

# Potencjał południowego Bałtyku jako miejsca lokalizacji elektrowni falowych

The potential of the southern Baltic Sea as a site for the foundation of wave power plants

dr Ewa Jakusik, mgr Patryk Sapięga, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

DOI: 10.5604/01.3001.0054.1319

**Streszczenie:** Wyczerpywanie się surowców nieodnawialnych oraz ich możliwy negatywny wpływ na środowisko i klimat skłania do wyszukiwania alternatywnych metod wytwarzania energii elektrycznej. W pracy przedstawiono analizę możliwości pozyskiwania energii z falowania w południowej części Morza Bałtyckiego w oparciu o reanalizę i pomiary falowania, zlokalizowanymi w dwóch różnych strefach głębokościowych. Maksymalna możliwa energia do wygenerowania mieści się w przedziale 5,7–7,2 kW/m grzbietu fali. Na podstawie danych pomiarowych falowania oraz danych producenta elektrowni pływakowej oszacowano, iż 71–88 km modułów pływakowych mogłoby zaopatrzyć w energię elektryczną aglomerację trójmiejską, a średnia wartość wytworzonej energii plasowałaby się w przedziale 100–169 kW. Przeprowadzona analiza wskazuje na przeciętny potencjał Bałtyku Południowego, związany z krótkookresowymi, wysokimi stanami hydrodynamicznymi morza.

**Słowa kluczowe:** elektrownie falowe, alternatywne źródła energii, Morze Bałtyckie.

**Abstract:** Depletion of non-renewable resources keep us for searching of new alternative methods of generating electricity. There were possibilities in the paper that two of the undulations that are consistent with the experience of the Baltic Sea based on reanalysis and wave measurements, operating based on different depth zones. The maximum power this system can generate is within 5,7–7,2 kW per meter of a wave ridge. Based on the waving measurements and manufactures data of this kind wave plant, the length 71–88 km of modules could be supply Tri-city agglomeration consumption. Average power of installation would be range 100–169 kW. The conducted analysis access to the average potential of the South Baltic Sea, research with short-term, fast hydrodynamic states of the sea.

**Keywords:** wave power plants, alternative energy sources, Baltic Sea.

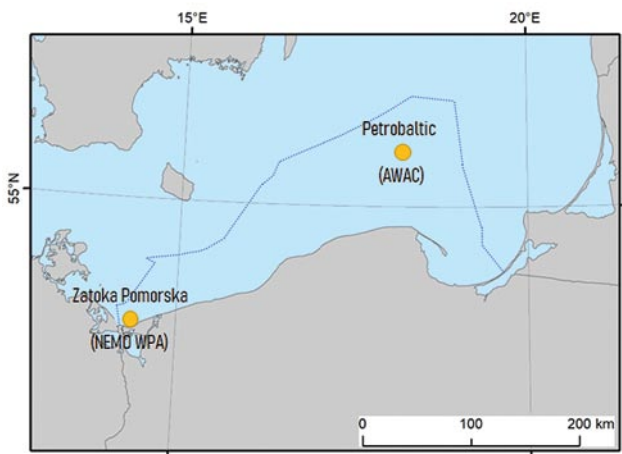
## 1. Wprowadzenie

Energia elektryczna pozyskiwana z falowania jest wciąż niedoceniona z uwagi na brak dostępności i powszechności stosowania technologii jej wytwarzania. Mimo że elektrownie falowe wykorzystują ruch wody, który obecny jest niemal na całym globie, nadal jest to nierozpowszechniony sposób na wykorzystanie zasobów naturalnej energii odnawialnej. Grupie odnawialnych źródeł energii coraz częściej przypisywane jest negatywne oddziaływanie na środowisko, takie jak: obniżenie jakości wód, zmiana morfologii strefy brzożowej oraz krajobrazu czy zaburzenie szlaków wędrownych ryb i ssaków. Pozyskiwanie mocy z tego alternatywnego źródła czystej energii uzależnione jest od warunków atmosferycznych, które bezpośrednio generują fale oraz od dostępności technologii i środków finansowych na ich pozyskiwanie. Największym potentatem konwersji energii z falowania na energię elektryczną na świecie są: Australia, Stany Zjednoczone i Kanada, a w Europie: Wielka Brytania, Portugalia i Norwegia. Elektrownie falowe rozlokowane wzdłuż wschodniego wybrzeża USA pozwoliłyby uzyskać 15–20-krotnie więcej energii elektrycznej w porównaniu do elektrowni

wiatrowych na całym obszarze Stanów Zjednoczonych [14]. Całkowity potencjał wytwórczy energii z falowania na świecie wynosi około 2 TWh rocznie [4]. Energia z fal morskich dla Europy szacowana jest na około 300 GW [13]. Badania nad możliwościami i potencjałem energii falowania w obszarze Morza Bałtyckiego były prowadzone m.in. w pracach [6, 9, 12], jednak żadne z badań nie obejmowały szczegółowo obszaru południowego Bałtyku. Głównym celem pracy jest przedstawienie stopnia możliwości wytwarzania energii elektrycznej z fal morskich oraz scharakteryzowanie potencjału i zagrożeń związanych z inwestycją elektrowni falowej na południowym Bałtyku.

