

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο «Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας: Κυματική Ενέργεια» εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Πολεοδομία, Χωροταξία και Ανάπτυξη» του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση της κυματικής ενέργειας, ως μια ανανεώσιμη πηγή ενέργεια, οι κυριότερες τεχνολογίες κυματικής ενέργειας, οι σημαντικότερες δραστηριότητες ανάπτυξης της παγκοσμίως και οι προοπτικές αξιοποίησή της στο μέλλον. Η εκπόνησή της έγινε το χρονικό διάστημα Ιούλιος-Σεπτέμβριος 2009.

Η επιλογή του θέματος της Διπλωματικής Εργασίας έγινε σε συνεργασία με το Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης κ. Κούγκολο Αθανάσιο, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά για την άποψη συνεργασία και τη βοήθειά του στην εκπόνησή της. Ομοίως, ευχαριστώ και τον κ. Πολύζο Σεραφείμ, Λέκτορα του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, για τις χρήσιμες συμβουλές του.

Οφείλω, επίσης, να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Σαββίδη Ιωάννη Αναπληρωτή Καθηγητή Αλεξάνδρειου ΤΕΙ Θεσσαλονίκης για το ειλικρινές του ενδιαφέρον, τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε και τα στοιχεία που με προθυμία μου προσέφερε για να φέρω εις πέρας της παρούσα εργασία, αλλά και στον κ. Κουτίτα Χριστόφορο, Καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, που είναι πάντα πρόθυμος να με βοηθήσει και να προσφέρει τις γνώσεις του. Σημαντική υπήρξε και η προσφορά του κ. Παναγιωτόπουλου Μιχάλη, υπεύθυνου για τον τομέα Κυματικής Ενέργειας στο Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Βόλος,  
Σεπτεμβρίου 2009

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο σύνθετο πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα, της επάρκειας των ενεργειακών πόρων και της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, χρειάζονται αποτελεσματικές δράσεις για μια βιώσιμη ανάπτυξη. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας προβάλλουν ως μια δυναμική λύση προς την κατεύθυνση αυτή και μεταξύ αυτών και η κυματική ενέργεια. Οι προσπάθειες των τελευταίων 30 ετών για τη μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη μεγάλου αριθμού τεχνολογιών κυματικής ενέργειας παγκοσμίως, ορισμένοι εκ των οποίων, έχουν οδηγήσει στη δημιουργία ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών. Αν και το κόστος παραγωγής της κυματικής ενέργειας είναι ακόμα υψηλό, η περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα αυτό και οι πολιτικές στήριξης του στην αγορά θα μπορούσαν να την καταστήσουν τα επόμενα χρόνια σε μια ανταγωνιστική και βιώσιμη μορφή ενέργειας.

*Λέξεις κλειδιά:* κυματική ενέργεια, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τεχνολογίες κυματικής ενέργειας

## ABSTRACT

The complex problem of adequacy of energy sources and global climate change, that the world faces, requires efficient action for sustainable development. Renewable energy sources such as wave energy have been demonstrated as an effective solution in this direction. The efforts of the last 30 years to convert wave energy into electric power have led in the development of a number of technologies, some of which are used in electricity plants. Even though the cost of wave energy is still high, further research in this field and financial support in the market could establish wave energy as a competitive energy source in the near future.

*Keywords:* wave energy, renewable energy sources, wave energy technologies

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	ii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ .....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	vi
ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ .....	vii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
2 Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ .....	3
2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ .....	3
2.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	4
2.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	7
2.3.1 Η όξινη βροχή .....	8
2.3.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (παγκόσμια κλιματική αλλαγή) .....	9
2.4 ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΣΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ .....	10
2.5 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ .....	11
3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	13
4 ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	16
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	16
4.2 “ΦΥΣΙΚΗ” ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ .....	17
4.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία .....	17
4.2.2 Γραμμικοί κυματισμοί απειροστού πλάτους (Κυματισμοί Stokes 1 <sup>ης</sup> τάξεως ή Airy) .....	18
4.2.3 Διαμόρφωση κυματισμών στον παράκτιο χώρο .....	20
4.2.3.1 Διάθλαση κυματισμών .....	20
4.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΟΡΟΙ .....	21
4.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	22
4.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	25
4.5.1 Oscillating Water Column (OWC) – Μετατροπέας παλλόμενης στήλης 25	
4.5.2 Overtopping devices – συσκευές υπερχείλισης .....	26
4.5.3 Heaving devices .....	26
4.5.4 Pitching Devices .....	27
4.5.5 Surging devices .....	27
4.6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ .....	27
4.6.1 Shoreline devices- διατάξεις ακτογραμμής .....	28
4.6.1.1 LIMPET .....	28
4.6.1.2 EUROPEAN PILOT PLANT .....	30
4.6.1.3 TARCHAN .....	31
4.6.1.4 Pendulor .....	32
4.6.2 Near – Shore devices (Bottom – Fixed) – διατάξεις μικρού βάρους .....	33
4.6.2.1 Oceanlinx OWC .....	33
4.6.2.2 OSPREY .....	34

4.6.3	Offshore devices – διατάξεις μεγάλου βάθους.....	35
4.6.3.1	ARCHIMEDES WAVE SWING (AWS).....	35
4.6.3.2	PELAMIS .....	36
4.6.3.3	WAVE DRAGON.....	38
4.6.3.4	Salter Duck.....	40
4.6.3.5	OPT WEC .....	41
4.6.3.6	Mighty Whale .....	42
4.7	ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΒΟΥΛΙΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	43
4.7.1	Διεθνείς Οργανισμοί.....	43
4.7.1.1	Ευρωπαϊκή Ένωση .....	43
4.7.1.2	European Marine Energy Cenrte.....	44
4.7.1.3	International Energy Agency .....	45
4.7.2	Ευρωπαϊκές Χώρες.....	46
4.7.2.1	Δανία .....	46
4.7.2.2	Νορβηγία .....	47
4.7.2.3	Ιρλανδία .....	48
4.7.2.4	Πορτογαλία .....	50
4.7.2.5	Σουηδία.....	51
4.7.2.6	Μεγάλη Βρετανία.....	51
4.7.2.7	Ελλάδα.....	53
4.7.3	Χώρες εκτός Ευρώπης.....	54
4.7.3.1	Κίνα .....	54
4.7.3.2	Ινδία.....	55
4.7.3.3	Ιαπωνία .....	56
4.7.3.4	ΗΠΑ .....	57
4.7.3.5	Καναδάς.....	57
4.7.3.6	Αυστραλία.....	58
4.8	ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	59
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	61
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 .....	63
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	64
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.....	65
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.....	66
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	67

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 1. Οι συνέπειες της όξινης βροχής στα δάση.....	8
Εικόνα 2. Καθώς αυξάνονται τα ακραία καιρικά φαινόμενα, η Βενετία δεν είναι η μοναδική που θα πρέπει να ενισχύσει την αντιπλημμυρική της προστασία. ....	10
Εικόνα 3. Δημιουργία ανεμογενών κυματισμών .....	17
Εικόνα 4. Ετήσιος μέσος όρος κυματικής ισχύος στην Ευρώπη (KW/m μετώπου κύματος).....	21
Εικόνα 5. Ετήσιος μέσος όρος κυματικής ισχύος στη γη (KW/m μετώπου κύματος) ..	21
Εικόνα 6. Overtopping device .....	26
Εικόνα 7. Σχηματική απεικόνιση της AWS .....	26
Εικόνα 8. Σχηματική απεικόνιση της Pelamis. ....	27
Εικόνα 9. LIMPET Κατά τη διάρκεια κατασκευής .....	29
Εικόνα 10. Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας LIMPET - κατά την κατασκευή .....	29
Εικόνα 11. Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας LIMPET - κατά την κατασκευή .....	29
Εικόνα 12. Pico Plant: από τη θάλασσα (αριστερά), υπό δυνατό κυματισμό (κέντρο), η ακτογραμμή με τη εγκατάσταση ενσωματωμένη (δεξιά).....	31
Εικόνα 13. Σχεδιαστικά ο σταθμός TAPCHAN .....	32
Εικόνα 14. Ο σταθμός TAPCHAN στη Νορβηγία τον Οκτώβρη του 1986 .....	32
Εικόνα 15. Η διάταξη Oceanlinx Mk1 .....	33
Εικόνα 16. Η διάταξη Osprey I έξω από το ναυπηγείο στη Γλασκόβη της Σκωτίας .....	34
Εικόνα 17. Η εγκατάσταση AWS στο λιμάνι Leixões το Μάη του 2004 .....	36
Εικόνα 18. Pelamis prototype: στο EMEC .....	37
Εικόνα 19. Δοκιμές στη Βόρεια Θάλασσα .....	37
Εικόνα 20. Το πάρκο παραγωγής κυματικής ενέργειας στην περιοχή Aguçadoura.....	38
Εικόνα 21. Η πρωτότυπη διάταξη Wave Dragon κλίμακας 1:4,5 στην περιοχή Nissum Bredning της Δανίας.....	39
Εικόνα 22. Η διάταξη OPT 40 kW πριν την εγκατάστασή της στη Χαβάη.....	41
Εικόνα 23. Η διάταξη OPT 40 kW στη θάλασσα .....	41
Εικόνα 24. Σχηματικά η διάταξη Mighty Whale .....	42
Εικόνα 25. Η πρωτότυπη Mighty Whale το Μάιο του 1998 .....	42
Εικόνα 26. Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών .....	45
Εικόνα 27. Η διάταξη Wave Star κλίμακας 1:10.....	47
Εικόνα 28. Μέση ετήσια διακύμανση της κυματικής ισχύος της Ιρλανδίας σε kW/m...49	49
Εικόνα 29. Η πρωτότυπη διάταξη OE Buoy κλ. 1:4 στις δυτ. ακτές της Ιρλανδίας.....	49
Εικόνα 30. Η διάταξη Oyster στο εργοστάσιο κατασκευής .....	52
Εικόνα 31. Εγκατάσταση OWC 100 kW στην Κίνα.....	55
Εικόνα 32. Backward – Bent – Duct Buoy (BBDB).....	55
Εικόνα 33. Ο κυματοθραύστης και WEC τύπου OWC στο Trivandrum, Ινδία.....	55
Εικόνα 34. Ο κυματοθραύστης OWC στη Sakata, Ιαπωνία.....	56
Εικόνα 35. Η διάταξη SEADOG στον κόλπο του Μεξικού .....	57
Εικόνα 36. Η διάταξη AquaBuOY 2.0 το Σεπτέμβρη του 2007.....	58

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1. Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας σε ομάδες κρατών, 1980 – 2030 (Quadrillion Btu).....	4
Πίνακας 2. Κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας το 2006.....	7
Πίνακας 3. Πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κυματικής ενέργειας .....	23
Πίνακας 4. Διαστάσεις πρωτοτύπου WD και άλλων WD διατάξεων για διαφορετικά κλίματα .....	40

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ**

Γράφημα 1. Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, 1980 – 2030 .....	5
Γράφημα 2. Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας στις χώρες του ΟΟΣΑ και σε αυτές που δεν ανήκουν στον ΟΟΣΑ, 1980 – 2030 .....	5
Γράφημα 3. Αύξηση του πληθυσμού της γης, 1980 – 2030.....	6
Γράφημα 4. Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από διατάξεις κυματικής ενέργειας.....	59
Γράφημα 5. Μέσο κόστος ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην Ευρώπη.....	60

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Σχήμα 1. Μορφολογικά και κινηματικά στοιχεία κύματος.....	18
Σχήμα 2. Τροχιές των μορίων του νερού .....	19
Σχήμα 3. Η διαμόρφωση των ορθογωνίων σε ακρωτήρια και κόλπους .....	20
Σχήμα 4. Μετατροπείς OWC .....	25
Σχήμα 5. Κάτοψη κατασκευής LIMPET .....	29
Σχήμα 6. Τομή κατασκευής LIMPET .....	29
Σχήμα 7. Pico Plant: Διαγραμματική απεικόνιση .....	30
Σχήμα 8. Σχεδιαστικά η διάταξη TAPCHAN.....	31
Σχήμα 9. Ο μετατροπείς Pendulor.....	32
Σχήμα 10. Αρχή λειτουργίας της διάταξης Oceanlinx OWC .....	33
Σχήμα 11. Σχέδιο της διάταξης Osprey II. ....	34
Σχήμα 12. Η διάταξη AWS.....	35
Σχήμα 13. Αρχή λειτουργίας της διάταξης AWS .....	35
Σχήμα 14. Pelamis: Προοπτική απεικόνιση .....	37
Σχήμα 15. Σχηματικά η διάταξη Pelamis .....	37
Σχήμα 16. Η ροή των κυμάτων στη διάταξη Wave Dragon.....	39
Σχήμα 17. Η διάταξη Wave Dragon.....	39
Σχήμα 18. Salter Duck -τομή.....	40
Σχήμα 19. Η διάταξη Salter Duck.....	40
Σχήμα 20. Σχεδιαστικά ο μετατροπείς SSG .....	48

**ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ**

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΟΟΣΑ	Οργανισμός για την Οικονομική Συνεργασία & Ανάπτυξη
ΕΚ	Ευρωπαϊκή Κοινότητα
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΜΣΘ	Μέση Στάθμη Θάλασσας
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
ΥΠΕΧΩΔΕ	Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων
DOE	Department of Administration (ΗΠΑ)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WEC	Wave Energy Converter
OWC	Oscillating Water Column
CRES	Centre for Renewable Energy Sources (Greece)
AWS	Archimedes Wave Swing
QUB	Queen University of Belfast (UK)
EU-OEA	European Ocean Energy Association
EMEC	European Marine Energy Centre
WD	Wave Dragon
OPT	Ocean Power Technologies
JAMSTEC	Japan Marine Science & Technology Center
R&D	Research and Development
IEA	International Energy Agency
NUST	Norwegian University of Science and Technology
UCC	University College Cork (Ireland)
BBDB	Backward – Bent – Duct Buoy

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατανάλωση ενέργειας για την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών συνεχώς αυξάνεται και αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τις επόμενες δεκαετίες σε παγκόσμιο επίπεδο. Έχει γίνει πλέον κατανοητό από πολλές χώρες ότι οι παραδοσιακοί τρόποι παραγωγής ενέργειας συμβάλλουν σημαντικά στα περιβαλλοντικά προβλήματα και αναζητούν νέες λύσεις που δε ρυπαίνουν το περιβάλλον. Ο ενεργειακός τομέας έχει στραφεί σε νέους πόρους και τεχνολογίες με αναδυόμενη τη βιομηχανία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

Κάθε αναφορά στις ΑΠΕ φέρνει στον νου, συνήθως, την ηλιακή, την αιολική, τη γεωθερμική, αλλά και την ενέργεια των υδατοπτώσεων. Στην προσπάθεια αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, και των προκλήσεων για αξιοποίηση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας, ένας σημαντικός πόρος έχει ως τώρα μείνει ανεκμετάλλευτος: η ενέργεια των κυμάτων του θαλασσινού νερού. Οι ωκεανοί χαρακτηρίζονται από μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, που είναι η *μεγαλύτερη* μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Cruz, 2008). Η ενέργειά τους διακρίνεται σε κυματική ενέργεια, παλιρροιακή ενέργεια, ενέργεια που προκύπτει από τη θερμοκρασιακή διαφορά των ζεστών άνω στρωμάτων και των κρύων στρωμάτων του βυθού, και τέλος, ενέργεια από τη διαφορά αλατότητας μεταξύ των διαφορετικών στρωμάτων νερού.

Όπως όλες οι μορφές ΑΠΕ, και η κυματική αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Παρόλο που η δυναμική των κυμάτων είναι αναγνωρισμένη από πολύ παλιά – κυρίως για την καταστροφική τους φύση – δεν είχαν βρεθεί μέχρι πρόσφατα αξιόλογοι τρόποι εκμετάλλευσής της. Η επίμονη προσπάθεια και έρευνα στον τομέα αυτό, καθώς και το ενδιαφέρον των κυβερνήσεων και της βιομηχανίας, έχουν οδηγήσει σε τεχνικές λύσεις μετατροπής της ενέργειας των κυμάτων, ορισμένες εκ των οποίων είναι τώρα λίγα βήματα πριν την εμπορική εκμετάλλευση (Cruz, 2008).

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση της κυματικής ενέργειας, ως μια ανανεώσιμη πηγή ενέργεια, και οι προοπτικές αξιοποίησής της στο μέλλον. Αρχικά, γίνεται αναφορά στο σύνθετο ενεργειακό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σήμερα και στις λύσεις για την αντιμετώπισή του, μεταξύ των οποίων και ο τομέας των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η κυματική ενέργεια ως μία από αυτές, οι ενεργειακοί της πόροι στη γη, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των τεχνολογιών, οι κατηγορίες μετατροπέων και



οι κυριότερες τεχνολογίες παγκοσμίως. Επίσης, παρουσιάζονται οι πιο αξιόλογες δραστηριότητες και οι πρωτοβουλίες ανάπτυξης του τομέα της κυματικής ενέργειας στις χώρες της Ευρώπης, αλλά και παγκοσμίως και στη χώρα μας. Τέλος, εξάγονται ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα.

## 2 Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

### 2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Η εξέλιξη της ανθρωπότητας είναι στενά συνδεδεμένη με τη χρήση ενέργειας και η ιστορία του ανθρώπινου πολιτισμού άρχισε ουσιαστικά όταν ο άνθρωπος απέκτησε την ικανότητα χρήσης της φωτιάς, δηλαδή ενός ενεργειακού πόρου. Στη συνέχεια η ανάπτυξη του πολιτισμού βασίστηκε στην ικανότητα εκμετάλλευσης ενεργειακών και υδατικών πόρων. Η βιομάζα, η αιολική ενέργεια και η ενέργεια του κινούμενου νερού αποτέλεσαν, μαζί την σωματική εργασία ανθρώπων και ζώων, τις κύριες πηγές ενέργειας του αρχαίου κόσμου. Ο Αρχιμήδης αναφέρεται ανάμεσα στους πρώτους εφευρέτες, καθώς το 212 π.Χ. με τα κοίλα κάτοπτρα που κατασκεύαζε, εκμεταλλευόταν την ηλιακή ενέργεια για να καίει τα ρωμαϊκά πλοία κατά την πολιορκία των Συρακουσών (<http://kpe-kastor.kas.sch.gr>). Στο τέλος των ελληνοιστικών χρόνων, ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς συνέλαβε θεωρητικά την ιδέα χρήσης του ατμού, που αξιοποιήθηκε αρκετούς αιώνες αργότερα, κατά την βιομηχανική επανάσταση. Η βιομηχανική επανάσταση και η τεχνολογική πρόοδος που ακολούθησε είναι συνδεδεμένες με τη χρήση δύο άλλων ενεργειακών πόρων, του άνθρακα και του πετρελαίου και με την εντυπωσιακή αύξηση των ποσοτήτων κατανάλωσης ενέργειας (Κατσιφαράκης, 2002).

Μετά το Β΄ παγκόσμιο πόλεμο στις αναπτυγμένες και σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, η κατανάλωση ενέργειας σημείωσε σημαντική αύξηση με στόχο την άνοδο του βιοτικού επιπέδου, κάτι που βοήθησε και η χαμηλή τιμή των τιμών του πετρελαίου. Συγχρόνως, άρχισε και η χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Η έρευνα για άλλες πηγές θεωρούνταν περιττή και η χρηματοδότησή τους ήταν περιορισμένη.

Η κατάσταση αυτή άλλαξε προσωρινά με την πετρελαϊκή κρίση του 1973 και άρχισε η αναζήτηση άλλων ενεργειακών πόρων, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στη συνέχεια, η εύρεση νέων κοιτασμάτων πετρελαίου και ο έλεγχος των περιοχών παραγωγής τους από τις προηγμένες χώρες οδήγησαν σε κάποια αίσθηση ασφάλειας και σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας (Κατσιφαράκης, 2002).

Σήμερα, η παγκόσμια οικονομία εξακολουθεί να βασίζεται, κυρίως, στον άνθρακα και το πετρέλαιο, σε συνδυασμό με το φυσικό αέριο, οι οποίες αποτελούν τις λεγόμενες συμβατικές ή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Παράλληλα, μια άλλη συμβατική πηγή ενέργειας, η πυρηνική, χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια, ενώ

σημαντικό ρόλο έχουν αρχίσει να διαδραματίζουν και οι ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και οι υδατοπτώσεις, που θα μελετηθούν στο κεφάλαιο 3.

Καθώς αυξάνει ο πληθυσμός της γης, ταυτοχρόνως αυξάνει και η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Προβλήματα που σχετίζονται με την εξασφάλιση, την προμήθεια και τη χρήση της ενέργειας, αλλά και αυτά που αφορούν την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, η όξινη βροχή, η καταστροφή των δασών και η εκπομπή ραδιενεργών ουσιών, γίνονται όλο και πιο έντονα, προκαλώντας παγκόσμια ανησυχία.

Το λεγόμενο *ενεργειακό πρόβλημα* συνίσταται από δύο παραμέτρους (Κατσιφαράκης, 2002):

1. την ποσοτική (επάρκεια των ενεργειακών πόρων, καθώς τα ορυκτά καύσιμα, άνθρακας και πετρέλαιο, έχουν πεπερασμένα αποθέματα) και
2. την ποιοτική (τα περιβαλλοντικά προβλήματα, καθώς η καύση των ορυκτών καυσίμων προξενεί ανεπανόρθωτες αλλοιώσεις στο περιβάλλον).

## 2.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας και προβλέψεις για τα επόμενα χρόνια παρουσιάζονται στον πίνακα 1 και στα γραφήματα που ακολουθούν (γράφ. 1 και 2) και προέρχονται από στοιχεία της Energy Information Administration, Department of Energy (DOE) των ΗΠΑ ([www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)). Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 παρουσιάζονται οι μονάδες μέτρησης της ενέργειας.

Πίνακας 1. Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας σε ομάδες κρατών, 1980 – 2030 (Quadrillion Btu)

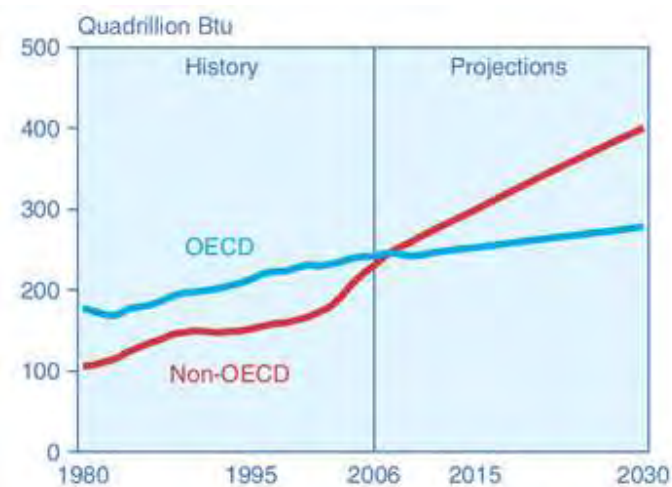
Περιοχή	2006	2010	2015	2020	2025	2030	Ετήσια μέση αύξηση %
<b>ΟΟΣΑ</b>	<b>241,7</b>	<b>242,8</b>	<b>252,4</b>	<b>261,3</b>	<b>269,5</b>	<b>278,2</b>	<b>0,6</b>
Βόρεια Αμερική	121,3	121,1	125,9	130,3	135,6	141,7	0,6
Ευρώπη	81,6	82,2	84,8	87,9	90,0	91,8	0,5
Ασία	38,7	39,5	41,8	43,1	43,9	44,6	0,6
<b>Χώρες εκτός ΟΟΣΑ</b>	<b>230,8</b>	<b>265,4</b>	<b>299,1</b>	<b>334,4</b>	<b>367,8</b>	<b>400,1</b>	<b>2,3</b>
Ευρώπη και Ευρασία	50,7	54,0	57,6	60,3	62,0	63,3	0,9
Ασία	117,6	139,2	163,2	190,3	215,4	239,6	3,0
Αφρική	14,5	16,2	17,7	19,1	20,6	21,8	1,7
Μέση Ανατολή	23,8	27,7	30,3	32,2	34,6	37,7	1,9
Κεντρ. και Ν. Αμερική	24,2	28,3	30,3	32,5	35,2	37,7	1,9
<b>Συνολικά στον κόσμο</b>	<b>472,4</b>	<b>508,3</b>	<b>551,5</b>	<b>595,7</b>	<b>637,3</b>	<b>678,3</b>	<b>1,5</b>

(Πηγή: [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov))

(Πηγή: [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov))

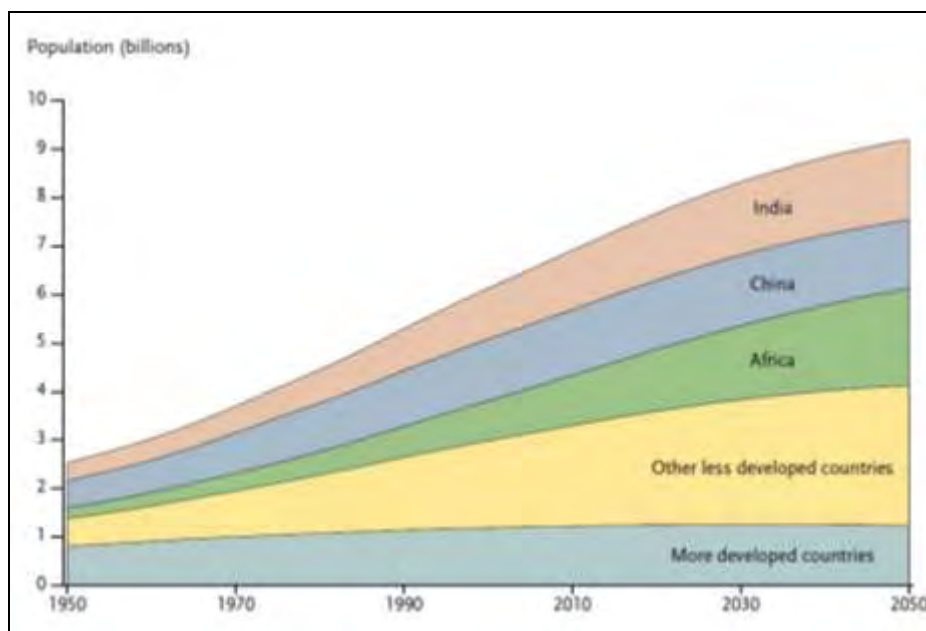
Γράφημα 1. Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, 1980 – 2030

Σύμφωνα με τον ανωτέρω πίνακα 1 και το γράφημα 1 προβλέπεται αύξηση 44 % της κατανάλωσης ενέργειας από το 2006 ως το 2030. Παράλληλα, όπως προκύπτει και από το επόμενο γράφημα 2 οι χώρες του ΟΟΣΑ (Οργανισμού για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη) είναι υπεύθυνες για το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται ως σήμερα. Αυτό αναμένεται να αναστραφεί τα επόμενα χρόνια (πίν. 1 & γράφ. 2) και οι χώρες που δεν ανήκουν στον ΟΟΣΑ, αλλά παρουσιάζουν γρήγορους ρυθμούς οικονομικής ανάπτυξης, θα κατέχουν τα ηνία στην κατανάλωση ενέργειας. Η Κίνα και η Ινδία είναι οι πιο γρήγορα αναπτυσσόμενες χώρες εκτός ΟΟΣΑ και θα είναι οι κύριοι καταναλωτές ενέργειας του μέλλοντος με αναμενόμενη συμμετοχή 30 % στη συνολική παγκόσμια κατανάλωση το 2030 ([www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)).

