



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Π.Μ.Σ. ΘΕΟΦΡΑΣΤΕΙΟ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ
ΜΗΧΑΝΙΚΗ**

**ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ
ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΕΣΒΟΥ**

ΚΑΣΙΜΑΤΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Δ. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΠΟΥΛΟΣ

ΜΥΤΙΛΗΝΗ 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	4
3. ΘΕΩΡΙΑ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, ΔΕΔΟΜΕΝΑ, ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	10
3.1 ΘΕΩΡΙΑ	10
3.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	13
3.2.1 Μέρη ανεμογεννήτριας	14
3.2.2 Εγκατάσταση	16
3.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	18
3.3.1 Συσσκευή της Aqua Energy	18
3.3.2 Συσσκευή της OPT	20
3.3.3 Συσσκευή Pelamis	22
3.3.4 Συσσκευή της Marine Current Turbines	24
3.3.5 Συσσκευή Wave dragon	25
3.3.6 Συσσκευή της Wavegen	29
3.3.7 Συσσκευή Sperboy.....	30
3.3.8 Συσσκευές Stingray και EB Front.....	31
3.3.9 Συσσκευή SMD	32
3.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ.....	33
3.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	35
3.6 ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ.....	36
3.6.1 Πηγές δεδομένων	36
3.6.2 Δεδομένα μοντέλων	38
3.6.3 Το ατμοσφαιρικό μοντέλο - ανεμολογικά δεδομένα	38
3.6.4 Το κυματικό μοντέλο WAM	38
3.6.5 Διαχείριση δεδομένων	39
3.6.6 Βαθμονόμηση	40
3.6.7 Ανάλυση της διαδικασίας βαθμονόμησης.....	41
3.6.8 Αιολικά στατιστικά	42
3.6.9 Κυματικά στατιστικά.....	44
3.6.10 Αξιοπιστία του Άτλαντα	48
4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	50
4.1 ΑΙΟΛΙΚΟ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΆΤΛΑΝΤΑ	50
4.2 ΚΥΜΑΤΙΚΟ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΣΕΙΔΩΝ.....	60
4.2.1 Γραφήματα ύψους κύματος.....	61
4.2.2 Γραφήματα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης.....	66

4.2.3 Γραφήματα ταχύτητας ανέμου	71
4.2.4 Γραφήματα διεύθυνσης ανέμου	76
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	82
5.1 ΙΣΧΥΣ ΑΝΕΜΟΥ	82
5.2 ΙΣΧΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	83
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	83
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	87
6.1 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	87
6.2 ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	88
6.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	90
6.4 ΣΥΝΟΨΗ	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	95
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ	96
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	98
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	101
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ	102

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την παρούσα εργασία, γίνεται προσπάθεια να καταγραφούν οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί σε παγκόσμια κλίμακα, για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας καθώς και οι τεχνολογίες των ανεμογεννητριών που εγκαθίστανται στη θάλασσα.

Οι τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται το θαλάσσιο δυναμικό είναι νέες σχετικά και μόλις που αρχίζουν να εμφανίζονται σε μερικές χώρες της Ευρώπης της Ασίας και της Αμερικής. Στην Ελλάδα αυτός ο τομέας είναι σε πρωταρχικό στάδιο και απαιτείται μελέτη πάνω στο θέμα για να διαπιστωθεί πόσο μπορεί να εκμεταλλευτεί η αιολική ενέργεια στη θάλασσα ή και η κυματική ενέργεια.

Στην εργασία καταγράφεται το αιολικό και κυματικό δυναμικό στην περιοχή του Σιγρίου δυτικά της Λέσβου, ώστε να ελεγχθεί η δυνατότητα εγκατάστασης αιολικού πάρκου στη θάλασσα, και εγκατάσταση εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στην περιοχή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική έρευνα και παρουσιάζονται κάποια αποτελέσματα από εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί στον τομέα της εκμετάλλευσης του ανέμου στη θάλασσα και της ενέργειας που παράγεται από τα κύματα. Γίνεται επίσης μια αποτύπωση του ενεργειακού συστήματος της Λέσβου με τις ιδιαιτερότητες και τα προβλήματα που εμφανίζει.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι τεχνολογίες της αιολικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στη θάλασσα καθώς και της κυματικής ενέργειας μαζί με τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Στη συνέχεια αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο δημιουργήθηκε ο Αιολικός και Κυματικός Άτλας της Μεσογείου, μέσα από τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν κυματικά και αιολικά δεδομένα που επεξεργάστηκαν στην εργασία. Επίσης αναφέρεται και στα δεδομένα που έχουν ληφθεί από το Ελ.Κε.Θ.Ε. μέσα από το σύστημα μετεωρολογικών προγνώσεων Poseidon τα οποία αποτελούν το δεύτερο κομμάτι της ανάλυσης των δεδομένων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται διαγράμματα που έχουν δημιουργηθεί μέσα από τις μετρήσεις που εμφανίζει ο Αιολικός και Κυματικός Άτλας της Μεσογείου για συγκεκριμένο σημείο ανοιχτά της περιοχής του Σιγρίου στη Λέσβο, καθώς επίσης και από τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Ποσειδών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων για την παραγωγή της ισχύος από τον άνεμο και από τα κύματα

Στο έκτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα και οι εκτιμήσεις της εργασίας για το πόσο μπορεί να βοηθήσει αυτός ο τρόπος παραγωγής ενέργειας τις ήδη υπάρχουσες μονάδες παραγωγής στη Λέσβο.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Σύμφωνα με την κατάταξη που επικρατεί παγκοσμίως, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο ομάδες, την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την παραγωγή από μη ανανεώσιμες-συμβατικές πηγές.

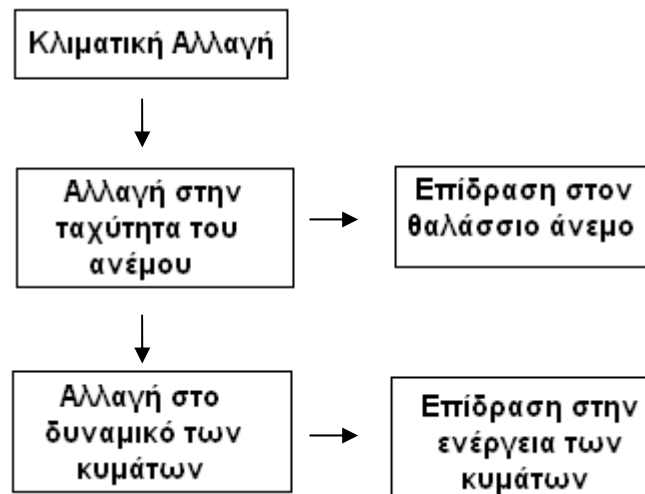
Όσο αφορά την κύρια πηγή ενέργειας, οι ανανεώσιμες πηγές διαχωρίζονται σε τρεις ομάδες, αυτές που έχουν σα πηγή τον ήλιο, αυτές που έχουν σαν πηγή τη γη και αυτές που έχουν σα πηγή τη σελήνη. Η αιολική ενέργεια που προέρχεται από την επίδραση του ήλιου, προκαλεί ατμοσφαιρικές κινήσεις καθώς και κινήσεις στη θάλασσα ως αποτέλεσμα φυσικού μετασχηματισμού της ενέργειας. Αυτή η κινητική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική μέσα από τις ανεμογεννήτριες και τις εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας.

Καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται και η τεχνολογία εξελίσσεται βελτιώνοντας την καθημερινότητα, υπάρχει σήμερα η ανάγκη για μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Αυτή η απαίτηση εξαρτάται από την τεχνολογική εξέλιξη του κάθε κράτους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Γερμανία, μέσα από μια αναφορά του 1997 που καταγράφονται οι τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας αναφέρεται ότι 31% της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από πυρηνική ενέργεια, 26% από ορυκτό άνθρακα, 25% από λιγνίτη, 9% από φυσικό αέριο, 4% από υδροηλεκτρικά έργα, 0,5% από αιολικά πάρκα, ενώ 4,5% από άλλες πηγές. Από την άλλη πλευρά η Τουρκία σε αντίστοιχη αναφορά του 1998 παράγει ηλεκτρική ενέργεια σε ποσοστό 7% από πετρέλαιο, 3% από λιγνίτη, 30% από φυσικό αέριο, 22% από αέριο χαμηλής πίεσης, 0,1% από γεωθερμική ενέργεια και 38% από υδροηλεκτρική ενέργεια. Από αυτά τα δεδομένα φαίνεται ότι τα ορυκτά καύσιμα παίζουν μεγάλο ρόλο στην παραγωγή ενέργειας και των 2 χωρών και η Γερμανία δίνει μεγάλη έμφαση στην πυρηνική ενέργεια. Και οι δύο πηγές ενέργειας εμφανίζουν πολλά προβλήματα τα οποία έχουν άμεση επίδραση στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Επίσης, πρόβλημα εμφανίζεται και στη διαθεσιμότητα αυτών των πηγών για τα επόμενα χρόνια. Το ουράνιο θα μειωθεί σε περίπου 50 χρόνια και δε θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πυρηνική ενέργεια, το πετρέλαιο περίπου σε 50 χρόνια, το φυσικό αέριο σε 80 χρόνια περίπου και ο άνθρακας σε 190 χρόνια περίπου. 1kWh που παράγεται από κυματική ενέργεια, εμποδίζει την εκπομπή 1000 περίπου γραμμαρίων CO₂, 60gr τέφρας, 5-8gr SO₂ και 3-6gr NO_x. Για να γίνει εκμετάλλευση περισσότερο φιλικών προς το περιβάλλον πηγών ενέργειας, πρέπει να αναπτυχθούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως είναι η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική ενέργεια, η καύση βιομάζας, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η κυματική. (Ozdamar et al., 2004)

Η ενέργεια από τις θαλάσσιες πηγές (κύματα, ρεύματα, άνεμος) θα παίξει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια προσπάθεια να μειωθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα τα επόμενα χρόνια. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, τα πιο ενδιαφέροντα μέρη για την παραγωγή ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα βρίσκονται στις βορειοδυτικές ακτές της Σκωτίας. Η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας πλησιάζει τα 14GW και μπορεί να εφοδιάσει 45TWh ετησίως. Το αιολικό δυναμικό είναι της τάξης των 25GW και μπορεί να εφοδιάσει 82TWh ετησίως και το δυναμικό από παλιρροιακά ρεύματα είναι της τάξης των 7,5GW και μπορεί να εφοδιάσει με 33,5TWh ετησίως.

Η ενέργεια από τις θαλάσσιες πηγές αναπτύσσεται ώστε να μειωθούν οι κλιματικές αλλαγές. Η εξάρτησή της από το φυσικό περιβάλλον, την κάνει να είναι ευπαθή σε τυχόν αλλαγές του κλίματος που παρατηρούνται. Οι τεχνολογίες που αναπτύσσονται τις κάνουν να έχουν τον ίδιο βαθμό ρίσκου όπως έχει η αιολική ενέργεια και η υδροηλεκτρική ενέργεια. Από τις ενδείξεις των τελευταίων δεκαετιών φαίνεται ότι το κλίμα της θάλασσας μεταβάλλεται, κάνοντας έτσι τη μελέτη για εγκατάσταση τέτοιων

έργων πιο λεπτομερή. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η επίδραση που μπορεί να έχει η αλλαγή του κλίματος στην παραγωγή της ενέργειας από τα κύματα και τον άνεμο. (Harrison and Wallace, 2005)



Σχήμα 2.1: Διασύνδεση της κλιματικής αλλαγής με την ενέργεια από τις θαλάσσιες πηγές. (Πηγή: Harrison, and Wallace, 2005)

Το μεγαλύτερο δυναμικό κυματικής ενέργειας εμφανίζεται εκεί που πνέουν οι ισχυρότεροι άνεμοι, δηλαδή σε γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 40° και 60° βόρεια και νότια, στα ανατολικά όρια των ωκεανών.

Από οικονομικής πλευράς, η κυματική ενέργεια δεν είναι προς το παρόν ανταγωνιστική με τα ορυκτά καύσιμα. Είναι όμως ανερχόμενη τεχνολογία και όσο εξελίσσεται γίνεται ολοένα και πιο υποσχόμενη. Το κόστος έχει πέσει ραγδαία τα τελευταία χρόνια και οι εταιρίες σήμερα σκοπεύουν στα 10 cent/kWh ενώ στις πιο εξελιγμένες συσκευές στα 5 cent/kWh. (Pelc and Fujita, 2002)

Και ενώ οι περιοχές με μεγάλο κυματικό δυναμικό ερευνώνται διεξοδικά τα τελευταία χρόνια, σε περιοχές με νερά που βρίσκονται προστατευόμενα από τα μεγάλα κύματα δεν έχει γίνει λεπτομερής μελέτη. Όταν το μέτωπο του κύματος έχει ισχύ 20-30kW/m η τεχνολογία μπορεί να παράγει 100-500TWh/ έτος παγκοσμίως. Σε περιοχές όμως με μικρότερη ισχύ (10-20kW/m) αυτοί οι αριθμοί πιστεύεται πως μπορούν να διπλασιαστούν.

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες να μετατραπεί η κυματική ενέργεια σε ηλεκτρισμό μέσα από μεγάλες μονάδες που παράγουν μεγάλες ισχύς. Έρευνα στη Βαλτική γίνεται με μικρότερες μονάδες συνδεδεμένες σε σειρά και μελετάται η τεχνική προσέγγιση για τέτοια έργα. Τα νερά στη Βαλτική είναι πιο ήρεμα και προστατευμένα σε σχέση με τους ισχυρούς ανέμους των ωκεανών. Στο σουηδικό τμήμα της Βαλτικής ανταποκρίνονται 8TWh/έτος που είναι μια σημαντική πηγή ενέργειας. Όμως, οι μελέτες βρίσκονται σε αρχικό στάδιο και πρέπει να συλλεχθούν στοιχεία που αφορούν στο κλίμα των κυμάτων και το βάθος τοποθέτησης τέτοιων εγκαταστάσεων. (Bernhoff et al., 2005)

Μικρές παράκτιες κοινότητες με μικρή διαθεσιμότητα σε πόσιμο νερό, μπορούν να παράγουν πόσιμο νερό μέσα από συστήματα αφαλάτωσης τα οποία θα τροφοδοτούνται με ενέργεια προερχόμενη από τα κύματα. Μια τέτοια δοκιμαστική εγκατάσταση έχει στηθεί εδώ και 15 χρόνια στην Ινδία. Η εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας γίνεται μέσω στήλης του νερού που ταλαντεύεται σε κλειστό σωλήνα μέσα από την κίνηση των κυμάτων. Με αυτό τον τρόπο γίνεται συμπίεση και

εκτόνωση του αέρα που βρίσκεται μέσα στο σωλήνα με αποτέλεσμα να κινεί έναν κινητήρα που βρίσκεται συζευγμένος με μια γεννήτρια. Η αφαλάτωση γίνεται μέσω αντίστροφης ώσμωσης με δυναμικότητα 10000 λίτρων ημερησίως.

Η ενέργεια από τα κύματα ποικίλλει και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του χρόνου. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να προβλεφθεί η συμπεριφορά του συστήματος για διαφορετικά επίπεδα κυματικής ενέργειας. Έγιναν πολλές θεωρητικές εξομοιώσεις και εργαστηριακές δοκιμές για να ελεγχθούν όλες οι παράμετροι. Αυτή τη στιγμή η μονάδα λειτουργεί κανονικά ανακουφίζοντας μια ολόκληρη παράκτια κοινότητα. (*Sharmila et al., 2003*)

Η συχνότητα των κυμάτων επηρεάζει την υδροδυναμική απόκριση των συσκευών εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας. Το επίπεδο του ύψους του κύματος μπορεί να αλλάξει το επίπεδο της κυματικής ενέργειας. Είναι πολύ σημαντικός ο προσδιορισμός για το πώς επηρεάζει το κυματικό δυναμικό το σχεδιασμό των γεννητριών και την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως αυτό μπορεί να έχει μεγάλη οικονομική επίδραση καθώς ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων εξαρτάται από το κυματικό δυναμικό και σε κάθε νέα τοποθεσία πρέπει να γίνεται ξεχωριστός σχεδιασμός. Αν ο ίδιος σχεδιασμός ανταποκρίνεται σε διάφορα κυματικά δυναμικά, τότε το κόστος μειώνεται και οι εγκαταστάσεις μπορούν να εφαρμοστούν παντού. Οι φασματικές παράμετροι που συνήθως χρησιμοποιούνται στο χαρακτηρισμό των πηγών κυματικής ενέργειας, είναι το ύψος κύματος H_s , η μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης T_e και η κυματική ισχύς P που είναι η ροή ενέργειας ανα μονάδα μήκους της κυματικής κορυφής.

Τα χαρακτηριστικά της κυματικής ενέργειας παίζουν μεγάλο ρόλο στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων μετατροπής της κυματικής ενέργειας. Θεωρητικά, αυτά τα χαρακτηριστικά είναι συναρτήσεις των καταγεγραμμένων στοιχείων όπως είναι το ύψος κύματος και η περίοδος μηδενικής υπέρβασης. Είναι αναγκαίο λοιπόν, να αναπτυχθούν αναλυτικές σχέσεις μεταξύ του ύψους κύματος, του zero up-crossing period και των χαρακτηριστικών κυματικής ενέργειας. (*Ozger et al., 2003*)

Σε μελέτη των Beyene και Wilson, γίνεται καταγραφή του κυματικού δυναμικού για την περιοχή της Καλιφόρνια. Παρατηρούν για το Βόρειο Ημισφαίριο, ότι ακτές που «βλέπουν» προς τη Δύση έχουν μεγαλύτερα και πιο ομογενοποιημένα κύματα από τις ακτές που έχουν ανατολικό προσανατολισμό. Οι κυματικοί παράμετροι εξαρτώνται από τον προσανατολισμό, τις σεληνιακές ή ηλιακές δυνάμεις που ασκούνται μέσα από τα παλίρροιας, τη μεταβολή της θερμοκρασίας, το βάθος του πυθμένα καθώς και τη «σκιά» που δημιουργούν τα νησιά.

Η επίδραση του βάθους και της «σκιάς» των νησιών είναι συνεχής στο χρόνο όσο οι γεωλογικές και φυσικές παράμετροι του πυθμένα και των νησιών παραμένουν σταθερές. Συνεπώς, οι αλλαγές των κυμάτων εξαιτίας αυτών των δύο παραμέτρων είναι σημαντικές στη διάρκεια του χρόνου.

Οι γεωγραφικές παράμετροι των ακτών επηρεάζουν αρκετά τις κυματικές παραμέτρους οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζουν το προφίλ της κυματικής ενέργειας. Οι συσκευές μετατροπής της κυματικής ενέργειας πρέπει να προσαρμόζονται σε αυτές τις κυμαινόμενες κυματικές παραμέτρους. Καθώς οι συσκευές μετατροπής της κυματικής ενέργειας σχεδιάζονται για να λειτουργούν σε δεδομένες κυματικές συνθήκες, αναπόφευκτα οι μεταβλητές παράμετροι θα έχουν ως αποτέλεσμα να μειώνουν την αποτελεσματικότητα των συσκευών. (*Beyene and Wilson, 2005*)

Η σύζευξη έργων ασυνεχούς λειτουργίας με τα δίκτυα μεταφοράς και αποθήκευσης ηλεκτρικού ρεύματος είναι απαραίτητη για να ρυθμιστεί η ροή εξόδου. Σε περίπτωση μικρών έργων της τάξης μερικών κιλοβάτ, όπως είναι μια μικρή ανεμογεννήτρια ή φωτοβολταϊκά πάνελ, αυτή η ενέργεια είναι απλή. Όταν όμως οι εγκαταστάσεις αφορούν έργα μερικών μεγαβάτ, που αυτά συνήθως συνδέονται στο κυρίως δίκτυο, που λειτουργεί ως αποθήκευση μεγάλης χωρητικότητας. Σε μελέτη που έγινε για ένα νησί στον Ατλαντικό κοντά στα Γαλλικά παράλια, εξετάστηκε η ηλεκτροπαραγωγή από ανεμογεννήτριες στη θάλασσα, από εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας καθώς και από συνδυασμό των δύο μιας και οι δύο πηγές (άνεμος-κύμα) εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση.

Στην εργασία, έγιναν αλλαγές στην ικανότητα αποθήκευσης και παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τη θάλασσα. Στα αποτελέσματα προκύπτει η διακύμανση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ του νησιού και της ενδοχώρας στο χρόνο. Έτσι γίνεται γνωστή η απαιτούμενη ενέργεια που πρέπει να αποθηκευτεί σε μια στρατηγική ενεργειακού σχεδιασμού που θα επιλεγεί από τη κοινότητα του νησιού ανάλογα με την τιμή της κιλοβατώρας ή άλλους παράγοντες ενεργειακής διαχείρισης.

Τα επίπεδα της ενέργειας που παράγονται κάθε χρόνο είναι παρόμοια με την εκτιμώμενη ενέργεια που παράγεται από τη θάλασσα. Αυτό είναι ενθαρρυντικό, καθώς το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι σε αρχική βάση και ακόμα βελτιστοποιείται. Ένας μεγάλος βαθμός ενεργειακής αυτονομίας μπορεί να επιτευχθεί αν συνδεθούν οι γεννήτριες που είναι εγκατεστημένες στη θάλασσα (ανεμογεννήτριες, κυματική ενέργεια), με το δίκτυο μεταφοράς και αποθήκευσης. Έτσι η σχέση ενέργειας που εξέρχεται από το νησί προς το ηπειρωτικό δίκτυο με την ποσότητα που εισέρχεται θα πενταπλασιαστεί. (*Babarit et al., 2005*)

Τα οικονομικά της παραγωγής ενέργειας από τα κύματα απασχολούν τη μελέτη του Leijon. Τα άμεσα concept κίνησης που προτείνονται αποτέλεσαν ένα βήμα προς μια πιο οικονομική λύση για την μετατροπή των κυμάτων σε ενέργεια. Το προβλεφθέν ενσωματωμένο καθαρό εισόδημα άνω των 20-30 ετών πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το κόστος των εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένου της υποτίμησης. Στις στάνταρτ αποφάσεις επένδυσης, οι παραλλαγές στην τιμή πώλησης στο δίκτυο συμπεριλαμβάνονται ως ενσωματωμένες τιμές.

Καταρχήν, ο παράγοντας χρησιμότητας (η αναλογία της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής στην εγκατεστημένη δύναμη του εξοπλισμού) λείπει σε αυτές τις αποφάσεις επένδυσης. Υποστηρίζεται ότι ο παράγοντας χρησιμότητας πρέπει να είναι ένας βασικός αριθμός στην ανάλυση οποιασδήποτε επένδυσης στην ανανεώσιμη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι πιο κοινό να αναλυθεί η διαθεσιμότητα για να πάρει ένα μέτρο της τεχνικής απόδοσης των εγκαταστάσεων, αλλά ο παράγοντας χρησιμότητας τυπικά δεν αναλύεται, και ιδιαίτερα όταν έρχεται η απόφαση επένδυσης για ανανεώσιμες ενεργειακές εγκαταστάσεις.

Τα κύματα χαρακτηρίζονται από μια συγκεκριμένη θέση, παλιρροιακά αποτελέσματα ή αποτελέσματα ανέμων, είναι παραδείγματα φυσικών φαινομένων που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στον παράγοντα χρησιμότητας. Η εκτίμηση της επιβίωσης ή της σχεδίασης είναι τεχνικές που θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες να αναλύσουν τη διαθεσιμότητα. Η διαθεσιμότητα επίσης επηρεάζει τον παράγοντα χρησιμότητας. Ακόμα κι αν η διαθεσιμότητα θα μπορούσε να είναι ένας στόχος στην ανάλυση της τεχνικής απόδοσης εγκαταστάσεων, πρέπει να τονιστεί ότι ο παράγοντας χρησιμότητας αυτήν την εποχή δεν χρησιμοποιείται στην ανάλυση επένδυσης. (*Leijon et al., 2002*)

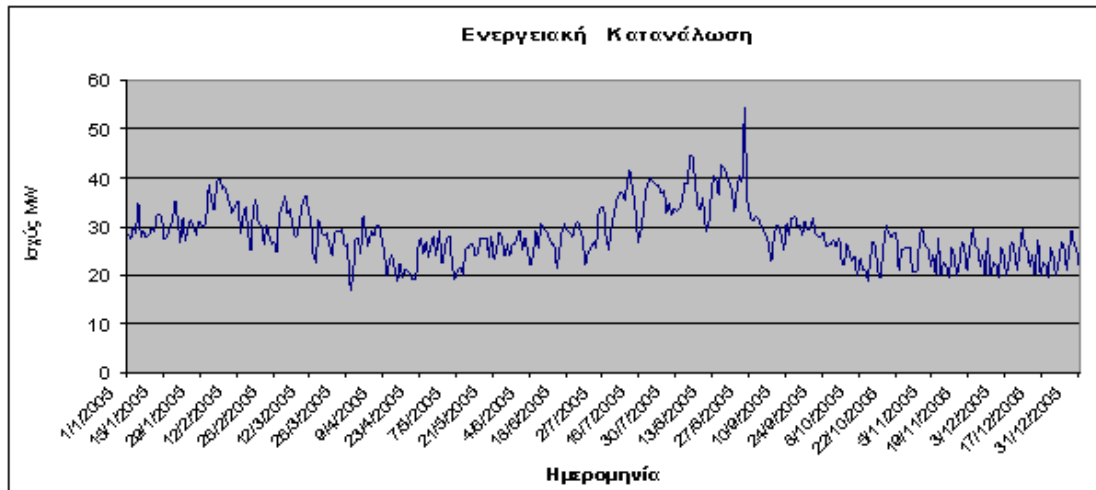
Για τη μελέτη ενεργειακής εκμετάλλευσης κυματικής και αιολικής ενέργειας στη θάλασσα στη Λέσβο, πρέπει να εξεταστεί το ενεργειακό σύστημα της. Το νησί της Λέσβου είναι το τρίτο μεγαλύτερο της Ελλάδας με έκταση 1630 τετραγωνικών χιλιομέτρων και με πληθυσμό που ξεπερνά τους 90000 κατοίκους. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει σταθερά αυξητική τάση της τάξεως του 4-5% κάθε χρόνο, με αποτέλεσμα η ετήσια συνολική παραγωγή από τις 300.000 MWh που βρίσκεται το 2005, αναμένεται να φτάσει στις 400.000 MWh το 2010.



Σχήμα 2.2: Δορυφορική απεικόνιση της Λέσβου. (Πηγή: Google Earth)

Το ενεργειακό σύστημα της Λέσβου αποτελείται από ένα σταθμό παραγωγής ενέργειας, έναν υποσταθμό υψηλής-μέσης τάσης και δύο αιολικά πάρκα, ένα στην περιοχή της Αντισσας που αποτελείται από 18 ανεμογεννήτριες 600kW τύπου Enercon, και ένα στην περιοχή του Σιγρίου που αποτελείται από 9 ανεμογεννήτριες 225kW τύπου Vestas. Ο τουριστικός χαρακτήρας του νησιού, η παρουσία γεωργικών και κτηνοτροφικών μονάδων καθώς και η ανάπτυξη του οικιστικού τομέα, δημιουργούν αυξητικές τάσεις στην ζήτηση ενέργειας και μεγάλη περιοδικότητα στα φορτία κατά την διάρκεια του έτους. Όλα αυτά συντελούν στην μείωση της ενεργειακής απόδοσης και στην υπερβολική χρήση του αεροστρόβιλου για την αντιμετώπιση των μέγιστων φορτίων. Είναι κοινά αποδεκτό ότι είναι επιτακτική η μετεγκατάσταση του εργοστασίου της ΔΕΗ και η αξιοποίηση του αιολικού και γεωθερμικού πεδίου του νησιού.

Το δίκτυο διανομής ενέργειας στην νήσο Λέσβο, όπως και στα περισσότερα νησιά του Βορειοανατολικού Αιγαίου, δεν είναι διασυνδεδεμένο με το εθνικό δίκτυο μεταφοράς ενέργειας.



Σχήμα 2.3: Γράφημα ωριαίων φορτίων έτους 2005 (ΔΕΗ) για τη Λέσβο.
(Πηγή: Γιαννούλης κ.α., 2005)

Η περιοδική αύξηση των φορτίων δυσχεραίνει περαιτέρω την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οδηγεί στην υπερφόρτωση του δικτύου. Τα ελαιотριβεία, τυροκομεία και άλλες γεωργικές μονάδες που λειτουργούν στο νησί, τα «τουριστικά φορτία» κ.α., δημιουργούν πολλές φορές βύθιση τάσης και υπερφόρτωση στο δίκτυο. (Γιαννούλης κ.α, 2005)

3. ΘΕΩΡΙΑ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, ΔΕΔΟΜΕΝΑ, ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

3.1 Θεωρία

Οι άνεμοι δημιουργούνται από τη διαφορετική θέρμανση των αερίων μαζών και περνώντας πάνω από υδάτινες μάζες, μεταφέρουν ένα μέρος της ενέργειας τους στο νερό με τη μορφή κυμάτων. Αυτή η μεταφορά ενέργειας συγκεντρώνεται από την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στη γη, ισχύος περίπου 1kW/m^2 και αντιστοιχεί περίπου σε ενέργεια κύματος τιμής 70kW/m (μήκος κορυφής κύματος). Αυτές οι τιμές το χειμώνα προσεγγίζουν τιμές που φτάνουν τα 170kW/m ενώ κατά τη διάρκεια ισχυρών καταιγίδων οι τιμές αγγίζουν το 1MW/m .

Η δυνατότητα παγκόσμιας εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού εξετάζεται από το Παγκόσμια Υπηρεσία Ενέργειας και αναμένεται να κυμανθεί μεταξύ 10 και 50% της ετήσιας ενεργειακής ζήτησης των 15000TWh .

Τα κύματα προκαλούνται από πολλές δυνάμεις όπως για παράδειγμα τον άνεμο, τη βαρυτική έλξη από τον ήλιο και τη σελήνη, τις αλλαγές των ατμοσφαιρικών πιέσεων, σεισμούς κ.α. Τα κύματα που δημιουργούνται από τον άνεμο είναι τα πιο συχνά.

Καθώς ο αέρας κινείται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, μόρια του αέρα που βρίσκονται στο στρώμα επαφής με τα μόρια του νερού αλληλεπιδρούν. Αυτή η δύναμη επεκτείνεται σε όλη την επιφάνεια του νερού δημιουργώντας μικρή ανατάραξη. Με τις αναταράξεις αυτές δημιουργείται μεγαλύτερη επιφάνεια νερού, αυξάνοντας την τριβή μεταξύ αέρα και νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά μεγαλύτερων τιμών ενέργειας, δημιουργώντας μεγαλύτερα κύματα.

Όταν ο άνεμος παύσει, τα κύματα συνεχίζουν την πορεία τους και σταδιακά χάνουν την ενέργειά τους. Μπορεί να κινούνται για εκατοντάδες χιλιόμετρα μέχρι να προσεγγίσουν μια ακτή. Η προβλεψιμότητα των κυμάτων είναι ένα πλεονέκτημα της κυματικής ενέργειας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Ένα κύμα στο ωκεανό που έχει μεγάλο βάθος εμφανίζεται ως ένα ογκώδες αντικείμενο που κινείται. Ένα τοίχος νερού που ταξιδεύει στην επιφάνεια της θάλασσας. Για την κατανόηση της κυματικής ενέργειας είναι σημαντικό να αντιληφθεί ότι δεν είναι αυτό το πραγματικό γεγονός. Ένα ωκεάνιο κύμα είναι η κίνηση της ενέργειας, όμως το νερό δεν κινείται όπως φαίνεται. Ενώ φαίνεται το νερό να κινείται προς την ακτή από τα κύματα αυτό δε συμβαίνει. Δεν πραγματοποιείται μια ροή νερού, αλλά μια ροή ενέργειας από το μέρος που δημιουργήθηκε μέχρι το σημείο καταστροφής της. Αυτό το σημείο μπορεί να είναι στην ακτή ή ακόμα και στη μέση του ωκεανού.

Τα μόρια του νερού μέσα στο κύμα κινούνται σε κύκλους. Η φύση των κυμάτων εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ του μεγέθους κύματος και το βάθος του νερού μέσα στο οποίο κινείται. Η κίνηση των μορίων αλλάζει από κυκλική σε ελλειπτική καθώς το κύμα προσεγγίζει την ακτή και το βάθος του νερού μειώνεται. Καθώς το κύμα προσεγγίζει την ακτή, η κίνηση γίνεται κυρίως οριζόντια.

Η ενέργεια στα κύματα είναι τεράστια. Ακόμα και το μέρος των κυμάτων που μπορεί ν' αξιοποιηθεί αυτή τη στιγμή από τεχνολογική πλευρά, αντιστοιχεί σε ενέργεια που μπορεί να συγκριθεί με την παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα.

Στην αξιολόγηση του παγκόσμιου συμβουλίου ενέργειας το 2001 αναφέρεται ότι η κυματική ενέργεια μπορεί να καλύψει παγκοσμίως 2TW ενώ στην Ευρώπη μπορούν να καλυφθούν ανάγκες λίγο πιο πάνω από το 50% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης. Η κυματική ενέργεια μετράται σε kW/m, δηλαδή kW ανά μέτρο κύματος. [1] Η κίνηση της θαλάσσιας επιφάνειας που δημιουργεί τα κύματα, προκαλείται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως είναι ο άνεμος, οι υποθαλάσσιοι σεισμοί, τα πλωτά μέσα και τη βαρυτική έλξη από τη σελήνη και τον ήλιο.

Το δυναμικό της κυματικής ενέργειας που παρέχει η φύση, είναι υψηλότερο από το δυναμικό που μπορούν να εκμεταλλευτούν οι τεχνολογικές κατασκευές. Όπως φαίνεται και στον πίνακα (Πίνακας 3.1), το δυναμικό της κυματικής ενέργειας που βρίσκεται στη φύση σε παγκόσμια κλίμακα, είναι υψηλότερο από το δυναμικό που έχει στη φύση η υδροδυναμική ενέργεια και η βιομάζα μαζί και περίπου 25% από το δυναμικό του ανέμου.

Πίνακας 3.1: Παγκόσμιο ετήσιο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
(Πηγή: Ozdamar et al., 2004)

Ενέργειες με πηγή τον ήλιο	Ηλιακή ενέργεια	Αιολική ενέργεια	Κυματική ενέργεια	Υδραυλική ενέργεια	Βιομάζα
Παγκόσμιο δυναμικό (δισ. kWh)	1.524.240.000	30.844.000	7.621.000	46.000	1.524.000

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι εκτιμήσεις και οι προβλέψεις που σχετίζονται με την κυματική ενέργεια εξαρτώνται από πολλές υποθέσεις οι οποίες είναι συζητήσιμες. Πιο ακριβής προσδιορισμός του δυναμικού της κυματικής ενέργειας απαιτεί μακροχρόνιες μετρήσεις στις περιοχές που μπορούν να εκμεταλλευτούν την κυματική ενέργεια. Όπου δε μπορούν να γίνουν τέτοιες μετρήσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεμολογικά στοιχεία. Η κυματική ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας εμπειρικούς τύπους που σχετίζονται με τον άνεμο και τα κύματα. Με αυτές τις μετρήσεις εκτιμάται η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από συστήματα εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας. (Ozdamar et al., 2004)

Η ιδανική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας δεν πρέπει να έχει έξοδα καυσίμων και πρέπει να παρέχει υψηλή ισχύ που είναι διαθέσιμη όλη τη διάρκεια της ημέρας στο χρόνο. Η αναγκαιότητα της υψηλής διαθεσιμότητας υπάρχει γιατί στο κόστος επένδυσης εξετάζεται η ισχύς P (kW) σχετικά με την παραγόμενη ενέργεια W (kWh). Γι' αυτό το λόγο οι βασικές οικονομικές θεωρήσεις επιβάλουν την γνώση από φυσικής πλευράς της ανανεώσιμης πηγής. Τέτοια αποδοτική πηγή είναι η κυματική ενέργεια. Η κυματική ενέργεια δεν έχει έξοδα καυσίμων, έχει μεγάλη πυκνότητα ισχύος κατά τη διάρκεια του χρόνου, αλλά η μετατροπή της ενέργειάς της εμποδίζεται στον τεχνολογικό τομέα. (Leijon et al., 2005)

Είναι φανερό ότι ο σχεδιασμός των μετατροπών της κυματικής ενέργειας πρέπει να είναι προσεγγμένος ώστε να λειτουργεί αξιόπιστα, αποτελεσματικά και οικονομικά. Όπως και όλες οι ανανεώσιμες πηγές, οι διαθέσιμες πηγές πρέπει να εξετάζονται πρώτα ως προς τη διαθεσιμότητά τους αλλά και τη μεταβλητότητά τους. Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3.2) παρουσιάζονται περιβαλλοντικές επιδράσεις που εμφανίζονται σε έργα που εκμεταλλεύονται το θαλάσσιο δυναμικό. (Clement et al., 2002)

Πίνακας 3.2: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε έργα που βρίσκονται στην ακτογραμμή, κοντά στην ακτή και στην ανοικτή θάλασσα. (Πηγή: *Clement et al., 2002*)

Περιβαλλοντικές επιδράσεις	Ακτογραμμή	Κοντά στην ακτή	Ανοιχτή θάλασσα
Χρήσεις γης	Μικρή επίδραση		
Θαλάσσιο οικοσύστημα	Μικρή επίδραση	Μικρή επίδραση	Μικρή επίδραση
Αναψυχή	Μικρή επίδραση	Μικρή επίδραση	
Διάβρωση ακτών	Μικρή επίδραση	Μικρή-μέτρια επίδραση	Μικρή-μέτρια επίδραση
Ναυτιλιακοί κίνδυνοι		Μικρή επίδραση	Μικρή επίδραση
Θόρυβος	Μικρή επίδραση		
Απώλειες υγρών από τη λειτουργία		Μικρή επίδραση	Μικρή επίδραση
Κινδυνεύοντα είδη	Μικρή επίδραση	Μικρή επίδραση	
Καταστροφή από αγκυροβόλιο		Μικρή-μέτρια επίδραση	Μικρή-μέτρια επίδραση

Μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις έχουν ελάχιστη επίδραση στο περιβάλλον. Παρ' όλα αυτά, μεγάλες εγκαταστάσεις ενδέχεται να προκαλούν βλάβες στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Τα συστήματα εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας λειτουργούν ως διασπαστές κύματος, ηρεμώντας τα νερά. Αυτό είναι επιθυμητό σε πολλά λιμάνια και συχνά συνδυάζονται τέτοιες εγκαταστάσεις με κυματοθραύστες. Αποτέλεσμα όμως αυτής της λειτουργίας ενδέχεται να είναι η ελάττωση της ανάμιξης των ανωτέρων στρωμάτων του νερού επιδρώντας τη θαλάσσια ζωή. Οργανισμοί που ζουν σε μεγαλύτερα βάθη δεν αντιμετωπίζουν άμεσο κίνδυνο. Η κακή ανάμιξη του νερού στα ανώτερα στρώματα ενδέχεται να επιδράσει τα θρεπτικά συστατικά που είναι υπεύθυνα για την ανάπτυξη βενθικών μικροοργανισμών. Η επίδραση των μεγάλων εγκαταστάσεων στα θαλάσσια οικοσυστήματα πρέπει να μελετηθεί προσεκτικότερα και να αποφεύγεται η εγκατάσταση σε ευαίσθητες οικολογικά περιοχές. (*Pelc and Fujita, 2002*)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το φορτίο της κυματικής ενέργειας είναι υψηλό και είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Είναι δύσκολο να καθοριστεί επακριβώς η επαναληπτική περίοδος που κάνει ένα κύμα σε 50 έτη σε μια περιοχή καθώς οι συστηματικές παρατηρήσεις στο πεδίο έχουν ξεκινήσει εδώ και μερικά έτη. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν λοιπόν στο σχεδιασμό μιας συσκευής είναι είτε υπερεκτιμημένα είτε υποτιμημένα. Σε περίπτωση υποτιμημένων δεδομένων, οι εγκαταστάσεις θα αποσυναρμολογηθούν με μαθηματική ακρίβεια καθώς δε θα γίνεται οικονομική παραγωγή ενέργειας. Σε περίπτωση υπερεκτιμημένων δεδομένων, το κόστος κατασκευής θα είναι τόσο μεγάλο που θα μετακυλήεται στο κόστος παραγωγής της ισχύος καθιστώντας την εγκατάσταση οικονομικά ασύμφορη. Αυτή η έλλειψη ακριβών δεδομένων καθυστερεί την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στο χώρο.

Από την άλλη μεριά, η κυματική ενέργεια έχει μεγάλα πλεονεκτήματα. Η περιορισμένη περιβαλλοντική όχληση, η φυσική εποχιακή μεταβλητότητα που ακολουθεί, σε εύκρατα κλίματα, τις ενεργειακές ανάγκες και η είσοδος σύγχρονων γεννητριών που ρυθμίζουν την ισχύ είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα που παρέχει η κυματική ενέργεια. (*Clement et al., 2002*)

Η αιολική ενέργεια έχει αναπτυχθεί ευρέως τα τελευταία χρόνια κάνοντάς την περιβαλλοντικά «καθαρή», και οικονομικά ανταγωνιστική σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, τεχνολογία. Η μεγαλύτερη έρευνα έχει γίνει για περιοχές στη ξηρά και μόλις

τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη θάλασσα. Στην Ευρώπη σχεδιάζεται η εγκατάσταση περισσότερων ανεμογεννητριών μέσα στη θάλασσα για να γίνει η εκμετάλλευση των μεγαλύτερων τιμών ανέμου που πνέουν σε αυτή. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται δε διαφέρει από αυτή που έχει αναπτυχθεί στη ξηρά με λεπτομέρειες μόνο στο σχεδιασμό των θεμελίων και τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος στη ξηρά με καλώδια υψηλής τάσης.

Αυτή τη στιγμή, η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στη θάλασσα είναι ακριβότερη από τη ξηρά ή και από τα ορυκτά καύσιμα. Το κόστος μειώνεται σε περιοχές που εμφανίζουν υψηλούς ανέμους. Την επόμενη δεκαετία αναμένεται να μειωθεί κατά 50% το κόστος που θα την κάνει ανταγωνιστική με τις ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στη ξηρά και με το φυσικό αέριο. Η ανάπτυξη σταθερής θεμελίωσης που θα αντέχει στο σκληρό περιβάλλον της θάλασσας είναι η πρόκληση που καλείται να αντιμετωπιστεί διεθνώς. Πρόσφατα, η υπηρεσία ενέργειας της Δανίας, ανακάλυψε πως η χρήση ασαλένιας θεμελίωσης μπορεί να μειώσει το κόστος κατά το ένα τρίτο απ' ότι η θεμελίωση με μπετόν, είναι πιο ελαφριά και μπορεί να μεταφερθεί πιο εύκολα. Το γεγονός αυτό θα έχει μεγάλη επίδραση στο συνολικό κόστος, μιας και το κόστος θεμελίωσης αντιπροσωπεύει το 23-30% όλης της επένδυσης. (Pelc and Fujita, 2002)

3.2. Τεχνολογίες αιολικής ενέργειας

Η βιομηχανία αιολικής ενέργειας στη θάλασσα (Σχήμα 3.1) ξεκίνησε περίπου 30 χρόνια πριν στη Δανία. Το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο της Μ. Βρετανίας στη θάλασσα βρίσκεται στο Kentish Flats, λειτούργησε το 2005 και έχει ονομαστική ισχύς 90MW.