## 2. Metodyka

Tematyka energii falowania Morza Bałtyckiego jest niszowym przedmiotem badań i analiz w Polsce. Dotychczas bezowocnie podejmowano działania mające na celu wdrożenie elektrowni falowych przy wybrzeżu południowego Bałtyku. Przedstawiona w pracy analiza możliwości wytwarzania energii elektrycznej stanowi jedno z pierwszych porównań uzyskiwanych wartości energii na południowym Bałtyku. W pracy



Rys. 1. Położenie analizowanych punktów

wykorzystano pomiary falowania z dwóch różnych urządzeń, tj. AWAC i Nemo WPA zlokalizowanych w odmiennych strefach głębokościowych i różnych ekspozycjach na działanie fal (rys. 1). W celu przedstawienia potencjału energii falowania wykorzystano reanalizę magazynu danych ERA-5 obejmującą okres 1981–2021. Rozdzielczość przestrzenna danych to 0,5x0,5 st. geograficznego oraz czasowa 1 h.

### 3. Konwersja energii i stosowane technologie

Niewątpliwie ważną kwestią w generowaniu energii elektrycznej z fal jest ich konwersja. Fale morskie możemy podzielić ze względu na genezę ich generowania. Najczęściej występującym rodzajem falowania jest falowanie wiatrowe. Siłą generującą ich ruch jest wiatr, a dokładniej tarcie na styku atmosfera – powierzchnia wody, gdy siła wiatru jest znikoma lub nie istnieje, mówi się wtedy o falach z rozkołysu (fale martwe). Wysokość falowania uzależniona jest od prędkości wiatru i jego czasu trwania oraz od głębokości i morfologii dna morza. Jeśli głębokość wody jest większa niż połowa długości fali, wówczas ilość energii przepływającej przez daną powierzchnię w jednostce czasu jest równa:

$$P = \frac{\rho g^2}{64 \pi} H_f^2 T_f \text{ [kW]} \quad (1)$$

gdzie:

$P$  – strumień energii na jednostkę długości wierzchołka fali,

$\rho$  – gęstość wody morskiej [kg/m<sup>3</sup>],

$g$  – przyspieszenie ziemskie [m/s<sup>2</sup>],

$H_f$  – wysokość fali [m],

$T_f$  – okres fali [s].

W analizie wyników użyto uproszczonego wzoru na strumień energii na jednostkę długości wierzchołka fali (1) oraz posłużono się stałymi wartościami przyspieszenia ziemskiego 9,81 [m/s<sup>2</sup>] oraz gęstości wody morskiej 1025 [kg/m<sup>3</sup>] [10]. W rzeczywistości obliczone wyniki są zawyżone w porównaniu do wartości występujących w warunkach naturalnych. Według [11] uzyskane wartości teoretyczne energii

w porównaniu do pozyskiwanych w praktyce za pomocą prądnicy liniowej, mogą być nawet 44 razy większe. Na rynku energetycznym istnieje wiele typów elektrowni falowych, różniących się od siebie sposobem przetwarzania energii, specyfiką działania oraz kubaturą i kształtem. Pierwsze patenty w dziedzinie urządzeń elektrowni falowych odnotowano w 1799 roku w Wielkiej Brytanii. Inżynierowie i specjaliści z zakresu hydrodynamiki oceniają, że fale morskie mają większy potencjał energetyczny i są bardziej stabilne niż wiatr. Do najbardziej powszechnych rodzajów elektrowni falowych należy Pelamis Wave Power, tzw. wąż morski (rys. 2), Oyster 800 (rys. 3), system CETO (rys. 4) oraz elektrownie pływakowe (rys. 5). Pierwszym przykładem elektrowni falowej jest „wąż morski” zaprojektowany i stworzony przez szkockich inżynierów o następujących parametrach: długości 140–180 m, 4 m średnicy i około 1350 ton wagi. Technologia ta jest stosunkowo prostą i mniej kosztowną, w porównaniu do innych wyżej wymienionych. System Pelamis (rys. 2) składa się z hydraulicznie połączonych stalowych pontonów ułożonych prostopadle do zgeneralizowanego kierunku falowania. Moduły przetwarzające energię znajdują się w przegubach. Konwertyer energii fal powoduje, że woda przepływa do wysokociśnieniowych zbiorników, skąd jest stopniowo uwalniana i napędza generatory. Moc urządzenia to około 750 kW [7]. Ograniczeniem „węża morskiego” jest głębokość posadowienia, wynosi ona minimum 50 m od dna morskiego.

