

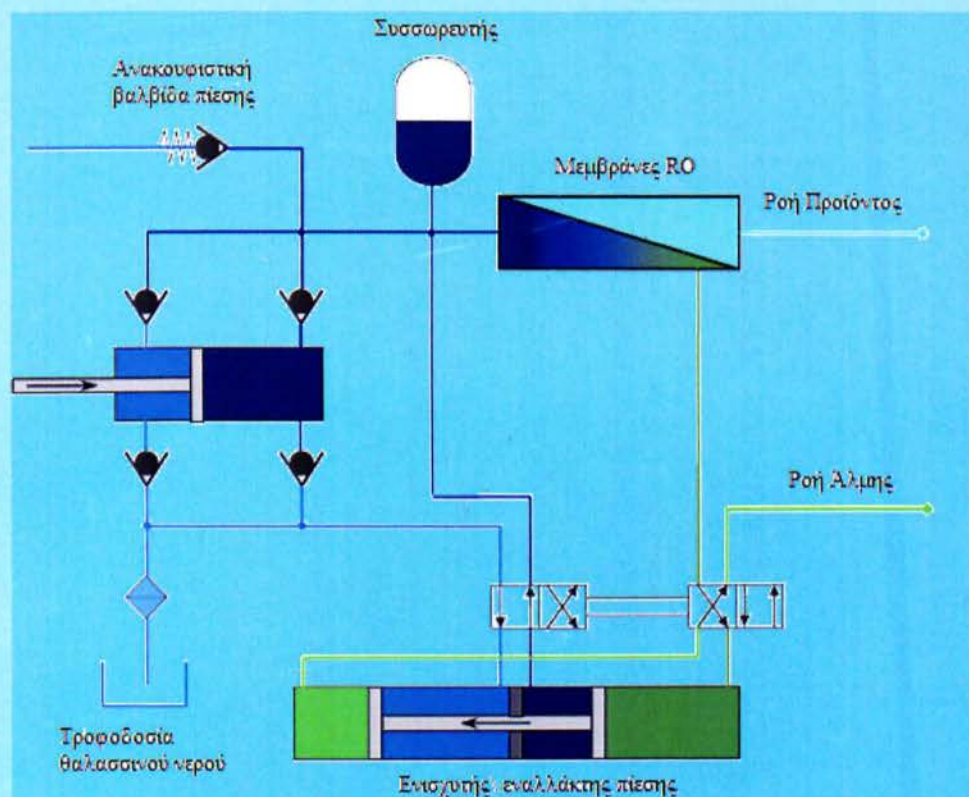
Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



## ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ



ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΤΟΡΒΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΚΟΝΔΥΛΗ ΑΙΜΙΛΙΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

ΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧ/ΤΙΑΣ

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το τέλος της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Αριστοποίησης Παραγωγικών Συστημάτων για την βοήθεια που μου παρείχαν κατά την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Κονδύλη Αιμιλία για την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε δίνοντας μου απλόχερα γνώσεις, πολύτιμες πληροφορίες, κουράγιο και υποστήριξη.

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η πτυχιακή εργασία ασχολείται με μια σχετικά νέα και άγνωστη, στη χώρα μας, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με σημαντικές προοπτικές εκμετάλλευσης στο άμεσο μέλλον σε ολόκληρο τον κόσμο. Ο θαλάσσιος κυματισμός είναι, όπως όλες οι μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, ενώ παρουσιάζει μεταξύ των ΑΠΕ την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Το ενεργειακό δυναμικό στους ωκεανούς του πλανήτη μας θεωρείται τεράστιο, η εκμετάλλευση ενός μικρού μόνο ποσοστού του δυναμικού αυτού θα μπορούσε θεωρητικά να υπερκαλύψει τις ενεργειακές ανάγκες παγκοσμίως. Στόχος της εργασίας είναι η περιγραφή των ειδικών εφαρμογών της κυματικής ενέργειας στην Ευρώπη καθώς επίσης γίνεται και αναφορά στην κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα όπως και στις προοπτικές ανάπτυξης μιας τέτοιας ΑΠΕ στη χώρα μας.

Επίσης, εξετάζεται η τρέχουσα κατάσταση της παγκόσμιας λειψυδρίας, και των διαδικασιών αφαλάτωσης, καθώς και της αποτελεσματικότητάς τους. Δεδομένου ότι αυξάνονται με ταχείς ρυθμούς οι ενεργειακές απαιτήσεις της αφαλάτωσης και η σοβαρότητα των αντίστοιχων εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων, ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να καθορίσει την τρέχουσα ανταγωνιστικότητα στην απόδοση της υψηλής τεχνολογίας αφαλάτωσης και των μη ορυκτών καυσίμων που κινούνται με συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας (ΑΠΕ).

Ακόμα, εξετάζεται η δυνατότητα για ένα αυτόνομο τροφοδοτούμενο με κύμα σύστημα αφαλάτωσης και προσδιορίζεται ότι η περισσότερη ελπιδοφόρος διαμόρφωση είναι εγκαταστάσεις αντίστροφης όσμωσης (RO) που χρησιμοποιούν έναν ενισχυτή λενάλλακτη πίεσης για την ενέργεια αποκατάστασης. Αναπτύσσεται ένα αριθμητικό μοντέλο της συνδυασμένης κυματικής ενέργειας και των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης που δείχνει ότι είναι δυνατό να παρέχει σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης θαλασσινό νερό που διατηρείται σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση άμεσα από τον ενεργειακό μετατροπέα κυμάτων, ο οποίος αποβάλλει το κόστος και τις ενεργειακές απώλειες που συνδέονται με τη μετατροπή της ενέργειας σε ηλεκτρική και πίσω στο διατηρημένο σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση νερό. Προτείνεται ότι η οικονομική δυνατότητα για τροφοδοτούμενη με κύμα αφαλάτωση εξαρτάται από αυτές τις ενέργειες και οικονομίες που αντισταθμίζουν περισσότερο τη μείωση της ζωής των μεμβρανών που εμφανίζονται με μεταβλητούς όρους τροφοδοσίας.

Τέλος, αναπτύσσεται ένα τεchnο-οικονομικό μοντέλο μιας αυτόνομης μονάδας αφαλάτωσης κύματος και δείχνει ότι το φρέσκο νερό μπορεί να παραχθεί για τόσο λίγα χρήματα όπως 0,34 €/m<sup>3</sup>. Τα πλεονεκτήματα μιας αυτόνομης μονάδας αφαλάτωσης κύματος επίσης δείχνουν ότι η πραγματική αξία του συστήματος είναι αυξημένη λόγω της ευελιξίας του για ανάπτυξη και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το οικονομικό μοντέλο της εγκατάστασης χρησιμοποιεί καλύτερα στοιχεία για την εκτίμηση του κόστους που μειώνεται σε ετήσια βάση ώστε να διευκολυνθεί ο υπολογισμός του κόστους του νερού. Τέλος, τα εμπόδια για την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας εξετάζονται, αλλά δεν θεωρούνται ανυπέρβλητα.

**Λέξεις κλειδιά:** Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Κυματική ενέργεια, Εφαρμογές, Τεχνολογίες κυματικής ενέργειας, Προοπτική και ανάπτυξη κυματικής ενέργειας, Αφαλάτωση, Τεχνολογίες αφαλάτωσης, Αφαλάτωση με κυματική ενέργεια, Αυτόνομη εγκατάσταση, Ανάκτηση ενέργειας

## ABSTRACT

This essay deals with a relatively new and unknown in our country, renewable energy source with significant potential for exploitation in the near future in the world. The sea waves are, like all forms of Renewable Energy Sources (RES), an inexhaustible source of energy, and have among the highest renewable energy density. The energy potential in the oceans of our planet is enormous, the only holding a small percentage of this capacity could theoretically override the energy needs worldwide. The aim of this study is to describe specific applications of wave energy in Europe will also be a reference to the situation in Greece as well as the prospects of such renewable energy in our country.

Also reviews the current status of global water scarcity, and desalination processes, as well as their efficiencies. Given rapidly growing desalination energy demands and the seriousness of the associated greenhouse gas emissions, this paper's goal is to determine the current technological competitiveness of high efficiency desalination technologies and non-fossil fuel powered renewable energy system (RES) integration with commercial desalination plants.

The potential for an autonomous wave-powered desalination system is considered and it is identified that the most promising configuration is a reverse osmosis (RO) plant utilizing a pressure exchanger-intensifier for energy recovery. A numerical model of the RO plant with a pressure exchanger-intensifier is developed that shows that a specific energy consumption of less than 2.0 kW h/m<sup>3</sup> over a wide range of sea water feed conditions, making it particularly suitable for use with a variable power source such as wave energy. A numerical model of the combined wave-power and desalination plant is also developed that shows that it is possible to supply the desalination plant with sea-water directly pressurized by the wave energy converter, eliminating the cost and energy losses associated with converting the energy into electricity and back to pressurized water. It is suggested that the economic potential for wave-powered desalination depends on these energy and cost savings more than compensating for the reduction in membrane life that occurs with variable feed conditions.

A techno-economic model of an autonomous wave-powered desalination plant is developed and indicates that fresh water can be produced for as little as 0,34 €/m<sup>3</sup>. The advantages of an autonomous wave-powered desalination plant are also discussed indicating that the real value of the system is enhanced due to its flexibility for deployment and reduced environmental impact. The economic model of the plant uses best-estimate cost data which are reduced to annualized costs to facilitate the calculation of the cost of water. Finally, the barriers to the deployment of this technology are discussed, but they are not considered insurmountable.

### **Keywords:**

**Renewable energy, Wave energy, Applications, Wave energy technologies, Perspective and development of wave energy, Desalination, Desalination technologies, Wave energy desalination, Reverse osmosis, Autonomous, Energy recovery**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ενέργεια από τα κύματα παράγεται από την κίνηση των κυμάτων στην θαλάσσια επιφάνεια που προκαλείται από τους κατά τόπους ανέμους.

Η κυματική ενέργεια αποτελεί μία μη συνηθισμένη χαμηλής συχνότητας πηγή ενέργειας η οποία θα πρέπει να μετατραπεί σε συχνότητα<sup>1</sup> της τάξεως των 60 Hertz πριν ενσωματωθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια πολλά συστήματα έχουν επινοηθεί μόνο ένα μικρό ποσοστό έχει δοκιμαστεί και αξιολογηθεί για την αξιοπιστία τους. Επιπρόσθετα, ελάχιστα από αυτά έχουν δοκιμαστεί στην θάλασσα υπό πραγματικές συνθήκες εξομοίωσης ενώ τα περισσότερα έχουν αξιολογηθεί σε εργαστηριακές δεξαμενές.

Ένα σύστημα κυματικής ενέργειας μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο στον ωκεανό και να παράγει ενέργεια, μπορεί να είναι αγκυρωμένο στο πυθμένα ή πλωτό ανοιχτά της θάλασσας, ή εγκαταστημένο στα παράλια ή στα ριχά νερά. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί επίσης να είναι ολικά βυθισμένο στο νερό ή να είναι τοποθετημένο πάνω από την θαλάσσια επιφάνεια σε μία πλωτή πλατφόρμα. Παρά τις δυνατότητες που παρουσιάζουν τα συστήματα κυματικής ενέργειας τα περισσότερα πρότυπα αυτών έχουν εγκατασταθεί στις ακτές.

Κατά την δεκαετία του '70 μόνο δύο χώρες κατάφεραν να αναδείξουν τις δυνατότητες των συστημάτων κυματικής ενέργειας μέσα από τα ερευνητικά τους προγράμματα, η Ιαπωνία και η Μεγάλη Βρετανία. Οι επίμονες προσπάθειες των ερευνητών τους κατάφεραν να βελτιώσουν την απόδοση παραγωγικότητας των συστημάτων αυτών.

Τα στάδια εξέλιξης των διαφόρων τεχνολογιών ποικίλουν. Για παράδειγμα, μερικές από αυτές έχουν αναπτυχθεί επαρκώς ώστε να προχωρήσουν στο στάδιο της εμπορευματοποίησης, με εγκαταστάσεις πολλών διασυνδεδεμένων μετατροπέων να έχουν προγραμματιστεί για το άμεσο μέλλον, ενώ άλλες βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού ή δοκιμής.

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση της έλλειψης καθαρού νερού και των μη ρυπογόνων ενεργειακών πόρων μπορούν να θεωρηθούν<sup>2</sup> ως οι δύο μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα ο κόσμος. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα του γλυκού νερού εκτιμάται ότι σχετίζεται με το 80% των ασθενειών και το 30% όλων των θανάτων στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού θα μπορούσε να παρέχει φρέσκο νερό για τη μείωση των ασθενειών και θνησιμότητας. Ωστόσο, η τεχνολογία αφαλάτωσης είναι ενεργοβόρα, γεγονός που περιορίζει την εκμετάλλευσή της σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η ενέργεια είναι παρόμοια με το σύντομο ανεφοδιασμό. Η τροφοδοσία των μονάδων αφαλάτωσης με την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθίσταται συνεπώς προφανής λύση και έχει εξεταστεί σε βάθος<sup>3,4</sup>. Ωστόσο, αν και οι εγκαταστάσεις μονάδων αφαλάτωσης κύματος φαίνονται ιδιαίτερα ελκυστικές (διότι οι δύο πρωτογενείς απαιτήσεις, το θαλασσινό νερό και η ενέργεια, οι οποίες διατίθενται στην ίδια θέση) σχετικά, λίγη έρευνα έχει ολοκληρωθεί σε αυτόν τον τομέα.

Πράγματι, αν και πολλές προτάσεις έχουν γίνει για εγκαταστάσεις μονάδων αφαλάτωσης κύματος, σχεδόν όμως όλες με ανεπαρκείς τεχνικές λεπτομέρειες για να

υπάρξει μια κρίση για την ποιότητά τους, μόνο δύο μονάδες έχουν πλήρως σχεδιαστεί και εγκατασταθεί. Η πρώτη εγκατάσταση, το Delbuoy, αναπτύχθηκε το 1982, και αποτελούνταν από μια γραμμική αντλία η οποία οδηγείται από το πάνω και κάτω της κίνησης μιας σημαδούρας. Η αντλία νερού υπό πίεση, η οποία μεταγενέστερα τροφοδοτούσε πίσω στο πρώτο στάδιο τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης και μπορούσε να παράγει έως και σε 2,0 μ<sup>3</sup>/ημέρα. Η δεύτερη εγκατάσταση, κατασκευάστηκε στην Κεράλα, Ινδία, το 2004, και αποτελείται από ένα ταλαντευόμενο στήλης ύδατος που οδηγεί σε μια τουρμπίνα και μια ηλεκτρική γεννήτρια<sup>5</sup>. Η ηλεκτρική ενέργεια από αυτόν τον μετατροπέα κυματικής ενέργειας χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει μια μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης με τη μέγιστη ισχύ των 10 μ<sup>3</sup>/ημέρα. Τεχνικά, τα δύο συστήματα ήταν επιτυχής όσον αφορά τη χρήση της κυματικής ενέργειας για να παραχθεί καθαρό νερό, ωστόσο όμως, είναι αμφίβολο κατά πόσον αυτές αντιπροσωπεύουν επί του παρόντος οικονομικά βιώσιμες λύσεις.

Το θέμα της βιωσιμότητας μιας μονάδας αφαλάτωσης κύματος είναι πολύπλοκη, διότι σε πολλές περιπτώσεις ο υπολογισμός κόστους οφέλους δεν είναι ευθύς. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα αυτόνομα συστήματα. Σε πολλές περιπτώσεις περιπλέκεται ακόμη περισσότερο, επειδή το σχετικό εμπορικό κόστος του αφαλατωμένου νερού είναι συχνά κρυμμένο από τις επιδοτήσεις για την παρεχόμενη ενέργεια ή από τον υπολογισμό του κόστους νερού που αγνοούν παράγοντες όπως το κόστος της επένδυσης κεφαλαίου. Η αξία του νερού εξαρτάται από τη σχετική σπανιότητα του, η οποία σαφώς εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και την τοπική ζήτηση για το νερό, οδηγώντας έτσι σε μια σειρά από δαπάνες κατά την οποία η αφαλάτωση του νερού το καταστεί βιώσιμο. Αυτόνομες εγκαταστάσεις έχουν πρόσθετα οφέλη επειδή λειτουργούν ανεξάρτητα από την τοπική αρχή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και, συνεπώς, είναι πιο ευέλικτο για την ανάπτυξη και ενδεχομένως πιο αξιόπιστο. Αυτόνομες εγκαταστάσεις μπορούν επίσης να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπου υπάρχει ένα ασθενές ηλεκτρικό δίκτυο, λόγω της περιορισμένης ικανότητας του δικτύου να απορροφήσει διακυμάνσεις στην παροχή ρεύματος<sup>6</sup>. Κατά ειρωνικό τρόπο, τα πιθανά οφέλη για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μεγαλύτερα, επειδή τα αδύναμα ηλεκτρικά δίκτυα συνήθως συνδέονται με τις απομακρυσμένες περιοχές όπου το κόστος της ενέργειας που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα είναι υψηλό. Τέλος, άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ανάλυση κόστους οφέλους περιλαμβάνουν, το περιβαλλοντικό κόστος της απόρριψης της άλμης από την μονάδα αφαλάτωσης, ο θόρυβος που παράγεται από την εγκατάσταση και τη χρήση του εν δυνάμει πολύτιμου εδάφους κοντά στην ακτή.

Αν κριθεί ότι μια μονάδα αφαλάτωσης τροφοδοτούμενη με κύμα αποτελεί την καλύτερη λύση για την παραγωγή γλυκού νερού, είναι σχετικά απλός ο τρόπος για τον υπολογισμό του οικονομικού κόστους του νερού από μια εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης κύματος με βάση την οικονομική μέθοδο κοστολόγησης. Επιπλέον, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διερευνηθεί η ευαισθησία των δαπανών σε συγκεκριμένες παραμέτρους και να προβλεφθεί η βέλτιστη διαμόρφωση των εγκαταστάσεων και το ελάχιστο οικονομικό κόστος του νερού σε συγκεκριμένη τοποθεσία.

Ανάλογα με τις διαθέσιμες πληροφορίες για την κάθε τεχνολογία ξεχωριστά, η παρουσίαση περιλαμβάνει τεχνολογικά και οικονομικά χαρακτηριστικά σχετικά με

τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη, την κατασκευή, τη δοκιμή, τη διαδικασία και τοποθεσία της εγκατάστασης, τη συντήρηση, την απόδοση σύλληψης και μετατροπής της κυματικής ενέργειας, την ικανότητα επιβίωσης σε ακραία καιρικά φαινόμενα, την οικονομική βιωσιμότητα, τις περιβαλλοντικές συνέπειες, τις προοπτικές εμπορευματοποίησης και τις ειδικές εφαρμογές της.

Η αισθητική επίδραση ενός τέτοιου συστήματος στο περιβάλλον εξαρτάται από τον τύπο που θα υιοθετηθεί, έτσι ένα σύστημα μερικώς βυθισμένο ή τοποθετημένο λίγα χιλιόμετρα μακριά δεν επηρεάζει την εναρμόνιση του στο φυσικό περιβάλλον. Αντίθετα συστήματα κυματικής ενέργειας τοποθετημένα στις ακτές μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην όλη αισθητική και να μετατρέψουν ένα φυσικό περιβάλλον σε άκρως βιομηχανικό. Έτσι, απαιτείται προσοχή τόσο στην μορφή του συστήματος που πρόκειται να υιοθετηθεί καθώς και πως θα εναρμονιστεί με την υπάρχουσα αρχιτεκτονική του τοπίου και το φυσικό ανάγλυφο της περιοχής. Η συνεργασία του μελετητή αρχιτέκτονα και του μηχανολόγου μηχανικού κρίνεται απαραίτητη και επιτακτική για αρμονικό σχεδιασμό.

Μια όχι και τόσο νέα και άγνωστη πηγή ενέργειας. Είναι όμως νέα η συστηματική και επίμονη προσέγγιση για την οποία επιβάλλει η συνεχώς αυξανόμενη παγκόσμια ανάγκη για ενέργεια. Αυτή η ενέργεια μπορεί να αποτελέσει σε κάποια χρόνια την πηγή παραγωγής ενός μεγάλου ποσοστού της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται παγκοσμίως. Αυτό βέβαια είναι και παγκόσμιος στόχος, η σταδιακή γρήγορη αύξηση παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Σκοπός και το αντικείμενο της εργασίας .....	9
1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης.....	11
1.3 Δομή της εργασίας .....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	13
2.1 Περιγραφή.....	13
2.2 Φύση και προέλευση των θαλάσσιων κυμάτων.....	14
2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κυματικής ενέργειας.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	18
3.1 Εξασθενητές κυμάτων .....	18
3.1.1 Pelamis Wave Power Ltd.....	18
3.1.1.1 Ιστορικό .....	18
3.1.1.2 Αρχή λειτουργίας.....	19
3.1.1.3 Βασικά ορόσημα .....	20
3.2 (Αξονοσυμμετρικός) Σημειακός Απορροφητής .....	20
3.2.1 Wavebob Ltd .....	21
3.2.1.1 Ιστορικό .....	21
3.2.1.2 Αρχή λειτουργίας.....	21
3.2.1.3 Βασικά ορόσημα .....	21
3.2.2 Ocean Power Technologies Inc (PowerBuoy).....	22
3.2.2.1 Ιστορικό .....	22
3.2.2.2 Αρχή λειτουργίας.....	22
3.2.2.3 Βασικά Ορόσημα .....	23
3.3 Παλλόμενοι μετατροπείς κυματικών κλυδωνισμών (OWSC).....	23
3.3.1 AW-Energy Oy (WaveRoller).....	24
3.3.1.1 Ιστορικό .....	24
3.3.1.2 Αρχή λειτουργίας.....	24
3.3.1.3 Βασικά Ορόσημα .....	24
3.3.2 AquaMarine Power Ltd (Oyster).....	25
3.3.2.1 Ιστορικό .....	25
3.3.2.2 Αρχή λειτουργίας.....	25
3.3.2.3 Βασικά Ορόσημα .....	25
3.4 Παλλόμενη υδάτινη στήλη (ΠΥΣ).....	26
3.4.1 Ocean Energy Ltd (OE Buoy) .....	26
3.4.1.1 Ιστορικό .....	26
3.4.1.2 Αρχή λειτουργίας.....	26
3.4.1.3 Βασικά Ορόσημα.....	27
3.4.2 Wave Energy Centre (Pico OWC).....	27
3.4.2.1 Ιστορικό.....	27
3.4.2.2 Αρχή λειτουργίας .....	28
3.4.2.3 Βασικά Ορόσημα.....	28
3.5 Συσκευή υπερακόντισης.....	28
3.5.1 Wave Dragon ApS.....	29
3.5.1.1 Ιστορικό .....	29
3.5.1.2 Αρχή λειτουργίας.....	30
3.5.1.3 Βασικά Ορόσημα.....	30
3.6 Βυθιζόμενη συσκευή διαφορικής πίεσης.....	30



3.6.1 Ecofys BV (WaveRotor).....	31
3.6.1.1 Ιστορικό .....	31
3.6.1.2 Αρχή λειτουργίας .....	32
3.6.1.3 Βασικά Ορόσημα .....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> : ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Έρευνα και Ανάπτυξη) ..	33
4.1 Γενικές πτυχές αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας.....	33
4.2 Ευρωπαϊκές δραστηριότητες.....	35
4.3 Δραστηριότητες σε άλλες χώρες .....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> : ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ .....	42
5.1 Παγκόσμια λειψυδρία .....	42
5.2 Ιστορία της αφαλάτωσης.....	43
5.3 Πρότυπα ποιότητας του νερού αφαλάτωσης.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ .....	47
6.1 Θερμική αφαλάτωση.....	47
6.2.1 Πολυβάθμια ακαριαία εξάτμιση (MSF).....	47
6.2.2 Πολυβάθμια απόσταξη (MED) .....	48
6.2.3 Μηχανική (MVC) και Θερμική (TVC) συμπίεση ατμών .....	49
6.2.4 Ηλιακή απόσταξη (SD) .....	49
6.2 Αφαλάτωση με μεμβράνες.....	50
6.2.1 Αντίστροφης όσμωσης (RO).....	50
6.2.2 Ηλεκτροδιάλυση (ED) και Αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (EDR).....	51
6.3 Παγκόσμια κατάσταση τεχνολογιών αφαλάτωσης .....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 <sup>ο</sup> : ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	54
7.1 Τεχνολογίες ενεργειακής ανάκτησης.....	56
7.2 Λειτουργία του ενισχυτή/εναλλάκτη πίεσης.....	57
7.3 Περιγραφή του συστήματος.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 <sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 <sup>ο</sup> : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	67

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Σκοπός και το αντικείμενο της εργασίας

Η ενέργεια από τα κύματα παράγεται από την κίνηση των κυμάτων στην θαλάσσια επιφάνεια που προκαλείται από τους κατά τόπους ανέμους.

Η κυματική ενέργεια αποτελεί μία μη συνηθισμένη χαμηλής συχνότητας πηγή ενέργειας η οποία θα πρέπει να μετατραπεί σε συχνότητα<sup>1</sup> της τάξεως των 60 Hertz πριν ενσωματωθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια πολλά συστήματα έχουν επινοηθεί μόνο ένα μικρό ποσοστό έχει δοκιμαστεί και αξιολογηθεί για την αξιοπιστία τους. Επιπρόσθετα, ελάχιστα από αυτά έχουν δοκιμαστεί στην θάλασσα υπό πραγματικές συνθήκες εξομοίωσης ενώ τα περισσότερα έχουν αξιολογηθεί σε εργαστηριακές δεξαμενές.

Ένα σύστημα κυματικής ενέργειας μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο στον ωκεανό και να παράγει ενέργεια, μπορεί να είναι αγκυρωμένο στο πυθμένα ή πλωτό ανοιχτά της θάλασσας, ή εγκαταστημένο στα παράλια ή στα ρηχά νερά. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί επίσης να είναι ολικά βυθισμένο στο νερό ή να είναι τοποθετημένο πάνω από την θαλάσσια επιφάνεια σε μία πλωτή πλατφόρμα. Παρά τις δυνατότητες που παρουσιάζουν τα συστήματα κυματικής ενέργειας τα περισσότερα πρότυπα αυτών έχουν εγκατασταθεί στις ακτές.

Κατά την δεκαετία του '70 μόνο δύο χώρες κατάφεραν να αναδείξουν τις δυνατότητες των συστημάτων κυματικής ενέργειας μέσα από τα ερευνητικά τους προγράμματα, η Ιαπωνία και η Μεγάλη Βρετανία. Οι επίμονες προσπάθειες των ερευνητών τους κατάφεραν να βελτιώσουν την απόδοση παραγωγικότητας των συστημάτων αυτών.

Τα στάδια εξέλιξης των διαφόρων τεχνολογιών ποικίλουν. Για παράδειγμα, μερικές από αυτές έχουν αναπτυχθεί επαρκώς ώστε να προχωρήσουν στο στάδιο της εμπορευματοποίησης, με εγκαταστάσεις πολλών διασυνδεδεμένων μετατροπέων να έχουν προγραμματιστεί για το άμεσο μέλλον, ενώ άλλες βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού ή δοκιμής.

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση της έλλειψης καθαρού νερού και των μη ρυπογόνων ενεργειακών πόρων μπορούν να θεωρηθούν<sup>2</sup> ως οι δύο μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα ο κόσμος. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα του γλυκού νερού εκτιμάται ότι σχετίζεται με το 80% των ασθενειών και το 30% όλων των θανάτων στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού θα μπορούσε να παρέχει φρέσκο νερό για τη μείωση των ασθενειών και θνησιμότητας. Ωστόσο, η τεχνολογία αφαλάτωσης είναι ενεργοβόρα, γεγονός που περιορίζει την εκμετάλλευσή της σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η ενέργεια είναι παρόμοια με το σύντομο ανεφοδιασμό. Η τροφοδοσία των μονάδων αφαλάτωσης με την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθίσταται συνεπώς προφανής λύση και έχει εξεταστεί σε βάθος<sup>3,4</sup>. Ωστόσο, αν και οι εγκαταστάσεις μονάδων αφαλάτωσης κύματος φαίνονται ιδιαίτερα ελκυστικές (διότι οι δύο πρωτογενείς απαιτήσεις, το θαλασσινό νερό και η ενέργεια, οι οποίες διατίθενται στην ίδια θέση) σχετικά, λίγη έρευνα έχει ολοκληρωθεί σε αυτόν τον τομέα.

Πράγματι, αν και πολλές προτάσεις έχουν γίνει για εγκαταστάσεις μονάδων αφαλάτωσης κύματος, σχεδόν όμως όλες με ανεπαρκείς τεχνικές λεπτομέρειες για να υπάρξει μια κρίση για την ποιότητά τους, μόνο δύο μονάδες έχουν πλήρως σχεδιαστεί και εγκατασταθεί. Η πρώτη εγκατάσταση, το Delbuoy, αναπτύχθηκε το 1982, και αποτελούνταν από μια γραμμική αντλία η οποία οδηγείται από το πάνω και κάτω της κίνησης μιας σημαδούρας. Η αντλία νερού υπό πίεση, η οποία μεταγενέστερα τροφοδοτούσε πίσω στο πρώτο στάδιο τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης και μπορούσε να παράγει έως και σε  $2,0 \mu^3/\text{ημέρα}$ . Η δεύτερη εγκατάσταση, κατασκευάστηκε στην Κεράλα, Ινδία, το 2004, και αποτελείται από ένα ταλαντευόμενο στήλης ύδατος που οδηγεί σε μια τουρμπίνα και μια ηλεκτρική γεννήτρια<sup>5</sup>. Η ηλεκτρική ενέργεια από αυτόν τον μετατροπέα κυματικής ενέργειας χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει μια μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης με τη μέγιστη ισχύ των  $10 \mu^3/\text{ημέρα}$ . Τεχνικά, τα δύο συστήματα ήταν επιτυχής όσον αφορά τη χρήση της κυματικής ενέργειας για να παραχθεί καθαρό νερό, ωστόσο όμως, είναι αμφίβολο κατά πόσον αυτές αντιπροσωπεύουν επί του παρόντος οικονομικά βιώσιμες λύσεις.

