

Potencjał i możliwości pozyskiwania energii z elektrowni falowych

Dr inż. Agnieszka Siewiera, Wydział Budownictwa i Architektury, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

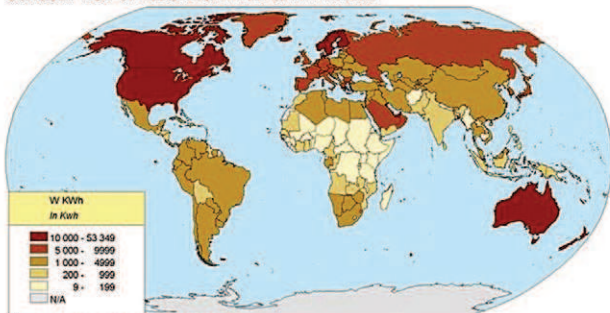
1. Wprowadzenie

Intensywny rozwój przemysłu, ograniczony dostęp do złóż kopalnych oraz zanieczyszczenia, jakie niesie za sobą ich eksploatacja, wymuszają poszukiwanie nowych ekologicznych źródeł energii, mniej uciążliwych dla środowiska naturalnego. Jednym z takich rozwiązań może stać się energia pozyskiwana z przyptywów i odpływów mórz oraz różnicy temperatur wody powierzchniowej i głębinowej. W dobie wysokiego zapotrzebowania na energię i dbałości o środowisko naturalne rozwiązania tego typu, a właściwie ich prototypy, są przedmiotem badań i współpracy podmiotów komercyjnych z departamentami rządowymi takich krajów jak: Australia, Szkocja, Wielka Brytania, Finlandia, Irlandia czy USA. Te nowatorskie i mało popularne rozwiązania oznaczają stosunkowo wysokie koszty i duże ryzyko, jednak głównym ich atutem jest brak emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczenia środowiska.

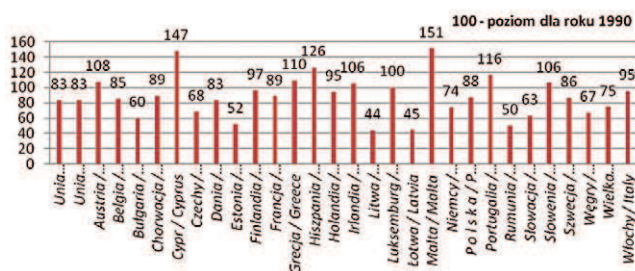
2. Zużycie energii w kontekście globalnym a jej efektywność

Wysoka zależność państw UE od państw trzecich, takich jak: Norwegia, Rosja, Algieria i państwa OPEC w zakresie importu nośników energii, a także znaczny wzrostu ich cen, skłania do przyjęcia radykalnych działań w zakresie możliwości wykorzystania źródeł odnawialnych oraz wzrostu efektywności wykorzystania energii.

ZUŻYCIENIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ NA 1 MIESZKAŃCA W 2009 R.
CONSUMPTION OF ELECTRICITY PER CAPITA IN 2009



Rys. 1. Zużycie energii elektrycznej na 1 mieszkańca. Źródło: <http://stat.gov.pl/statystyka-miedzynarodowa/porownania-miedzynarodowe/mapy/mapy-swiat,1.html>



Rys. 2. Emisja gazów cieplarnianych w roku 2011 w stosunku do roku 1990. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Unijne cele w zakresie polityki energetycznej są nakierowane na priorytety dotyczące konkurencyjnej, zrównoważonej i bezpiecznej energii, oszczędności energii, utworzenia bezpiecznego rynku o konkurencyjnych cenach i pewnych dostawach, wzmocnienia przywództwa technologicznego i skutecznych negocjacji z partnerami międzynarodowymi.

Rosnące zużycie energii (rys. 1) oraz ich cen, a także zakup tych surowców spoza Europy spowodowało przyjęcie przez UE pakietu klimatyczno-energetycznego, zgodnie z którym państwa członkowskie zobowiązały się osiągnąć do 2030 roku (23-24.10.2014 Bruksela, szczyt szefów państw i rządów UE):

- redukcję emisji CO₂ o 40%,
- zwiększyć efektywność energetyczną o 27%.
- wzrost udziału zużycia energii ze źródeł odnawialnych do 27% (obecny poziom to 14%).

Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych znacznie wpłyna na poprawę jakości środowiska naturalnego. Głównym źródłem emisji gazów cieplarnianych jest spalanie paliw w sektorze energetycznym, transporcie oraz przemyśle wytwórczym i budownictwie.

W krajach UE najwyższy udział w emisji gazów cieplarnianych w 2011 r. miały (rys. 2): Niemcy, Wielka Brytania, Włochy i Francja, gdzie ich łączna wartość stanowi ponad 50% całej UE (Polska: 8,7%). W 2011 r. emisja gazów cieplarnianych w stosunku do 1990 r. została zredukowana w UE o 16,9%. W państwach takich jak: Niemcy i Wielka Brytania obniżono ją o ponad 25%, we Francji o 11%, a we Włoszech o niecałe 5%. Największa redukcja nastąpiła w krajach bałtyckich oraz w Rumunii, przy czym ich udział w emisji gazów cieplarnianych w stosunku

Tabela 1. Wskaźniki efektywności zużycia energii, źródło: opracowanie własne na podstawie: [1, s. 8-10].

Nazwa wskaźnika	Oznaczenie
Całkowite zużycie energii pierwotnej	obejmuje zużycie nośników energii pierwotnej, a także odzysk, saldo wymiany, zmianę zapasów pochodnych nośników energii
Finalne zużycie energii	oznacza finalne zużycie energii na cele energetyczne bez sektora przemian energetycznych
Energochłonność pierwotna PKB	relacja całkowitego zużycia energii pierwotnej do PKB
Energochłonność finalna PKB	relacja zużycia finalnego energii do PKB
Energochłonność branż	relacja zużycia finalnego energii w branżach do ich wartości dodanej
Wskaźnik efektywności energetycznej ODEX	jest otrzymywany poprzez agregowanie zmian w jednostkowym zużyciu energii, obserwowanych w danym czasie na określonych poziomach użytkowania końcowego; nie pokazuje bieżącego poziomu intensywności energetycznej, a postęp w stosunku do roku bazowego; spadek wartości wskaźnika oznacza wzrost efektywności energetycznej

do całego ugrupowania jest stosunkowo niski (w sumie ok. 4%) [2, s. 5]. Maksymalny wzrost w porównaniu do poziomu z 1990 r. zaobserwowano w Hiszpanii, Portugalii oraz Grecji, a także na Malcie i Cyprze.

Zgodnie z wytycznymi UE celem gospodarki efektywnej korzystającej z zasobów jest zwiększenie efektywności wykorzystywania energii. Zużycie energii i jej efektywne wykorzystanie określają wskaźniki pokazane w tabeli 1.

Na podstawie danych statystycznych [2, s. 7] dla roku 2012 finalne zużycie energii (wyrażonej w tonach ekwiwalentu ropy naftowej – TOE) w Polsce wynosiło 63,6 mln (o 9,6% więcej niż w 2004 r.), natomiast w Unii Europejskiej – 1103,4 mln TOE (o 7,0% mniej). Wyzwanie poprawy efektywności stoi przed: Litwą, Łotwą, Estonią, Austrią, Malcią i Słowenią. Zmniejszeniem finalnego zużycia energii wykazały się: Grecja, Węgry, Portugalia, Wielka Brytania, Hiszpania, Irlandia, Włochy (na poziomie 20%–10%).

Priorytetem jest również zmniejszenie zużycia energii pierwotnej (TOE). W 2012 r. w Unii Europejskiej zużycie energii pierwotnej obniżyło się o 7,3% w stosunku do 2004 r. (w Polsce wzrosło o 6,9% niż w 2004 r.). Największe zużycie obserwuje się w Niemczech, Francji, Wielkiej Brytanii, Włoszech, Hiszpanii (ok. 297,6-121,3 mln TOE). Najniższy wskaźnik występuje na Malcie, Cyprze, w Luksemburgu, na Łotwie, Litwie, w Estonii i Słowenii, Chorwacji (poniżej 8 mln TOE) [na podstawie: 2, s. 5].

Obserwuje się wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto. W Unii Europejskiej ogółem w latach 2004–2012 podniósł się on z poziomu 8,3% do 14,1% (w Polsce z 7% do 11%). Największy udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii występuje w: Szwecji (51%), Łotwie (35,8%), Finlandii (34,3%), Austrii (32,1%). Najniższe wyniki występują na: Malcie, w Luksemburgu, Wielkiej Brytanii, Irlandii, Cyprze, Belgii (poniżej 7%) [wg 2, s. 5].

