

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1527

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΥΜΑΤΑ**

ΚΑΡΑΚΙΝΑΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2017

Πρόλογος/Περίληψη

Η συνεχής αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης, η μη ορθολογική χρήση της ενέργειας και η διαρκής εξάρτηση από ορυκτές ενεργειακές πηγές, έχουν δημιουργήσει έντονα περιβαλλοντικά, οικονομικά, πολιτικά και κοινωνικά προβλήματα τις τελευταίες δεκαετίες σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό, εθνικό, αλλά και ατομικό επίπεδο. Το ευρύ φάσμα αυτών των προβλημάτων αποτέλεσε πολλές φορές την αφορμή προβληματισμού της διεθνούς κοινότητας. Η ανάγκη για ενεργειακή αυτάρκεια και απεξάρτηση των κρατών από εισαγόμενα καύσιμα, ιδίως από χώρες με ασταθείς πολιτικές και κοινωνικές καταστάσεις, καθώς και η ανάγκη για ανάπτυξη και τόνωση της τοπικής απασχόλησης ενισχύει την αντίληψη για αλλαγή και κυρίως βελτίωση του σημερινού παγκόσμιου ενεργειακού σκηνικού.

Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν τη βάση του μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας, καθώς υπολογίζεται ότι το εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από αυτές τις μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.

Στα πλαίσια ανάπτυξης και αξιοποίησης των ΑΠΕ η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την ανάλυση και παρουσίαση της θαλάσσιας ενέργειας και συγκεκριμένα της κυματικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία αναλύονται η θαλάσσια – κυματική ενέργεια, παρουσιάζονται οι νέες τεχνολογίες και συσκευές αξιοποίησης της συγκεκριμένης ενέργειας ενώ παράλληλα αναφέρονται οι δυσκολίες και οι μελλοντικές εξελίξεις στον τομέα της κυματικής ενέργειας.

Περιεχόμενα

Περίληψη1

Εισαγωγή4

Κεφάλαιο 1 – Θαλάσσια - Κυματική Ενέργεια6

1.1. Γενικά6

1.2. Ιστορική αναδρομή7

1.3. Κύματα - Ενεργειακός πόρος & θέση (AQUARET, 2015)8

1.4. Κυματικό δυναμικό9

1.5. Τεχνικές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της θαλάσσιας δύναμης15

1.5.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θαλάσσιων ρευμάτων15

1.5.2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω παλίρροιας16

1.5.3. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θαλάσσιων κυμάτων18

1.5.4. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θαλάσσιας θερμικής ενέργειας19

1.5.5. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω όσμωσης21

Κεφάλαιο 2 – Μετατροπείς Κυματικής Ενέργειας24

2.1. Γενικά στοιχεία24

2.2. Συσκευές εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας28

2.3. Συσκευές μετατροπής κυματικής ενέργειας36

2.3.1. Limpet (Last Installed Marine Power Energy Transmitter)36

2.3.2. WECA (Wave Energy Conversion Activator)37

2.3.3 Τεχνολογίες Υπέρβασης/Υπερύψωσης (SSG)38

2.3.4. LabBouoy38

2.3.5. SDE40

2.3.6. Mighty Whale41

2.3.7. WET EnGen41

2.3.8. CES (Combined Energy System)42

2.3.9. Trotman Unit43

2.3.10.The Waveberg44

2.3.11.Oyster45

2.3.12. WaveRoller46

2.3.13. bioWAVE47

2.3.14. MAWEC48

2.3.15. Oceanlinx49

2.3.16. Sperboy49

Κεφάλαιο 3 – Παρούσα και μελλοντική διάσταση της κυματικής ενέργειας50

3.1. Δυσκολίες και προοπτικές50

3.2. Ισχύουσα νομοθεσία51

3.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις52

3.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την παραγωγή ενέργειας μέσω των θαλάσσιων κυμάτων53

3.5. Επιδεκτικά έργα θαλάσσιας ενέργειας54

3.6. Μελλοντική ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας57

3.7. Συμπεράσματα58

Βιβλιογραφία61

Εισαγωγή

Η παγκόσμια οικονομική συγκυρία και ιδιαίτερα η ραγδαία αύξηση των τιμών του πετρελαίου, σε συνδυασμό με τις προειδοποιήσεις της επιστημονικής κοινότητας για τα προβλήματα της υπερθέρμανσης του πλανήτη και την πιθανή κλιματική αλλαγή, αλλά και τα ερωτηματικά σχετικά με την ασφάλεια των πυρηνικών εργοστασίων παραγωγής ενέργειας, έχουν διαμορφώσει ένα νέο ενεργειακό πλαίσιο πολιτικής για την Ευρωπαϊκή Ένωση στρέφοντας την πλειοψηφία των κρατών- μελών στην υιοθέτηση και ενσωμάτωση νέων μορφών ενέργειας με ιδιαίτερη έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές (Γαλάνης κ.α, 2012)..

Ανανεώσιμη ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία παράγεται από φυσικές διεργασίες, οι οποίες ανανεώνονται συνεχώς. Αυτό περιλαμβάνει τον ήλιο, τη γεωθερμική ενέργεια, τον άνεμο, τις παλίρροιες, το νερό, το κύμα, καθώς και διάφορες μορφές βιομάζας. Αυτή η ενέργεια δεν μπορεί να εξαντληθεί και συνεχώς ανανεώνεται, οπότε η παραγωγή της τοιούτοτρόπως ενδείκνυται για ανάπτυξη στους τομείς της θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρικής ενέργειας και τις μεταφορές.

Στο πλαίσιο αυτό, μια νέα μορφή ανανεώσιμης ενέργειας έρχεται στο προσκήνιο τα τελευταία χρόνια: Η κυματική ενέργεια, η ενέργεια δηλαδή που μπορεί να παραχθεί από τον θαλάσσιο κυματισμό. Πρόκειται για μία από τις πλέον σταθερές πηγές «καθαρής» ενέργειας με σημαντικά μικρότερο βαθμό αβεβαιότητας και μεταβλητότητας και άρα με συγκριτικά πλεονεκτήματα στην ενσωμάτωσή της στο δίκτυο παραγωγής. Από την άλλη μεριά, οι επιπτώσεις στο τοπικό περιβάλλον από την εγκατάσταση θαλάσσιων πάρκων εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας είναι συνήθως περιορισμένες ενώ υπάρχουν και νέες δυνατότητες συνδυασμένης ανάπτυξης υποδομών, όπως για παράδειγμα λιμενοβραχίονες, μονάδες αφαλάτωσης κ.α., που λειτουργούν παράλληλα με τις πλατφόρμες παραγωγής ενέργειας. Γενικότερα, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών τεχνολογιών για την παραγωγή ενέργειας από παλιρροϊκά ρεύματα και κύματα. Μερικές είναι παρόμοιες με εκείνες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αιολική ενέργεια, δηλαδή πρόκειται για στροβίλους με οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα κ.λπ. (Γαλάνης κ.α., 2012).

Η έρευνα και η ανάπτυξη της μετατροπής της ενέργειας των κυμάτων, αν και σημαντική, έχει γίνει σχετικά πρόσφατα και περιορισμένα. Πριν από πέντε χρόνια, ειδικά στην Ευρώπη, ο τομέας γνώρισε αρκετόν ενδιαφέρον. Σήμερα, η κυματική ενέργεια ερευνάται σε μια σειρά από χώρες της ΕΕ, αλλά επίσης εκτός Ευρώπης, κυρίως στον Καναδά, την Κίνα, την Ινδία,

την Ιαπωνία, τη Ρωσία και τις ΗΠΑ. Έχουν δημιουργηθεί εταιρείες κυματικής ενέργειας όπως το Pelamis Wave Power, το Swing Αρχιμήδης Wave, Aqua Buoy, Oceanlinx, Wave Star, Wave Dragon, κ.λπ.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την διερεύνηση και ανάλυση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των θαλάσσιων κυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται διεξοδικά οι ορισμοί της θαλάσσιας – κυματικής ενέργειας, παρουσιάζεται το διαθέσιμο κυματικό δυναμικό σε διάφορες χώρες εστιάζοντας στην Ελλάδα και αναφέρονται οι τεχνικές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της θαλάσσιας δύναμης. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετατροπείς κυματικής ενέργειας και στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο αναλύονται οι δυσκολίες ανάπτυξης της κυματικής ενέργειας, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτής. Τέλος διατυπώνονται τα γενικά συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 1 – Θαλάσσια - Κυματική Ενέργεια

1.1. Γενικά

Η θαλάσσια ενέργεια αποτελεί ένα απεριόριστο μέσο αξιοποίησης των φυσικών πόρων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου ότι η Γή καλύπτεται κατά 69% από θαλάσσια ύδατα. Η θαλάσσια ενέργεια χρησιμοποιεί την ενέργεια, η οποία δημιουργείται από την κινητική ενέργεια των κυμάτων, των παλιρροιών και των θαλάσσιων ρευμάτων.

Η κυματική ενέργεια είναι μια μορφή ανανέωσης ενέργειας, είναι ελεύθερη να χρησιμοποιηθεί και δεν συμβάλλει στη ρύπανση ή την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου εντούτοις, έχει πολλά εμπόδια για να υπερνικήσει προτού να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί ευρέως σε όλο τον κόσμο. Η ενέργεια κυμάτων σε κάθε ωκεανό και θάλασσα ποικίλλει ευρέως. Παράγει τις υψηλές πιέσεις, αλλά είναι αργόστροφη που την καθιστά δύσκολη να δημιουργήσει την ηλεκτρική ενέργεια.

Ο θαλάσσιος κυματισμός είναι, όπως όλες οι μορφές ΑΠΕ, μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Επιπρόσθετα παρουσιάζει μεταξύ των ΑΠΕ την 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 (Λεμονής, 2005).

Το δυναμικό της ενέργειας από το θαλάσσιο κυματισμό (κυματική ενέργεια) μπορεί να έχει αξιοσημείωτη συνεισφορά στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, σε διεθνές επίπεδο. Η κυματική ενέργεια εκμεταλλεύεται διαφορετικούς τύπους θαλάσσιας ροής - παλίρροιες, ρεύματα, οσμωτική πίεση (τη διαφορά αλατότητας μεταξύ γλυκού και θαλάσσιου νερού) κ.α.- και αποτελεί μια γιγαντιαία δεξαμενή ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας η πιθανή ετήσια παραγωγή θα μπορούσε να φθάσει τις 120.000 TWh (Green Energy Plus, 2011).

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η ενέργεια κυμάτων, οι δομές πρέπει να είναι σε θέση να σταθούν μέχρι τις πιέσεις της θάλασσας. Η θάλασσα μπορεί να είναι πολύ σκληρή στις μηχανικές δομές που σπάζουν τους στρόβιλους με συνέπεια να την καθιστούν αναξιόπιστη ενέργεια. Αυτήν την περίοδο η εκμετάλλευση της ενέργειας κυμάτων είναι δυσκολότερη και ακριβότερη να χρησιμοποιηθεί από τα απολιθωμένα καύσιμα όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας. Έως ότου η ενέργεια κυμάτων γίνει πιο ελκυστική επιλογή από μια οικονομική

σκοπιά, οι περισσότερες κυβερνήσεις και επιχειρήσεις θα κρατήσουν μακριά την επένδυση στην έρευνα ή την υποδομή.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η κυματική ενέργεια μπορεί να καλύψει το 10% της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια στην Ευρώπη, ως το 2030. Η κυματική ενέργεια παρουσιάζει όλα τα οφέλη των ΑΠΕ -μηδενικές εκπομπές προϊόντων καύσης (CO₂), ανεξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα κ.λπ.- αλλά και ειδικότερα πλεονεκτήματα, με σημαντικότερο αυτό της μεγάλης πυκνότητας ενέργειας και της μικρής οπτικής όχλησης, ακόμα και αν οι συσκευές εγκαθίστανται σε απόσταση που είναι ορατές από την ακτή, καθώς το μεγαλύτερο μέρος τους είναι βυθισμένο στη θάλασσα. Αυτή τη στιγμή 5 ευρωπαϊκές χώρες με προεξάρχουσα τη Γαλλία λειτουργούν μονάδες ισχύος 250 MW συνολικά ενώ 3 ακόμη χώρες έχουν ξεκινήσει να εγκαθιστούν νέες μικρές μονάδες (Green Energy Plus, 2011).

Ενώ υπάρχουν πολλές προκλήσεις στη χρήση της ενέργειας κυμάτων, οι περισσότεροι άνθρωποι στον τομέα της ανανεώσιμης ενέργειας είναι βέβαιοι ότι η τεχνολογία και τα οικονομικά της ανανεώσιμης ενέργειας θα γίνουν ελκυστικότερα στο επόμενο ζεύγος των δεκαετιών. Γενικότερα, λόγω το ίδιου του θαλάσσιου περιβάλλοντος, η κυματική ενέργεια αντιμετωπίζει ακόμα πολλές δυσκολίες, ενώ θέμα αποτελεί και το κόστος παραγωγής. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, η ερευνητική πειραματική διαδικασία σε τεχνικό επίπεδο έχει σημειώσει αξιοσημείωτη πρόοδο και το πολιτικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον αυξάνεται. Παραμένουν παρά ταύτα αρκετά μη τεχνικά εμπόδια τα οποία πρέπει να διευθετηθούν και ξεπεραστούν, προκειμένου να επιταχυνθεί η ανάπτυξη της νέας αυτής αγοράς.

1.2. 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 (TEE, 2006).

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 (Λεμονής, 2005). Η εντατική έρευνα για την κυματική ενέργεια άρχισε τη δεκαετία του 1970 όταν η πετρελαϊκή κρίση κίνησε το ενδιαφέρον προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εκείνη την περίοδο, έγιναν προτάσεις για πολλές και διάφορες διατάξεις κυματικής ενέργειας, αλλά η επιτυχία, σε γενικές γραμμές, υπολείπεται των προσδοκιών. Σε πολλές περιπτώσεις, υποτιμήθηκε κατά ένα μεγάλο μέρος η καταστρεπτική δύναμη των ωκεάνιων κυμάτων, ενώ οι πρώιμες συσκευές μετατροπής της ενέργειας των κυμάτων δεν είχαν πάντοτε δείξει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ως συνέπεια, όταν παρήλθε η ενεργειακή κρίση, το ενδιαφέρον για την κυματική ενέργεια χάθηκε και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 πολλές από τις δοκιμές διεκόπησαν. Η διακοπείσα έρευνα οδήγησε από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 στην εγκατάσταση παράκτιων πρωτότυπων συσκευών. Επίσης η εξέλιξη των τεχνολογιών εξακολούθησε να είναι αργή έως τις αρχές του τρέχοντος αιώνα, με τη νέα ώθηση που δόθηκε στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (AQUARET, 2006).

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 παρήγαγε 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 (TEE, 2006).

1.3. Κύματα - Ενεργειακός πόρος & θέση (AQUARET, 2015)

Ο πρώτος και πλέον φανερός παράγων όσον αφορά στην υλοποίηση της κυματικής ενέργειας είναι φυσικά ο ίδιος ο πόρος, ο οποίος έχει άμεση σχέση με τον προσανατολισμό της ακτής προς την ανοιχτή θάλασσα καθώς και με το γεωγραφικό πλάτος της θέσης. Η εκμετάλλευση της ενέργειας μπορεί να γίνει σε οικονομικά συμφέρουσα βάση όταν τα επίπεδα αυτής είναι μεγαλύτερα από 15~20 kW/m (η συνήθης μονάδα μέτρησης των επιπέδων κυματικής ισχύος είναι η μέση ετήσια ισχύς ανά μέτρο πλάτους της κορυφής του κύματος που είναι παράλληλη στην ακτή). Η ενέργεια της πραγματικής κατάστασης της θάλασσας μετράται χρησιμοποιώντας στατικά χαρακτηριστικά των κυμάτων, ήτοι το ύψος και το μήκος του κύματος. Η κοινή παράμετρος που εκφράζει το αντιπροσωπευτικό ύψος κύματος μιας πραγματικής, ακανόνιστης κατάστασης της θάλασσας είναι το αντιπροσωπευτικό ύψος κύματος (H_s). Η τιμή αυτή είναι το μέσο ύψος του ανώτερου ενός τρίτου των κυμάτων σε

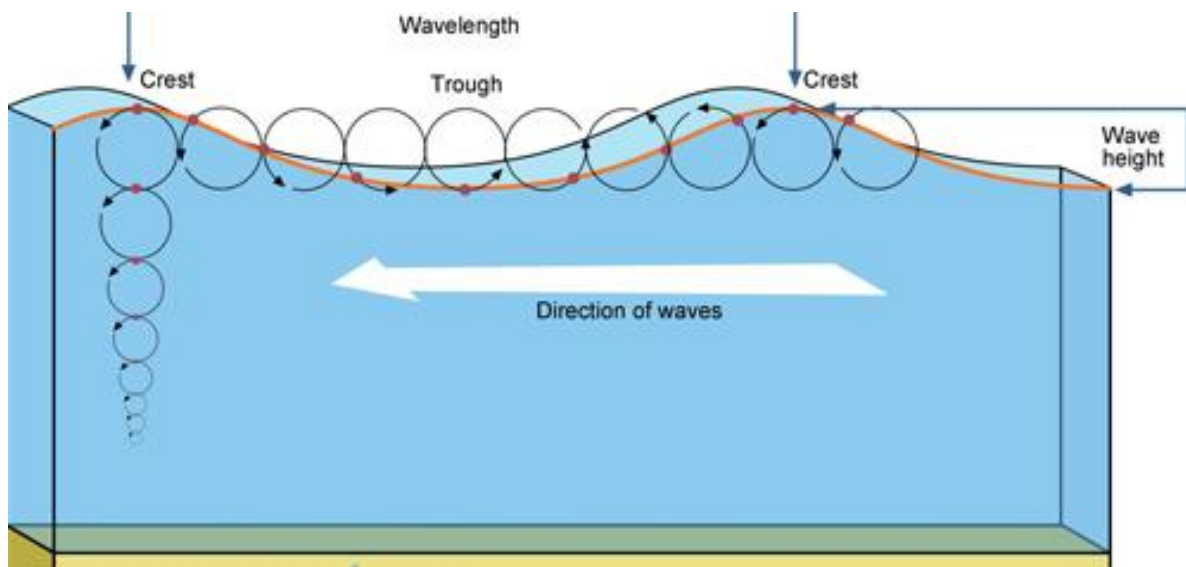
για συγκεκριμένη περίοδο, συνήθως 30 λεπτά της ώρας, και αντιστοιχεί κατά προσέγγιση με τις εκτιμήσεις έμπειρων ναυτικών. Παράλληλα με την περίοδο αιχμής (T) ή την ενεργειακή περίοδο (T_e), η μέση ενέργεια μιας συγκεκριμένης κατάστασης της θάλασσας που χαρακτηρίζεται από τις H_s και T_p ή T_e , υπολογίζεται συνήθως από τον τύπο:

$$E = 1/8 \rho g H_s$$

όπου:

(E είναι ο μέσος όρος της ενέργειας σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, ρ η πυκνότητα του θαλάσσιου νερού, g η σταθερά της βαρύτητας και, H_s το σημαντικό ύψος κύματος.)

Για τον υπολογισμό του επιπέδου της κυματικής ενέργειας μιας ορισμένης περιοχής, λαμβάνεται η ετήσια μέση τιμή όλων των καταστάσεων της θάλασσας (P---). Ο παράγοντας αυτός είναι σημαντικός γιατί οι εποχιακές μεταβολές μπορεί να είναι μεγάλες.



