



UNIWERSYTET SZCZECIŃSKI  
**INSTYTUT EKONOMII  
I FINANSÓW**

Oliwia Mróz-Malik

**Ekonomiczne i społeczne uwarunkowania rozwoju morskiej  
energetyki wiatrowej w Polsce**

Promotor:

dr hab. Wojciech Drożdż, prof. US

Promotor pomocniczy:

dr Bartosz Pilecki

Recenzentki:

dr hab. Agnieszka Słomka-Gołębiowska, prof. SGH

dr hab. inż. Marta Starostka-Patyk, prof. PCz

Szczecin 2023

## Spis treści

1. Uzasadnienie wyboru tematu .....	3
2. Cel rozprawy i hipoteza badawcza .....	5
3. Zakres pracy i metody badawcze .....	5
4. Wyniki badań .....	7
5. Wnioski .....	20
6. Układ pracy .....	24

## 1. Uzasadnienie wyboru tematu

Skomplikowana sytuacja geopolityczna, makroekonomiczna i pogarszający się stan środowiska naturalnego powodują, że transformacja światowej gospodarki w kierunku niskoemisyjnym jest niezwykle pilna i niezbędna. Pandemia Covid-19 wywołała światowy kryzys, którego skutki są odczuwalne w wielu sektorach, w tym w sektorze energetycznym. Wojna, wywołana przez Rosję w Ukrainie, wstrząsnęła podstawami światowego bezpieczeństwa, nakładając nowe priorytety w polityce krajowej i zagranicznej właściwie we wszystkich państwach na świecie. Gospodarka surowcowa i energetyczna na świecie została zachwiana, a duża część globu stanęła w obliczu niedoborów surowców, zwłaszcza gazu ziemnego i ropy naftowej, a także energii elektrycznej. W dobie wysokiej inflacji, zwyżkujących wysokich cen surowców i paliw, zagrożonego akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa energetycznego, dostrzegalnych zmian klimatycznych, pogłębiających się nierówności i ubóstwa, niezwykle istotne jest wypracowanie rozwiązań, które zapewnią zrównoważony rozwój społeczno-gospodarczy w poszczególnych krajach.

W odpowiedzi na obecną sytuację na światowym rynku energii, Komisja Europejska wprowadziła nowe regulacje w postaci pakietu REPowerEU, którego podstawowym celem jest przyspieszenie procesu przechodzenia na czystą, odnawialną energię oraz uniezależnienie Europy od niepewnych dostawców i konwencjonalnych surowców energetycznych. Plan zakłada uniezależnienie się Unii Europejskiej od dostaw surowców konwencjonalnych z Rosji do 2030 r., co wymaga wdrożenia nowego modelu rynku energii, w tym: dywersyfikacji dostaw surowców i energii, zapewniających stabilność funkcjonowania europejskiego sektora energetycznego, oszczędności energii na poziomie konsumpcji oraz przyspieszenia zielonej transformacji i rozwoju odnawialnych źródeł energii. Niezbędnym elementem tego planu jest również przebudowa i elektryfikacja najbardziej energochłonnych sektorów gospodarki – przemysłu i transportu.

Energetyczny plan Europy opiera się w znaczącej mierze na odnawialnych źródłach energii, z uwagi na możliwość produkowania czystej, zielonej energii oraz niskich kosztów generacji. Poza tym, odnawialne źródła energii pozwalają na budowę nowoczesnych, rozproszonych systemów energetycznych, których funkcjonowanie nie wymaga zewnętrznych dostaw surowców. W tym aspekcie rozwój tych źródeł jest gwarantem zwiększania bezpieczeństwa energetycznego Europy i poszczególnych krajów, ma również obniżyć ceny energii elektrycznej, obecnie bardzo wysokie z uwagi na perturbacje na globalnym rynku surowcowym.

Jednym z najbardziej obiecujących źródeł odnawialnych jest morska energetyka wiatrowa, identyfikowana jako jeden z filarów europejskiej polityki energetycznej. Morskie farmy wiatrowe mogą zapewnić względnie stałe i przewidywalne wolumeny energii elektrycznej, a cena energii w nich wyprodukowanej jest konkurencyjna w stosunku do energii wyprodukowanej przy użyciu technologii konwencjonalnych. Dodatkowo, morska energetyka wiatrowa charakteryzuje się dość znacznym

potencjałem generowania korzyści gospodarczych, społecznych i środowiskowych, stanowiącym o atrakcyjności jej wykorzystania, zwłaszcza w miejsce źródeł konwencjonalnych.

W Polsce nie wybudowano dotąd żadnej morskiej farmy wiatrowej, jednak energia elektryczna z inwestycji zrealizowanych w ramach pierwszych projektów ma popłynąć w 2026 r. Do 2030 r. moc zainstalowana w morskich farmach wiatrowych w Polsce ma wynieść 5,9 GW, a w 2040 r. – 11 GW. Osiągnięcie tych zamierzeń będzie wymagało szeregu wyzwań i pokonania barier rozwoju o charakterze infrastrukturalnym, administracyjnym, technologicznym, legislacyjnym, logistycznym, czy ekonomicznym.

W krajach, w których się rozwija, morska energetyka wiatrowa generuje szereg korzyści, takich jak: tworzenie nowych miejsc pracy, dodatkowe wpływy do budżetu, zwiększenie innowacyjności gospodarki, rozwój sektorów towarzyszących, rozwój lokalnych przedsiębiorstw, spadek cen energii elektrycznej, zmniejszenie emisyjności gospodarki itd. Oszacowanie skali tych korzyści staje się możliwe w miarę rozwoju sektora morskiej energetyki wiatrowej, jednak ich wstępna estymacja jest niezbędna przy ocenie planowanych scenariuszy polityki energetycznej danego kraju.

Morska energetyka wiatrowa jest częstym przedmiotem badań naukowych, zwłaszcza w odniesieniu do problematyki technicznej, materiałowej, lokalizacyjnej, środowiskowej czy nawigacyjnej. Pomimo, iż w zagranicznej literaturze wpływ tego sektora na rozwój społeczny i gospodarczy jest poruszany, to w polskich badaniach naukowych jest wciąż marginalizowany. Jest to prawdopodobnie związane z początkowym etapem rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce, a realny wpływ na gospodarkę czy społeczeństwo będzie badany post factum.

Kontekst niezawodności i opłacalności morskich farm wiatrowych, a także prognozowania produkcji energii z tych źródeł jest niezwykle istotny, a badania w tym zakresie są powszechne w literaturze przedmiotu. Z uwagi na szybki rozwój technologii stosowanej w źródłach wiatrowych, badania te są powtarzane i odnoszone do kontekstów lokalizacyjnych. Uwarunkowania społeczne i gospodarcze badane są rzadziej i zwykle fragmentarycznie – w odniesieniu do pojedynczych zagadnień czy obszarów, na przykład do unikniętych emisji, czy powstałych miejsc pracy – analizując je szczegółowo, ewentualnie wyniki prezentują szerokie spektrum potencjalnych korzyści, bez szczegółowej analizy wskaźnikowej. Tak jak wspomniano wcześniej, w Polsce nie jest to jeszcze rozwinięty obszar badań naukowych. Nie zidentyfikowano również badań, które pokazałyby powiązania pomiędzy uwarunkowaniami rozwoju morskiej energetyki wiatrowej a generowanym przez nie wpływem na otoczenie społeczne i gospodarcze.

Tym samym zidentyfikowano lukę badawczą, a w celu jej uzupełnienia zasadnym jest zweryfikowanie uwarunkowań społecznych i gospodarczych rozwoju morskich farm wiatrowych w Polsce i zidentyfikowanie potencjalnych korzyści, jakie mogą towarzyszyć rozwojowi tego sektora w naszym kraju.

## 2. Cel rozprawy i hipoteza badawcza

Głównym celem pracy jest zaprezentowanie uwarunkowań rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce oraz ocena oddziaływania tego sektora na otoczenie społeczne i gospodarcze.

Ponadto, sformułowano następujące cele pomocnicze:

1. Charakterystyka istotnych trendów w zakresie transformacji sektora energetycznego zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju.
2. Identyfikacja potencjału morskiej energetyki wiatrowej w Europie i w Polsce, jako czynnika wpływającego na skalę korzyści gospodarczych.
3. Określenie uwarunkowań rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce i identyfikacja największych wyzwań.
4. Oszacowanie skali potencjalnych korzyści społecznych i gospodarczych z rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce.

