



ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ
ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟ**

Πτυχιακή εργασία του

Ευάγγελου Αράπογλου

Επιβλέπων: Δρ. Δημήτριος Καλπακτσόγλου

ΣΕΡΡΕΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2015

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, ολοένα και περισσότερο ο άνθρωπος προσπαθεί να παράγει ενέργεια με νέους τρόπους, από νέες πηγές, καθώς προσπαθεί να ελαττώσει την επιβάρυνση που δέχεται καθημερινά το περιβάλλον από διάφορα τοξικά και χημικά απόβλητα. Οι κυριότεροι τρόποι παραγωγής ενέργειας με μηδενική εκπομπή ρύπων είναι οι λεγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτές είναι η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμία, καθώς και η θαλάσσια.

Στη συγκεκριμένη πτυχιακή θα παρουσιαστούν, θα μελετηθούν, θα κατηγοριοποιηθούν και θα αξιολογηθούν μηχανές μετατροπής θαλάσσιας κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό θα επιτευχθεί με την μελέτη συνολικά 27 μηχανών ως προς το έτος κατασκευής τους, τη χώρα προέλευσης, το μηχανισμό τους, τον τρόπο λειτουργίας και τη τοποθεσία αυτών, καθώς επίσης και του κόστους τους. Οι μηχανές χωρίστηκαν σε 4 κεφάλαια ανάλογα με το είδος του μηχανισμού τους, τους Point Absorbers, τους Attenuators, τους Terminators και στις μηχανές που ακόμη ο μηχανισμός τους παραμένει απροσδιόριστος.

Στο πρώτο κεφάλαιο αρχικά, γίνεται μία σύντομη αναφορά στην κυματική ενέργεια, δηλαδή στο τρόπο και τους παράγοντες προέλευσης των κυμάτων, καθώς επίσης και στα φυσικά χαρακτηριστικά τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύονται οι μετατροπείς κυματικής ενέργειας που ονομάζονται Point Absorbers. Καταγράφεται ο τρόπος λειτουργίας τους, ενώ στη συνέχεια καταγράφονται κάποιες μηχανές του συγκεκριμένου τύπου.

Στο τρίτο κατά σειρά κεφάλαιο, μελετώνται οι μετατροπείς ενέργειας οι οποίοι είναι γνωστοί ως Attenuators, ο τρόπος λειτουργίας τους και παρατίθενται μηχανές που λειτουργούν με την παραπάνω τεχνολογία.

Στο επόμενο κεφάλαιο κατηγοριοποιούνται οι μηχανές που λειτουργούν και είναι γνωστοί ως Terminators ενώ αναλύεται και ο τρόπος παραγωγής ενέργειας μέσω των συγκεκριμένων μηχανών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται κάποια πειραματικά μοντέλα μετατροπής κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική και μελετώνται τα χαρακτηριστικά της κάθε μηχανής ξεχωριστά.

Στο επόμενο κεφάλαιο δίνονται διάφορα διαγράμματα, στα οποία γίνεται σύγκριση των μηχανών σε διάφορες κατηγορίες, όπως η χώρα προέλευσης, το κόστος, ο τύπος μηχανής, ενώ ακολουθούν οι σχολιασμοί των παραπάνω διαγραμμάτων.

Περιεχόμενα

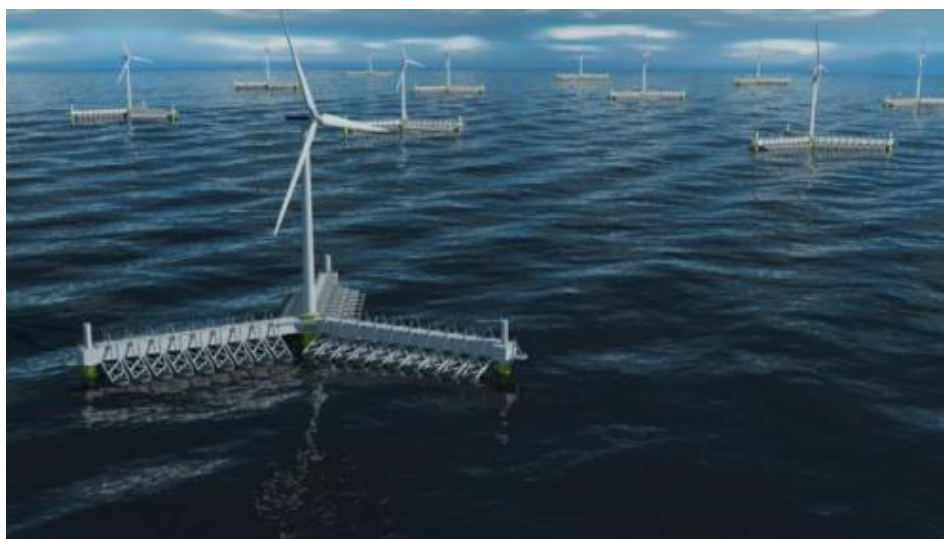
Περίληψη	2
1 ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	6
1.1 Εισαγωγή στην Κυματική Ενέργεια.....	6
2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Point Absorbers)	9
2.1 Point absorber.....	9
2.1.1 AWS.....	11
2.1.2 Seabased WEC.....	12
2.1.3 Wavebob.....	12
2.1.4 AquaBuOY.....	13
2.1.5 FlanSea.....	14
2.1.6 FO3.....	15
2.1.7 Wave Star.....	16
3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Attenuators)	18
3.1 Attenuator.....	18
3.1.1 Anaconda Wave Energy Converter.....	18
3.1.2 Crest Wing.....	20
3.1.3 Pelamis.....	21
4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Terminators)	24
4.1 Terminator.....	24
4.1.1 Oscillating Water Column.....	24
4.1.2 Oceanlynx.....	25
4.1.3 Cycloidal Wave Energy Converter.....	26
4.1.4 LIMPET.....	27
4.1.5 OE Buoy.....	28
4.1.6 Oyster Wave Energy Converter.....	29
4.1.7 Wave Piston.....	31

4.1.8	Mighty Whale	31
5	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΩΝ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.	33
5.1	CETO	33
5.2	Lysekil Project.....	34
5.3	OWEL	36
5.4	PowerBuoy	37
5.5	SeaRacer.....	38
5.6	DEXAWAVE.....	39
5.7	Wave Dragon.....	40
5.8	Wave Roller.....	40
5.9	Vigor.....	41
6	Ανάλυση και Αποτελέσματα	43
7	Επίλογος.....	53
	Βιβλιογραφία	54

1 ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Εισαγωγή στην Κυματική Ενέργεια

Η κυματική ενέργεια αναφέρεται στην ενέργεια των επιφανειακών κυμάτων του ωκεανού και στη σύλληψη της εν λόγω ενέργειας για να δημιουργήσει ωφέλιμο έργο. Τα θαλάσσια κύματα είναι ένας πολύ ελπιδοφόρος φορέας ενέργειας μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δεδομένου ότι είναι σε θέση να παράγουν ένα τεράστιο ποσό των ενεργειακών πόρων σε όλες σχεδόν τις γεωγραφικές περιοχές. Η παγκόσμια θεωρητική παραγωγή ενέργειας από κύματα αντιστοιχεί σε 8×10^6 TWh ανά έτος, η οποία είναι περίπου 100 φορές η συνολική παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ολόκληρου του πλανήτη.

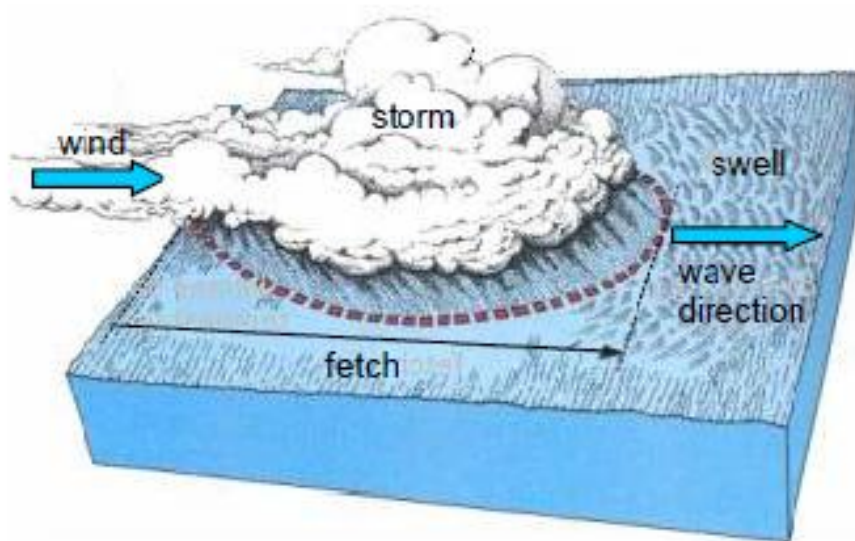


Σχήμα 1. Κυματική ενέργεια

Η παραγωγή αυτής της ενέργειας με χρήση ορυκτών καυσίμων θα είχε ως αποτέλεσμα την εκπομπή των 2 εκατομμυρίων τόνων CO₂. Αυτό σημαίνει ότι η κυματική ενέργεια μπορεί να συμβάλει σε μεγάλο βαθμό για την εξασθένιση των ρυπογόνων αερίων στην ατμόσφαιρα, όπως υπερασπίστηκε από το Πρωτόκολλο του Κιότο. Η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας λόγω κυμάτων των ωκεανών είναι περίπου 2 TW και η Ευρώπη παράγει περίπου 320 GW, η οποία είναι περίπου 16% της συνολικής παραγωγής. Ωστόσο, για διάφορους λόγους, εκτιμάται ότι μόνο το 10 έως 15% μπορεί να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία είναι μια τεράστια πηγή

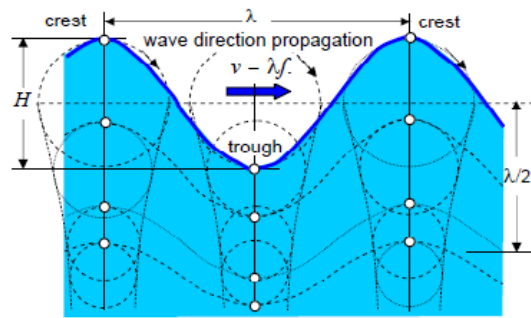
ενέργειας και είναι ικανή να τροφοδοτήσει όλο τον κόσμο. Τελικά, η κυματική ενέργεια θα μπορούσε να κάνει μια σημαντική συνεισφορά αποδίδοντας περίπου 120 TWh ανά έτος για την Ευρώπη και ίσως και τρεις φορές αυτό το επίπεδο σε όλο τον κόσμο. Συνεπώς, ο ωκεανός μπορεί άξια να θεωρηθεί ένα πραγματικό κατάστημα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ο συνδυασμός των δυνάμεων λόγω της βαρύτητας, της έντασης της επιφάνειας της θάλασσας και της έντασης του ανέμου είναι οι κύριοι παράγοντες της προέλευσης των κυμάτων της θάλασσας. Το Σχήμα 2 απεικονίζει τον σχηματισμό θαλάσσιων κυμάτων από μια καταιγίδα.



Σχήμα 2. Παραγωγή κυμάτων από καταιγίδα

Το μέγεθος των κυμάτων καθορίζεται από την ταχύτητα του ανέμου και τη φορά (την απόσταση στην οποία ο άνεμος διεγείρει τα κύματα) και από το βάθος και τη μορφολογία του βυθού (η οποία μπορεί να εστιάσει ή να διασπείρει την ενέργεια των κυμάτων). Για αποστάσεις μακριά από την φορά, τα κύματα της θάλασσας έχουν ένα κανονικό σχήμα και το φαινόμενο ονομάζεται φούσκωμα. Τα σωματίδια του νερού που διεγείρονται από τον άνεμο έχουν σε κάθε θέση των ωκεανών κυκλική τροχιά με μεγαλύτερη διάμετρο στην επιφάνεια της θάλασσας και μειούμενη εκθετικά με το βάθος. Η σύζευξη αυτής της κυκλικής κίνησης είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό ενός κύματος και του αντίστοιχου πολλαπλασιασμού του, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3. Πολλαπλασιασμός κυμάτων

Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών, ή δύο διαδοχικών αυλακίων, καθορίζει το μήκος κύματος λ . Το ύψος H του κύματος είναι ανάλογο με την ένταση και τη διάρκεια του ανέμου. Η περίοδος κύματος T είναι ο χρόνος σε δευτερόλεπτα που απαιτείται για να διασχηθεί το μήκος κύματος λ και είναι ανάλογη με το βάθος της θάλασσας. Η συχνότητα $f = 1 / T$ υποδηλώνει τον αριθμό των κυμάτων που εμφανίζονται σε μία δεδομένη θέση. Κατά συνέπεια, η ταχύτητα του κύματος είναι $v = \lambda / T = \lambda / f$. Η αναλογία $\lambda / 2H$ ονομάζεται κυματική κατωφέρεια και όταν η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από $1/7$ μπορεί να αποδειχθεί ότι το κύμα γίνεται ασταθές και εξαφανίζεται. Μεγαλύτερες κυματικές περίοδοι έχουν σχετικά μεγαλύτερα μήκη κύματος και προχωρούν ταχύτερα. Σε γενικές γραμμές, τα μεγάλα κύματα είναι πιο ισχυρά. Η παραγωγή που συνδέεται με ένα κύμα μήκους κύματος λ και ύψους H και με επιφάνεια b δίνεται από τον τύπο

$$P = \rho g H^2 \lambda b$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του νερού και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Η δύναμη ανά μέτρο επιφάνειας κύματος σε ένα ομοιόμορφο κύμα με ύψος H και μήκος κύματος λ είναι τότε

$$P_u = \frac{P}{b} = \frac{1}{2} \rho g H^2 \lambda$$

και μετριέται σε W/m .

Για ακανόνιστα κύματα ύψους H και περιόδου T , η εξίσωση για τη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας κύματος δίνεται από τη σχέση

$$P_i \cong 0.42 H^2 T$$

και μετριέται σε W/m .^[1-2]

2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Point Absorbers)

2.1 Point absorber

Οι point absorbers (σημειακοί απορροφητές) είναι πλεούμενοι μετατροπείς κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική, των οποίων το μήκος είναι πολύ μικρότερο από το μήκος των κυμάτων. Ταλαντεύονται με τα κύματα του ωκεανού με ένα ή περισσότερους βαθμούς ελευθερίας. Ένας σημειακός απορροφητής μπορεί να απορροφήσει ενέργεια κύματος από ένα μέτωπο κύματος μεγαλύτερο από τις φυσικές διαστάσεις της συσκευής. Μια μελέτη σκοπιμότητας της πηγής των κυμάτων του ωκεανού σε μια δεδομένη τοποθεσία είναι απαραίτητη για την κατασκευή μιας WEC (wave energy converter). Τα σχέδια μιας κατασκευής ανοιχτής θαλάσσης απαιτούν μια πολύ βαθιά κατανόηση των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του ωκεανού. Μια μελέτη των χαρακτηριστικών των κυμάτων επιτρέπει στον μηχανικό να εκτιμήσει την διαθέσιμη ενέργεια των κυμάτων σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία και να σχεδιάσει ένα κατάλληλο WEC για να πάρει τη μέγιστη απόδοση. Οι μετατροπείς κυματικής ενέργειας μπορούν να τοποθετηθούν είτε υπεράκτια είτε παράκτια. Οι σημαντικές παράμετροι για να περιγραφούν τα κύματα, είναι το μήκος τους, το βάρος τους, η περίοδος και το βάθος του νερού πάνω απ' το οποίο μεταδίδονται. Υπάρχουν κάποιες καλώς ερευνούμενες θεωρίες που είναι ικανές να προβλέψουν τα χαρακτηριστικά των κυμάτων σε διάφορα βάθη. Ωστόσο, αυτές οι θεωρίες είναι προσεγγιστικές και τα χαρακτηριστικά των κυμάτων μπορούν να ποικίλουν.

Ένας σημειακός απορροφητής χρησιμοποιεί την κίνηση των επιφανειακών κυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η διαδικασία μετατροπής κυματικής ενέργειας μπορεί βασικά να οριστεί ως η δύναμη ή η ροπή που παράγεται σε ένα WEC από ένα προσπίπτον κύμα που προκαλεί σχετική κίνηση ανάμεσα σε ένα απορροφητή και ένα σημείο αντίδρασης. Ο σημειακός απορροφητής ανταποκρίνεται στην κίνηση του κύματος και παράγει μηχανικό έργο. Μια τέτοιου είδους διάταξη δίνεται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4. Point absorber

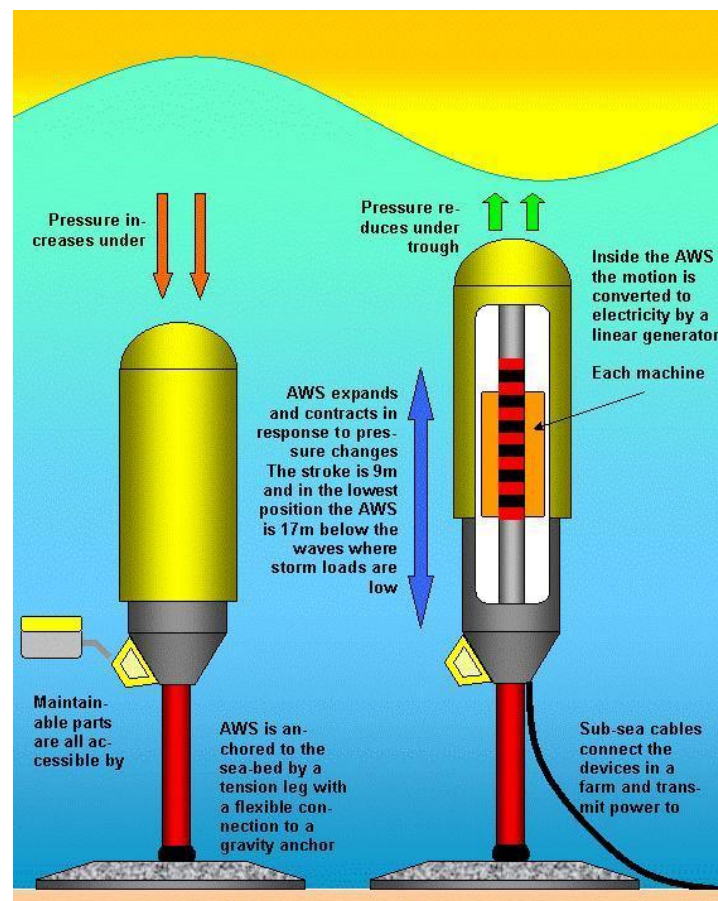
Οποιαδήποτε δομή που υπάρχει στη διαδρομή των κυμάτων θα οδηγήσει σε τροποποίηση τους μεταβάλλοντας τη ροή του υγρού και το σχετικό πεδίο ροής. Η αλληλεπίδραση της δομής του κύματος του σημειακού απορροφητή και των κυμάτων χρειάζεται να μελετηθεί έτσι ώστε να είναι σε θέση να κρίνει την απόκριση της κίνησης της συσκευής. Οι αλληλεπιδράσεις της δομής του κύματος επηρεάζουν σημαντικά την μετατροπή της κυματικής ενέργειας, καθώς επίσης και τη σταθερότητα, τη φυσική συχνότητα, και την πρόσδεση της συσκευής.

Ένας σημειακός απορροφητής θα ζήσει πολλά εξωτερικά φορτία (όπως άνεμοι, κύματα, ρεύματα) και εσωτερικά φορτία (όπως οι μετατοπίσεις μάζας στη συσκευή). Θα πρέπει οπότε να είναι αρκετά σταθερός για να αντέξει αυτά τα φορτία και να αποτρέψει πιθανό αναποδογύρισμα του. Η απόκριση του σημειακού απορροφητή εξαρτάται από τη συχνότητα των ταλαντευόμενων κυμάτων. Οι κινήσεις του είναι πιο έντονες με μέγιστη δύναμη απορροφήσεως όταν η συχνότητα του κύματος συγχρονίζεται με τη φυσική συχνότητα της συσκευής. Φυσικά, για σημειακούς απορροφητές, λόγω του μικρού μεγέθους τους, η ζώνη των συχνοτήτων του κύματος για την οποία ο WEC δίνει μέγιστη απόδοση είναι πολύ μικρή. Οι πλωτοί WECs θα πρέπει να έχουν καλή σύλληψη δύναμης από τα περιοδικά κύματα για πιο κοινές συχνότητες. Προκειμένου να αποφευχθεί η περίπτωση ο σημειακός απορροφητής να φύγει από την επιθυμητή θέση, η συσκευή είναι αγκυροβολημένη με τη βοήθεια συστημάτων πρόσδεσης. Ένας σημειακός απορροφητής μαζί με το σύστημα πρόσδεσης του αντιμετωπίζουν μεγάλες δυνάμεις ταλάντωσης.

