



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

DEPARTMENT OF WATER RESOURCES

ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING



**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ, ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λιανός Νικόλαος

Επιβλέπων : Σαμψών Αζοράκος

Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

DEPARTMENT OF WATER RESOURCES

ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING



**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ, ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λιανός Νικόλαος

Επιβλέπων : Σαμψών Αζοράκος

Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....σελ.	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑ- ΜΕΤΡΩΝ.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	18
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	18
3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.....	21
3.3 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΜΩΝ.....	24
3.4 ΓΕΝΕΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	30
3.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΦΥΣΗ.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	39
4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	39
4.1.1 Ανάλυση στην περιοχή του χρόνου.....	40
4.1.1α Στατιστικός προσδιορισμός κυματικών παραμέτρων.....	41
4.1.1β Προσδιορισμός κυματικών παραμέτρων με τη μέθοδο RMS.....	42
4.1.2 Ανάλυση στην περιοχή των συχνοτήτων.....	45
4.1.2α Εισαγωγή στα φάσματα.....	45
4.1.2β Υπολογισμός φάσματος.....	49
4.1.2γ Προσδιορισμός κυματικών παραμέτρων από τη φασματική ανάλυση.....	50
4.1.2δ Φάσματα κυμάτων στα βαθιά νερά.....	51

4.2 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΡΟΒΛΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	60
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	60
5.2 ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ ΠΕΛΑΓΟΥΣ (FECTH).....	62
5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΜΩΝ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	63
5.4 ΚΥΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ CEM (COASTAL ENGINEER MANUAL).....	67
5.5 ΦΑΣΜΑΤΑ.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	75
6.1 ΜΕΘΩΝΗΣ.....	75
6.2 ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΙΓΑΙΟ.....	78
6.3 ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ.....	80
6.4 ΚΡΗΤΙΚΗ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	83
7.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ.....	83
7.1.1 Μετεωρολογικός σταθμός Μεθώνης.....	83
7.1.2 Μετεωρολογικός σταθμός Κω.....	84
7.1.3 Μετεωρολογικός σταθμός Ελληνικού.....	84
7.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.....	88
7.2.1 Περιγραφή ανεμολογικών παρατηρήσεων πλοίων στην ευρύτερη περιοχή της Μεθώνης.....	88
7.2.2 Περιγραφή ανεμολογικών παρατηρήσεων πλοίων στην ευρύτερη περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου.....	89

7.2.3 Περιγραφή ανεμολογικών παρατηρήσεων πλοίων στην ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού κόλπου.....	90
7.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ, ΚΥΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ SEM-ΦΑΣΜΑ JONSWAP.....	103
8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	103
8.2 ΜΟΝΤΕΛΟ SEM.....	104
8.3 ΦΑΣΜΑ JONSWAP.....	105
8.4 ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΠΛΕΟΝΤΑ ΠΛΟΙΑ.....	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ.....	109
9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	109
9.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ.....	110
9.3 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΡΥΘΜΙΑ.....	112
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ/ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	115
10.1 ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	115
10.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	123
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	138
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	199

1 Εισαγωγή

Με τον όρο θαλάσσιες διαταραχές προσδιορίζεται κατά κύριο λόγο οι θαλάσσιοι κυματισμοί και σε μικρότερο βαθμό τα θαλάσσια ρεύματα. Τα κυριότερα γενεσιουργά αίτια των ταλαντώσεων της ελεύθερης επιφάνειας είναι ο άνεμος (ανεμογενείς κυματισμοί), οι σεισμικές δονήσεις (τσουνάμι), οι γρήγορες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσεως (seiches) η έλξη της σελήνης (παλίρροια) κτλ. Το βασικότερο γενεσιουργό αίτιο ενός πεδίου κυμάτων στη θαλάσσια επιφάνεια είναι ο άνεμος. Η συνεχής μεταφορά ενέργειας στη θαλάσσια επιφάνεια προκαλεί αύξηση του ύψους και της ταχύτητας των κυματισμών.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στην επιστήμη των λιμενικών έργων είναι ο προσδιορισμός των κυματισμών για τον ακριβή προσδιορισμό των φορτίσεων στις θαλάσσιες κατασκευές. Πιο συγκεκριμένα, ο προσδιορισμός των ακραίων κυματισμών που θα εμφανιστούν τουλάχιστο μία φορά στην οικονομική ζωή της θαλάσσιας κατασκευής. Είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση εκείνων των στοιχείων – γεγονότων για παράδειγμα ανεμολογικά στοιχεία από παρατηρήσεις πλοίων και μετεωρολογικούς σταθμούς, που ύστερα από επεξεργασία με διάφορα κυματικά

μοντέλα, θα οδηγήσουν σε έναν ακραίο κυματισμό που ο υπολογισμός του είναι απαραίτητος για το σχεδιασμό λιμενικών και έργων στην ανοιχτή θάλασσα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των κυματικών χαρακτηριστικών στις περιοχές μελέτης με το φάσμα JONSWAP, το κυματικό μοντέλο CEM και η εκτίμηση των ακραίων συμβάντων με το λογισμικό Υδρογνώμων. Χρησιμοποιούνται ανεμολογικές παρατηρήσεις από μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ που υπάρχουν και λειτουργούν στις περιοχές μελέτης καθώς και παρατηρήσεις από πλοία στις ευρύτερες περιοχές μελέτης. Εκτός από την ένταση του ανέμου, στα κυματικά μοντέλα, υπεισέρχεται και το ανάπτυγμα πελάγους. Γίνεται η διάκριση στο ενεργό ανάπτυγμα πελάγους, το οποίο εξαρτάται από την περιοχή στην οποία πνέει σταθερά ο άνεμος και στο γεωμετρικό ανάπτυγμα πελάγους, το οποίο είναι η γεωμετρική απόσταση της θαλάσσιας επιφάνειας μεταξύ δύο διαδοχικών στερεών ορίων. Χρησιμοποιείται το γεωμετρικό ανάπτυγμα πελάγους, για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών, καθώς ο ακριβής προσδιορισμός του ενεργού αναπτύγματος πελάγους προϋποθέτει χάρτες επιφανείας. Οι παρατηρήσεις επεξεργάζονται με στόχο τον προσδιορισμό των κυματικών χαρακτηριστικών.

Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε η περιοχή της Μεθώνης γιατί υπάρχει και λειτουργεί μετεωρολογικός σταθμός της ΕΜΥ που καλύπτει τη θάλασσα των Κηθύρων. Υπάρχει σημαντικός αριθμός δεδομένων από παρατηρήσεις/μετρήσεις διερχόμενων πλοίων από την περιοχή μελέτης. Για τη συσχέτιση των διαδικασιών εκτίμησης των κυματισμών, που αναφέρθηκαν προηγουμένως, αυτές εφαρμόστηκαν σε δύο ακόμη περιοχές του Αιγαίου, το Σαρωνικό κόλπο και την περιοχή της Δωδεκανήσου Δυτικά της Κω. Και σε αυτές τις περιοχές υπάρχουν και λειτουργούν μετεωρολογικοί σταθμοί της ΕΜΥ και σημαντικός αριθμός από παρατηρήσεις/μετρήσεις διερχόμενων πλοίων στις περιοχές αυτές.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στις διάφορες κυματικές παραμέτρους και στο πώς αυτές συμβολίζονται στην επιστήμη των λιμενικών έργων. Ορίζονται τα κυματικά χαρακτηριστικά όπως το H_s , T_p κτλ. το φάσμα JONSWAP και οι συναρτήσεις του φάσματος οι οποίες χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών. Τέλος γίνεται αναφορά στο ενεργό-γεωμετρικό ανάπτυγμα πελάγους. Δύο απλές έννοιες οι οποίες διαφοροποιούνται μεταξύ τους από το πώς ο άνεμος επιδρά και μεταφέρει ενέργεια στη θαλάσσια επιφάνειά τους.

Στο κεφάλαιο 3 ορίζονται οι κυματισμοί. Οι κυματισμοί είναι ένας φυσικός μηχανισμός. Ανακατανέμουν και διασπείρουν τη θερμότητα, το οξυγόνο και άλλα αέρια στη θαλάσσια μάζα. Η μεταφορά μηχανικής ενέργειας γίνεται κυρίως από την κινούμενη αέρια φάση στην υγρή μάζα. Ένα μέρος της ενέργειας μεταβιβάζεται σε κύματα μικρού μήκους και ένα άλλο σε κύματα μεγάλου μήκους. Η κύρια γενεσιουργός δύναμη των κυματισμών είναι ο άνεμος. Όσο αυξάνει η μεταφερόμενη ενέργεια από τον άνεμο τόσο αυξάνει και το μέγεθος του κυματισμού. Οι κυματισμοί μπορούν να μετρηθούν στη φύση με απευθείας ανάγνωση, οπτικές μεθόδους κτλ.

Στο κεφάλαιο 4 εξετάζονται οι πραγματικοί κυματισμοί. Εξετάζονται δύο μεθοδολογίες, η πρώτη κάνει χρήση της ανάλυσης στην περιοχή των χρόνων, ενώ η δεύτερη βασίζεται στη ανάλυση στη περιοχή των συχνοτήτων. Στην ανάλυση στην περιοχή του χρόνου προσδιορίζονται οι χρονικές μεταβολές της θαλάσσιας επιφάνειας, όπως είναι το ύψος και το μήκος ή η περίοδος του κύματος, με τη βασική παραδοχή, ότι το ένα ορισμένο κύμα είναι ανεξάρτητο από οποιοδήποτε άλλο. Στη ανάλυση στη περιοχή των συχνοτήτων προσδιορίζεται το φάσμα ενέργειας, που εκφράζει την κατανομή της ενέργειας των κυμάτων στις διάφορες περιόδους (και, κατ' επέκταση, συχνότητες).

Στο κεφάλαιο 5 αναλύονται τα στοιχεία που συμβάλλουν στην εκτίμηση των κυματισμών. Αυτά είναι το ανάπτυγμα πελάγους και τα ανεμολογικά δεδομένα. Για τη σωστή πρόβλεψη των κυματισμών τα δεδομένα των ανέμων θα πρέπει να τροποποιούνται κατάλληλα. Για παράδειγμα στο κυματικό μοντέλο CEM η αρχική ταχύτητα ανέμου διάρκειας 10 λεπτών μετρημένη στο ανεμομετρικό ύψος των 10m θα πρέπει να μετατραπεί σε άνεμο διάρκειας t ωρών 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας αντίθετα στο φάσμα JONSWAP αρκεί η μετατροπή του αρχικού ανέμου σε άνεμο διάρκειας t ωρών για την ορθή εξαγωγή κυματικών χαρακτηριστικών.

Στο κεφάλαιο 6 προσδιορίζονται οι περιοχές της Μεθώνης, του Σαρωνικού κόλπου και της Δωδεκανήσου Δυτικά της Κω. Η Μεθώνη βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου με $\varphi = 36^\circ 49' \text{ B}$ και $\lambda = 21^\circ 42' \text{ A}$, με μέσο γεωγραφικό ανάπτυγμα πελάγους τα 508 km. Η περιοχή της Δωδεκανήσου βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του Αιγαίου Πελάγους $\varphi = 37^\circ 43' \text{ B}$ και $\lambda = 25^\circ 11' \text{ A}$ με μέσο γεωγραφικό ανάπτυγμα πελάγους τα 95,26 km. Ο Σαρωνικός κόλπος βρίσκεται στο νότιο τμήμα

της Αθήνας $\varphi = 37^\circ 42' \text{ B}$ και $\lambda = 23^\circ 47' \text{ A}$ με μέσο γεωγραφικό ανάπτυγμα πελάγους τα 231,25 km.

Στο κεφάλαιο 7 παρατίθενται και συγκρίνονται τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά για τις 3 περιοχές μελέτης. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ανέμων είναι η διεύθυνση και η έντασή τους. Η ένταση του ανέμου μετριέται σε διάφορες μονάδες μέτρησης. Γεννάται η αναγκαιότητα συσχέτισης των διαφόρων μονάδων μεταξύ τους και ιδιαίτερα εκείνων που αντιστοιχούν σε Beaufort. Για τις περιοχές μελέτης συγκρίνονται οι συχνότητες εμφάνισης των ανέμων από τους μετεωρολογικούς σταθμούς και από τις παρατηρήσεις των πλοίων. Για τις διευθύνσεις ενδιαφέροντος οι συχνότητες εμφάνισης των εντάσεων των ανέμων σε μέση ετήσια συχνότητα πνοής που προκύπτει από τις παρατηρήσεις των πλοίων ανέρχεται σε 21,281 %, 16,083% και 67,434 % (για τις αναφερόμενες περιοχές) έναντι των αντίστοιχων των μετεωρολογικών σταθμών σε 15,80 %, 17,365 % και 62,366 %.

Στο κεφάλαιο 8 αναλύονται τα κυματικά μοντέλα CEM και φάσμα JONSWAP για την εκτίμηση των κυματισμών. Οι κυματικές θεωρίες είναι προσεγγίσεις που προσεγγίζουν την πραγματικότητα. Περιγράφουν φαινόμενα κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Στο κεφάλαιο 9 περιγράφεται το λογισμικό Υδρογνώμων. Ο Υδρογνώμων αναπτύχθηκε για να εξυπηρετήσει κυρίως τις ερευνητικές δραστηριότητες της Ερευνητικής Ομάδας «ITIA». Το λογισμικό υδρογνώμων χρησιμοποιείται για τη στατιστική ανάλυση των παρατηρήσεων των πλοίων. Αρχικά δημιουργούνται χρονοσειρές, για τις διευθύνσεις ενδιαφέροντος, διάρκειας 38 ετών. Με το υποπρόγραμμα Pythia, οι χρονοσειρές, αναλύονται στατιστικά με την στατιστική κατανομή Weibul-GEVmax για περιόδους επαναφοράς $T=2,5,10,50$ και 100 έτη.

Τέλος στα κεφάλαια 10 και 11 αναπτύσσονται τα συμπεράσματα και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Τα στοιχεία των παρατηρήσεων των πλοίων υπερέχουν αυτών των μετεωρολογικών σταθμών καθώς τα πρώτα δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας χρονοσειρών. Το φάσμα JONSWAP ανταποκρίνεται καλύτερα στην πραγματικότητα των Ελληνικών θαλασσών από ότι το κυματικό μοντέλο CEM.

Στο Παράρτημα 1 παρατίθενται πίνακες με τις συχνότητες εμφάνισης των υψών κύματος με το μοντέλο CEM και το φάσμα JONSWAP για τις τρεις περιοχές

μελέτης. Στο Παράρτημα 2 παρατίθενται οι χρονοσειρές για τις διευθύνσεις ενδιαφέροντος για τις περιοχές που επιλέχθηκαν. Στη συνέχεια φαίνονται τα διαγράμματα της στατιστικής καμπύλης Weibul-GEVmax. Τέλος παρέχονται πίνακες με τα ακραία συμβάντα τα οποία προέρχονται από στατιστική πρόβλεψη για διάφορες περιόδους επαναφοράς με το κυματικό μοντέλο CEM και το φάσμα JONSWAP.

Περίληψη

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα των λιμενικών και των έργων στην ανοιχτή θάλασσα είναι ο προσδιορισμός των κυματικών χαρακτηριστικών μιας θαλάσσιας περιοχής. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των κυματικών χαρακτηριστικών των περιοχών αναφοράς με διάφορα κυματικά μοντέλα όπως το φάσμα JONSWAP, το κυματικό μοντέλο CEM και το λογισμικό Υδρογνώμων. Αρχικά προσδιορίζονται τα κυματικά χαρακτηριστικά καθώς και τα χαρακτηριστικά του κάθε κυματικού μοντέλου. Στη συνέχεια αναπτύσσονται τα στοιχεία και τα γεγονότα, όπως η ένταση του ανέμου, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η πηγές προέλευσής τους με σκοπό τη χρησιμοποίησή τους στα διάφορα κυματικά μοντέλα. Τέλος, για τον ακριβή προσδιορισμό των κυματικών χαρακτηριστικών μιας θαλάσσιας περιοχής προτιμάται ένα ευρύ φάσμα γεγονότων και στοιχείων καταγραφής και το κυματικό μοντέλο το οποίο ανταποκρίνεται καλύτερα στις Ελληνικές Θάλασσες είναι το φάσμα JONSWAP. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται και με τα αντίστοιχα που προκύπτουν από τα δεδομένα των παρατηρήσεων από πλοία για τους κυματισμούς.

ABSTRACT

One of the most important problems in the construction of port facilities and structures in the sea, is to determine the wave characteristics of the sea area. The objective of this paper is to determine the wave characteristics of the reference areas, using various wave modeling techniques such as the JONSWAP spectrum, the CEM wave modeling and the “Hydrognomon” software. This paper describes, firstly, the wave characteristics, as well as the characteristics of each wave model. It then goes on to presenting the elements and the circumstances, such as the wind intensity, that were used, as well as their origination, in order to use them in the various wave models. It concludes that in order to determine the characteristics of a wave model of a sea area a wide variety of elements and circumstances is preferred, while the most suitable wave modeling technique for the Hellenic sea area is the JONSWAP spectrum. The conclusions of the current paper are then compared with various data emanated from wave observations.

2 Σύμβολα - Ορισμοί

- **Ύψος κύματος H** : είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κορυφής και της κοιλιάς του κύματος. Ισούται με το διπλάσιο του εύρους ταλαντώσεως των σωματιδίων.
- **Μήκος κύματος L** : είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο σωματιδίων, που βρίσκονται στην ίδια φάση ταλαντώσεως. Μετράται κατά μήκος της διεύθυνσεως μεταδόσεως.
- **Καμπυλότητα ή κυρτότητα κύματος γ ($= H/L$)**
- **Μέτωπο κύματος** : είναι ένα επίπεδο κάθετο προς το επίπεδο ταλαντώσεως και εφαιπτόμενο στη διατομή του κύματος
- **Διεύθυνση μεταδόσεως** : είναι η κάθετη γραμμή προς το μέτωπο του κύματος (κείται στο επίπεδο ταλαντώσεως)
- **Περίοδος κύματος T** : είναι ο χρόνος μιας πλήρους ταλαντώσεως των σωματιδίων. Ορίζεται και σαν το χρονικό διάστημα μεταξύ της διελεύσεως δύο διαδοχικών κορυφών κύματος από ένα ορισμένο σημείο.
- **Ταχύτητα κύματος C** : είναι η απόσταση, που διανύεται από το μέτωπο του κύματος στη μονάδα χρόνου. εξ ορισμού $C=L/T$
- **Διατομή κύματος** : είναι η κατακόρυφη διατομή του κατά τη διεύθυνση μεταδόσεως
- **Κορυφή κύματος** : είναι το υψηλότερο σημείο του πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία
- **Κοιλιά κύματος** : είναι το χαμηλότερο σημείο κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας σε ηρεμία
- **Βάθος νερού h** : είναι η κατακόρυφη απόσταση της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας σε ηρεμία από τον πυθμένα
- **Σχετικό βάθος νερού h/L**
- **Αριθμός κύματος k ($2\pi/L$)**

- H_{max} : το μέγιστο ύψος κύματος στην καταγραφή
- H_{min} : το ελάχιστο ύψος κύματος στην καταγραφή
- \bar{H} ή H_m ή H_{av} : το μέσο στατιστικό ύψος κύματος
- $H_{1/n}$: το μέσο ύψος των υψηλότερων $\frac{100}{n}$ % κυμάτων στην καταγραφή, π.χ. για $n = 10$: $H_{1/10}$ είναι το μέσο ύψος κύματος των υψηλότερων 10 % του συνόλου των κυμάτων.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι το **χαρακτηριστικό κύμα** της διαταραχής, που συμβολίζεται με H_s και έχει επικρατήσει σαν το αντιπροσωπευτικό ύψος του συνόλου των κυμάτων. Εμπειρικά το H_s ορίζεται σαν το ύψος του κύματος, που μπορεί να εκτιμηθεί οπτικά από ένα παρατηρητή σαν το αντιπροσωπευτικό της καταστάσεως διαταραχής. Επιστημονικότερα, $H_{1/3}$ είναι το μέσο ύψος των υψηλότερων 33 % ($n=3$) των κυμάτων ή το μέσο ύψος των κυμάτων των υψηλότερων από τα υπόλοιπα 67 % του συνόλου. Το ύψος αυτό :

- Υπολογίζεται κατά τον ορισμό του από το σύνολο των μετρημένων κυμάτων, οπότε και συνήθως συμβολίζεται με $H_{1/3}$.
- Προσεγγίζεται
 - είτε σαν H_{m0} (ανάλυση στην περιοχή συχνοτήτων)
 - είτε σαν $H_{1/3}$ (ανάλυση στην περιοχή χρόνου)

Όπου H_{m0} είναι το ύψος κύματος θαλάσσιας διαταραχής με στενό εύρος φάσματος, όπως εκτιμάται από τη ροπή μηδενικής τάξεως m_0 της πυκνότητας φάσματος:

- Ορίζεται η ροπή n τάξης του φάσματος $m_n = \int S(f) f^n df$ για $n=0,1,2,\dots$

Όπου

$S(f)$ η καμπυλότητα του φάσματος

f : $1/T$ η συχνότητα

- $H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$

$H_{1/3}$ είναι το χαρακτηριστικό ύψος κύματος, όπως εκτιμάται από την τυπική απόκλιση σ της ελεύθερης επιφάνειας $\eta(t)$:

- $H_s = H_{1/3} = 4\sigma = H_{mo}$
 - \bar{T} ή T_m ή T_{av} : η μέση στατιστική περίοδος
 - T_s : η χαρακτηριστική περίοδος, που ορίζεται σαν η μέση περίοδος των υψηλοτέρων 33 % του συνόλου των κυμάτων.
 - T_p : η περίοδος που αντιστοιχεί στην κορυφή του ενεργειακού φάσματος (μέγιστο της πυκνότητας ενέργειας). Ισχύει $T_s = 0.9 T_p$ (K.I.Μουτζούρη 2007)