Na podstawie celu sformułowano następującą główną hipotezę badawczą:

*„Uwarunkowania ekonomiczne i społeczne stanowią determinanty rozwoju morskiej energetyki wiatrowej, a jej rozwój wpływa pozytywnie na sferę gospodarczą i społeczną.”*

Postawiono także hipotezę pomocniczą:

*„Skala korzyści ekonomicznych i społecznych, wynikających z rozwoju sektora morskiej energetyki wiatrowej, uzasadnia podjęcie wyzwań związanych z tym rozwojem.”*

## 3. Zakres pracy i metody badawcze

W części teoretycznej pracy wykorzystano wybrane metody badawcze, do których należą: krytyczna analiza literatury przedmiotu, metoda monograficzna, analiza przypadków i metoda badań porównawczych. Do części empirycznej (badania własne) zastosowano metody matematyczno-statystyczne, które pozwoliły na pokazanie uwarunkowań rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce i oszacowanie potencjalnych korzyści, jakie mogą towarzyszyć rozwojowi tego sektora w naszym kraju. Posłużono się metodą ankietową na potrzeby identyfikacji wyzwań w rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce, a następnie metodami analizy logicznej w celu interpretacji wyników tej ankiety.

Dysertacja składa się z wprowadzenia, pięciu rozdziałów, podsumowania, bibliografii oraz spisów tabel, wykresów i rysunków.

**Pierwszy rozdział** obejmuje teoretyczne rozważania dotyczące determinantów ekonomicznego i społecznego rozwoju sektorów infrastrukturalnych gospodarki narodowej. Dokonano w nim krytycznej analizy literatury w zakresie uwarunkowań rozwoju gospodarczego i społecznego, a także

przedstawiono mierniki tego rozwoju. W rozdziale tym scharakteryzowano również sektory infrastrukturalne i ukazano ich rolę w gospodarce narodowej.

W **drugim rozdziale** zaprezentowano energetykę jako jeden z sektorów infrastrukturalnych gospodarki. Przy pomocy danych statystycznych scharakteryzowano sektor energetyczny w Europie, ze szczególnym uwzględnieniem elektroenergetyki. W rozdziale przedstawiono również rolę energetyki w koncepcji zrównoważonego rozwoju, wraz z ewolucją tego pojęcia w teorii ekonomii. Rozdział uzupełniono o charakterystykę procesu liberalizacji rynku energii w Europie.

W **trzecim rozdziale** przedstawiono rolę odnawialnych źródeł energii w polityce energetycznej i klimatycznej Unii Europejskiej, wskazując na ich kluczowy charakter z punktu widzenia możliwości realizacji celów tej polityki w wyznaczonym terminie. Na podstawie danych statystycznych i wyników badań przedstawionych w raportach branżowych dokonano analizy potencjału i stanu rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Europie. W tym rozdziale wskazano potencjał generowania korzyści, jakie towarzyszą rozwojowi morskiej energetyki wiatrowej, a także opisano niezbędne do poniesienia wydatki inwestycyjne.

Celem **rozdziału czwartego** było przedstawienie miejsca morskiej energetyki wiatrowej w polityce energetycznej Polski. Zawarto w nim szeroką charakterystykę polskiego sektora elektroenergetycznego, wskazując na niewielki udział źródeł odnawialnych w strukturze mocy zainstalowanej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym i w strukturze produkcji energii elektrycznej w naszym kraju. Opisano planowane kierunki zmian polskiej polityki energetycznej, ze szczególnym wskazaniem na potencjał rozwoju morskiej energetyki wiatrowej na polskich obszarach morskich. Rozdział ten zawiera również charakterystykę warunków rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce, opracowanej na podstawie obowiązujących aktów prawnych i najaktualniejszych raportów branżowych.

**Rozdział piąty** ma charakter badawczy. Przedstawiono w nim potencjalne korzyści i koszty z rozwoju morskiej energetyki wiatrowej, oszacowane przy wykorzystaniu metod matematyczno-statystycznych, metody ankietowej i metody wnioskowania logicznego. Na potrzeby przedstawienia wyzwań związanych z rozwojem morskiej energetyki wiatrowej przeprowadzono ankietę odnoszącą się do najbardziej zaawansowanych projektów morskich farm wiatrowych, realizowanych obecnie w Polsce. Pozwoliła ona na identyfikację kluczowych determinant rozwoju tego sektora w kraju. W rozdziale tym zaprezentowano autorski schemat łańcucha wartości morskiej energetyki wiatrowej, a następnie przeprowadzono ocenę korzyści i kosztów dla gospodarki wynikających z inwestycji w morską energetykę wiatrową. W ramach tej oceny oszacowano koszty realizacji inwestycji dla projektów morskich farm wiatrowych, będących w najwyższym stopniu zaawansowania, a następnie zasymulowano potencjalne efekty społeczne i gospodarcze tego rozwoju. Następnie, przeprowadzono ocenę tych projektów przy wykorzystaniu metody AHP, co pozwoliło na sporządzenie rankingu projektów w zależności od poziomu efektów społecznych i gospodarczych, jakie mogą towarzyszyć ich rozwojowi.

W zakończeniu zawarto najważniejsze wnioski z przeprowadzonych rozważań i badań, prowadzące do realizacji celu rozprawy i weryfikacji hipotez – głównej i pomocniczej. Wyniki badań (zarówno wnioski w zakresie kluczowych uwarunkowań rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce, jak i szacunkowe efekty społeczne i gospodarcze tego rozwoju) mogą być wykorzystane przez organy administracji publicznej w procesie kształtowania polityki energetycznej i klimatycznej. Dodatkowo, dalsze rozwinięcie wątków zawartych w pracy, przede wszystkim tych związanych z procedurami administracyjnymi czy przepisami prawa, może posłużyć jako kierunkowskaz w zakresie potencjalnych zmian otoczenia prawnego dla tego sektora.

#### 4. Wyniki badań

Przeprowadzone badania teoretyczno-empiryczne umożliwiły zrealizowanie założonego celu głównego pracy i celów pomocniczych, weryfikację przyjętej hipotezy głównej i hipotezy pomocniczej oraz sformułowanie wniosków końcowych. W zastosowanym procesie badawczym można wyróżnić:

- analizę wyzwań związanych z rozwojem sektora morskiej energetyki wiatrowej w Polsce,
- analizę kosztów realizacji morskich farm wiatrowych w Polsce,
- analizę efektów społecznych i gospodarczych rozwoju morskich farm wiatrowych,
- ocenę projektów morskich farm wiatrowych w zależności od ww. kosztów i efektów.

##### *Analiza wyzwań związanych z rozwojem sektora morskiej energetyki wiatrowej w Polsce*

Na potrzeby zweryfikowania wyzwań związanych z rozwojem morskich farm wiatrowych, do inwestorów realizujących pierwsze projekty w Polsce skierowano ankietę. Celem ankiety było sprawdzenie, jak inwestorzy oceniają procedury administracyjne, przepisy prawne i polityki sektorowe, towarzyszących realizowanemu procesowi inwestycyjnemu, a także jakie identyfikują wyzwania w procesie inwestycyjnym.

Obecnie w Polsce realizowanych jest 9 projektów morskich farm wiatrowych w tzw. dwóch fazach rozwoju. Łączna moc zainstalowana siedmiu z nich, realizowanych w ramach tzw. I fazy rozwoju, wynosi 5,9 GW. Wykaz projektów zaprezentowano w tabeli 1.