Η αιολική ενέργεια στη θάλασσα παίζει σημαντικό ρόλο στις χώρες της Β. Ευρώπης εν' όψη του 2010. Ήδη στη Μ. Βρετανία 7,2GW αναμένεται να αδειοδοτηθούν αποτελώντας το 7% της παραγόμενης ισχύος. Η Μ. Βρετανία έχει τη μεγαλύτερη πηγή αιολικής ενέργειας στη θάλασσα, με μικρά σχετικά βάθη και μεγάλο αιολικό δυναμικό στη Βόρεια Θάλασσα. Διαθέτει το 33% της συνολικής Ευρωπαϊκής αιολικής ενέργειας στη θάλασσα, αρκετή ώστε να υπερκαλύψει τις ανάγκες της χώρας 3 φορές παραπάνω. [2]



Σχήμα 3.1: Εικόνα ανεμογεννήτριας εγκατεστημένης στη θάλασσα. (Πηγή: www.bwea.com)

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που προτείνουν την ανάπτυξη αιολικών πάρκων στη θάλασσα. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι άνεμοι στη θάλασσα είναι κατά κύριο λόγο πιο έντονοι απ' ό,τι στη ξηρά. Και με δεδομένο ότι η παραγόμενη ισχύς εξαρτάται σε τρίτο βαθμό από την ταχύτητα του ανέμου, αποτελεί πολύ ενθαρρυντικό στοιχείο.

Μεγάλο μέρος του πληθυσμού παρά την υποστήριξή του στην αιολική ενέργεια δεν επιθυμεί να έχει ανεμογεννήτριες στον τόπο του. Η χωροθέτηση ανεμογεννητριών στη θάλασσα, θα μειώσει τις κοινωνικές αντιδράσεις καθώς η οπτική όχληση είναι ελάχιστη. Παρ' όλα αυτά δε θα αντικατασταθούν οι ανεμογεννήτριες στην ξηρά καθώς οι κυβερνήσεις έχουν ως στόχο το 2010 και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

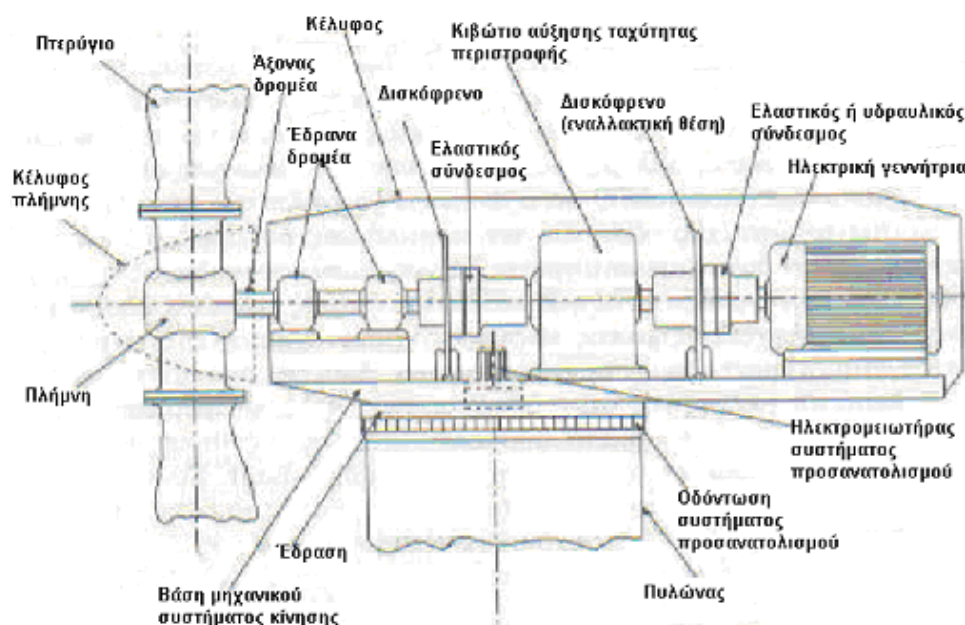
Οι ανεμογεννήτριες πρέπει να τοποθετούνται σε ρηχά νερά με βάθος μικρότερο των 30μέτρων. Σύμφωνα με βρετανικές οδηγίες, όλα τα έργα που τοποθετούνται στη θάλασσα πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον 5 χιλιομέτρων από τη ξηρά.

Όσο πιο μακριά από την ακτή τοποθετούνται τόσο πιο μεγάλη είναι η ισχύς που παράγεται καθώς ο άνεμος είναι πιο έντονος. Παρ' όλα αυτά το κόστος παίζει σημαντικό ρόλο στην χωροθέτηση του πάρκου. [3]

3.2.1 Μέρη ανεμογεννήτριας

Μια ανεμογεννήτρια αποτελείται συνήθως από τα παρακάτω μέρη (Σχήμα 3.2):

- Ανεμόμετρο (Anemometer): μετράει την ταχύτητα του ανέμου και μεταβιβάζει τα ανεμολογικά δεδομένα σε έναν ελεγκτή.
- Πτερύγια (Blades): οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν δύο ή τρία πτερύγια. Ο άνεμος πάνω στα πτερύγια δημιουργεί άνωση (lift) που έχει σαν αποτέλεσμα μια ροπή γύρω από τον άξονα περιστροφής και αναγκάζει τα πτερύγια να περιστρέφονται.



Σχήμα 3.2: Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας.

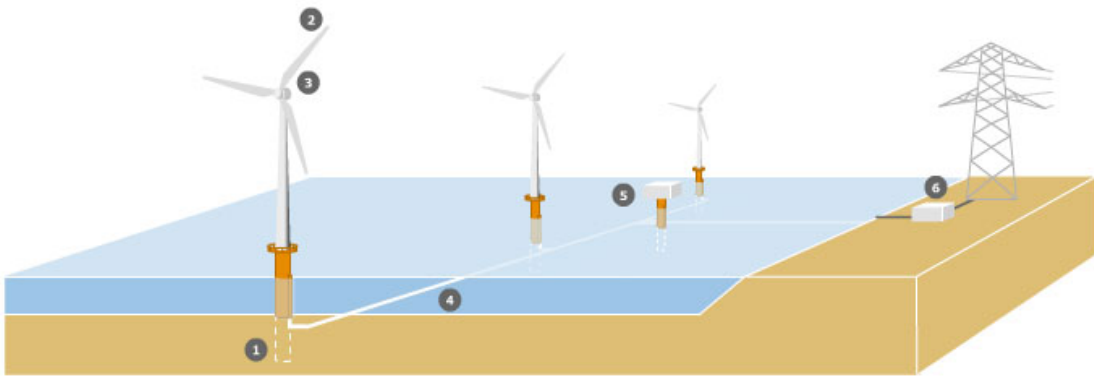
- Φρένο (Brake): ένα δισκόφρενο το οποίο μπορεί να λειτουργεί μηχανικά, ηλεκτρικά ή υδραυλικά για να σταματήσει τον κινητήρα σε περίπτωση ανάγκης.
- Ελεγκτής (Controller): ο ελεγκτής ξεκινά τη μηχανή σε ταχύτητες ανέμου περίπου 8-16 μίλια την ώρα και κλείνει τη μηχανή περίπου στα 65 μίλια την ώρα. Οι ανεμογεννήτριες δε μπορούν να δουλεύουν σε ταχύτητες ανέμου πάνω απ' τα 65 μίλια την ώρα γιατί οι γεννήτριές τους μπορούν να υπερθερμανθούν ή/και τα πτερύγια τους να σπάσουν.
- Κιβώτιο ταχυτήτων (Gear box): οι ταχύτητες συνδέουν τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από τις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό στις 1200 με 1500 στροφές ανά λεπτό. Η ταχύτητα περιστροφής απαιτείται από τις περισσότερες γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα ακριβό (και βαρύ) μέρος μιας ανεμογεννήτριας και οι μηχανικοί μελετούν γεννήτριες οι οποίες θα λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και δε θα απαιτούνται κιβώτια ταχυτήτων.
- Γεννήτρια (Generator): συνήθως παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα 60 κύκλων.
- Άξονας υψηλής ταχύτητας (High-speed Shaft): οδηγεί τη γεννήτρια.
- Άξονας χαμηλής ταχύτητας (Low-speed Shaft): ο ρότορας κινεί τον άξονα χαμηλής ταχύτητας περίπου στις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό.
- Κέλυφος (Nacelle): ο ρότορας συνδέεται με το κέλυφος, το οποίο βρίσκεται πάνω απ' τον πύργο και περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες υψηλής και χαμηλής ταχύτητας, τη γεννήτρια, τον ελεγκτή και το φρένο. Ένα κάλυμμα προστατεύει τα μέρη εντός του κελύφους. Μερικά κελύφη είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μπορεί ένας τεχνικός να κάθεται όρθιος μέσα σε αυτό ενώ δουλεύει.
- Κλίση (Pitch): τα πτερύγια έχουν τη δυνατότητα να γύρω από τον διαμήκη άξονά τους, ώστε να μειώνουν τα αεροδυναμικά φορτία (lift) πάνω στην πτερύγωση στις μεγάλες ταχύτητες του ανέμου και να τα μειώνουν στις μικρές ταχύτητες.
- Ρότορας (Rotor): τα πτερύγια και το κεντρικό σημείο ονομάζονται ρότορας.
- Πύργος (Tower): οι πύργοι είναι κατασκευασμένοι από χαλύβδινο κέλυφος ή χωροδικτύωμα. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος, οι υψηλοί πύργοι περιέχουν γεννήτριες που συλλέγουν περισσότερη ενέργεια και παράγουν περισσότερο ηλεκτρισμό.
- Ανεμοδείκτης (Wind vane): υπολογίζει την διεύθυνση και επικοινωνεί με τον οδηγό εκτροπής ώστε να προσανατολίζεται στον άνεμο.
- Οδηγός εκτροπής (Yaw drive): φέρνει τις ανεμογεννήτριες προς τον άνεμο. Χρησιμοποιείται για να αφήνει το ρότορα να βρίσκεται προς τον άνεμο καθώς αυτός μεταβάλλεται. Οι ανεμογεννήτριες που λειτουργούν υπήνεμα δεν απαιτούν οδηγό εκτροπής. Ο άνεμος μόνος φέρνει υπήνεμα το ρότορα.
- Κινητήρας εκτροπής (Yaw motor): δίνει ενέργεια στον οδηγό εκτροπής. [4]

3.2.2 Εγκατάσταση

Η εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας στη θάλασσα μπορεί να γίνει είτε με την κατασκευή ασάλινης θεμελίωσης που κατεβαίνει ως τον πυθμένα, είτε με την κατασκευή θεμελίων βαρύτητας. Τα θεμέλια βαρύτητας είναι κατασκευές από μπετόν και βρίσκονται μόνιμα κάτω από τη στάθμη της θάλασσας και επάνω σε αυτά τοποθετείται ο πύργος της ανεμογεννήτριας. Όλα τα θεμέλια προστατεύονται από τη διάβρωση που μπορεί να τους επιφέρει η επαφή με το θαλασσινό νερό, όπως ακριβώς και οι πετρελαϊκές πλατφόρμες.

Η εγκατάσταση μπορεί να γίνει και με πλατφόρμες που επιπλέουν, αλλά αποτελούν μια ακριβή λύση για τα σημερινά δεδομένα.

Η μεταφορά του ρεύματος γίνεται με υποθαλάσσια καλωδίωση σε έναν υποσταθμό που βρίσκεται στη ξηρά και από εκεί γίνεται η σύνδεση με το υπόλοιπο δίκτυο (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Τα θεμέλια (1) τοποθετούνται στον πυθμένα. Τα πτερύγια (2) κινούνται με την ταχύτητα του ανέμου, μεταφέροντας την κινητική ενέργεια του ανέμου μέσω άξονα στο κιβώτιο της α/γ (3). Υποθαλάσσια καλώδια (4) μεταφέρουν την παραγόμενη ενέργεια και μέσω ενός μετασχηματιστή (5) ανορθώνουν την ισχύ στα 33kV. Η ισχύς μεταφέρεται στην ακτή σε υποσταθμό (6) και γίνεται η σύνδεση με το δίκτυο. (Πηγή: www.bwea.com)

Η μεγαλύτερη ισχύς που μπορούν να παράγουν οι ανεμογεννήτριες στη θάλασσα είναι περίπου τα 3MW με τάσεις ανάπτυξης ως τα 5MW. Κάθε ανεμογεννήτρια καλύπτει ετήσιες ανάγκες για περίπου 2500 οικίες ενώ παράλληλα μειώνει την εκπομπή ποσοτήτων CO₂ κατά 50000 τόνους. Το ύψος μιας τέτοιας ανεμογεννήτριας κυμαίνεται στα 70m με μήκος πτερυγίων 50m. Η οπτική όχληση ενός τέτοιου πάρκου με τέτοιο μέγεθος φαίνεται στην επόμενη εικόνα (Σχήμα 3.4). Ο χρόνος ζωής τους παραμένει 20-25 χρόνια ανεξάρτητα αν είναι εγκατεστημένες στη θάλασσα ή τη ξηρά.



Σχήμα 3.4: Εικόνα θαλάσσιου αιολικού πάρκου που βρίσκεται σε απόσταση 5km από την ακτή. (Πηγή: www.bwea.com)

Μέχρι τώρα το κόστος ενέργειας από ανεμογεννήτριες στη θάλασσα είναι 40% υψηλότερο απ' ό τι στη ξηρά. Αυτό οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος μεταφοράς

και εγκατάστασης στη θάλασσα καθώς επίσης και στην θεμελίωση. Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται και αποκτάται περισσότερη εμπειρία, αναμένεται οι τιμές να μειωθούν όπως έγινε εξάλλου και με τις ανεμογεννήτριες στη ξηρά.

Μπορεί να υπάρξει και συνδυασμός ανεμογεννητριών και σταθμών παραγωγής ρεύματος μέσω παλίρροιας στη βάση μιας ανεμογεννήτριας. Οι τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται τη θάλασσα είναι σε νεότερο στάδιο απ' ό,τι η εκμετάλλευση του ανέμου και ένας συνδυασμός αυτή τη στιγμή δεν είναι εφικτός. [3]

Οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται στη θάλασσα βασίζονται στην ίδια τεχνολογία με αυτές στη ξηρά. Οι δύσκολες συνθήκες της θάλασσας έχουν ως αποτέλεσμα να γίνονται ειδικοί σχεδιασμοί κυρίως στα θεμέλια του πύργου και στο σύστημα ελέγχου. [5]

Ο σχεδιασμός αυτός αφορά στην ενδυνάμωση του πύργου καθώς έρχεται σε επαφή με τον άνεμο και τα κύματα, στην προστασία των μερών του κιβωτίου από το θαλασσινό αέρα (θαλάσσιο σπρέι) και στην τοποθέτηση εμφανών στοιχείων για τη ναυσιπλοΐα και την προσέγγιση σε αυτή. Συνηθίζεται επίσης να βάφεται σε έντονο χρώμα το χαμηλότερο τμήμα της ώστε να αποφεύγονται ναυτικά ατυχήματα. Για τη νύχτα σημαίνονται με ερυθρό φανό ώστε να διασφαλίζεται η νυχτερινή ναυσιπλοΐα. [3]

Στη σημερινή αγορά οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται στη θάλασσα δεν είναι τόσο διαδεδομένες όσο αυτές στη ξηρά, και εξαιτίας οικονομικών λόγων δεν επιτρέπεται ο σχεδιασμός ειδικών ανεμογεννητριών. Παράλληλα δεν παρουσιάζονται προβλήματα που θα είχε μια νέα κατασκευή, αρκετά σημαντικό καθώς στη θάλασσα η μεταφορά συνεργείου θα πρέπει να γίνει με πλοίο ή με ελικόπτερο που στοιχίζει αρκετά και εξαρτάται από τον καιρό.

Ο ειδικός σχεδιασμός που έχουν οι ανεμογεννήτριες στη θάλασσα αφορά επίσης και στο μέγεθος τους, όπως είναι το μέγεθος των πτερυγίων που σε ανεμογεννήτριες 4,5MW έχουν μήκος 120m.

Η πρόκληση για μια ανεμογεννήτρια είναι να λειτουργήσει καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου ζωής της (20 χρόνια περίπου) με την ελάχιστη δυνατή συντήρηση. Ο πύργος και η θεμελίωση των ανεμογεννητριών στη θάλασσα, πρέπει να είναι ισχυρές κατασκευές ώστε να αντεπεξέρχονται στη δύναμη των θαλάσσιων κυμάτων. Στη ξηρά η θεμελίωση των ανεμογεννητριών γίνεται με μπετόν, ενώ στη θάλασσα η κατασκευή αποτελείται από μια κυλινδρική ασάλινη κολόνα που φτάνει ως τον πυθμένα. Οι ασάλινοι πύργοι είναι καλυμμένοι με ειδική μπογιά που θα διατηρηθεί για τα 20 χρόνια της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, η θεμελίωση προστατεύεται από συσκευές-μεγάλες μεταλλικές πλάκες από μαγνήσιο ή ψευδάργυρο, οι οποίες διαβρώνονται και προστατεύουν έτσι τη θεμελίωση. Το σύστημα εξαερισμού που ψύχει το κιβώτιο ταχυτήτων και τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό μέσα στη μηχανή σχεδιάζεται έτσι ώστε να ελαττώνει τις φθορές που προκαλεί το θαλασσινό νερό.

Το σύστημα ελέγχου των ανεμογεννητριών που θεμελιώνονται στη θάλασσα είναι προσεκτικά σχεδιασμένο προκειμένου να αποφεύγονται έξοδα συντήρησης που αποτελούν σημαντικό κόστος σε μια τέτοια εγκατάσταση. Το σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο στο να ανιχνεύει βλάβες στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό της ανεμογεννήτριας και να ενημερώνει έναν σταθμό παρακολούθησης που βρίσκεται στη ξηρά. Ο συνδυασμός της υψηλής τεχνολογίας συστημάτων ελέγχου με τη μεγάλη ισχύ των ανεμογεννητριών έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή «υψηλής ποιότητας» ηλεκτρικού ρεύματος που υπερκαλύπτει τις προϋποθέσεις του δικτύου. Αυτό είναι

σημαντικό σε αγροτικές περιοχές και σε περιπτώσεις που η αιολική ενέργεια αποτελεί σημαντικό κομμάτι της συνολικής ηλεκτρικής ισχύος που δίνεται προς κατανάλωση. Όπως και με τις άλλες σχεδιαστικές παραμέτρους, οι βελτιώσεις στο σύστημα ελέγχου έχουν βοηθήσει και τις ανεμογεννήτριες της ξηράς. [5]

3.3 Τεχνολογίες κυματικής ενέργειας

Οι τεχνολογίες εκμετάλλευσης του θαλάσσιου δυναμικού βρίσκονται αυτή τη στιγμή στο στάδιο που βρισκόταν η αιολική τεχνολογία πριν από 15 περίπου χρόνια. Πλούσιο κυματικό και παλιρροιακό δυναμικό διαθέτει κυρίως η Μ. Βρετανία και η τεχνολογία που αναπτύσσεται είναι σημαντική και απορρέει από την εμπειρία που αποκτάται στο πεδίο. Ίδιας μορφής εμπειρία απέκτησε η Δανία και η Γερμανία στον τομέα της αιολικής ενέργειας οι οποίες εξέλιξαν τις ανεμογεννήτριες. [6]

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί από διάφορες εταιρίες για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τα κύματα, αλλά και τα παλιρροιακά ρεύματα.

3.3.1 Συσκευή της Aqua Energy

Η Aqua Energy έχει συσκευές που στηρίζονται στη μετατροπή της κυματικής ενέργειας διαμέσου συστημάτων πλωτήρων (Σχήμα 3.5). Συμπλέγματα από τις μικρές αυτές κατασκευές, βρίσκονται αρκετά μίλια από την ακτή, όπου η ενέργεια των κυμάτων είναι μεγαλύτερη. Η παραγωγή ρεύματος είναι κλιμακωτή από εκατοντάδες κιλοβάτ ως εκατοντάδες μεγαβάτ. Μπορούν να εξυπηρετήσουν μικρούς παράκτιους οικισμούς ή μεγάλα παράκτια αστικά κέντρα.



Σχήμα 3.5: Εικόνα εγκατάστασης της Aqua Energy όπως φαίνεται στη θάλασσα.
(Πηγή: <http://aquaenergygroup.com>)

Η μετατροπή της ενέργειας γίνεται με τη μεταφορά της κάθετης συνιστώσας της κινητικής ενέργειας του κύματος διαμέσου νερού υπό πίεση σε αντλίες. Το πιεσμένο θαλασσινό νερό οδηγείται σε ένα σύστημα μετατροπής με μια τουρμπίνα που οδηγεί μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Τα ρεύμα οδηγείται στην ακτή μέσω υποθαλάσσιων καλωδίων.

Ένα σύμπλεγμα πλωτήρων εγκατεστημένο μερικά μίλια μακριά από την ακτή θα είναι σχεδόν απαρατήρητο και δε θα φαίνεται μεγαλύτερο από ένα στολίσκο από ψαρόβαρκες. [7]

Τα συστήματα της Aqua Energy έχουν δοκιμασθεί από τη βιομηχανία άντλησης πετρελαίου στη θάλασσα και είναι σχεδιασμένα ώστε να έχουν κύκλο ζωής μεγαλύτερο από είκοσι χρόνια.

Κάθε τέτοιο σύστημα πρέπει να μην καταστρέφεται στο σκληρό περιβάλλον της θάλασσας. Το σύστημα των πλωτήρων στηρίζεται στις μικρότερες ναυτιλιακές σημαδούρες που έχουν δοκιμαστεί εδώ και δεκαετίες.

Το σύστημα είναι σχεδιασμένο να μεγιστοποιεί την ισχύ εξόδου σε συνηθισμένες συνθήκες κύματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του κόστους σχεδιασμού που θα γινόταν για τη λειτουργία του συστήματος σε καταστάσεις τρικυμίας. [8]

Η AquaBuoy διαθέτει τέσσερα στοιχεία, τη σημαδούρα, τον αγωγό επιτάχυνσης, το έμβολο και την αντλία.

Ο αγωγός επιτάχυνσης είναι κατακόρυφος και άκαμπτος κάτω από το κύριο μέρος του πλωτήρα. Ο αγωγός ανοίγει και από τις δύο άκρες για να επιτρέψει την απρόσκοπτη είσοδο και έξοδο του θαλασσινού νερού από κάθε διεύθυνση. Στη μέση του αγωγού επιτάχυνσης βρίσκεται το έμβολο, ένας φαρδύς δίσκος που επιπλέει. Όταν ο πλωτήρας είναι σε ηρεμία, το έμβολο παραμένει στο μέσο από την εξισορόπηση των δύο αντλιών που βρίσκονται στις αντίθετες πλευρές του και επεκτείνονται στην κορυφή και τη βάση του αγωγού επιτάχυνσης αντιστοίχως.

Η αντλία είναι μεταλλική με ενισχυμένη ελαστική μάνικα που μειώνει της εντάσεις. Το υπό πίεση θαλασσινό νερό απωθείται σε έναν υψηλής πίεσης συσσωρευτή και στη συνέχεια κινεί έναν κινητήρα ο οποίος είναι συζευγμένος με μια γεννήτρια. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μέσω υποβρύχιων καλωδίων οδηγείται στην ακτή.

Τα τρία στοιχεία, ο αγωγός επιτάχυνσης, το έμβολο και οι αντλίες αποτελούν το σύστημα διακοπής. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η λειτουργία του συστήματος (Σχήμα 3.6). [9]



Σχήμα 3.6: Η λειτουργία του AquaBuoy όπως φαίνεται από τα βέλη.
(Πηγή: <http://aquaenergygroup.com>)

3.3.2 Συσσκευή της OPT

Η εταιρία OPT έχει ένα “έξυπνο” σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια πλωτήρων, οι οποίοι μετατρέπουν την κυματική ενέργεια σε χαμηλού κόστους “καθαρή” ηλεκτρική ενέργεια (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7: Εικόνα της συσκευής OPT όπως φαίνεται από τη θάλασσα.
(Πηγή: www.oceanpowertechnologies.com)

Η άνοδος και η πτώση των κυμάτων στην ανοιχτή θάλασσα, κάνει της σηματοδούρες να κινούνται ελεύθερα πάνω και κάτω. Το αποτέλεσμα αυτής της μηχανικής κίνησης μέσω ενός συστήματος δημιουργεί ηλεκτρική ενέργεια. Η μεταφορά της ενέργειας αυτής στη ξηρά γίνεται με υποβρύχια καλώδια.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, το σύστημα παρακολουθεί το περιβάλλον της θάλασσας συνεχώς. Τα δεδομένα μεταφέρονται στην ακτή σε πραγματικό χρόνο. Όταν παρατηρηθούν πολύ μεγάλα κύματα, αυτόματα το σύστημα τίθεται εκτός λειτουργίας. Όταν το ύψος του κύματος επανέλθει στις κανονικές συνθήκες, το σύστημα συνεχίζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. [10]

Το σύστημα Powerbuoy μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

- Εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ισχύ έως και μερικών μεγαβάτ
- Απομακρυσμένες εγκαταστάσεις έως 3MW
- Συστήματα αφαλάτωσης νερού
- Παραγωγή υδρογόνου
- Ιχθυοκαλλιέργειες
- Παρατηρήσεις ωκεανογραφικές, προειδοποίησης εκτάκτου ανάγκης κ.α. [11]

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3.3) παρουσιάζεται μια σύγκριση τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας για να γίνει η σύγκριση της συσκευής OPT.

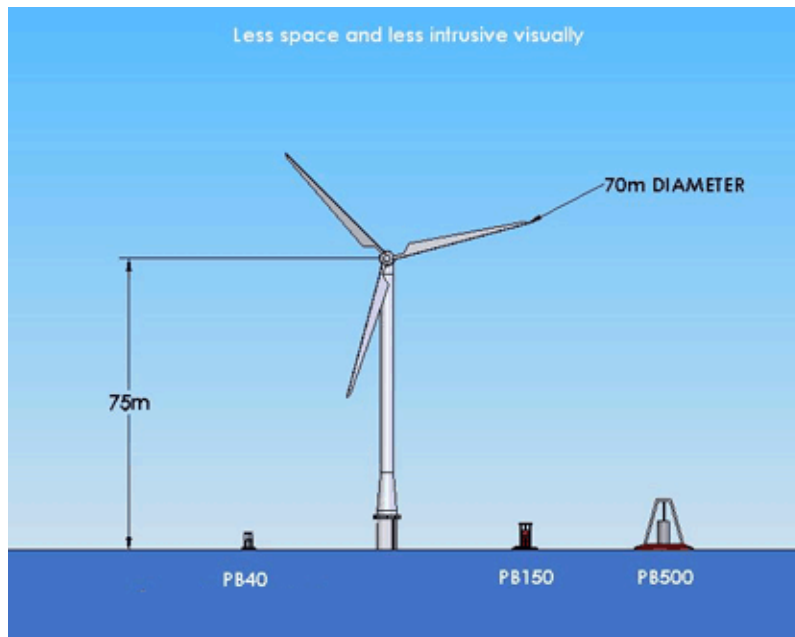
Πίνακας 3.3: Σύγκριση τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας.
(Πηγή: www.oceanpowertechnologies.com)

	OPT PowerBuoy™	Fossil Fuel	Onshore Wind	Offshore Wind	Solar
Πυκνότητα ενέργειας	Υψηλή, σχεδόν 1000 φορές πάνω από τον άνεμο	Πολύ υψηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Χαμηλή
Προβλεψιμότητα	Υψηλή, πλεονέκτημα η πρόβλεψη που γίνεται	Dispatchable	Χαμηλή, με εξαίρεση ορισμένα μέρη	Μέτρια	Απρόβλεπτη, με εξαίρεση ορισμένα μέρη
Συντελεστής μετατροπής	30% - 45%	50% - 90%	25% - 35%	25% - 35%	10% - 20%
Οπτική όχληση	Ελάχιστη, δεν φαίνονται από την ακτή	Πολύ υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Ανεπαίσθητη
Δυνητικά μέρη	Εκτεταμένα στην ακτογραμμή	Εκτεταμένα, αλλά η άδεια εγκατάστασης μπορεί να ναι μακροχρόνια	Περιορισμένα	Περιορισμένα στις Η.Π.Α., μέτρα στη Ευρώπη	Περιορισμένα για μεγάλες ισχύς, εκτεταμένα για χαμηλές και μέτριες
Κόστος /kW&ώρα αυτόνομες περ.	7 - 10¢	N/A	9 - 10¢	16¢	25 - 50¢
Κόστος /kW&ώρα συνδεδεμένες περ.	3 - 4¢	4¢	4 - 5¢	7 - 9¢	10 - 25¢

Τα συστήματα παραγωγής ενέργειας από κύματα, αποτελούν μια “καθαρή” και χωρίς μόλυνση τεχνολογία, δεν εκπέμπουν σωματίδια και άλλα αέρα, δε δημιουργούν απόβλητα, δεν παράγουν θόρυβο, έχουν μικρή επίδραση στο θαλάσσιο υπόστρωμα και αισθητικά είναι πιο φιλικά.

Καθώς απορροφάται η κυματική ενέργεια, ενδέχεται να μειωθεί η διάβρωση της ακτογραμμής, ενώ ευνοείται η ανάπτυξη θαλάσσιας ζωής καθώς οι εγκαταστάσεις λειτουργούν σαν τεχνητός ύφαλος.

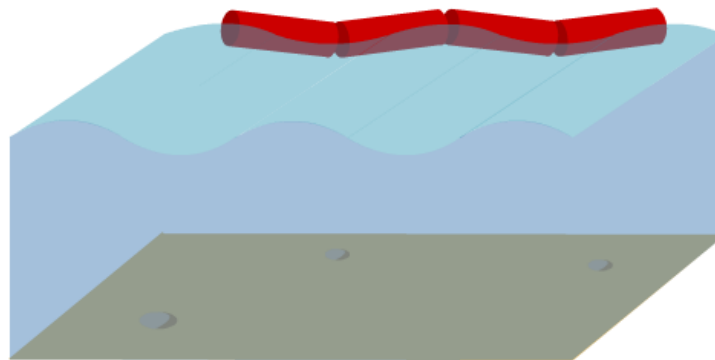
Η οπτική όχληση είναι πολλές φορές ένας λόγος που πολλές κοινότητες αντιτίθενται σε τέτοια έργα. Οι πλωτήρες όμως έχουν το πλεονέκτημα του ελάχιστου οπτικού προφίλ. Μόνο ένα μικρό μέρος τους βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και μπορεί να είναι ορατό από μικρή απόσταση (Σχήμα 3.8). Δεδομένου μάλιστα, ότι τέτοιες εγκαταστάσεις βρίσκονται τουλάχιστον 1-3μίλια ανοικτά της ακτής, ουσιαστικά δεν είναι ορατές από τη ξηρά. [12]



Σχήμα 3.8: Αναπαράσταση μεγέθους μιας ανεμογεννήτριας στη θάλασσα με τις συσκευές της OPT. (Πηγή: www.oceanpowertechnologies.com)

3.3.3 Συσκευή Pelamis

Το σύστημα Pelamis είναι μια εγκατάσταση καλυμμένη κατά το ήμισυ με νερό, αρθρωτή αποτελούμενη από κυλινδρικά μέρη διασυνδεδεμένα με αρμούς. Η κίνηση που προκαλούν τα κύματα στους αρμούς, εμποδίζεται από υδραυλικά έμβολα, που αντλούν έλαια υπό πίεση μέσω υδραυλικών κινητήρων (Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9: Συσκευή Pelamis μέσα στο νερό. (Πηγή: www.bwea.com)

Οι υδραυλικοί κινητήρες οδηγούν γεννήτριες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια από όλους τους αρμούς οδηγείται μέσω καλωδίων στο θαλάσσιο υπόστρωμα. Πολλές συσκευές μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους και να διασυνδεθούν με την ακτή με ένα καλώδιο.

Ένας νέος σχηματισμός αρμών χρησιμοποιείται για να αυξάνει την ισχύ σε μικρές θάλασσες. Ελέγχοντας τους αρμούς, ανταποκρίνεται αυξάνοντας την ικανότητα «συλλογής» της ενέργειας σε μικρές θάλασσες, είτε μειώνοντας στην οριακή λειτουργία σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Το μηχάνημα βρίσκεται στη θέση του δεμένο σε ένα αγκυροβόλιο, και περιλαμβάνει ένα συνδυασμό πλωτήρων και βαριδίων εμποδίζοντας τους κάβους να σφίγγουν. Το Pelamis συγκρατείται αρκετά ώστε να παραμένει στη θέση του και η μόνη του κίνηση γίνεται μόνο καθώς περνάνε τα κύματα. Το πρωτότυπο των 750kW έχει 120m μήκος και 3,5m διάμετρο και

περιέχει τρεις μετατροπείς ενέργειας με ισχύ 250kW. Κάθε υποσύνολο διαθέτει ολοκληρωμένο ηλεκτρο-υδραυλικό σύστημα παραγωγής ενέργειας (Σχήμα 3.10).

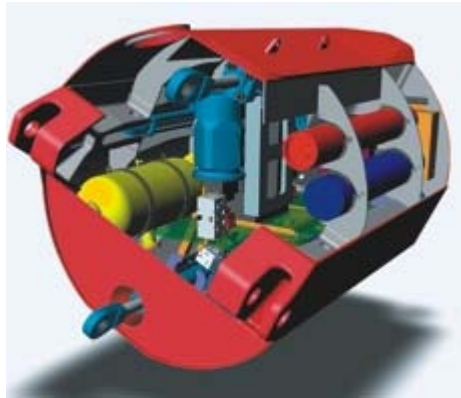
Ίδανικά μπορεί να είναι αγκυροβολημένο σε βάθη 50-60m. Έτσι, εκμεταλλεύεται μεγάλα κύματα που βρίσκονται στα ανοιχτά, αλλά αυξάνει το κόστος της καλωδίωσης με την ακτή. [13]



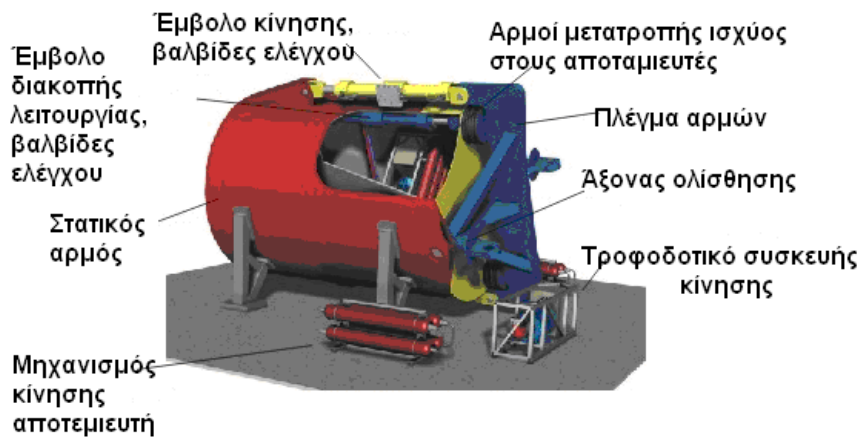
Σχήμα 3.10: Εικόνα του συστήματος Pelamis μέσα στη θάλασσα. (Πηγή: www.oceanpd.com)

Το Pelamis είναι κατασκευασμένο εξ'ολοκλήρου από ατσάλι χρησιμοποιώντας τους παραδοσιακούς παράγοντες ασφαλείας. Το ατσάλι επιλέχθηκε ώστε να είναι πιο απλή η κατασκευή, ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση των οργάνων καθώς επίσης και η όποια τροποποίηση και επιδιόρθωση.

Το αρθρωτό κομμάτι που παράγει ενέργεια είναι τοποθετημένο σε έναν δευτερεύων αεροστεγές θάλαμο πίσω από τη θυρίδα του εμβόλου έτσι ώστε σε περίπτωση βλάβης να βραχούν μόνο τα υδραυλικά έμβολα (Σχήμα 3.11). Η προσέγγιση σε όλα τα μέρη του συστήματος γίνεται μέσω μικρής θυρίδας στην κορυφή του μηχανήματος. Το μέγιστο βάρος κάθε τμήματος χωριστά είναι μικρότερο από 3 τόνους ώστε να μπορεί να γίνει η αντικατάστασή του από μικρά ανυψωτικά μηχανήματα. Η κίνηση που προκαλεί το κύμα σε κάθε αρμό, ανθίσταται από έμβολα σχηματίζοντας αντλία. Έτσι, γίνεται άντληση του υγρού σε αποταμιευτές ομαλοποίησης, οι οποίοι διοχετεύουν σε σταθερό βαθμό έναν υδραυλικό κινητήρα που είναι συνδεδεμένος με ηλεκτρογεννήτρια. Ένας εναλλάκτης θερμότητας ελαίου νερού συμπεριλαμβάνεται ώστε να αποθηκεύει την περίσσεια ενέργειας σε ανοιχτές θάλασσες και να εξασφαλίζει το απαραίτητο θερμικό φορτίο σε περίπτωση απώλειας του δικτύου. Γενικά η μετατροπή της ενέργειας κυμαίνεται στα 70% σε χαμηλά επίπεδα ισχύος και 80% σε μεγαλύτερα. Κάθε μια από τις τρεις γεννήτριες συνδέονται τριφασικά με 690V καλώδιο που διαπερνά τη συσκευή. Ένας απλός μετασχηματιστής χρησιμοποιείται για την ανόρθωση της τάσης σε καθορισμένο επίπεδο για τη μεταφορά στην ακτή. Στο σχήμα 3.12 φαίνονται αναλυτικά τα κύρια μέρη του συστήματος Pelamis. [14]



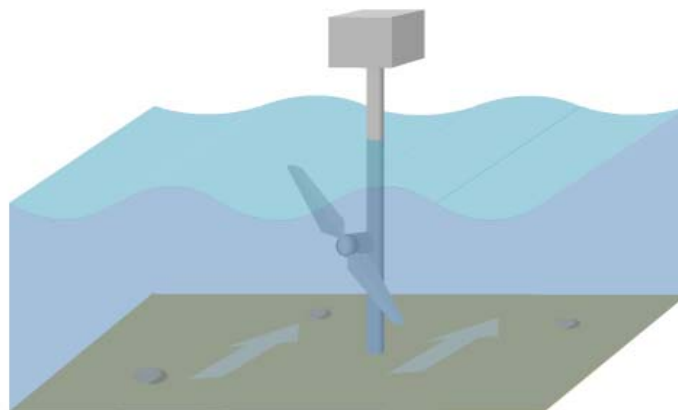
Σχήμα 3.11: Εσωτερικό μέρος μιας άρθρωσης του Pelamis. (Πηγή: www.oceanpd.com)



Σχήμα 3.12: Βασικά μέρη του συστήματος Pelamis. (Πηγή: www.oceanpd.com)

3.3.4 Συσκευή της Marine Current Turbines

Η πρωτοπόρα τεχνολογική και εμπορική κατασκευή αφορά σε μια γεννήτρια που εκμεταλλεύεται τα παλιρροιακά ρεύματα. Οι βασικές προϋποθέσεις που χρειάζεται για να λειτουργήσει είναι μέση ταχύτητα 2,25 με 2,5m/s (4,5 με 5 κόμβους) με βάθος νερού 20 με 30 μέτρα (Σχήμα 3.13). Η λειτουργία της στηρίζεται σε έναν άξονα με έλικες που αποτελεί επιτυχημένη βάση στις ανεμογεννήτριες και μπορεί να αποτελέσει επιτυχημένη λύση στη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική. Το σύστημα λειτουργίας είναι παρόμοιο με αυτό των ανεμογεννητριών, μόνο που αντί τα πτερύγια να τα κινεί ο άνεμος, τα κινούν τα θαλάσσια ρεύματα.



Σχήμα 3.13: Απεικόνιση της λειτουργίας του MCT μέσα στη θάλασσα από την επίδραση των θαλάσσιων ρευμάτων. (Πηγή: www.bwea.com)

Είναι μια μεγάλη ενεργειακή πηγή στη θάλασσα που μπορεί να εξελιχθεί καθώς δεν μολύνει το περιβάλλον και έχει αμελητέα οπτική όχληση ενώ παράγει ενέργεια με καθορισμένο χρονοδιάγραμμα και μπορεί να συνεισφέρει σε μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες.

Παρ' όλο που τα θαλάσσια ρεύματα ήταν γνωστά από τα πρώτα χρόνια της ναυτιλίας, τώρα αποκτήθηκε η γνώση και η τεχνολογία ώστε να εξελιχθεί μια τεχνολογία που θα εκμεταλλεύεται τα θαλάσσια ρεύματα για την παραγωγή ενέργειας καθιστώντας τη θάλασσα αειφορική πηγή ενέργειας. [15]

Μια πειραματική κατασκευή 300kW τοποθετήθηκε στην Μ. Βρετανία το 2003 και συνεχίζει να δίνει σημαντικά δεδομένα (Σχήμα 3.14). Αποτελεί την πρώτη πετυχημένη μηχανή εκμετάλλευσης παλιρροιακών ρευμάτων και είναι το πρώτο βήμα στην ανάπτυξη μιας νέας τεχνολογίας. Παραμένει σε συνθήκες λειτουργίας επί 3 συνεχόμενα χρόνια και πλέον στα μέσα του καλοκαιριού του 2006 θα τοποθετηθεί και στη Β. Ιρλανδία πλέγμα τέτοιων κατασκευών ισχύος 1MW. [16]



Σχήμα 3.14: Εικόνα της συσκευής της MCT όπως φαίνεται στη θάλασσα. Η πτερωτή βρίσκεται μέσα στη θάλασσα (α), ενώ βγαίνει στην επιφάνεια για να συντηρηθεί (β), (γ). (Πηγή: www.marineturbines.com)

3.3.5 Συσκευή Wave dragon

Το wave dragon είναι μια κατασκευή που επιπλέει αφήνοντας το νερό να την υπερκαλύψει για την παραγωγή ενέργειας (Σχήμα 3.15). Μπορεί να εγκατασταθεί με ένα ή περισσότερα μέρη, αποτελώντας αξιοσημείωτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να συγκριθεί με συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

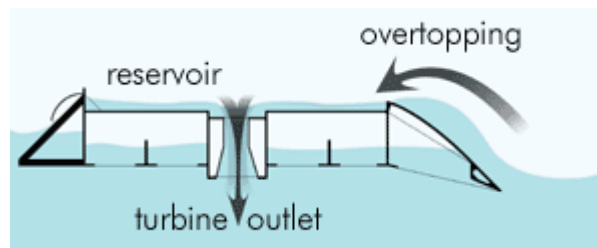
Το πρώτο πρωτότυπο συνδέθηκε πρόσφατα στο δίκτυο στη Δανία. Χρειάστηκε να γίνουν μακροχρόνιες δοκιμές για να δοκιμασθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος και ικανότητά του να παράγει ενέργεια σε διάφορες καταστάσεις της θάλασσας.

Πλεονεκτήματα του wave dragon είναι ότι συνδυάζει ώριμες υδροδυναμικές τεχνολογίες με νέο τρόπο και ότι μπορεί να αναβαθμιστεί οποιαδήποτε στιγμή. [17]



Σχήμα 3.15: Εικόνα του wave dragon σε λειτουργία. (Πηγή: www.wavedragon.net)

Η βασική ιδέα είναι πως χρησιμοποιεί γνωστές αρχές από τα παραδοσιακά υδροηλεκτρικά εργοστάσια σε μια πλατφόρμα στην ανοικτή θάλασσα. Η συσκευή καλύπτεται από τα κύματα και οδηγούνται σε μια δεξαμενή πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, όπου περνώντας στη συνέχεια από μερικούς κινητήρες παράγεται ηλεκτρισμός. Η μετατροπή ενέργειας ακολουθεί τρία βήματα, την ανύψωση, την αποθήκευση και την απελευθέρωση της ισχύος (Σχήμα 3.16).



Σχήμα 3.16: Η βασική ιδέα λειτουργίας του wave dragon. (Πηγή: www.wavedragon.net)

Οι μετατροπείς της κυματικής ενέργειας χρησιμοποιούν συχνά είτε μηχανική κίνηση είτε πίεση ρευστών μέσα από διάφορες τεχνικές, ταλάντωση του νερού, στήλες αέρα, αιωρούμενα πτερύγια. Το wave dragon δεν κάνει καμία μετατροπή ενέργειας, αλλά χρησιμοποιεί αυτούσια την ενέργεια του νερού.