(Πηγή: [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov))

Γράφημα 2. Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας στις χώρες του ΟΟΣΑ και σε αυτές που δεν ανήκουν στον ΟΟΣΑ, 1980 – 2030

Η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας συνδέεται άμεσα και με την αύξηση του πληθυσμού στη γη. Ο παγκόσμιος πληθυσμός έχει ανέλθει από 2,5 δισεκατομμύρια το 1950 σε 6,7 δισεκατομμύρια το 2008 και προβλέπεται περαιτέρω αύξησή του (γραφ. 3). Αντίστοιχα, η αναλογία κατοίκων που ζει στις αναπτυσσόμενες χώρες της Αφρικής, της Ασίας, και της Λατινικής Αμερικής και της Καραϊβικής έχει αυξηθεί, από 68 %, σε περισσότερα από 80 % στο παγκόσμιο σύνολο. Η Ινδία και η Κίνα, έχοντας πάνω από ένα δισεκατομμύριο πληθυσμό η κάθε μία το 2008, αποτελούν περίπου το 37 % του παγκόσμιου πληθυσμού. Αντίθετα, το μερίδιο που ζει στις αναπτυγμένες χώρες αναμένεται να μειωθεί και από 18 % το 2008 να φτάσει σε λιγότερο από 14 % το 2050. Επίσης, η Αφρική, παρουσιάζοντας τη μεγαλύτερη πληθυσμιακή αύξηση από κάθε άλλη περιοχή, αναμένεται να κατέχει ποσοστό 21 % του παγκόσμιου πληθυσμού το έτος 2050, από 9 % το 1950 (Population Reference Bureau, 2008). Τα στοιχεία αυτά αποδεικνύονται και στο παρακάτω γράφημα 3.



(Πηγή: [www.prb.org](http://www.prb.org))

Γράφημα 3. Αύξηση του πληθυσμού της γης, 1980 – 2030

Στον πίνακα που ακολουθεί (πίν. 2) φαίνεται η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας σε επιλεγμένες χώρες, το έτος 2006, που δείχνει τις τεράστιες διαφορές που υπάρχουν ανάμεσά τους. Είναι φανερό ότι σε πολλές χώρες η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας είναι απαραίτητη για την επίτευξη ενός ανεκτού βιοτικού επιπέδου, ενώ σε άλλες παρατηρείται αλόγιστη χρήση ενέργειας.

Πίνακας 2. Κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας το 2006

Χώρα – Περιοχή	Κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας (Million Btu) το 2006
Κατάρ	1.023,3
Καναδάς	427,2
ΗΠΑ	334,6
Αυστραλία	276,9
Ιαπωνία	178,7
Ευρώπη	146,2
Μεξικό	68,5
Κίνα	56,2
Αφρική	15,9
Ινδία	15,9
Αιθιοπία	1,4
<b>Συνολικά στον κόσμο</b>	<b>72,4</b>

(Πηγή: [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov))

### **2.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Η τεχνολογική πρόοδος, η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση συμβατικών πόρων συνδέονται άμεσα με τα προβλήματα της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση των ενεργειακών πόρων δεν πρέπει να αναζητηθούν μόνο στον τόπο τελικής κατανάλωσης, αλλά πρέπει να συμπεριληφθούν και τα στάδια της αρχικής παραγωγή, της επεξεργασίας, της μεταφοράς και της τελικής διάθεσης των παραπροϊόντων των προηγούμενων διαδικασιών.

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και θείου και η ατμοσφαιρική ρύπανση έχουν φτάσει σε ανησυχητικό επίπεδο, ως αποτέλεσμα, κυρίως, των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (βιομηχανία, θέρμανση, παραγωγή ενέργειας, οχήματα). Κύριες συνέπειες αυτών είναι η όξινη βροχή, και το φαινόμενο του θερμοκηπίου με τη συνακόλουθη κλιματική αλλαγή, που αποτελούν απειλή για τον πλανήτη και τη ζωή στη γη. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δυο αυτά παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα, το πρώτο, ενδεικτικό της οριζόντιας και διασυνοριακής μεταφοράς της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και το δεύτερο, ενδεικτικό της κατακόρυφης μεταφοράς των ατμοσφαιρικών ρύπων (Νικολάου, 2008).

### 2.3.1 Η όξινη βροχή

Το νερό της καθαρής βροχής έχει pH περίπου 5,6. Η βροχή ορίζεται σαν όξινη όταν έχει pH μικρότερο του 5,6 και ορισμένες φορές φτάνει το 4,0. Η οξύτητα της βροχής οφείλεται, κυρίως, σε εκπομπές οξειδίων του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), τα οποία μετατρέπονται στην ατμόσφαιρα σε θειικό και νιτρικό οξύ αντίστοιχα ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  και  $\text{HNO}_3$ ), και μπορούν να ταξιδέψουν σε πολύ μεγάλες αποστάσεις με τους ανέμους και να κατακαθίσουν (όξινη κατακρήμνιση) σε περιοχές που βρίσκονται μακριά από τις πηγές ρύπανσης. Σε παγκόσμια κλίμακα, τα  $\text{SO}_2$ , προέρχεται σε μεγάλο ποσοστό από σταθερές πηγές ρύπανσης (βιομηχανία και καύση ορυκτών καυσίμων, θέρμανση), ενώ τα  $\text{NO}_x$  προέρχεται επιπλέον από τα αυτοκίνητα (Νικολάου, 2008, Dincer, 2000).

Οι επιπτώσεις της όξινης βροχής στο υδάτινο περιβάλλον είναι ιδιαίτερα έντονες στις λίμνες, όπου η αλλαγή της οξύτητας του νερού μπορεί να οδηγήσει σε εξαφάνιση πολλών ειδών του ζωικού και φυτικού βασιλείου. Επίσης τα εδάφη των δασών είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα, γιατί η όξινη βροχή προκαλεί αύξηση της τάσης έκπλυσης των μετάλλων και ιχνοστοιχείων και επιβράδυνση της αποσύνθεσης των φύλλων στο έδαφος (εικ. 1). Τέλος, σημαντική είναι η επίπτωση σε διάφορα υλικά (πχ μέταλλο, ξύλο, αλουμίνιο, δέρμα) και η υποβάθμιση που προκαλεί σε μαρμάρινα, ιστορικά μνημεία (Παρθενώνας) και κτίρια των μεγαλουπόλεων. Το πρόβλημα αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία στη χώρα μας με την τόσο πλούσια κληρονομιά σε τέτοια μνημεία (Ζερεφός, 1984, Κούγκολος, 2005, Dincer, 2000).



(Πηγή: [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu))

Εικόνα 1. Οι συνέπειες της όξινης βροχής στα δάση

### **2.3.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (παγκόσμια κλιματική αλλαγή)**

Ο ήλιος εφοδιάζει τη γη με μια τεράστια ποσότητα ενέργειας. «Η ατμόσφαιρα περιέχει υδρατμούς, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια του φυσικού περιβάλλοντος που αφήνουν το ηλιακό φως να περάσει, αλλά απορροφούν τη θερμότητα που αντανακλάται από τη γη. Η φυσική αυτή διαδικασία, που λέγεται 'φαινόμενο του θερμοκηπίου', διατηρεί τη θερμοκρασία της γης σε επίπεδο που υποστηρίζει τη ζωή. Χωρίς αυτό, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα έφθανε στο αόρητο επίπεδο των  $-18^{\circ}\text{C}$ » (European Commission, 2008).

Το  $\text{CO}_2$ , είναι υπεύθυνο σε ποσοστό 50 % για τη θέρμανση του πλανήτη, ενώ άλλα αέρια που συμμετέχουν αθροιστικά στη διαδικασία αυτή είναι το μεθάνιο  $\text{CH}_4$ , οι χλωροφθοράνθρακες CFCs, το υποξείδιο του αζώτου  $\text{N}_2\text{O}$ , το όζον  $\text{O}_3$ , και άλλα σε μικρότερες ποσότητες (Dincer, 2000).

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων (βιομηχανία, θέρμανση, αυτοκίνητα) και η υλοτόμηση των δασών για τη δημιουργία καλλιεργήσιμων εκτάσεων, αυξάνουν τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων της ατμόσφαιρας που εγκλωβίζουν τη θερμότητα. Η προσθήκη αυτών των 'αερίων του θερμοκηπίου' επιτείνει το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία της γης και να αλλάζει το κλίμα.

Η μέση θερμοκρασία της γης παρέμεινε σχετικά σταθερή επί 10.000 χρόνια μέχρι τη βιομηχανική επανάσταση, όμως από το 1850 και έπειτα, υπολογίζεται ότι έχει αυξηθεί κατά  $0,76^{\circ}\text{C}$ . Αν δεν λάβουμε τα απαραίτητα μέτρα, πιθανόν να αυξηθεί περαιτέρω κατά  $1,8-4,0^{\circ}\text{C}$  ή ακόμη περισσότερο κατά τη διάρκεια του αιώνα μας (European Commission, 2008, Omer, 2008).

Μια τέτοια εξέλιξη θα έχει καταστροφικές συνέπειες για τον πλανήτη μας. Αν η θερμοκρασία της γης αυξηθεί περισσότερο από  $2^{\circ}\text{C}$  σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, η κλιματική αλλαγή πιθανόν να καταστεί μη αναστρέψιμη, με ανυπολόγιστες μακροπρόθεσμες συνέπειες.

Οι αλλαγές των βροχοπτώσεων είναι μια από τις σοβαρές επιπτώσεις. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως πλημμύρες και τυφώνες, θα γίνουν συχνότερα, ενώ τα μέσα γεωγραφικά πλάτη θα καταστούν πιο ξηρά. Παράλληλα, προβλέπεται λιώσιμο των επιφανειακών πολικών πάγων και άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Αυτό σημαίνει ότι περιοχές της γης με χαμηλό υψόμετρο, μεταξύ τους και μεγάλα τμήματα πολλών ευρωπαϊκών χωρών, θα μπορούσαν να εξαφανιστούν, ενώ αναμένεται να επηρεάσει τις



ζωές εκατομμυρίων ανθρώπων που κατοικούν στις παράκτιες περιοχές και τα νησιά, σε ολόκληρο τον πλανήτη. Επιπλέον, σε πολλά μέρη του κόσμου δεν θα υπήρχε αρκετό πόσιμο νερό για όλους. Οι οικονομίες θα μπορούσαν να λυγίσουν από το κόστος αντιμετώπισης ενός διαφορετικού κλίματος (Νικολάου, 2008).



(Πηγή: European Commission, 2008)

Εικόνα 2. Καθώς αυξάνονται τα ακραία καιρικά φαινόμενα, η Βενετία δεν είναι η μοναδική που θα πρέπει να ενισχύσει την αντιπλημμυρική της προστασία.

#### **2.4 ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΣΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ**

Τα δύο προαναφερθέντα προβλήματα, δηλαδή τα προβλήματα της επάρκειας των ενεργειακών πόρων και της ρύπανσης του περιβάλλοντος, που οδηγούν σε αδιέξοδο το σημερινό άνθρωπο, απαιτούν άμεσες και δυναμικές λύσεις. Στην αντιμετώπισή τους συμπεριλαμβάνονται οι ακόλουθες λύσεις, που πρέπει να λειτουργήσουν συμπληρωματικά η μία στην άλλη (Κούγκολος, 2005, Dincer, 2000, Κατσιφαράκης, 2002):

- Εξοικονόμηση ενέργειας, δηλ. αποφυγή κάθε περιττής κατανάλωσης, για παράδειγμα με θερμική μόνωση των κτιρίων.
- Καλύτερη αξιοποίηση των συμβατικών πηγών ενέργειας, όπως με τη βελτίωση της απόδοσης των καυστήρων των συστημάτων θέρμανσης.
- Χρησιμοποίηση του φυσικού αερίου αντί του πετρελαίου ή του γαιάνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς εκπέμπει μικρότερη ποσότητα CO<sub>2</sub> ανά κιλοβατώρα.
- Ανάπτυξη φιλικότερων προς το περιβάλλον και πιο ισορροπημένων συστημάτων μεταφορών.
- Αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

- Αναδάσωση, καθώς τα φυτά δεσμεύουν CO<sub>2</sub>, σε αντίθεση με την σημερινή κατάσταση αποδάσωσης που επικρατεί.
- Μείωση των αερίων του θερμοκηπίου.

Συγχρόνως, χρειάζεται μια ολοκληρωμένη πολιτική για την ανάπτυξη, για την ενέργεια και το περιβάλλον, που θα στηρίζεται στις αρχές της *Βιώσιμης Ανάπτυξης*. Η νέα αυτή πολιτική και κοινωνική αντίληψη θα επαναπροσδιορίζει τη σχέση του ανθρώπου με το περιβάλλον και θα αλλάξει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο παράγουμε και χρησιμοποιούμε την ενέργεια, ενώ θα οδηγήσει σε μια γενικότερη αλλαγή του τρόπου ζωής των κατοίκων (European Commission, 2008).

## **2.5 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ**

Η παγκόσμια κοινότητα έχοντας αντιληφθεί τα αδιέξοδα στα οποία οδηγείται έχει ξεκινήσει μια σειρά ενεργειών με στόχο την κοινή αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων και της κλιματικής αλλαγής. Η Ευρωπαϊκή Ένωση πρωτοστατεί στις ενέργειες αυτές και έχει χαράξει μια ολοκληρωμένη πολιτική για την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα σημαντικότερα βήματα προς αυτήν την κατεύθυνση.

Το 1987, η Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, ή αλλιώς, Επιτροπή Brundtland, συντάσσει το κείμενο «Το κοινό μας μέλλον», και καθορίζει την έννοια της *Βιώσιμης ή Αειφόρου Ανάπτυξης*. Η επιτροπή αυτή συγκροτήθηκε με Απόφαση του Γενικού Γραμματέα των Ηνωμένων Εθνών το 1983 και είχε ως στόχο τη μελέτη της υπάρχουσας κατάστασης στον πλανήτη και την αναζήτηση βιώσιμων και ρεαλιστικών λύσεων που θα επιτρέπουν τη διατήρηση της ζωής στη γη κατά την διάρκεια των επόμενων γενεών. Στο κείμενο αναφέρεται ότι θα πρέπει να σταματήσει η εκμετάλλευση του μόνιμου οικολογικού κεφαλαίου της γης και ξεκινήσει ο σχεδιασμός με βάση τα ανανεώσιμα αποθέματα (Μυλόπουλος, 2002). Σύμφωνα με την Επιτροπή Brundtland *Αειφόρος Ανάπτυξη* ορίζεται *‘η ανάπτυξη με την προσοχή στραμμένη στο μέλλον, δηλαδή η ανάπτυξη που προσπαθεί να καλύψει τις ανάγκες της σημερινής γενιάς, χωρίς όμως να θέτει σε κίνδυνο την προσπάθεια των μελλοντικών γενιών να καλύψουν τις δικές του α ανάγκες’* (Μυλόπουλος, 2002, Afgan et al., 1998).

Πέντε χρόνια αργότερα, το 1992, στο Ρίο ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας, 165 ηγέτες χωρών από όλο τον κόσμο δεσμεύτηκαν να λάβουν μέτρα και να εφαρμόσουν την

πολιτική διεξόδου από την περιβαλλοντική κρίση στηριζόμενη στις αρχές της *Βιώσιμης Ανάπτυξης*. Αποτέλεσμα της Διάσκεψης αυτής των Ηνωμένων Εθνών είναι η *Τοπική Ατζέντα 21*, για την οποία υπάρχει ηθική και πολιτική υποχρέωση εφαρμογή της (Βαβίζος και Μερτζάνης, 2002, Μυλόπουλος, 2002).

Το Δεκέμβριο του 1997 εγκρίθηκε το πρωτόκολλο του Κυότο, το οποίο αποτελεί ένα πρωτόκολλο της Σύμβασης – Πλαισίου του ΟΗΕ για την αλλαγή του κλίματος (UNFCCC), και εκφράζει τη νέα στάση της διεθνούς κοινότητας απέναντι στο φαινόμενο των κλιματικών αλλαγών. Περιλαμβάνει τη δέσμευση που έχουν αναλάβει οι περισσότερες εκβιομηχανισμένες χώρες για τον περιορισμό των οικείων εκπομπών ορισμένων αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, υπεύθυνων για τη θέρμανση του πλανήτη, τουλάχιστον κατά 5% ως το 2012, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 (<http://europa.eu>).

Στις 31 Μαΐου 2002, η Ευρωπαϊκή Ένωση με την Απόφαση 2002/358/EK επικύρωσε το πρωτόκολλο του Κυότο. Μετά την επικύρωσή του εκ μέρους της Ρωσίας, το Πρωτόκολλο τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005. Αρκετές εκβιομηχανισμένες χώρες αρνήθηκαν να το επικυρώσουν, μεταξύ των οποίων οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Αυστραλία (<http://europa.eu>). Η Ελλάδα επικύρωσε το Πρωτόκολλο με το Νόμο 3017/2002 (ΦΕΚ 117Α/30-05-2002).

Παράλληλα, η ΕΕ έχει λάβει μια σειρά από μέτρα για την αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος και την αξιοποίηση ασφαλέστερων πηγών ενέργειας, περιορίζοντας την εξάρτησή της από τις εισαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου. Έτσι, θέτει ως στόχο για το έτος 2020 τα εξής (<http://europa.eu>):

- Τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990
- Την αύξηση του ποσοστού χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε 20% της συνολικής ενεργειακής παραγωγής και
- Τον περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης κατά 20% των προβλεπόμενων για το 2020 επιπέδων με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Γίνεται φανερό ότι στο πλαίσιο της ενεργειακής πολιτικής ο τομέας των ΑΠΕ ξεχωρίζει ως ο μόνος που προσφέρει τις δυνατότητες μείωσης των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου της ρύπανσης, αξιοποίησης τοπικών και αποκεντρωμένων ενεργειακών πηγών και τόνωσης του βιομηχανικού κλάδου υψηλής τεχνολογίας.

### 3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας έχουν οριστεί οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίσθηκε ουσιαστικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, οι υδατοπτώσεις, η γεωθερμική ενέργεια, η βιομάζα και η θαλάσσια ενέργεια.

Συνεπώς τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ συνοψίζονται ως εξής (Κυρουλή Β. και Παπαχρήστου Ι., 2008, European Commission, 2008):

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους
- Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο και εξαλείφει τις απώλειες μεταφοράς
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων, οικονομικά και κοινωνικά, περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό

Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα οι ΑΠΕ παρουσιάζουν και ορισμένα χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν την αξιοποίηση και ταχεία ανάπτυξή τους (Κατσιφάρακης, 2002):

- Η παροχή τους είναι ασυνεχής και μεταβαλλόμενη. Πολλές φορές το μέγιστο της προσφοράς συμπίπτει με το ελάχιστο της ζήτησης
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ενέργειας και συνεπώς, για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων παραμένει ακόμη υψηλό.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι κυριότερες μορφές ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται σήμερα. Αυτές είναι η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμική, η βιομάζα, και η ενέργεια του θαλάσσιου νερού, είδος της οποίας είναι και η κυματική ενέργεια, που παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο αναλυτικά.

#### *ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ*

Αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια του ανέμου. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες στηρίζονται στην ίδια αρχή με του παλαιότερους ανεμόμυλους. Αξιοποιούν την κινητική ενέργεια που αποκτά το περιστρεπτό τμήμα τους, όμως παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.

#### *ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ*

Ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια της ακτινοβολίας του ήλιου. Η αξιοποίησή της γίνεται, κυρίως, με τους ακόλουθους τρόπους: α) με ηλιακούς συλλέκτες για την κάλυψη αναγκών σε θέρμανση και ζεστό νερό (ενεργητικά συστήματα), β) με παθητικά συστήματα θέρμανσης χώρων (πχ οι ηλιακοί τοίχοι, τα θερμοκήπια) και γ) με τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια. Πρόσφατα προωθούνται ιδιαίτερα στη χώρα μας και επιδοτούνται από κράτος. Το ίδιο έχει γίνει και σε άλλες χώρες της Ευρώπης, πχ τη Γερμανία, το Βέλγιο και την Ισπανία (Χαβιαρόπουλος κ.α., 2001).

#### *ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ*

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, ισχύος μέχρι 10 MW, αξιοποιούν τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

*ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ*

Γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Με βάση τη θερμοκρασία του παρεχόμενου ρευστού οι γεωθερμικές πηγές διακρίνονται σε υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας

*BIOMAZA*

Θερμική ή χημική ενέργεια με την παραγωγή βιοκαυσίμων, τη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και την αξιοποίηση βιομηχανικών, αγροτικών (φυτικών και ζωικών) και αστικών αποβλήτων.

*ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΝΕΡΟΥ*

Είναι η ενέργεια που υπάρχει στους ωκεανούς και σε άλλα υδάτινα συστήματα με τη μορφή κυμάτων, θαλάσσιων ρευμάτων, παλιρροιών, βαθμίδωσης της θερμικής ενέργειας ή περιεκτικότητας σε αλάτι των ωκεανών.

Η ΕΕ με βάση το 'Χάρτη πορείας για τις ΑΠΕ: συμβολή στην ενίσχυση της αειφορίας' του 2007 και την ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ 'σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές' θέτει ως στόχο τη χρήση των ΑΠΕ σε ποσοστό 20% της συνολικής ενεργειακής παραγωγής και τη χρήση τους σε ποσοστό 10 % για τις μεταφορές ως το 2020. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 δίνονται οι στόχοι για το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για κάθε χώρα της ΕΕ σύμφωνα με την ΟΔΗΓΙΑ 2009/28ΕΚ και στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 η αναμενόμενη αύξηση της παραγωγής ηλεκτρισμού από ΑΠΕ στην ΕΕ.

Παράλληλα, η Ελλάδα με το Ν. 3468/2006 προσδιορίζει το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε 20,1 % μέχρι το 2010 και σε 29 % μέχρι το 2020, ενώ το Νοέμβριο του 2008 με την υπ' αριθμ. 49828 Κοινή Υπουργική Απόφαση ενέκρινε το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Οι συνθήκες για την αξιοποίηση των ΑΠΕ στη χώρα μας είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές, καθώς η παροχή των πηγών αυτών είναι σημαντική, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο είναι εισαγόμενα είδη και η γεωγραφική κατάταξη της είναι μεγάλη και ευνοεί την κατασκευή μικρών σταθμών κοντά στον τόπο κατανάλωσης. Επίσης, η μεγάλη σεισμικότητα δεν ευνοεί την εγκατάσταση πυρηνικών σταθμών (Κατσιφάρκης, 2002).

## 4 ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ιδέα της μετατροπής της ενέργειας των ωκεανών σε χρήσιμες μορφές ενέργειας δεν είναι καινούρια. Η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη θάλασσα έχει αναγνωριστεί από πολλά χρόνια πριν και το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στην μετατροπή της ενέργειας των κυμάτων εκδόθηκε από το 1799 (Girard & Son, France), ενώ πλήθος άλλων τεχνολογιών επινοήθηκαν και λειτούργησαν σε μικρή κλίμακα μέχρι τα μέσα του περασμένου αιώνα (Clement et al., 2002). Ήδη το 1909, ένα σύστημα φωτισμού λιμένα στην Καλιφόρνια τροφοδοτήθηκε μέσω της μετατροπής της κυματικής ενέργειας ([www.eu-oea.com](http://www.eu-oea.com)).

Ωστόσο, η συντονισμένη έρευνα για την κυματική ενέργεια άρχισε στις αρχές της δεκαετίας του '70, μετά τη δραματική αύξηση της τιμής του πετρελαίου και την πετρελαϊκή κρίση του 1973. Πολλές χώρες ξεκίνησαν εντατικές έρευνες για την ανάπτυξη τεχνολογιών εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων, κυρίως με την κρατική υποστήριξη και χρηματοδότηση, με πρώτες τη Μεγάλη Βρετανία, την Ιαπωνία και τη Νορβηγία. Τα ερευνητικά αυτά προγράμματα βελτίωσαν σημαντικά την τεχνολογία και τα επιτεύγματά τους ήταν εντυπωσιακά, όμως, απέτυχαν να οδηγήσουν σε συμφέρουσες οικονομικά εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και απογοήτευσαν τους ερευνητές και τις κυβερνήσεις (IEA – OES, 2002).

Από τα μέσα της δεκαετίας του '90 το ενδιαφέρον για την κυματική ενέργεια αναζωπυρώθηκε, αυτή τη φορά κυρίως από μικρές εταιρίες. Έγιναν προσπάθειες που βελτίωσαν την τεχνολογία και οδήγησαν στην κατασκευή αρκετών εγκαταστάσεων σε όλο τον κόσμο. Συχνά, οι ανωτέρω πρωτοβουλίες συνοδεύονταν και από κυβερνητική χρηματοδότηση. Παράλληλα, οργανώθηκαν πολλοί διεθνείς οργανισμοί για υποστήριξη και χρηματοδότηση δραστηριοτήτων (WEC, 2004).