Tab.1. Projekty morskich farm wiatrowych realizowane w Polsce w ramach I fazy rozwoju

Nazwa projektu	Inwestor	Planowana moc zainstalowana [MW]	Podmiot biorący udział w ankiecie
Bałtyk II	Polenergia/Equinor	720	Polenergia
Bałtyk III	Polenergia/Equinor	720	Polenergia
Baltica 2	PGE Baltica/Orsted	1 498	PGE Baltica
Baltica 3	PGE Baltica/Orsted	1 045,5	PGE Baltica
FEW Baltic II	RWE Offshore	350	RWE Offshore
Baltic Power	Baltic Power/Northland Power	1 200	Baltic Power
B-C Wind	Ocean Winds	399	Ocean Winds

Źródło: opracowanie własne

Ankieta skierowana do pięciu inwestorów, realizujących projekty w ramach I fazy (w przypadku realizowania projektu w formie Joint Venture o jej wypełnienie poproszono tylko jedno przedsiębiorstwo). Wszyscy ankietowani wypełnili ankietę. Poniżej przedstawiono kluczowe wnioski, wynikające z przeprowadzonej ankiety:

1. Wśród czynników mających wpływ na proces realizacji projektów morskich farm wiatrowych w Polsce jako najistotniejszy wskazano istniejące regulacje prawne. Niewiele mniej istotne są sieci elektroenergetyczne oraz procedury administracyjne. Do najmniej istotnych czynników zaliczono: nastawienie lokalnych społeczności, opłaty za wydane pozwolenia i decyzje oraz zasady funkcjonowania rynku energii.
2. Inwestorzy oceniają przepisy prawne, regulujące funkcjonowanie sektora morskich farm wiatrowych w Polsce, jako raczej wystarczające, jednak nieoptymalne i mało przejrzyste.
3. Zdaniem inwestorów, wartość wsparcia oferowanego w Polsce w postaci ceny maksymalnej za energię elektryczną wytworzoną w morskiej farmie wiatrowej i wprowadzoną do sieci, określonej w rozporządzeniu wydanym przez Ministra Klimatu i Środowiska, jest zbyt niska.
4. Wśród największych wyzwań przy realizacji projektów morskich farm wiatrowych w tzw. I fazie wsparcia wskazano: problemy z realizacją wymagań określonych w pozwoleniach i wydanych decyzjach, problemy z finansowaniem inwestycji oraz długotrwałe i skomplikowane procesy administracyjne. Istotnym kryterium jest również brak dostępności floty instalacyjnej i problemy z dostępnością odpowiedniej kadry, a także brak infrastruktury przyłączeniowej na potrzeby przyłączania projektów i znaczące zwiększenie cen elementów inwestycji.
5. Dostawa turbin wiatrowych została wskazana jako krytyczne wyzwanie w łańcuchu dostaw dla realizowanych projektów. Inwestorzy jako istotne wyzwania w tym zakresie wskazali również koszty dostawy kabli eksportowych i dostawy fundamentów oraz wieży.
6. Niekorzystnie oceniono procedury przyznawania pozwoleń. Część inwestorów wskazało, że procedury administracyjne trwały dłużej niż przewidziano w aktach prawnych (przede wszystkim w zakresie wydawania pozwoleń lokalizacyjnych, warunków przyłączenia i decyzji środowiskowej). Dodatkowo, wskazywano na ich skomplikowanie.

### ***Analiza kosztów realizacji morskich farm wiatrowych w Polsce***

W pracy oszacowano koszty kapitałowe (CAPEX), operacyjne (OPEX) i koszty likwidacji inwestycji (DECEX) dla projektów morskich farm wiatrowych o łącznej mocy zainstalowanej 5,9 GW, realizowanych w Polsce w ramach I fazy. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 2.



Tab.2. CAPEX, OPEX i DECEX dla projektów morskich farm wiatrowych w Polsce

Nazwa projektu	Inwestor	Koszty inwestycyjne CAPEX [mln zł]	Koszty operacyjne (OPEX) [mln zł rocznie]	Koszty likwidacji (DECEX) [mln zł]	Całkowite koszty w cyklu życia inwestycji [mln zł]
Bałtyk II	Polenergia/Equinor	8 912,48	300,88	159,84	16 594,40
Bałtyk III	Polenergia/Equinor	8 912,48	300,88	159,84	16 594,40
Baltica 2	PGE/Orsted	18 542,91	626,00	332,556	34 525,58
Baltica 3	PGE/Orsted	12 935,47	436,70	231,99	24 084,93
FEW Baltic II	RWE Offshore	4 332,45	146,26	77,7	8 066,72
Baltic Power	PKN Orlen/Northland Power	14 111,42	476,40	253,08	26 274,47
B-C Wind	Ocean Winds	4 951,38	167,16	88,8	9 219,11

Źródło: opracowanie własne

Na potrzeby oszacowania kosztów kapitałowych poszczególnych projektów przyjęto wartość referencyjną CAPEX, przyjętą przez Międzynarodową Agencję Energii Odnawialnej (IRENA, ang. *International Renewable Energy Agency*) na poziomie 13,01 mln zł/MW (średni poziom kosztów kapitałowych w Europie w 2021 r.).

Realizacja inwestycji na obszarach morskich wiąże się ze zwiększonymi rocznymi wydatkami na utrzymanie i eksploatację inwestycji. Zwykle zakłada się 25 letni okres eksploatacji (cykl życia) morskiej farmy wiatrowej, a koszty operacyjne (OPEX) dla tych inwestycji są wyższe niż w przypadku tradycyjnych elektrowni lądowych (zwłaszcza lądowych farm wiatrowych). Wielkość OPEX dla morskiej farmy wiatrowej jest silnie uzależniona od jej odległości od brzegu, wpływającej na koszty transportu i pracy (dłuższy czas załogi na wodzie). Na potrzeby oszacowania kosztów operacyjnych poszczególnych projektów przyjęto wartość referencyjną OPEX, wyliczoną przez prestiżową organizację BVG Associates o wartości 0,42 mln zł/MW/rok (szacunki dokonywane przez BVG powszechnie używane są jako benchmark przy modelowaniu dla sektora morskiej energetyki wiatrowej).

Koszty całkowitej likwidacji morskiej farmy wiatrowej wraz z zespołem urządzeń służących do wyprowadzenia mocy po zakończeniu jej eksploatacji wyliczono na podstawie wartości przyjętej w założeniach do rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie ceny maksymalnej za energię elektryczną wytworzoną w morskiej farmie wiatrowej i wprowadzoną do sieci w złotych za 1 MWh, będącej podstawą rozliczenia prawa do pokrycia ujemnego salda. Zgodnie z uzasadnieniem do tego rozporządzenia DEVEX wynosi 0,22 mln zł na 1 MW mocy zainstalowanej.

### ***Analiza efektów społecznych i gospodarczych rozwoju morskich farm wiatrowych***

W pracy zbadano następujące efekty społeczne i gospodarcze:

1. Wymiar gospodarczy:
  - a. oszczędność z tytułu zakupu uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>,

- b. oszczędność z tytułu importu surowców energetycznych,
  - c. wpływy do budżetu z tytułu wydanych pozwoleń i decyzji (pozwolenie lokalizacyjne i koncesja),
  - d. wydatki na dostawy i usługi krajowych przedsiębiorstw w fazie budowy i eksploatacji morskich farm wiatrowych;
2. Wymiar społeczny:
- a. zmniejszenie emisji szkodliwych substancji i pyłów do atmosfery,
  - b. oszczędność surowców energetycznych,
  - c. nowe miejsca pracy,
  - d. pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną gospodarstw domowych.

Główne czynniki, jakie wpływają na produktywność inwestycji, to: zasoby wiatrowe w danej lokalizacji, zastosowany model morskiej turbiny wiatrowej, rozmieszczenie morskich turbin wiatrowych w ramach jednej inwestycji i oddziaływanie innych inwestycji zlokalizowanych w pobliżu. Zasoby wiatrowe mierzone są na etapie kampanii pomiarowych, realizowanych na obszarze planowanej inwestycji. Wyniki tych pomiarów dla realizowanych morskich farm wiatrowych nie są publicznie dostępne. Na potrzeby analizy przyjęto współczynnik wykorzystania mocy na poziomie 45,7%. Poziom ten został przyjęty podczas opracowywania ustawy o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych i rozporządzenia w sprawie ceny maksymalnej za energię elektryczną wytworzoną w morskiej farmie wiatrowej i wprowadzoną do sieci w złotych za 1 MWh, będącej podstawą rozliczenia prawa do pokrycia ujemnego salda. W tabeli 3 przedstawiono produkcję energii elektrycznej prognozowaną dla każdego z rozważanych projektów.

