyjnych. Realizacja celów klimatycznych wymaga kontynuacji ambitnych inwestycji w sektorze morskiej energetyki wiatrowej. *Global Offshore Wind Alliance* (GOWA), powołany podczas konferencji klimatycznej COP 27, zobowiązał się do osiągnięcia poziomu mocy zainstalowanej w morskich farmach wiatrowych na poziomie 2000 GW do 2050 roku. Jednocześnie dostępne prognozy wskazują, że w tym samym okresie możliwe jest osiągnięcie jedynie około połowy tej wartości (tj. około 1 TW) (Tumse i in., 2024).

Energia oceaniczna

Energia oceaniczna (ang. *ocean energy*), określana także czasami jako energia morska (ang. *maritime energy*), obejmuje wytwarzanie energii elektrycznej za pomocą urządzeń napędzanych ruchem wody morskiej, różnicami temperatur wody morskiej lub gradientami zasolenia (IRENA, 2024). Energia morska stanowi więc formę bezpośredniego wykorzystania energii pochodzącej z procesów zachodzących w morzach i oceanach i jest wskazywana, obok energetyki wiatrowej, jako element składowy morskiej energetyki odnawialnej. Należy jednak już na wstępie zaznaczyć, że pozyskiwanie energii z tych źródeł ma w większości w dalszym ciągu charakter eksperymentalny i demonstracyjny, a wykorzystanie tych źródeł w formie komercyjnej wymaga dalszego rozwoju odpowiednich technologii. Z tego względu globalna moc generowana przez urządzenia wykorzystujące ten rodzaj energii ma nieporównywalnie mniejszą skalę i znaczenie w porównaniu z wcześniej omówioną morską energetyką wiatrową.

Spośród wymienionych rodzajów energii, największe komercyjne oczekiwania związane są z wykorzystaniem energii pływów (*tidal energy*) i fal (*wave energy*). W przypadku tej pierwszej jest to energia kinetyczna pozyskiwana z pływów morskich, a produkcja energii odbywa się głównie w pobliżu linii brzegowej. Zaletą tego rodzaju energii jest przewidywalność wynikająca z cykliczności pływów (IRENA, 2024). Pierwszą elektrownię na świecie (240 MW) wykorzystującą energię pływów uruchomiono już w 1966 roku w La Rance we Francji, a kolejne tego rodzaju instalacje zbudowano także w Korei Południowej (największa o mocy 243 MW), Kanadzie, Rosji i Wielkiej Brytanii (Khare i in., 2019). Z przedstawionych informacji wynika, że technologie pozyskiwania energii z pływów są znane od dłuższego czasu i były wykorzystywane już wcześniej niż technologia opisanych turbin *offshore*. Pomimo wieloletnich badań i funkcjonowania pojedynczych instalacji komercyjnych w powyższych krajach technologie wykorzystujące energię pływów morskich pozostają na relatywnie wczesnym etapie rozwoju i nie osiągnęły dotąd skali szerokiej komercjalizacji (Chowdhury i in., 2021). Przykładowo od 2010 roku w Europie wdrożono 32 MW mocy zainstalowanej w ramach technologii wykorzystującej energię pływów, z czego 12,7 MW jest aktualnie wykorzystywane do wytwarzania energii elektrycznej, natomiast 19,3 MW zostało wycofane z eksploatacji po zakończeniu okresu realizacji projektów. W tym zakresie Europa pozostaje liderem, odpowiadając za 3/4 zainstalowanej mocy (OEE, 2025). Instalacje uruchamiane w ostatnich latach charakteryzowały

się zatem relatywnie niewielką mocą i miały przede wszystkim charakter demonstracyjny. Całkowita globalna moc produkcji energii z pływów szacowana jest na około 0,5 GW, z czego większość zapewniają dwie elektrownie: we Francji (La Rance) i Korei Południowej (Sihwa Lake).