Πολλοί σημειακοί απορροφητές με γραμμικές γεννήτριες μελετώνται και αναπτύσσονται στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Δύο πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες που βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης είναι η συσκευή Archimedes Wave Swing (AWS) που αναπτύχθηκε από την εταιρία AWS Ocean Energy και η Seabased wave energy converter που αναπτύχθηκε από το Σουηδικό Κέντρο Ανανεώσιμης Μετατροπής Ηλεκτρικής Ενέργειας του Πανεπιστημίου της Ουψάλα.^[3-5]

2.1.1 AWS

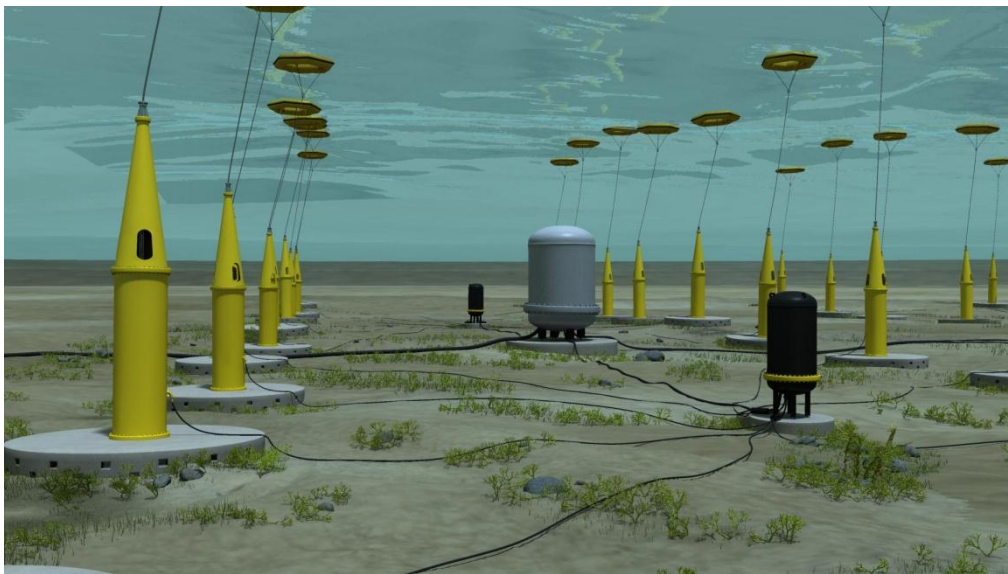
Η AWS αποτελείται από ένα πλήρως βυθισμένο και γεμάτο αέρα θάλαμο, με καπάκι, το οποίο μπορεί να κινηθεί κάθετα σε σχέση με τη βάση του, στερεωμένο στον πυθμένα της θάλασσας. Καθώς ένα κύμα διέρχεται πάνω από τη συσκευή, οι αλλαγές στη πίεση του νερού επιφέρουν την κίνηση στο καπάκι το οποίο συνδέεται με μια γραμμική γεννήτρια που μετατρέπει την κίνηση σε ηλεκτρική ενέργεια. Μια αναπαράσταση της συσκευής αυτής δίνεται στο σχήμα 5.^[6-9]



Σχήμα 5. Archimedes Wave Swing (AWS)

2.1.2 Seabased WEC

Η Seabased WEC αποτελείται από μια κυμαινόμενη σημαδούρα η οποία συνδέεται με ένα σχοινί σε ένα έμβολο το οποίο περιβάλλεται από μόνιμους μαγνήτες. Η κατακόρυφη κίνηση της σημαδούρας, λόγω των κυμάτων, προκαλεί κίνηση του εμβόλου σε σχέση με τα πηνία του στάτη, όπου δημιουργείται εναλλασσόμενο ρεύμα. Πηγές συνδέουν το πάτο του μεταφραστή με την ιδρυτική πράξη ως μια δύναμη επαναφοράς και αποθήκευσης ενέργειας. Κάθε συσκευή έχει μια σχετικά χαμηλή ισχύ εξόδου. Ως εκ τούτου η ιδέα είναι να εγκατασταθούν πολλές συσκευές παράλληλα. Μια διάταξη της Seabased WEC δίνεται στο σχήμα 6.^[10-13]



Σχήμα 6. Seabased WEC

2.1.3 Wavebob

Ένας ακόμη σημειακός απορροφητής είναι ο Wavebob, ο οποίος εφευρέθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής το 2011. Είναι ένας πλωτός, μονοαξονικός σημειακός απορροφητής που αντιδρά από μόνος του και ο οποίος μετατρέπει την ενέργεια που μεταφέρεται από τα κύματα σε ένα ισχυρό μηχανικό "κτύπημα".

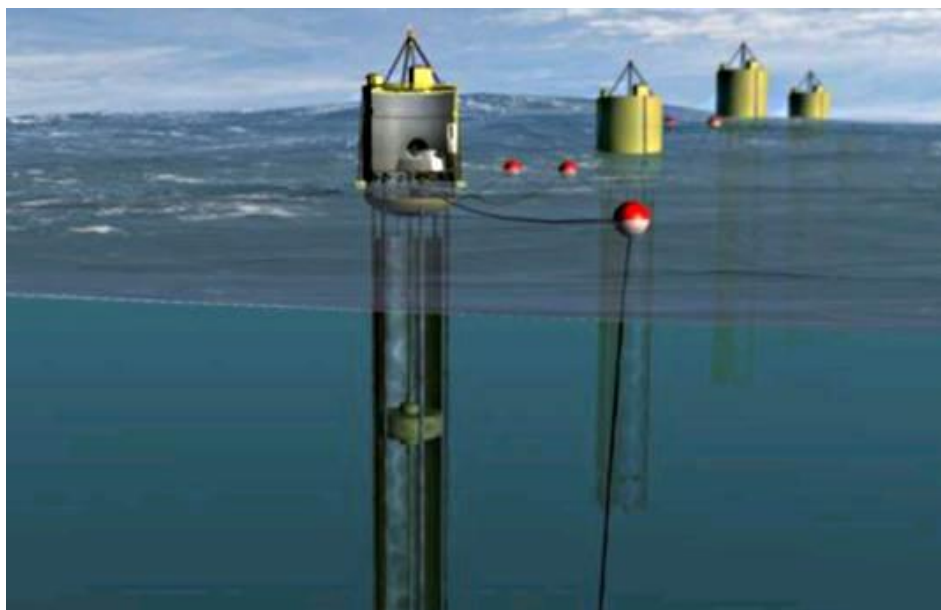


Σχήμα 7. Wavebob

Ο Wavebob είναι ειδικός στη μοντελοποίηση, ανάλυση και πρωτότυπη κατασκευή τέτοιου τύπου μετατροπέων. Αυτό το μηχανικό κτύπημα μετατρέπεται σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός PTO (Power Take-Off). Με βάση τα κριτήρια σχεδιασμού τεχνο-οικονομικών και τις εκτιμήσεις του κύκλου ζωής, ο Wavebob κατέληξε στο συμπέρασμα ότι μια γεννήτρια PTO έχει μεγάλη πιθανότητα για μελλοντική εμπορική επιτυχία. Ειδικότερα, η δύναμη και η απλότητα του μηχανικού εξοπλισμού, καθώς και η ευελιξία του ελέγχου των μελλοντικών στρατηγικών ελέγχου είναι ελκυστική. Η μηχανή Wavebob βρίσκεται στη διαδικασία της ανάπτυξης πλήρους κλίμακας επίδειξης στις ΗΠΑ που θα ακολουθήσει την A-WEC. Η κατασκευαστική μελέτη θα πρέπει να βασίζεται σε εκτεταμένη αριθμητική μοντελοποίηση των δεδομένων κύματος που ακολουθείται από τη δοκιμή σε δεξαμενή κυμάτων. Η διάμετρος θα υπερβαίνει συνήθως τα 16 μέτρα.^[14-15]

2.1.4 AquaBuOY

Στην ίδια κατηγορία κατατάσσεται και το AquaBuOY. Το AquaBuOY είναι μια πλωτή δομή σημαδούρας που μετατρέπει την κινητική ενέργεια της κάθετης κίνησης του επερχόμενου κύματος σε καθαρή ηλεκτρική ενέργεια. Κατασκευάστηκε και μελετήθηκε το 2003 από την Finavera Renewables Limited, η οποία έχει έδρα το Δουβλίνο της Ιρλανδίας. Το AquaBuOY κατηγοριοποιείται ως απορροφητής σημείο, καθώς έχει μικρή διάσταση σε σχέση με το μεγαλύτερο μήκος κύματος στο οποίο λειτουργεί. Χρησιμοποιεί μία κυλινδρική σημαδούρα η οποία έχει διάμετρο 3 μέτρων και ο αντιδραστήρας είναι μια μεγάλη μάζα νερού που περικλείεται από ένα μακρύ κατακόρυφο σωλήνα κάτω από τη σημαδούρα.

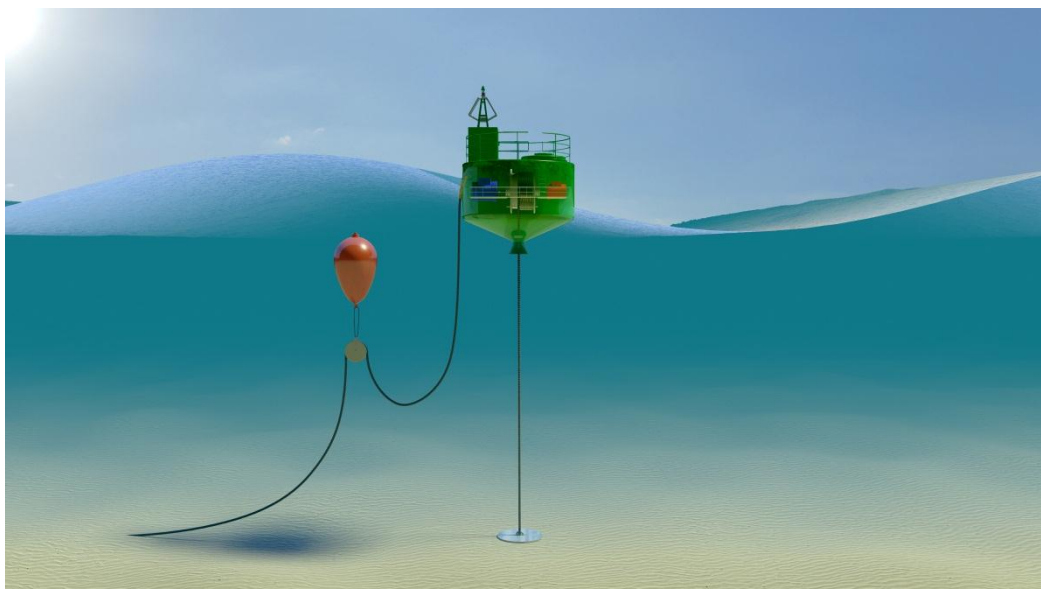


Σχήμα 8. AquaBuOY

Η σημαδούρα συνδέεται με έναν άξονα μήκους περίπου 20 μέτρων. Με παλινδρομική κίνηση, το νερό εισέρχεται σε ένα επιταχυντήριο σωλήνα, ο οποίος με τη σειρά του προκαλεί ένα έμβολο να κινηθεί. Αυτή η μετακίνηση του εμβόλου προκαλεί έναν οπλισμένο ελαστικό σωλήνα να διασταλεί, κάνοντάς το να λειτουργεί ως αντλία. Το νερό στη συνέχεια αντλείται σε ένα στρόβιλο ο οποίος ενεργοποιεί μια γεννήτρια. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται οδηγείται στην ξηρά μέσω ενός πρότυπου υποθαλάσσιου καλωδίου.^[16-21]

2.1.5 FlanSea

Επίσης τέτοιου τύπου μετατροπέας είναι και ο ‘FlanSea (Flanders Electricity from the Sea)’. Εφευρέθηκε στο Βέλγιο όπου το Πανεπιστήμιο της Γάνδης και έξι Φλαμανδικές εξειδικευμένες εταιρείες, συμπεριλαμβανομένης της Contec, εμπλέκονται στην ανάπτυξη. Η Contec είναι υπεύθυνη για τον πλήρη σχεδιασμό του ηλεκτρικού PTO (Power Take-Off) και τον έλεγχο της σημαδούρας. Εκτός από την Contec, οι εταιρείες DEME Blue Energy, AG Haven Oostende, Cloostermans-Huwaert, Spiromatic και Electrawinds ασχολούνται με το έργο. Σε αυτή την τεχνολογία, το κάτω μέρος της θάλασσας λειτουργεί ως σταθερό σημείο αναφοράς και οι πολύπλοκες σημαδούρες ακολουθούν τις προς τα πάνω και προς τα κάτω κινήσεις της θάλασσας, οι οποίες μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια.



Σχήμα 9. FlanSea (Flanders Electricity from the Sea)

Η FlanSea στοχεύει στην ανάπτυξη μιας βιώσιμης και αξιόπιστης λύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ενέργεια των κυμάτων. Οι μετατροπείς της ενέργειας των κυμάτων πρέπει να είναι κατάλληλοι για ένα ήπιο κλίμα κύματος και ο στόχος είναι να γίνουν εξίσου οικονομικά ανταγωνιστικές όπως και οι άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι η αποδοτικότητα είναι ένας καθοριστικός παράγοντας για τη δυνατότητα επίτευξης μαζικής παραγωγής σε μακροπρόθεσμη βάση.^[22-24]

2.1.6 FO3

Ο FO3 μετατροπέας κατασκευάστηκε από την εταιρεία Fred Olsen στην Νορβηγία. Αυτός ο WEC αποτελείται από μια πλατφόρμα τεσσάρων στηλών με μέχρι είκοσι ένα σημειακούς απορροφητές που διαπερνούν την επιφάνεια. Κάθε κυλινδρική στήλη της πλατφόρμας έχει βυθισμένη μία πλάκα ώστε να παρέχεται απόσβεση. Κάθε σημειακός απορροφητής μπορεί να κινείται κατά μήκος του κατακόρυφου οδηγού και παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

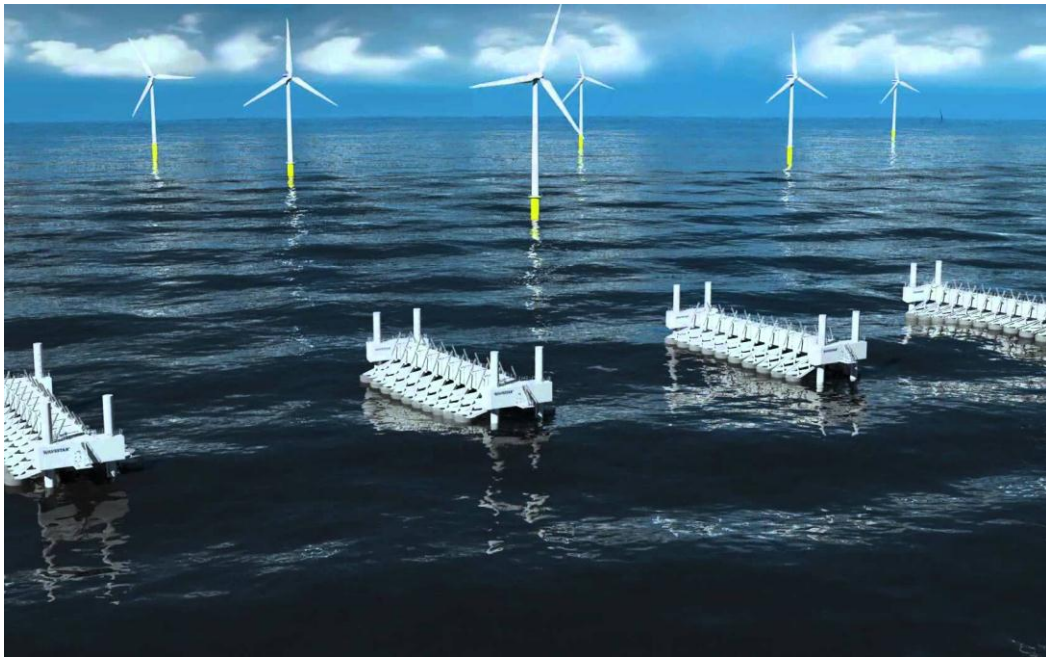


Σχήμα 10. FO3

Η κατασκευή αυτή έχει συνολική μάζα 1320 τόνων, με μάζα της πλατφόρμας 1017 τόνων και μάζα 14,4 τόνων για κάθε σημειακό απορροφητή. Το συνολικό μήκος και πλάτος της πλατφόρμας είναι 36 μέτρα και το βύθισμα της είναι περίπου 12,8 μέτρα.^[25-28]

2.1.7 Wave Star

Η Wavestar, η DONG Energy, το Πανεπιστήμιο του Aalborg και η Energinet.dk εργάζονται από κοινού για την αξιολόγηση στην πράξη, της ιδέας του συνδυασμού της παραγωγής ενέργειας από τον άνεμο και από τα θαλάσσια κύματα. Για αυτό το σκοπό, η Wavestar σχεδίασε το 2009 την εγκατάσταση ενός 600kW ισχύος μετατροπέα ενέργειας (WEC), ο οποίος επρόκειτο να συνδεθεί σε μία ανεμογεννήτρια στο Dong Energy που ανήκει στην αιολική μονάδα παραγωγής ενέργειας Horns Rev 2 και τοποθετήθηκε στα ανοικτά της δυτικής ακτής της Δανίας.



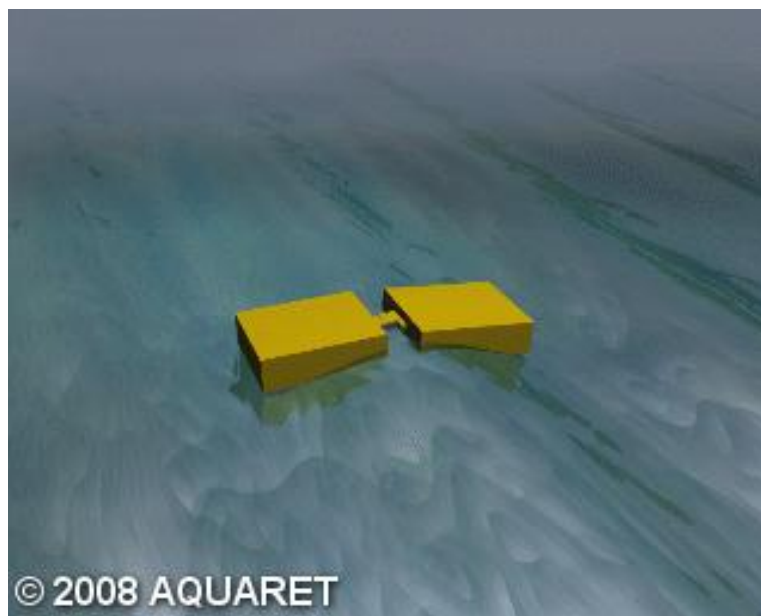
Σχήμα 11. Wave Star

Η Wave Star C6-600kW WEC έχει σχεδιαστεί για να παραδώσει το πολύ 600 kW ηλεκτρικής ισχύος προς το δίκτυο. Αυτή η ισχύς επιτυγχάνεται σε περίπου 2,3 μέτρα ύψους κύματος. Η κατασκευή αυτή έχει προγραμματιστεί για μη επανδρωμένη λειτουργία με την εξ αποστάσεως παρακολούθηση των δεδομένων. Εγκαθίσταται σε ένα μέγιστο βάθος 20μέτρων και έχει σχεδιαστεί για να είναι σε λειτουργία για τουλάχιστον 20 χρόνια. Ο WEC είναι εξοπλισμένος με 20 πλωτήρες, με διάμετρο 6 μέτρα έκαστος. Κάθε πλωτήρας είναι τοποθετημένος σε ένα βραχίονα χάλυβα μήκους 12 μέτρων ο οποίος αρθρώνεται επί του κύριου σωλήνα. 10 βραχίονες τοποθετούνται σε κάθε πλευρά του σωλήνα. Όταν τα κύματα κινούνται με τη χρήση φλοτέρ πάνω και κάτω, ισχύς μεταφέρεται από έναν υδραυλικό κύλινδρο στον PTO, ο οποίος παράγει την ενέργεια για το ηλεκτρικό δίκτυο. Ο κύριος σωλήνας περιέχει όλο τον τεχνολογικό εξοπλισμό, όπως PTO, καθώς και έλεγχο των συστημάτων σε περιβάλλον ξηρού αέρα. Αυτό καθιστά δυνατή τη χρήση πρότυπων υλικών, τα οποία είναι λιγότερο ακριβά από τον υπεράκτιο εξοπλισμό, και εξακολουθούν να εξασφαλίζουν μια μακρά διάρκεια ζωής και ελάχιστη συντήρηση.^[29-31]

3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Attenuators)

3.1 Attenuator

Η συγκεκριμένη συσκευή αποτελείται από πολλά τμήματα τα οποία επιπλέουν στην επιφάνεια της θάλασσας. Ο εξασθενητής (attenuator) είναι αγκυροβολημένος στη θέση του με μια αλυσίδα και τοποθετείται παράλληλα προς την κατεύθυνση των κυμάτων. Οι διαστάσεις του είναι μεγαλύτερες από το μήκος του κύματος. Κάποιοι εξασθενητές βρίσκονται στην επιφάνεια και λειτουργούν απορροφώντας την ενέργεια των κυμάτων, ενώ κάποιοι βρίσκονται τοποθετημένοι μέσα στη θάλασσα. Η συσκευή λαμβάνει ενέργεια καθώς η κίνηση των κυμάτων τείνει να κάμψει τα σημεία ένωσης των τμημάτων της μηχανής. Αυτή η κίνηση έπειτα κινεί υδραυλικές αντλίες ή μετατροπείς. Μια διάταξη τέτοιου τύπου δίνεται στο σχήμα 12.^[32-35]



Σχήμα 12. Attenuator

3.1.1 Anaconda Wave Energy Converter

Ένα είδος τέτοιας συσκευής είναι το σύστημα Anaconda wave energy converter. Εφευρέθηκε το 2005 με συνεργασία από τον καθηγητή Rainey (WS Atkins Oil and Gas) και τον καθηγητή Farley (Maritime Energy Development Limited), στο Ηνωμένο Βασίλειο. Η εταιρία που έχει την άδεια κατασκευής είναι η CheckMate

SeaEnergy Limited. Ο διευθύνων σύμβουλος της εταιρίας είναι ο Des Crampton. Η καινοτομία στο σύστημα Anaconda σε σχέση με τις προηγούμενες συσκευές, είναι ότι οι τελευταίες χρησιμοποιούσαν εύκαμπτες μεμβράνες ή σωλήνες προσανατολισμένες στη φορά των κυμάτων, αλλά καμία συσκευή δεν εξαρτιόταν εντελώς από τη διατασιμότητα ενός σωλήνα κατασκευασμένου από ελαστικό υλικό. Η ομάδα στόχευε να ολοκληρώσει την έρευνα και να δημιουργήσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα στη θάλασσα το 2014 όμως το 2008 η εξέλιξη σταμάτησε. Θα μπορούσε κανείς να πει πως αναζητούνται ακόμη επενδυτές για το “project3”. Η τεχνολογία της συγκεκριμένης συσκευής είναι ένα σχετικό σύστημα. Αποτελείται από ένα μακρύ σωλήνα από καουτσούκ επενδυμένου με πολυμερές το οποίο βοηθάει στην αντοχή του σωλήνα από διάβρωση λόγω του νερού του ωκεανού. Στο άκρο του σωλήνα υπάρχει μια τουρμπίνα, μια βαλβίδα και ένας συσσωρευτής τα οποία συμβάλλουν στο να εξομαλυνθεί η ροή του νερού και να κάνει την παραγόμενη ενέργεια πιο σταθερή περνώντας μέσα από την τουρμπίνα. Η διόγκωση του κύματος κινείται ή ταλαντεύεται από την κίνηση του νερού για το κύμα που πέρασε. Καθώς το νερό διέρχεται μέσα από το σωλήνα, η κινητική ενέργεια αποθηκεύεται στην επιφάνεια του μετατροπέα και διέρχεται κατά μήκος της συσκευής. Λόγω του υλικού η συσκευή έχει λιγότερο βάρος σε σχέση με άλλες. Η διάταξη φαίνεται στο σχήμα 13.