3. Bariery inwestycji w OZE

Wzrost cen paliw kopalnych i ich ograniczoność skłania ku większemu zainteresowaniu inwestycjami w odnawialne źródła energii (OZE). Pomimo wielu zalet produkcja energii z OZE napotyka wiele barier; zaliczyć tu można:

- finansowe: wysokie nakłady inwestycyjne na badania i rozwój nowych, często długo testowanych technologii, prób np. geologicznych, budowy prototypów i ich testowanie czy końcowe już koszty realizacji OZE;
- fiskalne: zwolnienia podatkowe i ulgi na etapie planowania i badań przed komercjalizacją tych obiektów;
- prawne: niedoskonałe unormowania prawne w zakresie polityki wykorzystania OZE;
- informacyjne: utrudniony dostęp do procedur związanych z otwieraniem i realizacją tego typu inwestycji, brak informacji o kosztach, cyklu inwestycyjnym, korzyściach ekonomicznych, społecznych i ekologicznych;
- dostępności: niedostateczna liczba krajowych organizacji zajmująca się na skalę przemysłową produkcją urządzeń wykorzystujących OZE;
- edukacyjna: niewystarczająca oferta edukacyjno-szkoleniowa dotycząca OZE dla decydentów, inżynierów;
- środowiskowa: brak wypracowanych metod uniknięcia konfliktów z ochroną przyrody i krajobrazu;
- lokalizacyjna: związane z warunkami, jakie musi spełniać otoczenie, klimat dla celowości inwestycji [na podstawie 5].

Najistotniejszym aspektem są tutaj niewątpliwie wysokie koszty, na które dodatkowo ma wpływ długi okres prowadzenia wstępnych analiz ekonomiczno-technicznych zależnych od stopnia skomplikowania obiektu. Brakuje mało atrakcyjnych mechanizmów ekonomicznych wspierających finansowanie badań oraz budowę OZE. Wiąże się to często z niewielkimi możliwościami finansowymi podmiotu realizującego daną inwestycję (zaangażowanie kapitału własnego, jego zdolność kredytowa, okres kredytowania, koszt kapitału). W tym zakresie istotna jest pomoc państwa w postaci dofinansowania badań i budowy prototypów, późniejszej realizacji inwestycji (niskoprocentowe kredyty, ulgi, dotacje) czy np. zwolnień i ulg już na etapie eksploatacji w początkowym jej okresie.

4. Elektrownie falowe

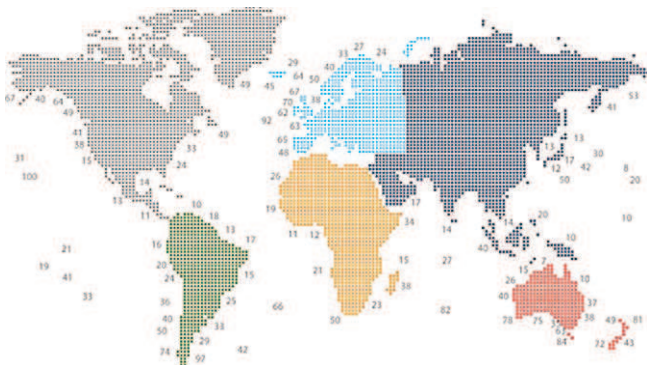
Jedną ze stosunkowo najnowszych technologii pozyskiwania energii odnawialnej są elektrownie falowe, wykorzystujące energię kinetyczną prądów morskich. Pomimo iż energia taka jest około dwa razy większa niż spadu wód śródlądowych, pozyskanie jej jest bardzo

trudne ze względów technicznych i ciągle jeszcze prawie nieopłacalne ekonomicznie. Jednak z uwagi na rosnące zużycie energii elektrycznej przy ograniczonej ilości zasobów naturalnych (węgiel, gaz i ropa naftowa) oraz braku emisji gazów cieplarnianych, próby wykorzystania do tego celu nieograniczonych zasobów fal morskich staje się uzasadnione.

W porównaniu do energii słonecznej i wiatru, które ze względu na ich charakter przerywany są przede wszystkim dostosowane do dostarczania mocy szczytowej – energia pozyskiwana z fal ma zalety, do których można zaliczyć:

- wysoką dostępność, niezawodność i przewidywalność aktywności fal;
 - bliskość miejsc do energii fali użytkowników końcowych, co minimalizuje problemy transmisyjne (około 60% ludności świata mieszka w zasięgu 60 kilometrów od brzegu);
- gęstość energii źródła fal (woda jest 800 razy bardziej gęstsza niż powietrze).