Είναι απλή κατασκευή και έχει μόνο ένα είδος κινούμενων μερών-τους κινητήρες. Αυτό είναι ουσιαστικό για συσκευές που βρίσκονται στην ανοικτή θάλασσα και δέχονται μεγάλες αναταράξεις από τα κύματα επηρεάζοντας τα κινητά τους μέρη.

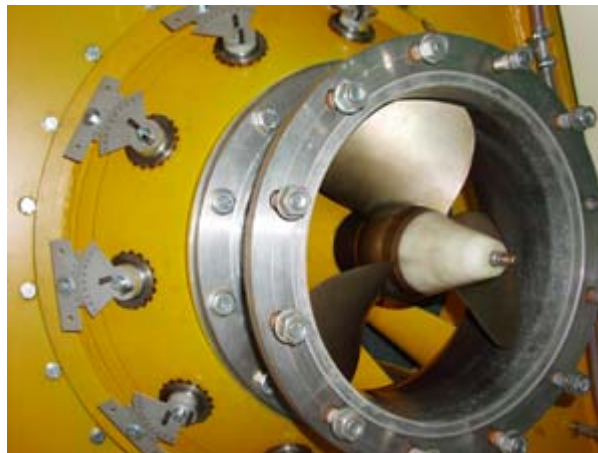
Ο σχεδιασμός του όμως παραμένει περίπλοκος και έχουν γίνει πολλές προσπάθειες σχεδιασμού και δοκιμών ώστε να βελτιωθούν οι υδραυλικές αποκρίσεις, όπως π.χ. η πλευστότητα, να μειωθούν οι δυνάμεις στα μέρη που επηρεάζονται από το κύμα, όπως π.χ. το αγκυροβόλιό του, καθώς επίσης να μειωθεί και το κατασκευαστικό κόστος και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Όλα αυτά έχουν σα σκοπό την παραγωγή όσο περισσότερης ενέργειας γίνεται αξιόπιστα με το μικρότερο δυνατό κόστος και τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η συσκευή βρίσκεται αγκυροβολημένη σε περιοχές με βάθος τουλάχιστον 25m με καλύτερη εφαρμογή τα 40m ώστε να εκμεταλλεύεται την θαλάσσια ενέργεια πριν πλησιάσει τις παράκτιες περιοχές. Η συσκευή επιπλέει και μένει όσο σταθερή γίνεται. Δεν μετατρέπει ενέργεια αντλώντας ή μετακινώντας ορισμένα μέρη της με το κύμα. Εκμεταλλεύεται απλά την ενέργεια του νερού που την υπερβαίνει (Σχήμα 3.17).



Σχήμα 3.17: Εικόνα που δείχνει την υπερκάλυψη του wave dragon από τα κύματα.
(Πηγή: www.wavedragon.net)

Το νερό που την υπερκαλύπτει αποθηκεύεται προσωρινά σε μια μεγάλη δεξαμενή δημιουργώντας υψομετρική διαφορά μεταξύ της επιφάνειας του νερού και της επιφάνειας της δεξαμενής. Η χωρητικότητα της δεξαμενής είναι 8000m^3 . Το νερό απομακρύνεται από τη δεξαμενή μέσα από κινητήρες και έτσι παράγεται ηλεκτρική ενέργεια ακολουθώντας το παράδειγμα των υδροηλεκτρικών εργοστασίων. Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται είναι οι κλασικοί των υδροηλεκτρικών εργοστασίων που λειτουργούν εδώ και 80 χρόνια. Οι κινητήρες τίθενται σε λειτουργία και σταματούν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο. Ένας ειδικός μικρός κινητήρας έχει αναπτυχθεί από το Πολυτεχνείο του Μονάχου. Ο κινητήρας αυτός χρησιμοποιεί ένα σιφόνι στην είσοδο όπου υπάρχει μια κυλινδρική είσοδος ώστε να ανοίγει και να κλείνει την είσοδο του νερού στον κινητήρα. Στην επόμενη εικόνα (Σχήμα 3.18) φαίνεται αυτός ο κινητήρας Kaplan.



Σχήμα 3.18: Εικόνα του κινητήρα Kaplan που αποτελεί την τελευταία εξέλιξη της τεχνολογίας.
(Πηγή: www.wavedragon.net)

Με διπλό καμπύλο κεκλιμένο επίπεδο και ανακλαστές κύματος, έχει σχεδιαστεί σκόπιμα στα να μεγιστοποιεί τις ποσότητες του νερού που το υπερκαλύπτει καθώς το προσεγγίζει το κύμα. Η εξέδρα του (κεκλιμένο επίπεδο) μπορεί να συγκριθεί με μια παραλία. Όταν το κύμα προσεγγίζει την ακτή, αλλάζει η φύση του. Η εξέδρα του wave dragon είναι πολύ κοντή και σχετικά απόκρημνη ώστε να ελαχιστοποιείται η απώλεια ενέργειας που εμφανίζεται όταν προσεγγίζει την ακτή. Το κύμα αλλάζει τη γεωμετρία του και ανυψώνεται. Το ειδικά σχεδιασμένο με ελλειπτικό σχήμα κεκλιμένο επίπεδο βελτιστοποιεί αυτό το φαινόμενο και οι δοκιμές μοντέλων έδειξαν ότι η υπερκάλυψη αυξάνεται σημαντικά.

Η λειτουργία των ανακλαστών των κυμάτων είναι για να συλλέγει την κυματική ενέργεια και με αυτόν τον τρόπο το νερό που υπερκαλύπτει την εξέδρα. Όταν το κύμα προσεγγίζει τους ανακλαστές, ανυψώνεται και κατευθύνεται αμέσως προς την εξέδρα.

Οι θάλαμοι του έρχονται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα και ένα σύστημα πεπιεσμένου αέρα ρυθμίζει, ανάλογα με την κατάσταση του κύματος, το επίπεδο που επιπλέει η κατασκευή.

Από τις δοκιμές στο πεδίο έχει παρατηρηθεί ότι μεταξύ του ύψους του κύματος, της γεωμετρίας του κεκλιμένου επιπέδου και των ανακλαστήρων του κύματος, του επιπέδου που βρίσκεται όλο το σύστημα και κυρίως οι ποσότητες του νερού που εισέρχονται στη δεξαμενή υπάρχει περίπλοκη σχέση. Γίνονται συνεχώς τεστ ώστε να εξαχθούν πιο αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με τη λειτουργία του.

Η κίνηση κάθε κινητήρα μετατρέπεται μέσα από γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη σε ηλεκτρικό ρεύμα. Οι γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη έχουν επιλεγεί για να αποφεύγονται τα συστήματα έναρξης λειτουργίας που χρησιμοποιούν οι ασύγχρονες γεννήτριες.

Στα συστήματα κυματικής ενέργειας, λαμβάνεται υπ' όψη ότι λειτουργούν σε δύσκολα περιβάλλοντα στην ανοικτή θάλασσα. Κάθε ανάπτυξη αυτών των συστημάτων προσέχει προβλήματα όπως η έκθεση των κατασκευών σε ακραίες καταστάσεις κύματος και αέρα, η ρύπανση κινητών μερών που επηρεάζει την αποτελεσματικότητά τους, φερτά υλικά που βρίσκονται πεταμένα στη θάλασσα, όπως δίχτυα, πλαστικά, λάδια κ.α.

Το wave dragon έχει σχεδιαστεί με μόνο κινητό του μέρος τους κινητήρες. Με αυτόν τον τρόπο εκτός από τη μείωση του κόστους που επιτυγχάνεται, μειώνονται τα προβλήματα βλαβών. Τα κύματα έχουν πολύ μεγάλες ενέργειες. Αυτό είναι μια απειλή για κάθε κατασκευή και κάθε μηχανική συσκευή των συστημάτων μετατροπής κυματικής ενέργειας. Με το σχεδιασμό του wave dragon έχει επιτευχθεί να υπάρχει ένα χαλαρό αγκυροβόλιο ώστε να προστατεύει την κατασκευή από ισχυρούς ανέμους και να μην καταστρέφεται αλλά και από μεγάλα κύματα καθώς περνάνε από πάνω του. Επίσης, συρμάτινα καλώδια ενώνουν τους ανακλαστήρες των κυμάτων ώστε να ελαχιστοποιούνται οι δυνάμεις που ασκούνται σε αυτούς. [18]

Τα κύρια μέρη του wave dragon είναι: ο κύριος κορμός του με ένα διπλά καμπυλωτό κεκλιμένο επίπεδο, που είναι κατασκευή από ατσάλι ή ενισχυμένου σκυροδέματος, δύο ανακλαστήρες κύματος από ατσάλι ή ενισχυμένο σκυροδέμα, αγκυροβόλιο, κινητήρες με έλικες μαζί με γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη.

Ο επόμενος πίνακας (Πίνακας 3.4) δείχνει διάφορα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του wave dragon.

Πίνακας 3.4: Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του wave dragon.
(Πηγή: www.wavedragon.net)

Wave Dragon key figures:	(Πρωτότυπο) 0.4 kW/m	24 kW/m	36 kW/m	48 kW/m
Βάρος	237 t	22,000 t	33,000 t	54,000 t
Συνολικό μήκος και πλάτος	58 x 33 m	260 x 150 m	300 x 170 m	390 x 220 m
Μήκος ανακλαστήρα κυμάτων	28 m	126 m	145 m	190 m
Ύψος	3.6 m	16 m	17.5 m	19 m
Δεξαμενή	55 m ³	5,000 m ³	8,000 m ³	14,000 m ³
Αριθμός κινητήρων Kaplan	7	16	16 - 20	16 - 24
Γεννήτριες	7 x 2.3 kW	16 x 250 kW	16 - 20 x 350 - 440 kW	16 - 24 x 460 - 700 kW
Ισχύς	20 kW	4 MW	7 MW	11 MW
Ετήσια παραγωγή ισχύος/ μονάδα	-	12 GWh/y	20 GWh/y	35 GWh/y
Βάθος νερού	6 m	> 20 m	> 25 m	> 30 m

Το κύριο μέρος είναι μια μεγάλη δεξαμενή που επιπλέει. Για να μειωθεί η κίνηση και να διασφαλιστεί η οικονομική παραγωγή ενέργειας, πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη κατασκευή και βαριά. Το πρωτότυπο είναι μια παραδοσιακή (σαν πλοίο) ατσαλένια κατασκευή με θωράκιση 8mm. Το συνολικό βάρος του κυρίως κορμού φτάνει τους 150 τόνους. Για να εξασφαλιστούν οι επιθυμητοί 237 τόνοι, προστίθενται 87 τόνοι νερού. [19]

Το μοντέλο wave dragon μπορεί να αξιοποιήσει τα παρακάτω:

σε 24kW/m κύματος = 12 GWh/έτος
σε 36kW/m κύματος = 20 GWh/έτος
σε 48kW/m κύματος = 35 GWh/έτος
σε 60kW/m κύματος = 43 GWh/έτος
σε 72kW/m κύματος = 52 GWh/έτος. [1]

Το wave dragon αποτελεί μια καθαρή τεχνολογία και μπορεί να συγκριθεί με άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έχει πολύ μικρή ορατότητα, καθώς είναι χαμηλή κατασκευή και φαίνεται σαν ένα αγκυροβολημένο χαμηλό πλοίο, δεν παράγει θόρυβο, δεν επηρεάζει σημαντικά τον πυθμένα καθώς υπάρχει μόνο ο αγωγός με τα καλώδια και η άγκυρα. Επίσης δεν υπάρχει κίνδυνος να διαφύγουν λάδια στο περιβάλλον. Όλα τα υδραυλικά λάδια, έχουν αντικατασταθεί με νερό και τέλος δεν χρησιμοποιείται τοξική επίστρωση στα ύφαλα του.

Για να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις στο περιβάλλον, αποφεύγεται η εγκατάσταση σε περιοχές που είναι προστατευόμενες ώστε να μη διαταραχθούν θαλάσσια οικοσυστήματα, αλλά και παράκτιες περιοχές.

Οι διαταραχές μπορεί να προέλθουν από το αγκυροβόλιο και την υποθαλάσσια καλωδίωση που θάβεται ώστε να μην επηρεάζουν τον πυθμένα, από τη συχνή κίνηση πλοίων κατά τη διάρκεια της κατασκευής της εγκατάστασης αλλά και της λειτουργίας. Πάντως πολλά από τα παραπάνω μπορούν να συγκριθούν με τα αιολικά πάρκα που λειτουργούν στη θάλασσα.

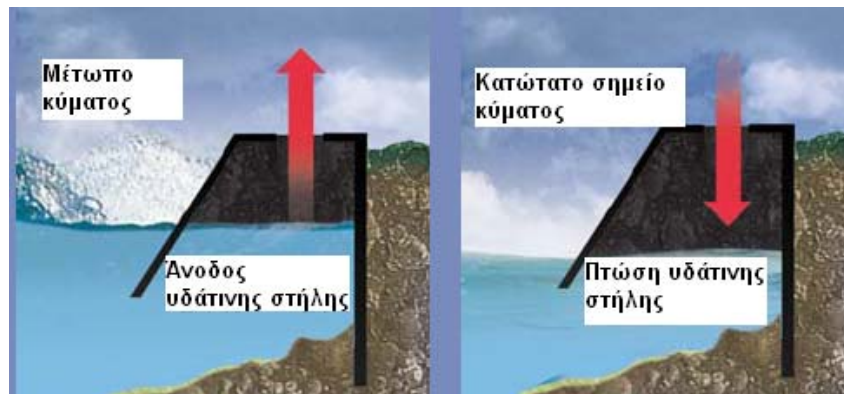
Κατά τη φάση της αποσυναρμολόγησης της εγκατάστασης, χρησιμοποιούνται τεχνολογίες που δεν έχουν μεγάλη όχληση στο περιβάλλον. [20]

3.3.6 Συσκευή της Wavegen

Η εταιρία Wavegen έχει αναπτύξει ένα σύστημα από μικρούς κινητήρες συζευγμένους με γεννήτριες που ενσωματώνονται σε κυματοθραύστες και προκυμαίες λιμένων (Σχήμα 3.19). Η τοποθέτησή τους μπορεί να γίνει με μικρούς κινητούς γερανούς. Οι σημερινές μηχανές είναι πέμπτης γενιάς και ενσωματώνουν όλη την τεχνολογική εμπειρία και τη μείωση του κόστους που αποκτήθηκε από τα προηγούμενα μοντέλα. Είναι απλές μηχανές στο να προσεγγιστούν για να συντηρηθούν, βρίσκονται κοντά στο δίκτυο και είναι αξιόπιστες εγκαταστάσεις. Δεν έχουν κιβώτιο ταχυτήτων, είναι διπλής κατεύθυνσης, δεν απαιτούν μηχανήματα με υδραυλική υποστήριξη, μπορούν να λειτουργήσουν σε μεταβλητή ροή. Το σύστημα δουλεύει σε ατμοσφαιρικό αέρα και δεν διαθέτει πτερύγια που μπορούν να καταπονθηθούν (Σχήμα 3.20). [21]



Σχήμα 3.19: Εικόνα της συσκευής της wavegen σε εφαρμογή των ακτών της Σκωτίας. (Πηγή: www.wavegen.com)



Σχήμα 3.20: Η λειτουργία του συστήματος wavegen. (Πηγή: www.wavegen.com)

Η πρώτη πειραματική μονάδα τέθηκε σε λειτουργία το 2000 στη Σκωτία και είχε ισχύ 500kW καλύπτοντας την τοπική κοινωνία με 15ετές συμβόλαιο με την εταιρία διανομής ενέργειας της Σκωτίας.

Υπό ανάπτυξη βρίσκεται κατασκευή που θα χρησιμοποιηθεί στα Νησιά Φερόε. Στην πρώτη φάση του έργου δαπανήθηκαν £600000 για το σχεδιασμό του μηχανολογικού εξοπλισμού ενώ το συνολικό ύψος της επένδυσης με την εγκατάσταση θα φτάσει τα 7 εκατομμύρια λίρες παράγοντας ισχύ ύψους 100MW. [16]

3.3.7 Συσκευή Sperboy

Η μηχανή Sperboy είναι ένας μετατροπέας κυματικής ενέργειας που επιπλέει και στηρίζεται στην αρχή της ταλάντωσης της στήλης νερού. Ο αέρας εκτοπίζεται από τη στήλη του νερού που ταλαντώνεται και περνάει μέσα από κινητήρες. Είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί σε μεγάλη απόσταση από την ακτή παράγοντας μεγάλες τιμές ενέργειας (Σχήμα 3.21).



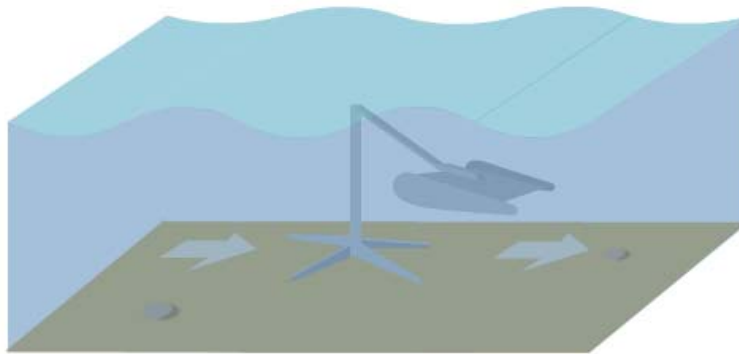
Σχήμα 3.21: Εικόνα της συσκευής Sperbov όπως φαίνεται στη θάλασσα.
(Πηγή: www.bwea.com)

Διαθέτει ελάχιστα κινούμενα τμήματα, που βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και οι απαιτήσεις συντήρησης ελαχιστοποιούνται παράγοντας ενέργεια ανταγωνιστική. Γίνονται έρευνες ώστε να εξασφαλιστεί διάρκεια ζωής που θα φτάνει τα 50 χρόνια παράγοντας μεγάλες τιμές ενέργειας. Συμπερασματικά, η συσκευή έχει δυνατότητα να μειώσει το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

Η ελάχιστη επίδραση στον πυθμένα με την απουσία ελαίων και λιπαντικών κάνει τη συσκευή φιλική προς το περιβάλλον. [16]

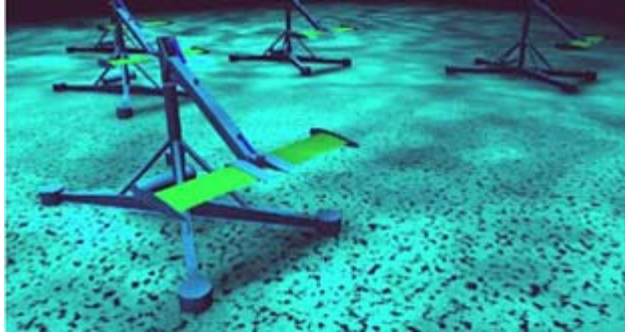
3.3.8 Συσκευές Stingray και EB Front

Η συσκευή Stingray (Σχήμα 3.22) που εκμεταλλεύεται την παλίρροια καθώς και η συσκευή EB Front, που εκμεταλλεύεται τα θαλάσσια κύματα, έχουν προσφάτως αναπτυχθεί και με βάση την εμπειρία των πειραμάτων, αποτελούν ελκυστικές τεχνολογικές κατασκευές.



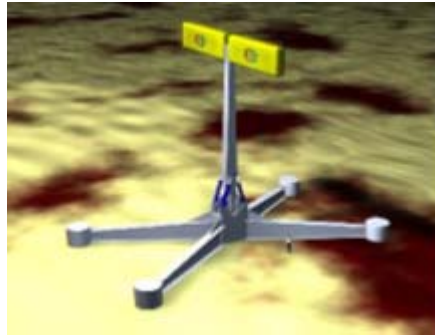
Σχήμα 3.22: Απεικόνιση της λειτουργίας του Stingray από την επίδραση των θαλάσσιων ρευμάτων. (Πηγή: www.bwea.com)

Το Stingray (Σχήμα 3.23) χρησιμοποιεί τα παλιρροιακά ρεύματα για να δημιουργήσει ταλάντωση με την οποία κινούνται υδραυλικοί κύλινδροι, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούν κινητήρες που είναι συζευγμένοι με ηλεκτρογεννήτριες. Η συσκευή τοποθετείται στον πυθμένα και μπορεί να λειτουργήσει μέχρι 100m βάθος.



Σχήμα 3.23: Απεικόνιση συστοιχιών Stingray σε λειτουργία. (Πηγή: www.bwea.com)

Το EB Front (Σχήμα 3.24) τοποθετείται στον πυθμένα κοντά στην ακτή σε βάθη 20-30m και εκμεταλλεύεται την κυματική ενέργεια. Ένας συλλέκτης με μορφή πτερυγίου στην άκρη ενός μακρού μοχλού τοποθετείται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας και καθοδηγείται από τα κύματα παράγοντας υδραυλική ενέργεια με παρόμοιο τρόπο όπως το Stingray.

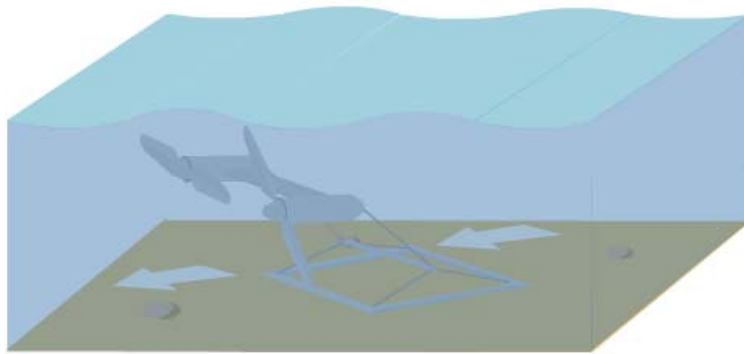


Σχήμα 3.24: Απεικόνιση του EB Front. (Πηγή: www.bwea.com)

Το 2002 έγιναν δοκιμές στη συσκευή Stingray σε νησιά της Σκωτίας. Η συσκευή ζύγιζε 180 τόνους και είχε ισχύ 150kW. Σήμερα με τα δεδομένα που προέκυψαν από τα πειράματα έχουν δημιουργηθεί πιο ευέλικτα συστήματα ελέγχου της απόδοσης της γεννήτριας καταγράφοντας δεδομένα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Υπάρχουν σχέδια για να αναπτυχθεί ένα σύστημα 5MW ώστε να συνδεθεί με το τοπικό δίκτυο και να εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα. [16]

3.3.9 Συσκευή SMD

Η συσκευή SMD έχει αναπτυχθεί για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια από παλιρροιακά ρεύματα. Αποτελείται από ένα ζευγάρι αντίστροφης ροής κινητήρων, παράγοντας 500kW. Βρίσκεται αγκυροβολημένο στο πυθμένα με μια σειρά από αλυσίδες πρόσδεσης. Το σύστημα πρόσδεσης επιτρέπει στους κινητήρες να προσανατολίζονται με το θαλάσσιο ρεύμα χωρίς εξωτερική μεσολάβηση κάνοντας το σύστημα πιο αξιόπιστο και οικονομικότερο. Καθώς το σύστημα δεν έχει κάποια διάταξη υποστήριξης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε βάθος νερού (Σχήμα 3.25).



Σχήμα 3.25: Απεικόνιση της λειτουργίας του SMD με την επίδραση των θαλάσσιων ρευμάτων. (Πηγή: www.bwea.com)

Αυτή τη στιγμή έχουν γίνει δοκιμές σε ειδικές δεξαμενές προσομοίωσης θαλάσσιων ρευμάτων και έχει κατασκευαστεί ένα πρωτότυπο με διάμετρο πτερυγίων 15m (Σχήμα 3.26). [16]



Σχήμα 3.26: Εικόνα του συστήματος SMD σε πειραματικές δοκιμές σε ειδική δεξαμενή. (Πηγή: www.bwea.com)

3.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από θαλάσσια κύματα, είναι ένα πεδίο ευρείας μελέτης καθώς τα θαλάσσια οικοσυστήματα αποτελούν ευαίσθητες βιοκοινωνίες. Από όσα έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύοντας την κάθε συσκευή ξεχωριστά, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι μικρές σε σχέση με συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, και αν συγκριθούν με μια πλατφόρμα εξόρυξης πετρελαίου στη θάλασσα, τότε διαπιστώνεται ότι η επίδραση στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι αμελητέα.

Οι περισσότερες από τις συσκευές που εξετάστηκαν λειτουργούν στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι εγκαταστάσεις αυτές κρατούνται σταθερές μ' ένα σύστημα αγκυρώσεων. Οι αλυσίδες και οι άγκυρες είναι στην ουσία τα μόνα μέρη που έρχονται σε επαφή με τον πυθμένα και η επίδραση που έχουν σε αυτόν δε ξεπερνάει την επίδραση που έχει ένας απλός σημαντήρας ή ένα ναύδετο. Επίσης η καλωδίωση των εγκαταστάσεων με τη ξηρά, που είναι ποντισμένη στον πυθμένα, μπορεί να επιδράσει στον πυθμένα. Συνήθως είναι θαμμένη για να μην αναταράζονται τα καλώδια από κινήσεις πλοίων στη περιοχή.

Πολλές από αυτές τις εγκαταστάσεις έχουν τμήματα που κινούνται υδραυλικά. Οι εταιρίες, στα πλαίσια της προστασίας του περιβάλλοντος, έχουν αλλάξει τα

υδραυλικά έλαια με απλό νερό, για να μην υπάρξει μόλυνση της θάλασσας από διαρροές ελαίων.

Υσκευές που έχουν πτερωτές που κινούνται με θαλάσσια ρεύματα, έχουν τοποθετηθεί μόνο σε ερευνητικό στάδιο και τα αποτελέσματα της επίδρασης της κίνησης της πτερωτής μέσα στο νερό δεν έχουν προκύψει ακόμα.

Σε γενικές γραμμές όμως, πρέπει να γίνει περισσότερη έρευνα για τις επιδράσεις που τυχόν έχουν οι εγκαταστάσεις αυτές και προς το παρόν να αποφεύγεται η εγκατάστασή τους σε ευαίσθητες οικολογικά περιοχές που εμφανίζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τις ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται στη θάλασσα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες. Μια κατηγορία είναι οι επιπτώσεις από φυσική σκοπιά, μια δεύτερη κατηγορία οι βιολογικές επιπτώσεις και τέλος οι επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Όσο αφορά τις επιπτώσεις στη φύση, αυτές επικεντρώνονται κυρίως στις επιπτώσεις που έχει η θεμελίωση και η καλωδίωση της ανεμογεννήτριας αλλά και του υποσταθμού στον θαλάσσιο πυθμένα. Για αυτές τις δραστηριότητες, έχουν γίνει υπολογιστικά μοντέλα και έχουν αξιολογήσει ότι και στο χειρότερο σενάριο που μπορεί να υπάρξει, η επίδραση στον πυθμένα είναι ελάχιστη σε σχέση με τις φυσικές μετακινήσεις που γίνονται. Καθώς γίνεται η θεμελίωση, καλύπτεται ένα μέρος του πυθμένα, αλλά ταυτόχρονα δημιουργείται νέος που χρησιμοποιείται από τους θαλάσσιους οργανισμούς για εγκατάσταση.

Η θεμελίωση θα επιδράσει και τα τοπικά θαλάσσια ρεύματα. Οι επιδράσεις αυτές είναι σε μικρή τοπική μόνο κλίμακα. Υπολογιστικά μοντέλα έχουν δείξει ότι η συνολική ταχύτητα των ρευμάτων μειώνεται περίπου στο 2% μετά την εγκατάσταση.

Τέλος, μια άλλη επίδραση στη φύση προέρχεται από τα ατυχήματα που μπορεί να συμβούν στο αιολικό πάρκο ή το σταθμό του. Από αυτά τα ατυχήματα μπορεί να διαρρεύσουν έλαια στο περιβάλλον από την καλωδίωση. Επίσης, κατά τη διάρκεια μεταφοράς υλικών με πλοία μπορεί να υπάρξει διαρροή πετρελαίου. Ακόμα και κατά την αγκυροβολία αυτών των πλοίων, μπορεί να κοπούν τα υποθαλάσσια καλώδια με αποτέλεσμα να διαρρεύσουν έλαια. Στις περιπτώσεις αυτές, η επίδραση από ατυχήματα παραμένει περιορισμένη. Η πιθανότητα για τέτοια ατυχήματα είναι πολύ μικρή και η μόλυνση από έλαια ή πετρέλαιο δεν είναι βασική σε ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο.

Όσο αφορά τις βιολογικές επιδράσεις, ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο όπως ένα αντίστοιχο στη ξηρά επιδρά στους πληθυσμούς των πτηνών. Επιβάλλεται να γίνει λεπτομερής μελέτη ώστε να διαπιστωθεί ότι η περιοχή εγκατάστασης δεν είναι μεταναστευτικό πέρασμα πτηνών.

Οι βιοκοινωνίες που ζουν στον πυθμένα της θεμελίωσης επηρεάζονται αλλά σε μικρό ποσοστό. Η συνολική μείωση του ενδιαίτηματος επηρεάζει το 0,1% περίπου της πανίδας που ζει στον πυθμένα. Η θεμελίωση όμως δημιουργεί νέο υπόστρωμα και παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι νέες κοινότητες χλωρίδας και πανίδας εγκαθίστανται.

Οι ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στη θάλασσα, μπορεί να επηρεάσουν τα ψάρια με διάφορους τρόπους. Όπως αναφέρθηκε πριν, η τροφή για τα ψάρια στην περιοχή δε θα μειωθεί. Εμπειρικά έχει διαπιστωθεί ότι ήδη όπως ο μπακαλιάρος και ο βακαλάος, έλκονται από κατασκευές όπως είναι τα ναυάγια. Η θεμελίωση μπορεί να έλξη και τα ψάρια, χωρίς να είναι γνωστό το εύρος αυτής της επίδρασης. Ο

υποθαλάσσιος θόρυβος από τις ανεμογεννήτριες και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία των καλωδίων μπορεί να έχει μια τοπική επίδραση στην κατανομή των ψαριών.

Σε έρευνες που έχουν γίνει σε εγκατεστημένα αιολικά πάρκα στη Βόρεια Θάλασσα, έχουν δείξει ότι φάλαινες που ζουν σε εκείνες τις περιοχές, αποφεύγουν να έρχονται σε επαφή με τις ανεμογεννήτριες. Παρόλα αυτά, οι έρευνες είναι ακόμα σε αρχικό στάδιο και πρέπει να υπάρξει κάποια εμπειρία ώστε να γίνει γνωστό αν επηρεάζονται θαλάσσιοι οργανισμοί.

Τέλος, όσο αφορά τις επιπτώσεις στους ανθρώπους έχουν να κάνουν πρώτα με το θόρυβο και την οπτική όχληση. Τόσο ο θόρυβος όσο και η οπτική όχληση είναι σχεδόν ανύπαρκτα ζητήματα. Ο θόρυβος έχει μελετηθεί πως δεν ξεπερνά το 1χιλιόμετρο. Αυτό σημαίνει πως οι ανεμογεννήτριες δεν ακούγονται στη ξηρά. Η οπτική όχληση, επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες και την καθαρότητα της ατμόσφαιρας.

Σημαντική επίδραση θα έχουν οι αλιευτικές δραστηριότητες, καθώς στην περιοχή του πάρκου και σε γειτονικές περιοχές των υποθαλάσσιων καλωδίων απαγορεύονται οι τράτες. Πάντως η περιοχή που καταλαμβάνεται είναι περιορισμένη. Από την άλλη μεριά, καθώς ψάρια θα ακολουθήσουν τους οργανισμούς που θα εγκατασταθούν στα θεμέλια, μπορεί να αναπτυχθεί η αλιεία με δίχτυα.

Επίσης, δραστηριότητες που έχουν να κάνουν με την εξαγωγή από τον πυθμένα άμμου και χαλικιών δεν επηρεάζονται καθώς η χωροθέτηση του πάρκου λαμβάνει όλες αυτές τις δραστηριότητες υπ' όψη. Τέλος, χωροθέτηση εξετάζει και την περίπτωση να μην εγκατασταθεί το πάρκο σε περιοχές με ναυάγια και σημεία ιδιαίτερου αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Από την άλλη κατά τις εργασίες κατασκευής, μπορεί να ανακαλυφθούν αρχαιολογικά ευρήματα.

Στη διαδικασία αδειοδότησης του πάρκου, συμμετέχει το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας, ώστε να αποφευχθούν προβλήματα στη ναυσιπλοΐα. Μικρά σκάφη μπορούν να κινούνται από τις ανεμογεννήτριες οι οποίες σημαίνονται με φανούς και σπίθες. (HROWF)

3.5 Δεδομένα

Τα δεδομένα ανέμου και κύματος στην ανοιχτή θάλασσα, προέρχονται τις περισσότερες φορές μέσα από τις παρατηρήσεις των πλοίων. Με τη δημιουργία μετεωρολογικών σημαντήρων έγινε δυνατή η καταγραφή δεδομένων για ένα συγκεκριμένο μέρος. Τα δεδομένα όμως στην ανοιχτή θάλασσα έγιναν πιο σπάνια καθώς δε βρίσκονται σε μεγάλη έκταση μετεωρολογικοί σημαντήρες στην ανοιχτή θάλασσα. Στη συνέχεια, με τις δορυφορικές παρατηρήσεις τα δεδομένα κύματος και ανέμου λαμβάνονται με σταθερή ροή. (WWAMS)

Το αιολικό και κυματικό δυναμικό που παρουσιάζεται παρακάτω στην εργασία, έχει προκύψει από δύο πηγές. Μια πηγή αποτελεί το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών με βάση το σύστημα Poseidon για την πρόγνωση του καιρού και της θάλασσας στον ελληνικό χώρο. Το σύστημα Poseidon χρησιμοποιεί δεδομένα που λαμβάνονται από μετεωρολογικούς σημαντήρες που έχει ποντισμένους σε διάφορα σημεία της ελληνικής θαλάσσιας επικράτειας. Τα δεδομένα που παρουσιάζονται στην εργασία προέρχονται από μετρήσεις που έχουν προέλθει από την περιοχή της Λέσβου. Ο σημαντήρας βρίσκεται σε γεωγραφικό μήκος $\varphi=25^{\circ} 80'$ και γεωγραφικό πλάτος $\lambda=39^{\circ} 15'$ που τοποθετείται λίγο έξω από το Σίγρι.

Η δεύτερη πηγή είναι ο Αιολικός και Κυματικός Άτλαντας της Μεσογείου που δημιουργήθηκε από ερευνητικά ινστιτούτα της Ευρώπης με σκοπό να καταγραφούν αιολικά και κυματικά δεδομένα στον ευρύτερο χώρο της Μεσογείου. Ο Άτλας χρησιμοποιεί δεδομένα από μετεωρολογικούς σημαντήρες, δορυφορικές παρατηρήσεις και αριθμητικά μοντέλα. Τα αριθμητικά μοντέλα, μετεωρολογικά και κυματικά, βελτίωσαν την ακρίβειά τους σε σημείο που τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα και να χρησιμοποιούνται σε πρακτικούς σκοπούς.

Αυτές οι πηγές παρουσιάζουν έναν υπερβολικό αριθμό δεδομένων. Παρ' όλα αυτά, κάθε πηγή έχει τους περιορισμούς της και τα μειονεκτήματά της. Οι σημαντήρες είναι πολύ αραιά τοποθετημένοι και μόνο ένας περιορισμένος αριθμός από αυτούς είναι διαθέσιμος. Κάθε δορυφόρος κινείται σε καθορισμένες τροχιές και τα δεδομένα τους αφορούν μόνο τα συγκεκριμένα επιφανειακά τους ίχνη, με μεγάλα κενά μεταξύ τους και με χρονικό διάκενο ίσο με τη διάρκεια του κύκλου τους, που κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30 ημερών. Τα αριθμητικά μοντέλα είναι η πυκνότερη πηγή, τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Παρ' όλα αυτά είναι μοντέλα και δεν προσεγγίζουν ξεκάθαρα την πραγματικότητα.

Η λύση βρίσκεται στη συνδυασμένη χρήση όλων των πηγών, καλύπτοντας τα μειονεκτήματά τους με δεδομένα από τις εναλλακτικές πηγές. Αυτή η αρχή ακολουθήθηκε και για τη δημιουργία του Άτλαντα της Μεσογείου.

Μια τέτοια διαδικασία δεν είναι άμεση και απαιτούνται αρκετά βήματα. Τα δεδομένα, τόσο από τις μετρήσεις, όσο και από τα μοντέλα, πρέπει να συλλεχθούν, να ελεγχθούν για πιθανά σφάλματα και να διορθωθούν. Έπειτα, οι διάφορες πηγές πρέπει να συνδυαστούν, δίνοντας το τελικό σετ δεδομένων που είναι κατάλληλο για την τελική στατιστική ανάλυση. (WWAMS)

3.6 Μοντέλα υπολογισμού

Ο Αιολικός και Κυματικός Άτλας της Μεσογείου, βασίστηκε σε δεδομένα μοντέλων κατάλληλα διακριβωμένα από δορυφορικές παρατηρήσεις. Με αυτό τον τρόπο, η συστηματική κάλυψη του χώρου και του χρόνου, μια ξεχωριστή ιδιαιτερότητα των αριθμητικών μοντέλων, καλύφθηκαν πλήρως και ταυτόχρονα, η ποιότητα των δεδομένων είναι σημαντικά βελτιωμένη χρησιμοποιώντας την πιο επίκαιρη και αξιόπιστη τεχνική μέτρησης που είναι ικανή να καλύψει μεγάλες εκτάσεις μεγάλων θαλασσών, τη δορυφορική τηλεπισκόπηση.

Σετ δεδομένων μια δεκαετίας, από 935 σημεία κατανεμημένα σε κάθε σημείο της Μεσογείου, συλλέχθηκαν, βαθμονομήθηκαν, αναλύθηκαν και εκμεταλλεύτηκαν για τα κύρια αιολικά και κυματικά χαρακτηριστικά. Η γεωγραφική κατανομή είναι εκτεθειμένη σε εποχιακή βάση σε ισοΰψεις γραμμές σε 70 χάρτες. Επιπροσθέτως, 2580 διμεταβλητά ιστογράμματα για τα κύρια αιολικά και κυματικά χαρακτηριστικά υπολογίστηκαν (σε εποχιακή βάση) και παρουσιάζονται σε 129 σημεία κατά μήκος της Μεσογείου στον άτλαντα. (WWAMS)

3.6.1 Πηγές δεδομένων

Υπάρχουν τέσσερις κύριες πηγές δεδομένων θαλάσσιου ανέμου και κύματος που είναι διαθέσιμες. Οι οπτικές παρατηρήσεις από τα πλοία, τα δεδομένα που μετράνε μετεωρολογικοί σημαντήρες και πλατφόρμες, τα δεδομένα που μετράνε τηλεπισκοπικά οι δορυφόροι και μετεωρολογικά και κυματικά μοντέλα που λειτουργούν σε διάφορα μετεωρολογικά και ωκεανογραφικά κέντρα.

Αυτά τα δεδομένα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά εκφρασμένα σε ποιότητα, ακρίβεια, σφάλματα στα δεδομένα, γεωγραφικές κατανομές και αριθμό των δεδομένων. Στη συνέχεια γίνεται μια περιγραφή των δεδομένων και της χρήσης τους καθώς δημιουργήθηκε ο Άτλας. Παρουσιάζονται τα προβλήματα και οι περιορισμοί που σχετίζονται με την κάθε πηγή και τα όργανα.

Σχετικά με τις ορατές παρατηρήσεις, πρέπει να σημειωθεί ότι, οι μετρήσεις από τα πλοία για πολλά χρόνια ήταν η μόνη πηγή πληροφορίας σχετικά με τον άνεμο και τα κύματα στην ανοιχτή θάλασσα. Υπάρχουν δεδομένα πολλών δεκαετιών, και πολλοί άτλαντες δημιουργήθηκαν βασισμένοι σε αυτά τα δεδομένα. Παρ' όλα αυτά, προσεκτικές συγκρίσεις με σωστά μετρημένα δεδομένα δείχνουν τους περιορισμούς αυτής της μεθόδου και τα σημαντικά σφάλματα που εμφανίζονται, ειδικά σε καταστάσεις καταιγίδων, περιπτώσεις που οι χρήστες ενδιαφέρονται περισσότερο. Ένας μεγάλος περιορισμός των οπτικών παρατηρήσεων δίνεται από την κατανομή κατά μήκος των πιο κοινών ναυτιλιακών διαδρομών και από την τάση των πλοίων να αποφεύγουν θεαλλώδης περιοχές, εξάγοντας σημαντική στατιστική απόκλιση. Έχοντας μεγάλη διαθεσιμότητα σε εναλλακτικά δεδομένα, συνδυαζόμενα με κατάλληλο τρόπο, παρέχουν μεγάλη ακρίβεια και ολοκληρωμένη κάλυψη στο χώρο και στο χρόνο.

Τα δεδομένα που προέρχονται από σημαντήρες, είναι μια συνήθης πρακτική για τη συλλογή δεδομένων σχετικών με τα κύματα στην ανοιχτή θάλασσα. Τα δεδομένα μετρώνται από σημαντήρες που είναι δεμένοι σ' ένα συγκεκριμένο σημείο. Τα βάθος μπορεί να φτάσει μερικές εκατοντάδες μέτρα, ενώ δεν ενδείκνυται η τοποθέτηση σε ρηγά νερά.

Η λειτουργία τους είναι συνεχής και το σήμα τους μεταφέρεται στη ξηρά σε συνεχή βάση, όπου καταγράφεται. Οι σημαντήρες έχουν την ικανότητα να μετράνε την κατακόρυφη συνιστώσα της επιφανειακής κίνησης καθώς και την ικανότητα να καταγράφουν διευθύνσεις. Καταγράφοντας την κίνησή τους, γίνεται κατανοητό πως τα τοπικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της θάλασσας αλλάζουν με το χρόνο. Οι φυσικές παράμετροι που μετρώνται είναι η ανύψωση της επιφάνειας και δύο ορθογωνικές συνιστώσες της επιφανειακής κλίσης. Κατάλληλες μαθηματικές σχέσεις αυτών των ποσοτήτων, παρέχουν προσδιορισμό του φάσματος συχνοτήτων ανύψωσης, συχνότητα της μέσης κυματικής κατεύθυνσης, ασυμμετρία κατανομής και κύρτωση.

Στη Μεσόγειο, οι σημαντήρες αντιπροσωπεύουν την πιο ακριβή πηγή για πληροφορίες κυματικών δεδομένων. Τα σφάλματα υπάρχουν σε μικρά ποσοστά και αυξάνονται όταν υπάρχουν μεγάλα ύψη κύματος εξαιτίας της τάσης των σημαντήρων να μη μπορούν να περάσουν πάνω από τις υψηλότερες κορυφές, λόγω της πρόσδεσής τους στον πυθμένα, και έτσι γίνεται λανθασμένη εκτίμηση του ύψους του κύματος.

Τα δορυφορικά ραντάρ παρέχουν μια εκτίμηση του ύψους κύματος κατά τη διάρκεια του περάσματος του δορυφόρου από το κατώτατο σημείο, μετρώντας την κλίση του επιστρεφόμενου παλμού που είναι εκτεταμένος στο χρόνο εξαιτίας της χρονικής καθυστέρησης μεταξύ της κορυφής του κύματος και της κοιλίας του. Παρέχουν επίσης εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου για δέκα μέτρα από την επιφάνεια.