Το θέμα της βιωσιμότητας μιας μονάδας αφαλάτωσης κύματος είναι πολύπλοκη, διότι σε πολλές περιπτώσεις ο υπολογισμός κόστους οφέλους δεν είναι ευθύς. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα αυτόνομα συστήματα. Σε πολλές περιπτώσεις περιπλέκεται ακόμη περισσότερο, επειδή το σχετικό εμπορικό κόστος του αφαλατωμένου νερού είναι συχνά κρυμμένο από τις επιδοτήσεις για την παρεχόμενη ενέργεια ή από τον υπολογισμό του κόστους νερού που αγνοούν παράγοντες όπως το κόστος της επένδυσης κεφαλαίου. Η αξία του νερού εξαρτάται από τη σχετική σπανιότητα του, η οποία σαφώς εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και την τοπική ζήτηση για το νερό, οδηγώντας έτσι σε μια σειρά από δαπάνες κατά την οποία η αφαλάτωση του νερού το καταστεί βιώσιμο. Αυτόνομες εγκαταστάσεις έχουν πρόσθετα οφέλη επειδή λειτουργούν ανεξάρτητα από την τοπική αρχή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και, συνεπώς, είναι πιο ευέλικτο για την ανάπτυξη και ενδεχομένως πιο αξιόπιστο. Αυτόνομες εγκαταστάσεις μπορούν επίσης να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπου υπάρχει ένα ασθενές ηλεκτρικό δίκτυο, λόγω της περιορισμένης ικανότητας του δικτύου να απορροφήσει διακυμάνσεις στην παροχή ρεύματος<sup>6</sup>. Κατά ειρωνικό τρόπο, τα πιθανά οφέλη για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μεγαλύτερα, επειδή τα αδύναμα ηλεκτρικά δίκτυα συνήθως συνδέονται με τις απομακρυσμένες περιοχές όπου το κόστος της ενέργειας που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα είναι υψηλό. Τέλος, άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ανάλυση κόστους οφέλους περιλαμβάνουν, το περιβαλλοντικό κόστος της απόρριψης της άλμης από την μονάδα αφαλάτωσης, ο θόρυβος που παράγεται από την εγκατάσταση και τη χρήση του εν δυνάμει πολύτιμου εδάφους κοντά στην ακτή.

Αν κριθεί ότι μια μονάδα αφαλάτωσης τροφοδοτούμενη με κύμα αποτελεί την καλύτερη λύση για την παραγωγή γλυκού νερού, είναι σχετικά απλός ο τρόπος για τον υπολογισμό του οικονομικού κόστους του νερού από μια εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης κύματος με βάση την οικονομική μέθοδο κοστολόγησης. Επιπλέον, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διερευνηθεί η ευαισθησία των δαπανών σε συγκεκριμένες παραμέτρους και να προβλεφθεί η βέλτιστη διαμόρφωση των εγκαταστάσεων και το ελάχιστο οικονομικό κόστος του νερού σε συγκεκριμένη τοποθεσία.

Ανάλογα με τις διαθέσιμες πληροφορίες για την κάθε τεχνολογία ξεχωριστά, η παρουσίαση περιλαμβάνει τεχνολογικά και οικονομικά χαρακτηριστικά σχετικά με τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη, την κατασκευή, τη δοκιμή, τη διαδικασία και τοποθεσία της εγκατάστασης, τη συντήρηση, την απόδοση σύλληψης και μετατροπής της κυματικής ενέργειας, την ικανότητα επιβίωσης σε ακραία καιρικά φαινόμενα, την οικονομική βιωσιμότητα, τις περιβαλλοντικές συνέπειες, τις προοπτικές εμπορευματοποίησης και τις ειδικές εφαρμογές της.

Η αισθητική επίδραση ενός τέτοιου συστήματος στο περιβάλλον εξαρτάται από τον τύπο που θα υιοθετηθεί, έτσι ένα σύστημα μερικώς βυθισμένο ή τοποθετημένο λίγα χιλιόμετρα μακριά δεν επηρεάζει την εναρμόνιση του στο φυσικό περιβάλλον. Αντίθετα συστήματα κυματικής ενέργειας τοποθετημένα στις ακτές μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην όλη αισθητική και να μετατρέψουν ένα φυσικό περιβάλλον σε άκρως βιομηχανικό. Έτσι, απαιτείται προσοχή τόσο στην μορφή του συστήματος που πρόκειται να υιοθετηθεί καθώς και πως θα εναρμονιστεί με την υπάρχουσα αρχιτεκτονική του τοπίου και το φυσικό ανάγλυφο της περιοχής. Η συνεργασία του μελετητή αρχιτέκτονα και του μηχανολόγου μηχανικού κρίνεται απαραίτητη και επιτακτική για αρμονικό σχεδιασμό.

Μια όχι και τόσο νέα και άγνωστη πηγή ενέργειας. Είναι όμως νέα η συστηματική και επίμονη προσέγγιση για την οποία επιβάλει η συνεχώς αυξανόμενη παγκόσμια ανάγκη για ενέργεια. Αυτή η ενέργεια μπορεί να αποτελέσει σε κάποια χρόνια την πηγή παραγωγής ενός μεγάλου ποσοστού της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται παγκοσμίως. Αυτό βέβαια είναι και παγκόσμιος στόχος, η σταδιακή γρήγορη αύξηση παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

## 1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης

Ο τρόπος ανάπτυξης της παρούσας εργασίας είναι, στην αρχή περιγράφετε η κυματική ενέργεια, αναλύετε η φύση και η προέλευση των θαλάσσιων κυμάτων καθώς επίσης και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους. Στην συνέχεια ακολουθούν οι έξι τεχνολογίες κυματικής ενέργειας όπως και παραδείγματα μετατροπέων κυματικής ενέργειας. Κατόπιν, ακολουθεί η έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της κυματικής ενέργειας, όπου εδώ περιγράφονται οι γενικές πτυχές αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας, οι ευρωπαϊκές δραστηριότητες και οι δραστηριότητες σε άλλες χώρες. Στην συνέχεια, περιγράφεται η μέθοδος της αφαλάτωσης και οι τεχνολογίες της και τέλος γίνεται περιγραφή για μια αυτόνομη τροφοδοτούμενη με κύμα εγκατάσταση αφαλάτωσης.

## 1.3 Δομή της εργασίας

Στόχος της εργασίας είναι η περιγραφή των ειδικών εφαρμογών της κυματικής ενέργειας στην Ευρώπη καθώς επίσης γίνεται και αναφορά στην κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα όπως και οι προοπτικές ανάπτυξης μιας τέτοιας ΑΠΕ στη χώρα μας.

Το Κεφάλαιο 1, αποτελείται από κάποιες εισαγωγικές πληροφορίες σχετικά με τον σκοπό και το αντικείμενο της εργασίας, την μεθοδολογία εκπόνησης και την δομή της εργασίας.

Το Κεφάλαιο 2, απαρτίζεται από την περιγραφή της κυματικής ενέργειας, την φύση και προέλευση, όπως ακόμα και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κυματικής ενέργειας και τέλος εξηγείται γιατί συναντάμε την κυματική ενέργεια στον ωκεανό.

Στο κεφάλαιο 3, περιγράφονται οι τεχνολογίες κυματικής ενέργειας, οι οποίες κατηγοριοποιούνται σύμφωνα 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.

Στο κεφάλαιο 4, αναλύονται οι γενικές πτυχές αξιοποίησης κυματικής ενέργειας, οι ευρωπαϊκές δραστηριότητες και τέλος οι δραστηριότητες σε άλλες χώρες.

Το κεφάλαιο 5 αναφέρεται στην τεχνολογία της αφαλάτωσης. Γενικότερα, περιγράφετε το φαινόμενο της λειψυδρίας και προτάσσετε σαν λύση η μέθοδος της αφαλάτωσης υφάλμυρου και θαλασσινού νερού. Αναφέρετε σε ιστορικές αναδρομές της αφαλάτωσης και στα πρότυπα ποιότητας του νερού αφαλάτωσης.

Στο κεφάλαιο 6 εξετάζονται οι λειτουργικές πτυχές των οκτώ πιο εξεχόντων τεχνολογιών αφαλάτωσης οι οποίες είναι: πολυβάθμια ακαριαία εξάτμιση(MSF), πολυβάθμια απόσταξη (MED), Μηχανική συμπίεση ατμού (MVC) και θερμική συμπίεση ατμού (TVC), ηλιακή απόσταξη (SD ), αντίστροφης όσμωσης (RO), ηλεκτροδιάλυση (ED) και αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (EDR)..

Το κεφάλαιο 7 ασχολείται με την σύζευξη της αφαλάτωσης με την κυματική ενέργεια. Περιγράφονται οι τεχνολογίες ενεργειακής ανάκτησης και η λειτουργία του ενισχυτή/εναλλάκτη πίεσης, ακολουθεί η διαμόρφωση εγκαταστάσεων αντίστροφης όσμωσης που χρησιμοποιούν έναν ενισχυτή/εναλλάκτη πίεσης, καθώς επίσης και η περιγραφή αυτού του συστήματος.

Το κεφάλαιο 8 ασχολείται με τα συμπεράσματα της εργασίας και το κεφάλαιο 9 με την βιβλιογραφία και τις πηγές της εργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 2.1 Περιγραφή

Ο θαλάσσιος κυματισμός είναι, όπως όλες οι μορφές ΑΠΕ, μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Επιπρόσθετα<sup>7</sup> παρουσιάζει μεταξύ των ΑΠΕ την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 1000 kW/m κύματος. Υπολογίζεται ότι η αξιοποίηση του 1% του κυματικού δυναμικού του πλανήτη μας θα κάλυπτε περίπου στο τετραπλάσιο την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση.

Η ιδέα για την εκμετάλλευση του θαλάσσιου κυματισμού δεν είναι νέα. Η πρώτη ευρεσιτεχνία χρονολογείται το 1799, ενώ πλήθος άλλων τεχνολογιών επινοήθηκε και λειτούργησε σε μικρή κλίμακα μέχρι τα μέσα του περασμένου αιώνα. Η συντονισμένη έρευνα όμως στον τομέα αυτό ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του '70, μετά την μεγάλη πετρελαϊκή κρίση, όταν διάφορες χώρες της Δυτ. Ευρώπης με ακτές προς τον Αν. Ατλαντικό, όπου εντοπίζονται ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα κυματικού δυναμικού, ξεκίνησαν εντατικές έρευνες για την ανάπτυξη τεχνολογιών εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας.

Το αντίξοο περιβάλλον στο οποίο καλούνται να λειτουργήσουν οι διάφορες τεχνολογίες επέδρασε στο παρελθόν ανασταλτικά στις προσπάθειες αυτές. Οι τεράστιες καταπονήσεις σε ακραίες καιρικές συνθήκες απαιτούν υψηλούς δείκτες μηχανικής αντοχής, με αποτέλεσμα μεγάλο κατασκευαστικό κόστος. Η μεγάλη απόσταση από την ακτή για τεχνολογίες πλωτής εγκατάστασης συνεπάγεται υψηλό κόστος διασύνδεσης και λειτουργίας.

Το υψηλό κόστος των τεχνολογιών μπορεί να αντισταθμισθεί μόνον με την βέλτιστη εκμετάλλευση της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας των κυμάτων, δηλ. υψηλούς δείκτες απόδοσης. Προς αυτή την κατεύθυνση εξελίσσονται οι διάφορες τεχνολογίες και σήμερα τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους έχουν βελτιωθεί σημαντικά. Σαν αποτέλεσμα, το ενεργειακό κόστος, το οποίο την δεκαετία του '80 έφτανε μέχρι και τα 0,3€/kWh, έχει μειωθεί σήμερα στα 0,05- 0,1€/kWh. Η συνεχιζόμενη βελτίωση των δεικτών απόδοσης των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας αναμένεται να τις καταστήσει σύντομα βιομηχανικά εκμεταλλεύσιμες.

Η κυματική ενέργεια αποτελεί μία μη συνηθισμένη χαμηλής συχνότητας πηγή ενέργειας η οποία θα πρέπει να μετατραπεί σε συχνότητα<sup>8</sup> της τάξεως των 60 Hertz πριν ενσωματωθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η κυματική ενέργεια προέρχεται από την κυκλοφορία του ωκεανού και το μεταβαλλόμενο ύψος και ταχύτητας που διογκώνεται. Η κινητική ενέργεια στα κύματα είναι τεράστια.

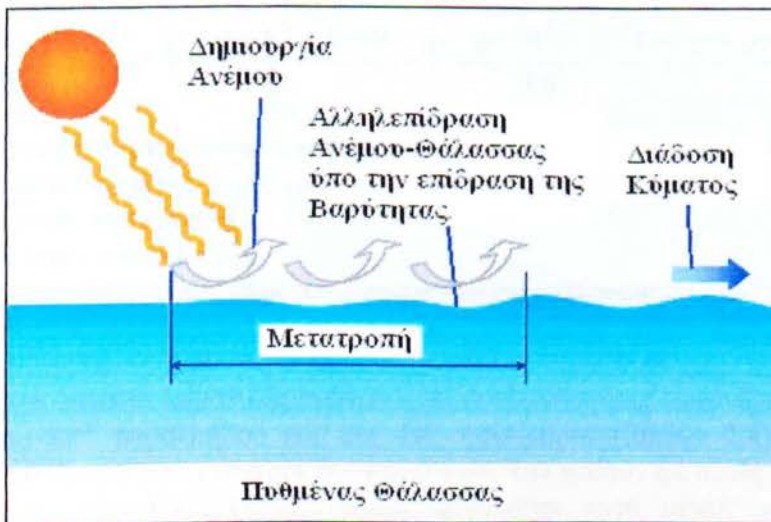


Εικόνα 2.1 Κινητική ενέργεια κύματος<sup>51</sup>

Κατά μέσο όρο ένα κύμα ύψους 4 ποδιών και έντασης 10 δευτερολέπτων που χτυπά μια ακτή ασκεί δύναμη περισσότερη από 35.000 ίππους ανά μίλι ακτής. Τα κύματα παίρνουν την ενέργεια τους από τον άνεμο. Ο άνεμος προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια. Τα κύματα μπορούν να συλλέγουν, να αποθηκεύουν και να διαβιβάζουν αυτές τις απώλειες για χιλιάδες μίλια με μικρές απώλειες. Όσο ο ήλιος λάμπει, η κυματική ενέργεια δεν πρόκειται ποτέ να εξαντληθεί. Μπορεί να ποικίλουν σε ένταση, αλλά είναι διαθέσιμη εικοσιτέσσερις ώρες την ημέρα, 365 μέρες τον χρόνο.

## 2.2 Φύση και προέλευση των θαλάσσιων κυμάτων

Μεταξύ των διάφορων μορφών κυματισμού, ο ανεμογενής κυματισμός παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για ενεργειακή εκμετάλλευση. Τα ανεμογενή κύματα δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση του ανέμου με την θαλάσσια επιφάνεια. Αυτή η μεταφορά ενέργειας (Εικόνα 2.2) παρέχει ένα είδος φυσικής αποθήκευσης της αιολικής ενέργειας στο νερό, κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια του. Εφόσον δημιουργηθεί ο ανεμογενής κυματισμός, μπορεί να διανύσει χιλιάδες χιλιόμετρα με ελάχιστες απώλειες ενέργειας. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τον ανεμογενή κυματισμό ως την πλέον ιδανική μορφή κυματισμού για βέλτιστη εκμετάλλευση.



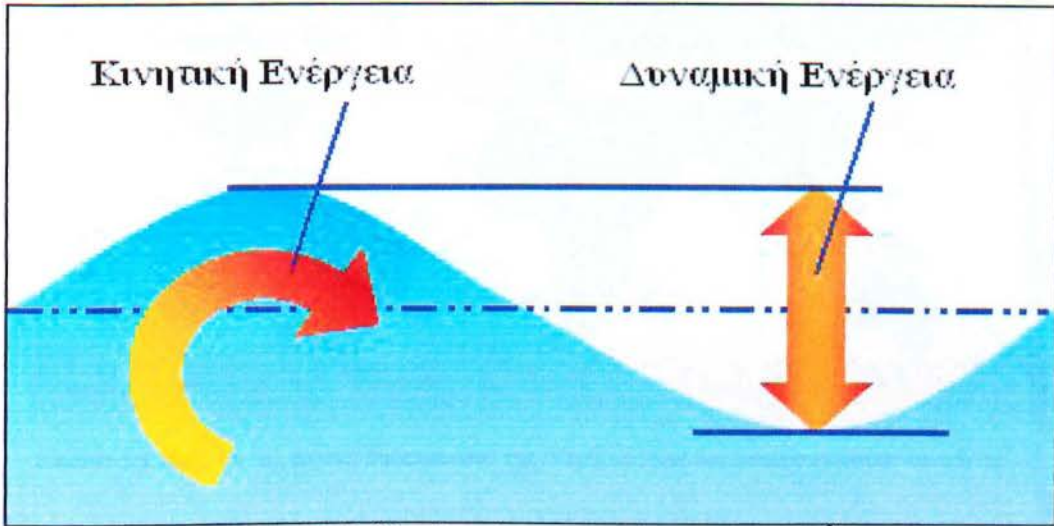
Εικόνα 2.2 Δημιουργία θαλάσσιων κυμάτων από ηλιακή ακτινοβολία<sup>9</sup>

Καθώς τα θαλάσσια κύματα πλησιάζουν προς την ακτογραμμή, η ένταση της ενέργειας τους μειώνεται εξαιτίας της αλληλεπίδρασης τους με τον πυθμένα της θάλασσας. Αυτή η απώλεια ενέργειας κοντά στην ακτή μπορεί να αντισταθμιστεί από διάφορα φυσικά φαινόμενα όπως η διάθλαση και η ανάκλαση, οδηγώντας στη συγκέντρωση της κυματικής ενέργειας (hot spots).

Η ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων προέρχεται από τις δύο κινήσεις των υδάτων της θαλάσσιας επιφάνειας, την κατακόρυφη και την οριζόντια κίνηση. Η κατακόρυφη κίνηση προσδιορίζει το ύψος του κύματος, ενώ η οριζόντια προσδιορίζει την ταχύτητα με την οποία κινείται το κύμα.

Η συνολική ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων ισοδυναμεί με το άθροισμα δύο μορφών ενέργειας, της δυναμικής και της κινητικής. Η δυναμική ενέργεια των

μορίων του νερού προέρχεται από την κατακόρυφη ταλάντωσή τους (Εικόνα 2.3), ενώ η κινητική ενέργεια τους από την κυκλική κίνηση τους.



Εικόνα 2.3 Τα δύο είδη ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων<sup>9</sup>

Οπότε, η συνολική ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων υπολογίζεται από την ακόλουθη μαθηματική σχέση :

$$E_{\text{συν}} = E_{\text{δυν}} + E_{\text{κιν}} = \frac{\rho * g * h^2 * L * B}{16} + \frac{\rho * g * h^2 * L * B}{16} = \frac{\rho * g * h^2 * L * B}{8}$$

Όπου,  $\rho$ : η πυκνότητα του θαλασσινού νερού

$g$ : η επιτάχυνση της βαρύτητας

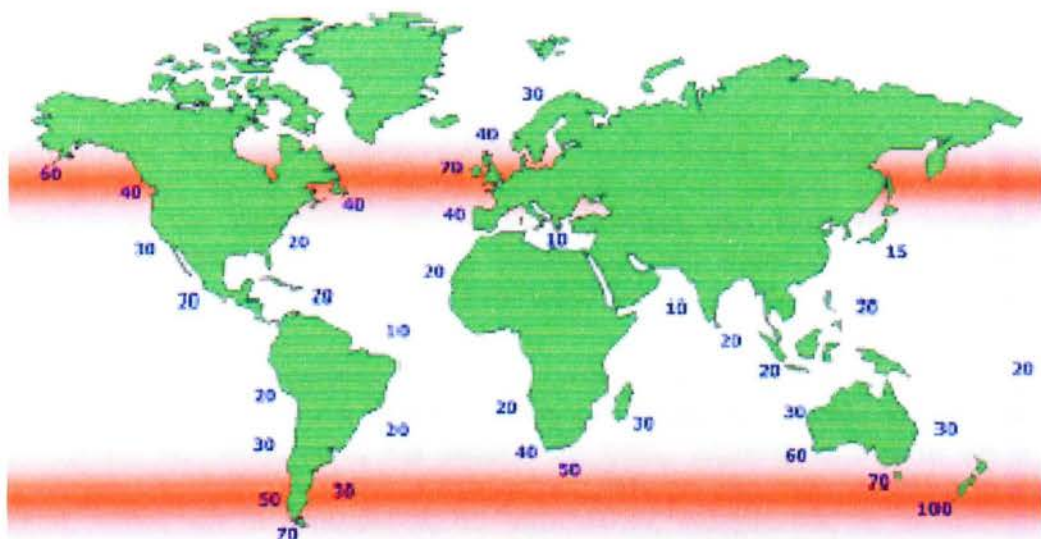
$h$ : το ύψος του κύματος

$L$ : το βήμα των κυμάτων

$B$ : το μετωπικό μήκος κύματος 1 μέτρου που εξετάζουμε

Τα υψηλότερα επίπεδα κυματικής ενέργειας στον πλανήτη μας εμφανίζονται μεταξύ του 30<sup>ου</sup> και 60<sup>ου</sup> παραλλήλου και στα δύο ημισφαίρια (Εικόνα 2.4). Η βασική κινητήριος δύναμη είναι οι ισχυροί δυτικοί άνεμοι που πνέουν σε αυτές τις περιοχές της υδρογείου. Ιδιαίτερος υψηλοί πόροι βρίσκονται κατά μήκος των δυτικών ευρωπαϊκών ακτών, στα ανοικτά των ακτών του Καναδά και των ΗΠΑ και στις νότιες ακτές της Αυστραλίας και της Νότιας Αμερικής.





Εικόνα 2.4 Παγκόσμιος χάρτης διακύμανσης της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων σε  $\text{kW/m}^2$

Τέλος, λόγω της μακράν ευρύτητας του Ατλαντικού, το κυματικό κλίμα κατά μήκος της δυτικής ακτής της Ευρώπης (Εικόνα 2.5), είναι ιδιαίτερα δραστήριο. Υψηλότερα επίπεδα ενέργειας από αυτά τα κύματα βρίσκονται μόνο στα νότια τμήματα της Νότιας Αμερικής και της Αντίποδες. Έτσι, στις δυτικές ευρωπαϊκές ακτές επικρατεί ιδιαίτερα ισχυρός κυματισμός με μέση ισχύ της τάξης των 40-70  $\text{kWh/m}^2$  κύματος. Στις ακτές της Ιρλανδίας και της Σκωτίας η ενέργεια που περιέχουν τα θαλάσσια κύματα φτάνει ως τα 76  $\text{kW/m}^2$ . Το κυματικό δυναμικό της χώρας μας είναι το υψηλότερο της Μεσογείου, με μέση ισχύ η οποία σε ορισμένες περιοχές του νοτιοδυτικού Αιγαίου ξεπερνά τα 15  $\text{kW/m}^2$ .



Εικόνα 2.5 Ευρωπαϊκός χάρτης διακύμανσης<sup>9</sup> της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων σε  $\text{kW/m}^2$

Η τεχνικά εκμεταλλεύσιμη ενέργεια από τα κύματα για τα κράτη της ευρωπαϊκής ένωσης υπολογίζεται ότι είναι 150-230 TWh/έτος, από τα οποία περίπου τα 5TWh/έτος αντιστοιχούν στις ελληνικές θάλασσες.

### 2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κυματικής ενέργειας

Ο θαλάσσιος κυματισμός συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν<sup>10</sup> τις ΑΠΕ: χαμηλοί δείκτες ρύπανσης σε επίπεδο κύκλου ζωής, αποκέντρωση της παραγωγής ενέργειας, απεξάρτηση από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων, προοπτικές οικονομικής ανάπτυξης σε απομακρυσμένες ή/και υποβαθμισμένες περιοχές, τόνωση της βιομηχανικής παραγωγής, δημιουργία θέσεων εργασίας κ.ά.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση τεχνολογιών κυματικής ενέργειας, όπως ακουστική ή οπτική όχληση, επιπτώσεις σε χλωρίδα και πανίδα, παρενόχληση της ναυσιπλοΐας κ.ά θεωρούνται ήπιες. Αξιοσημείωτο είναι ότι η εγκατάσταση σταθμών κυματικής ενέργειας δεν απαιτεί δέσμευση γης. Η οπτική όχληση, καθώς και οι παρεμβάσεις στο περιβάλλον, ενδεχομένως να αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα για παράκτιες εγκαταστάσεις, αν και, εν γένει, περιοχές με έντονη κυματική δραστηριότητα δεν ενδείκνυνται για άλλου είδους αξιοποίηση, όπως π.χ. ιχθυοκαλλιέργεια ή τουριστική εκμετάλλευση. Αντίθετα, παράκτιες εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας θα μπορούσαν με κατάλληλο σχεδιασμό να λειτουργήσουν παράλληλα σαν κυματοθραύστες για προστασία της ακτής ή λιμενοβραχίονες.

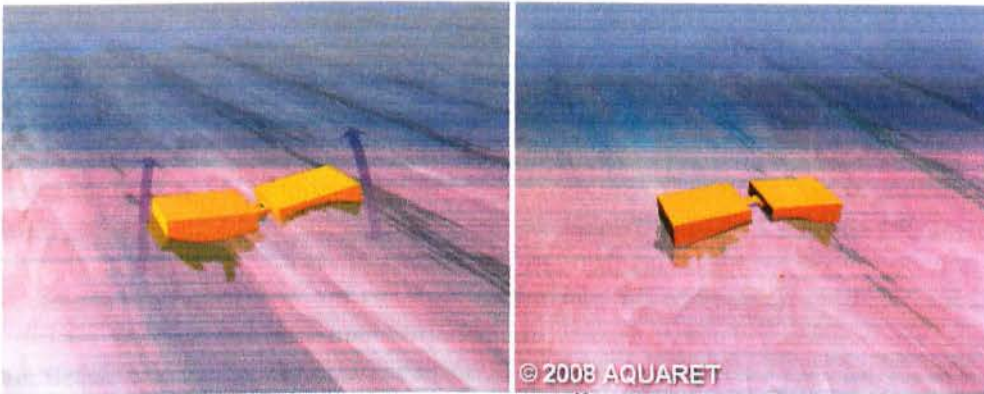
Τα κυριότερα μειονεκτήματα των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας αφορούν την αξιοπιστία τους και το κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος. Η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα των κυμάτων συνεπάγεται μεγάλες καταπονήσεις στην περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων, οι οποίες μπορούν να υπερβούν στο 100-πλάσιο των μέσων καταπονήσεων. Τούτο 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. Το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας μπορεί να αντισταθμισθεί μόνον με την αξιοποίηση του κυματικού δυναμικού στον μέγιστο δυνατό βαθμό, δηλ. την επίτευξη υψηλών δεικτών απόδοσης. Η τεχνολογική εξέλιξη έχει οδηγήσει μέχρι στιγμής σε σημαντική βελτίωση του δείκτη απόδοσης για τις περισσότερες τεχνολογίες, ενώ τα περιθώρια βελτίωσης παραμένουν μεγάλα. Για τον λόγο αυτό, εκτιμάται ότι η συνεχιζόμενη E&TA θα οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση του ηλεκτροπαραγωγικού κόστους, σε επίπεδα συγκρίσιμα με αυτά των συμβατικών μορφών ενέργειας ή άλλων ΑΠΕ. Ήδη το ηλεκτροπαραγωγικό κόστος για ορισμένες τεχνολογίες έχει μειωθεί στα επίπεδα των 0,05 €/kWh και αναμένεται περαιτέρω η μείωσή του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι φορείς ανάπτυξης ακολουθούν διάφορους σχεδιασμούς<sup>11</sup> για την απόσπαση της ενέργειας που περικλείεται στα κύματα. Οι κυματικές συσκευές κατηγοριοποιούνται σύμφωνα 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. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται η τελευταία μέθοδος για την κατηγοριοποίηση των συσκευών ως ακολούθως:

### 3.1 Εξασθενητής κυμάτων

Είναι μια μακρόστενη πλωτή συσκευή ευθυγραμμισμένη κάθετα προς το μέτωπο του κύματος. Η συσκευή ουσιαστικά επιπλέει επί των διερχόμενων κυμάτων και αποσπά την ενέργεια τους με την επιλεκτική δέσμευση των κινήσεων σε όλο της το μήκος. Ένα σημερινό παράδειγμα εξασθενητή κυματισμών είναι η συσκευή Pelamis. Προηγούμενα σχέδια ήταν η Κυματική Αντλία McCabe (θαλάσσιες δοκιμές) και η σχέδια Cockerel (στο στάδιο ανάπτυξης της ιδέας).



Εικόνα 3.1: Τρισδιάστατη αναπαράσταση<sup>11</sup> εξασθενητή κυματισμών

#### 3.1.1 Pelamis Wave Power Ltd

##### 3.1.1.1 Ιστορικό

Η Pelamis Wave Power Ltd (PWP) ιδρύθηκε το 1998 με το όνομα Ocean Power Delivery Ltd. Δεδομένου<sup>12</sup> ότι από την ίδρυσή της έχει ως αποκλειστικό σκοπό την ανάπτυξη του μετατροπέα κυματικής ενέργειας Pelamis, ακολούθησε ένα λεπτομερές αριθμητικό και πειραματικό πρόγραμμα μοντελοποίησης. Το πρόγραμμα αυτό οδήγησε στην χερσαία επίδειξη της πλήρους κλίμακας μονάδας μετατροπής της ενέργειας (2002) και την κατασκευή και την περαιτέρω ανάπτυξη ενός πλήρους κλίμακας πρωτότυπου (FSP) το 2004 στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Θαλάσσιας Ενέργειας (EMEC). Η PWP έλαβε την πρώτη παραγγελία για τις μηχανές Pelamis το 2005 από μια πορτογαλική κοινοπραξία με επικεφαλής την Enersis. Το FSP τροποποιήθηκε το

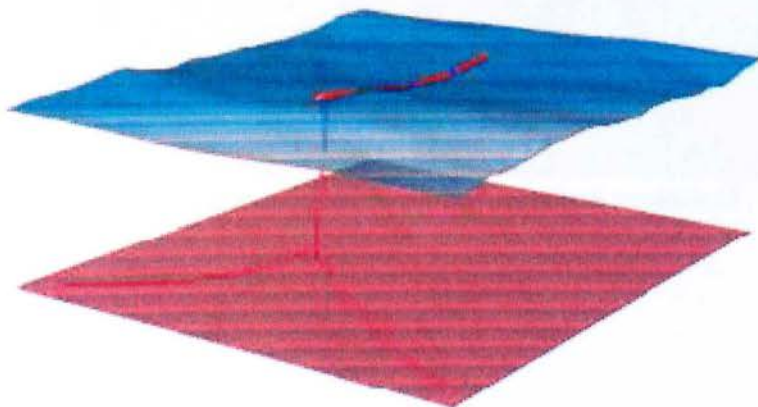
2006 ώστε να ταιριάζει με τη νεότερη γενιά των μηχανών, και από τότε έχει δοκιμαστεί τόσο σε δοκιμές στη θάλασσα όσο και στο EMEC. Τα αποτελέσματα από την FSP επέτρεψαν την επικύρωση του αριθμητικού προσομοίωσης σε πλήρη κλίμακα. Η εταιρεία πρόσφατα αναδιαρθρώθηκε με τον διορισμό ενός νέου CEO, και τώρα έχει πάνω από 70 μέλη προσωπικού. Μέχρι σήμερα η PWP έχει εξασφαλίσει πάνω από £ 40 εκατομμύρια ιδιωτικών επενδύσεων και έλαβε μια σειρά από σημαντικά βραβεία.