Tab.3. Prognozowana produkcja energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych

Nazwa projektu	Inwestor	Moc [MW]	Przewidywana produkcja [MWh/rok]
Bałtyk II	Polenergia/Equinor	720	2 882 390,40
Bałtyk III	Polenergia/Equinor	720	2 882 390,40
Baltica 2	PGE/Orsted	1498	5 996 973,36
Baltica 3	PGE/Orsted	1045	4 183 469,40
FEW Baltic II	RWE Offshore	350	1 401 162,00
Baltic Power	PKN Orlen/Northland Power	1140	4 563 784,80
B-C Wind	Ocean Winds	400	1 601 328,00
<b>Łącznie</b>			<b>23 511 498,36</b>

Źródło: opracowanie własne

Obliczenia z wykorzystaniem uśrednionych założeń wykazały, że morskie farmy wiatrowe, realizowane w Polsce w ramach tzw. I fazy rozwoju mogą generować rocznie ok. 23,5 TWh energii elektrycznej.

Liczba miejsc pracy, jaką w Polsce wygeneruje morską energetyką wiatrową, zależy od wielu czynników, takich jak wielkość projektów, strategia zakupowa deweloperów, technologia stosowana w budowie i eksploatacji farm wiatrowych, polityka rządu dotycząca rozwoju tej branży czy stopień zaangażowania lokalnych społeczności. Na potrzeby niniejszej pracy przeprowadzono analizę ilościową na podstawie danych empirycznych z innych krajów. Wyliczono wskaźniki zatrudnienia rozumiane jako ilość osób zatrudnionych w sektorze morskiej energetyki wiatrowej na jednostkę mocy zainstalowanej w wybranych krajach (Wielka Brytania, Niemcy, Szkocja, Dania). Na podstawie krajowych wartości wskaźnika obliczono jego średnią wartość, którą wykorzystano do wyliczenia ilości miejsc pracy, jaka może zostać wygenerowana w Polsce przez projekty I fazy. Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Tab.4. Szacowana liczba bezpośrednich i pośrednich miejsc pracy dla projektów morskich farm wiatrowych w Polsce

Nazwa projektu	Inwestor	Nowe bezpośrednie miejsca pracy [ekwiwalent pełnoetatowych miejsc pracy w cyklu życia MFW]	Nowe pośrednie miejsca pracy [ekwiwalent pełnoetatowych miejsc pracy w cyklu życia MFW]
Bałtyk II	Polenergia/Equinor	1793	3557
Bałtyk III	Polenergia/Equinor	1793	3557
Baltica 2	PGE/Orsted	3730	7400
Baltica 3	PGE/Orsted	2602	5162
FEW Baltic II	RWE Offshore	872	1729
Baltic Power	PKN Orlen/Northland Power	2839	5632
B-C Wind	Ocean Winds	996	1976
<b>Łącznie:</b>		<b>14624</b>	<b>29013</b>

Źródło: opracowanie własne

Morskie farmy wiatrowe o łącznej mocy zainstalowanej 5,9 GW mogą wygenerować w Polsce ok. 44 tys. nowych miejsc pracy, z czego ok. 15 tys. bezpośrednich i ok. 29 tys. pośrednich.

Liczbę gospodarstw domowych, których zapotrzebowanie na energię elektryczną może zostać pokryte dzięki produkcji w morskich farmach wiatrowych wyliczono uwzględniając przewidywaną produkcję energii elektrycznej przez te inwestycje i średnie roczne zużycie energii elektrycznej przez gospodarstwo domowe. W tabeli 5 przedstawiono wyniki tych wyliczeń dla poszczególnych projektów morskich farm wiatrowych realizowanych w Polsce.

Tab.5. Prognozowane pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną gospodarstw domowych przez morskie farmy wiatrowe w Polsce

Nazwa projektu	Inwestor	Moc [MW]	Liczba gospodarstw domowych, których zapotrzebowanie na energię elektryczną zostanie pokryte przez projekt
Bałtyk II	Polenergia/Equinor	720	1 455 826
Bałtyk III	Polenergia/Equinor	720	1 455 826
Baltica 2	PGE/Orsted	1498	3 028 927
Baltica 3	PGE/Orsted	1045	2 112 970
FEW Baltic II	RWE Offshore	350	707 693
Baltic Power	PKN Orlen/Northland Power	1140	2 305 058
B-C Wind	Ocean Winds	400	808 792
<b>Łącznie</b>			<b>11 875 094</b>

Zródło: opracowanie własne

Dążenie do neutralności klimatycznej jest jednym z kluczowych kierunków polityki klimatycznej i energetycznej UE. Efekt ekologiczny w postaci unikniętych emisji wyliczono z zastosowaniem wskaźników emisyjności, publikowanych corocznie przez KOBiZE, jednostkę działającą w ramach Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie. Wskaźnik emisyjności określa obciążenie wytworzonej jednej megawatogodziny energii elektrycznej emisjami CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> i pyłu całkowitego. Na potrzeby pracy obliczono poziom emisji tych substancji, jakie nie zostaną wyemitowane do atmosfery dzięki produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych. Dostępne badania szacują całkowitą emisję gazów cieplarnianych związaną z cyklem życia morskiej farmy wiatrowej na około 7-11 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh wyprodukowanej energii. Obliczenia redukcji szkodliwych skorygowano o zakładaną emisyjność w całym cyklu życia turbiny (górną jej granicę). Roczne poziomy redukcji dla poszczególnych projektów zaprezentowano w tabeli 6.

Tab.6. Zmniejszenie emisyjności polskiej gospodarki dzięki morskim farmom wiatrowym – redukcja emisji CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> i pyłów

Nazwa projektu	Inwestor	Moc [MW]	Redukcja emisji CO <sub>2</sub> [mln t/rok]	Redukcja emisji SO <sub>2</sub> [ton/rok]	Redukcja NO <sub>2</sub> [ton/rok]	Pył całkowity [ton/rok]
Bałtyk II	Polenergia/Equinor	720	2,16	1565,14	1565,14	66,29
Bałtyk III	Polenergia/Equinor	720	2,16	1565,14	1565,14	66,29
Baltica 2	PGE/Orsted	1498	4,50	3256,36	3256,36	137,93
Baltica 3	PGE/Orsted	1045	3,14	2271,62	2271,62	96,22
FEW Baltic II	RWE Offshore	350	1,05	760,83	760,83	32,23
Baltic Power	PKN Orlen/Northland Power	1140	3,42	2478,14	2478,14	104,97
B-C Wind	Ocean Winds	400	1,2	869,52	869,52	36,83
<b>Łącznie</b>			<b>17,63</b>	<b>12 766,74</b>	<b>12 766,74</b>	<b>540,76</b>

Zródło: opracowanie własne

Ceny węgla oraz uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> to kluczowe elementy determinujące poziom kosztu zmiennego dla producentów energii z węgla, wpływające na kształtowanie się cen energii elektrycznej dla odbiorców końcowych. Zgodnie z wyliczeniami Ministerstwa Klimatu i Środowiska koszt uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> stanowi ok. 59% kosztów wytworzenia energii elektrycznej w Polsce. W pracy zaprojektowano ścieżkę wzrostu cen uprawnień do emisji do 2051 r., czyli do końca cyklu życia realizowanych morskich farm wiatrowych, wynikających z przyjętego czasu eksploatacji inwestycji. Założono liniowy wzrost cen uprawnień do emisji, biorąc pod uwagę średnią ważoną cenę uprawnień do emisji od stycznia do grudnia 2022 r., która wyniosła 79,80 EUR.84 EUR/tCO<sub>2</sub> oraz przewidywaną przez Międzynarodową Agencję Energii (IEA) średnią cenę uprawnień w 2050 r. na poziomie 187 EUR/tCO<sub>2</sub>. Inne prognozy umieszczone w dokumentach strategicznych były zbyt niskie w porównaniu do poziomów osiągniętych w ostatnich dwóch latach (najczęściej były one przekroczone). W pracy oszacowano wartości uprawnień dla emisji dwutlenku węgla w latach 2023–2051, a następnie roczne oszczędności, wynikające z produkcji energii elektrycznych w morskich farmach wiatrowych. W tabeli 7 przedstawiono wyniki dla poszczególnych lokalizacji.