Αφού τα δεδομένα βαθμονομηθούν χρησιμοποιώντας αποτελέσματα από μελέτες, γίνεται μια περαιτέρω επαλήθευση των δεδομένων της Μεσογείου, χρησιμοποιώντας τοπικά δεδομένα από σημαντήρες. Ο σκοπός είναι η σύγκριση των δεδομένων μεταξύ σημαντήρων και δορυφόρων. Καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα από σημαντήρες για την ταχύτητα του ανέμου, συγκρίνεται μόνο το ύψος κύματος. Για να

γίνει η σύγκριση εφικτή, πρέπει να γίνει μια συγκριτική παράθεση στο χρόνο και στο χώρο. Φυσικά, αυτό μπορεί να γίνει μόνο μέσω μερικής προσέγγισης. Όσο πιο κοντά είναι, τόσο πιο σημαντική είναι η σύγκριση. (WWAMS)

3.6.2 Δεδομένα μοντέλων

Πολλά ερευνητικά κέντρα χρησιμοποιούν ατμοσφαιρικά και κυματικά μοντέλα, δημιουργώντας καθημερινή πρόγνωση και ανάλυση καιρού παγκοσμίως. Σε γενικές γραμμές, και ειδικά τα κυματικά μοντέλα δεν έχουν υψηλή ανάλυση για να περιγράψουν με μεγάλη ακρίβεια κλειστές λεκάνες όπως η Μεσόγειος. Γι' αυτό το λόγο κάποια ερευνητικά κέντρα που ενδιαφέρονται αποκλειστικά για κλειστές λεκάνες, χρησιμοποιούν τοπικά και σε περιορισμένη έκδοση τα μοντέλα τους.

Παρ' όλα αυτά, παρουσιάστηκαν πολλές πηγές πληροφόρησης που είναι διαθέσιμες για τη Μεσόγειο. Οι πηγές αυτές περιλαμβάνουν το Μετεωρολογικό γραφείο του Ηνωμένου Βασιλείου (UKMO), το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προβλέψεων (ECMWF), το Meteo France και το Ωκεανογραφικό Κέντρο του Αμερικάνικου Πολεμικού Ναυτικού (US Navy Oceanographic Center). Προϋποθέσεις των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν είναι, η διαθεσιμότητα δεδομένων για τη Μεσόγειο μια δεκαετίας, μαζί με τη συμβατότητα την ακρίβεια και την ανάλυση του προγράμματος καθώς επίσης και η διαθεσιμότητα των δεδομένων ή έστω η οικονομική συμβατότητα με το πρόγραμμα. (WWAMS)

3.6.3 Το ατμοσφαιρικό μοντέλο - ανεμολογικά δεδομένα

Το επιχειρησιακό μοντέλο του ECMWF είναι φασματικό, τα οριζόντια πεδία περιγράφονται με αναπτύγματα δύο διαστάσεων. Η φυσική παραμετροποίηση περιγράφει βασικές φυσικές διεργασίες που συνδέονται με μεταφορά ακτινοβολίας, στροβιλώδης ανάμιξη, ορεογραφική αντίσταση, υγρή μεταγωγή θερμότητας, νέφη και εδαφικές διεργασίες. Οι προγνωστικές μεταβλητές περιλαμβάνουν ανεμολογικές συνιστώσες, θερμοκρασία, ειδική υγρασία, αναλογία υγρού στερεού νερού και το κλάσμα νεφών. Η παραμετροποίηση είναι απαραίτητη προκειμένου να περιγραφεί κατάλληλα η επίδραση μηχανισμών στη μεγάλη κλίμακας ροή της ατμόσφαιρας. Οι παράμετροι πρόγνωσης καιρού, όπως η θερμοκρασία δύο μέτρων, τα κατακρημνίσματα και η νεφοκάλυψη, υπολογίζονται από τη φυσική παραμετροποίηση του μοντέλου. Ο άνεμος στα δέκα μέτρα προκύπτει από το οριακό στρώμα και είναι σχετικό μέχρι τα 30μέτρα ύψος.

Τα δεδομένα του μοντέλου για πολύ χαμηλές ταχύτητες δεν είναι αξιόπιστα καθώς αυτές παραβλέπονται από διαδικασίες μικρότερης κλίμακας. Αυτό επαληθεύεται κοντά στη ξηρά, που είναι προφανές παράδειγμα θαλάσσιας αύρας. Στις παράκτιες περιοχές τα ανεμολογικά μοντέλα δεν είναι αξιόπιστα σε όλες τις καταστάσεις εξαιτίας της κύριας επίδρασης της ορεογραφίας, που δεν αντιπροσωπεύεται επαρκώς στα μετεωρολογικά μοντέλα. Υπάρχει η τάση να υποτιμώνται οι αιχμές των ταχυτήτων ανέμου πολύ περισσότερο από το μέσο όρο και τις χαμηλότερες. Αυτό πιθανόν να συνδέεται με την ανάλυση του μοντέλου, αλλά η κατάλληλη παραμετροποίηση των φυσικών διεργασιών που επιδρούν σε συνθήκες κακοκαιρίας μπορεί να παίξουν κάποιο ρόλο. (WWAMS)

3.6.4 Το κυματικό μοντέλο WAM

Από τον Ιούλιο του 1992 το ECMWF παράλληλα με το μετεωρολογικό μοντέλο, τρέχει ένα κυματικό μοντέλο. Όπως με την πρόγνωση του καιρού, ο σκοπός του είναι να δημιουργεί προγνώσεις για την κυματική κατάσταση της θάλασσας.

Το κυματικό μοντέλο που χρησιμοποιεί το ECMWF λέγεται WAM και είναι ένα εξελιγμένο τρίτης γενιάς μοντέλο που δημιουργήθηκε από συνεργασία των κορυφαίων ειδικών που υπάρχουν αυτή τη στιγμή.

Το μοντέλο στηρίζεται στη φασματική περιγραφή της επιφάνειας της θάλασσας, ε όλα τα σημεία που καλύπτει το πλέγμα στην περιοχή ενδιαφέροντος, η κυματική κατάσταση απεικονίζεται σαν μια επαλληλία μετρήσιμου, αλλά αρκετά μεγάλου, αριθμού ημιτονοειδών συνιστωσών, που η κάθε μια χαρακτηρίζεται από τη συχνότητα, την διεύθυνση, το ύψος και την ενέργεια. Η εξέλιξη στο χώρο και στο χρόνο όλου του πεδίου ελέγχεται από τη σχέση διατήρησης ενέργειας:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + c_g \nabla F = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} \quad (3.1)$$

όπου, το αριστερό μέρος αντιπροσωπεύει την παράγωγο του χρόνου και την κινηματική του πεδίου, και το δεξί μέρος τις φυσικές διεργασίες που συμβαίνουν για την εξέλιξη του φαινομένου.

Το μοντέλο WAM λειτουργεί σε δύο εκδόσεις, μια για τον παγκόσμιο ωκεανό και μια για τη Μεσόγειο. Ο λόγος είναι ότι χρειάζεται μεγάλη ανάλυση για να περιγραφούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης της Μεσογείου. Η λειτουργία του ξεκίνησε το 1992. Στην αρχή η ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε ήταν 0,5° για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος για 925 περίπου σημεία. Αργότερα η ανάλυση αυξήθηκε σε 0,25° για σχεδόν 4000 σημεία.

Το μοντέλο της Μεσογείου περιλαμβάνει την περιοχή μεταξύ 6° δυτικά και 36° ανατολικά για το γεωγραφικό μήκος, και μεταξύ 30° και 46° βόρεια για το γεωγραφικό πλάτος. Η περιοχή αργότερα επεκτάθηκε για να περιλαμβάνει και τη Βαλτική θάλασσα. Στα τέλη του 1998 μια πιο εκτενής έκδοση ήταν σε λειτουργία. Περιελάμβανε το Βόρεια Ατλαντικό ωκεανό, τη θάλασσα Μπάρεντς, τη Βαλτική θάλασσα, τη Μεσόγειο και τη Μαύρη θάλασσα. Η ανάλυση παρέμεινε 0,25° αλλά μόνο στην κατεύθυνση του γεωγραφικού πλάτους. Για κάθε γεωγραφικό πλάτος ένας διαφορετικός αριθμός σημείων χρησιμοποιείται στην κατεύθυνση του γεωγραφικού μήκους, ομοιόμορφα κατανομημένα σε απόσταση 27,5χιλιομέτρων.

Τα δεδομένα του κυματικού μοντέλου δεν είναι αξιόπιστα για συνδυασμό χαμηλών υψών κύματος και περιόδου γιατί σχετίζεται με χαμηλούς ανέμους. Το μοντέλο έχει την τάση να χάνει τις κορυφές από καταιγίδες περισσότερο παρά τη γενική τάση να υποεκτιμάει το ύψος κύματος της Μεσογείου. Τα κυματικά δεδομένα έχουν χαμηλή αξιοπιστία κοντά στην ακτή, σε περίπτωση που φυσούν άνεμοι προς την ακτή, εξαιτίας της μικρής ακρίβειας των ανέμων σε αυτές τις περιπτώσεις που αναφέρθηκε προηγουμένως. Αν οι άνεμοι πνέουν από την ακτή τα δεδομένα μπορεί να είναι σημαντικά λανθασμένα για 50 με 100χιλιόμετρα από την ακτή εξαιτίας των σφαλμάτων στο ανεμολογικό πεδίο και του καθορισμού της ακτογραμμής εξαιτίας της ανάλυσης του μοντέλου. (WWAMS)

3.6.5 Διαχείριση δεδομένων

Συνοψίζοντας, ισχύει ότι τα δεδομένα από σημαντήρες είναι πολύ ακριβή αλλά αραιά στο χώρο ώστε να επαρκούν για μια κατάλληλη περιγραφή των χαρακτηριστικών ολόκληρης της Μεσογείου.

Τα δορυφορικά δεδομένα έχουν καλή ποιότητα, με εξαίρεση πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές τιμές ανέμου και κύματος και τις περιοχές κοντά στην ακτή. Υπάρχει μεγάλος αριθμός δεδομένων διαθέσιμος. Παρ' όλα αυτά για μια συγκεκριμένη περιοχή, τα

δεδομένα υπάρχουν με μεγάλα χρονικά διάκενα. Δεδομένα ύψους κύματος υπάρχουν μόνο για περιοχές που τις διασχίζει ο δορυφόρος.

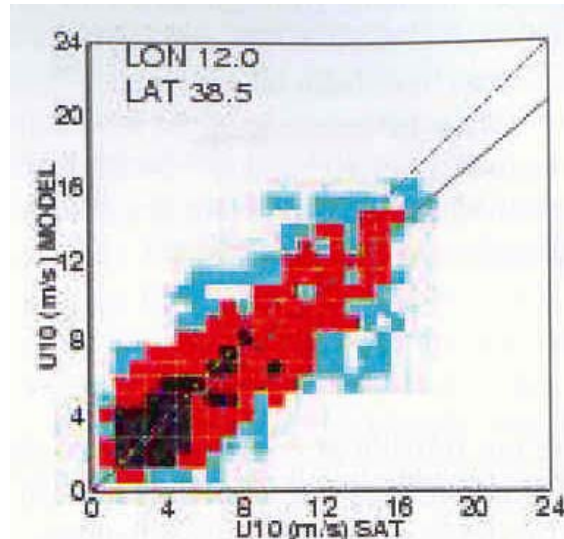
Τα δεδομένα των μοντέλων είναι συνεχή στο χώρο και στο χρόνο, γι' αυτό το λόγο είναι ιδανικά για τους σκοπούς του άτλαντα. Παρ' όλα αυτά, τα κυματικά και ανεμολογικά δεδομένα έχουν την τάση να υποεκτιμούν τις αντίστοιχες μετρημένες τιμές. Ανεξάρτητα από αυτό, τα δεδομένα είναι αναξιόπιστα για πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές τιμές και γενικά κοντά στις ακτές μέχρι αποστάσεως 50-100χιλιομέτρων.

Γίνεται αντιληπτό ότι καμία πηγή δεν επαρκεί από μόνη της για να παρέχει κατάλληλα δεδομένα για τον άτλαντα. Η λύση βρίσκεται στο συνδυασμό των πηγών, προσεγγίζοντας τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Οι σημαντήρες χρησιμοποιούνται για να επιβεβαιώσουν τα δορυφορικά δεδομένα. Έπειτα, τα πιο πρόσφατα χρησιμοποιούνται για να βαθμονομήσουν τα αποτελέσματα των κυματικών και ανεμολογικών μοντέλων. Τέλος, τα βαθμονομημένα δεδομένα χρησιμοποιούνται για να εξαγονται τα στατιστικά για όλα τα επιλεγμένα σημεία. (WWAMS)

3.6.6 Βαθμονόμηση

Οι παράμετροι του μοντέλου που βαθμονομούνται με βάση τα δορυφορικά δεδομένα είναι η ταχύτητα ανέμου, το ύψος του κύματος και η περίοδος του κύματος. Οι δύο πρώτοι παράμετροι εξαγονται από τις δορυφορικές μετρήσεις. Η βαθμονόμηση της περιόδου του κύματος εξαγεται από αυτή του ύψους κύματος. Καμία διόρθωση στην κατεύθυνση δεν έχει γίνει.

Για κάθε ζευγάρι δεδομένων (δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα του ECMWF), τα δεδομένα του μοντέλου μεταβάλλονται στη θέση του δορυφόρου και την ώρα διέλευσης. Στη συνέχεια, το κάθε ζευγάρι προσδιορίζεται στο πλησιέστερο σημείο του πλέγματος. Αυτό γίνεται για 0,5° ανάλυση. Έτσι, δίνει για κάθε σημείο του πλέγματος μια ακολουθία ζευγών δεδομένων, αραιά στο χρόνο και κατάλληλα για τοπική ανάλυση. Για κάθε σημείο η κατανομή μοντέλου και δορυφόρου προσδιορίζεται με μια ευθεία γραμμή. Αυτό φαίνεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3.27). Η κλίση παρέχει μια εκτίμηση της μέσης αναλογίας μεταξύ των δεδομένων του μοντέλου και του δορυφόρου, αντίστροφα από το συντελεστή βαθμονόμησης που θα χρησιμοποιηθεί. (WWAMS)

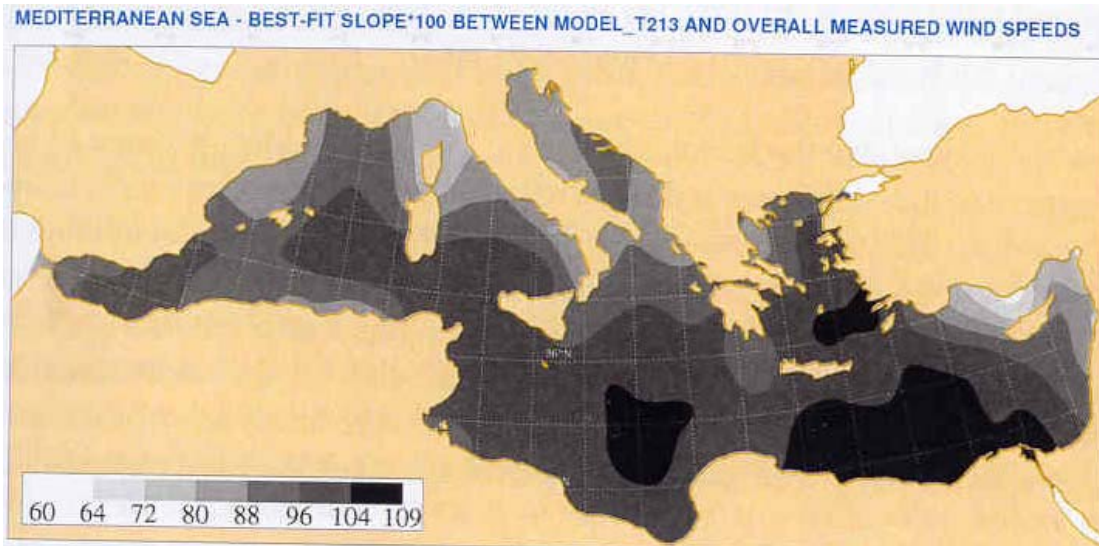


Σχήμα 3.27: Καρτεσιανό διάγραμμα ταχύτητας ανέμου για ένα σημείο της Μεσογείου, μεταξύ του μοντέλου (κάθετα) και του υψομετρικού (οριζόντια).
(Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

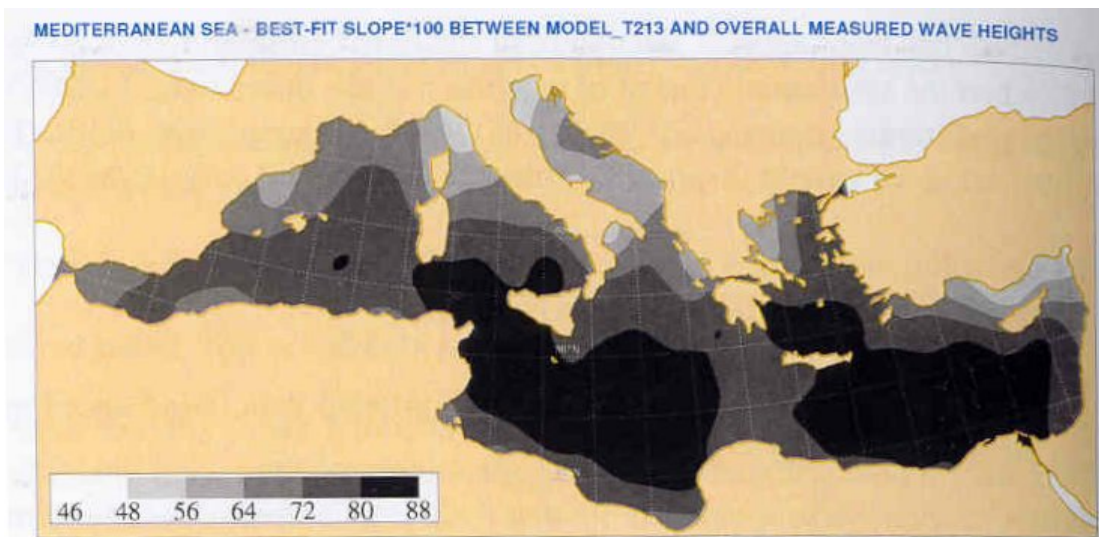
3.6.7 Ανάλυση της διαδικασίας βαθμονόμησης

Υπάρχουν πολλά σφάλματα στη διαδικασία της βαθμονόμησης. Αφορούν τις μετρήσεις από τους δορυφόρους και τη δυνατότητα των μοντέλων να ανταποκριθούν σε διαφορετικές καταστάσεις. Κάθε επιλεγμένο σημείο περιέχει διαθέσιμες πληροφορίες από την περιοχή που περικλείεται. Η μεταβλητότητα υπάρχει στην ανοιχτή θάλασσα και αυξάνει όσο προχωράμε προς την ακτή, ειδικά στις βόρειες ακτές της Μεσογείου. Ο λόγος είναι ότι οι Ευρωπαϊκές ακτές χαρακτηρίζονται από έντονη ορειογραφία. Καθώς οι περισσότερες καταιγίδες προέρχονται από τα βόρεια τμήματα, η θαλάσσιες περιοχές κατά μήκος των βόρειων ακτών βρίσκονται υπήνεμα των βουνών.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης, υπάρχει μια ανακολουθία μεταξύ των ανεμολογικών και κυματικών αποτελεσμάτων. Τα κύματα είναι άμεσα παράγωγα του ανέμου και κάθε σφάλμα στο ανεμολογικό πεδίο επιδρά στο κυματικό πεδίο. Επομένως, δύο χάρτες του συντελεστή βαθμονόμησης αναμένεται να δείξουν υψηλό βαθμό αρμονίας. Πράγματι, στα επόμενα σχήματα (Σχήμα 3.28 και Σχήμα 3.29) φαίνονται οι γεωμετρικές κατανομές στη Μεσόγειο για την ταχύτητα ανέμου και το ύψος κύματος αντίστοιχα. Για τον άνεμο και τα κύματα, οι μεγαλύτερες διορθώσεις χρειάζονται κατά μήκος των Ευρωπαϊκών ακτών και στην Τουρκία. Οι διορθώσεις για τον άνεμο είναι πολύ μικρότερες από αυτές του κύματος. Η κατανομή των ύψων κύματος σε μια λεκάνη, συγκρινόμενη με τις διαθέσιμες τοπικές μετρήσεις, είναι ένας καλός τρόπος να κρίνεται η ποιότητα του ανεμολογικού πεδίου. (*WWAMS*)



Σχήμα 3.28: Κατανομή των καλύτερων κλίσεων μεταξύ του μοντέλου και των δορυφορικών μετρήσεων για τις ταχύτητες του ανέμου. (Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)



Σχήμα 3.29: Κατανομή των καλύτερων κλίσεων μεταξύ του μοντέλου και των δορυφορικών μετρήσεων για το ύψος του κύματος. (Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

3.6.8 Αιολικά στατιστικά

Οι δύο ανεμολογικές παράμετροι που μελετώνται είναι:

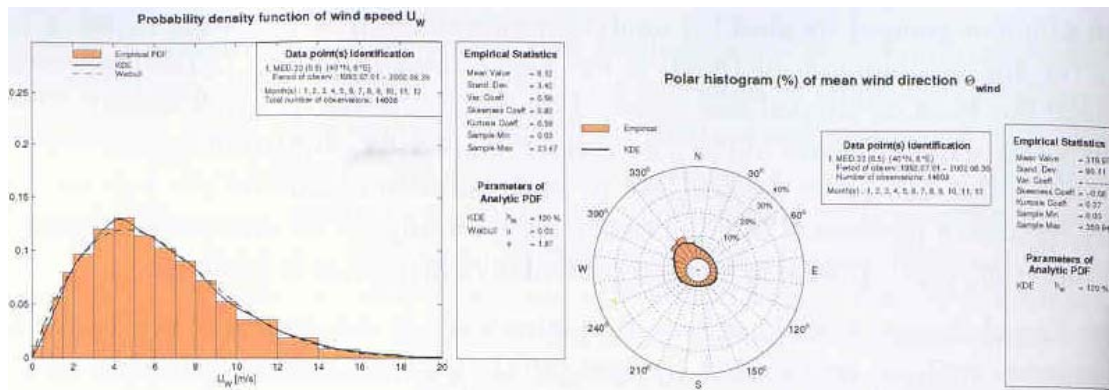
- η ταχύτητα ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας

$$U_w = \sqrt{U_{10}^2 + V_{10}^2} \quad (3.2)$$

- η διεύθυνση του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας

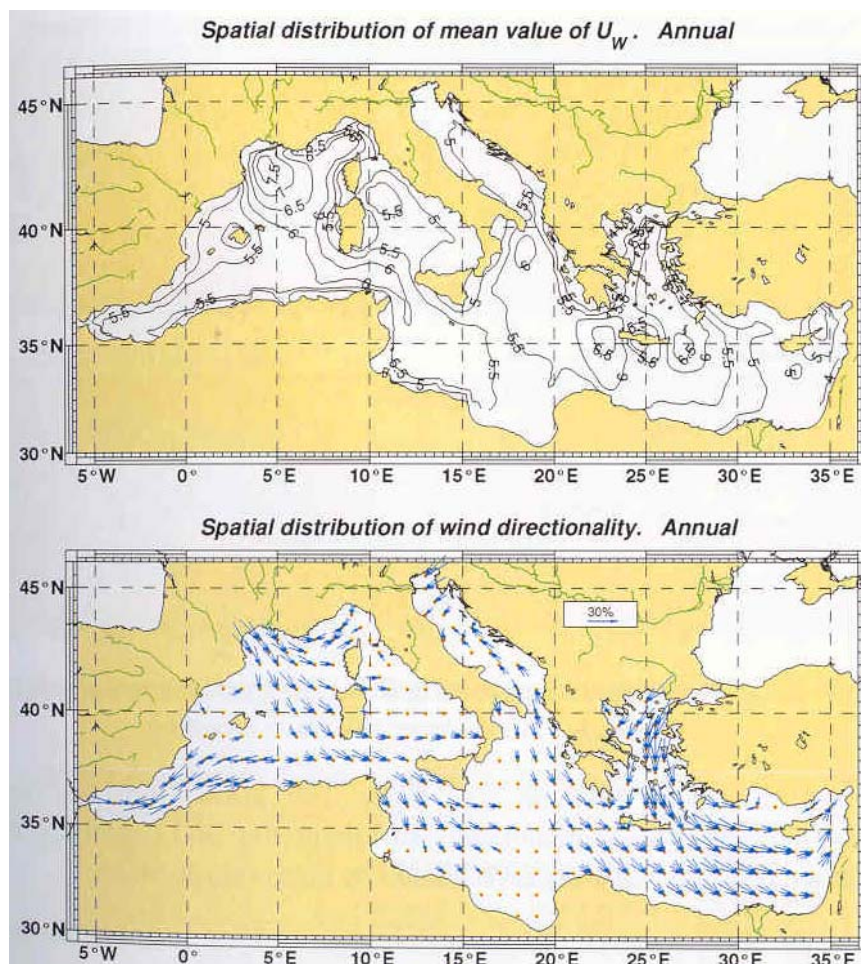
$$\Theta_w = \tan^{-1} V_{10} / U_{10} \quad (3.3)$$

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 3.30) φαίνονται τα στατιστικά σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Η εμπειρική συνάρτηση για την ταχύτητα του ανέμου U_w προσδιορίζεται από την κατανομή Weibull.



Σχήμα 3.30: Παραδείγματα στατιστικών ανέμου για ένα συγκεκριμένο σημείο (6E, 40N). α) ταχύτητα ανέμου, β) διεύθυνση ανέμου. (Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3.31) παρουσιάζονται χωρικές κατανομές ταχυτήτων ανέμου και διευθύνσεις ανέμου. Στον πρώτο χάρτη φαίνονται οι περιοχές όπου η εποχική μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι σταθερή. Στο δεύτερο χάρτη φαίνονται οι διευθύνσεις του ανέμου.

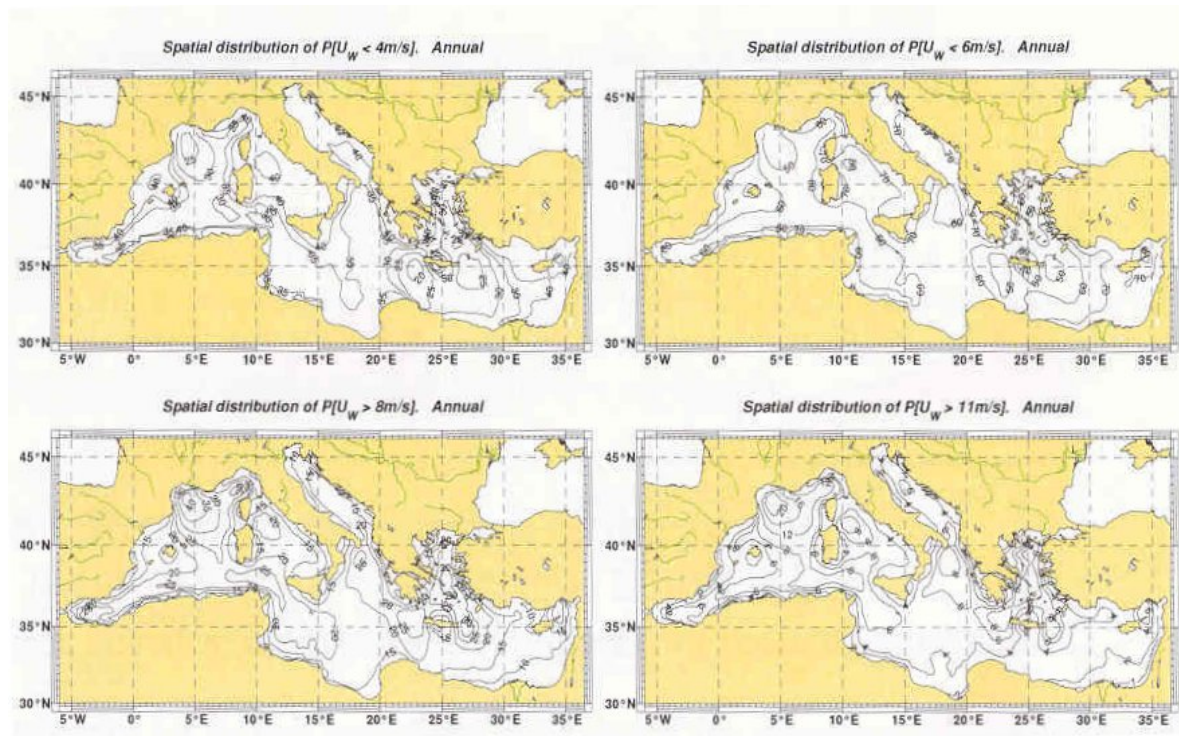


Σχήμα 3.31: Παραδείγματα χωρικών κατανομών ανέμου. α) ταχύτητα ανέμου, β) διεύθυνση ανέμου. (Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3.32) παρουσιάζονται οι χωρικές κατανομές των παρακάτω χαρακτηριστικών:

- η πιθανότητα ότι $U_W < 4\text{m/s}$

- η πιθανότητα ότι $U_W < 6\text{m/s}$
- η πιθανότητα ότι $U_W > 8\text{m/s}$
- η πιθανότητα ότι $U_W > 11\text{m/s}$ (WWAMS)



Σχήμα 3.32: Παραδείγματα χωρικών κατανομών για σημαντικά γεγονότα ανέμου.
(Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

3.6.9 Κυματικά στατιστικά

Οι παρακάτω κυματικοί παράμετροι μελετώνται:

- το ύψος κύματος

$$H_S = 4\sqrt{m_0} \quad (3.4)$$

- η περίοδος κορυφής

$$T_P = \frac{1}{f_P} \quad (3.5) \quad \frac{dS(f_P)}{df} = 0 \quad (3.6)$$

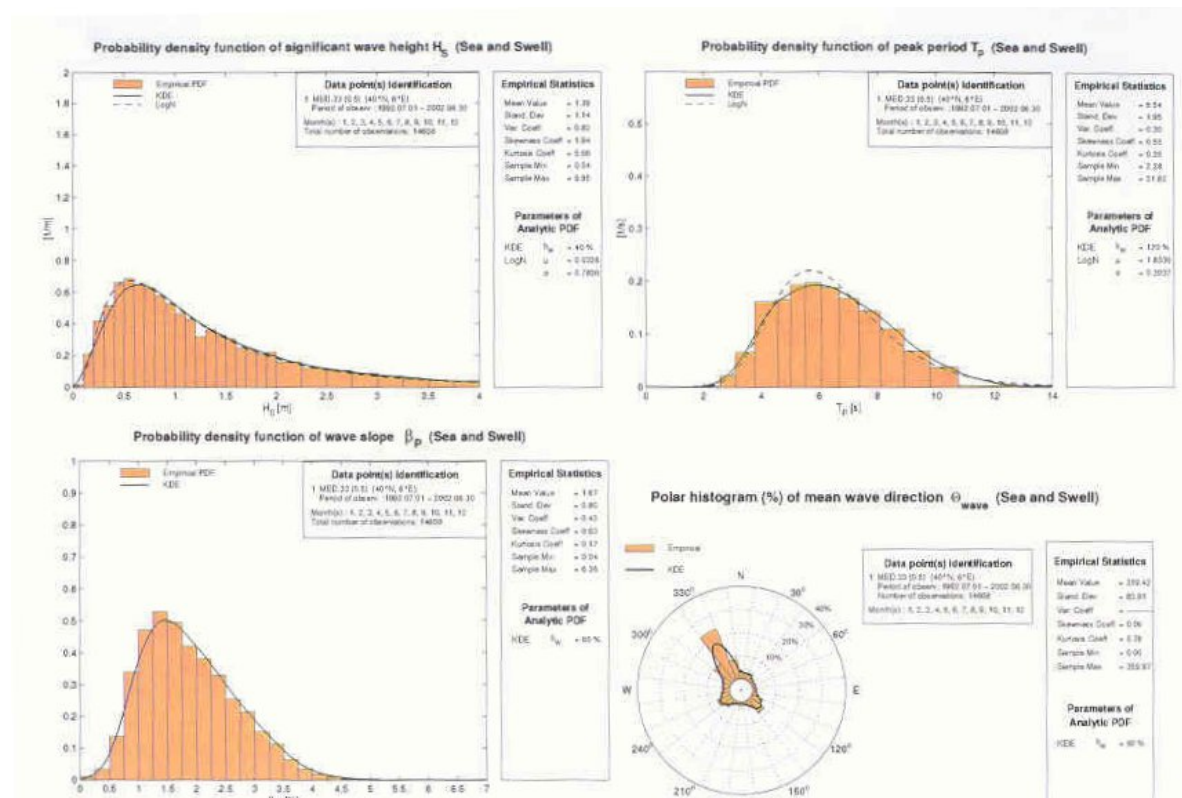
- η κλίση του κύματος (βασισμένη στην περίοδο κορυφής)

$$\beta_P = \frac{2\pi H_S}{gT_P^2} \quad (3.7)$$

- η διεύθυνση του κύματος

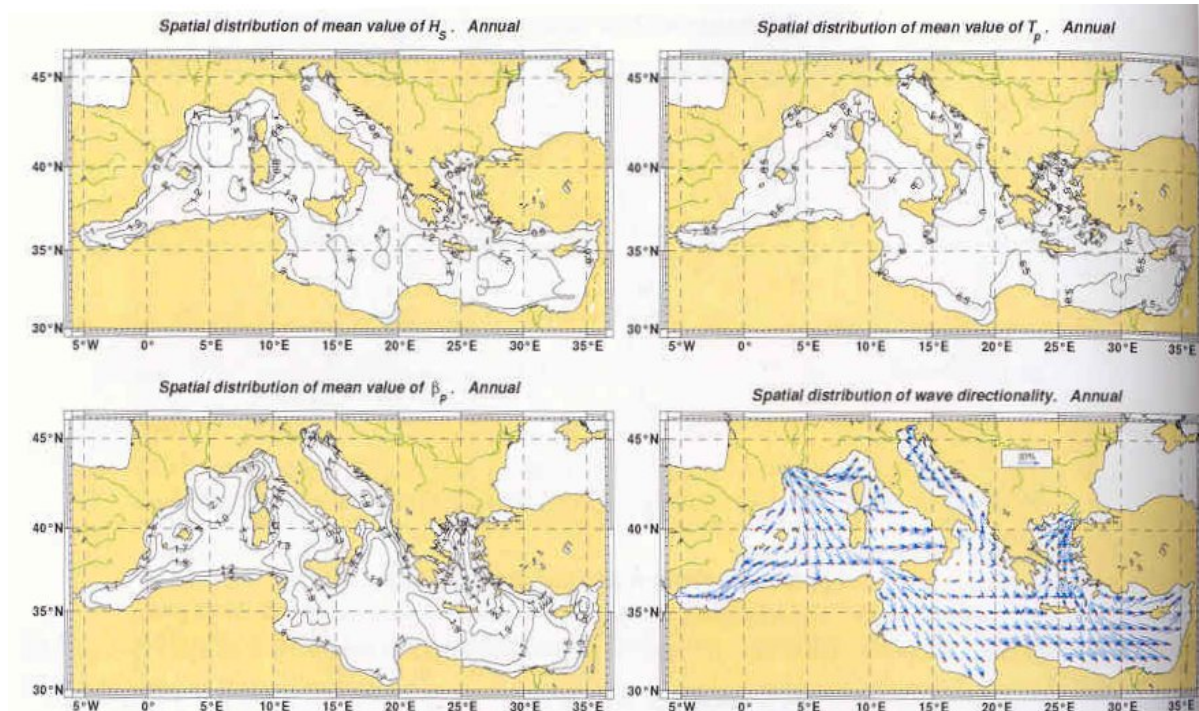
$$\Theta_{wave} = \arctan \left(\frac{\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} S(f, \theta) \sin \theta df d\theta}{\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} S(f, \theta) \cos \theta df d\theta} \right) \quad (3.8)$$

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 3.33) φαίνονται τα στατιστικά σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Οι εμπειρικές συναρτήσεις για το ύψος κύματος και την περίοδο του κύματος προσδιορίζονται από την κατανομή Longnormal.



Σχήμα 3.33: Παράδειγμα στατιστικών κύματος για ένα σημείο (6E, 40N). α) ύψος κύματος, β) περίοδος κορυφής, γ) κλίση του κύματος, δ) διεύθυνση του κύματος.
(Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

Στο σχήμα 3.34 μελετώνται οι χωρικές κατανομές του ύψους κύματος, της περιόδου κορυφής και της κλίσης του κύματος. Στα περιγράμματα του κάθε χάρτη φαίνονται οι περιοχές όπου οι μέσες τιμές είναι σταθερές.



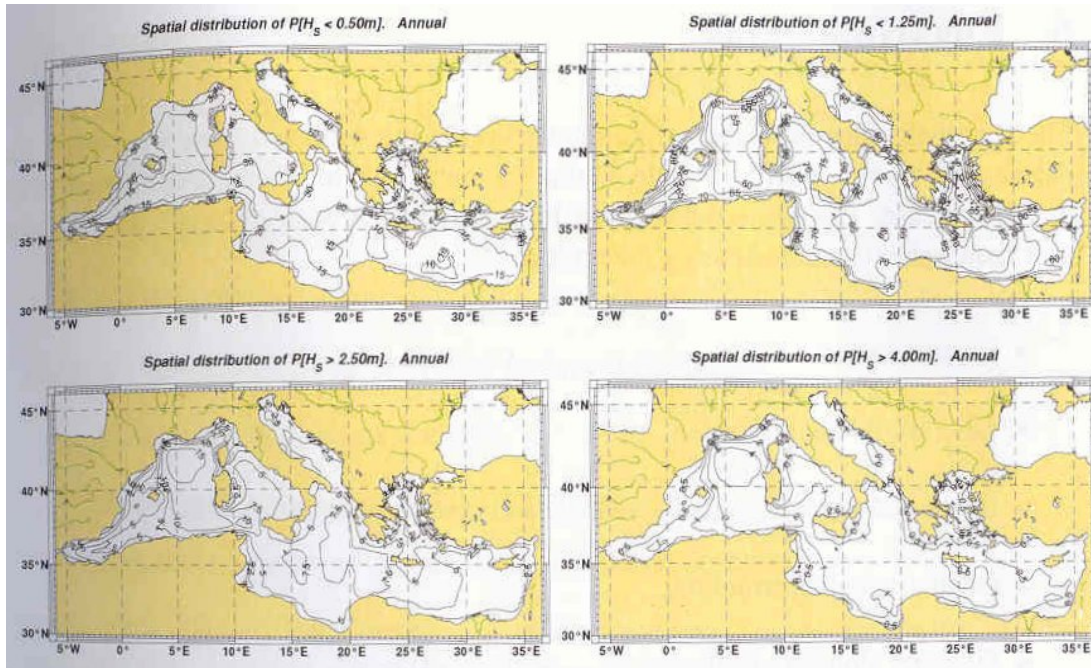
Σχήμα 3.34: Παραδείγματα χωρικών κατανομών των κυμάτων. α) ύψος κύματος, β) περίοδος κορυφής, γ) κλίσης κύματος, δ) διεύθυνση κύματος.
(Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

Στο σχήμα δ φαίνεται η διεύθυνση απ' όπου έρχεται το κύμα. Στην επεξήγηση του χάρτη με τις διευθύνσεις πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν ληφθεί υπ' όψη μόνο:

- οι διευθύνσεις με ύψος πάνω από ένα μέτρο,
- οι διευθύνσεις με συχνότητα μεγαλύτερη από 10%
- το μέγεθος κάθε τόξου είναι ανάλογο με τη συχνότητα εμφάνισης

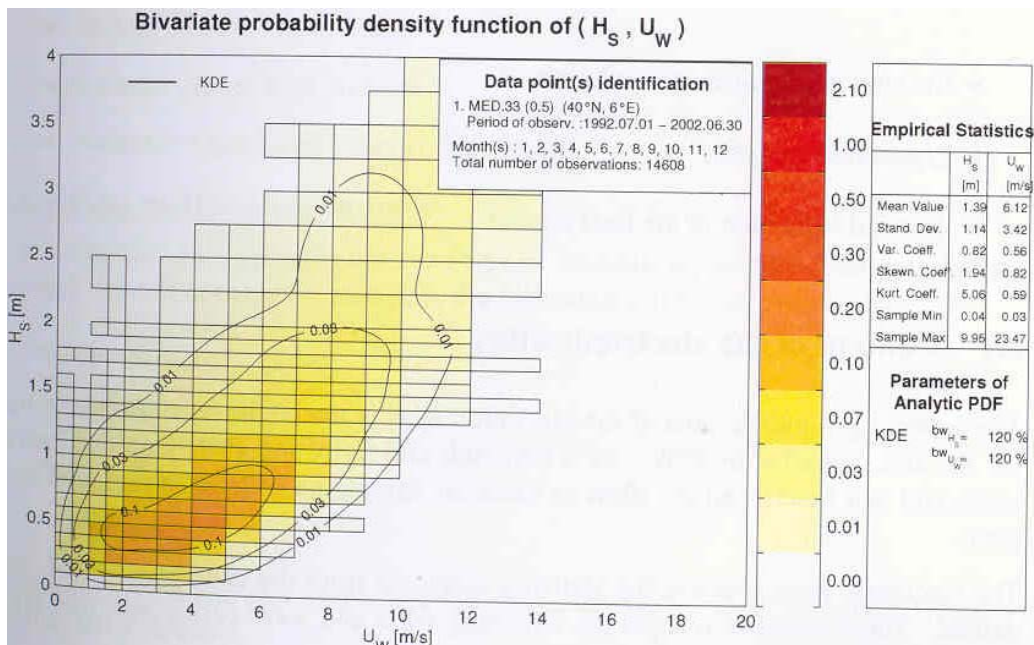
Στο σχήμα 3.35 παρουσιάζονται οι χωρικές κατανομές των παρακάτω χαρακτηριστικών:

- η πιθανότητα του $H_s < 0,5m$
- η πιθανότητα του $H_s < 1,25m$
- η πιθανότητα του $H_s > 2,5m$
- η πιθανότητα του $H_s > 4m$



Σχήμα 3.35: Παραδείγματα χωρικών κατανομών για σημαντικά γεγονότα κυμάτων.
(Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

Οι συνδυασμένες ανεμολογικές και κυματικές παράμετροι που μελετώνται είναι το ύψος του κύματος και η ταχύτητα ανέμου (H_s , U_w). Στο σχήμα δίνεται η εμπειρική σχέση σε ένα συγκεκριμένο σημείο της δυτικής Μεσογείου. Οι συνδυασμένες εμπειρικές συναρτήσεις δίνονται για 129 σημεία και παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη συσχέτιση της ταχύτητας του ανέμου και του ύψους του κύματος. (*WWAMS*)



Σχήμα 3.36: Διμεταβλητή συνάρτηση συχνότητας πιθανότητας για το ύψος κύματος και την ταχύτητα ανέμου για ένα δεδομένο σημείο (6E, 40N).
(Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

3.6.10 Αξιοπιστία του Άτλαντα

Τα φαινομενικά σφάλματα που εμφανίζονται σε κάθε αριθμητικό μοντέλο εξισορροπούνται κατά τη διάρκεια της στατιστικής ανάλυσης. Παρ' όλα αυτά, τα περισσότερα σφάλματα είναι αριθμητικά και εξαιτίας των οργάνων μέτρησης, με μόνιμη στατιστική απόκλιση από τα δεδομένα. Το συστηματικό σφάλμα μπορεί να ληφθεί υπ' όψη με τη βαθμονόμηση. Εξάλλου η βαθμονόμηση γι' αυτό γίνεται.

Υπάρχουν και λάθη επί της αρχής, που δε μπορούν να διορθωθούν. Σε αυτή την περίπτωση περιλαμβάνονται περιπτώσεις κακής εκτίμησης των κυματικών συνθηκών στα πρώτα στάδια της δημιουργίας τους. Επειδή οι τιμές του ύψους του κύματος σε ορισμένο χρόνο είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης του ανέμου με το κύμα πολλές ώρες νωρίτερα του χρόνου εξέτασης, δεν είναι εφικτή η γνώση σε σταθερή βάση της δημιουργίας του κύματος κατά τη διάρκεια ολόκληρης της χρονοσειράς. Έτσι καμία διόρθωση δεν είναι εφικτή.