Rys. 2. System Pelamis (wąż morski) [15]



Rys. 3. Ostryga [16]



Kolejnym, równie powszechnym typem elektrowni jest konstrukcja brytyjskiej firmy Aquamarine. Urządzenie to wyposażone jest w pokrywę o długości 18 m, posadowione jest na dnie morza i ma kształt muszli (rys. 3). Pokrywa porusza się pod wpływem fal i napędza pompy, te następnie tłoczą ciecz do turbiny umieszczonej na lądzie. Instalacja ta również występuje u wybrzeży Szkocji i jest posadowiona pół kilometra od wybrzeża Orkadów na głębokości kilkunastu

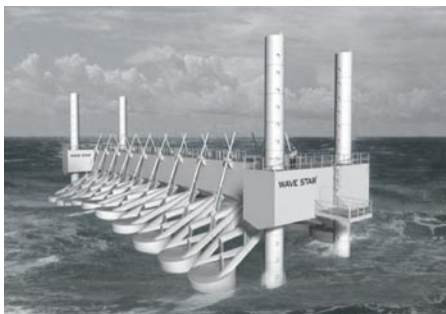
metrów. Maksymalna moc ostrzygi to 800 kW. Projekt farm ostryg jest realizowany na zachodnim wybrzeżu Orkady. Zakłada on zainstalowanie ok. 50 modułów ostryg mogących wytworzyć zasilanie dla ponad 30 tysięcy gospodarstw domowych, co jest równoważne mocy ok. 40 MW.

Technologia, która znalazła uznanie na jednym z najkorzystniejszych obszarów w aspekcie falowania – Australii, to system CETO (nazwa wywodząca się od greckiej bogini oceanów). W skład systemu wchodzi boje hydrauliczne, obsługujące cylindry przymocowane do dna morskiego (rys. 4). System ten ma głównie zalety. Jedną z nich jest pełne zanurzenie pod powierzchnią wody, co nie naraża na ewentualny negatywny efekt wizualny (zniszczenie krajobrazu), a co za tym idzie, nie jest również narażony na działanie czynników zewnętrznych (atmosferycznych) w postaci burz i sztormów.

**Rys. 4.** System CETO [17]



**Rys. 5.** Elektrownia pływakowa projektu WaveStar [18]



Kolejnym ważnym rodzajem elektrowni falowej jest elektrownia typu pływakowego. Jedną z pierwszych elektrowni tego typu zbudowała gdańska Stocznia Odys dla inwestora z Danii. Urządzenie to zamienia energię kinetyczną fal morskich na energię elektryczną poprzez oscylacyjny ruch pływaków, który porusza silnik hydrauliczny sprzężony z prądnicą. Prototyp elektrowni może wytworzyć 500 kW–1,1 MW energii. Gdańska stocznia przekazała duńskiej spółce WaveStar Energy projekt i zainstalowano moduł w Danii. Stocznia Odys ulepszyła technologię i zaprojektowała absorber energii fal morskich – AEFM (rys. 5), który miał za zadanie chronić brzeg morski oraz przetwarzać energię z fal na energię elektryczną. Prócz wymienionych wyżej typów elektrowni falowych istnieje również szereg innych rodzajów elektrowni, wykorzystujących ruch wody, mających zastosowanie na całym świecie, lecz mniej rozpowszechnionych. Jednym z takich urządzeń jest WaveDragon, zainstalowany na Morzu Północnym w pobliżu Danii. Jest to typ elektrowni przelewowej