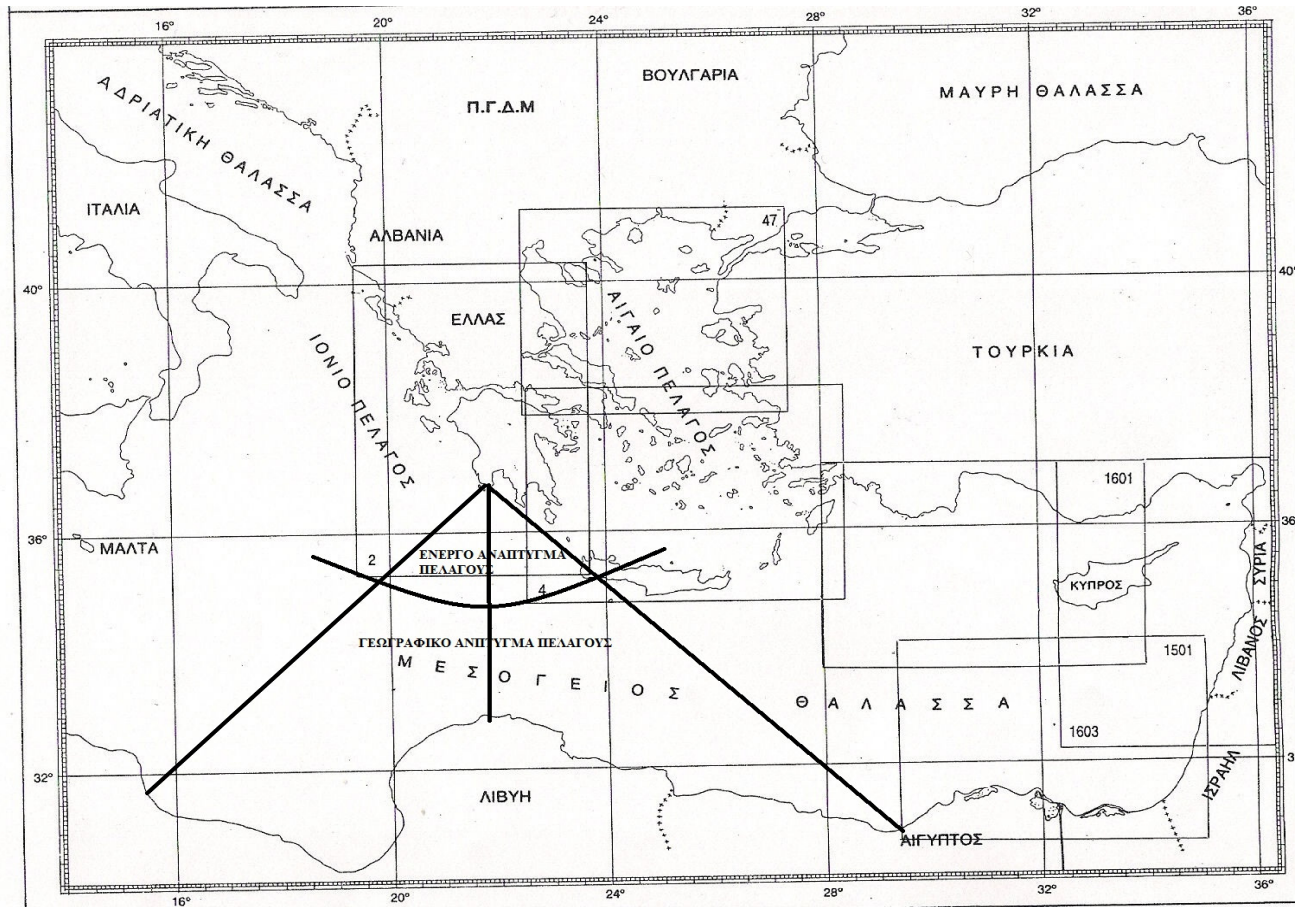
Ορισμός φασματικών παραμέτρων JONSWAP :

- $U_t / U_{3600} = 1.277 + 0.296 \tanh \{0.9 \log_{10} (45/t)\}$ για $t \leq 3600 \text{sec}$ και $U_t / U_{3600} = 1.5334 - 0.15 \log_{10} t$ για $t > 3600 \text{sec}$: ταχύτητα ανέμου οποιασδήποτε διάρκειας συσχετιζόμενος με άνεμο διάρκειας 1 ώρας. (Zeki Demirbilek & John H.Lockhart 2006)
- x : ενεργό ανάπτυγμα πελάγους [m]
- $\tilde{x} = \frac{gx}{U^2}$: αδιάστατο ενεργό ανάπτυγμα πελάγους
- t_{min} : ελάχιστη διάρκεια για πλήρως ανεπτυγμένη θάλασσα σε περιοχή με ενεργό ανάπτυγμα πελάγους x για ταχύτητα πνοής ανέμου U_{tmin} [sec]
- $\tilde{t} = \frac{gt}{U}$: αδιάστατη ελάχιστη διάρκεια για πλήρως ανεπτυγμένη θάλασσα σε περιοχή με ενεργό ανάπτυγμα πελάγους x για ταχύτητα πνοής ανέμου U_{tmin}
- T_p : περίοδος αιχμής φάσματος [sec]
- $f_p = 1/T_p$: συχνότητα αιχμής φάσματος [sec⁻¹]
- $\tilde{f}_p = \frac{Uf_p}{g}$: αδιάστατη συχνότητα αιχμής φάσματος
- α : σταθερά Phillips
- H_s : χαρακτηριστικό ύψος κύματος [m]
- $\tilde{H}_s = \frac{gH_s}{U^2}$: αδιάστατο χαρακτηριστικό ύψος κύματος

(EAK 2002)

Γεωμετρικό ανάπτυγμα πελάγους : οριζόντιο μήκος μιας θαλάσσιας επιφάνειας μεταξύ δύο διαδοχικών στερεών ορίων.

Ενεργό ανάπτυγμα πελάγους : η περιοχή στην οποία παράγονται θαλάσσιοι κυματισμοί κάτω από την επίδραση ανέμου σταθερής εντάσεως και ταχύτητας.



3 Κυματισμοί

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η εισαγωγή του αναγνώστη στη θεωρία των κυματισμών όπως περιγράφονται από τον Κ.Ι Μουτζούρη (Κ.Ι Μουτζούρη 2007)

3.1 Εισαγωγή

Η ταυτόχρονη δράση δυνάμεων απομακρύνσεως των υδάτινων σωματιδίων της θαλάσσιας μάζας από τη θέση ηρεμίας τους (**γενεσιουργές δυνάμεις**) και δυνάμεων επαναφοράς των σωματιδίων στις αρχικές θέσεις τους (**επαναφέρουσες δυνάμεις**), σε συνδυασμό με τη μεγάλη κινητικότητα των σωματιδίων, προκαλεί κάτω από ορισμένες συνθήκες τη δημιουργία κινήσεων ταλαντώσεως στα σωματίδια. Η συνιστάμενη διαταραχή της θαλάσσιας μάζας από τις ταλαντώσεις των σωματιδίων οδηγεί στο θαλάσσιο κυματισμό.

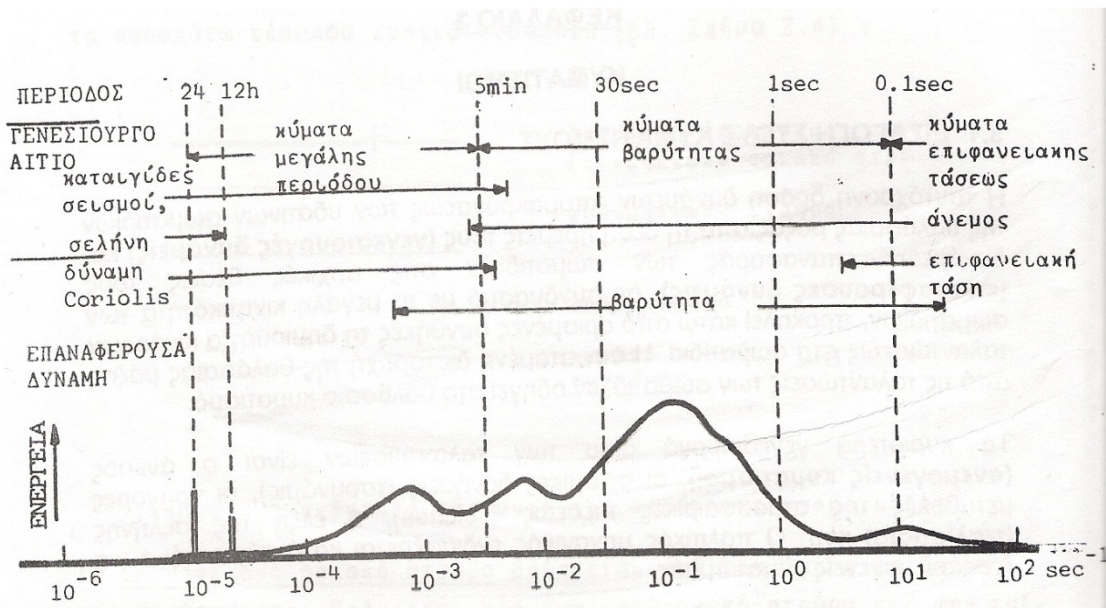
Τα κυριότερα γενεσιουργά αίτια των ταλαντώσεων είναι ο άνεμος (**ανεμογενείς κυματισμοί**), οι σεισμικές δονήσεις (**τσουνάμια**), οι γρήγορες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσεως (**seiches**), η έλξη της σελήνης (**παλίρροια**) κλπ. Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζεται στους ανεμογενείς κυματισμούς.

Οι κυριότερες επαναφέρουσες δυνάμεις προέρχονται από τη βαρύτητα, τη δύναμη Coriolis, την επιφανειακή τάση. Η δύναμη Coriolis υπεισέρχεται στους κυματισμούς μεγάλης κλίμακας, ενώ η επιφανειακή τάση υπεισέρχεται στους κυματισμούς μικρής κλίμακας με μήκος κύματος μερικά μόνο εκατοστά.

Η συνηθέστερη διάκριση στους κυματισμούς γίνεται με βάση την περίοδο των ταλαντώσεων των σωματιδίων. Για περιόδους μεγαλύτερες των 5 λεπτών οι κυματισμοί ονομάζονται μεγάλης περιόδου. Οι κυματισμοί μικρότερων περιόδων – και ιδιαίτερα περιόδων $T < 30$ δευτερολέπτων – ονομάζονται κυματισμοί μικρής περιόδου.

Στους κυματισμούς μικρής περιόδου η γενεσιουργός δύναμη προέρχεται από τον άνεμο και η επαναφέρουσα δύναμη από τη βαρύτητα. Για το λόγο αυτό οι όροι κυματισμοί μικρής περιόδου, κυματισμοί βαρύτητας και ανεμογενείς κυματισμοί χρησιμοποιούνται για την ίδια κατηγορία κυματισμών.

Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται οι διάφορες κατηγορίες κυματισμών σε συνάρτηση με τη συχνότητα (αντίστροφη της περιόδου)



Σχήμα 3.1. Κατάταξη κυματισμών κατά Kinsman, 1965

Οι πιο κοινοί κυματισμοί στη φύση είναι οι κυματισμοί βαρύτητας, ανεμογενείς κυματισμοί. Η δύναμη από την πνοή του ανέμου απομακρύνει τα υγρά σωματίδια από τη θέση ισορροπίας. Η φορά της κινήσεως αντιστρέφεται από την επενέργεια της δυνάμεως βαρύτητας στα σωματίδια, οπότε τείνουν να επανέλθουν στην αρχική τους θέση. Οι αδρανειακές δυνάμεις τα επαναπομακρύνουν κ.ο.κ.

Μια άλλη διάκριση, που μπορεί να γίνει στους κυματισμούς, είναι σε δισδιάστατους και τρισδιάστατους. Στην πρώτη κατηγορία οι τροχιές των ταλαντούμενων σωματιδίων είναι επίπεδες, ενώ στη δεύτερη τρισδιάστατες.

Ένας κυματισμός μεταδιδόμενος σε μία διεύθυνση ονομάζεται προοδευτικός κυματισμός. Η επαλληλία δύο ή περισσότερων προοδευτικών κυματισμών δίνει κυματισμούς περισσότερο πολύπλοκης υφής. Η πολυπλοκότητα αυξάνει, αν οι

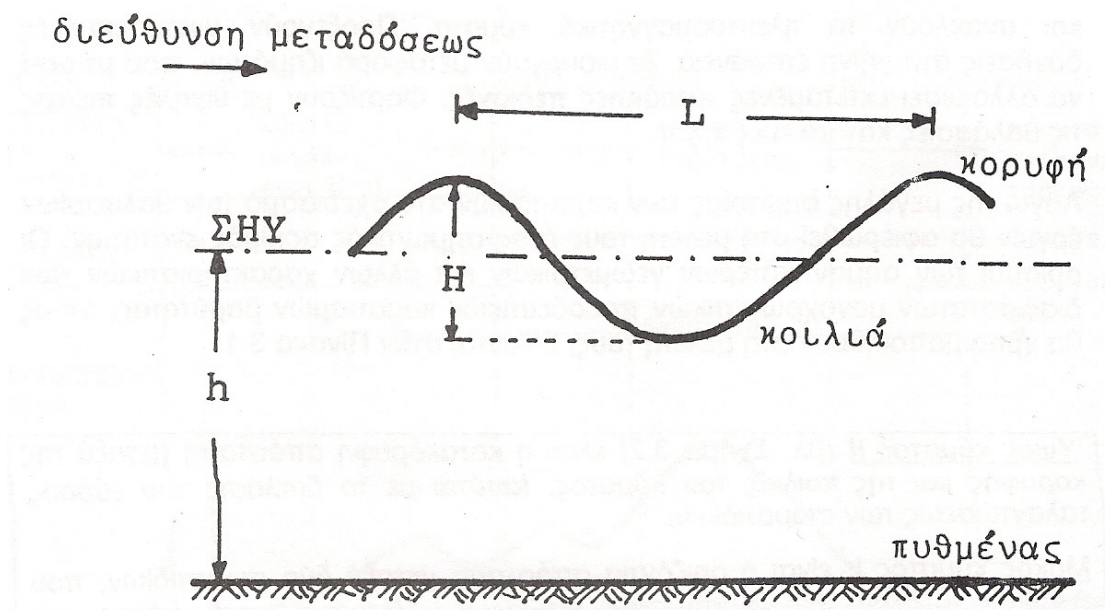
διευθύνσεις μεταδόσεως και οι συχνότητες των κυματισμών είναι διαφορετικές. Από επαλληλία δύο κυματισμών της ίδιας διεύθυνσεως και συχνότητας αλλά διαφορετικής φοράς μεταδόσεως προκύπτει ένας στάσιμος κυματισμός.

Τέλος, οι κυματισμοί διακρίνονται σε αναπτυσσόμενους, ανεπτυγμένους και αποσβενόμενους ανάλογα με το αν τα μέσα χαρακτηριστικά διαδοχικών ομάδων κυματισμών αυξάνουν, μένουν σταθερά οι μειώνονται.

Οι κυματισμοί είναι ένας σημαντικός φυσικός μηχανισμός. Ανακατανέμουν και διασπείρουν τη θερμότητα, το οξυγόνο και άλλα αέρια στη θαλάσσια μάζα.

Αυξάνουν την εξάτμιση νερού και την τραχύτητα της θαλάσσιας επιφάνειας. Μεταβάλλουν την ταχύτητα μεταδόσεως του φωτός και του ήχου στη θάλασσα και ανακλούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Προξενούν μικροσεισμικές δονήσεις στη γήινη επιφάνεια. Δημιουργούν μεταφορά ιζημάτων, που μπορεί να αλλοιώσει εκτεταμένες παράκτιες περιοχές. Φορτίζουν με υψηλές πιέσεις τις θαλάσσιες κατασκευές.

Οι ορισμοί των σημαντικότερων γεωμετρικών και άλλων χαρακτηριστικών των δισδιάστατων μονοχρωματικών προοδευτικών κυματισμών βαρύτητας δίδονται στο Κεφάλαιο 2.



Σχήμα 3.2. Τυπική διατομή κύματος

Οι ορισμοί που δίδονται στο Κεφάλαιο 2 των χαρακτηριστικών των δισδιάστατων κυματισμών μπορούν εύκολα να επεκταθούν σε τρισδιάστατους κυματισμούς. Σε αυτή την περίπτωση εισάγεται και ο όρος του μήκους κορυφής του κύματος.

Το σχετικό βάθος νερού είναι σημαντική παράμετρος και χαρακτηρίζει τις θεωρίες των κυμάτων. Η θαλάσσια περιοχή χαρακτηρίζεται από το βάθος της, που βέβαια δεν είναι μόνο συνάρτηση του βάθους h , αλλά και του μήκους κύματος.

Βαθεία νερά	:	$0.50 \leq \frac{h}{L}$
Ενδιάμεσα νερά	:	$0.04 \leq \frac{h}{L} \leq 0.50$
Ρηχά νερά	:	$\frac{h}{L} \leq 0.04$

Πίνακας 3.1. Περιοχές νερών

3.2 Επιδράσεις της ατμόσφαιρας στη θαλάσσια επιφάνεια

Η οριζόντια, κυρίως, κίνηση μεγάλων μαζών του ατμοσφαιρικού αέρα ορίζεται ως άνεμος. Η διεύθυνση καθώς επίσης η ταχύτητα ή η ένταση είναι τα δύο κύρια χαρακτηριστικά του. Όσων αφορά τη γένεση των ανέμων τρεις είναι οι βασικοί παράγοντες που δημιουργούν και διαμορφώνουν τις κινήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα : α) η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της, β) η ηλιακή ενέργεια που απορροφά η ατμόσφαιρα και η επιφάνεια του εδάφους και γ) η ανομοιομορφία του γήινου ανάγλυφου.

Εξαιτίας των διαταραχών στο πεδίο πιέσεων η κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της Γης δεν είναι ομοιόμορφη και η διαφορά πιέσεων που δημιουργείται, εξαναγκάζει τις αέριες μάζες να κινηθούν για να αντισταθμίσουν αυτή τη διαφορά. Τόσο μεγάλες, όσο και οι μικρές μεταβολές της πίεσης οφείλονται προπάντων στις δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την μετατροπή της θερμικής ηλιακής ενέργειας σε κινητική ενέργεια των μαζών του αέρα. Έτσι οι δυνάμεις που υπεισέρχονται στη δημιουργία των ανέμων είναι οι εξής :

- Η δύναμη της βαροβαθμίδας. Εξαιτίας της βαρύτητας, ο ατμοσφαιρικός αέρας ασκεί πίεση στα διάφορα ατμοσφαιρικά στρώματα και, κατά συνέπεια, συμπιέζεται. όταν όμως υπάρχει διαφορά πιέσεων μεταξύ γειτονικών περιοχών, εμφανίζεται μία δύναμη (βαροβαθμίδα) η οποία τείνει να

μετακινήσει τα μόρια του αέρα προς την περιοχή της χαμηλότερης πίεσης με ταχύτητα ανάλογη με τη διαφορά πιέσεων.

- Η οριζόντια εκτροπτική δύναμη που οφείλεται στην περιστροφή της Γής. Όπως συμβαίνει σε κάθε σωματίδιο που κινείται ελεύθερα, χωρίς την επίδραση οποιασδήποτε δύναμης, έτσι και ο ατμοσφαιρικός αέρας που κινείται, δέχεται φαινομενικά μια εκτροπή σε σχέση με την επιφάνεια της Γής. Η εκτροπή αυτή οφείλεται στην περιστροφή της Γής γύρω από τον άξονά της. Η δύναμη που προκαλεί αυτή την εκτροπή, ονομάζεται δύναμη Coriolis. Για το λόγο αυτό, κάθε μόριο του αέρα που κινείται στο βόρειο ημισφαίριο, δέχεται μια συνεχή εκτροπή της κίνησής του προς τα δεξιά, ενώ στο νότιο ημισφαίριο η εκτροπή αυτή είναι προς τα αριστερά.
- Η φυγόκεντρη δύναμη. Τα μόρια του αέρα επειδή ακολουθούν την κίνηση της Γής, συμμετέχουν σε μια κυκλική κίνηση επομένως, επενεργεί πάνω τους η φυγόκεντρη δύναμη.
- Η δύναμη της τριβής. Η δύναμη της τριβής υπεισέρχεται, όταν ο ατμοσφαιρικός αέρας που κινείται βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνεια της Γής. Η δύναμη αυτή ενεργεί αντίθετα στην κίνηση του αέρα, και το μέγεθός της εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και από την σχετική ταχύτητα της περιστροφής της επιφάνειας του εδάφους (περιστροφή της Γής γύρω από τον άξονά της). Δυνάμεις τριβής αναπτύσσονται επίσης όταν επάλληλα στρώματα αέρα κινούνται πάνω από την επιφάνεια της Γής με διαφορετικές ταχύτητες.(cd epistimi kai zoi)

Οι σημαντικότεροι μηχανισμοί στο ενεργειακό ισοζύγιο της διεπιφάνειας ατμόσφαιρα / θάλασσας είναι η μεταφορά θερμότητας, μάζας και μηχανικής ενέργειας. Πρόκειται για τυρβώδεις μηχανισμούς μεταφοράς ουσιαστικής σημασίας στη γένεση κινήσεων στη θαλάσσια μάζα, ιδιαίτερα η μεταφορά μηχανικής ενέργειας. Η μεταφορά γίνεται μέσω της τυρβώδους διατμητικής τάσεως του ανέμου, που θα αναπτυχθεί παρακάτω.