Υπάρχουν και άλλες πηγές σφαλμάτων, που δεν είναι εφικτή η δημιουργία αλγορίθμων για να διορθωθούν τα δεδομένα. Σε αυτή την περίπτωση κατατάσσεται η ταχύτητα του ανέμου που υπολογίζεται από υψομετρικές παρατηρήσεις. Οι διορθωμένες τιμές εξαρτώνται από την κατάσταση της θάλασσας. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για να μετασχηματίσουν το επιστρεφόμενο σήμα σε ταχύτητα ανέμου, βαθμονομούνται εκτεταμένα στον ανοιχτό ωκεανό, όπου οι συνθήκες είναι πολύ διαφορετικές απ' ότι στις κλειστές θάλασσες, όπως η Μεσόγειος. Δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα για να διαφοροποιηθούν οι αλγόριθμοι στις κλειστές θάλασσες.

Μια προφανής πηγή σφαλμάτων είναι η παρουσία ξηράς. Η περιγραφή της με ένα πλέγμα είναι πάντα προσεγγιστική. Εκτός από τις περιπτώσεις όπου τα κύματα κινούνται κάθετα προς την ακτή, η προσεγγιστική γεωμετρία επηρεάζει τα τοπικά αποτελέσματα. Αυτό είναι εμφανές σε περίπλοκες ακτογραμμές, με αιχμηρές χερσονήσους, κόλπους, νησιά κ.α. Αυτές οι περιπτώσεις αφορούν ένα μεγάλο μέρος της Μεσογείου, ειδικά στο βόρειο τμήμα της. Το πρόβλημα είναι έκδηλο σε μικρότερες λεκάνες, ή γύρω από μικρά νησιά, που αναλύονται λίγο από γεωμετρική πλευρά. Είναι σημαντικό για περιοχές με συμπλέγματα νησιών. Κλασικό παράδειγμα σε αυτό το πρόβλημα αποτελεί το Αιγαίο.

Συνοψίζοντας, οι κυριότερες πηγές σφαλμάτων είναι:

- διάφορα σφάλματα στα αποτελέσματα του μοντέλου
- η μικρή απόδοση και το κενό δεδομένων από δορυφόρους σε παράκτιες περιοχές, που γίνεται πιο εκτεταμένο (το κενό) στην ανοιχτή θάλασσα
- η κακή εκτίμηση των κυματικών συνθηκών στα πρώτα στάδια της δημιουργίας τους
- η συνεχής αναβάθμιση των μετεωρολογικών και κυματικών μοντέλων, με αποτέλεσμα την απόκλιση στις επιδόσεις τους
- οι ταχύτητες ανέμου από υψομετρικές παρατηρήσεις έχουν σφάλματα και δεν είναι γνωστή η ποσότητα τους. Προφανώς αυτό επηρεάζει τη βαθμονόμηση
- η προσεγγιστική γεωμετρία των ακτών και η μικρή αναπαράσταση μικρών νήσων στο υπολογιστικό πλέγμα.

Όσο κατευθύνεται κανείς από βορρά προς νότο, τα αποτελέσματα βελτιώνονται ποιοτικά. Τα χειρότερα αποτελέσματα εμφανίζονται κατά μήκος των Ευρωπαϊκών ακτών, ειδικά σε κλειστές περιοχές όπως είναι η θάλασσα της Λιγυρίας, η Αδριατική, το Αιγαίο και οι ακτές της Τουρκίας.

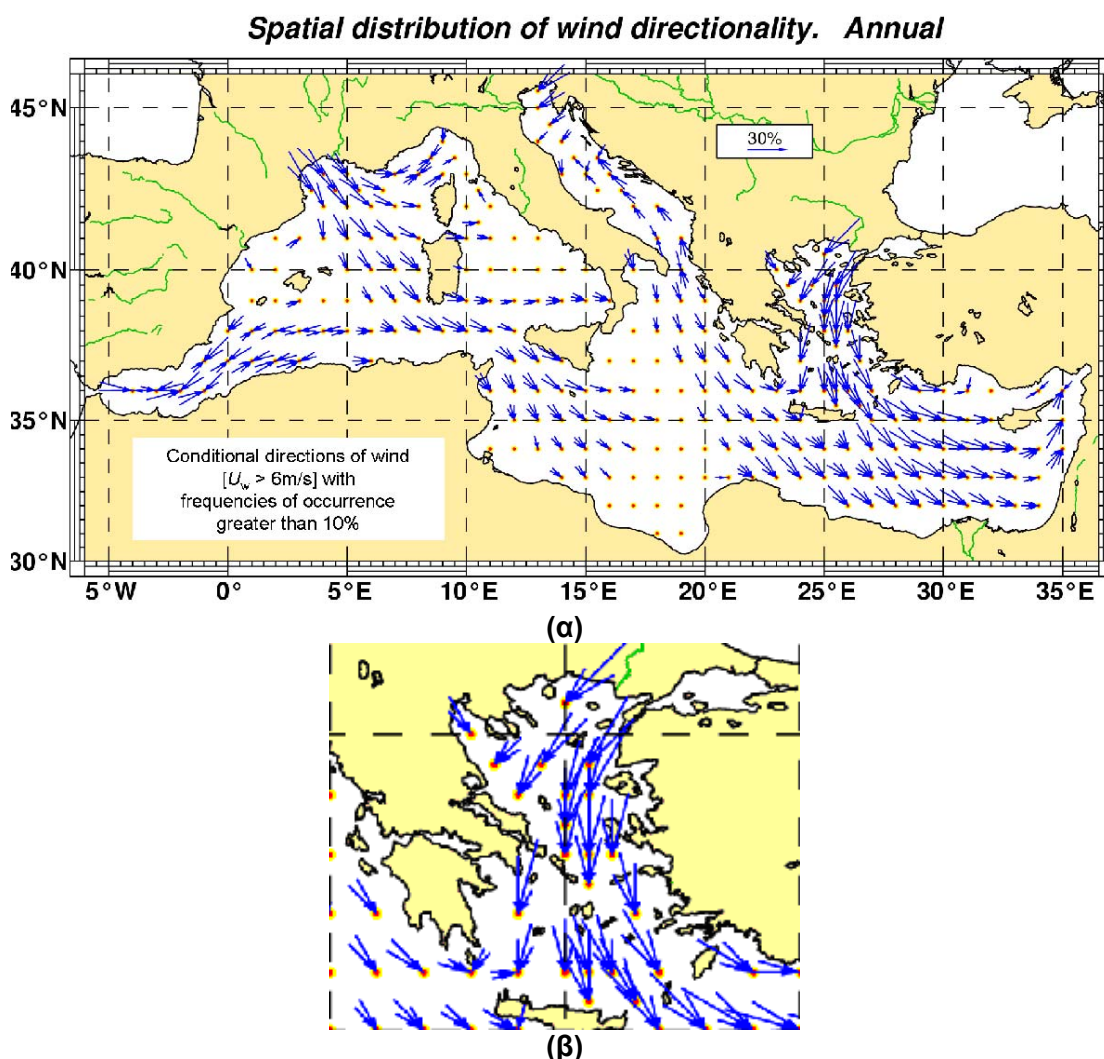
Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα δεν είναι αξιόπιστα κοντά στις ακτές και όσο πιο περίπλοκες γεωμετρικά είναι, τόσο πιο αναξιόπιστα είναι τα αποτελέσματα. Αυτό κάνει τα αποτελέσματα γύρω από τα νησιά αμφίβολα, ειδικά όταν οι διαστάσεις τους είναι μικρότερες από την ανάλυση του πλέγματος (20-28km). Οι χειρότερες περιοχές είναι οι ανατολικές ακτές της Αδριατικής (Δαλματικά παράλια) και το Αιγαίο. Με πάνω από 1000 νησιά όπου λίγα από αυτά αντιπροσωπεύονται στο πλέγμα είναι μια περιοχή με αμφίβολα αποτελέσματα. (WWAMS)

4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

4.1 Αιολικό και κυματικό δυναμικό μέσα από τον Άτλαντα

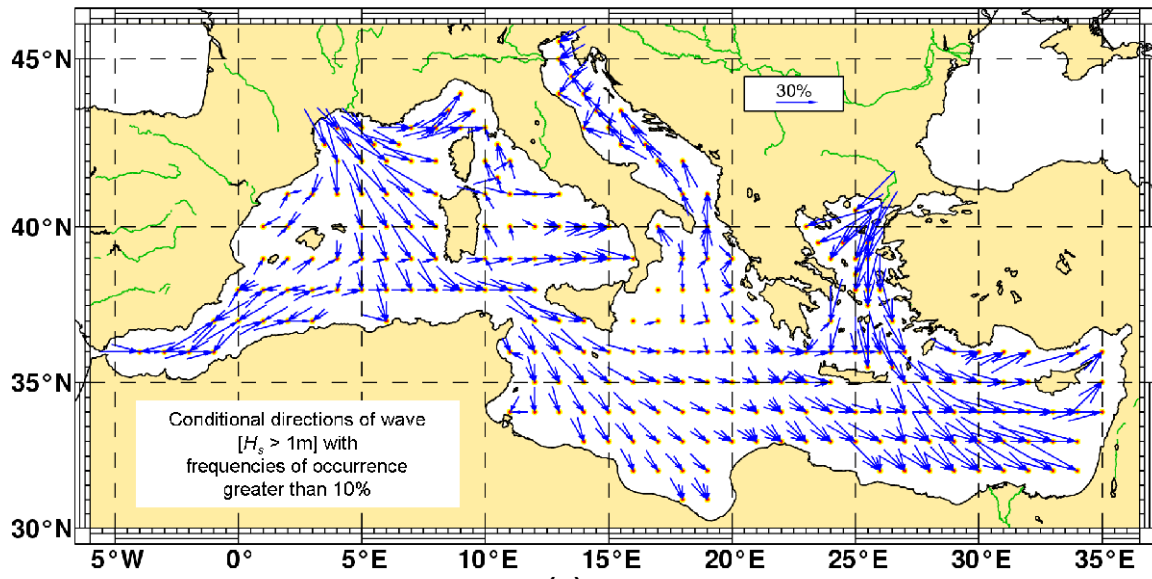
Ο Άτλας είναι κατασκευασμένος έτσι που παρουσιάζει αριθμό εμφανίσεων αιολικών και κυματικών δεδομένων για συγκεκριμένα σημεία της Μεσογείου. Για την παρούσα εργασία, χρησιμοποιούνται δεδομένα από το εγγύτερο σημείο της Λέσβου, λίγο έξω από το Σίγρι με γεωγραφικό μήκος $\varphi=25^{\circ} 05'$ και γεωγραφικό πλάτος $\lambda=39^{\circ}$. Επίσης ο Άτλας παρουσιάζει χωρικές κατανομές διαφόρων παραμέτρων που παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω.

Στους χάρτες που ακολουθούν, παρουσιάζεται με σειρά η χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του ανέμου ετησίως για τη Μεσόγειο (Σχήμα 4.1α) και ειδικότερα για τον χώρο του Αιγαίου (Σχήμα 4.1β), η χωρική κατανομή της κατεύθυνσης των κυμάτων ετησίως για τη Μεσόγειο (Σχήμα 4.2α) και ειδικότερα για το χώρο του Αιγαίου (Σχήμα 4.2β), η χωρική κατανομή της μέσης ταχύτητας του ανέμου ετησίως για τη Μεσόγειο (Σχήμα 4.3α) και ειδικότερα για το χώρο του Αιγαίου (Σχήμα 4.3β) και η χωρική κατανομή του μέσου ύψους κύματος ετησίως για τη Μεσόγειο (Σχήμα 4.4α) και ειδικότερα για το χώρο του Αιγαίου (Σχήμα 4.4β).

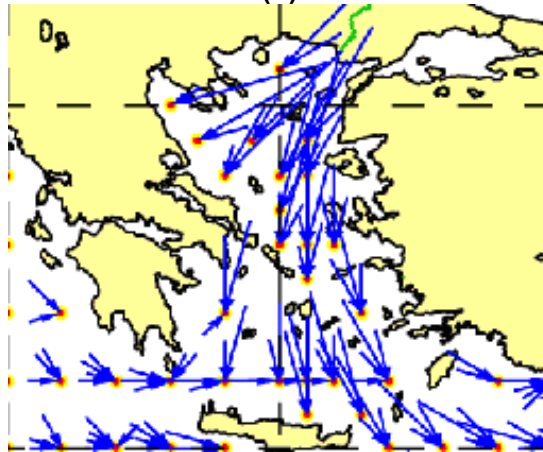


Σχήμα 4.1: (α) Χωρική κατανομή της διεύθυνσης του ανέμου ετησίως στη Μεσόγειο, (β) Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης του ανέμου ετησίως για το Αιγαίο. (Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

Spatial distribution of wave directionality. Annual



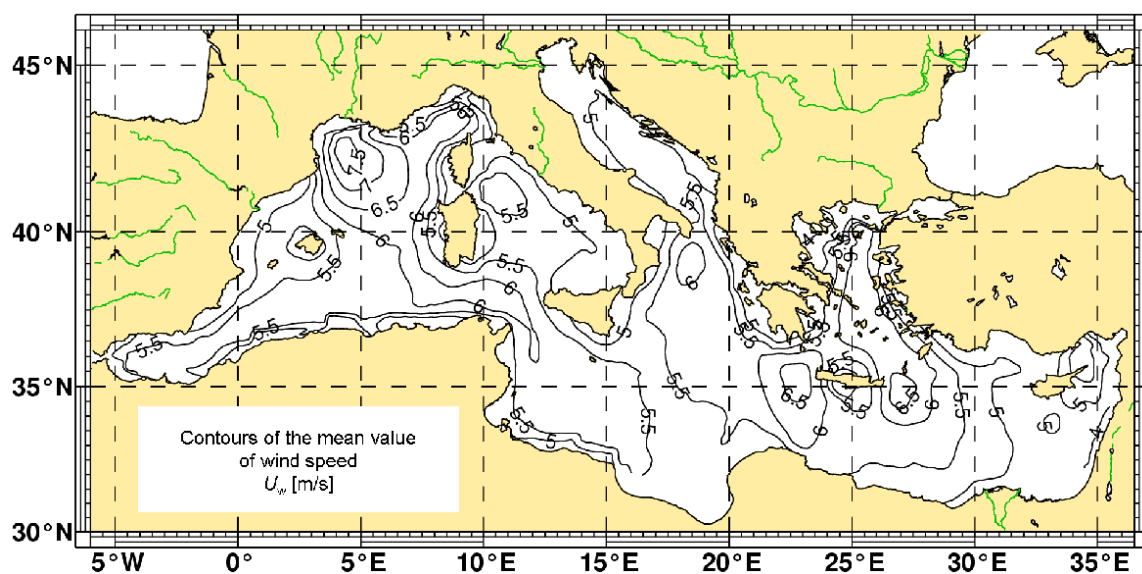
(α)



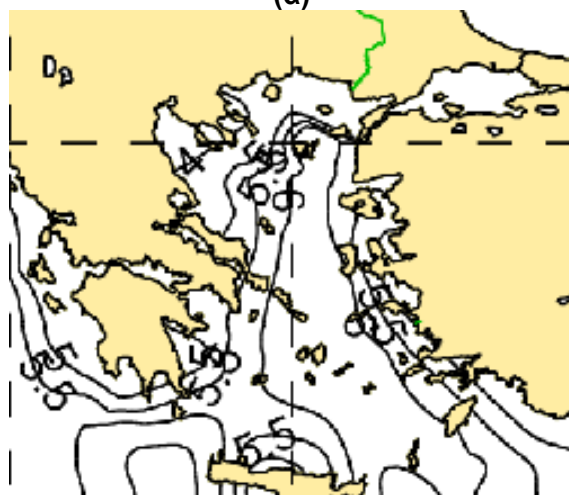
(β)

Σχήμα 4.2: (α) Χωρική κατανομή της διεύθυνσης των κυμάτων ετησίως για τη Μεσόγειο, (β) Χωρική κατανομή της κατεύθυνσης των κυμάτων ετησίως για το Αιγαίο. (Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

Spatial distribution of mean value of U_w . Annual



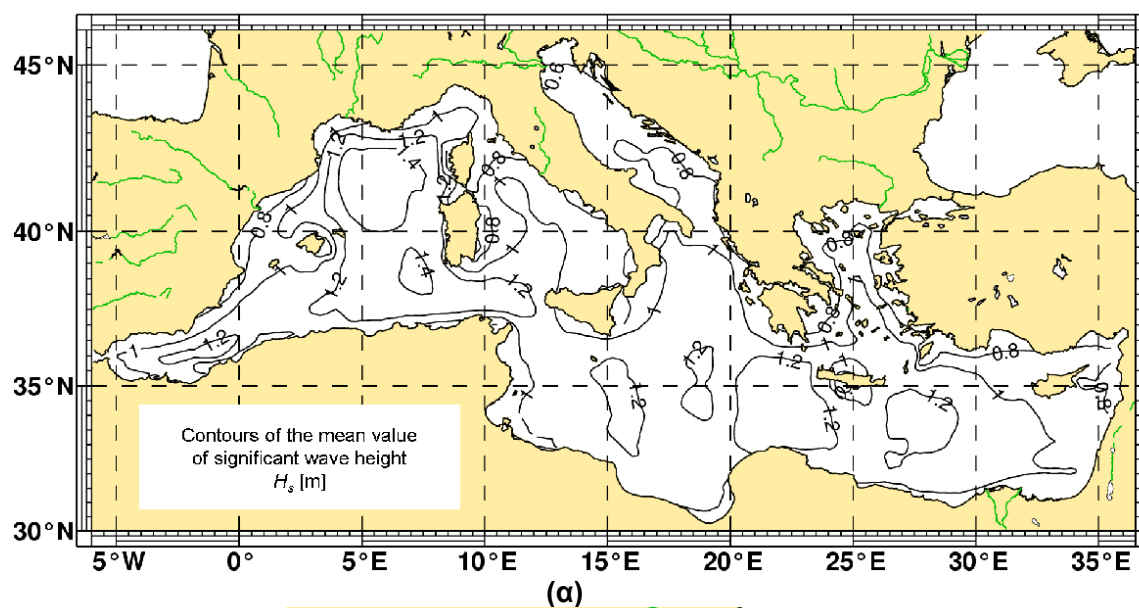
(α)



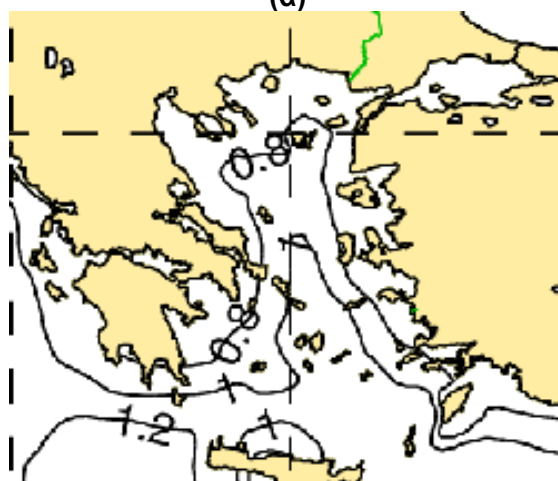
(β)

Σχήμα 4.3: (α) Χωρική κατανομή της μέσης ταχύτητας του ανέμου ετησίως για τη Μεσόγειο, (β) Χωρική κατανομή της μέσης ταχύτητας του ανέμου ετησίως για το Αιγαίο. (Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

Spatial distribution of mean value of H_s . Annual



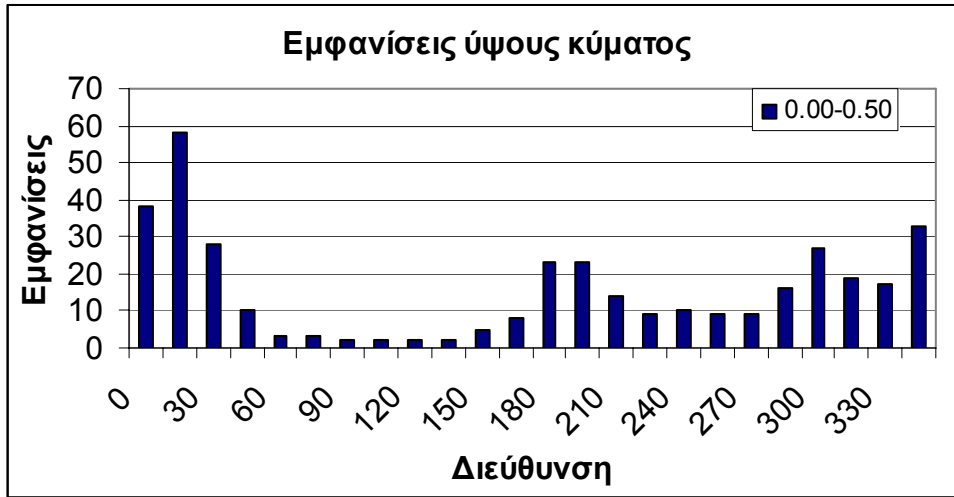
(α)



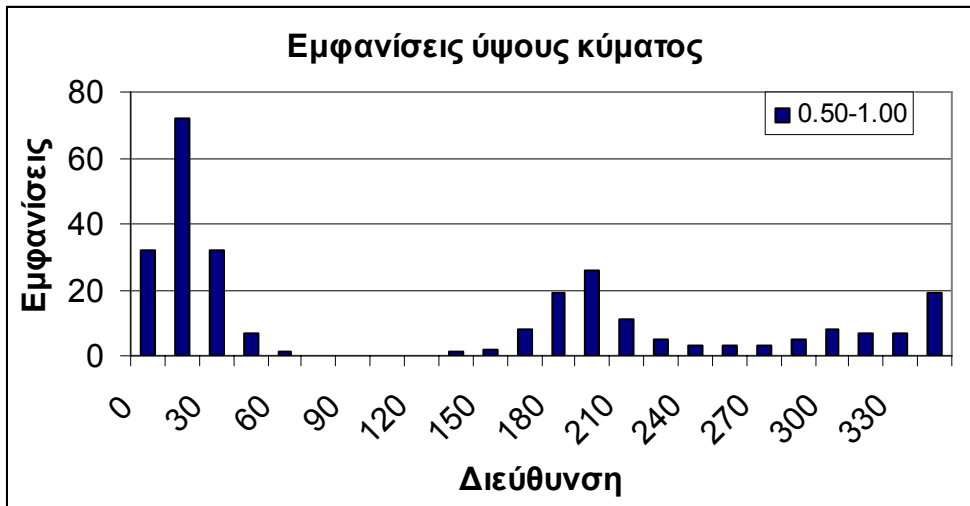
(β)

Σχήμα 4.4: (α) Χωρική κατανομή του μέσου ύψους κύματος ετησίως για τη Μεσόγειο, (β) Χωρική κατανομή του μέσου ύψους κύματος για το Αιγαίο. (Πηγή: *Wind and Wave Atlas of Mediterranean Sea*)

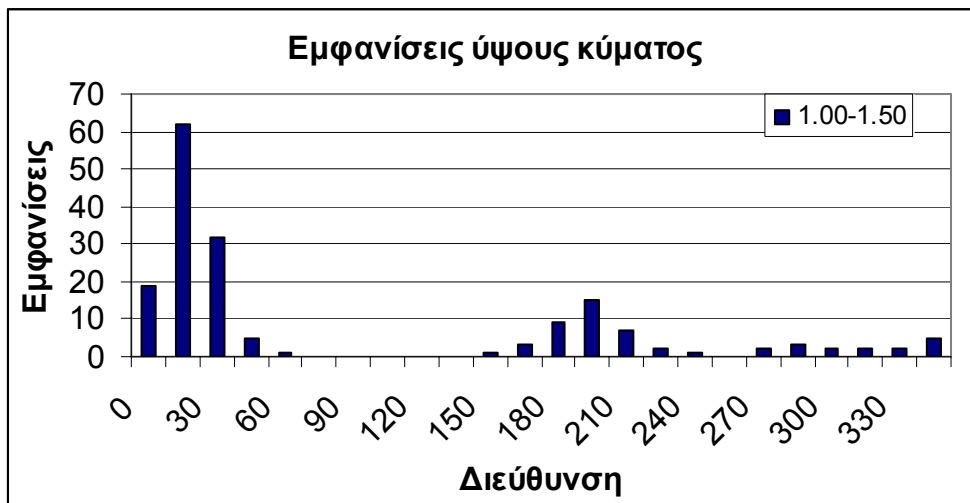
Στα επόμενα γραφήματα παρουσιάζονται οι ετήσιες εμφανίσεις των διευθύνσεων των κυμάτων συγκεκριμένου ύψους. Έτσι για παράδειγμα, προκύπτει το γράφημα Α, που δείχνει τον αριθμό εμφανίσεων διαφόρων διευθύνσεων κυμάτων με ύψος από 0-0,5 μέτρα. Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται σε ραβδογράμματα τα διαφορετικά ύψη κυμάτων (Σχήμα 4.5-4.10). Από 5 μέτρα και πάνω δεν εμφανίζονται παρατηρήσεις.



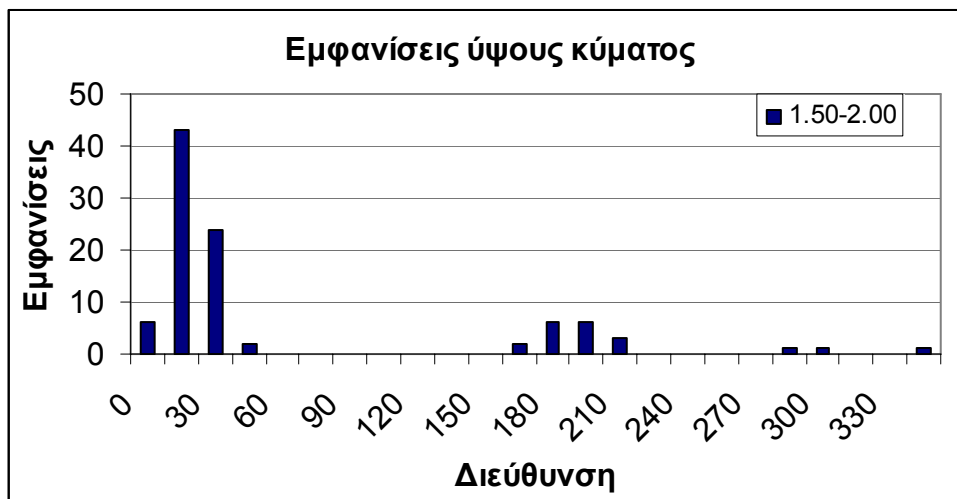
Σχήμα 4.5: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων διευθύνσεων κυμάτων για ύψος κύματος από 0-0,5μέτρα.



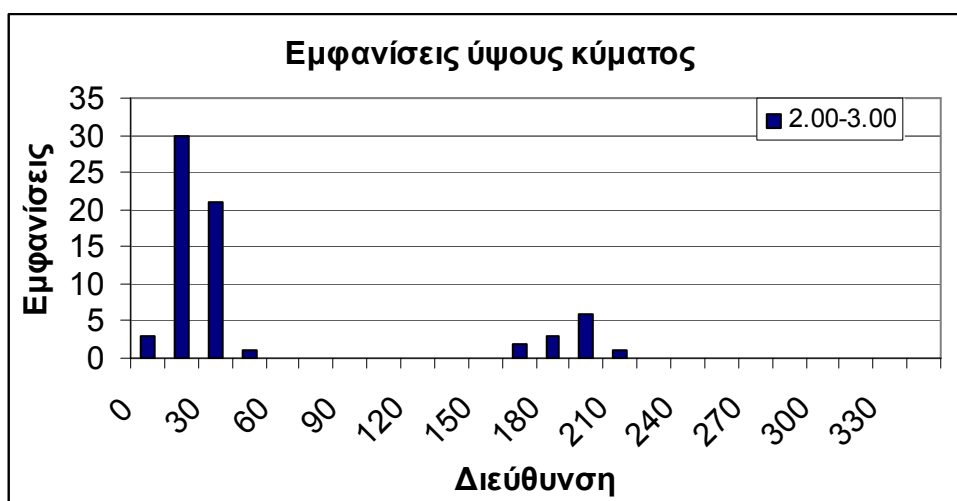
Σχήμα 4.6: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων διευθύνσεων κυμάτων για ύψος κύματος από 0,5-1μέτρα.



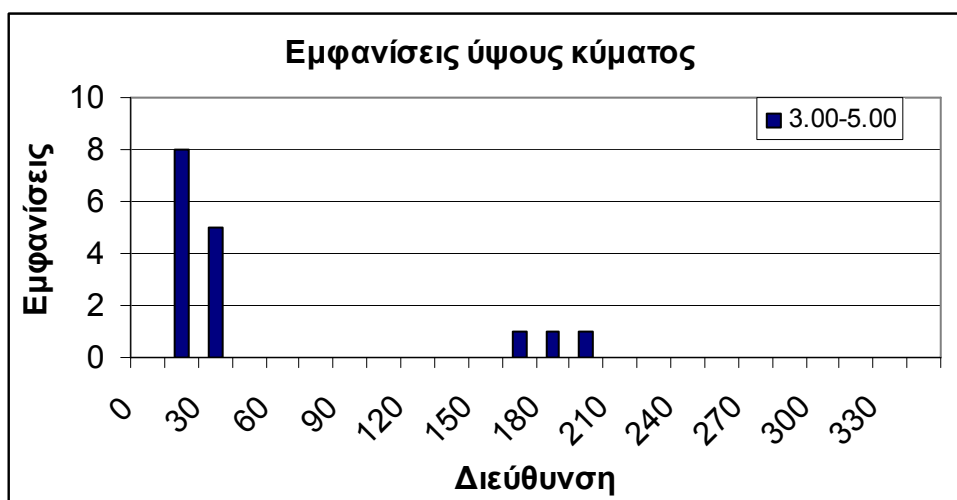
Σχήμα 4.7: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων διευθύνσεων κυμάτων για ύψος κύματος από 1-1,5μέτρα.



Σχήμα 4.8: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων διευθύνσεων κυμάτων για ύψος κύματος από 1,5-2μέτρα.

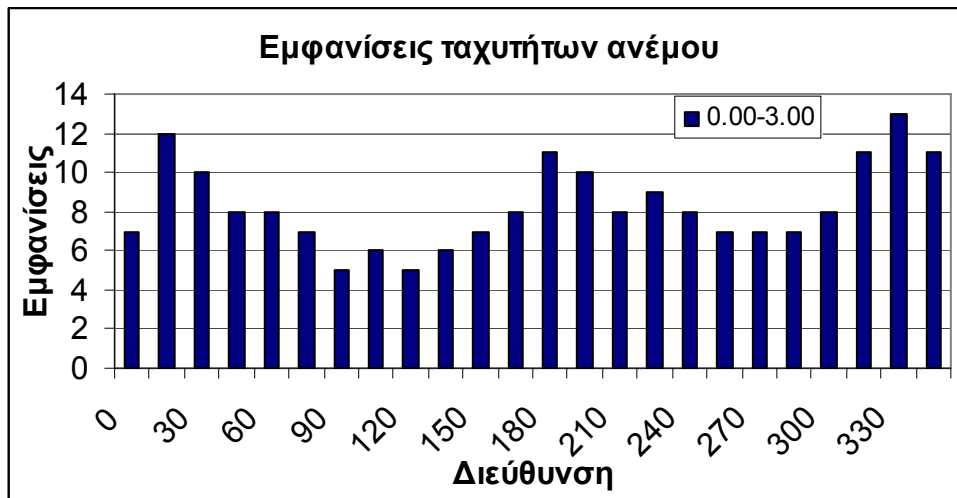


Σχήμα 4.9: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων διευθύνσεων κυμάτων για ύψος κύματος από 2-3μέτρα.

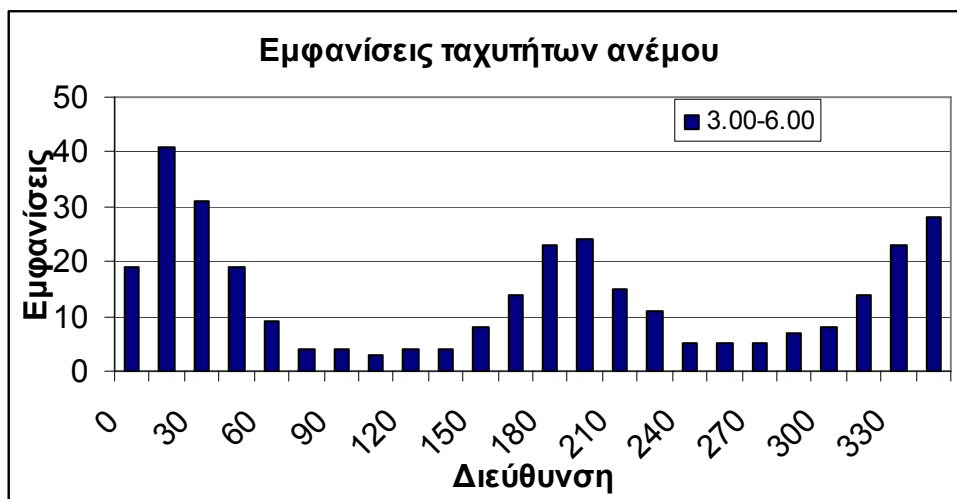


Σχήμα 4.10: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων διευθύνσεων κυμάτων για ύψος κύματος από 3-5μέτρα.

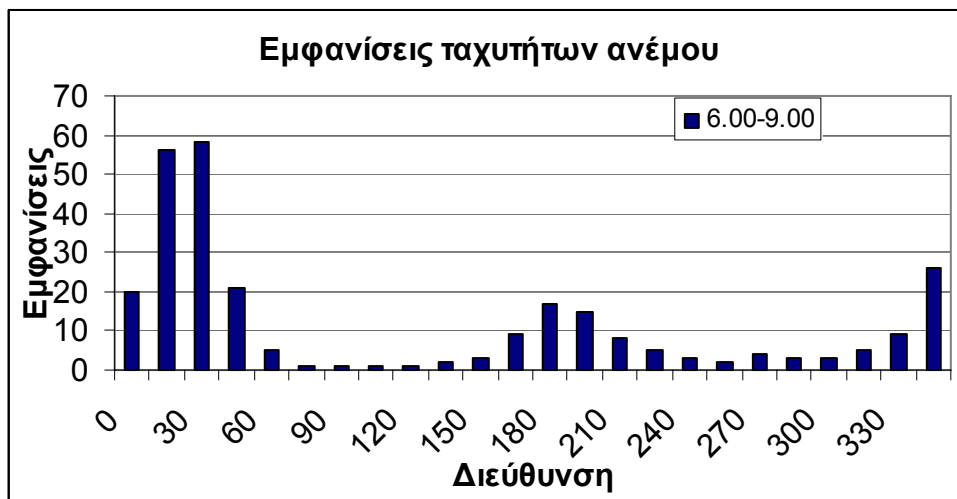
Παρόμοια, στα επόμενα σχήματα (Σχήμα 4.11-4.15) παρουσιάζονται οι ετήσιες εμφανίσεις ανέμων διαφόρων διευθύνσεων σε συγκεκριμένες εντάσεις.



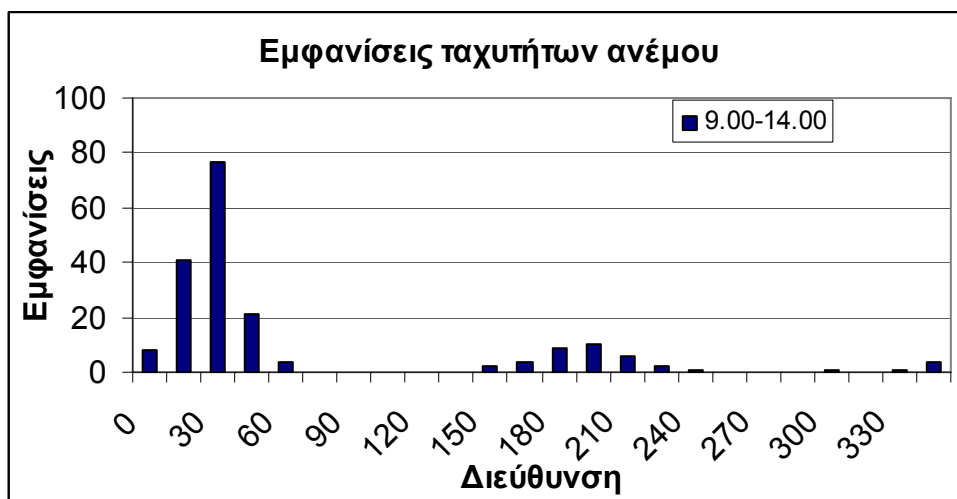
Σχήμα 4.11: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων διευθύνσεων ανέμου για εντάσεις ανέμου από 0-3m/s.



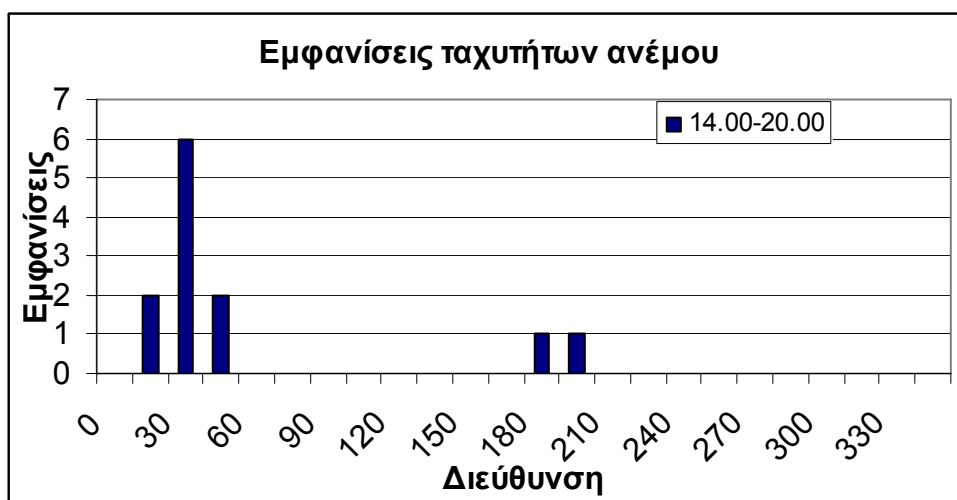
Σχήμα 4.12: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων διευθύνσεων ανέμου για εντάσεις ανέμου από 3-6m/s.



Σχήμα 4.13: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων διευθύνσεων ανέμου για εντάσεις ανέμου από 6-9m/s.



Σχήμα 4.14: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων διευθύνσεων ανέμου για εντάσεις ανέμου από 9-14m/s.

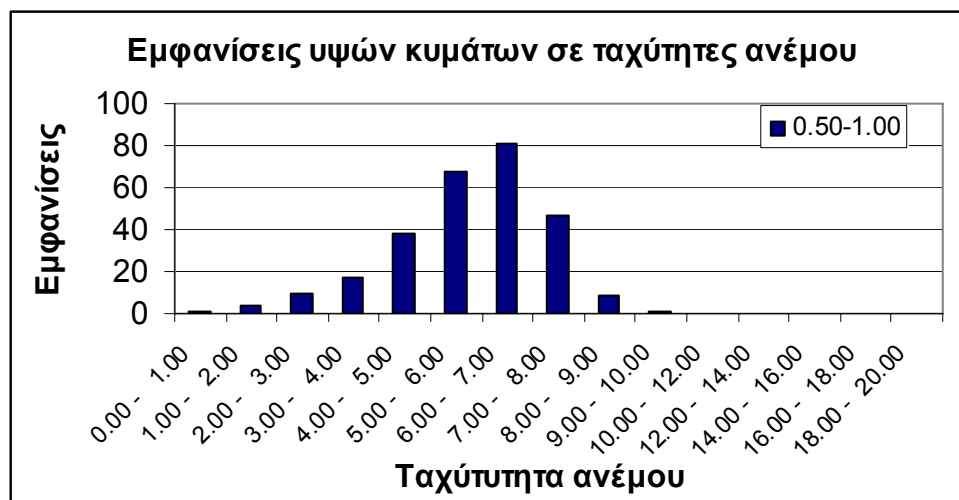


Σχήμα 4.15: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων διευθύνσεων ανέμου για εντάσεις ανέμου από 14-20m/s.

Τα επόμενα σχήματα (Σχήμα 4.16-4.21) παρουσιάζουν τις εμφανίσεις συγκεκριμένων υψών κύματος σε συγκεκριμένες συνθήκες ανέμου.



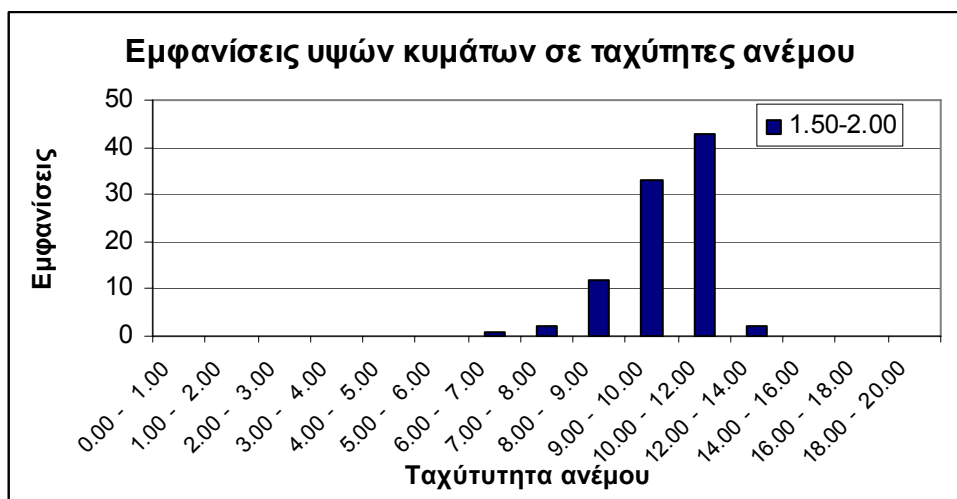
Σχήμα 4.16: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων υψών κυμάτων από 0-0,5μέτρα, σε διάφορες διευθύνσεις ανέμου.



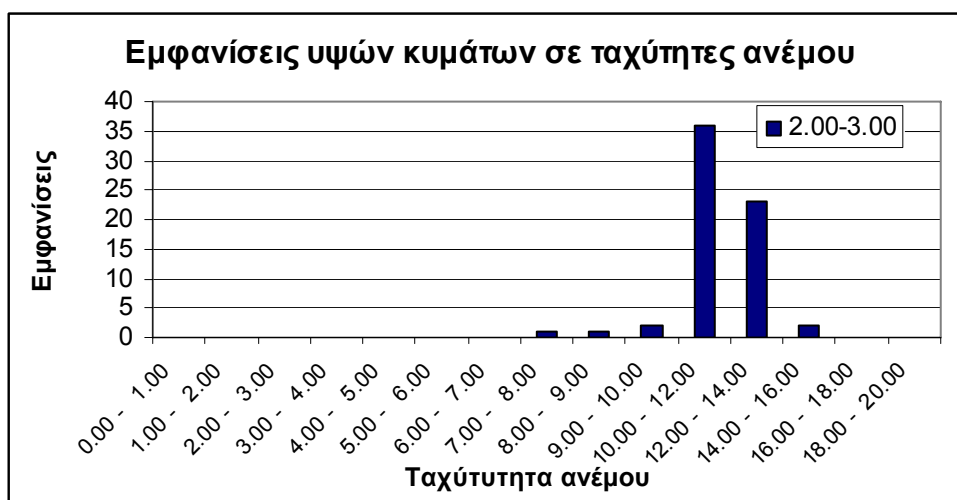
Σχήμα 4.17: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων υψών κυμάτων από 0,5-1μέτρα, σε διάφορες διευθύνσεις ανέμου.