Według szacunków Światowej Rady Energetycznej¹ wy-



Rys. 3. Średnioroczny strumień energii fali w kW na metr czoła fali. Źródło: <http://www.carnegiewave.com/index.php?url=/ceto/global-wave-energy>

nika, że około 2 terawaty (2 mln megawatów) może być wytwarzane z oceanów poprzez energię fal² (rys. 3). Największym źródłem energii fal są Hawaje oraz wybrzeża USA, Ameryki Północnej i Południowej, Europy Zachodniej, Japonii, Afryki Południowej, Australii i Nowej Zelandii. Prognozuje się, iż 10% energii fal pochodzącej z południowej Australii może sprostać 50% zapotrzebowania na energię ogółem w tym kraju. Natomiast wykorzystanie fal na wschodnich wybrzeżach USA, pozwoliłoby uzyskać 15-20-krotnie więcej energii elektrycznej w porównaniu do elektrowni wiatrowych na całym terenie USA. Potencjał wytwórczy energii pozyskiwanej z fal Szkocji i Irlandii sięga 75 kW na 1 metr linii brzegowej. W Szkocji planuje się, że w 2020 roku energia fal morskich będzie dostarczać 40% energii całkowitej. W Wielkiej Brytanii i w Portugalii w ten sposób można zaspokoić 20% całkowitego zużycia energii [6, s.1].

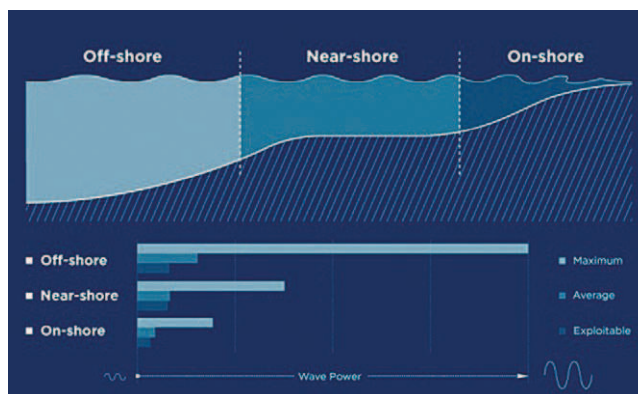
¹ www.worldenergy.org

² Energia fal płynie w kierunku rozchodzenia się fali i jest mierzona jako ilość energii (w kW), zawartej w każdym metrze od czoła fali

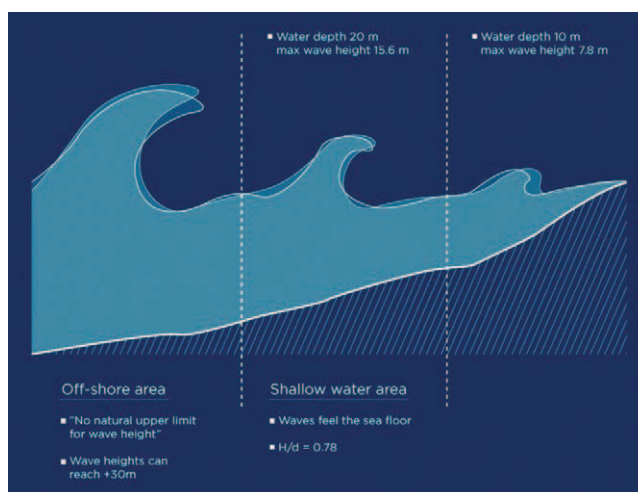
5. Warunki lokalizacji elektrowni falowych

Elektrownie falowe rozmieszcza się na obszarach o wysokiej energii falowej, dążąc do zachowania wysokiej wydajności ekonomicznej. Z uwagi na to, iż obecnie większość tego typu instalacji znajduje się w fazie budowy prototypów oraz badań, a tak istotnym czynnikiem są koszty, dlatego tak ważna jest polityka państwa i jego wsparcie finansowe. Nie istnieją także stosowne regulacje rządowe, które powinny dotyczyć wymagań środowiskowych i możliwości lokalizacyjnych, a także skupu otrzymanej energii.