Εικόνα 3.2: Φωτογραφία μετατροπέα κυματικής<sup>52</sup> ενέργειας Pelamis

### 3.1.1.2 Αρχή λειτουργίας

Η Pelamis είναι μια ημιβυθισμένη, αρθρωτή διάρθρωση που αποτελείται από κυλινδρικά τμήματα που συνδέονται με μεντεσέδες αρμών και αποτελείτε από συμβατό σύστημα πρόσδεσης που επιτρέπει στο μηχανήμα weathervane να ευθυγραμμιστεί κατά μέτωπο σε εισερχόμενα κύματα (λαμβάνει τις αναφορές που εκτείνονται από τις διαδοχικές κορυφές των κυμάτων). Όπως τα κύματα ταξιδεύουν, κάτω από το μήκος της μηχανής προκαλούν τη δομή για να διατυπώσει γύρω από τις αρθρώσεις. Η κίνηση που προκαλείται από αυτές τις αρθρώσεις προβάλλεται από υδραυλικά έμβολα που αντλούν υψηλή πίεση λαδιού μέσω υδραυλικών κινητήρων μέσω της εξομάλυνσης των συσσωρευτών. Το υδραυλικό μοτέρ οδηγεί τις ηλεκτρικές γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παροχή ισχύος προς όλες τις αρθρώσεις τροφοδοτείται κάτω από ένα μόνο καλώδιο ομφάλιου, μια διασταύρωση στο βυθό της θάλασσας.



Εικόνα 3.3: Τρισδιάστατη απεικόνιση μετατροπέα κυματικής<sup>52</sup> ενέργειας Pelamis

### 3.1.1.3 Βασικά ορόσημα

- Κατασκευή και δοκιμή μιας μονάδας πλήρους κλίμακας μετατροπής της ενέργειας (2002)
- Κατασκευή, εγκατάσταση και δοκιμή του πλήρες κλίμακας πρωτότυπου Pelamis (2004)
- Πρώτη εμπορική παραγγελία με την Enersis SGPS (2005)
- Ανακοίνωση χρηματοδότησης ύψους πάνω από 4,9 εκατ. € για την εκμετάλλευση κυματικής ενέργειας με την συσκευή Pelemis (4 μηχανές) από την Σκωτσέζικη κυβέρνηση στο EMEC (2007)
- Πρώτη πώληση μηχανής 2P (2<sup>ης</sup> γενιάς) στο E-On (2009)

### 3.2 (Αξονοσυμμετρικός) Σημειακός Απορροφητής

Πλωτή κατασκευή η οποία απορροφά την κυματική ενέργεια από κάθε διεύθυνση μέσω των κινήσεών της στην επιφάνεια<sup>11</sup> των υδάτων ή κοντά σε αυτή. Έχει μικρές διαστάσεις σε σχέση με το τυπικό μήκος κύματος, με διάμετρο συνήθως της τάξης των λίγων μέτρων. Το χαρακτηριστικό της σημειακής απορρόφησης σημαίνει βασικά την ικανότητα απορρόφησης της ενέργειας μιας θαλάσσιας περιοχής μεγαλύτερης από τις διαστάσεις της συσκευής. Σε σχέση με το ουσιαστικά ίδιο φαινόμενο που παρουσιάζεται στα ραδιοκύματα (π.χ. ακουστικά), το φαινόμενο αυτό καλείται «φαινόμενο κεραίας». 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 Aquabuooy. Ωστόσο, παράδειγμα μη αξονοσυμμετρικού σημειακού απορροφητή, με σχεδόν παρόμοια χαρακτηριστικά, είναι και η SeaREV. Οι πλωτές κατασκευές OWC (OEBuoy, Sperboy, MRC) έχουν κι αυτές χαρακτηριστικά σημειακής απορρόφησης, αλλά εξετάζονται συνήθως στην κατηγορία των OWC.



Εικόνα 3.4: Τρισδιάστατη αναπαράσταση<sup>11</sup> σημειακού απορροφητή

### 3.2.1 Wavebob Ltd

#### 3.2.1.1 Ιστορικό

Η Wavebob είναι μια ιρλανδική εταιρεία που ιδρύθηκε το 1999. Η εταιρεία έκτοτε έχει σαν επίκεντρο την ανάπτυξη<sup>12</sup> της μετατροπής της κυματικής ενέργειας και ισχυρίζεται ότι δαπάνησε περισσότερα από € 3,0 εκατ. σε τέτοιες δραστηριότητες. Μετά τις πρώτες δοκιμές στη θάλασσα το 2006 το Wavebob παράγει ηλεκτρική ενέργεια στο χώρο δοκιμών Galway του Θαλάσσιου Ινστιτούτου. Τον Δεκέμβριο του 2007, η Wavebob αναγνωρίστηκε ως "Εταιρεία Καινοτομίας της Χρονιάς" από τους μηχανικούς της Ιρλανδίας στα ετήσια Βραβεία Καινοτομίας τους. Πρόσφατα (Μάρτιος 2008) η εταιρεία υπέγραψε συμφωνία με τη σουηδική Vatenfall ένα βοηθητικό πρόγραμμα για να επιταχύνει από κοινού το σχεδιασμό ενός πλήρους κλίμακας μονάδας.

#### 3.2.1.2 Αρχή λειτουργίας

Η Wavebob είναι ένας πλωτός, αξοσυμμετρικός, σημειακός απορροφητής, ο οποίος μετατρέπει την κυματική ενέργεια σε ένα βαθμό ελευθερίας (ταλάντωση). Η σχετική κίνηση μεταξύ της πλωτής δομής και εσωτερικής μάζας βρίσκεται στο επίκεντρο της διαδικασίας μετατροπής της ενέργειας. Δεν υπάρχουν λεπτομέρειες σχετικά με την ισχύ απογείωσης, αν και το σχέδιο του αρχικού σημείου για την υψηλή πίεση του υδραυλικού λαδιού έχουν δοθεί στη δημοσιότητα.



Εικόνα 3.5: Φωτογραφία<sup>53</sup> εγκατάστασης

#### 3.2.1.3 Βασικά ορόσημα

- Ανάπτυξη προτύπου ( κλίμακας 1:4) στο Ινστιτούτο θαλάσσιου χώρου (Ιρλανδία)
- Εταιρική σχέση με την Chevron Vatenfall (τη σουηδική κοινής ωφελείας)

### 3.2.2 Ocean Power Technologies Inc (PowerBuoy)

#### 3.2.2.1 Ιστορικό

Η Ocean Power Technologies (OPT) ιδρύθηκε το 1994 για την ανάπτυξη της τεχνολογίας PowerBuoy, ένα πλωτό σημειακό απορροφητή αγκυροβολημένο στο βυθό της θάλασσας. Από το 1997, θαλάσσιες δοκιμές έχουν διεξαχθεί ανοικτά των ακτών του New Jersey. Η τεχνολογία είναι μεταξύ εκείνων που πλησιάζει μια προεμπορική κλίμακα, πρόσφατα παραδείγματα των οποίων τα 40 kW του PowerBuoy εγκατεστημένα στη Χαβάη και στο New Jersey. Η Ocean Power Technologies Inc. εισήχθη στην χρηματιστηριακή αγορά AIM του Λονδίνου τον Οκτώβριο του 2003 μετά από μια επιτυχημένη δημόσια εγγραφή και διαπραγματεύεται στα χρηματιστήρια του AIM, με το σύμβολο "OPT". Η Εταιρεία ολοκλήρωσε την δημόσια εγγραφή και εισαγωγή της στο Nasdaq τον Απρίλιο του 2007 (στην οποία άντλησαν πάνω από \$ 90 εκατομμύρια), και είναι διαπραγματεύσιμες στο NASDAQ με το σύμβολο "OPTT".

Η OPT ξεκίνησε την αρχική φάση της εγκατάστασης ενός αγροκτήματος κύματος 1,39 MW στα ανοικτά της βόρειας ακτής της Ισπανίας. Το έργο είναι μια κοινή επιχείρηση με το βοηθητικό ισπανικό πρόγραμμα Iberdrola SA. Μια πλήρης μονάδα επίδειξης μεγέθους μέχρι 5MW δυναμικότητας έχει προγραμματιστεί για την εγκατάσταση στα νερά του Ηνωμένου Βασιλείου.

#### 3.2.2.2 Αρχή λειτουργίας

Υπάρχουν ελάχιστες λεπτομέρειες σχετικά με την πραγματική διαμόρφωση της απόληψης ισχύος (OPT) του μηχανισμού στο PowerBuoy, αν και η αρχή είναι σαφής: συνωστισμένοι σημειακοί απορροφητές αντιδρούν κατά το βυθό της θάλασσας. Έχει δημοσιοποιηθεί ότι ο OPT βασίζεται σε υδραυλικά λάδια, και η αξιολόγηση αυτή ανά μονάδα κάθε προτύπου έχει επίσης ανακοινωθεί (10, 40 και 100 kW).



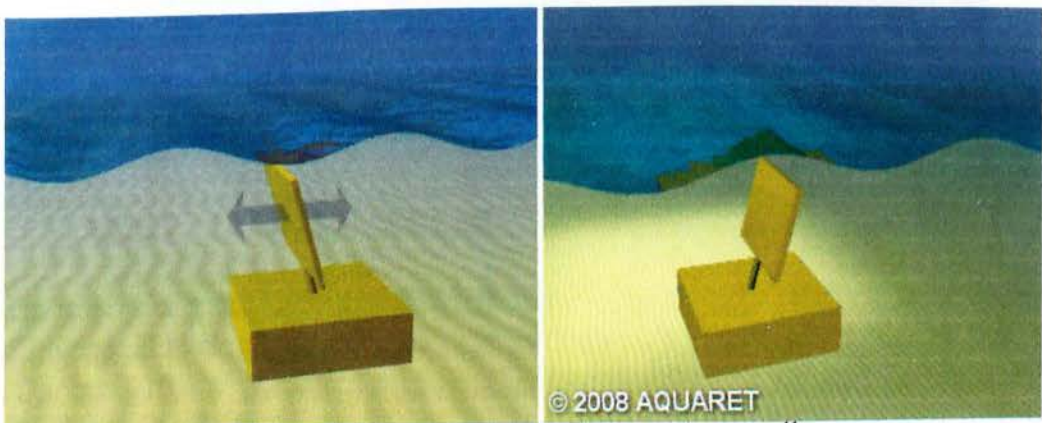
Εικόνα 3.6: Φωτογραφίες<sup>54</sup> εγκατάστασης

### 3.2.2.3 Βασικά Ορόσημα

- Ολοκληρώθηκε Δημόσια Εγγραφή στις ΗΠΑ και εισαγωγή στο Nasdaq, αυξάνοντας τα καθαρά έσοδα κατά \$ 90,0 εκατ
- Χορηγήθηκε επιδότηση ύψους £ 640 χιλ. από την Scottish Executive για την κατασκευή, εγκατάσταση και ωκεάνια επίδειξη ενός προτύπου 150 kW
- Επιλέχθηκε για να καταλάβει μια θέση στα Νοτιοδυτικά του έργου Wave Hub για την εγκατάσταση 5MW OPT σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής κυματικής ενέργειας
- Υπεγράφη συμφωνία με την Iberdrola SA για την κατασκευή και εγκατάσταση 1.25MW αγρόκτημα κύματος PowerBuoy στη βόρεια ακτή της Ισπανίας
- Υπεγράφη συμφωνία με την Total SA της Γαλλίας για την ανάπτυξη σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κύματος στη δυτική ακτή της Γαλλίας
- Εγκατάσταση 40 kW συντελεστή ισχύος του PowerBuoy (PB-40) ανοικτά του Tuckerton, New Jersey, ως μέρος του Διοικητικού Συμβουλίου των υπηρεσιών κοινής ωφελείας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και προγράμματος οικονομικής ανάπτυξης
- Επιπλέον, η OPT έχει καταλήξει σε συμφωνία με την PNGC, έναν συνεταιρισμό βορειοδυτικής παραγωγής, με διασυνδεδεμένη εγκατάσταση στο Ρίντσπορτ του Όρεγκον στις ΗΠΑ. Μία μονάδα 150 kW έχει προγραμματιστεί για την εγκατάσταση στα μέσα του 2010, με 9 πρόσθετες μονάδες για να ακολουθήσουν στα μέσα του 2011.

### 3.3 Παλλόμενοι μετατροπείς κυματικών κλυδωνισμών (OWSC)

Συλλέκτης κοντά στην επιφάνεια, ο οποίος εδράζεται πάνω σε περιστρεφόμενο βραχίονα που είναι αγκυρωμένος<sup>11</sup> 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. Ένας προηγούμενος τύπος της συσκευής αυτής, το Ιαπωνικό Εκκρεμές, είχε το αγκυρωμένο μέρος κοντά στην επιφάνεια και το πτερύγιο να κρέμεται προς τα κάτω και να εισέρχεται μέσα στον υδατοστεγή θάλαμο.



Εικόνα 3.7: Τρισδιάστατη αναπαράσταση OWSC<sup>11</sup>



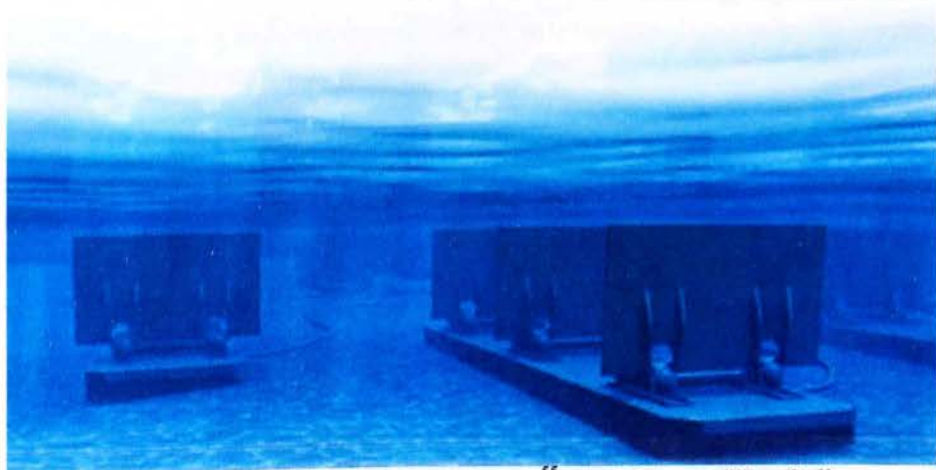
### 3.3.1 AW-Energy Oy (WaveRoller)

#### 3.3.1.1 Ιστορικό

Η AW-Energy ιδρύθηκε το 2002 στη Φινλανδία για την ανάπτυξη της ιδέας WaveRoller. Η Fundamental R&D εστίαζε στην πειραματική<sup>12</sup> προσομοίωση, η οποία κορυφώθηκε με την ανάπτυξη ενός προτύπου κλίμακας 1:03 στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Θαλάσσιας Ενέργειας. Η τεχνολογική εμπειρία της εταιρίας προέρχεται από την Fortum, τη μεγαλύτερη φινλανδική εταιρεία στον κλάδο της ενέργειας. Πρόσφατα η εταιρεία έχει δραστηριοποιηθεί στην αγορά της Πορτογαλίας και σε κοινοπραξία με μια μεγάλη πορτογαλική ομάδα Πολιτικών Μηχανικών (Lena Group) δημιουργήθηκε για την ανάπτυξη της τεχνολογίας στην Πορτογαλία, όπου πρότυπο των 10 kW αναπτύχθηκε κοντά στο Peniche (κεντρική Πορτογαλία) το 2007 (χωρίς σύνδεση με το εθνικό δίκτυο).

#### 3.3.1.2 Αρχή λειτουργίας

Το WaveRoller, όπως το Oyster Aquamarine, είναι τοποθετημένα στο βυθό της θάλασσας, σε μια επιφάνεια διάτρησης με αρθρωτό καπάκι, το οποίο μετατρέπει την κυματική ενέργεια που διατίθενται σε μία οριζόντια λειτουργία κίνησης (υπέρταση). Σε αντίθεση με το Oyster δεν διαπερνά την ελεύθερη επιφάνεια, γι' αυτό και μετατρέπει μόνο το (λιγότερο ισχυρό) κάτω κύμα. Είναι σχεδιασμένο για ανάπτυξη κοντά στις ακτές και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (αν και δεν υπάρχουν λεπτομέρειες σχετικά με την πραγματική δύναμης απογείωσης μέχρι σήμερα).



Εικόνα 3.8: Τρισδιάστατη αναπαράσταση<sup>55</sup> εγκατάστασης WaveRoller

#### 3.3.1.3 Βασικά Ορόσημα

- Πρότυπο κλίμακας 1:03 και δοκιμή σε EMEC (δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο)
- Κοινοπραξία με τη Lena Group (πορτογαλική εταιρία Πολιτικών Μηχανικών)
- Πρότυπο 10 kW αναπτύσσεται ανοικτά των ακτών της Peniche (Πορτογαλία) το 2007 (χωρίς σύνδεση με το δίκτυο)
- Πώληση του 8,4% της εταιρείας στην Fortum (τέλη 2007)

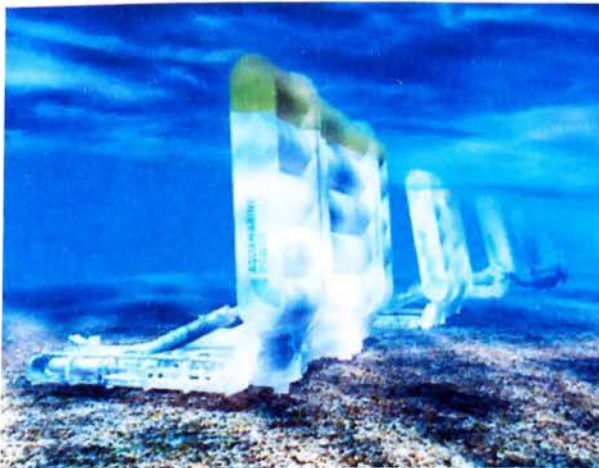
### 3.3.2 AquaMarine Power Ltd (Oyster)

#### 3.3.2.1 Ιστορικό

Η ιδέα Oyster αρχικά αναπτύχθηκε στο Βασιλικό Πανεπιστήμιο του Μπέλφαστ από την ομάδα του καθηγητή Trevor Whittaker. Έγιναν ασκήσεις αριθμητικής και πειραματικής προσομοίωσης (κλίμακας 1:40 και 1:20), καθορίζοντας το σχεδιασμό της συσκευής. Η Aquamarine εξασφάλισε την χρηματοδότηση από την κυβέρνηση της Σκοτίας, και αργότερα προσχώρησε σε μια θυγατρική της, την Scottish & Southern Energy με την μορφή Aquamarine Power Ltd (η αρχική επένδυση ήταν της τάξης των £ 6,3 εκατ.). Πρόσθετες επενδύσεις (£ 1,5 εκατ.) έχουν παρασχεθεί από τον όμιλο Sigma Capital Group plc. Η ομάδα μηχανικών έχει συνεργαστεί με την Atkins, RCID, QUB και Bennet Associates, και η Oyster είναι από τις συσκευές που εξασφάλισαν μια θέση παραβολής του Ευρωπαϊκού Ενεργειακού Κέντρου Ναυτιλίας (EMEC) για μεγάλης κλίμακας δοκιμές.

#### 3.3.2.2 Αρχή λειτουργίας

Η συσκευή Oyster είναι τοποθετημένη κάτω, σε μια επιφάνεια διάτρησης με αρθρωτό καπάκι που μετατρέπει την κυματική ενέργεια που διατίθενται σε μία οριζόντια λειτουργία κίνησης (υπέρταση). Είναι σχεδιασμένη για ανάπτυξη κοντά στην ακτή (περίπου 10 μ. βάθος του νερού). Η συσκευή έχει αναπτυχθεί σε δύο εκδόσεις: την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μια μονάδα αφαλάτωσης. Το κύμα μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια με αποτέλεσμα να παράγετε νερό υπό πίεση. Όλα τα εξαρτήματα μετά από αυτό το στάδιο, παραμένουν στην ξηρά στον υποσταθμό. Στην έκδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η ισχύς απογείωσης αποτελείται από ένα στρόβιλο Pelton, ενώ η έκδοση αφαλάτωσης χρησιμοποιεί μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης για την παραγωγή του γλυκού νερού.



Εικόνα 3.9: Τρισδιάστατη αναπαράσταση<sup>56</sup> εγκατάστασης Oyster

#### 3.3.2.3 Βασικά Ορόσημα

- Κοινοπραξία με την Scottish & Southern Energy (SSE)
- Εξασφάλισε θέση παραβολής EMEC για την ανάπτυξη ενός πλήρους κλίμακας πρωτότυπο (που προγραμματίζεται για το 2009)

- Συμφωνία με την Airtricity να αναπτύξει 1GW των θαλάσσιων ενεργειακών έργων μέχρι το 2020

### 3.4 Παλλόμενη υδάτινη στήλη (ΠΥΣ)

Μερικώς υποβρύχια κοίλη κατασκευή η οποία έχει ένα άνοιγμα στη θάλασσα κάτω από την επιφάνεια των υδάτων<sup>11</sup> ώστε να εγκλωβίζει αέρα πάνω από την υδάτινη στήλη. Τα κύματα προκαλούν το σκαμπανέβασμα της στήλης, το οποίο 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 OWC ρυθμίζονται κατάλληλα για το επικείμενο μήκος κύματος ώστε να υπάρχει συντονισμός τους. Με τον τρόπο αυτό, οι συσκευές OWC μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικές και παρουσιάζουν χαρακτηριστικά σημειακής απορρόφησης. Ειδική περίπτωση της κατηγορίας αυτής είναι η πλωτή συσκευή OWC. Μεταξύ των προτεινόμενων σήμερα συσκευών είναι η Sperboy, η MRC και η τύπου αγωγού οπίσθιας κλίσης OE Buoy. Οι κλασσικές OWC είναι επάκτιες συσκευές, δηλαδή κατασκευάζονται επί της ακτής (Pico OWC, Limpet OWC) ή ενσωματώνονται σε κυματοθραύστες (Mutriko OWC).



Εικόνα 3.10: Τρισδιάστατη αναπαράσταση ΠΥΣ<sup>11</sup>

#### 3.4.1 Ocean Energy Ltd (OE Buoy)

##### 3.4.1.1 Ιστορικό

Η εταιρεία ιδρύθηκε το 2002 για την ανάπτυξη<sup>12</sup> της τεχνολογίας της κυματικής ενέργειας. Οι διευθυντές της εταιρείας έχουν εμπειρία σε υπεράκτιες δραστηριότητες και η εταιρεία επικαλείται στενούς δεσμούς της με την Υδραυλική και Θαλασσίων Ερευνών (HMRC) στο University College Cork, η οποία έχει οδηγήσει το πειραματικό πρόγραμμα μοντελοποίησης.

##### 3.4.1.2 Αρχή λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας είναι παρόμοια με αυτή των σταθερών OWCs σχεδιασμένο για ακτογραμμή μόνιμων εγκαταστάσεων (εισερχόμενα κύματα συμπυκνώνουν και αραιώνουν τη στήλη του νερού στο θάλαμο και ο αέρας αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα). Όπως και στην SPERBOY, πιο δραστήρια κλίματα κύματος

είναι διαθέσιμα υπεράκτια, και η δυνατότητα ελλιμενισμού της συσκευής σε μια ποικιλία βάθους και ανάλογα με τις συνθήκες του θαλάσσιου βυθού ενισχύουν την ευελιξία της συσκευής (σε σύγκριση με την παραδοσιακή τοποθέτηση πακτωμένων OWC εγκαταστάσεων ακτογραμμής).



Εικόνα 3.11: Φωτογραφία<sup>57</sup> εγκατάστασης

### 3.4.1.3 Βασικά Ορόσημα

- Δοκιμές κλίμακας 1:50 στο HMRC (Cork)
- Δοκιμές κλίμακας 1:15 στο Ecole Centrale de Nantes
- Θαλάσσιες δοκιμές σε μοντέλο κλίμακας 1:04 στο Θαλάσσιο Ινστιτούτο δοκιμών (Galway)

## 3.4.2 Wave Energy Centre (Pico OWC)

### 3.4.2.1 Ιστορικό

Το Κέντρο Ενεργειακού Κύματος (WavEC) είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που ιδρύθηκε το 2003, το οποίο προωθεί την κυματική ενέργεια στην Πορτογαλία. Έχει πολλά μέλη, συμπεριλαμβανομένης της EDP (το κύριο πρόγραμμα στην Πορτογαλία) και το EDA, η θυγατρική της στις Αζόρες νήσους. Η μονάδα Pico OWC, επίσης γνωστή ως Ευρωπαϊκή πιλοτική μονάδα, χτίστηκε το 1998 με χρηματοδότηση της Ε.Ε., αλλά λόγω διαφόρων θεμάτων κατασκευής και λειτουργίας μετά βίας λειτουργούσε μέχρι το 2004. Υποβλήθηκε έπειτα ένα σημαντικό πρόγραμμα ανακαίνισης που χρηματοδοτείται από την πορτογαλική κυβέρνηση και έκτοτε ήταν σε τακτική μελέτη (μικρές περιόδους), η παροχή ρεύματος (περιοδικά) με το δίκτυο των Αζόρων.

### 3.4.2.2 Αρχή λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας είναι παρόμοια με τις άλλες OWCs σχεδιασμένες για ακτογραμμή: εισερχόμενα κύματα συμπυκνώνουν και καθαρίζουν την στήλη του νερού στο θάλαμο και ο αέρας αναγκάζεται να περάσει μέσα από ένα στρόβιλο. Διαφορετικοί τύποι στρόβιλων και διαφορετικές συνθέσεις στρόβιλου έχουν δοκιμαστεί.



Εικόνα 3.12: Φωτογραφία<sup>58</sup> εγκατάστασης

### 3.4.2.3 Βασικά Ορόσημα

- Κατασκευή μονάδας - πρώτο ευρωπαϊκό πιλοτικό εργοστάσιο
- Ανακατασκευή προγράμματος που χρηματοδοτείται από την επιχορήγηση DEMTEC (πορτογαλική κυβέρνηση).

## 3.5 Συσκευή υπερακόντισης

Η συσκευή αποτελείται από ένα τοίχωμα επάνω στο οποίο χτυπούν τα κύματα και το νερό συλλέγεται σε μία δεξαμενή<sup>11</sup> αποθήκευσης. Τα προσκρούοντα κύματα δημιουργούν ένα ύψος πτώσης το οποίο ελευθερώνεται πίσω στη θάλασσα μέσω συμβατικών στρόβιλων χαμηλής πίεσης που είναι εγκατεστημένοι στον πυθμένα της δεξαμενής. Η συσκευή υπερακόντισης μπορεί να κάνει χρήση συλλεκτών για την συγκέντρωση της κυματικής ενέργειας. Οι συσκευές υπερακόντισης είναι συνήθως μεγάλες κατασκευές, λόγω του απαιτούμενου χώρου για τη δεξαμενή, η οποία χρειάζεται να εξασφαλίζει μια ελάχιστη χωρητικότητα αποθήκευσης. Οι συσκευές μπορεί να είναι πλωτές, όπως η Wave Dragon, όπου επί του παρόντος είναι ο

μεγαλύτερος μετατροπέας κυματικής ενέργειας που αναπτύσσεται, ή σταθερές κατασκευές στη στεριά όπως η SSG (ενσωματώνεται σε κυματοθραύστη). Παράδειγμα πρώιμης συσκευής υπερακόντισης είναι η συσκευή TAPChan στο Toftestallen της Νορβηγίας, όπου ένας αγωγός με σταδιακή μείωση της διαμέτρου του προκαλούσε την υπερχείλιση του νερού σε μία επίγεια δεξαμενή.



Εικόνα 3.13: Τρισδιάστατη αναπαράσταση συσκευής<sup>11</sup> υπερακόντισης

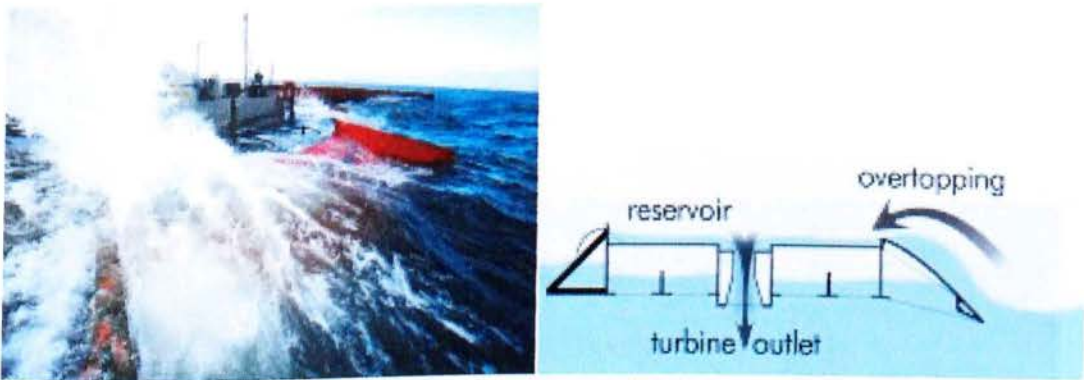
### 3.5.1 Wave Dragon ApS

#### 3.5.1.1 Ιστορικό

Η συσκευή Wave Dragon είναι υπό ανάπτυξη από το 1994 στη Δανία. Το έργο έχει υποστηριχθεί από μια σειρά επιχορηγήσεων της E.E. και των βασικών φορέων που συμμετέχουν στο πρόγραμμα δοκιμών Aalborg University και SproK Aps. Ένας αριθμός μελετών των διαρθρωτικών διάταξης υπερβαίνοντας ενός σταθερού μοντέλου, η αποτελεσματικότητα κατόπλου, οι χρηματοοικονομικές πτυχές, η γεωμετρία, η βέλτιστη επιλογή της διαμόρφωσης τουρμπίνας, και οι κινήσεις του Wave Dragon έχουν πραγματοποιηθεί. Παράλληλα, η παραμετροποίηση και ρύθμιση των ανεμογεννητριών σχεδιάστηκε από τις ακόλουθες εταιρείες: Ossberger Turbinenfabrik (Γερμανία) / Kössler GmbH (Αυστρία), Hälleryd Turbiner AB (Σουηδία) και Veteran Kraft (Σουηδία) σε συνδυασμό με δοκιμές στροβίλου και προσομοιώσεις σε υπολογιστή που διεξάγεται στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο Μονάχου (Γερμανία). Η δομή σχεδιάστηκε από τον εφευρέτη Erik Friis-Madsen (εφευρέτης του Wave Dragon) και προσαρμόζεται στα πρότυπα της ναυπηγικής βιομηχανίας, Armstrong Technology (Ηνωμένο Βασίλειο). Τα ηλεκτρικά εξαρτήματα και οι συνδέσεις δικτύου έχουν σχεδιαστεί από την Balslev (Δανία), την Belt Electric (Δανία) και την Elsam-Projekt / Eltra (Δανία). Στην κοινοπραξία συμμετέχουν επίσης συμβουλευτικές ομάδες, όπως η ESBI Engineering Ltd (Ιρλανδία) και η Niras AS (Δανία). Μετά τις αρχικές δοκιμές, ένα πρότυπο κλίμακας 1:4.5 χτίστηκε και αναπτύχθηκε τον Απρίλιο του 2003 στο Nissum Bredning (Broads), μια κλειστή θάλασσα, που συνδέεται με τη δανική Βόρεια Θάλασσα. Οι δοκιμές είναι σε εξέλιξη από τότε και το ηλεκτρικό ρεύμα παραδίδεται στο δανικό εθνικό δίκτυο. Η τρέχουσα εστίαση για την τεχνολογία Wave Dragon είναι να δημιουργήσει και να αναπτύξει μια πολυ μονάδα MW. Ένα έργο που η Ευρωπαϊκή Επιτροπή είχε άρχισε τον Μάιο του 2006 να υλοποιεί το σχέδιο για αυτό το εμπορικό μέγεθος ανοικτά των ακτών της Pembrokeshire στη Νότια Δυτική Ουαλία.