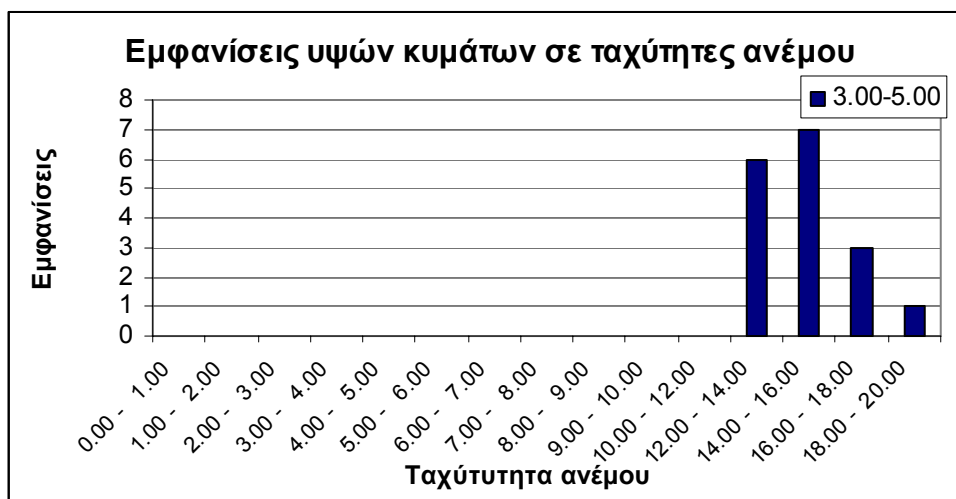
Σχήμα 4.18: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων υψών κυμάτων από 1-1,5μέτρα, σε διάφορες διευθύνσεις ανέμου.



Σχήμα 4.19: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων υψών κυμάτων από 1,5-2μέτρα, σε διάφορες διευθύνσεις ανέμου.



Σχήμα 4.20: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων υψών κυμάτων έως 2-3μέτρα, σε διάφορες διευθύνσεις ανέμου.



Σχήμα 4.21: Ραβδόγραμμα αριθμού εμφανίσεων υψών κυμάτων έως 3-5μέτρα, σε διάφορες διευθύνσεις ανέμου.

4.2 Κυματικό και αιολικό δυναμικό μέσα από το Σύστημα Ποσειδών

Το σύστημα Ποσειδών χρησιμοποιείται από το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιας Έρευνας για την παρακολούθηση, πρόγνωση και πληροφόρηση για την κατάσταση των ελληνικών θαλασσών. Αποτελείται από ένα σύστημα πλωτών ωκεανογραφικών μετρητικών σταθμών που καταγράφει φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους των ελληνικών θαλασσών. Τα δεδομένα αυτά μεταδίδονται σε ένα επιχειρησιακό κέντρο όπου τροφοδοτούν μοντέλα πρόγνωσης τελευταίας γενιάς.

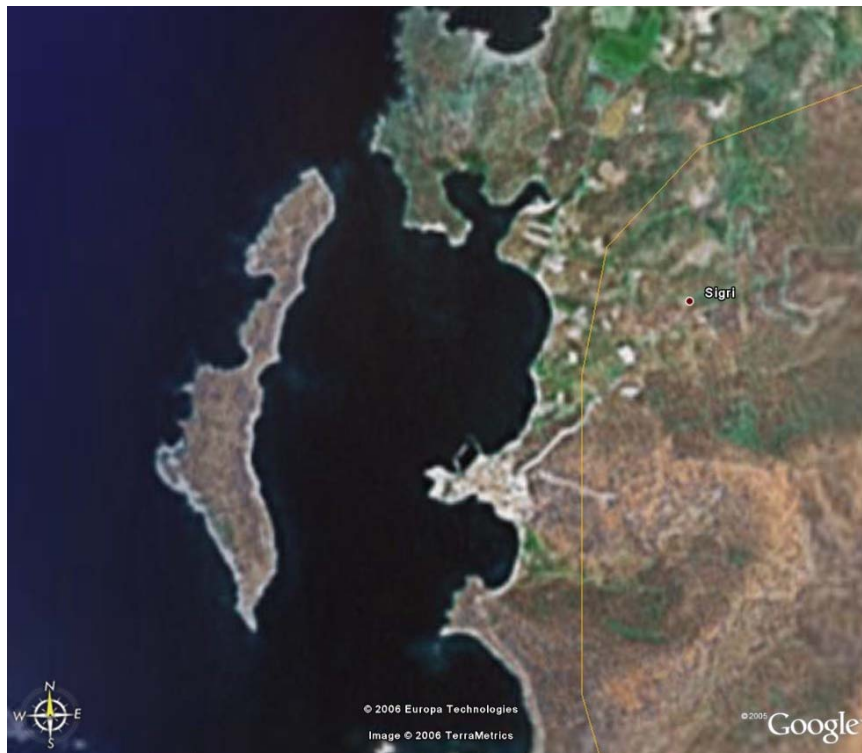
Το σύστημα Ποσειδών αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη, ένα δίκτυο πλωτών μετρητικών σταθμών, τηλεπικοινωνιακά συστήματα μεταφοράς δεδομένων και ένα επιχειρησιακό κέντρο με αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης.

Η λειτουργία του συστήματος Ποσειδών παράγει μια σειρά από δεδομένα και προϊόντα επεξεργασίας που αποτελούν τη βάση για την παροχή υπηρεσιών και πληροφοριών στους χρήστες. Βασικά προϊόντα είναι τα πρωτογενή δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (on line). Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν το σύνολο των πληροφοριών που προέρχονται από τους πλωτούς μετρητικούς σταθμούς. Επίσης ιστορικά στοιχεία και χρονοσειρές δεδομένων, στοιχεία που προέρχονται από ανασύνθεση και στατιστικές αναλύσεις και τέλος πρόγνωση της κατάστασης των ελληνικών θαλασσών για το επόμενο 24ωρο, και μακροχρόνιες επιχειρησιακές προβλέψεις. [22]

Από ιστορικά στοιχεία που δόθηκαν από το Ελ.Κε.Θ.Ε. για την περίοδο Ιανουάριος 2003 – Νοέμβριος 2005 για τον μετρητικό σταθμό που είναι ποντισμένος ανοικτά από το Σίγρι και σε συντεταγμένες $\varphi=25^{\circ} 80'$ και $\lambda=39^{\circ} 15'$ προκύπτουν γραφήματα που παρουσιάζουν το ύψος του κύματος ανά εποχή, τη μέση μηδενική περίοδο ανά εποχή, την ταχύτητα του ανέμου ανά εποχή και τη διεύθυνση του ανέμου ανά εποχή.



Σχήμα 4.22: Χάρτης της Ελλάδας. Το σημείο 1 αποτελεί την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας απ' όπου προήλθαν τα στοιχεία του συστήματος Ποσειδών και τα στοιχεία από τον Αιολικό και Κυματικό Άτλαντα της Μεσογείου (Πηγή: WWAMS)



Σχήμα 4.23: Δορυφορική απεικόνιση του κόλπου του Σιγρίου. (Πηγή: Google Earth)

4.2.1 Γραφήματα ύψους κύματος

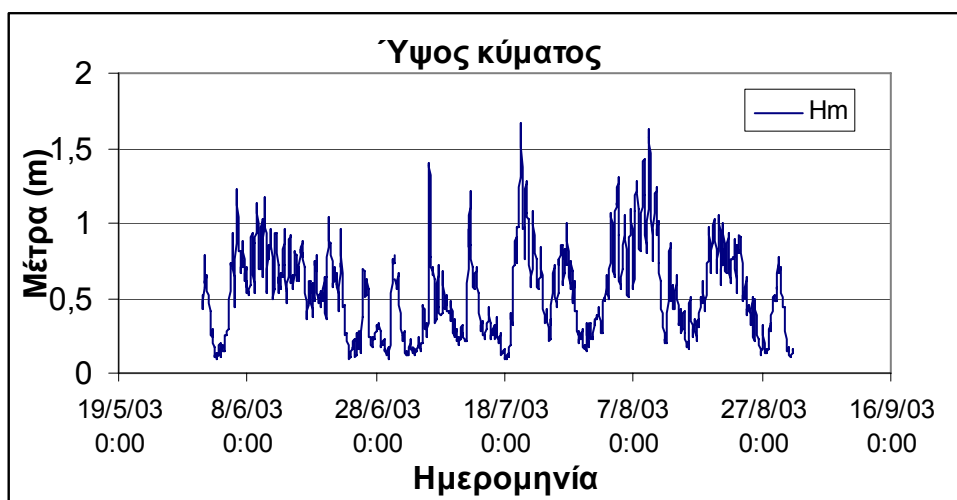
Παρακάτω παρουσιάζονται εποχικά γραφήματα του ύψους κύματος που κατασκευάστηκαν με βάση τις μετρήσεις του συστήματος Ποσειδών για την περίοδο μελέτης (Χειμώνας 2003 – Φθινόπωρο 2005).



Σχήμα 4.24: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Χειμώνα του 2003.



Σχήμα 4.25: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου την Άνοιξη του 2003.



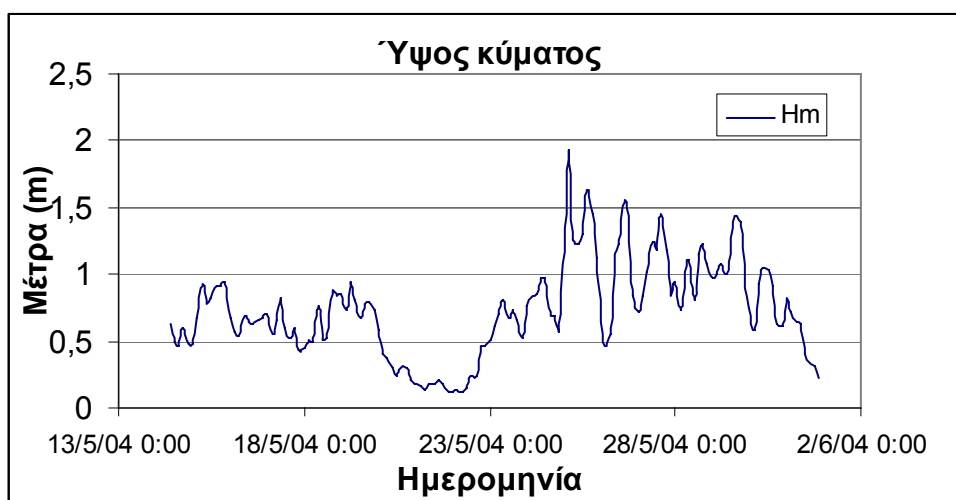
Σχήμα 4.26: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Καλοκαίρι του 2003.



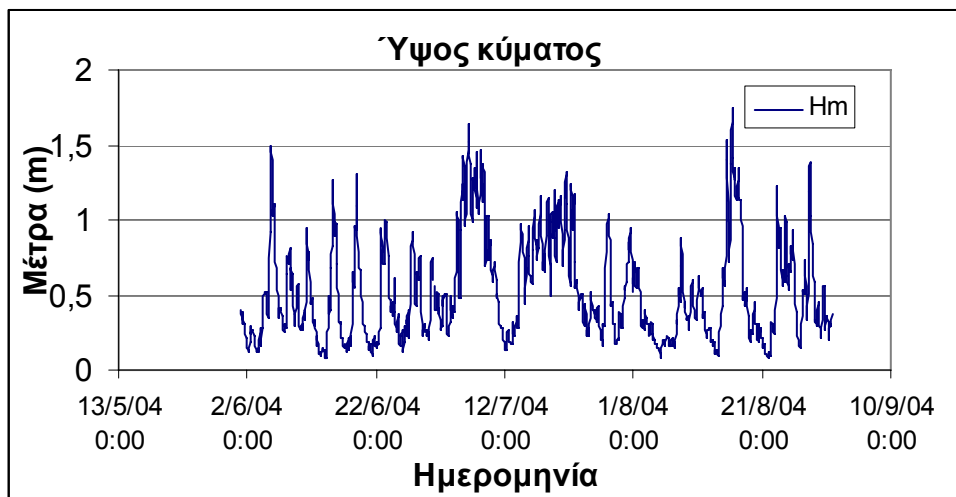
Σχήμα 4.27: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Φθινόπωρο του 2003.



Σχήμα 4.28: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Χειμώνα του 2004.



Σχήμα 4.29: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου την Άνοιξη του 2004.



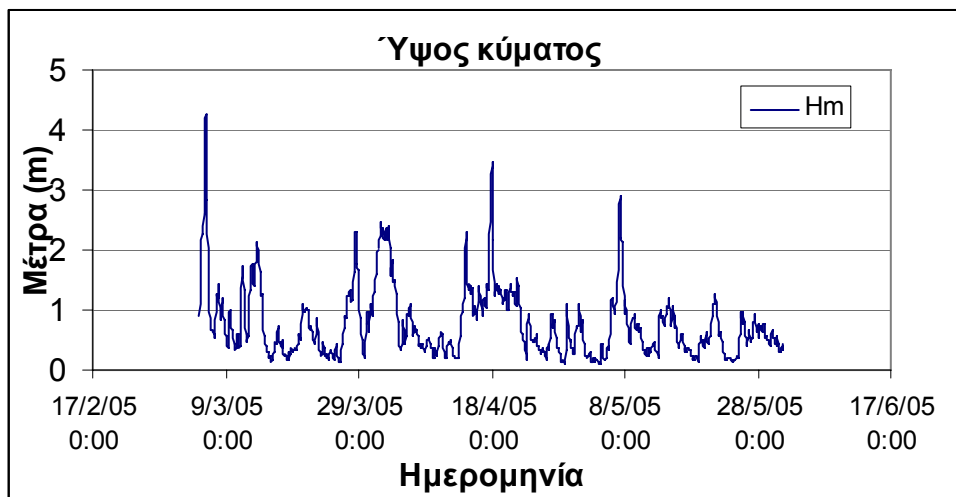
Σχήμα 4.30: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Καλοκαίρι του 2004.



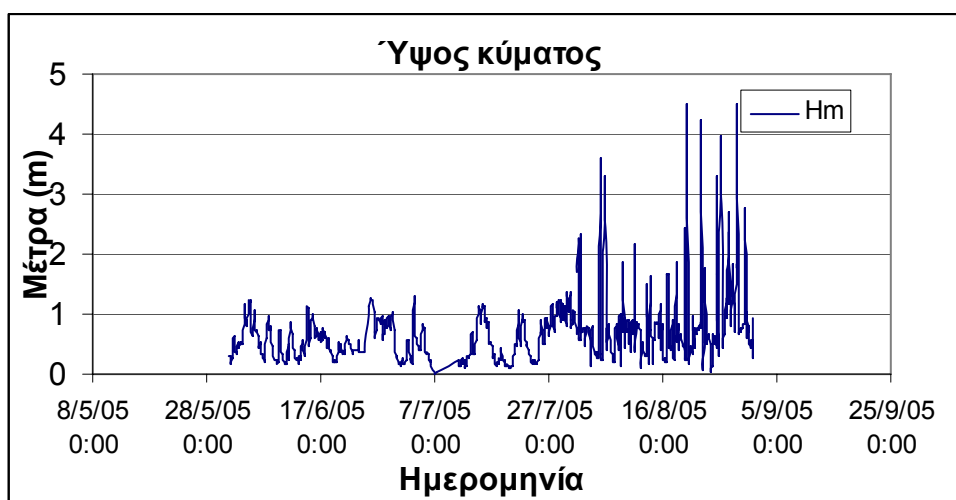
Σχήμα 4.31: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Φθινόπωρο του 2004.



Σχήμα 4.32: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Χειμώνα του 2005.



Σχήμα 4.33: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου την Άνοιξη του 2005.



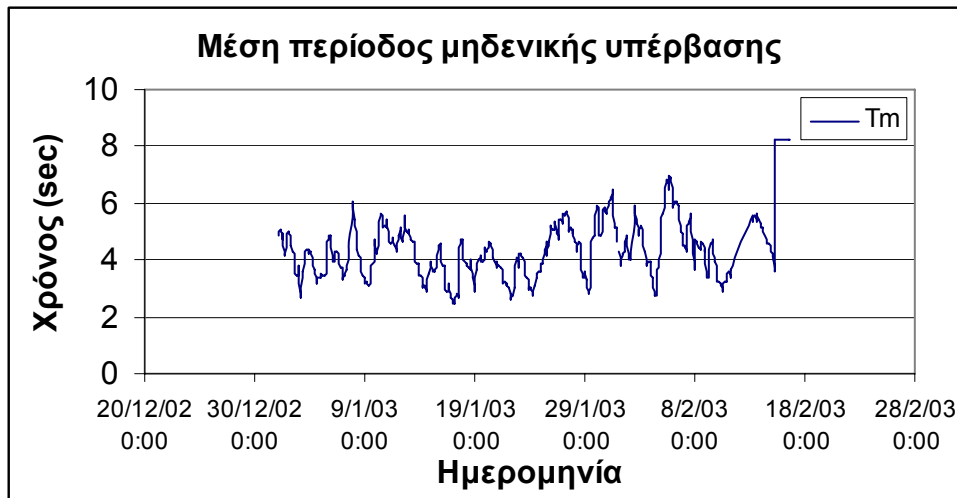
Σχήμα 4.34: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Καλοκαίρι του 2005.



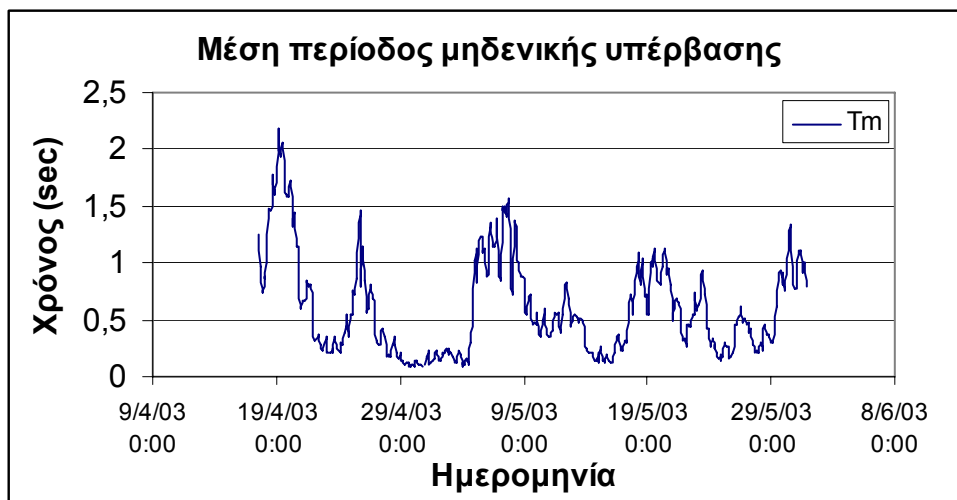
Σχήμα 4.35: Διάγραμμα ύψους κύματος κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Φθινόπωρο του 2005.

4.2.2 Γραφήματα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης

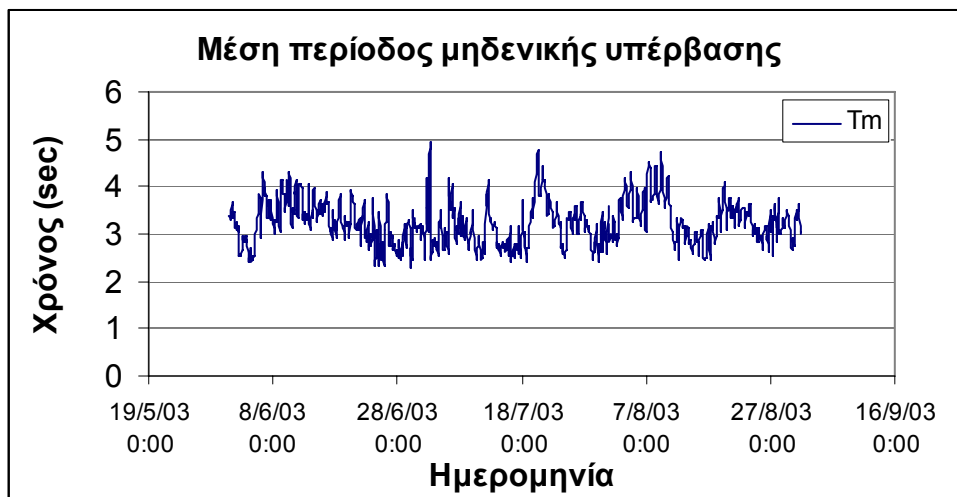
Παρακάτω παρουσιάζονται εποχικά γραφήματα της μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης που κατασκευάστηκαν με βάση τις μετρήσεις του συστήματος Ποσειδών για την περίοδο μελέτης (Χειμώνας 2003 – Φθινόπωρο 2005).



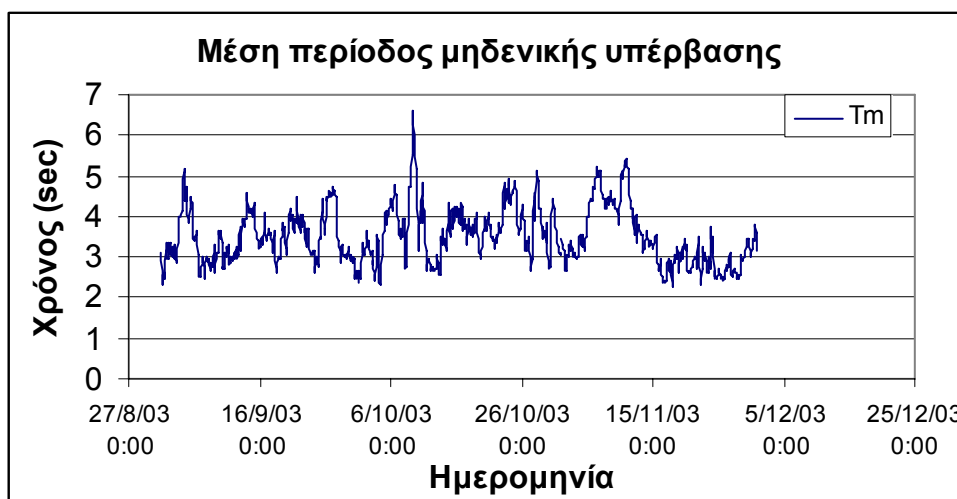
Σχήμα 4.36: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Χειμώνα του 2003.



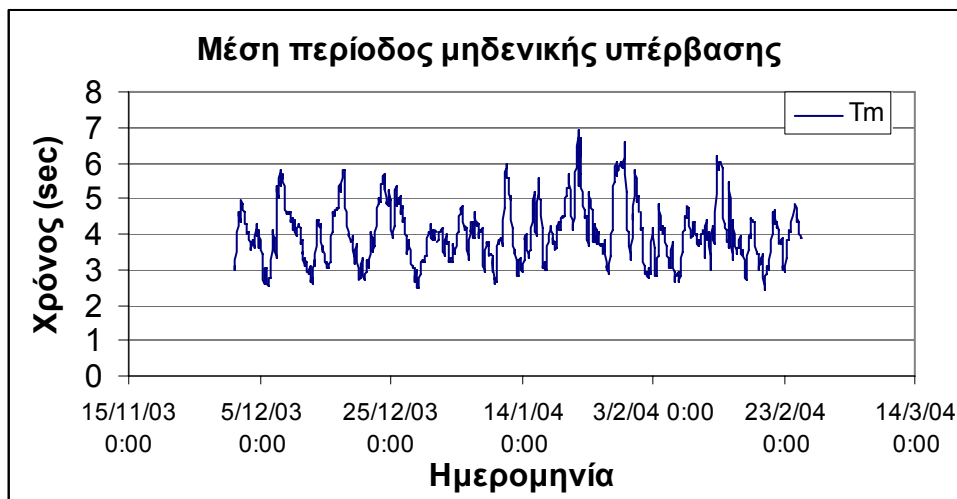
Σχήμα 4.37: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου την Άνοιξη του 2003.



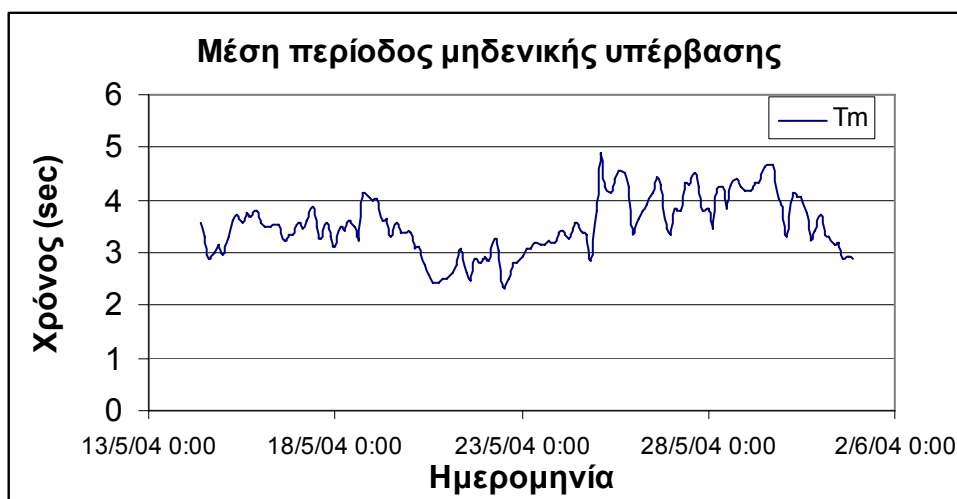
Σχήμα 4.38: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Καλοκαίρι του 2003.



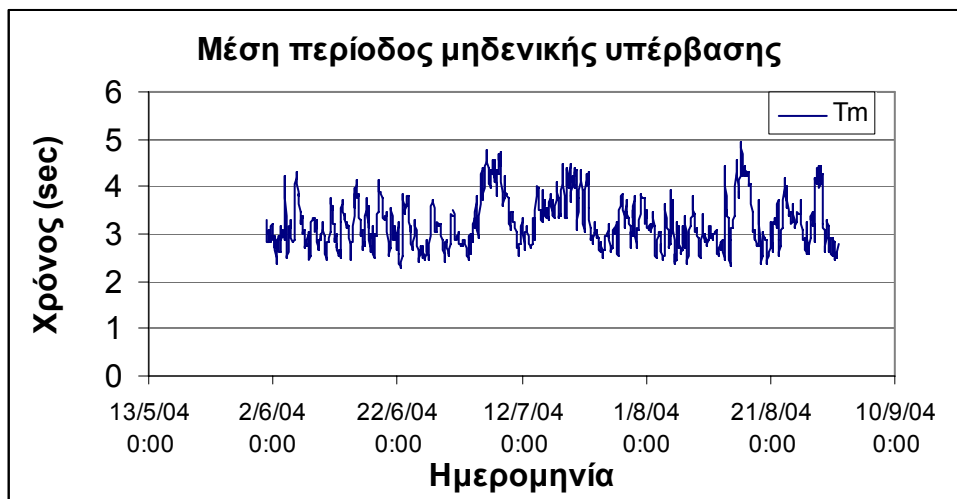
Σχήμα 4.39: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Φθινόπωρο του 2003.



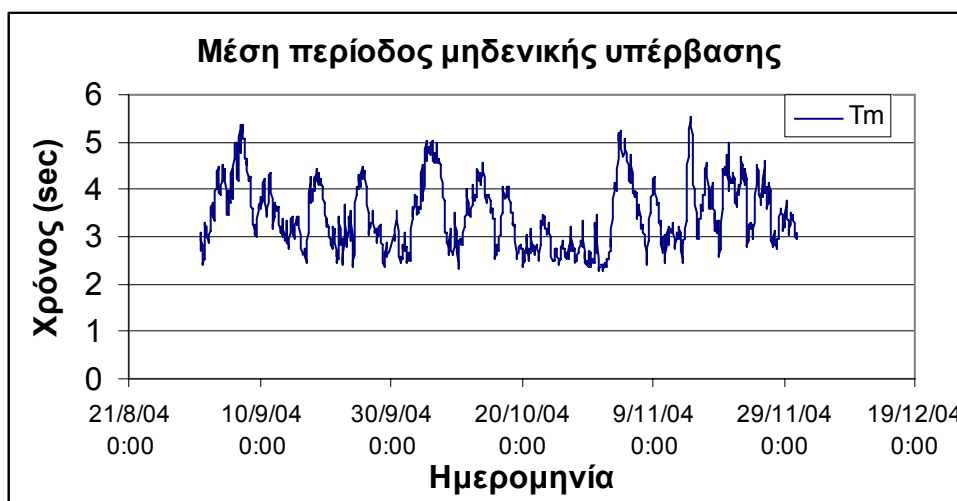
Σχήμα 4.40: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Χειμώνα του 2004.



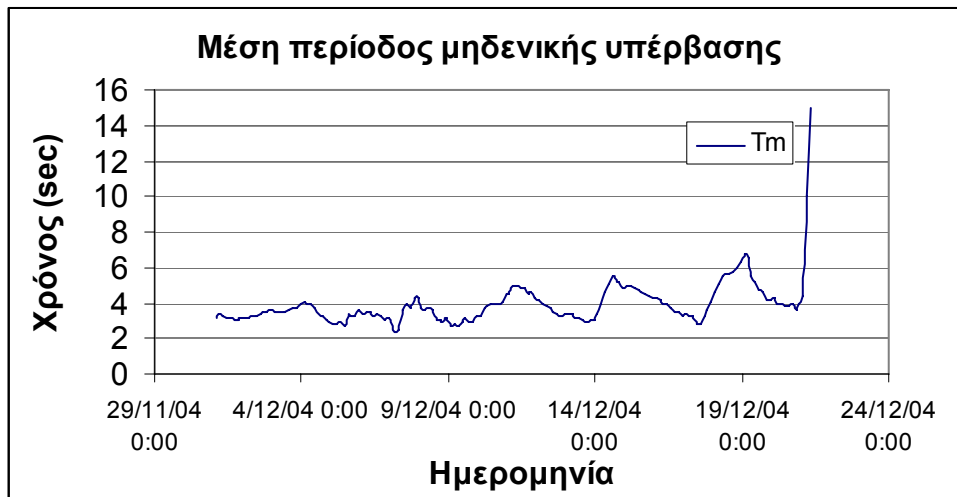
Σχήμα 4.41: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου την Άνοιξη του 2004.



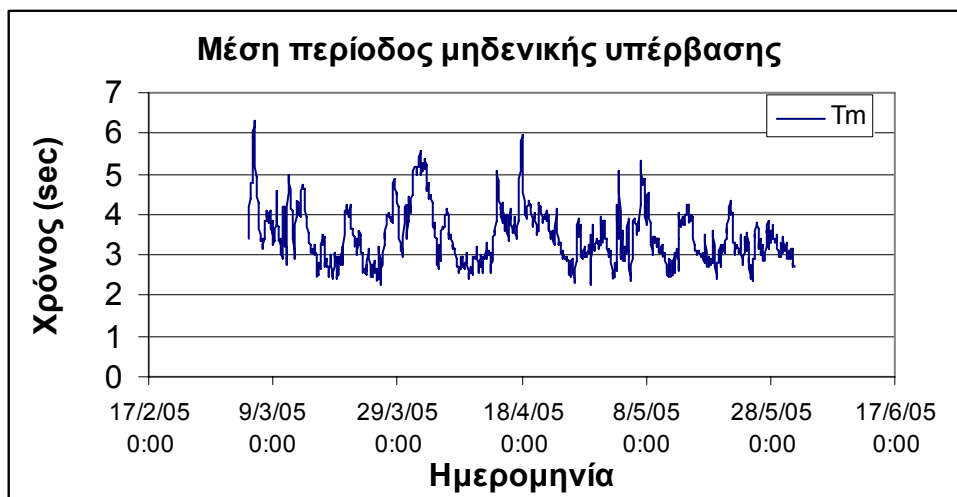
Σχήμα 4.42: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Καλοκαίρι του 2004.



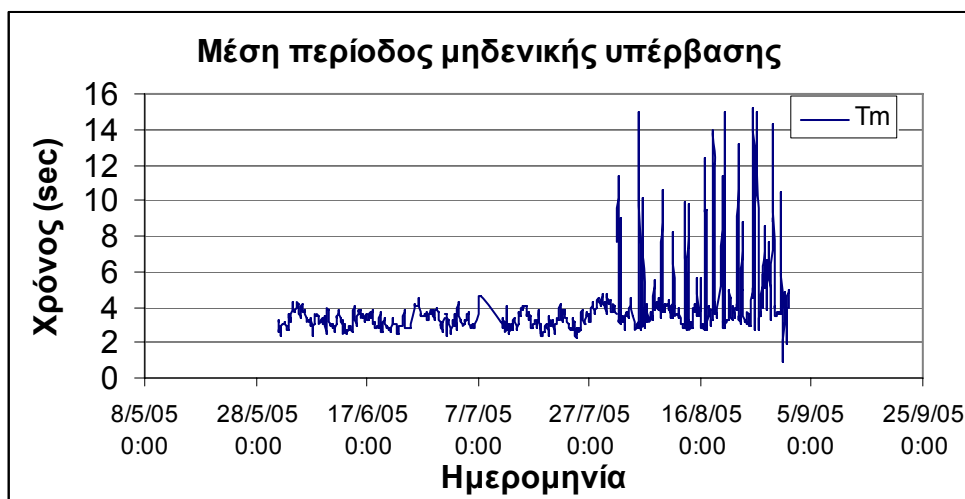
Σχήμα 4.43: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Φθινόπωρο του 2004.



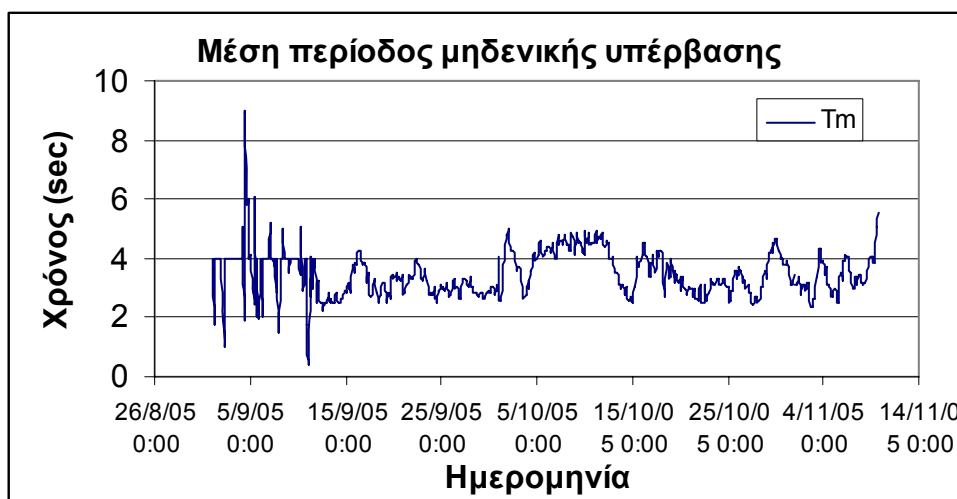
Σχήμα 4.44: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Χειμώνα του 2005.



Σχήμα 4.45: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου την Άνοιξη του 2005.



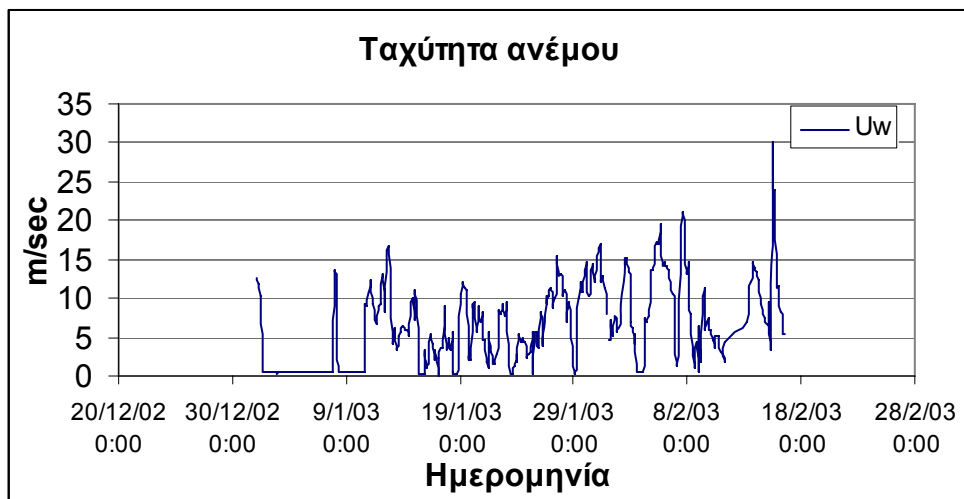
Σχήμα 4.46: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Καλοκαίρι του 2005.



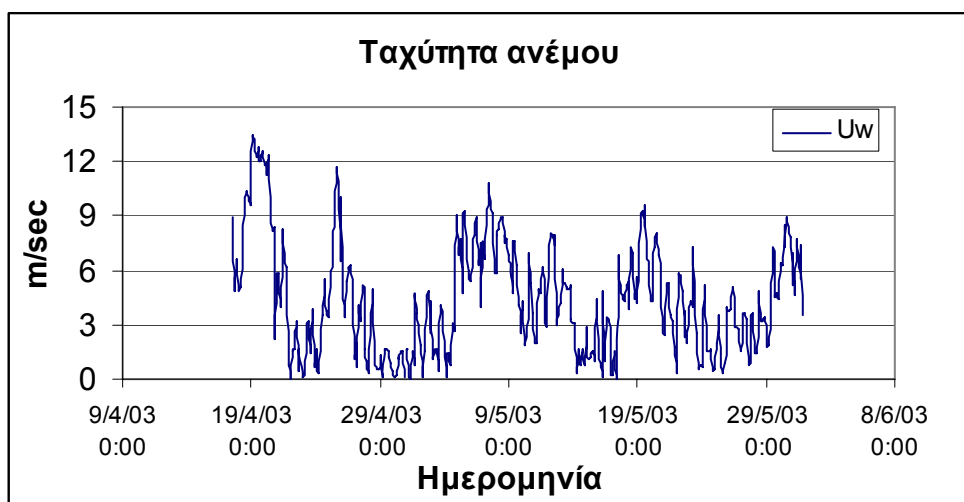
Σχήμα 4.47: Διάγραμμα μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Φθινόπωρο του 2005.

4.2.3 Γραφήματα ταχύτητας ανέμου

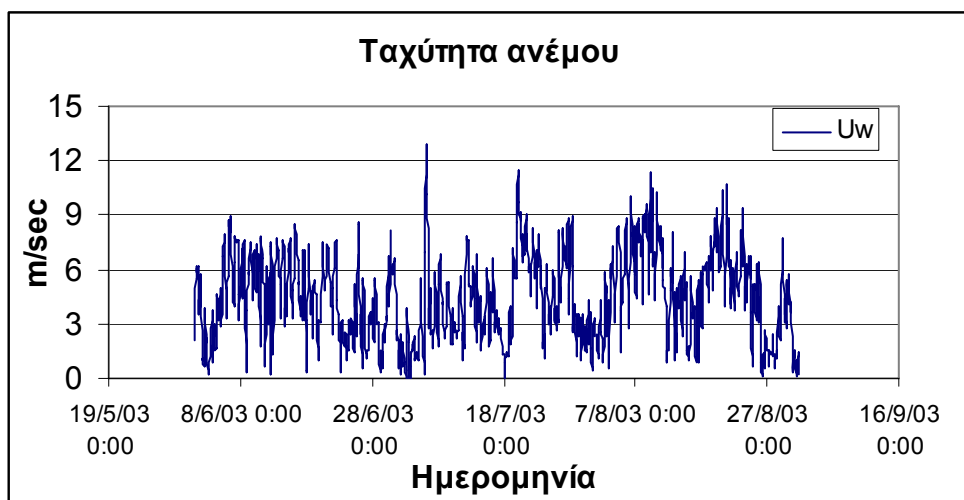
Παρακάτω παρουσιάζονται εποχικά γραφήματα της ταχύτητας του ανέμου που κατασκευάστηκαν με βάση τις μετρήσεις του συστήματος Ποσειδών για την περίοδο μελέτης (Χειμώνας 2003 – Φθινόπωρο 2005).



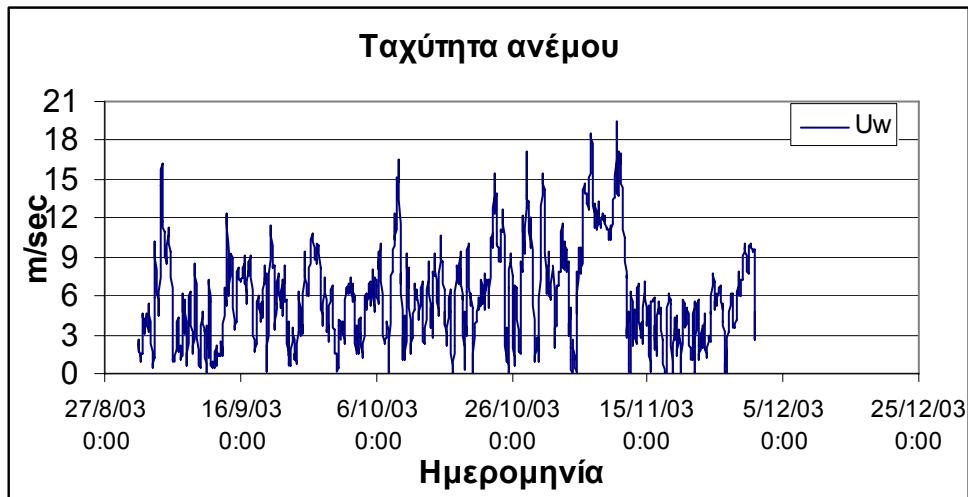
Σχήμα 4.48: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Χειμώνα του 2003.



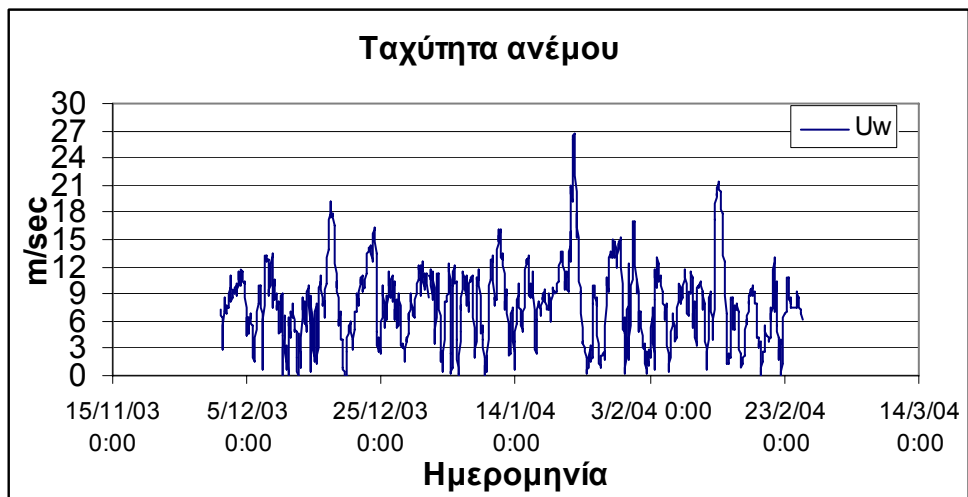
Σχήμα 4.49: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου την Άνοιξη του 2003.



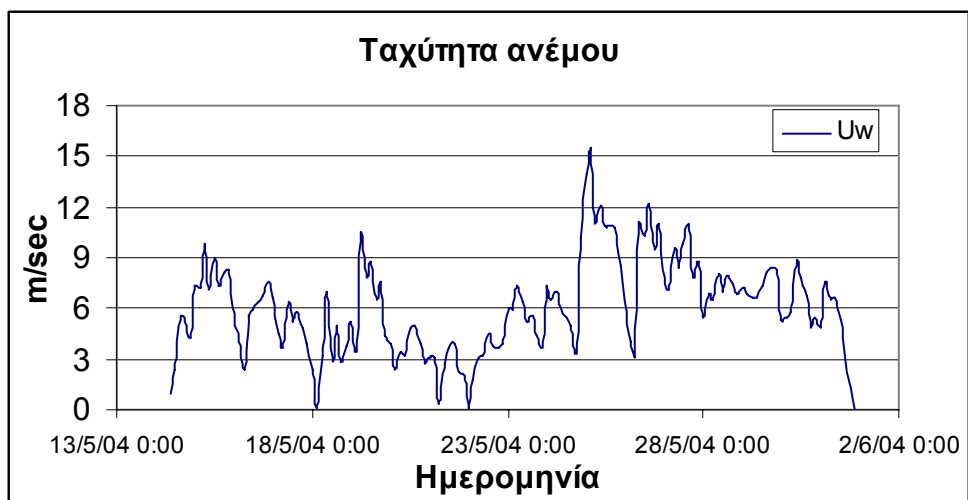
Σχήμα 4.50: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Καλοκαίρι του 2003.