Τα τελευταία 30 χρόνια, σε παγκόσμιο επίπεδο ο τομέας της κυματικής ενέργειας έχει περάσει από μια κυκλική διαδικασία φάσεων ενθουσιασμού, απογοήτευσης και αναθεώρησης. Η επίμονη δουλειά, η εμπειρία που έχει αποκτηθεί και η έρευνα έχουν οδηγήσει σήμερα σε εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα σημαντικό αριθμό διατάξεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα κύματα, ενώ έχει μειωθεί σημαντικά το κόστος παραγωγής της. Αν και, υψηλό για εμπορική εκμετάλλευση, συγκρινόμενο και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προβλέπεται να μειωθεί ακόμα περισσότερα, με

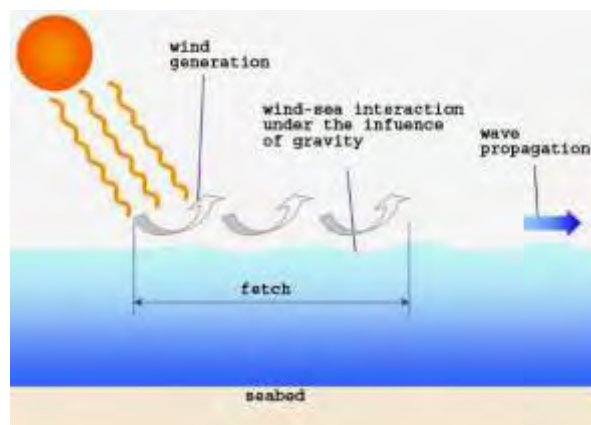
τη βελτίωση των τεχνολογιών, καθιστώντας τη μια ανταγωνιστική μορφή ενέργειας (Lemonis, 2004).

## 4.2 “ΦΥΣΙΚΗ” ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ

### 4.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Οι ωκεανοί, που καταλαμβάνουν τα τρία τέταρτα της επιφάνειας της γης, δέχονται τη μεγαλύτερη ενέργεια τη ήλιου – περίπου 80.000 TW (Lemonis, 2004). Η κυματική ενέργεια είναι μια μορφή συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας. Ο ήλιος προκαλεί θερμοκρασιακές διαφορές πάνω στην γη, με αποτέλεσμα να παράγονται άνεμοι, που φυσούν πάνω από την επιφάνεια των ωκεανών. Η αλληλεπίδραση ανέμου και θάλασσας στα *βαθιά νερά* παράγει τους ανεμογενείς κυματισμούς, οι οποίοι μπορούν να ταξιδέψουν χιλιάδες χιλιόμετρα με ελάχιστη απώλεια ενέργειας (εικ. 3) (Lemonis, 2004, Cruz, 2008).

Το σύνολο της μεταφερόμενης από τους ανέμους ενέργειας, και ως συνέπεια, το μέγεθος των επακόλουθων κυματισμών, εξαρτάται από την ταχύτητα των ανέμων, το χρόνο που φυσούν και την απόσταση πάνω από την οποία λαμβάνει χώρα η αλληλεπίδραση ανέμου – θάλασσας που προκαλεί τη δημιουργία των κυμάτων (the fetch) (WEC, 2004).



(Πηγή: Lemonis, 2004)

Εικόνα 3. Δημιουργία ανεμογενών κυματισμών

Στην απλούστερη περίπτωση του απλού περιοδικού ημιτονοειδούς μορφής κυματισμού (σχ. 1) διακρίνονται τα εξής μορφολογικά και κινηματικά στοιχεία περιγραφής του κυματισμού (Κουτίτας, 1998):

$L$  = μήκος κύματος (απόσταση μεταξύ διαδοχικών κοιλιών ή κορυφών) [m]



$H$  = ύψος ή εύρος κύματος (απόσταση κοιλιάς κορυφής) [m]

$a$  = πλάτος κύματος (το μισό του ύψους) [m]

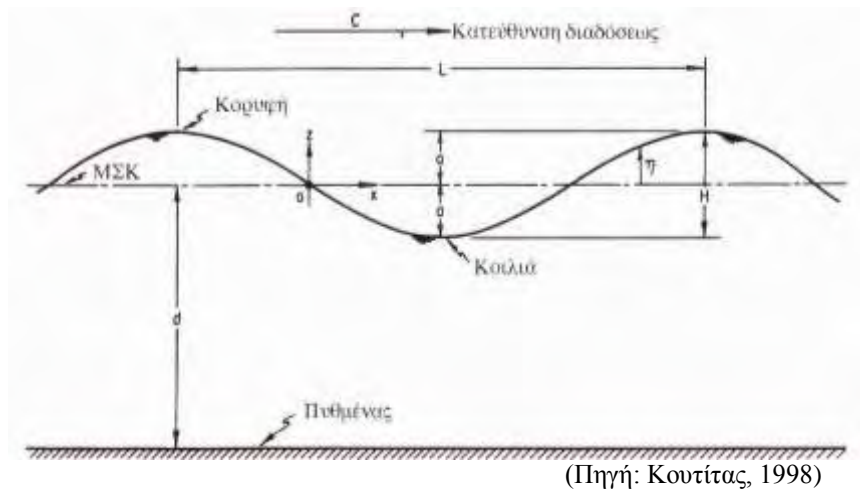
$T$  = περίοδος κύματος [sec]

$f$  = κυκλική συχνότητα ( $= 1/T$ ) [Hz]

$C$  = φασική ταχύτητα, ή ταχύτητα διάδοσης του κυματισμού [m/s]. Για κάθε κυματισμό ισχύει :  $L = C * T$

$u, v, w$  = οι συνιστώσες της ταχύτητας των μορίων του νερού στο εσωτερικό του [m/s]

$d$  ή  $h$  = το βάθος του νερού στην αρχική κατάσταση [m]. Από την τάξη μεγέθους των λόγων  $\sigma = d/L$  και  $\varepsilon = H/d$  μπορούμε να διακρίνουμε μακρούς  $O[\sigma] < 10^{-2}$  ή βραχείς κυματισμούς και κυματισμούς απειροστού  $O[\varepsilon] < 10^{-1}$  ή πεπερασμένου εύρους.



Σχήμα 1. Μορφολογικά και κινηματικά στοιχεία κύματος

Τα μεγαλύτερα ποσοστά μηχανικής ενέργειας συγκεντρώνονται στους ανεμογενείς κυματισμούς ( $T = 5-15$  sec) και στους παλιρροιακούς κυματισμούς ( $T = 40000- 80000$  sec) (Κουτίτας, 1998).

#### 4.2.2 Γραμμικοί κυματισμοί απειροστού πλάτους (Κυματισμοί Stokes 1<sup>ης</sup> τάξεως ή Airy)

Σύμφωνα με τη θεωρία γραμμικών κυματισμών απειροστού πλάτους το μηχανικό ενεργειακό περιεχόμενο μιας στήλης νερού πλάτους 1 m και μήκους ίσου προς  $L$  ισούται με:

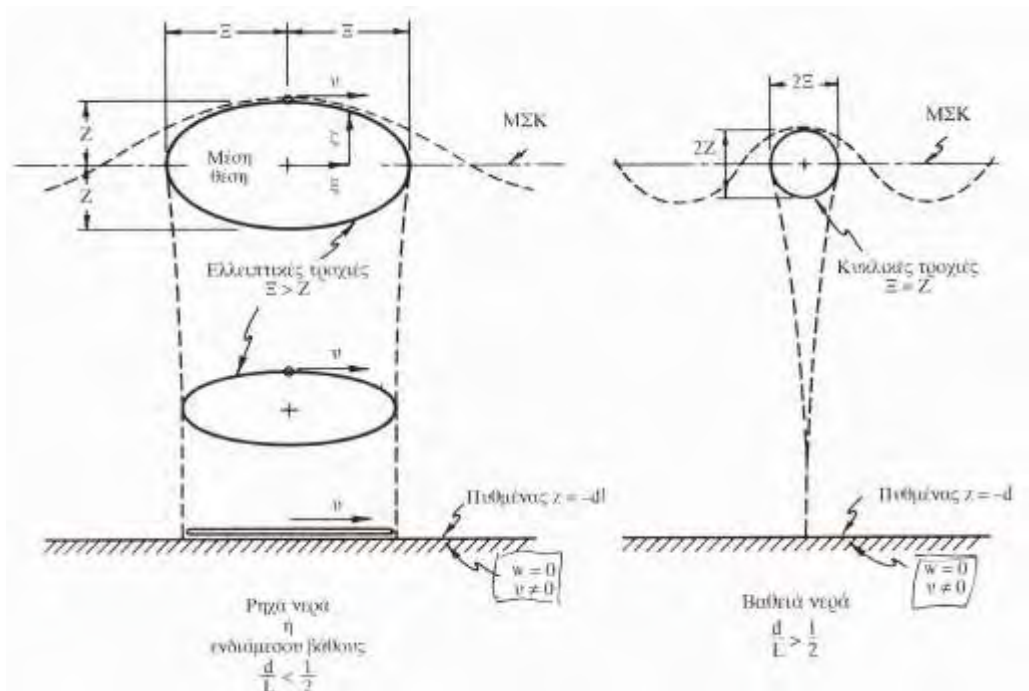
$$E = E_k + E_\delta = 1/8 * \rho g H^2 L$$

και η μηχανική ενέργεια ισοκατανέμεται σε κινητική και δυναμική. Σχηματοποίηση των τροχιών των μορίων για τις περιπτώσεις μικρού και μεγάλου βάθους περιέχεται στο

σχήμα 2. Σαν πυκνότητα ενέργειας  $E$  ορίζεται το ενεργειακό περιεχόμενο στήλης νερού με κάτοψη ίση προς  $1 \text{ m}^2$  και κατά μέσο όρο κατά την περίοδο του κύματος βρίσκεται ίσο προς

$$E = E/L = \rho g H^2 / 8$$

εξαρτώμενο αποκλειστικά από το ύψος κύματος (Κουτίτας, 1998).



(Πηγή: Κουτίτας, 1998)

Σχήμα 2. Τροχιές των μορίων του νερού

Η ισχύς του κύματος ισούται με

$$P = E \cdot n / T$$

και η παράμετρος  $n$  μεταβάλλεται από 0,5 (σε βαθειά νερά<sup>1</sup>) ως 1 (σε ρηχά νερά<sup>2</sup>) (Κουτίτας, 1998).

Η ισχύς του κύματος μετράται συνήθως σε Watt ανά μέτρο μετώπου κύματος (W/m). Η μέση ισχύς για κύματα με μεγάλη περίοδο (~7-10 s) και μεγάλο πλάτος (~2 m) κυμαίνεται μεταξύ 40-70 kW/m μετώπου κύματος (Clement et al., 2002).

<sup>1</sup> Στα βαθειά νερά ισχύει:  $d/L > 0,5$

<sup>2</sup> Στα ρηχά νερά ισχύει  $d/L < 0,05$

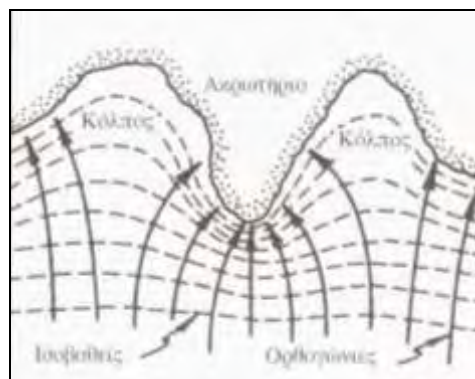
### 4.2.3 Διαμόρφωση κυματισμών στον παράκτιο χώρο

Κοντά στην ακτή η ένταση της ενέργειας των κυμάτων μειώνεται, εξαιτίας της αλληλεπίδραση με τον πυθμένα. Φυσικά φαινόμενα, όπως η διάθλαση, που συμβαίνουν εκεί, οδηγούν σε περιοχές συγκέντρωσης ενέργειας, δημιουργώντας σημεία εστίασης “hot spots” (Lemonis, 2004). Στη συνέχεια περιγράφεται τα φυσικό φαινόμενο της διάθλασης.

#### 4.2.3.1 Διάθλαση κυματισμών

Η διάθλαση των κυματισμών οφείλεται στη χωρική διαφοροποίηση της ταχύτητας προώθησης (φασική ταχύτητα) ενός αρχικά δισδιάστατου κυματισμού λόγω της επίδρασης του βάθους  $d$  στην ταχύτητα  $C$ . Αποτέλεσμα της διάθλασης είναι η καμπύλωση των αρχικά ευθύγραμμων κορυφογραμμών με τάση παραλληλισμού προς τις ισοβαθείς. Η διάθλαση των κυματισμών συμβαίνει σε βάθος  $d$  μικρότερο του  $1/2$ , γιατί σε βαθιά νερά το  $C$  είναι συνάρτηση μόνο του  $T$  και όχι του  $d$ .

Οι γραμμές οι κάθετες στις κυματοκορυφές, οι ‘ορθογώνιες’, ανάλογα με την καμπύλωση των κορυφογραμμών των κυμάτων συγκλίνουν ή αποκλίνουν. Με την απλοποιητική παραδοχή της διατήρησης της κυματικής ενέργειας σ’ ένα ‘σωλήνα ροής’ ανάμεσα σε δύο ορθογώνιες, γίνεται φανερό ότι στις περιοχές πύκνωσης των ορθογωνίων αυξάνεται η ενεργειακή πυκνότητα  $E$  και το ύψος κύματος, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στις περιοχές αραιώσης (σχ. 3) (Κουτίτας, 1998).



(Πηγή: Κουτίτας, 1998)

Σχήμα 3. Η διαμόρφωση των ορθογωνίων σε ακρωτήρια και κόλπους

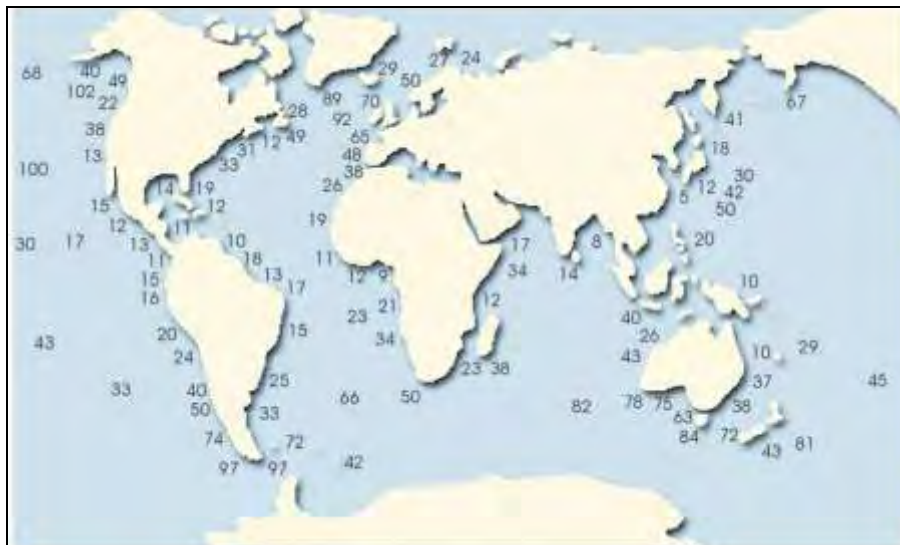
### 4.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

Όπως όλες οι μορφές ΑΠΕ, έτσι και η κυματική είναι άνισα κατανομημένη στην γη. Αυξημένη κυματική δραστηριότητα παρουσιάζεται ανάμεσα στα γεωγραφικά πλάτη 30-60° και στα δύο ημισφαίρια της γης. Έτσι, έντονο κυματικό δυναμικό εμφανίζεται στις δυτικές ακτές της Ευρώπης (εικ. 4), στις ακτές του Καναδά και των ΗΠΑ, καθώς, και στις νότιες ακτές της Αφρικής, Αυστραλίας και της Ν. Αμερικής (εικ. 5) (Cruz, 2008), (Λεμονής, 2002).



(Πηγή: CRES, 2002)

Εικόνα 4. Ετήσιος μέσος όρος κυματικής ισχύος στην Ευρώπη (KW/m μετώπου κύματος)



(Πηγή: WEC, 2004)

Εικόνα 5. Ετήσιος μέσος όρος κυματικής ισχύος στη γη (KW/m μετώπου κύματος)

Πρόσφατες μελέτες (Clement et al., 2002) προσδιορίζουν στην Ευρώπη για την περιοχή του ΒΑ Ατλαντικού (συμπεριλαμβανομένης και της Βόρειας Θάλασσας) υπεράκτιο κυματικό δυναμικό ισχύος 290 GW. Ο ετήσιος μέσος όρος της κυματικής ισχύος κυμαίνεται από 25 kW/m στις Ακτές του Ατλαντικού της Νότιας Ευρώπης (Κανάρια Νησιά) ως 75 kW/m στην περιοχή της Σκωτίας και της Ιρλανδίας. Βορειότερα, στις ακτές της Νορβηγίας η ισχύς μειώνεται στα 30 kW/m, ενώ στη λεκάνη της Μεσογείου, στις ακτές των Ευρωπαϊκών κρατών, κυμαίνεται μεταξύ 4 και 11 kW/m. Αξιοσημείωτο είναι ότι στην περιοχή του ΝΔ Αιγαίου εμφανίζονται τα υψηλότερα επίπεδα στη Μεσόγειο. Συνολικά για την Ευρώπη, το υπεράκτιο κυματικό δυναμικό φτάνει τα 320 GW, εκ των οποίων τα 30 GW είναι στη Μεσόγειο.

Η παγκόσμια κυματική ισχύς στα βαθιά νερά εκτιμάται να είναι περίπου 1 TW (Thorpe, 1999a). Οι οικονομικά εκμεταλλεύσιμοι πόροι σήμερα, με χρήση των τελευταίων τεχνολογιών, θα μπορούσαν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια 140-750 TW/h/y (WaveNet, 2003), ενώ καθώς η τεχνολογία ωριμάζει και εφόσον υλοποιηθούν οι αναμενόμενες προβλέψεις, εικάζεται να φτάσει τα 2.000 TWh/y (Thorpe, 1999a).

#### **4.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Ο θαλάσσιος κυματισμός συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τις ΑΠΕ, όπως είναι οι χαμηλοί δείκτες ρύπανσης σε επίπεδο κύκλου ζωής, η αποκέντρωση της παραγωγής ενέργειας με προοπτικές οικονομικής ανάπτυξης σε απομακρυσμένες ή υποβαθμισμένες περιοχές, η απεξάρτηση από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων, η τόνωση της βιομηχανικής παραγωγής και η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Η κυματική ενέργεια θεωρείται ως μια *πράσινη* πηγή ενέργειας στο πλαίσιο της *Βιώσιμης Ανάπτυξης* με περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και χαμηλό επίπεδο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση τεχνολογιών κυματικής ενέργειας, όπως η ακουστική ή οπτική όχληση, οι επιπτώσεις σε χλωρίδα και πανίδα, η παρεμπόδιση της ναυσιπλοΐας κ.ά. θεωρούνται ήπιες. Αξιοσημείωτο είναι ότι η εγκατάσταση σταθμών κυματικής ενέργειας δεν απαιτεί, εν γένει, δέσμευση γης (Thorpe, 1999a). Παράλληλα, παράκτιες εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας θα μπορούσαν με κατάλληλο σχεδιασμό να λειτουργήσουν συγχρόνως σαν κυματοθραύστες για προστασία της ακτής ή λιμενοβραχίονες. Επίσης, σε ορισμένες

τεχνολογίες επιχειρείται ταυτόχρονα και η παραγωγή πόσιμου νερού με το σύστημα της αντίστροφης όσμωσης (Reverse Osmosis – RO). Προϋπόθεση των ανωτέρω είναι η σωστή μελέτη για την επιλογή τοποθεσίας εγκατάστασης των διατάξεων από τους επενδυτές, λαμβανομένου υπόψη όλων των παραγόντων.

Συνοπτικά, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των τεχνολογιών μετατροπής της παρουσιάζονται παρακάτω (Thorpe, 1999b):

Πίνακας 3. Πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κυματικής ενέργειας

Περιβαλλοντικές επιδράσεις	Μέγεθος
Χρήση γης / αποψίλωση εδαφών	I
Κατασκευή – Συντήρηση	I
Διάβρωση ακτών	I-II
Ιζηματογένεση	I
Θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα	I
Είδη υπό εξαφάνιση	I
Ηχορύπανση	I
Ατυχήματα ναυσιπλοΐας	I

I: μικρή επίπτωση, II: μεσαία επίπτωση

Ωστόσο, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε και τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι διατάξεις κυματικής ενέργειας, κατά το σχεδιασμό και την εφαρμογή τους, που επέδρασαν ανασταλτικά στις προσπάθειες και οδήγησαν στην αργή πρόοδο εξέλιξης του τομέα αυτού. Ενώ, ένας μεγάλος αριθμός από αυτές έχουν μελετηθεί στο επίπεδο της E & TA, λίγες μόνο έχουν υλοποιηθεί σε πλήρη κλίμακα στη θάλασσα.

Οι κύριες *σχεδιαστικές προκλήσεις*, που έχουν να αντιμετωπίσουν οι διατάξεις κυματικής ενέργειας, είναι οι εξής (WEC, 2007), (Lemonis, 2004):

- *Ακραία καιρικά φαινόμενα.* Προκειμένου οι συσκευές κυματικής ενέργειας να λειτουργήσουν με μέγιστη απόδοση πρέπει να υπολογιστούν για τα επίπεδα κυματικής ισχύος που εμφανίζονται συχνότερα (πχ για την Μεγάλη Βρετανία 30 – 70 kW/m). Ωστόσο, πρέπει να είναι σε θέση να αντέξουν τους ακραίους κυματισμούς, που αν και εμφανίζονται σπάνια, πχ τυφώνες, πολλές φορές έχουν επίπεδα ισχύος πάνω από 2000 kW/m. Αυτό απαιτεί υψηλό βαθμό μηχανικής αντοχής των κατασκευών και οδηγεί σε μεγάλο κατασκευαστικό κόστος.
- *Μεταβλητότητα στους κυματισμούς.* Οι κυματισμοί ποικίλουν σε ύψος και περίοδο από το ένα κύμα στο άλλο και από θυελλώδεις σε κανονικές συνθήκες. Είναι λοιπόν αναγκαίο να υπάρχει κάποιου τύπου ενεργειακός συσσωρευτής για την ομαλή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

- *Μεταβλητότητα στη διεύθυνση των κυματισμών.* Συνήθως, τα κύματα στα βαθιά νερά κατευθύνονται προς μια συσκευή κυματικής ενέργειας από διάφορες διευθύνσεις, κάτι που σημαίνει ότι αυτές πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν αυτή τη μεταβλητότητα, είτε με αγκυρώσεις που επιτρέπουν τη μετακίνηση, ώστε να στρέφονται προς τα κύματα, είτε με το να είναι συμμετρικές. Ένας άλλος τρόπος είναι να τοποθετούνται κοντά στην ακτή, όπου λόγω του φαινομένου της διάθλασης, που λαμβάνει χώρα εκεί, τα κύματα καταλήγουν με διεύθυνση κάθετη στις ισοβαθείς.
- *Κίνηση κυμάτων.* Η σχετικά αργή ταλάντωση των ανεμογενών κυματισμών (κυκλική συχνότητα  $\sim 0,1$  Hz) πρέπει να μετασχηματιστεί σε μια μονοκατευθυντική έξοδο που γυρίζει τις ηλεκτρικές γεννήτριες με εκατοντάδες στροφές το λεπτό, κάτι που απαιτεί κάποιο συνοδευτικό μηχανισμό ή τη χρήση ενός ενδιάμεσου μέσου ενεργειακής μεταφοράς.

Το μεγάλο κόστος των εγκαταστάσεων κυματικής ενέργειας και η μικρή αποτελεσματικότητά τους οφείλεται στους παρακάτω βασικούς παράγοντες (Thorpe, 1999a):

- Το πολύ διαβρωτικό περιβάλλον στο οποίο καλούνται να λειτουργήσουν οι εγκαταστάσεις αυτές, απαιτεί τα υλικά κατασκευής τους να είναι ανοξείδωτα ή να προστατεύονται αποτελεσματικά με βαφή αυξάνοντας το κόστος της εγκατάστασης.
- Το μεγάλο χρονικό διάστημα που αυτές οι εγκαταστάσεις μένουν ανενεργές, λόγω καλοκαιρίας και ήρεμης θάλασσας και έτσι επιμηκύνουν το χρόνο απόσβεσης τους.
- Το μικρό ποσοστό ενέργειας που εκμεταλλεύονται οι διατάξεις αυτές αφού οι περισσότερες κατασκευάζονται για να αντλήσουν τη μία από τις δύο συνιστώσες της συνολικής ενέργειας των κυμάτων, τη δυναμική ή την κινητική της συνιστώσα.
- Το μεγάλο κόστος συντήρησης ειδικά των θαλάσσιων εγκαταστάσεων, λόγω της δυσκολίας πρόσβασης και των συνθηκών εργασίας του προσωπικού.

Το υψηλό κόστος των τεχνολογιών μπορεί να αντισταθμισθεί μόνο με βέλτιστη εκμετάλλευση της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας των κυμάτων. Επομένως, ο σχεδιασμός των μετατροπέων κυματικής ενέργειας απαιτεί εμπειριστωμένη μελέτη,

γνώση και εμπειρία, ώστε να είναι από τη μια λειτουργικά αποτελεσματικός και αξιόπιστος και από την άλλη οικονομικά προσιτός.