### 3.5.1.2 Αρχή λειτουργίας

Η συσκευή Wave Dragon, παρόλο που επιπλέει, δεν μετατρέπει την κυματική ενέργεια μέσα από την κίνησή του. Συγκεντρώνει κυματική ενέργεια παθητικά με την αξιοποίηση της υπερυψωμένου αρχής. Η πρόσοψη της συσκευής είναι μια καμπύλη διαδρόμου, και τα απότομα κύματα εισέρχονται επάνω του, σαν να ήταν μια παραλία. Πίσω στην κορυφή αυτού του διαδρόμου βρίσκεται μια δεξαμενή η οποία συγκεντρώνει το "υπερυψωμένο" νερό με τη ράμπα η οποία έχει πλέον μεγαλύτερες ενεργειακές προοπτικές από ό, τι στα γύρω νερά. Οι μακριές φτερούγες κατόπτρου συνδέονται με τη δεξαμενή για να ενισχύσουν το υπερυψωμένο αποτέλεσμα. Η ενέργεια εξάγεται ως ότου το νερό να στραγγίξει πίσω στη θάλασσα μέσω των χαμηλής πίεσης υδροηλεκτρικών στροβίλων (Kaplan) εντός της δεξαμενής.



Εικόνα 3.14: Φωτογραφία<sup>59</sup> και σχηματική αναπαράσταση εγκατάστασης

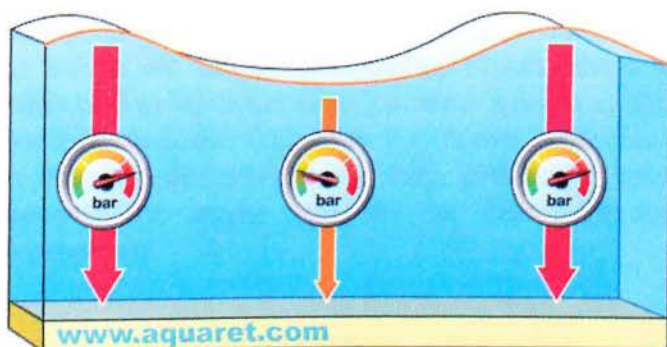
### 3.5.1.3 Βασικά Ορόσημα

- Κατασκευή και λειτουργία προτύπου κλίμακας 1:45
- 3 ετές ρεκόρ λειτουργίας
- Βραβευμένο με το ποσό των £5 εκατ. επιχορήγηση από την κυβέρνηση της ουαλικής συνέλευσης για την ανάπτυξη μιας πλήρους κλίμακας επίδειξης ανοικτά των ακτών της Pembrokeshire στη Νότια Δυτική Ουαλία

## 3.6 Βυθιζόμενη συσκευή διαφορικής πίεσης

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. Ένα καλό παράδειγμα υλοποίησης της σχεδίασης αυτής μέχρι σήμερα είναι η AWS

(Archimedes Wave Swing), η οποία έχει και αυτή καλά χαρακτηριστικά σημειακής απορρόφησης. Μια ακόμα συσκευή που μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει στην κατηγορία αυτή είναι η Waverotor.



Σχήμα 3.15: Σχηματική αναπαράσταση διαφοράς πίεσης<sup>11</sup> κυματισμών



Εικόνα 3.16: Τρισδιάστατη αναπαράσταση βυθιζόμενης συσκευής διαφορικής πίεσης<sup>11</sup>

### 3.6.1 Ecofys BV (WaveRotor)

#### 3.6.1.1 Ιστορικό

Η Ecofys, είναι μια ολλανδική εταιρία παροχής συμβουλών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μαζί με έναν εταίρο της, μια δανική εταιρία (Ingenioerfirma Rossen), έχει αναπτύξει μια συσκευή που ονομάζεται WaveRotor, από τις αρχές της δεκαετίας του 2000. Η ιδέα υποβλήθηκε σε μια σειρά δοκιμών στο NaREC, και το ίδιο μοντέλο μεγέθους 1:10 είχε εγκατασταθεί στη χερσόνησο Bredning Nissum στη Δανία.



### 3.6.1.2 Αρχή λειτουργίας

Το WaveRotor έχει ως στόχο να μετατρέψει την περιστροφική κίνηση που συνδέεται με τις τροχιακές κινήσεις από την κυκλοφορία των σωματιδίων του νερού στα κύματα, τα οποία δημιουργούν τοπικά ρεύματα. Οι προγραμματιστές ανακάλυψαν ότι αυτά τα κυκλικά ρεύματα μπορούν να οδηγήσουν απευθείας ένα στροφείο, αποφεύγοντας τα ενδιάμεσα στάδια μετατροπής. Προκειμένου να αξιοποιηθεί η ενέργεια άμεσα τόσο από το πάνω και κάτω και πίσω προς τα εμπρός των ρευμάτων, δύο τύποι από ρότορες συνδυάστηκαν στον ίδιο άξονα περιστροφής: ένα Darrieus στροφείο και ένα στροφείο φρεατίων. Αυτά είναι, αντίστοιχα, πανταχού και διπλής κατεύθυνσης στροφεείς, οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν στην αλλαγή κατεύθυνσης των ρευμάτων.



Εικόνα 3.17: Φωτογραφία<sup>60</sup> εγκατάστασης

### 3.6.1.3 Βασικά Ορόσημα

- Δοκιμή πρότυπο μεγέθους κλίμακας 1:10 σε Nissum Bredning (Δανία) και NaREC

Όπως φαίνεται, υπάρχουν αρκετές κατηγορίες διατάξεων κυματικής ενέργειας βάσει των μηχανισμών απόσπασης της ενέργειας και οι διακρίσεις είναι δύσκολες. Συχνά, διακρίνονται μόνο τρεις στοιχειωδώς διαφορετικές κατηγορίες, ήτοι η παλλόμενη υδάτινη στήλη, η διάταξη υπερχειλίσσης και σώματα με προκαλούμενη από την (σχετική) κίνηση των κυμάτων. Τυπικά, όλες οι διατάξεις πλην αυτής της υπερχειλίσσης διαθέτουν και χαρακτηριστικά σημειακού απορροφητή. Σημειακή απορρόφηση είναι η ικανότητα απορρόφησης της ενέργειας από μια μεγάλη περιοχή σε σχέση με τις φυσικές διαστάσεις της διάταξης – επίσης γνωστό και ως φαινόμενο «κεραίας». Δεν υπάρχει μία κοινή και ευρέως αποδεκτή από τη διεθνή κοινότητα έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης (E&TA) κατηγοριοποίηση, λόγω της διαφορετικής οπτικής γωνίας. Το παραπάνω κεφάλαιο έγινε με σκοπό τη διάκριση των σχεδιασμών που είναι σήμερα οι πλέον δημοφιλείς, βάσει της αρχής λειτουργίας τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Έρευνα και Ανάπτυξη)

### 4.1 Γενικές πτυχές αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας

Η κυματική ενέργεια προέρχεται από τους ανέμους<sup>13</sup> που φυσούν κατά μήκος των ωκεανών, και αυτή η μεταφορά ενέργειας προσφέρει μια βολική και φυσική συγκέντρωση της αιολικής ενέργειας στο νερό κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια. Όταν γίνει αυτό τα κύματα μπορούν να ταξιδέψουν χιλιάδες χιλιόμετρα με ελάχιστη απώλεια ενέργειας. Ως εκ τούτου, τα κύματα που δημιουργούνται π.χ. στην αμερικάνικη πλευρά του Ατλαντικού θα ταξιδέψουν προς την δυτική ακτή της Ευρώπης, που υποστηρίζεται από τους ανέμους δυτικά. Οι ροές ενέργειας που υπάρχουν στην βαθιά θάλασσα και τα κύματα του νερού μπορούν να είναι πολύ μεγάλα. Η ενέργεια σε ένα κύμα είναι ανάλογη με το τετράγωνο του πλάτους και της περιόδου της κίνησης. Ως εκ τούτου, μεγάλο χρονικό διάστημα (7 - 10 s), και σε μεγάλο εύρος (2 m), τα κύματα έχουν ροές ενέργειας συχνά κατά μέσο όρο μεταξύ 40 και 70 kW ανά μέτρο πλάτους επερχόμενου κύματος. Πιο κοντά στην ακτή ο μέσος όρος ενεργειακής έντασης των κυμάτων μειώνεται λόγω της αλληλεπίδρασης με το βυθό της θάλασσας. Η διάχυση της ενέργειας σε περιοχές κοντά στην ακτή μπορεί να αντισταθμιστεί από φυσικά φαινόμενα όπως η διάθλαση ή η αντανάκλαση, που οδηγεί σε συγκέντρωση της ενέργειας («θερμά σημεία»). Ευρισκόμενο στο τέλος της μακράς θυελλώδης ευρύτητας του Ατλαντικού, το κλίμα κύματος κατά μήκος της δυτικής ακτής της Ευρώπης χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλή ενέργεια. Μόνο το νότιο τμήμα της Νότιας Αμερικής και οι Αντίποδες έχουν ένα πιο ενεργητικό κλίμα κύματος, λόγω των αιφάνων καταιγίδων κοντά στον Ατλαντικό<sup>14</sup>. Πρόσφατες μελέτες<sup>15</sup> έχουν ανατεθεί για την περιοχή του βόρειο-ανατολικού Ατλαντικού (συμπεριλαμβανομένης και της Βόρειας Θάλασσας), όπου οι διαθέσιμοι πόροι κυματικής ενέργειας φτάνουν περίπου τα 290 GW. Το μακροπρόθεσμο μέσο ετήσιο επίπεδο ενέργειας των κυμάτων αυξάνεται περίπου από 25 kW/m ανοικτά του νοτιότερου τμήματος του Ατλαντικού της ακτογραμμής της Ευρώπης (Κανάριοι Νήσοι) έως και 75 kW/m ανοικτά της Ιρλανδίας και της Σκωτίας. Όταν κινείται βορειότερα, μειώνεται σε 30 kW/m ανοικτά του βορειότερου τμήματος της νορβηγικής ακτής. Στη Βόρεια Θάλασσα, οι μεταβολές των πόρων κυμαίνονται, από 21 kW/m στις πλέον ευάλωτες (βόρειες) περιοχές και στο μισό περίπου της τιμής αυτής στις πιο προστατευμένες (νότιες) περιοχές. Στον κόλπο της Μεσογείου, το ετήσιο επίπεδο ισχύος από τις ακτές των ευρωπαϊκών χωρών κυμαίνεται μεταξύ 4 και 11 kW/m, όπου οι υψηλότερες τιμές συναντώνται στην περιοχή του νότιο-δυτικού Αιγαίου. Αυτή η περιοχή χαρακτηρίζεται από μια σχετικά μεγάλη ευρύτητα και υψηλό δυναμικό αιολικής ενέργειας. Οι συνολικοί ετήσιοι πόροι των βαθέων υδάτων κατά μήκος των ευρωπαϊκών ακτών της Μεσογείου είναι της τάξεως των 30 GW, με αποτέλεσμα το σύνολο των πόρων της κυματικής ενέργειας για την Ευρώπη να είναι 320 GW.

Είναι σημαντικό να εκτιμηθούν οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι εξελίξεις της κυματικής ενέργειας, οι σημαντικότερες των οποίων είναι:

- Παρατυπία στο πλάτος κύματος, φάσης και κατεύθυνσης, είναι δύσκολο να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση μιας συσκευής σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων διέγερσης,

- Οι διαρθρωτικές φορτίσεις σε περιπτώσεις καιρικών φαινομένων, όπως κυκλώνες, μπορούν να είναι τόσο υψηλές όσο 100 φορές της φορτίσεως κατά μέσο όρο,
- Η σύζευξη των παράτυπων, στην αργή κίνηση η συχνότητα ενός κύματος είναι 0,1 Hz, στην ηλεκτρική γεννήτρια συνήθως απαιτείται 500 φορές μεγαλύτερη συχνότητα.

Γίνεται εμφανές, ότι ο σχεδιασμός ενός μετατροπέα κυματικής ενέργειας πρέπει να είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος για να είναι αποτελεσματικά λειτουργικός και αξιόπιστος από τη μία πλευρά, και οικονομικά εφικτός, από την άλλη. Όπως συμβαίνει με όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι διαθέσιμοι πόροι και η μεταβλητότητα στον τόπο της εγκατάστασης πρέπει να προσδιορίζεται πρώτα. Οι πρόσφατες τάσεις υποστηρίζουν συσκευές μέτριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που κυμαίνονται σε επίπεδα μεταξύ 1,5 – 2 kW, ή σε μικρές αρθρωτές συσκευές 5 – 20 kW ονομαστικής ισχύος, οι οποίες μπορούν να ικανοποιήσουν απαιτήσεις πολλών μεγαβάτ όταν εγκατασταθούν σε συστοιχία.

Η κυματική ενέργεια θεωρητικά μπορεί να παρέχει μια καθαρή πηγή ανανεώσιμης ενέργειας, με περιορισμένες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ειδικότερα, η κυματική ενέργεια θεωρείται ως μια μεγάλη πηγή ενέργειας που δεν συνεπάγεται μεγάλες εκπομπές CO<sup>2</sup>. Η περιορισμένη εμπειρία με τα συστήματα κυματικής ενέργειας δίνει τη δυνατότητα να σχηματιστεί μόνο μια ατελή εικόνα των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τις συσκευές ισχύος των κυμάτων.

Ο πίνακας που ακολουθεί συνοψίζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των τεχνολογιών μετατροπής της κυματικής ενέργειας, ως εξής:

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	Ακτογραμμή	Κοντά στις Ακτές	Υπεράκτια
Χρήση γης / Αποψίλωση	A		
Κατασκευή / Συντήρηση χώρων	A		
Ανακατασκευή	A	A	
Παράκτια διάβρωση	A	A – M	A – M
Ιζηματογενή πρότυπα ροής		A	A
Πλοήγηση		A	A
επικινδυνότητας			
Ψαριών και Θαλάσσιου βιοκόσμου	A	A	A
Ακουστικού Θορύβου	A		
Εργασίες απωλειών υγρών		A	A
Απειλούμενα είδη	A	A	

Συσκευή πρόσδεση βλάβης	A – M	A – M
----------------------------	-------	-------

A: Ασθενές αποτέλεσμα M: Μέσο αποτέλεσμα

Πίνακας 4.1: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των τεχνολογιών μετατροπής κυματικής ενέργειας<sup>16</sup>.

Τα κύρια εμπόδια κυματικής ενέργειας προκύπτουν από τον ίδια φορέα ενέργειας, τη θάλασσα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το μέγιστο μέσο ποσοστό του φορτίου στη θάλασσα είναι πολύ υψηλό, και είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Για παράδειγμα, είναι δύσκολο να προσδιοριστούν με ακρίβεια τα 50 χρόνια κύματος επιστροφής περιόδου για ένα συγκεκριμένο χώρο, όταν η συστηματική, επί τόπου καταγραφή των ιδιοτήτων κύματος ξεκίνησε μόλις πριν από λίγα χρόνια. Το αποτέλεσμα είναι είτε υποεκτίμηση ή υπερεκτίμηση των φορτίων στον σχεδιασμό μιας συσκευής. Στην πρώτη περίπτωση, την ολική ή μερική καταστροφή των εγκαταστάσεων πρέπει να αναμένεται, με μαθηματική ακρίβεια. Στην τελευταία περίπτωση, το υψηλό κόστος κατασκευής συχνά επιφέρει υψηλό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστώντας έτσι την τεχνολογία μη ανταγωνιστική. Αυτοί οι περιορισμοί, μαζί με την παραπληροφόρηση και την έλλειψη κατανόησης της τεχνολογίας κύματος από τη βιομηχανία, την κυβέρνηση και το κοινό, συχνά έχουν επιβραδύνει την ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, τα πλεονεκτήματα της κυματικής ενέργειας είναι προφανείς, η ανάπτυξη της οποίας θα είναι βιώσιμη, καθώς συνδυάζει τους ζωτικής σημασίας οικονομικούς, περιβαλλοντικούς, ηθικούς και κοινωνικούς παράγοντες. Η αφθονία των πόρων και της υψηλής ενέργειας ροών στη θάλασσα ορίζουν, στον κατάλληλο σχεδιασμό των διατάξεων, μια οικονομικά βιώσιμη παραγωγή ενέργειας. Ιδιαίτερα πλεονεκτήματα της κυματικής ενέργειας είναι οι περιορισμένες επιπτώσεις στο περιβάλλον, η φυσική εποχιακή διακύμανση των κυμάτων ενέργειας, το οποίο ακολουθεί η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε εύκρατα κλίματα, και η εισαγωγή σύγχρονων γεννητριών για τον έλεγχο άεργου ενέργειας. Η αμελητέα ζήτηση στη χρήση της γης είναι μια σημαντική πτυχή, που ακολουθείται από τις τρέχουσες τάσεις της εκμετάλλευσης των υπεράκτιων σταθμών αιολικής ενέργειας. Όσο για τις περισσότερες μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η επιτόπια εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας συνεπάγεται διαφοροποίηση των εργαζομένων και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε απομακρυσμένες περιοχές. Επιπλέον, αναμένεται ότι μεγάλης κλίμακας εφαρμογές των τεχνολογιών ενέργειας από τα κύματα θα τονώσουν φθίνουσες βιομηχανίες, όπως π.χ. την ναυπηγική βιομηχανία, και την δημιουργία θέσεων εργασίας στις μικρομεσαίες βιομηχανίες.

## 4.2 Ευρωπαϊκές δραστηριότητες

Η έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της κυματικής ενέργειας βρίσκεται σε εξέλιξη σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες. Η εμπλοκή στην αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους διαθέσιμους πόρους της. Σε χώρες με υψηλά ποσοστά πόρων, η κυματική ενέργεια θα μπορούσε να καλύψει ένα σημαντικό μέρος της ζήτησης της ενέργειας στη χώρα και ακόμη και να γίνει μια πρωταρχική πηγή ενέργειας. Χώρες με μέτριο, αν και εφικτό ποσοστό πόρων, θα μπορούσαν να

χρησιμοποιήσουν την κυματική ενέργεια σαν συμπληρωματική ενέργεια σε άλλες διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ή / και συμβατικές πηγές ενέργειας.

Η Δανία, η Ιρλανδία, η Νορβηγία, η Πορτογαλία, η Σουηδία και το Ηνωμένο Βασίλειο θεωρούνται, από άποψη κυματικής ενέργειας, εδώ και πολύ καιρό ως μια εφικτή ενεργειακή πηγή. Οι χώρες αυτές διαθέτουν σημαντικούς πόρους κυματικής ενέργειας και έχουν συμμετάσχει ενεργά στην αξιοποίηση της κάτω από κυβερνητικές υποστηρίξεις για πολλά χρόνια. Αυτό έχει οδηγήσει τα τελευταία 25 χρόνια ένα μεγάλο μέρος των εργασιών E&TA και τη σημαντική πρόοδο στη μετατροπή κυματικής ενέργειας.

Η Δανία βρίσκεται σε μια προστατευμένη περιοχή στο νότιο τμήμα της Βόρειας Θάλασσας, ωστόσο, στις βόρειο-δυτικές περιοχές οι πόροι κυματικής ενέργειας είναι σχετικά ευνοϊκοί για πιθανές εξελίξεις. Η ετήσια πηγή κυματικής ενέργειας της Δανίας, έχει εκτιμηθεί ότι είναι περίπου 30 TWh, με ετήσιο ποσοστό κυματικής ενέργειας μεταξύ 7 και 24 kW/m να προέρχονται από την δυτική κατεύθυνση.

Το δανικό ενεργειακό πρόγραμμα κυμάτων ξεκίνησε το 1996 με το Energy 21, με τη διάθεση 5,3 εκατ. ECU για την περίοδο 1998-2002. Ο στόχος είναι η προώθηση της τεχνολογίας της κυματικής ενέργειας, μετά από την επιτυχή πείρα της Δανίας στην αιολική ενέργεια<sup>17</sup>. Το 1997, μια δανική εταιρία Ενέργειας κυματισμού δημιουργήθηκε για να διαδώσει πληροφορίες και να οργανώσει συναντήσεις για τα μέλη της και για όσους ενδιαφέρονται για την κυματική ενέργεια. Η Δανική Υπηρεσία Ενέργειας ίδρυσε μία Συμβουλευτική Ομάδα εμπειρογνομόνων που εκπροσωπούν το Δανικό Υδραυλικό Ινστιτούτο-DHI, Θαλάσσιου Ιδρύματος της Δανίας -DMI, η Folkecenter για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, το Πανεπιστήμιο του Aalborg, το Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Δανίας και του Συλλόγου κυματικής ενέργειας της Δανίας. Η λειτουργία τους είναι να παρέχουν συμβουλές για κατάλληλες δοκιμές και έρευνες για την κυματική ενέργεια.

Η Ιρλανδία έχει σημαντικό δυναμικό για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από κυματική ενέργεια. Σύμφωνα με τον Lewis<sup>18</sup>, η πηγή ενέργειας από τα κύματα της Ιρλανδίας είναι 375 MWh/m σε 20 m περιγράμματος της τοποθεσίας, ενώ η συνολική ενέργεια προσπίπτοντος κύματος είναι γύρω στα 187,5 TWh.

Η πολιτική του Υπουργείου Ναυτιλίας και Φυσικών Πόρων είναι να ενθαρρύνει τους υπεράκτιους πόρους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας Νόμος για άδειες και μισθώσεις παράλιων για την ανάπτυξη της υπεράκτιας, όπως της κυματικής ενέργειας και των υπεράκτιων εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας, δημοσιεύθηκε τον Ιούλιο του 2000. Το 1997, η κυματική ενέργεια υποστηρίζονταν στο πλαίσιο AER-3.

Ένα έργο που επελέγη για την προσφορά της συμφωνίας για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (με την ESB) και την επιδότηση ενισχύσεων από την Ε.Ε. με βάση το ότι η τεχνολογία κυματικής ενέργειας δεν είχε προχωρήσει αρκετά πέρα από το στάδιο της έρευνας για να δικαιολογήσει την ενίσχυση στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Υποδομής Επιχειρησιακού Προγράμματος και το έργο δεν προχώρησε.

Προς το παρόν, μια συνεργασία του Κέντρου Υδραυλικών και Θαλασσιών Ερευνών, University College Cork, της Ιρλανδίας Hydrodata Ltd, Ove Arup & Partners Ltd, το Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο του Limerick και του Θαλάσσιου Ινστιτούτου βρίσκονται στο στάδιο ολοκλήρωσης μιας στρατηγικής μελέτης για την κυματική ενέργεια στην Ιρλανδία. Ο στόχος της μελέτης είναι να παράσχει μια διαβαθμισμένη επιλογή των τόπων της κυματικής ενέργειας και να διερευνήσει μια μεθοδολογία πρόβλεψης των κυμάτων.

Η Νορβηγία έχει μια μακρά ακτογραμμή που αντικρίζει τον Ανατολικό Ατλαντικό με τους ισχυρότερους δυτικούς ανέμους και τους υψηλούς πόρους κυματικής ενέργειας της τάξης των 400 TWh/έτος. Ακόμα κι αν δεν υπάρχει υψηλή διαθεσιμότητα της

κυματικής ενέργειας, λόγω του κόστους και των αβεβαιοτήτων της διαθέσιμης τεχνολογίας, με τη σύνοψη της ενέργειας και το ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας για το 2020 να είναι 0,5 MWh θα είναι η συμβολή της ενέργειας των κυμάτων με τις νορβηγικές εταιρίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως από τις μικρές εξελίξεις.

Όλος ο εφοδιασμός με ηλεκτρισμό της Νορβηγίας, κατά παράδοση, επιτυγχάνεται από τις ανανεώσιμες πηγές υδροηλεκτρικής ενέργειας, αλλά η αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια δεν έχει καλυφθεί με ισόποση αύξηση σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της αντίθεσης του κοινού σε μεγάλα έργα υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η κυβέρνηση προωθεί τη χερσαία αιολική ενέργεια και βιομάζα, με ιδιαίτερη έμφαση στο υδρογόνο ως φορέα ενέργειας και πιλοτικών προγραμμάτων φυσικού αερίου με κυψέλες καυσίμου. Το περιβαλλοντικό πρόβλημα των υψηλών εκπομπών CO<sup>2</sup> από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το πετρέλαιο και τις εγκαταστάσεις φυσικού αερίου ανοικτής θάλασσας θα μπορούσαν να δημιουργήσουν τη βάση για μια πιθανή αγορά κυματικής ενέργειας.

Η Νορβηγία ξεκίνησε τη συμμετοχή της στην κυματική ενέργεια το 1973 στο Τμήμα Φυσικής του Νορβηγικού Πανεπιστημίου Επιστημών και Τεχνολογίας - NTNU, και είχε επίσημη κυβερνητική στήριξη από το 1978. Στη δεκαετία του 1980 δύο μετατροπείς κύματος ακτογραμμής αναπτύχθηκαν, το πολλαπλών συντονιζόμενου παλμικού στήλης ύδατος-OWC και το κωνικό κανάλι-Tarchan των 500 και 350 kW αντίστοιχα.

Το 1985, το OWC κατασκευάστηκε από την Kvaener Brug A/S και η Tarchan από την Norwave A/S στο Tofstallen περίπου 35 χιλιόμετρα βορειοδυτικά του Μπέργκεν. Οι εγκαταστάσεις υπέστησαν σοβαρές ζημιές κατά τη διάρκεια καταιγίδων το 1988 και το 1991, αλλά υπάρχουν σχέδια για την επαναλειτουργία του εργοστασίου TARCHAN.

Η Πορτογαλία χαρακτηρίζεται από μια ετήσια κυματική ενέργεια μεταξύ 30 και 40 kW/m. Η υψηλότερη δύναμη κύματος βρίσκεται στα ανοικτά της βορειοδυτικής ακτής της Πορτογαλίας και στο αρχιπέλαγος των Αζόρων. Έχει υπολογιστεί ότι ο συνολικός πόρος κυματικής ενέργειας στην ηπειρωτική Πορτογαλία είναι περίπου 10 GW και το μισό του μπορεί να είναι εν δυνάμει αντικείμενο εκμετάλλευσης.

Η πορτογαλική κυβέρνηση υποστηρίζει την ενέργεια των κυμάτων, όπως άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μέσω των διαφόρων χρηματοδοτικών μηχανισμών. Το Υπουργείο Επιστήμης και Τεχνολογίας παρέχει χρηματοδότηση για προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης και επίδειξης (υπό την ηγεσία εταιρειών) μέσω των διαφόρων προγραμμάτων. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος της χρηματοδότησης για έργα ενεργειακής επίδειξης, παρέχεται από το Υπουργείο Οικονομίας για την χρησιμοποίηση εθνικής χρηματοδότησης, εκτός από ευρωπαϊκά χρήματα. Στην Πορτογαλία, η έρευνα για την κυματική ενέργεια ξεκίνησε το 1978 στο Instituto Superior Técnico (IST) στη Λισαβόνα και προσχώρησαν το 1983 από στο Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI). Από το 1986, η Πορτογαλία συμμετείχε με επιτυχία στο σχεδιασμό και την κατασκευή του μετατροπέα κύματος ακτογραμμής ταλαντευόμενης στήλης νερού στην Pico στις Αζόρες, που υποστηρίζονται από την κυβέρνηση, του προγράμματος Joule της E.E. και από τις εταιρείες κοινής ωφέλειας των Αζόρων και της ηπειρωτικής χώρας.

Η Σουηδία έχει μερικές καλές περιοχές για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας. Το βόρειο τμήμα της δυτικής ακτής αντικρίζει τη Βόρεια Θάλασσα και τη Βαλτική Θάλασσα, γύρω από τα νησιά Öland και Gotland. Οι τεχνικά διαθέσιμοι πόροι είναι περίπου 50 έως 100 TWh ετησίως. Αυτό πρέπει να συγκριθεί με την ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας η οποία είναι 150 TWh.

Η κυματική ενεργειακή έρευνα ξεκίνησε στη Σουηδία το 1976, και το 1979 ιδρύθηκε μια ενεργειακή ερευνητική ομάδα κυματισμού, η οποία αποτελούνταν από τέσσερα τμήματα στο Chalmers University of Technology, και της ιδιωτικής εταιρείας συμβούλων Technocean. Το 1980, ο πρώτος πλήρης πλωτήρας σημειακού απορροφητήρα κλίμακας στον κόσμο, είχε εγκατασταθεί έξω από το Goteborg. Το έργο χρηματοδοτήθηκε από την ιδιωτική εταιρεία Interproject AB (IPS). Οι δοκιμές ήταν επιτυχείς, και μετά την βελτίωσή του κατά τη διάρκεια του χειμώνα ο πλωτήρας ξεκίνησε για άλλη μια φορά το καλοκαίρι του 1981. Ένα άλλο μεγάλο έργο ήταν η σωλήνα αντλίας του έργου. Ήταν, επίσης, πλήρης διαστάσεων όταν δοκιμάστηκε στη θάλασσα, 1983-1986. Το έργο αυτό εκτελείται από την Technocean και χρηματοδοτήθηκε από την Swedyards και αργότερα από την Celsius Industries. Η Technocean επίσης αξιολόγησε ένα μεγάλο αριθμό μετατροπέων κυματικής ενέργειας, στο πλαίσιο του σουηδικού Εθνικού Προγράμματος Κυματικής Ενέργειας (1980-1986) και συμμετείχε στην CEC με το πρόγραμμα OWEC-1. Η Technocean έχει συμμετάσχει σε πολλές άλλες προτάσεις στο πρόγραμμα JOULE, το οποίο υπήρξε ένα μικρό ερευνητικό πρόγραμμα 1989-1996. Σήμερα, εκτός από τη σουηδική συμμετοχή στο δίκτυο ενέργειας κυμάτων, υπάρχει μόνο η IPS και η Sea Power International<sup>19</sup> που δραστηριοποιούνται στην αγορά ενέργειας κυματισμού στη Σουηδία. Η Σουηδία δεν έχει κανένα εθνικό ερευνητικό πρόγραμμα αυτή τη στιγμή.

Το Ηνωμένο Βασίλειο βρίσκεται στο ανατολικό άκρο της μεγάλης ευρύτητας του Ατλαντικού Ωκεανού με την επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου από τα δυτικά, και είναι περιτριγυρισμένο από ταραχώδη νερά. Οι διαθέσιμοι πόροι κυματικής ενέργειας εκτιμάται ότι θα είναι 120 GW<sup>20</sup>.