Εικόνα 1.1: Κυματική ενέργεια

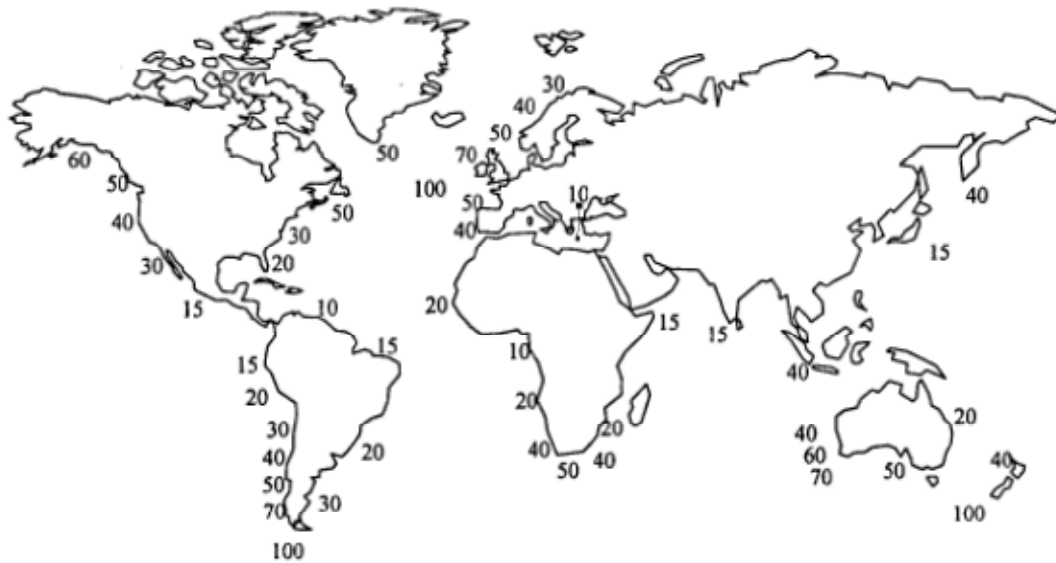
1.4. Κυματικό δυναμικό

Όπως όλες οι μορφές ΑΠΕ, το διαθέσιμο κυματικό δυναμικό δεν είναι ίδιο στα διάφορα μέρη του κόσμου. Έτσι, το κυματικό δυναμικό των ακτών της δυτικής Ευρώπης είναι ιδιαίτερα υψηλό, ενώ αντίθετα στις κλειστές θάλασσες όπως η Μεσόγειος το δυναμικό είναι μικρότερο (Green Energy Plus, 2011).

Μεταξύ των διάφορων μορφών κυματισμού, τα ανεμογενή κύματα, που δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση του ανέμου με τη θαλάσσια επιφάνεια, παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για ενεργειακή εκμετάλλευση. Αφού δημιουργηθούν μπορούν να ταξιδέψουν χιλιάδες χιλιόμετρα με πολύ μικρές ενεργειακές απώλειες. Τα υψηλότερα επίπεδα κυματικής ενέργειας στον Πλανήτη μας εμφανίζονται μεταξύ του 30ου και 60ου παράλληλου και στα δύο ημισφαίρια.

Το παγκόσμιο θαλάσσιο κυματικό δυναμικό σήμερα υπολογίζεται στις 8.000-80.000 TWh ανά έτος, ενώ το παγκόσμιο δυναμικό από τα θαλάσσια ρεύματα ανέρχεται στις 800 TWh/έτος. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η θαλάσσια ενέργεια θα μπορούσε να καλύψει σήμερα τις παγκόσμιες απαιτήσεις σε ηλεκτρισμό. Το καλύτερο κυματικό δυναμικό συναντάται στην εύκρατη ζώνη και στα δύο ημισφαίρια με κυματική ισχύ μεταξύ 20-70 KW/m μετώπου του κυματισμού ή και υψηλότερη, ιδιαίτερα στις ακτές της Δυτικής Ευρώπης, ανοιχτά των ακτών του Καναδά και των ΗΠΑ, καθώς και στις νότιες ακτές της Αυστραλίας και την Ν. Αμερικής (Νικητάτος, 2013).

Πιο συγκεκριμένα, τα υψηλότερα επίπεδα κυματικής ενέργειας στον πλανήτη μας εμφανίζονται στην περιοχή του Αν. Ατλαντικού και του Ν. Ειρηνικού (βλ. Εικόνα 1.1). Οι χώρες που βρίσκονται σε καλύτερη θέση όσον αφορά τη μετατροπή ωκεάνιας κυματικής ενέργειας είναι η Μεγάλη Βρετανία, η Ιρλανδία και η Νορβηγία, η Νέα Ζηλανδία και η νότια Αυστραλία, καθώς και η Φιλή ακολουθούμενες από την Ισπανία και την Πορτογαλία, τις ακτές της Βορείου και Νοτίου Αμερικής και τη Νότια Αφρική. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, το υπεράκτιο κυματικό δυναμικό για τις χώρες της Ε.Ε., συμπεριλαμβανόμενης της Νορβηγίας, εκτιμάται σε 320 GW, από τα οποία περίπου 30 GW αφορούν την Μεσόγειο Θάλασσα. Σε ετήσια βάση, ο μέσος όρος κυματικής ισχύος ανά μέτρο μετώπου κύματος κυμαίνεται στον Αν. Ατλαντικό σε 25-70 kW/m, στην Β. Θάλασσα 10-25 kW/h. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό για τα κράτη μέλη της Ε.Ε. υπολογίζεται συνολικά σε 150-230 TWh/έτος, από τα οποία 5-9 TWh/έτος αντιστοιχούν στις ελληνικές θάλασσες (Λεμονής, 2005).



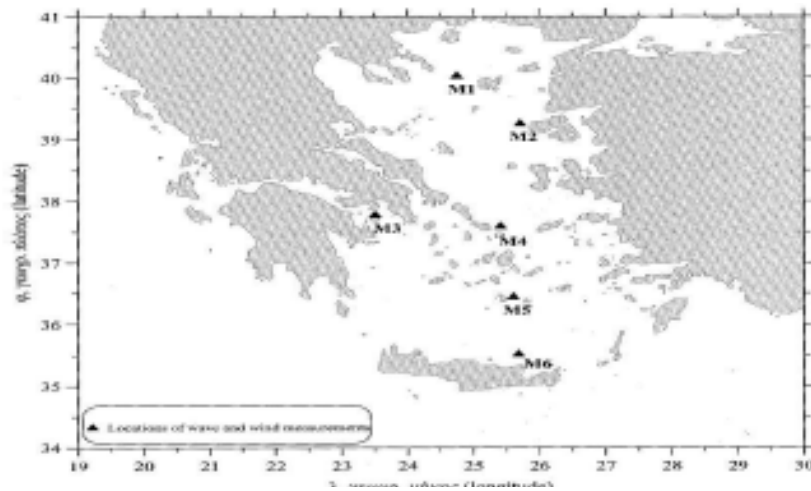
Εικόνα 1.2: Κατανομή κυματικής ενέργειας στον πλανήτη (ετήσιος μέσος όρος σε kW/m)

Οι Ελληνικές θάλασσες προσφέρονται ως οι καταλληλότερες περιοχές της Μεσογείου για την εκμετάλλευση της θαλάσσιας ενέργειας και ειδικά της κυματικής ενέργειας. Με ακτογραμμή άνω των 16,000 χμ. στο Αιγαίο και στο Ιόνιο και με την αυξημένη ισχύ των ανέμων πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος με Νότιο-Δυτική κατεύθυνση, δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας ύψους 4 – 11 kW/m ετησίως (Clement et al, 2006)

Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό της Ελλάδας θεωρείται το πιο υψηλό της Μεσογείου της τάξης 5–9TWh σε ετήσια βάση. Αυτό το δυναμικό θα μπορούσε να εκμεταλλευθεί η Ελλάδα, σε συνδυασμό με άλλες μορφές εκμετάλλευσης ΑΠΕ οι οποίες εφαρμόζονται ήδη, προσφέροντας στην ελληνική οικονομία πλούσιες και συνεχείς πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το αποτέλεσμα θα ήταν ο περιορισμός στην αυξανόμενη εισαγωγή ενέργειας, ενώ παράλληλα υποστηρίζοντας το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και τροφοδοτώντας το δίκτυο στα νησιά με ηλεκτρική ενέργεια ανταποκρινόμενη στην αυξανόμενη ζήτηση και κατανάλωση (Clement et al, 2006).

Για τις Ελληνικές θάλασσες μια πρώτη εκτίμηση του κυματικού δυναμικού μπορεί να γίνει από τα δεκαετή κυματικά δεδομένα του συστήματος Ποσειδών, που δημοσιεύονται στον *‘Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών’*. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα δίκτυο πλωτήρων που συλλέγουν και επεξεργάζονται δεδομένα ανά τρεις ώρες. Με βάση αυτό το σύστημα προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες για τα αντίστοιχα σημεία του χάρτη

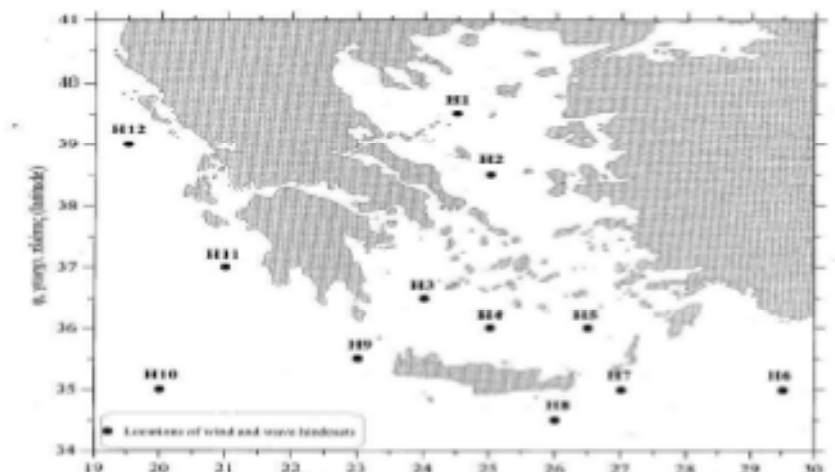
(εικόνα 1.3,1.4). Στο τέλος δίδεται ο χάρτης της μέσης ετήσιας κατανομής σημαντικού ύψους κύματος, μέγεθος ανάλογο της ενέργειας κύματος (Soukissian, Chronis and Nittis, 1999).



Εικόνα 1.3: Σημεία πλωτήρων
 (Πηγή: www.poseidon.hcmr.gr)

**Πίνακας 1.1: Μέση ετήσια ισχύς κυματισμού –
 Σημεία πλωτήρων**
 (Πηγή: www.poseidon.hcmr.gr)

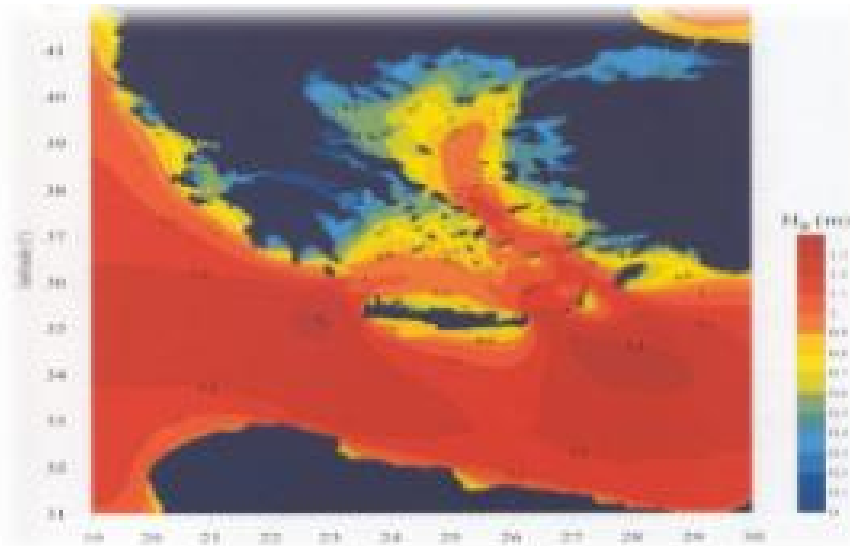
Μέση Ετήσια Ισχύς Κυματισμού (kW/m) Σημεία Πλωτήρων	
M1	3.55
M2	2.22
M3	0.25
M4	4.49
M5	2.90
M6	3.57



Εικόνα 1.4: Σημεία αριθμητικής επεξεργασίας
(Πηγή: www.poseidon.hcmr.gr)

Πίνακας 1.2: Μέση ετήσια ισχύς κυματισμού –
Σημεία αριθμητικής επεξεργασίας
(Πηγή: www.poseidon.hcmr.gr)

Μέση Ετήσια Ισχύς Κυματισμού (kW/m) Σημεία Αριθμητικής Επεξεργασίας	
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



Εικόνα 1.5 Μέση κατανομή σημαντικού ύψους κύματος

(Πηγή: www.poseidon.hcmr.gr)

Εν κατακλείδι, ανάλογα με τον προσανατολισμό της ακτογραμμής, ιδίως στα νησιά, και των σημαντικών καταστάσεων της θάλασσας (π.χ. καιρικές συνθήκες στο σημείο δημιουργίας των κυμάτων), τα κύματα μπορεί να φτάσουν στην περιοχή προορισμού υπό διαφορετικές συνθήκες. Στις ακτές της δυτικής Ευρώπης, ιδιαίτερα της Πορτογαλίας, Ισπανίας και Γαλλίας, οι θερινοί μήνες (π.χ. Ιούνιος – Σεπτέμβριος και ιδίως Ιούλιος – Αύγουστος) μπορεί να είναι εξαιρετικά φτωχοί σε κυματικούς πόρους. Εκτός από τη σημασία της όσον αφορά τη συμβατότητα των γενικών επιπέδων κυματικής ενέργειας μεταξύ διαφορετικών περιοχών, η ετήσια μέση ενέργεια μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά αποτελέσματα εάν δεν ερμηνευθεί σε συνδυασμό με την εποχιακή της διαφοροποίηση. Οι ετήσιες μέσες τιμές μπορεί να βασίζονται σε υψηλά επίπεδα ενέργειας, τα οποία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά ενδέχεται να έχουν καταστροφικές εντάσεις σε σύντομα χρονικά διαστήματα, καθώς και μεγάλα χρονικά διαστήματα με σχεδόν καθόλου εκμεταλλεύσιμο πόρο. Σημαντικό είναι επίσης η περιοδικότητα αυτή να μην είναι δυσανάλογη με την τοπική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, εάν πρόκειται να συμβάλλει σημαντικά η κυματική ενέργεια στον εφοδιασμό της περιοχής με ηλεκτρική ενέργεια.

1.5. Τεχνικές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της θαλάσσιας δύναμης

1.5.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θαλάσσιων ρευμάτων (Τσακαλής και Αθανασούλας, 2015)

Η ενέργεια μέσω θαλάσσιων ρευμάτων είναι μια μορφή θαλάσσιας ενέργειας που προέρχεται από την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των θαλάσσιων ρευμάτων, όπως το ρεύμα του Κόλπου του Μεξικού. Παρόλο που δεν χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα, η ενέργεια μέσω θαλάσσιων ρευμάτων έχει σημαντικό δυναμικό για τη μελλοντική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα θαλάσσια ρεύματα είναι πιο προβλέψιμα από την αιολική και ηλιακή ενέργεια.

Τα ισχυρά ρεύματα των ωκεανών παράγονται από ένα συνδυασμό της θερμοκρασίας, του ανέμου, της αλατότητας, της βαθυμετρίας, και της περιστροφή της γης. Ο ήλιος ενεργεί ως πρωταρχική κινητήρια δύναμη, προκαλώντας τους ανέμους και τις διαφορές θερμοκρασίας. Επειδή υπάρχουν μόνο μικρές διακυμάνσεις στην τρέχουσα ταχύτητα και τη θέση του ρεύματος, χωρίς αλλαγές κατεύθυνσης, τα ωκεάνια ρεύματα μπορεί να είναι κατάλληλες τοποθεσίες για την εγκατάσταση μονάδων παραγωγής ενέργειας, γεννήτριες. Άλλα αποτελέσματα, όπως οι περιφερειακές διαφορές στη θερμοκρασία, η αλατότητα και η επίδραση Coriolis, λόγω της περιστροφής της γης, είναι επίσης σημαντικές επιρροές. Η κινητική ενέργεια των θαλάσσιων ρευμάτων μπορεί να μετατραπεί με τον ίδιο τρόπο που μια ανεμογεννήτρια παράγει ενέργεια από τον άνεμο, με τη χρήση διαφόρων τύπων ροτόρων ανοικτών ροών.

Το δυναμικό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από τα θαλάσσια παλιρροιακά ρεύματα, είναι τεράστιο. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που καθιστούν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα θαλάσσια ρεύματα πολύ ελκυστική, σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως:

- τα υψηλά ποσοστά πληρότητας που προκύπτουν από τις ρευστές ιδιότητες,
- η προβλεψιμότητα των πόρων, έτσι ώστε, σε αντίθεση με τις περισσότερες άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η μελλοντική διαθεσιμότητα της ενέργειας να καταστεί γνωστή και

- οι, δυνητικά, μεγάλοι πόροι που μπορούν να αξιοποιηθούν, με μικρή επίπτωση στο περιβάλλον,

προσφέροντας έτσι μια από τις λιγότερο επιβλαβείς μεθόδους για μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι εγκαταστάσεις ισχύος, μέσω θαλάσσιων ρευμάτων, παρέχουν, επίσης, ηλεκτρική ισχύ στο βασικό ηλεκτρικό δίκτυο, όταν, κατά περιόδους, διασυνδέονται σε αυτό, με αντιστάθμιση της αιχμής της ροής

1.5.2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω παλίρροιας (Econews, 2013)

Η “σύλληψη” και εκμετάλλευση των παλιρροϊκών δυνάμεων γίνεται με δύο τρόπους: ο ένας με την τοποθέτηση φραγμάτων τα οποία εκμεταλλεύονται την παλίρροια και την άμπωτη για να τροφοδοτήσουν ειδικές γεννήτριες. Ο δεύτερος προβλέπει την εγκατάσταση τουρμπινών στο βυθό, εκεί όπου εκδηλώνονται μεγάλα και γρήγορα παλιρροϊκά κύματα σε παράκτια ύδατα όπως στην Κορνουάλη και τη Σκωτία.

Ο τρόπος παραγωγής ηλεκτρισμού από τις παλίρροιας μοιάζει πολύ με αυτόν της υδροηλεκτρικής ενέργειας με τη διαφορά ότι το νερό κινείται σε δύο κατευθύνσεις, ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη στην κατασκευή γεννητριών.

Το πιο απλό σύστημα παραγωγής ενέργειας από παλίρροιας περιλαμβάνει ένα φράγμα στην εκβολή ενός ποταμού. Κάποιες θύρες στο φράγμα επιτρέπουν την είσοδο θαλασσινού νερού στη δεξαμενή που σχηματίζεται πίσω από το φράγμα. Η κίνηση του νερού προς τη δεξαμενή κατά την άνοδο της παλίρροιας και από την δεξαμενή κατά την άμπωτη κινεί τουρμπίνες και γεννήτριες που παράγουν ηλεκτρισμό. Πολλά είδη τουρμπίνας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από παλίρροιας. Για παράδειγμα η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος La Rance κοντά στο St Malo στις ακτές της Βρετανίας στη Γαλλία χρησιμοποιεί τουρμπίνα όπου το νερό περνάει γύρω από αυτή κάνοντας την συντήρηση της δύσκολη αφού η πρόσβαση προς αυτή είναι δύσκολη. Οι τουρμπίνες όπως αυτή που χρησιμοποιείται στην Annapolis Royal στη Nova Scotia μειώνουν αυτό το πρόβλημα αφού η γεννήτρια είναι πάνω σε μια ξεχωριστή κατασκευή.

Οι παλιρροϊκοί φράχτες μοιάζουν με τεράστιες περιστρεφόμενες πόρτες που μπλοκάρουν εντελώς την είσοδο ενός καναλιού έτσι ώστε όλο το νερό της παλίρροιας να περνάει από

αυτές. Μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1970 προτάθηκε η χρήση παλιρροϊκών γεννητριών αλλά μόλις τα τελευταία πέντε χρόνια άρχισε η κατασκευή τους όταν λειτούργησε η τουρμπίνα στο Loch Linnhe. Μοιάζει με ανεμογεννήτρια αλλά προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις προηγούμενες, μέσα στα οποία είναι και οι μειωμένες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι παλιρροϊκές γεννήτριες εκμεταλλεύονται τα παλιρροϊκά ρεύματα που κινούνται με ταχύτητα 2-3 m/s για να παράγουν ηλεκτρισμό μεταξύ 4 και 13 KW/m².

