

ROZDZIAŁ 26.

Nowe możliwości energetycznego wykorzystania obszarów morskich

Tadeusz Palmowski

Streszczenie: Współcześnie przestrzeń morską przechodzi głęboką transformację. Morska energetyka wiatrowa jest obecnie jedną z najszybciej rozwijających się technologii odnawialnych źródeł energii na świecie. Pojawia się problem, jak zmagazynować nadwyżki powstałej energii. Jednym ze sposobów w tym zakresie jest produkcja na morzu wodoru z wykorzystaniem tam wyprodukowanej energii elektrycznej. Celem artykułu jest przybliżenie nowych możliwości energetycznych wykorzystania obszarów morskich w zakresie produkcji zielonego wodoru z energii elektrycznej morskich farm wiatrowych.

Wiele firm z Europy Zachodniej rozpoczęło współpracę mającą na celu opracowanie na dużą skalę wspólnych planów rozwoju morskich farm wiatrowych do produkcji odnawialnego wodoru. Projektowane morskie turbiny wiatrowe, wyposażone wyłącznie w małe elektrolizery do produkcji wodoru, mogą pozwolić na wyższą wydajność, niższe nakłady inwestycyjne i zwiększoną niezawodność, dzięki czemu cena wodoru produkowanego z morskiej energetyki wiatrowej może być porównywalna z ceną szarego wodoru, powszechnie dzisiaj używanego.

Z polskiej perspektywy morskie farmy wiatrowe stanowiąc będą bardzo ważny element procesu transformacji energetycznej kraju. Choć w Polsce przyjęto strategię wodorową, to brakuje konkretnych rozwiązań legislacyjnych, w tym prawa wodorowego, które obniżyłyby ryzyko związane z inwestycjami w nowe projekty.

Wprowadzenie

W ramach konferencji naukowa pt. „Teraźniejszość a wyzwania przyszłości geografii społeczno-ekonomicznej i gospodarki przestrzennej” która miała miejsce w kwietniu 2023 r. na UAM w Poznaniu, zapoczątkowano dyskusję nad praktycznym wymiarem geografii społeczno-ekonomicznej i gospodarki przestrzennej, a zwłaszcza nad nowym jego zakresem. Do tego nawiązuje artykuł poświęcony nowym możliwościom wykorzystania obszarów morskich dla produkowania i magazynowania czystej energii. Celem artykułu jest przybliżenie nowych możliwości energetycznych wykorzystania obszarów morskich w zakresie produkcji zielonego wodoru z energii elektrycznej morskich farm wiatrowych.

Przestrzeń morską poza tradycyjną żeglugą i rybołówstwem jest coraz intensywniej wykorzystywana. Przestrzeń ta współcześnie przechodzi głęboką transformację. Zyskuje nowy wymiar antropogeniczny. Pozostaje w procesie ciągłego tworzenia i przebudowy w trakcie dodawania nowych funkcji i powiązań człowieka z morzami i oceanami [Jerzak i in., 2019] Spowodowało to konieczność jej racjonalnego zagospodarowania.

Dotychczasowe planowanie i zagospodarowanie przestrzeni morskiej

Planowanie przestrzenne obszarów morskich zapoczątkowane zostało w latach 80. XX w. Jego celem było zachowanie właściwych relacji pomiędzy rozwojem społeczno-gospodarczym, a wysoką jakością środowiska morskiego. Były to pierwsze prace o charakterze planistycznym, począwszy od działań badawczych i inwentaryzacyjnych, przez działania instytucjonalne, łączenie badań i polityki, oddziaływanie na świadomość przez dialog i współuczestnictwo, aż po uzyskiwanie poparcia polityków [Zaucha, 2009, 2018]. Był to przykład otwartego procesu planistycznego, który ułatwia sporządzenie katalogu opcji planistycznych, zmniejszający możliwe konflikty i obniża koszty gospodarowania przestrzenią. Podejście to miało jednak charakter ekologiczny gdzie mniejszą uwagę zwraca się na wypracowanie konsensusu związanego z wykorzystaniem obszarów morskich.

W pierwszej dekadzie XXI w. w Europie nastąpił wyraźny rozwój planowania przestrzennego obszarów morskich. Zapoczątkowała je Wielka Brytania, w tym Szkocja. Inne przodujące kraje to Portugalia, Belgia, Holandia, Niemcy, a także Norwegia,

Finlandia i Szwecja [Palmowski, 2017]. W raporcie VASAB⁶¹ z 2001 r., stanowiącym pierwszy dokument bałtycki dotyczący planowania obszarów morskich wskazano na narastające konflikty pomiędzy energetyką wiatrową a żeglugą, zwrócono uwagę, że do ich rozwiązywania niezbędne będą instrumenty planistyczne. Dzięki takim projektom jak BaltCoast, PlanCoast, Power, Balance czy BaltSeaPlan oraz Planowanie przestrzenne na Bałtyku (2007–2013), zebrano podstawowe informacje dotyczące aktualnych użytkowników morza, konfliktów i wartości środowiska naturalnego Bałtyku. Założono także utworzenie spójnej bazy danych na potrzeby planowania przestrzennego, przygotowano grunt do opracowania pierwszych planów przestrzennego zagospodarowania obszarów morskich. Szczególną uwagę zwrócono na transport, rybołówstwo, akwakulturę, turystykę, obszary chronione, obszary wojskowe, farmy wiatrowe, eksplorację dna morskiego, w tym lokalizację rurociągów, kabli i innych obiektów usytuowanych na dnie morskim. Przygotowano także informacje i materiały do wykonania pierwszych trzech morskich planów zagospodarowania przestrzennego dla obszarów transgranicznych. Poza tym wykonano analizę dotyczącą ram prawnych metodologii i strategii środowiskowych w poszczególnych krajach nadbałtyckich. Na jej podstawie przygotowane zostały sugestie dla narodowych strategii morskich.