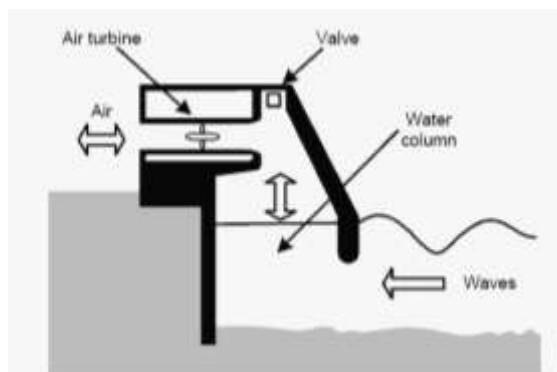
#### 4.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στον τομέα της κυματικής έχει ερευνηθεί και αναπτυχθεί παγκοσμίως ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών τεχνολογιών μετατροπών από εταιρίες ή σε ακαδημαϊκό επίπεδο. Υπολογίζεται ότι έχουν εκδοθεί συνολικά πάνω από 1000 διπλώματα ευρεσιτεχνίας σε Ιαπωνία, Αμερική και Ευρώπη (McCormick, 1981). Οι διατάξεις αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ομάδες, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους. Οι περισσότερες έχουν μείνει σε θεωρητικό επίπεδο, ορισμένες έχουν εφαρμοστεί πειραματικά σε δεξαμενές και λίγες μόνο έχουν αναπτυχθεί στη θάλασσα.

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι κυριότερες κατηγορίες μετατροπών κυματικής ενέργειας – Wave Energy Converters WEC.

##### 4.5.1 Oscillating Water Column (OWC) – Μετατροπέας παλλόμενης στήλης

Είναι μερικώς βυθισμένες, κοίλες κατασκευές, ανοικτές προς τον πυθμένα κάτω από την ίσαλο, που διαμορφώνουν έναν αεροθάλαμο. Η καθ' ύψος παλινδρομική κίνηση της επιφάνειας του νερού λόγω του κυματισμού συμπιέζει και εκτονώνει περιοδικά τον αέρα που βρίσκεται στην κατασκευή και μέσω μιας τουρμπίνας, συνήθως τύπου Wells, που είναι τοποθετημένη κάτω από την οροφή της κατασκευής κινεί μια γεννήτρια (Thorpe, 1999a). Διαγραμματικά ένας μετατροπέας OWC απεικονίζεται παρακάτω (σχ. 4).



(Πηγή: IEA - OES, 2002)

Σχήμα 4. Μετατροπέας OWC

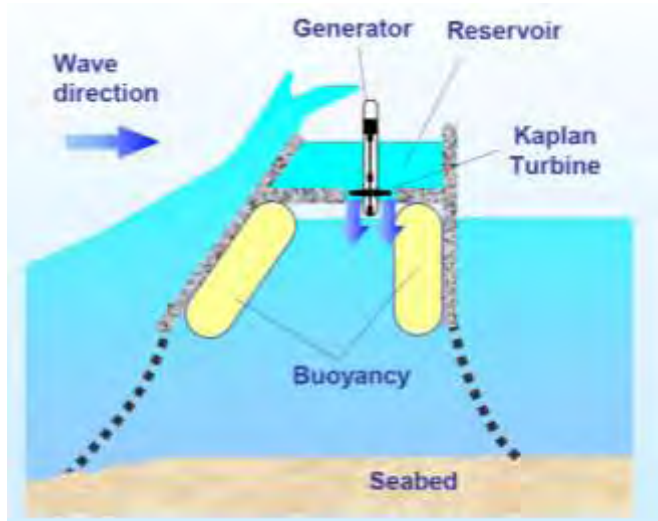


Πολλοί πρωτότυποι μετατροπείς OWC έχουν εγκατασταθεί στις ακτογραμμές της Νορβηγίας, της Κίνας, της Μεγάλης Βρετανίας (LIMPET), της Πορτογαλίας (Pico Island) και αλλού. Ορισμένοι έχουν ενσωματωθεί σε κυματοθραύστες προκειμένου να μειωθεί το κόστος κατασκευής (στο λιμάνι Sakata στην ΝΔ Ιαπωνία) (CRES, 2002), (WAVENET, 2003).

#### 4.5.2 Overtopping devices – συσκευές υπεργείλισης

Είναι πλωτές ή σταθερά συνδεδεμένες με της ακτή διατάξεις που συλλέγουν το νερό των ‘συνεπαγόμενων’ κυματισμών σε υπερυψωμένη δεξαμενή για να κινήσουν μία ή περισσότερες χαμηλής πίεσης τουρμπίνες (low-head turbine) (εικ. 6) (Clement et al., 2002).

Διάταξη τύπου *overtopping* είναι η Wave Dragon και η TAPCHAN.

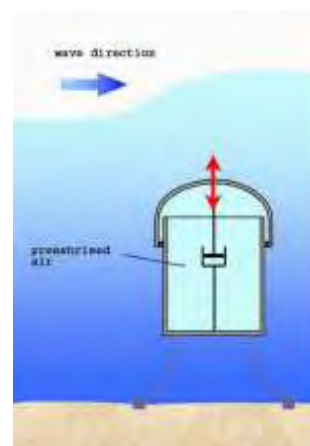


(Πηγή: <http://hydropower.inel.gov>)

Εικόνα 6. Overtopping device

#### 4.5.3 Heaving devices

Οι διατάξεις αυτές μετατρέπουν την καθ' ύψος κίνηση πλωτήρων μέσω μηχανικών ή υδραυλικών συστημάτων σε γραμμική ή περιστροφική κίνηση για την κίνηση γεννητριών (εικ. 7) (Lemonis, 2004). Μετατροπέας τέτοιου τύπου είναι η διάταξη Archimedes Wave Swing (AWS).

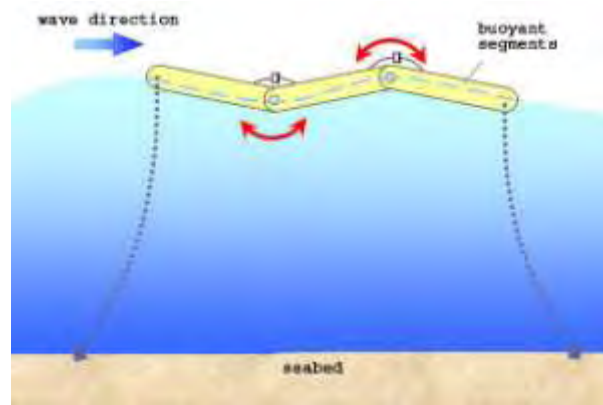


(Πηγή: Lemonis, 2004)

Εικόνα 7. Σχηματική απεικόνιση της AWS

#### 4.5.4 Pitching Devices

Αποτελούνται από ημιβυθισμένες επίπεδες πλάκες ενωμένες μεταξύ τους σε σειρά με εύκαμπτους συνδέσμους και άρθρωτά συνδεδεμένες με τον πυθμένα για μεγάλα συνήθως βάθη νερού. Η κινητική ενέργεια των επιπέδων πλακών κατά την περιστροφική τους κίνηση, συλλέγεται μέσω εμβολοφόρου αντλίας (WEC, 2007).



(Πηγή: Lemonis, 2004)

Εικόνα 8. Σχηματική απεικόνιση της Pelamis.

Η διάταξη PELAMIS είναι τέτοιου τύπου (εικ. 8).

#### 4.5.5 Surging devices

Είναι διατάξεις που εκμεταλλεύονται την οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας των μορίων του κύματος για να κινήσουν έναν εκτροπέα που αντικρίζει κατά μέτωπο τα κύματα. Παράδειγμα τέτοιου τύπου διάταξης είναι η Pendulor, που ερευνάται στην Ιαπωνία (Clement et al., 2002).

### 4.6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Είναι γεγονός ότι η παρουσίαση όλων των διατάξεων κυματικής ενέργειας που υπάρχουν και μελετώνται σήμερα δεν είναι δυνατό να γίνει. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι κυριότερες διατάξεις παραγωγής ενέργειας από τα κύματα που έχουν αναπτυχθεί σε πλήρη ή μερική κλίμακα, ορισμένες εκ των οποίων βρίσκονται σε προ – εμπορικό στάδιο και υπόσχονται πολλά για το μέλλον της κυματικής ενέργειας. Η κατηγοριοποίηση που έχει γίνει σχετίζεται με τη θέση των διατάξεων στη θάλασσα και την απόστασή τους από την ακτή, έτσι χωρίζονται σε διατάξεις ακτογραμμής, μικρού βάθους και μεγάλου βάθους.

#### **4.6.1 Shoreline devices- διατάξεις ακτογραμμής**

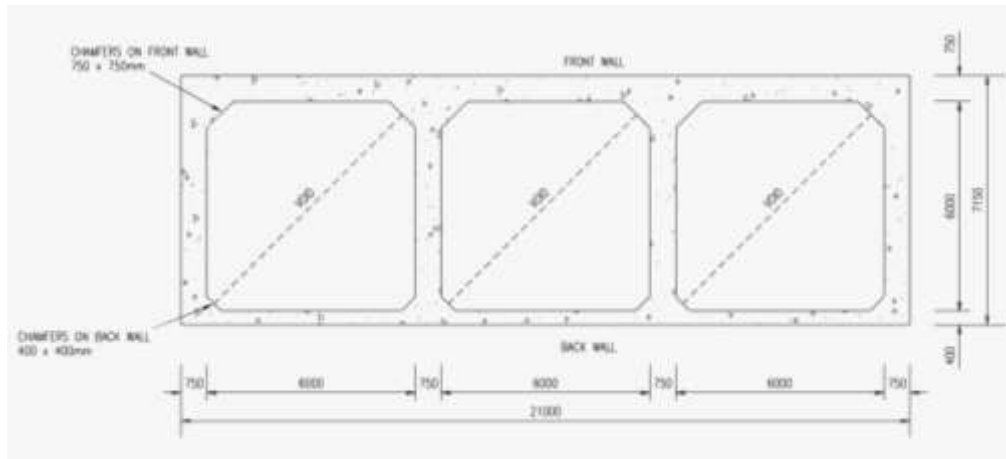
Οι διατάξεις που αναπτύσσονται στην ακτογραμμή έχουν το πλεονέκτημα της σχετικά εύκολης προσβασιμότητας για την εγκατάσταση και συντήρησή τους και δεν απαιτούν αγκυρώσεις στα βαθιά νερά ή μεγάλους μήκους εντός της θάλασσας ηλεκτρικά καλώδια. Παρόλο που εκεί παρουσιάζεται το χαμηλότερο ενεργητικό πεδίο, αυτό μπορεί να αντισταθμισθεί με σωστή επιλογή θέσης σε σημεία συγκέντρωσης κυματικής ενέργειας ‘hot spots’ λόγω φυσικών φαινομένων που συμβαίνουν κοντά στην ακτή, όπως της διάθλασης. Οι κύριοι τύποι shoreline διατάξεων είναι οι: Oscillating Water Column (OWC) και tapered channel (TAPCHAN). Ένας άλλος τύπος είναι ο Pendulor (IEA – OES, 2002).

##### **4.6.1.1 LIMPET**

Η εγκατάσταση μετατροπής κυματικής ενέργειας LIMPET είναι ένας μετατροπέας τύπου OWC, ισχύος 500 kW, που είναι εγκαταστημένη στο νησί Islay της Σκωτίας, σε μια περιοχή με μέση ετήσια κυματική ισχύ 20 kW/m. Έχει μελετηθεί και πραγματοποιηθεί από το Queens University of Belfast QUB και τη εταιρία Wavegen Ltd. της Μεγάλης Βρετανίας με την υποστήριξη της ΕΕ μέσω του προγράμματος JOULE III (Heath, 2007).

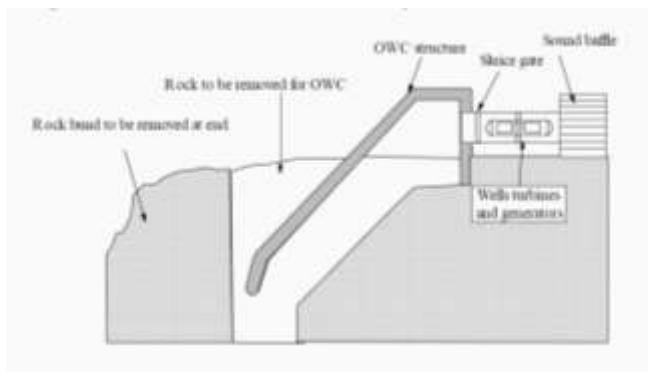
Αρχικά, μια πρωτότυπη κατασκευή μικρής κλίμακας αναπτύχθηκε στη νήσο Islay της Σκωτίας ισχύος 75 kW, από το 1991 ως το 1999, προκειμένου να μελετηθεί και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για περαιτέρω ανάπτυξη της διάταξης (Wavegen, 2002).

Διάδοχος αυτής ήταν η διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας LIMPET, ισχύος 500 kW, η κατασκευή της οποίας ξεκίνησε το 2000. Έχει αναπτυχθεί και λειτουργεί σε πλήρη κλίμακα για εμπορική εκμετάλλευση από τον Αύγουστο του 2001. Αποτελείται από 3 στήλες νερού διαστάσεων 6m x 6m υπό γωνία 40° (σχ. 5 & 6 και εικ. 9, 10 & 11). Το άνω μέρος των θαλάμων συνδέονται μεταξύ τους και η μετατροπή γίνεται μέσω μίας ενιαίας μονάδας στροβίλων τύπου Wells (2 x 250 kW) διαμέτρου 2,6 m που συνδέεται στην κεντρική στήλη (Folley et al., 2006, Thorpe, 1999a, QUB, 2002).



(Πηγή: Wavegen, 2002)

Σχήμα 5. Κάτοψη κατασκευής LIMPET



(Πηγή: Thorpe, 1999a)

Σχήμα 6. Τομή κατασκευής LIMPET



(Πηγή: Wavegen, 2002)

Εικόνα 9. LIMPET Κατά τη διάρκεια κατασκευής



(Πηγή: Thorpe, 1999a)

Εικόνα 10. Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας LIMPET - κατά την κατασκευή



(Πηγή: QUB, 2002)

Εικόνα 11. Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας LIMPET - κατά την κατασκευή

#### 4.6.1.2 EUROPEAN PILOT PLANT

Ο ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός στο νησί Pico στις Αζόρες της Πορτογαλίας, τύπου μετατροπέα OWC (σχ. 7), μελετήθηκε και αναπτύχθηκε από μια ομάδα Ευρωπαίων ερευνητών, από την Πορτογαλία, τη Μεγάλη Βρετανία και την Ιρλανδία, υπό το συντονισμό του Instituto Superior Tecnico της Λισσαβόνας και την υποστήριξη της ΕΕ μέσω του προγράμματος JOULE III. Ο σταθμός (εικ. 12) ονομαστικής ισχύος 400 kW σχεδιάστηκε σε πλήρη κλίμακα τόσο για πειραματικούς σκοπούς όσο και για να καλύψει ένα σημαντικό μέρος της ενεργειακής ζήτησης του νησιού (Thorpe, 2000, (Lemonis, 2004, Cruz, 2008).

Η κατασκευή διήρκησε από το 1995 ως το 1998 και λειτούργησε για πρώτη φορά σε πλήρη κλίμακα τον Οκτώβρη του 1999 για μια μικρή περίοδο, διότι υπέστη ζημιές. Η αποκατάσταση έγινε μεταξύ 2004 – 2006 και επαναλειτούργησε δοκιμαστικά κατά διαστήματα το 2005 και το 2006. Λόγω της ελλιπούς χρηματοδότησης, λειτουργούσε περιστασιακά το 2007, ενώ η συνεχής και αυτόνομη λειτουργία για εμπορική εκμετάλλευση υπογράφηκε για τρία τουλάχιστον χρόνια από το τέλος του 2008 ([www.nsnmedia.co.uk](http://www.nsnmedia.co.uk)).



(Πηγή: [www.pico-owc.net](http://www.pico-owc.net))

Σχήμα 7. Pico Plant: Διαγραμματική απεικόνιση

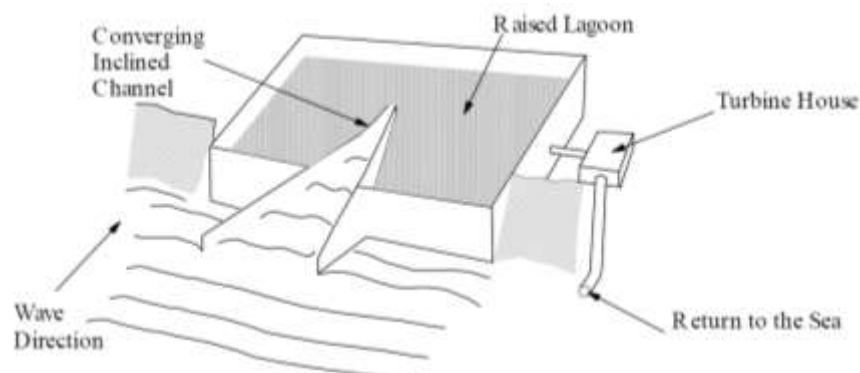


(Πηγή: www.nsnmmedia.co.uk)

Εικόνα 12. Pico Plant: από τη θάλασσα (αριστερά), υπό δυνατό κυματισμό (κέντρο), η ακτογραμμή με τη εγκατάσταση ενσωματωμένη (δεξιά)

#### 4.6.1.3 TAPCHAN

Η διάταξη TAPered – CHANnel τύπου ‘overtopping’ περιλαμβάνει ένα περιτοιχισμένο κανάλι που σταδιακά στενεύει, καθώς υψώνεται πάνω από τη ΜΣΘ. Με τη διάδοση των κυματισμών μέσα στο κανάλι, το ύψος του κύματος αυξάνει μέχρι οι κορυφές των κυμάτων να υπερπηδήσουν τα τείχη προς μια δεξαμενή που παρέχει ένα σταθερό απόθεμα νερού σε μια τυπική τουρμπίνα χαμηλής πίεσης (σχ. 8). Η εκμετάλλευση της ισχύς γίνεται με μια διάταξη παρόμοια με αυτή των μικρών υδροηλεκτρικών διατάξεων χαμηλής πίεσης, των οποίων η τεχνολογία είναι αρκετά ώριμη (Thorpe,1999b, WaveNet, 2003).



(Πηγή: Thorpe, 1999a)

Σχήμα 8. Σχεδιαστικά η διάταξη TAPCHAN

Ένας υποδειγματικός ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός αναπτύχθηκε στο Toftestallen της Νορβηγία το 1985 ονομαστικής ισχύος 350 kW (εικ. 13 &14), όμως υπέστη σοβαρές ζημιές το 1991, οπότε και σταμάτησε η λειτουργία του. Το μήκος του καναλιού ήταν περίπου 60 m και η επιφάνεια της δεξαμενής περίπου 8.500 m<sup>2</sup>, ενώ

χρησιμοποιήθηκε ένας χαμηλής πίεσης στρόβιλος αξονικής ροής τύπου Kaplan (Thorpe, 1999a).



(Πηγή: WaveNet, 2003)

Εικόνα 13. Σχεδιαστικά ο σταθμός TAPCHAN

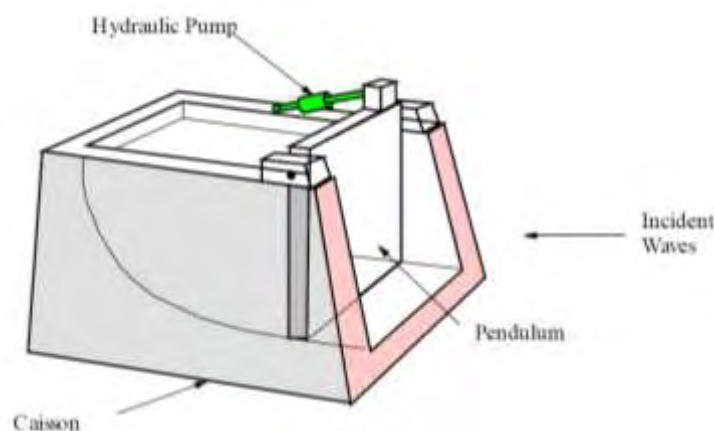


(Πηγή: WaveNet, 2003)

Εικόνα 14. Ο σταθμός TAPCHAN στη Νορβηγία τον Οκτώβρη του 1986

#### 4.6.1.4 Pendulor

Η διάταξη Pendulor είναι τύπου ‘*surging*’ WEC και αποτελείται από ένα ορθογώνιο κουτί ανοιχτό από τη μια πλευρά προς τη θάλασσα. Ένα εκκρεμές πτερύγιο, στηριζόμενο με εύκαμπτο σύνδεσμο στο πάνω μέρος της πλευράς αυτής, αναγκάζεται σε ταλάντωση από τα κύματα, με αποτέλεσμα την κίνηση μιας υδραυλικής αντλίας και μιας γεννήτριας προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (σχ. 9). Πολλές τέτοιες διατάξεις σε ερευνητικό στάδιο, ισχύος ως 15 kW, έχουν εγκατασταθεί στην Ιαπωνία και σχεδιάζεται μια μεγαλύτερη ισχύος 150-250 kW στη Σρι Λάκνα (IEA - OES, 2002), (WaveNet, 2003).



(Πηγή: Thorpe, 1999a)

Σχήμα 9. Ο μετατροπέας Pendulor

#### 4.6.2 Near – Shore devices (Bottom – Fixed) – διατάξεις μικρού βάθους

Οι διατάξεις αυτές αναπτύσσονται σε μικρά βάθη (10-25 m βάθος). Ο κύριος τύπος είναι και εδώ ο μετατροπέας OWC.

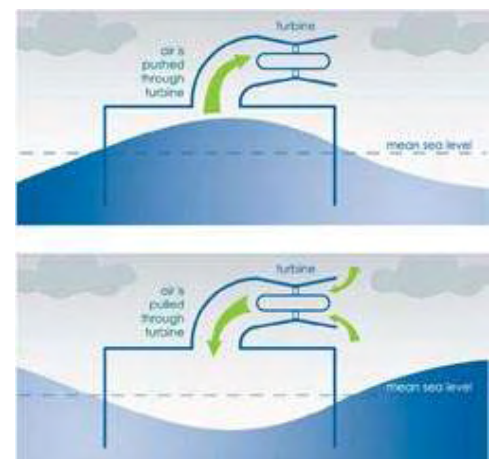
##### 4.6.2.1 Oceanlinx OWC

Η διάταξη Oceanlinx Mk1 εγκαταστάθηκε σε πλήρη κλίμακα στο λιμάνι Kembla 80 km έξω από το Σίντνεϊ της Αυστραλίας, το 2005 και είναι ισχύος 300 kW. Είναι τύπου OWC με παραβολικό τοίχο, επιφάνειας 100 m<sup>2</sup> και βάρους 500 ton, ενώ χρησιμοποιεί στρόβιλο τύπου Denniss-Auld, υψηλότερης αποδοτικότητας από το στρόβιλο τύπου Wells (εικ. 15 & σχ. 10) (Thorpe, 2000). Είναι γνωστή και ως *Energetech OWC*, από το αρχικό όνομα της εταιρίας κατασκευής της. Η λειτουργία της κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την ανάπτυξη των επόμενων σχεδίων. Χαρακτηριστικό είναι ότι η πραγματοποιηθείσα ισχύς μπορεί να είναι μεγαλύτερη της αναμενόμενης, είναι δηλαδή 321 kW για κύματα πλάτους 2 m και περίοδο 7 sec (Harries, 2006). Η λειτουργία της προβλέπεται να σταματήσει στο τέλος του 2009. Αναμένεται η εγκατάσταση της διάταξης Oceanlinx Mk3 το 2010, που θα λειτουργήσει σε ‘προ – εμπορικό’ στάδιο ([www.oceanlinx.com](http://www.oceanlinx.com)), ενώ έχουν αποκτηθεί όλες οι απαραίτητες άδειες για την εγκατάσταση ενός σχήματος διατάξεων ονομαστικής ισχύος 27 MW στο Πόρτλαντ (WEC, 2007).



(Πηγή: [www.oceanlinx.com](http://www.oceanlinx.com))

Εικόνα 15. Η διάταξη Oceanlinx Mk1



(Πηγή: IEA - OES, 2003)

Σχήμα 10. Αρχή λειτουργίας της διάταξης Oceanlinx OWC



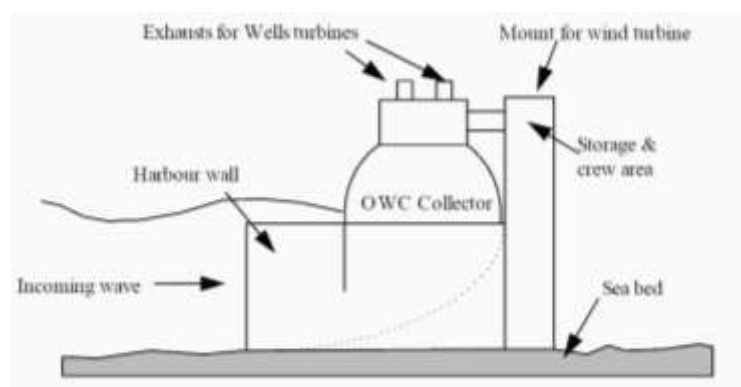
#### 4.6.2.2 OSPREY

Η διάταξη OSPREY (Ocean Swell Powered Renewable Energy), σχεδιασμένη για βάθη ως 20 m, αναπτύχθηκε από την Wavegen, είναι τύπου OWC και έχει ενσωματωμένο έναν ανεμοστρόβιλο wind – turbine. Η πρώτη κατασκευή (Osprey I) φτιαγμένη από χάλυβα (εικ. 16) υπέστη δομικές αστοχίες κατά τη διάρκεια της εγκατάστασής της κοντά στο Douneay της Σκωτίας το 1996. Η εμπειρία που αποκτήθηκε ήταν πολύτιμη για την ανάπτυξη ενός νέου σχεδίου (Osprey II), στο οποίο το μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής είναι από σκυρόδεμα (σχ. 11). Η ονομαστική ισχύς της κατασκευής θα είναι 2 MW (4 x 500 kW) μέσω της χρήσης δύο ενιαίων μονάδων στροβίλων τύπου Wells (Thorpe, 1999a, WaveNet, 2003).



(Πηγή: WaveNet, 2003)

Εικόνα 16. Η διάταξη Osprey I έξω από το ναυπηγείο στη Γλασκόβη της Σκωτίας



(Πηγή: Thorpe, 1999a)

Σχήμα 11. Σχέδιο της διάταξης Osprey II.

