



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός 1768

**"Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω Θαλάσσιων
Κυμάτων"**

"Electricity Generation by Sea Waves"

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (6950)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας πρόκειται να αυξηθεί σημαντικά τις επόμενες δεκαετίες και την ίδια περίοδο η ενεργειακή κατανάλωση στην Ε.Ε. θα αυξηθεί σε ανάλογο επίπεδο. Έχοντας να αντιμετωπίσουν τα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, οι κυβερνήσεις των κρατών μελών διέκριναν την ανάγκη για “καθαρή” παραγωγή ενέργειας.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, ασχολείται με μία από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για καθαρή παραγωγή ενέργειας, την κυματική ενέργεια. Ο θαλάσσιος κυματισμός είναι, όπως όλες οι μορφές ΑΠΕ, μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Επιπρόσθετα, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που την ξεχωρίζει είναι ότι έχει την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα μεταξύ των ΑΠΕ. Η θαλάσσια ενέργεια είναι αξιοποιήσιμη σε πολλές μορφές.

Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά τα διάφορα είδη θαλάσσιας ενέργειας:

- Στα θαλάσσια κύματα.
- Στις παλίρροιες.
- Στις θερμοκρασιακές διαφορές του θαλάσσιου νερού.
- Στις μεταβολές πυκνότητας σε θαλάσσια στρώματα διαφορετικής αλατότητας.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η επισκόπηση και αξιολόγηση αυτών των τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Ιστορική αναδρομή.....	4
1.2 Τα θαλάσσια κύματα.....	6
1.3 Εξέλιξη των τεχνολογιών εκμετάλλευσης της θαλάσσιας ενέργειας.....	12
1.4 Κατηγοριοποίηση σύμφωνα με την απόσταση εγκατάστασης.....	14
1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τεχνολογιών κυματικής ενέργειας.....	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΣ ΜΕ ΦΡΑΓΜΑ

2.1 Παλιρροιακός σταθμός Rance.....	17
2.2 Παλιρροιακός σταθμός Annapolis.....	18
2.3 Παλιρροιακός σταθμός Sihwa.....	19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

3.1 Τουρμπίνες οριζόντιου άξονα.....	20
3.2 Τουρμπίνες καθέτου άξονα.....	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

4.1 Τεχνολογίες ταλαντευόμενης στήλης ύδατος.....	32
4.2 Τεχνολογίες υπέρβασης.....	42
4.3 Τεχνολογίες κατακόρυφης ταλάντωσης.....	45
4.4 Τεχνολογίες αρθρώσεων.....	62
4.5 Τεχνολογίες οριζόντιας κίνησης.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Η ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

5.1 Δεδομένα Κυματικού Δυναμικού της Ελλάδος.....	80
5.2 Τεχνολογίες κυματικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	86

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	90
-------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91
-------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η θάλασσα έχει θεωρηθεί από καιρό ως πηγή ενέργειας. Κατά τον Μεσαίωνα (1200- 1500) οι αγρότες παγίδευαν το θαλάσσιο νερό στις λίμνες μύλων, για να το χρησιμοποιήσουν στους υδρόμυλους δύναμης. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων πενήντα ετών, οι μηχανικοί έχουν αρχίσει να εξετάζουν την παλιρροιακή δύναμη και τη δύναμη των κυμάτων σε μια μεγαλύτερη, βιομηχανική κλίμακα. Εντούτοις, μέχρι τα τελευταία έτη, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, η δύναμη των κυμάτων και η παλιρροιακή δύναμη, θεωρήθηκαν αντιοικονομικές.

Αν και μερικά πιλοτικά έργα έδειξαν ότι η ενέργεια θα μπορούσε να παραχθεί, κάποια άλλα επίσης έδειξαν ότι, ακόμα κι αν το κόστος για την παράγωγή της ενέργειας δεν εξεταστεί, υπάρχει ένα πραγματικό πρόβλημα, που αφορά την ικανότητα του εξοπλισμού να αντέξει το εξαιρετικά σκληρό θαλάσσιο περιβάλλον. Πριν από είκοσι χρόνια η αντίστοιχη βιομηχανία παραγωγής ενέργειας από αέρα αντιμετώπιζε παρόμοια προβλήματα αλλά με την υποστήριξη των εκάστοτε κυβερνήσεων στους κατασκευαστές κατάφεραν να ανταγωνιστούν τη πράσινη δύναμη.

Η ενεργειακή βιομηχανία κυμάτων είναι τώρα σε παρόμοιο στάδιο ανάπτυξης αλλά με τη δημόσια υποστήριξη και κάποια δημόσια χρήματα θα ξεπεραστούν οι όποιες αποτυχίες στον τρόπο παραγωγής, όπως γίνεται σε κάθε παρόμοια αναπτυξιακή τεχνική. Με την εισαγωγή νέων πηγών ενέργειας στην αγορά υπάρχει η προσδοκία ότι οι συνθήκες για την χρησιμοποίηση της δύναμης κυμάτων θα ωριμάσει έτσι ώστε να έχει σημαντική συμβολή στην κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών. Προς το τέλος της δεκαετίας του '90, έχει γίνει σαφές ότι η τεχνολογία έχει προωθηθεί σε σημείο όπου η αξιόπιστη και φτηνή ηλεκτρική ενέργεια από τους ωκεανούς γίνεται μια πραγματικότητα.

Το Ηνωμένο Βασίλειο παράγαγε την πρώτη ηλεκτρική ενέργεια από θαλάσσια και παλιρροϊκά κύματα με την οποία εφοδίασε τον εθνικό του δίκτυο το έτος 2000, αναγκάζοντας και άλλες χώρες να σκεφτούν σοβαρά να πράξουν κάτι ανάλογο. Ο θαλάσσιος κυματισμός είναι όπως όλες οι μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας ενώ παρουσιάζει μεταξύ των ΑΠΕ την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Το ενεργειακό δυναμικό στους ωκεανούς του πλανήτη μας θεωρείται τεράστιο, η εκμετάλλευση ενός μικρού μόνον ποσοστού του δυναμικού αυτού θα μπορούσε θεωρητικά να υπερκαλύψει τις ενεργειακές ανάγκες παγκοσμίως. Οι ευρωπαϊκές χώρες που περιβρέχονται από τον Ατλαντικό ωκεανό διαθέτουν από τους υψηλότερους πόρους κυματικής ενέργειας παγκοσμίως, ενώ αξιοποιήσιμο είναι και το κυματικό δυναμικό του Αιγαίου Πελάγους. Η ερευνητική δραστηριότητα με στόχο την ανάπτυξη τεχνικά και οικονομικά

βιώσιμων τεχνολογιών μετατροπής κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό έχει ξεκινήσει σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες από την δεκαετία του 70' και επιχορηγείται από κρατικά και ευρωπαϊκά προγράμματα Ε & ΤΑ.

Στις δραστηριότητες αυτές συμμετέχουν τα τελευταία χρόνια και ελληνικά πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα. Οι παραπάνω δραστηριότητες έχουν οδηγήσει μέχρι στιγμής στην ανάπτυξη πιλοτικών σταθμών σε πλήρη κλίμακα, οι οποίοι λειτουργούν ικανοποιητικά, η δε απόδοσή τους βελτιώνεται συνεχώς. Πλήθος άλλων ερευνών βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο έρευνας σε μικρή κλίμακα ή στην φάση κατασκευής πρωτοτύπου. Οι δραστηριότητες αυτές αναμένεται να οδηγήσουν σύντομα στην βιομηχανική εκμετάλλευση κυματικής ενέργειας.

Ο θαλάσσιος κυματισμός είναι, όπως όλες οι μορφές ΑΠΕ, μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Επιπρόσθετα παρουσιάζει μεταξύ των ΑΠΕ τη υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 1000 kW/m μετώπου κύματος. Υπολογίζεται ότι η αξιοποίηση του 1% του κυματικού δυναμικού του πλανήτη μας θα κάλυπτε περίπου στο τετραπλάσιο την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση. Η ιδέα για την εκμετάλλευση του θαλάσσιου κυματισμού δεν είναι νέα. Η πρώτη ευρεσιτεχνία χρονολογείται στα 1799, ενώ πλήθος άλλων τεχνολογιών επινοήθηκε και λειτούργησε σε μικρή κλίμακα μέχρι τα μέσα του περασμένου αιώνα.

Η συντονισμένη έρευνα όμως στον τομέα αυτό ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 70', μετά την μεγάλη πετρελαϊκή κρίση, όταν διάφορες χώρες της Δυτικής Ευρώπης με ακτές προς τον Ατλαντικό, όπου εντοπίζονται ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα κυματικού δυναμικού, ξεκίνησαν εντατικές έρευνες για την ανάπτυξη τεχνολογιών εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων. Τα αντίξοο περιβάλλον στο οποίο καλούνται να λειτουργήσουν οι διάφορες τεχνολογίες επέδρασε στο παρελθόν ανασταλτικά στις προσπάθειες αυτές. Οι τεράστιες καταπονήσεις σε ακραίες καιρικές συνθήκες απαιτούν υψηλούς δείκτες μηχανικής αντοχής, με αποτέλεσμα μεγάλο κατασκευαστικό κόστος. Η μεγάλη απόσταση από την ακτή για τεχνολογίες πλωτής εγκατάστασης συνεπάγεται υψηλό κόστος διασύνδεσης και λειτουργίας.

Το υψηλό κόστος των τεχνολογιών μπορεί να αντισταθμιστεί μόνον με βέλτιστη εκμετάλλευση της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας των κυμάτων δηλαδή υψηλούς δείκτες απόδοσης. Προς αυτήν την κατεύθυνση εξελίσσονται οι διάφορες τεχνολογίες και σήμερα τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους έχουν βελτιωθεί σημαντικά. Σαν αποτέλεσμα, το ενεργειακό κόστος, το οποίο την δεκαετία του '80 έφτανε μέχρι και τις 30 δρχ/kWh, έχει μειωθεί σήμερα στις 0,2-0,25 ευρώ/kWh. Η συνεχιζόμενη βελτίωση των δεικτών απόδοσης των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας αναμένεται να τις καταστήσει σύντομα βιομηχανικά εκμεταλλεύσιμες.

Όσον αφορά τους ενεργειακούς πόρους τα υψηλότερα επίπεδα κυματικής ενέργειας στον πλανήτη μας εμφανίζονται στην περιοχή του Ανατολικού Ατλαντικού και του Νότιου Ειρηνικού. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες το υπεράκτιο κυματικό δυναμικό για τις χώρες της Ε.Ε

συμπεριλαμβανομένης της Νορβηγίας, εκτιμάται σε 320 GW, από τα οποία περίπου τα 30 GW αφορούν την Μεσόγειο Θάλασσα.

Σε ετήσια βάση, ο μέσος όρος κυματικής ισχύος ανά μέτρο μετώπου κύματος κυμαίνεται στον Ανατολικό Ατλαντικό σε 25-70 kW/m, στην Β. Θάλασσα 10-25 kW/m και στο Αιγαίο – όπου σημειωτέον παρουσιάζονται οι υψηλότερες τιμές κυματικής ισχύος στην Μεσόγειο. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό για τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπολογίζεται συνολικά σε 150-230 TWh/έτος, από τα οποία 5-9 TWh/έτος αντιστοιχούν στις ελληνικές θάλασσες.

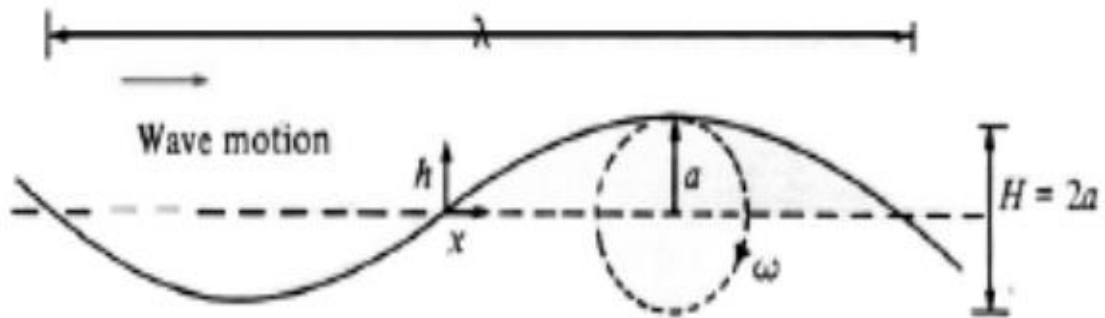
1.2 Τα θαλάσσια κύματα

Με τον όρο κυματισμός χαρακτηρίζεται γενικά το σύνολο των φυσικών φαινομένων που παρουσιάζει η επιφάνεια της θάλασσας, που οφείλονται κυρίως στην απορρόφηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Γενικά με την έναρξη του ανέμου στην επιφάνεια του ηρεμούντος ύδατος δημιουργούνται ρυτίδες ακανόνιστου σχήματος. Αργότερα όσο αυξάνει η ένταση του ανέμου παρατείνεται και η διάρκεια της δράσεως αυτού στην επιφάνεια του ύδατος με συνέπεια οι ρυτίδες να μεταβάλλονται σε κύματα ακαθόριστου σχήματος και διεύθυνσης.

Στη συνέχεια όμως όταν παύσει να πνέει ο άνεμος τα κύματα λαμβάνουν συγκεκριμένη μορφή, δηλαδή κανονικό σχήμα με ορισμένο δηλαδή ύψος, μήκος και περίοδο. Αν μάλιστα δεν μεσολαβήσει άλλη αιτία ή περίοδος του κυματισμού θα διατηρείται μέχρι της πλήρους απόσβεσής της. Κατά τον κυματισμό δεν μετατοπίζεται μάζα ύδατος όπως κοινώς πιστεύεται αλλά μόνο το σχήμα της κατανομής της επιφάνειας του ύδατος θάλασσας ή λίμνης όπως για παράδειγμα συμβαίνει στις κορυφές στάχτων σε ένα χωράφι όταν πνέει ο άνεμος. Το ότι δεν κινείται μάζα ύδατος γίνεται αντιληπτό με το ακόλουθο πείραμα: αν ριφθεί ένα μικρό τεμάχιο ξύλου στην επιφάνεια της θάλασσας θα παρατηρηθεί ότι ενώ τα κύματα προχωρούν, το ξύλο, εφόσον δεν ενεργήσει άλλη δύναμη (άνεμος), θα ανέρχεται και θα κατέρχεται στο ίδιο και το αυτό σημείο.

Τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν ένα κύμα είναι τα εξής:

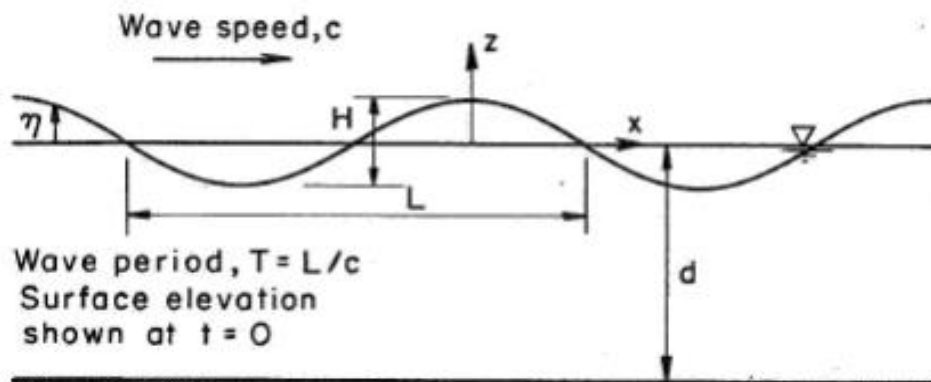
- Κορυφή κύματος: είναι το υψηλότερο σημείο του κύματος.
- Κοίλο κύματος: Ονομάζεται το χαμηλότερο σημείο του κύματος.
- Μήκος κύματος: Ονομάζεται η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων της αυτής φάσης, δηλαδή μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή δύο διαδοχικών κοίλων. Συνήθως συμβολίζεται με το γράμμα λ ή L.
- Ύψος κύματος: Ονομάζεται η κάθετος απόσταση μεταξύ της κορυφής και του κοίλου του κύματος, είναι το αντίστοιχο πλάτος στην κυματική.



Εικόνα 1.1: Χαρακτηριστικά κύματος.

- Ταχύτητα του κύματος: Ονομάζεται ο λόγος της προχώρησης του κύματος στο χρόνο που διέρρευσε συμβολίζεται κυρίως με το γράμμα u ή V .
- Περίοδος κύματος: Ονομάζεται ο απαιτούμενος χρόνος για να διέλθουν από ένα σταθερό σημείο δύο διαδοχικά σημεία ίδιων φάσεων, δύο κορυφές ή δύο κοίλα και συμβολίζεται συνήθως με το γράμμα τ ή T .
- Συχνότητα κύματος: Ονομάζεται ο αριθμός των μηκών κύματος που διέρχονται από ένα σταθερό σημείο, στην μονάδα του χρόνου. Συνήθως συμβολίζεται με το γράμμα ν ή N .

Με βάση το παρακάτω σχήμα επίσης μπορούμε να περιγράψουμε και να εξηγήσουμε τα χαρακτηριστικά του κύματος:



Εικόνα 1.2: Χαρακτηριστικά θαλάσσιου κύματος.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, είναι:

1. Το μήκος κύματος (L): Είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο κορυφών ή δύο κοίλων. Συνήθως συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα λ .

2. Η περίοδος κύματος (T): Είναι ο χρόνος που αντιστοιχεί για το πέρασμα δύο κορυφών από το ίδιο σημείο.

3. Βάθος νερού (d): Η απόσταση από την ελεύθερη επιφάνεια μέχρι τον βυθό.

4. Το ύψος του κύματος (H): Η κάθετη απόσταση μεταξύ μιας κορυφής και ενός κοίλου.

Ενδεικτικά αναφέρουμε και κάποια άλλα μεγέθη που αφορούν ένα κύμα και το περιγράφουν και προκύπτουν από τις παραπάνω ιδιότητες που περιγράψαμε λίγο πιο πάνω:

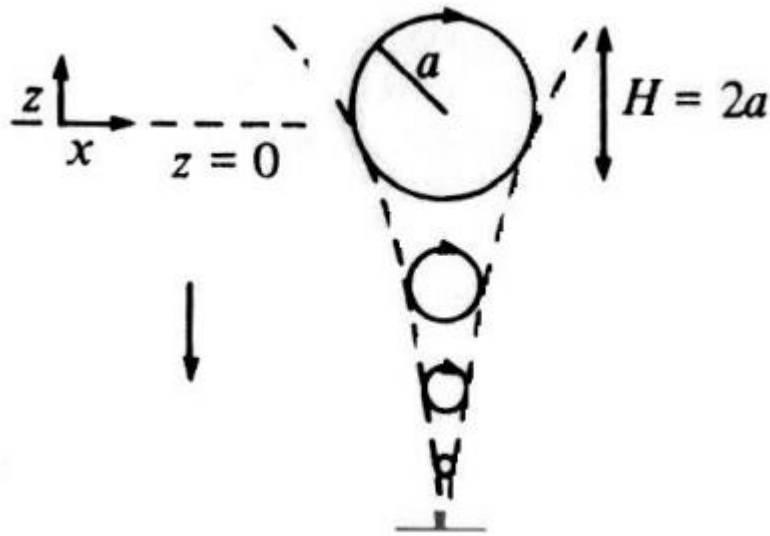
- Πλάτος κύματος (A): $A=H/2$
- Συχνότητα κύματος (f): $f=1/T$
- Κυκλική συχνότητα κύματος (ω): $\omega=2\pi/T$
- Ταχύτητα κύματος (c): $c= \lambda/T= \omega/k$

Τα χαρακτηριστικά των κυμάτων, όπως η ταχύτητα διάδοσης, η περίοδος και το μήκος κύματος, καθώς και το διάστημα μορφοποίησης τους, προσδιορίζονται κυρίως από την ταχύτητα του ανέμου και την διάρκεια αλληλεπίδρασής του με αυτά. Επίσης επηρεάζονται από το βάθος και την μορφολογία του πυθμένα, που μπορεί να εστιάζει ή να διασκορπίζει τον κυματισμό αλλά και από τα θαλάσσια ρεύματα. Για τους λόγους αυτούς όπως συμβαίνει και με το δυναμικό κάθε ΑΠΕ, το παγκόσμιο κυματικό δυναμικό κατανέμεται διαφορετικά ανά τον κόσμο.

Χαρακτηριστικά θαλάσσιων κυμάτων

Παρακάτω αναλύουμε τις ιδιότητες των κυμάτων ώστε να γίνουν κατανοητές όλες οι διατάξεις που θα περιγραφούν στην συνέχεια και έχουν να κάνουν με την εκμετάλλευση των κυμάτων στις θάλασσες για την παραγωγή ενέργειας.

- Τα κύματα της επιφάνειας αποτελούνται από την σύζευξη ημιτονικών κυμάτων με διαφορετικό μήκος κύματος, φάση και διεύθυνση.
- Η κίνηση κάθε δωματίου νερού είναι κυκλική. Η επιφάνεια του κύματος διαδίδεται προς μία κατεύθυνση όχι όμως και τα σωματίδια του νερού.



Εικόνα 1.3: Εδώ φαίνεται η κυκλική κίνηση στοιχειώδους μάζας νερού με ακτίνα κίνησης που ελαττώνεται σχεδόν εκθετικά όσο αυξάνεται το βάθος του.

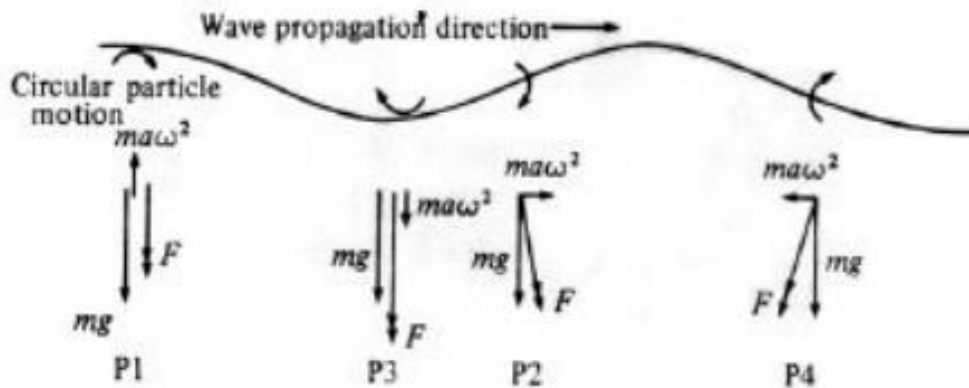
- Το νερό που βρίσκεται στην επιφάνεια παραμένει στην επιφάνεια.
- Το πλάτος των κυκλικών κινήσεων των σωματιδίων νερού μειώνεται εκθετικά με το βάθος. Σε βάθος $\lambda/2\pi$ το πλάτος μειώνεται στο $1/e$ της τιμής του πλάτους στην επιφάνεια. Σε βάθη μεγαλύτερα του $\lambda/2$ η κίνηση είναι αμελητέα (μικρότερη από 5% σε σχέση με την επιφάνεια).

Στην εικόνα φαίνεται η διαφορά των τροχιών των σωματιδίων του νερού σε σχέση με το σχετικό βάθος (d/λ). Βλέπουμε πως σε βαθιά νερά η κίνηση είναι κυκλική με φθίνουσα ακτίνα όσο προχωράμε περισσότερο σε μεγαλύτερα βάθη. Μετά από κάποιο βάθος όμως που είναι της τάξης $\lambda/2$ η ακτίνα γίνεται τόσο μικρή που πρακτικά μπορούμε να θεωρήσουμε πως τα στοιχεία είναι πλέον ακίνητα.

Αντίθετα, στα ρηχά νερά όλα τα στοιχεία βρίσκονται σε κίνηση σχηματίζοντας ελλειπτικές τροχιές με τον οριζόντιο άξονα σχεδόν σταθερό ενώ τον κατακόρυφο να φθίνει. Στον πυθμένα της θάλασσας η κίνηση είναι σχεδόν οριζόντια. Στα ενδιάμεσα ύδατα εμφανίζεται μια μέση κατάσταση.

- Το πλάτος του κύματος στην επιφάνεια είναι πρακτικά ανεξάρτητο του μήκους κύματος, και εξαρτάται μόνο από την προϊστορία των ανέμων στην επιφάνεια. Το πλάτος σπανίως ξεπερνά το $1/10$ του μήκους κύματος.
- Όταν ένα κύμα σπάει και εμφανίζεται αφρός τότε καταναλώνεται ενέργεια μειώνοντας τη διαθέσιμη ενέργεια κυμάτων.

Για την διαθέσιμη ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων υπολογίζεται η ενέργεια που μεταφέρουν τα ύδατα της θάλασσας επιφάνειας. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δυνάμεις που εξασκούνται σε επιφανειακά σώματα νερού που βρίσκονται στην επιφάνεια της θάλασσας:



Εικόνα 1.4: Δυνάμεις σε επιφανειακά σώματα νερού στην επιφάνεια της θάλασσας.

m είναι η μάζα του νερού και ω η γωνιακή ταχύτητα περιστροφικής της κυκλικής κίνησης που εκτελεί το νερό όπως προαναφέρθηκε και πιο πάνω.

Η ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων προέρχεται από τις δύο κινήσεις των υδάτων της θαλάσσιας επιφάνειας, οι οποίες είναι η κατακόρυφη και η οριζόντια. Η κατακόρυφη κίνηση των υδάτων προσδιορίζει το ύψος του κύματος και η οριζόντια προσδιορίζει την ταχύτητα με την οποία κινείται το κύμα. Στα χαρακτηριστικά των κυμάτων γενικά κατατάσσεται και η κινητική και η δυναμική τους ενέργεια. Έτσι και στα θαλάσσια κύματα η συνολική ενέργεια αποτελείται από την κινητική και την δυναμική ενέργεια των υδάτων της επιφάνειας της θάλασσας. Η συνολική ενέργεια είναι:

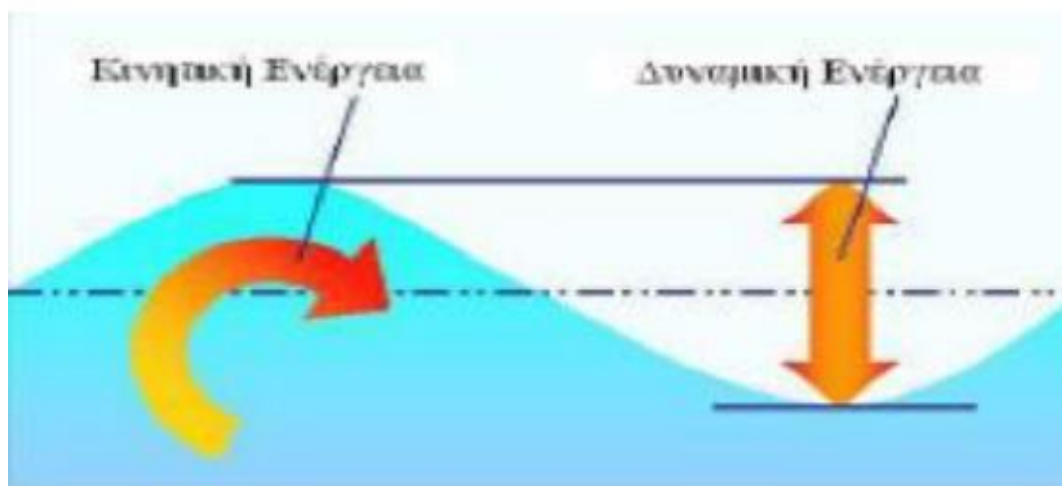
$$E_{ολ} = E_{δ} + E_{κ} = \rho * g * h^2 / 16 * + \rho * g * h^2 / 16 = \rho * g * h^2 / 8$$

ρ : είναι η πυκνότητα του θαλασσινού νερού.

g : είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας.

h : είναι το ύψος του κύματος.

Από την παραπάνω εξίσωση φαίνεται ότι η δυναμική και κινητική ενέργεια των κυμάτων είναι ισοδύναμες και εξαρτώνται ουσιαστικά από το ύψος του κύματος.



Εικόνα 1.5: Κατεύθυνση κινητικής και δυναμικής ενέργειας κύματος.

Η επιφάνεια της θάλασσας φαίνεται να βρίσκεται συνέχεια σε κίνηση με διαρκείς αναταράξεις. Ο άνεμος, οι μεταβολές της θερμοκρασίας, της πίεσης και της πυκνότητας ακόμα και οι βαρυτικές αλληλεπιδράσεις της Γης με τον ήλιο και τη σελήνη μεταφέρουν ενέργεια προξενώντας περιοδικές κινήσεις των μορίων του νερού. Ο ανεμογενής κυματισμός παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για ενεργειακή εκμετάλλευση καθώς και τα παραγμένα από αέρα κύματα έχουν την υψηλότερη ενεργειακή συγκέντρωση. Τα κύματα που δημιουργούνται από τους ανέμους, δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση του ανέμου με τη θαλάσσια επιφάνεια. Αυτή η μεταφορά ενέργειας παρέχει ένα είδος φυσικής αποθήκευσης της αιολικής ενέργειας, δηλαδή της ενέργειας από τους ανέμους στο νερό, η οποία έτσι μπορεί να εκδηλωθεί εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από το σημείο δημιουργίας και με ελάχιστες απώλειες ενέργειας. Από μια άλλη βιβλιογραφική πηγή υπολογίστηκε ότι η παρεχόμενη ενέργεια από τα κύματα της θάλασσας είναι:

$$E_{\lambda} = (1/2) \cdot \rho \cdot a^2 \cdot g \cdot \lambda$$

Όπου a είναι η ακτίνα της κυκλικής κίνησης που κάνουν τα σωματίδια του νερού όπως έχει προαναφερθεί, ρ η πυκνότητα του νερού, g η επιτάχυνση της βαρύτητας και λ το μήκος κύματος. Αυτή η ενέργεια αναφέρεται στην ενέργεια ανά μονάδα μήκους κύματος και ανά μονάδα πλάτους του μετώπου του κύματος κατά την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Γενικά υπάρχουν αρκετές διατάξεις και τρόποι για να εκμεταλλευτούμε την ενέργεια από τα κύματα της θάλασσας και όλες οι σύγχρονες διατάξεις θα περιγραφούν αναλυτικά στην συνέχεια, αλλά ενδεικτικά τώρα παραθέτουμε σε ένα γενικό πλαίσιο τους τρόπους με τους οποίους εκμεταλλευόμαστε την κίνηση των θαλάσσιων κυμάτων για να παραχθεί ενέργεια από αυτά:

- Η ενέργεια των κυμάτων ανοιχτής θάλασσας διατίθεται με τη μορφή εναλλασσόμενων ανοδικών και καθοδικών κινήσεων του νερού.

- Από τα κύματα κοντά στην ακτή εκμεταλλευόμαστε την προωστική δύναμη του μετώπου του κύματος για την κίνηση στροβιλοκινητήρων νερού ή αέρα.
- Κύματα που σπάζουν στην ακτή χρησιμοποιούνται για την πλήρωση φραγμάτων για να παραχθεί στη συνέχεια υδροηλεκτρική ενέργεια.

Με βάση αυτές τις γενικές παραδοχές έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς διάφορα μοντέλα για την εκμετάλλευση της ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα και έχουν εφαρμοστεί και στην πράξη σε πολλές περιοχές του κόσμου. Αυτό βέβαια έγινε μετά από κάποιο επιστημονικό έργο που προηγήθηκε της πρακτικής εφαρμογής.

Όμως κατά την μελέτη περί του θέματος εκμετάλλευσης της ενέργειας από τα κύματα της θάλασσας εντοπίζονται κάποια μειονεκτήματα που δυσχεραίνουν την πρακτική εφαρμογή. Κάποια γενικά μειονεκτήματα που αναφέρονται στα κύματα της θάλασσας είναι:

- Τα κύματα έχουν ακανόνιστη μορφή δηλαδή πλάτος, φάση και διεύθυνση. Αυτό το γεγονός δυσκολεύει την κατασκευή διατάξεων που να καλύπτουν λειτουργικά πολλές μεταβλητές μεγάλου εύρους.
- Υπάρχει πάντα η πιθανότητα να υπάρχουν κύματα ακραίας έντασης, 10 φορές μεγαλύτερη της μέσης αναμενόμενης τιμής. Επομένως απαιτούνται διατάξεις οι οποίες να είναι ανθεκτικές σε παραγόμενη ισχύ, μέχρι και 100 φορές μεγαλύτερης από την μέση ισχύ, το οποίο σημαίνει ότι αυξάνεται το κόστος κατασκευής.
- Η μέγιστη ένταση των κυμάτων βρίσκεται σε απόσταση μεγάλη από την ακτή το οποίο σημαίνει ότι δυσχεραίνεται ακόμα περισσότερο η κατασκευή η συντήρηση και η ασφάλεια διατάξεων σε μεγάλες αποστάσεις από τις ακτές, το οποίο μπορεί να έχει και συνέπεια στο κόστος κατασκευής.
- Η περίοδος των κυμάτων είναι πολύ μικρή της τάξης του 0,1 Hz. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα στην συνδυαστική λειτουργία με ηλεκτρογεννήτριες που οι συχνότητες λειτουργίας τους είναι 500 φορές μεγαλύτερες από την τάξη συχνότητας των κυμάτων θάλασσας.
- Τέλος ένα άλλο μεγάλο μειονέκτημα είναι ότι τα θαλάσσια κύματα παρέχουν μικρή σχετικά προσφορά ισχύος σχετικά με τις συνήθεις ανάγκες της βιομηχανίας, το οποίο οδηγεί στο να κατασκευαστούν πολύ μεγάλες διατάξεις με εξαιρετικά υψηλό κόστος, ώστε να παράγεται η ζητούμενη ισχύς που είναι απαραίτητη από τα κύματα της θάλασσας.

1.3 Εξέλιξη των τεχνολογιών εκμετάλλευσης της θαλάσσιας ενέργειας

Η ιδέα για την εκμετάλλευση του θαλάσσιου κυματισμού δεν είναι νέα. Η πρώτη ευρεσιτεχνία χρονολογείται το 1799, ενώ ήδη το 1909 το λιμάνι της Καλιφόρνια των ΗΠΑ φωτιζόταν από

σύστημα κυματικής ενέργειας. Πλήθος άλλων τεχνολογιών επινοήθηκε και λειτούργησε σε μικρή κλίμακα μέχρι τα μέσα του περασμένου αιώνα. Η συντονισμένη όμως έρευνα στον τομέα αυτό ξεκίνησε στη δεκαετία του 1970, μετά τη μεγάλη πετρελαϊκή κρίση.

Οι προσπάθειες στην έρευνα και την ανάπτυξη για τη μετατροπή της κυματικής ενέργειας βρήκαν την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η οποία από το 1986 παρατήρησε ότι θα υπάρξει ανάπτυξη στον τομέα αυτό. Δύο μελέτες έθεσαν τη βάση στην προοπτική εξαγωγής της ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα και τα θαλάσσια ρεύματα. Ήταν σαφές από την αρχή ότι η εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας θα είναι δύσκολη. Αυτό έδειξαν πειράματα που έγιναν σε όλο τον κόσμο. Η Επιτροπή βοήθησε την ανάπτυξη της τεχνολογίας με τη χρηματοδότηση προγραμμάτων τα οποία έκαναν σημαντικά βήματα στην εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας. Η επιλογή προγραμμάτων έγινε με βάση ειδικά κριτήρια αξιολόγησης όπως επίσης και από την επίδειξη της κάθε κοινοπραξίας των

δυσκολιών που έχει να αντιμετωπίσει. Αυτή η διαδικασία παρείχε δυο σημαντικά αποτελέσματα, το Pico plant και το Limpet τα οποία είναι ακόμα σε λειτουργία.