Σχήμα 13. Anaconda Wave Energy Converter

Μέχρι στιγμής δεν έχει εγκατασταθεί καμία πλήρης διάταξη τέτοιου είδους. Η κλίμακά του αναμένεται να έχει 7 μέτρα διάμετρο και μήκος 150 μέτρα περίπου, ενώ θα μπορεί να τοποθετηθεί σε βάθος 40-100 μέτρων. Η κλίμακα που έχει δοκιμαστεί

είναι με διάμετρο 12 εκατοστά και μήκος 2.2 μέτρα. Σε κάθε σύστημα υπάρχει μια θετική προτίμηση φορτίου, η οποία θα καταστεί περισσότερο αρνητική με το νερό που κινείται μέσα στο σωλήνα να ανοίγει την βαλβίδα στο πίσω μέρος της συσκευής και τελικά να κάνει τη τουρμπίνα να κινηθεί. Το συγκεκριμένο σύστημα αναμένεται να παράγει κατά μέσο όρο 1MW ισχύος με μέγιστη τιμή τα 3 MW.

Η εγκατάσταση της συσκευής είναι απλή. Η συσκευή μπορεί να κουλουριαστεί και να μεταφερθεί με πλοίο στον προορισμό της, και έπειτα το μπροστινό μέρος της συσκευής αγκυροβολείται στον πυθμένα της θάλασσας με το υπόλοιπο τμήμα να επιπλέει. Η όλη διάταξη ευθυγραμμίζεται στη συνέχεια με σκοπό το άκρο της ουράς να είναι στραμμένο προς τη κατεύθυνση της ροής των κυμάτων. Η Anaconda έχει μέγιστη ισχύ σε νερό, του οποίου η μέση ετήσια προσπίπτουσα ισχύς κύματος είναι τουλάχιστον 50 kW/m.^[36-39]

3.1.2 Crest Wing

Μία ακόμη συσκευή τέτοιου τύπου είναι και η Crest Wing wave energy converter η οποία αναπτύσσεται κυρίως από τον Henning Pilgaard, της WaveEnergyFyn, Δανία. Η συσκευή λειτουργεί σαν χαλί στην επιφάνεια της θάλασσας, ανάλογα με το σχήμα και το είδος κάθε κύματος και με την κίνηση από το τελευταίο να παράγει ενέργεια. Η διαφορά του με άλλες μηχανές είναι ότι έχει μορφή τραπεζίου το οποίο εκτείνεται προς τα κάτω μέσα στο νερό και δημιουργεί αναρρόφηση.



Σχήμα 14. Crest Wing Wave Energy

Αυτό αυξάνει την αποτελεσματική μάζα του WEC, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τη χρήση των υλικών. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στον σχεδιασμό του πρώτου και του τελευταίου πλωτήρα καθώς στόχος τους είναι να ενεργούν ως μια ομαλή μετάβαση μεταξύ των κυμάτων και της μηχανής. Ο σκοπός τους είναι να εξασφαλίσουν ότι δεν υπάρχει αέρας κάτω από τους δύο πλωτήρες, και έτσι ώστε η αναρρόφηση δεν έχει διακοπή και η συσκευή εξακολουθεί να λειτουργεί σωστά.

Σε πολλούς WEC, υπάρχουν δύο πιθανοί τρόποι για να μετατρέψουν την ενέργεια από τα κύματα σε ηλεκτρισμό. Η κίνηση του WEC σε σχέση με ένα σταθερό power take off (PTO), που έχει κατασκευαστεί ή με PTO που μετατρέπει την ενέργεια από τη σχετική μετακίνηση των στοιχείων του WEC. Το σταθερό PTO αντιστοιχεί σε μία σταθερή δομή ή ένα δευτερεύον πλωτό πλαίσιο αναφοράς στον ωκεανό που ο WEC επισυνάπτεται. Η κίνηση σε σχέση με αυτό το σταθερό σημείο παράγει ισχύ. Πριν από τη δοκιμή, γίνεται η υπόθεση ότι ένα σταθερό PTO αναφοράς θα παράγει περισσότερη ενέργεια. Το βασικό ερώτημα ήταν αν θα παράγει ένα τέτοιο μεγάλο ποσό που θα αξίζει τον κόπο να χτιστεί μια μακράς διάρκειας σταθερή δομή στον ωκεανό. Αν ληφθούν υπόψη όλες οι παράμετροι, είναι συνήθως πιο αποτελεσματική και προσιτή η σκέψη να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα σχετικής αναφοράς, δεδομένου ότι μπορεί να είναι αρκετά ακριβό να κατασκευαστεί μια σταθερή δομή στον ωκεανό που προορίζεται να διαρκέσει ένα σημαντικό χρονικό διάστημα. Το σύστημα PTO που χρησιμοποιεί σχετική κίνηση των στοιχείων του WEC για την παραγωγή ενέργειας είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα στην κυματική ενέργεια.^[40-41]

3.1.3 Pelamis

Η εταιρεία ιδρύθηκε το 1998 στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το 2004, η Pelamis Wave Power κατέδειξε το πρώτο πρωτότυπο πλήρους κλίμακας WEC, τον P1, στο χώρο δοκιμών EMEC στη Billia Croo. Ο P1 έγινε ο πρώτος υπεράκτιος μετατροπέας κυματικής ενέργειας στον κόσμο ο οποίος παρήγαγε επιτυχώς ηλεκτρική ενέργεια σε ένα εθνικό δίκτυο. Η συσκευή ήταν μήκους 120 μέτρων, με 3,5 μέτρα διάμετρο και αποτελείται από τέσσερις ενωμένους σωλήνες.



Σχήμα 15. Pelamis

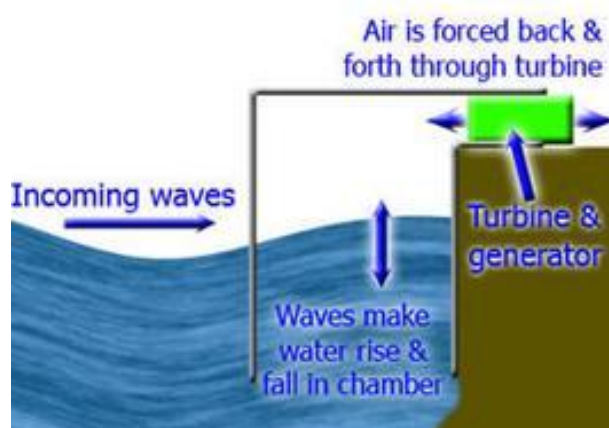
Τα αποτελέσματα από τις δοκιμές της συσκευής στο EMEC μεταξύ 2004 - 2007 οδήγησαν στην ανάπτυξη της συσκευής δεύτερης γενιάς, το P2. Ο P2 αποτελείται από πέντε συνδεδεμένα τμήματα που κάμπτονται και λυγίζουν στα κύματα. Αυτή η κίνηση αξιοποιείται με υδραυλικά έμβολα στις αρθρώσεις οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν ηλεκτρικές γεννήτριες που βρίσκονται στο εσωτερικό της συσκευής. Η συσκευή έχει 180 μέτρα μήκος, τέσσερα μέτρα διάμετρο και ζυγίζει περίπου 1.350 τόνους. Η πρώτη μηχανή P2, ο P2-001, διατάχθηκε από την E.ON UK το 2009: η πρώτη μηχανή κυματικής ενέργειας στον κόσμο που αγοράστηκε από μια εταιρεία κοινής ωφέλειας. Φτάνοντας στο Όρκνεϊ τον Ιούλιο του 2010, ο ισχύος 750kW P2 εγκαταστάθηκε με επιτυχία στο χώρο δοκιμών Billia Croo για πρώτη φορά τον Οκτώβριο του 2010. Μετά από ένα πρόγραμμα δοκιμών τριών ετών, ο P2-001 έχει πλέον επιστρέψει στην κατοχή της Pelamis Wave Power, για τη συνέχιση της επίδειξης, παράλληλα με την συσκευή της ScottishPower, P2-002. Η δοκιμή που ασκήθηκε από την Pelamis δομείται μέσα από μια σειρά από καιρικά επίπεδα, το καθένα με προοδευτικά μεγαλύτερα ύψη κύματος. Ο P2 δοκιμάστηκε κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου σε κάθε καιρικό επίπεδο πριν από την είσοδό του στο επόμενο. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την προοδευτική διαχείριση των κινδύνων για την τεχνολογία και την ικανότητα να βρεθούν και να αντιμετωπιστούν οποιαδήποτε απροσδόκητα τεχνικά ζητήματα προκύψουν. Εργασίες επιθεώρησης και συντήρησης εκτελούνται στη Lyness, όπου βρίσκεται το μηχάνημα

όταν δεν είναι στο χώρο δοκιμών, έτοιμο για αναδιάταξη σε κατάλληλες καιρικές συνθήκες. Ενώ οι μηχανές P2 παραμένουν στο Όρκνεϊ. Το Νοέμβριο του 2014 η Relamis Wave Power, όρισε έναν διαχειριστή για να εκτιμήσει τις επιλογές για μελλοντική ανάπτυξη.^[42-44]

4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Terminators)

4.1 Terminator

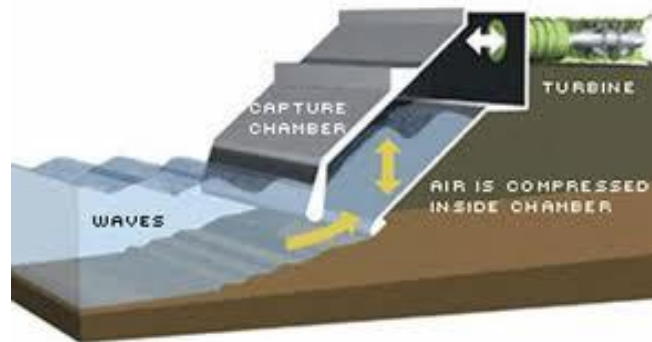
Συσκευές κυματικής ενέργειας που τοποθετούνται με προσανατολισμό κάθετο στην κίνηση των κυμάτων είναι γνωστές σαν “εξολοθρευτές”. Η συγκεκριμένη συσκευή αποτελείται από ένα τμήμα που μένει ακίνητο και ένα τμήμα που κινείται σε απόκριση του κύματος. Το στατικό τμήμα μπορεί να τοποθετηθεί είτε στο βυθό της θάλασσας είτε στην ακτή. Θα πρέπει όμως να παραμένει σε επαφή με το κινούμενο τμήμα. Το τελευταίο, λειτουργεί ως ένα είδος εμβόλου αυτοκινήτου, δηλαδή κινείται πάνω-κάτω. Αυτή η κίνηση συμπιέζει τον αέρα ή το λάδι για να κινήσει μια τουρμπίνα. Παρακάτω δίνεται μια διάταξη του συγκεκριμένου είδους.^[45-47]



Σχήμα 16. Terminator

4.1.1 Oscillating Water Column

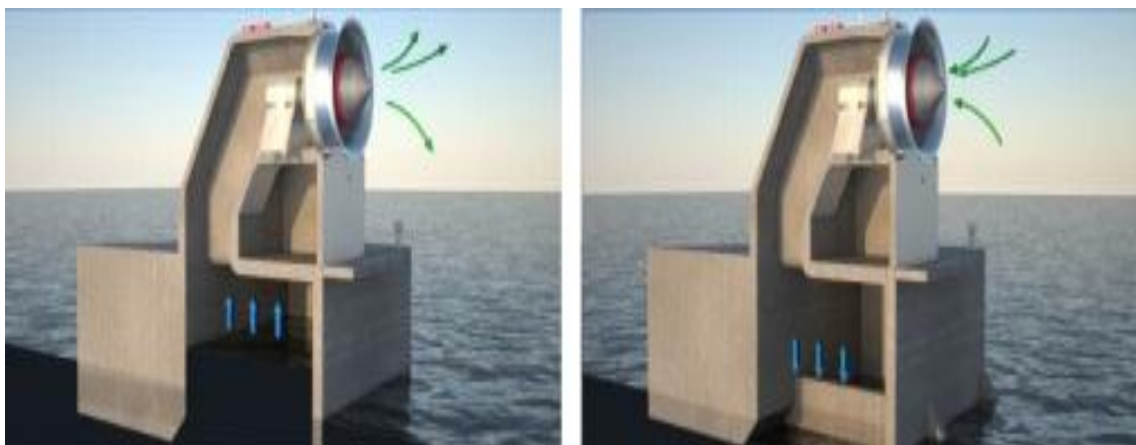
Η παλινδρόμηση της στήλης νερού (oscillating water column) είναι ένας τύπος εξολοθρευτή, στον οποίο το νερό εισέρχεται μέσω ενός ανοίγματος κάτω από την επιφάνεια του νερού και φτάνει σε ένα θάλαμο, παγιδεύοντας τον αέρα παραπάνω. Η κίνηση των κυμάτων προκαλεί κίνηση του νερού πάνω-κάτω, αναγκάζοντας τον αέρα διαμέσου ενός ανοίγματος να μεταφερθεί σε μια τουρμπίνα με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Συνήθως οι συγκεκριμένες συσκευές έχουν ονομαστική ισχύ από 500 kW έως 2MW ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κύματος καθώς και το μέγεθος της συσκευής.^[48-49]



Σχήμα 17. Oscillating Water Column

4.1.2 Oceanlynx

Ένας μετατροπέας που χρησιμοποιεί την τεχνολογία της παλινδρόμησης στήλης νερού είναι η Oceanlynx, που κατασκευάστηκε από την Oceanlynx, στην Αυστραλία το 1997. Ο τύπος της κυματικής ενέργειας που μετατρέπει η Oceanlynx σε ηλεκτρική ενέργεια είναι ένας συνδυασμός της κινητικής και δυναμικής ενέργειας των σωματιδίων νερού. Τα κύματα προκαλούν τα σωματίδια νερού να ταλαντεύονται σε ελλειπτικές τροχιές, με τη μέγιστη κινητική ενέργεια να δημιουργείται καθώς το ύψος του κύματος περνά το μέσο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας. Με τη συγκεκριμένη κινητική ενέργεια δημιουργείται αέρας υψηλής πίεσης, ο οποίος με τη σειρά του κινεί ένα στρόβιλο. Το υλικό κατασκευής του είναι οπλισμένο σκυρόδεμα. Η παραγωγή ενέργειας μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε από την κίνηση του νερού να δημιουργηθεί αέρας που θα κινήσει το στρόβιλο, είτε εξωτερικός αέρας να κινήσει τον στρόβιλο, ο οποίος θα κινήσει το νερό. Και οι δύο τρόποι είναι αποδοτικοί.^[50-53]

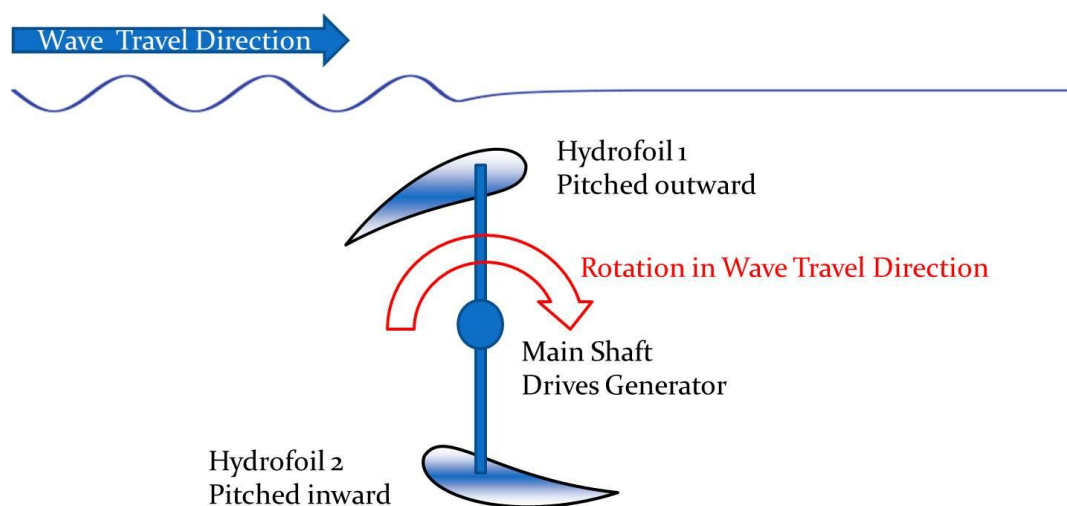


Σχήμα 18. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δύο τρόπους

4.1.3 Cycloidal Wave Energy Converter

Μία ακόμη εταιρία η οποία κατασκευάζει τέτοιου είδους μετατροπέα είναι η Atargis Energy Corporation με το όνομα του μοντέλου να είναι “Cycloidal Wave Energy Converter (κυκλοειδής μετατροπέας κυματικής ενέργειας)”. Η Atargis ιδρύθηκε το 2010 και έχει έδρα το Κολοράντο των Η.Π.Α, ενώ έχει σαν στόχο να παράγει την πιο οικονομική και ταυτόχρονα αποδοτική συσκευή μετατροπής κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική μέχρι το τέλος του 2015.

Ο κυκλοειδής μετατροπέας κυματικής ενέργειας είναι η προσαρμογή της κυκλοειδούς προπέλας για διαφορετικό σκοπό, που είναι η εξαγωγή ενέργειας από τα κύματα του ωκεανού. Μια κυκλοειδής έλικα αποτελείται από μία ή περισσότερες λεπίδες προσανατολισμένες παράλληλα σε ένα κύριο άξονα και συνδέεται σε μια ακτίνα. Ενώ η γεωμετρία μιας κυκλοειδούς έλικας με ένα κυκλοειδή WEC είναι ολόιδια, ο σκοπός και ο τρόπος λειτουργίας είναι εντελώς διαφορετικά.



Σχήμα 19. Cycloidal Wave Energy Converter

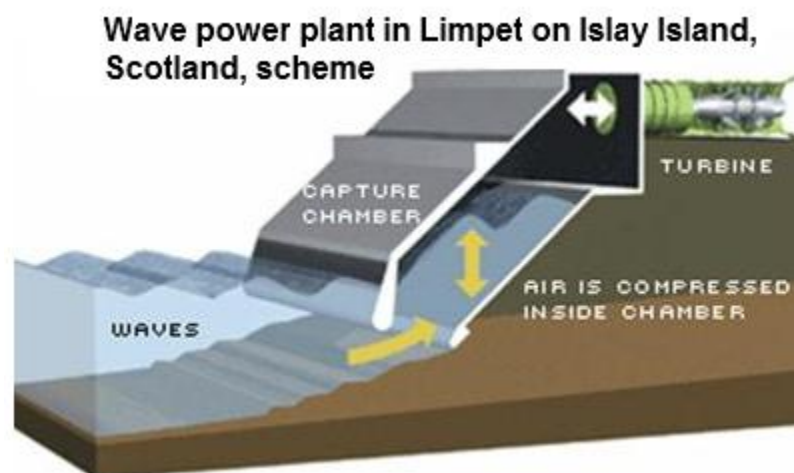
Η CycWEC χρησιμοποιεί στροβίλους οριζόντιου προσανατολισμού με δύο πτερύγια, ενώ είναι πλήρως βυθισμένη στον ωκεανό σε περίπου 100 μέτρα βάθος. Χρησιμοποιώντας τον έλεγχο της ροής για να συγχρονιστεί με το εισερχόμενο κύμα, το CycWEC μπορεί να αποσπάσει πάνω από το 95% της ενέργειας των κυμάτων.

Για να μετατραπούν τα κύματα σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια, η CycWEC πρέπει να συγχρονιστεί απόλυτα με τα κύματα του ωκεανού, τέλεια ακυρώνοντας το κύμα από την παραγωγή ενός αντι-κύματος 180 μοίρες εκτός φάσης. Με τον τρόπο αυτό, η CycWEC εξάγει την ενέργεια των ωκεανών για να κινήσει έναν άξονα σε μια γεννήτρια, μετατρέποντας την κυματική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Για βαθιά

κύματα του ωκεανού η βέλτιστη θέση της CycWEC είναι προσανατολισμένη έτσι ώστε ο κύριος άξονας και τα υδροπτερύγια να είναι κάθετα προς το εισερχόμενο κύμα και παράλληλα με την επιφάνεια του ωκεανού. Τα υδροπτερύγια ελέγχονται από υδραυλική ενεργοποίηση για να ρυθμίζεται το βήμα του πτερυγίου σε όλη την επιφάνεια του κύριου άξονα. Οι καλύτερες τοποθεσίες για την κυματική ενέργεια των ωκεανών είναι γενικά οι δυτικές ακτές των ηπείρων, μεταξύ 40 και 60 μοίρες γεωγραφικού πλάτους.^[54-56]

4.1.4 LIMPET

Την ίδια τεχνολογία χρησιμοποιεί ακόμη μία συσκευή. Το 1998, το Queen's University Belfast σε συνεργασία με το Wavegen Ireland Ltd., Charles Brand Ltd, τον Kirk McClure Morton και I.S.T. Portugal είχαν σαν σκέψη να κατασκευαστεί και να δοκιμαστεί ένα παραθαλάσσιο εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας από κύματα με ισχύ 500 kW. Το σύστημα είναι γνωστό ως LIMPET (Land Installed Marine Power Energy Transmitter) και εγκαταστάθηκε στο Isle of Islay ανοικτά της δυτικής ακτής της Σκωτίας. Ανατέθηκε το Νοέμβριο του 2000. Το εργοστάσιο λειτουργεί εξ αποστάσεως, ενώ παρέχει ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο του Ηνωμένου Βασιλείου.