W podejściu czysto komercyjnym istotnym czynnikiem lokalizacyjnym elektrowni falowych jest warunek maksymalizacji korzyści, wynikający z dostępnych zasobów fal i ich mocy wzdłuż linii brzegu. Jednak wielkie znaczenie ma tu nie tylko siła wiatru i pływów morskich, ale również kształt dna morskiego, jego struktura i skład czy także istniejące zagospodarowanie przestrzenne.



Rys. 4. Strefa „off-shore” – maksymalne wykorzystanie energii fal morskich do celów energetycznych Źródło: <http://law-energy.com/wave-energy-resources/near-shore-vs-off-shore/>



Rys. 5. Strefa „off-shore” (wysokość fal powyżej 30 m), strefa wody płytkiej (głębokość wód do 20 m, wysokość fal do 15,6 m) i przybrzeżnej (głębokość do 10 m, wysokość fal do 7,8 m). Źródło: <http://law-energy.com/wave-energy-resources/near-shore-vs-off-shore/>

Sam proces tworzenia fal morskich zaczyna się setki tysięcy mil od brzegów. W porównaniu z energią wiatru dużo łatwiej przewidzieć ich tor. Dzięki wykorzystaniu programów komputerowych istnieje możliwość ich prognozy nawet do pięciu dni naprzód (najbardziej prawdopodobna prognoza dla fal morskich to 48 godzin, a wiatru 5-6 godzin). Najlepszą lokalizacją dla elektrowni falowych są zachodnie brzegi kontynentów, co wynika z kumulacji ruchu obrotowego Ziemi i zachodniego kierunku wiatrów.

Pod względem ekonomiczno-technicznym najbardziej atrakcyjna lokalizacja elektrowni znajduje się w strefie przybrzeżnej. Jednak szczegółowa analiza fal morskich wykazuje, że ich moc jest w tym obszarze zdecydowanie mniejsza, dlatego przewagą wydaje się być strefa „off-shore” (rys. 4).

Ekstremalne fale (rys. 5) tworzone podczas burz, jakie występują w strefie off-shore, nie dochodzą już do obszarów przybrzeżnych, ponieważ łamią się w płytkiej wodzie, tracąc swą moc. W głębokiej wodzie mogą one rozchodzić się w prawie każdym kierunku, co może utrudniać pozyskiwanie energii. Fale głębinowe zbliżając się do brzegów, stykają się z dnem morskim i występujący tu efekt tarcia powoduje, że skręcają one w kierunku brzegu, gdzie są wychwytywane przez zlokalizowane tam konwerty.

Strefa off-shore charakteryzuje się wysoką mocą fali brutto, ale słabszą agregacją środków do wykorzystania ze względu na ekstremalne warunki. Wyzwaniem dla projektantów jest zapewnienie odpowiedniej wytrzymałości i stabilności konstrukcji, co dodatkowo pociąga za sobą bardzo wysokie koszty. Natomiast konwerty energii zlokalizowane na obszarach przybrzeżnych pracują w bardziej stabilnych stanach morza. Bliskość brzegu znacznie zmniejsza koszty infrastruktury, a także zmniejsza straty przesyłowe energii.

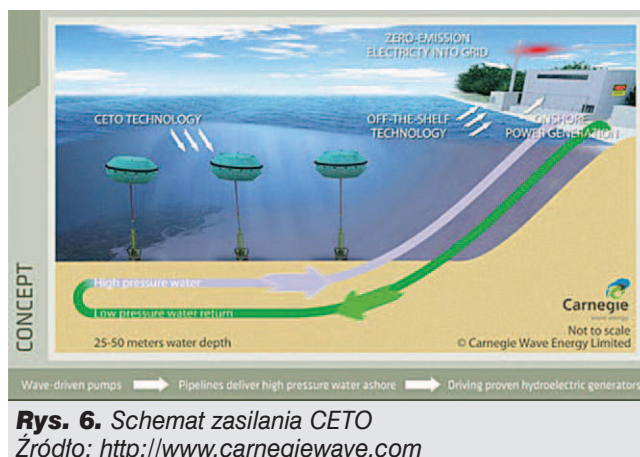
Istotny staje się tutaj aspekt ochrony środowiska, co prawda elektrownie falowe nie produkują emisji dwutlenku węgla, ale sceptycy zwracają uwagę, iż wykorzystanie prądów morskich może doprowadzić do nieodwracalnych zmian klimatycznych. Priorytetem w konstruowaniu tego typu obiektów jest oprócz ich funkcjonalności także minimalizacja wpływu na lokalną faunę i florę (brak emisji hałasu, powolna i łagodna praca urządzeń w celu minimalizacji zagrożeń dla ławic rybnych). Dodatkowo systemy te zużywają wodę słodkowodną jako płyn hydrauliczny i nawet w przypadku ewentualnej katastrofy (choć konstrukcja jest bardzo szczelna) nie powodują ryzyka wycieku szkodliwych substancji do morza. W przypadku lokalizacji obiektów pod wodą nie występuje tu efekt wizualny.