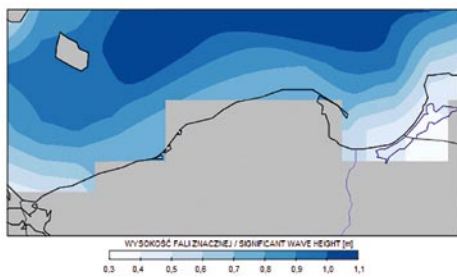
i wykorzystuje on aż siedem hydrozespołów turbin. Urządzenie z balastem waży 237 ton i osiąga wymiary 33x58 m oraz wysokość 3,6 m. Roczna produkcja energii elektrycznej to około 40 MWh [1]. Innym znanym typem urządzenia jest tzw. Pingwin – nazwa ze względu na kształt leżącego na brzuchu pingwina. Jest to elektrownia falowa, która cechuje się wysoce wytrzymałą konstrukcją, odporną na silne warunki hydrodynamiczne na morzu, ze względu na wewnętrzne położenie części eksploatacyjnej [14]. Jeden moduł Pingwina waży 220 ton i mierzy 30 m długości, zakotwiczony jest trzema kotwicami. Falowanie powoduje kołysanie konstrukcji, co wywołuje ruch obrotowy koła zamachowego umieszczonego wewnątrz statku. Z kolei koło poprzez przekładnię napędza generator o mocy 1 MW produkujący energię elektryczną. Ważną inwestycją w rozwoju pozytywności energii OZE w obszarach morskich jest platforma morska UniWave 200 firmy Wave Swell Energy. Platforma działa na zasadzie przepływu wody wtłaczanych przez fale w betonową komorę, w której podnosi się ciśnienie, a te z kolei finalnie uchodzi, generując ogromne podciśnienie warunkując wytwarzanie energii. Inwestycja ta ma wiele zalet, m.in. niską ingerencję w środowisko i krajobraz, gdyż może stanowić ona bloki, które holistycznie tworzyć mogą falochrony. Po testach w King Island moduły tej elektrowni będą posadowione na Oceanie Południowym i Cieśninie Bassa. Kolejną inwestycją wartą uwagi jest pływakowy konwerter energii WaveLine Magnet. Dużą zaletą tej konstrukcji jest jej niewielka ingerencja w środowisko morskie, gdyż unosi się na powierzchni morza z punktowymi kotwiczniami. Firma SWELL (producent tego konwertera) szacuje wydajność pojedynczego zestawu do ok. 100 MW. Największą inwestycją wykorzystującą odnawialne źródła energii na morzu jest Oribtal Marine Power zlokalizowane w archipelagu wysp Orkad. Inwestycja ta wykorzystuje zblizoną do falowania energię prądów morskich i pływów, jednakże te w obszarze południowego Bałtyku są znikome.

#### 4. Warunki falowania południowego Bałtyku

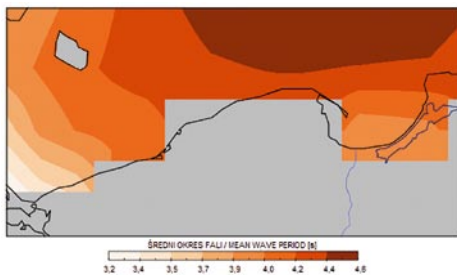
Z wykorzystaniem reanalizy ERA-5 [3] oszacowano średnią wysokość fali znacznej oraz średni okres fali w wieloletnim okresie 1981–2021 (rys. 6, 7). Obszarami o najwyższych falach jest północna część akwenu południowego Bałtyku, gdzie średnia wartość wysokości fali znacznej dla analizowanego wielolecia przekracza 1,0 m. Najmniejsze fale plasują się w przedziale 0,3–0,5 m i charakteryzuje się nimi obszar Zatoki Gdańskiej i Zatoki Pomorskiej (rys. 6). Należy podkreślić, że parametr wysokości fali znacznej określa 1/3 wysokości wszystkich fal z danego okresu i obszaru. Najwyższe wartości średniego okresu fali, który jest czasem pomiędzy grzbietami lub dolinami fali, podobnie jak wysokość fali znacznej, występują w północnej części analizowanego obszaru i przekraczają 4,4 sekundy. Zatoka Pomorska charakteryzuje się najniższymi wartościami, tj. 3,2–3,5 s.



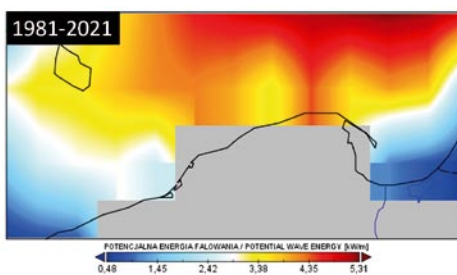
**Rys. 6.** Średnia wysokość fali znacznej w obszarze południowego Bałtyku w wieloletni 1981–2021



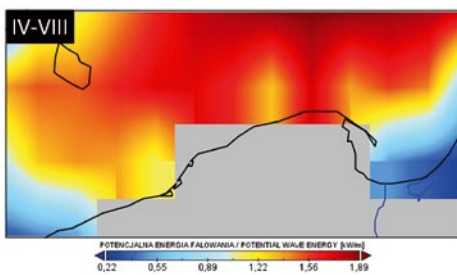
**Rys. 7.** Średni okres fali w obszarze południowego Bałtyku w wieloletni 1981–2021



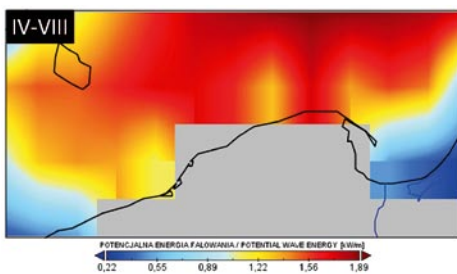
**Rys. 8.** Średni potencjał energii uzyskanej z falowania w wieloletni 1981–2021