Από το 1993 η Επιτροπή υποστήριξε μια σειρά Διεθνών Συσκέψεων σχετικά με την κυματική ενέργεια (Πάτρα 1998) τα οποία συνέβαλαν σημαντικά στην ενεργοποίηση και τον συντονισμό δραστηριοτήτων που γίνονταν σε πανεπιστήμια, εθνικά ερευνητικά κέντρα και στην βιομηχανία. Τα τελευταία 25 χρόνια η κυματική ενέργεια πέρασε από φάσεις ενθουσιασμού, απογοήτευσης και επαναπροσδιόρισης.

Παρόλα αυτά, οι επίμονες προσπάθειες στην έρευνα, την ανάπτυξη και η εμπειρία βελτίωσε σημαντικά την απόδοση των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας και οδήγησε σήμερα περισσότερο από ποτέ στην εμπορική τους εκμετάλλευση. Διάφορες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ενέργεια των κυμάτων, έχουν αποδείξει την αντοχή τους κάτω από αντίξοες συνθήκες και διάφορες εμπορικές εγκαταστάσεις δημιουργούνται αυτήν την περίοδο σε Ευρώπη, Ασία, Αυστραλία και άλλες χώρες.

Άλλες διατάξεις είναι στο τελικό στάδιο έρευνας και ανάπτυξης με πολλές προοπτικές για επιτυχή εφαρμογή. Εντούτοις, εκτενής έρευνα και ανάπτυξη απαιτείται ακόμα τόσο σε θεμελιώδες όσο και σε επίπεδο εφαρμογής ώστε να βελτιωθεί και να σταθεροποιηθεί η απόδοση των τεχνολογιών και να καθιερωθεί η ανταγωνιστικότητα τους στην παγκόσμια αγορά ενέργειας.

Το προβλεπόμενο παραγωγικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας από την ενέργεια των κυμάτων έχει παρουσιάσει σημαντική βελτίωση τα τελευταία 20 χρόνια το οποίο έχει φτάσει σε μια μέση τιμή της τάξης των 0,08€/kWh. Συγκρινόμενη με την μέση τιμή ηλεκτρικής ενέργειας στη Ε.Ε. η οποία είναι της τάξης των 0,04€/kWh η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα κύματα είναι ακόμα ακριβή αλλά προβλέπεται να μειωθεί αισθητά με την πρόοδο της τεχνολογίας.

1.4 Κατηγοριοποίηση σύμφωνα με την απόσταση εγκατάστασης

Υπάρχει μια κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών μετατροπής της θαλάσσιας ενέργειας των κυμάτων ανάλογα με την απόσταση της τοποθεσίας εγκατάστασης τους σε σχέση με την ακτή. Έτσι έχουμε:

Τεχνολογίες ακτογραμμής

Οι τεχνολογίες ακτογραμμής είναι σταθερές ή ενσωματωμένες στην ακτογραμμή, το οποίο αποτελεί πλεονέκτημα καθώς έχουν εύκολη εγκατάσταση και συντήρηση. Επίσης δεν χρειάζονται αγκυροβολήσεις ούτε υποθαλάσσια ηλεκτρικά καλώδια. Βέβαια, αξιοποιούν κυματικό δυναμικό πολύ μικρότερης ισχύος. Επίσης αυτές οι εγκαταστάσεις περιορίζονται από την γεωλογία της ακτογραμμής, το εύρος της παλίρροιας την διατήρηση του περιγράμματος της ακτής κλπ.

Παράκτιες τεχνολογίες

Οι παράκτιες τεχνολογίες εγκαθίστανται σε μέτριο βάθος υδάτων (20 με 30 μέτρα), σε αποστάσεις μέχρι και 500 μέτρα από την ακτή. Έχουν τα ίδια σχεδόν πλεονεκτήματα με τις τεχνολογίες ακτογραμμής ενώ παράλληλα αξιοποιούν μεγαλύτερης ισχύος κυματικό δυναμικό.

Υπεράκτιες τεχνολογίες

Οι υπεράκτιες τεχνολογίες εκμεταλλεύονται τα πιο ισχυρά κυματικά δυναμικά που είναι διαθέσιμα σε μεγάλο βάθος υδάτων (μεγαλύτερο από 40 μέτρα). Οι πιο πρόσφατες μελέτες για υπεράκτιες τεχνολογίες επικεντρώνονται σε μικρές διατάξεις που δίνουν συνολική παραγόμενη ενέργεια μεγάλης ισχύος αφού παρατάσσονται σε μεγάλο αριθμό και επεκτείνονται σε σειρές.

1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τεχνολογιών κυματικής ενέργειας

Ο θαλάσσιος κυματισμός συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τις ΑΠΕ:

- χαμηλοί δείκτες ρύπανσης.
- αποκέντρωση της παραγωγής ενέργειας.
- απεξάρτηση από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων.
- προοπτικές οικονομικής ανάπτυξης.
- ανάπτυξη απομακρυσμένων περιοχών.
- τόνωση βιομηχανικής παραγωγής.
- δημιουργία θέσεων εργασίας.
- μηδαμινές επιπτώσεις σε χλωρίδα και πανίδα.

- μηδαμινή ακουστική και οπτική όχληση.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας αφορούν:

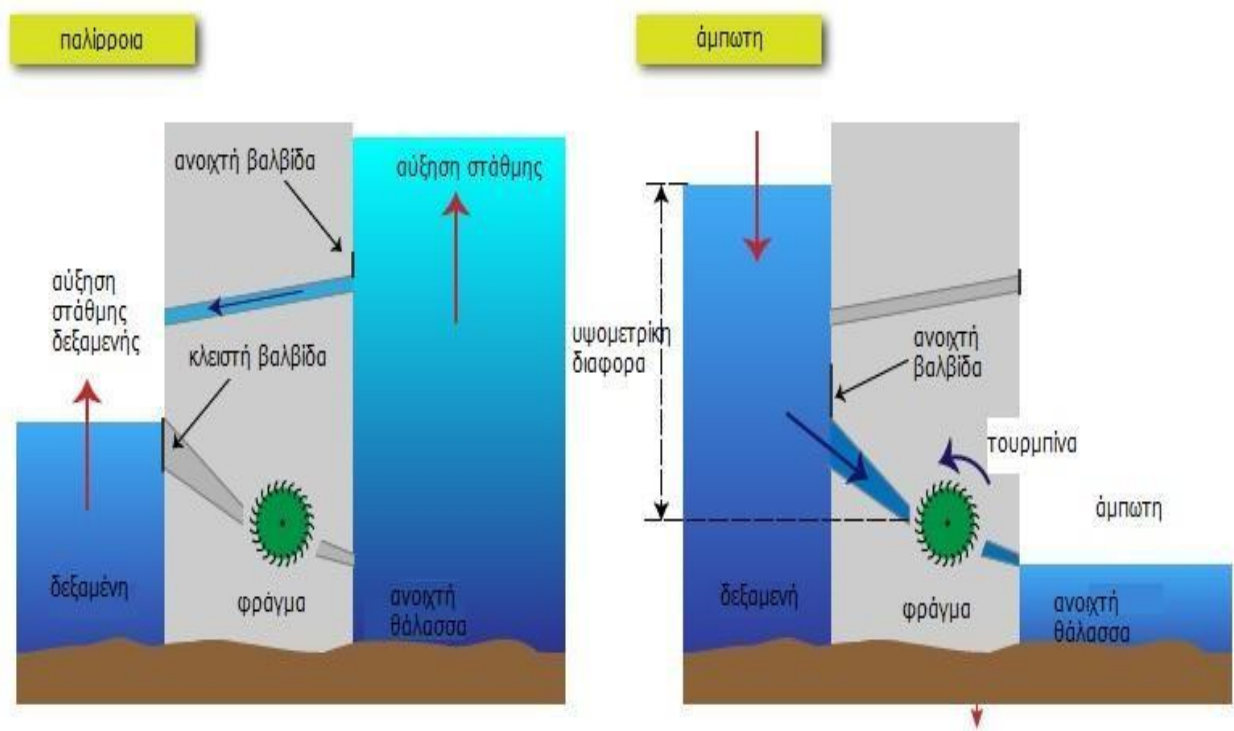
- Την αξιοπιστία τους λόγω των ακραίων καιρικών φαινομένων. Δέχονται μεγάλες καταπονήσεις που μπορούν να υπερβούν το 100πλασιο των μέσων καταπονήσεων.
- Την δύσκολη αξιοποίηση της ενέργειας λόγω έλλειψης σταθερότητας στο πλάτος, την φάση και την κατεύθυνση των θαλάσσιων κυμάτων.
- Τον συγχρονισμό της μεταβαλλόμενης και αργής κίνησης(περίπου 0,1Hz) των θαλάσσιων κυμάτων με τις ηλεκτρικές γεννήτριες που απαιτούν περίπου 500 φορές μεγαλύτερη συχνότητα.
- Την δυσπροσιτότητα των υπεράκτιων ή υποβρύχιων εγκαταστάσεων. Δυσχεραίνει τον έλεγχο, την συντήρηση/επισκευή και αυξάνει το λειτουργικό κόστος.

Βέβαια, το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας μπορεί να αντισταθμιστεί μόνο με την αξιοποίηση του κυματικού δυναμικού στον μέγιστο δυνατό βαθμό. Η τεχνολογική εξέλιξη έχει οδηγήσει μέχρι στιγμής σε σημαντική βελτίωση του δείκτη απόδοσης για τις περισσότερες τεχνολογίες, ενώ τα περιθώρια βελτίωσης παραμένουν μεγάλα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΣ ΜΕ ΦΡΑΓΜΑ

Τα παλιρροιακά φράγματα είναι μεγάλες κατασκευές που χτίζονται σε έναν κόλπο ή στις εκβολές τοποθεσίας που έχει μεγάλο παλιρροιακό εύρος. Όταν η στάθμη του νερού αλλάζει λόγω τις παλίρροιας τότε παρατηρείται αλλαγή στάθμης σε όλο το φράγμα. Το νερό διατρέχει το φράγμα μέσα από τουρμπίνες και μπορεί να παράγει ενέργεια κατά την διάρκεια της άμπωτης (υποχώρηση υδάτων), κατά την παλίρροια (το νερό γεμίζει την δεξαμενή) ή και τις δυο διαδικασίες.

Αυτός ο κύκλος μπορεί-ανάλογα με την κατασκευή-να παράγει ενέργεια δύο ή τέσσερις φορές την ημέρα και με μεγάλη προβλεψιμότητα. Τα παλιρροιακά φράγματα είναι η παλιότερη και ωριμότερη τεχνολογία παραγωγής ενέργειας από την θάλασσα. Υπάρχουν αρκετές εμπορικές εγκαταστάσεις σε όλο τον κόσμο και η παραγωγική τους ικανότητα είναι περίπου 240MW.



Εικόνα 2.1: Εκμετάλλευση παλίρροιας με φράγμα.

2.1 Παλιρροιακός σταθμός Rance

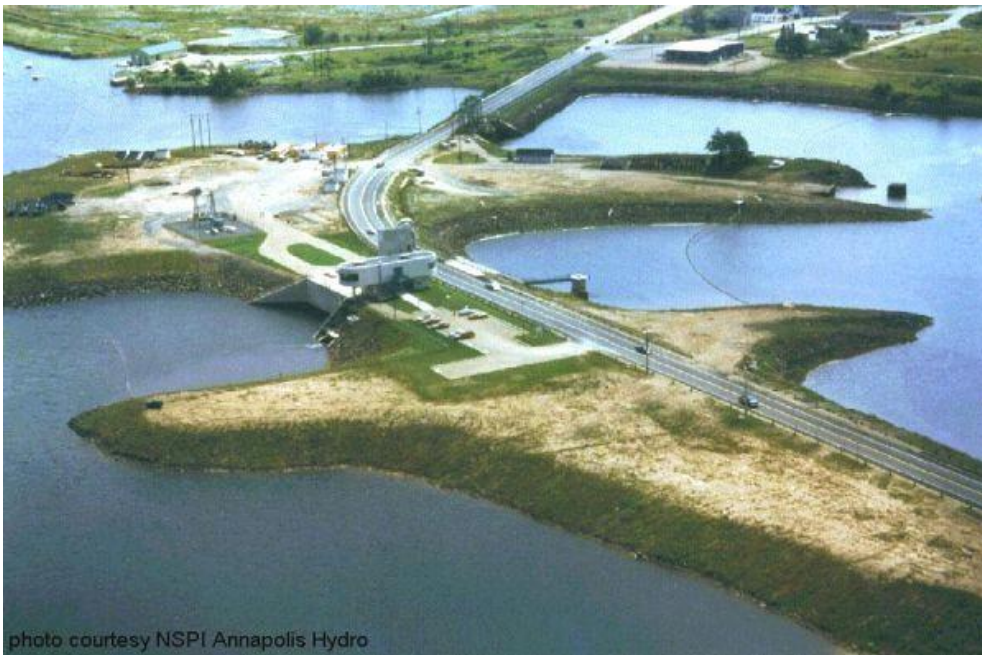
Πρόκειται για την πρώτη τεχνολογία παλίρροιας με φράγμα και την 2η μεγαλύτερη στον κόσμο. Βρίσκεται στη Γαλλία στον πόταμο Rance. Άνοιξε στις 26/11/1966 για την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού της Γαλλίας και στοίχισε 620 εκατομμύρια γαλλικά φράγκα δηλαδή περίπου 100 εκατομμύρια ευρώ. Παρά το υψηλό κόστος κατασκευής, πλέον το έργο έχει αποσβεστεί και η παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κοστίζει 1,8c €/kWh όταν η παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνική ενεργεία κοστίζει 2,5c €/kWh. Έχει δυναμικό ύψος 8 m -μέγιστο 13,5 m – και μέγιστη απόδοση 240 MW. Από 24 τουρμπίνες των 10 MW με διάμετρο 5,35 m και βάρος 470 τόνους παράγει σε ετήσια βάση 600 Gwh δηλαδή το 0,012% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της Γαλλίας. Μια δεξαμενή με μήκος 700 m χτίσθηκε μπροστά σε μια λιμενολεκάνη ενώ το τμήμα της ηλεκτροπαραγωγικής εγκατάστασης φτάνει τα 330 m. Το 1996 η εγκατάσταση γιόρτασε τα 30 χρόνια λειτουργίας χωρίς ουσιαστικά προβλήματα στα οποία παρήγαγε 16 δισεκατομμύρια Kwh. Τέλος, η εγκατάσταση δέχεται κάθε χρόνο 200.000 επισκέπτες.



Εικόνα 2.2: Εγκατάσταση La Rance, Γαλλία.

2.2 Παλιρροιακός σταθμός Annapolis

Στον ποταμό Annapolis στον κόλπο του Fundy λειτουργεί ο μοναδικός σταθμός παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας 20 MW στη Βόρεια Αμερική . Στον κόλπο του Fundy έχουν παρατηρηθεί μεγάλες παλίρροιες που κυμαίνονται από 12 μέχρι και 16 m. Η κατασκευή ξεκίνησε το 1980 και μέσα σε 4 χρόνια ολοκληρώθηκε και συνδέθηκε με το δίκτυο. Διαθέτει μια μεγάλη τουρμπίνα μονής κατεύθυνσης βάρους 148 τόνων, διαμέτρου 7,6 m και κάθε χρόνο παράγει 30 Gwh, ενέργεια ικανή να ηλεκτροδοτήσει 4.500 νοικοκυριά. Όταν το επίπεδο της θάλασσας φτάσει το επίπεδο της δεξαμενής ανοίγουν οι θύρες του φράγματος και γεμίζει η δεξαμενή. Όταν υποχωρεί η παλίρροια μια υψομετρική διάφορα αναπτύσσεται ανάμεσα στη δεξαμενή και το επίπεδο της θάλασσας και τότε 18 θυρίδες ανοίγουν και το νερό περνάει μέσα από την τουρμπίνα. Το νερό με ρυθμό 400m³/s περιστρέφει την τουρμπίνα. Η φάση παράγωγης διαρκεί 5 ώρες και μετά οι θυρίδες κλείνουν για να επαλειφθεί η διαδικασία. Αυτή η διαδικασία γίνεται 2 φορές την ημέρα. Βεβαία, το μπλοκάρισμα του νερού απ'τη δεξαμενή για να συσσωρευτεί νερό από την παλίρροια κάθε 6 ώρες, έχει προκαλέσει διάβρωση στις όχθες και το φράγμα είναι παγίδα για τη θαλασσιά πανίδα καθώς έχουν παγιδευτεί δυο φάλαινες το 2004 και το 2007.



Εικόνα 2.3: Εγκατάσταση Annapolis, Βόρεια Αμερική.

2.3 Παλιρροιακός σταθμός Sihwa

Ο σταθμός παλιρροιακής παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος Sihwa είναι η μεγαλύτερη εγκατάσταση παγκοσμίως, με μια συνολική ικανότητα παραγωγής 254 MW. Το κόστος του έργου καλύφθηκε από τη νοτιοκορεατική κυβέρνηση και έφτασε συνολικά τα 250 εκατομμύρια δολάρια. Το παλιρροιακό φράγμα κατασκευάστηκε το 1994 για την αποφυγή πλημμυρών και για γεωργικούς λόγους. Το εύρος της παλίρροιας κυμαίνεται από 5,6 έως 7,8m. Δέκα στρόβιλοι 25,4 MW παράγουν ενέργεια στις παλιρροιακές εισροές μόνο. Αυτή η ελαφρώς μη συμβατική και σχετικά ανεπαρκής προσέγγιση έχει επιλεγεί για να ισορροπήσει ένα σύνθετο μίγμα της υπάρχουσας χρήσης γης, περιβαλλοντικούς παράγοντες και την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο σταθμός παρέχει τα έμμεσα περιβαλλοντικά οφέλη καθώς επίσης και την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Αφότου όμως χτίστηκε το φράγμα, έχει επέλθει ρύπανση, που καθιστά το νερό άχρηστο για τη γεωργία. Το 2004, αποφασίστηκε να ανοιχτεί η λίμνη στο θαλάσσιο νερό με την ελπίδα του ξεπλύματος της μόλυνσης.



Εικόνα 2.4: Ο παλιρροιακός σταθμός παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας Sihwa.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

Τα παλιρροιακά ρεύματα είναι μια πρώτη προσέγγιση στην παραγωγή ενέργειας από την θάλασσα. Οι κατασκευές αυτές τοποθετούνται απευθείας “στο ρεύμα” και παράγουν ενέργεια από την ροή του νερού. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες για την παραγωγή ενέργειας από τα θαλάσσια ρεύματα όπως τουρμπίνα οριζόντιου άξονα, καθέτου άξονα, συστήματα Venturi και ταλαντευόμενα φύλλα αλουμινίου.

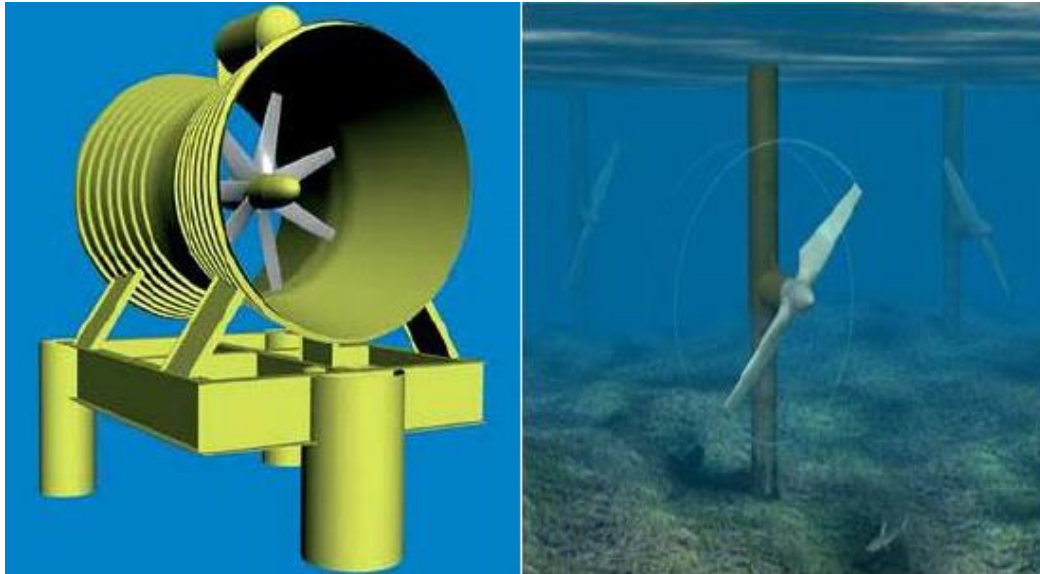
Επίσης υπάρχει πληθώρα μεθόδων τοποθέτησης όπως αγκυρωμένες στον βυθό ή πλατφόρμες που επιπλέουν με γραμμές πρόσδεσης. Η διαθέσιμη ενέργεια είναι ανάλογη με την ταχύτητα στον κύβο και την διατομή της τουρμπίνας. Για αυτόν τον λόγο αυτές οι κατασκευές προτιμώνται σε περιοχές με στενά κανάλια ή παρόμοια χαρακτηριστικά ώστε να προσφέρουν υψηλές ταχύτητες ροής νερού άνω των 3m/s. Η ταχύτητα άρα και η παραγωγή ενέργειας ποικίλει στην διάρκεια της μέρας ανάλογα με το ύψος της παλίρροιας. Επικρατέστερες τεχνολογίες για την παραγωγή ενέργειας από τα παλιρροιακά ρεύματα είναι:

- με τουρμπίνες οριζόντιου άξονα
- με τουρμπίνες καθέτου άξονα

3.1 Τουρμπίνες οριζόντιου άξονα

Οι τουρμπίνες οριζόντιου άξονα είναι οι πιο συνηθισμένες για την παραγωγή ενέργειας από τα θαλάσσια ρεύματα και σχεδιαστικά είναι παρόμοιες με αυτές της αιολικής ενέργειας. Αν και υπάρχουν πολλοί τύποι, με περίβλημα, με ρυθμιζόμενα πτερύγια κ.α όλες οι συσκευές αποτελούνται από έναν στρόβιλο με οριζόντιο άξονα περιστροφής ο οποίος είναι ευθυγραμμισμένος παράλληλα στην κατεύθυνση ρεύματος του νερού. Αυτές οι τουρμπίνες χρησιμοποιούν μια γεννήτρια συνδεδεμένη με τον άξονα του στρόβιλου είτε άμεσα είτε μέσω ενός κιβωτίου ταχυτήτων για την παραγωγή ενέργειας.

Επίσης χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, με περίβλημα και χωρίς περίβλημα. Το περίβλημα οδηγεί και επιταχύνει τη ροή του νερού μέσα από την συσκευή και αυξάνει την προσλαμβάνουσα ενέργεια.



Εικόνα 3.1: Τουρμπίνα οριζόντιου άξονα με περίβλημα και χωρίς περίβλημα.

Εφαρμογές

Seagen

Η Μεγάλη Βρετανία έχει υπογράψει τη συνθήκη του Κιότο η οποία αποτελεί παγκόσμια δέσμευση ώστε να μειωθούν οι εκπομπές CO₂. Το 1995 το μοντέλο Seafloow χρησιμοποιούσε μια τουρμπίνα 300 KW. Ήταν η πρώτη υπεράκτια γεννήτρια που εκμεταλλευόταν τα θαλασσιά ρεύματα για την παράγωγη ενέργειας αν και δεν ήταν συνδεδεμένη στο δίκτυο.

Η εταιρεία Seagen τοποθέτησε μια γεννήτρια 1,2 MW στο Stangford Narrows στην Βόρεια Ιρλανδία η οποία τον Ιούλιο του 2008 συνδέθηκε με το δίκτυο. Λόγω της αμφίδρομης λειτουργίας, εκμεταλλεύεται για την παράγωγη ενέργειας και την άμπωτη και την παλίρροια και συμπληρώνει καθημερινά 18- 20 ώρες λειτουργίας. Έχει βάρος 300 τόνους και χρησιμοποιεί κιβώτιο όπως μια τυπική ανεμογεννήτρια. Η γωνία του περύγιου περιστρέφεται κατά 180 μοίρες ώστε να εκμεταλλευτεί και την άμπωτη. Οι γεννήτριες είναι τοποθετημένες σε βραχίονες σε κάθε πλευρά σωληνοειδούς χαλύβδινου πύργου με διάμετρο 3 μετρά. Επίσης, οι γεννήτριες έχουν τη δυνατότητα να ανυψώνονται σε περίπτωση συντήρησης ή επισκευής.



Εικόνα 3.2: Η γεννήτρια Seagen κατά την εγκατάστασή της.

Hammerfest

Η επιχείρηση Hydro Hammerfest ανέπτυξε μια τουρμπίνα 300 KW στο Kvalsundet. Απέδειξε την αξιοπιστία της με πάνω από 14000 ώρες παράγωγης μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2010.

Η γνώση που αποκτήθηκε βοήθησε στην ανάπτυξη για μια προ-εμπορική συσκευή 1MW η οποία θα εγκατασταθεί στο Sound of Islay στη δυτική ακτή της Σκωτίας. Η τουρμπίνα Hammerfest καλύτερα περιγράφεται ως μια υποβρύχια ανεμογεννήτρια με μικρότερα πτερύγια η οποία περιστρέφεται πιο αργά. Οι γεννήτριες εγκαθίστανται σε βάθος 40 έως 100 μετρά στα παλιρροιακά ρεύματα με ταχύτητα 2,5 m/s.

Οι στρόβιλοι εγκαθίστανται στο βυθό και δεν δημιουργούν καμία οπτική ή ακουστική όχληση. Η ενέργεια μετατρέπεται και στις δυο κατευθύνσεις με την αλλαγή γωνίας των πτερυγίων. Η δομή στηρίζεται σε τρίποδο, το οποίο δίνει ελάχιστο ίχνος στο βυθό και στερεώνεται λόγω βαρύτητας και πρόσθετων βαριδιών. Μία τουρμπίνα H5 1000 τοποθετήθηκε στο νησί Eday το 2011 για δόκιμη και πιστοποίηση.

Η εγκατάσταση προετοιμάζεται σε συνεργασία με τη Scottish Power Renewables που έχει αναλάβει και την εκτίμηση της περιβαλλοντικής επίδρασης στην περιοχή. Η συνεργασία με την SPR θα συνεχιστεί στο προ-εμπορικό μοντέλο εγκατάστασης στο Sound of Islay. Η εκτίμηση της περιβαλλοντικής επίδρασης δεν έχει δείξει κάποια σημαντική επιβάρυνση στη θαλασσιά ζωή, τα θαλασσοπούλια και στη μέτρηση θορύβου.



Εικόνα 3.3: Εγκατεστημένες συσκευές Hammerfest στο βυθό της θάλασσας.

Verdant

Πρόκειται για μια τουρμπίνα οριζοντίου άξονα με τρία πτερύγια. Καθώς είναι υποβρύχιο σύστημα δεν έχει καμία οπτική όχληση. Η 4η γένια Gen4 παρήγαγε 70 Mwh στο δίκτυο του East River στην Νέα Υόρκη. Η Gen5 έχει προγραμματιστεί για εγκατάσταση στο πρόγραμμα παλιρροιακής παράγωγης ενέργειας στον East River (RITE project) το οποίο ξεκίνησε το 2002.



Εικόνα 3.4: Τουρμπίνα Verdant οριζοντίου άξονα.

Το εξής πρόγραμμα, σε τρεις φάσεις, θα εξετάσει, θα επιδείξει και θα παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

- Πρώτη φάση (2002-06) έλεγχος του πρωτότυπου.

- Δεύτερη φάση (2006-08) επίδειξη.
- Τρίτη φάση (2008-12) επέκταση εγκατάστασης.

Η Verdant το 2008 ολοκλήρωσε με επιτυχία τη δεύτερη φάση η οποία ξεκίνησε το 2006 με την εγκατάσταση της πρώτη πλήρους κλίμακας τουρμπίνα διαμέτρου 5 μέτρων. Σε αυτά τα δυο χρόνια, έξι- πλήρους μεγέθους- τουρμπίνες λειτούργησαν στο RITE project καταδεικνύοντας ότι το σύστημα είναι μια αποδοτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας με τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Άριστη υδροδυναμική, μηχανική και ηλεκτρική απόδοση.
- Συνδεδεμένη ενέργεια στο δίκτυο χωρίς προβλήματα στην ποιότητα.
- Αμφίδρομη λειτουργία – υψηλή απόδοση και στην άμπωτη και στην παλίρροια.
- Καμία ρύπανση.
- 70 Mwh ενέργειας.
- 3000 ώρες λειτουργίας.

Οι προετοιμασίες για την 3η φάση επέκτασης της εγκατάστασης είναι εν εξελίξει αφού η Verdant πρέπει να κάνει υποβολή αίτησης για μια πιλοτική άδεια στην Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Ενεργειακή Επιτροπή (FERC). Η Verdant θα εγκαταστήσει 30 τουρμπίνες Gen5 και θα εκμεταλλευτεί εμπορικά την παράγωγη ενέργειας. Η άδεια δόθηκε στις αρχές Μαΐου του 2011 και αφού γίνει η επέκταση μέσα στο 2012 θα παράγει 2,4 Gwh τον χρόνο. Η FERC έδωσε την άδεια καθώς βασίστηκε στην ανάλυση πλήθους δεδομένων περιβαλλοντικών ελέγχων.

Στην 2η φάση, η Verdant συνέλεξε περιβαλλοντικά δεδομένα θαλάσσιας ζωής και έκανε ανάλυση της βιοποικιλότητας που δεν δείχνουν καμία ένδειξη τραυματισμού ή θνησιμότητα ψαριών τα οποία μάλιστα απέφευγαν τις ζώνες επίδρασης των τουρμπίνων. Τα δεδομένα επίσης έδειξαν ότι δεν υπήρξε καμία παράξενη συμπεριφορά πουλιών. Αυτές οι προσπάθειες περιλαμβάνουν υποβρύχιους υδροακουστικούς αισθητήρες που ελέγχουν την υποβρύχια δραστηριότητα στο πεδίο της τουρμπίνας. Επίσης, σε ειδικό σκάφος υπήρχε εγκατάσταση που έδειχνε σε οθόνες την υποβρύχια κίνηση των ψαριών στην περιοχή της εγκατάστασης.

Στην 3η φάση, η Verdant θα συνεχίσει τις δραστηριότητες έλεγχου προκειμένου να αναλυθούν οποιεσδήποτε επιδράσεις από μια μεγαλύτερη εγκατάσταση. Όταν θα ολοκληρωθεί θα είναι η πρώτη εγκατάσταση του είδους παγκοσμίως συνδεδεμένη στο δίκτυο.

Tidal stream



Εικόνα 3.5: Η συσκευή Triton 3 κατάλληλη για βάθος μεταξύ 35 – 55 μέτρα.

Πρόκειται για μια κατασκευή που έχει τουρμπίνες τοποθετημένες σε ημικαταδυόμενους σημαντήρες που είναι αγκυροβολημένοι στο βυθό μέσω άκαμπτου κινητού άξονα. Αυτή η πλατφόρμα μπορεί να ρυμουλκηθεί στην εκάστοτε περιοχή και να μπει σε χρήση μετά από ερμητισμό. Με αφερματισμό, το σύστημα ανεβαίνει στην επιφάνεια όταν απαιτείται συντήρηση ή επισκευή. Η συσκευή Triton 3 είναι η πρώτη σε κανονική κλίμακα με 3 ρότορες διαμέτρου 20 μέτρων και απόδοσης 3MW σε βάθος 30 – 50 μετρά.

Ήδη έχει τοποθετηθεί μια συσκευή σε κλίμακα 1:10 στον πόταμο Τάμεση του Λονδίνου. Οι δόκιμες κατέδειξαν την σταθερότητα της λειτουργίας κάτω από αντίξοες συνθήκες και έδειξαν ότι η παράγωγή ενέργειας δεν επηρεάζεται από την τοποθέτηση πολλών τουρμπίνων στην ροή του ρεύματος. Επίσης, κατέδειξαν τις ευκολίες που μπορεί να παρέχει η αλλαγή έρματος στην πρόσβαση, συντήρηση ή την απεγκατάσταση του συστήματος. Οι τουρμπίνες είναι οριζοντίου άξονα αλλά μπορεί να είναι διαφόρων τύπων πχ με περίβλημα ή χωρίς όπως και με κιβώτιο ή απευθείας μετάδοσης.

Επίσης, η σύνδεση με το βυθό είναι πολύ σημαντική καθώς πρέπει να αντέχει εκατοντάδες τόνους από την πλευρική έλξη όταν λειτουργούν οι τουρμπίνες όπως και τις καταπονήσεις από τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Ανάλογα με τη μορφολογία του βυθού, το βάθος, τα ρεύματα υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές:



Εικόνα 3.6: Βάσεις στήριξης μόνο με τη βοήθεια της βαρύτητας, καρφωμένο πλαίσιο και με μονό πάσσαλο.

Οι δόκιμες ήταν το βασικό στοιχείο του προγράμματος ώστε να κατασκευαστεί και να αναπτυχτεί σε πλήρη κλίμακα μια πλατφόρμα Triton 3 ως τμήμα της γενικής πορείας εμπορευματοποίησης. Από το 2009, σε μια πειραματική εγκατάσταση στη Βρέση της Γαλλίας, δοκιμάζεται μια συσκευή Triton 6. Η πλατφόρμα έχει αποδειχθεί σταθερή στους τρόπους λειτουργίας και συντήρησης κάτω από αντίξοες συνθήκες. Οι εργασίες σύνδεσης κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης κάτω από δυσμενείς συνθήκες έδωσαν εμπιστοσύνη ότι θα μπορούσε να επιτευχτεί σε πλατφόρμα πλήρους κλίμακας.

Triton 6 εγκατάσταση

Το προτέρημα της πλατφόρμας Triton 6 είναι ότι μπορεί να επιπλεύσει και έτσι περά από ένα μικρό ρυμουλκό δεν χρειάζονται ούτε γερανοί, ούτε πλωτές εξέδρες ούτε δύτες για να εγκατασταθεί. Η βάση στήριξης με τα ηλεκτρικά καλώδια και σύρμα οδηγό έχει προεγκατασταθεί και μια σημαδούρα είναι αρκετή για να βρεθεί το σημείο.

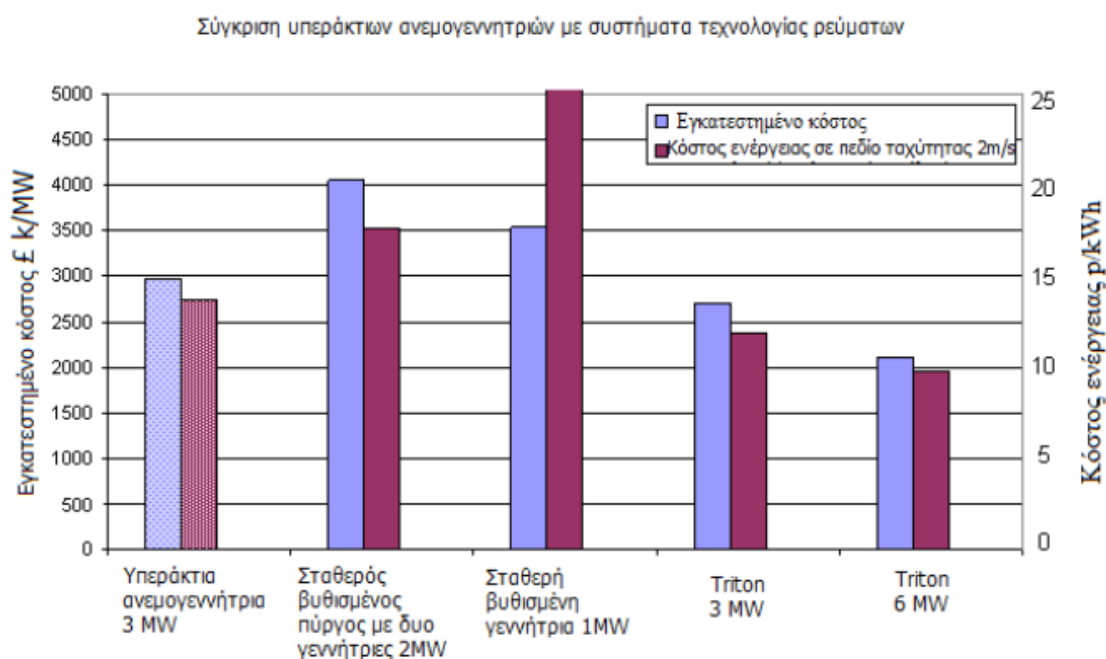


Εικόνα3.7: Μικρό ρυμουλκό μεταφέρει τη συσκευή Triton 6 στην καθορισμένη θέση.

