« WaveNRG – Boja energetyczna »

1. Prezentacja projektu

1.1 Opis produktu.

Zgodnie z wieloma opracowaniami wykorzystanie energii fal morskich posiada wyjątkowy potencjał rozwojowy.

Nasz projekt, rozwijany pod nazwą « WaveNRG », ma zamiar wejść na ten ogromny rynek, gdzie do chwili obecnej żaden kraj nie zaangażował się na tyle, by uzyskać przewagę technologiczną trudną do odrobienia.

Podsumowując, nasz produkt pozwoli wykorzystywać energię fal morskich do wytwarzania energii elektrycznej.

1.2 Dziedzina zastosowania.

Zastosowaniem bezpośrednim tego wynalazku jest budowa farm morskich do wytwarzania energii elektrycznej. Pływające boje tego systemu mogą być również rozmieszczane pomiędzy masztami elektrowni wiatrowych, zamocowanymi do dna morza, które są rozstawiane co 600 – 1000 metrów. Pozwoli to na lepsze wykorzystanie dostępnej powierzchni na morzu do produkcji energii elektrycznej.

Drugim zastosowaniem, oprócz produkcji energii elektrycznej, jest budowa pływających falochronów do ochrony nabrzeża. W tym przypadku pływające boje byłyby ustawiane jedna obok drugiej.

1.3 Geneza i charakter innowacyjny systemu.

Przed czterema latami rozpoczęliśmy analizę możliwości wykorzystania energii fal morskich do producji elektryczności. Nasze poszukiwania i weryfikacja istniejących patentów doprowadziły nas do następującej konkluzji : większość obecnie istniejących systemów przetwarzających energię fal morskich na prąd elektryczny ma tę samą koncepcję. Charakteryzuje się ona wykorzystywaniem siłowników hydraulicznych do pompowania oleju pod wysokim ciśnieniem, do zbiornika zbiorczego. Wychodzący pod tym ciśnieniem olej ze zbiornika, porusza silnik hydrauliczny, który z kolei napędza generator prądu elektrycznego. Wielorakie istniejące systemy różnią się jedynie sposobem poruszania tłoków w siłownikach pompujących olej. Z tego też powodu posiadają tę samą wadę : są skomplikowane i nieodporne na awarie mechaniczne. Występują także problemy związane z szybkim zużywaniem się części lub pojawianiem się nieszczelności pomiędzy wszystkimi elementami, które ślizgają się jedne w stosunku do drugich.

W nieprzyjaznym i trudnym środowisku morskim, wszystkie naprawy są skomplikowane i delikatne oraz podnoszą znacznie koszt eksploatacji. Na bazie tej refleksji nasze prace badawcze skierowały się w kierunku wynalezienia systemu, który zrywałby z dotychczasowymi rozwiązaniami i byłby prostszy, a więc mniej podatny na pojawianie się różnych uszkodzeń mechanicznych oraz zmniejszał możliwość zużywania się części. Innowacyjność mojego pomysłu polega na tym, że do wytwarzania energii elektrycznej wykorzystywane jest kołysanie się boi (!) na falach.

Długa kolumna, która znajduje się pod kadłubem boi, wykonuje ruch wahadłowy przesuwając umieszczoną na swym końcu turbinę. Ten sposób przemieszczania turbiny pozwala uzyskać wysokie prędkości przepływu cieczy na łopatkach turbiny (2-4 m/s) i tym samym generować dużą moc, w przeciwieństwie do systemów konkurencyjnych, które wykorzystują ruchy pionowego podnoszenia i opadania boi na falach. Gdyby takim ruchom poddana została turbina, wytwarzałaby zbyt małe moce, gdyż uzyskiwane prędkości przepływu na łopatkach turbiny nie wynosiłyby więcej niż 1m/sek. Stąd też mimo prostoty koncepcji przy wykorzystaniu bezpośrednim turbiny (turbina, wał transmisyjny i generator), to tylko jedynie mój system daje tę możliwość.

2. Rynek zbytu

2.1 Przewidywany rynek zbytu.

Ogromnym rynkiem zbytu są Stany Zjednoczone i Europa, gdyż sprawy ekologiczne zajmują tu ważną pozycję polityczną.