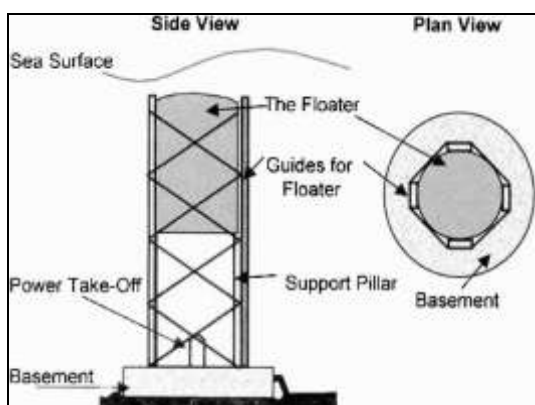
#### 4.6.3 Offshore devices – διατάξεις μεγάλου βάθους

Αυτή η κατηγορία διατάξεων εκμεταλλεύεται το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας της θάλασσας, που βρίσκεται διαθέσιμο στα βαθιά νερά (> 40 m βάθος). Για να επιτευχθεί αυτό είναι σημαντικό να βρίσκονται στην επιφάνεια της θάλασσας (πχ να επιπλέουν) ή κοντά σε αυτή και για το λόγο αυτό απαιτούνται, συνήθως, ευέλικτες αγκυρώσεις – προσδέσεις και ηλεκτρικά καλώδια (Thorpe, 2000).

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι εγκαταστάσεων ανοικτής θαλάσσης, καθένας με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι πιο πρόσφατες διατάξεις που παρουσιάζουν μελλοντικό ενδιαφέρον. Χαρακτηριστικό των περισσότερων είναι ότι συνήθως είναι μικρού μεγέθους και όταν τοποθετούνται σε παράταξη έχουν την ικανότητα να αποδώσουν συγκεντρωμένα μεγάλη ισχύ.

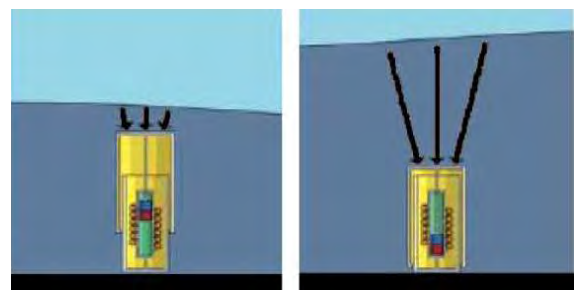
##### 4.6.3.1 ARCHIMEDES WAVE SWING (AWS)

Η διάταξη αυτή αποτελείται από έναν κυλινδρικό θάλαμο που περιέχει αέρα, το “Floater”, που μπορεί να κινείται κατακόρυφα σε σχέση με το κάτω μέρος της διάταξης, την κυλινδρική βάση “Basement”, η οποία είναι στερεωμένη σταθερά στον πυθμένα. Ο αέρας που βρίσκεται μέσα στο Floater, το οποίο έχει διαστάσεις συνήθως 10 m – 20 m, εξασφαλίζει την πλευστότητά του (σχ 12). Καθώς τα κύματα περνούν πάνω από την κορυφή της συσκευής, εναλλάξ συμπιέζουν και αποσυμπιέζουν τον αέρα μέσα Floater, και το αναγκάζουν σε κατακόρυφη κίνηση πάνω – κάτω σε σχέση με τη βάση (σχ. 13). Αποτέλεσμα αυτής της κίνησης είναι η παραγωγή ενέργειας (Cruz, 2008, Cruz and Sarmiento, 2007, Valerio et al., 2007).



(Πηγή: Clement et al., 2002)

Σχήμα 12. Η διάταξη AWS



(Πηγή: Valerio et al., 2007)

Σχήμα 13. Αρχή λειτουργίας της διάταξης AWS

Η ιδέα για τη λειτουργία της διάταξης AWS αναπτύχθηκε το 1994 από την εταιρία Teamwork Technology BV, στη Ολλανδία και ένα χρόνο αργότερα ένα μοντέλο σε κλίμακα 1:20 δοκιμάστηκε υπό συνθήκες κανονικών κυματισμών. Το 1995 επιλέχτηκε η Πορτογαλία ως μέρος για την ανάπτυξη μιας διάταξης AWS σε πλήρη κλίμακα στη θάλασσα. Με στόχο το σχεδιασμό εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας 2 MW συνεχίστηκαν οι έρευνες σε μοντέλα κλίμακας 1:50 και 1:20 υπό μη κανονικό κυματισμό. Τον Νοέμβριο του 2001 η Πιλοτική Εγκατάσταση των 2 MW ήταν έτοιμη για δοκιμαστική βύθιση στις ακτές της Πορτογαλίας, όμως η προσπάθεια απέτυχε. Μετά από μια δεύτερη αποτυχημένη προσπάθεια, τελικά, το 2004 (εικ. 17) βυθίστηκε με επιτυχία, σε απόσταση 5 km ανοιχτά του λιμανιού Leixões της Πορτογαλίας (Valerio et al., 2007, [www.awsocan.com](http://www.awsocan.com)).



(Πηγή: Varello et al., 2007)

Εικόνα 17. Η εγκατάσταση AWS στο λιμάνι Leixões το Μάη του 2004

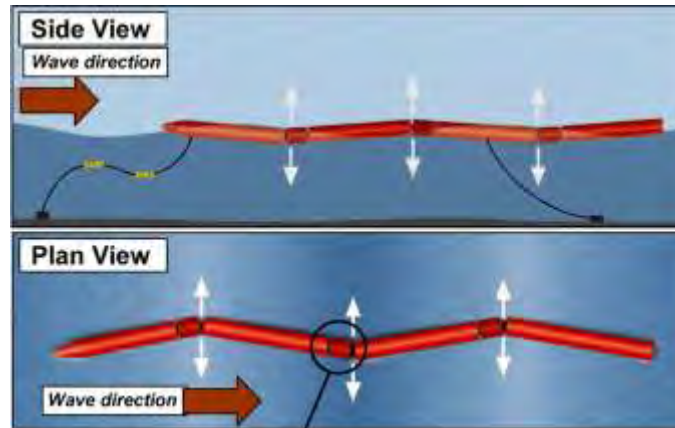
#### 4.6.3.2 **PELAMIS**

Ο μετατροπέας Pelamis WEC είναι μια ημιβυθισμένη αρθρωτή διάταξη, που αποτελείται από μια σειρά κοίλων κυλινδρικών χαλύβδινων τμημάτων που ενώνονται μεταξύ τους με ενδιάμεσους συνδέσμους και με τον κυματισμό κινούνται το ένα σε σχέση με το άλλο. Η όλη διάταξη, για να παραμένει στη θέση της, είναι συνδεδεμένη με τον πυθμένα με ένα σύστημα προσδέσεων (mooring system), το οποίο τη βοηθάει ταυτόχρονα να κινείται κάθετα στα κύματα και όχι παράλληλα με τις κορυφογραμμές τους (σχ. 14 & 15). Η ενέργεια παράγεται στους συνδέσμους με υδραυλικά έμβολα (hydraulic rams), που κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες. Πολλές όμοιες διατάξεις μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους και με την ξηρά, μέσω ενός συστήματος καλωδίων στον πυθμένα της θάλασσας για να επιτευχθεί μεγαλύτερη παροχή ισχύος (www.pelamiswave.com, Yemm et al., 2000, Henderson, 2006).



(Πηγή: Yemm, 2000)

Σχήμα 14. Pelamis: Προοπτική απεικόνιση

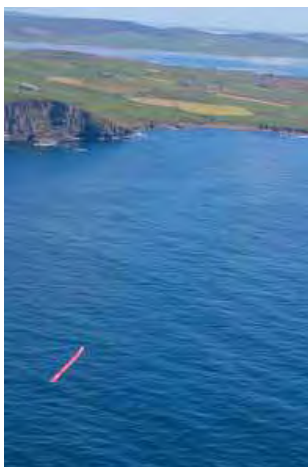


(Πηγή: Henderson, 2006)

Σχήμα 15. Σχηματικά η διάταξη Pelamis

Η αρχική ιδέα αναπτύχθηκε από την Pelamis Wave Power Ltd της Σκωτίας. Τώρα πάνω από 70 μέλη, από διάφορα μέρη, συνεργάζονται με στόχο να αναδείξουν τον μετατροπέα Pelamis σε ηγετική φυσιογνωμία στις τεχνολογίες κυματικής ενέργειας. Από το 1998 και έπειτα, έχουν γίνει πολλές δοκιμές σε πειραματικές δεξαμενές και σε διάφορες κλίμακες και παράλληλα, αναπτύσσονται προγράμματα αριθμητικών μοντέλων (Cruz, 2008).

Η πρώτη πρωτότυπη διάταξη σε πλήρη κλίμακα είχε μήκος 120m, διάμετρο 3,5m και μηχανή ονομαστικής ισχύος 750kW, ικανή να καλύπτει ετησίως τη ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια 500 σπιτιών ([www.pelamiswave.com](http://www.pelamiswave.com)). Προωθήθηκε στις αρχές του 2004 και εγκαταστάθηκε στο EMEC (European Marine Energy Test Centre) (εικ. 16) τον Αύγουστο του 2004, μετά από σειρά δοκιμών Βόρεια Θάλασσα (εικ. 17) (Cruz, 2008).



(Πηγή: [www.pelamiswave.com](http://www.pelamiswave.com))

Εικόνα 18. Pelamis prototype: στο EMEC



(Πηγή: [www.pelamiswave.com](http://www.pelamiswave.com))

Εικόνα 19. Δοκιμές στη Βόρεια Θάλασσα

Σήμερα στην Βόρεια Πορτογαλία στην περιοχή Aguçadoura λειτουργεί **το πρώτο πάρκο παραγωγής κυματικής ενέργειας εμπορικής κλίμακας** συνολικής ισχύος 2,25 MW που αποτελείται από 3 μηχανές των 750 kW (εικ. 20), ενώ προβλέπεται η περαιτέρω επέκτασή του, ώστε να φτάνει τη συνολική ισχύ των 20 MW ([www.pelamiswave.com](http://www.pelamiswave.com)).



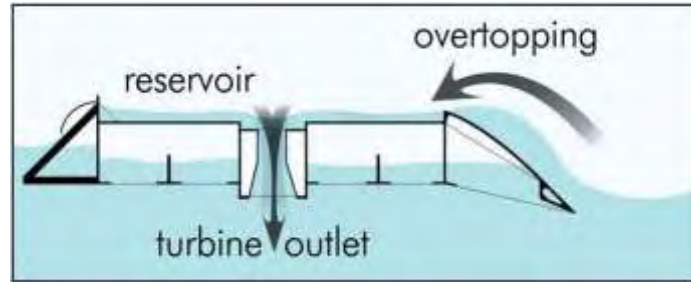
(Πηγή: [www.pelamiswave.com](http://www.pelamiswave.com))

Εικόνα 20. Το πάρκο παραγωγής κυματικής ενέργειας στην περιοχή Aguçadoura

#### **4.6.3.3 WAVE DRAGON**

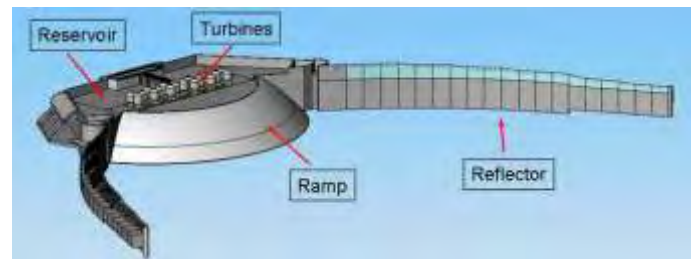
Η διάταξη Wave Dragon (WD) είναι μια από τις σπουδαιότερες στον τομέα της κυματικής ενέργειας. Είναι σχεδιασμένη για βαθιά νερά βάθους άνω των 20 m και αναπτύχθηκε από μια ομάδα εταιριών στη Δανία. Σε αντίθεση με τις περισσότερες διατάξεις κυματικής ενέργειας, η WD δεν ταλαντεύεται με τον κυματισμό. Είναι τύπου ‘*overtopping*’, στην οποία το νερό των κυμάτων ανατρέπεται μέσω μιας διπλά κυρτής κεκλιμένης ράμπας σε μια δεξαμενή που βρίσκεται σε ψηλότερο επίπεδο από τη ΜΣΘ, απ’ όπου ρέει δια μέσου ενός αριθμού στροβίλων και έπειτα επιστρέφει πίσω στη θάλασσα (σχ. 16). Δύο ανακλαστήρες κυμάτων, είναι τοποθετημένοι στις δυο πλευρές της δεξαμενής, με σκοπό τη συγκέντρωση των κυμάτων προς αυτή και έτσι αυξάνεται το πραγματικό ύψος τους. Η ενέργεια παράγεται μέσω μιας ομάδας στροβίλων χαμηλής πίεσης τύπου Kaplan (σχ. 17). Η όλη διάταξη προσαρμόζεται έτσι, ώστε να μεγιστοποιεί την ενεργειακή παραγωγή ([www.wavedragon.net](http://www.wavedragon.net)), (Sorenson et al., 2000), (Cruz, 2008).

Την περίοδο 1998-2001 στο Πανεπιστήμιο του Aalborg της Δανίας διεξήχθησαν εντατικές δοκιμές στη δεξαμενή του εργαστηρίου του. Έπειτα, μια πρωτότυπη διάταξη κλίμακας 1:4,5, διαστάσεων 57m x 27m και συνολικού βάρους 237ton, ονομαστικής ισχύος 20kW, εγκαταστάθηκε στην περιοχή Nissum Bredning, της Δανίας (εικ. 21), και το Μάιο του 2003 συνδέθηκε με το δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Kofoed et al., 2006).



(Πηγή: Tedd and Kofoed, 2009)

Σχήμα 16. Η ροή των κυμάτων στη διάταξη Wave Dragon



(Πηγή: Tedd and Kofoed, 2009)

Σχήμα 17. Η διάταξη Wave Dragon



(Πηγή: Kofoed et al., 2006)

Εικόνα 21. Η πρωτότυπη διάταξη Wave Dragon κλίμακας 1:4,5 στην περιοχή Nissum Bredning της Δανίας

Η πρωτότυπη αυτή WD διάταξη είναι πλήρως εξοπλισμένη με αυτόματο σύστημα ελέγχου, παρακολούθησης και καταγραφής της παραγόμενης ισχύος, του κλίματος της περιοχής, των δυνάμεων που ασκούνται στις αγκυρώσεις, των πιέσεων στην κατασκευή και των κινήσεών της. Στόχος αυτού του προγράμματος παρακολούθησης είναι η έρευνα και δημιουργία υποδομής για τη βελτιστοποίηση της κατασκευής και της παραγόμενης ισχύος με απώτερο σκοπό την ανάπτυξη μιας πλήρους κλίμακας διάταξης ονομαστικής ισχύος από 4 έως 10 MW, ανάλογα με το κλίμα της περιοχής (Kofoed et al., 2006). Μία διάταξη WD πλήρους κλίμακας με ονομαστική ισχύ 7 MW θα είναι ικανή να παράγει ετησίως την ηλεκτρική ενέργεια για 2000 – 3000 σπίτια ([www.wavedragon.net](http://www.wavedragon.net)).

Στον πίνακα 2 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διαστάσεις του πρωτοτύπου και διαφόρων Wave Dragon διατάξεων, και η παραγόμενη ισχύς τους για διαφορετικά κλίματα.

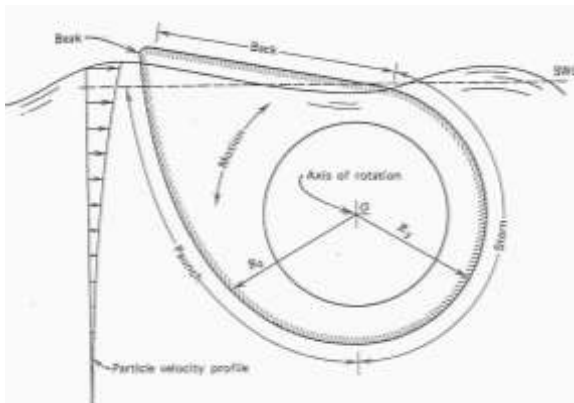
Πίνακας 4. Διαστάσεις πρωτοτύπου WD και άλλων WD διατάξεων για διαφορετικά κλίματα

Μέση πυκνότητα κυματικής ενέργειας (kW/m)	Prototype WD	24	36	48	60
Μήκος (m)	57	260	300	390	<b>390</b>
Μικτό βάρος (ton)	237	22.000	33.000	54.000	<b>54.000</b>
Χωρητικότητα δεξαμενής (m <sup>3</sup> )	55	5.000	8.000	14.000	<b>14.000</b>
Αριθμός στροβίλων	10	16	16-20	16-20	<b>16-24</b>
Ετήσια παραγόμενη ισχύς (GWh/y)	2,5	12	20	35	<b>43</b>

(Πηγή: Kofoed et al., 2006)

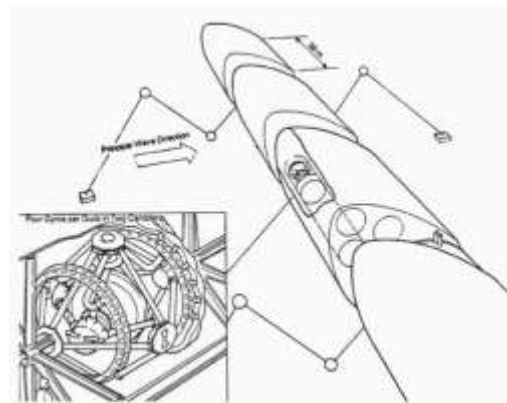
#### 4.6.3.4 Salter Duck

Η ιδέα για την ανάπτυξη του μετατροπέα Salter Duck ή Edinburgh Duck εισήχθη το 1974 από τον Stephen Duck και αποτελεί έναν από τους πρώτους μετατροπείς κυματικής ενέργειας. Είναι μια πλωτή διάταξη που περιλαμβάνει ένα γυροσκοπίο για να παρέχει ένα πλαίσιο αδρανειακής αναφοράς σε έναν υδραυλικό μηχανισμό (σχ. 18 & 19). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του είναι η ικανότητά του να μετατρέπει και την κινητική και τη δυναμική ενέργεια των κυμάτων σε περιστροφική μηχανική ενέργεια, με υψηλή αποδοτικότητα (θεωρητικά πάνω από 90 % σε δισδιάστατο, ημιτονοειδή κυματισμό) (McCormick, 1981). Η διάταξη αυτή μελετάται συστηματικά από το 1983. Το 1993 σχεδιάστηκε από την αρχή και η τελευταία διάταξη χαρακτηρίζεται για το χαμηλό ενεργειακό κόστος παραγωγής (IEA - OES, 2002).



(Πηγή: McCormick, 1981)

Σχήμα 18. Salter Duck -τομή



(Πηγή: CRES, 2002)

Σχήμα 19. Η διάταξη Salter Duck

#### 4.6.3.5 OPT WEC

Ο μετατροπέας OPT WEC, που αναπτύχθηκε από την Ocean Power Technologies (OPT WEC) στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ), λειτουργεί με ένα απλό και έξυπνο μηχανικό σύστημα που κινεί τις γεννήτριες, χρησιμοποιώντας μηχανική δύναμη. Αποτελείται από μια κυλινδρική σημαδούρα (buoy) διαμέτρου 2-5 m κλειστή από πάνω και ανοιχτή από κάτω στη θάλασσα. Ένα υδραυλικό έμβολο είναι τοποθετημένο ανάμεσα στην πάνω επιφάνεια του σκελετού της διάταξης και ενός χαλύβδινου πλωτήρα που επιπλέει και περικλείεται μέσα σε αυτόν. Η σχετική κίνηση του κελύφους προς τον χαλύβδινο πλωτήρα ενεργοποιεί ένα υδραυλικό σύστημα που αντλεί λάδι υπό υψηλή πίεση και κινεί μια ηλεκτρική γεννήτρια (Clement et al., 2002, Thorpe, 1999b).

Από το 1997 έχουν γίνει εντατικές δοκιμές σε μεγάλη κλίμακα στον Ατλαντικό στην περιοχή New Jersey. Πλέον η διάταξη οδεύει προς την εμπορευματοποίηση, με αρχικά βήματα τις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ονομαστικής ισχύος 40 kW στη Χαβάη (εικ. 22 & 23) και το New Jersey, ενώ έχει ξεκινήσει η φάση εγκατάστασης ενός πάρκου παραγωγής ενέργειας ονομαστικής ισχύος 1,39 MW στις βόρειες ακτές της Ισπανίας και σχεδιάζεται ένα άλλο, ισχύος 5 MW στη Μεγάλη Βρετανία. Αξιοσημείωτο της τεχνολογίας OPT είναι ότι μια εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 10 MW καλύπτει επιφάνεια ωκεανού μόνο 0,125 km<sup>2</sup> (30 acres) ([www.oceanpowertechnologies.com](http://www.oceanpowertechnologies.com)).



(Πηγή: [www.oceanpowertechnologies.com](http://www.oceanpowertechnologies.com))

Εικόνα 22. Η διάταξη OPT 40 kW πριν την εγκατάστασή της στη Χαβάη



(Πηγή: [www.oceanpowertechnologies.com](http://www.oceanpowertechnologies.com))

Εικόνα 23. Η διάταξη OPT 40 kW στη θάλασσα



#### 4.6.3.6 Mighty Whale

Η διάταξη Mighty Whale είναι ένας πλωτός μετατροπέας κυματικής ενέργειας τύπου OWC για μεγάλα βάθη, που μελετήθηκε από το Κέντρο Θαλάσσιων Επιστημών και Τεχνολογίας της Ιαπωνίας (Japan Marine Science & Technology Center - JAMSTEC). Η αρχική ιδέα ήταν η τοποθέτηση πολλών τέτοιων διατάξεων σε σειρά σε περιοχές που υπήρχαν ιχθυοτροφικές καλλιέργειες για να ηρεμούν τα νερά πίσω τους και να παρέχουν ενέργεια για τον αερισμό/καθαρισμό της περιοχής (www.jamstec.go.jp, WaveNet, 2003).

Από το 1987 μελετήθηκαν θεωρητικά υπολογιστικά μοντέλα και διεξήχθησαν δοκιμές σε δεξαμενές, ώστε να διευκρινιστεί η υδροδυναμική συμπεριφορά της διάταξης και να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες για τον ασφαλή και οικονομικό σχεδιασμό ενός πρωτοτύπου για τη θάλασσα. Οι διαστάσεις του πρωτοτύπου (εικ. 24) για βάθος 40 m ήταν 50 m μήκος x 30 m πλάτος και 12 m βάθος, και η ονομαστική ισχύς του 110 kW (εικ. 25). Έχει τρεις θαλάμους OWC στη σειρά και ελλιμενίστηκε στη θάλασσα το Μάιο του 1998, σε απόσταση 1,5 km από την πόλη Nansei. Ως τον Ιούνιο του 2002 μελετήθηκε συστηματικά, οπότε και αποσύρθηκε (www.jamstec.go.jp, IEA - OES, 2002).



(Πηγή: www.jamstec.go.jp)

Εικόνα 24. Σχηματικά η διάταξη Mighty Whale



(Πηγή: www.jamstec.go.jp)

Εικόνα 25. Η πρωτότυπη Mighty Whale το Μάιο του 1998

## **4.7 ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΒΟΥΛΙΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Έρευνα και ανάπτυξη για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας διεξάγεται σε αρκετές χώρες παγκοσμίως, συχνά με την κρατική υποστήριξη και χρηματοδότηση, ενώ, άλλες φορές όχι. Τα τελευταία χρόνια, οι προσπάθειες που καταβάλλονται οδηγούν την τεχνολογία από το ακαδημαϊκό στο εμπορικό επίπεδο, και αναμένεται πολλές από τις διατάξεις που υπάρχουν να οδηγήσουν σε δημιουργία πάρκων παραγωγής ενέργειας *farm of devices*. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι δράσεις ορισμένων διεθνών οργανισμών και κρατών που έχουν συνεισφέρει σημαντικά στον τομέα της κυματικής ενέργειας και της εξέλιξής της και συνεχίζουν να έχουν ενεργό ρόλο.

### **4.7.1 Διεθνείς Οργανισμοί**

#### **4.7.1.1 Ευρωπαϊκή Ένωση**

Η ΕΕ έχει ηγετικό ρόλο στην προώθηση και ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας, καθώς από το 1992, με την έναρξη των Προγραμμάτων *Joule* και έπειτα, υποστηρίζει και χρηματοδοτεί σχετικές δραστηριότητες και προγράμματα.

Το 1996 κυκλοφόρησαν δύο θεμελιώδεις μελέτες για την εκμετάλλευση του κυματικού δυναμικού: α) *Ο Ευρωπαϊκός Άτλας των Πόρων Κυματικής Ενέργειας – (Atlas of Wave Energy Resource in Europe)* και β) *Η εκμετάλλευση των παλιρροιακών και των θαλάσσιων ρευμάτων – (Exploitation of tidal and marine currents)* (CRES, 2002). Επίσης, από το 1993 η ΕΚ υποστηρίζει μια σειρά συνεδρίων, ένα εκ των οποίων πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα, στην Πάτρα, το 1998 (Clement et al., 2002).