Morska energetyka wiatrowa (MEW) jest obecnie jedną z najszybciej rozwijających się technologii odnawialnych źródeł energii na świecie. Do 2023 r. w skali globalnej zainstalowano do sieci elektroenergetycznej ponad 5785 turbin. W roku 2023 morskie turbiny wiatrowe wyprodukowały w Danii 25% energii elektrycznej tego kraju, w Wielkiej Brytanii 15%, w Belgii 10%, w Holandii 7% i w Niemczech 5% [Pawluszek, 2024].

Przewiduje się, że z 21 obszarów morskich przewidzianych do lokalizacji farm wiatrowych w polskich obszarach morskich, potencjał mocy zainstalowanej osiągnie 15,3 GW. Pozwoli to na zaspokojenie zapotrzebowania na energię elektryczną na poziomie ok. 60,6 TWh/rok, co stanowi 1/3 zapotrzebowania Polski z 2021 r., które wyniosło 180,3 TWh. Z polskiej perspektywy morskie farmy wiatrowe stanowić będą bardzo ważny element procesu transformacji energetycznej kraju która przyczyni się do poprawienia zdominowanego przez węgiel bilansu mocy wytwórczych energii elektrycznej. [Palmowski, Kwiatkowska, 2023].

Problemem farm wiatrowych jest zróżnicowana wielkość uzyskiwanej energii elektrycznej związana siłą wiatru. Bywają okresy pozbawione produkcji energii elektrycznej i okresy dużych nadwyżek, których w danym czasie gospodarka i przemysł nie są w stanie skonsumentować. Pojawia się problem jak zmagazynować nadwyżki powstałej energii, tak, aby można je wykorzystać w dowolnym czasie i dowolnym miejscu. Jednym ze sposobów w tym zakresie jest produkcja na morzu wodoru z wykorzystaniem tam wyprodukowanej energii elektrycznej. Tym samym, wodór, jako nośnik energii, może być wykorzystywany do stabilizowania oraz magazynowania energii

⁶¹ VASAB – Wzrost i Strategie Wokół Bałtyku, jest to program dotyczący współpracy dziedzinie planowania przestrzennego krajów bałtyckich.

z odnawialnych źródeł energii [*Analiza potencjału technologii...*, 2021]. W zakresie produkcji wodoru z OZE, na rynku europejskim występuje coraz więcej tego typu projektów, ze szczególnym uwzględnieniem łączenia produkcji wodoru z morskimi farmami wiatrowymi [Durakovic, 2021].

Właściwości i rodzaje wodoru

Wodór należy do pierwiastków bardzo rozpowszechnionych w przyrodzie. Ma najwyższą w odniesieniu do masy wartość opałową i optymalne ciepło spalania. Występuje w wodzie słodkiej i morskiej. Ponieważ wodór nie występuje w stanie naturalnym, musi być wytwarzany w trakcie procesów, z których większość jest bardzo energochłonna.

Wodór konwencjonalny (tzw. wodór szary) odnosi się do wodoru wytwarzanego w ramach różnych procesów, w których wykorzystuje się paliwa kopalne. Procesy te to przede wszystkim reforming parowy gazu ziemnego, zgazowanie węgla lub separacja z gazu koksowniczego (SMR). Znacząca większość, aż 76%, produkowanego na świecie wodoru, pochodzi z paliw kopalnych. Wobec coraz bardziej dotkliwych skutków zmian klimatu oraz międzynarodowych zobowiązań ograniczania emisji gazów cieplarnianych konieczne staje się stopniowe ograniczanie produkcji wodoru tego typu. Mechanizm unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji, powodujący stopniowy wzrost kosztów uprawnień, stanowi rynkową zachętę dla stopniowego odejścia od wodoru konwencjonalnego na rzecz niskoemisyjnych metod produkcji i wprowadzania elektrolizy [*Mapa rozwoju rynku i technologii...*, 2022].

Wodór odnawialny (tzw. zielony) powstaje w drodze elektrolizy wody w elektrolizerze zasilanym energią elektryczną pochodzącą z odnawialnych źródeł. Zaletą tej technologii jest możliwość uzyskiwania bardzo wysokiej czystości otrzymanego gazu (99,9%). Najbardziej dojrzałe i dostępne technologie urządzeń do produkcji tzw. zielonego wodoru to elektrolizery ALK (alkaliczne) i PEM (niskotemperaturowe). Obecnie rozwijaną technologią z potencjałem do zastosowania w skali kilku MW są elektrolizery PEM. Na etapie zaawansowanych badań B+R są elektrolizery stałotlenkowe (SOE). Z uwagi na dojrzałość technologiczną, urządzenia ALK/PEM są dostępne rynkowo w skali urządzeń ok. 10 MW, co oznacza, że dla dużych instalacji produkcji wodoru potrzebny jest dalszy rozwój tych urządzeń w kierunku zwiększenia ich mocy. Ograniczeniem w dostępności urządzeń może być rosnące zainteresowanie rozwiązaniami gospodarki wodorowej oraz wzrost ich cen. [Walker i in., 2018].

Według najnowszej analizy techniczno-ekonomicznej wykonanej dla Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych, morskie turbiny wiatrowe mogą być pozbawione połączenia elektrycznego z lądem i połączenia międzysieciowego pomiędzy turbinami w farmie wiatrowej. Za to każda turbina wiatrowa wyposażona będzie w mały

elektrolizer do produkcji wodoru, który zostanie sprężony do ciśnienia 150 barów. Wodór ten może być transportowany rurociągiem na ląd. Rozwiązanie to pomija infrastrukturę elektryczną służącą do transportu energii elektrycznej na brzeg, a w turbinach wiatrowych wiele etapów konwersji elektrycznej. Następstwem tego jest wyższa wydajność, niższe nakłady inwestycyjne i zwiększona niezawodność. W takim układzie cena wodoru produkowanego z morskiej energetyki wiatrowej może być porównywalna z ceną szarego wodoru [Binek, 2023].