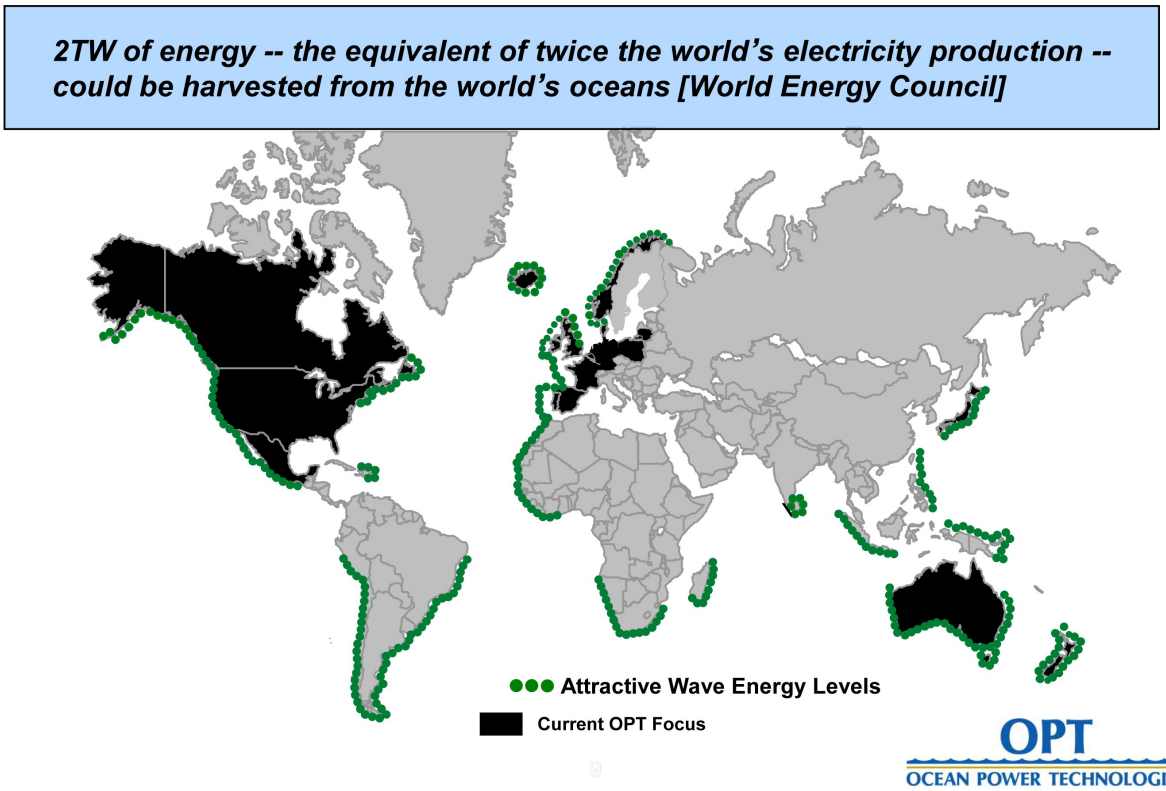
Skupiamy się również na Indiach, gdyż kraj ten nie wybrał do tej pory dominującej technologii produkcji energii elektrycznej. Indie mają duże zapotrzebowanie na dostawy energii elektrycznej i z tego powodu jest to rynek o ogromnym potencjale.

W Polsce możliwe byłoby np. ustawienie, wzdłuż naszej linii brzegowej Bałtyku, pływających boi energetycznych. Ustawienie ich tylko w jednym pasie powinno dostarczać 1,2 MW na 1km długości. Ustawienie pływających boi energetycznych w kilku równoległych pasach mogłoby jednocześnie służyć do ochrony wybrzeża morskiego przed erozją, co jest w Polsce istotnym problemem. Oczywiście, przy zbyt bliskim odstępie między rzędami, każdy kolejny rząd pływających boi będzie pozyskiwać mniej energii, w związku ze stopniowym wytłumianiem energii fal.

Liczymy również na możliwość zainstalowania naszego systemu we Francji, która posiada strefę morską o powierzchni 11 milionów km2. Ideałem byłoby rozpoczęcie stawiania farm na Atlantyku, gdzie energia fal morskich jest o wiele większa. Istnieje tam również obowiązek zakupu energii odnawialnej po cenach preferencyjnych.

Najbardziej opłacalne jest instalowanie farm morskich w Szkocji, gdyż energie fal morskich są tam najwyższe, oraz polityka wspomagania rozwoju tego typu urządzeń jest największa. Ceny skupu energii od urządzeń pozyskujących energię z fal morskich mają wynosić 0,40 €/kWh, aby umożliwić stopniowy rozwój tych technologii i pozwolić na dojście do opłacalności bez uwzględniania dopłat.