Γενικά, οι τεχνολογίες παλίρροιας εκμεταλλεύονται τη φυσική ανύψωση και πτώση των υδάτων που προκαλούνται από τις μεταβολές των βαρυτικών πεδίων ανάμεσα στην Γη, τον Ήλιο και την Σελήνη. Σε κάποιες περιοχές παρατηρούνται υψομετρικές διαφορές μέχρι και 17m (βλ. εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.6: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω παλίρροιας

Συμπερασματικά, ενώ η παλιρροϊκή ενέργεια προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης και της μεταφοράς της εξαιτίας της οικονομικής και τεχνικής ανάπτυξης κοντά στις εκβολές των ποταμών καθώς επίσης και μειωμένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αφού δεν χρησιμοποιούνται στερεά καύσιμα, υπάρχουν ωστόσο σημαντικά περιβαλλοντικά μειονεκτήματα. Η κατασκευή δεξαμενών στις εκβολές ποταμών μπορεί να αυξήσει το ιζήμα και τη θολερότητα του νερού στη δεξαμενή. Επιπλέον, θα μπορούσε να έχει επιπτώσεις στη ναυσιπλοΐα και τον τουρισμό αφού το βάθος της θαλάσσιας περιοχής θα μειωθεί λόγω αύξησης του ιζήματος. Πιθανόν το μεγαλύτερο πρόβλημα που θα μπορούσε να δημιουργήσει μια τέτοια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος είναι οι επιπτώσεις στην πανίδα και χλωρίδα της περιοχής. Προς το παρόν πολύ λίγες μονάδες είναι σε

λειτουργία για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε όλες τις συνέπειες που έχουν στο περιβάλλον.

1.5.3. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θαλάσσιων κυμάτων (Τσακαλής και Αθανασούλας, 2015)

Τα θαλάσσια κύματα είναι η μεταφορά ενέργειας από τα επιφανειακά κύματα του ωκεανού, και η σύλληψη της εν λόγω ενέργειας για να γίνει χρήσιμο το έργο - για παράδειγμα, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αφαλάτωσης ύδατος, ή την άντληση του νερού (σε δεξαμενές). Μια μηχανή που μπορεί να εκμεταλλευτεί την ενέργεια των κυμάτων είναι γενικά γνωστή ως μετατροπέας κυματικής ενέργειας (WEC).

Η κυματική ενέργεια είναι διαφορετική από την ημερήσια ροή της παλιρροϊκής ενέργειας και της σταθερής δίνης των ωκεάνιων ρευμάτων. Η παραγωγή κυματικής ενέργειας, επί του παρόντος, δεν χρησιμοποιείται ευρέως ως εμπορική τεχνολογία, αν και υπήρξαν προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί τουλάχιστον από το 1890. Το 2008, το πρώτο πειραματικό αγρόκτημα κυμάτων άνοιξε στην Πορτογαλία, στην Aguçadoura Wave Park. Ο κύριος ανταγωνιστής της ενέργειας των κυμάτων είναι η υπεράκτια αιολική ενέργεια, με πιο οπτικό αντίκτυπο.

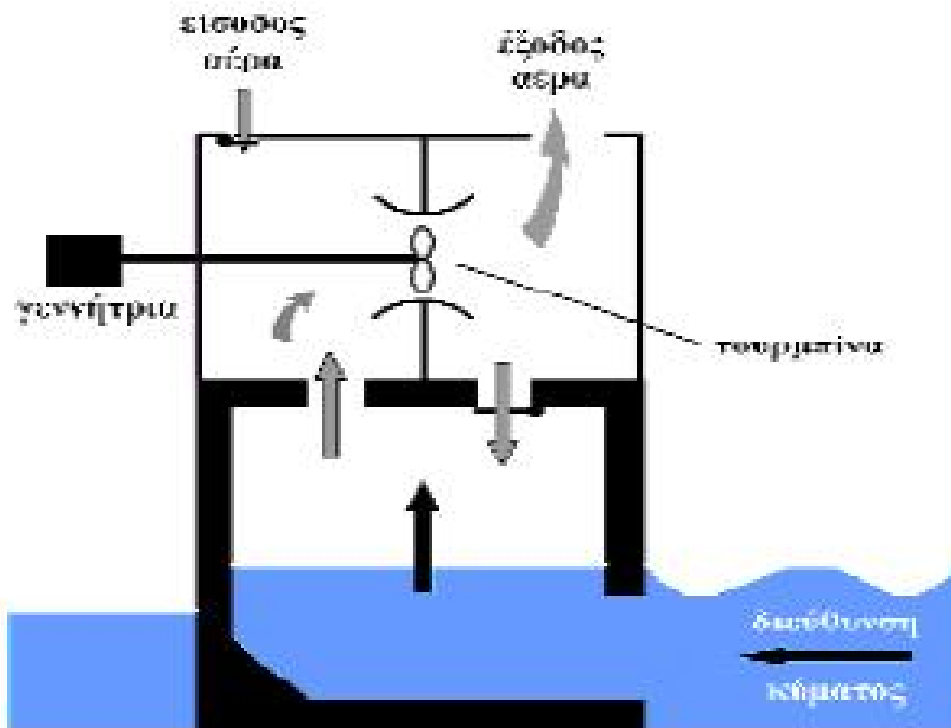
Τα κύματα παράγονται από το πέρασμα του ανέμου πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Όσο τα κύματα διαδίδονται πιο αργά από την ταχύτητα του ανέμου, ακριβώς πάνω από τα κύματα, υπάρχει μια μεταφορά ενέργειας από τον άνεμο προς τα κύματα. Αμφότερες οι διαφορές πίεσης αέρα, μεταξύ του ανάντη και της υπήνεμης πλευράς, του κύματος κορυφής, καθώς και η τριβή στην επιφάνεια του νερού από τον άνεμο, αναγκάζουν το νερό να πάει στην τάση διάτμησης που προκαλεί την ανάπτυξη των κυμάτων.

Το ύψος κύματος καθορίζεται από την ταχύτητα του ανέμου, κατά τη διάρκεια του χρόνου που ο άνεμος φυσάει, από την απόσταση στην οποία ο άνεμος διεγείρει τα κύματα και από το βάθος και την τοπογραφία του πυθμένα (η οποία μπορεί να εστιάσει ή να διασπείρει την ενέργεια των κυμάτων).

Σε γενικές γραμμές, τα μεγαλύτερα κύματα είναι πιο ισχυρά, αλλά η ενέργεια των κυμάτων καθορίζεται, επίσης, από την ταχύτητα του κύματος, το μήκος του κύματος και τη πυκνότητα του νερού.

Η ταλαντευτική κίνηση είναι υψηλότερη στην επιφάνεια και μειώνεται εκθετικά με το βάθος. Τα κύματα διαδίδονται στην επιφάνεια του ωκεανού και η κυματική ενέργεια μεταφέρεται επίσης οριζόντια με την ταχύτητα τους. Ο μέσος ρυθμός μεταφοράς της ενέργειας των κυμάτων, μέσω ενός κατακόρυφου επιπέδου της μονάδας πλάτους, παράλληλα σε μία κορυφή κύματος, καλείται ροή της ενέργειας των κυμάτων ή κυματική ενέργεια, η οποία δεν πρέπει να συγχέεται με την πραγματική ενέργεια που παράγεται από μια συσκευή κυματικής ενέργειας.

Στις περισσότερες διατάξεις η κινητική ενέργεια των κυμάτων θέτει σε περιστροφική κίνηση μία τουρμπίνη έτσι ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα. Υπάρχουν κι άλλοι τύποι διατάξεων οι οποίοι θα αναλυθούν αργότερα.



Εικόνα 1.7: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θαλάσσιων κυμάτων

1.5.4. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θαλάσσιας θερμικής ενέργειας (ΗΠΕΣΗΠΠΕ, 2013)

Είναι η ενέργεια που μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας αποθηκεύεται ως θερμότητα στα ανώτερα στρώματα των θαλασσών. Έτσι αυτά αποκτούν θερμοκρασία 26-30 °C που σε συνδυασμό με εκείνη των χαμηλότερων στρωμάτων (περίπου 5 °C) μπορεί να αξιοποιηθεί με

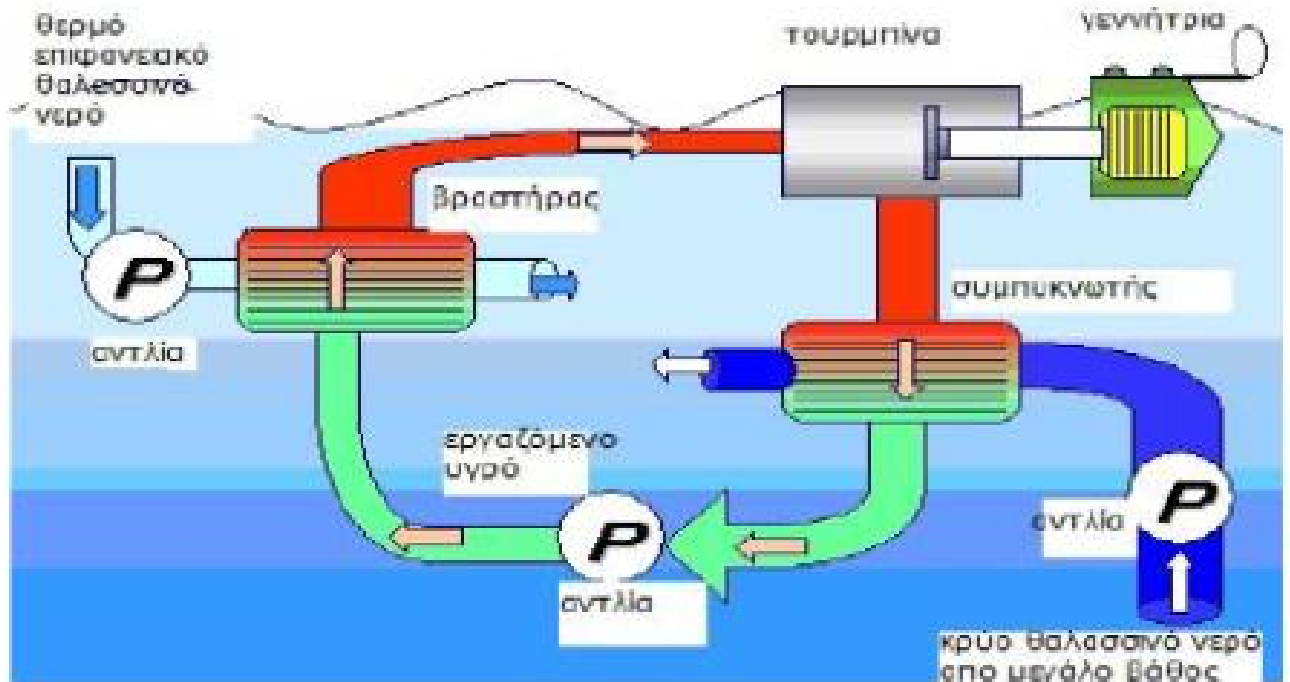
ειδικές διατάξεις (θαλάσσιους θερμικούς σταθμούς) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ επιφανειακών και βαθύτερων στρωμάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 °C, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι αυτή τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση της διάταξης. Η δυνατότητα εκμετάλλευσης της θερμοκρασιακής διαφοράς είχε διατυπωθεί ως ιδέα το 1881 από τον γάλλο φυσικό Ντ' Αρσονβάλ και ερευνήθηκε το 1930 από τον επίσης γάλλο φυσικό Ζορζ Κλοντ. Επανήλθε, όμως, στο προσκήνιο μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, με νέες έρευνες.

Σήμερα λειτουργούν θαλάσσιοι θερμικοί σταθμοί στη Χαβάη, την Κούβα, την Ταϊτή, το Πόρτο Ρίκο, το Βέλγιο και την Ιαπωνία. Οι χώρες που χρηματοδοτούν τα ανάλογα προγράμματα είναι οι ΗΠΑ, η Γαλλία και η Ιαπωνία, ενώ συμμετέχουν πολλά πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα και βιομηχανίες.

Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από το σταθμό μπορεί να μεταφέρεται μέσω καλωδίων στην πλησιέστερη ακτή, ώστε να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτροδότηση. Μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί επί τόπου, πάνω στο σταθμό ή σε βιομηχανική μονάδα εγκαταστημένη εκεί κοντά, για διάφορες διεργασίες και παρασκευή προϊόντων (αφαλάτωση νερού, παρασκευή αμμωνίας, υδρογόνου, λιπασμάτων κ.λπ.). Ακόμη, μπορεί παράλληλα να λειτουργεί στον ίδιο χώρο μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας, που θα ωφελείται από την άντληση του ψυχρού νερού προς τα πάνω, μια και τα βαθύτερα στρώματα είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά για την εκτροφή των ψαριών. Οι θερμικοί σταθμοί μπορεί να βρίσκονται πάνω σε μετακινούμενες εξέδρες, οπότε υπάρχει το πλεονέκτημα επιλογής τοποθεσίας ανάλογα με τις εποχές του έτους, τη γεωγραφική κατανομή του θερμικού δυναμικού και τα θαλάσσια ρεύματα, και κατά συνέπεια γίνεται η βέλτιστη εκμετάλλευση.

Η θερμότητα που αποθηκεύεται καθημερινά στους ωκεανούς λόγω ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί μια αξιόλογη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς ισοδυναμεί, σύμφωνα με τους υπολογισμούς των ερευνητών, με 170 δισεκατομ. βαρέλια πετρέλαιο (1 βαρ. = 159 lit).

Συγκεντρωτικά, το θερμότερο επιφανειακό στρώμα νερού ζεσταίνει σε ειδικό θάλαμο μια ποσότητα υγρού. Όταν το υγρό αυτό βράσει, το αέριο που απελευθερώνεται δημιουργεί πίεση ώστε να περιστρέψει έναν αεροστρόβιλο ο οποίος παράγει την ενέργεια. Στη συνέχεια, το αέριο αυτό ψύχεται διερχόμενο από το χαμηλότερης θερμοκρασίας νερό του πυθμένα (βλ. εικόνα 1.8).



Εικόνα 1.8: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θαλάσσιας θερμικής ενέργειας

Οι θερμικοί σταθμοί δεν βλάπτουν το περιβάλλον και τα περισσότερα τεχνικά προβλήματα, όπως η διάβρωση συστημάτων, η εγκατάσταση και σταθεροποίηση εξέδρας, ο καθαρισμός σωλήνων κ.λπ., έχουν ήδη επιλυθεί με διάφορους τρόπους. Απομένει να αποδειχτεί η αποδοτικότητα των σταθμών αυτών από οικονομική άποψη, ενώ συνεχίζουν να εξελίσσονται τα σχετικά προγράμματα από τις ενδιαφερόμενες χώρες. Τέλος, οι περιοχές που διαθέτουν τις ευνοϊκότερες προϋποθέσεις για εκμετάλλευση αυτού του είδους ενέργειας είναι οι τροπικές θάλασσες.

1.5.5. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω όσμωσης (Τσακαλής και Αθανασούλας, 2015)

Ως οσμωτική ενέργεια ισχύος ή αλατότητα, ορίζεται η διαθέσιμη κλίση από τη διαφορά στη συγκέντρωση άλατος μεταξύ ενέργειας θαλασσινού νερού και ποτάμιου νερού. Δύο πρακτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται, είναι η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (RED) και η επιβραδυνόμενη πίεσης όσμωσης (PRO). Αμφότερες οι διαδικασίες βασίζονται στην όσμωση ιόντων με ειδικές μεμβράνες. Το αποτέλεσμα του προϊόντος των αποβλήτων, είναι υφάλμυρο νερό. Αυτό το υποπροϊόν είναι το αποτέλεσμα των φυσικών δυνάμεων που αξιοποιούν τη ροή του καθαρού νερού σε θάλασσες που αποτελούνται από αλμυρό νερό.

Το 1954 ο Pattle πρότεινε την εκμετάλλευση της ανεκμετάλλευτης πηγής ενέργειας, όταν ένας ποταμός σμίγει με τη θάλασσα, υπό την άποψη της χαμένης οσμωτικής πίεσης. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος δεν ήταν δημοφιλής, μέχρι τη δεκαετία του '70, όταν προτάθηκε μια πρακτική μέθοδος αξιοποίησης που χρησιμοποιεί επιλεκτικά διαπερατές μεμβράνες.

Η μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από την πίεση αργής όσμωσης εφευρέθηκε από τον Καθηγητή Sidney Loeb το 1973, στο Πανεπιστήμιο Ben-Gurion του Negev, στην Beersheba του Ισραήλ. Η ιδέα προέκυψε, καθώς ο καθηγητής Loeb, παρατηρούσε τον Ιορδάνη ποταμό να ρέει στη Νεκρά Θάλασσα. Ήθελε να συλλεγεί η ενέργεια ανάμιξης των δύο υδάτινων διαλυμάτων, ο Ιορδάνης ποταμός και η Νεκρά Θάλασσα, που επρόκειτο να χαθεί σε αυτή τη φυσική διαδικασία ανάμιξης. Το 1977, ο καθηγητής Loeb εφηύρε μια μέθοδο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από έναν αντίστροφο κινητήρα ηλεκτροδιαπήδησης της θερμότητας.

Η τεχνολογία αυτή, επιβεβαιώθηκε σε εργαστηριακές συνθήκες και αναπτύχθηκε για εμπορική χρήση στις Κάτω Χώρες (RED) και τη Νορβηγία (PRO). Το κόστος της μεμβράνης αποτελεί ένα σημαντικό εμπόδιο. Μια νέα, χαμηλότερου κόστους μεμβράνη, η οποία βασίζεται σε ένα ηλεκτρικά τροποποιημένο πλαστικό πολυαιθυλένιο, την κατέστησε, δυνητικά, κατάλληλη για εμπορική χρήση. Έχουν προταθεί και άλλες μέθοδοι που, επί του παρόντος, είναι υπό ανάπτυξη. Ανάμεσά τους, υπάρχει μια μέθοδος που βασίζεται στην τεχνολογία ηλεκτροκίνησης πυκνωτή διπλής στρώσης, αλλά και μία μέθοδος που βασίζεται στη διαφορά πίεσης ατμού.

Μέθοδοι

Ενώ οι ιδιότητες της δύναμης από την κλίση της αλατότητας βρίσκονται ακόμη υπό μελέτη, η πηγή ενέργειας έχει εφαρμοστεί σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Οι περισσότερες, βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο, αλλά μέχρι στιγμής, έχουν λειτουργήσει με επιτυχία. Διάφορες εταιρείες έχουν χρησιμοποιήσει, με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους, τη δύναμη από την κλίση της αλατότητας. Οι πιο χαρακτηριστικές μέθοδοι είναι η:

- αργής πίεσης όσμωση,
- αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης,
- χωρητική μέθοδος,

- εξάτμιση διαφοράς πίεσης ανοικτού κύκλου και κύκλου ψύξης με απορρόφηση (κλειστός κύκλος),
- ηλιακής λίμνης και
- η μέθοδος με νανοσωλήνες νιτριδίου του βορίου.

Κεφάλαιο 2 – Μετατροπείς Κυματικής Ενέργειας

2.1. Γενικά στοιχεία

Από τις αρχές του 19ου αιώνα μέχρι σήμερα έχουν καταχωρηθεί πάνω από 1200 ευρεσιτεχνίες για την παραγωγή ενέργειας από τα κύματα, και πληθώρα διαφορετικών διατάξεων και συστημάτων υψηλής τεχνολογίας έχουν ήδη δοκιμαστεί ή βρίσκονται σήμερα σε φάση δοκιμών. Σε γενικές γραμμές, για την απόληψη της ενέργειας των κυμάτων και τη μετατροπή της σε ωφέλιμο έργο απαιτείται η αλληλεπίδραση των κυματισμών με ένα Μετατροπέα Κυματικής Ενέργειας (ΜΚΕ).