W 2020 r. w UE działało 300 elektrolizerów odpowiadających za mniej niż 4% całkowitej produkcji wodoru, a tylko 1% tej elektrolizy korzystało z odnawialnych źródeł energii. W Polsce istnieją jedynie instalacje prototypowe, powstałe w ramach prowadzonych projektów badawczo-rozwojowych.

Pomimo, że wodór stanowi obecnie niewielką część światowego i unijnego koszyka energetycznego i jest nadal w dużej mierze wytwarzany z paliw kopalnych, w szczególności z gazu ziemnego lub węgla, to wiek XXI nazywany jest „Eram Wodoru” [Ciechanowski, Szczukowski, 2009]. Perspektywy rozwoju gospodarki wodorowej ocenia się jako poważną opcję rozwiązywania problemów energetycznych świata i wzrost ekonomiczny krajów.

Biorąc pod uwagę specyfikę i profil pracy mocy wytwórczych odnawialnych źródeł energii, który jest zależny od warunków atmosferycznych (wiatr, słońce), co wiąże się z koniecznością zapewnienia bilansowania w okresach, gdy źródła te nie dostarczają energii elektrycznej do sieci, stosowanie elektrolizy może przyczynić się do zwiększenia niezależności energetycznej i stanowić rozwiązanie zmienności i braku ciągłości pracy systemów energii odnawialnej. W polskich warunkach geograficznych i pogodowych szacuje się, że produkcja odnawialnego wodoru ma szansę na szybkie osiągnięcie rentowności przy wykorzystaniu energii elektrycznej z morskich farm wiatrowych, jednocześnie potencjalnie zwiększając konkurencyjność morskiej energetyki wiatrowej.

Rozwój technologii wodorowych z morskich farm wiatrowych

Morska produkcja zielonego wodoru to przyszłościowe zagadnienie o ogromnym potencjale innowacyjnym. Od 2021 r. przedsiębiorstwa i gałęzie przemysłu Niemiec uzyskały pozwolenie na praktyczne testy wykorzystania energii elektrycznej z morskich źródeł do produkcji wodoru. Do tej pory produkcja wodoru w oparciu o elektrolizę odbywała się wyłącznie na lądzie. Od tego czasu proces elektrolizy może być stosowany na morzu. Produkcja wodoru na morzu może w znacznym stopniu przyczynić się do dekarbonizacji przemysłu w Niemczech. Na ten cel rząd federalny Niemiec

przeznaczył od 2022 r. 50 mln euro w ramach pakietu energetyczno-klimatycznego. Wpisuje się to także w realizację Krajowej Strategii Wodorowej i poprawy warunków na szersze wykorzystanie morskiej energii wiatrowej do produkcji wodoru [Durakovic, 2021].

Połączenie morskiej energii wiatrowej i wodoru ma ogromny potencjał. Nie da się osiągnąć zera netto bez nośników zielonej energii, którzy będą potrzebować ogromnych ilości energii odnawialnej. Jednym z głównych wyzwań związanych z rozwojem morskiej energetyki wiatrowej jest dostęp i przepustowość sieci elektroenergetycznej. W połączeniu z wodorem te wyzwania znikają, ponieważ energię z morskiej energetyki wiatrowej można wykorzystać bezpośrednio do produkcji zielonych nośników energii.

Wykorzystanie nośników energii, takich jak wodór, jest niewątpliwie najskuteczniejszym sposobem ograniczenia emisji CO₂ z przemysłu i sektora transportu. Odpowiada to również celowi klimatycznemu UE, zgodnie z którym do 2030 r. 42% wodoru w przemyśle musi pochodzić z odnawialnych źródeł energii. Norwegia zamierza do 2040 r. wyprodukować 30 GW morskiej energii wiatrowej. Jeśli 16 GW zostanie przekształcone w amoniak wytwarzany z zielonego wodoru do wykorzystania w paliwie żegludowym, mogłoby to zmniejszyć o 100% całkowitą emisję morską Norwegii, wynoszącą 10 milionów ton CO₂ rocznie [Memija, 2023a].

Zlokalizowana na Morzu Północnym i działająca od 2015 r. morska farma wiatrowa Butendiek posiada moc zainstalowaną na poziomie 288 MW. W jej skład wchodzi 80 turbin wiatrowych Siemens Gamesa o mocy 3,6 MW. Produkują one około 1200 GWh energii elektrycznej rocznie. 2 października 2023 r. podpisana została umowa na dostarczenie z niej energii elektrycznej do instalacji zielonego wodoru obsługiwanej przez światowego lidera branży energetycznej. Jest to jedna z największych umów zakupu energii odnawialnej (PPA) w Niemczech. Dotyczy to 62,5% całkowitej produkcji morskiej farmy wiatrowa Butendiek, co odpowiada około 700 GWh rocznie, w ciągu sześciu i pół roku. Nowa umowa PPA Butendieka jest jedną z pierwszych zielonych umów dotyczących produkcji wodoru w Niemczech. Umowa ta spełnia standardy określone w aktach UE w sprawie zielonego wodoru zatwierdzonych w lipcu 2023 r. i pomoże osiągnąć cel UE, jakim jest produkcja 10 mln ton zielonego wodoru do 2030 r. [Buljan, 2023a].

Świat znajduje się obecnie w krytycznym momencie transformacji energetycznej. Współpraca międzynarodowa w dziedzinie morskiej energii wiatrowej i ekologicznego wodoru zatacza coraz większe kręgi. Korea Południowa stanowi jeden z najatrakcyjniejszych rynków dla rozwoju morskiej energetyki wiatrowej i zielonego wodoru. Kraj ten zgodnie z rządowym planem zakłada zwiększenia mocy energii odnawialnej do 2036 r. do 108,3 GW z czego 34,1 GW będzie to moc energii wiatrowej, a z niej 24 GW mają pochodzić z wiatraków morskich. Z drugiej strony partnerem jest światowy lider RWE, eksploatujący 19 morskich farm wiatrowych o mocy zainstalowanej na morzu wynoszącej około 3,3 GW w pięciu krajach. RWE posiada dwie morskie farmy wiatrowe, Thor o mocy 1,1 GW w Danii i Sofia o mocy 1,4 GW w Wielkiej Brytanii.