Σχήμα 20. Islay LIMPET

Η επιτυχής, και χωρίς επίβλεψη, λειτουργία του σταθμού από τη θέση κατέδειξε τη δυναμική της παραθαλάσσιας ενέργειας των κυμάτων η οποία συμβάλει προς την κατεύθυνση των εθνικών ενεργειακών προμηθειών. Η συσκευή αποτελείται από τρεις στήλες του νερού που περιέχεται μέσα σε συγκεκριμένους σωλήνες εσωτερικής διαμέτρου 6 μέτρων και με κλίση 400 προς το οριζόντιο επίπεδο δίνοντας μια συνολική επιφάνεια του νερού 169 τετραγωνικών μέτρων. Το άνω μέρος των

σωλήνων συνδέονται μεταξύ τους και η μετατροπή ενέργειας γίνεται μέσω μίας ενιαίας μονάδας γεννήτριας στρόβιλου που συνδέεται με την κεντρική στήλη. Οι στήλες του νερού με ένα εξωτερικό πλάτος 21 μέτρων βρίσκονται 17 μέτρα από την φυσική ακτογραμμή σε τεχνητές εσοχή με ένα βάθος νερού 6 μέτρων στη μέση στάθμη του νερού. Οι πλευρές της εσοχής είναι ουσιαστικά παράλληλες και κατακόρυφες. Το PTO αποτελείται από έναν ενιαίο διαμέτρου 2,6 μέτρων αντίθετης περιστροφής στρόβιλο Wells στον οποίο κάθε επίπεδο των λεπίδων είναι συναρμολογημένο απ' ευθείας επί του άξονα του ρότορα της επαγωγικής γεννήτριας, ισχύος 250kW, δίνοντας μια εγκατεστημένη ισχύ 500kW. Η έξοδος από τις γεννήτριες διορθώνεται και αναστρέφεται πριν από τη σύνδεση με το δίκτυο και αυτό δίνει τη δυνατότητα μεταβλητής ταχύτητας λειτουργίας των 700-1500 rpm. Το χαρακτηριστικό της λειτουργίας του εργοστασίου είναι λογισμικό που καθοδηγείται και μπορεί να μεταβληθεί. Ο θόρυβος που παράγεται από τη ροή του αέρα από τον στρόβιλο είναι εξασθενημένος καθώς διέρχεται από ένα ακουστικό θάλαμο πριν από την απόρριψη του στην ατμόσφαιρα. Η μονάδα ισχύος περιλαμβάνει επίσης μια πεταλούδα και μια βαλβίδα πτερυγίου μεταξύ των δρομέων και του θαλάμου του συλλέκτη. Το σύστημα καταγραφής των δεδομένων παρακολουθεί όλες τις κύριες λειτουργικές παραμέτρους σε όλη την διαδικασία μετατροπής της ενέργειας. Επιπλέον η ενέργεια προσπίπτοντος κύματος έχει παρακολουθηθεί για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα χρησιμοποιώντας μετατροπείς πίεσης στο βυθό της θάλασσας, τα φορτία κύματος στα μπροστινά και πίσω τοιχώματα έχουν ελεγχθεί και οι κινήσεις της στήλης του νερού έχουν μετρηθεί με πίεση και υπέρηχους μορφοτροπείς.^[57-58]

4.1.5 OE Buoy

Επίσης με την παλινδρόμηση στήλης νερού λειτουργεί ακόμη μία συσκευή, η σημαδούρα OE. Στην ουσία ένας στρόβιλος Wells χρησιμοποιείται ως PTO όπως και στις παραπάνω συσκευές μετατροπής ενέργειας. Ο στρόβιλος Wells διαθέτει το πλεονέκτημα ότι είναι αυτοανορθωτής με την ικανότητα να λειτουργεί με οποιαδήποτε κατεύθυνση της ροής του αέρα, η οποία μεταβάλλεται συνεχώς.



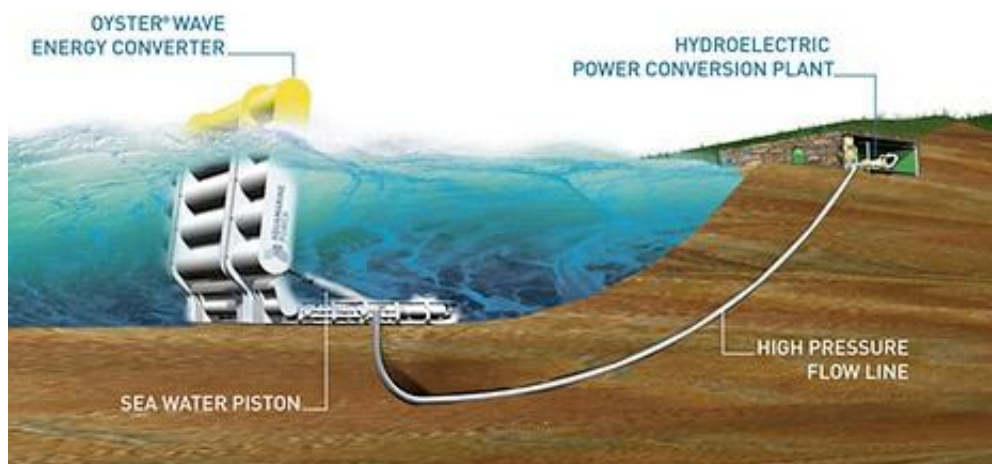
Σχήμα 21. OE Buoy

Αυτό το είδος στροβίλου, ωστόσο, πάσχει από την εμφάνιση απότομων στάσεων. Ένας άλλος τύπος αυτοανορθωτή στροβίλου, ένας υδροστρόβιλος, χρησιμοποιήθηκε στη θέση του Wells, στη μετασκευή του ΟΕ, προκειμένου να συγκριθούν οι δύο τύποι. Αναπτύχθηκε στο Galway Bay στην Ιρλανδία, κατά τον Μάρτιο, τον Απρίλιο και τον Μάιο του 2011. Συλλέχθηκαν συνολικά πληροφορίες από πειράματα διάρκειας 39 ωρών και χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα αισθητήρων για τη συλλογή αποτελεσμάτων. Μία σημαδούρα που επέπλεε στα κύματα και λειτουργεί από το θαλάσσιο Ινστιτούτο Ιρλανδίας χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της συσκευής σε συνάρτηση με τη μορφολογία των κυμάτων. Τα παραπάνω αποτελέσματα βοήθησαν στον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής ενέργειας της συσκευής σε μία συγκεκριμένη περιοχή με σκοπό την εύρεση της τοποθεσίας που προσφέρει μέγιστη απόδοση της συσκευής.^[59-61]

4.1.6 Oyster Wave Energy Converter

Η Aquamarine Power Ltd ιδρύθηκε το 2005 για την ανάπτυξη του Oyster, ενός WEC που αλληλεπιδρά αποτελεσματικά με τις κυματικές δυνάμεις που δημιουργούνται κοντά στις ακτές και σε κυματικές συνθήκες σε βάθη από 10 έως 15 μέτρα. Ο Oyster χρησιμοποιεί έναν ευρύ δυναμικό πτυσσόμενο ταλαντωτή (ή πτερύγιο) που διαπερνά πλήρως τη στήλη νερού την επιφάνεια προς το βυθό της θάλασσας. Τα κύματα κινούν τον ταλαντωτή, που με τη σειρά του κινεί υδραυλικά έμβολα που στέλνουν το νερό υπό πίεση σε μία αντλία μέσω αγωγών. Ο χερσαίος υδροηλεκτρικός σταθμός μετατρέπει την υδραυλική πίεση σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός τροχού Pelton, ο

οποίος ενεργοποιεί μία ηλεκτρική γεννήτρια. Το νερό περνά πίσω στη συσκευή σε κλειστό βρόγχο μέσω ενός δεύτερου χαμηλής πίεσης αγωγού.

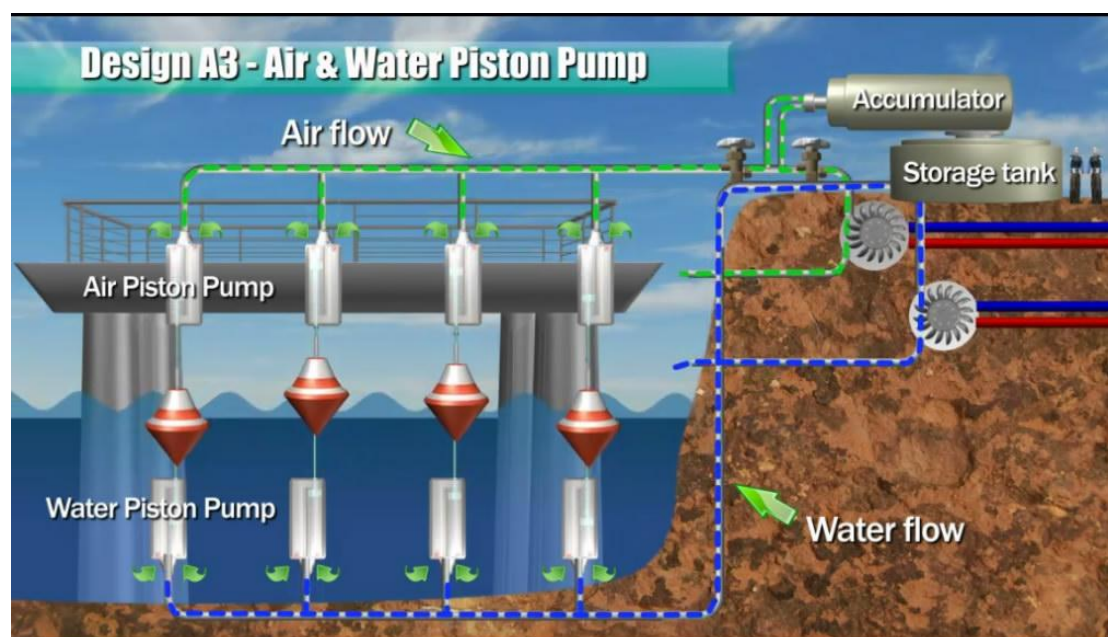


Σχήμα 22. Oyster Wave Energy Converter

Η Aquamarine εγκατέστησε με επιτυχία μια συσκευή ισχύος 315kW, σε πλήρη κλίμακα στο Ευρωπαϊκό Ναυτιλιακό Ενεργειακό Κέντρο (EMEC) στο Όρκνεϊ της Σκωτίας, το καλοκαίρι του 2009. Μετά την τελική σύνδεση και θέση, η πρώτη παραγωγή ενέργειας επιτεύχθηκε τον Οκτώβριο του 2009. Το έργο, που ονομάζεται Oyster 1, έχει δώσει πολύτιμα δεδομένα απόδοσης και φόρτωσης, τα οποία θα είναι το επίκεντρο μιας μελλοντικής νέας κατασκευής. Μια εκτεταμένη σειρά δοκιμών σε δεξαμενή, καθώς και αριθμητική προσομοίωση διεξάγεται στο Βασιλικό Πανεπιστήμιο του Μπέλφαστ με σκοπό τη βελτίωση της συσκευής. Τα αποτελέσματα αυτής της βασικής έρευνας, σε συνδυασμό με την εμπειρία που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, εγκατάστασης και παρακολούθησης της κατάστασης του Oyster 1, καθόρισαν το χαρακτήρα της επόμενης συσκευής «Oyster 2». Αυτό το νέο σχέδιο περιέχει πολλές βελτιώσεις απόδοσης που θα τοποθετήσουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία, σε κοντινή απόσταση από μία έναρξη της εμπορικής λειτουργίας. Ο Oyster 2 περιλαμβάνει τρεις υπεράκτιες μονάδες (επόμενης γενιάς) σύλληψης κύματος με συνολική ισχύ άνω των 2 MW. Μία επιτυχημένη επίδειξη σε αυτή την κλίμακα υποχρεούται να αποδείξει τη τεχνολογία μείωσης των τεχνικών και λειτουργικών κινδύνων που συνδέονται με τις αναπτύξεις μεγάλης κλίμακας και θα κάνει το όλο έργο να είναι εμπορικά ελκυστικό για την ενσωμάτωση επενδυτών. Ο Oyster 2 βρισκόταν στη φάση του λεπτομερούς σχεδιασμού και αναμενόταν να τοποθετηθεί στο EMEC το καλοκαίρι του 2011.^[62-64]

4.1.7 Wave Piston

Ο μετατροπέας Wave Piston σχεδιάστηκε για πρώτη φορά το 2008 και αυτή τη στιγμή αναπτύσσεται από μια ομάδα, συμπεριλαμβανομένων του Kristian Glejbøl και του Martin von Bülow στη Δανία. Ο συγκεκριμένος WEC είναι γνωστός ως ένας μετατροπέας ταλαντευόμενου κύματος, καθώς λαμβάνει την κινητική ενέργεια των σωματιδίων του νερού, λόγω της αλληλεπίδρασης με τα κύματα, μέσω ενός αριθμού μετακινούμενων πλακών τοποθετημένες ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του νερού. Σε αντίθεση με άλλους μετατροπείς ενέργειας ίδιου τύπου, οι πλάκες τοποθετούνται στην κατεύθυνση των κυμάτων.



Σχήμα 23. Wave Piston

Οι πολλαπλές πλάκες εντάσσονται στην ίδια δομή και μοιράζονται ένα PTO, κάτι που μειώνει το συνολικό κόστος εγκατάστασης, τα συστήματα πρόσδεσης και το συνολικό ποσό του υλικού ανά kW. Επιπλέον, οι πολλαπλές πλάκες βοηθούν στην ελαχιστοποίηση της δύναμης στο σύστημα πρόσδεσης, ενώ οι πλάκες θα πρέπει να συμπληρώνουν η μία την άλλη για να εξάγεται το μέγιστο ποσό της ενέργειας.^[65-66]

4.1.8 Mighty Whale

Η συγκεκριμένη συσκευή κατασκευάστηκε το 1998 από το Marine Science and Technology Center της Ιαπωνίας. Χρησιμοποιεί την παλινδρόμηση της στήλης νερού ώστε να κινήσει τους στροβίλους και να μετατρέψει την κυματική ενέργεια σε ηλεκτρική. Το Mighty Whale είναι μήκους 50 μέτρων και πλάτους 30 μέτρων και

φέρει τρεις μονάδες γεννήτριας στροβίλου: ένα με ονομαστική ισχύ εξόδου 50 kW + 10 kW και δύο 30 kW.



Σχήμα 24. Mighty Whale

Η συσκευή αγκυροβολήθηκε στο βυθό της θάλασσας (περίπου στα 40 μέτρα βάθος) με έξι σχοινιά πρόσδεσης, τέσσερα σύμφωνα με τη ροή των κυμάτων και δύο στην άλλη πλευρά. Τα σχοινιά ήταν σχεδιασμένα να αντέχουν ακόμα και τυφώνα. Το Mighty Whale μπορεί να ελέγχεται με τηλεχειρισμό από την ξηρά. Στο πρωτότυπο επίδειξης, η παραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως από τα μέσα που μεταφέρονται επί του σκάφους. Οποιοδήποτε πλεόνασμα χρησιμοποιείται για να φορτιστεί μια μπαταρία αποθήκευσης ή, όταν αυτή είναι πλήρως φορτισμένη, χρησιμοποιείται από έναν αντιστάτη φόρτωσης. Μια ασφαλιστική βαλβίδα προστατεύει τις τουρμπίνες αέρα από θυελλώδη καιρό διακόπτοντας τη ροή του αέρα, αν η ταχύτητα περιστροφής των στροβίλων υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Με στόχο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού, το πρωτότυπο είναι επίσης εξοπλισμένο με έναν συμπιεστή αέρα για να παρέχει αερισμό.^[67-68]

5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

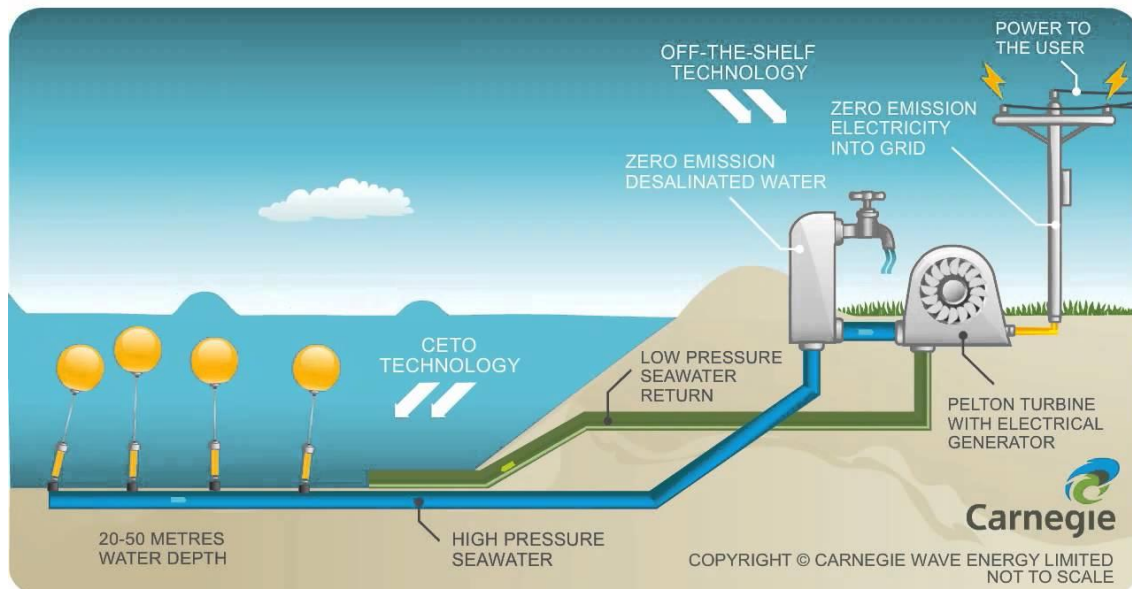
ΜΕΤΑΤΡΟΠΩΝ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1 CETO

Μία ομάδα Αυστραλών ερευνητών ανακάλυψε ένα νέο τρόπο αξιοποίησης της φυσικής ροής των ωκεανών, με σκοπό να παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με μηδενικές εκπομπές αερίων-ρύπων. Πρόκειται για το καινοτόμο σύστημα CETO 5.

«Η πρώτη σειρά των γεννητριών κυματικής ενέργειας πρόκειται να συνδεθεί με ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στην Αυστραλία και σε όλο τον κόσμο», λέει ο Inor Frischknecht, διευθύνων σύμβουλος του αυστραλιανού Οργανισμού Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Ο CETO διαφέρει από τις άλλες τεχνολογίες που βρίσκονται υπό ανάπτυξη, καθώς με το να βρίσκεται πλήρως βυθισμένος είναι σε θέση να παράγει ενέργεια τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα. Ο CETO έχει αποδειχθεί σε πιλοτική κλίμακα και είναι τώρα στη φάση της εμπορικής επίδειξής της. Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί ένα σύνολο βυθισμένων σημαδούρων και αντλιών νερού. Όταν οι σημαδούρες κινούνται, η κινητήρια δύναμη ενεργοποιεί την αντλία, σπρώχνει το νερό μέσω τουρμπίνων και η κίνηση των στροβίλων παράγει την ενέργεια. Στο σχήμα 25 δίνεται η διάταξη του εν λόγω συστήματος.

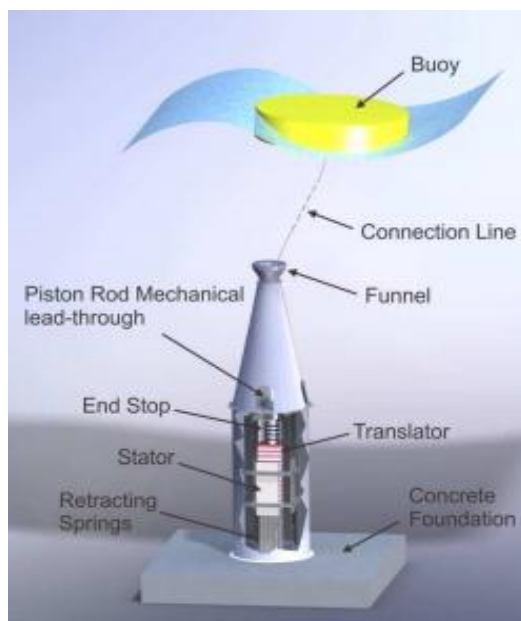


Σχήμα 25. CETO

Επίσης ο CETO μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως πηγή πόσιμου νερού, καθώς με την τεχνολογία που διαθέτει έχει τη δυνατότητα να αφαιράζει το νερό της θάλασσας. Η ανάπτυξη του συγκεκριμένου συστήματος είναι τόσο μεγάλη που διαρκώς κατασκευάζονται νέοι τύποι (CETO 5, CETO 6).^[69-72]

5.2 Lysekil Project

Ο WEC που αναπτύχθηκε από τη Διεύθυνση, για την ηλεκτρική ενέργεια, στο Πανεπιστήμιο της Ουψάλα βασικά αποτελείται μία σημαδούρα που συνδέεται μέσω μιας γραμμής σύνδεσης σε μία γραμμική γεννήτρια τοποθετημένη στο βυθό της θάλασσας. Η γραμμική γεννήτρια προστατεύεται από μία κάψουλα πίεσης και διατηρείται κάτω στο βυθό με τη βοήθεια μιας κατασκευής από σκυρόδεμα. Μια απεικόνιση του WEC με τα πιο βασικά μέρη του δίνεται στο σχήμα 26.