Παρά την μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών, οι δυσκολίες που πρέπει να υπερβούν οι συσκευές κυματικής ενέργειας ώστε να συναγωνιστούν με αξιώσεις τις άλλες ΑΠΕ είναι κοινές και έχουν να κάνουν κυρίως με την αξιοπιστία τους και το κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος. Η έλλειψη σταθερότητας στο πλάτος, τη φάση και την κατεύθυνση των θαλάσσιων κυμάτων δυσχεραίνει την επίτευξη υψηλής απόδοσης σε ολόκληρο το εύρος των συχνοτήτων διέγερσης. Παράλληλα, η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα των κυμάτων συνεπάγεται μεγάλες καταπονήσεις στην περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων, οι οποίες μπορούν να υπερβούν ακόμα και εκατό φορές τις μέσες καταπονήσεις. Αυτό, σε συνδυασμό και με τις γενικότερες τεχνικές δυσκολίες που προκαλεί το θαλασσινό νερό, απαιτεί υψηλό βαθμό μηχανικής αντοχής των κατασκευών, με αποτέλεσμα μεγάλο κατασκευαστικό κόστος. Επιπλέον, η δυσπροσιτότητα υπεράκτιων ή υποβρύχιων εγκαταστάσεων δυσχεραίνει τον έλεγχο, την συντήρηση ή την επισκευή τους και αυξάνει το λειτουργικό κόστος (Κουρτζής, 2013).

Οι σύγχρονοι ΜΚΕ είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες μηχανές και παρά τις πολυάριθμες παραλλαγές τους, βασίζονται όλοι στην ίδια απλή αρχή λειτουργίας. Αποτελούνται από κάποιο κινούμενο ή ελαστικό σώμα που προσλαμβάνει την κυματική ενέργεια, και μια σειρά παρελκόμενων συστημάτων που αρχικά μετατρέπουν την ενέργεια αυτή στη επιθυμητή μορφή (συνήθως ηλεκτρικό ρεύμα) και εν συνεχεία την αποθηκεύουν ή τη διοχετεύουν απευθείας σε κάποιο δίκτυο μεταφοράς (HELMERA, 2012) .

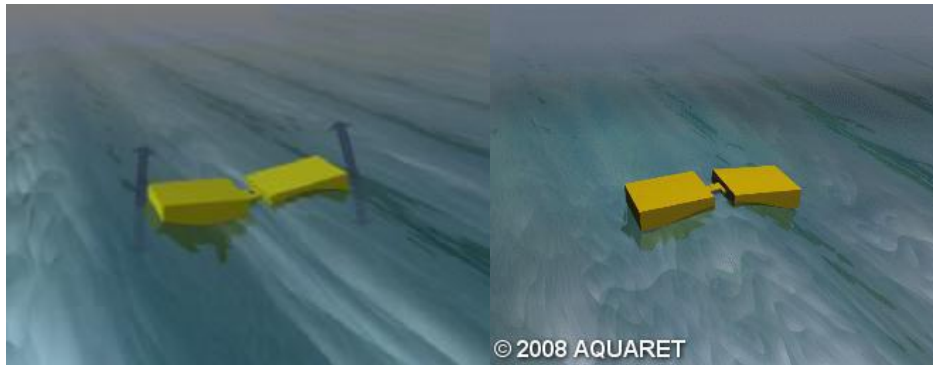
Με απλά λόγια, το κινητό στοιχείο του ΜΚΕ είναι συνδεδεμένο με μια αντλία και, καθώς μετατοπίζεται υπό την επίδραση του κύματος, προκαλεί συμπίεση σε κάποια μάζα αέρα, νερού ή υδραυλικού λαδιού. Το πεπιεσμένο υγρό ή αέριο θέτει σε κίνηση ένα κινητήρα, και

αυτός με τη σειρά του μια γεννήτρια παραγωγής ρεύματος. Οι ΜΚΕ μπορεί να είναι πλωτές, υποβρύχιες ή εγκατεστημένες στον πυθμένα κατασκευές, που τοποθετούνται σε μικρή απόσταση από την ακτή ή στην ανοιχτή θάλασσα, ή ακόμη και σταθερές κατασκευές πάνω στην ακτή. Μερικές από τις βασικές υφιστάμενες τεχνολογίες, μεταξύ των οποίων δεν έχει διαφανεί προς το παρόν κάποια που να υπερισχύει σαφώς έναντι των άλλων, είναι οι εξής (HELMERA, 2012) :

- Σημειακοί απολήπτες (point absorbers), ταλαντευόμενες διατάξεις (συχνά με μορφή πλωτήρα) μικρού μεγέθους σε σχέση με το μήκος του προσπίπτοντος κύματος, π.χ. Wave Star, Opt, Wavebob κ.α.
- Επιμήκεις μετατροπείς παράλληλοι προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος ή αποσβεστήρες (attenuators), π.χ. Pelamis, Dexawave κ.α.
- Επιμήκεις μετατροπείς τερματικού τύπου (terminators), δηλαδή παράλληλοι με το μέτωπο του κύματος. Εδώ εντάσσονται οι συσκευές οριζόντιας κυματικής παλινδρόμησης, που έχουν τη μορφή υποθαλάσσιων επίπεδων πλακών αρθρωτά συνδεδεμένων με τον πυθμένα, π.χ. Oyster, Waveroller κ.α.
- Άλλες τεχνολογίες, όπως οι διατάξεις παλινδρομούσας υδάτινης στήλης (π.χ. Wavegen), υπερχείλισης (π.χ. Wavedragon) κ.α.

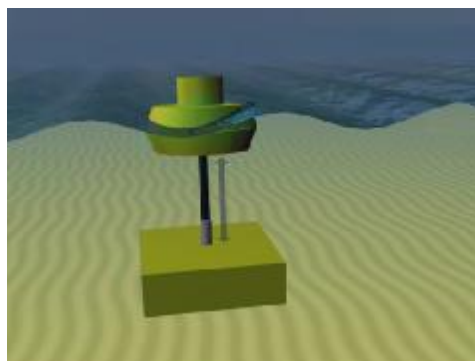
Σε γενικές γραμμές, οι κυματικές συσκευές κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη θέση και το βάθος στο οποίο κατασκευάζονται για να λειτουργήσουν (επάκτια, παράκτια ή υπεράκτια) ή με τη μέθοδο που εφαρμόζεται για την απόσπαση της κυματικής ενέργειας. Σύμφωνα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την απόσπαση της κυματικής ενέργειας η κατηγοριοποίηση των συσκευών γίνεται ως ακολούθως:

Εξασθενητής κυμάτων: Είναι μακρόστενη πλωτή συσκευή ευθυγραμμισμένη κάθετα προς το μέτωπο του κύματος. Η συσκευή αυτή ουσιαστικά επιπλέει επί των διερχόμενων κυμάτων και αποσπά την ενέργεια τους με την επιλεκτική δέσμευση των κινήσεων καθ' όλο της το μήκος. Ένα σημερινό παράδειγμα εξασθενητή κυματισμών είναι η συσκευή Pelamis (Μανάλης, 2012).



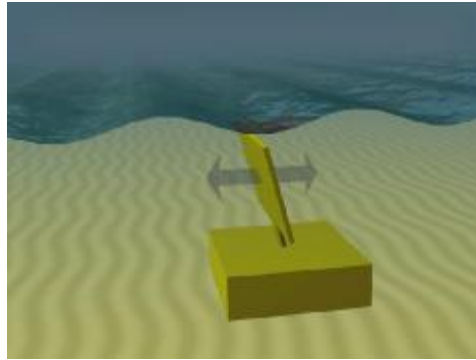
Εικόνα 2.1. Εξασθενητής κυμάτων

Αξονοσυμμετρικός Σημειακός Απορροφητής: Πλωτή κατασκευή η οποία απορροφά την κυματική ενέργεια από κάθε διεύθυνση μέσω των κινήσεών της στην επιφάνεια των υδάτων ή κοντά σε αυτή. Έχει μικρές διαστάσεις σε σχέση με το τυπικό μήκος κύματος, με διάμετρο συνήθως της τάξης των λίγων m. Στο χαρακτηριστικό της σημειακής απορρόφησης σημαίνει βασικά την ικανότητα απορρόφησης της ενέργειας μιας θαλάσσιας περιοχής μεγαλύτερης από τις διαστάσεις της συσκευής. Οι σχεδιασμοί τύπου σημαδούρας, για παράδειγμα, ενεργούν ως σημειακοί απορροφητές. Τυπικά, όχι όμως κι απαραίτητα, οι πλωτοί αυτοί σχεδιασμοί είναι αξονοσυμμετρικοί. Σημερινά παραδείγματα στην κατηγορία αυτή είναι οι συσκευές Wavebob, OPT PowerBuoy και Aquabuoy. (Μανάλης, 2012).



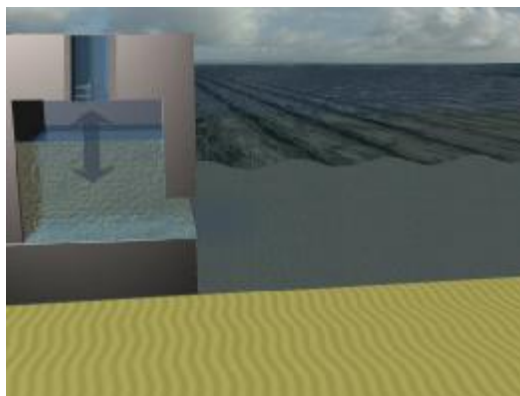
Εικόνα 2.2. Αξονοσυμμετρικός σημειακός απορροφητής

Παλλόμενοι μετατροπείς των κυματικών κλυδωνισμών (OWSC): Ο συλλέκτης αυτός βρίσκεται, κοντά στην επιφάνεια, ο οποίος εδράζεται πάνω σε περιστρεφόμενο βραχίονα που είναι αγκυρωμένος κοντά στον πυθμένα. Ο βραχίονας ταλαντεύεται ως ανάστροφο εκκρεμές λόγω της κίνησης των σωματιδίων νερού των κυμάτων. Σημερινά παραδείγματα της κατηγορίας αυτής είναι η υποβρύχια συσκευή Waveroller και το διατρητικό επιφάνειας Oyster (Μανάλης, 2012).



Εικόνα 2.3. Παλλόμενος μετατροπέας

Παλλόμενη υδάτινη στήλη: Η στήλη αυτή αποτελεί μια μερικώς υποβρύχια κοίλη κατασκευή η οποία έχει ένα άνοιγμα στη θάλασσα κάτω από την επιφάνεια των υδάτων ώστε να εγκλωβίζει αέρα πάνω από την υδάτινη στήλη. Τα κύματα προκαλούν το σκαμπανέβασμα της στήλης, που ενεργεί ως έμβολο που συμπιέζει και αποσυμπιέζει τον αέρα. Ο αέρας διέρχεται μέσα από αεροστρόβιλο για την παραγωγή ενέργειας. Όταν σχεδιάζονται σωστά για την επικρατούσα κατάσταση θαλάσσης, οι στήλες ρυθμίζονται κατάλληλα για το επικείμενο μήκος κύματος ώστε να υπάρχει συντονισμός τους. Με τον τρόπο αυτό, οι συσκευές αυτές μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικές και να παρουσιάζουν χαρακτηριστικά σημειακής απορρόφησης (Μανάλης, 2012).



Εικόνα 2.4. Παλλόμενη υδάτινη στήλη

Συσκευή υπερακόντισης: Η συσκευή αυτή αποτελείται από ένα τοίχωμα επάνω στο οποίο σπάνε τα κύματα και το νερό συλλέγεται σε μία δεξαμενή αποθήκευση . Τα προσκρούοντα κύματα δημιουργούν ένα ύψος πτώσης το οποίο ελευθερώνεται πίσω στη θάλασσα μέσω συμβατικών στροβίλων χαμηλής πίεσης που είναι εγκατεστημένοι στον πυθμένα της δεξαμενής. Η συσκευή υπερακόντισης μπορεί να κάνει χρήση συλλεκτών για την συγκέντρωση της κυματικής ενέργειας. Είναι συνήθως μεγάλες κατασκευές λόγω του

απαιτούμενου χώρου για τη δεξαμενή, η οποία χρειάζεται να εξασφαλίζει μια ελάχιστη χωρητικότητα αποθήκευσης (Μανάλης, 2012).

Βυθιζόμενη συσκευή διαφορικής πίεσης: Είναι μια βυθιζόμενη συσκευή που συνήθως εγκαθίσταται κοντά στην ακτή και προσαρτάται στον πυθμένα. Η κίνηση των κυμάτων προκαλεί την άνοδο και την πτώση της στάθμης της θάλασσας πάνω από τη συσκευή, πράγμα που δημιουργεί μια διαφορά πίεσης η οποία αναγκάζει τη συσκευή να ανεβοκατεβαίνει με τα κύματα. Όταν σχεδιαστεί σωστά για την συγκεκριμένη κατάσταση της θάλασσας, η κατηγορία αυτή διαθέτει και αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά σημειακής απορρόφησης. (Μανάλης, 2012).

2.2. Συσκευές εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας

Παρά το μεγάλο πλήθος, οι συσκευές εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν κυρίως με δύο τρόπους: Πρώτον, σύμφωνα με τη θέση και το βάθος για το οποίο κατασκευάζονται για να λειτουργήσουν και δεύτερον με την μέθοδο που εφαρμόζεται για την απόσπαση της κυματικής ενέργειας.

Κατηγοριοποίηση με βάση την τοποθεσία εγκατάστασης (Κουρτζής, 2013):

1) Συσκευές χερσαίας ζώνης (onshore). Οι τεχνολογίες είναι ενσωματωμένες στην ακτογραμμή με βάθος συνήθως μικρότερο των 15 μέτρων, κάτι που τους προσδίδει το πλεονέκτημα της εύκολης εγκατάστασης και συντήρησης. Δεν απαιτούν αγκυροβολήσεις, ούτε υποθαλάσσια ηλεκτρικά καλώδια μεταφοράς. Από την άλλη πλευρά, λόγω της θέσης τους κοντά στην στεριά, χάνουν σημαντική ισχύ και η εγκατάστασή τους γενικά περιορίζεται από την γεωλογία της ακτογραμμής. Η πιο συνηθισμένη τεχνολογία σε αυτή την ζώνη είναι η τύπου ταλαντούμενης στήλης ύδατος (OWC) για την οποία θα αναφερθούμε παρακάτω.

2) Συσκευές παράκτιας ζώνης (nearshore). Το βάθος δεν υπερβαίνει τα 25 μέτρα και η συσκευή βρίσκεται σχετικά κοντά στην ακτή (περίπου 500 μέτρα). Οι συσκευές αυτές έχουν τα ίδια πλεονεκτήματα με τις συσκευές χερσαίας ζώνης, ενώ ταυτόχρονα συναντούν μεγαλύτερο κυματικό δυναμικό από αυτό που υπάρχει στην ακτογραμμή. Συνήθως αναπτύσσονται ειδικές δομές που εδράζονται στον πυθμένα.

3) Συσκευές υπεράκτιας ζώνης (offshore). Σε αυτή την ζώνη εγκαθίστανται πλωτά συστήματα που απαιτούν αγκύρωση. Το βάθος κυμαίνεται από 25-75 μέτρα για συσκευές μικρού βυθίσματος και πάνω από 75 μέτρα για συσκευές μεγάλου βυθίσματος. Σε αυτά τα

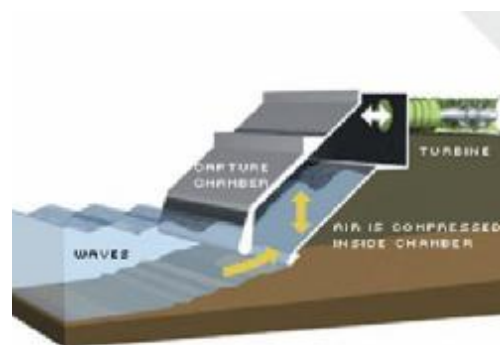
βάθην οι απώλειες κύματος λόγω τριβής με τον βυθό είναι ελάχιστες και το κυματικό δυναμικό φτάνει τα υψηλότερα επίπεδα. Επίσης δεν υπάρχουν προβλήματα χώρου και οπτικής όχλησης. Ωστόσο, το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης είναι πολύ υψηλό. Τέλος υπάρχει και ο κίνδυνος ολοκληρωτικής απώλειας της συσκευής σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων.

Κατηγοριοποίηση με βάση την μέθοδο μετατροπής (Κουρτζής, 2013):

Οι συσκευές κυματικής ενέργειας μετατρέπουν την οριζόντια ή/και την κάθετη κίνηση των κυμάτων σε ηλεκτρισμό αξιοποιώντας ταλαντώμενη σχετική κίνηση σωμάτων, ή διακυμάνσεις πίεσης του αέρα, ή συσσώρευση δυναμικής ενέργειας. Η ισχύς αυτή δεσμεύεται κυρίως με τέσσερις τρόπους (*Power take-off. PTO*): α) με υδροστρόβιλο, β) με αεριοστρόβιλο, γ) με υδραυλικό κινητήρα ή με γραμμική γεννήτρια. Με βάση τους διαφόρους συνδυασμούς αυτών των βασικών αρχών μπορούμε να διακρίνουμε τα παρακάτω είδη συσκευών.

1) Παλινδρομούσα στήλη νερού (*Oscillating Water Column*).

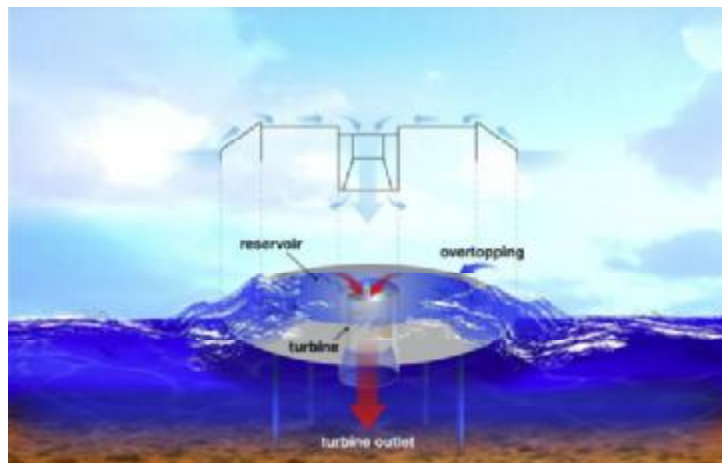
Πρόκειται για μεγάλες διατάξεις που κατασκευάζονται κυρίως στην χερσαία ζώνη. Διαθέτουν θάλαμο αέρα ημιβυθισμένο και ανοιχτό στο κάτω άκρο της θάλασσας. Η παλινδρομική κίνηση της θαλάσσιας επιφάνειας προκαλεί συμπίεση και αποσυμπίεση της αέριας μάζας μέσα στον θάλαμο, η οποία χρησιμοποιείται για την κίνηση αεριοστρόβιλου. Ο αεριοστρόβιλος στρέφεται προς την ίδια κατεύθυνση ανεξάρτητα από την φορά κίνησης του αέρα και κινεί γεννήτρια. Οι συσκευές αυτές αν και αρχικά σχεδιάστηκαν για εγκατάσταση επί της ακτής σε κυματοθραύστες ή άλλες κατασκευές, στη συνέχεια δοκιμάστηκαν και σε ανοικτή θάλασσα με κατάλληλη αγκύρωση.



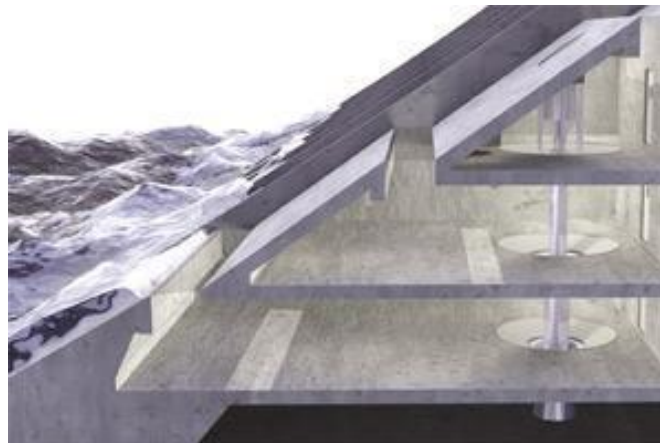
Εικόνα 2.5. Αρχή λειτουργίας παλινδρομούσας στήλης νερού

2) Συσκευές υπερπήδησης του νερού (Overtopping device).