Dzięki zapoczątkowanej w końcu 2023 r. współpracy obaj partnerzy planują połączyć wodorowe doświadczenie Hyundai zdobyte podczas jego pierwszej południowokoreańskiej instalacji elektrolizy do produkcji wodoru z wiedzą RWE w zakresie wodoru zdobytą w różnych działaniach na potrzeby przyszłych projektów ekologicznego wodoru [Memija, 2023].

Firmy Equinor i RWE rozpoczęły współpracę mającą na celu opracowanie wspólnego planu rozwoju na dużą skalę morskiej energetyki wiatrowej na wodór, który przyczyni się do zaopatrzenia Europy w energię i rozwoju gospodarki wodorowej w Niemczech, Norwegii i UE. Do kluczowych obszarów uzgodnionych przez obu partnerów należy także wspólny rozwój morskich farm wiatrowych do produkcji odnawialnego wodoru. Na podstawie deklaracji podpisanych pomiędzy rządami Norwegii i Niemiec na początku stycznia 2023, oba kraje będą współpracować w zakresie zwiększania produkcji energii odnawialnej i rozwoju ekologicznego przemysłu, w tym wodoru, morskiej energetyki wiatrowej oraz technologii akumulatorów, a także wychwytywania i magazynowania dwutlenku węgla.

Partnerstwo Equinor-RWE planuje szereg inwestycji uzależnionych od budowy rurociągu wodorowego między Norwegią a Niemcami oraz niemieckiej infrastruktury przesyłu wodoru. Nowy rurociąg, który początkowo miałby służyć do dystrybucji błękitnego wodoru, a później zielonego wodoru, przechodzi obecnie ocenę techniczną i ekonomiczną. Jeśli rurociąg zostanie zbudowany, to zainicjowana współpraca uzyska potencjał, aby przekształcić Norwegię w kluczowego dostawcę wodoru do Niemiec i Europy. To także wyjątkowa szansa na zbudowanie przemysłu wodorowego w Norwegii, w którym wodór będzie mógł być wykorzystywany jako surowiec przez przemysł tego kraju. Obie firmy są już zaangażowane w rozwój AquaSector – projektu na Morzu Północnym, którego celem jest utworzenie morskiej farmy wiatrowej o mocy 300 MW podłączonej do morskich elektrolizerów wytwarzających ekologiczny wodór [Buljan, 2023].

Firmy SSE Renewables i Equinor, twórcy największej na świecie morskiej farmy wiatrowej w budowie Dogger Bank w Wielkiej Brytanii, badają dwie opcje potencjalnego kolejnego etapu dla Dogger Bank D, czyli czwartej farmy wiatrowej, którą partnerzy chcą zbudować w ramach tej inwestycji. Obejmują one wykorzystanie Dogger Bank D do pozyskiwania energii elektrycznej, która będzie wprowadzana do brytyjskiej sieci i do produkcji ekologicznego wodoru. Zarówno opcje odbioru energii z sieci, jak i opcje produkcji zielonego wodoru w Dogger Bank D mogą przyczynić się do osiągnięcia przez Wielką Brytanię zerowej energii netto.

Morska farma wiatrowa Dogger Bank D o mocy 1,32 GW planowana jest we wschodniej strefie obszaru najmu Dogger Bank C. Będzie zlokalizowana około 210 kilometrów od północno-wschodniego wybrzeża Anglii na Morzu Północnym. Po uzyskaniu pomyślnego wyniku badań technicznych, projekt będzie w stanie wygenerować moc do 2 GW energii odnawialnej. Planowana morska farma wiatrowa będzie składać się ze 128 turbin wiatrowych i sześciu platform morskich. Instalacja zielonego wodoru, jeśli zostanie rozwinięta, może stać się jednym z największych brytyjskich

projektów związanych z ekologicznym wodorem i przyczynić się do realizacji założeń rządu Wielkiej Brytanii zakładającego produkcję wodoru elektrolitycznego w zakresie 5 GW do 2030 r.

Opcja przyłączenia do sieci rozważana przez obie współpracujące firmy zakłada dostarczanie przez Dogger Bank D energii elektrycznej do sieci poprzez punkt przyłączenia w Lincolnshire, gdzie National Grid instaluje nową infrastrukturę sieciową. Drugą opcją jest wykorzystanie energii elektrycznej wytwarzanej przez Dogger Bank D do wytwarzania zielonego wodoru w specjalnym zakładzie elektrolizy w regionie Humber. Obiekt, jeśli zostanie rozwinięty, może stać się największym brytyjskim projektem dotyczącym zielonego wodoru [Habibic, 2023].

Również Szkocja ma szansę na wniesienie wkładu w rozwijający się sektor morskich odnawialnych źródeł energii. Jej rząd wyznaczył cel polegający na dostarczeniu do 11 GW mocy morskich elektrowni wiatrowych do 2030 r., aby wesprzeć zobowiązanie Szkocji do zerowej emisji netto do 2045 r. Rozpoczęto badania dotyczące możliwości połączenia wielkoskalowego pływającego systemu produkcji wodoru z pływającą farmą wiatrową na morzu. Opracowano szereg scenariuszy potencjalnej przyszłej produkcji wodoru ze szczególnym uwzględnieniem istniejących morskich elektrowni wiatrowych, które mogłyby przeznaczyć część swojej produkcji na elektrolizę wodoru. Zbadano także możliwości, jakie stwarza rurociąg główny łączący Szkocję z Niemcami, z rurociągami zasilającymi z kluczowych lokalizacji na Szetlandach, Orkadach, Cromarty Firth i St Fergus. [Memija, 2023c].