Η E&TA κυματικής ενέργειας ξεκίνησε στο Ηνωμένο Βασίλειο στο Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου, όταν η πετρελαϊκή κρίση του 1973 έπληξε ολόκληρο τον κόσμο. Το 1974, η S. Salter δημοσίευσε την αρχική ερευνητική εργασία του σχετικά με την κυματική ενέργεια και η έρευνα σχετικά με την υπεράκτια μετατροπή κυματικής ενέργειας ξεκίνησε. Εν τω μεταξύ, τουλάχιστον άλλα δέκα έργα κυματικής ενέργειας ξεκίνησαν στο Ηνωμένο Βασίλειο. Η κυβέρνηση υποστήριξε και χρηματοδότησε σε μεγάλο εύρος της έρευνας της κυματικής ενέργειας μέχρι το 1983, και το 1999 η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου δήλωσε εκ νέου ευνοϊκή θέση όσον αφορά τη στήριξη έρευνας και ανάπτυξης για την ενέργεια κύματος, με προϋπολογισμό ύψους περίπου £ 3 (ευρώ 4,92) εκατ. για τα επόμενα τρία χρόνια 2000-2003. Επιπλέον, η επιτυχία του αρχικού σχεδίου OWC πεταλίδας και ο πλήρης παροπλισμός του το 1999 έχει δημιουργήσει τη βάση για την ένταξη τριών έργων κυματικής ενέργειας στην τρίτη σκωτσέζικη ανανεώσιμη υποχρέωση (SRO-3). Τρία έργα κυματικής ενέργειας συνολικής χωρητικότητας 2 MW δεσμευμένα με συμβόλαιο αγοράς 15 χρόνων στη Σκωτία: μέχρι το 2003, η Limpet, η Pelamis και το Floating Wave Power Vessel-FWPV θα παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στο νησί Islay στο δυτικό μέρος της Σκωτίας και στην περιοχή Shetland.

Λόγω των πολιτικών λόγων, κυρίως της επικέντρωσης σε άλλες πηγές ενέργειας, ή έλλειψης πόρων, η μετατροπή της κυματικής ενέργειας δεν έχει υποστεί σημαντική εξέλιξη στο Βέλγιο, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ιταλία, Κάτω Χώρες και Ισπανία τα τελευταία χρόνια.

Το Βέλγιο, η Γερμανία και οι Κάτω Χώρες χαρακτηρίζονται από ένα σχετικά περιορισμένο μήκος ακτογραμμής, ρηχά παράκτια ύδατα και υψηλή πυκνότητα της κυκλοφορίας υπεράκτια. Όλοι αυτοί οι παράγοντες συνηγορούν κατά σημαντικό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη της ενέργειας των κυμάτων. Παρά τους περιορισμούς αυτούς, η έρευνα και ανάπτυξη του έργου έχει πραγματοποιηθεί σε πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα και ιδιωτικές εταιρείες. Η TeamWork Technology BV, στην

Ολλανδία, αναπτύσσει μια πολλά υποσχόμενη συσκευή μετατροπής κυματικής ενέργειας, της *Swing Wave Archimedes*<sup>21</sup>, ένα πιλοτικό σχέδιο το οποίο βρίσκεται στο τελικό στάδιο. Στη Γερμανία, οι διάφορες εταιρείες και τα ερευνητικά ιδρύματα από τα πεδία των υπεράκτιων μηχανικής, της μηχανικής ενέργειας και σε άλλους τομείς εφαρμοσμένης μηχανικής που είναι στενά συνδεδεμένα με τους μετατροπείς της κυματικής ενέργειας, επί του παρόντος συμμετέχουν στις ευρωπαϊκές εξελίξεις της κυματικής ενέργειας<sup>22,23</sup>.

Παρότι μια σειρά από επιτυχημένα έργα κυματικής ενέργειας είχαν λειτουργήσει στη Γαλλία κατά το πρώτο μέρος του περασμένου αιώνα, η μετατροπή της ενέργειας κύματος δεν έχει υποστεί σημαντική εξέλιξη κατά το πρόσφατο παρελθόν. Μια σειρά έργων πραγματοποιήθηκαν στη δεκαετία του 1980 υπό την επίβλεψη του IFREMER (Γαλλικό Ινστιτούτο pour l'Exploitation de la Mer), αλλά η χρηματοδότηση σταμάτησε μετά την αρχική φάση ανάπτυξης. Η ECN (Ecole Centrale de Nantes) έχει ακολουθήσει ένα πρόγραμμα βασικής έρευνας, η οποία έχει αναπροσανατολιστεί από το 1995 προς την κατεύθυνση του προβλήματος της δυναμικής απορρόφησης, δηλαδή την ανάπτυξη των συσκευών κύματος απορρόφησης (πετυρία) για τον εξοπλισμό των λεκανών κύματος. Η ίδια ερευνητική ομάδα συμμετέχει στην ανάπτυξη της ευρωπαϊκής δυναμικής πιλοτικής μονάδας κύματος στο νησί Pico (Αζόρες), όπου κυρίως εμπλέκονται σε υπό-βέλτιστες στρατηγικές ελέγχου για συσκευές κύματος ενέργειας OWC<sup>24,25,26</sup>.

Η Ελλάδα έχει μια ακτογραμμή άνω των 16.000 χιλιομέτρων στις θάλασσες του Αιγαίου και του Ιονίου. Το μεγάλο αιολικό δυναμικό πάνω από το Αιγαίο σε μια επικρατούσα κατεύθυνση Βορρά-Νότου προκαλεί ένα σχετικά έντονο κλίμα κύματος 4-11 kW/m ετήσιας μέσης ισχύος<sup>15</sup>. Υπάρχει βέβαια η παρουσία του «καυτού σημείου», που προκαλείται από τα πολύπλοκα πεδία των νησιών, και οι πρόσφατες σειρές μετρήσεων και θεωρητικές μελέτες<sup>27</sup> παρέχουν πιο λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το κλίμα του κύματος στο Αιγαίο. Οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής κύματος είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας με τον μεγάλο αριθμό των νησιών, τα οποία προμηθεύονται κυρίως από τους σταθμούς πετρελαίου. Το υψηλό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά θα κάνουν την κυματική ενέργεια ανταγωνιστική έναντι των συμβατικών παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας, ωστόσο, η αιολική ενέργεια έχει ήδη αποδείξει την σκοπιμότητα της σε αυτή την περιοχή, και σε μεγάλο βαθμό υποστηρίζεται από την κυβέρνηση και ιδιωτικούς επενδυτές.

Η κυματική ενέργεια κρύβεται πίσω από τη νομοθεσία σχετικά με την εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, η έρευνα και η ανάπτυξη διεξάγεται κυρίως σε πανεπιστήμια και στο Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας<sup>28</sup> (ΚΑΠΕ).

Η Ιταλία έχει μια μακρά ακτογραμμή σε σχέση με την έκταση και φαίνεται κατάλληλη για την αξιοποίηση της ενέργειας των ωκεανών. Μελέτες κύματος γύρω από την ακτογραμμή, ωστόσο, δείχνουν ότι, σε γενικές γραμμές, η κυματική ενέργεια σε ετήσιο μέσο όρο είναι μικρότερη από 5 kW/m. Υπάρχει μια σειρά των υπεράκτιων νησιών και συγκεκριμένες θέσεις, όπως η Σικελία ή η Σαρδηνία, όπου η μέση ενέργεια των κυμάτων είναι μεγαλύτερη, περίπου μέχρι 10 kW/m.

Η έρευνα και τεχνολογική ανάπτυξη για την εκμετάλλευση της ενέργειας των ωκεανών διεξάγεται κυρίως στο «La Sapienza» του Πανεπιστημίου της Ρώμης και στο Ponte di Archimede Nello Stretto di Messina SpA του Πανεπιστημίου της Ρώμης, αναπτύσσεται μια νέα συσκευή κυματικής ενέργειας, η οποία είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για κλειστές θάλασσες μέτριας δυναμικής κύματος. Το σύστημα χρησιμοποιεί ένα πλωτό γυροσκοπικό μετατροπέα, ο οποίος είναι ευαίσθητος στις



ταλαντώσεις από τα κύματα και παρέχει μηχανική ενέργεια σε μια ηλεκτρική μηχανή. Στο Ponte di Archimede Nello Stretto di Messina SpA αναπτύσσεται η μονάδα ENERMAR, με τη χρήση θαλάσσιων ρευμάτων. Αποτελείται από μια πλωτό στρόβιλο Kobold, ο οποίος οδηγεί μια γεννήτρια. Ένα πρωτότυπο 130 kW με μια τουρμπίνα διαμέτρου 6 μ. βρίσκεται στο στάδιο της κατασκευής και θα αναπτυχθεί 150 m υπεράκτια της Μεσίνας.

### 4.3 Δραστηριότητες σε άλλες χώρες

Η έρευνα και τεχνολογική ανάπτυξη σχετικά με τη χρήση της κυματικής ενέργειας διεξάγεται σε αρκετές χώρες εκτός Ευρώπης, όπως η Αυστραλία, ο Καναδάς, η Κίνα, η Ινδία, η Ινδονησία, το Ιράν, το Ισραήλ, η Ιαπωνία, η Κορέα, το Μεξικό, η Ρωσία, η Σρι-Λάνκα, οι ΗΠΑ και άλλες.

Η Αυστραλία έχει μια μεγάλη πηγή κυματικής δύναμης της τάξεως περίπου των 100 GW, όμως η ενεργειακή ζήτηση σε πολλές από τις περιοχές της Αυστραλίας είναι αρκετά χαμηλή σε σχέση με τους διαθέσιμους της πόρους. Πρόσφατα, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση ανέθεσε στην Energetech Australian Pty Ltd και στην Ocean Power Technologies επιχορηγήσεις για εμπορικά έργα κυματικής ενέργειας στα λιμάνια Kemplab και Bass Strait.

Στον Καναδά, παραδοσιακά καθαρή χώρα εξαγωγής ενέργειας, δίνεται χαμηλή προτεραιότητα σε προγράμματα έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης της κυματικής ενέργειας. Η σκοπιμότητα και η αξιολόγηση των πόρων διεξάγονται στο Πανεπιστήμιο της British Columbia και στο Powertech Labs.

Στην Κίνα η έρευνα και η ανάπτυξη πραγματοποιείται κυρίως στο Γκουανγκζού, στο Ινστιτούτο Μετατροπής Ενέργειας και στο Πανεπιστήμιο Τεχνολογίας του Γκουανγκντόνγκ, σε συνεργασία με άλλους εθνικούς οργανισμούς και φορείς από τη Δανία, την Ινδία, την Ιαπωνία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Οι κύριες προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης συγκεντρώνονται στην ανάπτυξη OWCs, με την επίδειξη λειτουργίας της συσκευής 100kW στο Zhelang, στη νότια Κίνα και με μετατροπείς BBDB, οι οποίοι δοκιμάζονται σήμερα σε κλίμακα.

Η Ινδία ξεκίνησε ένα εθνικό πρόγραμμα για την κυματική ενέργεια στο Ινδικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μάντρας το 1983. Η έρευνα και ανάπτυξη γίνεται στο Εθνικό Ινστιτούτο της Ocean Technology, που ιδρύθηκε από την κυβέρνηση και το Ινδικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μάντρας. Το Ίδρυμα συνεργάζεται με άλλα εθνικά και διεθνή ερευνητικά κέντρα. Μια μονάδα επίδειξης 100 kW κατασκευάστηκε το 1991 στο Vizhinjam στη νότια Ινδία, ενώ άλλες WECs του OWC, και υπερβαίνουν είδη είναι στο στάδιο της ανάπτυξης<sup>30</sup>.

Η S.D.E. Ltd στο Ισραήλ έχει αναπτύξει μια πρωτοποριακή συσκευή ισχύος κύματος πλωτού τύπου, το οποίο χρησιμοποιεί μια νέα μέθοδο για να μετατρέψει την κυματική ενέργεια σε υδραυλική πίεση και στη συνέχεια στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ορισμένα μοντέλα έχουν σχεδιαστεί και δοκιμαστεί και μια συσκευή επίδειξης 40kW έχει λειτουργήσει με επιτυχία. Πρόσφατα, η εταιρεία έλαβε μια κυβερνητική σύμβαση παραχώρησης για την εμπορική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Ιαπωνία, είναι ένα νησί με συνολική ακτογραμμή 35.000 χιλιομέτρων το οποίο είναι εξαρτώμενο σχεδόν εξ ολοκλήρου από τις εισαγωγές καυσίμων, και εξετάζει το ενδεχόμενο της ενέργειας των κυμάτων ως εφικτή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Η

έρευνα και ανάπτυξη για την κυματική ενέργεια διεξάγεται σε διάφορα ερευνητικά ιδρύματα και από μια σειρά βιομηχανικών επιχειρήσεων<sup>31,32</sup>. Προς το παρόν, το μόνο μεγάλης κλίμακας έργο σε ανοιχτή θάλασσα είναι το Mighty Whale, το οποίο διενεργείται από το JAMSTEC του Υπουργείου Παιδείας, Πολιτισμού, Αθλητισμού, Επιστημών και Τεχνολογίας. Άλλα έργα αφορούν συστήματα μικρής κλίμακας για τις λιμενικές εγκαταστάσεις και στο λιμάνι και για μη επανδρωμένους φάρους.

Στη Σρι Λάνκα η έρευνα και τεχνολογική ανάπτυξη σχετικά με το κύμα και την θερμική μετατροπή της ενέργειας διεξάγεται στον Εθνικό Οργανισμό υδρόβιων πόρων στο Κολόμπο. Μια επίδειξη συσκευής OWC 150 kW έχει κατασκευαστεί, και χρηματοδοτείται από το Υπουργείο Επιστήμης και Τεχνολογίας, που αποτελεί συνέχεια της επιτυχίας του πρωτότυπου που είχε δοκιμαστεί το 2000.

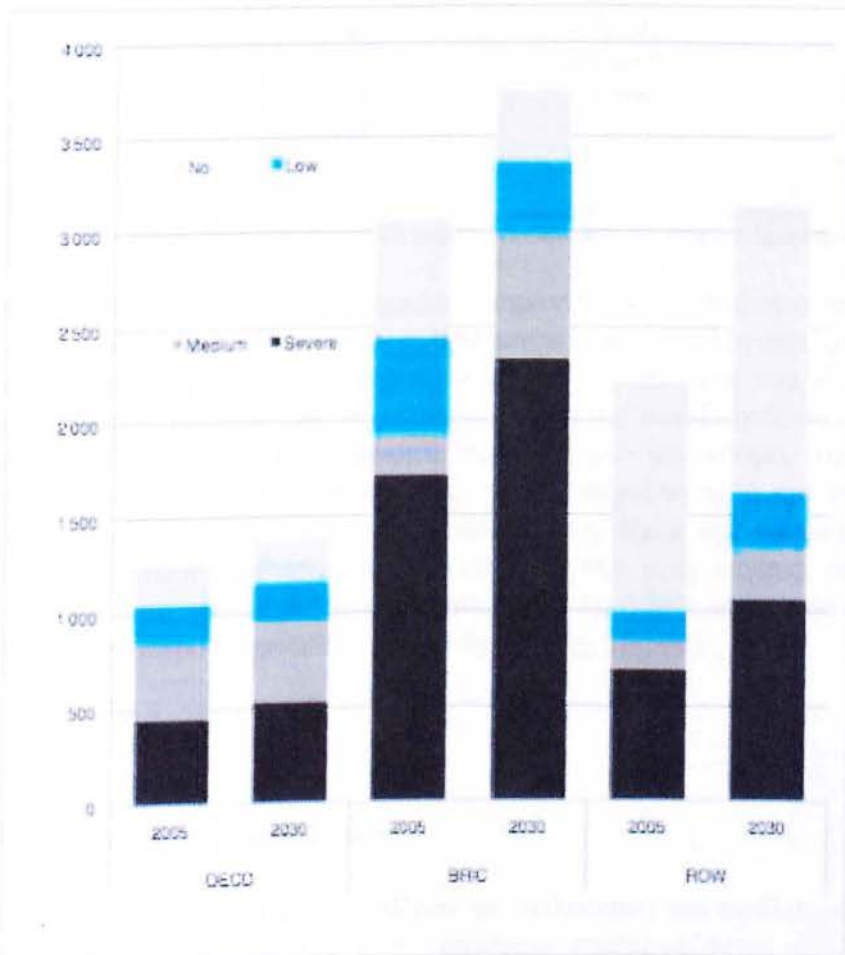
Στις ΗΠΑ η έρευνα και ανάπτυξη ξεκίνησε αρκετά νωρίς, στη δεκαετία του 1950. Ωστόσο, το ενδιαφέρον για την κυματική ενέργεια στις ΗΠΑ είναι περιορισμένο. Αν και έχουν ετήσιο μέσο όρο επιπέδων ισχύος μέχρι 235 kW/m καταγεγραμμένα από τη βόρειο δυτική ακτή, η πιθανή συμβολή στον εθνικό ενεργειακό εφοδιασμό θεωρείται ότι είναι μικρή. Επί του παρόντος, τα δύο μεγάλα έργα που υλοποιούνται με τη συμμετοχή των ΗΠΑ, είναι η αντλία Wave McCabe και η OPT WEC.

Σε άλλες χώρες όπως η Ινδονησία, το Ιράν, η Κορέα, το Μεξικό και η Ρωσία, η βασική έρευνα και ανάπτυξη για την κυματική ενέργεια διεξάγεται σε πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα υπό κυβερνητική υποστήριξη, συχνά σε συνεργασία με ιδρύματα από την Ευρώπη και την Ασία<sup>33,34</sup>.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

### 5.1 Παγκόσμια λειψυδρία

Όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα, το 2005, 2,8 δισεκατομμύρια άνθρωποι ζούσαν σε περιοχές υπό σοβαρής έλλειψης νερού<sup>35</sup>, η οποία ορίζεται με δύο τρόπους. Ο δείκτης Falkenmark ορίζει ως μικρότερη των 500 m<sup>3</sup> ανά κάτοικο ετησίως, ενώ η WTA (Απόσυρση ανά Συνολική διάθεση Υδάτινων Πόρων), ορίζει τα σοβαρά προβλήματα της έλλειψης του νερού πάνω του 40%. Έως το 2030, ο OECD Environmental Outlook υπολογίζει ότι ο αριθμός αυτός θα αυξηθεί κατά 1 δις περίπου, σε 3,9 δισεκατομμύρια (47% του παγκόσμιου πληθυσμού), χωρίς τις κλιματικές μεταβολές να λαμβάνονται υπόψη.



**Εικόνα 5.1:** Προβλέψεις για τις περιφέρειες πληθυσμών<sup>35</sup> που ζουν με την έλλειψη του νερού σύμφωνα με το δείκτη WTA (χώρες του OECD: Οργανισμός Συνεργασίας και Ανάπτυξης, BRIC: Βραζιλία, Ρωσία, Ινδία, Κίνα, ROW: Υπόλοιπος κόσμος (χώρες που δεν είναι ούτε OECD ούτε BRIC))

Οι BRIC χώρες θα δουν την υψηλότερη αύξηση της λειψυδρίας σε ορισμένες μεγάλες συγκεντρώσεις πληθυσμού, ενώ η εγχώρια λειψυδρία (σχήμα 5.2) μας δείχνει τις χώρες οι οποίες αναμένεται να παρουσιάσουν σε εθνικό επίπεδο σοβαρά επίπεδα λειψυδρίας. Πολλές πλούσιες σε πετρέλαιο χώρες, όπως η Σαουδική Αραβία, εξαρτώνται ήδη από την αφαλάτωση για ένα μεγάλο μέρος της δυναμικότητας των γλυκών υδάτων τους.

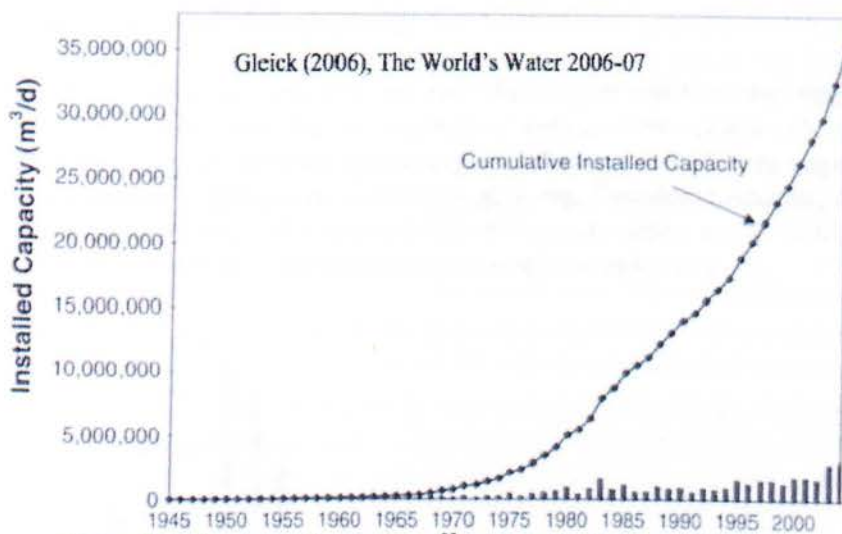
Χώρες με λειψυδρία το 1955	Χώρες που προστέθηκαν στην λίστα της έλλειψης το 1990	Χώρες που προστέθηκαν στην λίστα της έλλειψης ως το 2025 από τα Η.Ε. με βάση προβλέψεις ανάπτυξης πληθυσμού	Χώρες που προστέθηκαν στην λίστα της έλλειψης ως το 2025 από τα Η.Ε. μόνο αν ακολουθήσουν μεσαίου ή υψηλού βαθμού προβλέψεις
Μάλτα	Κατάρ	Λιβύη	Κύπρος
Τζιμπουτί	Σαουδ. Αραβία	Ομάν	Ζιμπάμπουε
Μπαρμπάντος	Εν. Αραβικά Εμιράτα	Μαρόκο	Τανζανία
Σιγκαπούρη	Υεμένη	Αίγυπτος	Περού
Μπαχρέιν	Ισραήλ	Κομόρες	
Κουβέιτ	Τυνησία	Νότια Αφρική	
Ιορδανία	Πράσινο Ακρωτήριο	Συρία	
	Κένυα	Ιράν	
	Μπουρουντί	Αιθιοπία	
	Αλγερία	Αιτή	
	Ρουάντα		
	Μαλάουι		
	Σομαλία		

**Πίνακας 5.1:** Χώρες που αναμένεται να παρουσιάσουν σοβαρά επίπεδα λειψυδρίας<sup>35</sup>

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά την ικανότητα των φυσικών συστημάτων νερού για την κάλυψη των ανθρωπογενών και οικολογικών αναγκών. Οι κυριότερες επιπτώσεις με το νερό, σχετίζονται από την αλλαγή του κλίματος και αναμένεται να γίνουν αισθητές από τη μετατόπιση, και πιο μεταβλητές σε υδρολογικά καθεστώτα, δηλαδή, αλλαγές στη διανομή νερού σε όλο τον κόσμο, αλλαγές στην εποχική και ετήσια μεταβλητότητα, και αύξηση της συχνότητας ή και της έντασης των ακραίων φαινομένων. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα απειλήσει τον κόσμο, ενώ οι τεράστιοι πληθυσμοί που εξαρτώνται από τους πάγους, οι οποίοι θα λιώσουν, (το ένα έκτο του παγκόσμιου πληθυσμού) θα χάσει τους 'υδατόπυργους' τους: το υψηλό υψόμετρο παγετωδών ταμειυτήρων (π.χ. Περού).

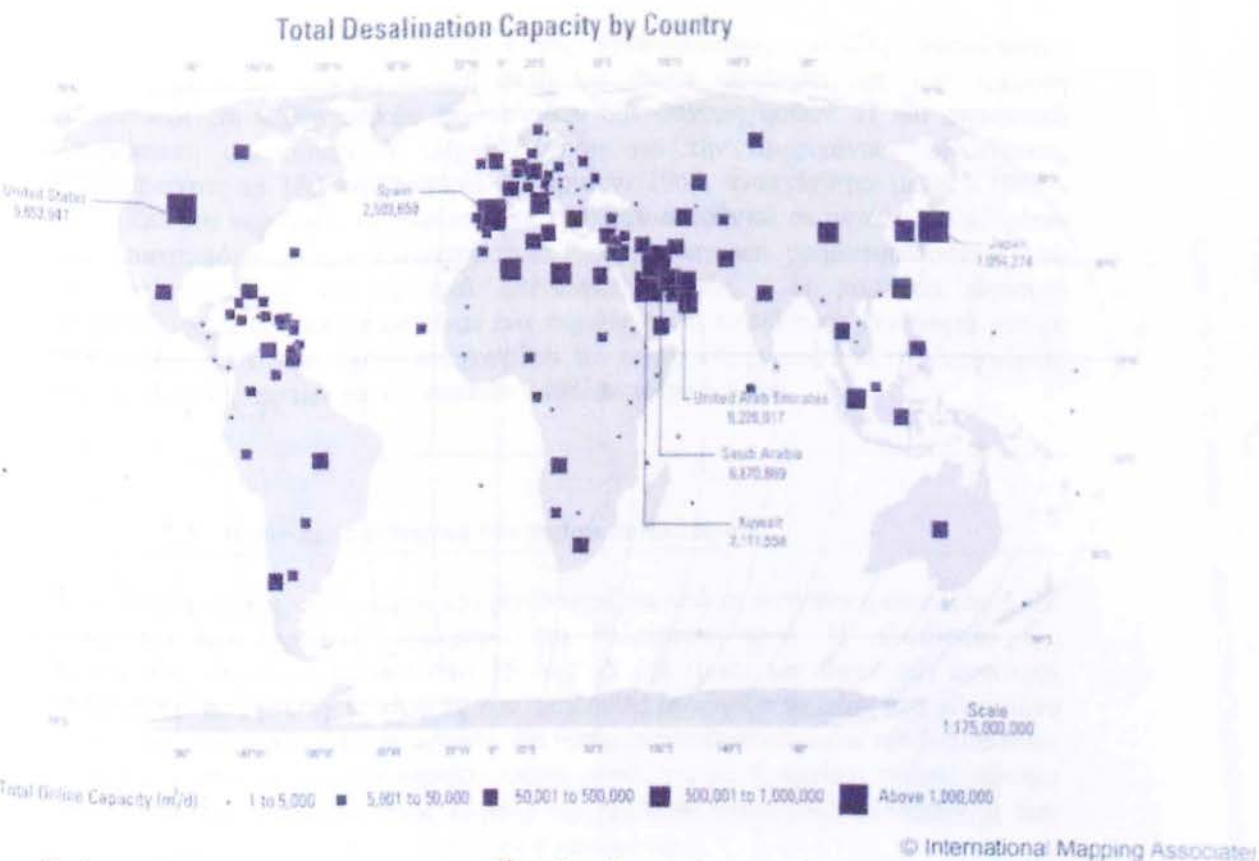
## 5.2 Ιστορία της αφαλάτωσης

Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης αντιμετωπίζουν το θαλασσινό και υφάλμυρο νερό για την παραγωγή γλυκού νερού, και στην συνέχεια επεξεργάζονται την απαλλαγή αλμυρών λυμάτων. Το παγκόσμιο δυναμικό παραγωγής σε νερό αφαλάτωσης έχει αυξηθεί εκθετικά από το 1960, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1. Η τρέχουσα σε απευθείας σύνδεση παραγωγική ικανότητα εκτιμάται ότι θα υπερβεί τα 42 εκ. m<sup>3</sup> /ημέρα, εκ των οποίων 37 εκατομμύρια m<sup>3</sup>/ημέρα θεωρούνται επιχειρησιακές. Αυτό προσθέτει μέχρι και κατά προσέγγιση 0,3 τοις εκατό του μέσου όρου των συνολικών ανθρωπογενών χρήσεων του γλυκού νερού την ημέρα.



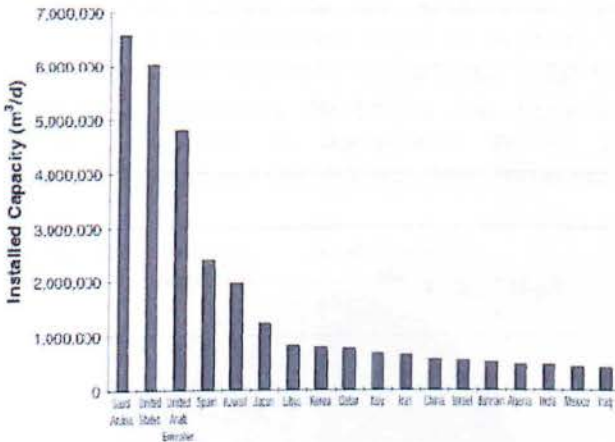
Σχήμα 5.1: Παγκόσμια δυναμικότητα<sup>35</sup> παραγωγής νερού αφαλάτωσης

Το 47% της τρέχουσας σε απευθείας σύνδεση συνολική ικανότητα αφαλάτωσης βρίσκεται στη Μέση Ανατολή. Η Βόρεια Αμερική, η Ευρώπη και η Ασία έχει η κάθε μια περίπου 15% της δυναμικότητας αφαλάτωσης. Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνονται οι χώρες με τις μεγαλύτερες ικανότητες αφαλάτωσης, πάνω από 1 εκατομμύριο m<sup>3</sup>/ημέρα. Αυτές περιλαμβάνουν τις ΗΠΑ, την Ισπανία, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, τη Σαουδική Αραβία, το Κουβέιτ και την Ιαπωνία.



Εικόνα 5.2: Παγκόσμιος χάρτης σε απευθείας<sup>35</sup> σύνδεση δυναμικότητας αφαλάτωσης.

Το 60% της παγκόσμιας δυναμικότητας για αφαλάτωση χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό, αν και αυτό ποικίλλει ανά χώρα. Στις ΗΠΑ, π.χ. η αφαλάτωση του θαλάσσιου νερού υπολογίζεται περίπου στο 8%, με την πλειοψηφία αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού στο 77%. Δεδομένου ότι το παρακάτω σχήμα είναι ενδεικτικό, επί του παρόντος 18 χώρες έχουν εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη του 1% του παγκόσμιου συνόλου, του οποίου η πλούσια σε πετρέλαιο χώρα της Σαουδικής Αραβίας έχει την υψηλότερη χωρητικότητα με 6,9 εκατομμύρια  $m^3$ /ημέρα, καθώς και οι ΗΠΑ και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, είναι η δεύτερη και η τρίτη υψηλότερη.



Σχήμα 5.2: Χώρες με περισσότερο από 1% της παγκόσμιας δυναμικότητας αφαλάτωσης, Ιανουάριος 2005. Συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε κυβικά μέτρα ανά ημέρα<sup>35</sup>

Οι περισσότερες από τις αμερικανικές εγκαταστάσεις μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν στην άνυδρη δυτική ακτή και έχουν ωφεληθεί από μια πολυετή χρηματοδότηση κυβερνητικών επιδοτήσεων και επιχορηγήσεων. Η πιο σημαντική αμερικανική ομοσπονδιακή χρηματοδότηση για την αμερικανική αφαλάτωση, υπερβαίνοντας τα 180 εκατομμύρια δολάρια το 1966, αναπτύχθηκε μεταξύ 1965 - 1973. Επί του παρόντος, οι αφαλατώσεις χρηματοδοτούνται σε μεγάλο βαθμό μέσω της δραστηριότητας των επιχειρηματικών κεφαλαίων και χρηματοδοτούνται από ιδιωτικά, δημοτικά και κρατικά επενδυτικά ταμεία. Η παρούσα ιδιωτική χρηματοδότηση του κλίματος είναι ένα σημάδι ότι η επενδυτική κοινότητα και οι αγορές των κεφαλαίων έχουν αναγνωρίσει τον επείγοντα χαρακτήρα της λειψυδρίας και της εξάντλησης των παραδοσιακών καθαρών πηγών νερού.