Tab.7. Prognozowana wysokość oszczędności związana z zakupem uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> w latach 2026-2051, osiągniętych dzięki produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych w Polsce

Nazwa projektu	Inwestor	Moc [MW]	Oszczędność - zakup uprawnień do emisji CO <sub>2</sub> w latach 2026-2051 [mld zł]
Bałtyk II	Polenergia/Equinor	720	36,70
Bałtyk III	Polenergia/Equinor	720	35,73
Baltica 2	PGE/Orsted	1498	76,36
Baltica 3	PGE/Orsted	1045	51,86
FEW Baltic II	RWE Offshore	350	17,37
Baltic Power	PKN Orlen/Northland Power	1140	56,57
B-C Wind	Ocean Winds	400	20,39
<b>Łącznie</b>			<b>294,98</b>

Źródło: opracowanie własne

Przewidywana łączna oszczędność z tytułu zakupu uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> wyniesie ponad 290 mld zł w latach 2026–2051, co oznacza średnią roczną oszczędność na poziomie ok. 11,80 mld zł.

W celu oszacowania skali oszczędności surowców energetycznych dzięki produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych o mocy 5,9 GW przyjęto następujące założenia:

- wskaźnik zużycia węgla kamiennego na produkcję energii elektrycznej - węgiel w jednostkach naturalnych [t/MWh] – 0,359,
- cena węgla w 2022 - indeks PSCMI 1/t [zł/t] – 408,66.

W tabeli 8 przedstawiono prognozowane oszczędności węgla kamiennego, osiągnięte dzięki produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych w Polsce, w jednostkach naturalnych oraz finansowych.

Tab.8. Prognozowane oszczędności węgla kamiennego osiągnięte dzięki produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych w Polsce

Nazwa projektu	Inwestor	Moc [MW]	Oszczędność surowca - węgiel kamienny w cyklu życia MFW [mln ton]	Oszczędność surowca - węgiel kamienny w cyklu życia MFW [mld zł]
Bałyk II	Polenergia/Equinor	720	25,87	10,57
Bałyk III	Polenergia/Equinor	720	25,87	10,57
Baltica 2	PGE/Orsted	1498	53,82	22
Baltica 3	PGE/Orsted	1045	37,55	15,34
FEW Baltic II	RWE Offshore	350	12,58	5,14
Baltic Power	PKN Orlen/Northland Power	1140	40,96	16,74
B-C Wind	Ocean Winds	400	14,37	5,87
<b>Łącznie</b>			<b>211,02</b>	<b>86,23</b>

Źródło: opracowanie własne

Istotnym elementem realizacji morskich farm wiatrowych jest ich wpływ na gospodarkę poprzez zwiększenie dochodów krajowych przedsiębiorstw. Ma to znaczenie zwłaszcza w kontekście podpisanego w 2021 r. w Polsce „Porozumienia sektorowego na rzecz morskiej energetyki wiatrowej”, którego celem jest zapewnienie jak najwyższego poziomu tzw. *local content* (wydatków na rzecz krajowych przedsiębiorstw). Aby wyliczyć szacowane wydatki na dostawy i usługi krajowych przedsiębiorstw w fazie budowy morskich farm wiatrowych w Polsce przyjęto, że poziom *local content* wyniesie 20%, co stanowi dolną granicę celu określonego ww. Porozumieniu dla projektów realizowanych w I fazie. Dla fazy eksploatacji przyjęto 50% udziału krajowych przedsiębiorstw. Badanie przeprowadzone na potrzeby raportu Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej i Polskiego Towarzystwa Morskiej Energetyki Wiatrowej pokazały, że tak duży udział polskich przedsiębiorstw jest możliwy na etapie eksploatacji morskich farm wiatrowych. Szacowane wydatki na dostawy i usługi krajowych przedsiębiorstw w fazie budowy i eksploatacji morskich farm wiatrowych w Polsce przedstawiono w tabeli 9.

Tab.9. Wydatki na dostawy i usługi krajowych przedsiębiorstw w fazie budowy i eksploatacji morskich farm wiatrowych w Polsce

Nazwa projektu	Inwestor	Moc [MW]	Udział local content w fazie budowy [mln zł]	Udział local content w fazie eksploatacji [mln zł rocznie]
Bałtyk II	Polenergia/Equinor	720	1 782,50	150,44
Bałtyk III	Polenergia/Equinor	720	1 782,50	150,44
Baltica 2	PGE/Orsted	1498	3 708,58	313,00
Baltica 3	PGE/Orsted	1045	2 587,09	218,35
FEW Baltic II	RWE Offshore	350	866,49	73,13
Baltic Power	PKN Orlen/Northland Power	1140	2 822,28	238,20
B-C Wind	Ocean Winds	400	990,28	83,58
		<b>Łącznie</b>	<b>14 539,72</b>	<b>1 227,14</b>

Źródło: opracowanie własne

Całkowity dochód krajowych przedsiębiorstw na etapie budowy morskich farm wiatrowych może wynieść ok. 14,5 mld zł, natomiast na etapie eksploatacji ok. 1,2 mld zł przychodów rocznie.

W pracy uwzględniono dwa istotne źródła wpływów do budżetu państwa, związane z rozwojem morskich farm wiatrowych w Polsce. Pierwszym źródłem jest opłata za wydanie pozwolenia na wznoszenie i wykorzystywanie sztucznych wysp, konstrukcji i urządzeń w polskich obszarach morskich dla morskich farm wiatrowych (pozwolenie lokalizacyjne). Zgodnie z przepisami, wartość tej opłaty stanowi równowartość 1% wartości planowanego przedsięwzięcia.

Wytwarzanie energii elektrycznej w morskiej farmie wiatrowej wymaga również wniesienia opłaty koncesyjnej będącej iloczynem mocy zainstalowanej elektrycznej wyrażonej w MW, wynikającej z koncesji na wytwarzanie energii elektrycznej w tej morskiej farmie wiatrowej oraz odpowiedniego współczynnika, wyrażonego w złotych, określonego w przepisach szczegółowych. Wartość tego współczynnika określono na maksymalnym poziomie, jaki jest możliwy na mocy obowiązujących przepisów i wynosi 23 tys. zł. Wyniki wyliczeń przedstawiono w tabeli 10.

Tab.10. Prognozowane wpływy do budżetu państwa z tytułu rozwoju morskich farm wiatrowych

Nazwa projektu	Inwestor	Moc [MW]	Wpływy do budżetu - opłata koncesyjna [mln zł/rok]	Wpływy do budżetu - opłata za wydanie pozwolenia lokalizacyjnego [mln zł]
Bałtyk II	Polenergia/Equinor	720	16,56	89,12
Bałtyk III	Polenergia/Equinor	720	16,56	89,12
Baltica 2	PGE/Orsted	1498	34,454	185,43
Baltica 3	PGE/Orsted	1045	24,035	129,35
FEW Baltic II	RWE Offshore	350	8,05	43,32
Baltic Power	PKN Orlen/Northland Power	1140	26,22	141,11
B-C Wind	Ocean Winds	400	9,2	49,51377
		<b>Łącznie</b>	<b>135,08</b>	<b>726,99</b>

Źródło: opracowanie własne

Corocznie do budżetu państwa będzie trafiało ok. 135 mln z tytułu opłaty koncesyjnej, natomiast łączna wartość wpływów z tytułu opłaty za wydanie pozwoleń lokalizacyjnych dla projektów morskich farm wiatrowych o łącznej mocy 5,9 GW wyniesie ok. 726 mln zł.

Każdy z inwestorów, realizujących projekty morskich farm wiatrowych w Polsce, ma obowiązek sporządzenia planu łańcucha dostaw dla realizowanej inwestycji. W pracy dokonano oceny tych planów pod kątem działań, jakie planuje lub podjął inwestor w czterech obszarach:

- wsparcie edukacji,
- wsparcie społeczności lokalnych,
- wsparcie przedsiębiorczości,
- wsparcie innowacji.

Wyniki oceny eksperckiej przedstawiono w tabeli 11.