Do europejskiej czołówki zajmującej się transformacją energetyki oraz produkcją i dostawami ekologicznego i odnawialnego wodoru należy firma i grupa Lhyfe. Jej zakłady produkcyjne i portfel projektów mają na celu zapewnienie dostępu do ekologicznego i odnawialnego wodoru w ilościach przemysłowych oraz stworzenie modelu energetycznego zdolnego do dekarbonizacji całych sektorów przemysłu i transportu. W 2021 r. Lhyfe uruchomiła pierwszą na świecie fabrykę zielonego wodoru na skalę przemysłową połączoną z farmą wiatrową. W 2022 r. ta sama firma zainaugurowała jako pierwsza na świecie pływającą, pilotażową, morską fabrykę wodoru o nazwie Sealhyfe, napędzaną pływającą turbiną wiatrową. Stanowiło to historyczny krok w kierunku nowego modelu czystej energii, który świat ma nadzieję osiągnąć poprzez produkcję zielonego H₂ na dużą skalę. Od września 2022 r. platforma była zacumowana w porcie Saint-Nazaire, gdzie poddano ją serii testów rozruchowych. Następnie w ramach projektu pilotażowego platforma została odholowana od wybrzeża francuskiego, 20 kilometrów w głąb Atlantyku i połączona z podmorskim węzłem energetycznym SEM-REV za pomocą kabla pępowinowego zaprojektowanego specjalnie do zastosowań wodorowych. Tam rozpoczęła produkcję pierwszych kilogramów morskiego wodoru, co stanowiło kamień milowy dla przyszłości tego sektora.

Firma Lhyfe i jej partnerzy zaprojektowali i zbudowali technologię niezbędną do produkcji wodoru na morzu, w tym elektrolizer o mocy 1 MW. Platforma Sealhyfe pozwoliła na wyprodukowanie 400 kilogramów wodoru dziennie. Cała technologia została dostosowana do pracy na morzu w ekstremalnych warunkach pogodowych

i zaprojektowana tak, aby zminimalizować liczbę interwencji konserwacyjnych wymaganych na morzu [Lhyfe announces that Sealhyfe..., 2023]. Po zakończeniu testów na Atlantyku, w końcu czerwca 2023 r., platforma pilotażowa projektu Sealhyfe, powróciła do Saint-Nazaire. Uzyskane wyniki pozwolą na dopracowanie i przyspieszenie realizacji wielkoskalowych projektów morskich. Zostaną one wykorzystane w szczególności w ramach drugiego etapu rozwoju produkcji wodoru na morzu, czyli projektu HOPE.

W ramach kontynuacji pierwszego etapu firma Lhyfe koordynuje w konsorcjum dziewięciu partnerów projekt HOPE. Projekt ten otrzymał nagrodę Komisji Europejskiej w ramach europejskiego partnerstwa na rzecz czystego wodoru, w postaci dotacja o wysokości 20 mln euro. Dzięki temu projektowi o dużej skali (10 MW) będzie można wyprodukować na morzu do czterech ton zielonego wodoru dziennie, który rurociągiem będzie eksportowany na brzeg, a następnie sprężony i dostarczony do odbiorców. Poprzez te dwa pionierskie projekty w zakresie morskiej produkcji wodoru Lhyfe zamierza dojść do rozwiązań przemysłowych, które pomogą różnym krajom w osiągnięciu celu wyznaczonego przez Komisję Europejską w ramach planu REPowerEU wynoszącego 10 mln ton czystego wodoru wyprodukowanego w Unii Europejskiej do 2030 r. [Lhyfe announces the return..., 2023].

Ekologiczny wodór może odegrać ogromną rolę w dekarbonizacji kluczowych gałęzi przemysłu nie tylko w Europie. Władze Curaçao – terytorium zależnego Holandii leżącego na Karaibach i holenderski minister klimatu i energii rozpoczęli w połowie 2023 r. działania mające na celu umożliwienie produkcji zielonego wodoru z wykorzystaniem energii wiatrowej i stworzenie możliwości eksportu czystych paliw. Celem wyspy Curaçao jest uzyskanie pozycji regionalnego lidera w produkcji ekologicznego wodoru z energii wiatrowej. Holenderskie badania naukowe wykazały, że Curaçao ze względu na swoje położenie geograficzne i warunki pogodowe, ma wyjątkową szansę na wytwarzanie energii wiatrowej z maksymalną wydajnością. Przy pomocy statku badawczego Fugro Brasilis prowadzone były badania na morzu, mające na celu identyfikację optymalnych obszarów pod rozwój pływających elektrowni wiatrowych [Buljan, 2023b].

Technologie dotyczące produkcji czystego wodoru z farm wiatrowych na morzu wkraczają również na Bałtyk. W końcu 2023 r. nawiązana została współpraca pomiędzy francuską firmą specjalizującą się w produkcji zielonego wodoru Lhyfe i fińską Flexens i Copenhagen Infrastructure Partners (CIP). Jej celem jest opracowania i budowa zintegrowanego rozwiązania na wyspie energetycznej, umożliwiającego produkcję morskiej energii wiatrowej na skalę gigawatową i produkcję zielonego wodoru w Finlandii. Wspólne uruchomienie projektu Åland Energy Island ma pozwolić na rozwój produkcji wodoru w połączeniu z morską energią wiatrową na dużą skalę na wodach Wysp Alandzkich, a w przyszłości także w innych regionach. [Memija, 2023d].

Wodór w gospodarce Polski

Polska po Niemczech i Holandii jest trzecim wytwórcą wodoru w Unii Europejskiej z roczną produkcją na poziomie 1,3 mln ton. Aby nadążyć za rosnącym znaczeniem tego sektora na arenie międzynarodowej istnieje pilna potrzeba zintensyfikowania badań technologii wodorowych. W Polsce produkowany jest w większości wodór szary, wytwarzany w zakładach przemysłowych i tam wykorzystywany. Najwięcej wodoru zużywane jest do procesu rafinacji ropy naftowej i produkcji amoniaku. Zaledwie 74 podmioty są obecnie związane z inwestycjami wodorowymi. [*Polacy daleko w kolejce po wodór*, 2024]. W polskiej debacie publicznej wodór traktowany jest głównie z perspektywy zamiennego paliwa transportowego, co wynika z najwyższego stopnia zaawansowania technologii [Umeda, 2022].