Poniższy rysunek przedstawia wytypowane przez OPT kraje do ekspansji w zakresie energii morskiej.



2.2 Wielkość rynku.

Zgodnie z opracowaniem „ Feuille de route sur les énergies renouvelables marins" ADEME Francja (Agencja Rozwoju Środowiska i Gospodarki Energią):

« 10% światowego zapotrzebowania na energię może być wytwarzane dzięki energii fal morskich. Stanowi to 1400 TWh/rok. Dla Francji wyniesie to 40 TWh/rok. »

Sprzedaż tej energii po cenach już rynkowych, bez dodatacji, w 2030 roku tj. po 0,10 €/kWh przyniesie 4000 mld €/rok w samej Francji.

Liczby te potwierdzają wagę rynku energii morskich. Nie trzeba jednak zapominać, że pozyskiwanie energii fal morskich jest dopiero na początku rozwoju tej technologii na świecie i jest jeszcze daleko do tego, aby to była dojrzała technologia, tak jak to jest w przypadku elektrowni wiatrowych. Z tego powodu w chwili obecnej trudno jest oszacować dokładnie potencjalny rynek, który będzie zależał przede wszystkim od uzyskanych, minimalnych kosztów produkcji MWh.

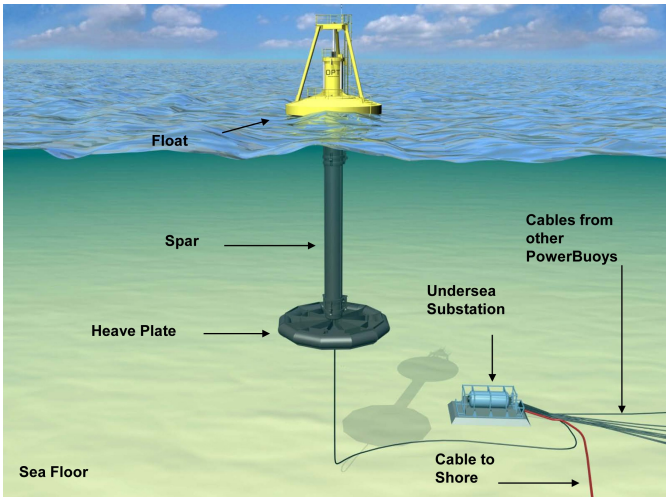
2.3 Stan konkurencji.

Aktualnie większość projektów związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej poprzez wykorzystanie energii fal morskich znajduje się w stadium prototypów. Jedynie firma Ocean Power Technology (OPT) produkuje i instaluje swoje systemy w sposób najbardziej uprzemysłowiony. W Polsce, nikt do tej pory nie zajmował się tego typu systemami. Niedawno firma SKOTAN razem ze stocznią ODYS miała zająć się

badaniami nad boją energetyczną typu firmy OPT. Firmy te otrzymały początkowo 90% dofinansowania z PARPu (Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości), ale potem dofinansowanie zostało obcięte i firmy te chyba się z tego projektu wycofają. Stocznia ODYS wykonała dla Wave Star Energy ich prototyp boi.

OPT jest firmą założoną w 1994 w Stanach Zjednoczonych. Proponuje ona system składający się z kolumny zakotwiczonej na dnie morza, na której osadzona jest boja, która pływa na powierzchni morza. Jej ruch w górę i w dół porusza tłoki w siłownikach hydraulicznych, które pompują olej pod ciśnieniem aby napędzać silnik hydrauliczny. Następnie silnik hydrauliczny napędza generator prądu elektrycznego. Moc ich systemu jest rzędu 47 kW. Nowy prototyp o mocy 150 kW został wyprodukowany w 2011 roku. Wada tego systemu jest następująca : musi on być zakotwiczony względnie blisko brzegu, tam gdzie głębokość morza jest nieznaczna (do 30tu metrów głębokości morza, nowy prototyp).

OPT zaczął instalować farmę o mocy 1.39 MW na północy Hiszpanii. Dalszą niedogodnością jest to, że urządzenie musi być zatrzymywane podczas sztormów.



Wave Star Energy jest firmą duńską założoną w 2003 roku. Cała konstrukcja jest wbudowana w dno morskie. Nie jest ustawiana przodem do fal, lecz bokiem. W ten sposób fale przetaczają się wzdłuż całej długości konstrukcji. Po każdej stronie urządzenia znajduje się rząd pływaków, do połowy zanurzonych w wodzie. Gdy fala

nadchodzi, pływaki są wypychane do góry, jeden po drugim, aż do nadejścia następnej fali. W momencie gdy pływak jest popychany do góry, tłok w siłowniku przetłacza olej do obwodu hydraulicznego, wspólnego dla całej instalacji, pod ciśnieniem osiągającym 200 atmosfer. Olej pod tym ciśnieniem napędza silnik hydrauliczny, który jest połączony z generatorem prądu elektrycznego.