Πρόκειται για πλωτές ή σταθερές δεξαμενές, οι οποίες περισυλλέγουν το νερό των κυμάτων σε στάθμη υψηλότερη από τη μέση στάθμη της θαλάσσιας επιφάνειας. Η διαφορά στάθμης χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός ή περισσότερων υδροστροβίλων χαμηλής πίεσης και το νερό καταλήγει ξανά στη θάλασσα. Ουσιαστικά η συσκευή εκμεταλλεύεται την δυναμική ενέργεια του νερού όπως γίνεται, σε μεγαλύτερη βέβαια κλίμακα, και σε έναν υδροηλεκτρικό σταθμό. Μπορούν να τοποθετηθούν και στην ακτογραμμή (συσκευή SSG), αλλά και στη παράκτια και υπεράκτια ζώνη (wave dragon).



Εικόνα 2.6. Αρχή λειτουργίας συσκευής υπερπήδησης νερού

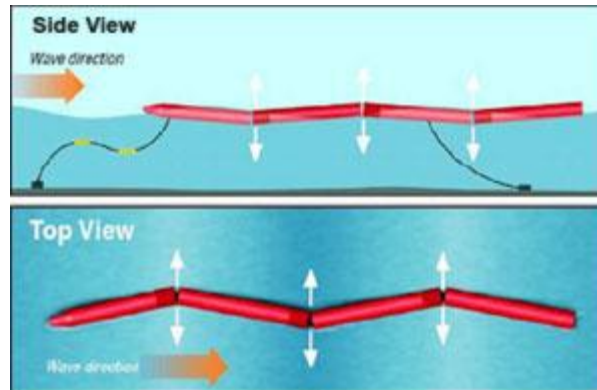


Εικόνα 2.7. Τεχνολογία SSG

3) Συσκευές μακρόστενης μορφής- γραμμικοί αποσβεστήρες (attenuator).

Είναι πλωτές, αρθρωτές κατασκευές οι οποίες τοποθετούνται κάθετα προς τα επερχόμενα κύματα, παράλληλα με την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Η ενέργεια δεσμεύεται κατά τη διέλευση των κυμάτων κατά μήκος όλου του συστήματος μέσω υδραυλικών κινητήρων που

υπάρχουν στις αρθρώσεις. Θεωρητικά, αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερο ποσοστό απορρόφησης απ' ό τι στα συστήματα μικρού μήκους ή στα αξονοσυμμετρικά συστήματα. Άλλο ένα θετικό αυτής της τεχνολογίας είναι οι μικρές σχετικά καταπονήσεις λόγω της μικρής μετωπικής επιφάνειας. Κύριος εκπρόσωπος αυτού του είδους είναι η συσκευή Pelamis.



Εικόνα 2.8. Αρχή λειτουργίας attenuator



Εικόνα 2.9. Συσκευή Pelamis

4) Βυθισμένες συσκευές διαφοράς πίεσης (Submerged pressure differential).

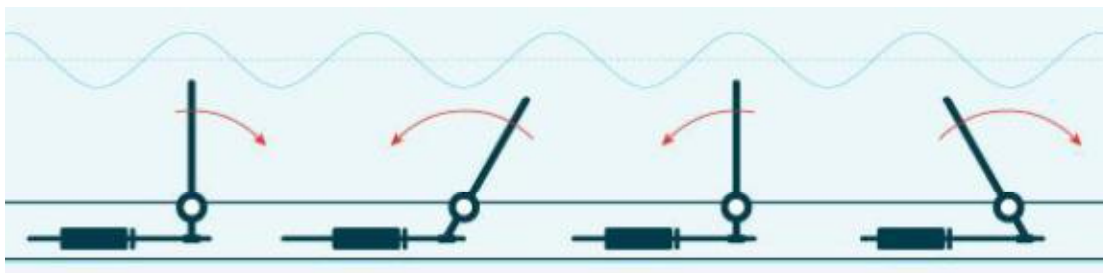
Οι συσκευές αυτές τυπικά βρίσκονται κοντά στην ακτή και στηρίζονται στο βυθό. Χρησιμοποιούν τη διαφορά πίεσης των διαδοχικών κορυφών και κοίλων του κύματος ώστε να προκαλέσουν την άνοδο και την κάθοδο ενός πλωτού σώματος. Η κίνηση αυτή μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια συνήθως μέσω μιας γραμμικής γεννήτριας. Κατασκευή αυτού του τύπου αποτελεί το Archimedes Wave Swing (AWS) που είναι εγκατεστημένο από το 2005 ανοιχτά των ακτών της Πορτογαλίας.



Εικόνα 2.10. Συσκευή Archimedes Wave Swing (AWS)

5) Συσκευές οριζόντιας κυματικής παλινδρόμησης (Oscillating Wave Surge Converter).

Οι συσκευές αυτές τις περισσότερες φορές στηρίζονται στο βυθό αλλά ενδέχεται να είναι και ημιβυθισμένες. Προσλαμβάνουν την ενέργεια από την οριζόντια κίνηση των στοιχείων του νερού, μέσω ενός βραχίονα που παλινδρομεί σαν εκκρεμές στηριγμένος σε περιστρεφόμενη άτρακτο, κάθετη στην κίνηση τόσο του νερού όσο και του βραχίονα. Χρησιμοποιούν εμβολοφόρο αντλία. Παράδειγμα αυτού του είδους είναι το σύστημα Oyster το οποίο εδράζεται στον πυθμένα και χρησιμοποιεί μια διάταξη τύπου πτερυγίου. Η παλινδρομική κίνηση του πτερυγίου θέτει σε κίνηση ένα έμβολο που αντλεί το νερό από τη θάλασσα στην ξηρά. Στη συνέχεια, το υψηλής πίεσης νερό χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας μέσω ενός στροβίλου τύπου Pelton.



Εικόνα 2.11. Αρχή λειτουργίας συσκευής οριζόντιας κυματικής παλινδρόμησης

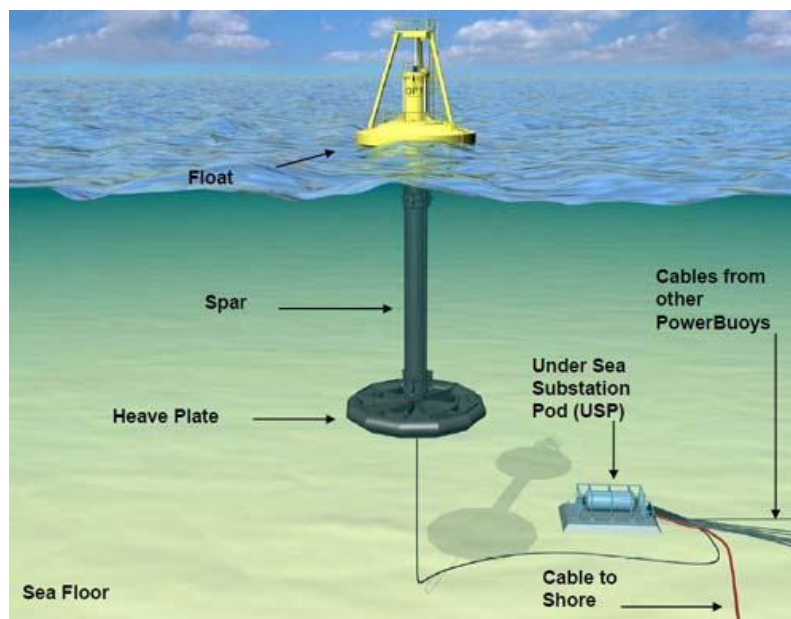
6) Σημειακοί απορροφητές ενέργειας (point absorbers).

Είναι συνήθως αξονοσυμμετρικά, πλωτά συστήματα με διαστάσεις μικρότερες του ενός τρίτου του μέσου μήκους κύματος. Το γεγονός ότι πρόκειται για αξονοσυμμετρικά συστήματα, σημαίνει ότι είναι λιγότερο ευπαθή στην κατεύθυνση προσέγγισης του μετώπου κύματος και σε ακραίες φορτίσεις. Μπορεί να είναι είτε πλωτές αγκυροβολημένες μονάδες είτε να εδράζονται στον πυθμένα. Τις περισσότερες φορές εκμεταλλεύονται κυρίως την

παλινδρομική κίνηση του πλωτήρα κατά την κατακόρυφη διέγερση του, μετατρέποντας την μέσω μηχανικών ή υδραυλικών συστημάτων σε περιστροφική ή γραμμική κίνηση για την λειτουργία γεννήτριας. Το σχετικά μικρό μέγεθος τους, κάνει πιο εύκολη την λειτουργία περισσότερων συστημάτων υπό κοινό υποθαλάσσιο καλώδιο για δημιουργία πάρκου επιθυμητής ονομαστικής ισχύος.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της τεχνολογίας είναι:

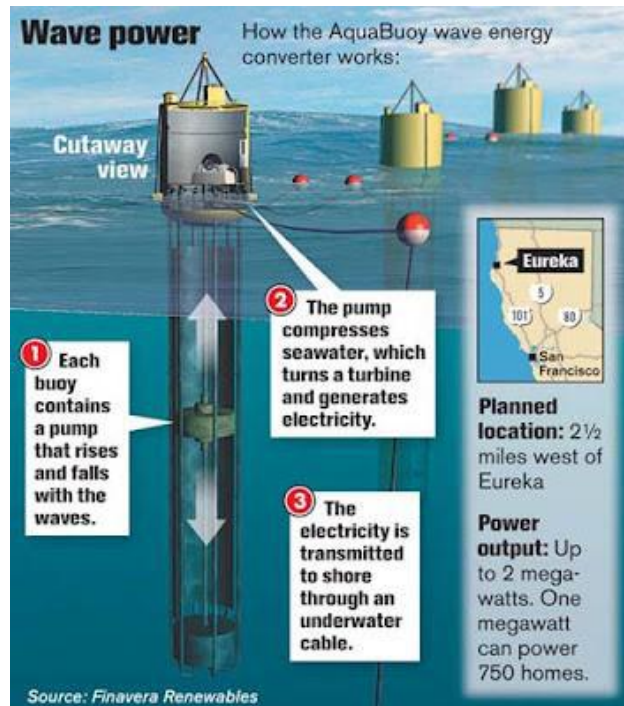
A) *OPT powerbuoy*: Παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω της σχετικής κίνησης ενός πλωτήρα στην επιφάνεια της θάλασσας και ενός άλλου ημιβυθισμένου, χρησιμοποιώντας υδραυλικό σύστημα ανάκτησης. Σκοπός του ημιβυθισμένου πλωτήρα είναι η αύξηση την δύναμη αδράνειας. Τα δύο σώματα ταλαντώνονται με διαφορετική φάση και η σχετική αυτή κίνηση μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω υδραυλικού συστήματος που βρίσκεται στον αγωγό που τα συνδέει (<http://www.oceanpowertechnologies.com/technology.htm>)



Εικόνα 2.12. Αρχή λειτουργίας OPT powerbuoy

B) *AquaBuOY* : Παράγει ενέργεια μέσω νερού υψηλής πίεσης, που δημιουργείται από την σχετικής κίνησης ενός πλωτήρα και ενός εμβόλου, μέσω υδροστροβίλου. Το σύστημα αποτελείται από τον πλωτήρα, τον άκαμπτο καθοδικό αγωγό επιτάχυνσης, το έμβολο, τις αντλίες εύκαμπτου σωλήνα (*hose rump*) και τον υδροστρόβιλο. Το έμβολο επιταχύνεται μέσα στον μακρόστενο άκαμπτο αγωγό λόγω της κατακόρυφης δύναμης του κύματος. Ο αγωγός στηρίζεται στον πλωτήρα και είναι ανοιχτός και στα δύο άκρα ώστε να επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση του θαλασσινού νερού. Το έμβολο είναι ένας ημιβυθισμένος πλωτήρας σε

σχήμα δίσκου και βρίσκεται στην μέση του αγωγού σε κατάσταση ηρεμίας. Διαμέσου του εμβόλου εισέρχεται ο εύκαμπτος αγωγός της αντλίας από τον οποίο το νερό, αποκτώντας πίεση λόγω μεταβολής όγκου του σωλήνα, οδηγείται από το κάτω άκρο στο επάνω όπου και φέρει υδροστρόβιλο για την ενεργειακή αξιοποίηση (<http://peswiki.com/index.php/Directory:AquaBuOY>).



Εικόνα 2.13. Αρχή λειτουργίας AquaBuOY

7) Άλλες συσκευές.

Πρόκειται κυρίως για πιο σύγχρονες τεχνολογίες οι οποίες δεν κατατάσσονται σε κάποια κατηγορία λόγω αρκετά διαφορετικής σχεδίασης, όπως για παράδειγμα κάποια συστήματα περιστρεφόμενων μαζών ή εύκαμπτες κατασκευές που αλλάζουν σχήμα και όγκο και που αποτελούν τμήμα του συστήματος μετατροπής της ενέργειας.



Εικόνα 2.14. Τεχνολογία Anaconda. Μακρόστενος εύκαμπτος σωλήνας που εκμεταλλεύεται τις παλινδρομικές διογκώσεις.

2.3. Συσκευές μετατροπής κυματικής ενέργειας

2.3.1. Limpet (Last Installed Marine Power Energy Transmitter)

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, 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 παράκτιας κυματικής ενέργειας στα εθνικά αποθέματα ενέργειας.

Η συσκευή χρησιμοποιεί τρεις στήλες ύδατος που ταλαντώνονται μέσα σε θαλάμους από μπετόν με εσωτερικές διαστάσεις 6 m επί 6 m και σε κλίση 40° ως προς την οριζόντιο. Το επάνω τμήμα των θαλάμων είναι εσωτερικά συνδεδεμένο και η μετατροπή της ενέργειας πραγματοποιείται από μία μόνο στρόβιλογεννήτρια που είναι συνδεδεμένη στον μεσαίο αγωγό. Οι στήλες ύδατος έχουν εξωτερικό πλάτος 21 m και βρίσκονται 17 m εσωτερικά της φυσικής ακτογραμμής σε ένα προκατασκευασμένο βαθούλωμα με βάθος νερών 6 m. Οι πλευρές του βαθουλώματος 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. Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει ένα στρόβιλο Wells αντίστροφης περιστροφής, κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα με διάμετρο της περωτής του 2,6 m. Κάθε επίπεδη επιφάνεια με περύγια του στρόβιλου Wells είναι ενσωματωμένη απευθείας στον άξονα μιας τροποποιημένης επαγωγικής γεννήτριας των 250 kW, δίνοντας έτσι συνολική εγκατεστημένη ισχύ 500 kW.

Η έξοδος των γεννητριών εξομαλύνεται και αντιστρέφεται πριν από τη σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο. 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 στρόβιλων μειώνεται σε ένα ειδικό ακουστικό θάλαμο πριν απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα. Η στρόβιλο-γεννήτρια περιλαμβάνει επίσης μια βαλβίδα με

περιστρεφόμενο δίσκο και μια βαλβίδα βάνας. 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 πυθμένα. Επιπλέον, μελετήθηκαν 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 (Μανάλης, 2012).

2.3.2. WECA (Wave Energy Conversion Activator)

Το WECA της ελληνικής εταιρίας DAEDALUS Informatics Ltd είναι ένας μετατροπέας της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων σχεδιασμένος κυρίως για παράκτια εγκατάσταση, αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε εφαρμογές ανοιχτής θαλάσσης. Η βασική αρχή λειτουργίας του μετατροπέα WECA βασίζεται στη συμπίεση του εγκλωβισμένου αέρα κατά την πρόσκρουση του κοιλώματος του θαλάσσιου κύματος. Συγκεκριμένα, ένα είδος ανεστραμμένης κωνοειδούς χοάνης λειτουργεί ως αεροθάλαμος συμπίεσης που χρησιμοποιεί την ορμή του ερχόμενου κύματος (CMW – Critical Momentum Wedge principle). Η λειτουργία του μετατροπέα WECA προσομοιάζει σε μεγάλο βαθμό το θερμοδυναμικό κύκλο ενός συμβατικού αεροσυμπιεστή (Μανάλης, 2012).

Το προτεινόμενο μοντέλο WECA πλήρους κλίμακας θα είναι από χάλυβα, ώστε να είναι κατάλληλο για ενσωμάτωση σε κυματοθραύστες ή άλλες κατασκευές. Είναι αυτονόητο ότι, το υλικό κατασκευής δεν είναι ανάγκη να είναι ο χάλυβας αφού υπάρχουν και άλλα κατάλληλα υλικά με παρόμοια χαρακτηριστικά, αρκεί βέβαια να συμφέρουν από οικονομικής άποψης. Λειτουργικά το WECA είναι σχεδιασμένο για να απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας των προσπιπτόντων θαλάσσιων κυμάτων και να τη μετατρέπει σε συμπιεσμένο αέρα, που στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ή άλλου είδους ενέργεια. Σχεδιάστηκε ένα πειραματικό μοντέλο WECA πλήρους κλίμακας με διαστάσεις 7 m ύψος και 6 m πλάτος, ενώ με βάση αυτό πραγματοποιήθηκαν οι αναγκαίοι θεωρητικοί υπολογισμοί και η εξομοίωση της λειτουργίας του από υπολογιστή. Μελετήθηκαν οι διάφορες εναλλακτικές κατασκευαστικές και μηχανολογικές λύσεις με σκοπό τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού πριν την τελική κατασκευή του πρωτοτύπου. Η έξοδος ισχύος του συγκεκριμένου πρωτοτύπου αναμένεται να είναι περίπου 20 kW.

2.3.3 Τεχνολογίες Υπέρβασης/Υπερύψωσης (SSG)

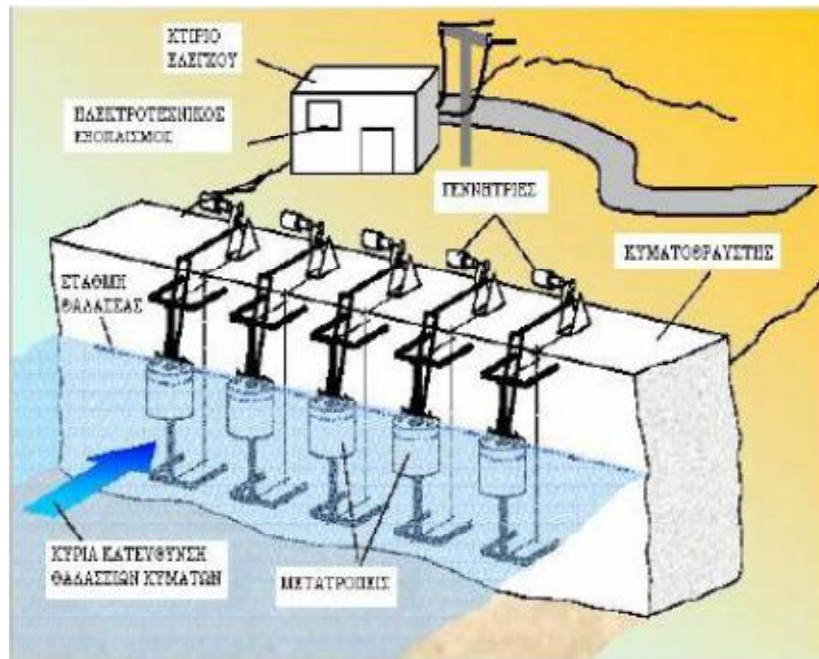
Η νορβηγική εταιρία WAVEenergy AS ιδρύθηκε το 2004 για την ανάπτυξη της Γεννήτριας Κυμάτων Αυλακωτού Κώνου SSG (Seawave Slot-Cone Generator). Το SSG είναι ένας μετατροπέας κυματικής ενέργειας που βασίζεται στην αρχή υπέρβασης των θαλάσσιων κυμάτων χρησιμοποιώντας ένα σύνολο τριών δεξαμενών τοποθετημένων η μία πάνω στην άλλη, στις οποίες η ενέργεια των εισερχόμενων κυμάτων θα αποθηκεύεται. Στο νερό που θα παγιδεύεται στις δεξαμενές θα διέρχεται μέσα από τον πρωτοποριακό πολύ-τμηματικό στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση πολλαπλών δεξαμενών θα έχει ως αποτέλεσμα μια υψηλότερη συνολική απόδοση σε σύγκριση με κατασκευές μίας μόνο δεξαμενής.