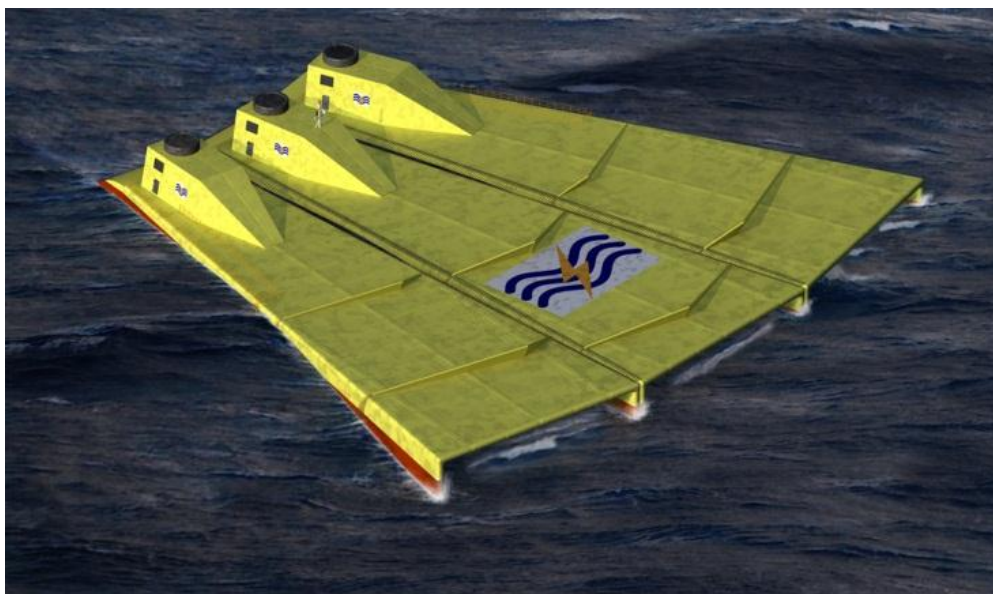
Σχήμα 26. Lysekil Project

Ο πρώτος WEC, L1, που εγκαταστάθηκε στο χώρο δοκιμών τον Μάρτιο του 2006, ήταν μια τριφασική γραμμική γεννήτρια. Σε αυτό το WEC, η γεννήτρια χτίστηκε σε ένα εσωτερικό πλαίσιο με τέσσερις πλευρές. Τα τμήματα του στάτορα τοποθετούνται σε κάθε πλευρά και ο δρομέας με μόνιμους μαγνήτες στερεώνεται σε αυτό, κινούνται πάνω και κάτω μέσα στο πλαίσιο με τη βοήθεια των κυλίνδρων τροχιάς που τοποθετούνται σε κάθε γωνία. Για επαναφερόμενη δύναμη, έχουν εγκατασταθεί σε εφελκυσμό ελατήρια στο κάτω μέρος της δομής. Η εσωτερική δομή του πλαισίου στη συνέχεια σφραγίστηκε σε κάψουλα υπό πίεση. Τον Φεβρουάριο του 2009, εγκαταστάθηκαν άλλοι δύο WEC, οι L2 και L3 στο χώρο δοκιμών του Lysekil. Οι γεννήτριες κατασκευάστηκαν με βάση το σχεδιασμό του L1 με ένα τετράπλευρο μεταφραστή και δρομέα. Ο στόχος του L1 ήταν να εξακριβωθεί η αντίληψη του WEC για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η συνολική βασική λειτουργικότητα. Ο στόχος των L2 και L3 ήταν διπλός. Πρώτος στόχος ήταν να ολοκληρωθεί το πρώτο πάρκο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από θαλάσσια κύματα με πειραματική διάταξη με τρία WECs και ενός θαλάσσιου υποσταθμού που να μεταφέρει την ενέργεια στην ακτή. Ο άλλος σκοπός των L2 και L3 ήταν να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση των επιμέρους μηχανικών υποσυστημάτων, οι συνθήκες λειτουργίας και η συνολική απόδοση του WEC με την εισαγωγή της τεχνολογίας μέτρησης και ενός πλήθους αισθητήρων. Οι L2 και L3 είχαν πολλές μηχανικές αναβαθμίσεις και βελτιώσεις, αλλά είχαν τον ίδιο ηλεκτρικό σχεδιασμό όπως τον L1. Για την προστασία των WEC προκειμένου να μην λειτουργούν χωρίς απόσβεση, κάθε WEC

ήταν εξοπλισμένος με φορτίο αντίστασης. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν και άλλοι WEC (L7, L9) ως αποτέλεσμα συνεχούς εξέλιξης.^[73-74]

5.3 OWEL

Ο OWEL (Offshore Wave Energy Limited, Ηνωμένο Βασίλειο) είναι μία πλωτή, αγκυροβολημένη συσκευή που χρησιμοποιεί τα κύματα του ωκεανού για να παράγει αέρα και να τον μεταφέρει σε ένα στρόβιλο. Είναι σχεδιασμένος για να αναπτυχθεί σε ενεργητικά βαθιά μέρη του νερού.



Σχήμα 27. OWEL

Η διάταξη ήταν σε εξέλιξη για σειρά ετών και έχει περάσει επιτυχώς διάφορες φάσεις της έρευνας. Η πρώτη ανέδειξε την ιδέα σε μικρή κλίμακα για ένα αριθμό διαφορετικών ρυθμίσεων. Στη δεύτερη φάση της έρευνας χρησιμοποιήθηκε μία μεγαλύτερης κλίμακας συσκευή ούτως ώστε να αποδειχθεί ότι μπορεί να κατασκευαστεί με μεταβολές στη κλίμακα. Η τελευταία φάση της ανάπτυξής της χρηματοδοτήθηκε από το South West Regional Development Agency (SWRDA). Η συγκεκριμένη φάση ενσωμάτωσε μια σειρά πειραματικών και υπολογιστικών μελετών για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και μετέβαλλε τον σχεδιασμό της μεγάλης κλίμακας θαλάσσιας συσκευής. Ένα επίπεδο εμπιστοσύνης επιτεύχθηκε μέσα από τη μεγάλη ποικιλία των αποτελεσμάτων και των μελετών που είχαν διεξαχθεί. Αυτό οδήγησε στην εξέλιξη της συσκευής και της δυναμικής της προκειμένου να αναπτυχθεί για εμπορικούς σκοπούς. Μια προ-εμπορική, θαλάσσια μονάδα επίδειξης τοποθετήθηκε για ανάπτυξη στην εγκατάσταση Wave Hub στα

νοτιοδυτικά της Αγγλίας. Αυτή η φάση της ανάπτυξης είχε ως στόχο να καταδείξει την απόδοση μιας μεγάλης μονάδας κλίμακας OWEL και την ικανότητά της να αναπτυχθεί στη θάλασσα και να είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο, με γενικότερο στόχο τη δημιουργία ενός κοστολογημένου, DNV διαπιστευμένου, πλήρους κλίμακας, εμπορικού σχεδιασμού. Το έργο αυτό θα αποτελούσε μια κρίσιμη φάση της εμπορικής πορείας της συσκευής προς την αγορά.^[75-76]

5.4 PowerBuoy

Η συγκεκριμένη συσκευή κατασκευάστηκε από την Ocean Power Technologies, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής το 1997. Ο PowerBuoy αποτελείται από ένα πλωτήριο, ένα δοκάρι, και μία πλάκα ανύψωσης. Ο πλωτήρας μετακινεί προς τα πάνω και προς τα κάτω το δοκάρι, ως απάντηση στην κίνηση των κυμάτων. Η πλάκα ανύψωσης διατηρεί το δοκάρι σε μια σχετικά σταθερή θέση. Η σχετική κίνηση του πλωτήρα σε σχέση με το δοκάρι κινεί ένα μηχανικό σύστημα που περιέχεται στο τελευταίο, το οποίο μετατρέπει τη γραμμική κίνηση του πλωτήρα σε περιστροφική.



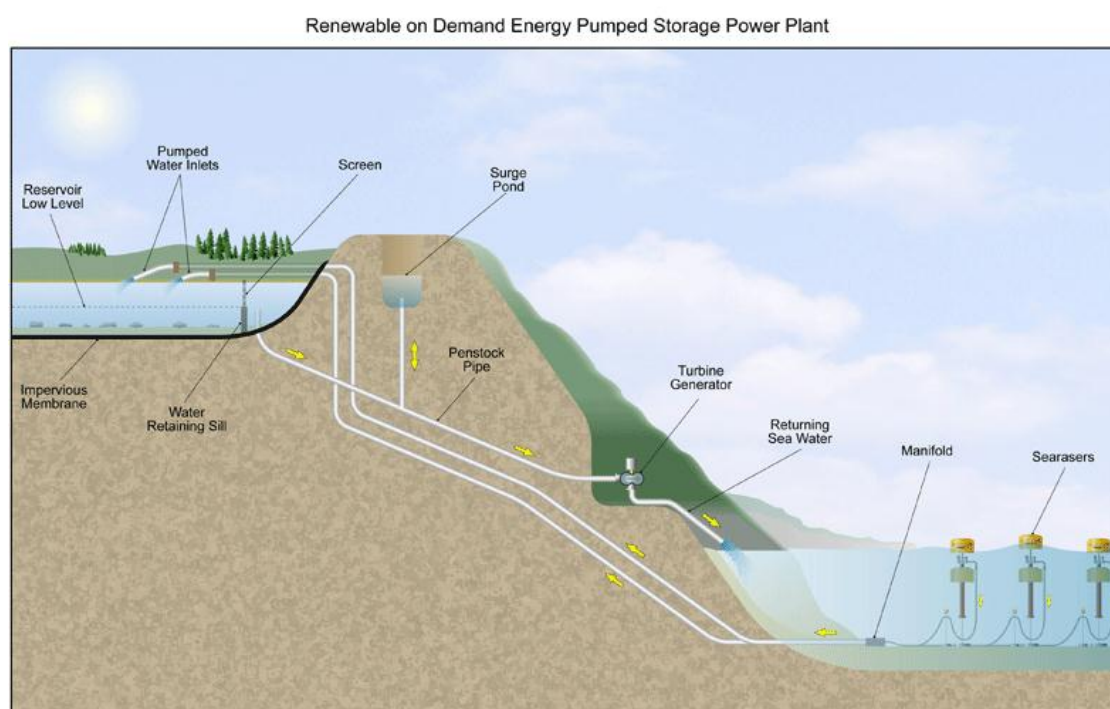
Σχήμα 28. PowerBuoy

Η περιστροφική κίνηση οδηγεί ηλεκτρικές γεννήτριες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για ωφέλιμο φορτίο ή για εξαγωγή σε κοντινές θαλάσσιες εφαρμογές χρησιμοποιώντας ένα υποβρύχιο ηλεκτρικό καλώδιο. Αυτό το υψηλό σύστημα

μετατροπής της ενέργειας των κυμάτων παράγει ισχύ ακόμη και σε μέτριες κυματικές συνθήκες. Τα συστήματα μετατροπής PowerBuoy ισχύος και ελέγχου παρέχουν συνεχές ρεύμα για τις εφαρμογές αυτές και στις πιο δύσκολες θαλάσσιες συνθήκες. Το δοκάρι περιέχει χώρο για επιπλέον χωρητικότητα της μπαταρίας, εάν απαιτείται να εξασφαλιστεί η ενέργεια που παρέχεται σε μια δεδομένη επίδοση, ακόμη και κάτω από συνθήκες χωρίς κύματα.^[77-78]

5.5 SeaRacer

Ο SeaRacer κατασκευάστηκε από τον Alvin Smith στο Ηνωμένο Βασίλειο. Χρησιμοποιεί τη μετατόπιση του κύματος για να σηκώσει ένα πλωτήρα που συνδέεται με ένα έμβολο και χρησιμοποιεί τη βαρύτητα του κύματος ώστε να πιάσει το έμβολο πίσω. Είναι διαφορετικό από τους άλλους μετατροπείς κυματικής ενέργειας, καθώς είναι προσδεμένος με ένα βαρίδιο στο βυθό με τη βοήθεια ενός μονού εύκαμπτου σχοινιού, αλλά χρησιμοποιεί ένα διπλό έμβολο, παράγοντας έτσι όγκο νερού υπό πίεση και στις δύο κατευθύνσεις του εμβόλου.



Σχήμα 29. SeaRacer

Ένα πρόβλημα που προέκυψε, είναι ο τρόπος τοποθέτησης της αντλίας σε όλα τα επίπεδα της συνεχώς αυξανόμενης και υποχωρούμενης παλίρροιας. Έτσι ενσωματώθηκε στο σχεδιασμό της αντλίας SEARASER μία ρυθμιζόμενη υδραυλική πλατφόρμα-στήλη που αυτορυθμίζεται και κλειδώνει σε οποιοδήποτε ύψος της

παλίρροιας. Έτσι τώρα υπάρχει μία αντλία για την άντληση θαλασσινού νερού σε μια κορυφή ενός λόφου. Χρησιμοποιεί την 100% καθαρή, ανανεώσιμη ενέργεια του νερού μέσα στο οποίο επιπλέει για να αντλήσει την αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια. Το νερό λιπαίνει την αντλία, αποφεύγοντας έτσι την ανάγκη για επιπλέον λίπανση με λάδι. Αν το υψηλό έδαφος δεν είναι διαθέσιμο ή είναι ακατάλληλο για την αποθήκευση του νερού για τους στροβίλους, το νερό υπό πίεση που αντλείται μέσω ενός συσσωρευτή απευθείας από τα κύματα θα έχει επαρκή πίεση για την οδήγηση των γεννητριών στροβίλων κοντά στο επίπεδο της θάλασσας. Αυτά στηρίζονται στην ξηρά ή σε υπεράκτιες εξέδρες.^[79-81]

5.6 DEXAWAVE

Ο μετατροπέας DEXAWAVE δημιουργήθηκε από την Blue Ocean Energy και εκμεταλλεύεται την ενέργεια των κυμάτων ώστε να τη μετατρέψει σε ηλεκτρική ενέργεια, με το χαμηλότερο δυνατό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Ο μετατροπέας έχει αναπτυχθεί ώστε να υπάρχει ένα ανταγωνιστικό κόστος παραγωγής ενέργειας σε σύγκριση με άλλες πηγές ενέργειας, όπως ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και ο άνεμος. Ο DEXAWAVE είναι μια απλή και φθηνή τεχνολογία για τη μετατροπή της ενέργειας των κυμάτων, από τα κύματα υψηλής ενέργειας σε σχετικά βαθιά θάλασσα. Η κυματική ενέργεια έχει ένα αναξιοποίητο ενεργειακό δυναμικό μέχρι και τρεις φορές όσο η τρέχουσα παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας έχει ορίσει τη κυματική ενέργεια ως ένα ενεργειακό πεδίο με δυναμικό ίδιου επιπέδου ή μεγαλύτερο από το δυναμικό της αιολικής ενέργειας.



Σχήμα 30. DEXAWAVE

Ο μετατροπέας DEXAWAVE κατασκευάζεται από σκυρόδεμα, το οποίο έχει χαμηλή και σταθερή τιμή. Με πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης, ο μετατροπέας DEXAWAVE στοχεύει να είναι μία από τις πιο οικονομικά ελκυστικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον κόσμο.^[82-85]

5.7 Wave Dragon

Η συσκευή κατασκευάστηκε και εξελίχθηκε από την Wave Dragon Ltd στο Λονδίνο, το Department of Civil Engineering, Aalborg University και τη Wave Dragon Aps στη Δανία. Η κατασκευή του ξεκίνησε το 1998. Ο Wave Dragon είναι ένας πλωτός χαλαρά-αγκυροβολημένος μετατροπέας ενέργειας (WEC) τύπου υπερπήδησης. Τα επερχόμενα κύματα επικεντρώνονται από δύο βραχίονες-ανακλαστήρες προς τη ράμπα της συσκευής, το στέλνουν επάνω σε αυτή και το μεταφέρουν σε μια δεξαμενή η οποία τοποθετείται σε ένα υψηλότερο επίπεδο από το μέσο επίπεδο νερού.



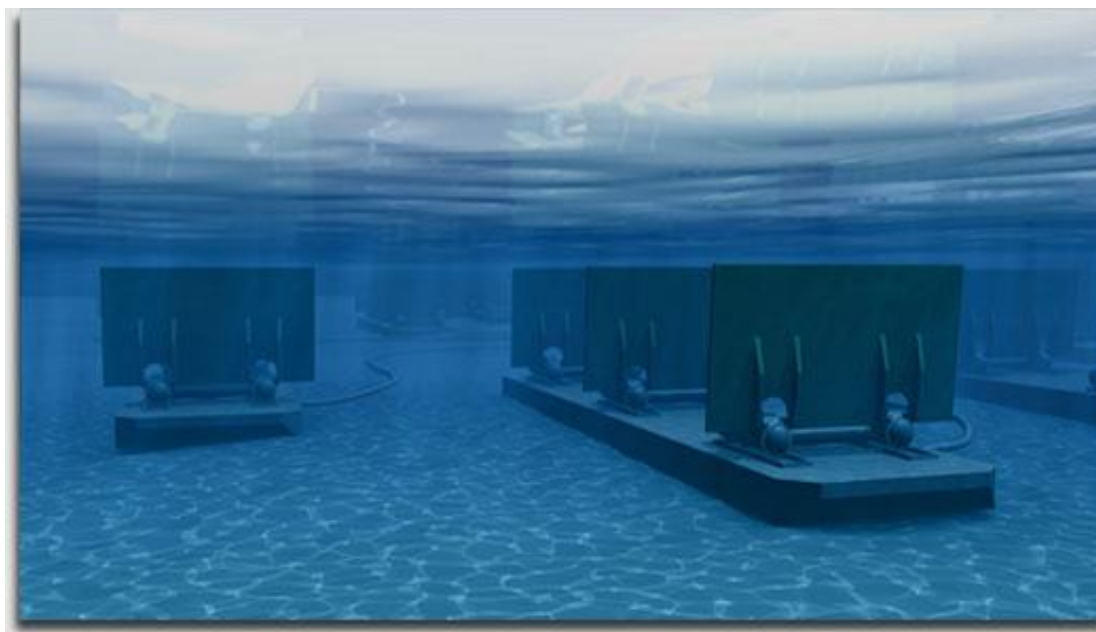
Σχήμα 31. Wave Dragon

Η παραγωγή ενέργειας λαμβάνει χώρα καθώς το νερό οδηγείται και πάλι προς τα κάτω για επιστρέψει στη θάλασσα μέσα από μια σειρά υδροτροβίλων. Η κατασκευή της εν λόγω συσκευής έχει μπει στο τελικό της στάδιο.^[86-88]

5.8 Wave Roller

Η συγκεκριμένη συσκευή κατασκευάστηκε από την AW Energy OY. Το μηχάνημα λειτουργεί σε περιοχές κοντά στην ακτή (περίπου 0,3 - 2 χιλιόμετρα από την ακτή) σε

βάθη μεταξύ 8 και 20 μέτρων. Ανάλογα με τις συνθήκες της παλίρροιας είναι ως επί το πλείστον ή πλήρως βυθισμένο και στερεωμένο στο βυθό. Μια ενιαία μονάδα WaveRoller εκτιμάται ότι παράγει ισχύ μεταξύ 500kW και 1000kW, με ένα συντελεστή δυναμικού της τάξης του 25-50% ανάλογα με τις συνθήκες του κύματος και την τοποθεσία του έργου.



Σχήμα 32. Wave Roller

Καθώς το πάνελ παραλαμβάνει την ενέργεια από τα κύματα, οι υδραυλικές αντλίες εμβόλου συνδέονται με τον πίνακα άντλησης των υδραυλικών υγρών μέσα σε ένα κλειστό υδραυλικό κύκλωμα. Όλα τα στοιχεία του υδραυλικού κυκλώματος περικλείονται μέσα σε μία κλειστή δομή στο εσωτερικό της συσκευής ώστε να μην είναι εκτεθειμένα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Κατά συνέπεια, δεν υπάρχει κίνδυνος διαρροής στον ωκεανό. Τα υψηλής πίεσως ρευστά τροφοδοτούνται σε ένα υδραυλικό κινητήρα που κινεί μια γεννήτρια ηλεκτρισμού. Η ηλεκτρική έξοδος για το εργοστάσιο στη συνέχεια συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ενός υποθαλάσσιου καλωδίου. Η πρώτη συσκευή τέτοιου τύπου εγκαταστάθηκε το 2007.^[89-90]

5.9 Vigor

Η συγκεκριμένη συσκευή κατασκευάστηκε από την Vigor Wave Energy AB με έδρα το Γκέτεμποργκ στη Σουηδία, το 2009. Ο Vigor συλλέγει την ενέργεια από τα κύματα και τη μετατρέπει σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Χρησιμοποιεί το θαλασσινό νερό, ως μηχανικά μέρη που δημιουργούν μια διαφορά πίεσης και ροής. Με τον τρόπο αυτό ο Vigor μετατρέπει την ενέργεια με ελάχιστη χρήση υλικού. Πολλοί σχετικά χαμηλού

κόστους σωλήνες μπορούν να συνδεθούν με το ίδιο σημείο μετατροπής καθιστώντας τη συγκεκριμένη τεχνολογία πολύ αποδοτική με βάση το κόστος της.