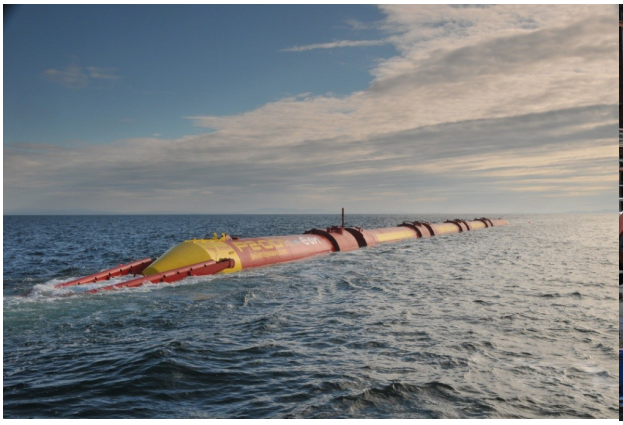
Wady są następujące: pływaki muszą być wyjęte z wody podczas sztormu. Całe urządzenie musi być ustawione blisko brzegu, na małych głębokościach. Konstrukcja jest skomplikowana, na pewno o wiele droższa w stosunku do innych rozwiązań i zbyt delikatna. (Niedawno ramiona, na których umocowane były pływaki, nie wytrzymały uderzenia sztormu).

Na zdjęciu platforma, która została wykonana w stoczni ODYS w Gdańsku.

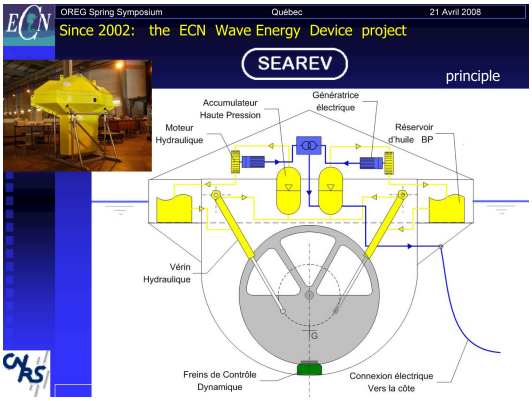
Pelamis jest firmą szkocką założoną w 1998 roku, która przekształciła się w Ocean Power Delivery w 2007 roku. Urządzenie o długości 150 m, składa się z szeregu segmentów cylindrycznych, połączonych ze sobą przegubowo. Ruchy względne pomiędzy poszczególnymi segmentami poruszają tłoki w siłownikach, które pompują olej. Tak jak w poprzednich rozwiązaniach, olej pod ciśnieniem napędza silnik hydrauliczny, a ten z kolei generator prądu elektrycznego. System może być zakotwiczony daleko od brzegu, nawet na dużych głębokościach morza, co jest wielkim atutem w stosunku do poprzednich rozwiązań. Moc generowana wynosi 750 kW przy fali 6cio metrowej, 250 kW przy fali 2,5 metra.

Wady są następujące: urządzenie skomplikowane i drogie. Pozyskiwanie energii na km2 zajmowanej powierzchni nie powinno być wysokie, ze względu na konieczność zachowania dużych odstępów pomiędzy kolejnymi jednostkami, które moszą się ustawić przodem do nadchodzącej fali.

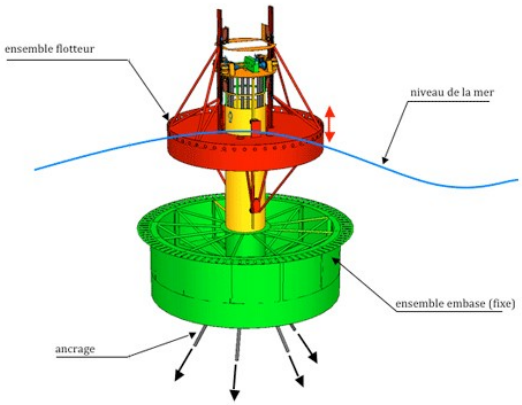
Jedno z urządzeń, które było zainstalowane u brzegów Portugalii, po silnym sztormie, musiało zostać zabrane do naprawy.