Οικονομικά στοιχεία

Στο παρακάτω διάγραμμα γίνεται μια οικονομική σύγκριση ανάμεσα σε:

- υπεράκτιες ανεμογεννήτριες
- σταθερό υποθαλάσσιο πύργο με δυο τουρμπίνες
- σταθερή βυθισμένη γεννήτρια στερεωμένη στον βυθό
- πλατφόρμα Triton 3
- πλατφόρμα Triton 6



Εικόνα 3.8: Σύγκριση τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Υπεράκτια ανεμογεννήτρια 3MW

Η υπεράκτια ανεμογεννήτρια έχει κόστος εγκατάστασης λίγο πάνω από £ 3M ανά MW. Για τις νέου τύπου ανεμογεννήτριες που τοποθετούνται σε ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις από την ακτή και άρα σε μεγαλύτερο βάθος, το κόστος ανεβαίνει στα £ 4M ανά MW. Σε μια καλή περιοχή δυναμικού το κόστος ενέργειας είναι μεταξύ 13-14p/kWh.

Σταθερός βυθισμένος πύργος με δυο γεννήτριες 2MW

Ο υποθαλάσσιος πύργος με 2 γεννήτριες έχει εξίσου μεγάλο κόστος εγκατάστασης όπως οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες. Είναι κατάλληλες για πιο ρηχά νερά. Επίσης έχουν καλή προσβασιμότητα και χαμηλό κόστος συντήρησης ενώ το κόστος ενέργειας είναι 17-18p/kWh.

Σταθερή βυθισμένη γεννήτρια 1MW

Οι μόνες γεννήτριες έχουν χαμηλό κόστος εγκατάστασης περίπου £ 3,5m/MW. Έχουν το μειονέκτημα ότι και για την μικρότερη συντήρηση πρέπει να επιστραφεί στη βάση. Αυτό ανεβάζει το κόστος συντήρησης και έχει τιμή ενέργειας περίπου 25p/kWh.

3 MW Triton 3

Η πλατφόρμα Triton 3 με τρεις τουρμπίνες χρησιμοποιεί ένα καλώδιο σύνδεσης όταν τρεις ξεχωριστές σταθερές βυθισμένες γεννήτριες θα χρειάζονταν 3 ξεχωριστά καλώδια ή ειδικό σύστημα σύνδεσης. Επίσης, το γεγονός ότι επιπλέει μέχρι τον τόπο εγκατάστασης δίνει τεράστιο πλεονέκτημα στον περιορισμό του κόστους εγκατάστασης το οποίο κυμαίνεται μεταξύ £ 2,6 με 2,7M/MW. Τέλος, η εύκολη πρόσβαση περιορίζει και το κόστος συντήρησης και έτσι το κόστος ενέργειας περιορίζεται στα 13p/kWh.

6 MW Triton 6

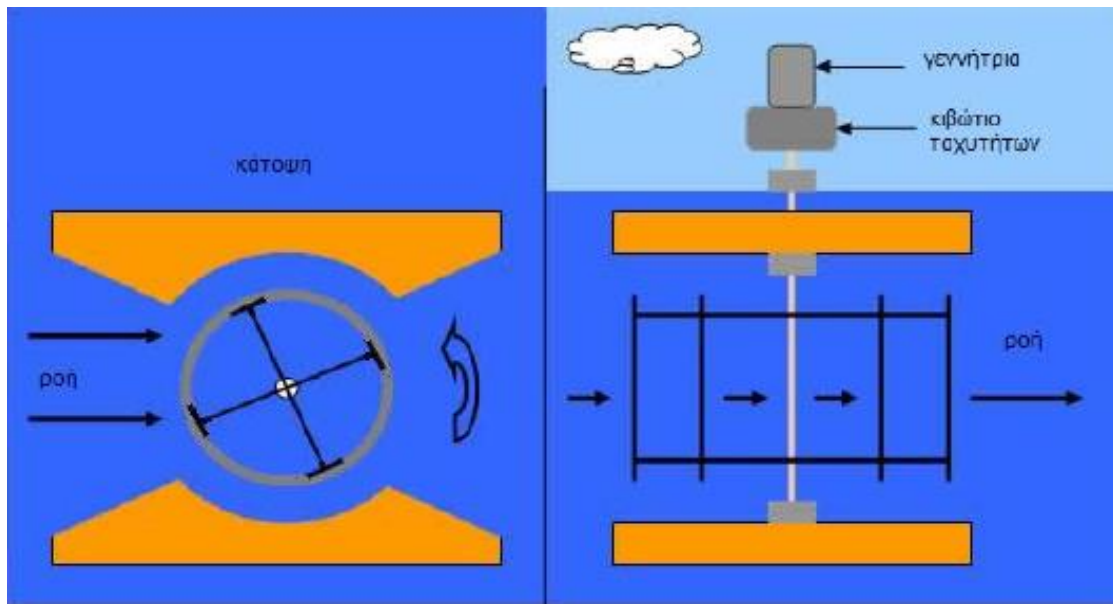
Με την πλατφόρμα Triton 6 τα κόστη περιορίζονται ακόμα περισσότερο, λίγο πάνω από £ 2M/MW, ενώ το κόστος ενεργείας κυμαίνεται στα 10p/kWh.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Σε λειτουργία, οι τουρμπίνες είναι αθόρυβες και ελάχιστα διακριτές. Επειδή γυρίζουν πολύ αργά, με ταχύτητα, 12m/s δεν δημιουργούν προβλήματα στη θαλασσιά πανίδα.

3.2 Τουρμπίνες καθέτου άξονα

Στις τουρμπίνες καθέτου άξονα υπάρχουν πολλές διατάξεις είτε με ρυθμιζόμενα πτερύγια είτε με διαμορφωμένο περίβλημα για να κατευθύνουν ή να περιορίσουν την ροή. Οποιοδήποτε τύπου πλεονεκτούν καθώς λειτουργούν καλά με ροή ρευστών από οποιαδήποτε κατεύθυνση και αναλόγως της μορφής τους μπορεί να έχουν μεγαλύτερη διατομή από τις τουρμπίνες οριζοντίου άξονα ειδικά όταν τοποθετούνται σε ρηγά νερά.



Εικόνα 3.9: Τουρμπίνα κάθετου άξονα με περίβλημα.

Εφαρμογές

Gorlov

Η τουρμπίνα Gorlov είναι μια τουρμπίνα κάθετου άξονα που χρησιμοποιεί ελικοειδή πτερύγια. Το ελικοειδές σχήμα μειώνει τις δονήσεις που εμφανίζονται στις τουρμπίνες κάθετου άξονα και επιτρέπει στον στρόβιλο να δεσμεύσει 35% της ενέργειας του νερού που τον διατρέχει. Περιστρέφεται στην διπλασία ταχύτητα της ροής του νερού και μπορεί να ξεκινήσει την περιστροφή σε πολύ μικρές ταχύτητες ροής νερού της τάξης των 0,6 m/s. Περιστρέφεται στην ίδια κατεύθυνση ανεξάρτητα από την κατεύθυνση ροής του νερού και δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις στη ροπή. Δεν δημιουργείται σπηλαιώση ακόμα και σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής.

Η πρώτη δόκιμη της ελικοειδούς τουρμπίνας Gorlov έγινε στα παλιρροιακά ρεύματα του Cape Cod στην Μασαχουσέτη από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο του 1996. Τα ρεύματα στο κανάλι είναι παλιρροιακά ρεύματα που αντιστρέφουν την ροή 4 φορές ημερησίως. Η μέγιστη ταχύτητα ροής στην περιοχή δοκιμής μετρήθηκε σε 1,7 m/s. Κατά την διάρκεια της δοκιμής οι 4 στρόβιλοι δεν σταμάτησαν να λειτουργούν και να παράγουν ενέργεια με μέγιστη απόδοση 35% σε ρεύμα ταχύτητας 1,5 m/s. Το 2002 η Δημοκρατία της Κορέας ξεκίνησε δόκιμες μιας τουρμπίνας Gorlov στα δυνατά ρεύματα του στενού Uldolmok.

Τα επιτυχή αποτελέσματα έχουν οδηγήσει σε νέα φάση το πρόγραμμα στο οποίο μια μονάδα θα παράγει 1MW για τις ανάγκες κοντινού νησιού. Αν αυτό το πρόγραμμα πάει καλά, η κυβέρνηση της Κορέας σχεδιάζει να εγκαταστήσει έναν μεγάλο αριθμό στρόβιλων Gorlov στο στενο Uldolmok ώστε να παράγει 3,6 GW, ποσό ενέργειας που παράγουν 4 εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας.



Εικόνα 3.10: Ελικοειδής τουρμπίνα Gorlov.

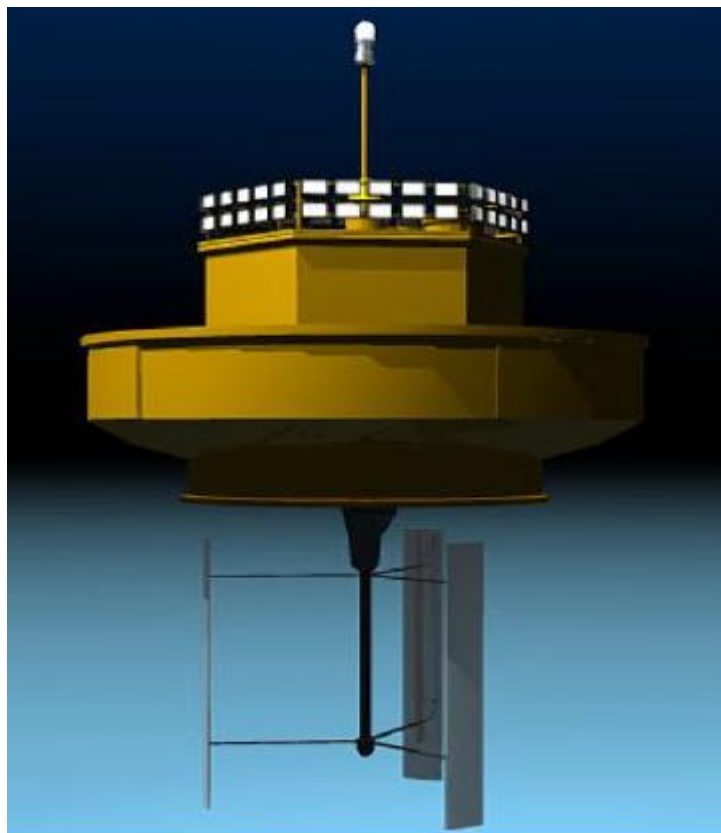
Kobold

Πρόκειται για τουρμπίνα κάθετου άξονα κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που μετατρέπει την κινητική ενέργεια των θαλασσιών ρευμάτων σε μηχανική ενέργεια με υψηλή απόδοση. Περιστρέφεται ανεξάρτητα από την κατεύθυνση του ρεύματος ενώ αναπτύσσει μεγάλη ροπή η οποία ξεκάνει να περιστρέφει τον στρόβιλο ακόμα και υπό έντονες συνθήκες χωρίς ανάγκη δευτερεύουσας βοήθειας. Διαθέτει 3 πτερύγια, έχει διάμετρο 6m και παράγει 25KW από ρεύματα ταχύτητας 2m/s. Ένας ανορθωτής μετατροπέας χρησιμοποιείται για να παρέχει σταθερή ηλεκτρική ισχύ. Το όλο σύστημα, τουρμπίνα – σύστημα ισχύος, έχει ενισχυθεί από ένα πλήρως αυτόματο σύστημα έλεγχου.

Στην παρούσα κατάσταση, το σύστημα έχει βαθμό απόδοσης περίπου 23% τιμή η οποία είναι συγκρίσιμη αν όχι μεγαλύτερη από τις τιμές απόδοσης των ανεμογεννητριών οι οποίες είναι σε ανάπτυξη πάνω από 30 χρόνια. Αυτά τα αποτελέσματα είναι εξαιρετικά ενθαρρυντικά για να κάνουν περαιτέρω και πιο λεπτομερή ερευνά. Δόκιμες είναι σε εξέλιξη για να βελτιωθούν τα εξαρτήματα της μηχανικής μετάδοσης και τη σύνδεσης στις ηλεκτρικές γεννήτριες. Κρίνοντας από τα αποτελέσματα στο τέλος της προγραμματισμένης διαδικασίας, η απόδοση θα είναι ακόμα υψηλότερη. Επίσης μια μελέτη έχει γίνει για να συνδέσει την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να ληφθέν σε ένα έτος στο μέρος που έχει εγκατασταθεί η τουρμπίνα, στο στενό της Messina. Τα

αποτελέσματα δείχνουν ότι περίπου 22MWh μπορούν να εξαχθούν κάθε χρόνο. Στην περιοχή, εξετάζοντας τα ρεύματα, η συνολική απομαστευσιμη ενέργεια ανέρχεται στα 538GWh.

Με αυτό τον τρόπο, η εταιρία έχει αναπτύξει την τεχνογνωσία που απαιτείται ώστε να εκμεταλλευτεί την ενέργεια που παράγεται από τα θαλάσσια ρεύματα χάρη βεβαία και στην συνεργασία με διαφόρους Ευρωπαίους συνεργάτες. Επίσης έχουν γίνει μελέτες για να προσδιοριστούν άλλες περιοχές στην Ευρώπη κατάλληλες για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα. Τέλος, σε συνεργασία με το Ίδρυμα Ενεργειακής Μετατροπής της Κινέζικης Ακαδημίας Επιστήμων βρίσκονται σε εξέλιξη μελέτες σχετικά με την εφαρμογή του συστήματος στο στενό Jintang στη Λαϊκή Δημοκρατία της Κινάς.



Εικόνα 3.11: Η τουρμπίνα κάθετου άξονα Kobold.

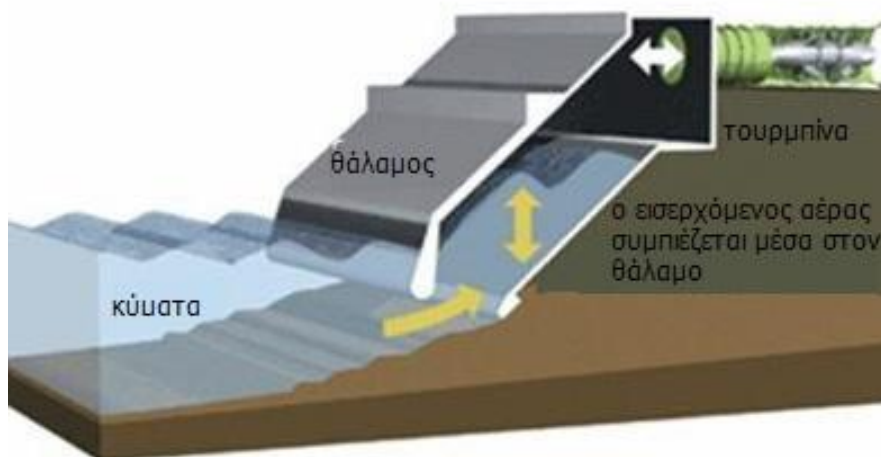
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Η κυματική ενέργεια έχει το προτέρημα ότι είναι περισσότερο εκμεταλλεύσιμη καθώς ενέργεια μπορεί να παραχθεί είτε στην ακτή είτε στην ανοιχτή θάλασσα σε αντίθεση με τις τεχνικές παλίρροιας που απαιτούν συγκεκριμένες τοποθεσίες. Έχει αναπτυχθεί πλήθος τεχνολογιών και μεθόδων για την “εξαγωγή” της κυματικής ενέργειας. Οι διάφορες συσκευές όχι μόνο υιοθετούν διαφορετικές τεχνικές για να δεσμεύσουν την κυματική ενέργεια αλλά υιοθετούν και διαφορετικές τεχνικές μετατροπής της σε ηλεκτρισμό. Κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Τεχνολογίες ταλαντευόμενης στήλης ύδατος
- Τεχνολογίες υπέρβασης
- Τεχνολογίες κατακόρυφης ταλάντωσης
- Τεχνολογίες αρθρώσεων
- Τεχνολογίες οριζόντιας κίνησης

4.1 Τεχνολογίες ταλαντευόμενης στήλης ύδατος

Η βασική μορφή μιας τέτοιας τεχνολογίας είναι ένας σχεδόν κλειστός θάλαμος, ανοιχτός προς την πλευρά του θαλάσσιου πυθμένα και ανοιχτός στο πάνω μέρος μέσω ενός ή περισσότερων αεροστρόβιλων. Τα κύματα προσκρούουν στην κατασκευή, το επίπεδο του νερού μέσα στον θάλαμο ανεβαίνει και πέφτει προκαλώντας ρυθμική συμπίεση και αποσυμπίεση του αέρα μέσα στον θάλαμο ο οποίος θέτει σε κίνηση τον αεροστρόβιλο.



Εικόνα 4.1: Παράδειγμα διάταξης ταλαντευόμενης στήλης ύδατος.

Εφαρμογές

Limpet

Το 1998, το Queen's University Belfast σε συνεργασία με τις εταιρίες Wavegen Ireland Ltd, Charles Brand Ltd, Kirk McClure Morton και τη I.S.T. Portugal ανέλαβαν να κατασκευάσουν και να δοκιμάσουν μια παράκτια εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων. Το σύστημα αυτό που είναι γνωστό ως LIMPET (Last Installed Marine Power Energy Transmitter), εγκαταστάθηκε στη νήσο του Islay, έξω από τα δυτικά παράλια της Σκωτίας και η έναρξη της λειτουργίας του πραγματοποιήθηκε τον Νοέμβριο του 2000. Έκτοτε η εγκατάσταση λειτουργεί και ελέγχεται εξ αποστάσεως, ενώ τροφοδοτεί το δίκτυο του Ηνωμένου Βασιλείου με ηλεκτρική ενέργεια. Η μέχρι σήμερα επιτυχημένη λειτουργία, χωρίς επίβλεψη της εγκατάστασης LIMPET, απέδειξε τις δυνατότητες συνεισφοράς της κυματικής ενέργειας ακτογραμμής στα εθνικά αποθέματα ενέργειας.

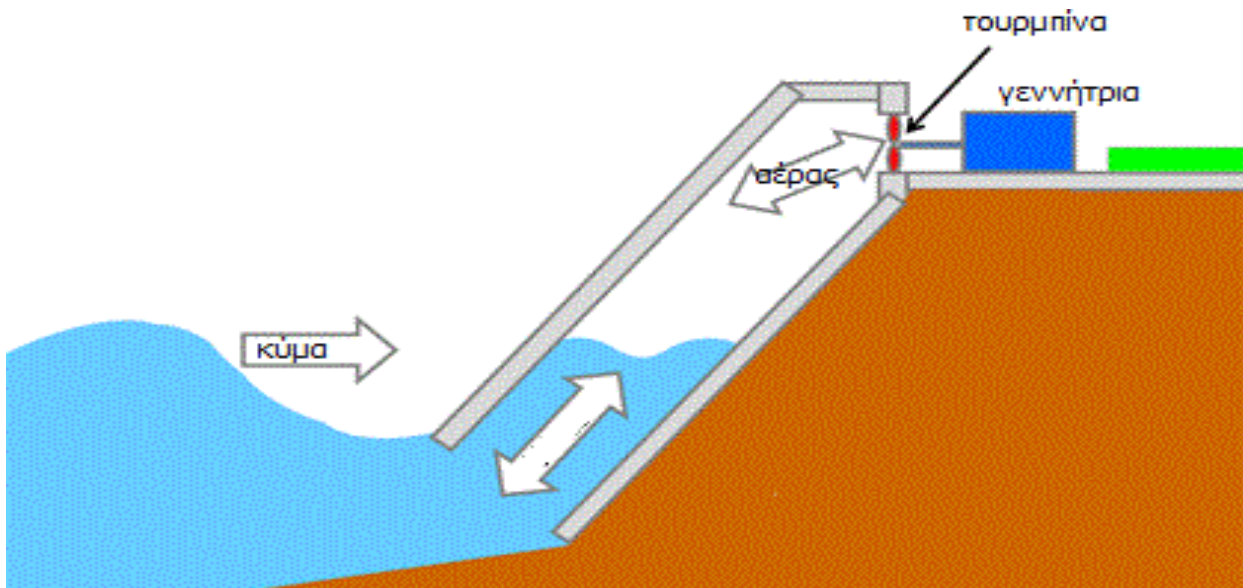
Εικόνα 4.2: Η ολοκληρωμένη εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας LIMPET.



Η συσκευή χρησιμοποιεί τρεις στήλες ύδατος που ταλαντώνονται μέσα σε θαλάμους από μπετόν με εσωτερικές διαστάσεις 6 μέτρα επί 6 μέτρα και σε κλίση 40° ως προς την οριζόντιο δίνοντας μια συνολική περιοχή επιφάνειας ύδατος 169m². Το επάνω τμήμα των θαλάμων είναι εσωτερικά συνδεδεμένο και η μετατροπή της ενέργειας πραγματοποιείται από μία μόνο στρόβιλο-γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη στον μεσαίο αγωγό.

Οι στήλες ύδατος έχουν εξωτερικό πλάτος 21 μέτρων και βρίσκονται 17 μέτρα εσωτερικά της φυσικής ακτογραμμής σε μια προκατασκευασμένη κοιλότητα με βάθος 6 μέτρα. Οι πλευρές της κοιλότητας είναι ουσιαστικά παράλληλες και κάθετες ως προς την επιφάνεια της θάλασσας. Στην

εγκατάσταση αυτή η κατακόρυφη παλινδρομική κίνηση των κυμάτων χρησιμοποιείται ως έμβολο που πιέζει τον αέρα ενός θαλάμου, η ροή του οποίου περιστρέφει ένα στρόβιλο.



Εικόνα 4.3: Αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας ταλαντευόμενης στήλης ύδατος.

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει ένα στρόβιλο Wells αντίστροφης περιστροφής, κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα με διάμετρο της περρωτής του 2,6 μέτρα. Κάθε επίπεδη επιφάνεια με πτερύγια του στροβίλου Wells είναι ενσωματωμένη απευθείας στον άξονα μιας τροποποιημένης επαγωγικής γεννήτριας των 250kW, δίνοντας έτσι συνολική εγκατεστημένη ισχύ 500kW. Η έξοδος των γεννητριών εξομαλύνεται και αντιστρέφεται πριν από τη σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο και αυτό επιτρέπει τη μεταβολή της ταχύτητας λειτουργίας από 700 έως 1500 r.p.m.

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης LIMPET ελέγχονται από ειδικό λογισμικό και μπορούν να μεταβληθούν. Ο θόρυβος που παράγεται από την ροή του αέρα διαμέσου των στροβίλων μειώνεται σε ένα ειδικό ακουστικό θάλαμο πριν απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα. Το σύστημα συλλογής πληροφοριών παρακολουθεί όλες τις βασικές λειτουργικές παραμέτρους καθ' όλη τη διαδικασία μετατροπής της ενέργειας.

Επίσης για μια περιορισμένη περίοδο παρακολουθήθηκε και η ενέργεια των προσπιπτόντων θαλάσσιων κυμάτων, χρησιμοποιώντας διατάξεις μετατροπής πίεσης του βυθού. Ακόμα παρακολουθήθηκαν τα φορτία των κυμάτων στους εμπρός και πίσω τοίχους της εγκατάστασης και μετρήθηκαν οι κινήσεις των στηλών ύδατος χρησιμοποιώντας διατάξεις μετατροπής της πίεσης καθώς και ηχητικές διατάξεις μετατροπής.

Ενώ όλες οι τεχνολογίες ηλεκτρικής παραγωγής έχουν μια περιβαλλοντική επίδραση, αναγνωρίζεται ότι η ενέργεια από τεχνολογίες ακτογραμμής είναι μεταξύ των πιο φιλικών προς το

περιβάλλον. Λόγω της τοποθέτησής τους, οι παραγωγικές εγκαταστάσεις έχουν μία χαμηλή οπτική όχληση και ελάχιστη επίδραση στην τοπική χλωρίδα και πανίδα.

Pico plant

Η έρευνα της κυματικής ενέργειας στην Πορτογαλία ξεκίνησε το 1978 σε Εθνικά Ιδρύματα σε συνεργασία με το Υπουργείο Βιομηχανίας και Ενέργειας. Το 1991, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (πρόγραμμα Joule) άρχισε έρευνες για να υποδείξει κατάλληλο μέρος για τεχνολογία ακτογραμμής στις Ευρωπαϊκές ακτές. Ένα από τα μέρη που επιλέχθηκαν ήταν στο Porto Cachorro στο νησί Pico στις Αζόρες. Το 1993 και το 1995, υπογράφηκαν τα συμβόλαια με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για τις μελέτες, τον σχεδιασμό και την κατασκευή του έργου. Το δυναμικό των 13,4KW/m και η εύκολη πρόσβαση από ξηράς ήταν καταλυτικοί παράγοντες για να επιδεχθεί το σημείο.

Πρόκειται για τεχνολογία ακτογραμμής ταλαντευόμενης στήλης ύδατος 400KW στο νησί Pico στις Αζόρες. Ο θάλαμος έχει διαστάσεις 12m x 12m και χτίστηκε σε βραχώδες έδαφος υδατικού βάθους 8m. Μετά από μελέτες και δόκιμες σε μοντέλα κλίμακας σε δεξαμενές η βέλτιστη τιμή του συντελεστή απόσβεσης υπολογίστηκε στα 120Pa στον μέγιστο αριθμό στροφών (1500rpm). Η τιμή των 525KW παραγωγής στον άξονα της τουρμπίνας είναι αποδεκτή τιμή βάση της παραχθείσας ενέργειας (124KW ετήσιο μέσο ορό) του μεγέθους τουρμπίνας – γεννήτριας και κόστους.

Τελικά κατέληξαν και χρησιμοποίησαν μια τουρμπίνα Wells οριζοντίου άξονα με 8 πτερύγια και διάμετρο 2,3m. Η επαγωγική γεννήτρια τυλιγμένου δρομέα λειτουργεί σε ευρύ φάσμα στροφών. Η εγκατάσταση είναι πλήρως αυτοματοποιημένη προκειμένου να διανέμει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο του νησιού σε μόνιμη βάση.



Εικόνα 4.4: Η μονάδα στο νησί Pico στις Αζόρες.

Δύο διαφορετικές βαλβίδες τοποθετήθηκαν για να σταματούν τη ροή του αέρα στον στρόβιλο. Μια βαλβίδα ταχείας δράσης κοντά στον στρόβιλο που ελέγχεται από PLC της εγκατάστασης και ελέγχει το ξεκίνημα και την παύση της τουρμπίνας ή σε έκτακτες καταστάσεις. Επίσης, μια δεύτερη βαλβίδα βρίσκεται στο τέλος του αγωγού, εκεί που συνδέεται η τουρμπίνα με τον θάλαμο, που απομονώνει το σύστημα αγωγών – τουρμπίνας σε περίπτωση που η εγκατάσταση πρέπει να κλείσει για μεγάλο περίοδο (επισκευή – συντήρηση) ή σε θυελλώδεις καταστάσεις. Επίσης, η περιβαλλοντική μελέτη που έγινε δεν έδειξε κάποια ανησυχητικά αποτελέσματα ωστόσο έγιναν υποδείξεις ώστε να μειωθούν στο ελάχιστο οι όποιες επιπτώσεις.

Συμπερασματικά, πρόκειται για δοκιμαστική μονάδα, σε πλήρη κλίμακα, που δεν κατασκευάστηκε ως εμπορική μονάδα που θα παράγει σε μόνιμη βάση μέρος της ενέργειας που απαιτείται από το νησί. Επιτόπου κατασκευή που περιλαμβάνει εκτενείς υποβρύχιες εργασίες (θραύση πετρωμάτων, σκυροδέτηση) πρέπει να αποφευχθεί ή να ελαχιστοποιηθεί αν ο κατασκευαστής δεν είναι πεπειραμένος. Πάνω από το συνολικό κόστος της εγκατάστασης Pico αφορούσαν έργα πολιτικού μηχανικού. Η πρώτη δόκιμη έγινε το 2005 και αποκάλυψε σοβαρούς τεχνικούς περιορισμούς της αρχικής δομής τουρμπίνας – γεννήτριας που όμως δεν ήταν δυνατό να επιλυθούν με τη διαθέσιμη χρηματοδότηση.

Ωστόσο, η αρμόδια ομάδα επέμεινε στη συντήρηση και τη συνεχή βελτίωση της εγκατάστασης, αύξησε τις ώρες λειτουργίας, την παράγωγη και τη διαθεσιμότητα την περίοδο από το 2006 έως το 2008. Σημαντικές βελτιώσεις έγιναν το 2009 όσον αφορά τις δονήσεις του συστήματος τουρμπίνας

– γεννήτριας που εμπόδιζαν την καλύτερη λειτουργία της εγκατάστασης. Το 2010, προστέθηκε ένα δευτερεύον κύκλωμα ασφάλειας με αποτέλεσμα την ακόμα πιο αξιόπιστη λειτουργία του αυτοματοποιημένου συστήματος. Υπήρξαν ελάχιστες τεχνικές δυσκολίες που καθυστέρησαν την πλήρη λειτουργία της μονάδας αλλά μετά από τις επιτυχημένες δοκιμές με την αυτόνομη λειτουργία, από τον Σεπτέμβρη ως τον Δεκάμερο του 2010, η συνολική παράγωγή ήταν 45MWh σε 1450 ώρες λειτουργίας.

Το 2011, η αρμόδια ομάδα κάνει την προετοιμασία ώστε να κατασκευαστεί δεύτερη πλατφόρμα για τη διεξαγωγή δοκιμών σε στροβίλους. Στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού σχεδίου MARINET, η μονάδα στο νησί Pico περιελήφθη ως μια από τις σημαντικότερες υποδομές για την εκμετάλλευση της ενέργειας από τα κύματα, για δόκιμες, για την αύξηση αποδοτικότητας καθώς και για την προβολή τέτοιων τεχνολογιών, διεθνώς. Βεβαία ειδικές εκτιμήσεις δείχνουν ότι πρέπει να γίνουν επενδύσεις της τάξης των 1,5 – 2 εκατομμυρίων € ώστε η μονάδα στο νησί Pico να γίνει πιο αποδοτική και αξιόπιστη.

WECA

Το WECA (Wave Energy Conversion Activator) πρόκειται για μια ελληνική καινοτομία τεχνολογίας ακτογραμμής που κατασκεύασε η εταιρία DAEDALUS Informatics Ltd. Η βασική αρχή λειτουργίας του μετατροπέα της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων, βασίζεται στην συμπίεση του εγκλωβισμένου αέρα που προκαλεί το θαλάσσιο κύμα όταν προσκρούει πάνω στο κοίλωμα της συσκευής. Συγκεκριμένα, ένα είδος ανεστραμμένης κωνοειδούς χοάνης λειτουργεί ως αεροθάλαμος συμπίεσης που χρησιμοποιεί την ορμή του ερχόμενου κύματος (CMW – Critical Momentum Wedge principle). Το αρχικό μοντέλο πλήρους κλίμακας (7m ύψος – 6m πλάτος) κατασκευάζεται από χάλυβα ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε κυματοθραύστες ή άλλες σταθερές επιπέδους κατασκευές.

Με βάση αυτό το μοντέλο, πραγματοποιήθηκαν οι αναγκαίοι θεωρητικοί υπολογισμοί και η εξομοίωση της λειτουργίας του από υπολογιστή. Το υλικό μπορεί να είναι οποιοδήποτε άλλο αρκεί να έχει παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες αντοχής και να μην ανεβάζει ιδιαίτερα το κόστος. Επιπρόσθετα, μελετήθηκαν οι διαφορές εναλλακτικές κατασκευαστικές και μηχανολογικές λύσεις με σκοπό τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού πριν την τελική κατασκευή του πρωτότυπου. Η έξοδος ισχύος του συγκεκριμένου πρωτότυπου αναμένεται να είναι περίπου 20kW.

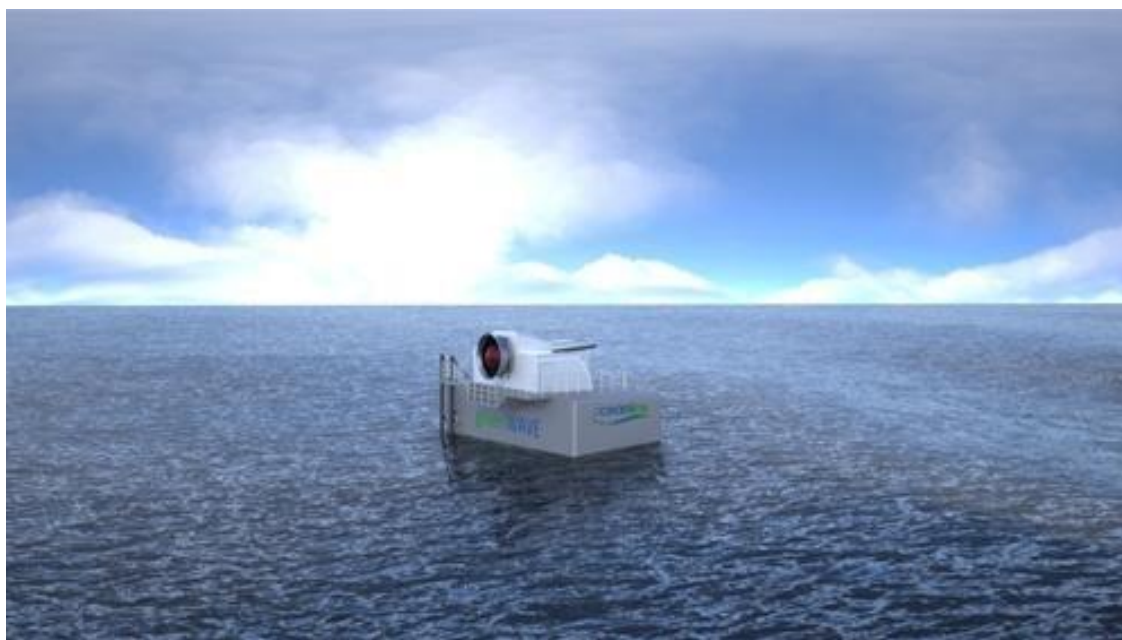


Εικόνα 4.5: Προτεινόμενη εφαρμογή κυματοθραύστη του μετατροπέα κυματικής ενέργειας WECA.