Η ΕΕ έχει προωθήσει τη συνεργασία μεταξύ ηγετικών Οργανισμών και Ινστιτούτων, μέσω του σχηματισμού του Θεματικού Δικτύου *‘European Wave Energy Thematic Network’* (WaveNet), με σκοπό την ανταλλαγή γνώσεων και εμπειριών μεταξύ των επενδυτών στην κυματική ενέργεια, μέλος του οποίου είναι, από τη χώρα μας, το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Το Δίκτυο αυτό εργάζεται πάνω στους κάτωθι τομείς ([www.wave-energy.net/index3.htm](http://www.wave-energy.net/index3.htm)):

- Δημιουργία μακροπρόθεσμης συνεργασίας με τη βιομηχανία ενέργειας (πχ βιομηχανία αιολικής ενέργειας και Εταιρίες Ηλεκτρικής Ενέργειας)

- Έρευνα των κοινωνικών, χωροταξικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κυματική ενέργεια
- Χρηματοδότηση προγραμμάτων
- Προώθηση έρευνας και τεχνολογίας (R&D)
- Προώθηση της κυματικής ενέργειας, ως μια μορφή ΑΠΕ, για τη μελλοντική συνεισφορά της στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίσης, άμεση είναι η συνεισφορά της ΕΕ στην ανάπτυξη ορισμένων τεχνολογιών, μέσω Πιλοτικών Προγραμμάτων, μεταξύ των οποίων είναι: ο μετατροπέας παλλόμενης στήλης OWC ακτογραμμής στο νησί Pico στις Αζόρες της Πορτογαλίας, η εγκατάσταση LIMPET OWC στη Σκωτία, η διάταξη Wave Dragon, ο μετατροπέας SSG τύπου ‘*overtopping*’ στη Νορβηγία και τελευταία, η εγκατάσταση Nereida MOWC στη χώρα των Βάσκων στην Ισπανία, που βρίσκεται υπό κατασκευή ([www.fedarene.org](http://www.fedarene.org)).

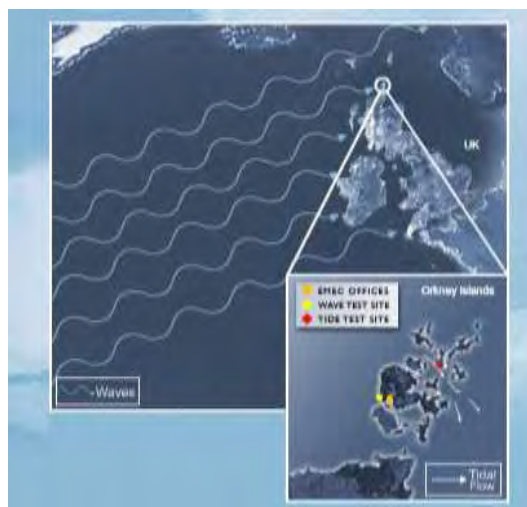
Παράλληλα, υποστηρίζει, μέσω χρηματοδότησης από το 6<sup>ο</sup> Πρόγραμμα – Πλαίσιο της ΕΕ για την Ενέργεια, το Περιβάλλον και τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, τη *Συντονισμένη Δράση για την Ενέργεια των Ωκεανών – Coordinated Action on Ocean Energy* – με σκοπό τη διάχυση της γνώσης και την προώθηση τεχνολογιών κυματικής ενέργειας ([www.ca-oe.net](http://www.ca-oe.net)). Μέσω του ίδιου Προγράμματος – Πλαισίου, υποστηρίζει και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Ενέργεια των Ωκεανών ‘*European Ocean Energy Association*’, ενός μη κερδοσκοπικού οργανισμού, που αριθμεί πάνω από 30 μέλη από όλο τον κόσμο. Ο Οργανισμός αυτός δραστηριοποιείται ενεργά στην προώθηση της χρήση των τεχνολογιών κυματικής και παλιρροιακής ενέργειας, μέσω της εξασφάλισης στα μέλη της χρηματοδότησης, νομοθεσίας, προγραμμάτων επιμόρφωσης και πολιτικής υποστήριξης ([www.eu-oea.com](http://www.eu-oea.com)).

Από τον Οκτώβρη του 2007 ηγείται και χρηματοδοτεί το πρόγραμμα WAVEPLAM ‘*WAVE Energy PLanning and Marketing project*’, σκοπός του οποίου είναι η ανάπτυξη εργαλείων, η καθιέρωση μεθόδων και προτύπων και η δημιουργία συνθηκών για την επιτάχυνση της ανάπτυξης της ενέργειας των ωκεανών και της προώθησής της στην Ευρωπαϊκή αγορά των ΑΠΕ ([www.waveplam.eu](http://www.waveplam.eu)).

#### **4.7.1.2 European Marine Energy Centre**

Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Θαλάσσιας Ενέργειας (EMEC) πρωτοστατεί στην ανάπτυξη τεχνολογιών ΑΠΕ, και συγκεκριμένα, στα συστήματα αξιοποίησης κυματικής και παλιρροιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργεια για

κατοικίες και επιχειρήσεις. Είναι το πρώτο του είδους του που έχει δημιουργηθεί σε ολόκληρο τον κόσμο, βρίσκεται στα νησιά Orkney στα Βόρεια της Σκωτίας (εικ. 26) και χρηματοδοτείται από διάφορους οργανισμούς, την κυβέρνηση της Σκωτίας και της Μεγάλης Βρετανίας και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Έχει τέσσερις περιοχές δοκιμών για τις διατάξεις κυματικής ενέργειας σε βάθος 50 m, καθεμία με το δικό της σύστημα υποθαλάσσιας καλωδίωσης και το σταθμό ελέγχου της και δίνει την δυνατότητα ανάπτυξης των τεχνολογιών πλήρους κλίμακας σε πραγματικές συνθήκες θαλάσσης. Το EMEC αποδεικνύεται καθοριστικό στην καθιέρωση της κυματικής ενέργειας ως μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας (WEC, 2007, [www.emec.org.uk](http://www.emec.org.uk)).



(Πηγή: [www.emec.org.uk](http://www.emec.org.uk))

Εικόνα 26. Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών

#### **4.7.1.3 International Energy Agency**

Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA), το 2001, ανέπτυξε μια Συμφωνία Εφαρμογής για την Ενέργεια των Ωκεανών ‘*Implementing Agreement on Ocean Energy Systems*’, που αποτελεί ένα μηχανισμό, με σκοπό την εξασφάλιση ενός πλαισίου για τη διεθνή συνεργασία στα προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης των τεχνολογιών, καθώς και την επίδειξη και ανταλλαγή πληροφοριών (WEC, 2007).

Ξεκινώντας, αρχικά, με τρία Μέλη (Δανία, Πορτογαλία και Μεγάλη Βρετανία), στη συνέχεια απέκτησε εννιά, με τη συμμετοχή του Βελγίου, του Καναδά, της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, της Ιρλανδίας, της Ιαπωνίας και των ΗΠΑ, ενώ σήμερα αριθμεί δεκαεπτά με την συμμετοχή του Μεξικού, της Νορβηγίας, της Ιταλίας, της Γερμανίας, της Νέας Ζηλανδίας, της Ισπανίας, της Σουηδίας και της Αυστραλίας. Η ανάγκη για την συνεργασία αυτή ήρθε ως απάντηση στην αυξανόμενη δραστηριότητα

πάνω στην ανάπτυξη τεχνολογιών κυματικής και παλιρροιακής ενέργειας, με το τέλος της δεκαετίας του '90 ([www.iea-oceans.org](http://www.iea-oceans.org)).

Οι σημαντικότερες δραστηριότητες που υποστηρίζονται από τη Συμφωνία Εφαρμογής είναι οι εξής ([www.iea-oceans.org](http://www.iea-oceans.org)):

- Αναθεώρηση, ανταλλαγή και διάδοση πληροφοριών για τα συστήματα ενέργειας των ωκεανών
- Ανάπτυξη των συνιστώμενων πρακτικών για τον έλεγχο και την αξιολόγηση των συστημάτων ενέργειας των ωκεανών
- Ένταξη των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από τους ωκεανούς στα δίκτυα ηλεκτρισμού
- Αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των προσπαθειών ελέγχου των συστημάτων κυματικής και παλιρροιακής ενέργειας

#### **4.7.2 Ευρωπαϊκές Χώρες**

Δραστηριότητες Έρευνας και Ανάπτυξης για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας διεξάγονται σε πολλές χώρες στην Ευρώπη, με προτεραιότητα σε αυτές που έχουν υψηλό κυματικό δυναμικό και θα μπορούσαν μελλοντικά να καλύψουν ένα μετρήσιμο μέρος της ζήτησής τους σε ενέργεια από την κυματική. Οι σημαντικότερες ενέργειες στις χώρες αυτές, που είναι η Δανία, η Ιρλανδία, η Νορβηγία, η Πορτογαλία, η Σουηδία και η Μεγάλη Βρετανία παρουσιάζονται παρακάτω. Παράλληλα, γίνεται αναφορά και στην ελληνική πραγματικότητα.

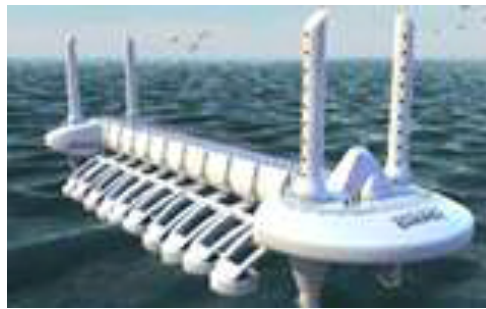
Δραστηριότητες διεξάγονται και στις υπόλοιπες χώρες που διαθέτουν ακτογραμμή, όπως η Γαλλία, το Βέλγιο, η Γερμανία, η Ιταλία, η Ολλανδία και η Φιλανδία, χωρίς όμως να είναι τόσο αξιόλογες.

##### **4.7.2.1 Δανία**

Η Δανία είναι μια χώρα με έντονη δραστηριότητα στον τομέα της κυματικής ενέργειας από τη δεκαετία του '80 και είναι μέλος της *Συμφωνίας Εφαρμογής για την Ενέργεια των Ωκεανών* του ΙΕΑ. Ο ετήσιος μέσος όρος κυματικής ισχύος ανά μέτρο μετώπου κύματος κυμαίνεται μεταξύ 7 και 24 kW/m (IEA-OES, 2002) και το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό της εκτιμάται γύρω στα 30 TWh/year (Clement et al., 2002). Το 1998 ο Δανέζικος Οργανισμός Ενέργειας ξεκίνησε το Εθνικό Πρόγραμμα για την Κυματική Ενέργεια 1998-2004, χρηματοδοτώντας ενδιαφερόμενους επενδυτές, εταιρίες και πανεπιστήμια για έρευνα και ανάπτυξη. Από τα σημαντικότερα

αποτελέσματα του Προγράμματος είναι η εγκατάσταση της ‘*overtopping*’ διάταξης Wave Dragon σε κλίμακα 1:4,5 και ισχύ 20 kW ανοιχτά της περιοχής Nissum Brending, καθώς, και η ανάπτυξη δοκιμαστικών μοντέλων της διάταξης Wave Plane, η οποία χρησιμεύει ταυτόχρονα και για την οξυγόνωση του θαλασσινού νερού. Την ίδια περίοδο σχηματίστηκε και ο Δανέζικος Οργανισμός Κυματικής Ενέργειας (Danish Wave Energy Association) με στόχο τη διάδοση της γνώσης στα μέλη του πάνω στην κυματική ενέργεια (WEC, 2004). Σήμερα, μια πρωτότυπη διάταξη Wave Plane πλήρους κλίμακας έχει εγκατασταθεί στην περιοχή Hanstholm και είναι έτοιμη για να συνδεθεί σε δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ([www.waveplane.com](http://www.waveplane.com)).

Επίσης, η εταιρία Wave Star Energy έχει δοκιμαστικά εγκαταστήσει στην περιοχή Nissum Brending μια διάταξη κλίμακας 1:10 και ισχύος 5,5 kW (εικ. 27) και το Σεπτέμβριο του 2009 θα έχει ολοκληρωθεί η εγκατάσταση ενός μοντέλου ονομαστικής ισχύος 500 kW και μήκους 40 m στην περιοχή Hanstholm ([www.wavestarenergy.com](http://www.wavestarenergy.com)).



(Πηγή: [www.wavestarenergy.com](http://www.wavestarenergy.com))

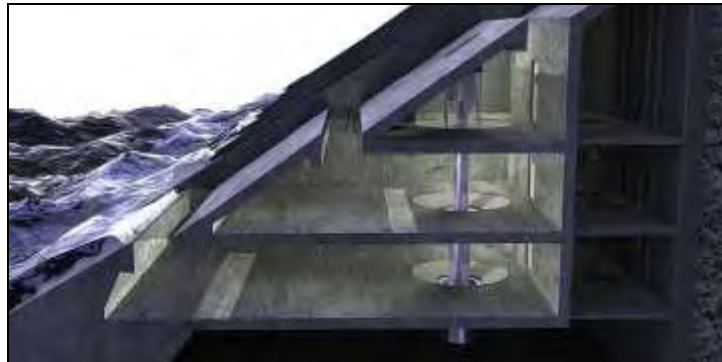
Εικόνα 27. Η διάταξη Wave Star κλίμακας 1:10

#### 4.7.2.2 Νορβηγία

Η Νορβηγία διαθέτει υψηλό κυματικό δυναμικό (400 TWh/year) και επίπεδα κυματικής ισχύος που κυμαίνονται μεταξύ 50 kW/m στο βορά και 23 kW/m στο νότο. Η έρευνα για την κυματική ενέργεια ξεκίνησε το 1973 και διεξάγεται, κυρίως, στο Νορβηγικό Πανεπιστήμιο Επιστήμης και Τεχνολογίας (Norwegian University of Science and Technology - NTNU), έχοντας την κυβερνητική υποστήριξη από το 1978 (IEA-OES, 2002).

Τη δεκαετία του 1980, δύο μετατροπείς κυματικής ενέργειας ακτογραμμής εγκαταστάθηκαν με επιτυχία και λειτούργησαν για κάποιο χρονικό διάστημα στο Toftestallen: ένας μετατροπέας τύπου OWC ισχύος 350 kW και η διάταξη TAPCHAN ισχύος 500 kW (βλ. κεφ. 4.6.1.3) (IEA-OES, 2002).

Πρόσφατα, αναπτύσσεται ο μετατροπέας ακτογραμμής Seawave Slot – Cone Generator (SSG) (σχ. 20), τύπου ‘overtopping’, που αποτελείται από τρεις δεξαμενές, η μια τοποθετημένη πάνω στην άλλη. Η εγκατάσταση ενός ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού, ονομαστικής ισχύος 200 kW, αναμένεται στο νησί Knivtsøy, σε μια περιοχή με μέσο ετήσιο κυματικό δυναμικό 19 kW/m. Το Πιλοτικό αυτό Πρόγραμμα χρηματοδοτείται εν μέρει από την ΕΕ (Margheritini et al., 2009, <http://waveenergy.no>).



(Πηγή: Margheritini et al., 2009)

Σχήμα 20. Σχεδιαστικά ο μετατροπέας SSG

Η Oceanor A.S. της Νορβηγίας, μια ωκεανογραφική εταιρία, μαζί με το ΕΜΠ της Αθήνας και το Ιταλικό Ινστιτούτο ISDGM (Istituto Studio Dinamica Grandi Masse), έχουν αναπτύξει το *EUROWAVES*, ένα νέο πακέτο λογισμικού που αφορά τον ευρωπαϊκό ενεργειακό άτλαντα κυμάτων (WEC, 2004).

#### 4.7.2.3 Ιρλανδία

Η Ιρλανδία είναι μια χώρα με υψηλό κυματικό δυναμικό – το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο θεωρείται περίπου 187,5 TWh/year (Clement et al., 2002) – και με κυματική ισχύ, που κυμαίνεται από 68 kW/m στο νότο ως 75 kW/m στο βορά, η οποία είναι από τις μεγαλύτερες της Ευρώπης (IEA-OES, 2002). Επίσης, είναι μέλος της *Συμφωνίας Εφαρμογής για την Ενέργεια των Ωκεανών* του ΙΕΑ.

Η έρευνα για την κυματική ενέργεια έχει ξεκινήσει από το 1980 και το μεγαλύτερο μέρος της δουλειάς, διεξαγόταν στο Πανεπιστήμιο του Cork (UCC), καθώς και σε άλλα Πανεπιστήμια. Πέρα από τις δοκιμές διαφόρων διατάξεων, το Πανεπιστήμιο ήταν συντονιστής του *Ευρωπαϊκού Προγράμματος Έρευνας Κυματικής Ενέργειας* και έλαβε μέρος στη δημιουργία του *Ευρωπαϊκού Άτλαντα Κυματικής Ενέργειας*, καθώς και στη χαρτογράφηση των πόρων κυματικής ενέργειας της Ιρλανδίας (εικ. 28) (WEC, 2007), (WEC, 2009).



(Πηγή: [www.maps.marine.ie](http://www.maps.marine.ie))

Εικόνα 28. Μέση ετήσια διακύμανση της κυματικής ισχύος της Ιρλανδίας σε kW/m

Η *Βιώσιμη Ενέργεια της Ιρλανδίας* (Sustainable Energy Ireland), που οργανώθηκε από την κυβέρνηση το 2002, και το Ινστιτούτων Θαλασσών συνεργάζονται για την υλοποίηση της *Εθνικής Στρατηγικής για την Ενέργειας των Ωκεανών*, με στόχο την εισαγωγή και την δυναμική προώθηση της ενέργειας των ωκεανών στις ΑΠΕ, και παράλληλα χρηματοδοτούν την ανάπτυξη πολλών διατάξεων. Στόχος της κυβερνητικής πολιτικής είναι η παραγωγή ενέργειας ισχύος 75 MW ως το 2012 και 500 MW ως το 2020 από τους Ωκεανούς ([www.sei.ie](http://www.sei.ie)).

Δύο είναι οι σημαντικότερες διατάξεις που έχουν αναπτυχθεί στην Ιρλανδία: η McCabe Wave Pump από την Hydam Technology και η OE Buoy από την Ocean Energy. Μία πρωτότυπη διάταξη της τελευταίας, σε κλίμακα 1:4 (εικ. 29), δοκιμάστηκε με επιτυχία στη θάλασσα το 2006 και προετοιμάζεται η διάταξη πλήρους κλίμακας με στόχο την μελλοντική παραγωγή ισχύος 1 MW ([www.sei.ie](http://www.sei.ie)).



(Πηγή: [www.oceanenergy.ie](http://www.oceanenergy.ie))

Εικόνα 29. Η πρωτότυπη διάταξη OE Buoy κλ. 1:4 στις δυτ. ακτές της Ιρλανδίας



#### 4.7.2.4 Πορτογαλία

Η Πορτογαλία, που έχει μεγάλο μήκος ακτών προς τον Α. Ατλαντικό, διαθέτει σημαντικούς πόρους κυματικούς ενέργειας και κυματική ισχύ που κυμαίνεται μεταξύ 30 και 40 kW/m. Το υψηλότερο κυματικό δυναμικό της χώρας εντοπίζεται στην περιοχή των Αζόρων νήσων (Clement et al., 2002) και το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο εκτιμάται στα 45 TWh/year (Λεμονής, 2002).

Η έρευνα για την κυματική ενέργεια ξεκίνησε το 1978 στο Πολυτεχνείο της Λισσαβώνας και στο Εθνικό Ινστιτούτο Μηχανικής και Βιομηχανικής Τεχνολογίας (INETI) του Υπουργείου Οικονομίας της Πορτογαλίας, ενώ η μεγαλύτερη προσοχή δόθηκε στην ανάπτυξη μετατροπέων τύπου OWC και στους αντίστοιχους στροβίλους. Οι επιχορηγήσεις των προγραμμάτων εξασφαλίζονται, κυρίως, από κρατικούς πόρους και την ΕΕ (Λεμονής, 2002, IEA-OES, 2002). Σημαντικό επίτευγμα των ερευνών είναι ο ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός τύπου OWC στο νησί Pico στις Αζόρες ονομαστικής ισχύος 400 kW (βλ. κεφ. 4.6.1.2). Παράλληλα, το INETI ήταν συντονιστής του προγράμματος για τη δημιουργία του «Ευρωπαϊκού Άτλαντα των Πόρων Κυματικής Ενέργειας» (WEC, 2004).

Η Πορτογαλία, που είναι και μέλος της *Συμφωνίας Εφαρμογής για την Ενέργεια των Ωκεανών* του IEA, έχει σήμερα έναν ηγετικό ρόλο στον τομέα της κυματικής ενέργειας. Η κυβέρνηση προσελκύει στη χώρα επενδυτές, επιδοτώντας τους, για να αναπτύξουν διατάξεις κυματικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού (αρχικά, με US\$ 0,30/kWh) (WEC, 2007), ενώ, από το 2003 λειτουργεί το Κέντρο Κυματικής Ενέργειας (Wave Energy Centre). Στόχος του Κέντρου είναι η διάδοση, η προώθηση και η υποστήριξη στην ανάπτυξη τεχνολογιών κυματικής ενέργειας με απώτερο σκοπό την εμπορευματοποίηση των συσκευών. Στα τρέχοντα Προγράμματά του συμπεριλαμβάνεται και η εγκατάσταση OWC ισχύος 700 kW ενσωματωμένη σε κυματοθραύστη στην περιοχή Foz do Douro στο Πόρτο ([www.wavec.org](http://www.wavec.org)).

Επίσης, στην Πορτογαλία διεξάγονται δυο ακόμα σημαντικά προγράμματα (WEC, 2007):

- Το πρώτο σε λειτουργία πάρκο παραγωγή κυματικής ενέργειας εμπορικής κλίμακας ονομαστικής ισχύος 2,25 MW, αποτελούμενο από 3 συσκευές Pelamis στην περιοχή Aguçadoura
- Η δημιουργία ενός σταθμού ισχύος 2 MW αποτελούμενο από διατάξεις τεχνολογίας AquaBuOY.

#### 4.7.2.5 Σουηδία

Η Σουηδία έχει ενεργό ρόλο στην ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας, παρά τους σχετικά χαμηλούς πόρους που διαθέτει. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό της εκτιμάται περίπου 5-10 TWh/year (Clement et al., 2002). Δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης διεξάγονται κυρίως στα Πανεπιστήμια, με κυρίαρχα το Πανεπιστήμιο της Ουψάλας και το Πολυτεχνείο Chalmers στο Γκέτεμποργκ. Οι κυριότερες διατάξεις πλήρους κλίμακας, που αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1980, είναι δύο: η Hose-Pump και ο πλωτήρας IPS Buoy (Λεμονής, 2002). Η εταιρία Interproject Service AB ανέπτυξε την ιδέα για έναν μετατροπέα που συνδυάζει τις δύο αυτές διατάξεις αυτές, και το σύστημα αυτό προωθείται στον Καναδά από την εταιρία Finavera. Άλλες εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον τομέα της κυματικής ενέργειας είναι η Seabased AB και η Sea Power international (WEC, 2007).

#### 4.7.2.6 Μεγάλη Βρετανία

Η Μ. Βρετανία έχει μεγάλο μήκος ακτογραμμής προς τον Α. Ατλαντικό, ενώ το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό εκτιμάται στις 1000 TWh/year. Τα υψηλά επίπεδα κυματικής ενέργειας οδήγησαν σε ενέργειες έρευνας και ανάπτυξης για την εκμετάλλευσή της από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, με την πετρελαϊκή κρίση. Η κυβερνητική χρηματοδότηση ήταν αρκετά μεγάλη και οδήγησε σε σχεδιασμό σημαντικού αριθμού διατάξεων, όπως οι: Edinburgh Duck, Bristol Cylinder και NEL OWC, που, όμως, ήταν οικονομικά ασύμφορες για εφαρμογή. Αυτό οδήγησε, τη δεκαετία του '80, στον περιορισμό της χρηματοδότησης και η έρευνα συνεχίστηκε σε πανεπιστημιακά ιδρύματα, όπως το Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου και του Belfast. Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον αναζωπυρώθηκε και η κυβέρνηση χρηματοδοτεί την έρευνα σε ένα μεγάλο αριθμό Πανεπιστημίων, Ερευνητικών Κέντρων, βιομηχανικών και μελετητικών εταιριών (Clement et al., 2002, IEA-OES, 2002).

Η Μεγάλη Βρετανία παραμένει η *πρώτη δύναμη παγκοσμίως* στην ανάπτυξη τεχνολογιών κυματικής ενέργειας. Στις πρωτοβουλίες, που βοηθούν και ενισχύουν τον τομέα αυτό, συμπεριλαμβάνονται οι εξής (WEC, 2007):

- Η κυβερνητική επιδότηση των επενδυτών κυματικής και παλιρροιακής ενέργειας, για να αναπτύξουν εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού σε προ – εμπορικό στάδιο
- Η δημιουργία του Ευρωπαϊκού Κέντρου Θαλάσσιας Ενέργειας (EMEC) στα νησιά Orkney της Σκωτίας ([www.emec.org.uk](http://www.emec.org.uk)) (βλ. κεφ. 4.7.1.2).

- Η δημιουργία του Κέντρου Νέων και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (New and Renewable Energy Centre – NaREC), που διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό δεξαμενών για δοκιμές διατάξεων σε μεγάλη κλίμακα ([www.narec.co.uk](http://www.narec.co.uk))
- Η δημιουργία ενός πρωτοποριακού κέντρου, το Wave Hub, για τις δοκιμές διατάξεων πλήρους κλίμακας σε παράταξη στη θάλασσα, που θα ξεκινήσει τη λειτουργία του στο τέλος του 2010 ([www.wavehub.co.uk](http://www.wavehub.co.uk))
- Η υποστήριξη της κυματικής ενέργειας, μέσω της δημιουργίας επίσημων οργανισμών, όπως ο *Carbon Trust*, με αποστολή την επιτάχυνση των δράσεων για την ανάπτυξη εμπορικών τεχνολογιών που εκπέμπουν χαμηλά επίπεδα άνθρακα ([www.thecarbontrust.co.uk](http://www.thecarbontrust.co.uk))
- Η θέσπιση νομοθεσίας για την υλοποίηση της Λευκής Βίβλου για την ενέργεια (*White Paper: Meeting the Energy Challenge*)

Πολλές εταιρίες δραστηριοποιούνται σήμερα στο χώρο και αναπτύσσουν διατάξεις που βρίσκονται σε διάφορα στάδια ωρίμανσης. Σε αυτές περιλαμβάνονται:

- Η *Pelamis Wave Power Ltd* της Σκωτίας (βλ. κεφ. 4.6.3.2)
- Η *Aquamarine Power*, η οποία έχει αναπτύξει το μετατροπέα Oyster (εικ. 30), ένα παλλόμενο πτερύγιο στερεωμένο στο πυθμένα για βάθη νερού γύρω στα 12 m. Μια διάταξη πλήρους κλίμακας, ονομαστικής ισχύος 300 kW, εγκαταστάθηκε με επιτυχία στο EMEC τον Αύγουστο του 2009. Στόχος είναι η δημιουργία πάρκων παραγωγής κυματικής ενέργειας με την ανάπτυξη πολλών τέτοιων διατάξεων σε παράταξη ([www.aquamarinepower.com](http://www.aquamarinepower.com)).