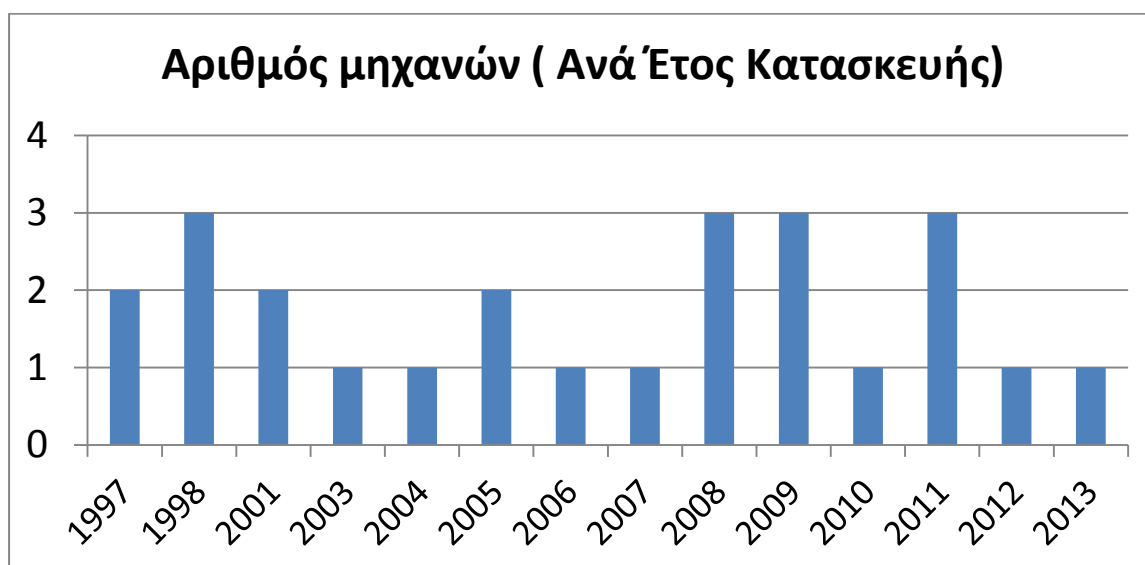


Σχήμα 33. Vigor

Ο Vigor είναι ευέλικτος. Αντιδρά εναντίον του ίδιου και δεν χρησιμοποιεί ένα σταθερό πλαίσιο αναφοράς, όπως ο πυθμένας του ωκεανού. Αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα σε ακραίες κυματικές καταστάσεις και περιορίζει τα στελέχη που σύρονται από τις δυνάμεις. Αυτό σημαίνει ότι ο Vigor ακολουθεί την κίνηση και λειτουργεί με τα κύματα, αντί να λειτουργεί κόντρα στα κύματα.^[91-92]

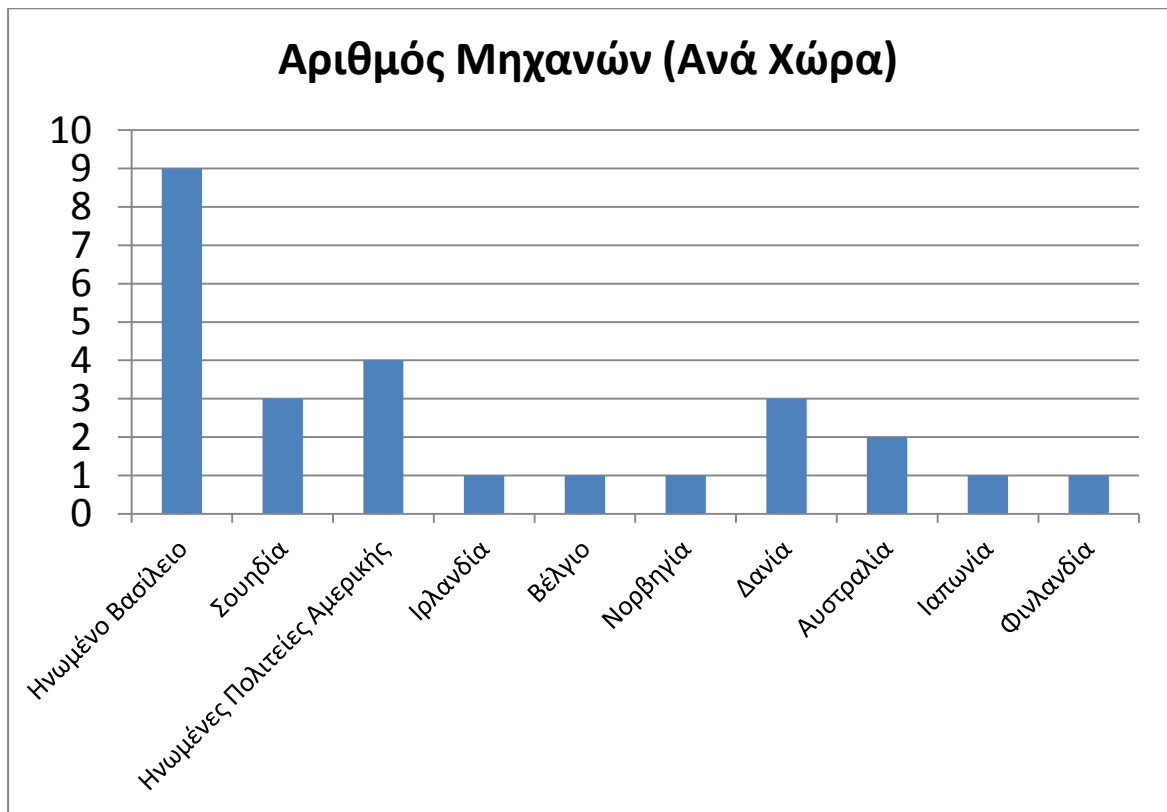
6 Ανάλυση και Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται, εξηγούνται και αναλύονται κάποια διαγράμματα τα οποία τελικώς αποφέρουν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα.



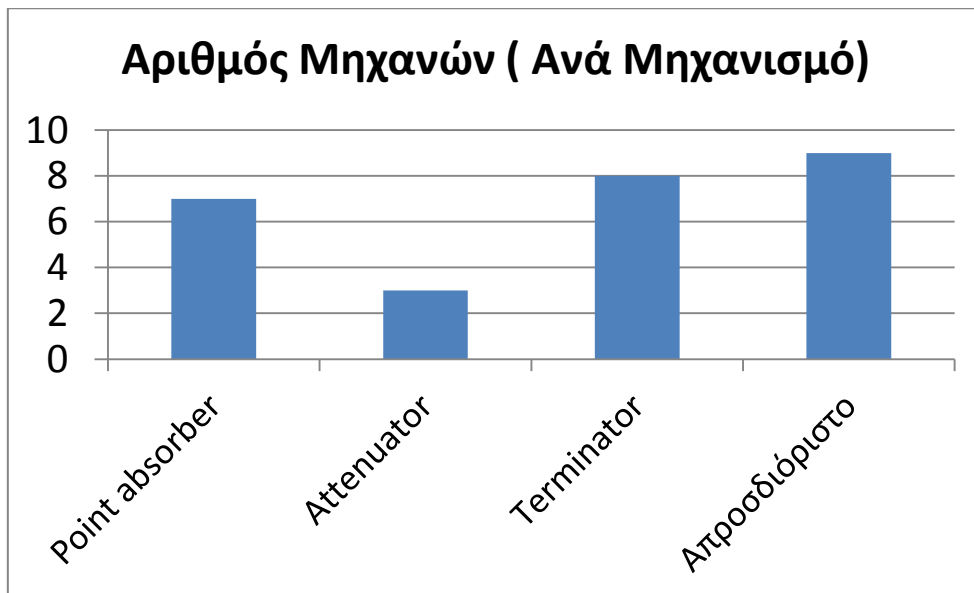
Διάγραμμα 1

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται μία σταθερή κινητικότητα στην παραγωγή μετατροπέων κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική τις τελευταίες δύο δεκαετίες, αποτέλεσμα της ανάγκης του ανθρώπου για αναζήτηση νέων πηγών ενέργειας, αβλαβών τόσο για τον ίδιο, όσο και για το περιβάλλον.



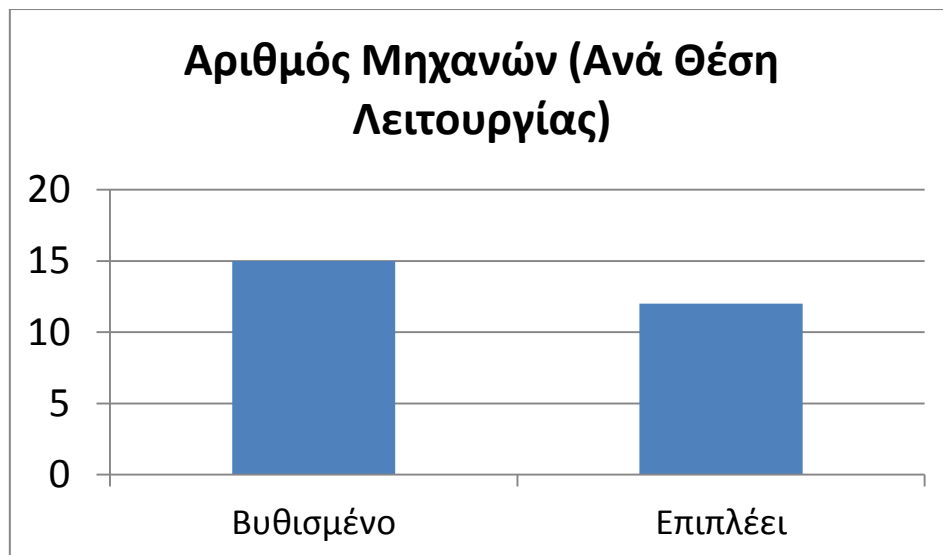
Διάγραμμα 2

Στο δεύτερο κατά σειρά διάγραμμα διακρίνεται το πώς η Ευρώπη έχει την πρωτοκαθεδρία στη κατασκευή μετατροπέων κυματικής ενέργειας. Ιδιαίτερα στο Ηνωμένο Βασίλειο και τις Σκανδιναβικές χώρες η παραγωγή αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς. Σε παρόμοιο δρόμο βαδίζουν και οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, κάτι που αποδεικνύει πως το κλίμα της Ευρώπης και των Ηνωμένων Πολιτειών, καθώς επίσης και η τεχνογνωσία, βοηθούν στη μελέτη, την εξέλιξη και την κατασκευή μετατροπών κυματικής ενέργειας.



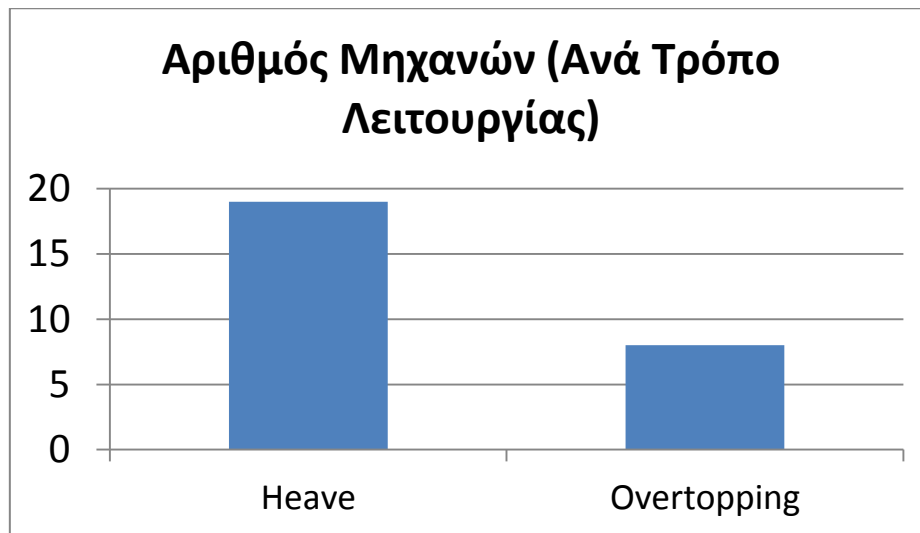
Διάγραμμα 3

Στο Διάγραμμα 3 γίνεται κατάταξη 27 μηχανών ανάλογα με το μηχανισμό τους. Παρατηρείται πως οι μηχανισμοί Terminator και Point absorber χρησιμοποιούνται περισσότερο, με το μηχανισμό Attenuator να βρίσκεται λίγο πιο πίσω. Ταυτόχρονα πολλές μηχανές βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο και δεν έχει προσδιοριστεί ο τύπος μηχανισμού τους.



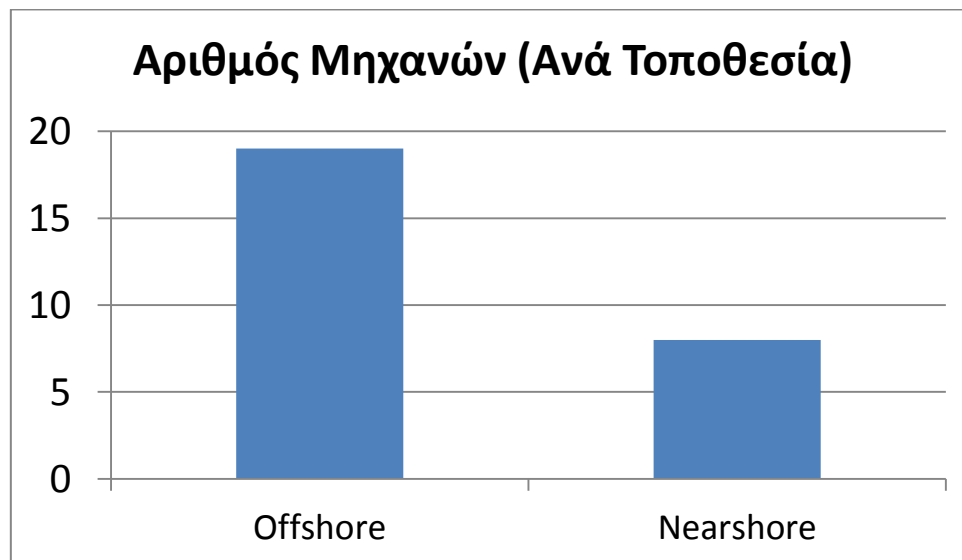
Διάγραμμα 4

Στο παραπάνω διάγραμμα συγκρίνεται ο αριθμός των μηχανών που είναι βυθισμένες, είτε ολόκληρες είτε μέρος αυτών, με τον αριθμό των μηχανών που επιπλέουν. Παρατηρείται ότι σε δείγμα 27 μηχανών, ο αριθμός των μηχανών που είναι βυθισμένες είναι μεγαλύτερος, σε σχέση με εκείνες που επιπλέουν, όμως η διαφορά είναι ελάχιστη.



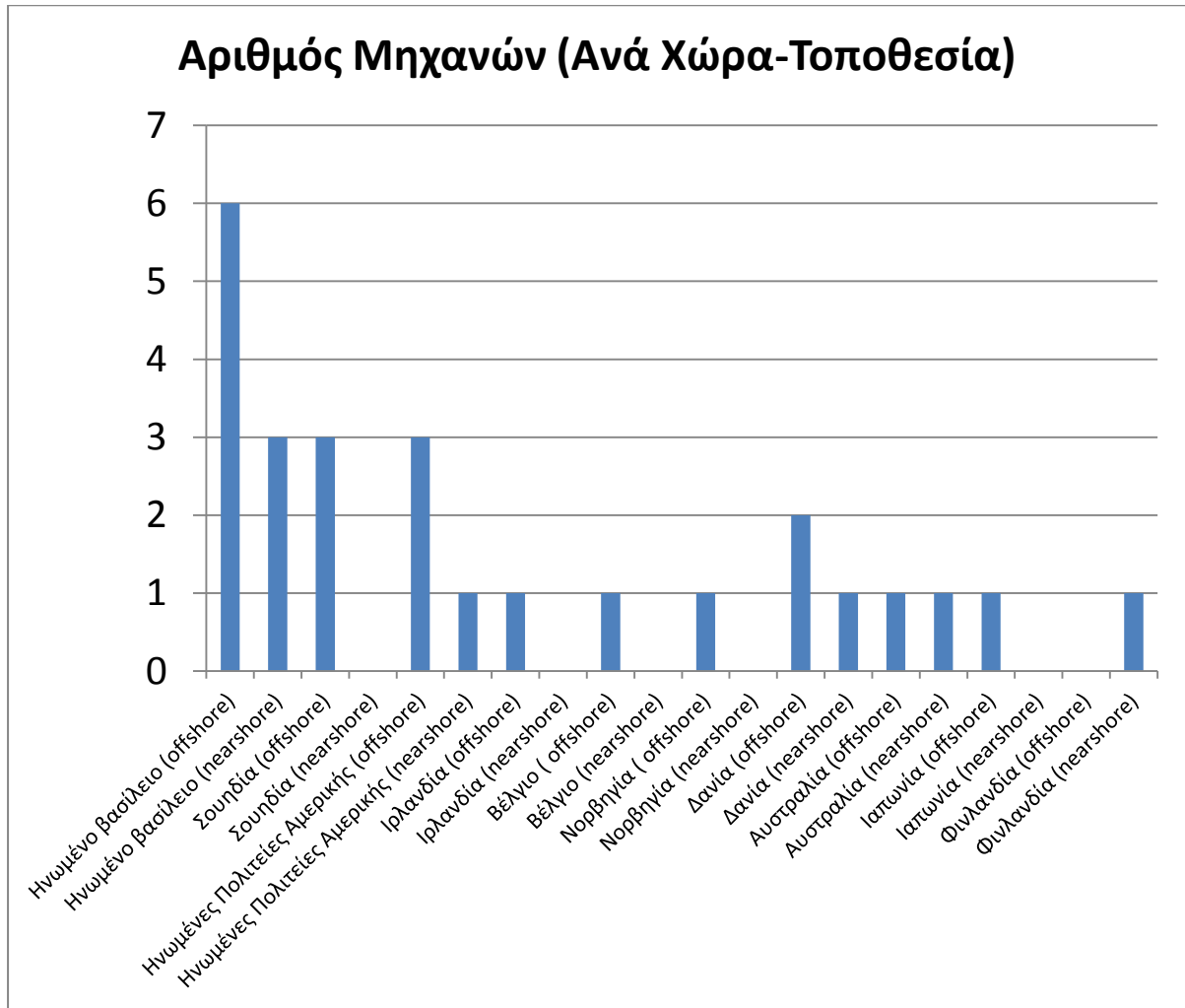
Διάγραμμα 5

Στο διάγραμμα 5 δίνονται πληροφορίες σε σχέση με το αν οι μηχανές λειτουργούν με τη δύναμη των κυμάτων (heave), ή αν τα κύματα περνούν από κάποια πλατφόρμα (overtopping). Παρατηρείται μία αξιοσημείωτη διαφορά στον συγκεκριμένο τομέα, καθώς σε μελέτη 27 μηχανών, οι 19 είναι τύπου heave, με μόλις 8 να είναι overtopping.



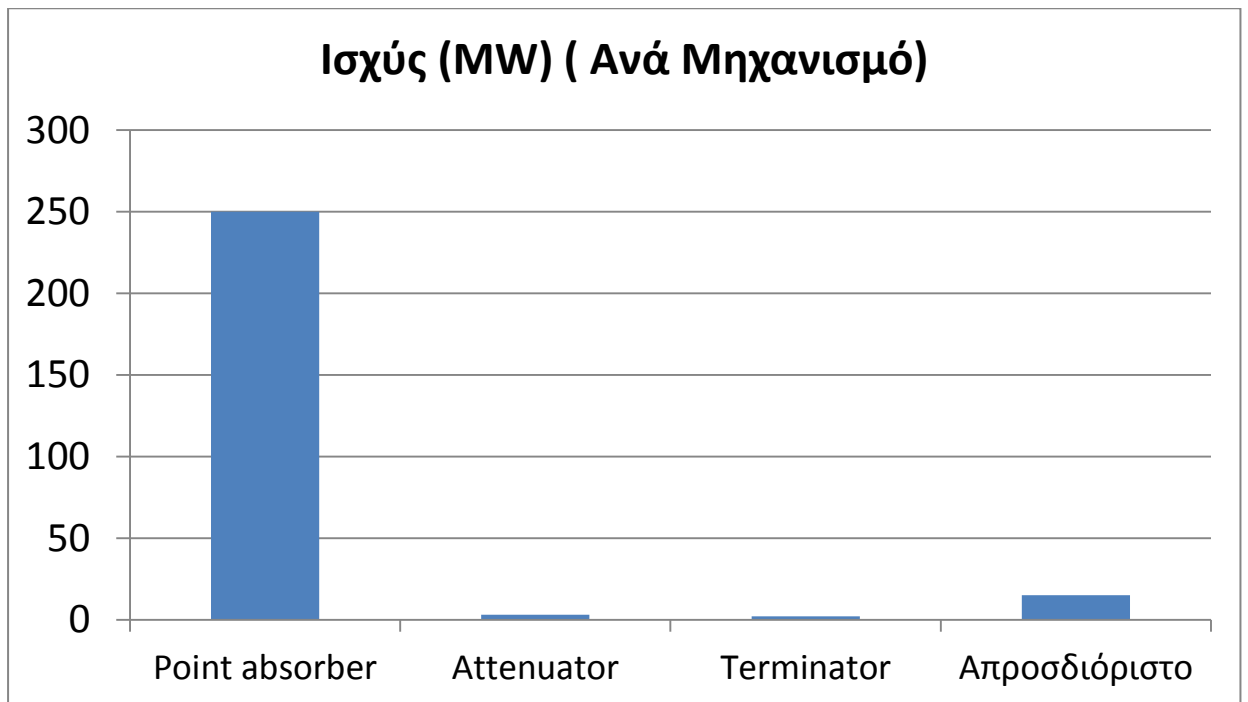
Διάγραμμα 6

Στο Διάγραμμα 6 συγκρίνεται ο αριθμός των μηχανών που λειτουργούν αρκετά μακριά από τη στεριά, οι λεγόμενες offshore, με τον αριθμό εκείνων οι οποίες λειτουργούν στη στεριά, ή πολύ κοντά σε αυτή. Διαπιστώνεται πως ο αριθμός των offshore είναι υπερδιπλάσιος του αριθμού των nearshore.