Druga ze wspomnianych – energia falowa – odnosi się do wytwarzania energii elektrycznej przy użyciu urządzeń napędzanych ruchem fal, przy czym ten rodzaj energii może być wytwarzany zarówno w pobliżu linii brzegowej, jak i na otwartym oceanie. Większość technologii konwersji energii fal wykorzystuje pływające urządzenia (przytwierdzone lub nie do dna morskiego). Urządzenia te poruszają się w górę i w dół wraz z falami, wykorzystując ten ruch do przepychania wody lub sprężonego powietrza przez turbiny (IRENA, 2024). Jeśli chodzi o moc produkcji energii, skala inwestycji jest w tym przypadku jeszcze mniejsza niż dla energii pływów. Od 2010 roku w Europie zainstalowano łącznie 13,5 MW mocy w ramach energetyki falowej. Obecnie w eksploatacji znajduje się 830 kW, natomiast 12,6 MW zostało wycofane z użytkowania po zakończeniu programów demonstracyjnych. Technologia ta przechodzi z fazy demonstracyjnej do etapu projektów pilotażowych, co skutkuje niewielką mocą zainstalowaną. Oczekuje się, że wartości te ulegną zwiększeniu w ciągu najbliższych pięciu lat wraz z uruchomieniem pierwszych farm falowych. Moc zainstalowanych w ostatnich latach urządzeń wykorzystujących energię fal w Europie stanowiła połowę całkowitej globalnej zainstalowanej mocy (OEE, 2025). Instalacje wytwarzające energię elektryczną z fal uruchomiono m.in. w: Hiszpanii, Portugalii, Niderlandach i Szwecji (European Commission, 2025).

Wśród form energii kinetycznej pochodzącej z oceanów wyróżnia się jeszcze energię prądów morskich (*current energy*). Odnosi się ona do energii zawartej w stałych przepływach wód oceanicznych napędzanych przez wiatry, zmiany gęstości, zasolenia i temperatury. Energia tego rodzaju jest zazwyczaj pozyskiwana na płytkich wodach i w miejscach oddalonych od lądu (ponad 20 km od wybrzeża, na głębokościach przekraczających 500 m) i może stanowić stałe źródło energii (IRENA, 2024). Technologie w zakresie produkcji tego rodzaju energii są jeszcze w fazie demonstracyjnej lub testowej i nie mają zastosowania komercyjnego. Choć niektóre teoretyczne oceny potencjału energii prądów oceanicznych wskazują, że prądy te stanowią jedno z największych niewykorzystanych źródeł energii odnawialnej na świecie, wciąż występuje znaczna niepewność i luki w wiedzy, dotyczące możliwej skali ich wykorzystania. W tym kontekście należy wziąć pod uwagę liczne wyzwania związane z pozyskiwaniem energii prądów wód głębokich i na dużych odległościach od wybrzeża, jak również osłabiające oddziaływanie, jakie elektrownie turbinowe mogłyby wywierać na same prądy. Ze względu na to można stwierdzić, że energia prądów oceanicznych nie będzie miała znaczącego udziału w globalnej produkcji energii w dającej się przewidzieć przyszłości (Samsó i in., 2023).

Ostatnią grupę potencjalnych źródeł energii, wykorzystujących fizyko-chemiczne właściwości wód oceanicznych stanowią energia z gradientu zasolenia (ang. *salinity gradient energy*) i konwersja energii termicznej oceanów (ang. *ocean thermal energy conversion*). W przypadku pierwszej z wymienionych produkcja energii wynika z przekształcenia energii swobodnej mieszania w energię elektryczną i zachodzi, gdy woda słodka miesza się

z wodą morską. Wykorzystanie tego zjawiska jest potencjalnie możliwe w szczególności w miejscach ujścia rzek do morza/oceanu (IRENA, 2024). Projekty wykorzystujące to zjawisko mają na razie wyłącznie charakter badawczy i demonstracyjny o niewielkiej mocy produkcyjnej. W przypadku Unii Europejskiej instalacje badawcze w tym obszarze uruchomiono w Niderlandach (2014) i we Francji (2024) (European Commission, 2025). Druga z wymienionych technologii zakłada z kolei wykorzystanie różnicy temperatur pomiędzy zimną wodą głębinową (na głębokości 800–1000 m) a ciepłą wodą powierzchniową, przy minimalnej różnicy wynoszącej 20°C. Technologia ta ma większy potencjał wykorzystania w miejscach, gdzie woda powierzchniowa jest cieplejsza od wody głębinowej (np. regiony tropikalne). Obecnie w Europie nie ma instalacji wykorzystujących technologię konwersji energii termicznej oceanów. Testy w tym zakresie są prowadzone w Japonii, Stanach Zjednoczonych, Chinach i Indiach (IRENA, 2024) (European Commission, 2025).