SEAREV rozwijany we Francji od 2002 roku. Zasada działania została zapożyczona ze starego patentu japońskiego (JP59215969). Jest to urządzenie, które może być kotwiczone z daleka od brzegu, składające się ze szczelnego kadłuba, wewnątrz którego jest zawieszone koło, spełniające rolę wahadła. Koło to, o średnicy 9ciu metrów, posiadające poziomą oś obrotu, jest zalane betonem w dolnej połowie, podczas gdy górna część jest opróżniona. Stąd efekt wahadła. Pod wpływem działania fal, kadłub urządzenia zaczyna się bujać, wprowadzając w ruch wahadłowy koło-wahadło. Każde z nich wykonuje swoje własne ruchy, ale jedynie przemieszczenia względne pomiędzy kołem a kadłubem powodują poruszanie siłowników hydraulicznych. I tak jak w poprzednich rozwiązaniach system hydrauliczno-elektryczny pozwala na zamianę energii mechanicznej na prąd elektryczny. Rozwój tego systemu został wstrzymany w 2011 r.



BILBOQUET, drugi francuski system do wytwarzania energii elektrycznej wykorzystujący energię fal morskich. Zasada działania jest bardzo podobna do systemu **OPT**, który w związku z tym ma 17-letnią przewagę technologiczną. Pływak, który przemieszcza się w górę i w dół wzdłuż kolumny w funkcji wielkości fal, przekazuje swoją energię przy pomocy zębatki na przekładnię mechaniczną. Urządzenie może być zakotwiczone nawet przy znacznych głębokościach morza, gdyż kolumna na której jest umieszczony pływak nie jest ustawiona na dnie morskim, lecz trzymana przez pływający kadłub znajdujący się pod wodą.



2.4 Konkurencyjność systemu.

Jeśli chodzi o koszty inwestycjii na produkcję energii elektrycznej pochodzącej z morskich odnawialnych źródeł, to wg IFREMER (Francja) powinny się one zmieniać w następujący sposób na świecie:

Koszt inwestycji do 2015 – 4 do 5 mln €/MW
2020 – 3,5 mln €/MW
2030 – 2,5 mln €/MW

Koszt produkcji energii elektrycznej do 2015 – 200 do 250 €/MWh
2020 – 150 €/MWh
2030 – 100 €/MWh

Poniższa tabelka jest wzięta z opracowania firmy amerykańskiej OPT.

	Renewables					Fossil Fuel	
	OPT Wave Power (a)	Solar PV	Solar Thermal	Biomass	Wind (b)	Natural Gas	Coal
Capital Cost $ million per MW	**$3.9**	$5.8 - 8	$3 – 6	$1.5 – 3	$1.9 – 4.4	$0.5 – 1.8	$0.9 – 2.8
Energy Cost ¢ per kWh	**15¢**	28 - 46¢	12 - 18¢	4 - 9¢	4.8 – 24¢	6.7 – 10.5¢	5.4 - 12¢

Reduction in capital and energy costs can be derived from:

•Tax Credit monetization – e.g. US Production and Investment Tax Credits, Oregon Energy Tax Credit

•Green tags, renewable obligation certificates, carbon credits

•Grants, subsidies, tariffs – e.g. UK Marine Renewables Deployment Fund, Portugal feed-in tariffs

(a) Company projected costs based on production levels of 400 PowerBuoys per year
(b) Includes offshore and onshore wind

Sources:
US Solar Market Insight (2nd Quarter 2010) - Solar Energy Industry Association; 2008 Solar Technologies Market Report – US Dept. of Energy; International Energy Bulletin ETE03 (2007); Projected Costs of Generating Electricity, 2010 Edition (International Energy Agency, 2010); and Large Scale Offshore Wind Power in the United States: Assessment of Opportunities and Barriers (NREL, September 2010)

14

OPT OCEAN POWER TECHNOLOGIES

Jak było już poprzednio wspomniane, głównym atutem naszej technologii, w stosunku do istniejących obecnie konkurentów, jest prostota koncepcji: turbina, wał transmisyjny i generator. Logicznie rzecz biorąc powinno to zapewnić niższe koszty produkcji, jak i niezawodność urządzenia, co jest niezbędne do pracy w trudnym środowisku morskim. Również koszty eksploatacji powinny być niższe w stosunku do aktualnej konkurencji.