Pierwsza energia z najbardziej zaawansowanych morskich farm wiatrowych Bałtyk II i Bałtyk III, o łącznej mocy 1,44 GW, zasili polski system energetyczny już w 2027 r. Realizowany w kolejnym etapie projekt Bałtyk I, o mocy 1,56 GW, ma być z kolei gotowy do aukcji planowanej w 2025 r. Farmy zlokalizowane będą na wysokości Łeby w odległości od 22 do ponad 80 km od linii brzegowej [*W Łebie ruszyło pierwsze w Polsce centrum...*, 2023].

W końcu 2023 r. PGE Polska Grupa Energetyczna i GE zawarły porozumienie mające na celu przetestowanie produkcji zielonego wodoru z wykorzystaniem morskiej turbiny wiatrowej GE. W planowanym projekcie wodór produkowany będzie w elektrolizerach z wykorzystaniem energii elektrycznej wytwarzanej z najnowsze-go modelu turbin wiatrowych GE. Opracowany w ramach projektu system produkcji wodoru może zostać wdrożony w przyszłych projektach morskich elektrowni wiatrowych PGE.

Na przydzielonych PGE akwenach na Morzu Bałtyckim możliwa jest budowa łącznie ponad 7 GW mocy, co pozwoli na dostarczenie około 26 TWh energii, którą można będzie również wykorzystać do produkcji zielonego wodoru. W 2024 r. PGE i GE planują ubiegać się o wsparcie projektu ze środków krajowych i unijnych oraz uzyskać niezbędne pozwolenia i decyzje administracyjne [Memija, 2023b].

Postęp technologiczny w sektorze morskich elektrowni wiatrowych oraz technologiach wodorowych według Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej wymaga zaktualizowania obecnych regulacji w celu umożliwienia przyłączania magazynów energii, elektrolizerów do morskich farm wiatrowych bez utraty prawa do wsparcia. Technologie te mogą wspierać rozwój morskiej energetyki wiatrowej, zapewniając większą stabilność działania oraz pozwolić na pełne wykorzystanie energii produkowanej z wiatru w sytuacjach, gdy podaż energii będzie przekraczała bieżące zapotrzebowanie.

Niezbędna jest także rewizja planu zagospodarowania przestrzennego polskich obszarów morskich w celu wyznaczenia nowych lokalizacji morskich farm wiatrowych [*PSEW przygotował pięciopak...*, 2023]. Jeśli całkowity potencjał polskich obszarów

morskich zostanie wykorzystany, morska energetyka wiatrowa mogłaby zaspokajać nawet 57% zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce.

Porty mogą również odgrywać również istotną rolę w transformacji energetycznej – nie tylko dlatego, że umożliwiają dostarczanie czystej energii z regionów, które mają do tego najlepsze uwarunkowania. Polska ma szanse, aby stać się hubem dystrybuowania w regionie zielonego wodoru i amoniaku sprowadzanego z USA.

W porcie Gdynia trwają prace nad koncepcją hubu wodorowego. Inicjatywa ta jest jednym z elementów budowy regionalnej gospodarki niskoemisyjnej opartej na wodorze i innych paliwach alternatywnych. W 2022 r. zarząd Portu w Gdyni nawiązał współpracę z przodującym w dziedzinie gospodarki wodorowej portem w Tallinie. Jej celem jest wspólna realizacji projektów związanych z produkcją, magazynowaniem i dystrybucją zielonego wodoru, szczególnie na potrzeby portów morskich oraz całej gospodarki morskiej. Spośród podziemnych struktur geologicznych, które mogą służyć do magazynowania wodoru, najbardziej preferowaną dla wielkoskalowego magazynowania wodoru są kawerny solne. Kawerny solne usytuowane w bliskim sąsiedztwie portu w Gdyni są jego dużym atutem. Stanowią potencjalne miejsce magazynowania wodoru na dużą skalę [Popławski, 2023].

Polska włączyła się do międzynarodowego projektu dotyczącego budowy Nordycko-Bałtyckiego Korytarza Wodorowego mającego na celu przesyłanie wodoru z Finlandii przez Estonię, Łotwę, Litwę i Polskę do Niemiec. Połączenie to ma być wykonane do 2030 r. Projekt będzie promował rozwój produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, przyspieszy rozwój gospodarki wodorowej i przyczyni się do realizacji europejskich celów klimatycznych. Ponadto stworzy warunki do inwestycji w innowacyjne rozwiązania przemysłowe i technologiczne wzdłuż całej trasy rurociągu, obniży koszty transportu energii, stworzy miejsca pracy i przyniesie dodatkowe dochody dla poszczególnych państw [*Nordycko-Bałtycki Korytarz Wodorowy*, 2024].

Polski przemysł widzi w zielonym wodorze potencjał do zrównoważonej transformacji energetycznej. Choć mamy przyjętą strategię wodorową i powstają oddolne klastry i doliny wodorowe, to brakuje konkretnych rozwiązań legislacyjnych, w tym prawa wodorowego, które obniżyłyby ryzyko związane z inwestycjami w nowe projekty [*Mapa rozwoju rynku i technologii...*, 2022].

Podsumowanie

Siedem krajów Unii Europejskiej, w tym Niemcy, Francja i Holandia, wraz z krajami spoza UE – Wielką Brytanią i Norwegią mają obecnie zainstalowane około 30 GW morskiej energii wiatrowej na Morzu Północnym. Do 2030 r. planują osiągnięcia łącznej mocy 120 GW i 300 GW do 2050 r. [*Czterokrotny wzrost...*, 2023]. Wraz

z dynamicznymi zmianami związanymi z transformacją energetyczną i dekarbonizacją gospodarek w państwach członkowskich Unii Europejskiej, oczekuje się, że wodór stanie się jednym z głównych nośników energii w Europie. Wodór wzmocni bezpieczeństwo energetyczne Europy i odegra znaczącą rolę w zmniejszeniu zależności energochłonnych gałęzi europejskiego przemysłu od importowanych paliw kopalnych. Będzie ponadto stanowić znaczący wkład w realizację unijnego celu redukcji emisji gazów cieplarnianych, gdy w przemyśle, transporcie i energetyce paliwa kopalne zostaną zastąpione odnawialnym i niskoemisyjnym wodorem.