Το ισοζύγιο θερμότητας περιλαμβάνει μεταφορά θερμότητας με όλους τους δυνατούς τρόπους, απώλεια θερμότητας λόγω εξατμίσεως ή κέρδος θερμότητας λόγω συμπυκνώσεως και ακτινοβολίας μικρού και μεγάλου μήκους κύματος προς και από τη διεπιφάνεια. Η επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσεως είναι αντιβαρομετρική, δεδομένου ότι μειώνεται η στάθμη της θαλάσσιας επιφάνειας με την αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσεως. Εκτιμάται ότι η μείωση στάθμης είναι της τάξεως του 1 εκατοστού για αύξηση της πίεσεως κατά 1 mb.

Η μεταφορά μάζας εκδηλώνεται με τη μορφή φυσαλίδων αέρα στη θαλάσσια μάζα και σταγονιδίων στην αέρια φάση. Ο αριθμός των φυσαλίδων αυξάνει με την ταχύτητα του ανέμου και μειώνεται με το βάθος από τη διεπιφάνεια.

Η μεταφορά μηχανικής ενέργειας ή ροή ορμής γίνεται κυρίως από την κινούμενη αέρια φάση στην υγρή μάζα. Το μεγαλύτερο μέρος της μεταφερόμενης ενέργειας μεταβιβάζεται σε κύματα μικρού μήκους, ενώ το υπόλοιπο μέρος της μεταβιβάζεται σε κύματα μεγάλου μήκους, σε ρεύματα και σε τύρβη. Η ροή ορμής τυρβώδης διατμητικής τάσης, που δίνεται από την επόμενη σχέση :

$$\tau_0 = \rho_a K \frac{\partial U}{\partial y} \quad (\tau = \rho u'w')$$

K είναι ο συντελεστής μεταφοράς, ρ_a η πυκνότητα του αέρα και $\partial U/\partial y$ η κατακόρυφη κλίση της ταχύτητας. Συνήθως η παραπάνω σχέση απλοποιείται σε μία σχέση « αεροδυναμικής » μορφής :

$$\tau_0 = \rho_a C_{dy} U_y^2$$

Όπου U_y είναι η ταχύτητα σε στάθμη y πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και C_{dy} ο συντελεστής σύρσεως στην ίδια στάθμη. Με την ταχύτητα τριβής u ($= \sqrt{\tau/\rho}$) προκύπτει :

$$C_{dy} = \left(\frac{u_*}{U_y} \right)^2$$

Το β' μέλος αναπαριστά την κατανομή ταχυτήτων στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Στα χαμηλότερα – 20 μέτρα το στρώμα είναι σταθερής διατμήσεως, δεδομένου ότι η τ είναι περίπου σταθερή.

Ο συντελεστής C_d είναι εν γένει συναρτήση των αριθμών Froude, Reynolds και Richardson. Σαν πρώτη προσέγγιση μπορούν να ληφθούν οι τιμές του Πίνακα 3.2

$C_d \approx 1.3 \times 10^{-3}$	για $5\text{m/s} < U_{10} < 20\text{m/s}$
$C_d \approx 1.5 + 4.0 \times 10^{-3}$	για $U_{10} > 15\text{m/sec}$

Πίνακας 3.2. Τιμές C_d

Καλύτερη προσέγγιση επιτυγχάνεται με τα αποτελέσματα των μετρήσεων του Wu, 1980, υπό ουδέτερες συνθήκες :

$$C_{d10} = (0,8 + 0,065 U_{10}) * 10^{-3}$$

Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται λογαριθμικά κατά την κατακόρυφο πάνω από τη θαλάσσια επιφάνεια. Στο οριακό στρώμα η ταχύτητα μεταβάλλεται , όπως στο οριακό στρώμα τυρβώδους ροής πάνω από ανώμαλη επιφάνεια.

3.3 Γενικά χαρακτηριστικά ανέμων

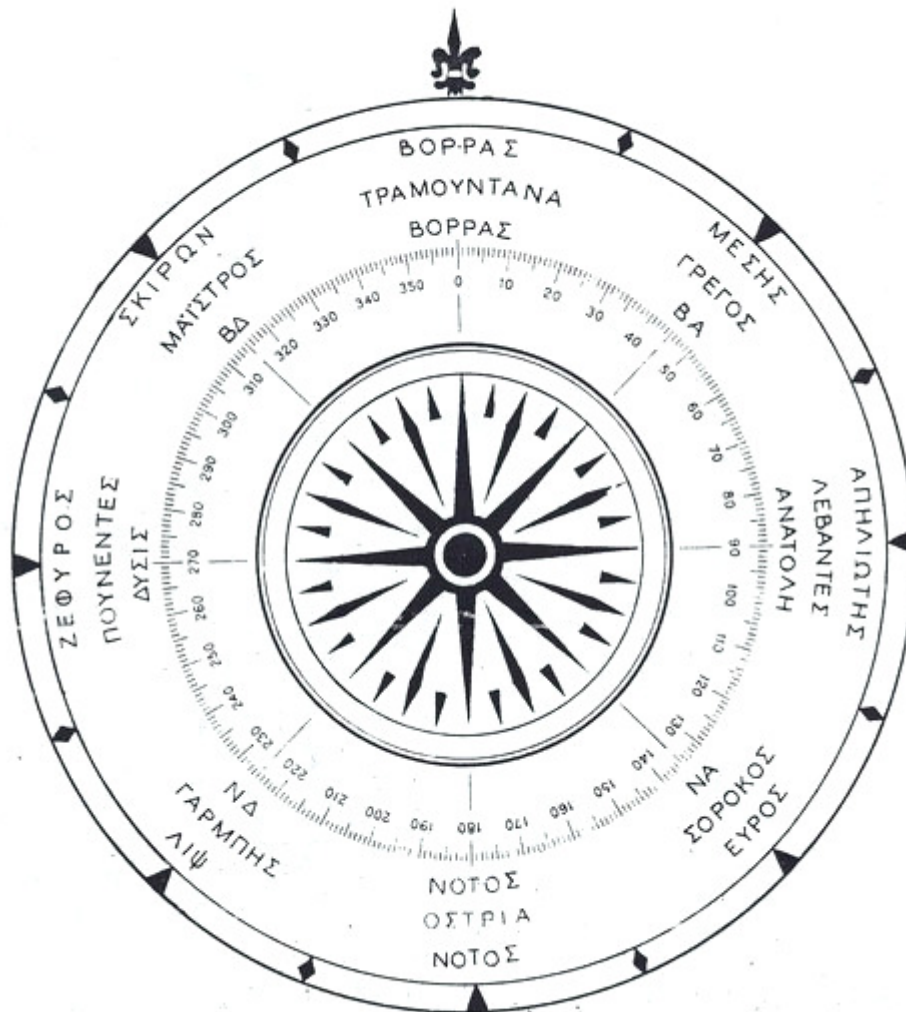
Τα χαρακτηριστικά του ανέμου σε ένα τόπο προσδιορίζονται από τη διεύθυνση, δηλαδή τη θέση του ορίζοντα από την οποία προέρχονται οι αέριες μάζες, και την ταχύτητα με την οποία αυτές κινούνται.

Ως σημείο αναφοράς για την διεύθυνση του ανέμου, παίρνεται το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Η κίνηση του ανέμου θεωρείται, κατά προσέγγιση, οριζόντια και ευθύγραμμη, για την ευκολότερη περιγραφή της κίνησης του. Έτσι π.χ. βόρειος άνεμος είναι αυτός που προέρχεται από το βορά και κατευθύνεται προς το νότο (σε σχέση με τη θέση του παρατηρητή).

Γενικά χρησιμοποιούνται δύο τρόποι για τη διατύπωση της διεύθυνσεως του ανέμου : σύμφωνα με τον πρώτο, ο κύκλος του ορίζοντα διαιρείται σε όγδοα ή δέκατα έκτα ή τριακοστά δεύτερα και τα χαρακτηριστικά των διάφορων σημείων του ανεμολογίου αυτού είναι τα ίδια με τα χαρακτηριστικά που αναγράφονται στην περιφέρεια του κινητού πλαισίου (ανεμολογίου) της μαγνητικής βελόνας της ναυτικής πυξίδας. Σύμφωνα με το δεύτερο τρόπο, ο ρόδακας των ανέμων στο ναυτικό ανεμολόγιο διαιρείται σε 32 ρόμβους (3600 / 32)οι οποίοι αριθμούνται από 1-32, κατά την φορά των δεικτών του ωρολογίου, και όχι στο μαγνητικό βορά.

Τα όργανα και οι συσκευές που δείχνουν τη διεύθυνση του ανέμου ονομάζονται ανεμοδείχτες. Μπορούμε, όμως, να προσδιορίσουμε τη διεύθυνση του αέρα με απλή παρατήρηση διαφόρων φαινομένων, όπως για παράδειγμα παρατηρώντας την

κατεύθυνση του καπνού, την κλίση των σταχυών ή την των κορυφών των δέντρων, την κίνηση των κυμάτων κ.τ.λ. Υπάρχουν και διάφοροι άλλοι τρόποι για τον προσδιορισμό της διεύθυνσης του ανέμου.



Σχήμα 3.3. Προσδιορισμός διευθύνσεως ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου ορίζεται ως το διάστημα που διανύει η αέρια μάζα στη μονάδα του χρόνου. Είναι πολύ δύσκολος, βέβαια, ο προσδιορισμός της πραγματικής ταχύτητας των μορίων του αέρα, γι' αυτό μετρίεται η ταχύτητα την οποία προσδίνει ο άνεμος σε διάφορα ελαφρά σώματα (φετερά, καπνό, σύννεφα, μικρά αερόστατα), τα οποία παρασύρει.

Οι μονάδες μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου είναι οι εξής : μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/sec), χιλιόμετρα ανά ώρα (km/h), μίλια (1,609 m) ανά ώρα (m.p.h) αγγλικά πόδια ανά δευτερόλεπτο (ft/sec) και κόμβοι (knots = 1,852 m/h). Ο προσδιορισμός της ταχύτητας (η έντασης) του ανέμου γίνεται η εμπειρικά (χωρίς όργανο) ή με τη βοήθεια ειδικών οργάνων (ανεμόμετρα).

Προσδιορίζουμε την ταχύτητα εμπειρικά, παρατηρώντας την κίνηση διάφορων αντικειμένων ή τις ζημιές ή καταστροφές που προκαλεί ο άνεμος με τη σφοδρότητά του. Στην εμπειρική παρατήρηση είναι στηριγμένη και η ανεμομετρική κλίμακα που, έχει συντάξει ο Άγγλος ναύαρχος Beaufort, από τον οποίο πήρε το όνομα της (μποφόρ). Η αρχική κλίμακα βασιζόταν στην εκτίμηση της σφοδρότητας (ταχύτητας) του ανέμου στη θάλασσα, ανάλογα με τα αποτελέσματα που προκαλεί η πνοή του στα πανιά των πλοίων. Με την κατάργηση των ιστιοφόρων, άλλαξαν και τα κριτήρια, ενώ οι βαθμίδες της κλίμακας αυξήθηκαν από 13 σε 18.

Ισχυροί λοιπόν άνεμοι δημιουργούνται σε περιοχές όπου συνδυάζονται ένα σύστημα χαμηλών βαρομετρικών πιέσεων και ένα σύστημα υψηλών βαρομετρικών πιέσεων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα στον Ελληνικό χώρο είναι ο συνδυασμός των χαμηλών πιέσεων κατά της διέλευσης μιας ύφεσης με τις σχετικά υψηλές πιέσεις στις γύρω περιοχές, ή η εμφάνιση των ετήσιων (μελέμια), τα οποία δημιουργούνται από το συνδυασμό των χαμηλών πιέσεων της Ανατολικής Μεσογείου με τις υψηλές πιέσεις στην περιοχή των Βαλκανίων. Τοπικά ισχυροί άνεμοι (μπουρίνια) δημιουργούνται σε περιοχές που επηρεάζονται από καταιγίδες λόγω της ισχυρής βαθμίδας πίεσης που δημιουργείται. (cd epistimi kai zoi)

Οι ταχύτητες του ανέμου κατατάσσονται σύμφωνα με την κλίμακα Beaufort. Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι αντιστοιχίες μεταξύ της κλίμακας αυτής και των ταχυτήτων του ανέμου, σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.). Στον Πίνακα 3.5 δίδεται ένας τυπικός πίνακας στατιστικών ανεμολογικών στοιχείων, όπως δίδεται από την Ε.Μ.Υ.

Ένταση ανέμου σε Beaufort*		Ταχύτητα ανέμου**				Median of av. windspeed			
B	Άνεμος	m/s	km/h	knots	miles/h	m/s	km/h	knots	miles/h
0	άπνοια	0-0,2	< 1	< 1	<1	0,0	0,0	0,0	0,0
1	σχεδόν άπνοια	0,3-1,5	1-5	1-3	1-3	0,8	3,0	1,6	1,9
2	πολύ ασθενής	1,6-3,3	6-11	4-6	4-7	2,4	8,5	4,6	5,3
3	ασθενής	3,4-5,4	12-19	7-10	8-11	4,3	15,6	8,4	9,7
4	σχεδόν μέτριος	5,5-7,9	20-28	11-16	13-18	6,7	24,1	13,0	15,0
5	μέτριος	8,0-10,7	29-38	17-21	19-24	9,3	33,6	18,2	20,9
6	ισχυρός	10,8-13,8	39-49	22-27	25-31	12,3	44,2	23,9	27,5
7	Σχεδόν θυελλώδης	13,9-17,1	50-61	28-33	32-38	15,5	55,7	30,1	34,6
8	θυελλώδης	17,2-20,7	62-74	34-40	39-46	18,9	68,1	36,8	42,3
9	πολύ θυελλώδης	20,8-24,4	75-88	41-47	47-54	22,6	81,3	43,9	50,5
10	θύελλα	24,5-28,4	89-102	48-55	55-63	26,4	95,2	51,4	59,1
11	ισχυρή θύελλα	28,5-32,6	103-117	56-63	64-74	30,5	109,8	59,3	68,2
12	τυφώνας	>= 32,7	>= 118	>= 64	>=75

Πίνακας 3.3. Κλίμακα Beaufort κατά Μετεωρολογική Υπηρεσία

Η διατμητική τάση του ανέμου, εκτός της μεταφοράς θερμότητας και μάζας, προκαλεί υπερύψωση της θαλάσσιας επιφάνειας, ανεμογενές ρεύμα στη θαλάσσια μάζα και θαλάσσια κύματα, όπως αναλύεται στη συνέχεια.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ U_{10} , m/sec													
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΝΕΜΟΥ	ΑΥΡΑ		ΕΛΑΦΡΟΣ ΑΝΕΜΟΣ						ΙΣΧΥΡΟΣ ΑΝΕΜΟΣ				
ΑΡΙΘΜΟΣ BEAUFORT	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΡΟΗΣ ΟΡΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΣΤΡΩΤΗ ΑΕΡΟ- ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΡΟΗ		ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΡΟΗ		ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΣ ΤΡΑΧΕΙΑ ΡΟΗ								
ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ cm			$0.03 < k < 0.3$		$0.3 < k < 1.5$			$k = 8$					
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΡΣΕΩΣ C_{10}			$C_{10} = 0.5 \times U_{10}^{1/2} \times 10^{-3}$						$C_{10} = 2.6 \times 10^{-3}$				

$$C_{10} = \frac{1.25 \times 10^{-3}}{U_{10}}$$

Πίνακας 3.4. Διαταραχή της θαλάσσιας επιφάνειας σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου

HELLENIC NATIONAL METEOROLOGICAL SERVICE
 DIRECTION OF CLIMATOLOGY
 SECTION OF STATISTICAL CLIMATOLOGY

CLIMATOLOGICAL DATA BASE

D A T C L I M

STATION MYTIAHMH 667

LATITUDE 39° 04' N LONGITUDE 26° 36' E ALTITUDE OF BAROMETER 4.8 METERS

PERIOD 1955-1997

ANNUAL FREQUENCY(PER CENT) OF WIND DIRECTION AND FORCES IN BEAUFORT SCALE
 FROM OBSERVATIONS 06H,12H,18H GMT

MONTH =00 YEAR =00

BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	SUM
0									15.070	15.070
1	.997	.482	.329	.351	.384	.526	.680	.756		4.505
2	5.667	1.655	1.304	1.820	1.973	2.543	3.102	3.869		21.933
3	6.314	1.173	1.151	2.346	3.069	1.633	.987	4.264		20.937
4	7.224	2.137	1.074	1.710	2.971	2.072	.603	3.606		21.397
5	2.894	1.863	.329	.515	1.469	.833	.153	.756		8.812
6	1.611	1.743	.099	.219	.987	.480	.066	.121		5.306
7	.482	.581	.022	.044	.241	.110	.011	.022		1.513
8	.110	.164	.011	.011	.077	.033	.011	.011		.428
9	.011	.022	.011	.000	.011	.011	.000	.000		.066
10	.011	.011	.000	.000	.000	.011	.000	.000		.033
>11	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000
=										
SUM	25.321	9.831	4.330	7.016	11.182	8.232	5.613	13.405	15.070	100.000

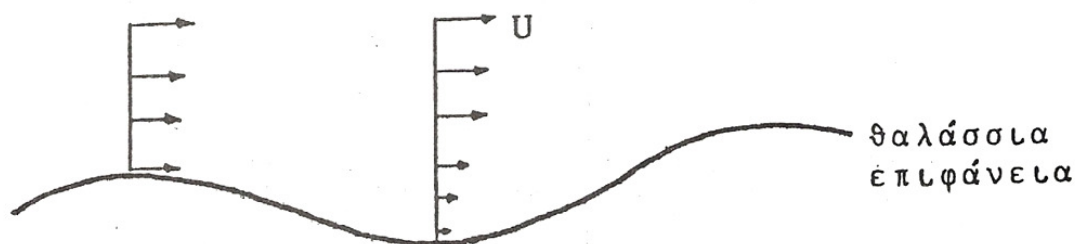
Πίνακας 3.5. Τυπικός πίνακας στατιστικών ανεμολογικών στοιχείων (κατά την E.M.Y.)

3.4 Γένεση ανεμογενών κυματισμών

Όπως προαναφέρθηκε, το βασικό γενεσιουργό αίτιο ενός πεδίου κυμάτων στη θαλάσσια επιφάνεια είναι η τυρβώδης ροή του ανέμου. Στη γένεση υπεισέρχονται δύο φυσικοί μηχανισμοί. Ο πρώτος είναι ο συντονισμός μεταξύ των διαταραχών της θαλάσσιας επιφάνειας και των παλμών της πίεσεως στο πεδίο του ανέμου. Ο δεύτερος μηχανισμός είναι η εμφάνιση ανωμαλιών στη θαλάσσια επιφάνεια. Οι δύο μηχανισμοί προκαλούν μεταφορά ενέργειας από τον άνεμο στο νερό με ρυθμό ανάλογο με την καμπυλότητα των γραμμών ροής του ανέμου.

Στη γένεση και εξέλιξη των κυμάτων εμφανίζονται τα παρακάτω διαδοχικά στάδια : Οι παλμοί της πίεσεως του ανέμου προκαλούν την εμφάνιση μικροανωμαλιών στη θαλάσσια επιφάνεια , που διαρκώς μεγαλώνουν με τη ροή του ανέμου. Σ' αυτό το πρώτο στάδιο της γενέσεως των κυμάτων μεγάλη σημασία έχει η ταχύτητα του ανέμου. Μετά την πρώτη αν'απτυξη των ανωμαλιών αρχίζει η άμεση μεταφορά ενέργειας από το πεδίο ροής του ανέμου στο πεδίο ροής των κυμάτων. Τα υδάτινα σωματίδια αποκτούν ενέργεια κατά την κίνησή τους στην ίδια φορά με τον άνεμο. Ένα μέρος της ενέργειας δημιουργεί την κυματοειδή κίνησή τους, ενώ ένα άλλο μέρος της δημιουργεί ρευματική κίνηση-ροή.

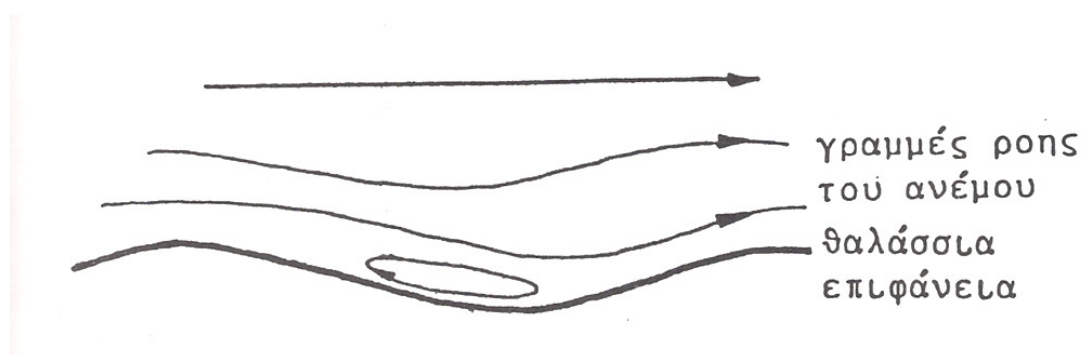
Η συνεχής μεταφορά ενέργειας προκαλεί την αύξηση του ύψους και της ταχύτητας των κυμάτων. Η ανομοιομορφία του πεδίου ροής του ανέμου πάνω από τη διαταραγμένη θαλάσσια επιφάνεια είναι βασικής σημασίας στην αύξηση, δεδομένου ότι η ταχύτητα του ανέμου στην κορυφή ενός κύματος μπορεί να φθάσει σε τιμές πενταπλάσιες της ταχύτητας στην κοιλία (βλέπε σχήμα 3.4). Η ελάχιστη αεροδυναμική πίεση αναπτύσσεται στην κορυφή. Κατά τη μεταφορά ενέργειας εμφανίζεται αποκόλληση της ροής και δημιουργία ενός στροβίλου (βλέπε σχήμα 3.5), που συμβάλλει στη μείωση της πίεσεως στην περιοχή εμφάνισέως του, στις ταλαντώσεις της πίεσεως και στην αύξηση του ύψους κύματος. Κατά τον Phillips, τα κύματα δημιουργούνται από το συντονισμό αυτών των στροβίλων.