**Rys. 9.** Średni potencjał energii uzyskanej z falowania w wieloletni 1981–2021 podczas sezonu bezszstormowego

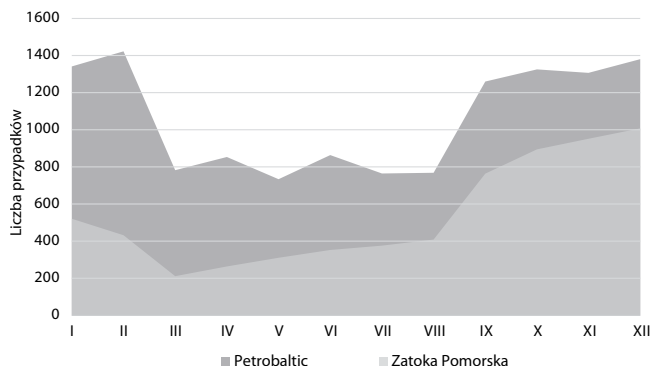


**Rys. 10.** Średni potencjał energii uzyskanej z falowania w wieloletni 1981–2021 podczas sezonu szstormowego



## 5. Potencjał energetyczny południowego Bałtyku

Celem pełnego zobrazowania potencjału energetycznego z fal morskich obliczono średnią wieloletnią (rys. 8); średnią dla sezonu bezszstormowego, tj. IV–VIII (rys. 9) oraz dla sezonu szstormowego, tj. IX–III (rys. 10). Średnia wieloletnia plasuje się w przedziale 0,48–5,31 kW/m, z czego najwyższe jej wartości przypadają w środkowej części wybrzeża Polski oraz w południowej części Basenu Gotlandzkiego i południowo-wschodniej części Basenu



**Rys. 11.** Średnia roczna liczba przypadków umożliwiających tryb operacyjny elektrowni falowej

Bornholmskiego. Ze względu na rozdzielczość danych (0,5x0,5 st. geogr.) nie jest uwzględniana wyspa Bornholm ani inne większe struktury ukształtowania wybrzeża. Najwyższe wartości potencjalnej energii falowania w sezonie bezszstormowym (rys. 9), tj. od kwietnia do sierpnia [8] osiągają wartości powyżej 1,5 kW/m (do 1,89 kW/m). Sezon szstormowy, przypadający od września do marca [8] charakteryzuje się znacznie wyższymi wartościami potencjalnej energii, które w najbardziej korzystnych częściach południowego Bałtyku (południowa część Basenu Gotlandzkiego i południowo-wschodnia część Basenu Bornholmskiego) osiąga wielkość przekraczającą 7 kW/m (rys. 10) Morze Bałtyckie jako półzamknięty basen wodny charakteryzuje się niskim potencjałem energetycznym fal. W porównaniu do energii wiatrowej, tj. 0,7 kW/m<sup>2</sup>, fale są bardziej ekonomicznym źródłem energii [5]. Tryb operacyjny elektrowni falowej jest zależny od wysokości fali. Ramiona z pływakami są podnoszone w przypadku gdy fala przewyższy wysokość 3,8 m, a opuszczane po osiągnięciu przez fale minimum 0,5 m wysokości. Tryb operacyjny elektrowni obniża potencjał energii z fal, ze względu na produkcję energii jedynie w zakresie umożliwiającym rentowność pracy (>0,5 m) oraz jej bezpieczeństwo (<3,8 m). Najwięcej przypadków umożliwiających prace elektrowni falowej, zarówno w Zatoce Pomorskiej, jak i w strefie otwartego morza (Petrobaltic) występuje od sierpnia do marca, gdzie średnia roczna liczba przypadków umożliwiająca pracę modułu elektrowni plasuje się w przedziale 800–1400 (Petrobaltic) oraz 500–1000 (Zatoka Pomorska). Niską efektywność wykazuje funkcjonowanie elektrowni w okresie wiosenno-letnim, gdzie średnia roczna liczba przypadków warunków falowania umożliwiających tryb operacyjny elektrowni nie przekracza 830 dla punktu Petrobaltic i 210 dla punktu w Zatoce Pomorskiej (rys. 11).

Potencjalna energia w ujęciu miesięcznym charakteryzuje się zbliżonym zakresem do sezonowości szstormowej. Punkt w Zatoce Pomorskiej jedynie od grudnia do lutego osiąga średni potencjał przekraczający 1 kW/m. W strefie otwartego morza (Petrobaltic) wysokie fale umożliwiają generowanie energii rzędu 3,8–7,2 kW/m od września do marca oraz 1,3–3,2 kW/m w okresie od kwietnia do sierpnia (rys. 12).