(Πηγή: [www.aquamarinepower.com](http://www.aquamarinepower.com))

Εικόνα 30. Η διάταξη Oyster στο εργοστάσιο κατασκευής

- Η *Wave Dragon Wales*, θυγατρική της δανέζικης *Wave Dragon*, η οποία, με χρηματοδότηση της ΕΕ, θα αναπτύξει μια διάταξη *Wave Dragon* πλήρους κλίμακας (300 m μήκος x 170 m πλάτος) στην περιοχή *Milford Haven* με ονομαστική ισχύ 4-7MW. Η διάταξη θα λειτουργήσει δοκιμαστικά για 3-5 χρόνια ([www.wavedragon.co.uk](http://www.wavedragon.co.uk))

#### 4.7.2.7 Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μήκος ακτογραμμής, μεγαλύτερο από 16.500 km. (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006). Το υψηλό αιολικό δυναμικό πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος επάγει σχετικά έντονη κυματική δραστηριότητα στην περιοχή αυτή με μέσες ετήσιες τιμές κυματικής ισχύος 4-11 kW/m, ενώ εντοπίζονται περιοχές ‘εστιασμού’ κυματικής ενέργειας ‘hot spots’, λόγω των φαινομένων διάθλασης των κυματισμών (Λεμονής, 2002). Οι περιοχές υψηλότερου κυματικού και ανεμολογικού δυναμικού βρίσκονται στο Νότιο Αιγαίο: τα στενά μεταξύ Κάσου - Κρήτης, Κρήτης - Κυθήρων και Ρόδου – Καρπάθου (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4). Η πιο έντονη περίοδος σε ό,τι αφορά στις κυματικές και ανεμολογικές συνθήκες εκτείνεται από το Νοέμβριο μέχρι το Φεβρουάριο, ενώ η επίδραση των “ετησίων” – εποχιακοί άνεμοι που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου – παρατηρείται στις Κυκλάδες και στο Σαρωνικό Κόλπο (Σουκισιάν και Προσπαθόπουλος, 2003). Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό της Ελλάδας θεωρείται το υψηλότερο της Μεσογείου και θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στην ηλεκτροδότηση πολλών νησιών (Λεμονής, 2002).

Δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης διεξάγονται από το ΚΑΠΕ, το ΕΜΠ και σε άλλα Πανεπιστήμια, κυρίως στα πλαίσια ευρωπαϊκών προγραμμάτων. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του ’90 η Ελλάδα είχε ενεργό ρόλο στην ανάπτυξη του ‘Ευρωπαϊκού Άτλαντα των Πόρων Κυματικής Ενέργειας’ (WEC, 2004), ενώ τελευταία, συμμετείχε στην ανάπτυξη του *EUROWAVES*, ένας πακέτου λογισμικού που αφορά τον ευρωπαϊκό ενεργειακό άτλαντα κυμάτων. Υπήρχαν σχέδια για την ανάπτυξη μιας διάταξης πλήρους κλίμακας στην Αμοργό, για ηλεκτροπαραγωγή και παροχή πόσιμου νερού από την εταιρία *Finavera* του Καναδά (IEA-OES, 2002, WEC, 2007).

Τα τελευταία χρόνια η εταιρία *Daedalus Informatics*, σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Πατρών, αναπτύσσουν μια νέα διάταξη (SEKE), που χρησιμοποιεί σε παράταξη στήλες νερού για να παρέχει αέρα υπό πίεση για παραγωγή ισχύος, ενώ γίνονται προσπάθειες για την ανάπτυξη μιας σύνθετης διάταξης για την εκμετάλλευση της κυματικής και της αιολικής ενέργειας ταυτόχρονα (WEC, 2007).

### 4.7.3 Χώρες εκτός Ευρώπης

Προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης τεχνολογίας για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας διεξάγονται και σε χώρες εκτός Ευρώπης. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι δραστηριότητες σε κάποιες χώρες με αξιόλογη δράση, στις οποίες ορισμένες διατάξεις, που έχουν αναπτυχθεί, έχουν συνδεθεί σε δίκτυα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και κάποιες οδεύουν προς την εμπορευματοποίηση.

#### 4.7.3.1 Κίνα

Η έρευνα και η ανάπτυξη τεχνολογιών κυματικής ενέργειας στην Κίνα ξεκίνησε προς το τέλος της δεκαετίας του '70 και εκτελείται κυρίως από το Ινστιτούτο Μετατροπής της Ενέργειας της Γκουανγκζού (GIEC), με την υποστήριξη της κινεζικής κυβέρνησης, σε συνεργασία με άλλα εθνικά και διεθνή ερευνητικά ιδρύματα. Μέχρι σήμερα, οι κύριοι τύποι μετατροπέων κυματικής ενέργειας στην Κίνα είναι: OWC ακτογραμμής, πλωτά OWC Buoy και pendulous (IEA-OES, 2002).

Στις σημαντικότερες δραστηριότητες περιλαμβάνονται (Zhang et al., 2009):

- Η πρώτη πειραματική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 3 kW, που ξεκίνησε τη λειτουργία της το 1990, στο νησί Dawanshan και είναι τύπου OWC ακτογραμμής. Το Φεβρουάριο του 1996, αναβαθμίστηκε με τη χρήση ενός στροβίλου ισχύος 20 kW, με σκοπό την περαιτέρω ανάπτυξή της σε απομακρυσμένα νησιά.
- Η εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας στην πόλη Shanwei, τύπου μετατροπέα OWC με 2 αεροθαλάμους και ισχύ 100 kW, ως διάδοχος της προηγούμενης διάταξης (εικ. 31). Η λειτουργία της ξεκίνησε το 2001 και η ανάπτυξή της χρηματοδοτήθηκε από εθνικό Πρόγραμμα.
- Ο σημειακός πλωτήρας Central – Duct OWC buoy (CDB), που μετατρέπει την καθ' ύψος κίνηση, μέσω μηχανικών ή υδραυλικών συστημάτων, σε γραμμική ή περιστροφική για την κίνηση μιας ηλεκτρικής γεννήτριας. Πάνω από 700 CDBs των 10W έχουν τοποθετηθεί για χρήση σε λιμάνια και φάρους από το 1992. Την ίδια περίοδο, ο πλωτήρας Backward – Bent – Duct Buoy (BBDB), ισχύος 5 kW και μεγαλύτερης αποδοτικότητας, τοποθετήθηκε στις εκβολές του ποταμού Pearl (εικ. 32).
- Δύο διατάξεις Pendulous ισχύος 8 kW και 30 kW, που εγκαταστάθηκαν στην περιοχή Jimo της περιφέρειας Shandong.



(Πηγή: Zhang et al., 2009)

Εικόνα 31. Εγκατάσταση OWC 100 kW στην Κίνα

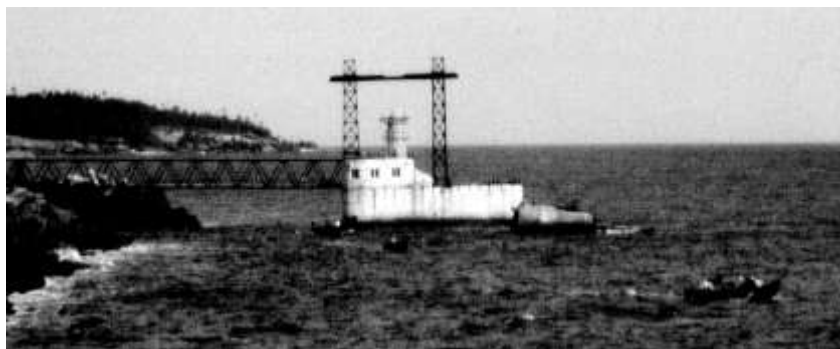


(Πηγή: Zhang et al., 2009)

Εικόνα 32. Backward – Bent – Duct Buoy (BBDB)

#### 4.7.3.2 Ινδία

Στην Ινδία το Πρόγραμμα Κυματικής Ενέργειας ξεκίνησε το 1983 στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας (ΙΙΤ), με την κυβερνητική υποστήριξη. Η έρευνα εστιάστηκε, κυρίως, στην ανάπτυξη διατάξεων τύπου OWC και τον Οκτώβρη του 1991, μία πρωτότυπη διάταξη OWC, ισχύος 150 kW (εικ. 33), ενσωματώθηκε στον κυματοθραύστη του αλιευτικού καταφυγίου Vizhinjam, κοντά στο Trivandrum. Η εγκατάσταση λειτούργησε με επιτυχία και έδωσε χρήσιμες πληροφορίες για το σχεδιασμό στροβίλων και γεννητριών καλύτερης αποδοτικότητας, με αποτέλεσμα την εγκατάσταση μιας βελτιωμένης διάταξης στην ίδια περιοχή, το 1996 (Graw, 1996, IEA-OES, 2002). Παράλληλα, δημιουργήθηκε ένα νέο σχέδιο για κυματοθραύστες, αποτελούμενο από 10 κεσόν (caisson) με συνολική ονομαστική ισχύ 1,1 MW, χωρίς, όμως, να υλοποιηθεί στην πράξη. Το Εθνικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας Ωκεανών, ως διάδοχος του ΙΙΤ, συνεχίζει την έρευνα στην κυματική ενέργεια (WEC, 2007).



(Πηγή: Graw, 1996)

Εικόνα 33. Ο κυματοθραύστης και WEC τύπου OWC στο Trivandrum, Ινδία

### 4.7.3.3 Ιαπωνία

Η Ιαπωνία, παρά τα χαμηλά επίπεδα κυματικού δυναμικού που παρουσιάζει, 6–7 kW/m κοντά στην ακτογραμμή, έχει συμβάλει σημαντικά στην έρευνα και ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας και είναι μέλος της *Συμφωνίας Εφαρμογής για την Ενέργεια των Ωκεανών* του ΙΕΑ. Στο Κέντρο Θαλασσιών Επιστημών και Τεχνολογίας της Ιαπωνίας (JAMSTEC) μελετήθηκε μία από τις πρώτες διατάξεις κυματικής ενέργειας, η πλωτή OWC ‘Kaimei’, και στη συνέχεια, το 1989, η ‘Mighty Whale’ (βλ. κεφ. 4.6.3.6). Παράλληλα, ενδιαφέρον παρατηρείται για την ανάπτυξη στροβίλων αέρος (air turbine) ([www.jamstec.go.jp](http://www.jamstec.go.jp), IEA-OES, 2002).

Στις σημαντικότερες διατάξεις, που αναπτύχθηκαν στην Ιαπωνία, εκτός των ανωτέρω, περιλαμβάνονται (WEC, 2007):

- Η OWC εγκατάσταση ακτογραμμής, που αναπτύχθηκε το 1983 στο Sanze για ερευνητικούς σκοπούς, ισχύος 40 kW
- Η OWC εγκατάσταση με 5 θαλάμους, ισχύος 60 kW, που χτίστηκε ως μέρος του τοίχους του λιμανιού στη Sakata το 1989 (εικ. 34)
- Η OWC διάταξη ισχύος 130 kW που ενσωματώθηκε σε κυματοθραύστη στη Επαρχία της Fukushima το 1996
- Ο πλωτήρας OWC γνωστός ως Backward – Bent – Duct Buoy (BBDB), που αναπτύχθηκε το 1987 στην Ιαπωνία, ενώ συνεχίζεται η μελέτη του σε συνεργασία με Ινστιτούτα στην Κίνα και την Ιρλανδία
- Η διάταξη Pendulor, που μελετήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της πόλης Murooran.



(Πηγή: [www.uni-leipzig.de](http://www.uni-leipzig.de))

Εικόνα 34. Ο κυματοθραύστης OWC στη Sakata, Ιαπωνία

#### 4.7.3.4 ΗΠΑ

Στις ΗΠΑ, για αρκετό διάστημα, δεν υπήρχε επίσημο ενδιαφέρον και κυβερνητική υποστήριξη για την κυματική ενέργεια. Η έρευνα στον τομέα αυτό, που διεξαγόταν, κυρίως, από διάφορες βιομηχανικές επιχειρήσεις, δεν είχε προχωρήσει πέρα από το σχεδιαστικό επίπεδο. Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον έχει αναζωπυρωθεί, τόσο σε εθνικό όσο και σε περιφερειακό επίπεδο, και ορισμένες εταιρίες έχουν αναπτύξει διατάξεις ικανές για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (WEC, 2007).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εταιρία Ocean Power Technologies, που μετά από χρόνια έρευνας και μελέτης, έχει αναπτύξει τον μετατροπέας OPT WEC (PowerBuoy) (βλ. κεφ. 4.6.3.5). Έχοντας σε λειτουργία απλές διατάξεις, ισχύος 40 kW, στη Χαβάη και το New Jersey, ετοιμάζει το πάρκο παραγωγής ενέργειας 1,39 MW στην Ισπανία και σχεδιάζει ένα άλλο, ισχύος 5 MW στη Μεγάλη Βρετανία ([www.oceanpowertechnologies.com](http://www.oceanpowertechnologies.com)).

Επίσης, η εταιρία Independent Natural Resources, Inc (INRI) έχει αναπτύξει τη διάταξη SEADOG pump (εικ. 35), που έχει την ικανότητα, μέσω μιας υδραυλικής αντλίας, να παράγει ηλεκτρική ενέργεια και πόσιμο νερό. Μια πρωτότυπη διάταξη δοκιμάστηκε με επιτυχία στη θάλασσα, στον Κόλπο του Μεξικού, και σχεδιάζεται η ανάπτυξη μια εγκατάστασης 16 διατάξεων και ισχύος 500 kW στις ακτές της Καλιφόρνιας ([www.inri.us](http://www.inri.us)).



(Πηγή: [www.inri.us/gulf](http://www.inri.us/gulf))

Εικόνα 35. Η διάταξη SEADOG στον κόλπο του Μεξικού

#### 4.7.3.5 Καναδάς

Ο Καναδάς δε θεωρείται παραδοσιακά ως μια χώρα με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την κυματική ενέργεια. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές ενέργειες για την ανάπτυξη και εκμετάλλευσή της. Ένα σημαντικό βήμα ήταν και η συμμετοχή του στη *Συμφωνία Εφαρμογής για την Ενέργεια των Ωκεανών* του ΙΕΑ. Παράλληλα, αρκετοί οργανισμοί, πανεπιστήμια και βιομηχανίες έχουν ιδρύσει τον Όμιλο για την Ενέργεια των Ωκεανών ‘*Ocean Renewable Energy Group*’, με την κυβερνητική υποστήριξη,



προκειμένου να προωθήσουν την κυματική και παλιρροιακή ενέργεια στον Καναδά (WEC, 2004).

Η εταιρία Finavera Renewables το Σεπτέμβριο του 2007 εγκατέστησε με επιτυχία το μετατροπέα AquaBuOY 2.0 (εικ. 36) σε πλήρη κλίμακα, ισχύος 250 kW, σε απόσταση 2,5 ν. μίλια από τις ακτές του Newport στο Όρεγκον. Στόχος της εγκατάστασης αυτής δεν ήταν η παραγωγή ενέργειας για εμπορική χρήση, αλλά η παρακολούθηση και ανάλυση της παραγόμενης ισχύς για την περαιτέρω βελτίωση της διάταξης. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2010 θα έχει ξεκινήσει από την εταιρία η εγκατάσταση ενός πάρκου κυματικής ενέργειας στις δυτικές ακτές της Βόρειας Αμερικής ([www.finavera.com](http://www.finavera.com)).



(Πηγή: [www.finavera.com](http://www.finavera.com))

Εικόνα 36. Η διάταξη AquaBuOY 2.0 το Σεπτέμβριο του 2007

#### **4.7.3.6 Αυστραλία**

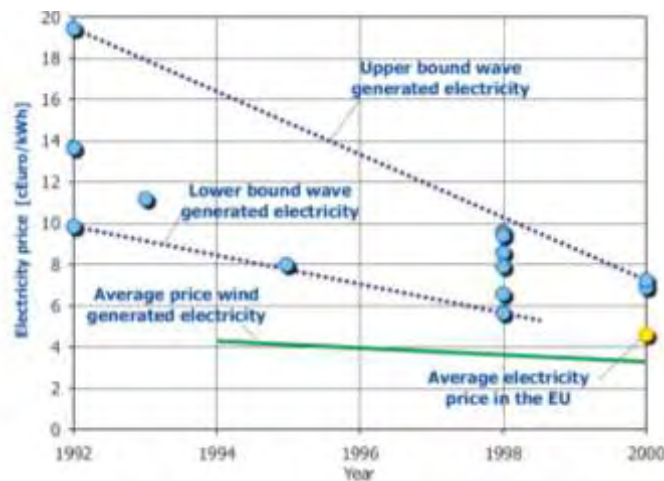
Η Αυστραλία έχει από το 1998 αναπτύξει νομοθεσία για την προώθηση των ΑΠΕ. Αν και λίγες επενδύσεις έχουν γίνει για κυματική ενέργεια, αυτές έχουν οδηγήσει σε κάποιες αξιόλογες τεχνολογίες, ορισμένες εκ των οποίων χρησιμοποιούν την κυματική ενέργεια για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού και την παραγωγή πόσιμου νερού, μέσω ενός συστήματος αντίστροφης όσμωσης (RO). Η εταιρία Energetech με την κυβερνητική υποστήριξη, μέσω του Προγράμματος Εμπορευματοποίησης των ΑΠΕ, έχει αναπτύξει μια πρωτότυπη διάταξη τύπου OWC στο λιμάνι Port Kembla, ενώ έχουν αποκτηθεί όλες οι απαραίτητες άδειες για την εγκατάσταση ενός πάρκου κυματικής ενέργειας ισχύος 27 MW στο Πόρτλαντ. Άλλες εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο είναι η BioPower Systems και η Seapower Pacific Pty (IEA-OES, 2002, WEC, 2007).

#### 4.8 ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον για την κυματική ενέργεια έχει αναζωπυρωθεί. Αναδυόμενες εταιρείες στον τομέα της κυματικής ενέργειας έχουν συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών κυματικής ενέργειας, όπως η Pelamis, η Archimedes Wave Swing και η Wave Dragon.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η συμβολή της κυματικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού θα μπορούσε να φτάσει τις 2.000 TWh/year, δηλαδή σε ποσοστό 10 % της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρισμού. Κάτι τέτοιο βέβαια θα απαιτούσε επενδύσεις άνω των £ 800 δισεκατομμυρίων (Thorpe, 1999a, Thorpe, 1999b).

Έχει υπάρξει ιδιαίτερη συζήτηση για το πραγματικό κόστος της κυματικής ενέργειας και το πιθανό μελλοντικό. Σύμφωνα με στοιχεία ως το έτος 2000 (CRES, 2002, WEC, 2004, Clement et al., 2002) το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού από διατάξεις κυματικής ενέργειας εμφανίζει σημαντική βελτίωση από τα προηγούμενα είκοσι χρόνια. Για την ΕΕ η μέση τιμή του ανέρχεται περίπου στα 0,08 €/kWh (γραφ. 4). Σε σχέση με τη μέση τιμή παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία είναι περίπου 0,04 €/kWh, η τιμή του ηλεκτρισμού που παράγεται από την κυματική ενέργεια παραμένει υψηλή, αλλά με την ανάπτυξη της τεχνολογίας προβλέπεται ότι θα πέσει ακόμα περισσότερο.



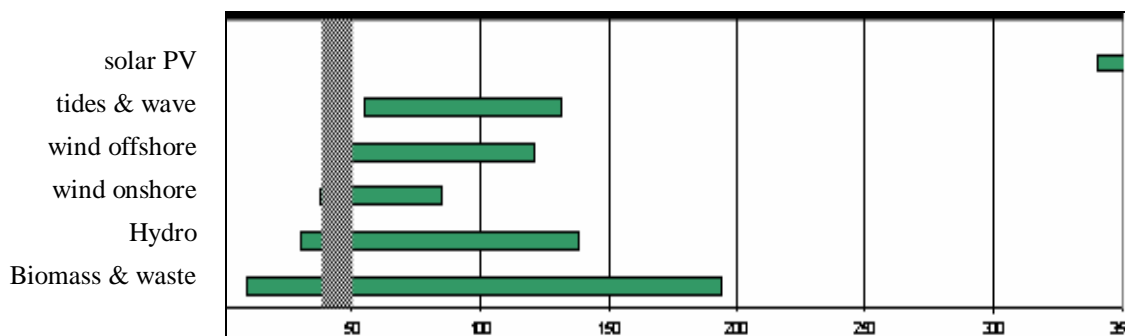
(Πηγή: CRES, 2002)

Γράφημα 4. Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από διατάξεις κυματικής ενέργειας

Η περαιτέρω μείωση του κόστους της κυματικής ενέργειας μπορεί να επιταχυνθεί με μια αρχική οικονομική υποστήριξη και την υποστήριξη της αγοράς, όπως συνέβη κατά το παρελθόν και με προηγούμενες τεχνολογίες, όπως η αιολική και η πετρελαϊκή και τα φωτοβολταϊκά. Στο *Χάρτη πορείας για τια Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας* της

Ευρωπαϊκής Ένωσης αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι: «Την τελευταία εικοσαετία είναι συνεχής και σημαντική η μείωση του κόστους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εν αντιθέσει προς το κόστος των συμβατικών πηγών. Για παράδειγμα, το κόστος της αιολικής ενέργειας ανά κιλοβατώρα έχει μειωθεί κατά 50% την τελευταία δεκαπενταετία, ενώ, το ίδιο χρονικό διάστημα, το μέγεθος των ανεμογεννητριών έχει δεκαπλασιαστεί. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι σήμερα περισσότερο από 60% φθηνότερα απ' ό,τι ήταν το 1990» (Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2007).

Στο γράφημα 5 που ακολουθεί φαίνεται το μέσο κόστος ηλεκτροπαραγωγής (€/MWh) των ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται σήμερα σε σύγκριση με την τιμή των στερεών καυσίμων στην Ευρώπη. Η μεγάλη διακύμανση των τιμών των ΑΠΕ είναι συνάρτηση του ενεργειακού φορέα και της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται. Το μέσο κόστος παραγωγής από αιολική ενέργεια ανέρχεται στα 65 €/MWh, ενώ από φωτοβολταϊκά σε 650 €/MWh (Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2007). Συγκρινόμενο με το τελευταίο, το κόστος της κυματικής ενέργειας είναι κατά πολύ μικρότερο, αλλά δεν μπορεί να ανταγωνιστεί ακόμα καθιερωμένες μορφές, όπως αιολική ή η υδροηλεκτρική.



(Πηγή: Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2007)

Γράφημα 5. Μέσο κόστος ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην Ευρώπη<sup>3</sup>

Είναι γεγονός ότι το κόστος παραγωγής κυματικής ενέργειας των πρωτότυπων διατάξεων είναι υψηλό, καθώς περιλαμβάνει όλα συσχετιζόμενα κόστη, πχ άδειες, έρευνες, μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, σύνδεση σε δίκτυο. Παράλληλα, η τεχνολογία της κυματικής ενέργειας δεν είναι ακόμα ώριμη και ως εκ τούτου θα αποδώσει λιγότερο από τις τεχνολογίες επόμενης γενιάς. Το κόστος των πρωτότυπων διατάξεων μπορεί να είναι διπλάσιο ή και τριπλάσιο από αυτό των επόμενων πιο ώριμων διατάξεων και αυτών που βρίσκονται σε παράταξη (WEC, 2004).

<sup>3</sup> Στη τιμή ηλεκτροπαραγωγής από στερεά καύσιμα δε συμπεριλαμβάνεται το εξωτερικό κόστος

## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αναμενόμενη αύξηση του πληθυσμού τα επόμενα χρόνια, η τεχνολογική πρόοδος και η προσπάθεια των λαών να βελτιώσουν το βιοτικό τους επίπεδο θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως. Προβλήματα που σχετίζονται τόσο με την επάρκεια των ενεργειακών πόρων, όσο κυρίως με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και την κλιματική αλλαγή στον πλανήτη γίνονται πιο έντονα από κάθε άλλη φορά.

Στο δρόμο για την πρόληψη και αντιμετώπισή τους προβάλλουν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ως ο μόνος ανεξάντλητος ενεργειακός τομέας, με σχεδόν μηδαμινές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε επίπεδο κύκλου ζωής. Μεταξύ αυτών είναι και η ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.

Η θάλασσα είναι μία ανεξάντλητη πηγή με εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα, την υψηλότερη μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η εκμετάλλευσή της θα μπορούσε να καλύψει ένα σημαντικό μέρος των αναγκών σε πολλές χώρες της Ευρώπης, αλλά και σε άλλες περιοχές του κόσμου. Οι ευρωπαϊκές χώρες με τα υψηλότερα επίπεδα κυματικής ενέργειας είναι η Μ. Βρετανία, η Ιρλανδία, η Πορτογαλία και η Νορβηγία. Παράλληλα, έντονο κυματικό δυναμικό εμφανίζεται στις ακτές του Καναδά και των ΗΠΑ, καθώς, και στις νότιες ακτές της Αφρικής, της Αυστραλίας και της Ν. Αμερικής.

Η επίμονη προσπάθεια, η έρευνα των τελευταίων τριάντα χρόνων στον τομέα αυτό, η εμπειρία που έχει αποκτηθεί και το ενδιαφέρον των κυβερνήσεων και της βιομηχανίας έχουν οδηγήσει σήμερα σε εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα σημαντικό αριθμό διατάξεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα κύματα, ενώ έχει μειωθεί σημαντικά το κόστος παραγωγής της. Αν και είναι ακόμα υψηλό, συγκρινόμενο με τις συμβατικές πηγές ενέργειας και με άλλες ανανεώσιμες, προβλέπεται να μειωθεί ακόμα περισσότερο, με τη βελτίωση των τεχνολογιών, καθιστώντας τη μελλοντικά μια ανταγωνιστική μορφή ενέργειας. Ήδη, σήμερα λειτουργεί στην Πορτογαλία το πρώτο πάρκο παραγωγής κυματικής ενέργειας εμπορικής κλίμακας.