Na uwagę zasługuje również fakt dodatkowego wykorzystania elektrowni falowych do celów produkcji słodkiej wody. Efekt odwróconej osmozy jest wielkim wsparciem dla wielu wysp, gdzie występuje niedobór deszczu, brakuje zbiorników retencyjnych i możliwości magazynowania wody pitnej (Wyspy Kanaryjskie, ale także i Portugalia).

6. Technologie stosowane w elektrowniach falowych

Do tej pory nie ma jeszcze standardowej koncepcji rozwiązań pozyskiwania energii z fal. Z uwagi na ekstremalne warunki, jakim muszą odpowiadać tego typu obiekty, ciągle stanowi to duże wyzwanie konstrukcyjne. Ryzykiem są tu silne krótkotrwałe burze, które wzmagają pracę urządzeń, zwiększając ich moc w danym momencie często do wielkości krytycznej. Firmy zainteresowane opatentowaniem sposobu pozyskania energii z fal starają się dostosować swoją technologię przy wykorzystaniu istniejących rozwiązań z zakresu inżynierii morskiej, przemysłu wydobywczego ropy naftowej i gazu ziemnego.

Przykładem może być opatentowana technologia **CETO** wykorzystywana komercyjnie w Australii. System ten tworzą boje hydrauliczne, obsługujące cylindry przymocowane do dna morskiego. W przeciwieństwie do innych systemów energii fali CETO to pierwsza jednostka w pełni zanurzona i nie występuje tu efekt wizualny.



Rys. 6. Schemat zasilania CETO

Źródło: <http://www.carnegiwave.com>

Powoduje to też, iż system nie jest narażony na wyłączenia atmosferyczne powstające podczas burz. Atut stanowi również fakt wykorzystania go również do koprodukcji wody słodkiej.

CETO pracuje wydajnie przy wysokości fali od 1 do 2 metrów, co znacznie zwiększa liczbę możliwych stacji bazowych. Ma minimalny wpływ na środowisko naturalne, współistnieje z życiem morskim. Dzięki wsparciu rządu Australii w postaci dotacji firma Carnegie (spółka jest notowana na giełdzie PWA) rozwija swoje dalsze badania oraz projekty na skalę światową.

Inne rozwiązanie prezentuje, będący ciągle w fazie testów, szkocki system napowierzchniowy **Pelamis**, popularnie nazywany „anakondą”. Obejmuje on obecnie swym zakresem dwa projekty:

- Pelamis1 uruchomiony w 2010 w Leith w Szkocji;
- Pelamis2 uruchomiony w 2011 (po bardzo dobrych wynikach testów Pelamis1) w Leyness na wyspie Hoy. Tworzone są one z myślą o klientach użytkowych dla niemieckiego EON oraz szkockiego ScottishPower Renewables.

Prace badawcze wspierał brytyjski rząd, pierwszy projekt był finansowany z Departamentu Energii i Zmian Klimatu (DECC), drugi był sponsorowany przez Departament Biznesu, Innowacji i Umiejętności (BIS). Wsparto go również grantem KE o wysokości 1,37 mln euro.

Ta elektrownia falowa składa się z połączonych za pomocą systemów hydraulicznych stalowych pontonów, które poruszają się pod wpływem ruchu fal. Moduły przetwarzające energię znajdują się w przegubach. Konwertyer energii fal powoduje, że woda przepływająca do wysokociśnieniowych zbiorników, skąd jest stopniowo uwalniana, napędza generatory. W związku z bardzo dobrymi wynikami dwóch europejskich prototypów, planuje się budowę Pelamis w USA u wybrzeży Oregonu.