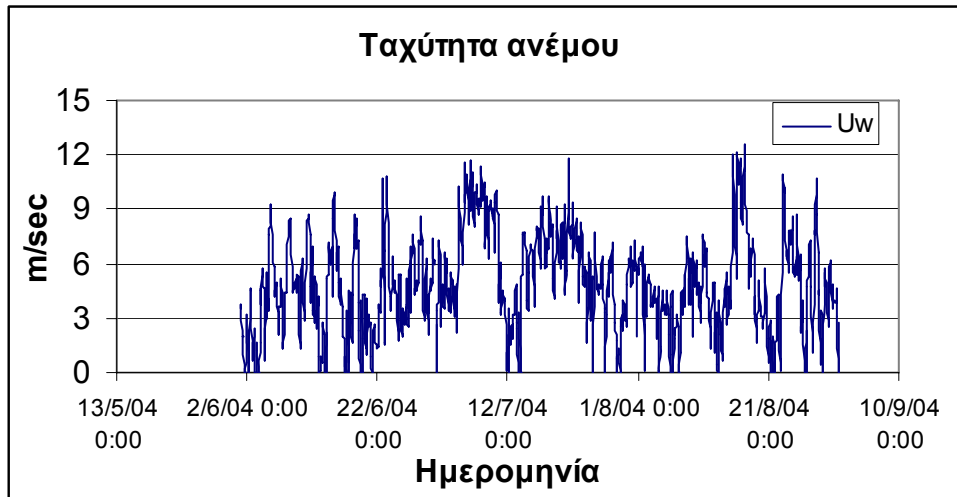
Σχήμα 4.51: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Φθινόπωρο του 2003.



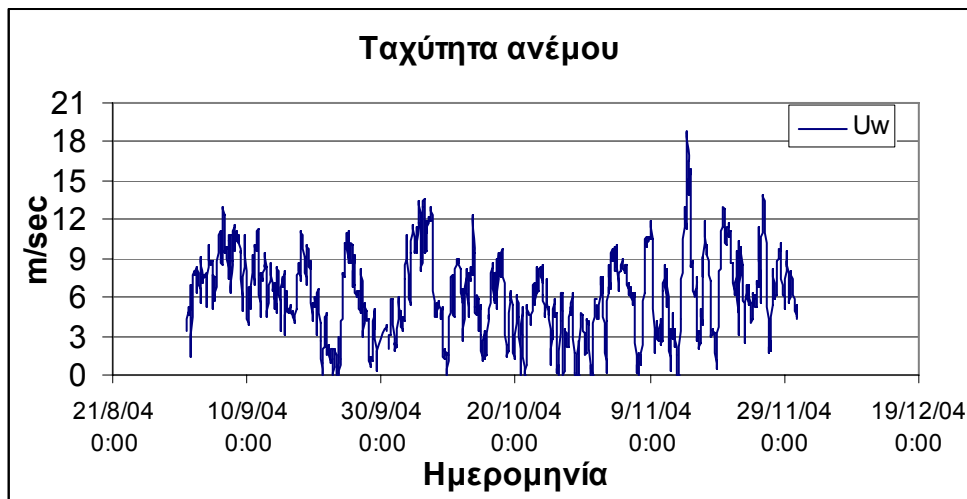
Σχήμα 4.52: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Χειμώνα του 2004.



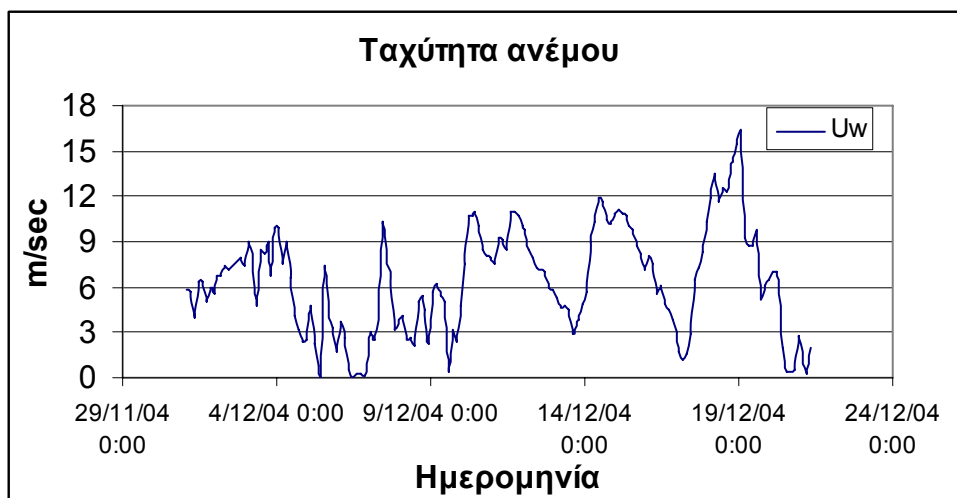
Σχήμα 4.53: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου την Άνοιξη του 2004.



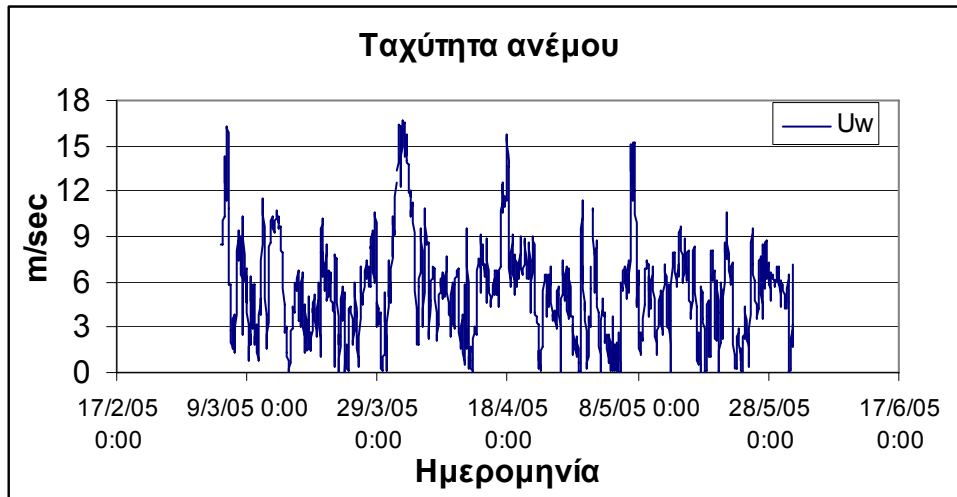
Σχήμα 4.54: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Καλοκαίρι του 2004.



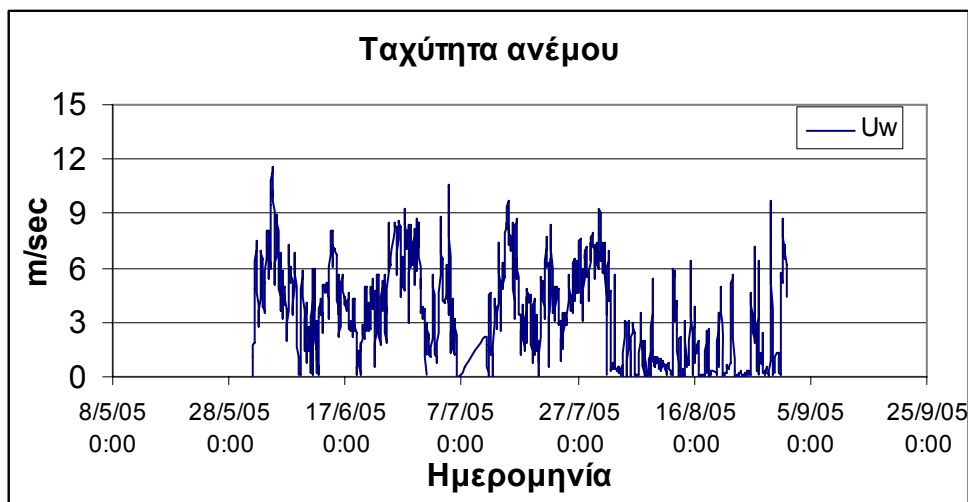
Σχήμα 4.55: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Φθινόπωρο του 2004.



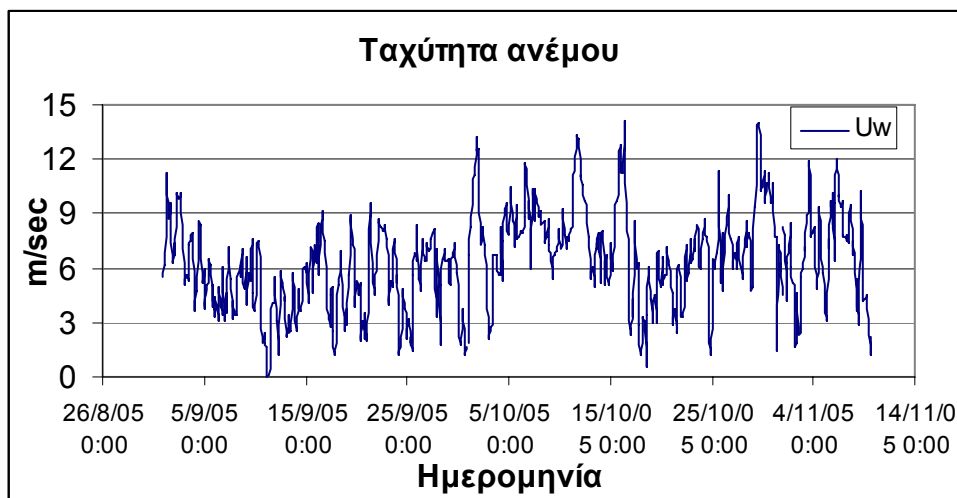
Σχήμα 4.56: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Χειμώνα του 2005.



Σχήμα 4.57: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου την Άνοιξη του 2005.



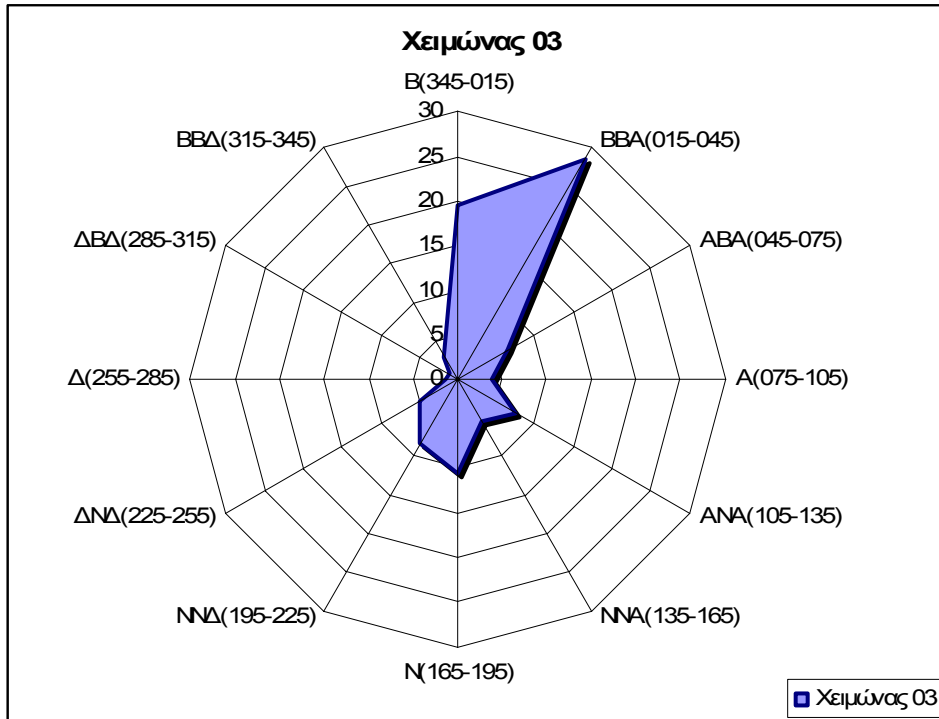
Σχήμα 4.58: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Καλοκαίρι του 2005.



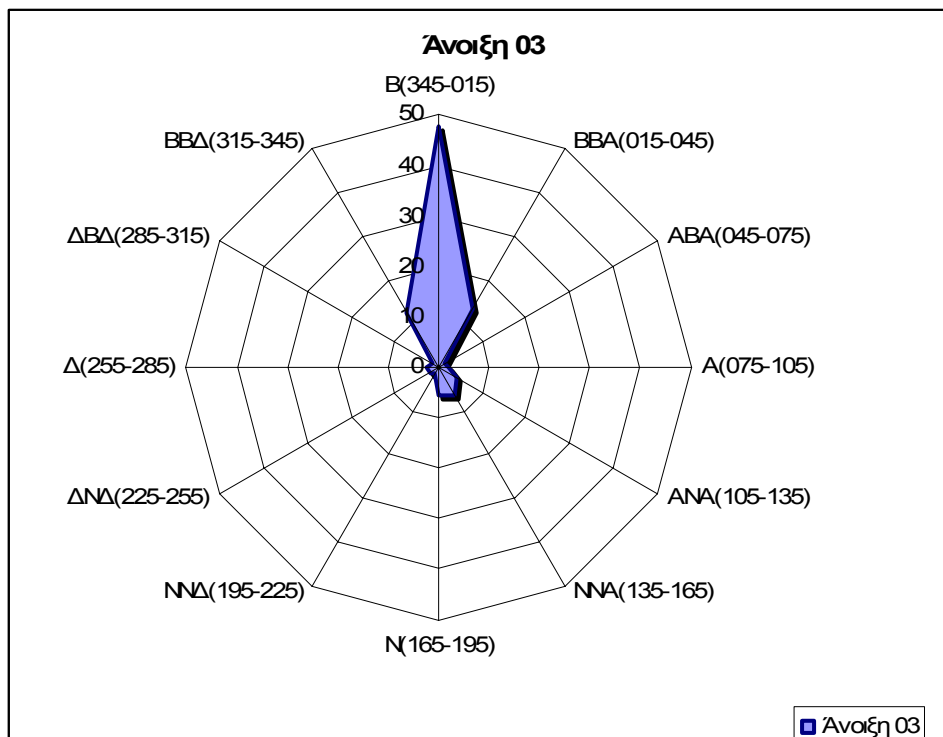
Σχήμα 4.59: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια μετρήσεων του μετεωρολογικού σταθμού του συστήματος Poseidon στην περιοχή Σιγρίου της Λέσβου το Φθινόπωρο του 2005.

4.2.4 Γραφήματα διεύθυνσης ανέμου

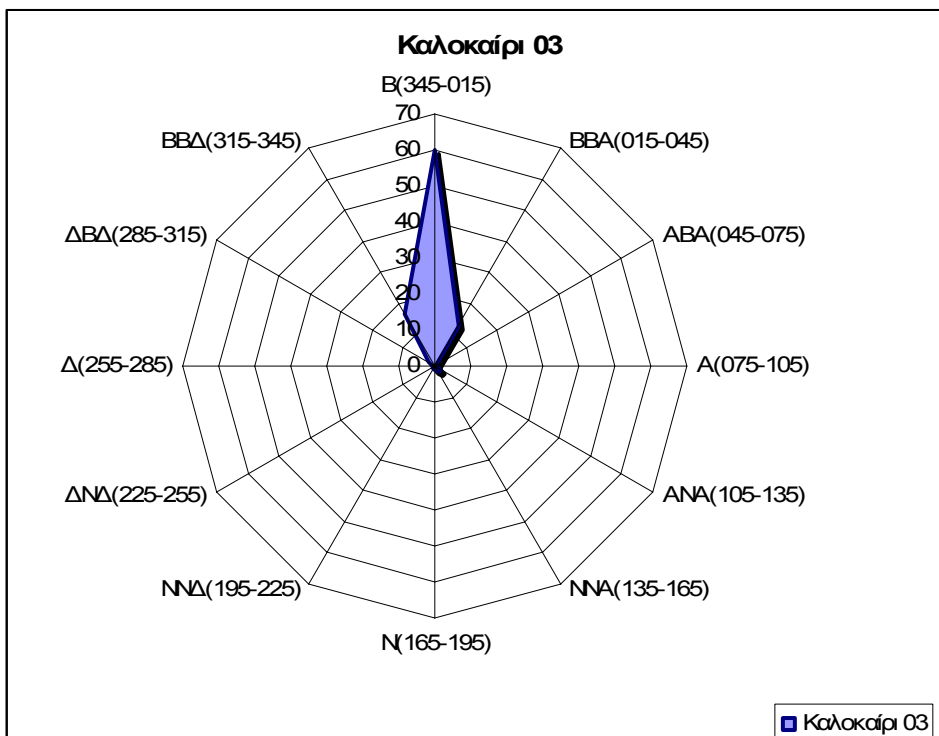
Παρακάτω παρουσιάζονται εποχικά γραφήματα της διεύθυνσης του ανέμου που κατασκευάστηκαν με βάση τις μετρήσεις του συστήματος Ποσειδών στην περιοχή μελέτης, για την περίοδο μελέτης (Ρόδα ανέμου). Τα γραφήματα εμφανίζουν την εμφάνιση των διευθύνσεων του ανέμου σε ποσοστά επί τοις εκατό.



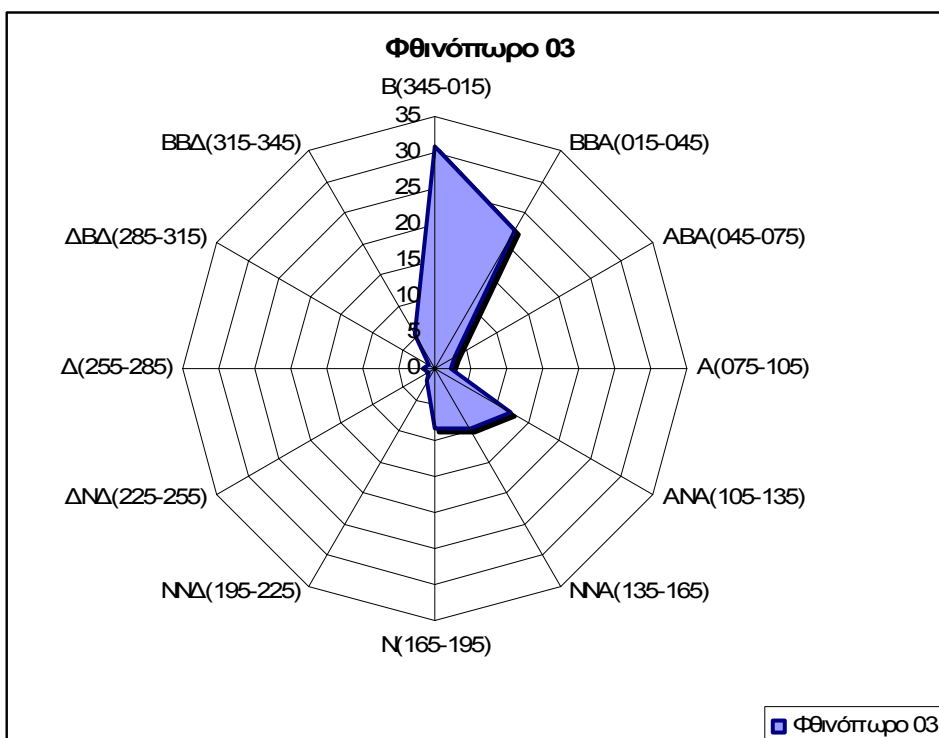
Σχήμα 4.60: Ρόδα ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο το Χειμώνα του 2003.



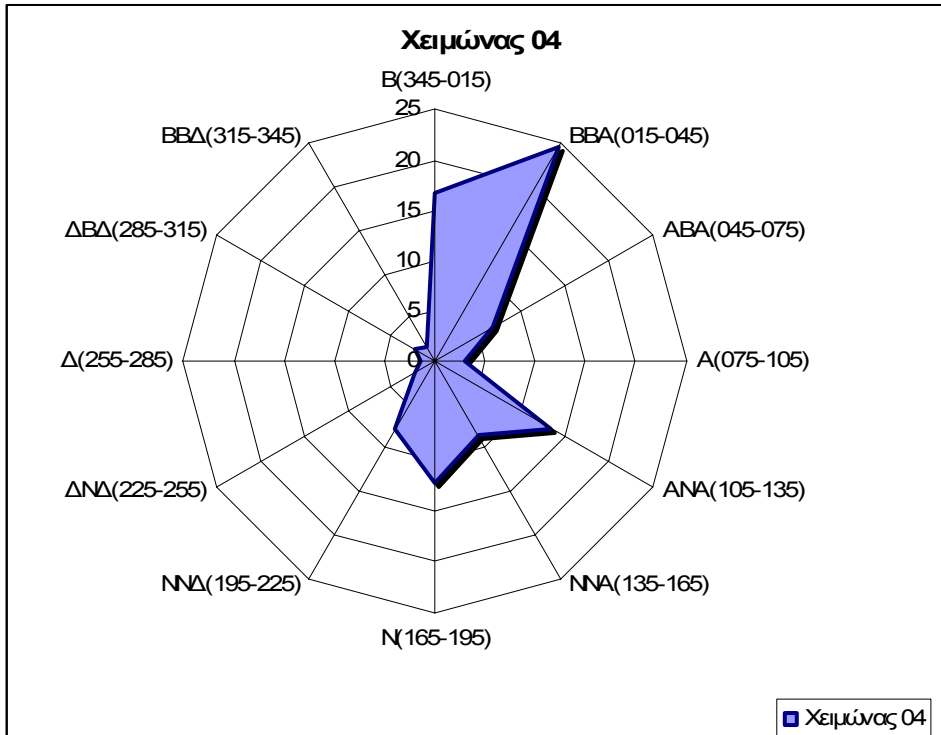
Σχήμα 4.61: Ρόδα ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο την Άνοιξη του 2003.



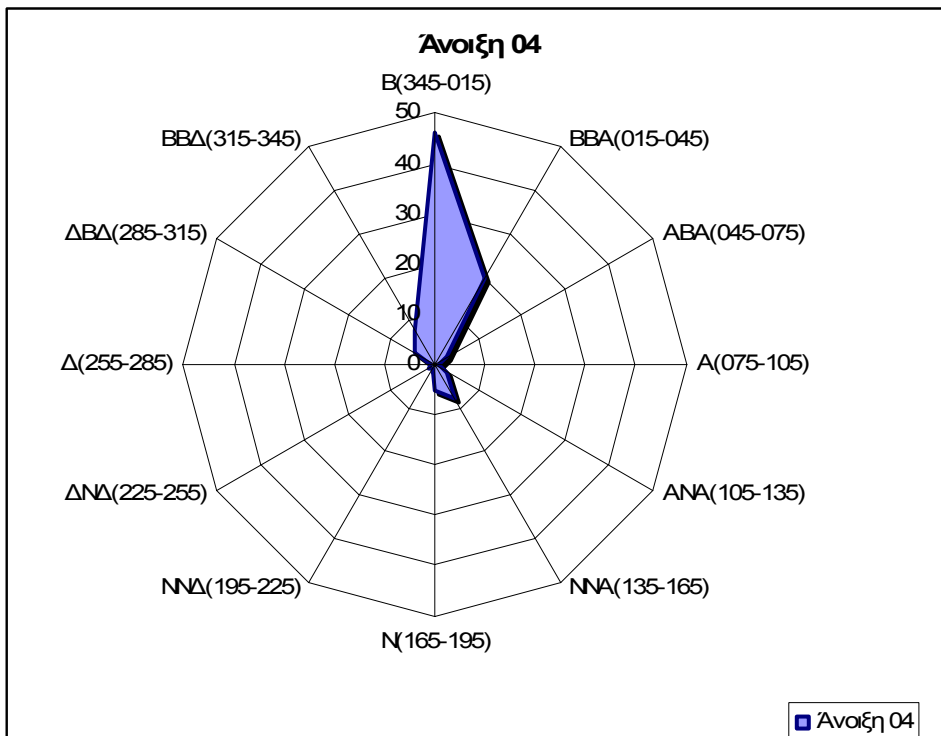
Σχήμα 4.62: Ρόδο ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο το Καλοκαίρι του 2003.



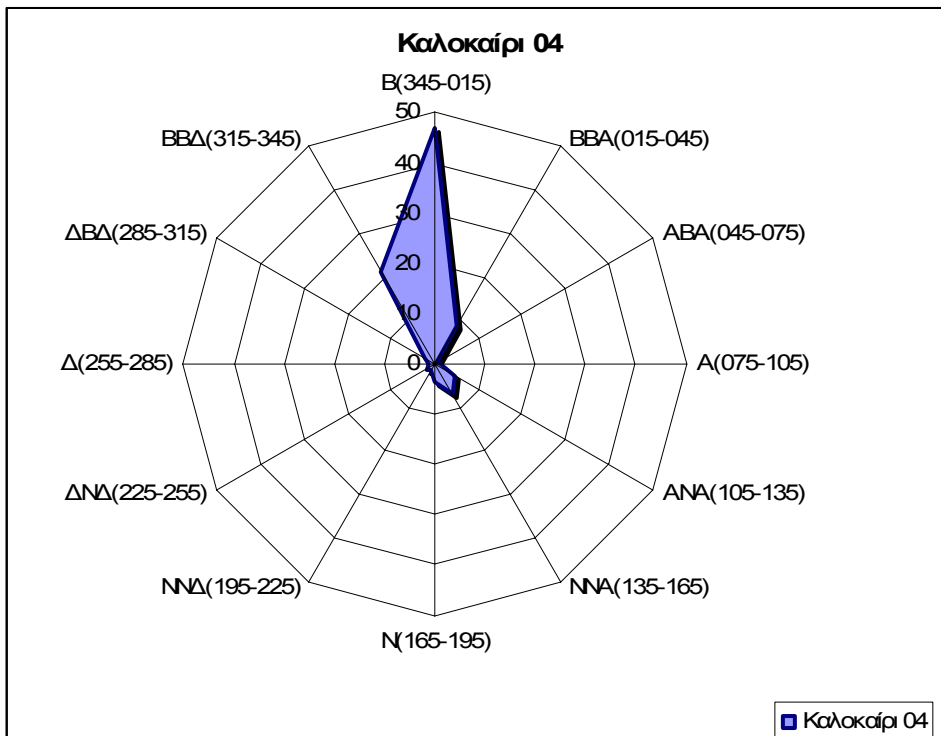
Σχήμα 4.63: Ρόδο ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο το Φθινόπωρο του 2003.



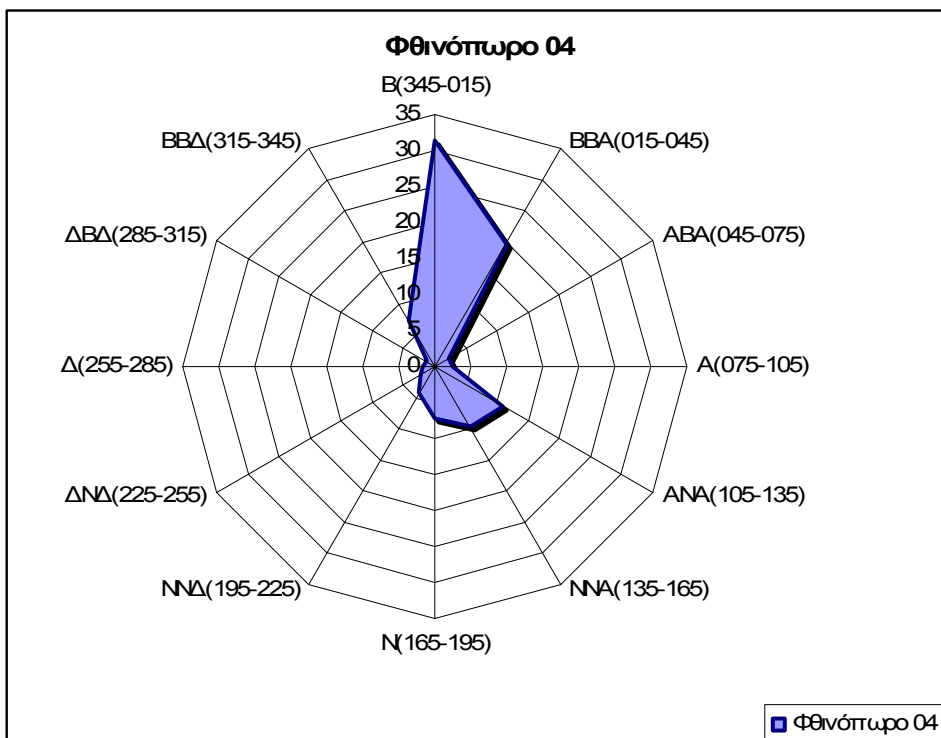
Σχήμα 4.64: Ρόδο ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο το Χειμώνα του 2004.



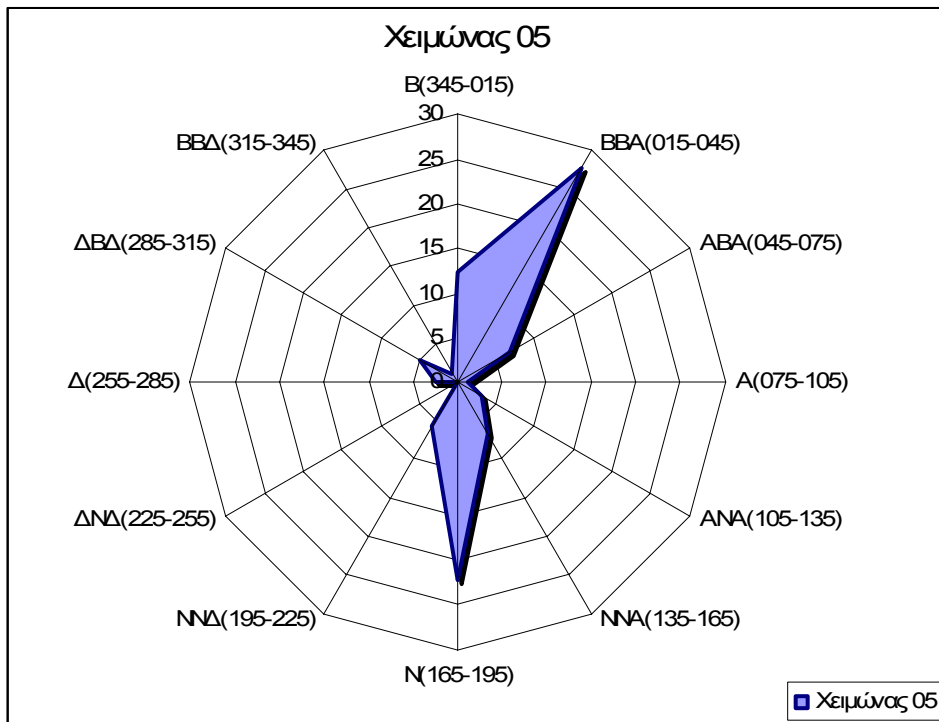
Σχήμα 4.65: Ρόδο ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο την Άνοιξη του 2004.



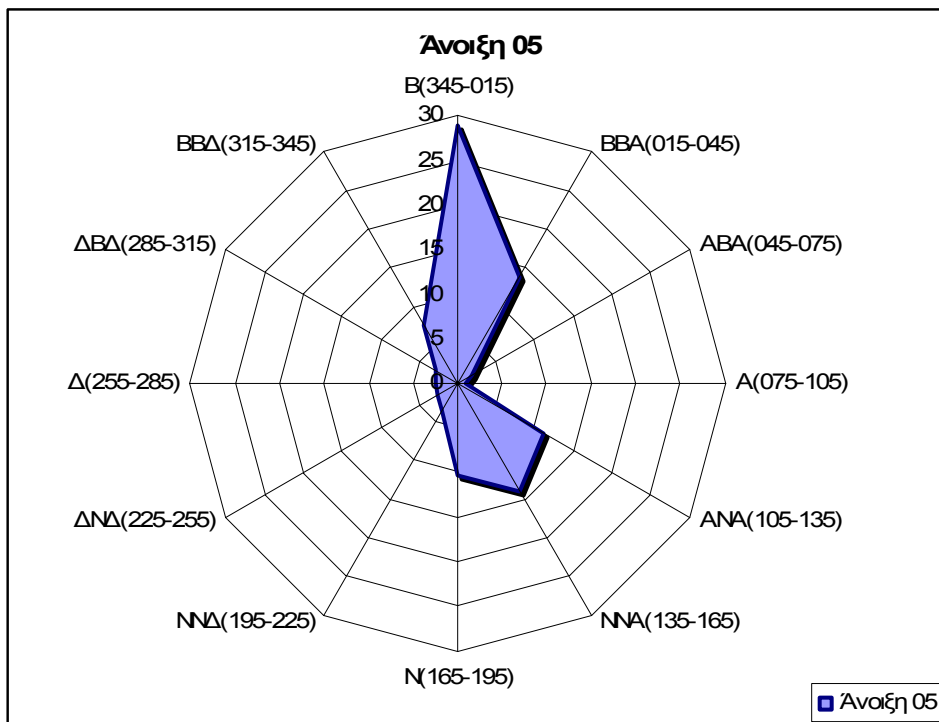
Σχήμα 4.66: Ρόδο ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο το Καλοκαίρι του 2004.



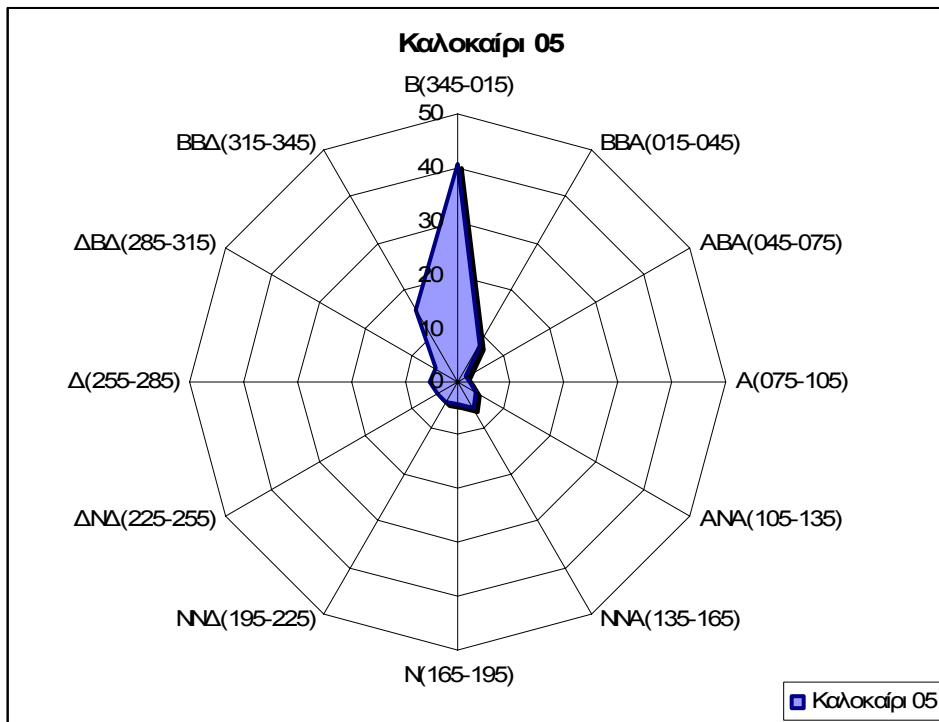
Σχήμα 4.67: Ρόδο ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο το Φθινόπωρο του 2004.



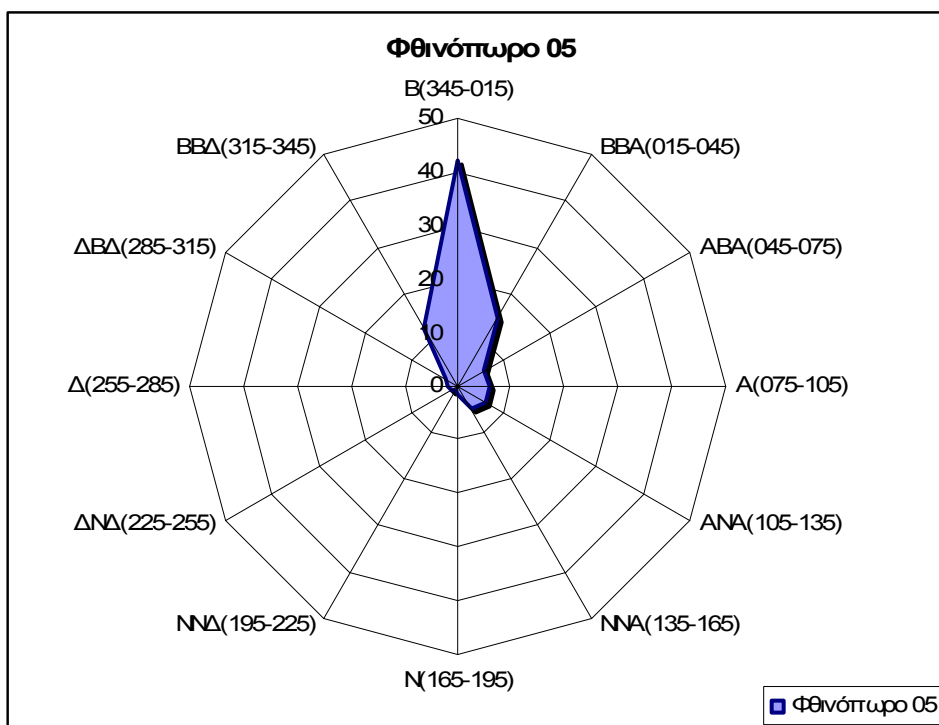
Σχήμα 4.68: Ρόδο ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο το Χειμώνα του 2005.



Σχήμα 4.69: Ρόδο ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο την Άνοιξη του 2005.



Σχήμα 4.70: Ρόδο ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο το Καλοκαίρι του 2005.



Σχήμα 4.71: Ρόδο ανέμου για την περιοχή Σιγρίου στη Λέσβο το Φθινόπωρο του 2005.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Ισχύς ανέμου

Για τον υπολογισμό της ισχύος που μπορεί να εκμεταλλευτεί μια ανεμογεννήτρια, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A \quad (5.1)$$

Όπου, ρ η πυκνότητα του αέρα (1225Kg/m^3), V η ταχύτητα του ανέμου που έχει μετρηθεί και A το εμβαδό της επιφάνειας που είναι κάθετη στο διάνυσμα της ταχύτητας. Η επιφάνεια αυτή εξαρτάται από το μέγεθος της πτερωτής της ανεμογεννήτριας. Η επιφάνεια του κυκλικού δίσκου απολογείται σύμφωνα με τη σχέση:

$$A = \pi \cdot R^2 \quad (5.2)$$

Όπου R , η ακτίνα του κύκλου, δηλαδή στην πράξη το μήκος του πτερυγίου της ανεμογεννήτριας.

Από τη σχέση ισχύος φαίνεται ότι μικρές μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου, οδηγούν σε σημαντικές μεταβολές της διαθέσιμης ισχύος ανέμου.

Στην ιδανική περίπτωση που παραβλέπονται οι μηχανικές απώλειες ή οι απώλειες λόγω στροβιλισμού, είναι αδύνατο να δεσμευθεί ολόκληρη η ισχύς του ανέμου δεδομένου ότι ο αέρας που διαπερνά την πτερωτή μιας ανεμογεννήτριας πρέπει να διαθέτει την απαραίτητη ταχύτητα ώστε να απομακρύνεται από αυτή, βάσει του θεωρήματος διατήρησης μάζας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένα μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου να χάνεται με τη δέσμη διαφυγής του ανέμου. Επίσης, ένα μικρό ποσοστό της μάζας του αέρα, που θα διαπερνούσε την επιφάνεια της πτερωτής, την παρακάμπει λόγω της απόκλισης των γραμμών ροής που η πτερωτή επιβάλλει στον άνεμο που προσπίπτει. Τέλος, ένα μικρό ποσοστό της κινητικής ενέργειας του ανέμου παραμένει ανεκμετάλλευτο, δεδομένης της χρονικής υστέρησης προσανατολισμού της πτερωτής στη διεύθυνση του ανέμου.

Οι παραπάνω απώλειες μαζί με τις μηχανικές και αεροδυναμικές απώλειες επάνω στις πτερωτές μειώνουν σημαντικά σε μέγεθος και σε εύρος το αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό μιας περιοχής. (Καλδέλλης, 1999)

Λόγω των απωλειών οι ανεμογεννήτριες δε μπορούν να λειτουργήσουν εκμεταλλευόμενες το 100% της ισχύος του ανέμου. Γι' αυτό το λόγω στη σχέση (5.1) προστίθεται ο όρος c_p που εκφράζει το θεωρητικό συντελεστή ισχύος της ανεμογεννήτριας και προσδιορίζεται από την αεροδυναμική της.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot A \cdot V^3 \quad (5.3)$$

Όπου $\rho=1,225\text{Kg/m}^3$, $c_p=0,4$, V η ταχύτητα του ανέμου που έχει μετρηθεί και A το εμβαδό της επιφάνειας που είναι κάθετη στο διάνυσμα της ταχύτητας.

5.2 Ισχύς κύματος

Για τον υπολογισμό της ισχύος που προκύπτει από τα θαλάσσια κύματα, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες ανάλυσης της θεωρίας των κυμάτων και της ενέργειας που μεταφέρουν.

Τα κύματα δεν είναι στην ουσία ιδανικά ημίτονα όπως συχνά παρουσιάζονται για απλοποίηση. Σποραδικά, φυσικά ή κατασκευαστικά δημιουργούνται πρότυπα που διαθλούν τα κύματα, προσεγγίζοντας ιδανικά ημίτονα. Το ίδιο μπορεί να γίνει και σε ένα κανάλι νερού, αλλά στη θάλασσα παρουσιάζονται ακανόνιστα κύματα με ποικιλία στην περίοδο, τη διεύθυνση και το πλάτος τους. Σε περιοχές που επικρατεί ένας άνεμος, τα κύματα μπορεί να εμφανίζουν μια συγκεκριμένη διεύθυνση και να δημιουργούν ένα ενιαίο θαλάσσιο μέτωπο σημαντικής περιόδου. Σε θαλάσσια βάρη μικρότερα των τριάντα μέτρων, μπορεί να προκύψουν σημαντικές επιδράσεις στη διεύθυνση παράγοντας σε τοπική κλίμακα συμμετρικότερα κύματα.

Οι συσκευές εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας πρέπει για τους παραπάνω λόγους να μπορούν να συνταιριάζουν ένα σύνολο φυσικών ιδιοτήτων και να σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποσπούν τη μέγιστη ισχύ σε ένα καθορισμένο χρόνο. Κατά το σχεδιασμό τέτοιων κατασκευών πρέπει να γίνεται κατανοητή η κυματική μορφή που θα προκύψει στο μέρος τα επόμενα 50 έτη.

Η ισχύς που προκύπτει ανά μονάδα πλάτους μετώπου κύματος παρουσιάζεται από τη σχέση:

$$E = \frac{\rho \cdot g^2 \cdot H_s \cdot T_c}{64 \cdot \pi} \quad (5.4)$$

Όπου, ρ η πυκνότητα της θάλασσας ($1,025 \text{Kg/m}^3$), g η επιτάχυνση της βαρύτητας ($g \approx 10 \text{m/sec}^2$), H_s το ύψος του κύματος (σε m) και T_c η μέση μηδενική περίοδος υπέρβασης (σε sec), δηλαδή η διάρκεια που η στάθμη της θάλασσας βρίσκεται πάνω από το μέσο επίπεδο θαλάσσης. (*Twidell, Weir, 1986*)

5.3 Αποτελέσματα

Οι τιμές του ανέμου που έχει μετρήσει το σύστημα Ποσειδών, αναφέρονται στην ένταση του ανέμου που πνέει κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Ένας μετεωρολογικός σημαντήρας που χρησιμοποιείται στο σύστημα Ποσειδών έχει μέγιστο ύψος περίπου 1m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Όμως, μια ανεμογεννήτρια λειτουργεί με τον άνεμο που πνέει στο ύψος της πλήμνης της. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει σημαντικά με το ύψος από το έδαφος στο οποίο αναφέρονται οι μετρήσεις. Συνήθως η μεταβολή αυτή είναι αξιοσημείωτη μέχρι τα πρώτα 100m από το έδαφος, δηλαδή μέχρι το συνηθισμένο πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος.