Na rynku, na którym energia fal morskich jest darmowa, nie ważna jest wielkość systemu ani moc generowana przez jedno urządzenie. W końcowym wyniku liczy się

jedynie koszt produkcji jednej MWh przypadający na zainstalowaną farmę pływających boi. Jeśli nasze koszty wytwarzania jednej MWh okażą się niższe od konkurencji, nasz wynalazek stanie się dominującą technologią. Z naszych pierwszych wstępnych wyliczeń wynika, że zwrot kosztów inwestycji, zainwestowanych w pierwsze farmy morskie powinien następować w ciągu 4 lat, biorąc pod uwagę subwencyjne ceny skupu energii we Francji (150€/MWh i 20to letnie kontrakty). W ciągu dalszych lat eksploatacji, po odjęciu małych kosztów eksploatacyjnych i utrzymania w ruchu, inwestycja przynosi już zyski.

Inną zaletą wynalazku jest to, że urządzenie może być łatwo modyfikowane, aby zmieniać częstotliwość własną wahań systemu. Można wydłużyć lub skrócić kolumnę, lub dołożyć przeciwciężar. W ten sposób urządzenie może być łatwo eksploatowane na różnych morzach i oceanach.

Oczywiście nasz system może być instalowany w dowolnych odległościach od brzegu.

3. Kalendarz działań

3.1 Szczegółowy opis technologii

Proponowane rozwiązanie składa się z pięciu elementów, których montaż może się odbywać w pobliżu miejsca instalacji urządzenia (patrz rys.1).

1. **Kadłub pływający**
2. **Wyposażona kolumna**
   - 2.1 Kolumna
   - 2.2 Wał transmisyjny
   - 2.3 Łożyska
3. **Moduł prądotwórczy**
   - 3.1 Generator prądotwórczy
   - 3.2 Koło zamachowe
   - 3.3 Sprzęgło jednokierunkowe
   - 3.4 Multiplikator prędkości obrotowej (przekładnia zwiększająca obroty)
4. **Turbina**
5. **Zakotwiczenie**
   - 5.1 Przeguby
   - 5.2 Kable kotwiczące
   - 5.3 Bloki zakotwiczenia z betonu

Kadłub pływający i kolumna są spawane osobno. Następnie, na miejscu montażu urządzenia, wyposażona kolumna jest wsuwana do rury stanowiącej część kadłuba i mocowana do kadłuba. Następnie jest mocowana turbina. Cały ten zespół waży około 10,5 tony. Przekrój kadłuba ma kształt owalny, aby zmniejszyć koszty produkcji (z czterech uformowanych blach, które tworzą kadłub, dwie są identyczne).

Moduł prądotwórczy składa się z zespołu elementów, zamkniętych w szczelnej obudowie, z wychodzącym jedynie wałem napędowym. Mocując go na kolumnie, koniec wału z modułu prądotwórczego sprzęga się z wałem transmisyjnym, który jest w kolumnie. Prądnica - jest to generator z magnesami trwałymi. Można na początek wykorzystać alternatory 800STK firmy ALXION stosowane w małych elektrowniach wiatrowych. Ponieważ zakres ich pracy wynosi od 80 – 400 obr/min, trzeba dodatkowo

zastosować multiplikator, gdyż prędkość obrotowa turbiny jest rzędu 2 – 4 obr/min. Multiplikator musi mieć możliwość przenoszenia momentu obrotowego rzędu 30-35 kNm wytwarzanego przez turbinę. W dalszym rozwoju trzeba się zastanowić nad możliwością zastosowania generatora (o większej średnicy), napędzanego bezpośrednio przez wał transmisyjny. Można będzie w ten sposób wyeliminować multiplikator prędkości obrotowej oraz zmniejszyć awaryjność urządzenia.

Jeśli chodzi o zakotwiczenie, to urządzenie musi być solidnie zamocowane do betonowych belek położonych na dnie morza (o wadze około 40 ton każda). Jest to konieczne, aby móc stawić czoło sile fal sztormowych.

Dotychczas zagadnienia związane z wyprowadzeniem kabli elektrycznych, ich rodzajem i mocowaniem, nie były jeszcze przedmiotem naszego opracowania i szacunki kosztów ich nie obejmują. Są one stosowane na skalę przemysłową w elektrowniach wiatrowych umieszczanych na akwenach morskich.

3.2 Rozwój - kolejne fazy rozwoju.

Mimo uzyskania w drodze symulacji numerycznych, lepszych rezultatów pozyskiwania energii z fal niż zakładaliśmy, konieczne jest kontynuowanie prac badawczych w celu dalszego zwiększenia efektywności systemu i przez to obniżenia kosztów produkcji energii elektrycznej. Symulacje wykonane były na podstawie rezultatów badań prototypu w Centrum Techniki Okrętowej i przeliczone dla urządzenia jakie będzie pływało na morzu (prototyp badany na basenie wykonany był w skali 1:5).