Oceanlinx blueWave – greenWave

Η εταιρία Oceanlinx δραστηριοποιείται στην Αυστραλία από το 1997. Μέχρι σήμερα, μετά από πολλές πειραματικές διατάξεις, έχει να μας παρουσιάσει 2 παράκτιες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία της ταλαντευόμενης στήλης ύδατος. Οι δυο μονάδες είναι παρόμοιες. Η πρώτη είναι για ρηγά νερά (greenWave) ενώ η δεύτερη είναι για μεγαλύτερα βάθη (blueWave). Η συσκευή greenWave τοποθετείται σε νερά βάθους περίπου 10m και αγκυρώνεται στον πυθμένα της θάλασσας. Αν και η κατασκευή μπορεί να είναι από οποιοδήποτε υλικό, γενικά κατασκευάζεται από χάλυβα ή σκυρόδεμα. Το σύστημα ακύρωσης εξαρτάται από τη μορφολογία του πυθμένα.

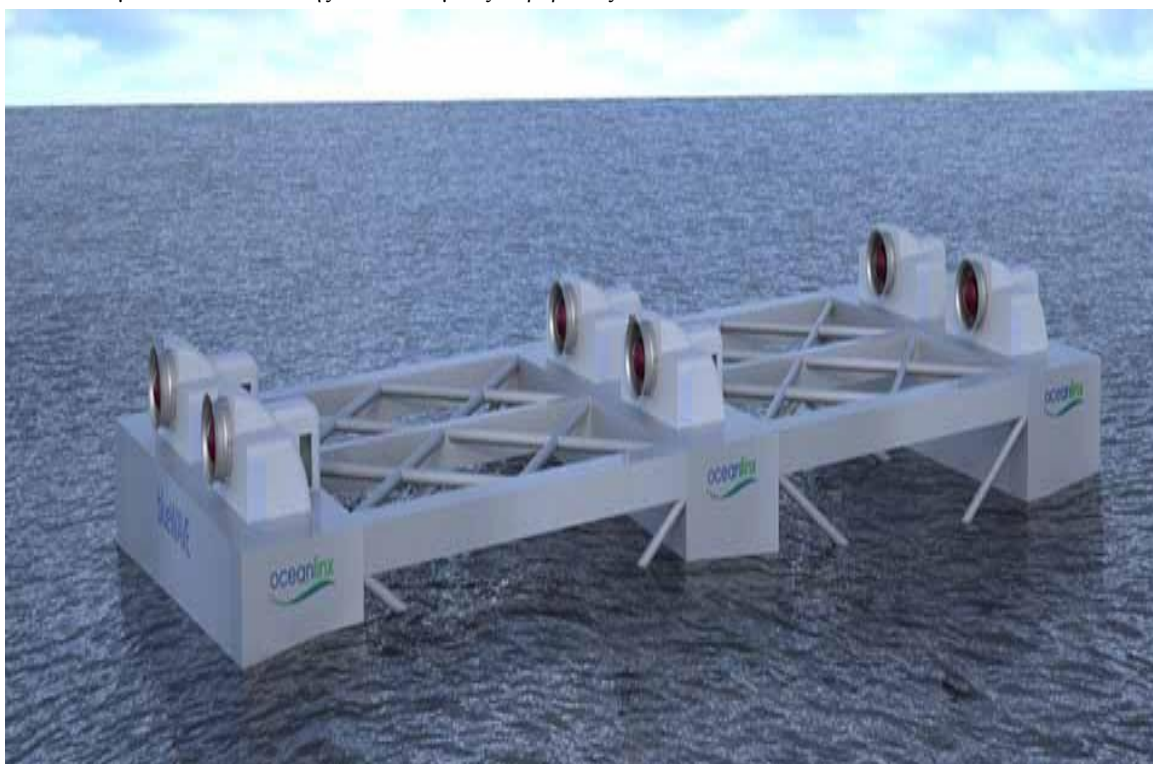
Αρχικά, η συσκευή είναι στεγανή και αυτό την κάνει να επιπλέει. Όταν συρθεί στο σημείο εγκατάστασης αφαιρείται η στεγάνωση και η συσκευή βυθίζεται στη θέση λειτουργίας. Η απόσταση από την ακτή καθορίζεται από την κλίση του πυθμένα. Η συσκευή greenWave κατασκευάζεται από χάλυβα και περιλαμβάνει έναν θάλαμο OWC. Η ηλεκτρική παράγωγή εξαρτάται από το κυματικό δυναμικό της περιοχής. Με καλό δυναμικό, μία μονάδα 20m πλάτους παράγει περίπου 1MW. Η μονάδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφαλάτωση θαλασσινού νερού ή και τα δυο.



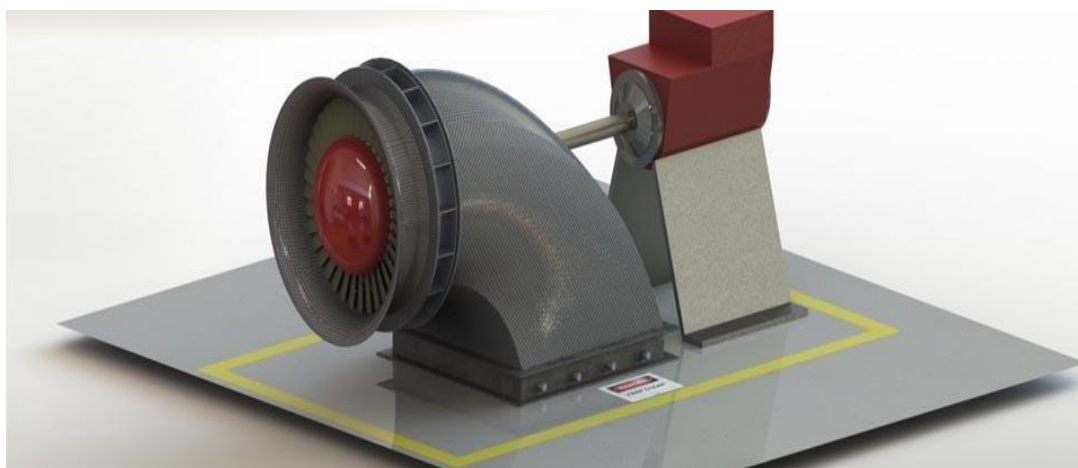
Εικόνα 4.6: Μια μονάδα green Wave της Oceanlinx.

Η μονάδα blueWave έχει κάποιες διαφορές από την greenWave. Οι διαφορές τους είναι ότι η μονάδα blueWave κατασκευάζεται από χάλυβα, έχει συστάδα 6 OWC ενώ τοποθετείται σε βάθη 40 – 80m με αντίστοιχη διαδικασία ακύρωσης. Σε καλό δυναμικό, μία μονάδα blueWave παράγει περίπου 2,5MW.

Εικόνα 4.7: Μια μονάδα blueWave της Oceanlinx με έξι στροβίλους airWAVE.



Και οι δύο μονάδες χρησιμοποιούν στρόβιλο airWAVE ο οποίος είναι εξέλιξη του στρόβιλου Deniss – Auld που χρησιμοποιούνταν στις προηγούμενες πειραματικές διατάξεις. Ο στρόβιλος airWAVE έχει λιγότερα κινούμενα μέρη και καλύτερο βαθμό απόδοσης από τον στρόβιλο Deniss – Auld και άλλες παρεμφερείς τουρμπίνες. Όπως και ο στρόβιλος Deniss – Auld, ο στρόβιλος airWAVE τοποθετείται πάνω από την επιφάνεια του νερού και δεν έχει κινούμενα μέρη μέσα στο νερό.

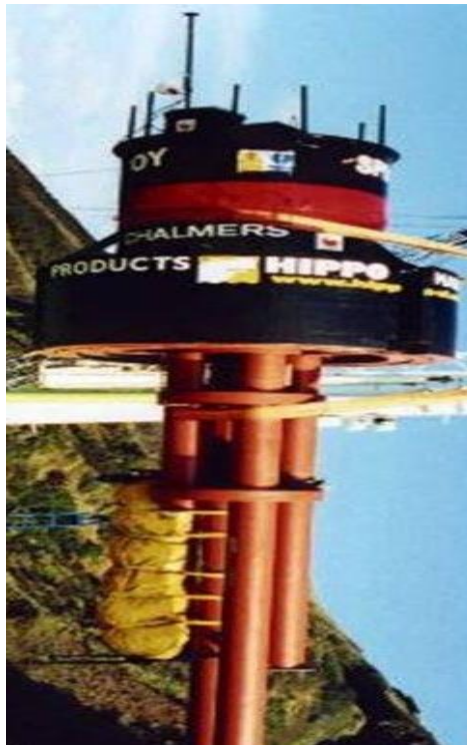


Εικόνα 4.8: Ο πατενταρισμένος στρόβιλος airwave της Oceanlinx.

Sperboy

Το Sperboy αναπτύχθηκε και κατοχυρώθηκε από την Embley Energy. Πρόκειται για έναν πλωτό μετατροπέα υπεράκτιας κυματικής ενέργειας που βασίζεται στην αρχή της ταλαντευόμενης στήλης ύδατος. Ο αέρας που μετατοπίζεται από την ταλάντωση της στήλης του νερού διέρχεται από στρόβιλο-γεννήτριες. Είναι σχεδιασμένο για τοποθέτηση σε μεγάλες σειρές σε απόσταση 13-19 χιλιομέτρων από την ακτή, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα και με ανταγωνιστικό κόστος. Λόγω των ελαχίστων κινούμενων τμημάτων του, που βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, οι απαιτήσεις συντήρησης ελαχιστοποιούνται και η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με ανταγωνιστικά υψηλό βαθμό απόδοσης. Οι τρέχουσες έρευνες και μελέτες της εταιρίας στοχεύουν στην αύξηση της διάρκειας ζωής του πλωτού Sperboy σε περίπου 50 χρόνια και περιλαμβάνουν και διαφορές καινοτόμες ιδέες για την αύξηση του επίπεδου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, η συσκευή παρουσιάζει πολύ καλές προοπτικές για περαιτέρω μείωση του κόστους παραγωγής.

Η απουσία μεγάλων ποσοτήτων από ρυπογόνα προϊόντα, όπως πετρέλαια και λιπαντικά, σε συνδυασμό με τον ελάχιστο αντίκτυπο που έχει το Sperboy στα οικοσυστήματα του βυθού της θάλασσας, το καθιστούν φιλικό προς το περιβάλλον. Το Sperboy ολοκλήρωσε το Marine Energy Challenge, όπου διάφοροι ανεξάρτητοι σύμβουλοι εξέτασαν την απόδοση του ως προς την ικανότητα σύλληψης της κυματικής ενέργειας. Επίσης, πραγματοποίησαν μια λεπτομερή μελέτη για τις κύριες δαπάνες συντήρησης και κατέληξαν στην πρόβλεψή τους για το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η συσκευή είναι τώρα έτοιμη να εκμεταλλευτεί τα πολύ θετικά και ενθαρρυντικά αποτελέσματα αυτής της “πρόκλησης” και το επόμενο στάδιο θα είναι η εγκατάσταση προτύπων Sperboy πλήρους κλίμακας.



Εικόνα 4.9: Η συσκευή Sperboy.

Το Sperboy είναι μια πλωτή συσκευή ταλαντευόμενης στήλης ύδατος (OWC) που αποτελείται από μια πλευστή κατασκευή με έναν κλειστό κυκλικό δακτύλιο κάτω από την επιφάνεια του νερού. Πάνω στην πλευστή κατασκευή βρίσκονται οι στρόβιλοι, οι γεννήτριες και όλα τα σχετικά μηχανικά τμήματα του συστήματος. Η αρχή λειτουργίας είναι παρόμοια με αυτή των σταθερών OWCs, που είναι σχεδιασμένα για σταθερές εγκαταστάσεις στην ακτή. Οι διαφορές έγκεινται στο ότι το Sperboy λειτουργεί σε βαθιά νερά, τα οποία αποτελούν πηγή πολύ μεγαλύτερης ενέργειας και ότι ολόκληρη η συσκευή επιπλέει στην θάλασσα και αλληλεπιδρά με τα θαλάσσια κύματα με τον βέλτιστο υδροδυναμικό τρόπο, συλλαμβάνοντας υψηλό ποσοστό της ενέργειάς τους με ελάχιστο κόστος. Η διαδικασία εγκατάστασης του Sperboy αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

- εγκατάσταση των αγκύρων πρόσδεσης

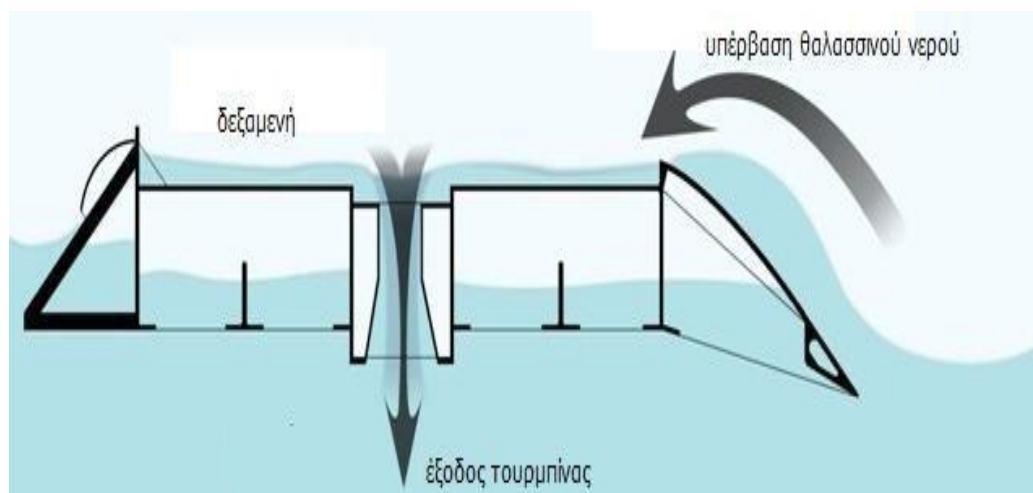
- τοποθέτηση των καλωδίων από την ακτή στη "φάρμα κυμάτων"
- τοποθέτηση των συσκευών
- εγκατάσταση των διασυνδετικών καλωδίων
- η εκκίνηση της παραγωγής ενέργειας.

Η εγκατάσταση του Sperboy έχει πολύ λίγες απαιτήσεις όσον αφορά στη μόνιμη υποδομή. Ουσιαστικά, η τοποθεσία εγκατάστασης θα καθορίσει την απαιτούμενη υποδομή. Το κύριο σώμα της συσκευής μπορεί να κατασκευαστεί σε τοποθεσία κοντά στη "φάρμα". να ρυμουλκηθεί εκεί και να συνδεθεί με τη βοήθεια κατάλληλων σκαφών. Όλες οι τρέχουσες εργασίες επικεντρώνονται στην εγκατάσταση μιας "φάρμας" 10 συσκευών Sperboy σε σειρά.

Η έκταση που απαιτείται είναι περίπου 350 τετραγωνικά μέτρα, ανάλογα με το βάθος των νερών. Αντίστοιχα, μια φάρμα πλήρους μεγέθους με 1000 συσκευές θα απαιτούσε 10 με 15 τετραγωνικά χιλιόμετρα έκταση. Η συντήρηση ρουτίνας θα πραγματοποιείται επί της συσκευής, ενώ για σημαντικές εργασίες θα χρειάζεται η αντικατάσταση και η μεταφορά των συσκευών πίσω στην ακτή για αποκατάσταση. Ο απώτερος σχεδιαστικός στόχος είναι οι μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης.

4.2 Τεχνολογίες υπέρβασης

Οι συσκευές υπέρβασης χρησιμοποιούν ανακλαστικούς βραχίονες και περισυλλέγουν το νερό των κυμάτων σε έναν συσσωρευτή δημιουργώντας ένα μανομετρικό ύψος στήλης νερού. Μετά το νερό αυτό περνάει μέσα από τους υδροστροβίλους και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.



4.10: Απεικόνιση τεχνολογίας υπέρβασης

Εφαρμογές

Wave Dragon

Το Wave Dragon της Δανέζικης εταιρίας Wave Dragon Ltd είναι ένας μετατροπέας της κυματικής ενέργειας τύπου υπέρβασης, που επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας ενώ είναι δεμένος στο βυθό της. Μπορούν να εγκατασταθούν μία ή περισσότερες μονάδες Wave Dragon, συνδεδεμένες σε ομάδες, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μέγεθος παραγωγής συγκρίσιμο με μια παραδοσιακή μονάδα φυσικού καυσίμου.

Το πρώτο πρωτότυπο που συνδέθηκε με το δίκτυο βρίσκεται στο Nissum Bredning της Δανίας. Πραγματοποιήθηκαν εκτενείς δόκιμες και πειράματα για τον καθορισμό της απόδοσης του συστήματος, όπως η διαθεσιμότητα και η παράγωγή ενέργειας υπό διαφορές συνθήκες (πχ κλιματολογικές). Η αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας στη συγκεκριμένη τοποθεσία έχει ελεγχθεί και πιστοποιηθεί. Συνεπώς, το επόμενο στάδιο ανάπτυξης είναι η βελτιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με απώτερο στόχο μια εγκατάσταση πολλών MW το 2008.



Εικόνα 4.11: Η πρόσοψη του μετατροπέα Wave Dragon στο Nissum Bredning.

Η βασική ιδέα του μετατροπέα Wave Dragon αφορά στην εφαρμογή γνώριμων και αποδεδειγμένων αρχών και θεωριών από τις παραδοσιακές υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής σε μια πλατφόρμα που επιπλέει στην ανοιχτή θάλασσα. Η αρχή λειτουργίας του είναι πολύ απλή. Η συσκευή υπέρβασης Wave Dragon ανυψώνει τα κύματα της θάλασσας σε μια δεξαμενή πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Από εκεί, το νερό επιστρέφει στη θάλασσα περνώντας μέσα από ένα συγκεκριμένο αριθμό υδροστροβίλων οι οποίοι αρχίζουν να περιστρέφονται, με αποτέλεσμα να παράγεται ηλεκτρισμός λόγω της υψομετρικής διαφοράς.

Τα βασικά στάδια λειτουργίας του Wave Dragon συνοψίζονται ως εξής:

- Υπέρβαση της ειδικής μπάρας (απορρόφηση)
- Αποθήκευση (δεξαμενή)
- Επιστροφή στη θάλασσα – Παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (υδροστρόβιλοι)

Το Wave Dragon, παρά την απλή κατασκευή του, είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο όσον αφορά το σχεδιασμό του. Καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια στο σχεδιασμό, στη μοντελοποίηση και στη δοκιμή του Wave Dragon ώστε να βελτιωθεί σε αρκετούς τομείς όπως:

- Βελτιστοποίηση της υπέρβασης της ειδικής ράμπας.
- Βελτιστοποίηση της υδραυλικής ανταπόκρισης και της πλευστότητας.
- Εξομάλυνση των δυνάμεων των κυμάτων στους ανακλαστήρες και στο σύστημα πρόσδεσης.
- Μείωση του κόστους κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας.

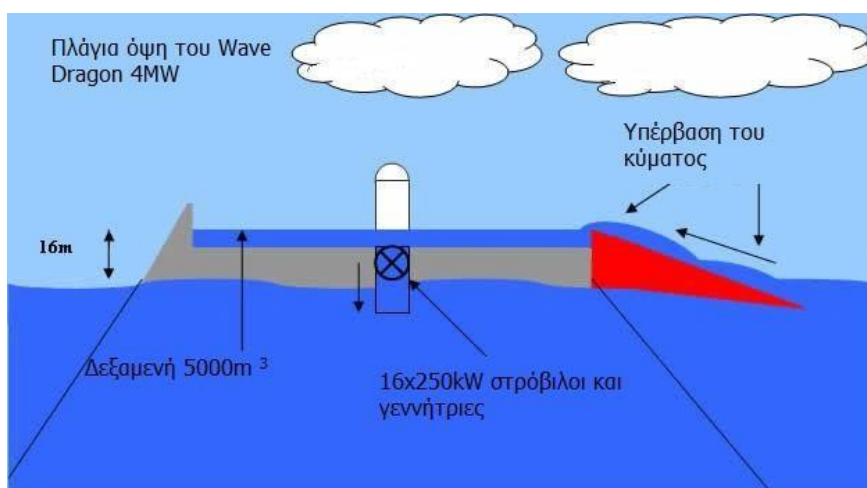
Βασικά πλεονεκτήματα

Πολύ μικρή ορατότητα της κατασκευής. Το Wave Dragon θα μοιάζει με ένα αγκυροβολημένο πλοίο με ύψος το πολύ 7 μέτρα έξω από το νερό.

Μικρό «αποτύπωμα» στο βυθό της θάλασσας. Τα μόνα τμήματα που θα εγκατασταθούν στο βυθό θα είναι οι άγκυρες πρόσδεσης και το καλώδιο ισχύος.

Σχεδόν αθόρυβη λειτουργία.

Δεν υπάρχει κίνδυνος διαρροής. Όλα τα υδραυλικά λάδια της κατασκευής έχουν αντικατασταθεί με υδραυλικά νερού, ενώ δεν χρησιμοποιείται τοξικό αντιρρυπαντικό.



Εικόνα 4.12: Πλάγια όψη του Wave Dragon 4 MW.

4.3 Τεχνολογίες κατακόρυφης ταλάντωσης

Πρόκειται για συσκευές που πλέουν στην επιφάνεια της θάλασσας ακολουθώντας την κατακόρυφη κίνηση των κυμάτων. Είναι αγκυρωμένες στον πυθμένα και με διάφορα μηχανικά ή υδραυλικά συστήματα μετατρέπουν την κατακόρυφη κίνηση σε περιστροφική για την λειτουργία ηλεκτρογεννήτριας. Η βασική μορφή περιλαμβάνει ένα πιστόνι που έχει τοποθετημένους πάνω του μόνιμους μαγνήτες και έναν στάτη με πηνία σε κυκλικό τομέα γύρω από το πιστόνι.



Εικόνα 4.13: Φάρμα με συσκευές κατακόρυφης ταλάντωσης.

Εφαρμογές

LabBuoy

Το LabBuoy είναι μια τεχνολογία κατακόρυφης ταλάντωσης μετατροπής της κυματικής ενέργειας. Πρόκειται για τεχνολογία ακτογραμμής. Η πρώτη φάση της δοκιμής του μαθηματικού και φυσικού μοντέλου πραγματοποιήθηκε με τη συνεργασία του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (CRES), του Εθνικού Μετσοβείου Πολυτεχνείου Αθηνών (ΕΜΠ), της Athena SA, της Ramboll (DK), του Queen's University Belfast (UK) και του University College Cork (IE).

Ο μετατροπέας LabBuoy είναι πλωτού τύπου, ενώ τα συστήματα μετάδοσης και μετατροπής βρίσκονται εγκατεστημένα σε στερεά θεμέλια (κυματοθραύστης ή αποβάθρα). Αυτά τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά αυξάνουν την παράγωγη ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της ανάκλασης των θαλάσσιων κυμάτων στην πρόσοψη του κυματοθραύστη, καθώς επίσης βελτιώνουν την αξιοπιστία και την ασφάλεια λειτουργίας.

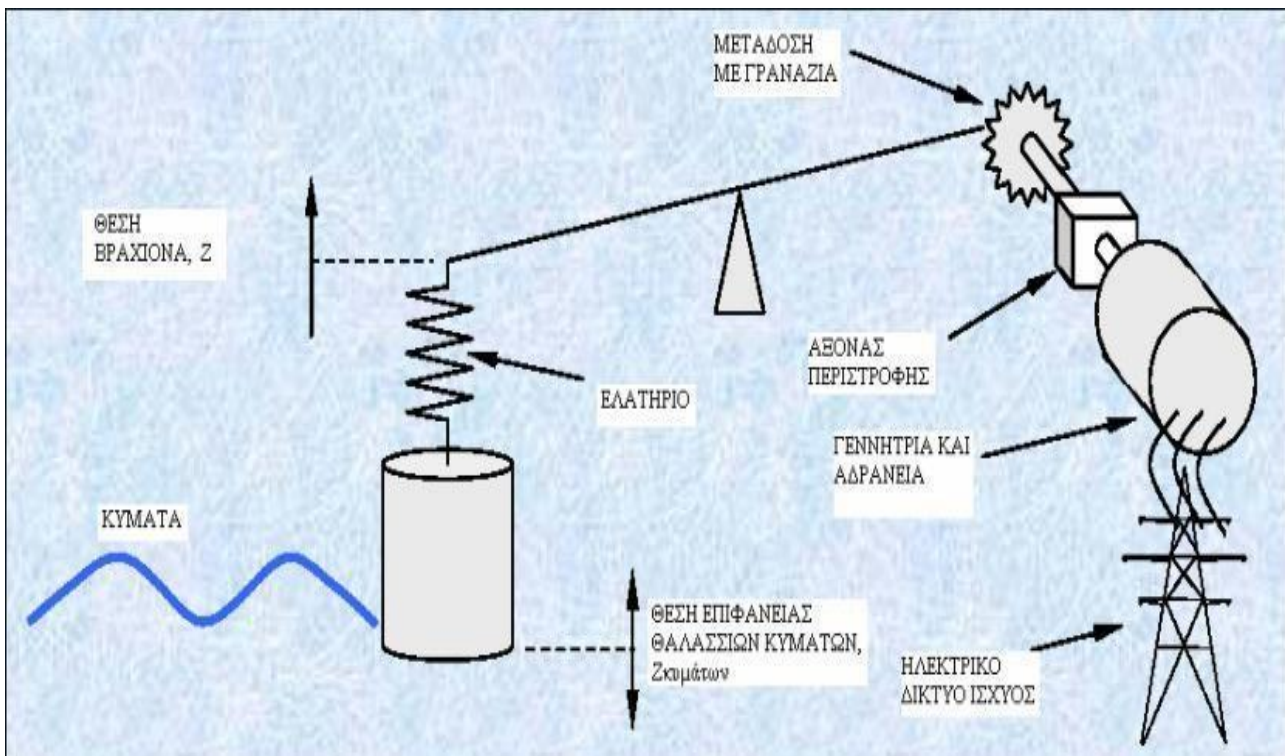
Οι βασικοί στόχοι του project ήταν:

Η ανάπτυξη αξιόπιστων μαθηματικών μοντέλων για χρησιμοποίηση στον σχεδιασμό συστημάτων και στην πρόβλεψη φορτίων. Τα μοντέλα είναι αποτελεσματικά για διάφορα αντιπροσωπευτικά κυματικά κλίματα που συναντώνται κατά μήκος της Ευρωπαϊκής ακτογραμμής.

Επιβεβαίωση των μαθηματικών μοντέλων και επαλήθευση της εφαρμογής της τεχνολογίας με πειράματα μικρής κλίμακας σε δεξαμενή δημιουργίας τεχνητών κυμάτων.

Επεξεργασία της πολύπλοκης διαμόρφωσης του συστήματος για τη μέγιστη απορρόφηση, παράγωγη και αξιοπιστία της ηλεκτρικής ενέργειας.

Αξιολόγηση της επιτευξιμότητας, των κοινωνικο-οικονομικών και περιβαλλοντικών επιδράσεων της τεχνολογίας για διάφορες αντιπροσωπευτικές θαλάσσιες συνθήκες στην Ευρώπη.



Εικόνα 4.14: Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος LabBuoy ενός μετατροπέα κυματικής ενέργειας.

Όσον αφορά στη μαθηματική μοντελοποίηση της τεχνολογίας, αναπτύχθηκαν ηλεκτρομηχανικά μοντέλα για την πρόβλεψη της απόκρισης μιας σειράς 5 μετατροπέων, με γνωστή την κυματική είσοδο. Τα βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου που μελετήθηκαν είναι οι υδροδυναμικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στους μετατροπείς και στον παρακείμενο κυματοθραύστη, η μοντελοποίηση δυο διαφορετικών μηχανικών συστημάτων μετάδοσης (με αλυσίδα και γρανάζια) και

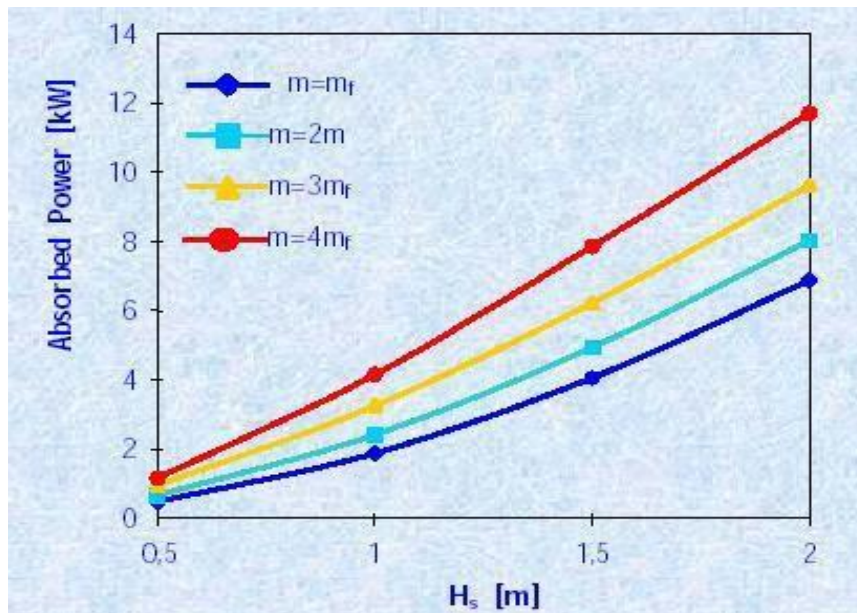
δυο διαφορετικών συστημάτων μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας (γεννήτριες που κινούνται από γρανάζια και εναλλακτές άμεσης κίνησης).

Για τη δοκιμή μοντέλου φυσικής κλίμακας, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα μοντέλο μιας σειράς 5 μετατροπέων σε κατάλληλη κλίμακα (1:10...1:15). Η επίδραση των ηλεκτρικών μηχανών που είναι προσαρτημένες σε κάθε μετατροπέα προσομοιώθηκε με ηλεκτρομηχανικές συσκευές έλεγχου της ταχύτητας, που ρυθμίζονται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Τα πειράματα διεξήχθησαν κάτω από διάφορες κυματικές συνθήκες, προσομοιώνοντας τυπικά κυματικά κλίματα που συναντώνται κατά μήκος της ακτογραμμής της Ευρώπης.

Τα πειράματα υποστηρίχθηκαν από ένα διασυνδεδεμένο εργαστηριακό δίκτυο, επιτρέποντας την παρακολούθηση και τον έλεγχο, την μεταφορά δεδομένων και την επικοινωνία μεταξύ των συνεταιίρων του project εξ αποστάσεως. Επίσης, διεξήχθησαν επιπρόσθετες μελέτες για την εξέταση των περιβαλλοντικών κανονισμών και των κανονισμών πιστοποίησης που απευθύνονται στην παρούσα τεχνολογία, την πρόβλεψη της απόδοσης του συστήματος σε πλήρη κλίμακα, την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικο-οικονομικών επιδράσεων της τεχνολογίας καθώς και την εκτίμηση της οικονομικής βιωσιμότητας και της προοπτικής της στην αγορά.

Το μοντέλο αριθμητικής προσομοίωσης της συσκευής LabBuoy αποτελείται από δυο επιμέρους τμήματα, ένα υδροδυναμικό-κινηματικό και ένα ηλεκτρικό. Το υδροδυναμικό-κινηματικό μοντέλο περιγράφει την ανυψωτική κίνηση του κάθε μετατροπέα της σειράς, συνυπολογίζοντας τις υδροδυναμικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στους ίδιους τους μετατροπέες και στον κυματοθραύστη. Το μοντέλο της ηλεκτρικής μηχανής αποτελείται από ένα μοντέλο Simulink του βραχίονα, του άξονα περιστροφής και της ηλεκτρικής μηχανής και ένα αρχείο κειμένου Matlab που ονομάζεται Simulink για την επίλυση των επαγωγικών εξισώσεων της μηχανής. Μια ειδική πειραματική συσκευή κατασκευάστηκε και εγκαταστάθηκε σε μια στενή δεξαμενή δημιουργίας τεχνητών κυμάτων για τη δοκιμή των λειτουργιών του μοντέλου.

Τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης υποδεικνύουν μια έντονη αλληλεπίδραση της αδράνειας του συστήματος και της απόσβεσης του πλάτους ταλάντωσης της μετατροπής ισχύος, ως προς την απόδοση του μετατροπέα. Με κατάλληλη ρύθμιση αυτών ιδιοτήτων στις τοπικές κυματικές συνθήκες, το σύστημα μπορεί να συντονιστεί για τη μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 4.15: Σχεδιάγραμμα της εξάρτησης της αποδοτικότητας σύλληψης της κυματικής ενέργειας από την αδράνεια του πλωτού σώματος του μετατροπέα (διάμετρος πλωτού σώματος 1,5 μετρα, βύθισμα ενός μέτρου, $m_f=1,8$ t).

Ένα μοντέλο κλίμακας 1:15 που αποτελείται από μια σειρά με 5 μετατροπείς κατασκευάστηκε και εγκαταστάθηκε στη δεξαμενή κυμάτων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Αθηνών (ΕΜΠ).

Κάθε μετατροπέας είναι εξοπλισμένος με τα παρακάτω αισθητήρια όργανα:

Αισθητήρα δύναμης για τη μέτρηση της κάθετης δύναμης του πλωτού σώματος.

Γωνιακά τοποθετημένο αισθητήριο όργανο για τη μέτρηση της στιγμιαίας θέσης του βραχίονα μετάδοσης της κίνησης του πλωτού σώματος.

Οπτικό κωδικοποιητή για τη μέτρηση της στιγμιαίας περιστροφικής ταχύτητας του βραχίονα.

Ένας κινητήρας DC είναι προσαρτημένος στο πίσω άκρο του βραχίονα του κάθε μοντέλου, παρέχοντας μια ροπή αντίστασης στην κίνηση του βραχίονα δια μέσου ενός οδοντωτού μίαντα. Κάθε κινητήρας ελέγχεται από έναν ελεγκτή με κωδικοποιητή ανάδρασης.

Τα συνολικά αποτελέσματα δείχνουν το πόσο κοντά βρίσκεται η αριθμητική προσομοίωση στα πειράματα, και επιβεβαιώνουν την ικανότητα των αριθμητικών μοντέλων στο να προβλέπουν ακριβώς τη συμπεριφορά του μετατροπέα, καθώς και την απόδοση και έξοδο ισχύος του κάτω από διάφορες κυματικές συνθήκες.



Εικόνα 4.16: Το δοκιμαστικό μοντέλο κλίμακας 1:15 εμπρός του κυματοθραύστη σε δεξαμενή δημιουργίας τεχνητών κυμάτων στο Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Wave Star

Το Wave Star της Δανέζικης εταιρίας Wave Star Energy είναι μία μηχανή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα, που εκμεταλλεύεται ολόκληρο το κύμα κατά μήκος του λόγω της πρωτοποριακής σχεδίασης του. Πρόκειται για ένα μετατροπέα που εγκαθίσταται μέσα στη θάλασσα σε απόσταση 10 με 20 χιλιόμετρα από τη στεριά.



Εικόνα 4.17: Το μοντέλο Wave Star κλίμακας 1:10 στο Nissum Bredning της Δανίας. Διακρίνονται οι σημαδούρες σε ανυψωμένη θέση εκτός λειτουργίας.

Η βασική ιδέα λειτουργίας του Wave Star είναι τελείως διαφορετική από πολλά άλλα μοντέλα μετατροπής της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων. Η συγκεκριμένη μηχανή δεν σχηματίζει φράγμα έναντι των κυμάτων για να εκμεταλλευτεί όλη την ενέργεια τους, αλλά αντί' αυτού παρεμβάλλεται

υπό συγκεκριμένες γωνίες στη κατεύθυνση του κύματος. Κατά αυτόν τον τρόπο τα κύματα διατρέχουν κατά μήκος τη μηχανή, ενώ η εκμετάλλευση της ενέργειας τους αποτελεί μια συνεχή διαδικασία.