Tab.11. Ocena planów łańcuchów dostaw dla inwestycji

Nazwa projektu	Wsparcie edukacji [ocena 1-5]	Wsparcie społeczności lokalnych [ocena 1-5]	Wsparcie przedsiębiorczości [ocena 1-5]	Wsparcie innowacji [ocena 1-5]	Inwestycja w port serwisowy [1/0]	Inwestycja w port instalacyjny [1/0]
Bałtyk II	5	3	3	0	1	0
Bałtyk III	5	3	3	0	1	0
Baltica 2	1	2	2	2	1	0
Baltica 3	1	2	2	2	1	0
FEW Baltic II	4	3	1	0	1	0
Baltic Power	1	2	2	2	1	1
B-C Wind	4	2	1	0	1	0

Źródło: opracowanie własne

Projekty zostały ocenione w skali 1-5, w zależności od skali podjętych lub planowanych do podjęcia działań. Oceniane były przede wszystkim działania zmierzające do zwiększenia udziału rodzimych przedsiębiorstw w dostawach komponentów lub usług dla inwestycji (wsparcie przedsiębiorczości), projekty edukacyjne, realizowane lub planowane na wszystkich poziomach edukacji (wsparcie edukacji), kampanie informacyjne, angażujące społeczności lokalne w miejscu realizacji inwestycji (wsparcie społeczności lokalnych), a także działania nastawione na wzrost innowacyjności, w tym zaangażowanie w projekty badawcze (wsparcie innowacyjności). Dodatkowo, wzięto pod uwagę plany inwestorów związane z realizacją inwestycji dodatkowych, towarzyszących inwestycji głównej, związane z budową infrastruktury portowej.

W pracy oszacowano także koszt produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych i przyrównano go do kosztów produkcji w elektrowniach węglowych, a także koszty zewnętrzne.



W tabeli 12 przedstawiono jak kształtuje się koszt wytworzenia energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych i w źródłach, w których obecnie w Polsce produkowana jest największa ilość energii, tj. w elektrowniach na węgiel kamienny i brunatny. W zestawieniu wykorzystano dane wyliczone dla Komisji Europejskiej w 2020 r., a następnie zindeksowano je wskaźnikiem indeksacji, uwzględniającym dwa czynniki: PKB per capita i stopę inflacji. Z porównania wynika, że uśredniony koszt produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych jest o ok. 40 zł/MWh niższy niż energia wytworzona w elektrowniach węglowych. Należy jednak podkreślić, że wskaźnik LCOE jest czuły na przyjęte do jego wyliczenia założenia (przyjęte kursy wymiany walut, współczynniki dyskonta, założenia dot. CAPEX, OPEX, DEVEX itd.) i w poszczególnych krajach może kształtować się inaczej. Pokazana w tabeli 12 wartość stanowi średnią uzyskaną z analizy istniejących inwestycji w Unii Europejskiej.

Tab.12. LCOE dla produkcji energii elektrycznej w elektrowniach na węgiel kamienny i brunatny oraz w morskich farmach wiatrowych

Źródło energii	LCOE		
	EU-27 2018	EU-27 2018	EU-27 2023
	EUR/MWh	PLN/MWh	PLN/MWh
Morskie farmy wiatrowe	84	393,70	551,22
Elektrownie węglowe (węgiel kamienny i brunatny)	90	421,82	590,59

Źródło: T. Badouard, D. Moreira de Oliveira, J. Yearwood, *Cost of energy (LCOE) – Energy costs, taxes and the impact of government interventions on investments: final report*, European Commission, Directorate-General for Energy, Publications Office, 2020, s. 2, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/779528> [dostęp: 25.05.2023 r.]; indeksacja: Tablice kosztów jednostkowych do wykorzystania w analizach kosztów i korzyści; Wersja dla projektów z perspektywy 2021-2027 (aktualizacja 30.05.2022 – ceny na koniec 2021 r., prognozy makroekonomiczne z 04.2022); koszty-jednostkowe\_v\_21\_27\_779; arkusz Indeksacja, zakres komórek W61:AY61. CUPT, Warszawa 2023, <https://www.cupt.gov.pl/strefa-beneficjenta/wdrazanie-projektow/analiza-kosztow-i-korzysci/narzedzia/tablice-kosztow-jednostkowych-do-wykorzystania-w-analizach-kosztow-i-korzysci/> [dostęp: 25.05.2023 r.]

Poza kosztami bezpośrednio związanymi z produkcją energii elektrycznej w poszczególnych źródłach wytwórczych, w analizie oddziaływania tych źródeł istotne jest uwzględnienie kosztów zewnętrznych, jakie towarzyszą tej produkcji. Koszty zewnętrzne w energetyce mogą być rozumiane jako koszty pośrednie produkcji energii elektrycznej, oddziałujące na społeczeństwo i uwzględniające takie czynniki jak wpływ emisji na zdrowie, ekosystemy, rolnictwo czy klimat.

W tabeli 13 porównano koszty zewnętrzne towarzyszące produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych i elektrowniach węglowych na węgiel kamienny i brunatny. Koszty zewnętrzne, towarzyszące produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych są znacząco niższe niż te towarzyszące produkcji energii z węgla. Dotyczy to wszystkich wskazanych w tabeli komponentów. Pokazane w tabeli 13 wartości dla 2018 r. są wynikiem analizy, przeprowadzonej dla Komisji Europejskiej z wykorzystaniem oceny cyklu życia (LCA, ang. *Life Cycle Assessment*) z podejściem tzw. „od kołyski aż po grób”, tj. od produkcji surowców pierwotnych aż do ostatecznego

przetworzenia odpadów pod koniec cyklu życia. Wartości te zostały następnie zindeksowane wskaźnikiem indeksacji, uwzględniającym dwa czynniki: PKB per capita i stopę inflacji.

Tab.13. Koszty zewnętrzne towarzyszące produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych i elektrowniach węglowych na węgiel brunatny

Źródło energii	Koszty zewnętrzne - łącznie			
	2018	2018	2023	2023
	EUR/MWh	PLN/MWh	PLN/MWh	PLN/MWh
Morskie farmy wiatrowe	3,0	14,06	19,69	19,69
Elektrownie węglowe na węgiel kamienny	133,6	626,17	876,70	1849,20
Elektrownie węglowe na węgiel brunatny	148,2	694,60	972,51	
Źródło energii	Zmiany klimatu: emisja CO <sub>2</sub>			
	2018	2018	2023	2023
	EUR/MWh	PLN/MWh	PLN/MWh	PLN/MWh
Morskie farmy wiatrowe	1,1	5,16	7,22	7,22
Elektrownie węglowe na węgiel kamienny	86,1	403,54	565,00	1187,09
Elektrownie węglowe na węgiel brunatny	94,8	444,32	622,09	
Źródło energii	Zanieczyszczenie dolnych warstw atmosfery			
	2018	2018	2023	2023
	EUR/MWh	PLN/MWh	PLN/MWh	PLN/MWh
Morskie farmy wiatrowe	1,3	6,09	8,53	8,53
Elektrownie węglowe na węgiel kamienny	26,4	123,73	173,24	365,51
Elektrownie węglowe na węgiel brunatny	29,3	137,33	192,27	
Źródło energii	Pozostałe koszty zewnętrzne (wykorzystanie zasobów - kopaliny, toksyczność dla ludzi - nowotwory i inne choroby, fotochemiczne tworzenie ozonu - zdrowie ludzi, zakwaszenie)			
	2018	2018	2023	2023
	EUR/MWh	PLN/MWh	PLN/MWh	PLN/MWh
Morskie farmy wiatrowe	0,6	2,81	3,94	3,94
Elektrownie węglowe na węgiel kamienny	21,1	98,89	138,46	296,61
Elektrownie węglowe na węgiel brunatny	24,1	112,95	158,15	

M. Smith, J. Moerenhout, M. Thuring, M., European Commission, Directorate-General for Energy, *External costs – Energy costs, taxes and the impact of government interventions on investments: final report*, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/81390> [dostęp: 25.05.2023 r.]