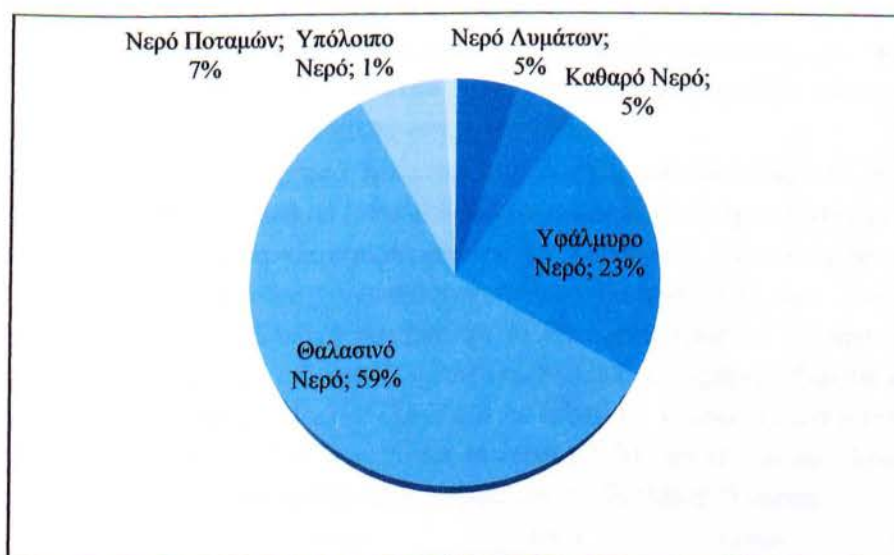
### 5.3 Πρότυπα ποιότητας του νερού αφαλάτωσης

Η αλατότητα του νερού ορίζεται και χαρακτηρίζεται από τη συγκέντρωση αλατιού και κυμαίνεται από φρέσκο, υφάλμυρο και θαλασσινό νερό. Η αλατότητα του θαλασσινού νερού κυμαίνεται από 35 έως 45 ppt (parts per thousand) συνολικά διαλυμένα άλατα (TDS). Ο πίνακας που ακολουθεί συνοψίζει τα μέρη ανά χίλια μέρη αλατότητας του νερού. Μια σημείωση, ότι η περιεκτικότητα σε αλάτι του θαλασσινού νερού θα πρέπει να μειωθεί περίπου εκατό φορές για να θεωρείται φρέσκο πόσιμο νερό. Αυτό προαναγγέλλει τους λόγους του μεγάλου όγκου των εργασιών, ή των ενεργειών που απαιτείτε για να παράγουμε πόσιμο νερό.

Καθαρό νερό	Υφάλμυρο νερό	Θαλασσινό νερό	Άλμη
< 0.5	0.5 – 30	30 – 50	> 50

Πίνακας 5.2: Νερό αλατότητας που βασίζεται<sup>35</sup> σε άλατα διαλυτότητας ppt

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) αναφέρει ότι ένα επιτρεπτό όριο αλατότητας πόσιμου νερού είναι τα 0,5 ppt και 1,0 ppt σε ορισμένες περιπτώσεις. Η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA) αναφέρει ότι το πόσιμο νερό με TDS άνω 500 mg/l (0,5 ppt) μπορεί να είναι δυσάρεστο. Το υφάλμυρο νερό έχει αλατότητα μεταξύ του γλυκού και του θαλασσινού νερού, και συνήθως προέρχεται από την ανάμιξη του θαλασσινού νερού με το γλυκό, όπως στις εκβολές των ποταμών ή σε υφάλμυρους ορυκτούς υδροφόρους ορίζοντες. Πέρα από την κατάργηση του αλατιού, ορισμένες διεργασίες της αφαλάτωσης, όπως της αντίστροφης όσμωσης, μπορούν να αφαιρέσουν πολλές μορφές ορυκτών, αιωρούμενων στερεών, ιούς και οργανικές ενώσεις, όπως φύκια και βακτήρια.



Σχήμα 5.3: Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς<sup>35</sup> αφαλάτωσης από πηγές τροφοδοσίας νερού.

Το παραπάνω σχήμα συνοψίζει τις παγκόσμιες πηγές νερού τροφοδοσίας που χρησιμοποιούνται από τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης. Σημαντική σημείωση αποτελεί το γεγονός ότι σήμερα το 59% της επιχειρησιακής ικανότητας της αφαλάτωσης χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό ως κύρια πηγή του. Το θαλασσινό νερό έχει τις υψηλότερες συγκεντρώσεις αλατιού, απαιτεί επίσης και την περισσότερη ενέργεια για την παραγωγή γλυκού νερού. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματά του είναι σχεδόν η ανεξάντλητη αφθονία του, καθώς και η εγγύτητα των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης στον ωκεανό, το οποίο επιτρέπει την αραιώση τους υπό υψηλή πυκνότητα άλατος ρέματα που απορρίπτονται από τις μονάδες αφαλάτωσης και άλμη. Οι οικολογικές επιπτώσεις των εν λόγω αποβλήτων δεν εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας πτυχιακής εργασίας, αλλά θα πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά κατά την εγκατάσταση της κάθε μονάδας.

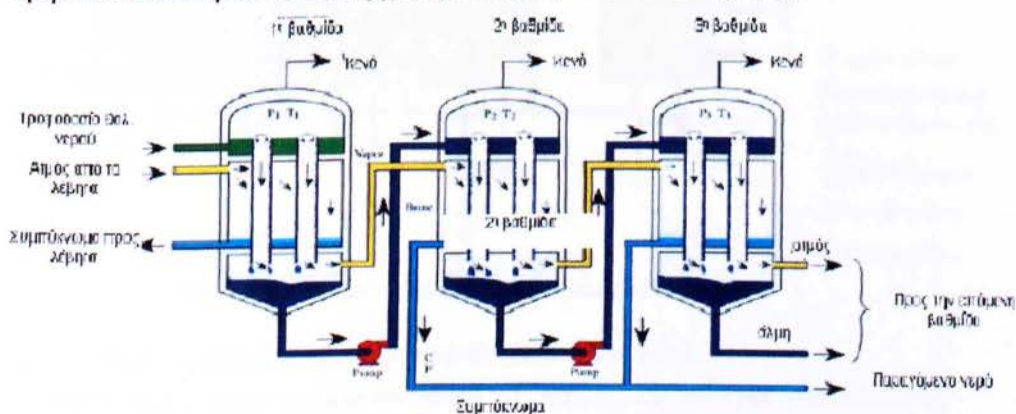
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης κατηγοριοποιούνται σε δύο κύριες ομάδες, σε θερμικές και σε μεμβράνες αφαλάτωσης. Αυτές στη συνέχεια, αναλύονται σε υπό-ομάδες που επεξεργάζονται το αλμυρό νερό με τεχνικούς διαφορετικούς τρόπους. Το κεφάλαιο που ακολουθεί εξετάζει τις λειτουργικές πτυχές των οκτώ πιο εξεχόντων τεχνολογιών αφαλάτωσης οι οποίες είναι: πολυβάθμια ακαριαία εξάτμιση (MSF), πολυβάθμια απόσταξη (MED), Μηχανική συμπίεση ατμού (MVC) και θερμική συμπίεση ατμού (TVC), ηλιακή απόσταξη (SD), αντίστροφης όσμωσης (RO), ηλεκτροδιάλυση (ED) και αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (EDR).

### 6.1 Θερμική αφαλάτωση

#### 6.2.1 Πολυβάθμια ακαριαία εξάτμιση (MSF)

- Η MSF είναι η πλέον κυρίαρχη στη θερμική κατηγορία, με ποσοστό τουλάχιστον 90% του συνόλου των θερμικών παραγωγής και το 42% συνολικής παραγωγής αφαλάτωσης στον κόσμο,
- Είναι η πιο ισχυρή από όλες τις τεχνολογίες αφαλάτωσης, σε θέση να επεξεργάζεται το νερό σε ένα πολύ υψηλό ποσοστό με ελάχιστη συντήρηση,
- Η MSF είναι ικανή για εξαιρετικά μεγάλες αποδόσεις. Επί του παρόντος, οι μεγαλύτερες μονάδες εγκαταστάσεων που λειτουργούν και είναι υπό κατασκευή στη Σαουδική Αραβία και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, έχουν ικανότητες σχεδιασμού των 600.000 και 880.000 m<sup>3</sup>/ημέρα (Shuaiba III της Σαουδικής Αραβίας, Ras Al-Xour και Al Jobail Ex II είναι το μεγαλύτερο με 730.000 και 880.000 m<sup>3</sup>/ημέρα και το Jebel Ali M των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων είναι εγκαταστάσεις χωρητικότητας 600.000 m<sup>3</sup>/ημέρα),



Εικόνα 6.1: Πολλαπλά στάδια εξάτμισης "απλής διέλευσης" διαδικασίας αφαλάτωσης<sup>61</sup>

- Σε παγκόσμιο επίπεδο η MSF είναι από την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία αφαλάτωσης
- Λειτουργεί χρησιμοποιώντας μια σειρά από 4 έως 40 θαλάμους, ή στάδια, το καθένα με διαδοχικά χαμηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις, για την γρήγορη





- Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες είναι ελαφρώς χαμηλότερες από τις MSF, αλλά και το κόστος της ενέργειας είναι γενικά το ίδιο με τις MSF και επομένως είναι παρόμοιες,

### 6.2.3 Μηχανική (MVC) και Θερμική (TVC) συμπίεση ατμών

- Η συμπίεση ατμών χρησιμοποιείται από τα τέλη του 19ου αιώνα,
- Λειτουργεί σε μικρού και μεσαίου μεγέθους χωρητικότητες μεταξύ 20 και 25.000 m<sup>3</sup>/ημέρα,
- Οι μονάδες είναι πολύ συμπαγείς και μεταφερόμενες, καθιστώντας τις ελκυστικές για τον στρατό
- **Μηχανική Συμπίεση Ατμών (MVC)**
  - Η υψηλή πίεση του ανεμιστήρα της μονάδας MVC είναι μηχανές ροής υγρού με χαρακτηριστικά παρόμοια με της αιολικής μηχανικής τουρμπίνας, ευθυγραμμίζοντας τους θεωρητικά καλά για μια αντιστοιχία τεχνολογίας ΑΠΕ-αφαλάτωσης σε μια στοχαστική συνδεσιμότητα. Συνεπώς, υπάρχει μια φυσική σχέση μεταξύ των τεχνολογιών. Με μεταβολή της ταχύτητας του συμπιεστή και της θερμοκρασίας της εξάτμισης, η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να προσαρμοστεί στις ραγδαίες αλλαγές της κατανάλωσης ενέργειας (π.χ. συνθήκες ανέμου).
- **Θερμική Συμπίεση Ατμών (TVC)**
  - Το ζεστό νερό τροφοδοσίας εισέρχεται στον εξαερωτήρα, όπου θερμαίνεται (και όχι ως συμπιεσμένο όπως στο MVC) έως το σημείο βρασμού και μερικώς από αυτό εξατμίζεται. Ο σχηματιζόμενος ατμός πηγαίνει στο συμπιεστή όπου η πίεση και η θερμοκρασία κορεσμού αυξάνεται. Ο συμπιεσμένος ατμός τροφοδοτείται στον εξαερωτήρα για να συμπυκνωθεί, παρέχοντας την απαιτούμενη ενέργεια για την εξάτμιση του θαλασσινού νερού σε ξεχωριστό βρόχο
- Η κατανάλωση ενέργειας είναι σημαντική και εξαρτάται από αυτή τη διαφορά πίεσης. Ο συμπιεστής αντιπροσωπεύει τον κύριο καταναλωτή ενέργειας στο σύστημα.

### 6.2.4 Ηλιακή απόσταξη (SD)

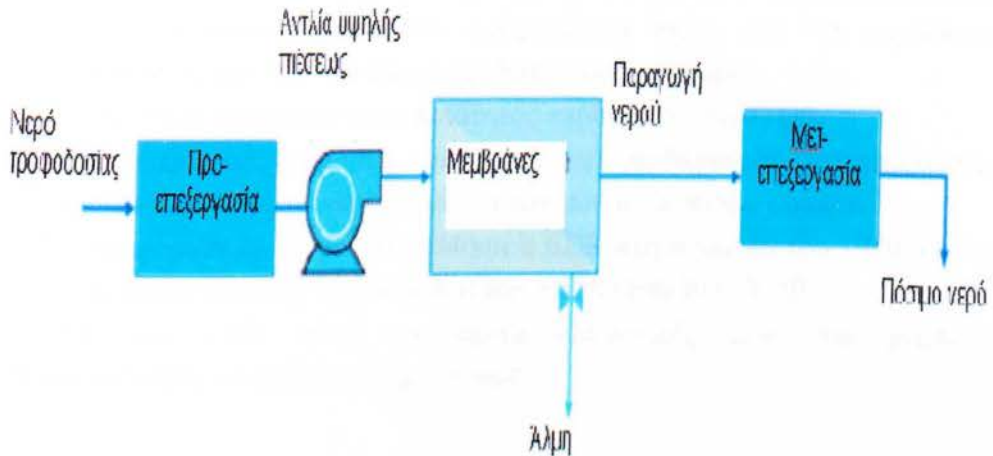
- Στην SD η ηλιακή ακτινοβολία είναι παγιδευμένη σε ηλιακό αποστακτήρα, μια ρηχή λεκάνη με επένδυση από μαύρο ενεργειακό απορροφητικό υλικό, με διαφανή οροφή που ενεργεί ως συμπυκνωτής. Η τεχνολογία αυτή λειτουργεί ως εκ τούτου υπό εντολές του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ο ατμός που παράγεται από το θαλασσινό νερό συμπυκνώνεται στη δροσερή επιφάνεια της οροφής.
- Η SD είναι απλή και εύρωστη στη λειτουργία και αναπτύχθηκε κυρίως τη δεκαετία του 1960 και '70,

- Έχει χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές μικρής κλίμακας, που παράγουν περίπου 2,5 λίτρα ανά  $m^2$  επιφάνειας, η οποία αντιστοιχεί σε θερμική απόδοση του 50%,
- Αν και οι παροχές ηλεκτρικής ενέργειας για άντληση είναι μηδαμινές, το κόστος κατασκευής και οι μεγάλες απαιτήσεις οδήγησαν στην πτώση της δημοτικότητάς του.

## 6.2 Αφαλάτωση με μεμβράνες

### 6.2.1 Αντίστροφης όσμωσης (RO)

- Η RO είναι η πιο κυρίαρχη τεχνολογία αφαλάτωσης μεμβράνης, στο 88% του συνόλου των μεμβρανών παραγωγής και 46% του συνολικού δυναμικού παραγωγής παγκοσμίως. Λέγεται επίσης ότι είναι η πιο ευρέως αναπτυσσόμενη τεχνολογία, μη λαμβάνοντας υπόψη την χωρητικότητα,
- Η RO έχει τέσσερα υποσυστήματα: 1) προεπεξεργασίας 2) αντλίας υψηλής πίεσης 3) ενότητες μεμβράνης και 4) αποθεραπείας,
- Η προεπεξεργασία του νερού τροφοδοσίας περιλαμβάνει τη διήθηση, τη αποστείρωση, και τη προσθήκη χημικών ουσιών για την πρόληψη της κλιμάκωσης. Η προεπεξεργασία είναι κρίσιμη λόγω της ευαισθησίας των μεμβρανών,
- Το φαινόμενο της αφαλάτωσης συμβαίνει όταν το νερό αναγκάζεται να περάσει διαμέσου μιας επιφάνειας μεμβράνης στα 17-27 bar για υφάλμυρο νερό (BWRO) και 55-82 μπαρ για το θαλασσινό νερό (SWRO). Το προϊόν, το διήθημα ή το νερό περνά μέσα από τη μεμβράνη, αφού η πλειοψηφία των διαλυμένων στερεών του έχουν αφαιρεθεί. Το συμπυκνωμένο αλάτι απορρίπτει ρεύμα, ή άλμη, η οποία αναδύεται σε υψηλή πίεση. Σε μεγάλες μονάδες ενέργειας πίεσεως η άλμη αξιοποιείται από μια τουρμπίνα ή αντλία Clark (κοινή σε υβρίδια ΑΠΕ-αφαλάτωσης), για την ανάκτηση του 20% -40% της ενέργειας,
- Οι μεμβράνες έχουν σχεδιαστεί για να συγκρατούν μια διεισδυτικότητα του νερού περίπου έως και 500 ppm TDS,
- Δύο τύποι μεμβρανών RO χρησιμοποιούνται: 1) Σπειροειδής πληγής (SW) και 2) κοίλες ίνες (HF). Η χρήση τους εξαρτάται από το κόστος, την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας και από την χωρητικότητα των προϊόντων



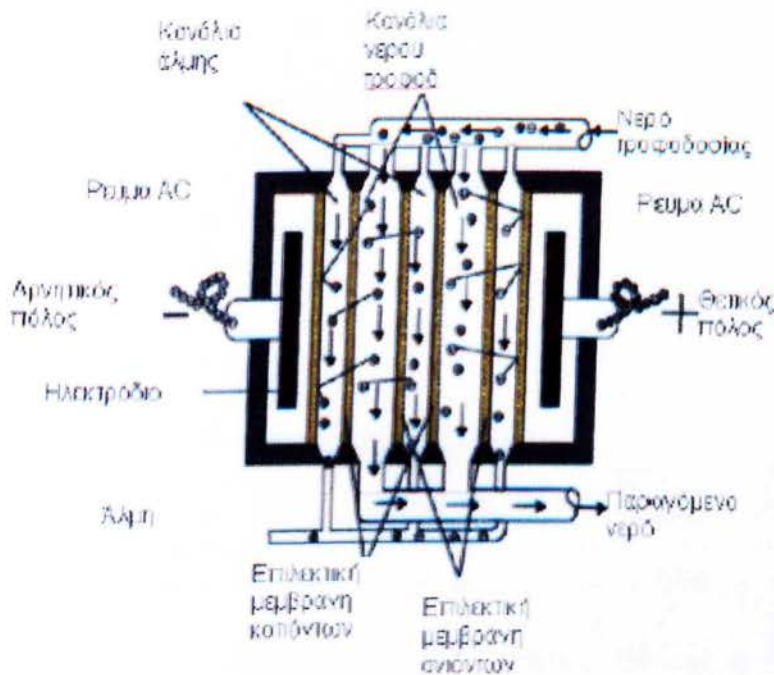
Εικόνα 6.3: Περιγραφή λειτουργίας<sup>61</sup> αντίστροφης όσμωσης

- Τα συστήματα RO είναι διαθέσιμα σε ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων οι οποίες οφείλονται στην αρθρωτή σχεδίαση τους με τη μεγαλύτερη επιχειρησιακή μονάδα που έχει χωρητικότητα 320.000 m<sup>3</sup>/ημέρα στο Ασκελόν του Ισραήλ. Η μικρότερη χωρητικότητα είναι περίπου 0,1 m<sup>3</sup>/ημέρα για τις ναυτιλιακές και οικιακές χρήσεις,
- Τα συστήματα RO μπορούν να διαθέτουν από μία έως εκατοντάδες χιλιάδες μονάδες σε σχάρες και ως εκ τούτου παρουσιάζουν μια ελκυστική δυνατότητα κλιμάκωσης. Η αντίστροφη όσμωση είναι, όσον αφορά την προεπεξεργασία, μια μεμβράνη ακαθαρσιών, η οποία μετά την επεξεργασία και την αποδοτικότητα του σε αντλίες υψηλής πίεσης, γίνεται μια διαδικασία που είναι μάλλον ευαίσθητη στην λειτουργία σταματήματος – ξεκινήματος.
- Γενικά, η RO έχει χαμηλό κόστος κεφαλαίου, αλλά σημαντικό κόστος συντήρησης λόγω του υψηλού κόστους της μεμβράνης αντικατάστασης. Το κόστος της ενέργειας (που είναι ηλεκτρικό) χρησιμοποιείται ανά m<sup>3</sup> είναι σημαντικό, αλλά λιγότερο από τις MSF και MED. Η πλειοψηφία ενέργειας RO καλείται να οδηγήσουν στην τροφοδοσία υψηλής πίεσης νερού του συστήματος αντλίας.

### 6.2.2 Ηλεκτροδιάλυση (ED) και Αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (EDR)

- Οι ED και EDR είναι χαμηλού κόστους μέθοδοι για υφάλμυρο νερό αφαλάτωσης,
- Και οι δύο τεχνολογίες είναι οικονομικώς ασύμφορες για το θαλασσινό νερό, λόγω του δραματικά αυξημένου ενεργειακού κόστους τους σε υψηλότερες ποιότητες ppm και διαλυμένα άλατα (TDS).

- Η διαδικασία αυτή λειτουργεί με τη μεταφορά ιόντων μέσα από μια μεμβράνη από ένα ηλεκτρικό πεδίο που εφαρμόζεται πέρα από τη μεμβράνη, δημιουργώντας μια περιοχή χαμηλής αλατότητας του νερού.
- Οι ED και EDR παράγουν νερό ποιότητας περίπου 20 ppm/TDS,
- Η EDR επάγει μια μεμβράνη διαδικασίας αυτοκαθαρισμού, αναστέλλοντας την απόθεση των ανόργανων κλιμάκων και των κolloειδών ουσιών,
- Η ED προχώρησε εμπορικά το 1954 και η EDR στη δεκαετία του 1970, και το 31% της δυναμικότητας αφαλάτωσης των ΗΠΑ είναι ED / EDR,
- Οι ED και EDR είναι οικονομικά ελκυστικές μόνο για χαμηλής περιεκτικότητας σε αλάτι υφάλμυρο νερό



Εικόνα 6.4: Σχηματική περιγραφή μονάδας<sup>61</sup> ηλεκτροδιάλυσης

### 6.3 Παγκόσμια κατάσταση τεχνολογιών αφαλάτωσης

Ο πίνακας που ακολουθεί είναι μια ατελής περίληψη των παγκοσμίως αναπτυσσόμενων τεχνολογιών αφαλάτωσης, όπως στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, στο Ισραήλ και στην Ιαπωνία, οι οποίες μεμονωμένα, ορισμένες από τις μεγαλύτερες σε επίπεδο χώρας δυναμικότητας αφαλάτωσης στον κόσμο, δεν περιλαμβάνονται. Ωστόσο, ο πίνακας δείχνει ότι η MSF είναι μακράν η πιο δημοφιλής εγκαταστημένη τεχνολογία, το οποίο μετράται από την παραγωγική ικανότητα. Η MSF είναι η κύρια τεχνολογία που χρησιμοποιείται στη Σαουδική Αραβία. Αξιοσημείωτο είναι ότι σε πετρελαϊκές χώρες, όπως η Σαουδική Αραβία και το Κουβέιτ, έχουν υψηλότερες εγκαταστάσεις MSF, ενώ τα έθνη με μικρότερα ή που δεν διαθέτουν αποθέματα πετρελαίου προτιμούν RO, εξαιρώντας την Ιταλία, η οποία έχει μια αρκετά μεγάλη εγκατάσταση MSF αποτελούμενη από το 55% της συνολικής δυναμικότητας.

Country	MSF	MED	VC	RO	ED	Total	%
Saudi Arabia	2700		50	1000	94	3844	48.8
USA	50	50	130	1600	280	2110	26.8
Kuwait	350			50		400	5.1
Libya	400			130	67	597	7.6
Spain	56		40	230	45	371	4.7
Italy	200		75	40	50	365	4.6
Algeria	60		30	80	16	186	2.4
<b>Total</b>	<b>3816</b>	<b>50</b>	<b>325</b>	<b>3130</b>	<b>552</b>	<b>7873</b>	<b>100</b>
<b>Percent (%)</b>	<b>48.5</b>	<b>0.6</b>	<b>4.1</b>	<b>39.8</b>	<b>7.0</b>	<b>100</b>	

Πίνακας 6.1: Εγκατεστημένη ισχύς μονάδας<sup>35</sup> αφαλάτωσης (000s m<sup>3</sup>/day)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Σήμερα, γενικά, γίνεται αποδεκτό ότι είναι επιθυμητό να αυξηθεί το ποσό της ανανεώσιμης ενέργειας<sup>36</sup> που χρησιμοποιείται, η οποία περιλαμβάνει και την κυματική ενέργεια. Οικονομικά, οι ελκυστικότερες θέσεις για να εκμεταλλευτούν την ανανεώσιμη ενέργεια είναι όπου το κόστος της συμβατικής ενεργειακής παραγωγής οφείλεται κανονικά στο υψηλό κόστος των καυσίμων ή και τους σχετικά μικρούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Δυστυχώς, σε αυτές τις θέσεις είναι δύσκολο να παρασχεθεί ένα μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής δύναμης που απαιτείται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας λόγω της απαίτησης της σταθερότητας ενός αδύνατου πλέγματος διανομής ηλεκτρικής δύναμης. Παραδείγματος χάριν, η μέγιστη κατανάλωση ισχύος των Κανάριων νήσων στην Ισπανία είναι 230 MW, αλλά οι μελέτες της ηλεκτρικής σταθερότητας του πλέγματος δείχνουν ότι η μέγιστη διείσδυση για ανανεώσιμη ενέργεια είναι περίπου 80 MW, αν και υπάρχει σημαντικά περισσότερη ανανεώσιμη ενέργεια. Εντούτοις, εάν η ανανεώσιμη ενέργεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με τις βιομηχανικές διαδικασίες άμεσα, αποφεύγοντας κατά συνέπεια το πλέγμα, η εκμετάλλευση της ανανεώσιμης ενέργειας θα μπορούσε να αυξηθεί.

Η αφαλάτωση του θαλάσσιου νερού είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί την ενέργεια μεγάλων ποσών και αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό του ενεργειακού αιτήματος πολλών νησιών και παράκτιων περιοχών. Παραδοσιακά, η τεχνολογία αφαλάτωσης έχει απαιτήσει έναν σταθερό ανεφοδιασμό της ενέργειας. Εντούτοις, εάν η τεχνολογία προσαρμοστεί για να λειτουργήσει αποτελεσματικά, και σχετικά αποτελεσματικά με έναν μεταβλητό ανεφοδιασμό ενέργειας, θα μπορούσε να ενσωματωθεί στην κυματική ενέργεια. Από τη χρησιμοποίηση των αυτόνομων εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, οι οποίες λειτουργούν ανεξάρτητα από το κύριο πλέγμα διανομής ηλεκτρικής δύναμης, η διείσδυση της ανανεώσιμης ενέργειας στα νησιά μπορεί να αυξηθεί.

Το πρόγραμμα SDAWES για τις Κανάριες νήσους, όπου χρησιμοποιήθηκαν ανεμοστρόβιλοι για να τροφοδοτήσουν τρεις τύπους εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, κατέδειξε τη δυνατότητα για τις αυτόνομες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμη ενέργεια. Το πρόγραμμα SDAWES<sup>37</sup> χρησιμοποιεί δύο ανεμοστρόβιλους 230 KW για να τροφοδοτήσει τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης. Από τις τεχνολογίες αφαλάτωσης που ερευνήθηκαν (μηχανική συμπίεση ατμού, ηλεκτροδιάλυση και αντίστροφη όσμωση), η αντίστροφη όσμωση (RO) βρέθηκε για να είναι η καταλληλότερη για το θαλασσινό νερό και είναι η μόνη τεχνολογία αφαλάτωσης που εξετάζεται. Οι αποδεκτοί λειτουργούντες όροι των εγκαταστάσεων RO διατηρήθηκαν με τον περιορισμό της παροχής του ηλεκτρικού ρεύματος από τους στρόβιλους χρησιμοποιώντας τον έλεγχο πισσών λεπίδων στρόβιλων, που αποθηκεύει την ενέργεια σε έναν σφόνδυλο, με τη ρύθμιση του αριθμού μεμβρανών RO που χρησιμοποιήθηκε για την αφαλάτωση.

Η κυματική ενέργεια εμφανίζεται να ταιριάζει ιδανικά με την σύζευξη της τεχνολογίας της αφαλάτωσης επειδή και η ενέργεια και το θαλάσσιο νερό είναι διαθέσιμες στην ίδια θέση. Θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί η κυματική ενέργεια για να παράγει την ηλεκτρική η οποία θα μπορούσε να συνδεθεί με τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με παρόμοιο τρόπο με αυτόν που περιγράφηκε παραπάνω για να παρέχει αυτόνομες τροφοδοτούμενες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης κύματος. Πράγματι, αυτή η

τεχνική χρησιμοποιείται από τύπους ταλαντευόμενων υδάτινων στηλών συνδεδεμένες με εγκαταστάσεις αφαλάτωσης στο Κεράλα, της Ινδίας<sup>38</sup>. Εντούτοις, η αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με το να διατηρήσει σταθερή την ατμοσφαιρική πίεση του θαλάσσιου νερού άμεσα στην απογείωση της υδραυλικής δύναμης που χρησιμοποιείται σε πολλούς μετατροπείς κυματικής ενέργειας. Αυτό αποφεύγει τη μετατροπή της ενέργειας από υδραυλική σε ηλεκτρική και έπειτα πίσω σε υδραυλική, εξαλείφοντας την ανάγκη για έναν υδραυλικό στρόβιλο/μηχανή, μια ηλεκτρική γεννήτρια, μια ηλεκτρική μηχανή και μια υδραυλική αντλία. Εάν οι αποδοτικότητες της υδραυλικής αντλίας ή της μηχανής ή των στρόβιλων, υποτίθεται ότι ήταν 85% και της ηλεκτρικής γεννήτριας/μηχανής υποτίθεται ότι ήταν 90%, κατόπιν η δύναμη που παραδίδεται στις εγκαταστάσεις αντίστροφης όσμωσης είναι 70% μεγαλύτερη εάν τροφοδοτούνται άμεσα από τα υδραυλικά του μετατροπέα κυματικής ενέργειας.

Η αφαλάτωση από την αντίστροφη όσμωση που παρέχεται από το θαλάσσιο νερό διατηρείται σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση άμεσα από την κυματική ενέργεια, δεν είναι νέα και καταδείχθηκε πάνω από 20 έτη πριν με το DelBuoy<sup>39</sup>. Το DelBuoy αποτελούνταν από μια απλή γραμμική εναλλασσόμενη αντλία οδηγούμενη από την κίνηση των κυμάτων και συνδεόταν μέσω μιας ανεπίστροφης βαλβίδας, η οποία παρήγαγε τη ροή προς μια κατεύθυνση σε μια μεμβράνη αντίστροφης όσμωσης, όπου η μονάδα παρήγαγε έναν μέσο όρο 2 m<sup>3</sup>/ημέρα. Αν και το σύστημα λειτούργησε επιτυχώς για 18 μήνες, η συγκεκριμένη κατανάλωση ενέργειας, αν και δεν δίνετε, θα ήταν, από τα σύγχρονα πρότυπα, υψηλή λόγω της απουσίας της τεχνολογίας της ενεργειακής ανάκτησης και της χαμηλής αναλογίας αποκατάστασης που επέτρεψε στο σύστημα να λειτουργήσει χωρίς την ανάγκη από χημικές πρόσθετες ουσίες. Μετά από το DelBuoy, η αφαλάτωση από αντίστροφη όσμωση που τροφοδοτείται με θαλασσινό νερό το οποίο διατηρείται σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση άμεσα από την κυματική ενέργεια, έχει προταθεί για τους πολυάριθμους μετατροπείς κυματικής ενέργειας (AquaBuoy, McCabe, OMI, CETO, κ.α.)<sup>40</sup>. Εντούτοις, χαρακτηριστικά οι λεπτομέρειες για το πώς διατηρείται το νερό σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση, με τα στοιχεία τις αντίστροφης όσμωσης και της τεχνολογίας της ενεργειακής ανάκτησης δεν περιγράφονται.