Σε κάθε πλευρά της στενόμακρης πλατφόρμας του Wave Star, υπάρχουν 20 ημισφαιρικές σημαδούρες που ένα μέρος τους είναι βυθισμένο στο νερό. Όταν ένα κύμα περάσει κατά μήκος της πλατφόρμας, το πρώτο ημισφαιρικό πλωτό σώμα θα ανυψωθεί, στη συνέχεια το δεύτερο, μετά το τρίτο και πάει λέγοντας, με αποτέλεσμα να παραχθεί ηλεκτρισμός. Το κάθε πλωτό σώμα είναι τοποθετημένο στη βάση του δικού του υδραυλικού κυλίνδρου. Όταν ένα πλωτό ανυψώνεται, ένα πιστόνι στο κύλινδρο πρεσάρει λάδι μέσα στο κοινό σύστημα μετάδοσης της μηχανής με πίεση μέχρι και 200 bar. Η πίεση αυτή θέτει σε κίνηση έναν υδραυλικό κινητήρα που είναι συνδεδεμένος με μία γεννήτρια που παράγει ηλεκτρισμό. Καθώς το Wave Star έχει μάκρος όσο αρκετά μήκη κύματος, η διπλή συστοιχία των πλωτών θα συλλέγει συνεχόμενα ενέργεια.

Εικόνα 4.18: Πλάγια όψη και μία από τις δύο σειρές σημαδούρων του μοντέλου Wave Star στο Nissum Bredning.



Τα πιο σημαντικά τμήματα του Wave Star στεγάζονται στο περίβλημα της γεννήτριας πάνω στη πλατφόρμα. Η γεννήτρια, οι υπολογιστές και οι ηλεκτρονόμοι στεγάζονται μέσα εκεί υπό ελεγχόμενες κλιματικές συνθήκες ώστε να προστατευτούν από τη μούχλα και το αλάτι της θάλασσας. Το Wave Star κατασκευάζεται εξ' ολοκλήρου στη στεριά και έπειτα ρυμουλκείται ως τους πυλώνες στήριξης του. Η ρυμούλκηση της μηχανής είναι σχετικά απλή διαδικασία.

Αφού τοποθετηθεί με τις σηματοδούρες ανυψωμένες, βιδώνεται πάνω στους σιδερένιους πυλώνες. Όταν χρειάζεται σέρβις ή επιδιορθώσεις, αποσυνδέεται και ρυμουλκείται πίσω στη στεριά. Το Wave Star έχει σχεδιαστεί για εγκατάσταση σε απόσταση 10 με 20 χιλιόμετρα από την ακτή. Επειδή το Wave Star παράγει ηλεκτρισμό από συνολικά 40 ανεξάρτητα πλωτά σώματα, η ομαλή λειτουργία του είναι εξασφαλισμένη. Αν χαλάσει ένα από τα πλωτά, τα υπόλοιπα 39 θα συνεχίσουν να παράγουν ηλεκτρισμό. Η μηχανή μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό, αν και σε μικρότερο βαθμό βέβαια, ακόμα και αν το 75% των πλωτών σωμάτων τεθεί εκτός λειτουργίας.

Το Wave Star έχει σχεδιαστεί για διάρκεια ζωής περίπου 50 χρόνια, ενώ υπολογίζεται μία γενική επιθεώρηση κάθε 10 χρόνια, κατά την οποία η μηχανή θα ρυμουλκείται στη στεριά ώστε να αποφευχθούν δαπανηρές εργασίες στη θάλασσα.

Το Wave Star δεν έχει ιδιαίτερες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, αντίθετα η ύπαρξη μιας μονάδας Wave Star μπορεί να αποτελέσει καταφύγιο για τα αποδημητικά πουλιά αν δεν υπάρχει άλλο μέρος σε κοντινή απόσταση για αυτά.

Το Wave Star είναι αποτελεσματικά προστατευμένο από ακραία καιρικά φαινόμενα. Όταν τα κύματα ξεπεράσουν ένα ορισμένο ύψος, το μηχανήμα ανυψώνει αυτόματα όλα τα πλωτά σώματα έξω από τη θάλασσα. Συγκεκριμένα στη μηχανή Wave Star φυσικού μεγέθους, όταν τα κύματα ξεπεράσουν τα 8 μέτρα ύψος, τα πλωτά θα ανυψώνονται σε μία ασφαλή θέση 20 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Επίσης επειδή η μηχανή εγκαθίστανται με την επιμήκη πλευρά της παράλληλα προς τη κατεύθυνση των κυμάτων, οι ισχυροί άνεμοι θα προσπίπτουν στη στενή πλευρά της.

Το Wave Star είναι σχετικά ελαφρύ. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό από οικονομικής άποψης αφού όσο βαρύτερο είναι μία τέτοια μηχανή τόσο ακριβότερη είναι, ιδίως όσον αφορά την υλοποίηση ενός σχεδίου μεγάλης κλίμακας. Έχει υπολογιστεί μία τιμή παραγωγής ανά μεγαβάτ αντίστοιχη με αυτή των ανεμογεννητριών.

Το μεγαλύτερο τμήμα του Wave Star βρίσκεται πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Επειδή η μηχανή στηρίζεται εξ' ολοκλήρου έξω από το νερό πάνω σε σιδερένιες κολώνες, εκτός μόνο από τα πλωτά σώματα, δεν χρειάζεται να κατασκευαστεί από ακριβά αδιάβροχα υλικά ειδικά για υποβρύχια χρήση. Αυτού του είδους τα υλικά έχουν επίσης και πολύ υψηλό κόστος συντήρησης.

Το Wave Star βασίζεται σε δοκιμασμένη και αξιόπιστη τεχνολογία. Αν και το υδραυλικό σύστημα που χρησιμοποιεί είναι καινοτόμο, όλα τα μέρη που το αποτελούν είναι δοκιμασμένα και αξιόπιστα. Έτσι, εξασφαλίζεται ταχύτερη μαζική παραγωγή του Wave Star και πιο αξιόπιστη λειτουργία.



Εικόνα 4.19: Η κεντρική γέφυρα του Wave Star με τις δύο σειρές από πλωτά σε θέση λειτουργίας και ασφαλείας.

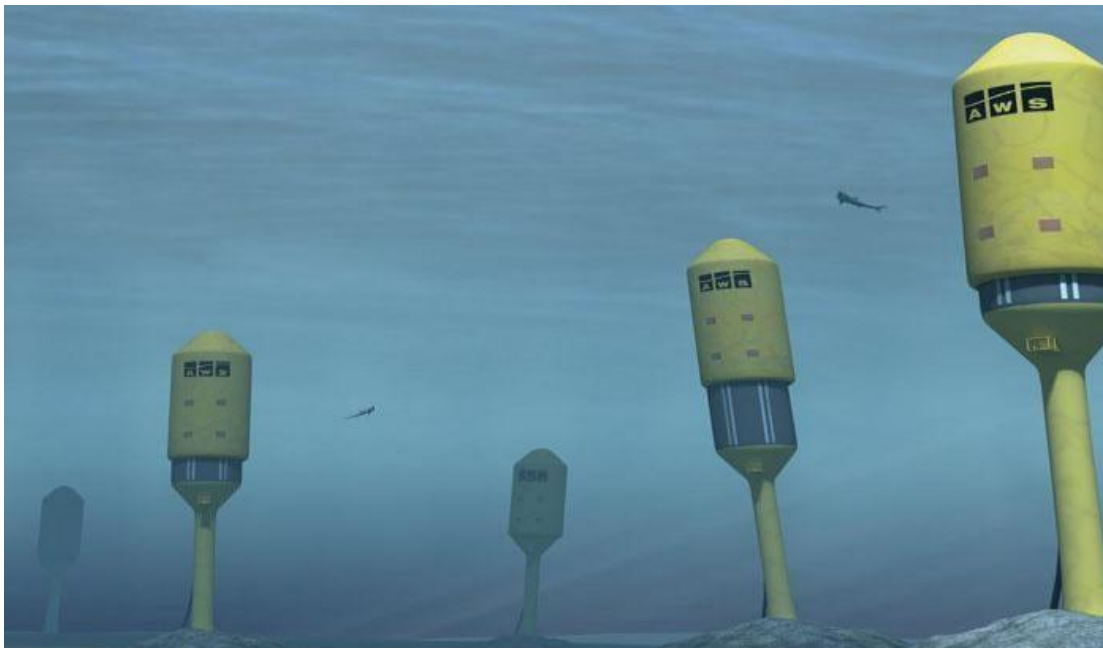
Έχει ήδη εγκατασταθεί και λειτουργεί από τον Απρίλιο του 2006 ένα μοντέλο Wave Star κλίμακας 1:10 στο Nissum Bredning της Δανίας, το οποίο έχει 40 ημισφαιρικά πλωτά σώματα διαμέτρου ενός μέτρου και γεννήτρια 5,5kW. Το Wave Star μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό ακόμα και από πολύ μικρά κύματα. Αυτό το μοντέλο χρειάζεται κύματα με ελάχιστο ύψος μόνο 10 εκατοστών. Υπολογισμοί και δοκιμές δείχνουν ότι η μηχανή κυμάτων παράγει ενέργεια το 90% του χρόνου και ότι λειτουργεί με μέγιστη ισχύ το 30% του χρόνου. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει δοκιμαστεί για περισσότερες από 4.000 ώρες στους πρώτους έξι μήνες καθημερινής λειτουργίας, ξεπέρασε 7 έντονες καταιγίδες και αποτελεί το κύριο βήμα για την εμπορευματοποίηση της τεχνολογίας του Wave Star. Γενικά, εκτιμάται ότι αν διπλασιαστεί το μέγεθος του Wave Star, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί 11 φορές περίπου, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερα κύματα μπορεί να αντέξει και σε τόσο μεγαλύτερο βάθος μπορεί να εγκατασταθεί. Στο μέλλον θα κατασκευαστεί ένα μοντέλο Wave Star μεγάλης κλίμακας που θα εξοπλίζεται με ημισφαιρικά πλωτά σώματα διαμέτρου 10 μέτρων και γεννήτρια 3MW. Αυτό το μοντέλο έχει σχεδιαστεί για βάθος υδάτων 20 μέτρα. Η εμπορευματοποίηση του Wave Star θα ξεκινήσει μόλις μία μηχανή 500Kw κλίμακας 1:2, που βρίσκεται υπό κατασκευή, θα εξάγει ικανοποιητικά αποτελέσματα κατά τη δοκιμή της στη Βόρεια Θάλασσα.

Επίσης, εκτιμάται ότι για να γίνει ανταγωνιστικό, σε σύγκριση με τις ανεμογεννήτριες, το Wave Star πρέπει να μειώσει την τιμή ανά κιλοβατώρα 4 φορές. Σε αντιστοιχία η βιομηχανία ανεμογεννητριών

έπρεπε να μειώσει τις τιμές 7 φορές για να φτάσει στο επίπεδο τιμών που βρίσκεται σήμερα, οπότε ο στόχος για το Wave Star είναι εφικτός.

AWS

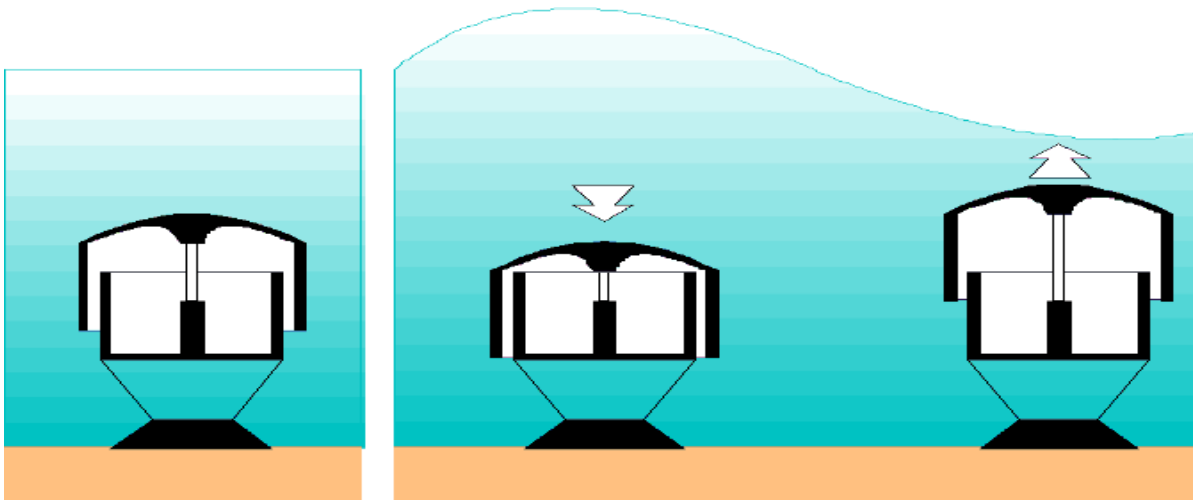
Ο μετατροπέας ενέργειας κυμάτων AWS (Archimedes Wave Swing) είναι μια απλή αλλά πολύ αποδοτική τεχνολογία για την εκμετάλλευση των θαλάσσιων κυμάτων, όπως αναπτύχθηκε από τη σκοτσέζικη εταιρία AWS Ocean Energy Ltd.



Εικόνα 4.20: Μια μικρή «φάρμα κυμάτων» με εγκατεστημένους μετατροπείς AWS.

Ο μετατροπέας κυματικής ενέργειας AWS είναι ένα πλωτό σώμα κυλινδρικού σχήματος δεμένο στο βυθό της θάλασσας. Τα διερχόμενα κύματα κινούν το άνω περίβλημα γεμάτο με αέρα που περιβάλλει ένα σταθερό κύλινδρο από κάτω. Έτσι η σχετική κίνηση των δύο κυλίνδρων μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό. Πιο αναλυτικά, καθώς ένας κυματικός λόφος πλησιάζει, η πίεση του νερού στο πάνω μέρος του κυλίνδρου αυξάνεται και το επάνω τμήμα ή «πλωτό» συμπιέζει το αέριο μέσα στον κύλινδρο για να εξισορροπήσει την διαφορά πίεσης. Το αντίθετο συμβαίνει όταν το κοίλο του κύματος περνάει και το σύστημα των δύο κυλίνδρων αυξάνει ως προς το μήκος του (αφού ο κύλινδρος-περίβλημα απομακρύνεται από τον σταθερό κάτω κύλινδρο προς την επιφάνεια της θάλασσας). Η σχετική κίνηση μεταξύ του πλωτού και του κάτω τμήματος μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό με τη βοήθεια ενός υδραυλικού συστήματος και ενός συνόλου κινητήρα-γεννήτριας. Μια χαρακτηριστική μονάδα θα περιλαμβάνει 12 συσκευές σε κυκλική δομή με διάμετρο 60m.

Μια τέτοια συσκευή μπορεί, στην ανοιχτή θάλασσα, να παράγει 2,5 MW με βάρος λιγότερο από 1300 τόνους.



Εικόνα 4.21: Η βασική αρχή λειτουργίας του μετατροπέα AWS με την έλευση των θαλάσσιων κυμάτων.

Η AWS αναγνωρίζει ότι η δυνατότητα να προβλέψει την απόδοση του συστήματος παράγωγης σε ένα μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών είναι βασική στην εμπορική της ανάπτυξη. Συμμετέχει σε ένα αυστηρό πρόγραμμα μελέτης, έρευνας και δοκιμής ώστε να περιορίσει τους κινδύνους για τους πελάτες. Η πιθανή απόδοση του AWS III βασίζεται σε εκτενή εργασία του Πανεπιστήμιου του Coventry στο πλαίσιο του ενεργειακού προγράμματος της Βρετανικής κυβέρνησης του 1980 στην οποία έχουν προσθέσει σημαντική περαιτέρω γνώση μέσω των προηγμένων αριθμητικών προσομοιώσεων, των δοκιμών σε δεξαμενές και της πρωτότυπης συσκευής κλίμακας 1:9 στην λίμνη Ness το 2010.

Το AWS III σχεδιάζεται για ωκεάνιες συνθήκες σε βάθη ύδατος μεταξύ 70 και 150 m. Η μέση παράγωγή για 15 λεπτά με μέσο ύψος κύματος H_s 5 m και μέση περίοδο μηδενικής διέλευσης T_{z0} 9 sec αναμένεται να υπερβεί τα 2,5 MW. Οι δοκιμαστικές μονάδες προβλέπουν για την περιοχή συντελεστή δυναμικότητας 25% άρα για μονάδα 2,5 MW η οποία τοποθετείται σε δυναμικό 44 KW/m δίνει μια μέση ετήσια ενεργειακή παράγωγή περίπου 5,1 GWh ανά μονάδα. Αυτή την περίοδο κατασκευάζεται ένα βελτιωμένο πρότυπο κλίμακας για δόκιμη σε μεγάλη δεξαμενή ελπίζοντας μέσα στο 2012 να δημοσιευτούν δεδομένα για την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το AWS III. Στόχος είναι να κατασκευαστεί το AWS III να επαληθευτεί η απόδοση και η αξιοπιστία της κατασκευής καθώς και της εύκαμπτης μεμβράνης απορρόφησης των κυμάτων.

Το AWS χρησιμοποιεί αξιόπιστη τεχνολογία αεροστροβίλων με ένα μόνο κινούμενο μέρος ανά κύλινδρο. Τα βοηθητικά συστήματα είναι πάνω στη μονάδα προστατευμένα από τις καιρικές συνθήκες και διαθέσιμα για επιθεώρηση και συντήρηση όταν χρειαστεί.

Η μεγάλη σταθερή δομή παρέχει ασφάλεια για την συντήρηση του εξοπλισμού και το παντεταρισμένο σύστημα για τη συντήρηση των κυλίνδρων επιτρέπει τη γρήγορη αλλαγή τους χωρίς να χρειάζεται να μεταφερθεί στην ξηρά.

Ικανότητα επιβίωσης: Το AWS III σε κατάσταση θύελλας αποσυνδέεται. Το εύκαμπτο σύστημα πρόσδεσης μειώνει τα δυνατά φόρτια κυμάτων και τέλος το σφραγισμένο σύστημα αέρα εξασφαλίζει ότι δεν υπάρχει κανένα εκτεθειμένο κινούμενο μέρος.

Οικονομικά: Τελικά το AWS έχει υψηλότερη αναλογία παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά κιλό χάλυβα κατασκευής από τους βασικούς ανταγωνιστές του, και μαζί με τις χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης εκτιμάται ότι θα οδηγήσει στη χαμηλότερη τιμή παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία ενέργειας κυμάτων.

Περιβάλλον: Το AWS δεν έχει οπτικές επιπτώσεις για το περιβάλλον αφού βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού, ενώ επίσης δεν έχει κάποιο θορυβώδες περιστροφικό σύστημα υψηλής ταχύτητας.

Μελλοντική Αναπτυξη

Αρκετοί χρηματοδότες έχουν βρεθεί, ενώ το άμεσο πρόγραμμα εργασιών οργανώνεται σύμφωνα με τα παρακάτω:

2012: Πλήρης δόκιμη του κυλίνδρου.

2013: Κατασκευή πρωτότυπου πλήρους μονάδας 12 κυλίνδρων 2,5MW.

2014: Δοκιμή πρωτότυπου στην ανοιχτή θάλασσα.

2015: Έναρξη εργασιών για διάταξη 4 AWS III 10MW.

2016: Τοποθέτηση της διάταξης 10MW στην ανοιχτή θάλασσα.

CETO

Το CETO είναι μια πατενταρισμένη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μηδενικών εκπομπών από την ενέργεια των κυμάτων των ωκεανών. Είναι η μοναδική τεχνολογία που αντλεί θαλασσινό νερό υψηλής πίεσης στη ξηρά, αφαιρώνοντας έτσι με τον πιο αποδοτικό και οικονομικό τρόπο θαλασσινό νερό χρησιμοποιώντας την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων. Η τεχνολογία CETO ανήκει στην αυστραλιανή εταιρία Renexable Energy Holdings Plc που συνεργάζεται με την Carnegie Corporation Ltd και την EDF EN για την ανάπτυξη και λειτουργία του CETO στο Νότιο και Βόρειο Ημισφαίριο αντίστοιχα.

Το CETO είναι πλήρως βυθισμένο κάτω από την επιφάνεια του νερού και αντλώντας θαλασσινό νερό στη ξηρά, η τεχνολογία του επιτρέπει είτε την παραγωγή ηλεκτρισμού με μηδενικές εκπομπές (παρόμοια με τον υδροηλεκτρισμό) ή την παραγωγή με μηδενικές εκπομπές γλυκού νερού (εφαρμόζοντας τεχνολογία αφαιρώσεως αντίστροφης όσμωσης). Συνεπώς δεν χρειάζονται υποθαλάσσια καλώδια ή ζυγοί, αλλά ούτε και δαπανηρές θαλάσσιες εγκαταστάσεις.

Οι μονάδες του CETO είναι πλήρως βυθισμένες και μόνιμα προσδεμένες στον πυθμένα της θάλασσας, με αποτέλεσμα να μην έχουν καμία οπτική συνέπεια για το περιβάλλον. Επίσης το γεγονός αυτό τις προστατεύει από ακραίες δυνάμεις που εμφανίζονται κατά την διάρκεια καταιγίδων. Είναι αυτορυθμιζόμενες σε παλίρροιες, διάφορες θαλάσσιες καταστάσεις και κυματικές συνθήκες, γεγονός που τις καθιστά ικανές να αποδίδουν σε μία μεγάλη ποικιλία από κυματικά ύψη κάθε κατεύθυνσης. Οι μονάδες CETO είναι κατασκευασμένες από χάλυβα, καουτσούκ και hyralon, όλα δοκιμασμένα και αποδεδειγμένα για πάνω από 20 χρόνια στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Τέλος, στην πρώτη εμπορικής κλίμακας εγκατάσταση 5MW peak (μέση απόδοση 2MW με βαθμό απόδοσης 40%) στα ανοιχτά του Perth στην δυτική Αυστραλία, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εταιρίας τα όποια πρόεκυψαν από ένα οικονομικό υπολογιστικό μοντέλο, εκτιμάται ότι το χονδρικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου 28c/KWh.

Απλή κατασκευή με σύστημα άντλησης, σταθμούς παράγωγης στη ξηρά και διαχειρίσιμο μέγεθος. Αναπτυγμένη και αποδεδειγμένη τεχνολογία με πάνω από 10 χρόνια δοκίμων σε ανοιχτή θάλασσα σε κλίμακα 1:3 και σε εμπορική κλίμακα.

Ευέλικτη κατασκευή καθώς λειτουργεί σε διάφορα βάθη νερού, κατευθύνσεις ρευμάτων και συνθήκες του πυθμένα.

Καμία οπτική όχληση καθώς ολόκληρη η εγκατάσταση είναι βυθισμένη κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Μεγάλη ικανότητα επιβίωσης αφού είναι πλήρως βυθισμένο και υπάρχει ενεργειακό σύστημα ανακούφισης.

Παράγει καθαρή ενέργεια και με το σύστημα αφαλάτωσης παρέχει ασφάλεια παράγωγης νερού σε χώρες και νησιά.

Ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς συνυπάρχει με τη θαλασσιά ζωή.

Μελλοντική Ανάπτυξη-Εφαρμογή

Οι αρχικές δοκιμές ξεκίνησαν το 1999, ενώ ο λεπτομερής σχεδιασμός του ολοκληρώθηκε το 2003. Η κατασκευή του πρώτου πρωτοτύπου ξεκίνησε στο τέλος του ίδιου χρόνου. Το πρωτότυπο CETO I απέδειξε την ορθή λειτουργία του το 2006. Οι πρόσφατες εργασίες οδήγησαν στον εμπορικό σχεδιασμό του CETO II. Αυτό το μοντέλο δοκιμάζεται στο Fremantle της δυτικής Αυστραλίας και βρίσκεται σε τροχιά εμπορικής επέκτασης για το 2009. Το παρακάτω χρονοδιάγραμμα παρουσιάζει τα κυριότερα σημεία στην εξέλιξη του μετατροπέα CETO:

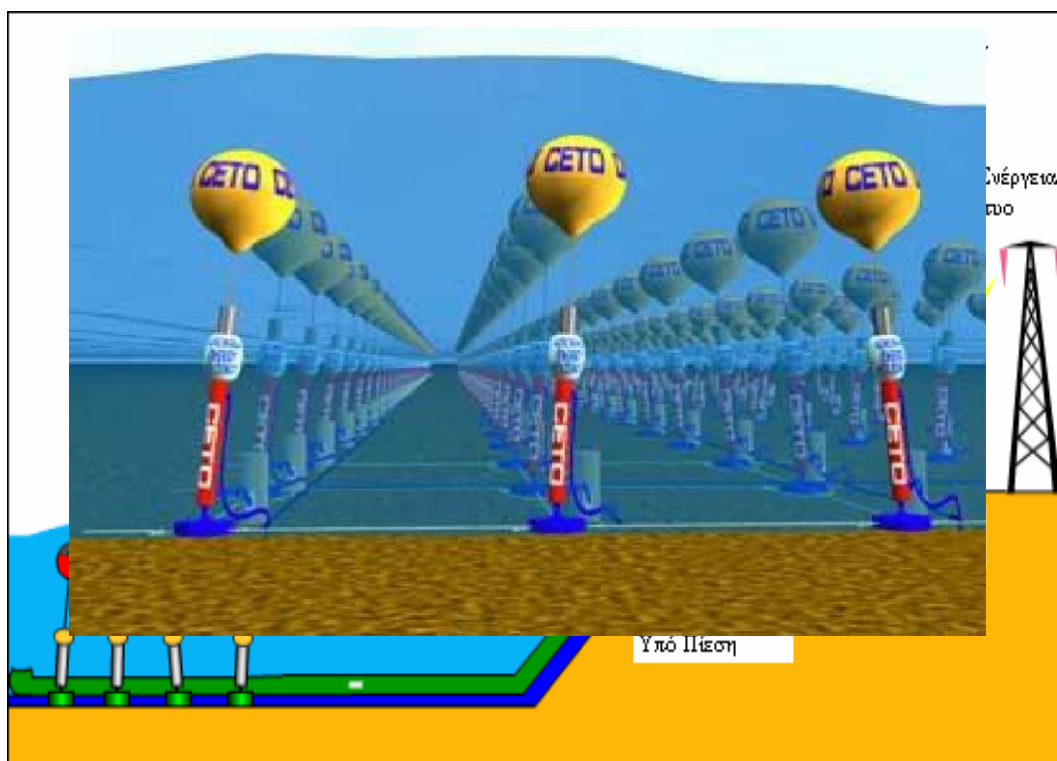
1999-2003: Pre-CETO: Αρχικές έρευνες, μοντέλα κλίμακας, δοκιμές σε δεξαμενή τεχνητών κυμάτων.

2003-2006: CETO I: Απόδειξη του προτύπου, επίδειξη τεχνολογίας παραγωγής θαλασσινού νερού υπό υψηλή πίεση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αφαλάτωσης μηδενικών εκπομπών.

2007-2008: CETO II: Εκκίνηση ανάπτυξης εμπορικού σχεδιασμού, επιβεβαίωση των υπολογιστικών προτύπων με δοκιμές στη θάλασσα, περάτωση της ανάπτυξης και δοκιμής του CETO, προ-εμπορική συστοιχία πρωτοτύπων σε λειτουργία στο Fremantle.

2009-2011: CETO III: Επιλογή τοποθεσίας και εγκρίσεις της πρώτης εμπορικής εγκατάστασης, έναρξη των εργασιών, κατασκευή και εγκατάσταση του CETO, λειτουργία της εμπορικής εγκατάστασης, παραγωγή και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας και αφαλατωμένου νερού μηδενικών εκπομπών.

2013: Η Carnegie σχεδιάζει την εγκατάσταση μιας συστοιχίας 50MW peak χρησιμοποιώντας 300 συσκευές CETO με απόδοση 180 kW peak για κάθε μονάδα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αναφέρουν ότι μια μονάδα CETO μπορεί να παράγει 80 kW (με συντελεστή απόδοσης 45%) ή 11 λίτρα/sec καθαρό νερό. Κάθε μονάδα CETO θα εξάγει το 15 με 20 % της κυματικής ενέργειας.



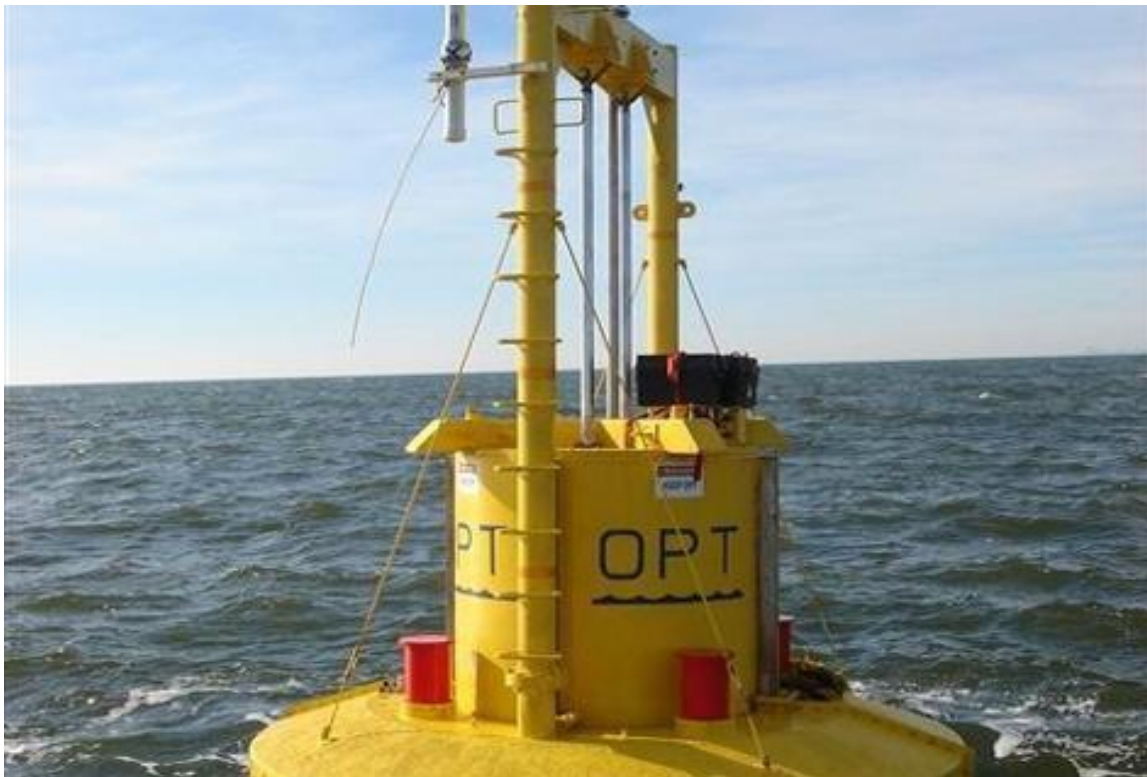
Εικόνα 4.22: Μια «φάρμα κυμάτων» με εκατοντάδες εγκατεστημένους μετατροπείς CETO.

PowerBuoy

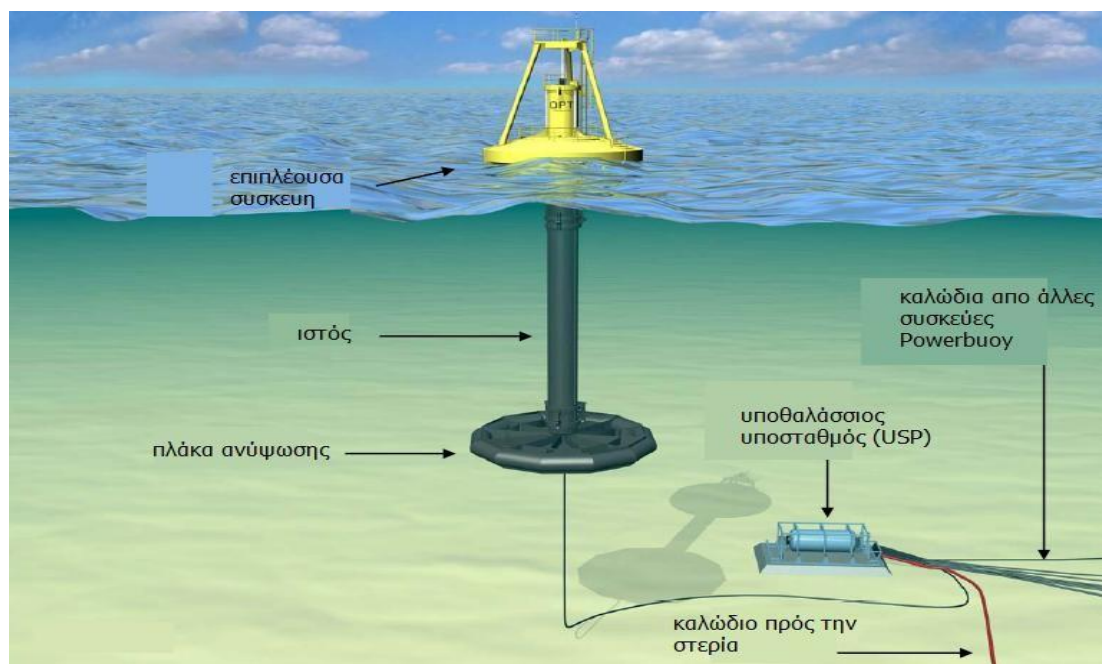
Το PowerBuoy της αμερικάνικης εταιρίας Ocean Power Technologies (OPT) είναι ένας μετατροπέας της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων που βασίζεται στην ενσωμάτωση πατενταρισμένων γνωστών τεχνολογιών υδροδυναμικής, ηλεκτρονικών, μετατροπής ενέργειας και υπολογιστικών συστημάτων ελέγχου.

Το PowerBuoy είναι ένα «έξυπνο» σύστημα ικανό να ανταποκρίνεται σε διαφορετικές κυματικές συνθήκες. Το αποτέλεσμα είναι ένα δοκιμασμένο και αποδοτικό σύστημα αιχμής που παράγει αξιόπιστη, καθαρή και περιβαλλοντικά ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια.

Εικόνα 4.23: Μοντέλο PowerBuoy των 40kW σε τοποθεσία δοκιμής στην ανοιχτή θάλασσα.



Το σύστημα PowerBuoy είναι ένα «έξυπνο» πλωτό σώμα που συλλαμβάνει την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων και τη μετατρέπει σε καθαρό ηλεκτρισμό χαμηλού κόστους. Το ανεβοκατέβασμα των κυμάτων στην ανοιχτή θάλασσα προκαλεί την ελεύθερη κατακόρυφη ταλάντωση του πλωτού σώματος PowerBuoy. Η μηχανική ταλάντωση μετατρέπεται, μέσω ενός περίπλοκου PTO (Power Take-Off), για να κινήσει μια ηλεκτρική γεννήτρια. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στη στεριά μέσω ενός υποθαλάσσιου καλωδίου ισχύος.



Εικόνα 4.24: Ο MKE Powerbuoy με τα επιμέρους συστήματα σύνδεσης με την στεριά.

Η απόσταση της τοποθεσίας εγκατάστασης της συσκευής είναι 1 με 3 μίλια από την ακτή, ενώ είναι σχεδιασμένη για λειτουργία σε τοποθεσίες με ενέργεια κυμάτων ίση και μεγαλύτερη από 20kW/m. Μία εγκατάσταση ηλεκτρικής ενέργειας 10MW θα καταλαμβάνει περίπου 30 στρέμματα (0,125 τετραγωνικά χιλιόμετρα) θαλάσσιας έκτασης. Ειδικοί αισθητήρες πάνω στο PowerBuoy ελέγχουν διαρκώς την απόδοση των διαφόρων υποσυστημάτων του και τον περιβάλλοντα θαλάσσιο χώρο. Οι πληροφορίες μεταδίδονται στην ακτή σε πραγματικό χρόνο, ενώ σε περίπτωση πολύ μεγάλων επικείμενων κυμάτων το σύστημα ασφαλίζεται αυτόματα και σταματάει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μόλις το ύψος των θαλάσσιων κυμάτων επανέλθει σε φυσιολογικά επίπεδα, το σύστημα απασφαλίζεται και ξαναρχίζει τη μετατροπή και μετάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή.