Το SSG έχει το πλεονέκτημα της εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας σε διάφορες δεξαμενές η μία πάνω στην άλλη, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο σε υψηλότερη υδραυλική απόδοση του συστήματος. Το SSG κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ ο άξονας του στρόβιλου και οι πύλες που ελέγχουν τη ροή του νερού είναι ουσιαστικά τα μοναδικά κινούμενα τμήματα του μηχανικού συστήματος. Αποτελεί έναν ευέλικτο μετατροπέα όσον αφορά το εύρος των επιλογών εφαρμογής. Μπορεί να εφαρμοστεί ως πλωτή ή σταθερή εγκατάσταση ανοικτής θαλάσσης ή ως εγκατάσταση ακτής ενσωματωμένη σε μια κυματοθραυστική εγκατάσταση . Το SSG μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης και καθαρού πόσιμου νερού μέσω όσμωσης.. Επιπλέον, μπορεί να ενσωματωθεί σε μια κυματοθραυστική κατασκευή. Έτσι θα αποτελεί έναν οικονομικά αποδοτικό μετατροπέα θαλάσσιων κυμάτων που θα επωφελείται από τη λειτουργία της κυματοθραυστικής κατασκευής. Με τη σειρά του το SSG θα προσδίδει στη κατασκευή ένα επιπλέον οικονομικό όφελος από τη πώληση ηλεκτρικής ενέργειας, φρέσκου πόσιμου νερού ή υδρογόνου. Η χωρητικότητα και η διαμόρφωση των δεξαμενών θα συνεισφέρουν σημαντικά στην εξομάλυνση των εισερχόμενων κυμάτων και στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο (Μανάλης, 2012).

2.3.4. LabBouoy

Το LabBouoy είναι μια τεχνολογία μετατροπής της κυματικής ενέργειας για εγκατάσταση στην ακτή. Η πρώτη φάση της δοκιμής του μαθηματικού και φυσικού μοντέλου πραγματοποιήθηκε με τη συνεργασία του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (CRES), του Εθνικού Μετσόβιου 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 παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της ανάκλασης των θαλάσσιων κυμάτων στην πρόσοψη του κυματοθραύστη, καθώς επίσης βελτιώνουν την αξιοπιστία και την ασφάλεια λειτουργίας.



Εικόνα 2.15. Τεχνολογία LabBuoy

Όσον αφορά τη μαθηματική μοντελοποίηση της τεχνολογίας, αναπτύχθηκαν ηλεκτρομηχανικά μοντέλα για την πρόβλεψη της απόκρισης μιας σειράς 5 μετατροπέων, με γνωστή τη κυματική είσοδο. Τα βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου που μελετήθηκαν είναι οι υδροδυναμικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στους μετατροπείς και στον παρακείμενο κυματοθραύστη, η μοντελοποίηση δύο διαφορετικών μηχανικών συστημάτων μετάδοσης (με αλυσίδα και γρανάζια) και δύο διαφορετικών συστημάτων μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας (γεννήτριες που κινούνται από γρανάζια και εναλλάκτες άμεσης κίνησης). Όσον αφορά 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 ελέγχου της ταχύτητας, που ρυθμίζονται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Το μοντέλο αριθμητικής προσομοίωσης της συσκευής LabBuoy αποτελείται από δύο 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 μετατροπείς 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 (Μανάλης, 2012).

2.3.5. SDE

Το SDE είναι ένας παράκτιος μετατροπέας της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων, ο οποίος εφευρέθηκε από τον Shmuel Ovadia που ίδρυσε την εταιρία S.D.E. Energy Ltd στο Ισραήλ. Αυτή η μέθοδος παραγωγής ηλεκτρισμού από την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων έχει κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας

Η τεχνολογία του μετατροπέα SDE χρησιμοποιεί την κίνηση των θαλάσσιων κυμάτων για να παράγει υδραυλική πίεση, που με την σειρά της μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό. Το σύστημα αυτό, εκμεταλλεύεται την ταχύτητα, το ύψος, το βάθος, την ανύψωση και την πτώση του κύματος, καθώς και τη ροή κάτω από το ερχόμενο κύμα, παράγοντας με αυτό τον τρόπο ενέργεια. Το SDE έχει κατασκευαστεί και δοκιμαστεί σε οκτώ μονάδες συνολικά. Ένα μοντέλο πλήρους κλίμακας έχει κατασκευαστεί και δοκιμαστεί στο Ισραήλ, και παρήγαγε 40 kW/h για σχεδόν ένα χρόνο. Η συγκεκριμένη μέθοδος μετατροπής της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων έχει λάβει οικονομική υποστήριξη ύψους 1.360.000€ από το Υπουργείο Βιομηχανίας και Εμπορίου. Η κυβέρνηση του Ισραήλ έχει παραχωρήσει στην S.D.E. Energy Ltd το δικαίωμα, χωρίς χρηματική προσφορά, της παραγωγής και πώλησης 50MW ηλεκτρικής ισχύος για 20 χρόνια. Το SDE παράγει καθαρή ενέργεια χωρίς επιβλαβείς επιπτώσεις για το περιβάλλον ενώ η εταιρία εγγυάται τις χαμηλότερες τιμές της αγοράς (ειδικά σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, το φυσικό αέριο, την ηλιακή και την αιολική ενέργεια), χαμηλό κόστος κατασκευής και ελάχιστο κόστος λειτουργίας (Μανάλης, 2012).



Εικόνα 2.16.Μετατροπέας SDE

2.3.6. Mighty Whale

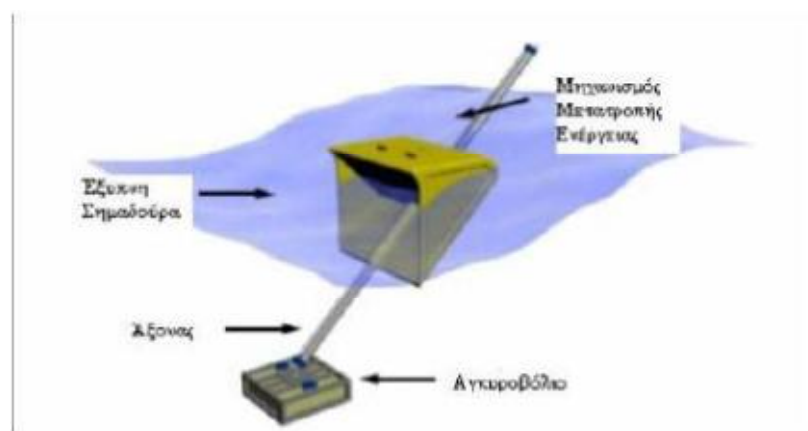
Από το 1987 η ομάδα κυματικής ενέργειας του JAMSTEC (Japan Marine Science and Technology Center) στην Ιαπωνία ασχολείται με την ανάπτυξη μιας πλωτής συσκευής που μετατρέπει την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων σε μηχανική και ονομάζεται Mighty Whale. Οι διαστάσεις του πρωτοτύπου επιλέχθηκαν να είναι 50 m μήκος, 30 m πλάτος και 12 m ύψος. Η συνολική ονομαστική ισχύ διαμορφώθηκε στα 110 kW. Το βάθος των υδάτων της τοποθεσίας δοκιμής του πρωτοτύπου είναι 40 m και η συσκευή προσδένεται στο βυθό προς τη κατεύθυνση των επικρατούντων κυμάτων. Η λειτουργία του πρωτοτύπου βασίζεται στην ταλαντευόμενη στήλη ύδατος της θάλασσας και περιέχει τρεις θαλάμους αέρα που μετατρέπουν τη κυματική ενέργεια σε πίεση αέρα. Η κίνηση των θαλάσσιων κυμάτων προκαλεί την άνοδο και κάθοδο της στάθμης του νερού στο εσωτερικό του κάθε θαλάμου, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο ροή αέρα διπλής κατευθύνσεως που κινεί έναν αεροστρόβιλο. Και οι τρεις στρόβιλοι πάνω στη συσκευή Mighty Whale είναι παλινδρομικοί και κάθε ένας από αυτούς έχει δύο περιστροφικά τμήματα στη σειρά. Οι στρόβιλοι κινούν τρεις επαγωγικές γεννήτριες που παράγουν τριφασική AC τάση 200 Volts.

2.3.7. WET EnGen

Η канаδέζικη εταιρία Wave Energy Technologies Inc δημιουργήθηκε το 2004 για την ανάπτυξη, την κατοχύρωση, τη δοκιμή και την εμπορευματοποίηση του μετατροπέα WET EnGen.

Το βασικό χαρακτηριστικό του WET EnGen™ είναι το Smart Float™ (Εξυπνη σημαδόυρα) του που κινείται κατά μήκος ενός άκαμπτου άξονα με κλίση 45°. Ο άξονας είναι δεμένος σε

ένα μόνο σημείο επαφής με τη στερεωμένη στον πυθμένα βάση, έτσι ώστε να επιτρέπει στη συσκευή να περιστρέφεται ελεύθερα ώστε να αυτό-προσδιορίζεται προς την κατεύθυνση των θαλάσσιων κυμάτων. Το WET EnGen™ παράγει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια, και κατά την ανύψωση αλλά και κατά την πτώση των κυμάτων. Σε σχέση με άλλες συσκευές κυματικής ενέργειας υπό ανάπτυξη, οι δοκιμές μέχρι και σήμερα υποδηλώνουν ότι το WET EnGen™ έχει σημαντικά μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση μετατροπής. Έχει χαμηλότερο κόστος ανά kW εγκατεστημένης ισχύος, χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης και είναι οικονομικά αποδοτικό ακόμα και σε σχετικά ήπια κυματικά κλίματα (15 kW/m). Επίσης έχει χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης και σέρβις, κυρίως λόγω της απλής κατασκευής του που περιλαμβάνει ελάχιστα κινούμενα τμήματα, ενώ η εγκατάσταση και απόσυρση του από τη θάλασσα είναι ταχύτατη και εύκολη. Ο απλός και μοναδικός σχεδιασμός του WET EnGen™ έχει αποδείξει, τόσο στο εργαστήριο όσο και σε δοκιμές στην ανοιχτή θάλασσα, ότι μπορεί να παράγει ωφέλιμη ενέργεια από τα κύματα της θάλασσας με κόστος ήδη συγκρίσιμο με άλλες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ή ο άνθρακας, ιδιαίτερα σε απομονωμένες περιοχές εκτός δικτύου όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται αποκλειστικά από ντίζελ ή άλλα υγρά καύσιμα.



Εικόνα 2.17. Μετατροπέας WET EnGen™

2.3.8. CES (Combined Energy System)

Η αμερικάνικη εταιρία Ocean Motion International (OMI) ανέπτυξε μια τεχνολογία που δεν εξαρτάται από εξωτερικές πηγές καυσίμου για την χαμηλού κόστους παραγωγή νερού, ηλεκτρισμού και αέριου υδρογόνου χωρίς επιβλαβείς εκπομπές στο περιβάλλον. Το Συνδυασμένο Σύστημα Ενέργειας (CES) αποτελείται από 4 βασικά τμήματα, τα οποία είναι η αντλία κυμάτων θαλασσινού νερού, η υδροστροβιλική ηλεκτρική γεννήτρια, η μονάδα φιλτραρίσματος αντίστροφης όσμωσης και η μονάδα παραγωγής υδρογόνου μέσω

ηλεκτρόλυσης. Το OMI CES έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί σε μια μεγάλη πλατφόρμα που επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας, που είναι ουσιαστικά μια τροποποιημένη τυπική διατρητική μονάδα ανοιχτής θαλάσσης

Η αντλία κυμάτων περιγράφεται τεχνικά ως μία συσκευή μετατροπής της ενέργειας των κυμάτων τύπου μετατόπισης μάζας. Η πατενταρισμένη αντλία θαλασσινού νερού Refa, που αποτελεί το βασικότερο κομμάτι του CES, είναι μια καινοτόμα τεχνολογία που χρησιμοποιεί πολύ λίγα και απλά κινούμενα τμήματα για ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης και μειωμένη φθορά. Αυτή η επαναστατική αντλία θετικής μετατόπισης είναι σχεδιασμένη για να παράγει πολύ μεγάλους όγκους νερού υψηλής πίεσης με το να κινείται από ένα αναπόσπαστο πλωτό σώμα (σημαδούρα), που ταλαντώνεται κατακόρυφα με τη φυσική κίνηση των θαλάσσιων κυμάτων.

2.3.9. Trotman Unit

Το Trotman Unit είναι ένας μετατροπέας της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων, που εφευρέθηκε από τον Andrew Trotman και βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού. Πρόκειται για μια συσκευή σημειακής απορρόφησης της κυματικής ενέργειας, που έχει σχεδιαστεί για εγκατάσταση στην στεριά δίπλα σε μια παραλιακή τοποθεσία που θα χρησιμοποιηθεί ως βάση για μια κατώτερη δεξαμενή αποθήκευσης σε υψόμετρο 12 m από τη στάθμη της θάλασσας και για μία ανώτερη δεξαμενή αποθήκευσης σε υψόμετρο 70 m. Όλο το σύστημα έχει σχεδιαστεί για σύνδεση με το δίκτυο και συγκεκριμένα για την κάλυψη του φορτίου αιχμής κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης.

Το σύστημα εκμεταλλεύεται την αποθήκευση του αντλούμενου θαλασσινού νερού κατά την περίοδο την οποία δεν έχουμε υψηλή ζήτηση ισχύος. Έτσι με τη συνδυασμένη αυτή εγκατάσταση εξασφαλίζεται η παραγωγή 5 MW ηλεκτρικής ενέργειας για δύο ώρες κάθε μέρα κατά τη περίοδο μέγιστης ζήτησης. Η «φάρμα» εγκατάστασης των μετατροπέων σημειακής απορρόφησης της κυματικής ενέργειας βρίσκεται απλωμένη στη θάλασσα, κοντά στη κατώτερη δεξαμενή αποθήκευσης, σε βάθος περίπου 30 m και σε τοποθεσία που ευνοεί την ελεύθερη κίνηση των κυμάτων.

Οι μετατροπείς εκμεταλλεζόμενοι την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων, αντλούν θαλασσινό νερό στην ακτή και συγκεκριμένα στη κατώτερη δεξαμενή αποθήκευσης στα 12 m ύψος. Μόλις γεμίσει η κατώτερη δεξαμενή, αδειάζει πάλι πίσω στη θάλασσα θέτοντας σε κίνηση μια ειδική στρόβιλο-αντλία που με τη σειρά της τροφοδοτεί με θαλασσινό νερό κατευθείαν

από τη θάλασσα, την ανώτερη δεξαμενή αποθήκευσης στα 70 m ύψος. Επιπροσθέτως, και για περίπου 7 ώρες τη μέρα (ίσως και περισσότερες αν η έξοδος των μετατροπέων απορρόφησης είναι χαμηλή) κατά τη περίοδο εκτός φορτίου αιχμής, μια εφεδρική αντλία των 750 kW τροφοδοτεί την ανώτερη δεξαμενή αποθήκευσης κατευθείαν από τη θάλασσα. Σε επιλεγμένες περιόδους υψηλής ζήτησης, και για 2 ώρες συνολικά κάθε μέρα, η ανώτερη δεξαμενή αδειάζει στη κατώτερη δεξαμενή κινώντας έναν υδροηλεκτρικό στρόβιλο με έξοδο 5 MW στο δίκτυο. Αν υπάρχει η δυνατότητα και αν το επιτρέπει η μορφολογία της τοποθεσίας εγκατάστασης, οποιαδήποτε φυσική πηγή νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει τη κατώτερη δεξαμενή.

Όσον αφορά την ικανότητα επιβίωσης του συστήματος Trotman Unit σε περίπτωση ακραίων καιρικών συνθηκών, αυτό είναι ασφαλές λόγω του ότι ένα μεγάλο τμήμα του είναι βυθισμένο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και αντιδρά ως αυτό-απορροφητής στα επικίνδυνα τραντάγματα που ενδεχομένως να δεχτεί. Επίσης, τα διάφορα τμήματα θα μπορούν να αποσυνδεθούν εύκολα και γρήγορα, είτε για σέρβις στη στεριά ή στην περίπτωση κάποιας προβλεπόμενης έντονης καταιγίδας. Οι στρόβιλοι θα εγκατασταθούν έξω από τη θάλασσα για λόγους επιβίωσης και εύκολης συντήρησης. Το σύνολο της περιοχής των εγκατεστημένων αντλιών έχει μικρή έκθεση στην επιφάνεια της θάλασσας και με κάποιες διακριτικές εργασίες στην ακτή θα έχει ελάχιστες περιβαλλοντικές συνέπειες. Μια πιθανή διαρροή του συστήματος δεν θα οδηγεί σε μόλυνση του περιβάλλοντος και η τοποθέτηση των αντλιών μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στη διάβρωση της ακτής από τα θαλάσσια κύματα. Το όλο σύστημα των αντλιών είναι χαμηλής τεχνολογίας, κατασκευασμένο κυρίως από μοντέρνα είδη πλαστικού, και είναι ανακυκλώσιμο. Κάποιες δοκιμαστικές αντλίες κατασκευάστηκαν από την αγγλική εταιρία Bridge of Brown Crafts (Μανάλης, 2012).

2.3.10. The Waveberg

Το Waveberg™ είναι ένα αρθρωτό σύστημα συνδεδεμένων πλωτών σωμάτων που λυγίζουν καθώς τα κύματα περνάνε από κάτω τους, χρησιμοποιώντας αυτή τη κίνηση κάμψης για την άντληση θαλασσινού νερού. Στη συνέχεια το νερό υπό υψηλή πίεση μεταφέρεται από το Waveberg™ στη στεριά μέσω ενός συστήματος σωληνώσεων, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα βασικά υλικά κατασκευής του είναι πλαστικό και φάϊμπεργκλας, λόγω της αντοχής, της αντιδιαβρωτικής δράσης, του χαμηλού κόστους και της ευκολίας κατασκευής τους.



Εικόνα 2.18. Μοντέλο Waveberg

Μια τυπική συσκευή Waveberg παράγει περισσότερο από 100 kW ηλεκτρικής ενέργειας υπό φυσιολογικές συνθήκες, ενώ η έξοδος διπλασιάζεται κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων. Έχει 50 m μήκος και κοστίζει περίπου 70.000€ για να κατασκευαστεί σε εργοστάσιο. Κατά τη διάρκεια της συνηθισμένης λειτουργίας της, 24 ώρες τη μέρα, κάθε μέρα, παράγει ένα ενεργειακό ισοδύναμο δύο βαρελιών πετρελαίου τη μέρα (Μανάλης, 2012).

2.3.11.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 ρηγά νερά έχουν ευκολότερη πρόσβαση και εκεί δεν εμφανίζονται τα επικίνδυνα μεγάλα κύματα που συναντάμε στην ανοιχτή θάλασσα. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αιχμής της κάθε μονάδας Oyster™ είναι μεταξύ 300 και 600 kW 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 6 MW ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 2.19. Μετατροπείς Oyster™ φυσικής κλίμακας στο βυθό της θάλασσας.