Chcę przypomnieć, że fale, w zależności od ich wysokości i ich okresu (drgań) posiadają różną energię. I tak dla fal o przykładowym okresie 6,5 sek, ich energia na metr długości grzbietu fali wynosi:

fala 1m wys. - 3,25 kW
fala 1,5m wys. - 7,3 kW
fala 2m wys. - 13 kW
fala 2,5m wys. - 20,3 kW
fala 3m wys. - 29,3 kW
fala 4m wys. - 52 kW
fala 6m wys. - 117 kW
fala sztormowa na Atlantyku 12m wys. – 720 kW
itd.

Stąd boja o długości 10 metrów, ustawiona bokiem do nadchodzącej fali, uderzana przez falę o wysokości 2 metrów i hamująca ją całkowicie, musiałaby wytłumić energię 130 kW. W naszych symulacjach dla 10cio metrowej boi uzyskaliśmy wartość pozyskiwanej energii równą 17 kW co daje sprawność rzędu 13%.

We wcześniejszych założeniach, na których był opracowywany Biznes Plan, 12to metrowa boja ustawiona na Atlantyku, gdzie 2,5 metrowe fale występują co najmniej przez 4000 godzin w ciągu roku, miała dawać moc 25 kW, przy sprawności 10%. Przy sprawności 13% powinna ona dawać 31,6 kW jest to więc lepiej niż zakładaliśmy.

4. Aspekty prawne, finansowe.

4.1 Zabezpieczenie patentowe.

Na przedstawiony tu system został złożony patent we Francji w 2008 roku, który został rozszerzony w lutym 2009 roku przez złożenie patentu PCT pod numerem PCT/FR 2009/000166. W styczniu 2012 przyznany został patent europejski i został on złożony w 13tu nadmorskich krach europejskich, w tym w Polsce. Obecnie nadal trwa procedura przyznawania patentu w USA i Indiach.

4.2 Ewaluacja budżetowa i koszt wytwarzania energii elektrycznej.

Ponieważ pozyskiwanie co najmniej 10% energii fal zostało potwierdzone na podstawie badań zrealizowanych przez Politechnikę Gdańską, nasza boja energetyczna o długości 12m, będzie co najmniej generowała na Atlantyku moc rzędu 25kW (na Bałtyku ok. 10 kW). Według wstępnych oszacowań, koszt konstrukcji spawanej kadłuba, kolumny i turbiny, modułu prądotwórczego i komponentów mechanicznych powinien się zawierać w sumie 60 tys. € (bez kosztów zakotwiczenia i okablowania). Uważamy, że w przyszłości powinno być możliwe, uzyskiwanie z jednej, może trochę większej boi, mocy rzędu 50kW.

Ze względu na prostotę koncepcji, boja energetyczna w formie uprzemysłowionej powinna funkcjonować bez żadnej obsługi przez 10 lat. A nawet gdyby potrzebna była jakaś interwencja, to np. wymiana modułu prądotwórczego nie jest skomplikowana i nie powinna zająć więcej niż 2 godziny. Przy przeglądzie generalnym co 10 lat, jest bardzo prawdopodobne, że urządzenie będzie pracować 30 lat lub więcej.

Ponieważ fale 2,5m występują na Atlantyku przynajmniej przez 4000 godzin w roku (na Bałtyku są to fale 1,5m), boja energetyczna wyprodukuje podczas 10ciu lat eksploatacji : 25kW*4000h*10 = 1000 MWh.