Σχήμα 3.4. Κατανομή της ταχύτητας του ανέμου

Ο ρυθμός αύξησης των χαρακτηριστικών (μήκος και ύψος) των κυμάτων με το χρόνο κατά τη διάρκεια της πνοής του ανέμου είναι γραμμικός, εφ' όσον η ταχύτητα των κυμάτων είναι πολύ μικρότερη από την ταχύτητα του ανέμου. Στη συνέχεια ο ρυθμός αυξάνει κατά πολύ. Ο φυσικός μηχανισμός διακοπής της συνεχούς αύξησης των χαρακτηριστικών είναι η θραύση των κυμάτων στην ανοικτή θάλασσα. Εκδηλώνεται στην κορυφή των κυμάτων και δημιουργεί το χαρακτηριστικό λευκό και έντονα τυρβώδες στρώμα στη διαταραγμένη θαλάσσια επιφάνεια στα ανοιχτά. Η εμφάνιση του στρώματος υποδηλώνει κατάσταση κορεσμού στη μεταφορά ενέργειας από την αέρια στην υγρή φάση.

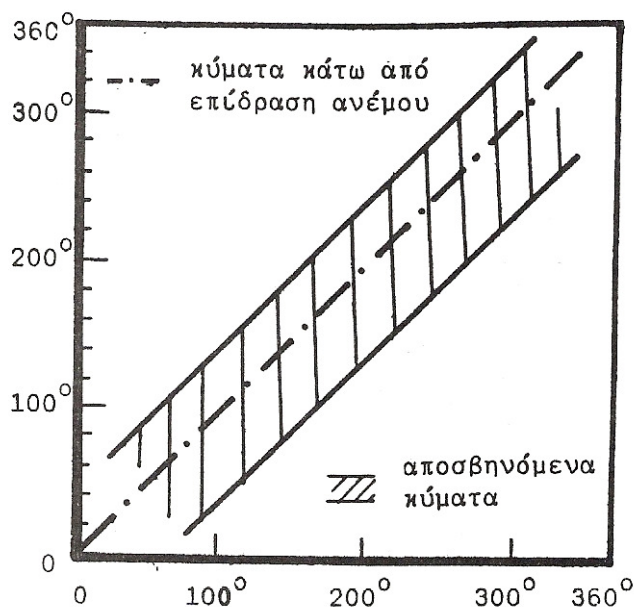
Η μεταφορά ενέργειας από την αέρια στην υδάτινη φάση μεγιστοποιείται σε μία ορισμένη συχνότητα. Σ' αυτή τη συχνότητα το φάσμα ενέργειας των κυμάτων παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή. Οι μεγαλύτερες συχνότητες αποτελούν τη ζώνη κορεσμού του φάσματος.



Σχήμα 3.5. Σχηματισμός στροβίλου στη θαλάσσια επιφάνεια

Στην περιοχή γενέσεως των κυμάτων, υπό την άμεση επίδραση του γενεσιουργού ανέμου, η θαλάσσια επιφάνεια είναι συγκεχυμένη. Στη ζώνη μετά την περιοχή γενέσεως παρατηρείται ταξινόμηση και εμφανίζονται τα ανεπτυγμένα περιοδικά κύματα. Η διεύθυνση μεταδόσεως των αναπτυσσόμενων κυμάτων εξαρτάται

έντονα από τη διεύθυνση πνοής του ανέμου. Για κύματα κάτω από την επίδραση του ανέμου (αναπτυσσόμενα ή ανεπτυγμένα) οι δύο διευθύνσεις συμπίπτουν ή σχεδόν (βλέπε σχήμα 3.6)



Σχήμα 3.6. Διεύθυνση μεταδόσεως κυμάτων σε συνάρτηση με τη διεύθυνση πνοής του ανέμου από Collins and Amos

Πάντως θα πρέπει να σημειωθεί, ότι παρ ‘ όλες της σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες στον τομέα αυτό, δεν έχει επιτευχθεί ακόμη η πλήρης διερεύνηση και κατανόηση του μηχανισμού δημιουργίας των κυμάτων από τον άνεμο και της μεταφοράς ενέργειας. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί ημιεμπειρικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των κυμάτων από τον άνεμο σε συνάρτηση με διάφορες μεταβλητές, όπως θα αναπτυχθεί στη συνέχεια. Στο πλαίσιο αυτών των μεθόδων τρία είναι τα βασικά στοιχεία του ανέμου, η διεύθυνση από την οποία πνέει ο άνεμος, η μέση ταχύτητά του στο χρονικό διάστημα αναπτύξεως κυμάτων και τέλος η διάρκεια πνοής του. Για μελετητικούς σκοπούς απαιτείται και η γνώση των πιθανοτήτων εμφανίσεως ακραίων ανέμων.

Στον Πίνακα 3.6 δίνονται ενδεικτικά οι αντιστοιχίες μεταξύ των ταχυτήτων ανέμου, της καταστάσεως της θάλασσας και του φάσματος πιθανών υψών κύματος.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ U_{10} , miles/h	1	2	3	4	5	7	9	11	13	15	18	21	24	27	30
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	0	1	2	3	4			5		6	7	8	9		
ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ m		0-0.1	0.1- 0.5	0.5- 1.25	1.25- 2.5	2.5- 4.0	4-6	6-9	9- 14	9- 14					

Πίνακας 3.6. Κατάσταση της θάλασσας

3.5 Μετρήσεις κυμάτων στη φύση

Μετρήσεις κυμάτων στη φύση συνήθως γίνονται με

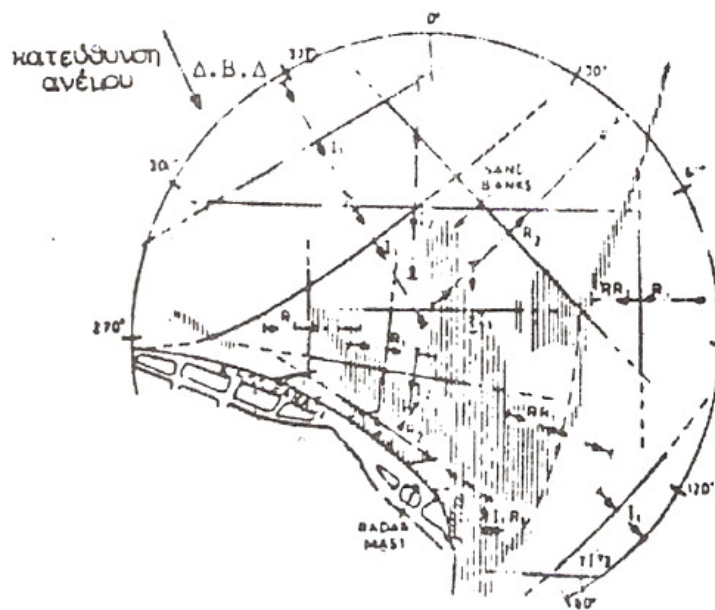
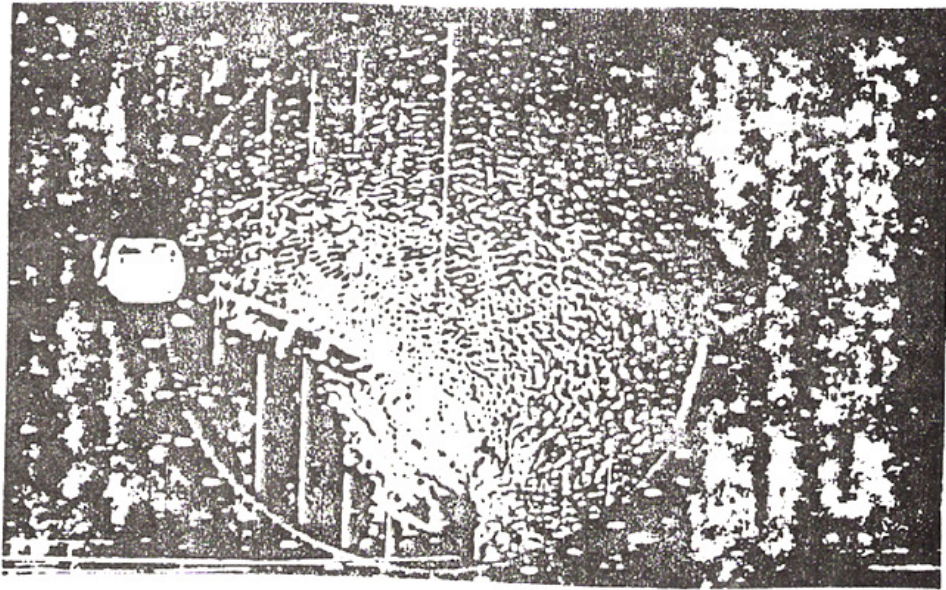
- Απευθείας ανάγνωση σε μία σταθερή κατακόρυφη σταδία
- Μετρητές τοποθετημένους στα ύφαλα πλοίων
- Οπτικές μεθόδους
- Μετρητές με υπερήχους
- Μετρητές τύπου πλωτήρα

Η πρώτη μέθοδος είναι η παλαιότερη και χρησιμοποιείται κοντά στην ακτή ή σε έργα ανοιχτής θάλασσας. Απαιτεί τη διαρκή παρουσία παρατηρητή. Σε ορισμένες περιπτώσεις τοποθετούνται ηλεκτρικές επαφές, οπότε είναι δυνατή η καταγραφή των ενδείξεων. Η μέθοδος αυτή δεν δίνει πληροφορίες για τη διεύθυνση των κυμάτων.

Η δεύτερη μέθοδος είναι κατάλληλη για μετρήσεις στα ανοιχτά. Μετράται η κατακόρυφη επιτάχυνση του πλοίου ως προς ένα σταθερό σύστημα αναφοράς και με διπλή ολοκλήρωση προκύπτει η κατακόρυφη μετακίνηση. Επίσης μετρώνται οι διακυμάνσεις της πίεσης, οι οποίες είναι ανάλογες με τα ύψη των κυμάτων. Από το συνδυασμό των αποτελεσμάτων απαλείφεται η κίνηση του πλοίου και προκύπτει το απόλυτο ύψος κύματος. Δεν είναι όμως δυνατός ο προσδιορισμός της διεύθυνσεως των κυμάτων.

Στις οπτικές μεθόδους περιλαμβάνονται η φωτογράφιση, η στερεογράφιση και η κινηματογράφιση σε τακτά χρονικά διαστήματα από κάποιο ύψος. Συχνά χρησιμοποιούνται μικρά αεροπλάνα ή ελικόπτερα. Τελευταία αναπτύσσεται η χρησιμοποίηση ραντάρ μικρού μήκους κύματος, οπότε είναι δυνατός ο προσδιορισμός των κυμάτων και τη νύχτα. Στο σχήμα 3.7 δίνεται η πολύπλοκη κυματική κατάσταση, όπως προκύπτει από σειρά φωτογραφιών ραντάρ. Οι οπτικές μέθοδοι δίνουν στοιχεία για τη διεύθυνση των κυμάτων.

Η μέθοδος των υπερήχων δίνει πληροφορίες για το ύψος του στρώματος του νερού, από το οποίο προκύπτουν τα ύψη κύματος. Το όργανο των υπερήχων τοποθετείται στον πυθμένα και οι ενδείξεις μεταδίδονται με καλώδιο σε καταγραφικό στην ακτή. Το ύψος του στρώματος προκύπτει από το χρόνο μεταξύ της εκπομπής των υπερήχων και της επιστροφής τους μετά από ανάκλαση στην επιφάνεια.



Διεύθυνση ανέμου: Δ.Β.Δ.

Ταχύτης ανέμου : 40 κόμβου

I: τυχαίο κύμα

R: ανακλώμενο κύμα

Σχήμα 3.7. Μέτρηση κυμάτων με ραντάρ

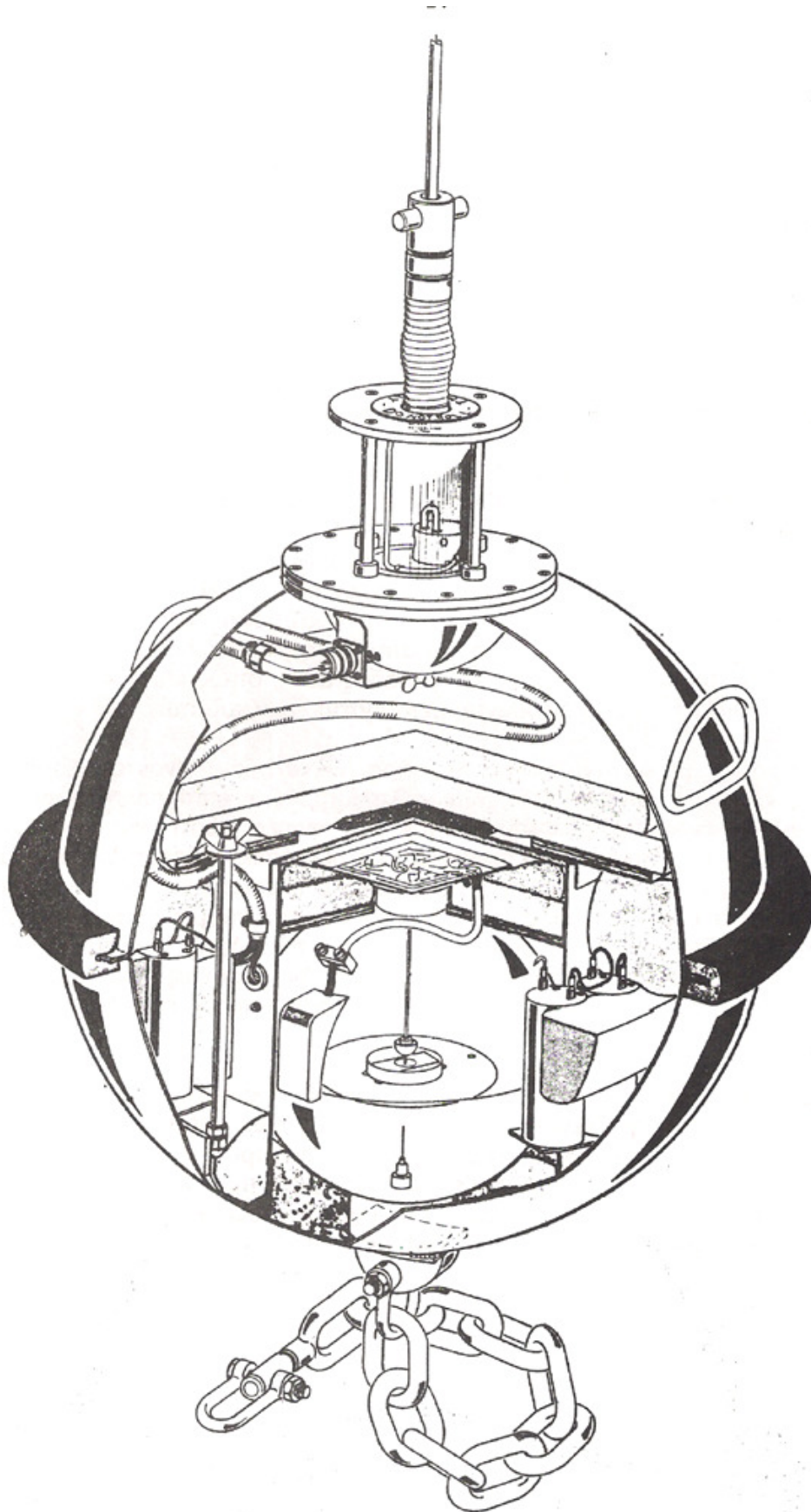
Οι μετρήσεις με μετρητή πίεσης βασίζονται στο γεγονός, ότι η πίεση p στον πυθμένα ή σε κάποια στάθμη στην υγρή μάζα είναι ανάλογη του ύψους του υγρού στρώματος d πάνω από το μετρητή, και κατά συνέπεια του ύψους του κύματος (βλέπε σχήμα 3.8) Η πίεση στον πυθμένα είναι :

$$p = \frac{H}{\cosh 2\pi \frac{d}{L}} \cos 2\pi \frac{t}{T}$$

Όπου H , L και T είναι αντίστοιχα το ύψος, μήκος και η περίοδος του κύματος. Το μήκος και η περίοδος προσδιορίζονται απευθείας από την καταγραφή της p . Η παράμετρος αποσβέσεως $\cos 2\pi d/L$ αυξάνει ταχέως με το βάθος d . Για το λόγο αυτό η μέθοδος έχει αξία κυρίως για μικρά βάθη, δηλ. Για μετρήσεις μακρών κυμάτων (μεγάλο L) ή σε μικρά βάθη (συνήθως μέχρι 20 μέτρα). Πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι είναι φθηνή και δεν παρεμποδίζει τη ναυσιπλοΐα. Μειονεκτήματα ότι φιλτράρονται υψηλές συχνότητες, με αποτέλεσμα την όχι και τόσο πιστή αναπαράσταση της θαλάσσιας επιφάνειας. Οι ενδείξεις μεταδίδονται στην ακτή με καλώδιο η καταγράφονται σε ενσωματωμένο καταγραφικό. Η μέθοδος αυτή, όπως και η προηγούμενη, δεν δίνει ενδείξεις για τη διεύθυνση μεταδόσεως των κυμάτων.

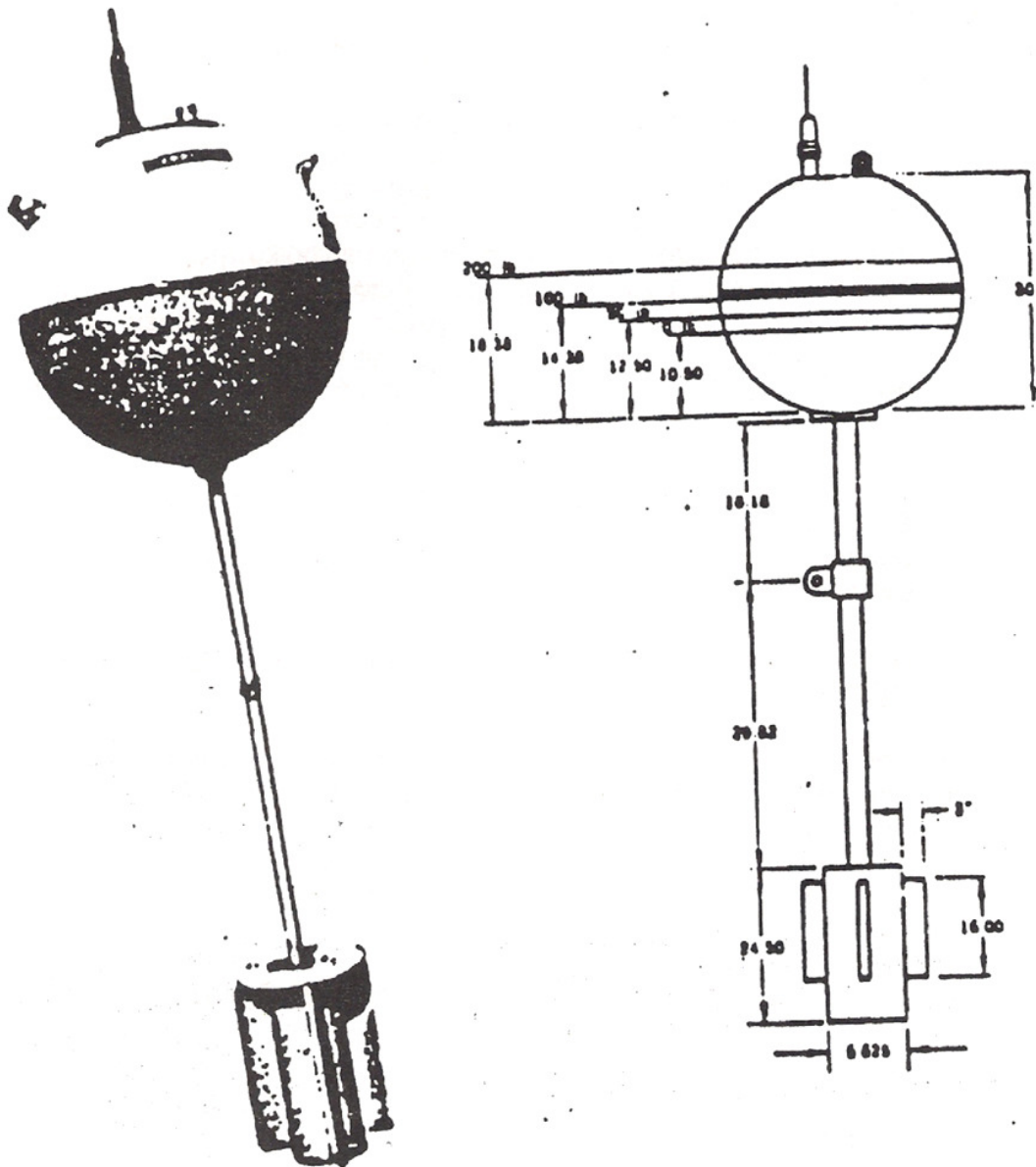
Οι μετρήσεις με όργανο τύπου πλωτήρα γίνονται ιδιαίτερα σε βαθιά νερά. Το όργανο περιέχεται σε πλωτήρα με επιταχυνσιόμετρο, του οποίου οι ενδείξεις ολοκληρώνονται δύο φορές, ώστε να προκύψει η μετακίνηση της θαλάσσιας επιφάνειας. Οι μετρήσεις τηλεμεταδίδονται μέχρι και 50 χιλιόμετρα ή καταγράφονται σε καταγραφικό στο εσωτερικό του πλωτήρα. Ο πλωτήρας αγκυρώνεται με σχοινιά ή αλυσίδες στον πυθμένα και λειτουργεί με μπαταρίες. Στο σχήμα 3.9 φαίνονται διάφοροι πλωτήρες. Ένα τέτοιο όργανο δεν μπορεί να προσδιορίσει τη διεύθυνση μεταδόσεως του κύματος. Ο προσδιορισμός είναι δυνατός με τη χρησιμοποίηση συστήματος τριών πλωτήρων.