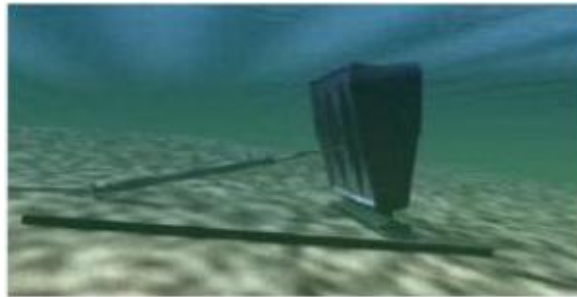
Η αρχή λειτουργίας του μετατροπέα Oyster™ είναι απλή. Η συσκευή αποτελείται από ένα είδος πτερυγίου ταλάντωσης εγκατεστημένο στον πυθμένα της θάλασσας σε βάθος 12 m. Αυτή η συσκευή αποσπά την ενέργεια των διερχόμενων θαλάσσιων κυμάτων και τη διαβιβάζει ως υδραυλική ισχύ θαλασσινού νερού σε μία υδροηλεκτρική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

Η συσκευή αποτελείται βασικά από μια μικρή βάση που σταθεροποιείται στο βυθό της θάλασσας και από το πτερύγιο ταλάντωσης με τις αντλίες εμβόλου. Το αποτύπωμα 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. Τέλος, το Oyster™ έχει σχεδιαστεί για να είναι μια αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική πηγή ηλεκτρισμού (Μανάλης, 2012).

2.3.12. WaveRoller

Το WaveRoller της φινλανδικής εταιρίας AW-Energy Oy συλλαμβάνει την κινητική ενέργεια χρησιμοποιώντας ένα ειδικά σχεδιασμένο κινούμενο πτερύγιο, εγκατεστημένο στον πυθμένα της θάλασσας. Αυτή η ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό με τη χρήση παραδοσιακών τεχνολογιών. Η συσκευή WaveRoller αποτελείται από ένα ειδικό πτερύγιο εγκατεστημένο στον πυθμένα της θάλασσας. Η μπρος-πίσω κίνηση των θαλάσσιων κυμάτων στον βυθό κινούν το πτερύγιο και η κινητική ενέργεια που παράγεται συλλέγεται από μία αντλία

εμβόλου. Αυτή η ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό με τη βοήθεια ενός κλειστού υδραυλικού συστήματος σε συνδυασμό με ένα σύστημα κινητήρα-γεννήτριας.



Εικόνα 2.20. WaveRoller μεταροπέας

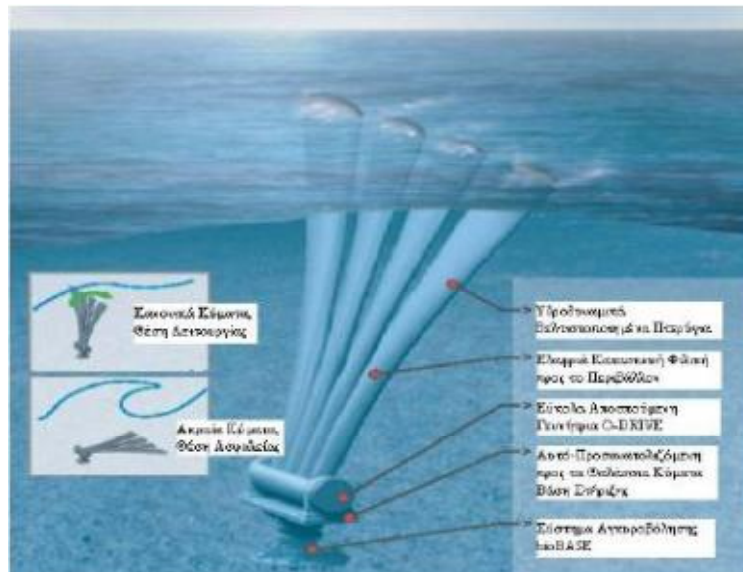
Όσον αφορά την τοποθεσία της εγκατάστασης, ο σχεδιασμός του WaveRoller είναι κατάλληλος για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ευρύτερο φάσμα κυματικών συνθηκών σε σύγκριση με άλλες υπάρχουσες τεχνολογίες ενέργειας κυμάτων. Το WaveRoller λειτουργεί πολύ καλά σε τοποθεσίες όπου οι περίοδοι των κυμάτων είναι μεγάλες και το φούσκωμα της θάλασσας έντονο (Μανάλης, 2012).

2.3.13. bioWAVE

Το bioWAVE™ της αυστραλιανής εταιρίας BioPower Systems Pty Ltd είναι ένας μετατροπέας της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων σε ωφέλιμο ηλεκτρισμό. Η παλλόμενη κίνηση της συσκευής και οι μηχανισμοί επιβίωσης της εμπνεύστηκαν από τις λειτουργίες κάποιων ειδών θαλάσσιων φυτών που ζουν στον ωκεανό και έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα στις συνθήκες που επικρατούν εκεί. Έτσι η τεχνολογία του bioWAVE™ επωφελείται από κάποια εξελιγμένα κληρονομικά φυσικά χαρακτηριστικά των οποίων η αποτελεσματικότητα έχει αποδειχθεί από την ίδια τη φύση. 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.

Το σύστημα bioWAVE™ μετατρέπει την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων σε μηχανική ενέργεια μέσω της ταλάντωσης γύρω από έναν άξονα. Για τη μετατροπή αυτών των ταλαντώσεων χαμηλής ταχύτητας και μεγάλης ροπής σε ισχύ AC, αναπτύχθηκε μια ειδική ηλεκτρική γεννήτρια που ονομάζεται O-DRIVE™. Αυτή είναι αρθρωτή και μπορεί εύκολα να αποσυνδεθεί και να επανασυνδεθεί σε περίπτωση που χρειάζεται επισκευή. Η γεννήτρια O-

DRIVE™ συνδυάζει ένα απλό παλινδρομικό μηχανισμό με μια σύγχρονη γεννήτρια μόνιμων μαγνητών και ένα τροχό υψηλής αδράνειας, με αποτέλεσμα την αδιάλειπτη παραγωγή εξομαλυσμένης AC ισχύος. 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 (Μανάλης, 2012).



Εικόνα 2.21. Σύστημα bioWAVE

2.3.14. MAWEC

Η εταιρία LEANCON Wave Energy ανέπτυξε έναν Πολλαπλά Απορροφητικό Μετατροπέα Ενέργειας Κυμάτων (Multi Absorbing Wave Energy Converter) που διαφοροποιείται από άλλους μετατροπέες, καθώς χρησιμοποιεί απορροφητικές δυνάμεις για να συγκρατηθεί στη θέση του. Το MAWEC είναι ένας μετατροπέας ανοιχτής θαλάσσης που χρησιμοποιεί έναν ειδικά σχεδιασμένο στρόβιλο μετατόπισης ως PTO (Power Take-Off), αλλά και ένας παραδοσιακός αεροστρόβιλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η βασική αρχή λειτουργίας του MAWEC σχετίζεται με την ταυτόχρονη χρήση πίεσης και απορρόφησης που έχει ως επιθυμητό αποτέλεσμα η κάθετη δύναμη στο μετατροπέα να είναι μηδενική όταν ο μετατροπέας εκτείνεται πάνω από περισσότερα από ένα μήκος κύματος (Μανάλης, 2012).

2.3.15. Oceanlinx

Η συσκευή Oceanlinx της Αυστραλιανής εταιρίας Oceanlinx Limited, έχει σχεδιαστεί για να αποσπά την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων και να την μετατρέπει είτε σε ηλεκτρισμό ή να χρησιμοποιεί αυτή την ενέργεια για να παράγει αφαλατωμένο γλυκό νερό από το θαλασσινό. Καθώς αυτή η ενέργεια περνάει από τη συσκευή Oceanlinx, το νερό μέσα στο OWC (ένας θάλαμος που είναι ανοιχτός κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας) ανεβοκατεβαίνει συμπιέζοντας και μετατοπίζοντας τον αέρα μέσα στο θάλαμο, οδηγώντας τον μέσα από ένα στρόβιλο που στεγάζεται στο στενότερο και ψηλότερο σημείο του θαλάμου. Επειδή ο θάλαμος OWC στενεύει (έχει κωνοειδές σχήμα), ο αέρας επιταχύνεται στη μέγιστη ταχύτητα του καθώς διέρχεται μέσα από τον στρόβιλο, επιτρέποντας τη μέγιστη απόσπαση της ενέργειας από τη θάλασσα (Μανάλης, 2012).



Εικόνα 2.22. Μονάδα Oceanlinx

2.3.16. Sperboy

Πρόκειται για έναν πλωτό μετατροπέα 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 με 19 Km από την ακτή και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα και με ανταγωνιστικό κόστος. Λόγω των ελάχιστων 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 (Μανάλης, 2012).

Κεφάλαιο 3 – Παρούσα και μελλοντική διάσταση της κυματικής ενέργειας

3.1. Δυσκολίες και προοπτικές

Παρά την εξαιρετική ευρηματικότητα και το μεγάλο αριθμό των εναλλακτικών λύσεων και προτάσεων, είναι γεγονός ότι σε σύγκριση με άλλες ΑΠΕ, παρατηρείται σημαντική χρονική υστέρηση στην ανάπτυξη και εγκατάσταση των εφαρμογών κυματικής ενέργειας σε βιομηχανική κλίμακα, ώστε να καταστεί δυνατή η προώθηση και διείσδυσή της στην ευρωπαϊκή και παγκόσμια αγορά. Βασικές αιτίες που οι διαθέσιμες τεχνολογίες δεν έχουν φτάσει ακόμα σε εμπορικά ώριμη μορφή είναι κατά σειρά προτεραιότητας οι εξής (HELMERA, 2012):

- οι σκληρές και αφιλόξενες συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος, που συχνά επιβάλλουν πολύ μεγάλες φορτίσεις, εμποδίζοντας τη σωστή και αποδοτική λειτουργία και, σε ακραίες άλλα όχι απίθανες περιπτώσεις, απειλώντας την ίδια την ακεραιότητα των κατασκευών.
- η μεγάλη χωρική διασπορά του κυματικού δυναμικού και η σημαντική του μείωση κοντά στις ακτές, με αποτέλεσμα την ανάγκη ανάπτυξης ενός εκτεταμένου μεταφορικού και αποθηκευτικού δικτύου για τη διασύνδεση παραγωγής και κατανάλωσης.
- η τυχαία φύση των κυματισμών ως προς τη διεύθυνση, το ύψος και τη συχνότητα και η εκθετική μείωση της ενέργειάς τους με το βάθος, που ελαττώνουν την απόδοση σε ωφέλιμο έργο.

Οι δυσκολίες αυτές δεν έχουν πάντως αποθαρρύνει το επιχειρηματικό, επενδυτικό και πολιτικό ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας, η οποία σύμφωνα με μελέτες είναι απόλυτα εφικτό σε πρώτη φάση να καλύψει το 0,3% της ζήτησης ηλεκτρισμού στην Ευρώπη μέχρι το 2020, με προοπτική η συνεισφορά της να ανέλθει σταδιακά στο 15% μέχρι το 2050.

3.2. Ισχύουσα νομοθεσία

Η πρώτη αποδοχή και αναγνώριση του δικαιώματος για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σε εθνικό επίπεδο, έγινε το 1987 με την έκδοση της Υπουργικής Απόφασης: Υ.Α. ΣΕ 2708/17-12-87 ΥΒΕΤ (Τεύχος ΦΕΚ Β' 761)38. Την απόφαση αυτή ακολούθησαν τροποποιήσεις της, επίσης με Υπουργική Απόφαση, το 1995 για την διαμόρφωση τιμολογίου και των όρων διασύνδεσης, το 1996, το 1998, και το 1999 αναφορικά με την εγκατάσταση σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με τη χρήση ΑΠΕ

Το 1994 εκδόθηκε ο νόμος Ν. 2244/94 (ΦΕΚ Α' 168/07-10-94), ο οποίος ρύθμιζε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Ο νόμος αυτός, ακολουθώντας τα μέτρα και διατάξεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης για αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο, επιχείρησε να προσφέρει ισχυρά οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη ΑΠΕ στη Ελλάδα. Σημαντικό σημείο της διάταξης αυτής είναι τα ισχυρά κίνητρα, τα οποία προσφέρονται σε ιδιώτες με την υποχρέωση στη ΔΕΗ να αγοράζει ενέργεια από ανεξάρτητους παραγωγούς σε ελκυστικές και σταθερές τιμές για ηλεκτροπαραγωγούς με ΑΠΕ, χρησιμοποιώντας μακροχρόνια συμβόλαια (10 ετών). Με τον νόμο 2647/98 (ΦΕΚ Α' 237/22-10/98) μεταβιβάζεται η αρμοδιότητα για την χορήγηση άδειας εγκατάστασης, λειτουργίας και επέκτασης σταθμών ΑΠΕ από το Υπουργείο Ανάπτυξης στην Περιφέρεια.

Με τον νόμο 2773/99 (ΦΕΚ Α' 286/22-12-99) προβλέπεται η σύσταση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας, ως διοικητική αρχή η οποία θα είχε την εποπτεία του Διαχειριστή Ηλεκτρικού Συστήματος, καθώς και την απελευθέρωση της παραγωγής και εκμετάλλευσης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Το 2001 με τον νόμο 2941/01 (ΦΕΚ Α' 201/12-09-01) απλοποιείται η διαδικασία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.

Οι νόμοι 3468/06 (ΦΕΚ Α' 129/27-06-06) και 3851/10 (ΦΕΚ Α' 85/4-6-10) εφαρμόζουν οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, όπου προωθείται η παραγωγή και επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και όπου τέθηκαν οι εθνικοί στόχοι για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Σημαντικό σημείο, επίσης, είναι η ρύθμιση της τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ.

Σύμφωνα με τον νόμο Ν.3468/2006, αρθ.2, §§2, 19-22 μεταξύ των ΑΠΕ αναγνωρίζεται και η κυματική και η παλιρροϊκή ενέργεια. Ωστόσο, το Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο το οποίο

αναφέρεται σε ΑΠΕ το οποίο δημοσιεύθηκε το 2008, δεν περιλαμβάνει τα έργα θαλάσσιας ενέργειας.

Όσον αφορά την Κοινοτική νομοθεσία, ακολούθησε μια σειρά οδηγιών από την Κομισιόν από το 1996. Η Πράσινη και Λευκή Βίβλος (1996 & 1997) θέτουν τους στόχους για την προώθηση και ανάπτυξη των ΑΠΕ για την αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στην ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2020. Όπως έχει προαναφερθεί ο στόχος για την αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στην εγχώρια κατανάλωση ενέργειας έχει τεθεί στο 20%.

Το 2011 εκδόθηκε Communication της Κομισιόν, Horizon 2020, η οποία θέτει στρατηγικούς στόχους για την Έρευνα και Καινοτομία συμπεριλαμβανομένης της θαλάσσιας ενέργειας. Σημαντικότερο κείμενο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την θαλάσσια και κυματική ενέργεια είναι το “2012 Communication on Renewable Energy”, το οποίο προτρέπει τα κράτη μέλη να θέσουν προτεραιότητα στην ανάπτυξη της έρευνας στην θαλάσσια ενέργεια. Επίσης, στο “2012 Communication on Blue Growth”, προωθείται η εκμετάλλευση των θαλάσσιων πόρων με φιλικά προς το περιβάλλον τεχνολογίες, στις οποίες συμπεριλαμβάνεται η θαλάσσια ενέργεια (Αναγνωστοπούλου Μ.).

3.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας θεωρούνται σε γενικές γραμμές περιβαλλοντικά φιλικές, δεν είναι δυνατή στην παρούσα φάση η πρόβλεψη και εκτίμηση όλων των πιθανών επιπτώσεων από την εγκατάσταση και λειτουργία τους σε βιομηχανική κλίμακα. Η χωροθέτηση των μελλοντικών πάρκων κυματικής ενέργειας πρέπει να σχεδιαστεί με ιδιαίτερη προσοχή, προκειμένου η ανάπτυξη των εφαρμογών αυτών να είναι συμβατή με τις λοιπές χρήσεις του θαλάσσιου χώρου, ιδίως του παράκτιου, και συγχρόνως να περιοριστούν στον ελάχιστο βαθμό οι πιθανές αρνητικές συνέπειες για τα θαλάσσια οικοσυστήματα (HELMERPA, 2012).

Δεδομένου ότι πρόκειται για νέες τεχνολογίες, τα διαθέσιμα δεδομένα είναι ακόμα ελάχιστα, γεγονός που καθιστά αναγκαίες τις αναλυτικές μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, με κριτήρια εξειδικευμένα κατά περίπτωση, αφού οι πιθανές επιδράσεις στα θαλάσσια οικοσυστήματα και είδη ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο και μέγεθος της μονάδας και τα οικολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων (HELMERPA, 2012):

- Τροποποίηση των θαλάσσιων ρευμάτων
- Καταστροφή ενδιαιτημάτων, ιδίως στη φάση κατασκευής, και επιδράσεις στα βενθικά οικοσυστήματα
- Κίνδυνο συγκρούσεων, ιδίως για τις πλωτές δομές
- Ηχορύπανση, κυρίως κατά την κατασκευή και δευτερευόντως κατά την λειτουργία
- Ηλεκτρομαγνητικά πεδία, τόσο από τις ίδιες τις μηχανές όσο και από τα υποβρύχια καλώδια, που μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά οργανισμούς ευαίσθητους στα ηλεκτρικά φορτία όπως θαλάσσια θηλαστικά, χελώνες και ορισμένα είδη ψαριών.

Εν κατακλείδι, οι περιβαλλοντικές αλληλεπιδράσεις των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας είναι περιορισμένες, υπό την προϋπόθεση ότι η επιλογή θέσης γίνεται με σύνεση και η ανάπτυξη σε ευαίσθητες τοποθεσίες διέπεται από ελεγχόμενη πολιτική προγραμματισμού. Ο θόρυβος μπορεί να είναι μια δυνητικά αρνητική αλληλεπίδραση σε περιοχές όπου υπάρχουν κήτη, αλλά ακόμα δεν υπάρχουν αποδείξεις γι' αυτό και είναι κάτι που χρειάζεται να μελετηθεί περαιτέρω. Πάρχουν κι άλλες επιπτώσεις που οφείλονται στη χρήση ηλεκτρικών καλωδίων και στα συστήματα λειτουργίας και αγκύστρωσης, όμως η διαχείρισή τους είναι εύκολη. Η πλέον προβληματική αλληλεπίδραση μπορεί να είναι η χρήση του ωκεάνιου χώρου, που μπορεί να ανταγωνίζεται τους τομείς αλιείας και εμπορικής ναυτιλίας. Η οπτική αλληλεπίδραση μπορεί να είναι σημαντική στην περίπτωση των επάκτιων ή παράκτιων συσκευών, αλλά αυτοί οι τύποι συσκευών αναμένεται να συμβάλλουν μόνο οριακά στην εκμετάλλευση των πόρων. Ένα δυνητικά ισχυρό επιχείρημα υπέρ των συνεργιών της κυματικής ενέργειας και της αλιείας είναι ότι μία από τις παρενέργειες των μεγάλων πάρκων κυματικής ενέργειας, τα οποία συνήθως θα είναι κλειστά στην εμπορική ναυτιλία για αρκετά τετραγωνικά km, θα είναι καταφύγια αναπαραγωγής (Aquaret, 2015).

3.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την παραγωγή ενέργειας μέσω των θαλάσσιων κυμάτων

Πλεονεκτήματα:

- Η ενέργεια είναι δωρεάν καθώς δεν χρησιμοποιείται κανένα είδος καύσιμης ύλης.

- Δεν είναι ακριβή η λειτουργία και η συντήρηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας μέσω των θαλάσσιων κυμάτων
- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον καθώς κατά τη λειτουργία της μονάδας δεν παράγονται απόβλητα
- Δίνεται η δυνατότητα παράγωγης ενός μεγάλου ποσού ενέργειας
- Αποθέματα της πρώτης ύλης (νερό) υπάρχουν σε αφθονία σε παγκόσμια κλίμακα μιας και υδάτινο είναι το 75% της επιφάνειας του πλανήτη μας
- Προστατεύουν την ακτή στην οποία βρίσκονται, πράγμα πολύ χρήσιμο σε λιμάνια
- Δεν δημιουργούν προβλήματα στις μετακινήσεις των ψαριών (εκτός από τα παλιρροϊκά φράγματα)
- Η κατασκευή τέτοιων εγκαταστάσεων έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία προστατευμένων υδάτινων περιοχών οι οποίες είναι ελκυστικές για διάφορα είδη ψαριών και υδρόβιων πουλιών.