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με χαμηλότερο κυματικό δυναμικό, που θα μπορούσε όμως να αξιοποιηθεί και να συνεισφέρει σημαντικά στην ηλεκτροδότηση πολλών νησιών στο Αιγαίο Πέλαγος. Τεχνολογίες κυματικής ενέργειας και ταυτόχρονα παροχής πόσιμου νερού θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, ενώ παράλληλα εγκαταστάσεις

κυματικής ενέργειας θα μπορούσαν με κατάλληλο σχεδιασμό να λειτουργήσουν συγχρόνως και σαν κυματοθραύστες μειώνοντας έτσι το κόστος κατασκευής.

Η κυματική ενέργεια είναι ένας νεοαναδυόμενος και πολλά υποσχόμενος τομέας ενέργειας. Χρειάζονται πολιτικές στήριξης και προώθησής της στην αγορά και περαιτέρω χρηματοδότηση της έρευνας και της ανάπτυξης τεχνολογιών. Παράλληλα, είναι αναγκαία, η συνεργασία Πανεπιστημίων, Ερευνητικών Κέντρων και Βιομηχανίας, η ανταλλαγή πρακτικών και πληροφοριών και η πλήρης αξιοποίηση των παρεχόμενων χρηματοδοτικών μέσων, ώστε τα επόμενα πέντε με δέκα χρόνια να έχει υπολογίσιμο μερίδιο στη βιώσιμη παραγωγή ηλεκτρική ενέργειας.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

### ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

Μονάδα μέτρησης ενέργειας (έργο ή θερμότητα)	Σχέσεις με άλλες μονάδες
J = Joule	1 J = 1 N*m
KJ = Kilojoule	1 KJ = 10 <sup>3</sup> J
MJ = Megajoule	1 MJ = 10 <sup>6</sup> J
GJ = Gigajoule	1 GJ = 10 <sup>9</sup> J = 278 KWh
EJ = Exajoule	1 EJ = 10 <sup>18</sup> J
Cal = Calorie	1 Cal = 4,18 J θερμότητας
Btu = British thermal units	1 Btu = 1,044 KJ
TEP = Tonne Equivalent Petrole	1 TEP = 41,8 GJ
KWh = Kilowatthour	1 KWh = 3,6 MJ
barrel	1 barrel = 0,137 TEP
quad	1 quad = 10 <sup>15</sup> Btu = 1,044 EJ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

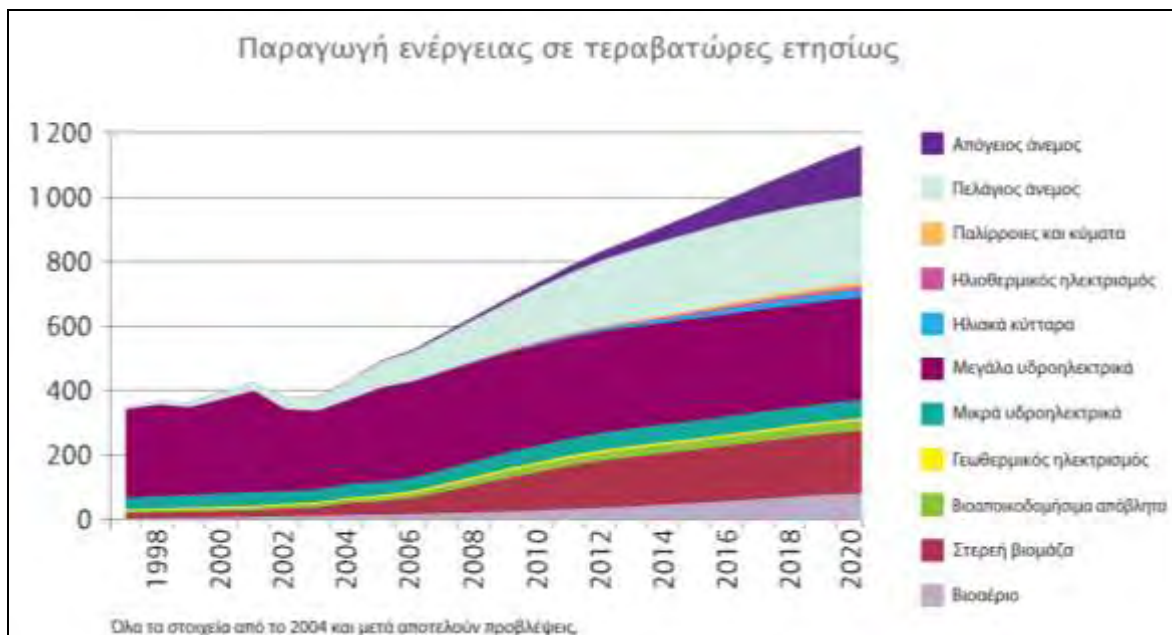
ΕΘΝΙΚΟΙ ΣΥΝΟΛΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΡΙΔΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟ 2020<sup>4</sup>

	Μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2005	Στόχος για το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2020
Βέλγιο	2,2 %	13 %
Βουλγαρία	9,4 %	16 %
Τσεχική Δημοκρατία	6,1 %	13 %
Δανία	17,0 %	30 %
Γερμανία	5,8 %	18 %
Εσθονία	18,0 %	25 %
Ιρλανδία	3,1 %	16 %
Ελλάδα	6,9 %	18 %
Ισπανία	8,7 %	20 %
Γαλλία	10,3 %	23 %
Ιταλία	5,2 %	17 %
Κύπρος	2,9 %	13 %
Λεττονία	32,6 %	40 %
Λιθουανία	15,0 %	23 %
Λουξεμβούργο	0,9 %	11 %
Ουγγαρία	4,3 %	13 %
Μάλτα	0,0 %	10 %
Κάτω Χώρες	2,4 %	14 %
Αυστρία	23,3 %	34 %
Πολωνία	7,2 %	15 %
Πορτογαλία	20,5 %	31 %
Ρουμανία	17,8 %	24 %
Σλοβενία	16,0 %	25 %
Σλοβακική Δημοκρατία	6,7 %	14 %
Φινλανδία	28,5 %	38 %
Σουηδία	39,8 %	49 %
Ηνωμένο Βασίλειο	1,3 %	15 %

<sup>4</sup> Για να είναι δυνατή η επίτευξη των εθνικών στόχων που εκτίθενται στο παρόν παράρτημα, τονίζεται ότι οι κατευθυντήριες γραμμές περί κρατικών ενισχύσεων για την περιβαλλοντική προστασία αναγνωρίζουν τη διαρκή ανάγκη για εθνικούς μηχανισμούς στήριξης της προαγωγής της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

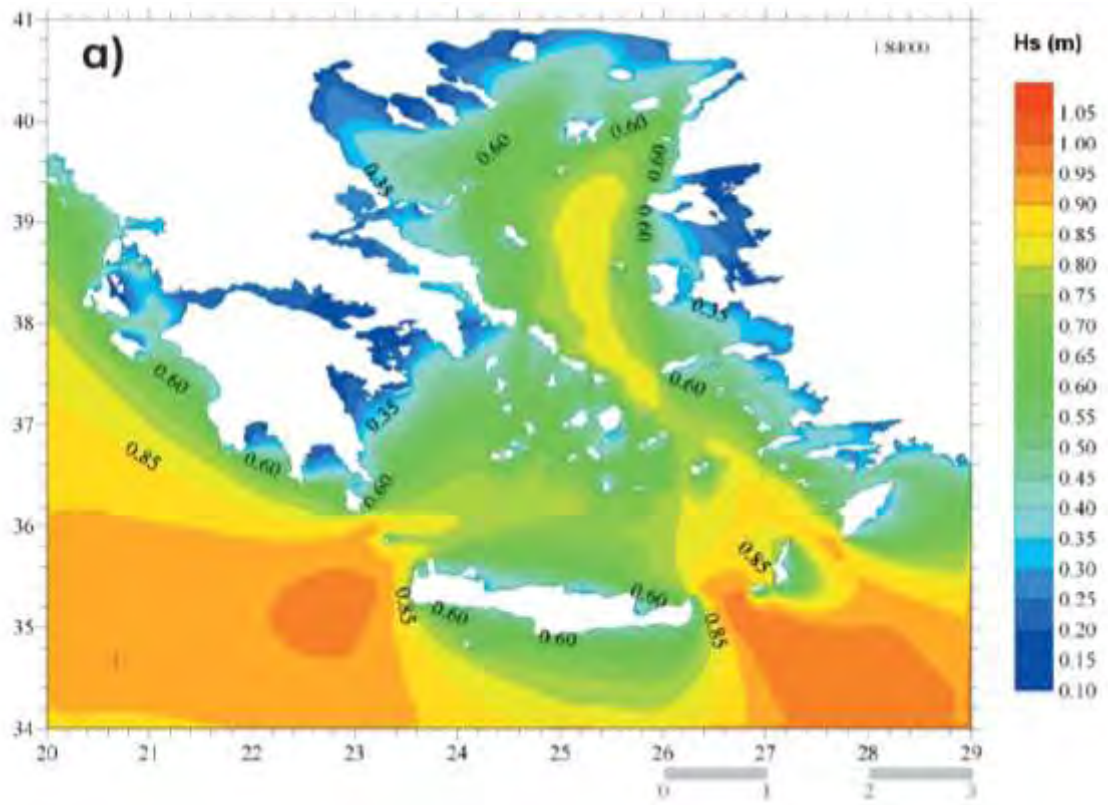
### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

#### ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ «ΠΡΑΣΙΝΟΥ» ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΕ





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΕΤΗΣΙΟΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ<sup>5</sup> ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ

(Πηγή: Papathanassiou & Zenetos, 2005)

<sup>5</sup> Σαν σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  ορίζεται η μέση τιμή του ανώτερου 33 % των υψών κύματος, μια τιμή που κατέχει σημαντική θέση στην καταγραφή και ανάλυση των κυμάτων (Κουτίτας, 1998).

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Βαβίζος Γ., Μερτζάνης Α. “Περιβάλλον – Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων”. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2002.
2. Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, “Χάρτης πορείας για τια Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τον 21<sup>ο</sup> αιώνα: συμβολή στην ενίσχυση της αειφορίας”, Ανακοίνωση της Επιτροπής στο Συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο Βρυξέλλες, 2007.
3. Ζερεφός Χρ., “Μαθήματα Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Φυσικής του Περιβάλλοντος”. Εκδόσεις ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 1984
4. Κατσιφαράκης Κ., “Διαχείριση Ενεργειακών Πόρων – Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις”, στο Κατσιφαράκης Κ. και Μυλόπουλος Γ. “Αποτίμηση και διαχείριση του περιβάλλοντος”, Σημειώσεις Μαθήματος, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2002.
5. Κούγκολος Α. “Εισαγωγή στην περιβαλλοντική μηχανική”. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2005.
6. Κουτίτας Χρ. “Εισαγωγή στην παράκτια τεχνική και τα λιμενικά έργα”. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1998
7. Κυρουλή Β. και Παπαχρήστου Ι. “Μοντελοποίηση και μελέτη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με χρήση υπολογιστικών συστημάτων”. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρ. Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2008
8. Λεμονής Γ. “Κυματική ενέργεια στην Ευρώπη. Εθνικές δραστηριότητες και προοπτικές αξιοποίησης”, 2002. 7<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Πάτρα, 2002. [on line], διαθέσιμο στην [http://vergina.eng.auth.gr/...%20ENERGEIA%20KYMMATWN/03-Lemonis\\_\\_\\_KYMATIKH%20ENERGEIA%20.pdf](http://vergina.eng.auth.gr/...%20ENERGEIA%20KYMMATWN/03-Lemonis___KYMATIKH%20ENERGEIA%20.pdf) [τελευταία επίσκεψη: 6-4-2009]
9. Μυλόπουλος Γ., “Βιώσιμη Ανάπτυξη και Περιβάλλον”, στο Κατσιφαράκης Κ. και Μυλόπουλος Γ. “Αποτίμηση και διαχείριση του περιβάλλοντος”, Σημειώσεις Μαθήματος, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2002.

10. Νικολάου Κ., “Ατμοσφαιρική ρύπανση, κλιματική αλλαγή και περιβαλλοντικός σχεδιασμός”, Σημειώσεις Επιμορφωτικού Προγράμματος, ΕΚΔΔΑ, Διαχείριση Φυσικού Περιβάλλοντος και προστατευομένων περιοχών, Σύρος, 2008
11. ΝΟΜΟΣ 3468/2006, “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις” .
12. ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ, σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ 2003/30/ΕΚ.
13. Σουκισιάν Τ. και Προσπαθόπουλος Α., “Εφαρμογή του Κυματικού Μοντέλου 3ης Γενιάς WAM-Cycle 4 στο Αιγαίο Πέλαγος”. Τεχνικά Χρονικά, Επιστ. Εκδόσεις ΤΕΕ, IV, τεύχ. 1-2, 2003
14. ΥΠΕΧΩΔΕ, “Εθνική Έκθεση για την Εφαρμογή της Σύστασης 2002/413/ΕΚ”, Αθήνα, 2006
15. Χαβιαρόπουλος Π., Βιώνης Π., Δημούδη Α, Καρύτσας Κ., Λεμονής Γ., Λυμπερόπουλος Ν., Πανούτσου Κ, Πρωτογερόπουλος Χ., “Πρόσφατες Τεχνολογικές εξελίξεις στις ΑΠΕ”, 2001. 2ο Εθνικό Συνέδριο «Η Εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Προτεραιότητες σε Συνθήκες Απελευθερωμένης Αγοράς», Αθήνα, 2001 [on line], διαθέσιμο στην [http://62.103.39.56:8080/ketakemak\\_images/TECHNOLOGIKESEXELEISSION\\_TAAPE\\_F29858.pdf](http://62.103.39.56:8080/ketakemak_images/TECHNOLOGIKESEXELEISSION_TAAPE_F29858.pdf) [τελευταία επίσκεψη: 6-6-2009]
16. Afgan N. H., Gobaisi D. A., Carvalho M. G., Cumo M. “Sustainable energy development”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2 (3)**, pp. 235-286, 1998
17. Clement A., McCullen P., Falcao A., Fiorentino A, Gardner F, Hammarlund K., Lemonis G., Lewis T., Nielsen K., Petroncini S, Pontes M.-T., Schild P., Sjostrom B.-O., Sorenson H. C., Thorpe T. “Wave energy in Europe: current status and future perspectives”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **6 (5)**, pp. 405-431, 2002
18. CRES, “Wave energy utilization current status and perspectives wave energy”. Brochure, 2002. [on line], available from: [www.cres.gr/kape/pdf/.../Wave%20Energy%20Brochure.pdf](http://www.cres.gr/kape/pdf/.../Wave%20Energy%20Brochure.pdf) [accessed: 5-5-2009]

19. Cruz J. and Sarmento A., “Sea state characterisation of the test site of an offshore wave energy plant”. *Ocean Engineering*, **34 (5-6)**, pp 763–775, 2007
20. Cruz J., “Ocean wave energy - current status and future perspectives”. Springer Verlag. Victoria, Canada, 2008.
21. Dincer I., “Renewable energy and sustainable development: a crucial review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **4 (2)**, pp. 157-175, 2000
22. European Commission, “Combating climate change – The EU leads the way”, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2008. [on line], available from: <http://ec.europa.eu/publications/booklets/move/75/en.pdf> [accessed: 4-9-2009]
23. Folley M, Curran R, Whittaker T, “Comparison of LIMPET contra-rotating wells turbine with theoretical and model test predictions”. *Ocean Engineering*, **33 (8-9)**, pp. 1056–1069, 2006
24. Graw K-U, 1996. “Wave Energy Breakwaters – A Device Comparison”, Conference in Ocean Engineering, Madras, India, 1996
25. Harries D., McHenry M., Jennings P. and Thomas C., “Hydro, tidal and wave energy in Australia”, 2006. *International Journal of Environmental studies*, **63 (6)**, pp. 803 — 814 [on line], available from: <http://www.citeulike.org/user/marikami/article/3514933> [accessed: 5-8-2009]
26. Heath T., “Realities of wave Technology”, 2007. [on line], available from: [www.wavegen.co.uk/pdf/art1727.pdf](http://www.wavegen.co.uk/pdf/art1727.pdf) [accessed: 26-4-2009]
27. Henderson R., “Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis wave energy converter”. *Renewable Energy*, **31 (2)**, pp 271-283, 2006
28. IEA-OES, “Wave and marine current energy – Status and research and development priorities – 2003 ”. DTI report number FES-R-132, 2002. [on line], available from: [http://www.iea-oceans.org/\\_fich/6/IEA-OES\\_Wave\\_and\\_Tidal\\_report.pdf](http://www.iea-oceans.org/_fich/6/IEA-OES_Wave_and_Tidal_report.pdf) [accessed: 25-4-2009]
29. Kofoed J., Frigaadr P., Friis-Madsen E. and Sorensen H., “Prototype testing of wave energy converter wave dragon”. *Renewable Energy*, **31 (2)**, pp 181-189, 2006
30. Lemonis G., “Wave and tidal energy conversion”. *Encyclopedia of Energy*, **6**, pp. 385-396, 2004

31. Margheritini L., Vicinanza D. and Frigaard P., “SSG wave energy converter: Design, reliability and Hydraulic performance of an innovative overtopping device”. *Renewable Energy*, **34** (5), pp 1371-1380, 2009
32. McCorimick M. E., “Ocean wave energy conversion”. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981.
33. Omer A.M., “Energy Environment and Sustainable Development”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **12** (9), pp. 2265-2300, 2008
34. Papathanassiou E. & Zenetos A., “State of the Hellenic Marine Environment”, Institute of Oceanography, Athens, 2005
35. Population Reference Bureau, “2008 World population Data Sheet”, August 2008. [on line], available from: [http://www.prb.org/pdf08/08WPDS\\_Eng.pdf](http://www.prb.org/pdf08/08WPDS_Eng.pdf) [accessed: 10-5-2009]
36. QUB, “Islay Limpet Wave Power Plant”, Publishable Report, 2002. [on line], available from: <http://www.wavegen.co.uk/pdf/LIMPET%20publishable%20report.pdf> [accessed: 17-5-2009]
37. Soerensen H.C., Hansen R., Friis-Madsen E., Panhauser W., Mackie G., Hansen H.H, Frigaard P., Hald T., Knapp W., Keller J., Holmén E., Holmes B., Thomas G., Rasmussen P. and Krogsgaard J., “The Wave Dragon - Now Ready for Test in Real Sea” [on line], available from: [http://www.wave-energy.net/Library/WaveDragon\\_dec\\_2000.pdf](http://www.wave-energy.net/Library/WaveDragon_dec_2000.pdf) [accessed: 10-7-2009]
38. Tedd J. and Kofoed J., “Measurements of overtopping flow time series on the Wave Dragon, wave energy converter”. *Renewable Energy*, **34** (3), pp 711-717, 2009
39. Thorpe T.W., “A brief review of wave energy”, ETSU Report R-122 for the UK Department of Trade and Industry, 1999a. [on line], available from: <http://www.mech.ed.ac.uk/research/wavepower/Tom%20Thorpe/Tom%20Thorpe%20report.pdf> [accessed: 13-4-2009]
40. Thorpe T.W., “An overview of wave energy technologies: status, performance and costs - Wave power: moving towards commercial viability”. IMECHE Seminar, London, UK, 1999b. [on line], available from: <http://www.wave-energy.net/Library/An%20Overview%20of%20Wave%20Energy.pdf> [accessed: 13-4-2009]

41. Thorpe T. W., “The Wave Energy Programme in the UK and the European Wave Energy Network”, Fourth European Wave Energy Conference, Denmark, October 2000. [on line], available from: <http://www.wave-energy.net/Library/The%20Wave%20Energy%20Programme.pdf> [accessed: 19-6-2009]
42. Thorpe T. W., “The UK market for Marine renewables”, All – Energy futures Conference, Aberdeen, 2001. [on line], available from: <http://www.wave-energy.net/Library/The%20UK%20Market%20for%20Marine%20Renewables.pdf> [accessed: 20-5-2009]
43. Valerio D., Beirao P. and Sa da Costa J., “Optimisation of wave energy extraction with the Archimedes Wave Swing”. *Ocean Engineering*, **34 (17-18)**, pp 2330–2344, 2007
44. WaveNet, “Results from the work of the European thematic network on wave energy”, Project through the Energy, Environment and Sustainable Development Programme, European Community, Full Report, 2003. [on line], available from: [http://www.wave-energy.net/Library/WaveNet%20Full%20Report\(11.1\).pdf](http://www.wave-energy.net/Library/WaveNet%20Full%20Report(11.1).pdf) [accessed: 17-5-2009]
45. WAVEGEN, “Islay Limpet Project Monitoring Final Report”, ETSU V/06/00180/00, Crown Copyright, 2002. [on line], available from: <http://www.wavegen.co.uk/pdf/art.1707.pdf> [accessed: 17-5-2009]
46. World Energy Council, “Survey of Energy Resources”, London, 2004. [on line], available from: [www.worldenergy.org/documents/ser2004.pdf](http://www.worldenergy.org/documents/ser2004.pdf) [accessed: 17-7-2009]
47. World Energy Council, “Survey of Energy Resources”, London, 2007. [on line], available from: [www.worldenergy.org/documents/ser2007\\_final\\_online\\_version\\_1.pdf](http://www.worldenergy.org/documents/ser2007_final_online_version_1.pdf) [accessed: 13-4-2009]
48. World Energy Council, “Survey of Energy Resources Interim Update 2009”, London, 2009. [on line], available from: [www.worldenergy.org/documents/ser\\_interim\\_update\\_2009\\_final.pdf](http://www.worldenergy.org/documents/ser_interim_update_2009_final.pdf) [accessed: 17-7-2009]
49. Zhang Dahai, Li Wei and Lin Yonggang, “Wave energy in China: Current status and perspectives”. *Renewable Energy*, **34 (10)**, pp 2089-2092, 2009

## Διευθύνσεις στο Διαδίκτυο

1. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html> [τελευταία επίσκεψη: 6-9-2009]
2. [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/tackling\\_climate\\_change/128060\\_el.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_el.htm) [τελευταία επίσκεψη: 30-8-2009]
3. [http://europa.eu/legislation\\_summaries/energy/](http://europa.eu/legislation_summaries/energy/) [τελευταία επίσκεψη: 30-8-2009]
4. <http://www.fedarene.org/publications/Projects/NEREIDA/NEREIDA%20-%201st%20e-Newsletter/Nereida%20-%20e-Newsletter%201.htm> [τελευταία επίσκεψη: 6-7-2009]
5. <http://www.pico-owc.net/cms.php?page=540&wnsid=7e429d04081276b4b0104547f23fc06c> [τελευταία επίσκεψη: 21-7-2009]
6. [http://hydropower.inel.gov/hydrokinetic\\_wave/pdfs/day1/08\\_overtopping\\_wave\\_devices.pdf](http://hydropower.inel.gov/hydrokinetic_wave/pdfs/day1/08_overtopping_wave_devices.pdf) [τελευταία επίσκεψη: 15-7-2009]
7. <http://www.finavera.com/files/2008-09-06%20Finavera%20Renewables%20deploys%20and%20commissions%20AquaBuOY%202.0.pdf> [τελευταία επίσκεψη: 27-8-2009]
8. <http://www.eu-oea.com> [τελευταία επίσκεψη: 16-8-2009]
9. <http://hydropower.inel.gov> [τελευταία επίσκεψη: 6-7-2009]
10. <http://www.nsnmedia.co.uk> [τελευταία επίσκεψη: 12-8-2009]
11. <http://www.pico-owc.net> [τελευταία επίσκεψη: 24-8-2009]
12. <http://www.oceanlinx.com> [τελευταία επίσκεψη: 25-7-2009]
13. <http://www.awsocan.com> [τελευταία επίσκεψη: 3-7-2009]
14. <http://www.pelamiswave.com> [τελευταία επίσκεψη: 3-9-2009]
15. <http://www.wavedragon.net> [τελευταία επίσκεψη: 3-9-2009]
16. <http://www.oceanpowertechnologies.com> [τελευταία επίσκεψη: 5-9-2009]
17. <http://www.jamstec.go.jp/jamstec/MTD/Whale> [τελευταία επίσκεψη: 7-8-2009]
18. <http://www.wave-energy.net/index3.htm> [τελευταία επίσκεψη: 14-7-2009]
19. <http://www.ca-oe.net> [τελευταία επίσκεψη: 6-9-2009]
20. <http://www.waveplam.eu> [τελευταία επίσκεψη: 27-8-2009]
21. <http://www.emec.org.uk> [τελευταία επίσκεψη: 1-9-2009]
22. <http://www.iea-oceans.org> [τελευταία επίσκεψη: 10-9-2009]
23. <http://www.waveplane.com> [τελευταία επίσκεψη: 14-7-2009]

24. <http://www.wavestarenergy.com> [τελευταία επίσκεψη: 29-8-2009]
25. <http://waveenergy.no> [τελευταία επίσκεψη: 6-4-2009]
26. <http://www.sei.ie> [τελευταία επίσκεψη: 8-9-2009]
27. <http://www.oceanenergy.ie> [τελευταία επίσκεψη: 8-9-2009]
28. <http://www.wavec.org> [τελευταία επίσκεψη: 1-9-2009]
- <http://www.wavehub.co.uk> [τελευταία επίσκεψη: 24-8-2009]
29. <http://www.narec.co.uk> [τελευταία επίσκεψη: 25-8-2009]
30. [www.thecarbontrust.co.uk](http://www.thecarbontrust.co.uk) [τελευταία επίσκεψη: 25-8-2009]
31. <http://www.aquamarinepower.com> [τελευταία επίσκεψη: 3-9-2009]
32. <http://www.wavedragon.co.uk/> [τελευταία επίσκεψη: 18-8-2009]
33. <http://uni-leipzig.de> [τελευταία επίσκεψη: 19-6-2009]
34. <http://inri.us/index.php/SEADOG> [τελευταία επίσκεψη: 25-8-2009]
35. <http://www.maps.marine.ie/wave/default.aspx> [τελευταία επίσκεψη: 1-9-2009]