Τελευταία έχουν αναπτυχθεί μεμονωμένοι πλωτήρες με δυνατότητα καθορισμού και της διεύθυνσεως μεταδόσεως των κυμάτων. Η λειτουργία τους βασίζεται στη χρησιμοποίηση ενός ανεστραμμένου εκκρεμούς. Η διεύθυνση μεταδόσεως προσδιορίζεται είτε από την κλίση της θαλάσσιας επιφάνειας είτε από την κίνηση των υγρών σωματιδίων κάτω από την επιφάνεια. Η αγκύρωση γίνεται με μόνο μία αλυσίδα.



Σχήμα 3.8. Μετρητής κομάτων τύπου πλωτήρα

Οι πλωτήρες είναι τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα όργανα, αν και πρόκειται για ακριβή μέθοδο μετρήσεων. Αποδίδουν πολύ ακριβέστερα τη θαλάσσια επιφάνεια. έχουν όμως το βασικό μειονέκτημα, ότι τα όργανα υπόκεινται σε απώλειες από τη ναυσιπλοΐα ή άλλες αιτίες.



Σχήμα 3.9. Μετρητής κύματος τύπου πλωτήρα με προσδιορισμό και της διεύθυνσεως μεταδόσεως του κύματος

4 Πραγματικοί κυματισμοί

Η εκτίμηση των χαρακτηριστικών των κυματισμών σε μία περιοχή μπορεί να γίνει είτε με ανάλυση επί τόπου μετρήσεων, είτε με αξιοποίηση διαθέσιμων δεδομένων από παρατηρήσεις πλοίων είτε με διαδικασίες πρόβλεψης από διαθέσιμα ανεμολογικά δεδομένα όπως περιγράφονται από Κ.Ι Μουτζούρη (Κ.Ι Μουτζούρη 2007)

4.1 Ανάλυση επί τόπου μετρήσεων

Η ανάλυση των κυματικών καταγραφών σε ένα ορισμένο σημείο βασίζεται στις καταγραφές των διαταραχών με κατάλληλα όργανα. Οι καταγραφές γίνονται επί 15 – 20 λεπτά ανά 2 – 4 ώρες. Η ανάλυση των καταγραφών των κινήσεων ενός σημείου της θαλάσσιας επιφάνειας αποσκοπεί στον προσδιορισμό χαρακτηριστικών παραμέτρων των κυμάτων και εν γένει των καταστάσεων διαταραχής στην περιοχή. Ο προσδιορισμός γίνεται :

- Για τη θαλάσσια διαταραχή από την πνοή ενός ορισμένου ανέμου σε κάποιο περιορισμένο χρονικό διάστημα
- Για τις θαλάσσιες διαταραχές στην περιοχή από το σύνολο – κατά το δυνατόν βέβαια – των εμφανιζόμενων ανέμων ευρέα χρονικά διαστήματα.

Στην πρώτη περίπτωση επιτυγχάνεται η περιγραφή της βραχυπρόθεσμης διαταραχής (**βραχυπρόθεσμη περιγραφή**) σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου ανέμου. Στη δεύτερη περίπτωση επιδιώκεται η περιγραφή της περιβάλλουσας, κατά κάποιο τρόπο, των ανέμων (**μακροπρόθεσμη περιγραφή**). Η μακροπρόθεσμη περιγραφή βασίζεται σε χρονοσειρά βραχυπρόθεσμων περιγραφών και επιδιώκει τον προσδιορισμό ακραίων τιμών.

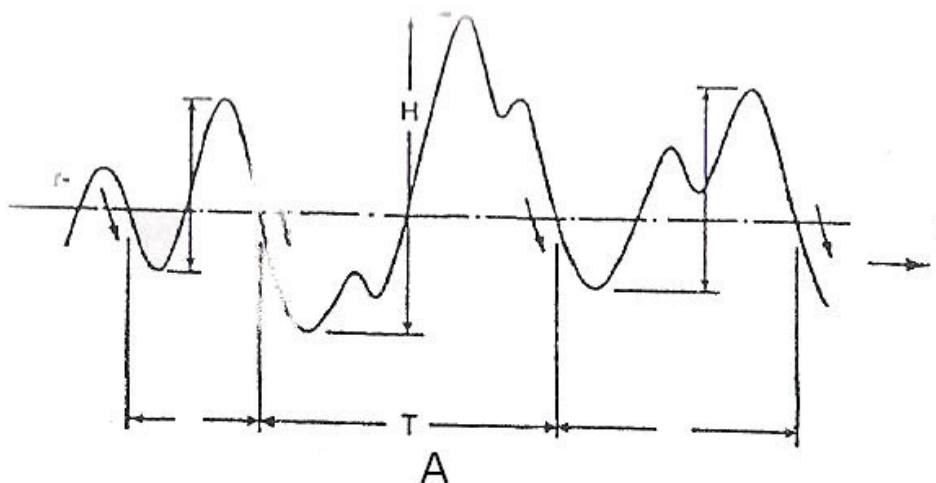
Η ανάλυση των κυμάτων, όπως αυτά εμφανίζονται και καταγράφονται σε ένα ορισμένο σημείο, σε συνάρτηση με το χρόνο ονομάζεται εξέταση στην “περιοχή χρόνου” (time-domain). Η διερεύνηση της κατανομής σε συνάρτηση με τις

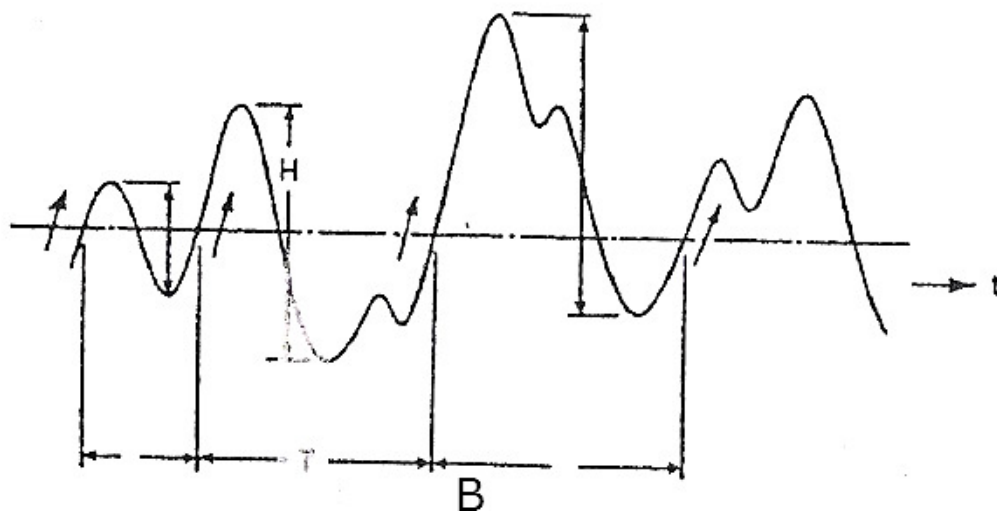
συχνότητες είναι στην “περιοχή συχνοτήτων” (frequency domain). Κατά συνέπεια, η ανάλυση καταγραφών από επί τόπου μετρήσεις κυμάτων μπορεί να γίνει είτε στην περιοχή του χρόνου είτε στην περιοχή των συχνοτήτων.

4.1.1 Ανάλυση στην περιοχή του χρόνου

Στην ανάλυση στην περιοχή χρόνου προσδιορίζονται οι χρονικές μεταβολές της θαλάσσιας επιφάνειας, όπως είναι το ύψος και το μήκος κύματος, με τη βασική παραδοχή, ότι το ένα ορισμένο κύμα είναι ανεξάρτητο από οποιοδήποτε άλλο. Η ανάλυση μιας καταγραφής αρχίζει με τον προσδιορισμό των περιεχομένων διαδοχικών κυμάτων. Ο προσδιορισμός γίνεται :

- Είτε με τη “μέθοδο τομής της μέσης στάθμης προς τα πάνω” ή απλούστερα “μέθοδο ανοδικού μηδενισμού” (zero up-crossing method)
- Είτε με τη “μέθοδο τομής της μέσης στάθμης προς τα κάτω” ή απλούστερα “μέθοδο καθοδικού μηδενισμού” (zero down-crossing method)

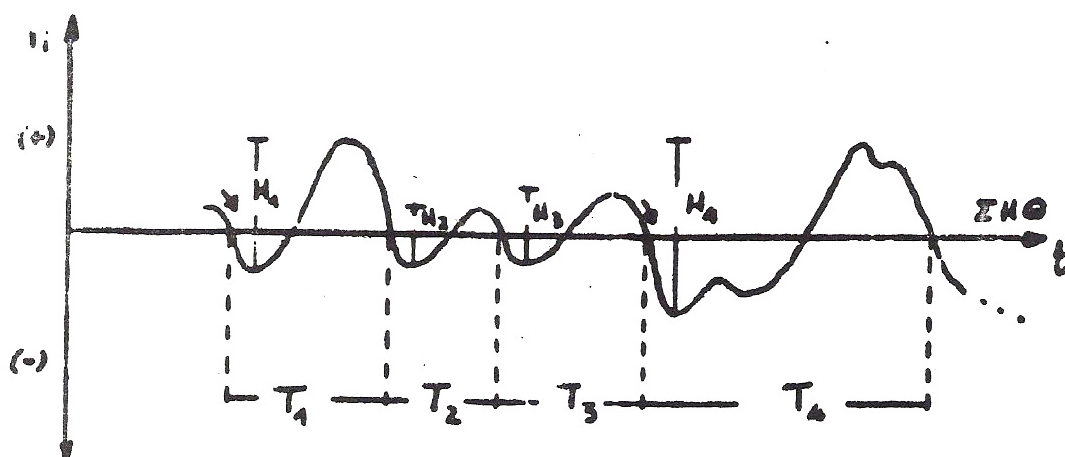




Σχήμα 4.1 Ανάλυση τυπικής καταγραφής

4.1.1α Στατιστικός προσδιορισμός κυματικών παραμέτρων

Ο ορισμός των διαδοχικών κυμάτων στην καταγραφή γίνεται με τη μέθοδο του καθοδικού μηδενισμού. (βλ. σχήμα 4.2)



Σχήμα 4.2 Προσδιορισμός διαδοχικών κυμάτων

Αφού μετρηθούν τα περιεχόμενα N κύματα στην καταγραφή και καταταχθούν σε φθίνουσα σειρά (H_1 το υψηλότερο, H_N το χαμηλότερο), προκύπτουν οι διάφορες παράμετροι της περιγραφόμενης θαλάσσιας διαταραχής ως εξής :

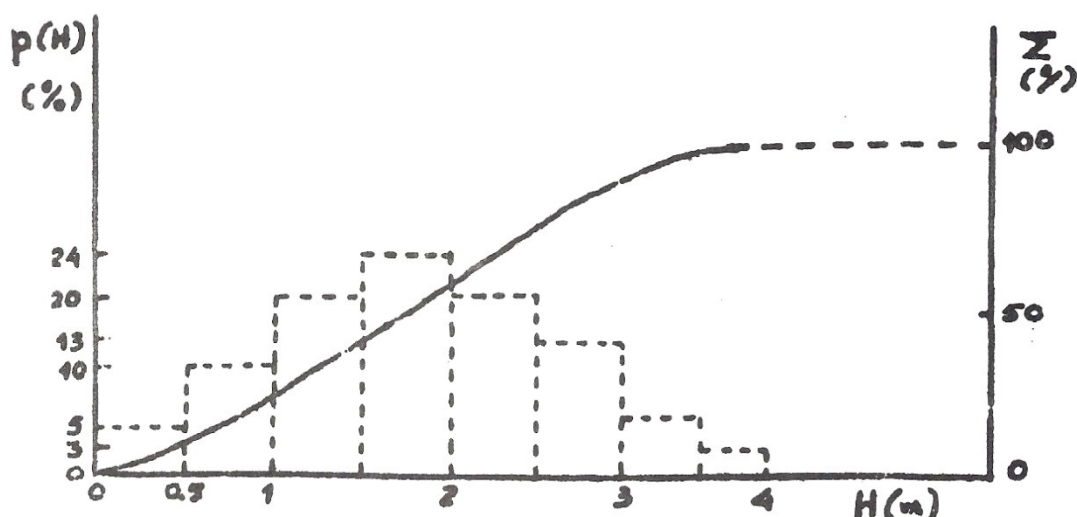
$$H_{\max} = H_1 \quad \text{και} \quad H_{\min} = H_N$$

$$H_{1/3} = \frac{3}{N} \sum_{i=1}^{N/3} H_i$$

$$T_{1/3} = \frac{3}{N} \sum_{i=1}^{N/3} T_i$$

$$T_{H1/3} = \frac{3}{N} \sum_{i=1}^{N/3} T_{Hi}$$

Από την κατάταξη σε φθίνουσα σειρά προκύπτουν και το ιστόγραμμα και η αθροιστική καμπύλη κύματος (βλέπε σχήμα 4.3). Συνήθεις θεωρητικές καμπύλες κατανομής των υψών είναι οι Rayleigh και Weibull.

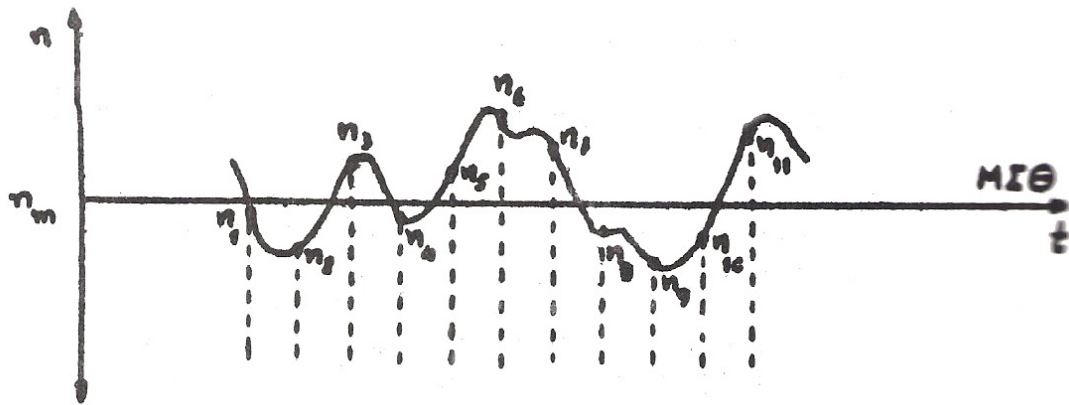


Σχήμα 4.3 Ιστόγραμμα υψών κύματος και αθροιστική καμπύλη

4.1.1β Προσδιορισμός κυματικών παραμέτρων με τη μέθοδο RMS

Η μέθοδος RMS (Root-Mean-Squares) ή μέθοδος τετραγωνικής ρίζας μέσω των τετραγώνων βασίζεται στην ερευνητική εργασία για τη στατιστική θαλασσιών κυμάτων των Longuet-Higgins and Cartwright (1956), η οποία δέχεται ότι ισχύει η κατανομή των υψών κατά Reyleigh(1978). Οι βασικές παράμετροι προσδιορίζονται σε συνάρτηση με την τιμή n_{rms} των K τιμών των απομακρύνσεων n_i της θαλάσσιας

επιφάνειας $n(t)$. Οι τιμές n_i από τη λήψη των τιμών της $n(t)$ με ένα σταθερό χρονικό βήμα (βλέπε σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4 Ψηφιοποίηση καταγραφής

Η μέση στάθμη n_m της ΜΣΘ προκύπτει :

$$n_m = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K n_i$$

Η τιμή n_{rms} ορίζεται ίση με :

$$n_{rms} = \sqrt{\overline{n^2}}$$

Όπου :

$$\overline{n^2} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K n_i^2$$

Από την τιμή n_{rms} προκύπτουν ως εξής οι βασικές παράμετροι ύψους :

$$H_{1/3} = 4n_{rms}$$

$$H_m = 2.5n_{rms}$$

Η μέθοδος RMS δεν επιτρέπει τον υπολογισμό των περιόδων κύματος.

Στον Πίνακα 4.1 δίνονται σχέσεις μεταξύ του $H_{1/3}$ και διάφορων άλλων υψών κύματος σε μία καταγραφή για μία ορισμένη ταχύτητα ανέμου :

Χαρακτηριστικό ύψος κύματος	1
Ύψος ημιτονοειδών κυμάτων με την ίδια ενέργεια	0.8
Ύψος κύματος ανυπέρβλητο κατά το 20% του χρόνου	0.9
Ύψος κύματος ανυπέρβλητο κατά το 10% του χρόνου	1.1
Ύψος κύματος ανυπέρβλητο κατά το 5% του χρόνου	1.2
Ύψος κύματος ανυπέρβλητο κατά το 3% του χρόνου	1.3
Ύψος κύματος ανυπέρβλητο κατά το 1% του χρόνου	1.6

Πίνακας 4.1 Λόγοι διαφόρων υψών προς το χαρακτηριστικό ύψος κύματος

Το πιο πιθανό μέγιστο ύψος H_{max} μεταξύ N κυμάτων δίνεται από τον τύπο :

$$H_{max} = H_{\frac{1}{3}} \left(\ln \frac{N}{2} \right)^{0.5}$$

Συχνά το ύψος $H_{1/3}$ εκφράζεται και σαν συνάρτηση του H_{rms} από τις παρακάτω σχέσεις:

$$H_{1/n} = H_{rms} \left\{ \sqrt{\ln N} + \frac{n}{2} \sqrt{\pi} (1 - erf \sqrt{\ln N}) \right\}$$

Έτσι πχ.

$$H_{1/3} = 1.41 H_{rms} \quad \text{για} \quad N=3$$

$$H_{1/10} = 1.80 H_{rms} \quad \text{για} \quad N=10$$

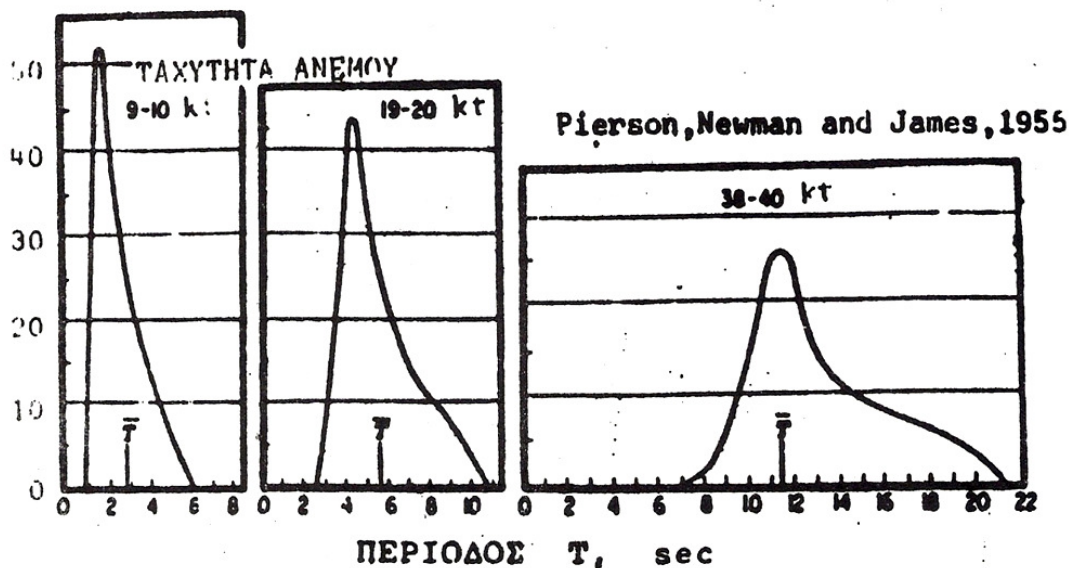
Ο Longuet-Higgins συνέταξε πίνακες για των υπολογισμό των μέσων τιμών E των πιο πιθανών τιμών μ λόγω H_{max} / H_{rms} σε συνάρτηση με τον αριθμό κυμάτων N (βλέπε πίνακα 4.2) σε μία καταγραφή για μία ορισμένη ταχύτητα ανέμου.