W pracy wyliczono wysokość (w mld zł) kosztów zewnętrznych, związanych z produkcją energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych i elektrowniach węglowych w latach 2026 – 2051. Przy wyliczeniu uwzględniono jednostkową wartość kosztów zewnętrznych, ukazaną w tabeli 13, zindeksowaną dla lat 2024 – 2051 wskaźnikiem indeksacji, uwzględniającym dwa czynniki: prognozowany PKB per capita i przewidywaną stopę inflacji, a także wyliczoną łączną produkcję energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych o łącznej mocy zainstalowanej 5,9 GW. Wyliczenia ukazują jaka byłaby wartość kosztów zewnętrznych, gdyby ilość energii elektrycznej, jaką mogą wyprodukować morskie farmy wiatrowe, została wyprodukowana w elektrowniach węglowych

i porównują tę wartość do wartości kosztów zewnętrznych produkcji tej samej ilości energii w morskich farmach wiatrowych. Dzięki morskim farmom wiatrowych łączna wartość kosztów zewnętrznych może być niemal 100 razy mniejsza w całym cyklu życia morskich farm wiatrowych o łącznej mocy zainstalowanej 5,9 GW.

### ***Ocena projektów morskich farm wiatrowych w zależności od ww. kosztów i efektów***

Biorąc pod uwagę wielkości oszacowane powyżej dla poszczególnych projektów morskich farm wiatrowych o łącznej mocy 5,9 GW, realizowanych w Polsce, dokonano ich oceny i rankingu w czterech scenariuszach przy wykorzystaniu wielokryterialnej metody hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*). Projekty zostały ocenione względem wielu kryteriów ilościowych i jakościowych, podzielonych na cztery kategorie główne: kryteria lokalizacyjne, rynkowe, korzyści społeczne i korzyści gospodarcze. Następnie dokonano porównania parami poszczególnych kryteriów dla czterech scenariuszy:

- Scenariusz 1, w którym kryteria społeczne dominują nad pozostałymi,
- Scenariusz 2, w którym kryteria gospodarcze dominują nad pozostałymi,
- Scenariusz 3, w którym kryteria gospodarcze i społeczne mają jednakową wagę, ale dominują nad pozostałymi,
- Scenariusz 4, w którym wszystkie kryteria mają jednakową wagę.

W tabeli 14 zestawiono ranking projektów w poszczególnych scenariuszach.

Tab.14. Ranking projektów – porównanie scenariuszy

	<b>Nazwa projektu</b>	<b>Inwestor</b>	<b>Scenariusz 1</b>	<b>Scenariusz 2</b>	<b>Scenariusz 3</b>	<b>Scenariusz 4</b>
A1	Bałtyk II	Polenergia/Equinor	3	4	3	3
A2	Bałtyk III	Polenergia/Equinor	2	3	2	4
A3	Baltica 2	PGE/Orsted	4	2	4	5
A4	Baltica 3	PGE/Orsted	6	6	6	6
A5	FEW Baltic II	RWE Offshore	7	7	7	7
A6	Baltic Power	PKN Orlen/Northland Power	1	1	1	1
A7	B-C Wind	Ocean Winds	5	5	5	2

Źródło: opracowanie własne

Końcowy ranking projektów porównano z rankingiem wynikających z analizy jednokryterialnej na podstawie znormalizowanych kosztów, ponoszonych w cyklu życia morskiej farmy wiatrowej na budowę, eksploatację i likwidację. Tabela 15 zawiera ranking dla poszczególnych scenariuszy z uwzględnieniem tych kosztów.

Tab.15. Ranking projektów z uwzględnieniem znormalizowanych kosztów – porównanie scenariuszy

	<b>Nazwa projektu</b>	<b>Inwestor</b>	<b>Scenariusz 1</b>	<b>Scenariusz 2</b>	<b>Scenariusz 3</b>	<b>Scenariusz 4</b>
A1	Bałtyk II	Polenergia/Equinor	3	4	4	3
A2	Bałtyk III	Polenergia/Equinor	2	3	3	4
A3	Baltica 2	PGE/Orsted	6	5	6	5
A4	Baltica 3	PGE/Orsted	7	7	7	7
A5	FEW Baltic II	RWE Offshore	5	6	5	6
A6	Baltic Power	PKN Orlen/Northland Power	4	2	2	2
A7	B-C Wind	Ocean Winds	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

## 5. Wnioski

Przeprowadzone w pracy rozważania teoretyczne oraz badania empiryczne pozwoliły na sformułowanie wniosków. Najważniejsze z nich to:

1. W toku badań ukazano uwarunkowania rozwoju morskich farm wiatrowych w Polsce. Wskazano, że najistotniejsze czynniki determinujące rozwój tej technologii to: otoczenie prawne, cele strategiczne, procedury administracyjne oraz uwarunkowania infrastrukturalne, w tym dostępność portów instalacyjnych, serwisowych i możliwości przyłączenia do sieci elektroenergetycznej.
2. W pracy zbadano, jak ww. czynniki wpłynęły na dotychczasowy rozwój projektów morskich farm wiatrowych o łącznej mocy zainstalowanej 5,9 GW, realizowanych w ramach I fazy wsparcia w Polsce. Badania wykazały, że pomimo znacznego oddziaływania niektórych czynników, nie wykluczają one możliwości realizacji projektów morskich farm wiatrowych w Polsce.
3. Badania wykazały również, że morskie farmy wiatrowe mogą wpłynąć pozytywnie na otoczenie społeczne i gospodarcze w Polsce. Przeprowadzona analiza pokazała, że inwestycje o łącznej mocy zainstalowanej 5,9 GW, realizowane w Polsce w ramach I fazy wsparcia mogłyby przynieść następujące korzyści:
  - Roczna produkcja czystej, zielonej energii elektrycznej na poziomie ok. 23,5 TWh, co stanowi ok. 13% krajowej produkcji energii elektrycznej i ok. 14% zużycia z 2022 r. Biorąc pod uwagę prognozy PSE S.A. w zakresie zapotrzebowania na energię elektryczną w 2030 r., energia wygenerowana przez morskie farmy wiatrowe mogłaby pokryć ok. 11% zapotrzebowania na energię w 2030 r. w scenariuszu bazowym i ok. 10% w scenariuszu znaczącego wzrostu zapotrzebowania na energię.
  - Morskie farmy wiatrowe o ww. mocy mogłyby wygenerować w Polsce ok. 44 tys. nowych miejsc pracy, z czego ok. 15 tys. bezpośrednich i ok. 29 tys. pośrednich.

- Przy szacowanej rocznej produkcji energii elektrycznej na poziomie 23,5 TWh, morskie farmy wiatrowe będą w stanie pokryć zapotrzebowanie na energię niemal 12 mln gospodarstw domowych rocznie, co stanowi ponad 30% mieszkańców Polski.
  - Budowa morskich farm wiatrowych, przy założeniu 25-letniego okresu eksploatacji urządzeń, może spowodować redukcję emisji CO<sub>2</sub> o 447 mln ton, a SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> po 319 tys. ton, dzięki czemu przyczyni się do osiągnięcia celów polityki energetycznej Polski i wesprze realizację celów europejskich.
  - Przewidywana łączna oszczędność z tytułu zakupu uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> może wynieść ponad 290 mld zł w latach 2026–2051, co oznacza średnią roczną oszczędność na poziomie ok. 11,80 mld zł.
  - Oszczędność węgla, osiągnięta dzięki produkcji energii elektrycznej w analizowanych morskich farmach wiatrowych w całym cyklu życia tych inwestycji mogłaby wynieść niemal siedmiokrotność rocznego zużycia tego surowca (211,02 mln ton w przypadku węgla kamiennego o wartości 86,23 mld zł).
  - Całkowity dochód krajowych przedsiębiorstw na etapie budowy morskich farm wiatrowych może wynieść ok. 14,5 mld zł przy 20% ich udziale w kosztach dostaw i usług. Faza eksploatacji, zakładając 50% udział przedsiębiorstw krajowych, może przynieść krajowym przedsiębiorstwom ok. 1,2 mld zł przychodów rocznie, a w całym cyklu życia inwestycji – nawet ok. 30 mld zł.
  - Corocznie do budżetu państwa może trafiać ok. 135 mln z tytułu opłaty koncesyjnej, natomiast łączna wartość wpływów z tytułu opłaty za wydanie pozwoleń lokalizacyjnych dla projektów morskich farm wiatrowych o łącznej mocy 5,9 GW wyniesie ok. 726 mln zł.
4. Dodatkowo wskazano, że koszt produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych w Polsce mógłby być o ok. 40 zł/MWh niższy niż w źródłach konwencjonalnych, wykorzystujących węgiel.
  5. Rozwój tych źródeł wiąże się również ze znacząco niższymi kosztami zewnętrznymi w całym cyklu życia inwestycji.
  6. Biorąc pod uwagę wielkości oszacowane powyżej dla poszczególnych projektów morskich farm wiatrowych o łącznej mocy 5,9 GW realizowanych w Polsce, dokonano ich oceny i rankingu w czterech scenariuszach przy wykorzystaniu wielokryterialnej metody hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*).
  7. W każdym ze scenariuszy pierwsze miejsce w rankingu osiągnął projekt Baltic Power, realizowany przez spółkę Baltic Power, należąca do PKN Orlen i Northland Power. Mimo, że nie jest to największy projekt realizowany na polskich obszarach morskich (1140 MW), to w stosunku do innych projektów charakteryzuje się stosunkowo dobrymi parametrami lokalizacyjnymi (stosunkowo niewielka głębokość i odległość od brzegu), a także największą