Zakończenie

Błękitna energia może stanowić istotny element przyszłego miksu energetycznego, a w szerszym ujęciu – realizacji strategii zrównoważonego rozwoju gospodarczego. Morska energetyka odnawialna, która w dotychczasowej strukturze produkcji energii obejmuje przede wszystkim morską energetykę wiatrową, już obecnie pełni istotną rolę jako źródło energii w wybranych krajach. Dynamiczny rozwój tego sektora ma w nadchodzących latach ulec dalszemu przyspieszeniu, a moce zainstalowane w morskiej energetyce odnawialnej zwiększą się wielokrotnie w perspektywie najbliższej dekady. Do tego procesu sukcesywnie będą dołączać kolejne państwa, w tym Polska. Dalszy postęp technologiczny – w szczególności rozwój pływających farm wiatrowych – umożliwi lokalizację instalacji w obszarach dotychczas niedostępnych dla tradycyjnych rozwiązań *offshore*. W skali globalnej głównymi motorami wzrostu sektora pozostaną Europa oraz region Azji i Pacyfiku, które kontynuują rozwój technologii morskich turbin wiatrowych oraz intensywnie rozbudowują infrastrukturę niezbędną do integracji tego źródła energii. W perspektywie najbliższej dekady globalna moc zainstalowana w morskiej energetyce wiatrowej może wzrosnąć nawet pięciokrotnie, natomiast prognozy długoterminowe, choć obciążone znaczną niepewnością, wskazują na możliwość osiągnięcia do połowy XXI wieku poziomu od 1 do 2 TW zainstalowanej mocy.

Druga grupa technologii zaliczanych do energii morskiej, mimo że obejmuje szerokie spektrum rozwiązań technologicznych, charakteryzuje się zdecydowanie mniejszym potencjałem produkcyjnym. Większość technologii klasyfikowanych jako *ocean energy* pozostaje na wczesnym etapie rozwoju, a funkcjonujące obecnie na świecie instalacje mają w przeważającej mierze charakter badawczy lub demonstracyjny. Technologie wykorzystujące energię oceaniczną nie osiągnęły dotąd etapu pełnej komercjalizacji. Pomimo tego, że ocean – ze względu na swoje właściwości fizyczne i chemiczne – mógłby stanowić stabilne i przewidywalne źródło energii, konieczne są dalsze badania i rozwój technologiczny w celu umożliwienia jego wykorzystania na skalę komercyjną. W dającej się przewidzieć przyszłości energia oceaniczna nie będzie stanowić istotnego elementu miksu