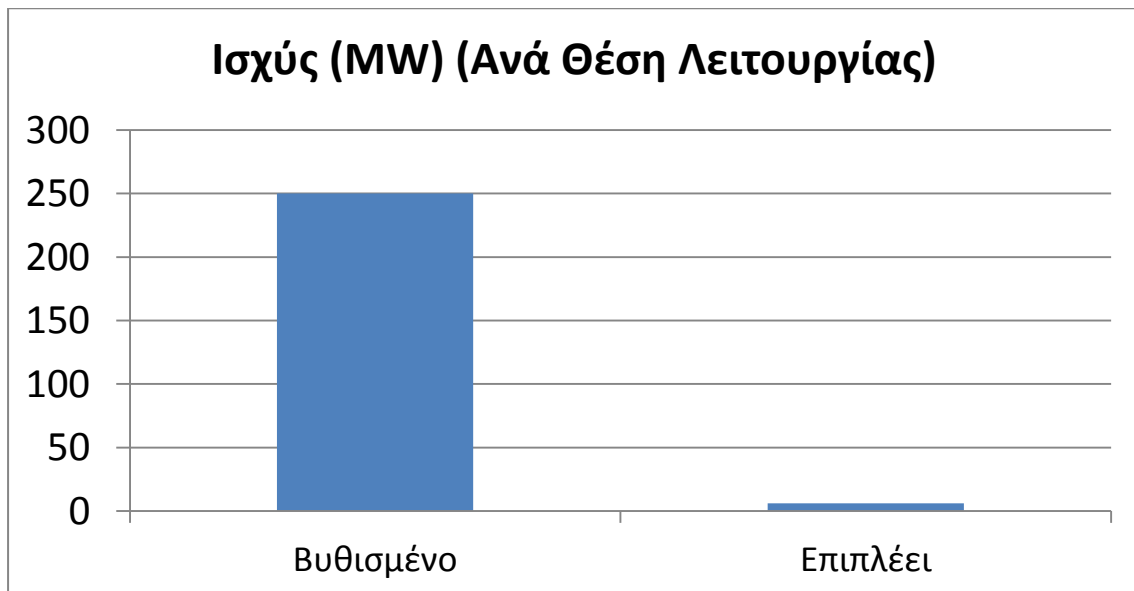
Διάγραμμα 7

Στο Διάγραμμα 7 απεικονίζεται ο αριθμός μηχανών ανά χώρα αλλά και ανά τοποθεσία σε κάθε χώρα. Παρατηρείται ότι σχεδόν όλες οι χώρες προτιμούν να κατασκευάζουν μηχανές τύπου offshore. Μόνο η Φινλανδία φαίνεται να κατασκευάζει μόνο nearshore μηχανή, ενώ η Αυστραλία κατασκευάζει μηχανές και των 2 τύπων.



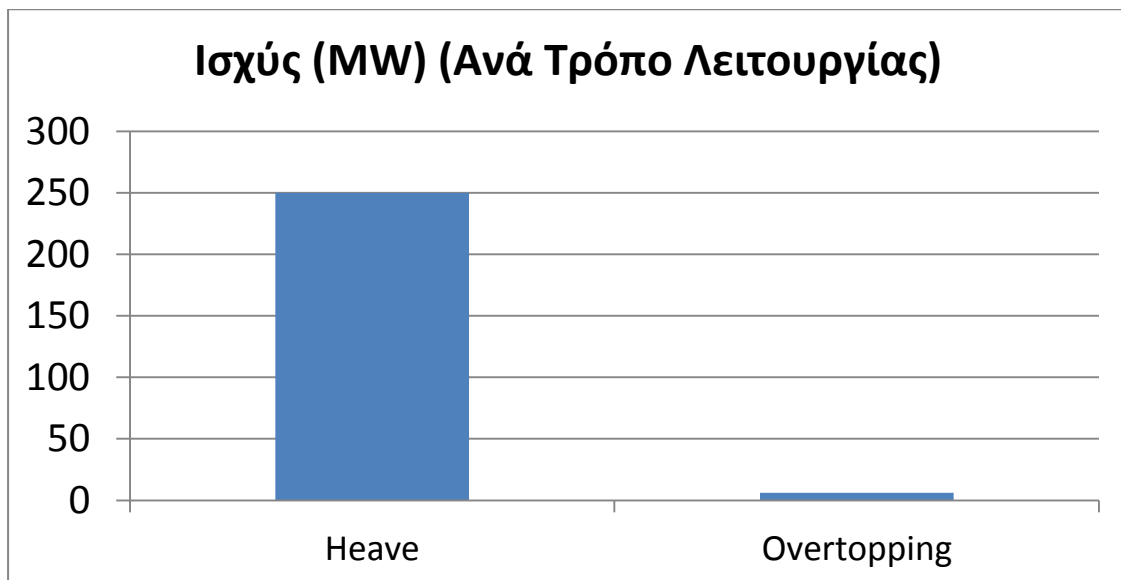
Διάγραμμα 8

Στο 8^ο διάγραμμα κατά σειρά καταγράφεται η μέγιστη ισχύς ανά μηχανισμό. Παρατηρείται ότι σε δείγμα 27 μηχανών ο μηχανισμός Point absorber φαίνεται να είναι πιο αποδοτικός με μέγιστη ισχύ που φτάνει τα 250 MW. Ακολουθούν πολύ πιο κάτω οι μηχανισμοί Attenuator και Terminator, ενώ οι μηχανές που ακόμη δεν έχει προσδιοριστεί ο μηχανισμός τους βρίσκονται λίγο πιο πάνω από τις μηχανές τύπου Attenuator.



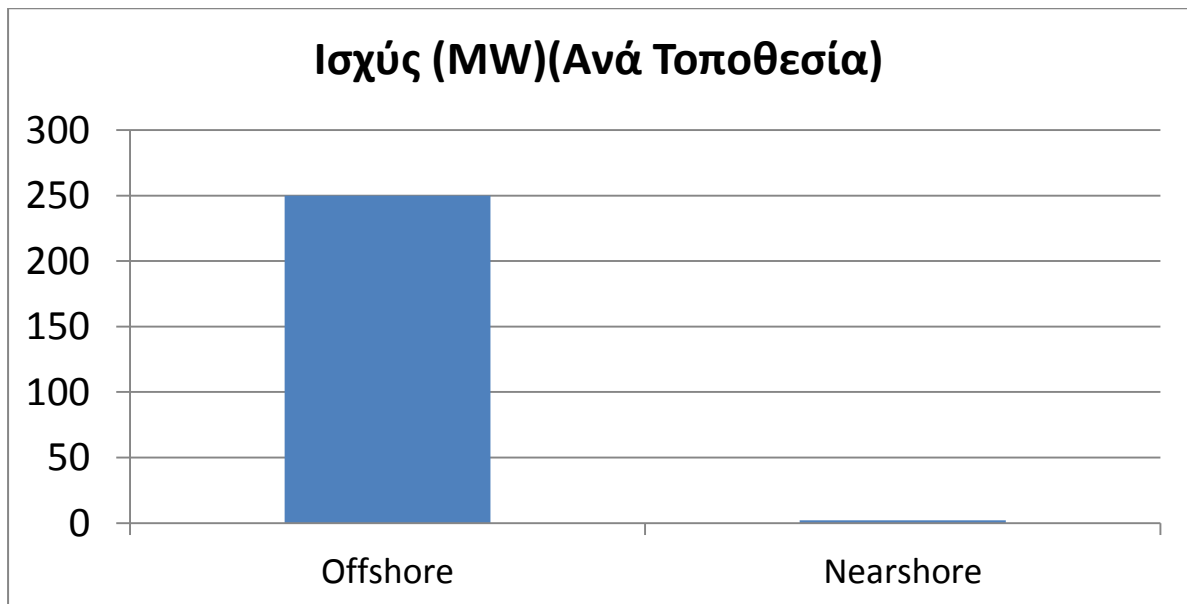
Διάγραμμα 9

Στο Διάγραμμα 9 δίνεται η μέγιστη ισχύς ανά θέση λειτουργίας. Φαίνεται πως οι μετατροπείς κυματικής ενέργειας που βρίσκονται βυθισμένοι παράγουν μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με τους μηχανισμούς που βρίσκονται στην επιφάνεια της θάλασσας και η διαφορά σε αυτό το τομέα φαίνεται ιδιαίτερα σημαντική.



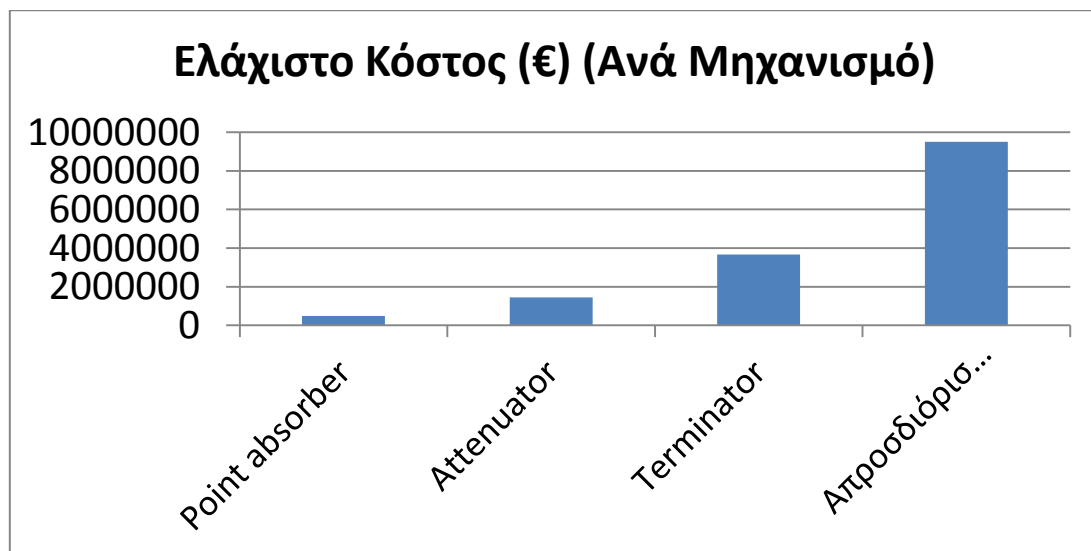
Διάγραμμα 10

Στο 10^ο Διάγραμμα καταγράφεται η μέγιστη ισχύς σε σχέση με τον τρόπο λειτουργίας. Παρατηρείται πως οι μηχανές που λειτουργούν με τη βοήθεια των κυμάτων παράγουν μεγαλύτερη ισχύ σε σύγκριση με εκείνες που λειτουργούν ως πλατφόρμες, με τη διαφορά να βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα.



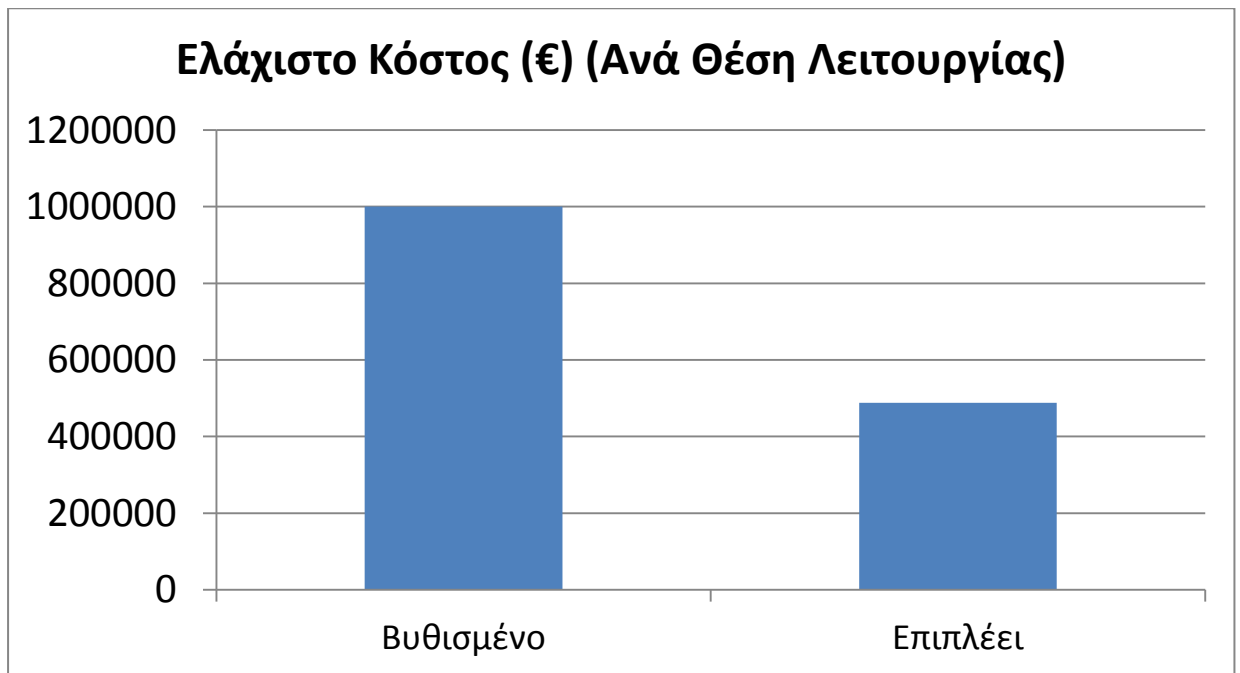
Διάγραμμα 11

Στο Διάγραμμα 11 καταγράφεται η ισχύς σε σχέση με την τοποθεσία. Οι μετατροπείς κυματικής ενέργειας που είναι τοποθετημένοι μακριά από τη στεριά φαίνεται πως παράγουν περισσότερη ισχύ από εκείνους που βρίσκονται κοντά στις ακτές με τη διαφορά να ξεπερνά κατά πολύ τα 200 MW.



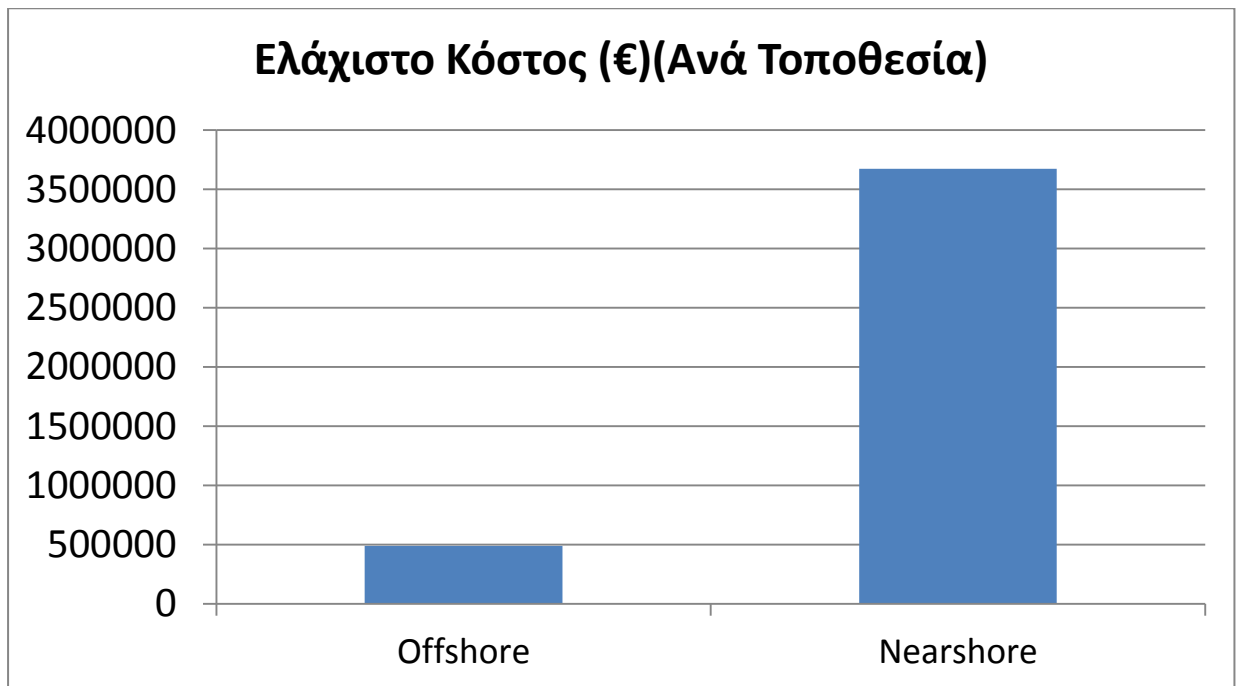
Διάγραμμα 12

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται το ελάχιστο κόστος ανά μηχανισμό. Παρατηρείται πως οι Point absorbers βρίσκονται πιο χαμηλά, με τους μετατροπείς τύπου Attenuator να ακολουθούν, ενώ πιο ακριβοί φαίνεται πως είναι οι μετατροπείς με τύπο μηχανισμού Terminator. Παράλληλα οι απροσδιόριστες μηχανές φαίνεται πως είναι ακριβότερες όλων πιθανότατα διότι βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο και δεν είναι εμπορικά διαθέσιμοι.



Διάγραμμα 13

Στο Διάγραμμα 13 δίνεται το ελάχιστο κόστος σε σχέση με τη θέση λειτουργίας. Παρατηρείται πως οι μηχανές οι οποίες βρίσκονται στο βυθό της θάλασσας κοστίζουν περισσότερο σε σχέση με τις μηχανές οι οποίες είναι τοποθετημένες στην επιφάνεια της θάλασσας και επιπλέουν.



Διάγραμμα 14

Στο διάγραμμα 14 παρατίθεται το ελάχιστο κόστος ανά τοποθεσία της μηχανής. Εύκολα διακρίνεται ότι οι μηχανές που είναι τοποθετημένες μακριά από τη στεριά έχουν χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τις μηχανές που βρίσκονται στη στεριά ή πολύ κοντά σε αυτή.

7 Επίλογος

Η συγκεκριμένη μελέτη έγινε με αφορμή την ανάγκη εξεύρεσης νέων πηγών ενέργειας οι οποίες θα είναι σε θέση να ικανοποιήσουν όσο το δυνατό περισσότερες ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού. Σε αυτή μελετήθηκαν, αξιολογήθηκαν και αναλύθηκαν συνολικά 27 μηχανές μετατροπής κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ενώ επίσης κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τη χώρα προέλευσης, το έτος κατασκευής, το μηχανισμό και το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης.

Με βάση τα διαγράμματα μπορούν να εξαχθούν αρκετά χρήσιμα συμπεράσματα. Αρχικά παρατηρείται αύξηση στην κατασκευή μετατροπέων κυματικής ενέργειας τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Επίσης η Ευρώπη φαίνεται πως προηγείται σε κατασκευή τέτοιου τύπου μηχανών και ιδιαίτερα το Ηνωμένο Βασίλειο και οι χώρες της Σκανδιναβίας. Οι περισσότερες μηχανές λειτουργούν ως Point absorbers, ενώ ταυτόχρονα πολλές είναι οι μηχανές οι οποίες βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Ακόμη, σε μεγάλο ποσοστό οι μηχανές βρίσκονται τοποθετημένες στο βυθό και μακριά από τη στεριά. Επιπρόσθετα ο μεγαλύτερος αριθμός μηχανών λειτουργούν με τη δύναμη και τη κίνηση των κυμάτων. Παράλληλα φαίνεται ότι το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης είναι αρκετά υψηλό, με τις προσπάθειες μείωσης του να συνεχίζονται με αμείωτους ρυθμούς.

Με βάση τα παραπάνω σχόλια και λαμβάνοντας υπόψη όλα τα δεδομένα προτείνεται ως καλύτερη επιλογή η χρησιμοποίηση του μετατροπέα Aquabuoy, της εταιρίας Finavera Renewables Limited. Η συγκεκριμένη επιλογή έγινε καθώς ο Aquabuoy αποδίδει τη μεγαλύτερη ισχύ σε σύγκριση με τους υπόλοιπους μετατροπείς, ενώ το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης είναι αρκετά προσιτό, σε αναλογία με τη παραγόμενη ισχύ.