Βασικά Πλεονεκτήματα

Απολυτά καθαρή λειτουργία χωρίς ρύπους, στερεά ή υγρά απόβλητα και εκπομπές CO₂.

Αθόρυβη λειτουργία.

Ελάχιστες επιπτώσεις στο βυθό της θάλασσας.

Αισθητικά ευχάριστο.

Ως απορροφητής της κυματικής ενέργειας μειώνει τη διάβρωση της ακτογραμμής και ως τεχνητός ύφαλος προωθεί την ανάπτυξη θαλάσσιων οργανισμών πάνω του.

Εφαρμογή – Μελλοντική Ανάπτυξη

Το 2005, το πρωτότυπο PB 40 δοκιμάστηκε επιτυχώς για 24 μήνες στα ανοιχτά της περιοχής Oahu στην Hawaii, στο Santon της Ισπανίας και στον Ατλαντικό Ωκεανό στα ανοιχτά του New Jersey. Τοποθετήθηκε σε βάθος 20 m αντιμετωπίζοντας πολύ δύσκολες καιρικές συνθήκες.

Η OPT, το 2011, κατασκεύασε δύο συσκευές PB 150 και τοποθέτησε τη μια ανοιχτά της Σκωτίας και την άλλη στο Reedsport του Oregon. Η εγκατάσταση αυτών των δυο συσκευών είναι ένα σημαντικό σημείο για την εμπορική ανάπτυξη της επιχείρησης. Το PB 150 ενσωματώνει πολλά από τα χαρακτηριστικά του πρωτότυπου. Θα παράγει ενέργεια από κύματα ύψους 1,5 έως 7 m. Τα συστήματα πρόσδεσης και η δομή του PB 150 το καθιστούν κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα θαλάσσιων συνθηκών. Το PB 150 παράγει 150 KW με βαθμό απόδοσης 30-50% ανάλογα με τη θέση. Παράγει σταθερή ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο και ενσωματώνει σύστημα Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA).

Ένα ακόμα καινοτόμο σύστημα που κατασκεύασε η OPT είναι ο υποθαλάσσιος υποσταθμός (USP) που παρέχει τη δυνατότητα να μεταφέρει την ενέργεια και τα στοιχεία από την ανοιχτή θάλασσα στο χερσαίο δίκτυο. Μπορεί να τοποθετηθεί σε βάθος μέχρι 50 m και να ενσωματώσει μέχρι 10 συσκευές σε ένα σημείο διασύνδεσης. Έχει σκοπό να ενισχύσει τις χαμηλές τάσεις που παράγονται από τις συσκευές στο συμβατό χερσαίο δίκτυο (11-15 KVolts). Σε συνεργασία με το σύστημα SCADA, παρέχει προστασία και ασφάλεια στις συσκευές, επιτρέποντας τον απομακρυσμένο έλεγχο από τον χειριστή. Επίσης, η OPT αναπτύσσει μια σειρά άλλων εφαρμογών για το USP:

Modem για να λαμβάνει πληροφορίες από τις συσκευές (φορτίο, πίεση).

Ακουστικό σύστημα Doppler για αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο της κυματικής ενέργειας.






Remotely Operated Vehicle (ROV). Τηλεχειριζόμενο όχημα για τον υποβρύχιο οπτικό έλεγχο συσκευών, καλωδίων και περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Υδρόφωνα για ακουστικό έλεγχο.

Η OPT αναπτύσσει αυτήν την περίοδο τη συσκευή PB 500 (500 KW). Η συσκευή αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2013. Βρίσκεται σε τελικό σχέδιο προετοιμασίας ώστε να γίνει η παρουσίαση μιας δοκιμαστικής συσκευής που θα αποδειξεί τις ικανότητές της. Η OPT σκοπεύει να δημιουργήσει τα επόμενα χρόνια το πρώτο εμπορικό πάρκο, στη Βόρεια Αμερική, μεγέθους 100 MW το οποίο θα ενε το μεγαλύτερο παγκοσμίως. Θα βρίσκεται στα 2,7 μίλια από την ακτή του Oregon και θα αποτελείται από 200 συσκευές PB 500, 20 USP κι ένα υποβρύχιο καλώδιο για να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο. Θα παράγει

275.000 MWh το χρόνο, ποσό ενέργειας ικανό να τροφοδοτήσει 25.000 νοικοκυριά. Επίσης, θα αποτρέψει 140.250 τόνους CO₂ να εκλυθούν στην ατμόσφαιρα κάθε χρόνο, το οποίο ισοδυναμεί με το να αποσυρθούν 30.000 αυτοκίνητα.

Σύγκριση με Άλλες Ενεργειακές Τεχνολογίες

	OPT Powerbuoy 	Ηλιακή Ενέργεια 	Αιολική ενέργεια 	Βιομάζα 	Φυσικά Καύσιμα 
Πυκνότητα ενέργειας	Υψηλή, περίπου 1000 φορές υψηλότερη απ'ότι στην αιολική	Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Πολύ υψηλή
προβλεψιμότητα	Υψηλή λόγω πρόβλεψης καιρού	Μέτρια	Χαμηλή, με εξάρτηση κάποιες τοποθεσίες	Υπόκεινται σε προμήθεια καυσίμων	Κατανομημένη
Βαθμος αποδοσης	30-45%	12-25%	20-40%	85%	50-90%
Οπτικές συνέπειες	Ελάχιστες, αφού δεν είναι ορατό από την ακτή	Χαμηλές	Μέτριες	Υψηλές	Πολύ Υψηλές
Ενδεχόμενες τοποθεσίες εγκατάστασης	Εκτεταμένες στην ακτή	Περιορισμένες για υψηλή πυκνότητα ενέργειας	Περιορισμένες	Εκτεταμένες, η διαδικασία αδειοδότησης μπορεί να είναι χρονοβόρα	Εκτεταμένες, η διαδικασία αδειοδότησης μπορεί να είναι χρονοβόρα
Κόστος ανα KWh	0,12€	0,07-0,14€	0,04-0,18€	0,07-0,11€	0,05-0,12€

Εικόνα 4.25: ο ΜΚΕ Powerbuoy σε σύγκριση με άλλες ενεργειακές τεχνολογίες.

4.4 Τεχνολογίες αρθρώσεων

Είναι πλωτά, αρθρωτά συστήματα τα οποία ανάλογα με τις κινήσεις του κυματισμού συμπιέζουν υδραυλικό υγρό σε κλειστού τύπου συστήματα και δίνουν κίνηση σε υδραυλικούς κινητήρες.

Εικόνα 4.26: Αρθρωτό σύστημα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εφαρμογές

Pelamis

Το Pelamis της εταιρίας Pelamis Wave Power είναι ένας υπεράκτιος μετατροπέας κυματικής ενέργειας που χρησιμοποιεί την κίνηση των κυμάτων ώστε να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Η συσκευή λειτουργεί σε βάθη μεγαλύτερα από 50 m και σε απόσταση 2-10 km από την ακτή.

Μονάδα Ισχύος



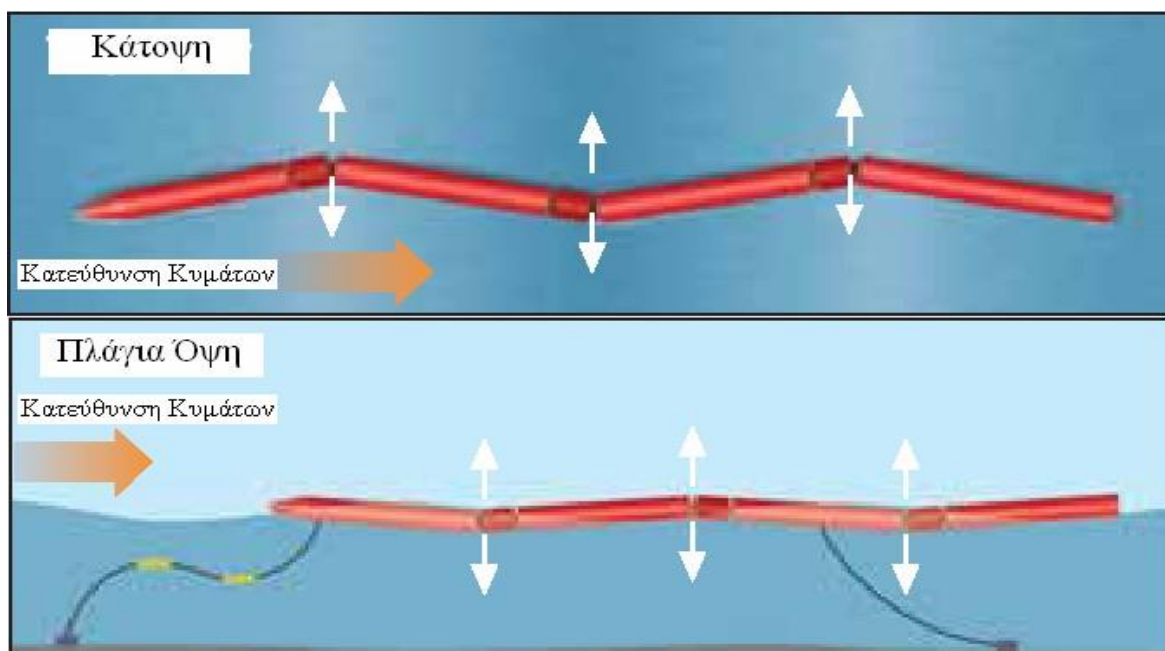
Εικόνα 4.27: Τα βασικά τμήματα του ηλεκτρο-δυναμικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια μονάδα Pelamis αποτελείται από τρία ίδια τμήματα μετατροπής ενέργειας, που το κάθε ένα αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο ήλεκτρο-υδραυλικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης των 250kW και τον αντίστοιχο πλωτό κυλινδρικό μεταλλικό σωλήνα. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το εσωτερικό ενός ολοκληρωμένου ήλεκτρο-υδραυλικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά τη λειτουργία του το Pelamis είναι ημιβυθισμένο, ενώ η αρθρωτή κατασκευή του αποτελείται από τέσσερα κυλινδρικά σωληνοειδή τμήματα συνδεδεμένα με αρθρωτούς συνδέσμους. Η κίνηση των συνδέσμων αυτών που προκαλείται από την κίνηση των θαλάσσιων κυμάτων, αντιτίθεται στους υδραυλικούς βραχίονες, που με τη σειρά τους αντλούν λάδι υψηλής πίεσης σε υδραυλικές κινητήρες δια μέσου συσσωρευτών απόσβεσης.

Αυτοί οι υδραυλικοί κινητήρες θέτουν σε κίνηση ηλεκτρικές γεννήτριες που τελικά παράγουν ηλεκτρισμό. Η ισχύς από όλες τις αρθρώσεις μεταφέρεται από ένα μονό καλώδιο σε ένα σημείο σύνδεσης που βρίσκεται στο βυθό της θάλασσας. Με αυτό τον τρόπο, είναι δυνατή η διασύνδεση πολλών συσκευών Pelamis με την ακτή διαμέσου ενός μόνο κεντρικού υποβρύχιου καλωδίου.

Η Pelamis Wave Power έχει αναπτύξει ένα μοναδικό σύστημα σύνδεσης/αποσύνδεσης το οποίο επιτρέπει στην μονάδα να συνδέεται με την πρόσδεση και το ηλεκτρικό σύστημα σε περίπου 90 λεπτά ενώ αποσυνδέεται σε λιγότερο από 15 λεπτά. Το σύστημα αυτό παρέχει τεράστια πλεονεκτήματα και στην εγκατάσταση και στην συντήρηση των μονάδων Pelamis χωρίς ανάγκη για εξειδικευμένα σκάφη. Το τηλεχειριζόμενο σύστημα είναι πολύ ασφαλέστερο από άλλες τεχνικές, χωρίς δραστηριότητες κατάδυσης, διαδικασίες ανύψωσης ή μεταφορές προσωπικού.



Εικόνα 4.28: Η κίνηση του μετατροπέα Pelamis τόσο ως προς τον οριζόντιο όσο και ως προς τον κατακόρυφο άξονα.

Η μηχανή συγκρατείται στην επιθυμητή θέση μέσω ενός συστήματος πρόσδεσης, που αποτελείται από ένα συνδυασμό από σημαδούρες και βαρίδια που προστατεύουν τα καλώδια πρόσδεσης από το να τεντωθούν και πιθανόν να κοπούν. Το σύστημα πρόσδεσης, αν και συγκρατεί το Relamis στη θέση που πρέπει, επιτρέπει στο μηχάνημα να προσανατολίσει τη κεφαλή του προς την κατεύθυνση των κυμάτων που έρχονται. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μέτρηση των επικείμενων κυματικών κορυφών.

Εφαρμογή – Μελλοντική ανάπτυξη

Εικόνα 4.29: Φωτογραφίες από τα διάφορα στάδια κατασκευής και μεταφοράς ενός μετατροπέα Relamis συνολικής ισχύος 750kW.



Από το 1998, το πρόγραμμα ανάπτυξης Relamis έχει καλύψει όλες τις πτυχές του σχεδίου από θεμελιώδη στοιχεία μέχρι δόκιμες αξιοπιστίας επιμέρους συστημάτων. Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης ανάπτυξης, πριν τη δοκιμή πραγματικού μεγέθους το 2004, εκτενή αριθμητική ανάλυση των προτύπων κλίμακας χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο ακριβείας των προσομοιώσεων. Αυτές οι διαδικασίες είναι σημαντικό μέρος της έρευνας και ανάπτυξης της τεχνολογίας Relamis εξετάστηκε στο Ευρωπαϊκό Θαλάσσιο Ενεργειακό Κέντρο, από το 2004 έως το 2007, και ήταν η πρώτη παγκοσμίως μονάδα εμπορικής κλίμακας παραγωγής ενέργειας που συνδέθηκε σε δίκτυο και τροφοδότησε ενέργεια από θαλάσσια κύματα.

Οι πτυχές της υποδομής της μονάδας Pelamis που θα μπορούσαν να βλάψουν τους τοπικούς βιοτόπους έχουν προσδιοριστεί και λαμβάνονται μέτρα ώστε να εξασφαλιστεί ότι το Pelamis είναι περιβαλλοντικά φιλικό. Υπάρχει δυνατότητα να απομονωθούν τα κυρία μέρη του υδραυλικού συστήματος. Στην περίπτωση διαρροής του υδραυλικού υγρού υπάρχουν δυο επίπεδα προστασίας τα όποια πρέπει να αποτύχουν και τα δυο ώστε το ρευστό να μπορέσει να δραπετεύσει στο εξωτερικό περιβάλλον. Ένα σύστημα έλεγχου επιτρέπει να ανιχνευτούν και οι μικρότερες αλλαγές σε αρχικό στάδιο. Επίσης, είναι πολύ μικρές ποσότητες κάτι που δεν αποτελεί απειλή για το θαλάσσιο περιβάλλον.

Όσον αφορά το σύστημα πρόσδεσης, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, αλυσίδες, σχοινιά, άγκυρες έχουν σχεδιαστεί ώστε να αφήνουν ελάχιστο ίχνος και αφαιρούνται εύκολα. Η ηχητική παράγωγη (γεννήτριες, μετακίνηση αλυσίδων) αξιολογήθηκε από τον ανεξάρτητο Οργανισμό Έρευνας και Τεχνολογίας Qinetiq που αποφάνθηκε ότι είναι ασήμαντη η ακουστική όχληση προς τα ψάρια και τα θαλάσσια θηλαστικά. Η εταιρία δραστηριοποιείται στη Σκωτία όπου έχει αναπτύξει 3 έργα, φάρμες της τάξης των 10MW.

DEXA

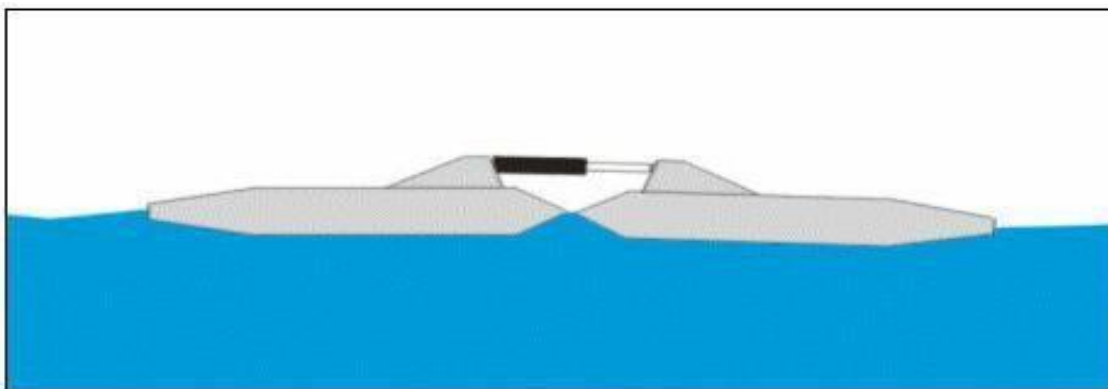
Το DEXA Wave Energy είναι μια σχετικά νέα (2006) τεχνολογία μετατροπής της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων, προϊόν της συνεργασίας των DEXA Technologies ApS, Innovation MidtVest A/S, Elbaek ApS, Novatech Holding ApS και άλλους συνεργάτες από τη βιομηχανία της Δανίας και της Αγγλίας. Η τεχνολογία του DEXA είναι κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας και ανεπτυγμένη για την παγκόσμια αγορά ανανεώσιμης ενέργειας. Το βασικό χαρακτηριστικό της είναι η πολύ χαμηλή τιμή παραγόμενης κιλοβατώρας, ενώ αποτελεί ιδανική επιλογή για συστήματα μεταβαλλόμενης παραγωγής ανάλογα με τη ζήτηση.



Εικόνα 4.30: Ο μετατροπέας DEXA σε λειτουργία.

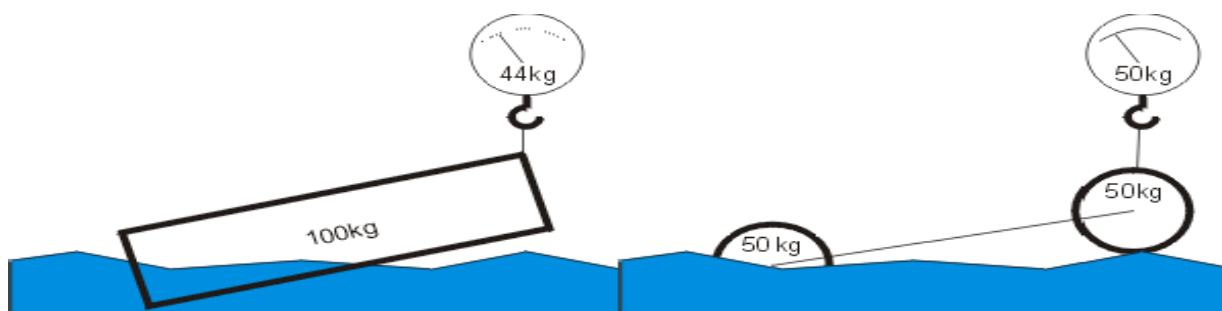
Ο μετατροπέας DEXA προέρχεται από ένα σύστημα εκμετάλλευσης κυμάτων όπως αναπτύχθηκε και κατοχυρώθηκε το 1980 από τον Sir Christopher Cockerell, το Cockerell Raft. Αποτελείται από δύο πλωτά σώματα (σημαδούρες) συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω ενός υδραυλικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και επρόκειτο για μία απλή και ιδιοφυή ιδέα, δεν έφτασε ποτέ στη παραγωγή λόγω της χαμηλής της απόδοσης και της μικρής εκτιμώμενης διάρκειας ζωής. Στη DEXA επαναπροσδιορίστηκε και απλοποιήθηκε η βασική κατασκευή του Cockerell Raft, ενώ το μόνο που υιοθετήθηκε από την πρωτότυπη τεχνολογία ήταν τα δύο πλωτά και το υδραυλικό σύστημα.

Εικόνα 4.31: Το πρωτότυπο σύστημα Cockerell Raft του 1980.



Έτσι προέκυψε ο μετατροπέας ενέργειας κυμάτων DEXA με χαμηλό κόστος, μεγάλη προσδοκώμενη διάρκεια ζωής και ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης. Αυτό το νέο μοντέλο έχει κατοχυρωθεί βασίζεται σε μοντέρνα προηγμένα υλικά και τεχνολογικές λύσεις, όπως για παράδειγμα ο πλήρης έλεγχος του συστήματος παραγωγής, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού.

Η βασική αρχή λειτουργίας του Cockerell Raft είναι ότι ένα επίπεδο πλωτό σώμα, το οποίο θα τεθεί εκτός του σημείου ισορροπίας του, θα προσπαθήσει να επανακτήσει την ισορροπία του με μια δύναμη ίση με το 44% της συνολικής του μάζας (όταν το πλωτό ανυψωθεί πλήρως εκτός του νερού από το ένα άκρο του). Με το διαχωρισμό της μάζας του πλωτού σε δύο ίσα μέρη και την τοποθέτηση τους στα άκρα, η δύναμη μπορεί να αυξηθεί έναντι της κατανάλωσης υλικού, ώστε η δύναμη εξισορρόπησης να αυξηθεί σε 50% με παράλληλη μείωση του χρησιμοποιούμενου υλικού. Το καθένα από τα δύο πλωτά τμήματα του DEXA, αποτελείται από δύο κυλινδρικά πλωτά σώματα ενωμένα με ένα άκαμπτο σύνδεσμο για τη βέλτιστη κατανομή του βάρους.



Εικόνα 4.32: Το πλεονέκτημα της κατανομής του βάρους του DEXA ως προς το Cockerell Raft.

Η παραγόμενη δύναμη προκαλεί διαστολή ή συστολή κατά μήκος ενός υδραυλικού κυλίνδρου, επιτρέποντας διπλή λειτουργία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η κίνηση του υδραυλικού συστήματος θα πραγματοποιείται με κάθε κύμα ύψους παραπάνω από το όριο ανύψωσης, παράγοντας με αυτόν τον τρόπο ηλεκτρισμό. Η απορρόφηση ενέργειας από τα κύματα μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά ίση με $0.44 \times \text{μάζα} \times \text{ύψος κύματος}$ πάνω από το κατώτερο όριο πίεσης του υδραυλικού συστήματος.

Το πλωτό τμήμα θα κινηθεί με μια καθορισμένη δύναμη, η οποία απαιτείται για την επίτευξη της υδραυλικής πίεσης λειτουργίας (τυπικά 160 – 200 bar). Από το εύρος της κίνησης υπολογίζεται το ποσοστό του υδραυλικού υγρού υπό πίεση που θα περάσει στον κινητήρα, και το πόσες φορές θα συμβεί αυτό σε ένα λεπτό. Αυτή τη μέτρηση της ροής σε λίτρα ανά λεπτό τη μετατρέπουμε σε kWh ανά λεπτό με βάση τα χαρακτηριστικά του κινητήρα. Έπειτα πολλαπλασιάζουμε επί 60 και παίρνουμε τη μέση παραγόμενη ισχύ για τις συγκεκριμένες πληροφορίες των θαλάσσιων κυμάτων.

Για παράδειγμα στα 200 bar έχουμε 4 λίτρα το λεπτό που αντιστοιχούν σε 1kW ισχύ στον άξονα και παραγωγή 1kWh στην έξοδο.

Τα παραπάνω αποτελούν χοντρικούς υπολογισμούς στους οποίους δε λαμβάνονται υπόψη σημαντικοί παράγοντες όπως η κατεύθυνση των κυμάτων, η αλατότητα του νερού, η μεταβολή της περιόδου των κυμάτων, κτλ. Όλα αυτά βέβαια συμπεριλαμβάνονται στη λεπτομερή ανάλυση και στους υπολογισμούς με τη βοήθεια ενός υπολογιστικού μοντέλου, για αξιόπιστες προβλέψεις.

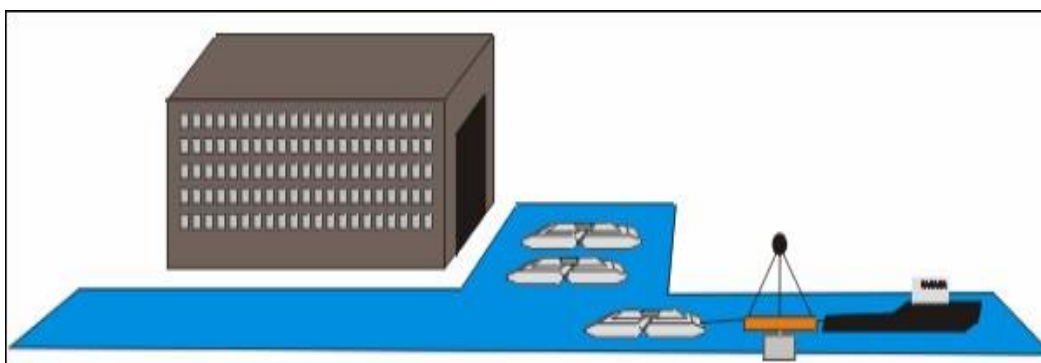
Η εγκατάσταση του DEXA είναι απλή και εύκολη υπόθεση. Ο μετατροπέας DEXA ρυμουλκείται από το ναυπηγείο στην επιλεγμένη τοποθεσία με το σύστημα πρόσδεσης να μεταφέρεται δεμένο από πλωτό γερανό.



Εικόνα 4.33: Η κίνηση της βασικής άρθρωσης του μετατροπέα DEXA.

Όταν φτάσουν στη τοποθεσία εγκατάστασης και ο πλωτός γερανός βρίσκεται πάνω από το επιλεγμένο σημείο εγκατάστασης, τότε κατεβάζει το βαρίδιο πρόσδεσης στο βυθό της θάλασσας στην ακριβή θέση του. Όλα αυτά, γρήγορα, εύκολα και ασφαλή ως προς το περιβάλλον.

Μετά την τοποθέτηση το ρυμουλκό επιστρέφει στο ναυπηγείο, με τον πλωτό γερανό για να παραλάβει την επόμενη μονάδα DEXA. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όλες οι μονάδες DEXA αποσύρονται από τον ωκεανό μετά το τέλος της λειτουργικής ζωής τους.



Εικόνα 4.34: Η ρυμούλκηση του μετατροπέα DEXA από το ναυπηγείο.

Λειτουργία Ανεξάρτητη της Παλίρροιας : Επειδή το επίπεδο της θάλασσας σε μερικά μέρη του κόσμου μπορεί να αυξομειωθεί ως και 10 μέτρα από την παλίρροια ή μέχρι περίπου 3,5 μέτρα λόγω καταγίδων, είναι σημαντικό για ένα μετατροπέα ενέργειας κυμάτων να μη εμφανίζει απώλειες παραγωγής σε τέτοια φαινόμενα. Το DEXA επειδή είναι απλά προσδεμένο στο βυθό της θάλασσας, είναι σχεδιασμένο ώστε να λειτουργεί αδιάλειπτα για ως και 40% διακύμανση του συνολικού βάθους υδάτων κατά τη παλίρροια, δηλαδή ως και 10 περίπου μέτρα παλίρροιας.

Καθόλου Ευάλωτο σε Πλωτά Σκουπίδια: Το DEXA έχει σχεδιαστεί εξ αρχής ώστε να μην προβληματίζεται η λειτουργία του από τα διάφορα μπουκάλια, δίχτυα, ξύλινα κομμάτια, σκοινιά, πετρελαιοκηλίδες και οτιδήποτε άλλο επιπλέει στον ωκεανό. Το DEXA είναι σχεδόν άτρωτο σε όλα τα παραπάνω λόγω της απλής κατασκευής που αντέχει μία επίθεση πλωτών σκουπιδιών χωρίς απώλειες παραγωγής και τεχνικού σέρβις.

Καθόλου Ευάλωτο σε Ανάπτυξη Θαλάσσιων Οργανισμών: Ενώ σε άλλους μετατροπείς η επικάλυψη τους, έπειτα από κάποια χρόνια, με όστρακα, φύκια και θαλάσσια παράσιτα θα δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία τους, το DEXA είναι κατάλληλα προστατευμένο. Έχει υπολογιστεί ότι θα αναπτυχθεί στο DEXA ένα στρώμα θαλάσσιων οργανισμών πάχους 3 με 5 εκατοστών, το οποίο δεν θα προκαλέσει κάποιο πρόβλημα. Απλά θα αυξήσει ελαφρά το βάρος του, κάτι το οποίο έχει υπολογιστεί στη προσδοκώμενη διαδικασία γήρανσης της μηχανής, χωρίς να μειωθεί η παραγωγή. Για το λόγο αυτό το DEXA επιτρέπει την ελεύθερη ανάπτυξη οργανισμών πάνω του για ολόκληρο τον κύκλο της ζωής του (50 χρόνια), χωρίς δηλητηριώδη περιβλήματα. Έτσι μπορεί να αποτελεί ένα ασφαλές καταφύγιο για μικρές κοινότητες οργανισμών κυρίως στην πλευρά του κάτω από το νερό.

Υψηλή Ικανότητα Επιβίωσης σε Ισχυρές Καταιγίδες: Το DEXA έχει σχεδιαστεί για να επιβιώνει σε ακραία καιρικά φαινόμενα χάρις ενός ειδικού μηχανικού χαρακτηριστικού του.

Δεν απορροφάει ενέργεια από την αυξομείωση του επιπέδου του νερού αλλά από τη γωνία του. Αυτό σημαίνει ότι όσο ψηλότερα γίνονται τα κύματα, τόσο μικρότερο ποσοστό της ενέργειας τους απορροφάται από το μηχανικό σύστημα, διατηρώντας το ασφαλές ακόμα και σε κύματα ύψους 50 μέτρων. Εκτιμάται ότι μία φορά στα 50 με 100 χρόνια στον ανοιχτό ωκεανό, θα περάσει ένα τεράστιο κύμα 30 μέτρων περίπου το οποίο θα κατάστρεφε τα περισσότερα μοντέλα ενέργειας κυμάτων. Αυτό όμως δεν συμβαίνει με το DEXA αφού άσχετα από το ύψος του κύματος η γωνία του νερού δε θα ξεπερνάει ποτέ τις 50 μοίρες. Αυτό ισχύει επειδή όσο τα κύματα γίνονται μεγαλύτερα, τόσο γίνονται και μακρύτερα διατηρώντας τη γωνία σταθερή. Έτσι ακόμα και σε κύματα 30 μέτρων ενέργειας 2000 kW/m, το DEXA θα απορροφήσει μόνο 50 kW/m ενώ η υπόλοιπη ενέργεια θα περάσει στον ωκεανό χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στη μηχανή.

Εξαιρετική Διαβρωτική Αντίσταση: Επειδή το βασικό κατασκευαστικό υλικό του DEXA είναι το τσιμέντο (αντί του χάλυβα), η αντοχή του σε διαβρωτικούς παράγοντες είναι πολύ μεγάλη

αυξάνοντας τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των αναγκαίων σέρβις και μειώνοντας το κόστος συντήρησης χωρίς αρνητικές περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις.

Πολύ Χαμηλές Απαιτήσεις Συντήρησης: Το DEXA παρουσιάζει μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης σε σχέση με άλλους μετατροπείς ενέργειας κυμάτων λόγω της κατασκευής από σκυρόδεμα χωρίς αντιδιαβρωτικό βάψιμο, της ελεύθερης ανάπτυξης θαλάσσιων οργανισμών στο σώμα του, του ότι όλα τα μηχανικά του μέρη βρίσκονται εκτός του νερού με εύκολη πρόσβαση για τεχνική συντήρηση και της απλής αποσύνδεσης και ρυμούλκησης στη στεριά για βαριές εργασίες και σέρβις.

Μεγαλύτερη Διάρκεια Ζωής Χωρίς Σέρβις: Εκτιμάται διάρκεια ζωής τουλάχιστον 50 χρόνια για μια κατασκευή σκυροδέματος, δηλαδή 30 χρόνια περισσότερο από μία τυπική ανεμογεννήτρια και χωρίς μείωση της παραγωγής με το πέρασμα του χρόνου όπως στα φωτοβολταϊκά πάνελ.

Απλή Εγκατάσταση: Το DEXA εγκαθίσταται εύκολα με τον μετατροπέα και το αντίβαρο πρόσδεσης να μεταφέρονται με ρυμουλκούμενο σκάφος από το ναυπηγείο στην επιλεγμένη τοποθεσία. Το σώμα πρόσδεσης βυθίζεται στον ωκεανό και ο μετατροπέας DEXA προσδένεται σε αυτό με καλώδιο ισχύος.

Εύκολη Μεταφορά/Μετακίνηση: Το DEXA μπορεί να μεταφερθεί εύκολα και οικονομικά από και προς το ναυπηγείο, να μετακινηθεί από μία τοποθεσία σε κάποια άλλη και τέλος να αποσυρθεί μόνιμα μετά το τέλος της λειτουργικής ζωής του. Όλα τα παραπάνω με τη χρήση του ίδιου εξοπλισμού.

Μη Επιβλαβείς Περιοχές ή Υλικά: Το DEXA χρησιμοποιεί μη επιβλαβή υλικά ως προς τη χλωρίδα και την πανίδα των ωκεανών. Το υδραυλικό του σύστημα χρησιμοποιεί μόνο φυτικό λάδι το οποίο δεν μολύνει το περιβάλλον σε περίπτωση διαρροής, ενώ επίσης δε γίνεται χρήση δηλητηριωδών ή τοξικών επιφανειακών επιστρώσεων.

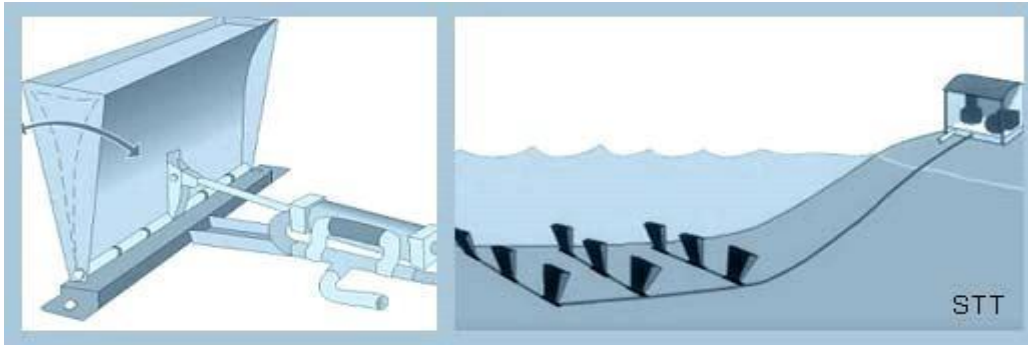
Καθόλου Αρνητικές Επιπτώσεις για το Περιβάλλον: Το DEXA είναι σχεδιασμένο ώστε να μην είναι δυνατός ο τραυματισμός θαλάσσιων ζώων. Έχει μαλακές γωνίες και καθόλου επικίνδυνα κενά παγίδευσης. Αντίθετα αποτελεί ένα ασφαλή καταφύγιο για μικρές κοινωνίες θαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας. Επίσης δεν ρυπαίνει οπτικά αφού δεν είναι ορατό από κάποια χιλιόμετρα απόσταση αλλά και ούτε ηχητικά σε κοντινές περιοχές με ανθρώπους. Τέλος μετά το τέλος της λειτουργικής ζωής του το DEXA αποσύρεται πλήρως από το περιβάλλον.