N	$E [H_{max} / H_{rms}]$	$\mu [H_{max} / H_{rms}]$
10	1.676	1.583
100	2.280	2.172
1000	2.738	2.642
10000	3.130	3.014
100000	3.478	3.400

4.1.2 Ανάλυση στην περιοχή των συχνοτήτων

4.1.2α Εισαγωγή στα φάσματα

Η πιο πρόσφατη τάση στις μεθοδολογίες περιγραφής μιας καταστάσεως διαταραχής της θαλάσσιας επιφάνειας χρησιμοποιεί τη φασματική ανάλυση. Προσδιορίζεται το φάσμα ενέργειας, που εκφράζει την κατανομή της ενέργειας των κυμάτων στις διάφορες περιόδους (και, κατ' επέκταση, συχνότητες). Σε μία ανεπτυγμένη θαλάσσια επιφάνεια συναντάται ένα ευρύ φάσμα περιόδων κύματος. Στην πλήρη ανάπτυξη κάθε περίοδος περιέχει το μέγιστο δυνατόν της ενέργειας. Στο σχήμα 4.5 διακρίνεται η αύξηση του φάσματος περιόδων με την ταχύτητα του πνέοντος ανέμου.



Σχήμα 4.5. Κατανομές περιόδων σε τρεις διαφορετικές ταχύτητες ανέμου

Θεωρητικά το φάσμα ενέργειας υπολογίζεται ως εξής :

Έστω $n(t)$ η συνεχής καμπύλη της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας,, όπως καταγράφηκε σε συνάρτηση με το χρόνο περί το χρονικό διάστημα D . Η μέση στάθμη της θάλασσας μπορεί να οριστεί είτε από την καμπύλη $n(t)$ είτε από τον πληθυσμό των N τιμών της $n(t)$ σε προκαθορισμένο χρονικό βήμα Δt , όπου $N \cdot \Delta t = D$:

$$\bar{n} = \frac{1}{D_0} \int_0^D n(t) dt$$

Ή

$$\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i$$

Αν θεωρηθεί ότι η καμπύλη $n(t)$ προέρχεται από μία στάσιμη τυχαία διαδικασία, η συνάρτηση διακυμάνσεως είναι :

$$\sigma^2 = \frac{1}{D_0} \int_0^D \{n(t) - \bar{n}\}^2 dt$$

Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης R ορίζεται ως εξής :

$$R(\tau) = \frac{1}{D_0} \int_0^D \{(n(t) - \bar{n})(n(t + \tau) - \bar{n})\} dt$$

Όπου τ είναι ένα βήμα χρόνου. Η συνάρτηση R χαρακτηρίζει τη σειρά n_i και δείχνει το βαθμό συσχετισμού μεταξύ διαδοχικών τιμών n . Χαρακτηριστικές τιμές της είναι οι δύο ακραίες περιπτώσεις :

- Σε περίπτωση τελείως τυχαίας διαδικασίας (λευκός θόρυβος), η R μετατρέπεται σε συνάρτηση δέλτα :

$$R(\tau) = 0 \quad \text{για } \tau \neq 0$$

$$R(\tau) \rightarrow \infty \quad \text{για } \tau = 0$$

- Σε περίπτωση περιοδικής αρμονικής καμπύλης $n(t)$, η R είναι επίσης περιοδική αρμονική :

$$R(\tau) = \frac{\alpha^2}{2} \cos \sigma \tau \quad \text{για } n(t) - \bar{n} = a \sin \sigma t$$

Τα πραγματικά θαλάσσια κύματα τοποθετούνται μεταξύ των δύο παραπάνω ακραίων περιπτώσεων.

Αν η f είναι η συχνότητα κύματος, ο μετασχηματισμός Fourier της συνάρτησης $R(t)$ οδηγεί στη συνάρτηση $S(f)$ στην περιοχή συχνοτήτων :

$$S(f) = \frac{2}{\pi} \int_0^{+\infty} R(\tau) \cos f\tau dt$$

Η συνάρτηση $S(f)$ ονομάζεται **συνάρτηση πυκνότητας φάσματος** ή πιο απλά **φάσμα ενέργειας** των απομακρύνσεων $\eta(t)$ της θαλάσσιας επιφάνειας. Περιγράφει την κατανομή της ενέργειας σε όλο το φάσμα συχνοτήτων f . Το εύρος τιμών f ορίζει το φασματικό εύρος :

- Στενό εύρος υποδηλώνει, ότι η διαδικασία έχει κάποια περιοδικότητα
- Το μονοχρωματικό κύμα έχει μία μόνο συχνότητα
- Ο λευκός θόρυβος έχει ένα πρακτικά άπειρο εύρος

Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζεται μία μορφή φάσματος από πειραματικές μετρήσεις του Kinsman(1965).

Ο προσδιορισμός της συναρτήσεως πυκνότητας ενέργειας φάσματος επιτρέπει τον υπολογισμό της ολικής ενέργειας E της καταστάσεως θαλάσσιας διαταραχής :

$$E = \int_0^{\infty} S(f)df (= \sigma^2)$$

Οι ροπές τάξεως 0 και n του φάσματος δίνονται από :

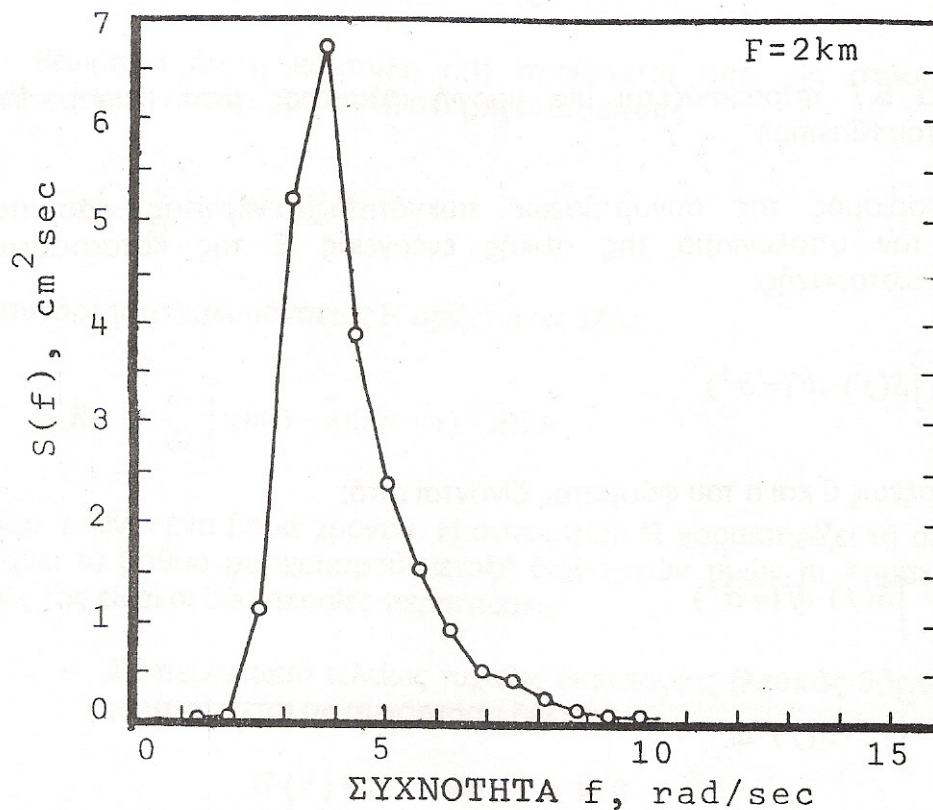
$$m_0 = \int_0^{\infty} S(f)df (= \sigma^2)$$

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f)df$$

Η παράμετρος φασματικού εύρους ϵ υπολογίζεται από τις ροπές

$$\varepsilon = \frac{m_0 m_4 - m_2^2}{m_0 m_4} \quad \text{ή} \quad \varepsilon^{1/2}$$

Η τιμή ε τείνει στη μονάδα, όταν αυξάνει το εύρος φάσματος. Εν γένει πάντως τα φάσματα κυμάτων έχουν μικρό εύρος συγκρινόμενα με τα φάσματα άλλων γεωφυσικών τυχαίων διαδικασιών.



Σχήμα 4.6. Φάσμα ενέργειας κυμάτων από μετρήσεις του Kinsman(1965)

4.1.2β Υπολογισμός φάσματος

Για τον προσδιορισμό του φάσματος χρησιμοποιούνται μέθοδοι χρονοσειρών. Η εφαρμογή τους στην ανάλυση πραγματικών κυματισμών βασίστηκε στην κλασική εργασία του Rice (1945) για την ανάλυση του θορύβου στην ηλεκτρονική, με πρωτοπόρο τον Longuet – Higgins(1956). Η τυχαία διαταραχή της θαλάσσιας επιφάνειας θεωρείται, ότι συντίθεται από μία απειροσειρά ανεξάρτητων μεταξύ τους ημιτονοειδών συνιστωσών, που μπορεί κατά συνέπεια να αναπαρασταθεί με μία σειρά Fourier :

$$n(t) = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \sin(\sigma_i t + \varphi_i)$$

Όπου a_n και φ_n είναι αντίστοιχα το εύρος ταλαντώσεως και η τυχαία διαφορά φάσεως. Η θεωρητική αυτή προσέγγιση είναι ικανοποιητική ιδιαίτερα στα βαθιά νερά, όπου τα ημιτονοειδή κύματα Airy αντιπροσωπεύουν ικανοποιητικά τα παρατηρούμενα κύματα, η κάθε συχνότητα κινείται ανεξάρτητα και ισχύει η αθροιστικότητα των χαρακτηριστικών, όπως η δυναμική ενέργεια :

$$E_p = \frac{1}{2} \rho g \int_0^T \{n(t)\}^2 dt = \sum_{i=1}^{\infty} E_{pi}$$

Η θαλάσσια επιφάνεια, όπως περιγράφεται από την παραπάνω σειρά Fourier, είναι Γκαουσιανή στοχαστική διαδικασία. Οι υπερυψώσεις της ελεύθερης επιφάνειας μετρημένες με σταθερό χρονικό βήμα (βλέπε σχήμα 4.3) κατανέμονται κανονικά. Τα ύψη κύματος κατανέμονται κατά Rayleigh :

$$p(x) = 2a^2 x \exp(-a^2 x^2)$$

Με

$$x = H_i / n_{rms} \quad , \quad a = \frac{1}{2\sqrt{2}} \quad , \quad H_s = 4n_{rms}$$

$$n_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n_i - \bar{n})^2} \quad , \quad \bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i$$

Η λοξότητα και η κυρτότητα είναι δείκτες της απομακρύνσεως της συναρτήσεως πυκνότητας φάσματος της n_i από την κανονική κατανομή.

$$\text{Ασυμμετρία} \quad \sqrt{\beta_1} = \frac{1}{n_{rms}^3} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (n_i - \bar{n})^3$$

$$\text{Κύρτωση} \quad \beta_2 = \frac{1}{n_{rms}^3} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (n_i - \bar{n})^4$$

Στην κανονική κατανομή : $\beta_1 = 0, \beta_2 = 3$

Η μέση τετραγωνική τιμή $\overline{n^2}$ της ελεύθερης επιφάνειας υπολογίζεται ως εξής :

$$\overline{n^2} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{\infty} \int_0^{\infty} a_i \sin^2(\sigma_i t + \varphi_i) dt = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{2} a_i^2$$

Οι τιμές των a_i υπολογίζονται με ανάλυση Fourier της μετρημένης χρονοσειράς τιμών η_i :

$$\frac{1}{T} \int_0^T a_i \sin^2(\sigma_i t + \varphi_i) dt = \frac{a_i}{2}$$

4.1.2γ Προσδιορισμός κυματικών παραμέτρων από τη φασματική ανάλυση

Το ύψος του χαρακτηριστικού κύματος του φάσματος υπολογίζεται κατά Longuet – Higgins από την ολική ενέργεια E του φάσματος :

$$H_s = 4 \left\{ \int_0^{\infty} S(f) dt \right\}^{1/2} = 4E^{1/2}$$

Οπότε

$$H_s = 4\sigma$$

$$H_s = 4m_0^{1/2}$$

Η τιμή του H_s συνδέεται με τα διάφορα ύψη κύματος $H_{1/n}$, H_{max} και \bar{H} σε περιπτώσεις στενών φασμάτων ($\varepsilon \ll 1$). Στον πίνακα 4.3 δίνονται οι τιμές των λόγων των διαφόρων υψών.

\bar{H} / H_s	0.62
H_{rms} / H_s	0.71
$H_{1/10} / H_s$	1.27
$H_{1/100} / H_s$	1.67
H_{max} / H_s	1.75

Πίνακας 4.3. Λόγοι διαφόρων στατιστικών υψών προς το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στενού φάσματος

4.1.2δ Χαρακτηριστικά της συνάρτησης φάσματος στα βαθιά νερά

Ιδιαίτερες προσπάθειες καταβάλλονται στα τελευταία χρόνια για τον προσδιορισμό με μετρήσεις των συναρτήσεων $S(f)$ σε διάφορες περιοχές της υδρογείου. Οι περισσότερες προσπάθειες συγκεντρώνονται στην περιοχή των βαθιών νερών, όπου η επίδραση του πυθμένα στη θαλάσσια επιφάνεια είναι μηδενική και κατά συνέπεια το φάσμα είναι κατ' αρχήν συνάρτηση μόνο των αναπτυγμάτων πελάγους και των πνεόντων ανέμων.

Έχουν προταθεί μέχρι σήμερα διάφορες μορφές συναρτήσεων $S(f)$. Οι πιο χαρακτηριστικές έχουν την παρακάτω μορφή :

$$S(f) = C_1 f^{-l} \exp(-C_2 f^{-n})$$

Όπου C_1 , C_2 , l και n είναι εμπειρικοί συντελεστές. Συνήθως η C_2 είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου U_y , σε στάθμη y . Η μέγιστη πυκνότητα ενέργειας βρίσκεται σε συχνότητα f_p . Συχνά οι συναρτήσεις πυκνότητας φάσματος δίνονται με μεταβλητή την $\sigma (= 2\pi f)$ αντί της f .

$$S(\sigma) = C_1 \sigma^{-l} \exp(-C_2 \sigma^{-n})$$

Στις υψηλές συχνότητες ο εκθετικός όρος στις παραπάνω εξισώσεις τείνει στη μονάδα. Παλαιότερα επικρατούσε η άποψη ότι σε αυτές τις περιοχές η S ήταν συνάρτηση της f^{-7} (Darbyshire) ή της f^{-6} (Neumann). Οι Rolland και Fischer τροποποίησαν τον εκθέτη σε -5 , τιμή που επιβεβαιώθηκε από πειραματικά και θεωρητικά αποτελέσματα του Phillips. Ο Phillips (1958) θεώρησε πρώτος, ότι στα φάσματα ανεμογενών κυμάτων βαρύτητας στα βαθιά νερά υπάρχει περιοχή συχνοτήτων, στην οποία η πυκνότητα ενέργειας έχει το παρακάτω άνω όριο. Το όριο τίθεται από τη θραύση των κυμάτων για περισσότερη ενέργεια :

$$S(f) = \frac{8.10 \cdot 10^{-3} g^2}{(2\pi)^4} f^{-5} \quad \text{για} \quad f_p \leq f \leq f_c$$

Όπου f_c η συχνότητα εμφάνισης κυμάτων επιφανειακής τάσεως. Πρόκειται για την περιοχή συχνοτήτων ισορροπίας ή περιοχή κορεσμού, που ορίζει την οριακή καμπυλότητα των κυμάτων, πάνω από την οποία επέρχεται θραύση. Κάθε πρόσθετη προσφορά ενέργειας στις συχνότητες αυτές καταναλώνεται στη θραύση και από τη μεταφορά σ' άλλες συχνότητες μέσω μηχανισμών διαχύσεως και αλληλεπίδρασης κυμάτων / κυμάτων. Κατά συνέπεια, η σχέση του Phillips περιγράφει τη σταθερή κατάσταση διαταραχής, που βρίσκεται προς τις υψηλότερες συχνότητες σε σχέση με το μέγιστο του φάσματος.

Όλες οι νεώτερες θεωρίες δέχονται τον εκθέτη -5. Στην περιοχή ισορροπίας το φάσμα είναι πλήρως ανεπτυγμένο. Στον πίνακα 4.4 δίνονται οι τιμές των $C_1, C_2, 1$ και η των εξισώσεων της S για ορισμένα φάσματα με ευρεία αποδοχή. Στα σχήματα 3 – 4 δίνονται γραφικές παραστάσεις των ιδίων φασμάτων.

Το φάσμα των Pierson – Moskowitz βασίστηκε σε πολλά δεδομένα από το NE Ατλαντικό Ωκεανό. Περιέχει την ίδια περιοχή συχνοτήτων ισορροπίας του Phillips, προς τα δεξιά της συχνότητας του μεγίστου φάσματος f_p . Το εμπρόσθιο μέτωπο του φάσματος αντιπροσωπεύεται από τον εκθετικό όρο. Πάντως πρόκειται πάλι για πλήρως αναπτυγμένη θαλάσσια διαταραχή.

Το φάσμα JONSWAP προτάθηκε από τους Hasselman et al., 1973, με βάση τα δεδομένα από το Joint North Sea Wave Program (JONSWAP) του 1969 στα δυτικά των ακτών της Δανίας. Πρόκειται για μία επέκταση του φάσματος Pierson – Moskowitz προς τις μερικά αναπτυγμένες θαλάσσιες διαταραχές, που εισάγονται με μία νέα παράμετρο – συνάρτηση του αναπτύγματος πελάγους X και της ταχύτητας U_{10} . Η νέα παράμετρος παρέχει τη δυνατότητα για στενότερα και πιο απότομα φάσματα, χαρακτηριστικά αύξουσας θαλάσσιας διαταραχής. Το φάσμα JONSWAP είναι σήμερα το πιο διαδεδομένο και χρησιμοποιούμενο.

Η περίοδος T_m του μεγίστου φάσματος δίνεται από :

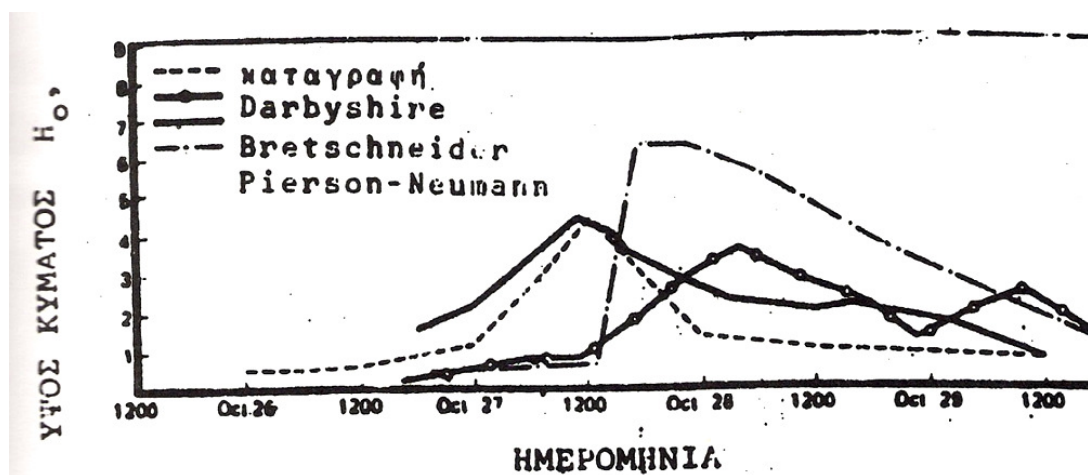
Pierson – Moskowitz $T_m = 0.785U_{10}$ (T σε sec, U_{10} σε m/sec)

JONSWAP $T_m = 0.605X^{0.33}U_{10}^{0.34}$ (X σε Km)

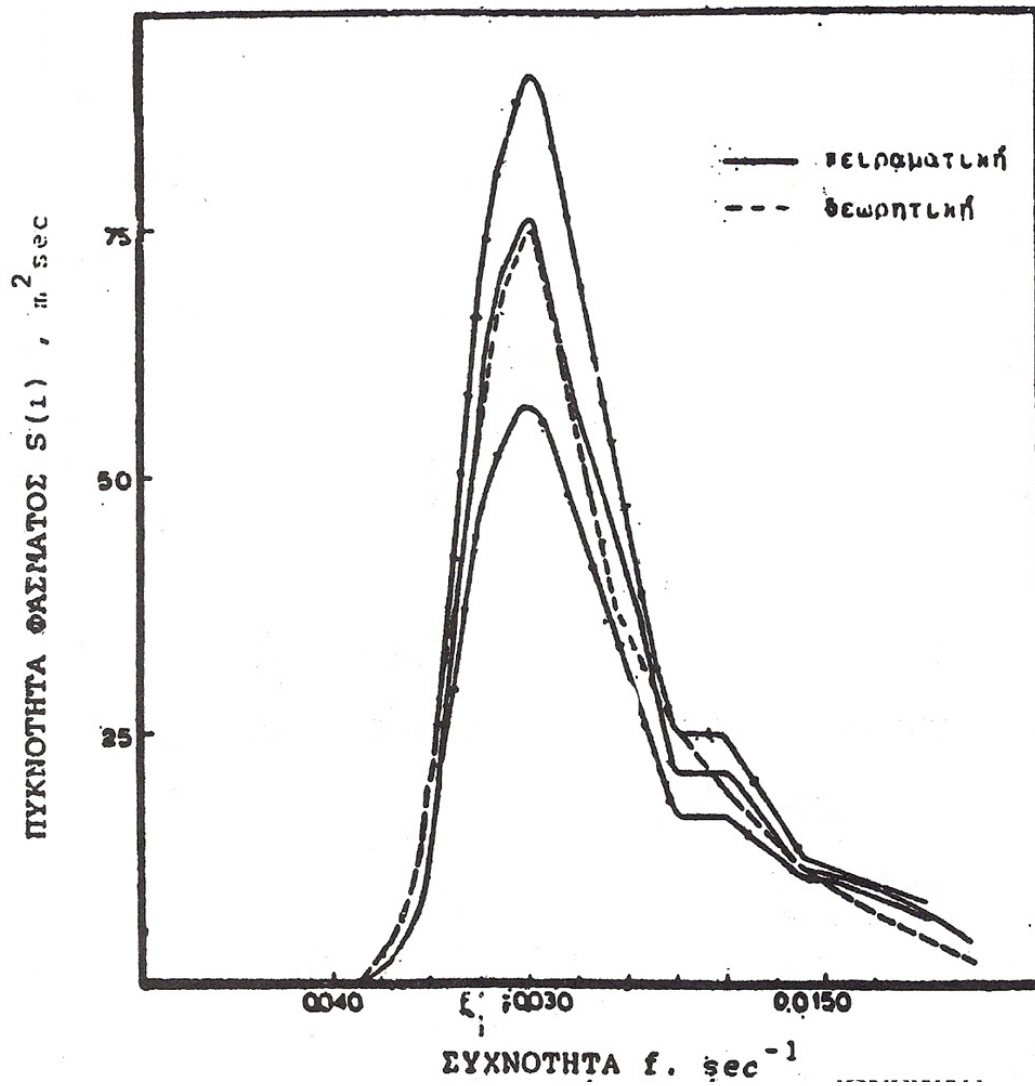
ΦΑΣΜΑ	C_1	C_2	1	n	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ
Phillips (1958)	$\frac{8.10 \times 10^{-3} g^2}{(2\pi)^4}$	0	5		
Phillips and Moskowitz (1964) (και Kitaigorodski)	$\frac{8.10 \times 10^{-3} g^2}{(2\pi)^4}$	$\frac{5}{4} f_p^4$	5	4	$f_p = 0.82 \frac{g}{2\pi U_{10}}$ ή $f_p = 0.877 \frac{g}{2\pi U_{19.5}}$
JONSWAP Όπως προτάθηκε από τους Hasselmann et. al. (1973)	$\frac{ag^2}{(2\pi)^4} \gamma^\gamma$	$\frac{5}{4} f_p^4$	5	4	$a = 0.076 \left(\frac{gX}{U_{10}^2}\right)^{-0.22}$ $q = \exp\left\{-\frac{(f - f_p)^2}{2s^2 f_p^2}\right\}$ $s = 0.07$ για $f < f_p$ $s = 0.09$ για $f > f_p$ $f_p = 3.5 \left(\frac{g}{U_{10}}\right) \left(\frac{gX}{U_{10}^2}\right)^{-0.33}$ $\gamma = 7 \left(\frac{gX}{U_{10}^2}\right)^{0.143}$