Αν και είναι τεχνικά εφικτό να υπάρξουν χερσαίες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, μια ενδιαφέρουσα διαμόρφωση για την τροφοδοτούμενη με κύμα αφαλάτωση θα είχε τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης επί του σκάφους. Αυτή η διαμόρφωση μειώνει τις απαιτήσεις του υδροσωλήνα που συνδέουν τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με την ακτή, εξασφαλίζοντας ότι η άλμη απορρίπτεται μακριά από την ακτή ελαχιστοποιώντας την περιβαλλοντική επίδραση, αν και ένα ελάχιστο ποσό εδάφους απαιτείται για την εγκατάσταση. Οι περισσότεροι μετατροπείς κυματικής ενέργειας έχουν το ικανοποιητικό εσωτερικό διάστημα στο οποίο μπορεί να εντοπίσει εγκαταστάσεις αφαλάτωσης και η διάταξη πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά διαφορετικά οι εγκαταστάσεις θα μπορούσαν να βρεθούν στο βυθό δίπλα στον μετατροπέα κυματικής ενέργειας. Εάν η γεωλογία είναι κατάλληλη οι πάσσαλοι θεμελίωσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως «φρεάτια παραλιών» για να φιλτράρουν την τροφοδοσία προς το νερό. Για να αποφευχθεί η ανάγκη για χημικές ουσίες, το υπεριώδες φως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και ως αποστερωτής, έτσι ώστε να μπορούν να αποφευχθούν οι χημικές ουσίες, με τον περιορισμό όπου η αναλογία αποκατάστασης γίνεται σε λιγότερο από 25%.

Για να ερευνηθεί η δυνατότητα για τροφοδοτούμενη με κύμα αφαλάτωση, η τρέχουσα σειρά των τεχνολογιών ενεργειακής ανάκτησης αναθεωρείται αυστηρά και η υπόσχεση βασίζεται σε προσδιορισμένα απαραίτητα χαρακτηριστικά.



## 7.1 Τεχνολογίες ενεργειακής ανάκτησης

Οι τεχνολογίες ενεργειακής ανάκτησης έχουν ως σκοπό να ανακυκλώσουν την ενέργεια στη διατηρημένη σταθερή ατμοσφαιρική πίεση με την άλμη των απορριμμάτων, βελτιώνοντας τη γενική αποδοτικότητα του συστήματος. Οι χαρακτηριστικές μειώσεις της συγκεκριμένης κατανάλωσης της ενέργειας είναι της τάξεως 40-60%, με τις υψηλότερες μειώσεις να συνδέονται με τις χαμηλότερες αναλογίες αποκατάστασης. Είναι σαφές από αυτό, ότι η ενεργειακή ανάκτηση είναι ουσιαστική για τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης. Οι πρώτες τεχνολογίες ενεργειακής ανάκτησης ήταν στρόβιλοι Pelton ή αντίστροφης λειτουργίας αντλίες που παρείχαν ισχύ στον άξονα με την αρχική αντλία υψηλής πίεσης. Αυτή η τεχνολογία εκτοπίστηκε στη συνέχεια από τις συσκευές εναλλακτών πίεσης.

Ο ενισχυτής υδραυλικής πίεσης FEDCO χρησιμοποιεί τη ροή άλμης σε φυγοκεντρικό συνδυασμό μηχανών/αντλιών στον ενισχυτή όπου η πίεση της εισερχόμενης τροφοδοσίας από το φραγμό είναι περίπου 20 bar, μια πίεση κατάλληλη για την αντίστροφη όσμωση. Η αποδοτικότητα του συνδυασμού μηχανών/αντλιών είναι περίπου 65%, το οποίο είναι σχετικά χαμηλό έναντι άλλων τεχνολογιών ενεργειακής ανάκτησης και συνδέεται με την ανάγκη να μετατραπεί η ενέργεια σε μηχανική δύναμη (αξόνων) μεταξύ των δύο ροών. Η χαμηλή αποδοτικότητά της καθιστά αυτήν την τεχνολογία μη ελκυστική για την αφαλάτωση.

Οι εναλλάκτες πίεσης, που μεταφέρουν την πίεση άμεσα από την άλμη στην εισερχόμενη ροή, έχουν πραγματικά υψηλές αποδοτικότητες, αρκετά παραπάνω από 90%<sup>41,42</sup>. Οι εναλλάκτες πίεσης απαιτούν μια συμπληρωματική αντλία για να ετοιμάσουν την πτώση πίεσης που εμφανίζεται όταν περνά η ροή από τις μεμβράνες RO και μέσα στον ίδιο τον εναλλάκτη πίεσης, που είναι συνήθως 2-3 bar. Αυτή η αντλία τροφοδοτείται ηλεκτρικά, αν και θα μπορούσε να τροφοδοτηθεί χρησιμοποιώντας μια παρόμοια ρύθμιση σε συνδυασμό μηχανών/αντλιών με το να αδειάζει ορισμένη ποσότητα από τη διατηρημένη σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση άλμη για να οδηγήσει τη μηχανή.

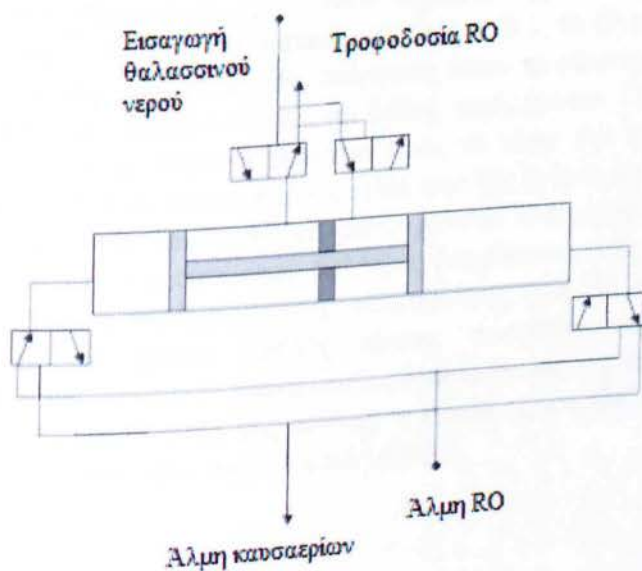
Μια εναλλακτική λύση του εναλλάκτη πίεσης είναι ο ενισχυτής πίεσης όπως η αντλία Clark<sup>42</sup> ή ο ενισχυτής πίεσης ENERCO<sup>43</sup>. Αυτοί ωθούν την πίεση τροφοδοσίας, σε περίπου 20 bar, έως και 50 bar, πίεση που απαιτείται για την αντίστροφη όσμωση. Εξαιρούν την ανάγκη για μια συμπληρωματική αντλία, αλλά καθορίζουν την αναλογία αποκατάστασης του συστήματος. Μια σταθερή αναλογία αποκατάστασης μειώνει την ευελιξία των εγκαταστάσεων με τον περιορισμό της αναλογίας μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης κατανάλωσης ισχύος ανά μεμβράνη RO σε μια αναλογία περίπου 3:1, αν και μεγαλύτερες παραλλαγές στην κατανάλωση ισχύος μπορούν να επιτευχθούν με την ποικιλία του αριθμού των ενεργών μεμβρανών RO. Αυτή η λύση έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς με τη αιολική ενέργεια, όπου η εξομάλυνση επιτυγχάνεται με την αποθήκευση της ενέργειας σε έναν σφόνδυλο<sup>37</sup>. Εντούτοις, αν και κατά τη διάρκεια των μακρύτερων χρονικών περιόδων η παραλλαγή στη δύναμη των κυμάτων είναι λιγότερη από αυτή για τη αιολική ενέργεια, με την πάροδο του χρόνου σε περιόδους 10-60 sec, κατά τη διάρκεια του οποίου ο σφόνδυλος χρησιμοποιείται για να εξομαλύνει την παραγωγή δύναμης, η παραλλαγή στη δύναμη των κυμάτων είναι μεγαλύτερη. Επιπλέον για μια καθαρώς υδραυλική λύση που η ενέργεια πρέπει να αποθηκευτεί σε έναν υδραυλικό συσσωρευτή που είναι χαρακτηριστικά ακριβότερος ανά μονάδα της ενεργειακής αποθήκευσης από έναν σφόνδυλο, με την ενεργειακή αποθήκευση να συνδέεται με την αλλαγή στη ρευστή

πίεση. Κατά συνέπεια για τροφοδοτούμενη με κύμα αφαλάτωση μια αναλογία 3:1 για την κατανάλωση ισχύος μπορεί να είναι ανεπαρκής.

Η τελική διαμόρφωση που εξετάζεται για την τροφοδοτούμενη με κύμα αφαλάτωση είναι ο ενισχυτής\εναλλάκτης πίεσης. Η διαμόρφωση είναι παρόμοια με την αντλία Clark<sup>44</sup>, με τέσσερις μηχανικά συνδεδεμένες αίθουσες, αλλά και με μια διαφορετική ρύθμιση των υδραυλικών συνδέσεων με τη αναλογία περιοχής να παρέχει τα ευδιάκριτα χαρακτηριστικά. Αντίθετα από τον ενισχυτή πίεσης, ο οποίος καθορίζει την αναλογία αποκατάστασης, η διαμόρφωση του ενισχυτή\εναλλάκτη πίεσης καθορίζει την αναλογία μεταξύ της πίεσης τροφοδοσίας και της πίεσης της άλμης απορριμμάτων. Το επόμενο τμήμα επιδεικνύει πώς αυτή η διαμόρφωση αυξάνει την αναλογία του μεγίστου στην ελάχιστη κατανάλωση ισχύος σε περίπου 10:1, καθιστώντας το ιδιαίτερα κατάλληλο για τη χρήση με μετατροπείς κυματικής ενέργειας.

## 7.2 Λειτουργία του ενισχυτή\εναλλάκτη πίεσης

Αν και ο ενισχυτής\εναλλάκτης πίεσης είναι μια εναλλασσόμενη συσκευή, η λειτουργία της είναι συμμετρική και πρέπει να περιγραφεί κατά τη διάρκεια του μισού κύκλου. Ένα σχηματικό διάγραμμα του ενισχυτή\εναλλάκτη πίεσης παρουσιάζεται στο σχήμα 7.1. Με την αριστερή πλευρά του θαλάμου να συμπιέζεται παρουσιάζεται στο σχήμα 7.1. Με την αριστερή πλευρά του θαλάμου να συμπιέζεται από τη ροή της άλμης από τα στοιχεία RO, οι εσωτερικές κινήσεις του εμβόλου προς τα δεξιά, το κέντρο-αριστερό θάλαμο συμπίεσης που εκβάλλουν τα στοιχεία RO, τα δεξιά, το κέντρο-αριστερό θάλαμο συμπίεσης που εκβάλλουν τα στοιχεία RO, ο κεντροδεξιά του θαλάμου συνδέεται για την τροφοδοσία του θαλασσινού νερού και ο ακροδεξιός θάλαμος συνδέεται για την εξάτμιση της άλμης. Αυτή η διαμόρφωση καθορίζει αποτελεσματικά την πτώση πίεσης στα στοιχεία RO βασισμένα στις ανάλογες περιοχές, όπου η πίεση της εισαγωγής και της εξάτμισης ρέουν.



Σχήμα 7.1: Πίεση<sup>36</sup> ενισχυτή\εναλλάκτη

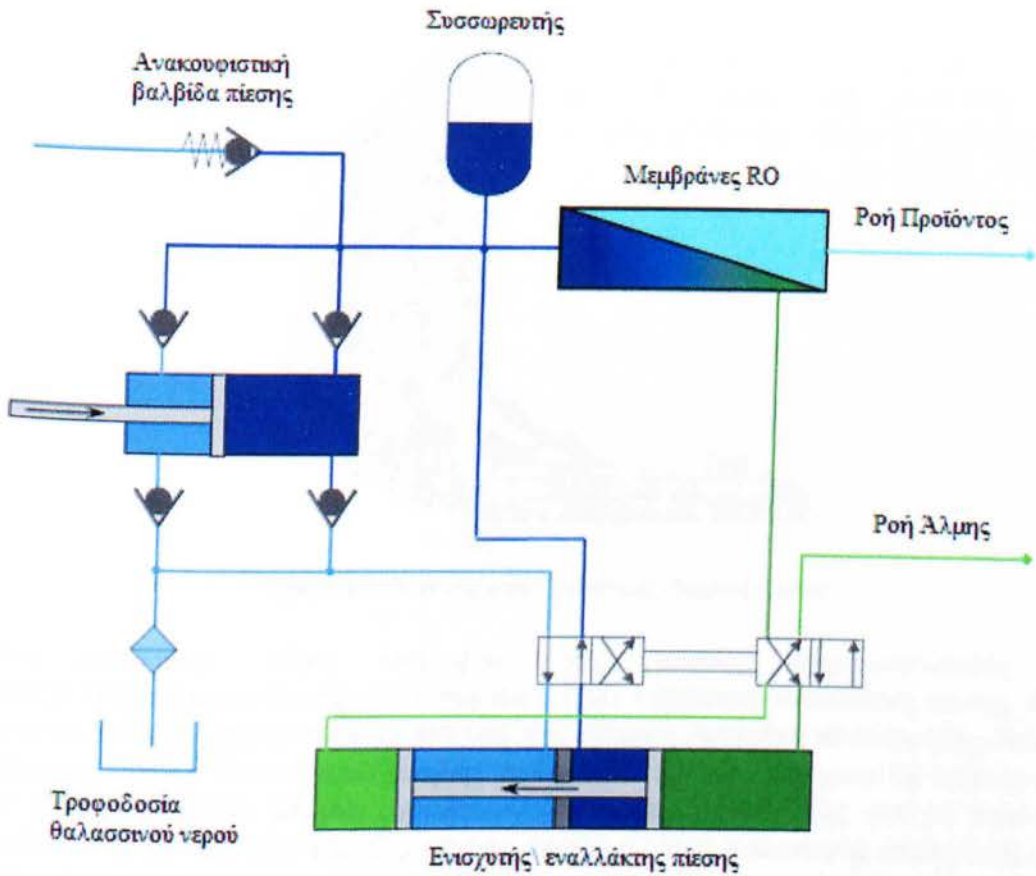
Όταν το έμβολο φθάνει στο τέλος της διαδρομής του οι τέσσερις βαλβίδες ελέγχου σε όλη την κίνηση προς τις εναλλακτικές θέσεις τους, το έμβολο αρχίζει να κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση, ο συγχρονισμός βαλβίδων είναι κρίσιμος για να ελαχιστοποιήσει τα κύματα πίεσης και να αποφύγει την απώλεια ενέργειας λόγω της γρήγορης ελάττωσης της πίεσης στις αίθουσες. Για τον λόγο αυτό, αν και δύο από τις βαλβίδες θα μπορούσαν να αντικατασταθούν από τέσσερις ανεπίστροφες βαλβίδες,

μπορεί να είναι αρμόζον να διατηρηθούν ως βαλβίδες ελέγχου για να αυξηθεί ο έλεγχος, ώστε να είναι δυνατό ότι οι μικροί συσσωρευτές θα απαιτηθούν για να ελαχιστοποιήσουν τα αποτελέσματα οποιωνδήποτε μεταβατικών φαινομένων που εμφανίζονται στην αλλαγή της κατεύθυνσης των εμβόλων.

Όταν συνδέονται με τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης, οι εναλλάκτες/ενισχυτές πίεσης εργάζονται για να διατηρήσουν μια σταθερή πτώση πίεσης πέρα από το σύστημα, που κρατά την άλμη που διατρέχουν στους σωλήνες αντίστροφης όσμωσης περίπου σταθερή. Αυτό είναι ευεργετικό για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων, επειδή εξασφαλίζει ένα αποδεκτό ποσοστό στη ροή της άλμης. Εντούτοις, επίσης προκαλεί μια κοντινή σταθερή ενεργειακή απώλεια λόγω της πτώσης πίεσης έτσι ώστε η συγκεκριμένη κατανάλωση ενέργειας να αυξάνεται στις χαμηλές πιέσεις τροφοδοσίας λόγω της μικρότερης παραγωγής του αφαλατωμένου νερού, ενώ η ροή άλμης παραμένει περίπου σταθερή. Στις χαμηλές πιέσεις τροφοδοσίας το σύστημα μπορεί να διατηρήσει τους αποδεκτούς λειτουργούντες όρους αλλά η αλατότητα του προϊόντος θα είναι πάρα πολύ υψηλή. Σε αυτές τις καταστάσεις μια βαλβίδα παράκαμψης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να εκτρέψει το υψηλό προϊόν αλατότητας ώστε για να αποφύγει το υπόλοιπο του προϊόντος.

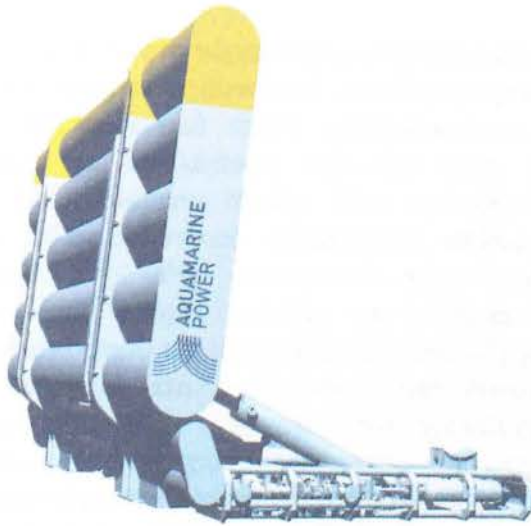
### 7.3 Περιγραφή του συστήματος

Η αυτόνομη εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης κύματος που αναλύεται στην παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελείται από ένα μετατροπέα ενέργειας κύματος Oyster<sup>46</sup>, άμεσα συνδεδεμένο με μια μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης με ανάκτηση ενέργειας<sup>47</sup>, φαίνεται σχηματικά στο Σχήμα. 8.1, το Oyster, βλ. Σχήμα. 8.2, είναι ένας τύπος μετατροπέα κυματικής ενέργειας όπου το πτερύγιο βρίσκεται κοντά στην ακτή και συνήθως αναπτύσσονται σε βάθος τουλάχιστον 12 m. Η κίνηση των κυμάτων αναγκάζει το πτερύγιο να κινείται προς τα πίσω και προς τα εμπρός και αυτή η κίνηση αντιστέκεται σε μια διπλή αντλία υψηλής ενέργειας θαλασσινού νερού υπό πίεση, ώστε με αυτόν τον τρόπο να επιτυγχάνεται η εξαγωγή ενέργειας από τα κύματα. Μια σειρά από ανεπίστροφες βαλβίδες διορθώνουν την ροή από τη διπλή αντλία ενέργειας για να παρέχουν μονής κατεύθυνσης ροή. Η ροή, στη συνέχεια προετοιμάζεται με τη χρήση υψηλής πίεσης φυσικού αερίου στον γεμάτο συσσωρευτή, όπου μειώνονται οι επακόλουθες διακυμάνσεις της πίεσης και της ροής, μαζί με μια βαλβίδα εκτόνωσης της πίεσης, η οποία εξασφαλίζει ότι η πίεση στο εσωτερικό του συστήματος δεν γίνεται πολύ μεγάλη.



Σχήμα 7.1: Αυτόνομη<sup>2</sup> εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης κύματος

Το κλιματιζόμενο νερό υπό πίεση ενσωματώνεται απευθείας στην μονάδα αφαλάτωσης, η οποία ουσιαστικά αποτελείται από μια τράπεζα με τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης και μια σειρά από ενισχυτές/εναλλάκτες πίεσης για ανάκτηση ενέργειας. Η ροή στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης είναι από το συνδυασμό της ροής απευθείας στην έξοδο της αντλίας διπλής ενέργειας, καθοδηγούμενη από τον μετατροπέα κυματικής ενέργειας, και η ροή από τον εντονότερο εναλλάκτη πίεσης, ωθούμενη από την ενέργεια στη ροή της άλμης. Το αφαλατωμένο νερό από τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης διοχετεύεται σε ένα χαμηλό δοχείο αποθήκευσης με πίεση, ενώ η άλμη είναι αυτή που τροφοδοτεί εντονότερα τον εναλλάκτη πίεσης, πριν από την οριστική απόρριψη πίσω στη θάλασσα. Το σύστημα ανάκτησης ενέργειας όπου το πρότυπο είναι ένας πιο δυνατός εναλλάκτης πίεσης, ο οποίος αποτελείται από δύο αντιτιθέμενους κυλίνδρους και έμβολα που μοιράζονται τον ίδιο άξονα. Η ρύθμιση είναι παρόμοια με την αντλία Clark<sup>48,49</sup>. Ωστόσο, η άλμη και οι θέσεις του νερού τροφοδοσίας έχουν αντιστραφεί στο ενισχυτή/εναλλάκτη πίεσης. Συνεπώς, ενώ η διαμόρφωση της αντλίας Clark είναι τέτοια ώστε ο λόγος ανάκτησης του συστήματος να είναι σταθερός, στον ενισχυτή/εναλλάκτη πίεσης η διαμόρφωση εξασφαλίζει ότι η πτώση της πίεσης μεταξύ του νερού τροφοδοσίας και της άλμης είναι περίπου σταθερή. Τα πλεονεκτήματα για τη λειτουργία μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης παρέχονται από μια μεταβλητή προμήθεια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η κυματική ενέργεια, είναι ότι η ροή της τροφοδοσίας για τις μεμβράνες παραμένει περίπου σταθερή, η οποία συμβάλλει στην αύξηση του αποδεκτού εύρους των αρμοδιοτήτων κατά την οποία η εγκατάσταση μπορεί να λειτουργήσει.



**Σχήμα 8.2:** Μετατροπέας<sup>2</sup> ενέργειας κύματος Oyster

Στο μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας της μονάδας χρησιμοποιώντας ένα ενισχυτή/εναλλάκτη πίεσης, σε σύγκριση με ένα συμβατικό εναλλάκτη πίεσης, όπως η αντλία Clark, μπορεί να εκτιμηθεί από την εξέταση σεναρίων τόσο υψηλής όσο και χαμηλής ισχύος. Στο σενάριο υψηλής ισχύος και τα δύο συστήματα θα λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με μια σχετικά υψηλή πίεση τροφοδοσίας και με αναλογία ανάκτησης. Στο σενάριο χαμηλής ισχύος, επειδή ο λόγος ανάκαμψης κατά κύριο λόγο εξαρτάται από την πίεση τροφοδοσίας, η ροή τροφοδοσίας πρέπει να πέσει σε ένα συμβατικό σύστημα εναλλάκτη πίεσης, δυνητικά μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη των μεμβρανών που οφείλεται σε ανεπαρκή ροή τροφοδοσίας. Ωστόσο, ο ενισχυτής/εναλλάκτης πίεσης ανταποκρίνεται στο χαμηλό σενάριο ισχύος κατά κύριο λόγο από τη μείωση της πίεσης τροφοδοσίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού ανάκτησης και, συνεπώς, η ισχύς που του ζητείται για την αφαλάτωση να εξισορροπεί τελικά τη μειωμένη ζήτηση ενέργειας από τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης για την ενέργεια που διατίθεται από την εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε ακραίες περιπτώσεις, η πίεση μπορεί να πέσει με την πίεση της όσμωσης του θαλασσινού νερού, έτσι ώστε η διαθέσιμη ισχύς να χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για να κυκλοφορεί το νερό μέσα από τις μεμβράνες και για την πίεση του ενισχυτή/εναλλάκτη, διατηρώντας έτσι τη ροή τροφοδοσίας στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης και την αποφυγή ζημιών στις μεμβράνες.

Μια βασική διαφορά μεταξύ αυτού του συστήματος και στη πλειοψηφία των αυτόνομων μονάδων αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης οδηγούμενη από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν χρησιμοποιείται σε ενδιάμεσο στάδιο της διαδικασίας. Το κύριο πλεονέκτημα της παραλείπουσας μετατροπής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι ότι η διαδικασία είναι ουσιαστικά πιο αποτελεσματική. Για την μετατροπή από νερό υπό πίεση σε ηλεκτρική ενέργεια και το αντίστροφο περιλαμβάνει τέσσερις αλλαγές στην κατάσταση της ενέργειας:

- νερό υπό πίεση σε κινητική ενέργεια από ένα υδραυλικό μοτέρ/τουρμπίνα,
- κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια από μια γεννήτρια,
- ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική ενέργεια από μια μηχανή,
- κινητική ενέργεια σε νερό υπό πίεση από μια αντλία

Με απόδοση μετατροπής 85% στο υδραυλικό μοτέρ\τουρμπίνα\αντλία και 90% στην ηλεκτρική γεννήτρια\κινητήρα, η συνολική αποδοτικότητα της μετατροπής είναι 58,5%. Έτσι, όταν το νερό υπό πίεση χρησιμοποιείται άμεσα υπάρχει 70% περισσότερη ενέργεια για αφαλάτωση από ότι όταν η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι η εξάλειψη όλου του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού καθώς και του υδραυλικού μοτέρ\τουρμπίνα\αντλία. Όχι μόνο είναι αυτό πιθανό να μειώσει το κόστος κεφαλαίου της μονάδας, μπορεί επίσης να αυξήσει την αξιοπιστία των εγκαταστάσεων. Το μειονέκτημα της μη μετατροπής της ενέργειας σε ηλεκτρική είναι ότι η αποθήκευση ενέργειας και ισχύος δεν είναι δυνατόν να εξομαλυνθούν χρησιμοποιώντας μπαταρίες. Έτσι η εγκατάσταση χρειάζεται να λειτουργήσει με λιγότερη σταθερή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος από την κύρια μέθοδο της εξομάλυνσης με καθαρά υδραυλικό σύστημα που ο συσσωρευτής είναι γεμισμένος με αέριο. Συσσωρευτές γεμισμένοι με αέριο μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια μόνο με μια αλλαγή στην πίεση του συστήματος και έτσι δεν μπορούν να διατηρήσουν πραγματικά σταθερές συνθήκες τροφοδοσίας.

Ανεπίσημα, οι αυξομειώσεις της πίεσης τροφοδοσίας για τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης λέγεται ότι οδηγούν σε μείωση της ζωής και της απόδοσης των μεμβρανών. Σε μια πρότυπη μονάδα αντίστροφης όσμωσης η πίεση τροφοδοσίας διατηρείται σχεδόν σταθερή και σημαντικές αλλαγές συμβαίνουν μόνο κατά την εκκίνηση και τον τερματισμό. Η αποτυχία των μεμβρανών κατά τη διάρκεια της εκκίνησης της διαδικασίας έχει αναγνωριστεί λόγω της διαφοράς πίεσης που αναπτύσσεται σε όλη την στέγαση της μεμβράνης GRP και δεν ήταν αποτυχίες των μεμβρανών τους. Αυτό το πρόβλημα λύθηκε στη συνέχεια με την προσθήκη των αεραγωγών φραγμού<sup>49</sup>. Βλάβες έχουν επίσης συσχετιστεί με την υψηλή συχνότητα του σφυριού στο νερό που τινάζει μηχανικά τις μεμβράνες και τη στέγαση. Ωστόσο, αυτό το είδος της φόρτισης είναι πολύ διαφορετικό από την σχετικά χαμηλή συχνότητα διακυμάνσεων της πίεσης που θα μπορούσε να αναμένεται σε απευθείας μονάδες αφαλάτωσης κύματος<sup>46</sup>. Δεν είναι σαφές κατά πόσο αυτά τα είδη των περιστατικών είναι η αιτία της ανησυχίας σχετικά με τις διακυμάνσεις πίεσης, ωστόσο, είναι προφανές ότι υπάρχει έλλειψη λεπτομερών σε ποσοτικά δεδομένα στον τομέα αυτό. Αυτή η έλλειψη επαρκών στοιχείων δεν είναι επί του παρόντος, θεωρείται ότι οι διακυμάνσεις πίεσης έχουν την ελάχιστη επίδραση στην απόδοση και στο κόστος αντικατάστασης μεμβράνης, κάτι το οποίο είναι σαφώς μια περιοχή ζωτικής σημασίας εν εξελίξει έρευνας.

Είναι επιθυμητό για κάθε σύστημα, και ιδιαίτερα για μια αυτόνομη μονάδα αφαλάτωσης που θα μπορούσε να αναπτυχθεί σε απομακρυσμένες περιοχές, ότι η απαίτηση για την παρέμβαση στη λειτουργία της είναι ελάχιστη. Πράγματι, αν και η μονάδα αντίστροφης όσμωσης θα μπορούσε να εγκατασταθεί στην ακτογραμμή, μια σειρά από πλεονεκτήματα υπάρχουν αν μπορούν να ενσωματωθούν στο πλαίσιο της μετατροπής της κυματικής ενέργειας. Σε αυτήν τη ρύθμιση δεν υπάρχει ανάγκη μόνο για ένα μικρό σωλήνα πίεσης για τη μεταφορά του γλυκού νερού στην ακτή. Επιπλέον, η απόρριψη της άλμης είναι πιθανό να αποτελεί μικρότερο πρόβλημα για το περιβάλλον αν απορρίπτεται στη θάλασσα, στη θέση του μετατροπέα κυματικής ενέργειας. Τέλος, η εγκατάσταση της μονάδας αφαλάτωσης με τον μετατροπέα κυματική ενέργειας, απαιτεί ένα ελάχιστο ποσό του δυνητικά πολύτιμου εδάφους για την ακτογραμμή. Φυσικά, ο εντοπισμός της μονάδας αφαλάτωσης με τον μετατροπέα κυματικής ενέργειας σημαίνει ότι η πρόσβαση για τη συντήρηση είναι περιορισμένη

και η προμήθεια των χημικών ουσιών για την προ θεραπεία προβληματική. Με τον περιορισμό του δείκτη αποκατάστασης σε λιγότερο από 25% περίπου είναι δυνατόν να εξαλείψει την ανάγκη για χημική προεπεξεργασία<sup>45</sup>, έτσι ώστε η θέση συνεργασίας του μετατροπέα ενέργειας από τα κύματα και μονάδας αφαλάτωσης να γίνεται πολύ πιο ελκυστική. Μια αναλογία ανάκτησης του 25% επιτεύχθηκε σε αυτή την εγκατάσταση με τρεις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης σε σειρά σε κάθε δοχείο πίεσης. Το νερό τροφοδοσίας προς την εγκατάσταση αφαλάτωσης θα πρέπει επίσης να φιλτράρεται. Ενώ ένα πρότυπο ρύθμισης άμμου και του δοχείου του φίλτρου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση, μια καινοτόμος λύση μπορεί να χρησιμοποιήσει το κύμα σε σωρούς μετατροπείς κυματικής ενέργειας όπου το νερό, θα φιλτράρεται σε υπόβαθρο μειώνοντας έτσι τις απαιτήσεις των επόμενων σταδίων φιλτραρίσματος. Το πόσο κοντά βρίσκεται στην ακτή η εγκατάσταση αφαλάτωσης ή ο μετατροπέας κυματικής ενέργειας, εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες, ωστόσο, προβλέπεται για αυτή την ανάλυση ότι η αναλογία ανάκτηση περιορίζεται σε 25% για την εξάλειψη της ανάγκης για χημική προ αντιμετώπισή τους κατά την αφαλάτωση.