Χαμηλό Κόστος: Το DEXA αποτελεί μια ιδιαίτερα οικονομική λύση αφού κατασκευάζεται από απλά και φθηνά υλικά, έχει χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης και τέλος σταθερή και προβλέψιμη τιμή κλοβατόρας.

4.5 Τεχνολογίες οριζόντιας κίνησης

Πρόκειται για συσκευές που επιπλέουν ή είναι τοποθετημένες στον βυθό και καθώς τα θαλάσσια κύματα ή ρεύματα διέρχονται, η οριζόντια κίνηση τα ωθεί μπροστά και πίσω δίνοντας κίνηση σε υδραυλικές αντλίες.

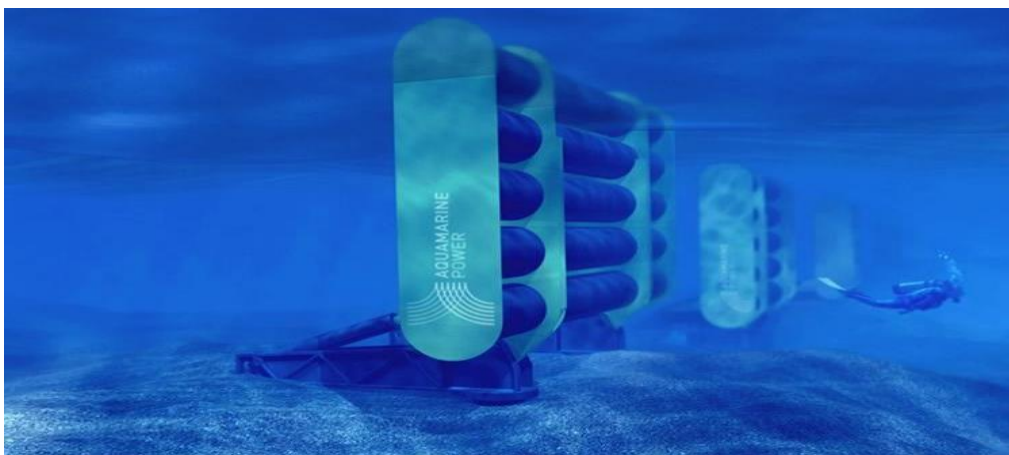
Εικόνα 4.35: Απεικόνιση τεχνολογίας οριζόντιας κίνησης με υδραυλικές αντλίες.



Εφαρμογές

Oyster

Το Oyster είναι ένας μετατροπέας κυματικής ενέργειας, της σκωτσέζικης εταιρίας Aquamarine Power, που εγκαθίσταται στον πυθμένα της θάλασσας σε κοντινή απόσταση από την ακτή. Είναι σχεδιασμένος να αλληλεπιδρά αποδοτικά με τις δυνάμεις των κυμάτων των ρηχών νερών. Αυτή η συσκευή έχει σχεδιαστεί ειδικά για εγκατάσταση σε νερά κοντά στην ακτή, καθώς τα ρηχά νερά έχουν ευκολότερη πρόσβαση και εκεί δεν εμφανίζονται τα επικίνδυνα μεγάλα κύματα που συναντάμε στην ανοιχτή θάλασσα.



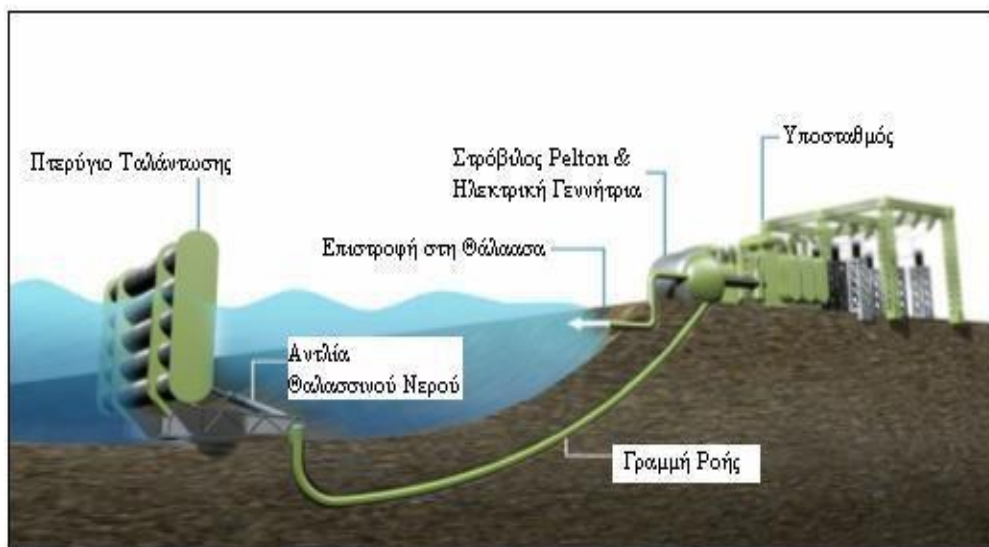
Εικόνα 4.36: Μια σειρά από εγκατεστημένους μετατροπείς Oyster φυσικής κλίμακας στον βυθό της θάλασσας.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αιχμής της κάθε μονάδας Oyster είναι μεταξύ 300 - 600kW ανάλογα με τη τοποθεσία εγκατάστασης και τη διαμόρφωση της. Μια «φάρμα κυμάτων» εμπορικής

κλίμακας αποτελούμενη από 10 μονάδες Oyster εγκατεστημένες σε σειρές θα παράγει μέχρι και 6MW ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αρχή λειτουργίας του μετατροπέα Oyster είναι απλή. Η συσκευή αποτελείται από ένα είδος πτερυγίου ταλάντωσης εγκατεστημένο στον πυθμένα της θάλασσας σε βάθος 12 μέτρων. Αυτή η συσκευή αποσπά την ενέργεια των διερχόμενων θαλάσσιων κυμάτων και τη διαβιβάζει ως υδραυλική ισχύ θαλασσινού νερού σε μία υδροηλεκτρική μονάδα μετατροπής στην ακτή. Αυτό γίνεται με τη κίνηση εμβόλων διπλής δράσης που τροφοδοτούν με συμπιεσμένο θαλασσινό νερό τη μονάδα PTO (Power Take-Off) του Oyster, όπως γίνεται και με τις συμβατικές υδροηλεκτρικές γεννήτριες.

Το Oyster είναι σχεδιασμένο με κύρια έμφαση στην απλότητα και στις ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης. Γι' αυτό και είναι πολύ ελαφρύ και αποτελείται από πολύ λίγα τμήματα. Η συσκευή αποτελείται βασικά από μια μικρή βάση που σταθεροποιείται στο βυθό της θάλασσας και από το πτερύγιο ταλάντωσης με τις αντλίες εμβόλου. Το αποτόπωμα της στον βυθό είναι πολύ μικρό, ενώ η μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της εξόδου της σε σχέση με το μέγεθος της, την καθιστά οικονομικά αποδοτική. Το Oyster ταλαντεύεται μακριά από μεγάλα κύματα, επιτρέποντας του να παράγει ηλεκτρική ενέργεια αδιάλειπτα ακόμα και σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Η συσκευή αλληλεπιδρά απευθείας με την ενισχυμένη ορμητική κίνηση των κυμάτων κοντά στην ακτή, παράγοντας αποδοτικά ηλεκτρική ενέργεια ακόμα και στις μικρότερες και ηπιότερες θάλασσες.



Εικόνα 4.37: Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος μετατροπής της κυματικής ενέργειας Oyster.

Όσον αφορά στην τοποθεσία εγκατάστασης, τα μοντέλα Oyster έχουν σχεδιαστεί για τοποθέτηση σε βάθος περίπου 10 μέτρων σε θαλάσσιες περιοχές όπου το μέσο κυματικό κλίμα είναι μεγαλύτερο από 15kW/m. Επίσης για την ορθή επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης των συσκευών θα πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως η προέλευση των θαλάσσιων κυμάτων, οι γεωτεχνικές συνθήκες, η σύνδεση με το δίκτυο, οι συνθήκες της συγκεκριμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, κτλ.

Για αυτόν τον λόγο η εταιρία του Oyster ερευνά διάφορες περιοχές για να διαπιστώσει τη καταλληλότητα τους για μια μελλοντική εγκατάσταση Oyster. Αν και ο πρωταρχικός εμπορικός στόχος είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το δίκτυο, η τεχνολογία του Oyster αναπτύσσεται και για δευτερεύουσες εφαρμογές όπως για παράδειγμα την παράλληλη παραγωγή ηλεκτρισμού και γλυκού νερού για μια απομακρυσμένη νησιωτική κοινότητα.

Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία του Oyster είναι κατάλληλη και για αφαλάτωση θαλασσινού νερού με τη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης. Οι συσκευές θα μπορούν να τροφοδοτούν μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης, τόσο με θαλασσινό νερό όσο και με την αναγκαία ηλεκτρική ενέργεια, καθιστώντας ουσιαστικά ανεξάρτητη τη μονάδα από εισαγόμενα καύσιμα και μειώνοντας τους εκπεμπόμενους ρύπους.

Βασικά Πλεονεκτήματα

Απλή κατασκευή: Λίγα υποβρύχια κινούμενα μέρη, χωρίς σύστημα ελέγχου, κιβώτιο ή σύστημα απενεργοποίησης. Επίσης, δεν χρησιμοποιεί περίπλοκα ηλεκτρονικά συστήματα.

Ικανότητα επιβίωσης και αξιοπιστία: ανθεκτική υποβρύχια δομή που τοποθετείται κοντά στην ακτή. Το αρθρωτό πτερύγιο λειτουργεί κάτω από τα μεγαλύτερα κύματα και στις πιο αντίξοες συνθήκες.

Ανταγωνιστικό κόστος: Η παράγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στην ακτή και δεν χρειάζεται υποθαλάσσια καλώδια. Είναι αξιόπιστη αποδεδειγμένη υδροηλεκτρική εγκατάσταση με εύκολη πρόσβαση που καθιστούν τη συντήρηση και το σέρβις απλή και οικονομική διαδικασία.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Με διαστάσεις 18mx12mx12m για μια μονάδα Oyster πλήρους κλίμακας έχει ελάχιστο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η λειτουργία είναι αθόρυβη, δεν περιέχει τοξικές ουσίες ενώ δεν έχει εκπομπές CO₂.

Εφαρμογή – Μελλοντική ανάπτυξη

Το 2003 και για 5 χρόνια έγιναν δοκιμές σε δεξαμενή στο Queen's University στο Belfast. Το 2008 κατασκευάστηκε το Oyster I (350 KW). Το 2009 έγιναν οι δοκιμές στην ανοιχτή θάλασσα, όπου έφτασε τις 6000 συνεχόμενες ώρες λειτουργίας. Το 2011, κατασκευάστηκε και τοποθετήθηκε το Oyster 800 (800 KW) ανοιχτά της Σκωτίας ενώ έχει προγραμματιστεί να τοποθετηθούν δύο ακόμα Oyster 800, ένα το 2012 και ένα το 2013 το οποίο θα δώσει στοιχεία για την εγκατάσταση Oyster σε μικρές σειρές και αργότερα σε μεγαλύτερες φάρμες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Όσον αφορά στο Oyster 800, το πλάτος του αρθρωτού πτερυγίου είναι 26 m και έχει 12 m ύψος από την άκρη του πτερυγίου μέχρι το κατώτερο σημείο της συσκευής. Θα εγκατασταθεί σε βάθος 13 m σε απόσταση 500 m από την ακτή. Έχει βελτιωμένο σχήμα για να συλλαμβάνει περισσότερη ενέργεια ενώ χρησιμοποιεί δύο (2) πασσάλους αγκύρωσης αντί τέσσερις (4) του Oyster I, κάτι που μειώνει το κόστος και το ίχνος στο βυθό. Μία φάρμα είκοσι (20) Oyster 800 μπορεί να τροφοδοτήσει 15.000 κατοικίες.

Επίσης, γίνεται προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί το αντίκτυπο αυτής της τεχνολογίας στο περιβάλλον. Υπάρχει από την αρχή κάθε προγράμματος, συνεργασία με τις τοπικές κοινότητες και κυβερνητικούς οργανισμούς ώστε να είναι σίγουρο ότι τα προγράμματα αναπτύσσονται με υπευθυνότητα απέναντι στο περιβάλλον και την υποθαλάσσια ζωή.

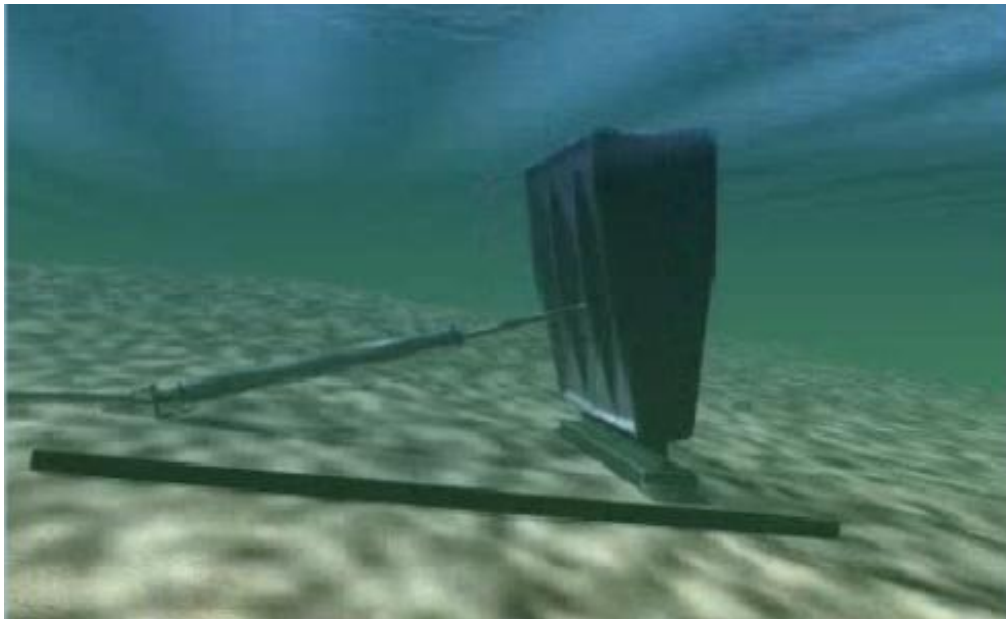
Waveroller

Το Waveroller της Φινλανδικής εταιρίας AW-Energy Oy είναι μια συσκευή που τοποθετείται στον πυθμένα της θάλασσας. Η παλινδρομική κίνηση των κυμάτων κινεί το πτερύγιο, μεταφέροντας την κινητική ενέργεια που δημιουργείται σε μια αντλία εμβόλου. Αυτή η ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό με τη χρήση παραδοσιακών τεχνολογιών.

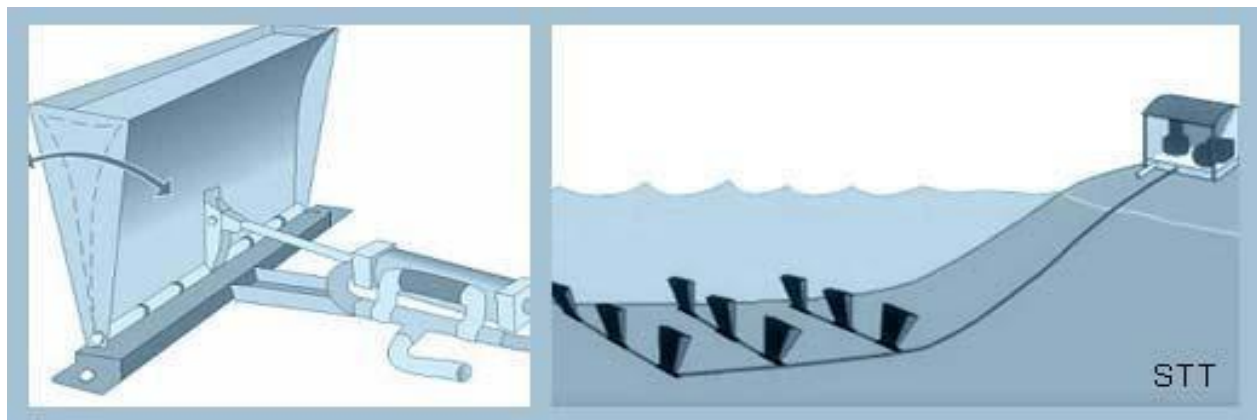
Το Waveroller, για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιεί το φαινόμενο της κυμάτωσης. Όταν ένα κύμα πλησιάζει την ακτογραμμή, τα σωματίδια του νερού τίθενται σε περιστροφική κίνηση. Καθώς το κύμα προχωρεί και το βάθος μειώνεται, αυτή η περιστροφική κίνηση γίνεται πιο ελλειπτική. Κοντά στο βυθό της θάλασσας, πριν “σκάσει” το κύμα, η κίνηση του νερού γίνεται σχεδόν οριζόντια με συνεχή κίνηση μπρος – πίσω. Η βέλτιστη περιοχή αύξησης της ενεργειακής αξιοποίησης είναι πίσω από το σημείο “θραύσης” του κύματος μέχρι το βάθος του νερού να ισούται με το μισό του μήκους κύματος επιφάνειας.

Μια σειρά από συσκευές δημιουργούν μεγάλη πίεση η οποία τροφοδοτεί ένα σύστημα συλλογής και στη συνέχεια με τη βοήθεια υδραυλικού μοτέρ/γεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Κάθε μονάδα μπορεί να παράγει 600-800KW ανάλογα με την περιοχή. Η κατασκευή της μονάδας είναι τμηματική και μπορεί να επεκταθεί ανάλογα με τις ανάγκες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό αποτελεί βασικό πλεονέκτημα, αφού δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος περιορισμός στο τελικό μέγεθος μιας εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας WaveRoller. Οι επιμέρους υποενότητες μπορούν να συντηρηθούν εύκολα και οικονομικά, ενώ η παραγωγή ηλεκτρισμού της εγκατάστασης μπορεί να συνεχιστεί κατά την διάρκεια της συντήρησης μίας υποενότητας.

Όσον αφορά στο περιβάλλον, η συσκευή Waveroller τοποθετείται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και ως εκ τούτου δεν είναι ορατό. Δεν παράγει καθόλου θόρυβο και κατασκευάζεται με υλικά που είναι φιλικά προς το περιβάλλον.



Εικόνα 4.38: Μια μονάδα μετατροπής WaveRoller. Διακρίνονται τα τρία βασικά της τμήματα, δηλαδή το περύγιο, η αντλία και η βάση εγκατάστασης.



Εικόνα 4.39: Τα βασικά τμήματα ενός μετατροπέα και μιας τοπικής εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με υποενοτήτες μετατροπέων.

Εφαρμογή – Μελλοντική ανάπτυξη

Το πρωτότυπο κατασκευάστηκε το 1999 και μετά από εργαστηριακές δοκιμές σε δεξαμενές καθώς και στην ανοιχτή θάλασσα έχει φτάσει πλέον σε επίπεδο εμπορευματοποίησης. Το 2004 έγινε αξιολόγηση μοντέλου με δοκιμές σε δεξαμενή κυμάτων στο Laboratory of Water Resources στο

Elsinki University of Technology για τη μελέτη της υδροδυναμικής και τον λεπτομερή σχεδιασμό των πτερυγίων.



Το 2005, έγινε δοκιμή πρωτοτύπου κλίμακας 1:3 στο EMEC του Orkney σε περιβάλλον Ατλαντικού Ωκεανού. Επίδειξη μοντέλου σε ήπιες και ακραίες χειμερινές συνθήκες και μετρήσεις της ταχύτητας των κυμάτων στο βυθό της θάλασσας με χρήση της συσκευής Doppler.



Το 2006, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το Waveroller 1 ενώ το 2007 εγκαταστάθηκε και λειτούργησε το Waveroller 1 και έγινε ολοκληρωμένη μέτρηση και ανάλυση της επίδοσης της συσκευής.



Μέσα στο 2012, τοποθετήθηκαν στην περιοχή Peniche της Πορτογαλίας 3 μονάδες Waveroller. Μολις τοποθετήθηκαν και τα πτερύγια, συνδεθηκε και το υποθαλάσσιο καλώδιο για να τροφοδοτήσει το δίκτυο.

bioWAVE

Το bioWAVE της Αυστραλιανής εταιρίας Biopower Systems είναι μια συσκευή παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τα θαλάσσια κύματα. Είναι εμπνευσμένο από τη φύση καθώς αντιγράφει την κίνηση θαλάσσιων φυτών που ζουν στον ωκεανό και έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα στις συνθήκες που επικρατούν εκεί. Η συσκευή bioWAVE αντί να αντιστέκεται στις δυνάμεις του ωκεανού, κινείται μαζί με αυτές, μετατρέποντας ενέργεια συνεχώς, χωρίς να χρειάζεται κάποια βαριά και ακριβή μηχανική κατασκευή.

Η υδροδυναμική αλληλεπίδραση των πτερυγίων με το πεδίο ροής της κυματικής ταλάντωσης έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να απορροφά τη μέγιστη ενέργεια. Αυτό το σύστημα έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους μετατροπείς της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων. Για παράδειγμα, το bioWAVE είναι το μόνο σύστημα κυματικής ενέργειας που συλλαμβάνει ένα μεγάλο ποσοστό της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας, χωρίς να χρησιμοποιεί μια μεγάλη άκαμπτη κατασκευή. Είναι επίσης η μόνη συσκευή τέτοιου είδους που απορροφά τη κυματική ενέργεια σε ένα μεγάλο εύρος, από τη βάση της στον πυθμένα ως και την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ συνεχώς προσανατολίζεται αυτόματα προς την κατεύθυνση των κυμάτων.

Το σύστημα bioWAVE είναι αγκυρωμένο στο βυθό με έναν άξονα κοντά στο κατώτερο σημείο. Η συστοιχία των πτερυγίων αλληλεπιδρά με την άνοδο και πτώση της θαλάσσιας επιφάνειας (δυναμική ενέργεια) και την υποθαλάσσια κίνηση μπρος – πίσω του νερού (κινητική ενέργεια). Ως αποτέλεσμα, η ταλαντευόμενη δομή κινείται οριζόντια μπρος πίσω σε αρμονία με τα κύματα και η ενέργεια που περιέχεται στην κίνηση μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια με μια ενσωματωμένη μονάδα

μετατροπής της ενέργειας που ονομάζεται O-DRIVE. Αυτή είναι αρθρωτή και μπορεί εύκολα να αποσυνδεθεί και να επανασυνδεθεί σε περίπτωση που χρειάζεται σέρβις. Η γεννήτρια O-DRIVE περιέχει ένα υδραυλικό σύστημα που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια της κίνησης σε ρευστό υπό πίεση η οποία χρησιμοποιείται για να περιστρέψει την γεννήτρια. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στην ακτή με υποθαλάσσιο καλώδιο.

Σε ακραίες καιρικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένου και τυφώνων, το bioWAVE δέχεται εντολή αυτόματα να σταματήσει τη λειτουργία του και να οριζοντιωθεί σε μια ασφαλή θέση παράλληλα με τον πυθμένα της θάλασσας. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλη λειτουργία της γεννήτριας O-DRIVE και έτσι αποκλείει την επικίνδυνη έκθεση σε ακραίες δυνάμεις. Η βάση πάνω στην οποία ασφαρίζεται ο μετατροπέας bioWAVE στον πυθμένα της θάλασσας ονομάζεται bioBASE. Διάφορα συστήματα bioWAVE βρίσκονται υπό ανάπτυξη, με απόδοση 500kW, 1000kW και 2000kW, για να ταιριάζουν στις κυματικές συνθήκες των διαφόρων τοποθεσιών εγκατάστασης.

Βασικά πλεονεκτήματα

Πατενταρισμένο σύστημα με πολλαπλά πτερύγια που μεγιστοποιεί τη λήψη ενέργειας από τα κύματα.

Τα πτερύγια περιστρέφονται συνεχώς με την διεύθυνση των κυμάτων.

Η εγκατάσταση των συσκευών γίνεται χωρίς ανάγκη για ειδικά πλοία ή γερανούς.

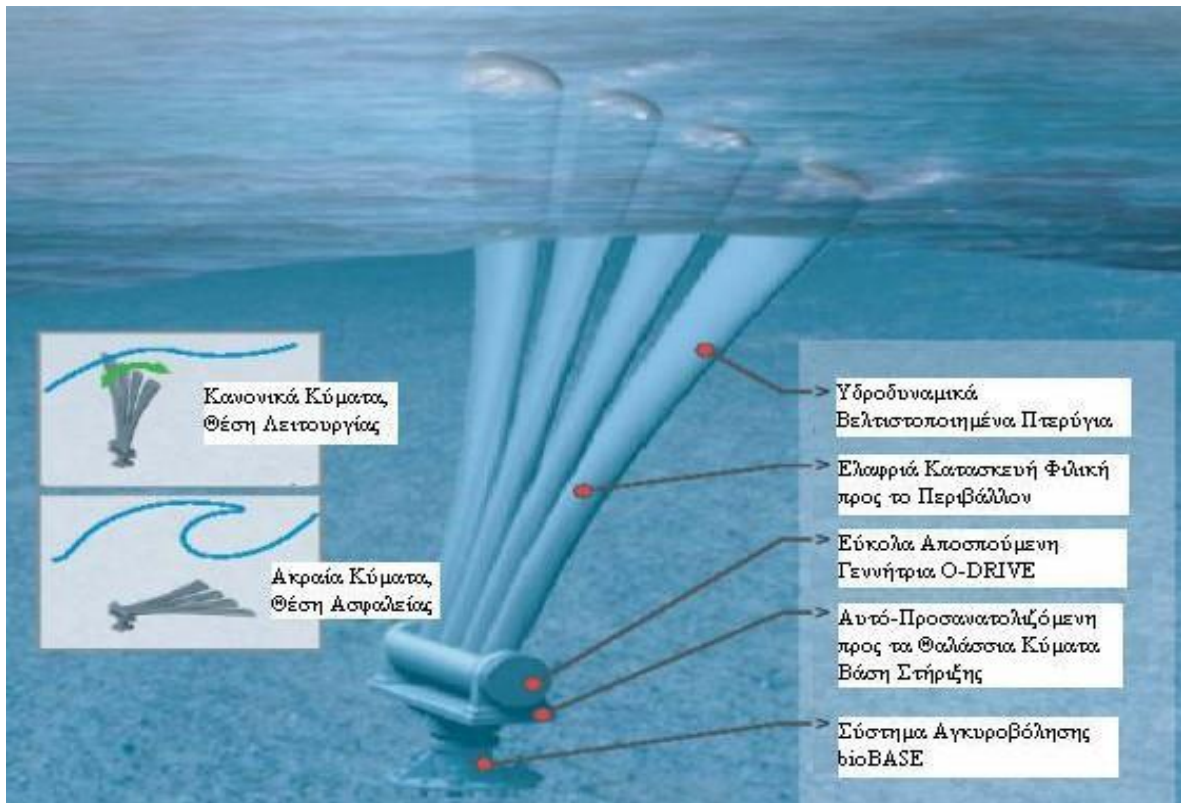
Σχεδιασμένο να μετακινείται σε θέση παράλληλα με τον πυθμένα για να αποφύγει την έκθεση σε ακραία καιρικά φαινόμενα.

Αποσπώμενο O-DRIVE που συνεπάγεται χαμηλό κόστος επισκευής και εύκολη αντικατάσταση.

Πλήρως βυθισμένο, καμία οπτική όχληση και αργή, “φυσική” κίνηση που δεν ενοχλεί το θαλάσσιο περιβάλλον.

Μελλοντική ανάπτυξη

Το Port Fairy Pilot Wave Energy Project, στην περιοχή Victoria της Αυστραλίας, είναι ένα πρόγραμμα της bioPower Systems όπου θα τοποθετηθεί μια συσκευή bioWAVE και θα λειτουργήσει για 21 μήνες στον ωκεανό και μετά θα αποσυρθεί. Περιοδική συντήρηση και δοκιμές θα πραγματοποιηθούν κατά τη διάρκεια λειτουργίας και η όλη προσπάθεια θα κορυφωθεί με μια ανεξάρτητη αξιολόγηση της απόδοσης του bioWAVE. Το έργο θα παρέχει βασικά στοιχεία για το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός μεγαλύτερου εμπορικής κλίμακας bioWAVE 1MW.



Εικόνα 4.40: Τα βασικά τμήματα του bioWAVE και οι θέσεις λειτουργίας και ασφαλείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Η ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η κυματική ενέργεια είναι μια νέα και άγνωστη πηγή ενέργειας που δεν έχει αξιοποιηθεί ακόμα στην Ελλάδα παρά τα 16.000 χιλιόμετρα ακτογραμμής. Καμία αξιοσημείωτη έρευνα δεν έχει γίνει στην χώρα μας προκειμένου να χρησιμοποιηθεί αυτή η ενεργειακή δυνατότητα. Εντούτοις, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει την υποχρέωση για τα μέλη της, να παραγάγουν 20% της ενέργειας που καταναλώνουν από ανανεώσιμες πηγές μέχρι το έτος 2020.

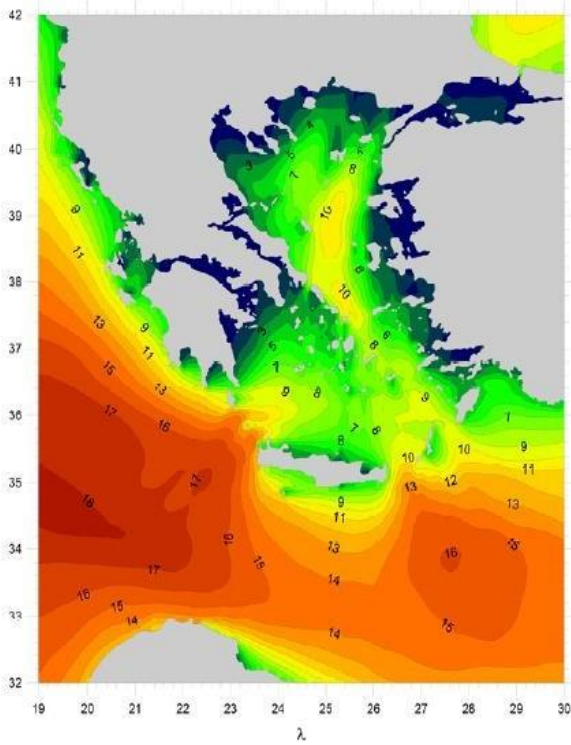
Αν και αναπτύσσονται δυνατοί άνεμοι πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος, υπάρχει περιορισμένη διαδρομή ανάπτυξης κύματος λόγω των μεγάλων νησιωτικών συμπλεγμάτων. Παρόλα αυτά, ανάμεσα στα “στενά” που δημιουργούν τα νησιά υπάρχουν σημεία που η δύναμη των κυμάτων φτάνει σε υψηλές τιμές.

5.1 Δεδομένα Κυματικού Δυναμικού της Ελλάδος

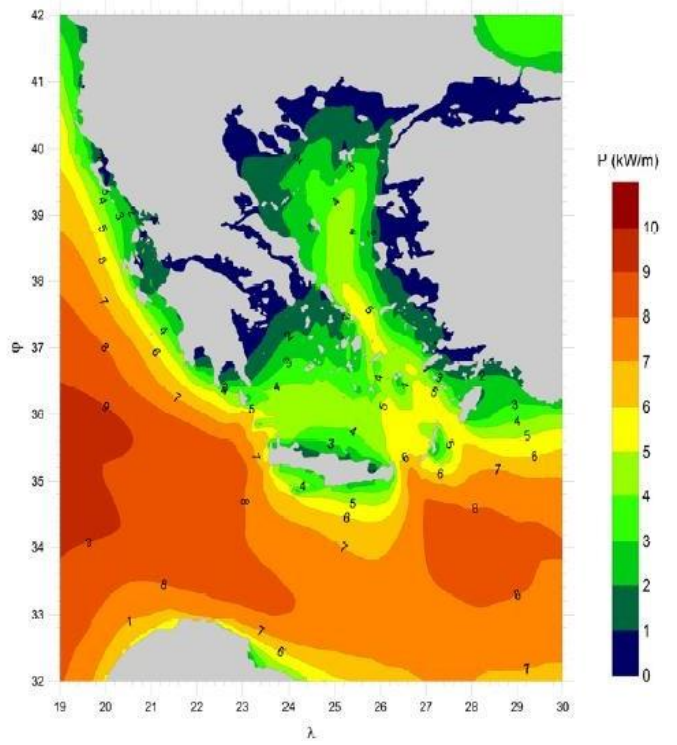
Υπάρχει λεπτομερής αξιολόγηση του κυματικού δυναμικού των ελληνικών θαλασσών, που χρησιμοποιεί στοιχεία από αριθμητικά πρότυπα προσομοίωσης κυμάτων σε συνδυασμό με επιτόπιες μετρήσεις κυμάτων. Τα στοιχεία είναι υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης και καλύπτει μια περίοδο 10 ετών και δημοσιεύεται υπό την μορφή Wind and Wave Atlas (Soukissian).

Η συγκεκριμένη μελέτη, εκθέτει τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στα διαγράμματα της χωρικής διανομής της μέσης ενέργειας κυμάτων σε εποχιακή (εικόνα 5.1) και ετήσια βάση (εικόνα 5.2).

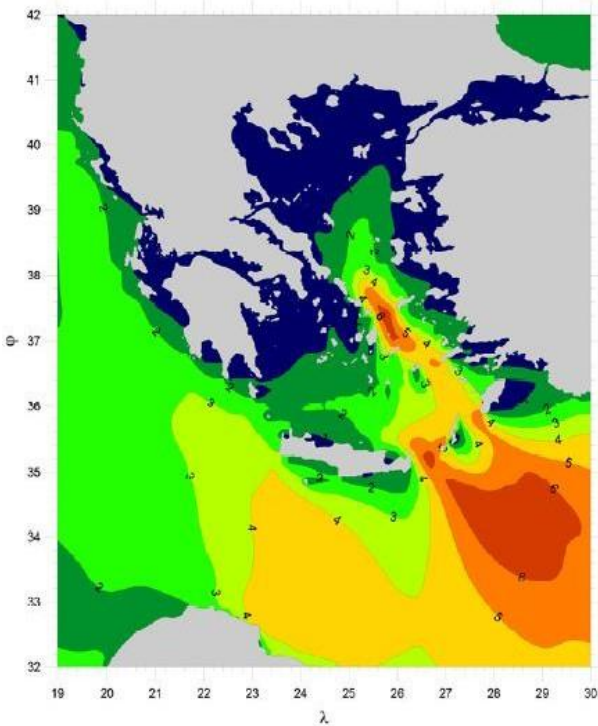
Στην εποχιακή βάση, η μέση ενέργεια κυμάτων φθάνει στις μέγιστες τιμές της κατά τη διάρκεια του χειμώνα (εικόνα 7.1α). Βόρεια των Κυκλάδων, η μέγιστη δύναμη κυμάτων είναι 10 kW/m, ενώ νότια των Κυκλάδων έχει χαμηλότερη αξία, 6-8 kW/m. Στο νοτιοανατολικό Αιγαίο, μεταξύ των νησιών Κρήτη και Κάσος, η δύναμη κυμάτων είναι περίπου 10-12 kW/m ενώ στο νοτιοδυτικό Αιγαίο, είναι περίπου 8-10 kW/m. Το υψηλότερο κυματικό δυναμικό στο Αιγαίο κυμαίνεται μεταξύ 12 και 14 kW/m και παρατηρείται μεταξύ των νησιών Κρήτη και Κύθηρα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, στο Ιόνιο Πέλαγος, οι τιμές είναι υψηλότερες (9-15 kW/m).