## 6. Możliwa wytworzona energia w różnych stanach hydrodynamicznych morza

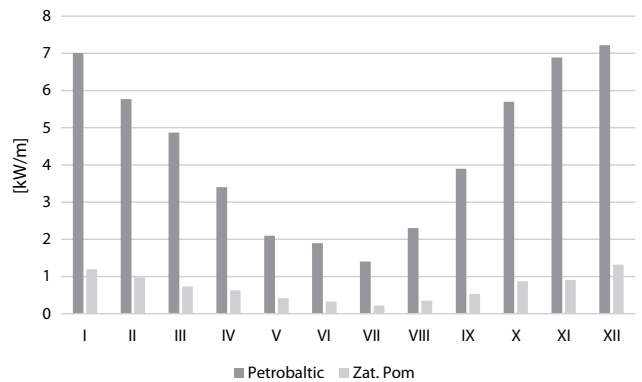
W Polsce w 2013 roku trwały prace nad stworzeniem i uruchomieniem elektrowni falowej w polskiej części wybrzeża Morza Bałtyckiego. Stocznia Odys wraz z partnerami zaprojektowali prototyp elektrowni falowej typu pływakowego, który został zainstalowany na wybrzeżu Danii. Prototyp ten odniósł sukces, a spółka Odys wraz z WaveStar Energy stworzyła elektrownię dwupływakową. W Polsce mimo dużego dofinansowania przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości na kwotę 28,7 mln zł nie doszło do finalizacji inwestycji, gdyż wycofała się spółka Skotan, która miała sfinansować resztę kosztów projektu, tj. 9,8 mln zł. Całkowity koszt posadowienia dziewięciopływakowej elektrowni falowej obejmujący m.in. projekt i testy urządzenia oszacowano na kwotę 39 mln zł. Polski prototyp w Danii (rys. 13) może wyprodukować od 500 kW do 1,1 MW energii, czyli tyle samo co elektrownia wiatrowa. Według testów i badań modelowych producenta WaveStar Energy prototyp elektrowni falowej wyposażony w dwa pływaki jest w stanie w ciągu roku wytworzyć 12007 kWh. Maksymalna wartość wygenerowanej energii elektrycznej mieści się w przedziale 15,9–28,1 kW. Producent przeprowadzał badania na modelach fizycznych w skali 1/40, 1/10 oraz 1/2. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że dwudziestopływakowy moduł (rys. 14), w zależności od wariantu technicznego i lokalizacji, mógłby zaspokoić od 841 do 1975 osób (zakładając średnie zapotrzebowanie na osobę 700 kWh rocznie).

W przypadku usadowienia modułów elektrowni falowych w basenie południowego Bałtyku na odcinku 1 km, gdzie jeden moduł wyposażony będzie w dwadzieścia pływaków, potencjalnie wytworzona energia zaspokoiłaby potrzeby energetyczne od 8410 do 10512 osób. By dostarczyć energię elektryczną dla każdego mieszkańca aglomeracji trójmiejskiej, należałoby zaprojektować ciąg modułów pływakowych o długości 71–88 km. Według badań modelowych średnia energia wynosiłaby 100–169 kW, a najkorzystniejsze energetyczne miesiące to styczeń, październik i grudzień (136–347 kW). Produkcja roczna w skali roku wynosiłaby od 589 do 1383 MWh.

## 7. Wpływ na środowisko morskie

Elektrownie falowe, choć wykorzystują odnawialne źródło energii, jakim jest ruch wody, mogą powodować negatywny wpływ na środowisko morskie. Wpływ oddziaływania na środowisko można podzielić na: bezpośredni i pośredni oraz w zależności od fazy rozwoju inwestycji na: przedeksploatacyjny (posadowienie oraz instalacja elektrowni i infrastruktury) oraz eksploatacyjny związany z funkcjonowaniem i przetwarzaniem energii fal morskich na energię elektryczną (tab. 1).

Podczas posadowienia elektrowni oraz instalacji infrastruktury towarzyszącej, w tzw. fazie przedeksploatacyjnej, może dojść do nieodwracalnych zmian w środowisku morskim. Naruszenie



**Rys. 12.** Średni potencjał energetyczny południowego Bałtyku [kW/m] w latach 2017–2018

**Tabela 1.** Zagrożenia bezpośrednie i pośrednie wywołane działalnością elektrowni falowej w różnych fazach eksploatacji