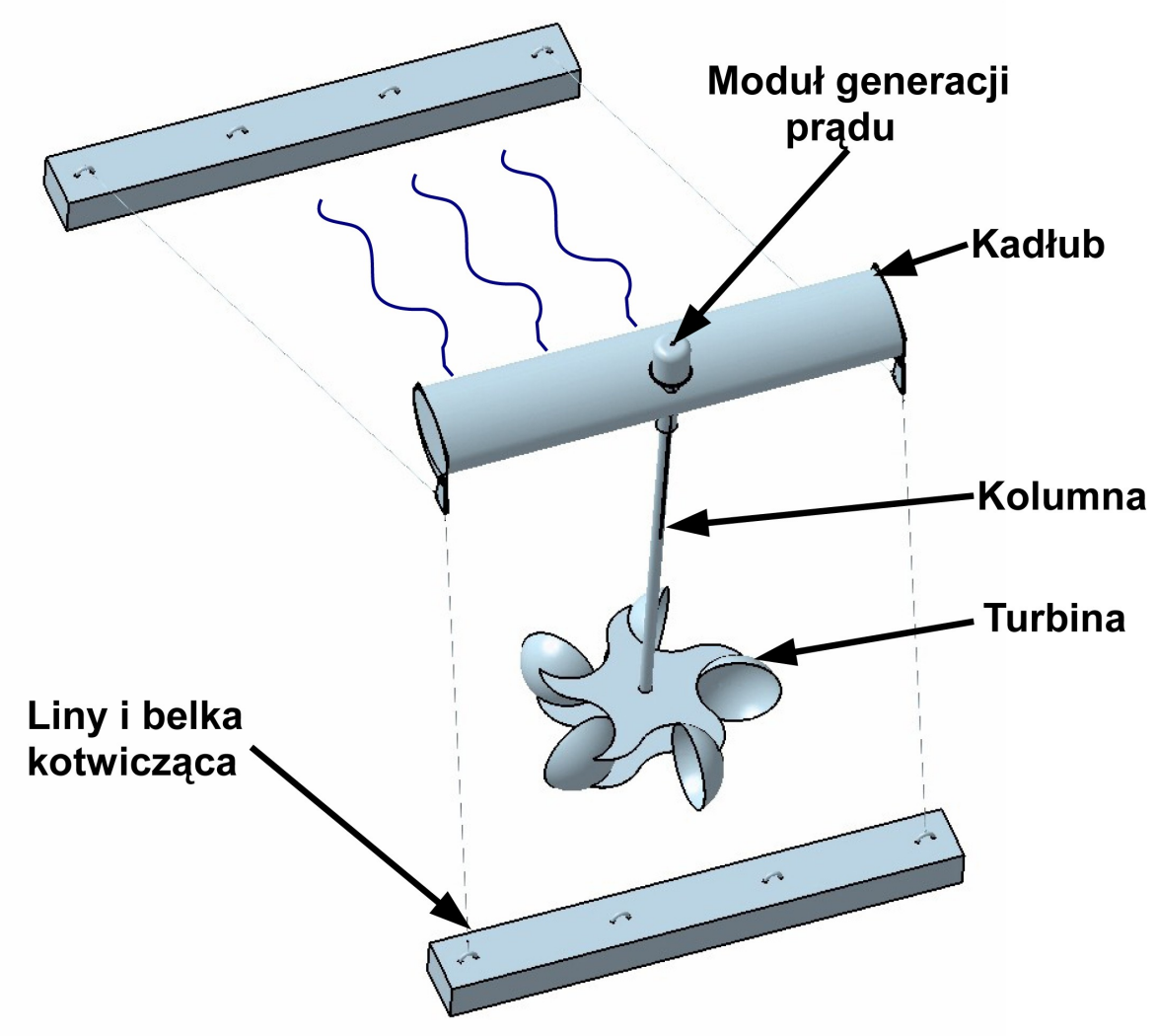
Uwzględniając koszty instalacji farmy na morzu należy również wziąć pod uwagę koszt kabla odprowadzającego energię z farmy na ląd, oraz jego podłączenie do sieci naziemnej. Kable przesyłowe, na duże moce, są z reguły lekko zakopywane w dnie morskim. Ich koszt ok. 500 tys. € na kilometr bieżący. Stąd zaleta, gdy farma morska stoi przy polu elektrowni wiatrowych, wykorzystując istniejące już linie przesyłowe na ląd. Musi to być jednak z góry przewidziane, aby było możliwe podłączanie dodatkowych mocy.

Konkluzja:

Jesteśmy przekonani, że nasz projekt zawiera ogromny potencjał rozwojowy. Potrzebuje on natomiast wsparcia, przede wszystkim finansowego, aby mógł się skonkretyzować. Polska, która instaluje jedynie zdemontowane i przywiezione z zagranicy, naziemne elektrownie wiatrowe, (od których się już tam odchodzi, aby wejść

w nową generację elektrowni wiatrowych o większych mocach, instalowanych na morzu), mogłaby stać się znaczącym krajem w energiach odnawialnych przy pozyskiwaniu energii fal morskich.

RYS. 1 WaveNRG



ANEKS

Wynalazca wraz z małą makietą do sprawdzenia koncepcji (rok 2009)

Prototyp badawczy w Centrum Techniki Okrętowej (rok 2011)