όπου X ανάπτυγμα πελάγους

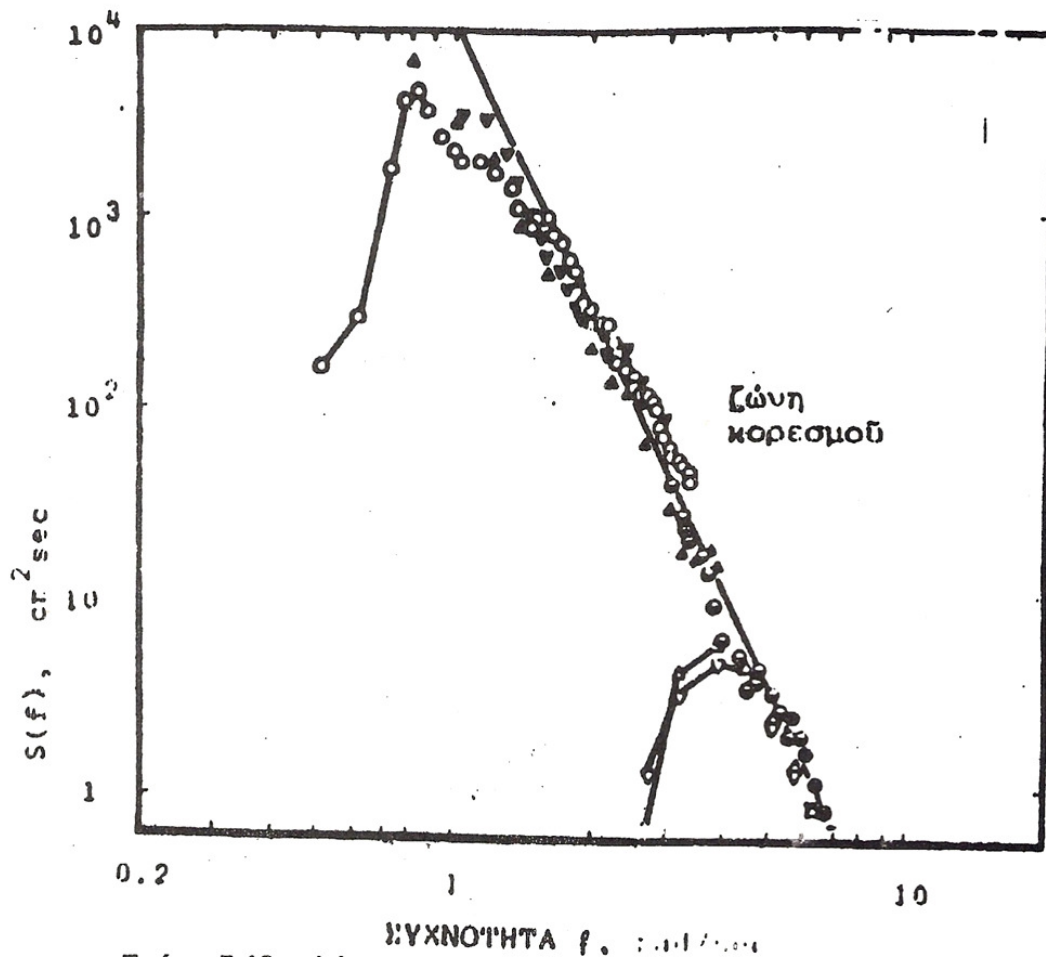
Πίνακας 4.4. Συντελεστές των σπουδαιότερων συναρτήσεων φάσματος



Σχήμα 4.7. Σύγκριση των υψών κύματος, όπως προβλέπονται από διάφορα μοντέλα και όπως καταγράφηκαν στο Pt. Arbuello, Ca



Σχήμα 4.8. Συνάρτηση πυκνότητας φάσματος JONSWAP



Σχήμα 4.9. Φάσμα και περιοχή κορεσμού φάσματος του Phillips

Από την ολοκλήρωση των διαφόρων συναρτήσεων πυκνότητας φάσματος προκύπτει το χαρακτηριστικό ύψος κύματος. Έτσι :

- Κατά Pierson – Moskowitz:

$$H_s = 2.47 \times 10^{-2} U_{10}^2 \quad (H_s \text{ σε m, } U \text{ σε m/sec})$$

ή

$$H_s = 2.14 \times 10^{-2} U_{19.5}^2 \quad (\text{δεδομένου ότι: } U_{10} = 0.93 U_{19.5})$$

- Κατά JONSWAP:

$$H_s = 2.013 \times 10^{-2} U_{10}^{0.90} X^{0.55} \quad (X \text{ σε km})$$

Το ύψος H_s σύμφωνα με άλλα φάσματα υπολογίζεται ως εξής:

Moskowitz	$H_s = 1.82 \times 10^{-2} U^2$	(H_s σε ft, U σε knots)
Darbyshire	$H_s = 1.33 \times 10^{-2} U^2$	“ “
SMB	$H_s = 2.33 \times 10^{-2} U^2$	“ “

4.2 Αξιοποίηση κυματικών δεδομένων από παρατηρήσεις πλοίων

Διαταραχές του πεδίου ατμοσφαιρικής πίεσεως αιτιολογούνται από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με την περιστροφή της γης. Είναι γνωστό ότι οι θάλασσες παρουσιάζουν θερμοχωρητικότητα αφού εκτός από την εξάτμιση η θερμότητα μεταφέρεται μέσα στην υδάτινη μάζα. Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας οι αέριες μάζες πάνω από τις υδάτινες επιφάνειες της γης παραμένουν σχετικά κρύες συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες που βρίσκονται πάνω από την ξηρά και οι οποίες θερμαίνονται περισσότερο. Λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα πάνω από την ξηρά η πυκνότητα του μειώνεται και αυτός κινείται προς τα υψηλότερα στρώματα με αποτέλεσμα ο ψυχρότερος αέρας πάνω από το νερό και άρα βαρύτερος να καταλαμβάνει τον διαθέσιμο από τον πρώτο χώρο. Με τον τρόπο αυτό παράγονται τα τοπικά παραλιακά ρεύματα γνωστά και ως θαλάσσιες αύρες. Το φαινόμενο αντιστρέφεται κατά τη διάρκεια της νύχτας επειδή η θερμοκρασία στην ξηρά μειώνεται ταχύτερα από αυτήν στο νερό και άρα ο βαρύτερος αέρας πάνω από την ξηρά κινείται προς την θάλασσα για να αναπληρώσει τον αέρα που ανυψώνεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η κίνηση αυτή του αέρα είναι γνωστή ως ηπειρωτική αύρα και η επίδρασή της εκτείνεται σε απόσταση από 50 χιλιόμετρα (μέσα γεωγραφικά πλάτη) έως 200 χιλιόμετρα (τροπική ζώνη) από τις ακτές.

Η κυκλοφορία των ανέμων στην ατμόσφαιρα επηρεάζεται και από την περιστροφή της γης. Για λόγους αδρανείας οι μετακινούμενες ψυχρές αέριες μάζες κοντά στην επιφάνεια της γης παρεκκλίνουν προς τα δυτικά, ενώ οι θερμότερες στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας μετακινούνται προς τα ανατολικά. Αυτό έχει σαν

αποτέλεσμα την κυκλοφορία των αέριων μαζών γύρω από τις περιοχές χαμηλής πίεσης κατά την φορά την αντίθετη των δεικτών του ωρολογίου στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ στο νότιο ημισφαίριο η κίνηση αυτή γίνεται κατά την φορά των δεικτών του ωρολογίου. Στην πραγματικότητα, η κυκλοφορία στο ατμοσφαιρικό πεδίο είναι σημαντικά συνθετότερη.

Γενικά, ο άνεμος κινείται από τις ζώνες υψηλής βαρομετρικής πίεσης προς τις ζώνες χαμηλής βαρομετρικής πίεσης και η κίνηση του επηρεάζεται από την περιστροφή της γης, ιδιαίτερα έντονα σε μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Αποτέλεσμα αυτής της επίδρασης είναι η μεταβολή διεύθυνσης του ανέμου από διεύθυνση κάθετη στις ισοβαρείς γραμμές σε διεύθυνση παράλληλη σε αυτές.

Η κατεύθυνση του πνέοντος ανέμου καθορίζεται κατά τρόπο ίδιο με την διεύθυνση προσανατολισμού (π. χ. ο άνεμος είναι νότιος όταν κινείται από το νότο). Η κίνηση και η κατεύθυνση του ανέμου παρακολουθείται και καταγράφεται συνεχώς από :

- Μετεωρολογικούς σταθμούς (από αριθμητική προσομοίωση)
- Σταθμοί ανώτερης ατμόσφαιρας, οι οποίοι χρησιμοποιούν ειδικό εξοπλισμό αισθητήρων που εξαπολύεται με μικρά αερόστατα (μπαλόνια) και επικοινωνεί με επίγεια συστήματα radar
- Απόσταση με radar ή lidar (Light Detection And Ranging)
- Πλοία εθελοντικής παρακολούθησης (Voluntary Observation Ships Vos) που διεξάγουν αντίστοιχες παρατηρήσεις με αυτές του δικτύου των σταθμών της επιφάνειας της γης με τη βοήθεια είτε οργάνων (ανεμόμετρων) είτε μέσω οπτικών παρατηρήσεων από εξειδικευμένο προσωπικό (κλίμακα Beaufort)
- Επιτόπιες μετρήσεις σε ωκεανογραφικούς μετρητικούς σταθμούς (ανεμόμετρα), σε εγκαταστάσεις εξόρυξης πετρελαίου, παρασυρόμενους πλωτήρες
- Πολιτικά αεροσκάφη που κατά τη διάρκεια των πτήσεων καταγράφουν με ειδικά όργανα άνεμο σε διάφορα ύψη
- Σύστημα δορυφόρων παρατήρησης που αποτελείται από Γεωστατικούς Δορυφόρους και Δορυφόρους πολιτικής τροχιάς
- Πλατφόρμες παρατήρησης όπως οι μετρητικές συσκευές για τις παλίρροιες, τα επίγεια συστήματα αισθητήρων για τη μέτρηση της κατακόρυφης κατανομής του ανέμου (wind profilers) και τα μετεωρολογικά RADAR

τεχνολογίας Doppler που εκτός από μετρήσεις υετού (υδρομετεώρων) παρέχει μετρήσεις ταχύτητας ανέμου. (Γεώργιος Σακελλαρίδης 2010)

Οι πρώτες κυματικές μετρήσεις ξεκίνησαν την δεκαετία του '70. Το κύριο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπισθεί ήταν η σχεδίαση, εγκατάσταση και λειτουργία πλωτών πλατφορμών εξόρυξης πετρελαίου στον κόλπο του Μεξικού.

Σαν συνέπεια τα είδη των κυματικών δεδομένων είναι :

- Επιτόπιες μετρήσεις με ποντισμένα όργανα (κυματογράφοι, πιεσόμετρα βυθού, συστήματα sonar ULS, Doppler current profiles, κτλ.)
- Δορυφορικές μετρήσεις
- Μετρήσεις με κοινά ναυτικά ραντάρ (από τη στεριά η από πλέοντα πλοία)
- Οπτικές παρατηρήσεις από εξειδικευμένο προσωπικό σε πλοία παρατήρησης (Voluntary Observation Ships VOS)
- Μέσω βιντεοκάμερας από την παράκτια ζώνη
- Από αριθμητική προσομοίωση (κυματικά μοντέλα)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν παρατηρήσεις από :

- Μετεωρολογικό σταθμό Μεθώνης, με χαρακτηριστικά σταθμού : γεωγραφικό πλάτος $36^{\circ} 50'$ Νότια, γεωγραφικό μήκος $21^{\circ} 42'$ Ανατολικά, καταγραφή δεδομένων από το 1956 – 1997, υψόμετρο βαρομέτρου στα 52,4 μέτρα και δύναμη ανέμου μετρούμενη σε κλίμακα Beaufort.
- Πλοία με χαρακτηριστικά : περιοχή πλεύσης πλοίων – γεωγραφικό πλάτος $36^{\circ} 00'$ έως $37^{\circ} 00'$, γεωγραφικό μήκος $21^{\circ} 00'$ έως $21^{\circ} 50'$, καταγραφή δεδομένων από το 1970 – 2008 και δύναμη ανέμου μετρούμενη σε m/sec. Εκτός από την ένταση ανέμου οι παρατηρήσεις των πλοίων παρέχουν και διάφορα κυματικά χαρακτηριστικά όπως H_s , T_p με τη μορφή χρονοσειρών.

Συγκρίνοντας τα δύο είδη δεδομένων για την ανοιχτή θάλασσα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι :

Οι επιτόπιες μετρήσεις από σταθμούς στην ξηρά εμφανίζουν σημαντικά υψηλή χρονική συχνότητα, αλλά περιορίζονται ιδιαίτερα στο χώρο. Χρησιμοποιούν ως

μονάδα μέτρησης την κλίμακα Beaufort η οποία προσδιορίζει την ταχύτητα του ανέμου δίνοντας για κάθε τιμή Beaufort ένα εύρος τιμών σε μονάδες μετατόπισης – χρόνου. Χρησιμοποιώντας την κλίμακα Beaufort δηλώνουμε την κατάσταση της θάλασσας όπως αυτή επηρεάζεται από τον άνεμο και μόνο. Έτσι γεννάτε το πρόβλημα χρήσεις της κλίμακας και των τιμών της (π.χ. στην ακτομηχανική χρησιμοποιούνται μέσες τιμές της κλίμακας ενώ για την κατασκευή παράκτιων – υπεράκτιων έργων χρησιμοποιούνται οι ακραίες τιμές).

Από την άλλη μεριά οι μετρήσεις από πλοία, αν και προσφέρουν μεγαλύτερη χωρική κάλυψη, χαρακτηρίζονται από χαμηλή χρονική συχνότητα και περιορισμό σε συγκεκριμένες πορείες (αποφεύγοντας όπου είναι δυνατό τις περιοχές με εντονότερες καιρικές συνθήκες).

Σε κάθε περίπτωση για τη βέλτιστη αξιοποίηση δεδομένων είναι απαραίτητη η συνδυασμένη χρήση τους.

5 Πρόβλεψη κυματισμών από διαθέσιμα ανεμολογικά δεδομένα

5.1 Εισαγωγή

Οι θαλάσσιοι επιφανειακοί κυματισμοί αποτελούν ένα από τα δυσκολότερα φαινόμενα σε ότι αφορά τη μέτρησή τους. Τα πρώτα κυματικά δεδομένα προερχόταν από οπτικές παρατηρήσεις για τις οποίες σήμερα υπάρχει μια τεράστια παγκόσμια βάση δεδομένων.

Ξεκινώντας με μερικά από τα κλασικά έργα του Kelvin (1887) και Helmholtz (1888). Το 1800 πολλοί επιστήμονες, μηχανικοί, μαθηματικοί έχουν εξετάσει διάφορες μορφές κίνησης του νερού κάτω από την αλληλεπίδραση του ανέμου. Στις αρχές της δεκαετίας του 1900, το έργο του Jeffreys (1924, 1925), υπέθεσε ότι τα κύματα δημιουργούν μια « προστατευτική ικανότητα » και, επομένως, δημιούργησε ένα θετικό μηχανισμό ανατροφοδότησης για τη μεταφορά ορμής στο πεδίο του κύματος από τον άνεμο. Ωστόσο, κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο η διαδικασία πρόβλεψης των κυματισμών άρχισε να γίνεται σημαντική. Κατά τη δεκαετία του 1940, μεγάλοι οργανισμοί παρατήρησης κυμάτων δημιουργήθηκαν και έβαλαν τις βάσεις για την εμπειρική πρόβλεψη των κυματισμών. Οι Sverdrup και Munk (1947, 1951) παρουσίασαν τις πρώτες τεκμηριωμένες σχέσεις μεταξύ των διάφορων κυματικών παραμέτρων με τις αντίστοιχες συνθήκες κύματος. Ο Beretschneider (1952) αναθεώρησε τις σχέσεις αυτές βασιζόμενος σε πρόσθετα αποδεικτικά στοιχεία, μέθοδοι που έχουν ενεργό χρήση ακόμη και σήμερα. Στη δεκαετία

του 1950, οι ερευνητές άρχισαν να κατανοούν ότι η διαδικασία γένεσης ενός κύματος ήταν καλύτερο να περιγραφεί ως 'ένα φασματικό φαινόμενο (π.χ. Pierson, Neumann, James (1955)). Εκείνη που μελετούσαν περισσότερο τη θεωρία άρχισαν να επανεξετάζουν τη διαδικασία γένεσης των κυμάτων, σε σχέση με το πώς η ενέργεια του ανέμου θα μπορούσε να αλληλεπιδράσει σε μία τυχαία θαλάσσια επιφάνεια. Σαν αποτέλεσμα οι, Phillips (1958) και Miles (1957) παρουσίασαν δύο θεωρίες που αποτελούσαν τον ακρογωνιαίο λίθο της κατανόησης της φυσικής παραγωγής των κυμάτων. Οι επόμενες προσπάθειες στον τομέα έγιναν από τους Snyder και Cox

(1966) και Snyder et al (1981), όπου υποστήριξαν τουλάχιστο τη λειτουργική μορφή της θεωρίας του Miles για τη μεταφορά της ενέργειας του ανέμου στα κύματα.

Από τις αρχές της δεκαετίας 1980, μια νέα κατηγορία μοντέλων έχει αρχίσει να ισχύει. Αυτή η νέα τάξη των μοντέλων έχει κλιθεί τρίτης γενιάς μοντέλα.

Οι πρώτες κυματικές μετρήσεις ξεκίνησαν την δεκαετία του '70. Το κύριο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπισθεί ήταν η σχεδίαση, εγκατάσταση και λειτουργία πλωτών πλατφορμών εξόρυξης πετρελαίου στον κόλπο του Μεξικού.

Σαν συνέπεια τα είδη των κυματικών δεδομένων είναι :

- Επιτόπιες μετρήσεις με ποντισμένα όργανα (κυματογράφοι, πιεσόμετρα βυθού, συστήματα sonar ULS, Doppler current profiles, κτλ.)
- Δορυφορικές μετρήσεις
- Μετρήσεις με κοινά ναυτικά ραντάρ (από τη στεριά η από πλέοντα πλοία)
- Οπτικές παρατηρήσεις από εξειδικευμένο προσωπικό σε πλοία παρατήρησης (Voluntary Observation Ships VOS)
- Μέσω βιντεοκάμερας από την παράκτια ζώνη
- Από αριθμητική προσομοίωση (κυματικά μοντέλα)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί σαν κυματικά-ανεμολογικά δεδομένα οπτικές παρατηρήσεις από πλέοντα πλοία και μετεωρολογικούς σταθμούς. Για την επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων διάφορα κυματικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν όπως CEM, φάσμα Jonswar, λογισμικό Υδρογνώμων.

Τα κυματικά μοντέλα περιγράφουν (προσομοιώνουν) και προβλέπουν (είτε προς το μέλλον είτε προς το παρελθόν) την εξέλιξη του φάσματος των κυματισμών στο χώρο και το χρόνο. Ξεκίνησαν από την ανάγκη μακροχρόνιων κυματικών δεδομένων με σκοπό τη μελέτη κατασκευών ανοιχτής θαλάσσης και παράκτιας ζώνης και την απαίτηση της επιχειρησιακής πρόγνωσης της κατάστασης θάλασσας.