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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 κύματος. Υπολογίζεται ότι η αξιοποίηση του 1% του κυματικού δυναμικού του πλανήτη μας θα κάλυπτε περίπου στο τετραπλάσιο την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση.

Το αντίξοο περιβάλλον στο οποίο καλούνται να λειτουργήσουν οι διάφορες τεχνολογίες επέδρασε στο παρελθόν ανασταλτικά στις προσπάθειες αυτές. Οι τεράστιες καταπονήσεις σε ακραίες καιρικές συνθήκες απαιτούν υψηλούς δείκτες μηχανικής αντοχής, με αποτέλεσμα μεγάλο κατασκευαστικό κόστος. Η μεγάλη απόσταση από την ακτή για τεχνολογίες πλωτής εγκατάστασης συνεπάγεται υψηλό κόστος διασύνδεσης και λειτουργίας.

Κατά μέσο όρο ένα κύμα ύψους 4 ποδιών και έντασης 10 δευτερολέπτων που χτυπά μια ακτή ασκεί δύναμη περισσότερη από 35.000 ίππους ανά μίλι ακτής. Τα κύματα παίρνουν την ενέργεια τους από τον άνεμο. Ο άνεμος προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια. Τα κύματα μπορούν να συλλέγουν, να αποθηκεύουν και να διαβιβάζουν αυτές τις απώλειες για χιλιάδες μίλια με μικρές απώλειες. Όσο ο ήλιος λάμπει, η κυματική ενέργεια δεν πρόκειται ποτέ να εξαντληθεί. Μπορεί να ποικίλουν σε ένταση, αλλά είναι διαθέσιμη εικοσιτέσσερις ώρες την ημέρα, 365 μέρες τον χρόνο.

Καθώς τα θαλάσσια κύματα πλησιάζουν προς την ακτογραμμή, η ένταση της ενέργειας τους μειώνεται εξαιτίας της αλληλεπίδρασης τους με τον πυθμένα της θάλασσας. Αυτή η απώλεια ενέργειας κοντά στην ακτή μπορεί να αντισταθμιστεί από διάφορα φυσικά φαινόμενα όπως η διάθλαση και η ανάκλαση, οδηγώντας στη συγκέντρωση της κυματικής ενέργειας (hot spots).

Ο θαλάσσιος κυματισμός συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τις ΑΠΕ: χαμηλοί δείκτες ρύπανσης σε επίπεδο κύκλου ζωής, αποκέντρωση της παραγωγής ενέργειας, απεξάρτηση από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων, προοπτικές οικονομικής ανάπτυξης σε απομακρυσμένες ή/και υποβαθμισμένες περιοχές, τόνωση της βιομηχανικής παραγωγής, δημιουργία θέσεων εργασίας κ.ά.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση τεχνολογιών κυματικής ενέργειας, όπως ακουστική ή οπτική όχληση, επιπτώσεις σε χλωρίδα και πανίδα, παρενόχληση της ναυσιπλοΐας κ.ά θεωρούνται ήπιες. Αξιοσημείωτο είναι ότι η εγκατάσταση σταθμών κυματικής ενέργειας δεν απαιτεί δέσμευση γης. Η οπτική όχληση, καθώς και οι παρεμβάσεις στο περιβάλλον, ενδεχομένως να αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα για παράκτιες εγκαταστάσεις, αν και, εν γένει, περιοχές με έντονη κυματική δραστηριότητα δεν ενδείκνυνται για άλλου είδους αξιοποίηση, όπως π.χ. ιχθυοκαλλιέργεια ή τουριστική εκμετάλλευση. Αντίθετα, παράκτιες εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας θα μπορούσαν με κατάλληλο σχεδιασμό να λειτουργήσουν παράλληλα σαν κυματοθραύστες για την προστασία της ακτής ή σαν λιμενοβραχίονες

Οι φορείς ανάπτυξης ακολουθούν διάφορους σχεδιασμούς για την απόσπαση της ενέργειας που περικλείεται στα κύματα. Οι συσκευές κυματικής ενέργειας κατηγοριοποιούνται σύμφωνα 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.



Υπάρχουν αρκετές κατηγορίες διατάξεων κυματικής ενέργειας βάσει των μηχανισμών απόσπασης της ενέργειας και οι διακρίσεις είναι δύσκολες. Συχνά, διακρίνονται μόνο τρεις στοιχειωδώς διαφορετικές κατηγορίες, ήτοι η παλλόμενη υδάτινη στήλη, η διάταξη υπερχειλίσσης και σώματα με προκαλούμενη από την (σχετική) κίνηση των κυμάτων. Τυπικά, όλες οι διατάξεις πλην αυτής της υπερχειλίσσης διαθέτουν και χαρακτηριστικά σημειακού απορροφητή. Σημειακή απορρόφηση είναι η ικανότητα απορρόφησης της ενέργειας από μια μεγάλη περιοχή σε σχέση με τις φυσικές διαστάσεις της διάταξης – επίσης γνωστό και ως φαινόμενο «κεραίας». Δεν υπάρχει μία κοινή και ευρέως αποδεκτή από τη διεθνή κοινότητα έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης (E&TA) κατηγοριοποίηση, λόγω της διαφορετικής οπτικής γωνίας.

Ο σχεδιασμός ενός μετατροπέα κυματικής ενέργειας πρέπει να είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος για να είναι αποτελεσματικά λειτουργικός και αξιόπιστος από τη μία πλευρά, και οικονομικά εφικτός, από την άλλη. Όπως συμβαίνει με όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι διαθέσιμοι πόροι και η μεταβλητότητα στον τόπο της εγκατάστασης πρέπει να προσδιορίζεται πρώτα. Οι πρόσφατες τάσεις υποστηρίζουν συσκευές μέτριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που κυμαίνονται σε επίπεδα μεταξύ 1,5 – 2 kW, ή σε μικρές αρθρωτές συσκευές 5 – 20 kW ονομαστικής ισχύος, οι οποίες μπορούν να ικανοποιήσουν απαιτήσεις πολλών μεγαβάτ όταν εγκατασταθούν σε συστοιχία.

Η κυματική ενέργεια θεωρητικά μπορεί να παρέχει μια καθαρή πηγή ανανεώσιμης ενέργειας, με περιορισμένες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ειδικότερα, η κυματική ενέργεια θεωρείται ως μια μεγάλη πηγή ενέργειας που δεν συνεπάγεται μεγάλες εκπομπές CO<sup>2</sup>. Η περιορισμένη εμπειρία με τα συστήματα κυματικής ενέργειας δίνει τη δυνατότητα να σχηματιστεί μόνο μια ατελής εικόνα των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τις συσκευές ισχύος κυματικής ενέργειας.

Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης αντιμετωπίζουν το θαλασσινό και υφάλμυρο νερό για την παραγωγή γλυκού νερού, και στην συνέχεια επεξεργάζονται την απαλλαγή αλμυρών λυμάτων. Το παγκόσμιο δυναμικό παραγωγής σε νερό αφαλάτωσης έχει αυξηθεί εκθετικά από το 1960. Η τρέχουσα σε απευθείας σύνδεση παραγωγική ικανότητα εκτιμάται ότι θα υπερβεί τα 42 εκ. m<sup>3</sup> /ημέρα, εκ των οποίων 37 εκατομμύρια m<sup>3</sup>/ημέρα θεωρούνται επιχειρησιακές. Αυτό προσθέτει μέχρι και κατά προσέγγιση 0,3 τοις εκατό του μέσου όρου των συνολικών ανθρωπογενών χρήσεων του γλυκού νερού την ημέρα.

Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης κατηγοριοποιούνται σε δύο κύριες ομάδες, σε θερμικές και σε μεμβράνες αφαλάτωσης. Αυτές στη συνέχεια, αναλύονται σε υπό-ομάδες που επεξεργάζονται το αλμυρό νερό με τεχνικούς διαφορετικούς τρόπους. Σε αυτή την πτυχιακή εργασία, εξετάστηκαν οι λειτουργικές πτυχές των οκτώ πιο εξεχόντων τεχνολογιών αφαλάτωσης οι οποίες είναι: πολυβάθμια ακαριαία εξάτμιση (MSF), πολυβάθμια απόσταξη (MED), Μηχανική συμπίεση ατμού (MVC) και θερμική συμπίεση ατμού (TVC), ηλιακή απόσταξη (SD), αντίστροφης όσμωσης (RO), ηλεκτροδιάλυση (ED) και αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (EDR).

Έχει αποδειχθεί ότι το διατηρημένο σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση νερό που λαμβάνεται άμεσα από μια ενέργεια κυμάτων που μετατρέπεται και που ρυθμίζεται χρησιμοποιώντας μια υδραυλική ανακουφιστική βαλβίδα συσσωρευτών πίεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για να τροφοδοτήσει εγκαταστάσεις αφαλάτωσης. Οι προτεινόμενες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης αποτελούνται από τις μεμβράνες RO μαζί με έναν ενισχυτή εναλλάκτη πίεσης για την ενεργειακή ανάκτηση, με την αναλογία αποκατάστασης να περιορίζεται σε 25% για να εξαλείψει

την ανάγκη για προγενέστερη χημική επεξεργασία. Ο ενισχυτής εναλλάκτης πίεσης εξασφαλίζει ότι οι απαραίτητοι λειτουργούντες όροι των μεμβρανών RO διατηρούνται ενώ η προσαρμογή αλλάζει στη δύναμη εισαγωγής λόγω μεταβλητότητας της συναφούς δύναμης κυμάτων. Μια μέση συγκεκριμένη κατανάλωση ενέργειας 2.1 KW(υδραυλικό) /m<sup>3</sup> θα εμφανιζόταν να είναι αποκτήσιμη, το οποίο είναι ισοδύναμο με 1.72 KW(ηλεκτρικό) /m<sup>3</sup> βασισμένα στην αναμενόμενη αποδοτικότητα ενός ενεργειακού μετατροπέα κυμάτων που παρήγαγε την ηλεκτρική ενέργεια, κάτι το οποίο είναι μια μικρή συγκεκριμένη κατανάλωση ενέργειας για εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με μια χαμηλή αναλογία αποκατάστασης που τροφοδοτείται από έναν μεταβλητό ανεφοδιασμό της ενέργειας. Οι μεμβράνες RO και ο ενισχυτής εναλλάκτης πίεσης είναι φυσικά ισορροπημένοι έτσι ώστε τα πρόσθετα συστήματα ελέγχου ή οι βαλβίδες να μην απαιτούνται, καθιστώντας το σύστημα ιδιαίτερα ισχυρό. Εντούτοις, μικρές βελτιώσεις στην ποιότητα των προϊόντων θα μπορούσε να ληφθεί με την προσθήκη μιας βαλβίδας ελέγχου στην απαλλαγή να ρέει εάν αυτό θεωρηθεί επιθυμητό.

Ένα πιθανό πρόβλημα με τις μεμβράνες RO άμεσα από έναν ενεργειακό μετατροπέα κυμάτων είναι οι μεταβλητοί όροι τροφοδοσίας. Έχει καταδειχθεί ότι οι μεμβράνες RO είναι ικανές με τους μεταβλητούς όρους της τροφοδοσίας σε μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Εντούτοις, θα αναμενόταν ότι επιδεινώνονται γρηγορότερα με τους μεταβλητούς όρους τροφοδοσίας και απαιτούν έτσι την αντικατάσταση τακτικότερα. Κατά συνέπεια, η αποδοχή των μεταβλητών όρων τροφοδοσίας γίνεται από μια οικονομική απόφαση βασισμένη στις σχετικές επιπτώσεις απόδοσης και δαπανών της διατήρησης πιο σταθερής τροφοδοσίας. Δυστυχώς το στοιχείο που απαιτείται για να το καθορίσει αυτό δεν είναι διαθέσιμο.

Η άμεσα τροφοδοτούμενη αυτόνομη με κύμα αφαλάτωση θα εμφανιζόταν να προσφέρει μια ελπιδοφόρο και συναρπαστική δυνατότητα για τη σύζευξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με την τεχνολογία αφαλάτωσης. Εντούτοις, περαιτέρω εργασία απαιτείται για να σχεδιάσει και να αναπτύξει την πρακτική ενσωμάτωση ενός ενισχυτή εναλλάκτη πίεσης κατάλληλου για τροφοδοτούμενη με κύμα αφαλάτωση, μαζί με την αντιμετώπιση των προκλήσεων που συνδέονται με τη διάρκεια των μεμβρανών RO στους μεταβλητούς όρους τροφοδοσίας, την προγενέστερη επεξεργασία ύδατος τροφοδοσίας και την αξιοπιστία συστημάτων για μια μακρινή θέση, για να κάνουν την τροφοδοτούμενη με κύμα αφαλάτωση πραγματικότητα.

Το ελάχιστο κόστος του νερού από μια αυτόνομη εγκατάσταση αφαλάτωσης έχει υπολογιστεί να είναι 0,54€/m<sup>3</sup>, το οποίο είναι περίπου ίδιο με το κόστος του νερού από τις τυποποιημένες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης. Το παρόμοιο κόστος του ύδατος εμφανίζεται επειδή ενώ η συγκεκριμένη κατανάλωση κυματικής ενέργειας που τροφοδοτούν τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης είναι χαμηλότερες από τις τυποποιημένες εγκαταστάσεις, επειδή δεν μετατρέπουν το διατηρημένο σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση νερό σε ηλεκτρική ενέργεια και πίσω σε διατηρημένο σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση νερό, οι δαπάνες της κύριας επένδυσης είναι υψηλότερες, επειδή η μεταβλητότητα του ενεργειακού ανεφοδιασμού σημαίνει ότι οι εγκαταστάσεις τρέχουν σε έναν μέσο παράγοντα φορτίων περίπου 62%, και ένα ποσοστό της δεσμευόμενης κυματικής ενέργειας απορρίπτεται λόγω του περιορισμένου μεγέθους των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης.

Εντούτοις, αν και οι δαπάνες του ύδατος μπορούν να είναι παρόμοιες, η δυνατότητα για τις αυτόνομες τροφοδοτούμενες με κύμα εγκαταστάσεις αφαλάτωσης οφείλονται

σημαντικά στη μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά την επέκταση. Επιπλέον, οι τροφοδοτούμενες με κύμα εγκαταστάσεις αφαλάτωσης έχουν διάφορα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα στη χρήση εδάφους και στη διάθεση της άλμης. Πράγματι, το παρόμοιο κόστος του ύδατος υπονοεί ότι η αυτόνομη αφαλάτωση είναι ανταγωνιστική με όλες τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, όχι μόνο εκείνες στις μακρινές θέσεις όπου οι αυτόνομες εγκαταστάσεις θα επεκτείνονταν χαρακτηριστικά, και είναι έτσι μια οικονομικά ανταγωνιστική λύση για την αφαλάτωση, αλλά οπουδήποτε το κλίμα των κυμάτων είναι αρκετά ενεργητικό.

Η μερική χρησιμοποίηση των ακριβών εγκαταστάσεων αφαλάτωσης προτείνει μια υβριδική λύση, όπου η δύναμη για την αφαλάτωση μπορεί να προέλθει από τις πολλαπλές πηγές (π.χ. δύναμη ή ηλεκτρική ενέργεια κυμάτων) ή/και όπου η δύναμη των κυμάτων μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερες από μια εγκαταστάσεις (π.χ. αφαλάτωση ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας), μπορεί να είναι οικονομικά ελκυστική. Επιπλέον, η διαθεσιμότητα των εναλλακτικών πηγών, οι "νεροχύτες" της ενέργειας μπορεί να σημάνουν ότι η πίεση και η ροή τροφοδοσίας στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης μπορούν να κρατηθούν πιο σταθερές, οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα των προϊόντων και να αυξήσουν τη χρησιμοποίησιμη ζωή των μεμβρανών. Εντούτοις, οι αρχικές προσομοιώσεις υβριδικών εγκαταστάσεων δεν είναι ενθαρρυντικές λόγω της περιορισμένης ευελιξίας των κατάλληλων αντλιών, των μηχανών και της ανάγκης να αναπτυχθούν οι κατάλληλοι αλγόριθμοι ελέγχου για να καθορίσουν τις πορείες των ενεργειακών ροών. Αναμένεται ότι οι υβριδικές τροφοδοτούμενες με κύμα εγκαταστάσεις αφαλάτωσης θα αποτελέσουν το αντικείμενο μιας μελλοντικής δημοσίευσης.

Αυτή η πτυχιακή εργασία μας δείχνει ότι η αυτόνομη τροφοδοτούμενη με κύμα μονάδα αφαλάτωσης είναι και δυνατή και μπορεί να παραγάγει το φρέσκο νερό με σχετικά χαμηλότερο κόστος. Εντούτοις, τα διάφορα τεχνολογικά εμπόδια υπάρχουν, τα οποία πρέπει να υπερνικηθούν εάν η τροφοδοτούμενη με κύμα αφαλάτωση πρόκειται να χρησιμοποιηθεί όπως προβλέπεται. Το πρώτο αυτών των εμποδίων είναι η ανάπτυξη της τεχνολογίας της ενεργειακής ανάκτησης, η οποία δεν είναι διαθέσιμη σήμερα με το σχήμα που περιγράφεται. Εντούτοις, η λειτουργία της προτεινόμενης τεχνολογίας είναι πολύ παρόμοια με άλλες τεχνολογίες όπως της αντλίας Clark και έτσι η ανάπτυξη δεν αναμένεται να παρουσιάσει σημαντικές προκλήσεις. Το δεύτερο εμπόδιο είναι η ανάπτυξη ενός κατάλληλου φιλτραρίσματος και μιας τεχνολογίας προγενέστερης επεξεργασίας που μπορούν να επεκταθούν με τον μετατροπέα κυματικής ενέργειας και να λειτουργήσουν χωρίς τη συντήρηση ή την σημαντική συντήρηση για τις εκτεταμένες χρονικές περιόδους. Τέλος, για την αποδεκτή λειτουργία της αντίστροφης όσμωσης των μεμβρανών στους μεταβλητούς όρους τροφοδοσίας που παρέχονται από τον μετατροπέα κυματικής ενέργειας πρέπει να επιβεβαιωθούν, αν και τα στοιχεία που υπάρχουν ήδη δείχνουν ότι οι μεταβλητοί όροι τροφοδοσίας δεν πρέπει να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα<sup>40,41</sup>. Κανένα από αυτά τα τεχνολογικά εμπόδια δεν εμφανίζεται να είναι αξεπέραστο, ούτε θα έπρεπε οι λύσεις τους να αναγκάσουν το εκτιμώμενο κόστος του ύδατος να αυξηθεί σημαντικά. Κατά συνέπεια, η τροφοδοτούμενη με κύμα αφαλάτωση εμφανίζεται να είναι και οικονομικά ελκυστική και τεχνικά εφικτή, κάτι το οποίο μπορεί ενδεχομένως να επιβεβαιωθεί στο κοντινό μέλλον με την επέκταση ενός προτύπου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Λευτέρης Ι. Πισκιτζής, Συστήματα Κυματικής Ενέργειας  
[http://www.spitia.gr/greek/aiforos/ananeosimes/kimatiki\\_energy/kimatiki.htm](http://www.spitia.gr/greek/aiforos/ananeosimes/kimatiki_energy/kimatiki.htm)  
 (τελ. επίσκεψη: 11/3/2012)
- [2]. Matt Folley, Trevor Whittaker The cost of water from an autonomous wave-powered desalination plant , Ιούνιος 2008  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148108000888>  
 (τελ. επίσκεψη: 11/3/2012)
- [3]. Garcia-Rodriguez L. Renewable energy applications in desalination: state of the art. Solar Energy 2003;75:381–93.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X03002834>  
 (τελ. επίσκεψη: 11/3/2012)
- [4]. Kalogirou SA. Seawater desalination using renewable energy sources. Progress in Energy and Combustion Science 2005;31:242–81  
<http://membrane.ustc.edu.cn/paper/pdf/Seawater%20desalination%20using%20renewable%20energy%20sources.pdf> (τελ. επίσκεψη: 2/3/2012)
- [5]. Sharmila N, Jalihal P, Swamy AK, Ravindran M. Wave powered desalination system. Energy 2004;29:1659–72  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544204000817>  
 (τελ. επίσκεψη: 2/3/2012)
- [6]. Weisser D, Garcia RS. Instantaneous wind energy penetration in isolated electricity grids: concepts and review. Renewable Energy 2005;30:1299–308  
<http://www.apmaths.uwo.ca/~mdavison/library/natasha/windpenetrationRE.pdf>  
 (τελ. επίσκεψη: 5/4/2012)
- [7]. Γ. Λεμονής Κυματική Ενέργεια στην Ευρώπη, Εθνικές Δραστηριότητες και Προοπτικές Αξιοποίησης, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)  
[http://www.eng.auth.gr/IHT/B%20Tomos/B03%20-%20YDROHLEKTRIKA%20-%20ENERGEIA%20KYMMATWN/03-Lemonis\\_KYMATIKH%20ENERGEIA%20.pdf](http://www.eng.auth.gr/IHT/B%20Tomos/B03%20-%20YDROHLEKTRIKA%20-%20ENERGEIA%20KYMMATWN/03-Lemonis_KYMATIKH%20ENERGEIA%20.pdf) (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [8]. News & Information about Ocean Renewable Energy Ocean Energy Council,  
<http://www.oceanenergycouncil.com> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [9]. Centre for Renewable Energy Sources, Ocean Energy Conversion in Europe: Recent advancements and prospects  
[http://www.wavec.org/client/files/OceanEnergyConversionEurope\\_CRES.pdf](http://www.wavec.org/client/files/OceanEnergyConversionEurope_CRES.pdf)  
 (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [10]. Pontes, M. T. et. al. , “The European Wave Energy Resource”, 3<sup>rd</sup> EWEC, Patras, Greece, September 1998  
[http://www.eng.auth.gr/IHT/B%20Tomos/B03%20-%20YDROHLEKTRIKA%20-%20ENERGEIA%20KYMMATWN/03-Lemonis\\_KYMATIKH%20ENERGEIA%20.pdf](http://www.eng.auth.gr/IHT/B%20Tomos/B03%20-%20YDROHLEKTRIKA%20-%20ENERGEIA%20KYMMATWN/03-Lemonis_KYMATIKH%20ENERGEIA%20.pdf) (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [11]. ‘Κύματα, Μορφές τεχνολογίας’ , www.aquaret.com  
[http://www.aquaret.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=137&Itemid=280&lang=el](http://www.aquaret.com/index.php?option=com_content&view=article&id=137&Itemid=280&lang=el) (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [12]. Garrad Hassan, Wave Energy Technology Review, Oregon Wave Energy,

<http://www.oregonwave.org/wp-content/uploads/Task-2.1.2-Garrad-Hassan-Wave-Energy-Technology-Review.pdf> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)

- [13]. Alain Cle´ment, Pat McCullen, Anto´nio Falcaˆo, Antonio Fiorentino, Fred Gardner, Karin Hammarlund, George Lemonis, Tony Lewis, Kim Nielsen, Simona Petroncini, M.-Teresa Pontes, Phillippe Schild, Bengt-Olov Sjoˆstroˆm, Hans Christian Sørensen, Tom Thorpe, Wave energy in Europe: current status and Perspectives, 2002  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032102000096>  
 (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [14]. Thorpe TW. An overview of wave energy technologies: status, performance and costs, wave power - moving towards commercial viability. IMECHE Seminar, London, UK, 1999
- [15]. Pontes MT, Athanassoulis GA, Barstow S, Bertotti L, Cavaleri L, Holmes B, et al. The European Wave Energy Resource. 3rd EWEC, Patras, Greece, 1998
- [16]. Thorpe TW. A review of wave energy. ETSU-R-72, 1992
- [17]. Nielsen K, Meyer NI. The Danish Wave Energy Programme. 3rd EWEC, Patras, Greece, 1998
- [18]. Lewis, T., (1999), “A strategic review of the wave energy resource in Ireland”, “Wave Energy - Moving towards commercial viability, IMECHE Seminar, London, UK
- [19]. Lagstroem G. Sea Power International—Floating Wave Power Vessel, FWPV. Wave power - moving towards commercial viability. IMECHE Seminar, London, UK, 1999
- [20]. Thorpe TW. The wave energy programme in the UK and the European Wave Energy Network. 4<sup>th</sup> EWEC, Aalborg, Denmark, 2000
- [21]. Rademakers LWMM, van Schie RG, Schuttema R, Vriesema B, Gardner F. Physical model testing for characterizing the AWS. 3rd EWEC, Patras, Greece, 1998
- [22]. Gaw K-U, Schimmels S, Lengricht J. Quantifying the losses around the lip of an OWC by use of Particle Image Velocinmetry (PIV). 4th EWEC, Aalborg, Denmark, 2000
- [23]. Knapp W, Holme´n E, Schilling R. Considerations for water turbines to be used in wave energy converters. 4th EWEC, Aalborg, Denmark, 2000
- [24]. Brito-Melo A, Sarmiento AJNA, Cle´ment AH, Delhommeau G. Hydrodynamic analysis of geometrical design parameters of oscillating water column devices. 3rd EWEC, Patras, Greece, 1998
- [25]. Brito-Melo A, Sarmiento AJNA, Cle´ment AH, Delhommeau G. A 3D boundary element code for the analysis of OWC wave-power plants. 9th ISOPE, Brest, France, 1999
- [26]. Brito-Melo A, Hofmann T, Sarmiento AJNA, Cle´ment AH, Delhommeau G. Numerical modeling of OWC-shoreline devices with the effects of surrounding coastline and non-flat bottom. 10th ISOPE, Seattle, WA, 2000
- [27]. Soukissian TH, Chronis GTh, Nittis K. POSEIDON: Operational marine monitoring system for greek seas. Sea Technology 1999;40(7).
- [28]. Chatzilakos C, Lemonis G. Economically efficient floating device for wave power conversion into electricity. 4th EWEC, Aalborg, Denmark, 2000
- [29]. Thorpe TW. The wave energy programme in the UK and the European Wave Energy Network. 4th EWEC, Aalborg, Denmark, 2000
- [30]. Das Gupta A, Raghavendran M, Mani JS. Integrated wave energy system for island states. 2nd Intl. Minihydro Conference, Palinuro, Italy, 1999

- [31]. Arakawa C, Suzuki M. Numerical simulation of 3-D stall mechanism on Wells Turbine for wavepower generating system. 10th ISOPE, Seattle, WA, 2000
- [32]. Ueki K, Ishizawa K, Nakagawa H. Output of electric power from pneumatic wave power generation system with water valve rectifier. 10th ISOPE, Seattle, WA, 2000
- [33]. Kim T-S, Lee H-G, Park I-K, Lee Y-W, Kinoue Y, Setoguchi T. Numerical Analysis of impulse turbine for wave energy conversion. 10th ISOPE, Seattle, WA, 2000
- [34]. Olvera A, Prado E, Czitrom SPR. Performance improvement of OWC systems by parametric resonance. 4th EWEC, Aalborg, Denmark, 2000
- [35]. John Frederick “JF” Thye, Desalination: Can it be greenhouse gas free and cost Competitive, May 2010, Yale School of Forestry and Environmental Studies [http://cbey.research.yale.edu/uploads/JFThye\\_Masters%20Project%20on%20Desalination\\_Part%201%20of%202.pdf](http://cbey.research.yale.edu/uploads/JFThye_Masters%20Project%20on%20Desalination_Part%201%20of%202.pdf) (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [36]. ‘Αυτόνομη μονάδα αφαλάτωσης κύματος’ Matt Folley, Baltasar Penate Suarez, Trevor Whittaker, Ιούνιος 2008 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916407006406> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [37]. V. Subiela, J. Carta and J. González, The SDAWES project: lessons learnt from an innovative project, Desalination, 168 (2004) 39–47
- [38]. N. Sharmila, P. Jalihal, A.K. Swamy and M. Ravindran, Wave powered desalination system, Energy, 9 (11) (2004) 1659–1672
- [39]. D.C. Hicks, G.R. Mitcheson, C.M. Pleass and J.F. Salevan, Delbouy: ocean wave-powered seawater reverse osmosis desalination systems, Desalination, 73 (1989) 81–94.
- [40]. OMI, The OMI WavePump, 2006 <http://www.oceanmotion.ws> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [41]. W. Andrews and D. Laker, A twelve-year history of large scale application of work-exchanger energy recovery technology, Desalination, 138 (2001) 201–206
- [42]. P. Geisler, W. Krumm and T. Peters, Optimisation of the energy demand of reverse osmosis with a pressure-exchange system, Desalination, 125 (1999) 167–172
- [43]. K. Paulsen and F. Hensel, Introduction of a new energy recovery system - optimized for the combination with renewable energy, Desalination, 184 (2005) 211–215
- [44]. M. Thomson, M. Miranda and D. Infield, A small-scale seawater reverse-osmosis system with excellent energy efficiency over a wide operating range, Desalination, 153 (2002) 229–236
- [45]. ROSA, ROSA software download, 2006, <http://www.dow.com/liquidseps/design/rosa.htm> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [46]. Whittaker T, Folley M. The Oyster wave energy converter. In: Seventh European wave and tidal energy conference, Porto, Portugal; 2007
- [47]. Folley M, Penate Suarez B, Whittaker T. An autonomous wave-powered desalination system. Desalination 2008;220:412–21
- [48]. Mohamed ES, Papadakis G, Mathioulakis E, Belessiotis V. The effect of hydraulic energy recovery in a small sea water reverse osmosis desalination system experimental and economical evaluation. Desalination 2005;184:241–6
- [49]. Spectra Wavemakers. Technology overview <http://www.spectrawavemakers.com> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)

- [50]. Bartels C, Hirose M, Fujioka H. Performance advancement in the spiral wound RO/NF element design. *Desalination* 2008;221:207–14
- [51]. Εικόνα 2.1: <http://www.ecofriend.com/entry/solar-wind-green-energy-sources-power-world> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [52]. Pelamis Wave Power, <http://www.pelamiswave.com/> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [53]. WaveBob Blue Energy, <http://www.wavebob.com/> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [54]. Ocean Power Technologies (OPT), <http://www.oceanpowertechnologies.com/> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [55]. AW Energy, <http://www.aw-energy.com/index.html> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [56]. Aquamarine Power, <http://www.aquamarinepower.com> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [57]. Ocean Energy, <http://www.oceanenergy.ie> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [58]. Wave Energy Centre, <http://www.pico-owc.net> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [59]. Wave Dragon Aps, <http://www.wavedragon.net> (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [60]. Ecofys sustainable energy, [http://www.ecofys.com/en/news/title\\_wave\\_rotor\\_item](http://www.ecofys.com/en/news/title_wave_rotor_item) (τελ. επίσκεψη: 2/2/2012)
- [61]. Μανωλάκος Δημήτρης, Συστήματα αφαλάτωσης στον νησιώτικο χώρο, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Μάρτιος 2009  
<http://www.dafni.net.gr/gr/archives/files/051008/manolakos.pdf>