Rys. 7. System Pelamis
Źródło: <http://www.pelamiswave.com>



Rys. 8. Wizualizacja farm AWS-III
Źródło: <http://www.awsocan.com>

Opatentowaną technologią pozyskiwania energii z fal morskich jest również inny szkocki system **AWS**. Obecnie dalsze testy nad technologią – w związku z przejściem – prowadzi francuski Alstom, lider wytwarzania i przesyłu energii oraz infrastruktury kolejowej. AWS-III składa się z tablic – wielokomórkowych elastycznych membran, absorbujących energię fal. Typowe urządzenie ma zawierać tablicę 12 komórek, każda o wymiarach około 16 metrów szerokości i 8 metrów głębokości, rozmieszczonych po okręgu o średnicy 60 metrów. Dzięki temu można wytworzyć średnio 2,5 mW na wzbudzonym morzu. AWS-III będą zacumowane na głębokości około 100 metrów.

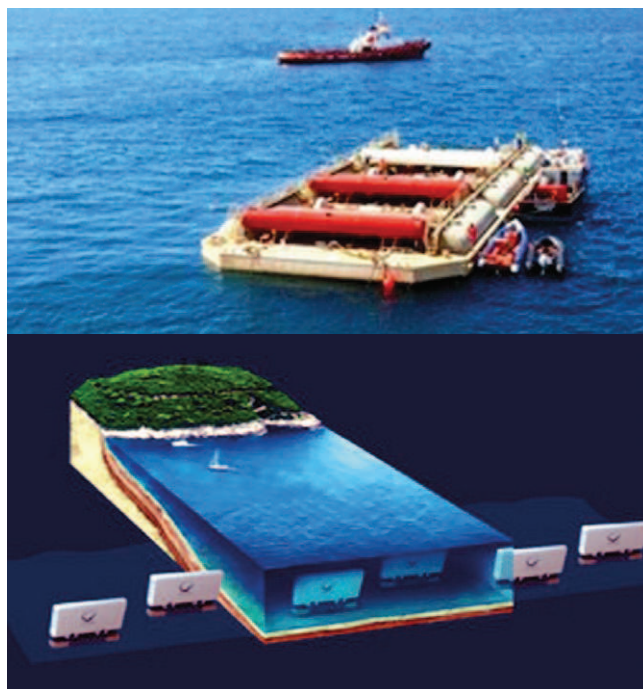
W farmie każdy AWS-III będzie podłączony do centralnej stacji za pośrednictwem łącza wysokiego napięcia. Takie rozwiązanie ma mieć przeznaczenie ogólnoużytkowe – komercyjne. Duża, stabilna konstrukcja

zapewnia bezpieczeństwo tej napowierzchniowej konstrukcji, co znacznie ułatwia jej serwis.

Kolejnym w pełni zanurzonym systemem jest fiński **Waveroller**. Urządzenie działa w obszarach przybrzeżnych 0,3-2 km od brzegu na głębokości od 8-20 m, gdzie przepływ fali jest najmocniejszy. Został on skonstruowany jako pojedyncza jednostka modułowa, która może wytworzyć energię na poziomie 500-1000 kW w zależności od warunków pogodowych. Mogą one być dowolnie łączone w szeregu, co powoduje ich wysoką niezawodność (serwis poszczególnych paneli nie wpływa na moc pozostałych). Taka modułowa konstrukcja może być z łatwością powiększana również na dalszym przyszłościowym etapie rozwoju farmy.

Wszystkie elementy układu hydraulicznego znajdują się wewnątrz szczelnej konstrukcji i nie są tym samym narażone na działanie środowiska naturalnego. Nie istnieje ryzyko wypływu do morza szkodliwych substancji, a dobrze izolowana obudowa zapewnia wysoką ochronę przez hałasem. By wykazać znikomy wpływ Waverollera na faunę i florę oceanu farma demonstracyjna znajduje się w Peniche na terenie obszaru Natura 2000. Choć Waveroller pozostaje całkowicie zanurzony w czasie normalnej pracy (nie istnieje efekt wizualny), może być łatwo wynurzony na powierzchnię przez opróżnienie zbiorników balastowych. Dzięki temu jego instalacja i serwis odbywa się bez potrzeby skomplikowanych, kosztownych (specjalistyczny sprzęt – dźwigi) i potencjalnie niebezpiecznych operacji z udziałem płetwonurków. Badania nad Waverollerem finansuje fińska fundacja TEKES, UE oraz prywatni inwestorzy.

Inna opatentowana w Szkocji technologia **OYSTER** (ostryga) firmy Aquamarinepower jest podwodną pompą



Rys. 9. Waveroller – montaż i farma
Źródło: <http://aw-energy.com>