Μια σχέση που εμφανίζει τη διανομή ταχύτητας σε σχέση με το ύψος είναι η επόμενη:

$$\frac{V(z)}{V(0)} = \left(\frac{H_z}{H_0} \right)^b \quad (5.5)$$

Όπου δίνει την ταχύτητα του ανέμου σε ύψος Hz από το έδαφος συναρτήσει της παραμέτρου b της οποίας η ακριβής τιμή εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους. Για τη θάλασσα ισχύει ότι $b=0,14$. (Καλδέλλης, 1999)

Η ανεμογεννήτρια που θα χρησιμοποιηθεί στο αιολικό πάρκο ανοικτά του Σιγρίου, είναι της δανέζικης εταιρίας Vestas με ισχύ 4,5MW. Το ύψος της πλήμνης είναι στα 80m και η διάμετρος της πτερωτής είναι 120m. Σύμφωνα με τη σχέση (5.5), τα δεδομένα της έντασης του ανέμου πρέπει να υπολογιστούν για το επίπεδο της ανεμογεννήτριας, δηλαδή τα 80m. Το ύψος αναφοράς είναι το ύψος του μετεωρολογικού σημαντήρα του συστήματος Ποσειδών που προσεγγιστικά είναι 1m.

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5.1), παρουσιάζονται οι παράμετροι που είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό της αιολικής και κυματικής ισχύος στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 5.1: Ύψος κύματος, μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης, ταχύτητα ανέμου για την περίοδο Ιανουάριος 2003 – Νοέμβριος 2005 για τη θαλάσσια περιοχή του Σιγρίου.

Ημερομηνία	Ύψος κύματος Hs(m)	Μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης Tc(sec)	Ταχύτητα ανέμου στα 80m V(m/s)
Ιανουάριος 2003	1,311560675	4,1669687	9,587378552
Φεβρουάριος 2003	1,503447753	4,96402808	16,7534645
Μάρτιος 2003	Δ.Δ.*	Δ.Δ.	Δ.Δ.
Απρίλιος 2003	0,672907704	3,49774991	8,958627176
Μάιος 2003	0,56588968	3,29649532	7,843250009
Ιούνιος 2003	0,537322776	3,24462967	8,202449995
Ιούλιος 2003	0,471426017	3,12994582	7,45556247
Αύγουστος 2003	0,605947718	3,30986092	9,023036805
Σεπτέμβριος 2003	0,695503126	3,4546146	9,457155494
Οκτώβριος 2003	0,930327333	3,70248361	11,74711408
Νοέμβριος 2003	0,693857083	3,38303652	12,12695017
Δεκέμβριος 2003	1,107817652	3,96454742	14,3354601
Ιανουάριος 2004	1,424878288	4,22162621	15,97395693
Φεβρουάριος 2004	1,000073458	3,79711006	13,00661127
Μάρτιος 2004	Δ.Δ.	Δ.Δ.	Δ.Δ.
Απρίλιος 2004	Δ.Δ.	Δ.Δ.	Δ.Δ.
Μάιος 2004	0,731490126	3,5218052	11,15236527
Ιούνιος 2004	0,432991272	3,07176801	7,705867856
Ιούλιος 2004	0,67031031	3,42572248	10,99060121
Αύγουστος 2004	0,468730943	3,16259641	8,341379093
Σεπτέμβριος 2004	0,792084263	3,54062026	12,06507734
Οκτώβριος 2004	0,586226953	3,23828084	9,88000897
Νοέμβριος 2004	0,864736895	3,61392938	12,49748303
Δεκέμβριος 2004	1,074726197	3,92703262	11,77928576
Ιανουάριος 2005	Δ.Δ.	Δ.Δ.	Δ.Δ.
Φεβρουάριος 2005	Δ.Δ.	Δ.Δ.	Δ.Δ.
Μάρτιος 2005	0,848316477	3,57440117	9,896291517
Απρίλιος 2005	0,876342622	3,56524453	11,40298639
Μάιος 2005	0,582418696	3,29820185	9,078700666
Ιούνιος 2005	0,571203257	3,27189495	8,577137013
Ιούλιος 2005	0,555076457	3,34183946	8,26694223
Αύγουστος 2005	0,826039541	4,48721515	8,273641097
Σεπτέμβριος 2005	0,504908604	3,31900692	9,832734165

Ημερομηνία	Ύψος κύματος Hs(m)	Μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης Tc(sec)	Ταχύτητα ανέμου στα 80m V(m/s)
Οκτώβριος 2005	0,787107869	3,66650777	13,64098259
Νοέμβριος 2005	0,658448875	3,36822212	12,50678784

*Δ.Δ.: Δεν διατίθενται στοιχεία

Με βάση τα ανεμολογικά στοιχεία του παραπάνω πίνακα και χρησιμοποιώντας την εξίσωση ισχύος ανέμου (5.3) για την ανεμογεννήτρια που θα χρησιμοποιηθεί, προκύπτει ο Πίνακας 5.2 όπου καταγράφεται η μηνιαία παραγωγή ισχύος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια αρχίζει τη λειτουργία της σε ταχύτητες ανέμου 4,5m/s, τη μέγιστη ισχύ (4,5MW) την παράγει με ταχύτητα ανέμου 12m/s και άνω, ενώ στα 25m/s σταματάει τη λειτουργία της για να μην καταστραφεί από τις μεγάλες ταχύτητες.

Πίνακας 5.2: Μηνιαία παραγωγή ισχύος από μια ανεμογεννήτρια κατά την περίοδο Ιανουάριος 2003 – Νοέμβριος 2005 για την περιοχή μελέτης.

Ημερομηνία	Ισχύς (MW)	Ημερομηνία	Ισχύς (MW)	Ημερομηνία	Ισχύς (MW)
Ιανουάριος 2003	2,44	Ιανουάριος 2004	4,5	Ιανουάριος 2005	0
Φεβρουάριος 2003	4,5	Φεβρουάριος 2004	4,5	Φεβρουάριος 2005	0
Μάρτιος 2003	0	Μάρτιος 2004	0	Μάρτιος 2005	2,68
Απρίλιος 2003	1,99	Απρίλιος 2004	0	Απρίλιος 2005	4,1
Μάιος 2003	1,33	Μάιος 2004	3,84	Μάιος 2005	2,07
Ιούνιος 2003	1,52	Ιούνιος 2004	1,26	Ιούνιος 2005	1,74
Ιούλιος 2003	1,14	Ιούλιος 2004	3,67	Ιούλιος 2005	1,56
Αύγουστος 2003	2,03	Αύγουστος 2004	1,67	Αύγουστος 2005	1,57
Σεπτέμβριος 2003	2,34	Σεπτέμβριος 2004	4,5	Σεπτέμβριος 2005	2,63
Οκτώβριος 2003	4,48	Οκτώβριος 2004	2,67	Οκτώβριος 2005	4,5
Νοέμβριος 2003	4,5	Νοέμβριος 2004	4,5	Νοέμβριος 2005	4,5
Δεκέμβριος 2003	4,5	Δεκέμβριος 2004	4,5		

*Το 0 αντιστοιχεί στους μήνες που δεν εμφανίζονται δεδομένα λόγω έλλειψης καταγραφής

Αντιστοίχως, με βάση τα κυματικά δεδομένα του Πίνακα 5.3 και χρησιμοποιώντας την εξίσωση ισχύος από τα κύματα (5.4) με την οποία γίνονται οι υπολογισμοί για εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας, προκύπτει ο Πίνακας Ζ όπου καταγράφεται η μηνιαία παραγωγή ισχύος από τα θαλάσσια κύματα ανά μονάδα πλάτους μετώπου κύματος.

Πίνακας 5.3: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα κατά την περίοδο Ιανουάριος 2003 – Νοέμβριος 2005 για την περιοχή μελέτης.

Ημερομηνία	Ενέργεια (W/m)	Ημερομηνία	Ενέργεια (W/m)	Ημερομηνία	Ενέργεια (W/m)
Ιανουάριος 2003	2,78	Ιανουάριος 2004	3,06	Ιανουάριος 2005	0
Φεβρουάριος 2003	3,80	Φεβρουάριος 2004	1,93	Φεβρουάριος 2005	0
Μάρτιος 2003	0*	Μάρτιος 2004	0	Μάρτιος 2005	1,54
Απρίλιος 2003	1,2	Απρίλιος 2004	0	Απρίλιος 2005	1,59
Μάιος 2003	0,95	Μάιος 2004	1,31	Μάιος 2005	0,97
Ιούνιος 2003	0,88	Ιούνιος 2004	0,67	Ιούνιος 2005	0,95
Ιούλιος 2003	0,75	Ιούλιος 2004	1,17	Ιούλιος 2005	0,94

Ημερομηνία	Ενέργεια (W/m)	Ημερομηνία	Ενέργεια (W/m)	Ημερομηνία	Ενέργεια (W/m)
Αύγουστος 2003	1,02	Αύγουστος 2004	0,75	Αύγουστος 2005	1,89
Σεπτέμβριος 2003	1,22	Σεπτέμβριος 2004	1,43	Σεπτέμβριος 2005	0,85
Οκτώβριος 2003	1,75	Οκτώβριος 2004	0,96	Οκτώβριος 2005	1,47
Νοέμβριος 2003	1,19	Νοέμβριος 2004	1,59	Νοέμβριος 2005	1,13
Δεκέμβριος 2003	2,23	Δεκέμβριος 2004	2,15		

*Το 0 αντιστοιχεί στους μήνες που δεν εμφανίζονται δεδομένα λόγω έλλειψης καταγραφής

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5.4), γίνεται καταγραφή των ετήσιων συνθηκών που επικρατούν στη περιοχή μελέτης. Επίσης παρουσιάζεται η μηνιαία παραγωγή ισχύος τόσο από τον άνεμο όσο και από τα θαλάσσια κύματα. Η παραγωγή ισχύος από τα κύματα είναι ανά μονάδα πλάτους μετώπου κύματος.

Πίνακας 5.4: Ετήσιες τιμές ύψους κύματος, μέσης περιόδου μηδενικής υπέρβασης, ταχύτητας ανέμου καθώς και παραγόμενη ισχύς από τα κύματα και από τον άνεμο για τη θαλάσσια περιοχή του Σιγρίου.

Μήνας	Ύψος κύματος Hs (m)	Μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης Tc (sec)	Ταχύτητα ανέμου στα 80m V (m/s)	Ισχύς από κύματα (W/m)	Ισχύς από άνεμο (MW)
Ιανουάριος	1,37	4,19	12,78	2,92	4,5
Φεβρουάριος	0,75	4,38	14,88	1,67	4,5
Μάρτιος	0,85	3,57	9,9	1,55	2,69
Απρίλιος	0,76	3,53	10,17	1,37	2,91
Μάιος	0,63	3,37	9,34	1,08	2,26
Ιούνιος	0,51	3,19	8,16	0,83	1,5
Ιούλιος	0,56	3,3	8,9	0,94	1,95
Αύγουστος	0,63	3,65	8,54	1,17	1,76
Σεπτέμβριος	0,66	3,44	10,45	1,16	3,16
Οκτώβριος	0,77	3,53	11,75	1,37	4,48
Νοέμβριος	0,74	3,45	12,37	1,3	4,5
Δεκέμβριος	1,09	3,94	13,06	2,19	4,5

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι τεχνολογίες της κυματικής ενέργειας και της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στη θάλασσα είναι σχετικά καινούριες. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να γίνει περισσότερη έρευνα όσο αφορά τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις αλλά και την οικονομική τους αποδοτικότητα. Μελέτες που έχουν γίνει ως τώρα, αφήνουν υποσχέσεις για τη μελλοντική χρήση αυτών των τεχνολογιών που με περισσότερη έρευνα και ανάπτυξη θα μπορέσουν να βοηθήσουν στην καταπολέμηση της μεγαλύτερης απειλής για το περιβάλλον και την κοινωνία, την παγκόσμια κλιματική αλλαγή, μειώνοντας την εξάρτηση των κοινωνιών από τα ορυκτά καύσιμα. (Pelc, Fujita, 2002)

6.1 Αιολική ενέργεια

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, μια ανεμογεννήτρια 4,5MW θα αποδίδει την ονομαστική της ισχύ για το 50% ενός έτους, ενώ για το 30% του έτους θα βγάζει πάνω από τη μισή ονομαστική ισχύ και για το 20% λιγότερη από τη μισή. Αυτό το στοιχείο δείχνει ότι η επένδυση που μπορεί να γίνει στην περιοχή αντιμετωπίζει μικρότερο οικονομικό ρίσκο απ' ότι σε πολλές άλλες περιοχές που ήδη λειτουργούν αιολικά πάρκα.

Η μελέτη για την εφαρμογή θαλάσσιου αιολικού πάρκου στη θαλάσσια περιοχή του Σιγρίου, έδειξε πως υπάρχει μια σημαντικό αιολικό δυναμικό που θα μπορούσε ν' αξιοποιηθεί για την μελλοντική κάλυψη ενεργειακών αναγκών στη Λέσβο. Ήδη στην περιοχή του Σιγρίου υπάρχει ένα εγκατεστημένο αιολικό πάρκο που αποτελείται από 9 ανεμογεννήτριες 225kW (Σχήμα 6.1).



Σχήμα 6.1: Εικόνα του αιολικού πάρκου που λειτουργεί σήμερα στο Σίγρι.

Δεδομένου ότι στην περιοχή του Σιγρίου υπάρχει το απολιθωμένο δάσος που αποτελεί πόλο έλξης αρκετών τουριστών και γίνονται έρευνες για την ανακάλυψη νέων ευρημάτων στην περιοχή, η εγκατάσταση αιολικών πάρκων στην περιοχή ενδέχεται ν' αντιμετωπίσει μεγάλες δυσκολίες τόσο στην αδειοδότηση, όσο και στην

υποστήριξη της τοπικής κοινωνίας. Για το λόγο αυτό ίσως δεν έχει γίνει επέκταση του ήδη εγκατεστημένου δεδομένου ότι υπάρχει ανεκμετάλλευτος χώρος.

Η εγκατάσταση θαλάσσιου αιολικού πάρκου, μπορεί να αποτελέσει μια λύση, ειδικά αν ληφθεί υπόψη η μορφολογία των ακτογραμμών της περιοχής (Σχήμα 6.2, 6.3), καθώς η οπτική όχληση θα είναι ελάχιστη ως και ανύπαρκτη μιας και μεσολαβεί η νησίδα Μεγαλονήσι. Όσο αφορά την αλιεία στην περιοχή, χρειάζεται να γίνει μια ενδελεχής έρευνα πριν την εγκατάσταση ώστε να υπάρχει βεβαιότητα ότι η περιοχή εγκατάστασης δεν αποτελεί τόπο αλιείας και ότι δε θα υποβαθμιστεί η αλιεία στη συγκεκριμένη περιοχή μιας και αυτή αποτελεί την κύρια απασχόληση των κατοίκων.



Σχήμα 6.2: Πανοραμική εικόνα του κόλπου του Σιγρίου. Διακρίνεται και η νησίδα Μεγαλονήσι.

Το κόστος εγκατάστασης επίσης μπορεί να είναι λίγο υψηλότερο από την εγκατάσταση στη ξηρά, όμως λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού και λόγω των εγκαταστάσεων που ήδη υπάρχουν στο Σίγρι (λιμάνι, δίκτυο Δ.Ε.Η.), μπορεί να θεωρηθεί συγκρίσιμο έργο.

6.2 Κυματική ενέργεια

Τα αποτελέσματα που βγήκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για την κυματική ενέργεια, είναι λίγο πιο σύνθετα καθώς εμφανίζουν την ισχύ που μπορεί να παραχθεί ανά μονάδα πλάτους μετώπου κύματος. Για να υπάρχουν πιο εμφανή στοιχεία, θα μελετηθεί μια συσκευή εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας ώστε να γίνει κατανοητή η παραγωγή της ισχύος.

Σαν παράδειγμα χρησιμοποιείται η συσκευή Wave Dragon καθώς είναι η μοναδική για την οποία βρέθηκαν τεχνικά στοιχεία στο διαδίκτυο που είναι απαραίτητα για να βγουν κάποια συμπεράσματα. Η συσκευή Wave Dragon εμφανίζεται στο σχήμα 6.5.



Σχήμα 6.4: Εικόνα του wave dragon σε πλήρη λειτουργία. (Πηγή: www.wavedragon.net)

Το Wave Dragon εμφανίζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά σύμφωνα με όσα αναφέρει ο Πίνακας 3.4 του Κεφαλαίου 3. Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.4, το πρωτότυπο που εκμεταλλεύεται ισχύ 0,4kW/m έχει συνολικό μήκος 58m και πλάτος 33m. Το βάρος

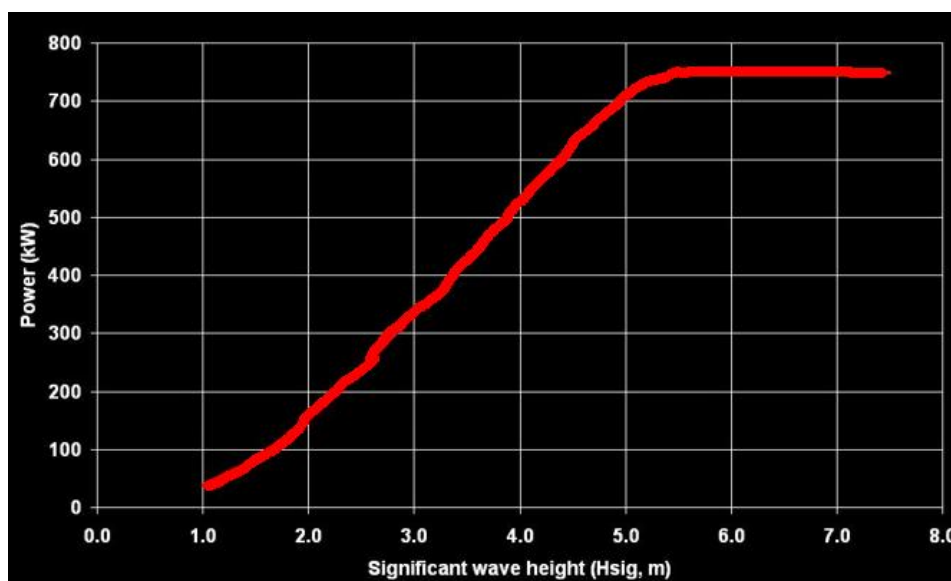
του προσεγγίζει τους 237 τόνους ενώ το μήκος του ανακλαστήρα κυμάτων είναι 28m. Η ισχύς που παράγει σε συνθήκες 0,4kW/m είναι 20kW. Επομένως, με βάση τον πίνακα 5.4 του προηγούμενου κεφαλαίου που αναφέρονται οι μηνιαίες τιμές ισχύος για ένα έτος, προκύπτει ότι καθ' όλη τη διάρκεια του έτους οι συνθήκες είναι πολύ πάνω από τα 0,4kW/m. Άρα η παραγωγή θα είναι της τάξης των 20kW. Η συγκεκριμένη εταιρία όμως δε διαθέτει άλλο μοντέλο έτοιμο για μεγαλύτερες συνθήκες ισχύος κύματος και μόνο στα σχέδια της αναφέρει πως μετά το πρωτότυπο, το επόμενο μοντέλο σε ισχύ θα λειτουργεί σε συνθήκες 24kW/m, παράγοντας 4MW. Ένα μοντέλο που είναι για πολύ πιο έντονες κυματικές συνθήκες απ' ότι εμφανίζουν οι ελληνικές θάλασσες.

Εξετάζοντας μια δεύτερη συσκευή που παρέχει στην ιστοσελίδα της διαγράμματα παραγωγής ισχύος, γίνεται μελέτη για την παραγόμενη ισχύ που μπορεί να εκμεταλλευτεί στην περιοχή μελέτης. Η συσκευή αυτή είναι η Pelamis και παρουσιάζεται στο σχήμα 6.4. Το πρωτότυπο Pelamis των 750kW έχει 120m μήκος και 3,5m διάμετρο.



Σχήμα 6.5: Εικόνα του Pelamis σε πλήρη λειτουργία. (Πηγή: www.oceanpd.com)

Σύμφωνα με την εταιρία κατασκευής του, το Pelamis εμφανίζει την παρακάτω καμπύλη ισχύος (Σχήμα 6.7) για διάφορα ύψη κύματος. Ο πίνακας 5.4 του κεφαλαίου 5 καταγράφει τις μηνιαίες τιμές ύψους κύματος για ένα έτος.



Σχήμα 6.6: Καμπύλη ισχύος του Pelamis. (Πηγή: www.oceanpd.com)

Σύμφωνα με τις τιμές που έχουν μετρηθεί στην περιοχή μελέτης, το ύψος κύματος κυμαίνεται από 0,5m έως 1,3m. Με βάση την καμπύλη ισχύος, αυτό συνεπάγεται ότι η παραγωγή ισχύος είναι από 20kW έως 80kW.

6.3 Παράδειγμα εφαρμογής

Στην παρούσα εργασία, θεωρείται ένας σχεδιασμός τεσσάρων ανεμογεννητριών ισχύος 4,5MW η κάθε μια που χωροθετείται στη θαλάσσια περιοχή έξω από το Σίγρι. Δεδομένου ότι στην περιοχή λειτουργεί μετεωρολογικός σταθμός του Συστήματος Poseidon, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ανεμολογικά δεδομένα για τη διαδικασία αδειοδότησης μιας και η ελληνική νομοθεσία πλέον δεν απαγορεύει τέτοια δραστηριότητα. Μια φωτορεαλιστική απεικόνιση του πάρκου φαίνεται στο Σχήμα 6.7. Στο Σχήμα 6.8 φαίνεται ο σχεδιασμός του πάρκου με τις προτεινόμενες διαδρομές καλωδίων με τη ξηρά.



Σχήμα 6.7: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του θαλάσσιου αιολικού πάρκου από τη νοτιοδυτική πλευρά.

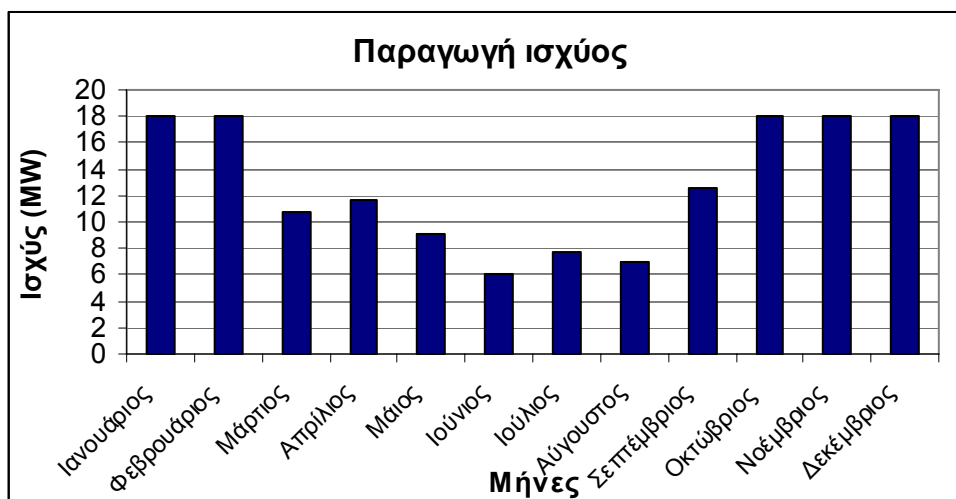


Σχήμα 6.8: Σχεδιασμός του θαλάσσιου αιολικού πάρκου. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι ανεμογεννήτριες, ενώ οι πράσινες γραμμές αναπαριστούν τις επιλογές για την καλωδίωση του πάρκου με τη ξηρά.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.4 του Κεφαλαίου 5, αυτό το πάρκο θα παράγει ισχύ αρκετά μεγάλη, ικανή να καλύψει πολλές ανάγκες του νησιού. Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 6.1) και στο γράφημα που ακολουθεί (Σχήμα 6.6) φαίνεται η ετήσια παραγωγή ισχύος για το πάρκο.

Πίνακας 6.1: Ετήσια παραγωγή ισχύος για θαλάσσιο αιολικό πάρκο 4 ανεμογεννητριών ισχύος 4,5MW η κάθε μια.

Μήνας	Ισχύς (MW)
Ιανουάριος	18
Φεβρουάριος	18
Μάρτιος	10,76
Απρίλιος	11,64
Μάιος	9,04
Ιούνιος	6
Ιούλιος	7,8
Αύγουστος	7,04
Σεπτέμβριος	12,64
Οκτώβριος	18
Νοέμβριος	18
Δεκέμβριος	18



Σχήμα 6.9: Ετήσια κατανομή ισχύος για θαλάσσιο αιολικό πάρκο ισχύος 4 ανεμογεννητριών ισχύος 4,5MW η κάθε μια.

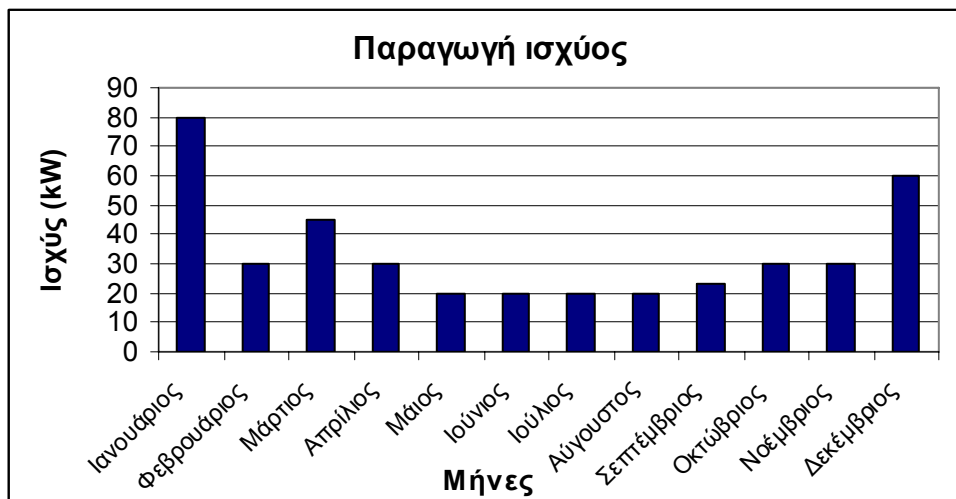
Από το παραπάνω γράφημα παρατηρείται ότι το πάρκο μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των αναγκών του νησιού ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες που εμφανίζονται ισχυρότεροι άνεμοι στο Βόρειο Αιγαίο. Αυτό μπορεί να εξοικονομήσει αρκετό πετρέλαιο από τη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος της Δ.Ε.Η. και να βοηθήσει στη λειτουργία των ελαιολιτριβείων που εμφανίζουν μεγάλη κατανάλωση ισχύος τους χειμερινούς μήνες στο νησί. Τους καλοκαιρινούς μήνες εμφανίζει την ελάχιστη παραγωγή ισχύος, γεγονός που δε βοηθάει στο πρόβλημα που αντιμετωπίζει η Λέσβος τους θερινούς μήνες με την αύξηση των αναγκών σε ηλεκτρικό ρεύμα λόγω του τουρισμού.

Όσο αφορά την κυματική ενέργεια, θεωρούνται 2 παραδείγματα. Στο πρώτο χρησιμοποιείται η διάταξη του Wave Dragon και στο δεύτερο το Pelamis. Όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 6.2 για το σύστημα Wave Dragon, οι κυματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή σε συνδυασμό με την ανάπτυξη του συστήματος, θα δίνουν για όλη τη χρονιά μια σταθερή ισχύ, τη μέγιστη που μπορεί να δώσει αυτή η πειραματική εφαρμογή του Wave Dragon, της τάξης των 20kW. Αυτό προκύπτει γιατί δεν έχει κατασκευαστεί μοντέλο που να μπορεί να λειτουργήσει σε συνθήκες μεγαλύτερες των 0,4kW/m.

Στο παράδειγμα που χρησιμοποιείται το σύστημα Pelamis, χρησιμοποιούνται τα δεδομένα που προκύπτουν από τον Πίνακα 5.4 του Κεφαλαίου 5 και το γράφημα 6.6 που εμφανίζει την καμπύλη ισχύος του Pelamis. Προκύπτει λοιπόν ο επόμενος πίνακας (Πίνακας 6.2) που παρουσιάζει το μηνιαίο ύψος κύματος για ένα χρόνο με την αντίστοιχη παραγωγή ισχύος από την καμπύλη ισχύος του Pelamis.

Πίνακας 6.2: Ετήσια παραγωγή ισχύος με βάση τις κυματικές συνθήκες στην περιοχή του Σιγρίου για το σύστημα Pelamis.

Μήνας	Ύψος κύματος Hs (m)	Παραγωγή ισχύος (kW)
Ιανουάριος	1,37	80
Φεβρουάριος	0,75	30
Μάρτιος	0,85	45
Απρίλιος	0,76	30
Μάιος	0,63	20
Ιούνιος	0,51	20
Ιούλιος	0,56	20
Αύγουστος	0,63	20
Σεπτέμβριος	0,66	23
Οκτώβριος	0,77	30
Νοέμβριος	0,74	30
Δεκέμβριος	1,09	60



Σχήμα 6.10: Ετήσια κατανομή ισχύος για το σύστημα Pelamis.

6.4 Σύνοψη

Ολοκληρώνοντας την παρούσα μελέτη, μπορεί να ειπωθεί ότι η εφαρμογή του θαλάσσιου αιολικού πάρκου θα έχει σημαντικά οφέλη στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στη Λέσβο. Οι μεγάλες ανεμογεννήτριες που εφαρμόζονται πλέον στα θαλάσσια αιολικά πάρκα παγκοσμίως και το πλούσιο αιολικό δυναμικό της περιοχής, μπορούν να εξασφαλίσουν ένα σημαντικό ποσοστό στην ετήσια παραγωγή ενέργειας. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από το μέγεθος του αιολικού πάρκου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση πετρελαίου που χρησιμοποιείται ως καύσιμο στο συμβατικό σταθμό της Δ.Ε.Η.

Αυτό που γίνεται αντιληπτό από την μελέτη είναι πως η παραγωγή ισχύος από μια ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιείται σε θαλάσσια αιολικά πάρκα σήμερα μπορεί να φτάσει πάνω από το 10% της παραγωγής ρεύματος σε όλο το νησί. Αυτό αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι νησιωτικές περιοχές με τα αυτόνομα συστήματα, γιατί υπάρχει ένα ανώτερο όριο στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος που δε μπορεί να υπερβεί γιατί θα αντιμετωπίσουν πρόβλημα σταθερότητας στο δίκτυο. Όταν λοιπόν, η ενεργειακή κατανάλωση του νησιού είναι περίπου 28MW

(σύμφωνα με το Σχήμα 2.2 που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2), η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από το αιολικό πάρκο δε μπορεί να ξεπεράσει το 1/3 αυτής της κατανάλωσης.

Επομένως, λόγω του μεγέθους των ανεμογεννητριών που εγκαθίστανται στη θάλασσα, η υποθαλάσσια σύνδεση των δικτύων των νησιών του βορειοανατολικού Αιγαίου, θα βοηθήσει στην εγκατάσταση αυτών των μεγάλων μηχανών.

Όσο αφορά την κυματική ενέργεια, η φάση που βρίσκεται η τεχνολογία σήμερα, δε μπορεί να οδηγήσει σε παρόμοια συμπεράσματα με την αιολική. Οι συσκευές που αναπτύσσονται πειραματικά κυρίως, παράγουν μικρή ισχύ με αποτέλεσμα να μην έχουν βγει ακόμα τα συμπεράσματα που χρειάζονται για να βρεθούν σε εμπορικό επίπεδο.

Το κυματικό δυναμικό της Ελλάδας, σύμφωνα και με τον Κυματικό και Αιολικό Άτλαντα της Μεσογείου, δεν είναι τόσο πλούσιο, μιας και η μορφολογία της λεκάνης της Μεσογείου δεν βοηθάει γι' αυτό. Περιοχές πλούσιες σε κυματικό δυναμικό είναι αυτές που βρέχονται κυρίως από τους ωκεανούς στην ανοιχτή θάλασσα και όχι τόσο περιοχές που περικλείονται σε μια μικρή λεκάνη όπως αυτή του Αιγαίου με τα διάσπαρτα νησιωτικά συμπλέγματα.

Από τη μελέτη που έγινε στο κεφάλαιο 5, προέκυψε ότι μια τέτοια εφαρμογή στη θαλάσσια περιοχή του Σιγρίου, θα παρήγαγε ισχύ της τάξης των μερικών δεκάδων κιλοβάτ. Αυτή η ποσότητα σίγουρα δεν μπορεί να καλύψει τις μεγάλες ανάγκες της Λέσβου, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για τις ανάγκες της τοπικής κοινωνίας μέσα στα πλαίσια σχεδιασμού κατανεμημένης παραγωγής. Ίσως αυτός να ήταν και ο αρχικός στόχος όταν πρωτοσχεδιάστηκαν τέτοια συστήματα, να βοηθάνε δηλαδή στην κάλυψη μικρών νησιωτικών απομονωμένων συστημάτων.

Στην παρούσα φάση, με δεδομένο το μεγάλο κατασκευαστικό κόστος αυτών των εγκαταστάσεων και της μακράς περιόδου αποπληρωμής, τέτοιο έργο μπορεί να γίνει μόνο στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος από κάποιο πανεπιστημιακό φορέα ή επιστημονικό κέντρο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Babarit A., Ahmed H.B., Clement A.H., Debusschere V., Duclos G., Multon B., Robin G., "Simulation of electricity supply of an Atlantic island by offshore wind turbines and wave energy converters associated with a medium scale local energy storage", Renewable Energy 31 (2006) 153-160, 27/9/2005

Bernhoff H., Sjostedt E., Leijon M., "Wave energy resources in sheltered sea areas: A case study of the Baltic Sea", Renewable Energy, 31/10/2005

Beyene A., Wilson J.H., "Comparison of wave energy flux for northern, central, and southern coast of California based on long-term statistical wave data", Energy 31 (2006) 1520-1533, 5/4/2005

Clement A., McPullen 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., Sorensen H.C., Thorpe T., "Wave energy in Europe: current status and perspectives", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6 (2002) 405-431, 26/2/2002

Harisson G.P., Wallace A.R., "Climate sensitivity of marine energy", Renewable Energy 30 (2005) 1801-1817, 24/2/2005

"Horns Rev Offshore Wind Farm", Environmental Impact Assessment, Summary of EIA Report, May 2000

Leijon M., Bernhoff H., Berg M., Agren O., "Economical considerations of renewable electric energy production – especially development of wave energy", Renewable Energy 28 (2003) 1201-1209. 13/7/2002

Leijon M., Danielsson O., Eriksson M., Thorburn K., Bernhoff H., Isberg J., Sundberg J., Ivanova I., Sjosted E., Agren O., Karlsson K.E., Wolfbrandt A., "An electrical approach to wave energy conversion", Renewable Energy 31 (2006) 1309-1319, 29/9/2005

Ozdamar A., Gursel K.T., Orer G., Pekbey Y., "Investigation of the potential of wind-waves as a renewable energy resource: by the example of Cesme-Turkey", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8 (2004) 581-592, 21/1/2004

Ozger M., Altunkaynak A., Sen Z., "Statistical investigation of expected wave energy and its reliability", Energy Conversion and Management 45 (2004) 2173-2185, 26/10/2003

Pelc R., Fujita R.M., "Renewable energy from the ocean", Marine Policy 26 (2002) 471-479, 6/7/2002

Sharmila N., Jalihal P., Swamy A.K., Ravindran M., "Wave powered desalination system", Energy 29 (2004) 1659-1672, 23/8/2003

Twidell, Weir, "Renewable energy resources", New York, London 1986

W.E.U. (Western European Union), Western European Armaments Organisation Research Cell, "Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea", April 2004

Γιαννούλης Σ., Πολατίδης Η., Χαραλαμπόπουλος Δ., “Κατανεμημένη παραγωγή: Διεύθυνση και προβλήματα σε νησιωτικές περιοχές: Η περίπτωση της Λέσβου”, Εργαστήριο Διαχείρισης Ενέργειας, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2005

Ι.Κ.Καλδέλλης, “Διαχείριση της αιολικής ενέργειας”, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα 1999

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- [1] http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=8&Itemid=16
- [2] <http://www.bwea.com/offshore/info.html>
- [3] <http://www.bwea.com/offshore/faqs.html#why>
- [4] <http://www.eere.energy.gov/wind/feature.html#a>
- [5] http://www.vestas.com/uk/products/Offshore/2005/offshore_turbines.asp
- [6] <http://www.bwea.com/marine/intro.html>
- [7] <http://aquaenergygroup.com/technology/index.php>
- [8] <http://aquaenergygroup.com/technology/advantages.php>
- [9] <http://aquaenergygroup.com/technology/converter.php>
- [10] <http://www.oceanpowertechnologies.com/tech.htm>
- [11] <http://www.oceanpowertechnologies.com/app.htm>
- [12] <http://www.oceanpowertechnologies.com/envir.htm>
- [13] <http://www.oceanpd.com/Pelamis/default.html>
- [14] <http://www.oceanpd.com/Development/FullScaleprototype.html>
- [15] <http://www.marineturbines.com/background.htm>
- [16] <http://www.bwea.com/marine/devices.html>
- [17] http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=4&Itemid=35
- [18] http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=5
- [19] http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=7

- [20] [http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=5
&Itemid=6](http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=5&Itemid=6)
- [21] http://www.wavegen.com/pdf/Wavegen%20Brochure_may%2006_final.pdf
- [22] <http://www.poseidon.ncmr.gr/greek/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Παρακάτω, παρουσιάζονται εικόνες από εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου στη θάλασσα στη Δανία. Η κατασκευή γίνεται με τη βοήθεια πλωτών εξέδρων και ειδικών πλοίων – φορηγίδες – για τη μεταφορά υλικών από τη βάση του εργοταξίου που βρίσκεται στη ξηρά, στη θέση εγκατάστασης. Οι εργασίες κατασκευής ξεκινάνε στον πυθμένα της θάλασσας με τη θεμελίωση των στηριγμάτων του πύργου της ανεμογεννήτριας.



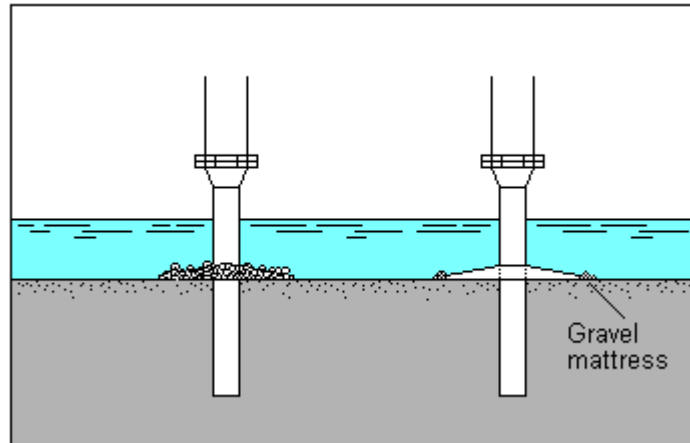
Σχήμα 1: Σε αυτή την εικόνα φαίνεται η πλωτή εξέδρα που έχει στηθεί για να κατασκευαστεί η υποβρύχια θεμελίωση του πύργου της ανεμογεννήτριας στον πυθμένα της θάλασσας.



Σχήμα 2: Σε αυτή την εικόνα φαίνεται από πάνω η πλωτή εξέδρα που έχει στηθεί για να γίνουν οι εργασίες της θεμελίωσης. Στην εικόνα φαίνεται και χώρος προσνήωσης ελικοπτέρων για περιπτώσεις ανάγκης γρήγορης μεταφοράς του προσωπικού.



Σχήμα 3: Στην εικόνα φαίνεται μια φορτηγίδα που μεταφέρει χαλίκια και άμμο για τη θεμελίωση του πύργου της ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 4: Η θεμελίωση του πύργου στον πυθμένα της θάλασσας. Στη θεμελίωση τοποθετείται και στρώμα χαλικιών.



Σχήμα 5: Μεταφορά των χαλικιών από τη φορηγίδα. Αφού πλησιάσει τον πύργο, ένα έμβολο απωθεί από το σκάφος τα χαλίκια και παρασύρονται στο βυθό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Στη συνέχεια έξω από το νερό, εγκαθίστανται ο πύργος της ανεμογεννήτριας. Αφού ολοκληρωθεί η κατασκευή του που γίνεται με μικρά σωληνωτά τμήματα και όχι ενιαία, στη ξηρά συναρμολογείται το κέλυφος με 2 από τα 3 πτερύγια.



(α)



(β)

Σχήμα 6: α) Εργασίες συγκόλλησης της θεμελίωσης με τμήμα του πύργου της ανεμογεννήτριας. β) Τοποθέτηση δεύτερου σπόνδυλου του πύργου.



(α)

(β)

Σχήμα 7: α) Στην εικόνα φαίνεται η θεμελίωση στην τελική της μορφή, λίγο πριν αρχίσει η τοποθέτηση των σπονδύλων του πύργου. Στην εικόνα φαίνονται σκάλες για να ανεβαίνει το προσωπικό και εξέδρα. β) Συναρμολόγηση των πτερυγίων στο κέλυφος της μηχανής στη βάση του εργοταξίου στη ξηρά.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Το κέλυφος μεταφέρεται με ειδικά εξοπλισμένα πλοία που διαθέτουν μηχανήματα ανύψωσης και στήνονται πάνω στον πύργο. Στο τέλος γίνεται η προσθήκη του τρίτου πτερυγίου. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η κατασκευή του δικτύου και των καλώδιων σύνδεσης των ανεμογεννητριών μεταξύ τους και με τη ξηρά γίνεται μόλις ολοκληρωθεί θεμελίωση και πριν στηθούν οι ανεμογεννήτριες. Αφού ολοκληρωθεί η εγκατάσταση το πάρκο λειτουργεί δοκιμαστικά μερικούς μήνες ώστε να ελεγχθεί η ποιότητα της τάσης που τροφοδοτεί το δίκτυο.



Σχήμα 8: Μεταφορά με ειδικό πλοίο εξοπλισμού της ανεμογεννήτριας. Διακρίνονται στο κατάστρωμα του, δύο κελύφη (το ένα πάνω στο άλλο) με δύο πτερύγια, ενώ μεταφέρονται και τα άλλα δύο πτερύγια που θα τοποθετηθούν στη μηχανή.



Σχήμα 9: Τα κελύφη λίγο πριν στηθούν στους πύργους.



Σχήμα 10: Ανύψωση του κελύφους και τοποθέτησή του στον πύργο. Διακρίνονται τα δύο πτερύγια που έχουν ήδη τοποθετηθεί στη ξηρά ενώ διακρίνεται και η θέση του τρίτου πτερυγίου στην πλήμνη.



(α)



(β)

Σχήμα 11: α) Το τρίτο πτερύγιο της ανεμογεννήτριας πάνω στο πλοίο, την ώρα που δένεται στο ανυψωτικό μηχανήμα. β) Τοποθέτηση του τρίτου πτερυγίου στην πλήμνη.



(α)



(β)

Σχήμα 12: α) Εγκατάσταση των καλωδίων σύνδεσης κατά τη φάση κατασκευής της θεμελίωσης. β) Ολοκλήρωση των εργασιών εγκατάστασης με τοποθέτηση προστατευτικών σημαντήρων γύρω από την ανεμογεννήτρια.