	Bezpośrednie	Pośrednie
Faza przed-eksploatacyjna	<ul style="list-style-type: none"> <li>zmiany w morfologii dna morskiego</li> <li>wibracje</li> <li>erozja dna z posadowieniem infrastruktury</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>kumulowanie zanieczyszczeń biogenicznych i chemicznych</li> <li>tyczasowy wzrost intensywności sedimentacji</li> <li>zmniejszenie przejrzystości wody</li> <li>straty dla bentosu, pelagialu i organizmów strefy międzyżyłkowej</li> </ul>
Faza eksploatacyjna	<ul style="list-style-type: none"> <li>uszkodzenie elementów elektrowni</li> <li>korozja i kolmatacja infrastruktury</li> <li>hałas</li> <li>zagrożenie dla ptactwa łownego i lotnych ssaków</li> <li>degradacja krajobrazu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zaburzenie prądów morskich</li> <li>hamowanie rozwoju i ruchu fito- i zooplanktonu</li> <li>zaburzenie cykli życiowych ryb i małych ssaków w strefie przybrzeżnej</li> <li>zaburzenie szlaków wędrowniczych ryb</li> </ul>

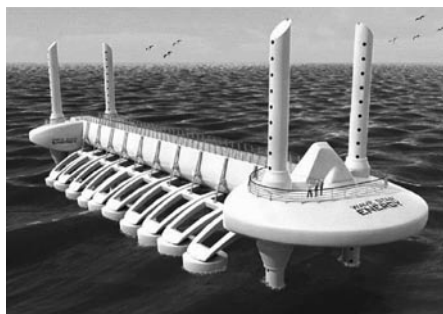
dna poprzez wykopy dla przewodów i zakotwienia może mieć negatywny wpływ na naturalne siedlisko bentosu. Poza erozją wywołaną posadowieniem przewodów w osadach dna morskiego, wywołana jest sztuczna akumulacja osadów hydroklastycznych, w wyniku bariery, jaką stanowi zakotwiczenie i infrastruktura elektrowni falowej. Erozja i akumulacja dna morskiego doprowadza do stałych zmian w morfologii podłoża oraz zmian w stężeniach substancji biogenicznych i chemicznych. W wyniku prac ziemnych może nastąpić naruszenie istniejących obiektów sozologicznych i tymczasowy wzrost kumulacji zanieczyszczeń. Bezpośrednim zagrożeniem przy wytwarzaniu energii elektrycznej z fal morskich jest korozja i kolmatacja elementów elektrowni falowej. Niszczące elementy mogą doprowadzić do awarii i zanieczyszczenia wód morskich. Moduł elektrowni falowej mierzy kilkanaście metrów wysokości i może stanowić zagrożenie dla ptactwa łownego i lotnych ssaków. Ponadto hamuje rozwój oraz ruch fito- i zooplanktonu, który jest niezbędnym ogniwem w łańcuchu pokarmowym fauny morskiej. Zderzanie się wysokich fal o pływak może powodować duży hałas oraz negatywne wibracje, co z kolei może skutkować zaburzeniem szlaków wędrowniczych ryb

**Rys. 13.**

Prototyp (2 pływaków) elektrowni falowej w Danii [19]

**Rys. 14.**

Wizualizacja elektrowni falowej z 20 pływakami [20]



oraz zaburzeniem cykli życiowych ryb oraz ssaków w strefie płytko- i głębokowodnej. Głównym aspektem decydującym o braku wdrożeń budowy infrastruktury umożliwiającej produkcję energii z fal morskich jest koszt zakupu i posadowienia konwerterów energii jak i całej infrastruktury sieciowej doprowadzającej energię do lądu. Największy potencjał spośród europejskich krajów (Norwegia, UK, Islandia) posiadają państwa z dostępem do akwenów Morza Północnego, gdzie technologia ta istnieje od dawna i jest rozbudowywana. Analiza oceny potencjału południowego Bałtyku wskazuje na średnie i ponadprzeciętne warunki falowania umożliwiające wytwarzanie energii OZE z fal, jednakże kwestie ekonomiczne oraz ekologiczne decydują o niepodjęciu działań inwestycyjnych. Aktualnie w Polskich Obszarach Morskich rozwijana jest sieć farm wiatrowych, które są bardziej powszechne i tańsze. Elektrownie falowe mogą stanowić dodatkowe źródło energii, wspomagające farmy wiatrowe i powstającą w województwie pomorskim elektrownię jądrową.