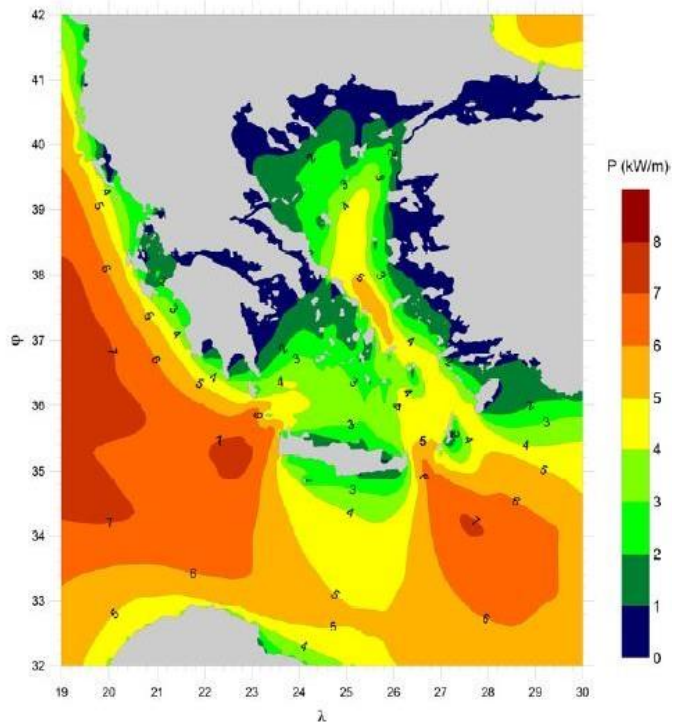
(α)



(β)



(γ)



(δ)

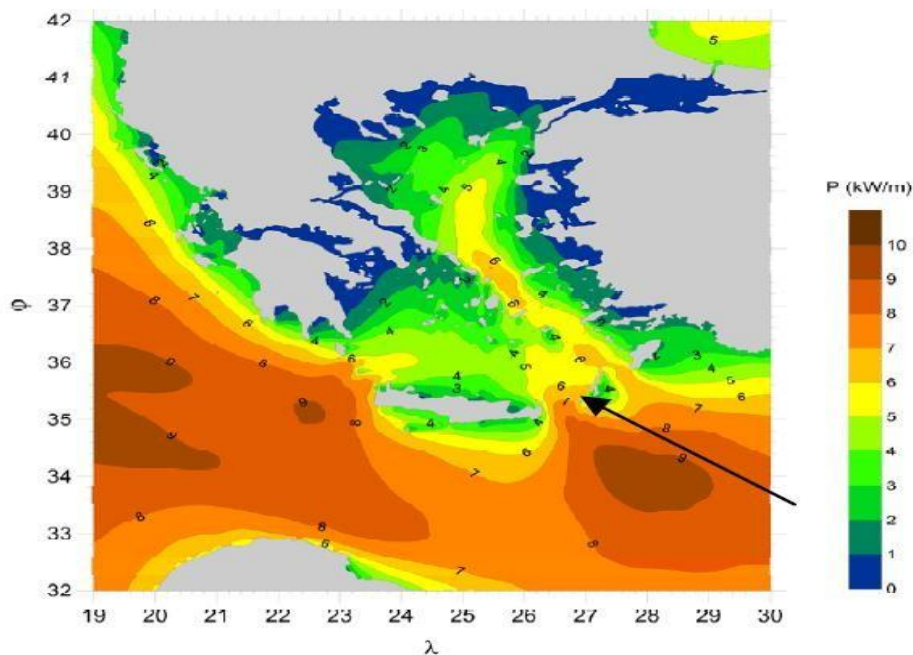
Εικόνα 5.1: Μέση ενέργεια κυμάτων στις ελληνικές θάλασσες: α)χειμώνας, β)άνοιξη, γ)καλοκαίρι, δ)φθινόπωρο.

Την άνοιξη (εικόνα 5.1β) στο βόρειο και κεντρικό Αιγαίο οι τιμές της μέσης ενέργειας κυμάτων δεν υπερβαίνει τα 5 kW/m. η μέγιστη τιμή παρατηρείται πάλι μεταξύ των νησιών Κρήτη – Κύθηρα, Κρήτη – Κάσος και Κάρπαθος – Ρόδος και φτάνει τα 7 kW/m. Την ίδια περίοδο, στο Ιόνιο η μέση τιμή κυμαίνεται επίσης στα 7 kW/m.

Το καλοκαίρι (εικόνα 5.1γ) η υψηλότερη μέση κυματική ενέργεια παρατηρείται στο κεντρικό Αιγαίο, βόρεια των Κυκλάδων (5-6 kW/m) και στο νοτιοανατολικό Αιγαίο μεταξύ των νησιών Κρήτη – Κάσος (5-6 kW/m) και Κάρπαθος – Ρόδος (5 kW/m). Αυτό συμβαίνει λόγω των δυνατών ανέμων από βόρειο – βορειοδυτικές κατευθύνσεις προς τα νότια – νοτιοανατολικά που αναπτύσσονται στο Αιγαίο Πέλαγος το καλοκαίρι.

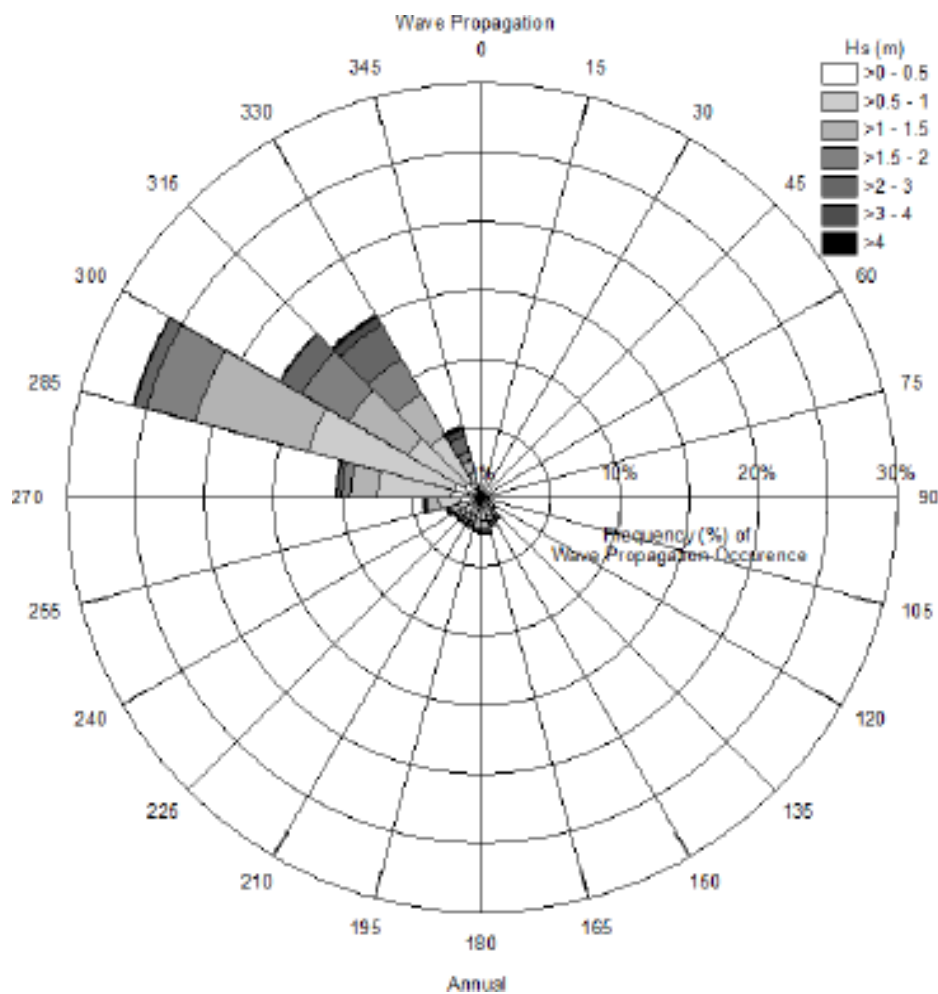
Το φθινόπωρο (εικόνα 5.1δ) στο κεντρικό – βόρειο Αιγαίο η μέση κυματική ενέργεια κυμαίνεται στα 3 -5 kW/m. Στο νοτιοδυτικό Αιγαίο, μεταξύ των νησιών Κρήτη – Κύθηρα και στο νοτιοανατολικό Αιγαίο μεταξύ των νησιών Κρήτη – Κάσος, Κάρπαθος – Ρόδος κυμαίνονται μεταξύ 5-6 kW/m. Αντίστοιχες τιμές παρατηρούνται την ίδια περίοδο και στο Ιόνιο Πέλαγος.

Σε ετήσια βάση (εικόνα 5.2) στο βόρειο Αιγαίο η τιμή της κυματικής ενέργειας είναι 3 – 5 kW/m, ενώ στο κεντρικό – βόρειο Αιγαίο στην περιοχή των Κυκλάδων φτάνει τα 6 kW/m. Στο νοτιοδυτικό Αιγαίο η κυματική ενέργεια κυμαίνεται μεταξύ 4 – 5 kW/m. Οι υψηλότερες τιμές κυματικής ενέργειας της τάξης των 6 – 8 kW/m σε ετήσια βάση παρατηρούνται στα στενά μεταξύ των νησιών Κρήτη – Κύθηρα και Κρήτη – Κάσος. Μεταξύ των νησιών Κάσος – Κάρπαθος και Κάρπαθος – Ρόδος η τιμή της κυματικής ενέργειας κυμαίνεται στα 6 kW/m. Στο Ιόνιο Πέλαγος, σε ετήσια βάση, η κυματική ενέργεια κυμαίνεται μεταξύ 4 – 8 kW/m.



Εικόνα 5.2: Μέση κυματική ενέργεια σε ετήσια βάση των ελληνικών θαλασσών.

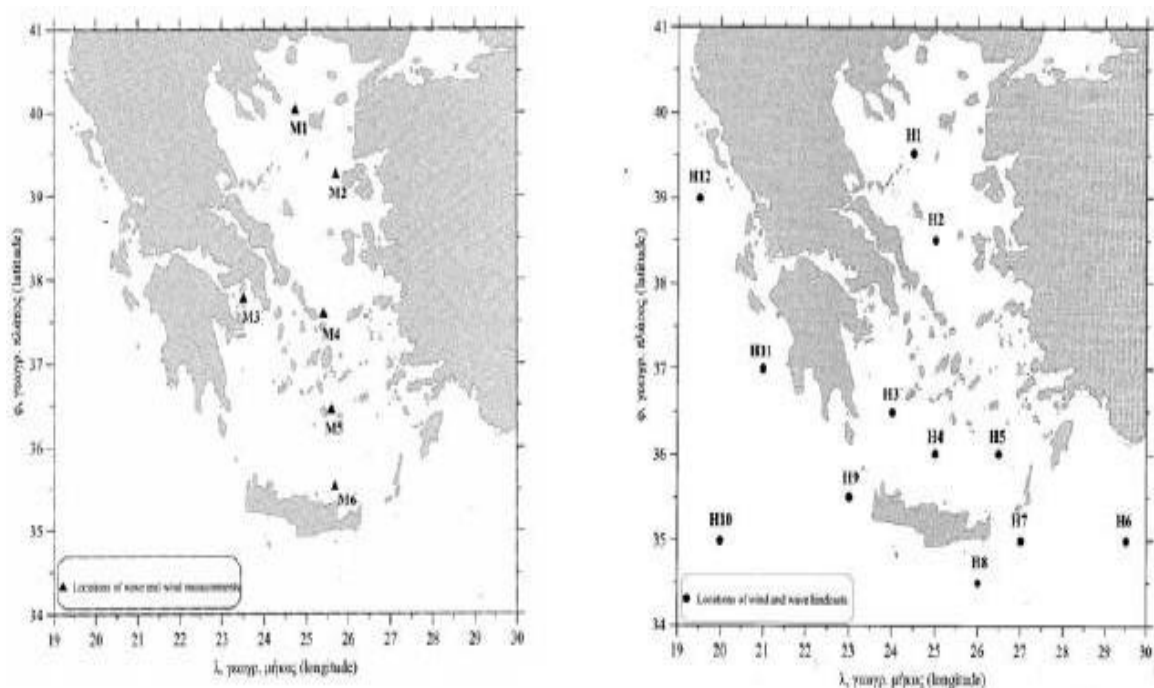
Μια περιοχή που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί η κυματική ενέργεια είναι η στενή περιοχή μεταξύ των νησιών Κάσος – Κάρπαθος που φαίνεται στην εικόνα 5.2 με το μαύρο βέλος. Για την συγκεκριμένη περιοχή η μέση ετήσια τιμή κυματικής ενέργειας είναι 6,4 kW/m. Η κυρίαρχη κατεύθυνση των ανέμων στην περιοχή είναι δυτικά – βορειοδυτικά. Μεγαλύτερη συχνότητα, περίπου 26% σε ετήσια βάση, παρατηρούνται στον τομέα μεταξύ [285ο - 300ο]. Το μεγαλύτερο ύψος κυμάτων παρατηρείται στον τομέα μεταξύ [315ο - 345ο].



Εικόνα 5.3: Ετήσιο κυματικό διάγραμμα για την περιοχή μεταξύ Κάσου – Κάρπαθου.

Μια δεύτερη μελέτη, του Waverlam, σε συνεργασία με διάφορους Ευρωπαϊκούς Οργανισμούς ανάμεσα τους και το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) εξετάζει την θαλάσσια περιοχή στα ανοιχτά της νοτιοδυτικής Πελοποννήσου μεταξύ Κυπαρισσίας και Πύλου. Υπάρχουν αξιόπιστα κυματικά στοιχεία χάρη στο σύστημα “Ποσειδών”. Το “Ποσειδών” αποτελείται από ένα

δίκτυο σηματοδότησης παρατήρησης και ένα ειδικευμένο κέντρο έλεγχου για την επεξεργασία των στοιχείων και την πρόβλεψη καιρικών συνθηκών.



Εικόνα 5.4: Σημεία στις ελληνικές θάλασσες για τα οποία υπάρχουν κυματικά δεδομένα. Τα σημεία (M) είναι σηματοδότες παρατήρησης ενώ τα σημεία (H) είναι δεδομένα αριθμητικής προσομοίωσης.

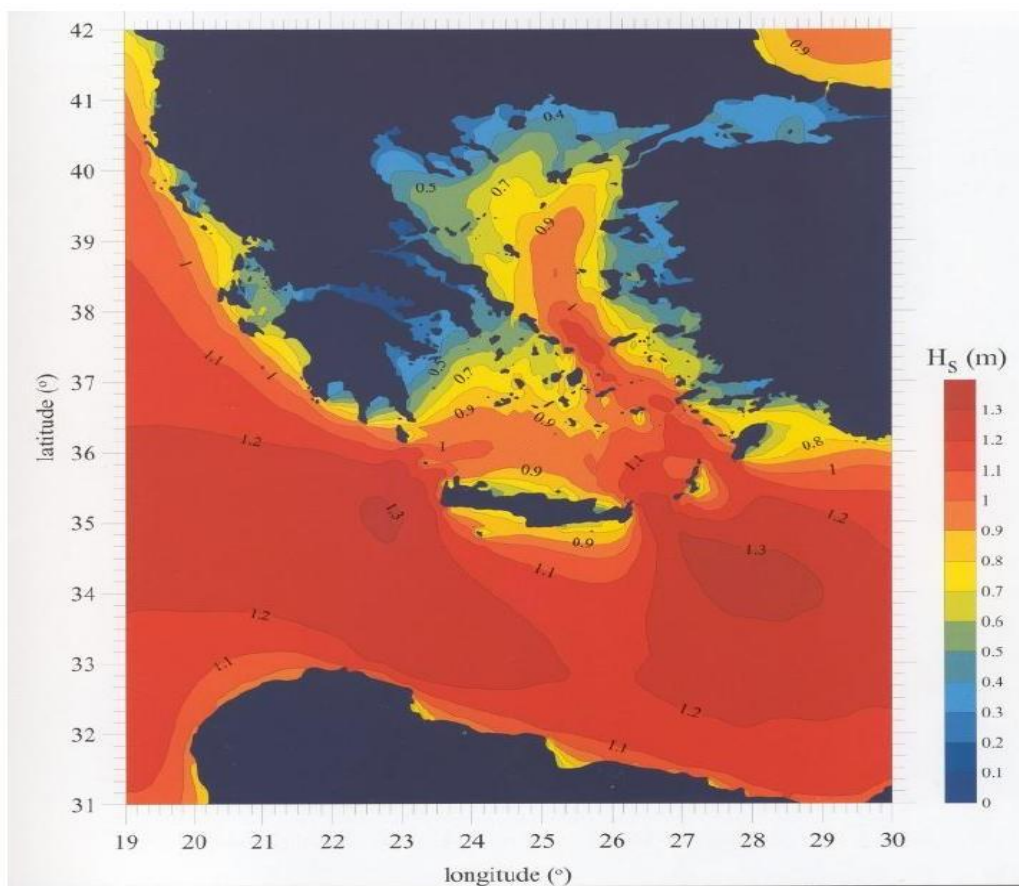
Η Εικόνα 5.4 δείχνει τα σημεία στα οποία υπάρχουν διαθέσιμα κυματικά στοιχεία. Η νοτιοδυτική ακτή της Πελοποννήσου είναι μια μεγάλη περιοχή που εκτίθεται στην ανοικτή θάλασσα του Ιονίου Πελάγους. Η ενέργεια κυμάτων κυμαίνεται στα 5.45 kW/m που είναι από τα υψηλότερα δυναμικά στην Ελλάδα. Ως τμήμα της ηπειρωτικής χώρας, έχει σημαντική υποδομή ηλεκτρικού δικτύου.

Σύμφωνα με την Εικόνα 5.4 οι κυματικές συνθήκες του σημείου είναι όπως στο H11. Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.1 η μέση κυματική ενέργεια είναι 5.45 kW/m, με υψηλότερη τιμή τα 10.18 kW/m κατά την διάρκεια του χειμώνα και μόλις 1.19 kW/m κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Οι τιμές για την άνοιξη και το φθινόπωρο είναι 5.37 kW/m και 4.47 kW/m αντίστοιχα. Το 40% της διάρκειας του έτους η κυματική ενέργεια είναι λιγότερο από 1 kW/m με μεγάλες περιόδους νηνεμίας. Μια γενική ιδέα της ενεργειακής ροής κυμάτων των ελληνικών θαλασσών παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.5 όπου φαίνεται η χωρική κατανομή του μέσου κυματικού ύψους H_s σε m.

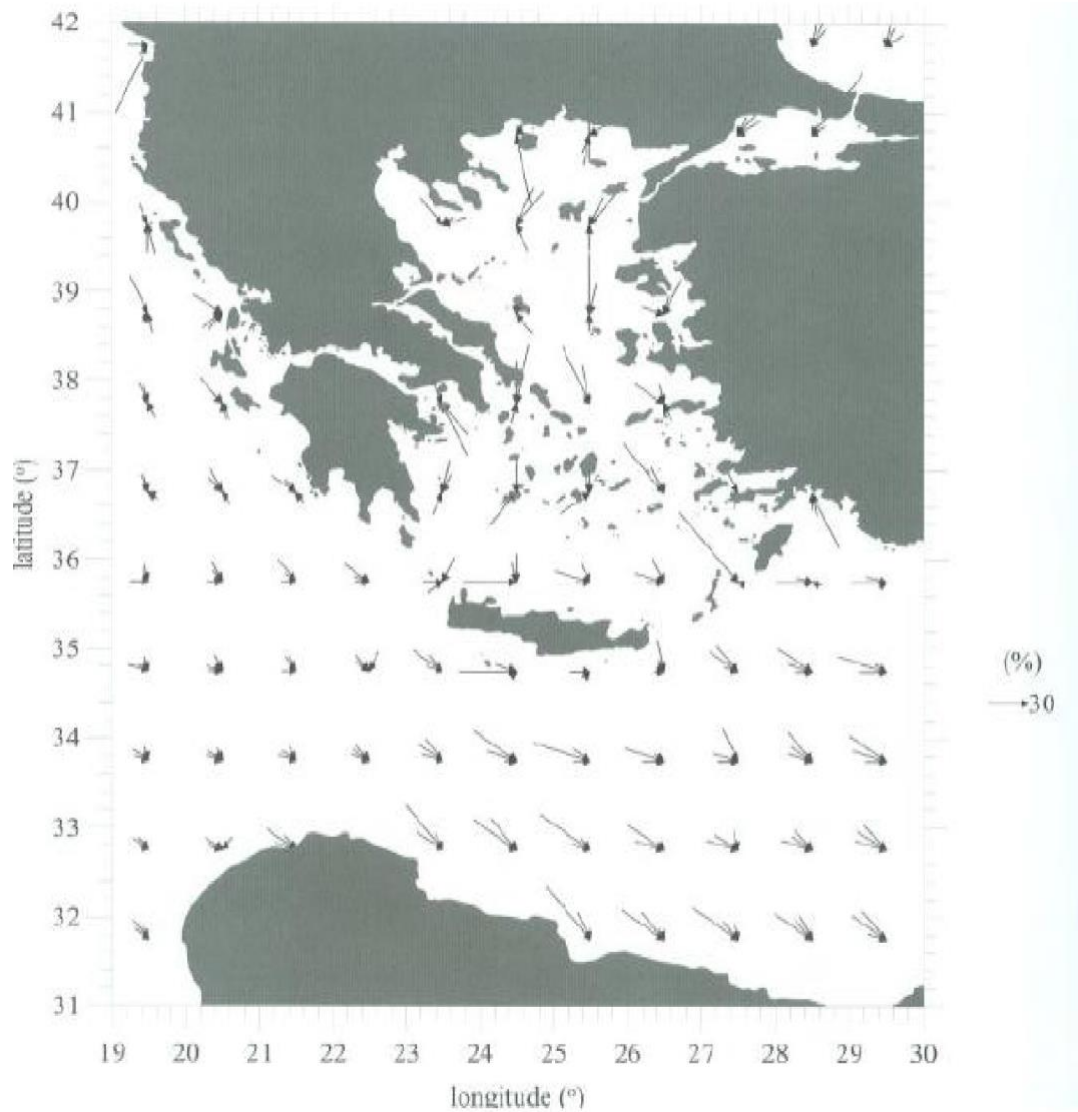
Μέση ετήσια ενέργεια (kW/m)	
Σημεία μέτρησης	
M1	3.55
M2	2.22
M3	0.25
M4	4.49
M5	2.90
M6	3.57

Μέση ετήσια ενέργεια (kW/m)	
Σημεία αριθμητικής προσομείωσης	
H1	3.08
H2	3.96
H3	3.52
H4	3.83
H5	4.59
H6	6.08
H7	6.46
H8	4.63
H9	6.92
H10	7.72
H11	5.45
H12	5.31

Πίνακας 5.1: Μέση ετήσια κυματική ενέργεια σε kW/m των σημείων μέτρησης (M) και των σημείων αριθμητικής προσομείωσης (H). Οι τοποθεσίες φαίνονται στην Εικόνα 5.4.



Εικόνα 5.5: Χωρική κατανομή του μέσου κυματικού ύψους H_s σε m.



Εικόνα 5.6: Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης των κυμάτων.

Η κατεύθυνση των κυμάτων ποικίλλει σημαντικά καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η κύρια κατεύθυνση των κυμάτων είναι ΒΒΔ 30% και ΝΝΔ 15%. Η χωρική διανομή της κατεύθυνσης των κυμάτων παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.6.

5.2 Τεχνολογίες κυματικής ενέργειας στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα βρίσκεται περισσότερο το σύστημα WECA και το σύστημα LabBouoy που αναλύσαμε σε παραπάνω ενότητες κυρίως για ερευνητικούς λόγους. Σημαντικό γεγονός για την χώρα μας

αποτέλεσε η εγκατάσταση του μετατροπέα κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική της Γερμανικής εταιρείας SINN Power στο λιμάνι του Ηρακλείου.

Συγκεκριμένα το 2015 επίσημη συμφωνία σύναψε ο Οργανισμός Λιμένος Ηρακλείου Α.Ε. με τη γερμανική εταιρεία “SINN Power” και το Πολυτεχνείο του Clausthal στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος ανάπτυξης και πιλοτικής εφαρμογής συστήματος κυματικής ενέργειας για την παραγωγή προσιτής, αξιόπιστης και βιώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμη πηγή, την θάλασσα και την ενέργεια των κυμάτων. Η δοκιμή της καινοτόμου τεχνολογίας κυματικής ενέργειας θα διαρκούσε ένα χρόνο στο λιμάνι του Ηρακλείου.

Για τη δοκιμή, μία μονάδα πλήρους μεγέθους μετατροπέα κυματικής ενέργειας της SINN Power, εγκαταστάθηκε στην εξωτερική πλευρά του βόρειου λιμενοβραχίονα, κοντά στο φάρο του λιμανιού. Με τη μονάδα δοκιμής, η εταιρεία στόχευε να αξιολογήσει την λειτουργικότητα και την αντοχή στη διάβρωση της συγκεκριμένης νέας τεχνολογίας. Εάν οι δοκιμές διεξαγονταν ομαλά, ο λιμενοβραχίονας του Ηρακλείου (2,4 χλμ μήκος) καθώς και σε επόμενο στάδιο όλη η παραλιακή λεωφόρος θα μπορούσαν να τροφοδοτούνται από την ενέργεια των κυμάτων.

Το έργο κατέστη δυνατό στα πλαίσια μιας μοναδικής συνεργασίας μεταξύ των ελληνικών αρχών και της εν λόγω γερμανικής start up εταιρείας. Το λιμάνι του Ηρακλείου επιλέχθηκε λόγω των ιδανικών συνθηκών στις παραμέτρους εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος αλλά και λόγω της στρατηγικής της Διοίκησης για την προώθηση δράσεων περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης.



Εικόνα 5.7: Μετατροπείς κυματικής ενέργειας στο Ηράκλειο.

Στη δεύτερη φάση πέρασε το 2020 το έργο μετατροπής της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική από την SINN Power στο λιμάνι του Ηρακλείου με την επικείμενη τοποθέτηση της πρώτης πλωτής υβριδικής πλατφόρμας στον κόσμο. Η πλωτή μονάδα, που δοκιμάστηκε στην Κρήτη, στην πλήρη της μορφή περιλάμβανε μετατροπείς ενέργειας από τα κύματα, φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες, ενσωματώνοντας πατενταρισμένη τεχνολογία από όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

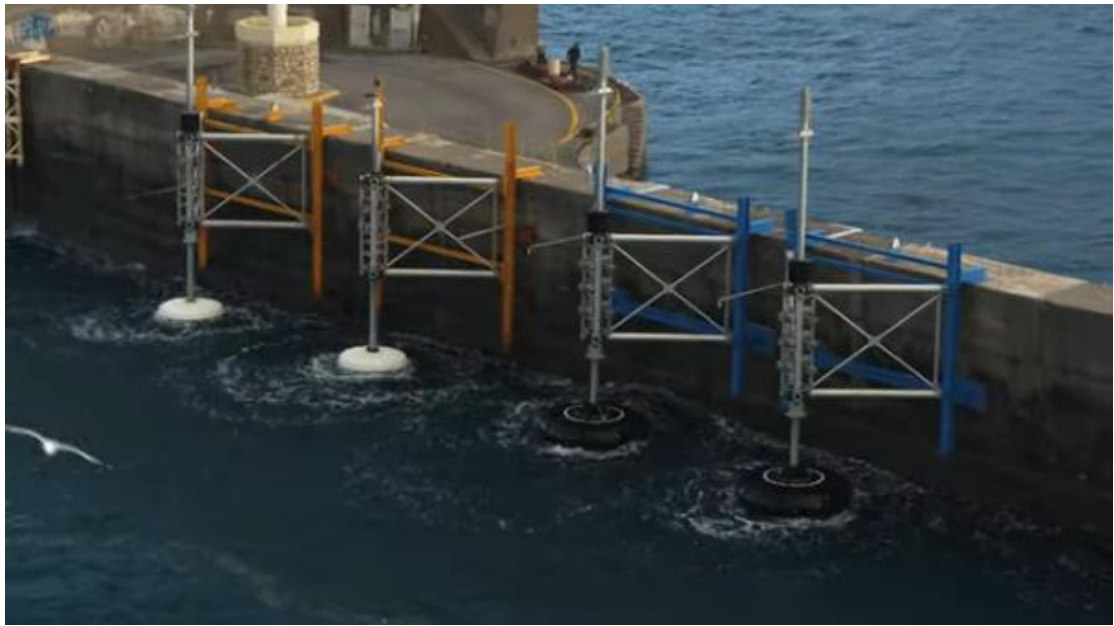
Οι δύσκολες καιρικές συνθήκες με τις ισχυρές καταιγίδες κατά τους χειμερινούς μήνες και τα μεγάλα κύματα, που χτυπούν τον λιμενοβραχίονα, δίνουν τη δυνατότητα να επιβεβαιωθεί η ανθεκτικότητα και αξιοπιστία της διαδικασίας μετατροπής της ενέργειας από τα κύματα σε ηλεκτρισμό. Από την άλλη, ο χαμηλός κυματισμός του καλοκαιριού επιτρέπει την πραγματοποίηση εργασιών συντήρησης και αναβάθμισης.

Πώς λειτουργεί

Ο μηχανισμός μετατροπής της ενέργειας γίνεται μέσω της μεταφοράς του δυναμικού του κυματισμού πάνω σε πλωτήρες, οι οποίοι ανυψώνουν μία διερχόμενη από γεννήτριες ράβδο. Η πρόκληση είναι να μεταφραστεί η ακανόνιστη ταλαντωμένη κίνηση των κυμάτων σε ηλεκτρικό ρεύμα συμβατό με το δίκτυο. Στόχος είναι η εξέλιξη του μοντέλου σε εμπορική κλίμακα ώστε να αποτελέσει μία αποτελεσματική και κυρίως οικονομική ενεργειακή λύση σε παράκτιες και νησιωτικές περιοχές.



Εικόνα 5.8: Ο μετατροπέας σε πειραματικό στάδιο.



Εικόνα 5.9: Μετατροπείς SINN Power στο λιμάνι Ηρακλείου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότεροι ερευνητές διεθνώς στρέφουν την προσοχή τους στην αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας. Αν και δεν συμπεριλαμβάνεται τυπικά στις ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ), η ενέργεια από τον θαλάσσιο κυματισμό αποτελεί μια απόλυτα καθαρή, ανεξάντλητη, ασφαλή και οικονομικά συμφέρουσα πηγή.

Ο Ερευνητής του England's Maritime Foresight Panel εκτίμησαν ότι μόνο το ένα χιλιοστό της αξιοποιήσιμης ενέργειας όλου του θαλάσσιου στοιχείου να μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό, θα καλύπταμε πέντε φορές τις παγκόσμιες ανάγκες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κυματική ενέργεια έχει την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, 800 φορές μεγαλύτερη από τον αέρα.

Όλες αυτές οι τεχνολογίες που μελετήσαμε έχουν ήδη αποδείξει την αξιοπιστία τους στην ανοικτή θάλασσα παρόλο που το ηλεκτροπαραγωγικό κόστος παραμένει συγκριτικά υψηλό. Ωστόσο η περαιτέρω τεχνολογική εξέλιξη αναμένεται να οδηγήσει στη μείωσή του, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις για την κάθε τεχνολογία ξεχωριστά.

Για το λόγο αυτό, η εμπορική εκμετάλλευση της ενέργειας του θαλάσσιου κυματισμού στο κοντινό μέλλον θεωρείται πλέον εφικτή και ίσως αναγκαία, αν αναλογιστεί κανείς τον παγκόσμιο συναγερμό που έχουν σημάνει οι επιστήμονες σχετικά με τις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη από το φαινόμενο του θερμοκηπίου, εξαιτίας της εκμετάλλευσης συμβατικών πηγών ενέργειας.

Σε χώρες με ήπιο κυματικό κλίμα όπως η Ελλάδα είναι εφικτή η κάλυψη τοπικών αναγκών σε παραθαλάσσιες περιοχές ή νησιά με στόχο την μείωση τόσο της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα όσο και της περιβαλλοντικής μόλυνσης. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία εκτιμάται ότι με βάση τις τιμές ανέμου και κύματος, η διαθέσιμη και τεχνικά αξιοποιήσιμη κυματική ενέργεια σε περιοχές κοντά στα νησιά του Αιγαίου θα μπορούσε να καλύψει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό άνω του 80%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αργυρακόπουλος, Δ., Υποθαλάσσια Μελέτη Αιγαίου Πελάγους.
2. Αθανασούλης, Γ.Α., Λουκάκης, Θ.Α. και Ε.Κ. Σκαρσούλης: Κυματικό Κλίμα Βορειοανατολικής Μεσογείου- Ετήσιες Ισοπληθείς Καμπύλες Ύψους Κύματος. (1993).
3. Δελικαράογλου, Δ., Χαρτογράφηση του Ελληνικού Θαλάσσιου Χώρου στα Πλαίσια Σχεδίου Δράσης με Αντικείμενο την Ολοκληρωμένη Θαλάσσια Πολιτική (2010).
4. Λεμονής, Γ., Κυματική ενέργεια στην Ευρώπη εθνικές δραστηριότητες και προοπτικές αξιοποίησης, Κέντρο Ανανεώσεων Πηγών Ενέργειας.
5. Μέμος, Κ., (ΕΜΠ), Θαλάσσια Υδροδυναμική.
6. Οικονόμου, Ε., Περιοχές Κυματικής Ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού και η Χωροθέτηση τους στο Αιγαίο.
7. Παναγιωτόπουλος, Π., Πρόσφατες Τεχνολογικές Εξελίξεις στα Συστήματα Αξιοποίησης Κυματικής Ενέργειας (ΚΑΠΕ).
8. Σκαλούμπακας, Κ, Μελέτη ενεργειακού δυναμικού παλιρροιακής ενέργειας στο στενό του Ευρίπου και τρόποι εκμετάλλευσης μέσω εγκατάστασης παλιρροιακής τουρμπίνας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής.
9. Σουκισσιάν, Τ., Άτλαντας Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών.
10. Alatsathianos S., Fafali P., Wave and current energy: A viable scheme to exploit the energy potential of Greek seas.
11. Khan Jahangir and Bhuyan Gouri S., Powertech ocean energy, global technology development status Final Technical Report.
12. Mylonas E. M., Dipl. Mar. Eng. - Systems Analyst (Technical Director, daedalus Informatics) WECA, Introduction to a Hybrid (Wave & Wind) Renewable Energy Technology Multipurpose Site.
13. Sørensen Hans Chr., Report on technical specification of referencetechnologies (wave and tidal power plant).
14. <http://www.eu-oea.com/technology-2/>
15. www.waveplam.eu

16. http://en.wikipedia.org/wiki/Rance_Tidal_Power_Station
17. http://en.wikipedia.org/wiki/Annapolis_Royal_Generating_Station
18. http://en.wikipedia.org/wiki/Sihwa_Lake_Tidal_Power_Station
19. www.seageneration.co.uk
20. www.hammerfeststrom.com
21. www.verdantpower.com
22. www.tidalstream.co.uk
23. www.gcktechnology.com
24. www.pontediarchimede.it
25. www.pico-owc.net
26. www.oceanlinx.com
27. www.sperboy.com
28. www.wavedragon.net
29. www.wavestarenergy.com
30. www.awsocan.com
31. www.carnegiewave.com
32. www.oceanpowertechnologies.com
33. www.pelamiswave.com
34. www.dexawave.com
35. www.aquamarinepower.com
36. www.aw-energy.com
37. www.biopowersystems.com
38. www.niot.res.in

39. www.statkraft.com

40. www.waveplam.eu

41. www.waveplam.eu