energetycznego, a jej szerszego wdrożenia komercyjnego nie należy oczekiwać przed 2030 rokiem. W konsekwencji wkład tego rodzaju energii w realizację celów dotyczących odnawialnych źródeł energii w nadchodzącej dekadzie będzie najprawdopodobniej marginalny. Zgodnie ze strategią Unii Europejskiej w zakresie morskich odnawialnych źródeł energii, docelowy poziom mocy zainstalowanej w technologiach energii oceanicznej określono na 1 GW w 2030 roku i 40 GW w 2050 roku. Wskazuje to, że udział tego segmentu w produkcji błękitnej energii pozostanie w najbliższych latach niewielki w porównaniu z założeniami dla morskiej energetyki wiatrowej, dla której cele wyznaczono odpowiednio na 111 GW w 2030 roku i 317 GW w 2050 roku (European Commission, 2025). W ramach energii oceanicznej jako technologie o największym potencjale przyszłej komercjalizacji najczęściej wskazuje się energię pływów i energię fal, przy czym przemysł Unii Europejskiej odgrywa w tym obszarze wiodącą rolę na świecie, dysponując znaczącym portfelem patentów obejmujących odpowiednie technologie.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Chowdhury, M.S., Rahman, K.S., Selvanathan, V., Nuthammachot, N., Suklueng, M., Mostafaiepour, A., Habib, A., Akhtaruzzaman, M., Amin, N., Techato, K., 2021, Current trends and prospects of tidal energy technology. *Environment, Development and Sustainability*. Vol. 23, str. 8179–8194.
- [2] DBWF, 2025, *Dogger Bank Wind Farm*. <https://doggerbank.com/>
- [3] Durakovic, A., 2021, *Largest Offshore Wind Farm in China Fully Grid Connected*. <https://www.offshorewind.biz/2021/12/27/largest-offshore-wind-farm-in-china-fully-grid-connected/>
- [4] European Commission, 2008, *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Offshore Wind Energy: Action needed to deliver on the Energy Policy Objectives for 2020 and beyond*. Brussels: COM (2008) 768 final.
- [5] European Commission, 2020, *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions "An EU Strategy to harness the potential of offshore renewable energy for a climate neutral future"*. Brussels: COM (2020) 741.
- [6] European Commission, 2025, *The EU Blue Economy Report 2025*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- [7] gospodarkamorska.pl, 2017, *Vindeby przechodzi na emeryturę*. Retrieved from gospodarkamorska.pl: <https://www.gospodarkamorska.pl/stocznie-offshore-vindeby-przechodzi-na-emeryture-18988>
- [8] GWEC, 2025, *Global Offshore Wind Report 2025*. Lisbon: Global Wind Energy Council.
- [9] IRENA, 2024, *Energy taxonomy: Classifications for the energy transition*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- [10] Khare, V., Khare, C., Nema, S., Baredar, P., 2019, Introduction of Tidal Energy. In V. Khare, C. Khare, S. Nema, & P. Baredar, *Tidal Energy Systems* (str. 41–114, Elsevier).
- [11] Komisja Europejska, 2012, *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. „Niebieski wzrost” szanse dla zrównoważonego wzrostu w sektorach morskich*. Bruksela: KOM/2012/0494.
- [12] Komisja Europejska, 2014, *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Niebieska energia – Działania, które należy podjąć do roku 2020 i później w celu wykorzystania potencjału energetycznego europejskich*. Bruksela: KOM/2014/08.

- [13] NCM, 2025, *The energy transition in Nordic oceans*. Retrieved from Nordic Council of Ministers (NCM): <https://pub.norden.org/nordicinnovation2025-05/6-the-energy-transition-in-nordic-oceans>
- [14] NRF, 2025, *International offshore wind: Floating offshore wind*. Norton Rose Fulbright.
- [15] OEE, 2025, *Ocean Energy Stats and Trends 2024*. Ocean Energy Europe.
- [16] Ringwood, J. V., 2022, Marine renewable energy devices and their control: An overview. *IFAC-PapersOnLine*. Vol. 55, Issue 31, s. 136–141.
- [17] Samsó, R., Crespin, J., García-Olivares, A., Solé, J., 2023, Examining the Potential of Marine Renewable Energy: A Net Energy Perspective. *Sustainability*. 15 (10). <https://doi.org/10.3390/su15108050>
- [18] Tethys, 2025, *Hornsea 2 Wind Farm*. <https://tethys.pnnl.gov/wind-project-sites/hornsea-2-wind-farm>.
- [19] Tumse, S., Bilgili, M., Yildirim, A., Sahin, B., 2024, Comparative Analysis of Global Onshore and Offshore Wind Energy Characteristics and Potentials. *Sustainability*. 16 (15), <https://doi.org/10.3390/su16156614>
- [20] UNIC, 2016, *Cele Zrównoważonego Rozwoju*. Retrieved from latforma SDG – Sustainable Development Goals. UNIC Warsaw: <https://www.un.org.pl/cel14>
- [21] USDE, 2022, *Offshore Wind Market Report: 2022 Edition*. U.S. Department of Energy.
- [22] Wyatt, S., Connon, A., Graham, A., Willett, M., 2023, *IEA Wind Technology Collaboration Programme. United Kingdom Report 2023*. Paris: International Energy Agency (IRA).