Μειονεκτήματα:

- Η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από τη δύναμη των κυμάτων, όπου άλλες φορές παίρνουμε μεγάλα πόσα ενέργειας και άλλες φορές μηδενικά. Αντίστοιχα στη παλίρροια εξαρτάται από την κίνηση των υδάτων
- Απαιτείται προσεκτική επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης της μονάδας καθώς θα πρέπει στη πρώτη περίπτωση να έχουμε δυνατά κύματα ενώ στη δεύτερη θα πρέπει να εμφανίζονται τα φαινόμενα της παλίρροιας και της άμπωτης
- Πολλές από τις εγκαταστάσεις είναι θορυβώδης
- Οι εγκαταστάσεις πρέπει να κατασκευάζονται με ειδικό τρόπο ώστε να αντέχουν στις δύσκολες καιρικές συνθήκες που θα αντιμετωπίσουν
- Το κόστος μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας στη στεριά είναι πολύ υψηλό.

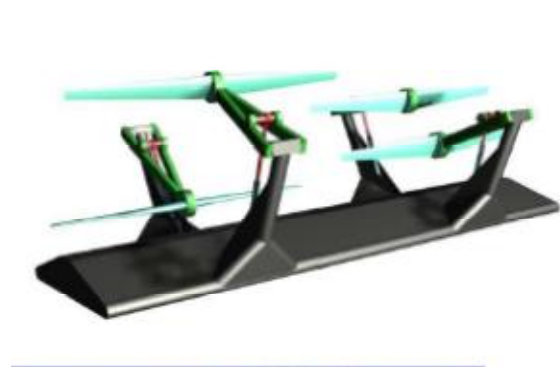
3.5. Επιδεκτικά έργα θαλάσσιας ενέργειας (Παναγιωτόπουλος, 2015)

Έργο: Pulse Stream 1200

- Συντονιστής: **IT Power**
- 1.2 MW πρωτότυπο παλιρροιακής ενέργειας με παλινδρομούντα πτερύγια αξιοποίησης θαλάσσιου παλιρροιακού ρεύματος
- Εγκατάσταση: Ηνωμένο Βασίλειο

Επιλέξιμο Κόστος: 13.9 Μ€

Υποστήριξη: 8.0 Μ€



Εικόνα 3.1: Επιδεικτικό έργο Pulse Stream 1200

Έργο: WavePort

- Συντονιστής: **UK Intelligent Systems Research Institute**
- 600kW Σημειακός απολήπτης (point absorber)
- Εγκατάσταση Ισπανία

Επιλέξιμο κόστος: 7.9 Μ€

Υποστήριξη: 4.6 Μ€



Εικόνα 3.2: Επιδεικτικό έργο WavePort

Έργο: Standpoint

- Συντονιστής: Wavebob
- 600kW Σημειακός απολήπτης (point absorber)
- Εγκατάσταση στην Πορτογαλία

Επιλέξιμο κόστος: 8.5 Μ€

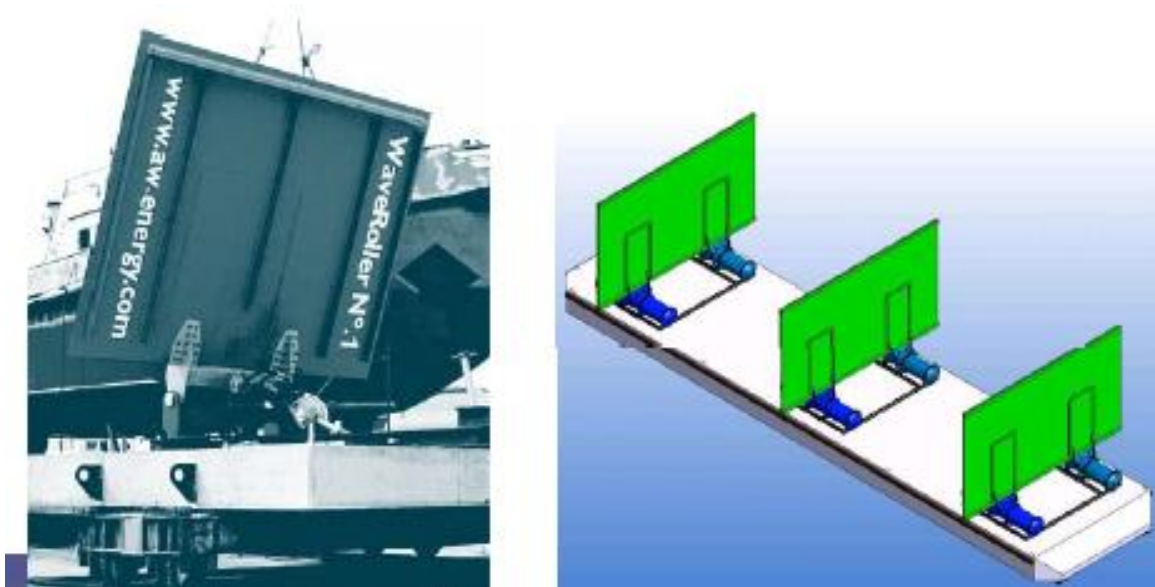
Υποστήριξη: 5.1 Μ€

Έργο: SURGE

- 300 kW Ημβυθισμένος μετατροπέας οριζόντιας παλινδρόμησης
- Συντονιστής: **AW-EnergyOy**
- Εγκατάσταση στην Πορτογαλία

Επιλέξιμο κόστος: 5.7 Μ€

Υποστήριξη: 3.0 Μ€



Εικόνα 3.3: Επιδεικτικό έργο SURGE

3.6. Μελλοντική ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας (AQUARET, 2015)

Η μελλοντική ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας θα μπορούσε να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες όπως:

- Διαθεσιμότητα χρηματοδότησης της τεχνολογίας και των έργων, περιλαμβανομένης και της κρατικής υποστήριξης.
- Κίνδυνοι και δυναμικό της τεχνολογίας στην επιδίωξη για την εμπορική εκμετάλλευση των σχεδιάσεων.
- Προσέγγιση για τη διαχείριση του κινδύνου κατά την αναπτυξιακή διαδικασία.
- Διαθεσιμότητα σύνδεσης στο δίκτυο.
- Δυνατότητα του δικτύου ως προς την αποδοχή ακανόνιστων πηγών.
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες και καθυστερήσεις στις διαδικασίες αδειοδότησης.

Η Ευρώπη θα μπορούσε να έχει εγκατεστημένη ισχύ αρκετών GW μέχρι το 2020. Το Carbon Trust (2006) έχει εκτιμήσει ότι η τιμή αυτή θα είναι μεταξύ 1 GW και 2,5 GW, σε σύγκριση με την ανάπτυξη του τομέα αιολικής ενέργειας κατά τη δεκαετία του 1980. Το συνολικό κεφάλαιο που θα επενδυθεί σ' αυτό το στάδιο εκτιμάται ότι θα ανέλθει στα 1,5 έως 3,75 δις €

Μετά το 2020 αναμένεται ταχύτερη ανάπτυξη, σύμφωνα με την κοινή εμπειρία της αγοράς.

Τα πρωτότυπα έχουν φτάσει σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο ωρίμανσης και οι πρώτες τεχνολογίες πρέπει να αποδείξουν ότι είναι σε θέση να παράγουν μακροπρόθεσμα ηλεκτρική ενέργεια σε ανταγωνιστική βάση. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό οι προσεχείς πρωτότυπες συσκευές και τα μικρά πάρκα να επιδείξουν καλύτερη αξιοπιστία και βιωσιμότητα απ' ό,τι τα προηγούμενα συστήματα που χαρακτηρίζονταν από έντονη ακαδημαϊκή υποστήριξη, τα οποία συνήθως είχαν πολύ καλό σχεδιασμό από άποψη υδροδυναμικής ή άλλων ειδικών πτυχών, αλλά δεν κατάφεραν να παρουσιάσουν γενικά μια πειστική και εμπορεύσιμη προσέγγιση.

3.7. Συμπεράσματα

Η παραγωγή ενέργειας ανά τον κόσμο, είναι ένα ζήτημα σύνθετο και πολυμορφικό, το οποίο απαιτεί λεπτή και προσεκτική διαχείριση. Περιλαμβάνει πολλές πτυχές και συνδυάζει υψίστης σημασίας παραμέτρους, όπως οικονομικής, περιβαλλοντικής και κοινωνικής φύσεως. Είναι γνωστό σήμερα πως (σχεδόν) όλες οι δραστηριότητες του ανθρώπου, καλύπτονται από την ενέργεια. Αν λάβουμε υπόψη πως αφενός οι ανάγκες για ενέργεια όλο και αυξάνουν, και αφετέρου πως τα αποθέματα των πηγών δεν είναι ανεξάντλητα, τότε καταλαβαίνουμε πως η διαχείριση της ενέργειας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ποιότητα ζωής, και με την ανεξαρτησία μιας κοινωνίας.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν οριστεί ως οι ενεργειακές πηγές οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Αποτελούν την πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί στη χρήση των ορυκτών καυσίμων, είναι πρακτικά ανεξάντλητες και η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών έγινε πιο έντονο την τελευταία δεκαετία μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων. Για πολλές χώρες, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού.

Τα τελευταία χρόνια από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Υπολογίζεται ότι

το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.

Όσον αφορά την κυματική ενέργεια τα τελευταία χρόνια γίνονται ιδιαίτερα σημαντικές προσπάθειες για τη βελτίωση των τεχνολογιών που μπορούν να αυξήσουν την απόδοση αυτών των ενεργειακών συστημάτων. Υπάρχουν όμως πολλά εμπόδια που θα πρέπει να ξεπεραστούν για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας, όπως το αντίξοο περιβάλλον που πρέπει να εγκατασταθεί ο εξοπλισμός και τα ακραία καιρικά φαινόμενα, τα οποία αυξάνουν κατά πολύ το κατασκευαστικό κόστος των συστημάτων εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας.

Επίσης, ένας αποφασιστικός παράγοντας, όσον αφορά την κυματική ενέργεια και πιο συγκεκριμένα την καταλληλότητα της ακτογραμμής, είναι τα βαθυμετρικά της χαρακτηριστικά (π.χ. η κλίση και η μορφή του πυθμένα της). Σε αντίθεση με τα υπεράκτια αιολικά, οι τεχνολογίες κυματικής ενέργειας γενικά δεν έχουν κάποια οπτική επίπτωση στην ακτογραμμή, πράγμα που καθιστούν προτιμότερη την εγκατάσταση πάρκων πλησιέστερα στην ακτή. Αυτό θα σήμαινε σημαντική μείωση του κόστους καλωδιώσεων και εγκατάστασης, ενώ παράλληλα η εποπτεία και η συντήρηση μπορεί να γίνει με αποτελεσματικότερο τρόπο. Το καταλληλότερο εύρος βάθους για τις συσκευές κυματικής ενέργειας είναι τα 50 μέτρα, λαμβάνοντας υπόψη την εξισορρόπηση της διαθέσιμης ενέργειας και των δαπανών προσλιμενισμού καθώς και την απόσταση από τη στεριά.

Περιοχές με οξεία βαθυμετρία (π.χ. απότομη υφαλοκρηπίδα, βαθιά νερά κοντά στην ακτή), όπως για παράδειγμα η Πορτογαλία, έχουν πλεονέκτημα όσον αφορά τις εφαρμογές κυματικής ενέργειας. Οι συνθήκες του βυθού δεν αποτελούν τον κρισιμότερο παράγοντα αφού οι περισσότερες τεχνολογίες είναι πλωτού τύπου. Για τη διέλευση των καλωδίων προς την ακτή, γενικά προτιμούνται οι αμμώδεις πυθμένες. Όσον αφορά τις συνθήκες στη στεριά, είναι σημαντικό ο επίγειος σταθμός ή/και υποσταθμός που παρέχει τη διεπαφή με το χερσαίο δίκτυο να βρίσκεται όσο πιο κοντά γίνεται στις μονάδες παραγωγής, ενώ, εάν είναι πιο μέσα στην ενδοχώρα, το έδαφος και η τοπογραφία να επιτρέπουν την τοποθέτηση των καλωδίων σε λογικό κόστος. Είναι ρεαλιστικό να περιμένει κανείς ότι άλλες ανάγκες σε υποδομές θα αποτελέσουν σημαντικό γεωγραφικό παράγοντα για την υλοποίηση αυτού του τεχνολογικού κλάδου. Σε μερικές περιοχές, η ανάγκη για δημιουργία τοπικής βιομηχανίας θα οδηγήσει την ανάπτυξη, ενώ σε άλλες περιοχές, η ύπαρξη συμπληρωματικών βιομηχανιών (π.χ. ναυπηγεία,

χαλυβουργεία, υπεράκτιες δραστηριότητες, εργολάβοι ναυτιλιακών εργασιών, κλπ.) θα στηρίξει σημαντικά την ανάπτυξη μιας βιομηχανίας κυματικής ενέργειας.

Σε έργα μεγάλης κλίμακας, το σημαντικότερο εμπόδιο θα είναι η δυνατότητα και η διαθεσιμότητα του δικτύου διανομής. Αυτό διότι οι ευνοϊκοί πόροι κυματικής ενέργειας μπορεί να βρίσκονται σε περιοχές με σχετικά αδύνατο δίκτυο, ακόμη και εντός Ευρώπης. Το μέλλον της υλοποίησης της κυματικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα θα καθοριστεί εν μέρει από το βαθμό στον οποίο οι θαλάσσιοι ανανεώσιμοι ενεργειακοί πόροι αποτελούν προτεραιότητα σε διακρατικό επίπεδο. Δεν επαρκεί η επιτυχία στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και, στα πλαίσια μεμονωμένων εθνικών πρωτοβουλιών, η ενσωμάτωση μεγάλης κλίμακας θαλάσσιας ανανεώσιμης ενέργειας στο δίκτυο, αλλά θα χρειαστεί να γίνουν μεγάλες επενδύσεις σε διεθνές επίπεδο στην δικτυακή υποδομή, τόσο επάκτια όσο και υπεράκτια, καθώς και μεταξύ διαφορετικών χωρών (π.χ. το Ευρωπαϊκό Διακρατικό Δίκτυο).

Πέρα όμως από τις διάφορες δυσκολίες και προβλήματα τα οποία εντοπίστηκαν και αναλύθηκαν παραπάνω θα πρέπει να σημειωθεί ότι διεξάγεται έρευνα για την αξιοποίηση της θαλάσσιας ενέργειας σε αρκετές χώρες ανά τον κόσμο. Οι τεχνολογίες μετατροπής και αξιοποίησης της θαλάσσιας ενέργειας δεν έχουν ακόμα εξελιχθεί σε βαθμό που να παράγουν ορατά αποτελέσματα για εμπορική χρήση εξαιτίας των δύσκολων και απρόβλεπτων συνθηκών υπό τις οποίες οι εν λόγω τεχνολογικές μέθοδοι πρέπει να λειτουργήσουν. Ωστόσο, οι πρόσφατες ανακαλύψεις και η πρόοδος φέρνουν αυτές τις τεχνολογίες ολοένα και πιο κοντά στην αγορά.

Συμπερασματικά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι έχουν γίνει σημαντικά βήματα στην ανάπτυξη τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της αξιοποίησης των κυμάτων. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να γίνουν ακόμη πολλές έρευνες για τη βελτίωση της απόδοσης αυτών των συστημάτων και την ελάττωση των μειονεκτημάτων τους.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

1. Αναγνωστοπούλου .Μ <<αξιολόγηση επένδυσης στην κυματική ενέργεια με την μέθοδο της ανάλυσης κόστους οφέλους (οικονομικό πανεπιστήμιο Αθηνών)
2. Γαλάνης Γ., Ζωδιάτης Γ., Hayes D., Νικολαΐδης Α., Γεωργίου Γ., Στυλιανού Σ., Κάλλος Γ., Καλογερή Χ., Chu P.C., Χαραλάμπους Α., Σαββίδου Κ., Μιχαηλίδης Σ.(2012), Το πρόγραμμα EWAVE: Εκτίμηση του θαλάσσιου ενεργειακού δυναμικού στην περιοχή της Κύπρου, 10th Panhellenic Oceanographic and Fisheries Symposium, Athens.
3. Κουρτζής, Χ., (2013), «Αριθμητική μοντελοποίηση και διερεύνηση λειτουργίας και ενεργειακής απόδοσης μη-εμβολοφόρου αντλητικής διάταξης για ανάκτηση κυματικής ενέργειας με σύστημα πλωτήρα και εμβυθισμένου κατακόρυφου σωλήνα», Πτυχιακή εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών.
4. Λεμονής, Γ. (2005), «Κυματική Ενέργεια στην Ευρώπη, Εθνικές Δραστηριότητες και Προοπτικές Αξιοποίησης», ΚΕΡΑ.
5. Μανάλης, Α., (2012), «Κυματική και ωκεάνια ενέργεια, σημερινή πραγματικότητα και μελλοντικές προοπτικές», Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας.
6. Νικητάτος, Ν., (2013), *Η γεωπολιτική των Α.Π.Ε. - Πώς η ηλιοφάνεια, ο άνεμος, τα κύματα αλλά και οι σπάνιες γαίες και η τεχνολογία ετοιμάζουν νέους διεθνείς πρωταθλητές*, Foreign Affairs – The Hellenic Edition.
7. Παναγιωτόπουλος, Μ., (2015), Πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις συστημάτων αξιοποίησης Κυματικής Ενέργειας Προώθηση της εισαγωγής ενέργειας από θαλάσσιο κυματισμό στην Ευρωπαϊκή αγορά Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας – ΚΑΠΕ.
8. ΤΕΕ, (2006), Οι προοπτικές των ΑΠΕ στην Ελλάδα με βάση το νέο θεσμικό πλαίσιο, Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας Θεσσαλονίκης.

9. Τσακαλής Β. και Αθανασούλας Α., (2015), « Ηλεκτρική ενέργεια με θαλάσσια κύματα», ΑΕΙ Πειραιά.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

10. Clement Alain et al., (2006), “Wave Energy in Europe: Current Status and Perspectives”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1(1), pp 413-418.

Ιστοσελίδες

11. AquaBuoy, διαθέσιμο: <http://peswiki.com/index.php/Directory:AquaBuOY> (τελευταία πρόσβαση 30/10/2016).
12. AQUARET, (2006), “Wave - History and Development”, available at: http://www.aquaret.com/index8200.html?option=com_content&view=article&id=132&Itemid=275&lang=en, (last accessed 11/10/2016).
13. AQUARET, (2015), «Κύματα - Περιβαλλοντικές αλληλεπιδράσεις», διαθέσιμο: <http://www.aquaret.com/images/stories/aquaret/pdf/chapter4.pdf>
http://www.aquaret.com/index9bb5.html?option=com_content&view=article&id=149&Itemid=292&lang=el, (τελευταία πρόσβαση 20/10/2016).
14. ΕΠΕΣΠΠΕ, (2013), διαθέσιμο: <http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/energy/html/anan2b.htm>, (τελευταία πρόσβαση 13/10/2016).
15. Econews, (2013), «Παλιρροϊκή ενέργεια: δυνατότητες, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα», διαθέσιμο: <http://www.econews.gr/2013/01/17/palirroiki-energeia-94611/>, (τελευταία πρόσβαση 13/10/2016).
16. Green Energy Plus, (2011), «Τι είναι η κυματική ενέργεια;», διαθέσιμο: http://greenenergyplus.blogspot.gr/2011/11/blog-post_21.html, (τελευταία πρόσβαση 11/10/2016).
17. HELMEPA, (2012), «Δαμάζοντας τα κύματα», διαθέσιμο: <http://www.helmepacadets.gr/files/DamazontasKymata.pdf>, (τελευταία πρόσβαση 11/10/2016).

18. Ocean Power Technologies (OPT) Power Buoy, available at: <http://www.oceanpowertechnologies.com/technology.htm>, (last accessed 1/11/2016).
19. Soukissian, C. , Chronis, TH and Nittis GTh, (1999) POSEIDON: Operational marine monitoring system for greek seas. Sea Technology, 40(7).