## 8. Podsumowanie

Elektrownie falowe stanowią przyszłość dodatkowej energii bazującej na ruchu wody, który odbywa się na blisko 70% Ziemi. Wykorzystując odnawialne źródło energii, nie naruszamy środowiska w znaczący sposób, a zmiany w nich wywołane są niewielkie i odwracalne. Przeprowadzona analiza z wykorzystaniem reanalizy magazynu danych ERA-5 wskazuje na ponadprzeciętny potencjał energii uzyskanej z fal morskich w okresie sztormowym, przypadającym od września do marca (do 7 kW/m). Średnia miesięczna energia elektryczna do wytworzenia na podstawie porównań warunków hydrodynamicznych południowego Bałtyku i wartości testowych producenta WaveStar Energy wynosi od 100 do 170 kW. Hipotetyczna wartość uzyskanej energii na kilometrowym odcinku mogłaby zaspokoić

potrzeby ok. 8–10 tysięcy osób. Główną korzyścią elektrowni falowych niezwiązaną z energetyką jest ochrona brzegów – według szacowań IBW-PIB fale mogą być tłumione do 40% [2]. Energię z falowania należy traktować jako źródło wspomagające inne alternatywne formy wytwarzania energii. Wykorzystując obecną już infrastrukturę elektrowni wiatrowych, w mniejszy sposób wpływa się na aspekt wizualny krajobrazu, a straty przesyłania energii są mniejsze. Fale w odróżnieniu od wiatru są bardziej przewidywalne i można je prognozować z dobowym wyprzedzeniem, ponadto gęstość powietrza jest nawet tysiąc razy mniejsza niż wody, co sprawia, że energia kinetyczna wody jest korzystniejsza w wytwarzaniu energii. Potencjał elektrowni falowych jest nadal niewykorzystany ze względu na słabo poznane możliwości oraz brak promowania i finansowania przez rządowe jednostki.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Bielski M., Energia morskiego smoka, [w]: Urządzenia dla energetyki 7/2008 (dostęp: <http://www.cire.pl>)
- [2] Borkowski M., Projekt jest – finansowania brak, [w]: Namiary na morze i handel 5/2017 (dostęp: <http://www.wietrzykowski.net/17r.03.10%3B-art.w%20Namiarach%20-%20Energi-z-fal.pdf>)
- [3] Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017): ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), date of access. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
- [4] FAO, The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 – Meeting the sustainable development goals, Rome, 2018. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- [5] Henfridsson U., Neimane V., Strand K., Kapper R., Bernhoff H. and Danielsson O., Wave energy potential in the Baltic Sea and the Danish part of the North Sea, with reflections on the Skagerrak. *Renewable Energy* 32(12)2007, str. 2069–2084
- [6] Kovaleva O., Eelsalu M., Soomere T., Hot-spots of large wave energy resources in relatively sheltered sections of the Baltic Sea coast, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, tom 74, 2017, str. 424–437, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.033>
- [7] Krzemień Z., Wykorzystanie energii fal morskich do produkcji energii elektrycznej, prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 262, 2013
- [8] Miętus M., Storch von H., Reconstruction of the wave climate in the Proper Valtic Basin, April 1947 – March 1988, GKSS, External Report, 97/E/28, 1997, 30 s.
- [9] Nilsson E., Rutgersson A., Dingwell A., Björkqvist J-V, Pettersson H, Axell L, Nyberg J, Strömstedt E., Characterization of Wave Energy Potential for the Baltic Sea with Focus on the Swedish Exclusive Economic Zone *Energies* 12(5)2019, str. 793 <https://doi.org/10.3390/en12050793>
- [10] Rodrigues L., Wave power conversion systems for electrical energy production, Faculty of Science and Technology Nova University of Lisbon, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREQP), Santander, 2008
- [11] Rhinefrank K. i in., Novel ocean energy permanent magnet linear generator buoy, School of Electrical Engineering and Computer Science, Oregon State University, USA, 2005
- [12] Soomere T., Eelsalu M., On the wave energy potential along the eastern Baltic Sea coast, *Renewable Energy*, tom 71, 2014, str. 221–233, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.025>
- [13] Schultz-Zehden A., Matczak M. (red.), Kompendium – Ocena Innowacyjnych i zrównoważonych sposobów wykorzystania zasobów Morza Bałtyckiego, Gdańsk, Instytut Morski, 2003, str. 143–160, ISBN 978-83-62438-14-3
- [14] Siewiera A., Potencjał i możliwości pozyskiwania energii z elektrowni falowych, *Przegląd Budowlany* 3/2015, str. 43–48
- [15] <https://mendocostcurrent.wordpress.com/tag/pelamiswave-power/>
- [16] <https://www.oleo.co.uk/case-studies/view/2018/08/oyster-wave-energy-converter>
- [17] <https://www.offgridenergyindependence.com/articles/15038/collaboration-to-develop-ceto-wave-energy-technology>
- [18] <https://energiaim.pl/2016/09/siegajac-po-fale/>
- [19] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Modu%C5%82:Mapa/dane/Morze\\_Ba%C5%82tyckie](https://pl.wikipedia.org/wiki/Modu%C5%82:Mapa/dane/Morze_Ba%C5%82tyckie)
- [20] <http://wavestarenergy.com/>