Polska posiada duży potencjał w produkcji energii z wiatru, a rozwój farm wiatrowych na morzu pozwoli na wykorzystanie tego potencjału w sposób bardziej efektywny i zrównoważony dla środowiska. Jednak bez odpowiednich nakładów i ram regulacyjnych, dla funkcjonowania sprawnego przyszłego rynku, Polska będzie w tyle za europejską czołówką, stając się w większości jedynie konsumentem zagranicznych technologii. Wizja importu wodoru, pozbawia nasz kraj nie tylko potencjalnych przychodów i możliwości zwiększenia zatrudnienia i rozwoju technologicznego, ale przede wszystkim odbiera szansę na zwiększenie bezpieczeństwa i niezależności energetycznej [Binek, 2023].

Według Międzynarodowej Agencji Energetycznej w celu osiągnięcia zerowej emisji netto do 2050 r. produkowany w morskich farmach wiatrowych wodór jako nośnik czystej energii będzie odgrywał kluczową rolę. Pomimo szeregu pozytywnych sygnałów, nadal do rozwiązania pozostaje jeszcze wiele problemów i „wyzwań technicznych”.

Literatura

- Abdalla A. M., Hossain S., Nisfindy O. B., Azad A. T., Dawood M., Azad A. K., 2018, *Hydrogen production, storage, transportation and key challenges with applications: A review*. „Energy Conversion and Management” nr 165: 602–627.
- Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywa do 2040 roku, 2021, Instytut Energetyki, Warszawa: 292–293.
- IRENA, 2019, *Hydrogen: A renewable energy perspective*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA, 2023, *Renewable Capacity Statistics 2023*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Jerzak K., Shrayner M.D. Krośnicka K.A., Lorens P., Zaucha J., 2019, *The essence of marine and coastal space – an interdisciplinary perspective*. „Europa XXI” nr 36: 23–42.
- Kupecki J. (red.), 2021, *Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku*. NFOŚiGW, Warszawa.
- Mapa rozwoju rynku i technologii dla obszaru technologii wodorowych, 2022, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa.

- Musial W., Spitsen P., Duffy P., Beiter P., Marquis M., Hammond R., Shields M., 2022, *Offshore Wind Market Report: 2022 Edition*. National Renewable Energy, United States.
- Olsson P, Folke C., Hughes T.P., 2008, *Navigating the transition to ecosystem-based management of the Great Barrier Reef, Australia*. „Proceedings of the National Academy of Science of the USA” nr 105(28): 9489–9494.
- Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040*, 2021, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa.
- Palmowski T., 2017, *Morskie uwarunkowania ład przestrzennego*, [w:] Karwacka G.H. (red.), *Współczesne uwarunkowania procesów zarządzania przestrzenią w Polsce*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk: 119–137.
- Palmowski T., 2021, *Planowanie przestrzenne obszarów morskich na przykładzie Polski*. [w:] Mierzejewska L., Wdowicka M. (red.), *Miasta i regiony w obliczu pandemii COVID-19 i innych wyzwań współczesnego świata*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 187–198.
- Palmowski T., Kwiatkowska E., 2021, *Rozwój morskiej energetyki wiatrowej w Polsce*. „Czasopismo Geograficzne” nr 94(3): 389–409.
- Umeda T., 2022, *Znaczenie wodoru w procesie transformacji sektora energii*, [w:] Wiącek A., Ruszel M., Rusiecka J.S. (red.), *Bezpieczeństwo energetyczne, Wybrane zagadnienia*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów: 21–34.
- Walker I., Madden B., Tahir F., 2018, *Hydrogen supply chain evidence base*. Element Energy Ltd., Cambridge, UK.
- Zaucha J., 2009, *Planowanie przestrzenne obszarów nadmorskich, Polskie uwarunkowania i plan pilotażowy*. Instytut Morski w Gdańsku, Gdańsk.
- Zaucha J., Matczak M., Pardus J. i in., 2015, *Studium uwarunkowań zagospodarowania przestrzennego polskich obszarów morskich*. Instytut Morski w Gdańsku, Gdańsk.
- Zaucha J., 2018, *Gospodarowanie przestrzeni morską*. Wydawnictwo Akademickie SEDNO, Warszawa.

Źródła internetowe

- Binek P., 2023, *Wodorowa rewolucja w offshore nie tak szybko jakbyśmy sobie życzyli*. <https://www.cire.pl/artykuly/materialy-problemowe/wodorowa-rewolucja-w-offshore-nie-tak-szybko-jakbysmy-sobie-zyczyli> [data dostępu: 10.12.2023 r.]
- Buljan A., 2023, *Equinor, RWE Unveil Joint Offshore Wind-to-Hydrogen Plan for Norway and Germany*. „Business & Finance”, <https://www.offshorewind.biz/2023/01/05/equinor-rwe-unveil-joint-offshore-wind-to-hydrogen-plan-for-norway-and-germany/> [data dostępu: 5.01.2023 r.]
- Buljan A., 2023a, *Butendiek Offshore Wind Farm to Power Green Hydrogen Production in Germany*. <https://www.offshorewind.biz/2023/10/31/butendiek-offshore-wind-farm-to-power-green-hydrogen-production-in-germany/> [data dostępu: 3.11.2023 r.]
- Buljan A., 2023b, *Caribbean Island Starts Offshore Surveys with Plan for Floating Wind-to-Hydrogen Production*. <https://www.offshorewind.biz/2023/07/17/caribbean-island-starts-offshore-surveys-with-plan-for-floating-wind-to-hydrogen-production/> [data dostępu: 15.10.2023 r.]