efektywnością wykorzystania akwenu (na poziomie 8,7 MW/km<sup>2</sup>). Pomimo dość niskich ocen takich kryteriów jak: wsparcie edukacji, wsparcie społeczności lokalnych, wsparcie przedsiębiorczości i wsparcie innowacji, pozostałe kryteria społeczne i gospodarcze, uzależnione od mocy zainstalowanej są na wysokim poziomie (także dzięki dużej efektywności wykorzystania akwenu). Co istotne, projekt ten jest jedynym, dla którego zostanie wybudowany port instalacyjny. Stanowi to ogromną przewagę nad pozostałymi projektami.

8. Ostatnie miejsce w rankingu w każdym ze scenariuszy zostało osiągnięte przez projekt FEW Baltic II, realizowany przez spółkę RWE Offshore. Jego niska pozycja wynika przede wszystkim z faktu, że jest to najmniejszy projekt realizowany w Polsce (350 MW). Co ciekawe, jest to jeden z projektów, dla których osiągnięto wysoką efektywność wykorzystania akwenu (8,54 MW/km<sup>2</sup>). Pomimo dość wysokich ocen w obszarze wsparcia edukacji i społeczności lokalnych nie osiągnął lepszej pozycji w rankingu nawet w scenariuszu, gdzie dominującym kryterium było kryterium społeczne.
9. Zaskakujące jest miejsce 6 w rankingu dla projektu Baltica 3, realizowanego wspólnie przez PGE Baltica i Orsted. Pomimo dość dużej planowanej mocy zainstalowanej (1045 MW) i dość dużej efektywności wykorzystania akwenu, poszczególne subkryteria kryterium głównego społecznego i gospodarczego zostały ocenione dość nisko.
10. Projekty Bałtyk II i III, realizowane wspólnie przez Polenergię i Equinor, pomimo takiej samej planowanej mocy zainstalowanej (720 MW) zajmują różne miejsce w rankingu w poszczególnych scenariuszach. Wynika to z faktu, iż charakteryzują się różną efektywnością wykorzystania obszaru (dość niską), innym, planowanym terminem oddania inwestycji do użytku i innymi warunkami lokalizacyjnymi.
11. Projekt BC Wind, realizowany przez Ocean Winds w scenariuszu 1, 2 i 3 zajmuje stosunkowo niskie, 5 miejsce w rankingu. Jest to drugi najmniejszy projekt, realizowany w Polsce (400 MW), charakteryzujący się dość słabymi warunkami lokalizacyjnymi (bardzo duża głębokość) i niską efektywnością wykorzystania obszaru (na poziomie 4,4 MW/km<sup>2</sup>). Mimo dość wysokich ocen kryteriów obiektywnych społecznych (nieuzależnionych od mocy zainstalowanej) w scenariuszu, gdzie kryteria te dominowały, nie uzyskał wysokiej pozycji. Projekt ten został dość nisko oceniony w kryteriach obiektywnych gospodarczych, co w połączeniu z kryteriami subiektywnymi, wynikającymi z mocy zainstalowanej, powoduje jego niską pozycję w scenariuszu z dominującymi kryteriami gospodarczymi.
12. W ostatnim etapie ponownie wyznaczono wartości użyteczności i rankingi dla poszczególnych scenariuszy, jednak z uwzględnieniem znormalizowanych kosztów. Na potrzebę realizacji tego etapu badania oszacowano koszty CAPEX i OPEX dla poszczególnych inwestycji. Po uwzględnieniu znormalizowanych kosztów najmniejszy projekt B-C Wind w każdym ze scenariuszy zajmuje pierwsze miejsce, natomiast projekt Baltic Power zajmuje drugie miejsce w scenariuszu 2, 3 i 4, a w scenariuszu o dominujących kryteriach społecznych – dopiero 4.

Ostatnie miejsce w każdym ze scenariuszy zajmuje tu projekt Baltica 3. Spadek w rankingu projektów o dużych planowanych mocach zainstalowanych jest związany z wyższymi niż w przypadku innych projektów kosztami, uzależnionymi właśnie od tego parametru.

Przeprowadzone w ramach dysertacji badania weryfikują pozytywnie postawioną hipotezę badawczą, zgodnie z którą „uwarunkowania ekonomiczne i społeczne stanowią determinanty rozwoju morskiej energetyki wiatrowej, a jej rozwój wpływa pozytywnie na sferę gospodarczą i społeczną”. Skala tych korzyści jest uzależniona od następujących czynników:

- liczby realizowanych w Polsce projektów morskich farm wiatrowych, co jest związane z postanowieniami planu zagospodarowania przestrzennego polskich obszarów morskich;
- celów polityki energetycznej, przyjętych w dokumentach strategicznych;
- kształtu przepisów prawnych, regulujących funkcjonowanie sektora morskiej energetyki wiatrowej w Polsce;
- przebiegu procedur administracyjnych, związanych z procesem wydawania niezbędnych pozwoleń i decyzji dla projektów morskich farm wiatrowych;
- wysokości i kształtu przyjętego systemu wsparcia dla tych inwestycji.

Zatem, postawiona hipoteza pomocnicza, zgodnie z którą „skala korzyści ekonomicznych i społecznych, wynikających z rozwoju sektora morskiej energetyki wiatrowej, uzasadnia podjęcie wyzwań związanych z tym rozwojem” również została zweryfikowana pozytywnie.

## 6. Układ pracy

### Wprowadzenie

- I. Determinanty ekonomicznego i społecznego rozwoju sektorów infrastrukturalnych gospodarki narodowej
  - 1.1. Sektory infrastrukturalne w gospodarce narodowej
  - 1.2. Uwarunkowania rozwoju gospodarczego i społecznego
  - 1.3. Mierniki rozwoju gospodarczego i społecznego
- II. Energetyka jako sektor gospodarki
  - 2.1. Sektor energetyczny w Europie ze szczególnym uwzględnieniem elektroenergetyki
  - 2.2. Rola energetyki w koncepcji zrównoważonego rozwoju
  - 2.3. Liberalizacja rynku energii w Europie
- III. Rozwój morskiej energetyki wiatrowej w Europie
  - 3.1. Rola odnawialnych źródeł energii w polityce energetycznej i klimatycznej Unii Europejskiej
  - 3.2. Analiza potencjału i stan rozwoju morskiej energetyki wiatrowej
  - 3.3. Potencjał generowania korzyści oraz analiza wydatków inwestycyjnych morskich farm wiatrowych
- IV. Miejsce morskiej energetyki wiatrowej w polskim miksie energetycznym
  - 4.1. Charakterystyka polskiego sektora elektroenergetycznego
  - 4.2. Potencjał rozwoju morskiej energetyki wiatrowej na polskich obszarach morskich
  - 4.3. Warunki rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce
- V. Potencjalne korzyści i koszty z rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce
  - 5.1. Wyzwania związane z rozwojem morskiej energetyki wiatrowej
  - 5.2. Łańcuch wartości morskiej energetyki wiatrowej
  - 5.3. Ocena korzyści i kosztów wynikających z inwestycji w morską energetykę wiatrową dla gospodarki
    - 5.3.1. Koszty realizacji inwestycji
    - 5.3.2. Efekty społeczne i gospodarcze
    - 5.3.3. Ocena projektów morskich farm wiatrowych przy wykorzystaniu metody AHP
    - 5.3.4. Wyniki przeprowadzonych badań

### Podsumowanie

### Bibliografia

### Spis rysunków

### Abstract