Βιβλιογραφία

- [1] [https://www.google.gr/search?q=wave+energy&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=GDZKVdqeKamS7AbW5oDYBg&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=ar08-nm53Z_zYM%253A%3BMFTSwb24uTbnGM%3Bhttp%253A%252F%252Fwavestarenergy.com%252Fsites%252Fdefault%252Ffiles%252Fimagecache%252Fcontentimg%252FS6Windfarm%252520\(3\).jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwavestarenergy.com%252Fconcept%3B500%3B281](https://www.google.gr/search?q=wave+energy&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=GDZKVdqeKamS7AbW5oDYBg&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=ar08-nm53Z_zYM%253A%3BMFTSwb24uTbnGM%3Bhttp%253A%252F%252Fwavestarenergy.com%252Fsites%252Fdefault%252Ffiles%252Fimagecache%252Fcontentimg%252FS6Windfarm%252520(3).jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwavestarenergy.com%252Fconcept%3B500%3B281)
- [2] <http://www.icrepq.com/icrepq-08/380-leao.pdf>
- [3] https://www.google.gr/search?q=point+absorber&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=U9dJVcXoNcm4aam7gKgF&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=m62hhLMEC-2DwM%253A%3BN7shMOhxWHGniM%3Bhttp%253A%252F%252Fstatic.wixstatic.com%252Fmedia%252F604eea_11d14e70f21c92b3b19fc7597aa6d9ad.gif%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.mermaidpower.com%252F%2523!2-point-absorber---off-shore%252Fc1vfq%3B320%3B256
- [4] <http://www.mdpi.com/1996-1073/6/6/3033/pdf>
- [5] <http://www.hindawi.com/journals/ame/2014/846097/>
- [6] <http://www.awsocan.com/performance.aspx>
- [7] http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/scotland/highlands_and_islands/8692779.stm
- [8] https://www.google.gr/search?q=archimedes+wave+swing+wave+energy+converter&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=h9hJVcq-MY35aL2hgaAH&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgdii=lswWGKfSNAMSBM%3A%3BlswWGKfSNAMSBM%3A%3BB6Ucnn8BdeUQ3M%3A&imgrc=lswWGKfSNAMSBM%253A%3BHYNmYSs-QZOQRM%3Bhttp%253A%252F%252Fmpptinspire.files.wordpress.com%252F2010%252F03%252Faws.jpg%253Fw%253D325%2526h%253D455%3Bhttp%253A%252F%252Fpeople.bath.ac.uk%252Fmbm23%252FWEP%252520-%252520Off%252520Shore.html%3B325%3B455

- [9] <http://www.mdpi.com/1996-1073/6/6/3033/pdf>
- [10] <http://www.ntnu.edu/documents/174596/b5c02020-3314-463c-90c4-4fcfaf9d0bcf>
- [11] <http://www.seabased.com/en/technology/complete-plants>
- [12] https://www.google.gr/search?q=seabased+wec&biw=1366&bih=667&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=59hJVbjVEc34auKpgPgO&ved=0CAcQ_AUoAg#imgrc=Oxe77VtNHRHHpM%253A%25BdEG_VsFx0oDZ5M%25Bhttp%253A%252F%252Fwww.openocean.fr%252Fsites%252Fdefault%252Ffiles%252Ffield%252Fimage%252Fseabased_wave_technology.jpg%25Bhttp%253A%252F%252Fwww.openocean.fr%252Fnode%252F59%25B1920%25B1080
- [13] <http://www.mdpi.com/1996-1073/6/6/3033/pdf>
- [14] https://www.google.gr/search?q=wavebob&biw=1366&bih=667&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=5uBJVab9OcGManuqgVA&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=HWqeVTKG3r5uBM%253A%25Be6xwIJ_UDL6Z5M%25Bhttp%253A%252F%252Fwww.offshorewind.biz%252Fwp-content%252Fuploads%252F2012%252F01%252FWavebob-to-Invest-in-Wave-Energy-Farms-UK22.jpg%25Bhttp%253A%252F%252Fwww.offshorewind.biz%252F2012%252F01%252F17%252Fwavebob-plans-to-raise-eur-10-million-uk%252Fwavebob-to-invest-in-wave-energy-farms-uk22%252F%25B460%25B345
- [15] https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=12&ved=0CF0QFjAL&url=http%3A%2F%2Fenergy.gov%2Fsites%2Fprod%2Ffiles%2F2013%2F12%2Ff6%2F07_awec_wavebob_mouwen_v2.ppt&ei=YX4WVbndIcaxUfpd&usg=AFQjCNEPvw-Mv0utwacuB5iFR-OF242HwA&bvm=bv.89381419,d.d24&cad=rja
- [16] <http://www.oceanpowertechnologies.com/apb-350/>
- [17] https://www.google.gr/search?q=aquabuoy&biw=1366&bih=667&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=PuFJVe72PMGNaPjIgmGL&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=xbbkmERDcOgUhm%253A%25B5TQAKebzTHxOkM%25Bhttp%253A%252F%252Finhabitat.com%252Fwave-energy-aquabuoy-20-wave-power-generator%252Fwp-content%252Fblogs.dir%252F1%252Ffiles%252Faquabuoy.jpg%25Bhttp%253A%25

[2F%252Finhabitat.com%252Fwave-energy-aquabuoy-20-wave-power-generator%252F%3B537%3B345](http://www.inhabitat.com/wave-energy-aquabuoy-20-wave-power-generator%20F%3B537%3B345)

[18] <http://www.greencarcongress.com/2007/09/finavera-renewa.html>

[19] http://www.enn.com/top_stories/article/22752

[20] <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2006/06/renewable-energy-company-to-propel-wave-energy-45322>

[21] <http://inhabitat.com/wave-energy-aquabuoy-20-wave-power-generator/>

[22] https://www.google.gr/search?q=flansea&biw=1366&bih=667&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=fuFJVeKePIjPaJnngJgJ&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=7wcY7lBDwB1mtM%253A%3BdCx4vKVg43xLjM%3Bhttps%253A%252F%252Fenergiek.files.wordpress.com%252F2010%252F12%252Ffoto-flansea-01.jpg%3Bhttps%253A%252F%252Fenergiek.wordpress.com%252F2010%252F12%252F02%252Fflansea-project-launched%252F%3B3000%3B1687

[23] <http://www.flansea.eu/>

[24] <http://www.contec.be/en/News/tabid/216/articleType/ArticleView/articleId/6/FlanSea-launches-first-test-buoy-that-generates-energy-from-sea-waves.aspx>

[25] <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:746961/FULLTEXT01.pdf>

[26] https://www.google.gr/search?q=fo3+wave+energy+converter&biw=1366&bih=667&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=w-FJVaE1McOVaoyrgYgB&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=GA0Ond6pw24KVM%253A%3Bg8pkabYhgYrRCM%3Bhttp%253A%252F%252Fesmres.co.uk%252Fcs.public.upd%252Farticle-images%252Fwave-converter-67453.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.renewableenergyfocus.com%252Fview%252F1092%252F3b-wins-award-for-ocean-wave-energy-converter%252F%3B500%3B375

[27] <http://www.seewec.org/moreinfo.html>

[28] [http://www.see.ed.ac.uk/~shs/Wave%20Energy/EWTEC%202009/EWTEC%202009%20\(D\)/papers/139.pdf](http://www.see.ed.ac.uk/~shs/Wave%20Energy/EWTEC%202009/EWTEC%202009%20(D)/papers/139.pdf)

[29] <http://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Forskn ing%20-%20PSO-projekter/Bilag%201%20-%20First%20Power%20Production%20figures%20from%20the%20Wave%20Star%20Roshage%20Wave%20Energy%20Converter%20%20L.%20Marquis%20et%20al. pdf>

[30] https://www.google.gr/search?q=wave+star+energy&biw=1366&bih=667&source =lnms&tbm=isch&sa=X&ei=G- JVVYnZForiar7EgaAG&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=K2oW56qRCrmcpM%253A %3BS0viuwjb1Xt1UM%3Bhttp%253A%252F%252Fi.ytimg.com%252Fvi%252F99 TF16LkZ8c%252Fmaxresdefault.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.youtube.co m%252Fwatch%253Fv%253D99TF16LkZ8c%3B1680%3B1050

[31] <https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=14&ved=0C HIQFjAN&url=http%3A%2F%2Fwww.icoe- conference.com%2Fdocuments%2FUmk2cFhjY1AwTVozWm9saDRhSU03T3VscHI NM0NMcUV0dzVzcHNFZXRtbXBjV1pnZjBvTFFNa3BXd09zTE5wN0I2MkdwUE ZyVHlnVFhSZjJQZ2Q3N0E9PXw5N2IxM2RIOTA0YmUwNzZkYTdkYTE3OTQy OGFkY2M4NA%2F&ei=rPQ5VefQNcroaO6ZgagK&usg=AFQjCNEKZO8w5ERU BDRAOHpbuemycbTVFQ&bvm=bv.91665533,bs.1,d.ZWU&cad=rja>

[32] https://www.google.gr/search?q=attenuator+wave+energy+converter&biw=1366& bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=feJJVbOMJNfhauPfgYgN&ved=0CA YQ_AUoAQ#imgrc=JW9JWWN1A14MHM%253A%3BCo9r_pRm4aUVsM%3Bhtt p%253A%252F%252Fwww.emec.org.uk%252Fwp- content%252Fuploads%252F2012%252F03%252FAttenuator.gif%3Bhttp%253A%2 52F%252Fwww.emec.org.uk%252Fmarine-energy%252Fwave- devices%252F%3B320%3B256

[33] <http://seagrant.oregonstate.edu/sgpubs/onlinepubs/g10003.pdf>

[34] <http://science.howstuffworks.com/environmental/earth/oceanography/wave- energy2.htm>

[35] <http://large.stanford.edu/courses/2013/ph240/lim2/>

[36] <http://www.theguardian.com/environment/2009/may/06/anaconda-wave-power>

[37] https://www.google.gr/search?q=anaconda+wave+energy+converter&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=F-NJVYq3C82AaYvNgfgL&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=yybQ-UrTosryxM%253A%3BAA-D8fbFt3fDTM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.energy.soton.ac.uk%252Ffiles%252F2013%252F05%252Fanaconda_artist.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.energy.soton.ac.uk%252Fanaconda-wave-energy-converter-concept%252F%3B340%3B235

[38] <http://coastalenergyandenvironment.web.unc.edu/ocean-energy-generating-technologies/wave-energy/anaconda-wave-converter-device-research/>

[39] <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2008/07/anaconda-could-provide-up-to-20-mw-of-wave-energy-53012>

[40] https://www.google.gr/search?q=crest+wing+wave+energy&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=g-NJVdujKo_taPehgYgE&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=pulEuIsF_HeUIM%253A%3B6eD_yBwbkFibaM%3Bhttp%253A%252F%252Fupload.wikimedia.org%252Fwikipedia%252Fcommons%252F3%252F38%252FWaveRoller_wave_energy_farm_installation_in_Peniche%252C_Portugal_2012.JPG%3Bhttp%253A%252F%252Fen.wikipedia.org%252Fwiki%252FWave_power%3B3456%3B2304

[41] http://vbn.aau.dk/files/16183838/Hydraulic_evaluation_of_the_Crest_Wing_wave_energy_converter

[42] https://www.google.gr/search?q=pelamis+wave+energy+converter&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=4eNJVbveB8faaPaFgdAF&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=LESBnv97FP1HXM%253A%3BbChWxE4j7TSY-M%3Bhttp%253A%252F%252Fbuildipedia.com%252Fimages%252Fmasterformat%252FChannels%252FOperations%252F2011.11.03_pelamis%252Fimages%252FPelamis_wave_energy_at_sea_%25257C_credit_-_Umanji_Solar.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fbuildipedia.com%252Faec-pros%252Fpublic-infrastructure%252Fpelamis-wave-energy-converter-renewable-energy-from-ocean-waves%3B1024%3B768

[43] http://hydropower.inl.gov/hydrokinetic_wave/pdfs/day1/09_heavesurge_wave_devices.pdf

- [44] <http://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/>
- [45] https://www.google.gr/search?q=terminator+wave+energy+converter&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=weRJVe75MsLkaI_gOgI&ved=0CA_YQ_AUoAQ#imgrc=PxBu6tRrRgjCmM%253A%3BHj4ZYLe6p0gWrM%3Bhttps%253A%252F%252Fscsenergygeneration.wikispaces.com%252Ffile%252Fview%252Fwave.jpg%252F144428061%252F264x191%252Fwave.jpg%3Bhttps%253A%252F%252Fscsenergygeneration.wikispaces.com%252FWave%252BEnergy%3B264%3B191
- [46] <http://science.howstuffworks.com/environmental/earth/oceanography/wave-energy2.htm>
- [47] <http://www.boem.gov/Renewable-Energy-Program/Renewable-Energy-Guide/Ocean-Wave-Energy.aspx>
- [48] https://www.google.gr/search?q=oscillating+water+column&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=-RJVZzpFNffaqTUgZgI&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=XFJu4YKm2UloXM%253A%3BUKJl6VPsbQsKrM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.sciencebuddies.org%252FFiles%252F4073%252F5%252FEnergy_img062.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.sciencebuddies.org%252Fscience-fair-projects%252Fproject_ideas%252FEnergy_p037.shtml%3B396%3B233
- [49] <http://science.howstuffworks.com/environmental/earth/oceanography/wave-energy2.htm>
- [50] <http://www.illawarramercury.com.au/story/628562/port-kembla-wave-generator-on-sea-floor/>
- [51] <http://phys.org/news/2013-11-oceanlinx-celebrates-wave-power-australia.html>
- [52] <http://www.oceanlinx.com>
- [53] <http://cleantechnica.com/2013/10/29/oceanlinx-launches-worlds-first-1-mw-wave-energy-machine-south-australia/>
- [54] https://www.google.gr/search?q=cycloidal+wave+energy+converter&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=TeVJVYO4OcToaPCPgNgO&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=ZWEQcvunhWIK1M%253A%3BBNHATkSn6ItzsM%3Bhttp

www.atargis.com/Images/CycWEC_Sketch.jpg
<http://imgkid.com/wave-energy-generator.shtml>

[55] <http://oregonwave.org/oceanic/wp-content/uploads/2014/10/Oregon-Incubator-Stefan-Seigel.pdf>

[56] <http://www.atargis.com/>

[57] https://www.google.gr/search?q=islay+limpet&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=kOVJVZC5ItfVavTTgfAH&ved=0CAYQ_AUoAQ#tbm=isch&q=limpet+wave+energy&imgsrc=0wRkyeEYfPMrJM%253A%3BXs9gyROcnZSxDM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.med-etc.com%252Fenergien-erneuerbar%252Falle-zusammen%252F003-d-ENGL%252F020-wave-chamber-power-plant-Limpet-Islay-Island-Scotland-scheme02-ENGL.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.med-etc.com%252Fenergien-erneuerbar%252Falle-zusammen%252Fkomb003-energy-turnaround-w-photos-ENGL.html%3B405%3B255

[58] <http://cordis.europa.eu/documents/documentlibrary/66628981EN6.pdf>

[59] https://www.google.gr/search?q=oe+buoy&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=6eVJVfLqGYjnarDngZgK&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgsrc=8O5yt77VlyOqrM%253A%3BVduXovwH6hrUhm%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.businessgreen.com%252FIMG%252F003%252F210003%252Focean-energy-buoy-01.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.businessgreen.com%252Fbg%252Fnews%252F2145014%252Focean-energy-set-plug-wave-hub%3B1997%3B1069

[60] <http://www.offshorewind.biz/2012/10/29/uk-ocean-energy-plans-to-deploy-oe-buoy-wave-energy-converter-at-wave-hub/>

[61] http://vbn.aau.dk/files/61595716/Power_Production_Analysis_of_the_OE_Buoy_WEC_for_the_CORES_Project.pdf

[62] https://www.google.gr/search?q=oyster+wave+energy&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=JOZJVYzyDIHtaP-zgNAJ&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgsrc=m5yiLdsJ1zk0gM%253A%3BTQFFN10_1HqAcM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.blogcdn.com%252Fwww.engadget.com%252Fmedia%252F2009%252F03%252F090309-oysterwave-

[01.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.engadget.com%252F2009%252F03%252F09%252Ffoyster-wave-energy-converter-puts-climate-change-to-good-use%252F%3B468%3B231](http://www.engadget.com/2009/03/20/09/foyster-wave-energy-converter-puts-climate-change-to-good-use/)

[63] <http://www.renewableenergyfocus.com/view/7047/aquamarine-power-5-1m-for-wave-device-oyster-2/>

[64] <http://www.aquamarinepower.com/sites/resources/Published%20papers/2653/Design%20of%20the%20Next%20Generation%20of%20Oyster%20Wave%20Energy%20Converter%20-%20C5.pdf>

[65] https://www.google.gr/search?q=wave+piston&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=VuZJVd--Fsn3asCzgXg&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=Skgh8fVBySpW0M%253A%3BDNy9cYmvyBjxGM%3Bhttp%253A%252F%252Fi.ytimg.com%252Fvi%252FfYfs-qYGzvs%252Fmaxresdefault.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.youtube.com%252Fwatch%253Fv%253DfYfs-qYGzvs%3B1280%3B720

[66] http://vbn.aau.dk/files/19978831/Experimental_Study_on_the_WavePiston_Wave_Energy_Converter

[67] https://www.google.gr/search?q=mighty+whale+wave+energy&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=u-ZJVfztG8fmaPfXgdgK&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=YwGiCnn7kIcpdM%253A%3BbBvjJC_xeZXYWM%3Bhttp%253A%252F%252Fearthsci.org%252Fmineral%252Fenergy%252Fwavpwr%252F1p10.gif%3Bhttp%253A%252F%252Fearthsci.org%252Fmineral%252Fenergy%252Fwavpwr%252Fwavpwr.html%3B301%3B245

[68] <http://www.caddet-re.org/assets/199art3.pdf>

[69] <http://www.carnegiewave.com/>

[70] https://www.google.gr/search?q=ceto+wave+energy&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=AudJVabBMZDKaIGGgWA&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=PP_s5w4FbUGyXM%253A%3BoGF2-R43yb8AEM%3Bhttp%253A%252F%252Fi.ytimg.com%252Fvi%252FjZZauaX3oX

[I%252Fmaxresdefault.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.youtube.com%252Fwatch%253Fv%253DjZZauaX3oXI%3B1280%3B720](http://www.youtube.com/watch?v=DjZZauaX3oXI%3B1280%3B720)

[71] http://thesecretrealtruth.blogspot.com/2015/03/blog-post_7615.html

[72] <http://www.reuk.co.uk/CETO-Wave-Energy-and-Desalination.htm>

[73] http://en.openei.org/wiki/MHK_Projects/Uppsala_University_Seabased_AB_Lysekil_Sweden

[74] http://tethys.pnl.gov/sites/default/files/publications/Lysekil_Update_2011.pdf

[75] https://www.google.gr/search?q=owl+wave+energy&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=TudJVZmiJoPcaqmrGPAJ&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAQ#tbn=isch&q=owel+wave+energy&imgrc=GS8wUAM3X3R0PM%253A%3BeBeE5Wh0X-XKYM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.owel.co.uk%252Fwp-content%252Fuploads%252F2011%252F04%252F3MWD.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.owel.co.uk%252Fowel-technology%252F%3B1000%3B592

[76] http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol9/010/ecp57vol9_010.pdf

[77] https://www.google.gr/search?q=powerbuoy&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=h-dJVZ7pFsjvapHogBg&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=m1kDYPHfe_sTHM%253A%3BA1D1G3ya-W9yvM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.futuretimeline.net%252Fblog%252Fimages%252F88.JPG%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.futuretimeline.net%252Fblog%252F2012%252F09%252F6-2.htm%3B1366%3B768

[78] <http://www.oceanpowertechnologies.com/home>

[79] https://www.google.gr/search?q=searaser+wave+power+generator&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=uedJVAcqEaiy7QaDt4AQ&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=J_5_J7yJvLhAM%253A%3Bvzv2yupEtSwWXM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.renewableenergyworld.com%252Fassets%252Fimages%252Fstory%252F2012%252F2%252F29%252F0-searaser--a-revolution-in-wave-power.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.renewableenergyworld.com%252Frea

[%252Fblog%252Fpost%252F2012%252F02%252Fsearaser-a-revolution-in-wave-power%3B400%3B225](#)

[80] <http://tek-think.com/2014/09/20/searaser-wave-energy-converter-design-works/>

[81] <http://searaser.net/>

[82] https://www.google.gr/search?q=dexa+wave+energy&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=3-dJVdnIA8_y7Aaf8IGwAQ&ved=0CAYQ_AUoAQ#tbm=isch&q=dexa+wave+energy+converter&imgsrc=97IPvSYQKqT1uM%253A%3BD8JNrFDbWchKfM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.masterpiece.dk%252FUploadetFiles%252F11020%252F25%252F_TJN8809.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.dexawave.com%252Fphotos-for-download.html%3B4288%3B2848

[83] <http://www.offshorewind.biz/2011/08/23/dexawave-energy-malta-deploys-scaled-down-wave-energy-device-off-zonqor-point/>

[84] <http://www.offshorewind.biz/2012/03/20/denmark-dexawave-receives-usd-178-million-grant/>

[85] <http://www.dexawave.com/>

[86] https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/gp/gp_events/ocean_energy/1010_wave_dragon_en.pdf

[87] <https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=13&ved=0CHcQFjAM&url=http%3A%2F%2Fwww.icoe-conference.com%2Fdocuments%2FakVDenFyVXNWbnpjb3dJOFNXbFRGY0tiZ2QxYldoSmk0dWdwL0pCVTJGM2c3ZXE3ZWf0WWJzVHZKRfPvRENtejMrSSSt4bE4zcmU0ekZzOFF6R2YrM2c9PXxkMjFhOWIxYWRhMjk4YjhmNGNmNTdiY2Q0YjdkNDAwNg%2F&ei=5clBVfjYNYuf7gbsj4GwCg&usg=AFQjCNGmjInu-6Wh00YSLHYwzAYuhmB5wA&cad=rja>

[88] https://www.google.gr/search?q=wave+dragon+wave+energy+converter&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=lehJVYw8N8WR7Ab5vICIBg&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgsrc=nAnDoCDdg_z9iM%253A%3BdkHHJOPuCbBaOM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.maritimejournal.com%252F_data%252Fassets%252Fimage%252F0012%252F171201%252Fmj20030801_08.jpg%3Bhttp%253A%252

[F%252Fwww.maritimejournal.com%252Fnews101%252Findustry-news%252Fdenmarks_wave_dragon_delivers_power_to_the_grid%3B1514%3B1046](http://www.maritimejournal.com/news/denmarks_wave_dragon_delivers_power_to_the_grid%3B1514%3B1046)

[89] https://www.google.gr/search?q=wave+roller&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=xehJVc_tE46s7Ab6pYDoAw&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=bcJzfW9BvL7MQM%253A%3Bmzfih_RnjEoAnM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.rechargenews.com%252Fincoming%252Farticle1272343.ece%252Falternates%252Farticle_main%252Fwave%252520roller.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.rechargenews.com%252Fnews%252Fwave_tidal_hydro%252Farticle1293648.ece%3B646%3B350

[90] <http://aw-energy.com>

[91] https://www.google.gr/search?q=vigor+wave+energy+converter&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=5-hJVYKIOpCf7gb56oGACg&ved=0CAYQ_AUoAQ#imgrc=dSU6X6mCtDhTwM%253A%3Bkq-9-oooyQ5tcM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.vigorwaveenergy.com%252Fwp-content%252Fuploads%252F2010%252F07%252FVIGOR_OVERVIEW_BRIGHTER_AND_LOGO_WHITE.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.vigorwave.com%252Fmedia-press%252Fmaterials%3B1530%3B1080

[92] <http://www.vigorwave.com/>