- Czterokrotny wzrost morskiej energetyki wiatrowej planowany na Morzu Północnym, 2023, <https://www.portalmorski.pl/wiadomosci/offshore/53263-czterokrotny-wzrost-morskiej-energetyki-wiatrowej-planowany-na-morzu-polnocnym> [data dostępu: 10.05.2023 r.]
- Durakovic A., 2021, *Germany Opening Offshore Areas for Green Hydrogen Production*, Offshore Wind.biz, <https://www.offshorewind.biz/2021/10/01/breaking-germany-opening-offshore-areas-for-green-hydrogen-production/> [data dostępu: 3.01.2023 r.].
- Habibic A., 2023, *Plans for Hydrogen Development at Dogger Bank D Gain Ground*, <https://www.offshorewind.biz/2023/12/04/plans-for-hydrogen-development-at-dogger-bank-d-gain-ground/> [data dostępu: 10.09.2023 r.].
- Lhyfe announces that Sealhyfe, the world's first offshore hydrogen production pilot, produces its first kilos of green hydrogen in the Atlantic Ocean, 2023, <https://www.lhyfe.com/press/lhyfe-announces-that-sealhyfe-the-worlds-first-offshore-hydrogen-production-pilot-produces-its-first-kilos-of-green-hydrogen-in-the-atlantic-ocean/> [data dostępu: 30.06.2023 r.]
- Lhyfe announces the return to port of Sealhyfe, the world's first offshore hydrogen production pilot platform, after achieving all the objectives set at the time of its launch, 2023, <https://www.lhyfe.com/press/lhyfe-announces-the-return-to-port-of-sealhyfe-the-worlds-first-offshore-hydrogen-production-pilot-platform-after-achieving-all-the-objectives-set-at-the-time-of-its-launch/> [data dostępu: 29.11.2023 r.]
- Memija A., 2023, *RWE and Hyundai Partner on Offshore Wind and Green Hydrogen in South Korea*, Offshore Wind.biz, <https://www.offshorewind.biz/2023/11/15/rwe-and-hyundai-partner-on-offshore-wind-and-green-hydrogen-in-south-korea/> [data dostępu: 16.11.2023 r.]
- Memija A., 2023 A, *Deep Wind Offshore and Hy2gen Form Green Hydrogen Partnership*, Offshore Wind.biz, <https://www.offshorewind.biz/2023/11/10/deep-wind-offshore-and-hy2gen-form-green-hydrogen-partnership/> [data dostępu: 15.12.2023 r.]
- Memija A., 2023, B, *PGE and GE to Test Green Hydrogen Production Using Offshore Wind Turbine*, <https://www.offshorewind.biz/2023/10/26/pge-and-ge-to-test-green-hydrogen-production-using-offshore-wind-turbine/> [data dostępu: 15.11.2023 r.]
- Memija A., 2023 C, *Offshore Wind Could Secure Scottish Green Hydrogen Potential – Report*, <https://www.offshorewind.biz/2023/09/05/offshore-wind-could-secure-scottish-green-hydrogen-potential-report/> [data dostępu: 10.09.2023 r.]
- Memija A., 2023, *Lhyfe, CIP, and Flexens Unveil Plans for Energy Island Offshore Finland*, <https://www.offshorewind.biz/2023/11/02/lhyfe-cip-and-flexens-unveil-plans-for-energy-island-offshore-finland/> [data dostępu: 23.11.2023 r.]
- Milszewski J., 2021, *PKN orlen wchodzi na bałtyk z GE renewable Energy*, <https://www.gospodarkamorska.pl/pkn-orlen-wchodzi-na-baltyk-z-ge-renewable-energy-60525> [data dostępu: 26.08.2021 r.]
- Nordycko-Bałtycki Korytarz Wodorowy, <https://www.gaz-system.pl/pl/o-nas/informacje-ogolne/aktywnosc-miedzynarodowa/nordycko-baltycki-korytarz-wodorowy.html> [data dostępu: 5.01.2024 r.]
- Popławski K., 2023, *Polskie porty mogą stać się hubem zielonego wodoru*, Offshore Wind Poland, <https://offshorewindpoland.pl/poplawski-polskie-porty-moga-stac-sie-hubem-zielonego-wodoru/> [data dostępu: 29.12.2023 r.]
- Pawluszek A., 2024, *Belgia: Rekordowa ilość energii elektrycznej wyprodukowana przez morskie turbiny wiatrowe*, <https://www.portalmorski.pl/wiadomosci/offshore/54787-belgia->

- rekordowa-ilosc-energii-elektrycznej-wyprodukowana-przez-morskie-turbiny-wiatrowe [data dostępu: 07.01.2024 r.]
- Polacy daleko w kolejce po wodór*, <https://zielonagospodarka.pl/polacy-daleko-w-kolejce-po-wodor-15091> [data dostępu: 03.01.2024 r.]
- PSEW przygotował pięciopak rozwiązań dla lepszego wykorzystania potencjału wiatru na morzu*, 2023, <https://www.portalmorski.pl/wiadomosci/offshore/54567-psew-przygotowal-pieciopak-rozwiazan-dla-lepszego-wykorzystania-potencjalu-wiatru-na-morzu> [data dostępu: 26.11.2023 r.]
- Romowicz M., Niewiński P., 2021, *Morskie farmy wiatrowe w strefie przyległej RP wyłącznym problemem sektora prywatnego?* <https://www.gospodarkamorska.pl/morskie-farmy-w-iatrowe-w-strefie-przyleglej-rp-wylacznym-problemem-sektora-prywatnego-59611> [data dostępu: 25.06.2021 r.]
- W Łebie ruszyło pierwsze w Polsce centrum informacji o morskich farmach wiatrowych. Za inicjatywą stoją Equinor i Polenergia*, 2023, <https://www.portalmorski.pl/wiadomosci/offshore/53685-w-lebie-ruszylo-pierwsze-w-polsce-centrum-informacji-o-morskich-farmach-wiatrowych-za-inicjatywa-stoja-equinor-i-polenergia> [data dostępu: 29.06.2023 r.]