5.2 Ανάπτυγμα πελάγους (Fetch)

Το ανάπτυγμα πελάγους είναι ένας σημαντικός παράγοντας στη γένεση και τα χαρακτηριστικά των κυμάτων. Παρά τη σπουδαιότητά του το “ ανάπτυγμα πελάγους “ είναι μια πολύ απλή έννοια. Στην πιο απλή του μορφή, το ανάπτυγμα πελάγους είναι ακριβώς το μέγιστο μήκος της επιφάνειας του νερού πάνω από το οποίο ο άνεμος μπορεί να φυσήξει.

Σχεδόν όλοι έχουν παρατηρήσει ότι όταν ο άνεμος φυσάει πάνω από μία ήρεμη επιφάνεια νερού θα δημιουργηθούν κυματισμοί στην επιφάνεια του. Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται από τον αέρα στην πραγματικότητα είναι μια μεταφορά ενέργειας από τον άνεμο στο νερό.

Σε γενικές γραμμές, (αγνοώντας τις πολύ χαμηλές ταχύτητες), το ποσό της ενέργειας που μεταφέρεται από τον αέρα στο νερό θα αυξάνεται ανάλογα με τη χρονική διάρκεια που ο άνεμος είναι σε θέση να φυσήξει πάνω στη επιφάνεια του νερού. Περισσότερη ενέργεια θα μεταφερθεί εάν ο άνεμος φυσήξει για μεγάλο χρονικό διάστημα πάνω από την επιφάνεια του νερού και λιγότερη ενέργεια θα μεταφέρεται όσο η διάρκεια πνοής του ανέμου μειώνεται.

Τι είναι όμως αυτό που καθορίζει το χρονικό διάστημα που ο άνεμος μπορεί να δημιουργήσει, χωρίς διακοπή, διαταραχή σε μία επιφάνεια νερού ; είναι λοιπόν το μήκος της επιφάνειας του νερού μεταξύ δύο διαδοχικών εμποδίων. Αυτό το μήκος της επιφάνειας νερού στην οποία ο άνεμος μπορεί να φυσήξει ανεμπόδιστα ονομάζεται ανάπτυγμα πελάγους. Για παράδειγμα σε μία λίμνη το ανάπτυγμα πελάγους θα είναι από τη μία ξηρά στην άλλη και για μία θάλασσα η ένα ωκεανό είναι ακριβώς η ίδια έννοια αλλά με πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις.

Ένα πολύ μικρό ανάπτυγμα πελάγους δεν είναι αρκετό για να κάνει τα μεγάλα κύματα να αναπτυχθούν στην επιφάνεια του νερού. Σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί να δημιουργηθεί ένα τεράστιο κύμα σε ένα πολύ μικρό ανάπτυγμα πελάγους ανεξάρτητα το πόσο βαθιά είναι τα νερά.

Είναι πολύ σημαντική η γνώση ότι το ανάπτυγμα πελάγους είναι το μέγιστο μήκος της ελεύθερης επιφάνειας νερού πάνω από το οποίο ο άνεμος μπορεί να φυσήξει

ανεμπόδιστα. Το ανάπτυγμα πελάγους μαζί με την ταχύτητα του ανέμου (ή δύναμη) καθορίζουν το πόσο μεγάλο θα είναι ένα κύμα. Έτσι το ανάπτυγμα πελάγους καθορίζει τη δύναμη και την ενέργεια των κυμάτων. Επιπλέον, εάν οι άνεμοι φυσούν προς την ίδια κατεύθυνση κατά τη διάρκεια εξέλιξης του κυματισμού, το κύμα θα είναι με τη σειρά του ισχυρότερο. Όσο περισσότερο ο άνεμος φυσά κατά μήκος της θάλασσας τόσο περισσότερη ενέργεια θα μεταφέρεται.

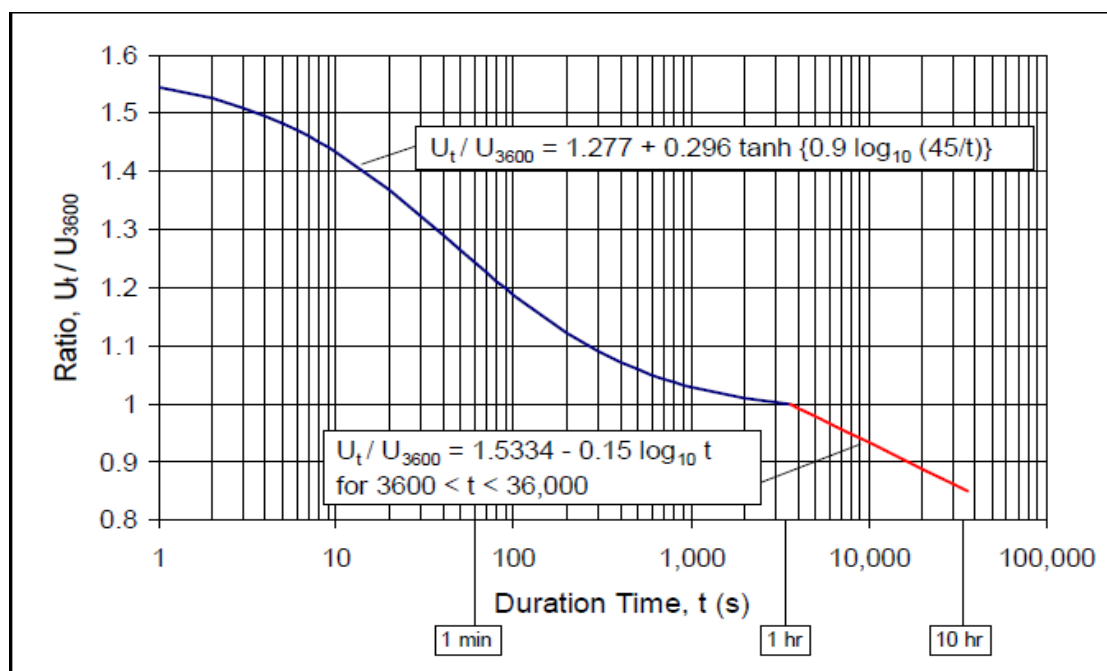
5.3 Χαρακτηριστικά ανέμων στον υπολογισμό των κυματισμών

Οι άνεμοι σε οποιοδήποτε σημείο της γης παρουσιάζουν μία επαλληλία των διαφόρων ατμοσφαιρικών κλιμάκων της κίνησης, όλες αλληλεπιδρούν για να παράγουν τοπικά καιρικά φαινόμενα. Κάθε κλίμακα παίζει συγκεκριμένο ρόλο στη μεταφορά ορμής στην ατμόσφαιρα. Λόγω του συνδυασμού των διαφορετικών κλιμάκων των κινήσεων, οι άνεμοι είναι σπάνια, αν όχι ποτέ, σταθεροί για κάθε παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Εξαιτίας αυτού, είναι σημαντικό να δημιουργούνται μέσοι όροι ταχυτήτων. Για παράδειγμα, ορισμένοι άνεμοι αντιπροσωπεύουν «ταχύτερα χιλιόμετρα», άλλοι αποτελούν το μέσο όρο πάνω από μικρά χρονικά διαστήματα (συνήθως 1 έως 30 λεπτά), και σύμφωνα με ορισμένες εκτιμήσεις (όπως αυτές που προέρχονται από συνοπτικά πεδία πίεσης) μπορεί να παρουσιάζουν μέσους ανέμους πάνω από διαστήματα αρκετών ωρών. Η εκτίμηση του σχεδιασμού και του προγραμματισμού απαιτεί διαφορετικούς μέσους όρους για διάφορους σκοπούς. Μεμονωμένες ριπές μπορούν να συμβάλουν στην αστοχία ορισμένων μικρών δομών ή ορισμένων διαρθρωτικών στοιχείων σε μεγαλύτερα έργα. Για τις λοιπές δομές, ενός λεπτού (η και παραπάνω) μέσων ταχυτήτων ανέμου, μπορεί να είναι πιο σχετικές με τις κρίσιμες διαρθρωτικές δυνάμεις.

Για την εκτίμηση κυμάτων σε υδάτινα σώματα διαφορετικών μεγεθών, διαφορετικά διαστήματα κατά μέσο όρο μπορεί να είναι κατάλληλα. Σε μικρές λίμνες η σε ποτάμιες περιοχές, ταχύτητες ανέμου διάρκειας 1 – 5 λεπτών μπορεί να είναι το μόνο που απαιτείται για να επιτευχθεί κατάσταση περιορισμένου αναπτύγματος πελάγους.

Στην περίπτωση αυτή ο γρηγορότερος άνεμος που εμφανίζεται στο διάστημα από 1 – 5 λεπτά θα παράγει και το μεγαλύτερο κυματισμό, και σαν αποτέλεσμα να είναι κατάλληλη η επιλογή του για την εκτίμηση του σχεδιασμού και του προγραμματισμού. Σε μεγάλες λίμνες και θαλάσσιες περιοχές, η διαδικασία δημιουργίας κυματισμών τείνει να ανταποκρίνεται στο μέσο όρο ανέμων πάνω από 15 έως 30 λεπτά. Κατά συνέπεια, είναι πολύ σημαντικό σε όλες τις διαδικασίες να αναγνωρίζονται και να χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι μέσοι όροι διαστημάτων για όλα τα στοιχεία του ανέμου.

Το σχήμα 5.1 δείχνει την συσχέτιση ανέμων διάρκειας t και διάρκειας 1 ώρας. Η σωστή εφαρμογή του σχήματος 5.1 θα γίνεται προς μετατροπή ακραίων εκτιμήσεων ταχυτήτων ανέμων από το ένα κατά μέσο όρο χρονικό διάστημα στο άλλο. Για παράδειγμα, αυτό το γράφημα δείχνει ότι μία ακραία ταχύτητα 100 δευτερολέπτων αναμένεται να είναι 1,2 φορές μεγαλύτερη από μία ακραία ταχύτητα ανέμου διάρκειας 1 ώρας. Αυτό σημαίνει ότι η μέγιστη ταχύτητα ανέμου κατά μέσο όρο των 36 δειγμάτων διάρκειας 100 δευτερολέπτων αναμένεται να είναι 1,2 φορές υψηλότερη από το μέσο όρο για τα 36 δείγματα που προστίθενται μαζί.



Σχήμα 5.1. Σχήμα που δίνει την ταχύτητα, οποιασδήποτε ταχύτητας U_t συναρτήσει της ταχύτητας διάρκειας 1 ώρας U_{3600} .

Μια άλλη τοπική διεργασία που επηρεάζει την ταχύτητα του ανέμου είναι η ροή του αέρα που προκαλείται από τις διαφορές των επιφανειακών θερμοκρασιών και τη ροή της θερμότητας μεταξύ γης και νερού. Οι θερμοκρασίες της γης αλλάζουν σε ημερήσιο κύκλο, ενώ η θερμοκρασίες του νερού παραμένουν σχετικά σταθερές. Αυτό οδηγεί σε μία αύρα της θάλασσας, με ημερήσιο κύκλο. Η υπεράκτια έκταση της θαλάσσιας αύρας είναι περίπου 10 -20 χιλιόμετρα με ταχύτητες ανέμου μικρότερες των 10 m/sec. Κάτι που σε αυτή τη διπλωματική εργασία δεν λαμβάνεται στα υπόψη καθώς η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αέρα και θάλασσας μπορεί να επηρεάσει σημαντικά ανέμους με χαμηλό και μέτριο προφίλ αλλά σε ανέμους υψηλών ταχυτήτων έχει πολύ μικρή επίδραση (της τάξεως του 5 %) στο σχεδιασμό και προγραμματισμό.

Τρεις μέθοδοι χρησιμοποιούνται συνήθως για την εκτίμηση επιφανειακών θαλάσσιων πεδίων ανέμου. Η πρώτη από αυτές, την εκτίμηση των ανέμων από κοντινές μετρήσεις, έχει την έφεση της απλότητας και έχει αποδειχθεί ότι λειτουργεί καλά για τα υδατικά συστήματα μέσα από το μέγεθος των Μεγάλων Λιμνών. Για να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος, είναι συχνά αναγκαία η μεταφορά των μετρήσεων σε διαφορετικές θέσεις (για παράδειγμα από χερσαίες σε θαλάσσιες) και διαφορετικά υψόμετρα. Τέτοιες επιπλοκές απαιτούν την εξέταση των δεδομένων των παρακάτω παραγόντων.

Συχνά άνεμοι που λαμβάνονται από διάφορες παρατηρήσεις (πλοία, θαλάσσιες εξέδρες, υπεράκτιες κατασκευές, σημαντήρες, αεροσκάφη κτλ.) δεν συμπίπτουν με το πρότυπο 10 μέτρα επίπεδο αναφοράς. Πρέπει λοιπόν να μετατραπούν σε επίπεδο αναφοράς των 10 μέτρων για την πρόβλεψη κυματισμών, ρευμάτων και άλλων ανεμογενών φαινομένων. Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να επαρθούν εξαιρετικά μεγάλα σφάλματα. Για την περίπτωση ανέμων που λαμβάνουν σχεδόν ουδέτερο περιβάλλον σε ένα επίπεδο κοντά στα 10 μέτρα η '1/7' κανόνας μπορεί να εφαρμοστεί.

$$U_{10}/U_z = \left(\frac{10}{z}\right)^{\frac{1}{7}}$$

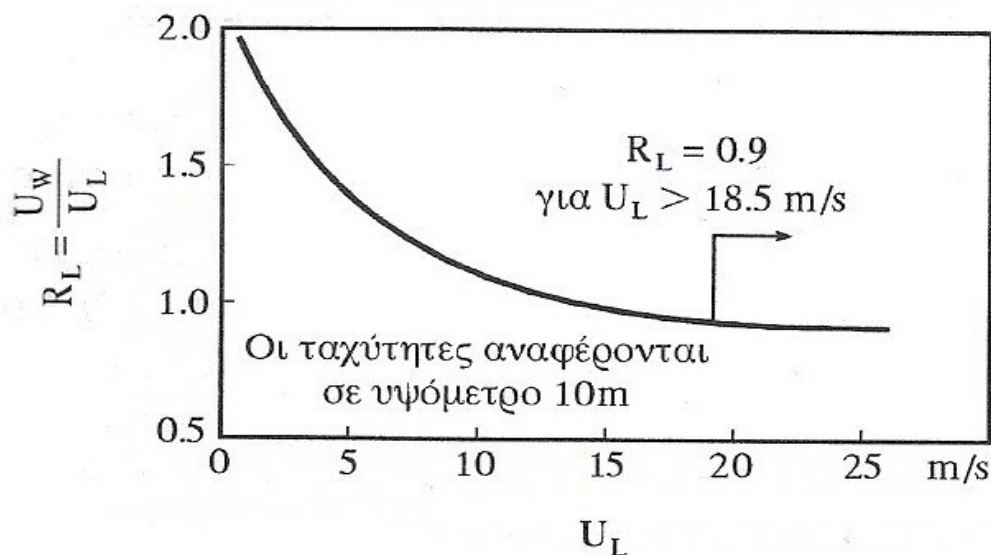
Όπου U_{10} η ταχύτητα σε ύψος 10 μέτρων

U_z η ταχύτητα σε ύψος z

z το ύψος σε μέτρα.

Ο ημιεμπειρικός αυτός νόμος βασίζεται στον παγκόσμια νόμο κατανομής της ταχύτητας των Prandtl – Karman και αναφέρεται, για την τιμή '1/7' του εκθέτη που δίδεται στην παραπάνω σχέση, στο οριακό στρώμα επάνω από την ανοικτή θάλασσα.

Κατά σύμβαση τα ανεμόμετρα των μετεωρολογικών σταθμών μετρούν την ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Λόγω της διαφορετικής τραχύτητας που συναντά η πνοή του ανέμου πάνω από την επιφάνεια του εδάφους από αυτήν πάνω από την θάλασσα απαιτείται να γίνει διόρθωση των μετρήσεων πάνω από το έδαφος εάν επιθυμούμε να εκτιμήσουμε τις αντίστοιχες τιμές έντασης επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Αυτό μπορεί να γίνει με χρήση του ακόλουθου διαγράμματος. Ο συντελεστής R_L είναι ο λόγος της ταχύτητας επάνω από τη θάλασσα ως προς την ταχύτητα επάνω από τη στεριά.



Σχήμα 5.2. Αναγωγή ταχύτητας ανέμου για συνθήκες πνοής επάνω από τη θάλασσα.

(Κ.Μέμος,2008)

5.4 Κυματικό μοντέλο CEM (Coastal Engineering Manual)

Στο μοντέλο CEM για τα βαθιά νερά καθορίζονται τρεις περιπτώσεις στις οποίες απλουστευμένες μέθοδοι πρόβλεψης κυματισμού μπορούν να προσφέρουν ακριβείς εκτιμήσεις των κυματικών συνθηκών. Η πρώτη από αυτές εμφανίζεται όταν ο άνεμος φυσά, με σταθερή διεύθυνση, για επαρκές χρονικό διάστημα με σκοπό την επίτευξη μιας σταθερής κατάστασης, η οποία μπορεί να ονομαστεί περιορισμένη ως προς το ανάπτυγμα πελάγους. Η δεύτερη εξιδανικευμένη κατάσταση εμφανίζεται όταν ο άνεμος αυξάνει πολύ γρήγορα μέσα στο χρόνο και δεν υπάρχουν φυσικά εμπόδια να περιορίσουν αυτή την ανάπτυξη. Στην περίπτωση αυτή, η κυματική ανάπτυξη μπορεί να ονομαστεί και σαν χρονικά περιορισμένη. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο όρος αυτός σπάνια συναντάται στη φύση ως εκ τούτου, η τεχνική αυτή πρόβλεψης θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο με μεγάλη προσοχή. Η Τρίτη κατάσταση που μπορεί να αντιμετωπισθεί μέσω απλουστευμένων μεθόδων πρόβλεψης είναι σε ένα πλήρως ανεπτυγμένο ύψος κύματος. Η γνώση του πλήρως ανεπτυγμένου ύψους κύματος μπορεί να παράσχει πολύτιμα ανώτατα όρια για ορισμένους σχεδιασμούς. Ωστόσο στον ανοιχτό ωκεανό τα κύματα σπάνια περιορίζονται σε ανώτατα όρια περιοριστικού ύψους κύματος για ανέμους άνω των 50 knots.

Για τον υπολογισμό των μέγιστων υψών κυμάτων με τη μέθοδο CEM χρησιμοποιούνται οι τύποι :

$$t_{x,u} = 77,23 \frac{X^{0,67}}{u^{0,34} g^{0,33}}$$

Όπου

$t_{x,u}$ = χρόνος που απαιτείται για τους κυματισμούς να διανύσουν ένα ενεργό ανάπτυγμα πελάγους x , κάτω από την επίδραση ανέμου ταχύτητας u έτσι ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες περιορισμένου αναπτύγματος πελάγους.

Οι εξισώσεις που διέπουν την ανάπτυξη των κυματισμών με το ανάπτυγμα πελάγους είναι :

$$\frac{gH_{m_0}}{u_*^2} = 4,13 * 10^{-2} * \left(\frac{gX}{u_*^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{gT_p}{u_*} = 0,751 * \left(\frac{gX}{u_*^2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_D = \frac{u_*^2}{U_{10}^2}$$

$$C_D = 0,001(1,1 + 0,035U_{10})$$

Όπου

X = ανάπτυγμα πελάγους σε ευθεία γραμμή (m)

H_{m_0} = ενέργεια βασισμένη στο ύψος κύματος (m)

C_D = συντελεστής

U_{10}

= ταχύτητα ανέμου στα 10 μέτρα απο την επιφάνεια της θάλασσας (m/sec)

u_* = ταχύτητα τριβής (m/sec)

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ταχύτητες από το μετεωρολογικό σταθμό της Μεθώνης καθώς και οι ταχύτητες από τις παρατηρήσεις των πλοίων έχουν μετατραπεί σε ταχύτητες στα 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας πριν γίνει ο υπολογισμός των μέγιστων κυματισμών για την περιοχή μελέτης.

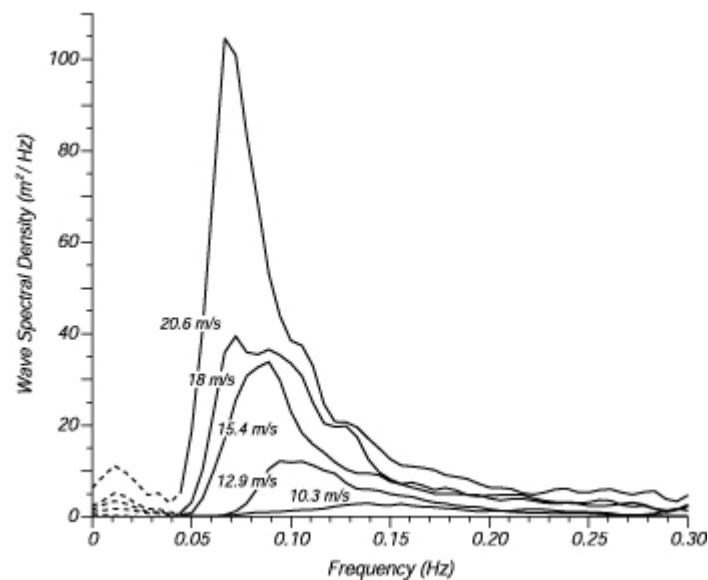
Για να περιληφθεί η μη γραμμική σχέση της ταχύτητας του ανέμου και της διατμητικής τάσης που εξασκείται στην επιφάνεια, χρησιμοποιείται η ρυθμισμένη ταχύτητα U , όπου

$$U = 0,71 * U_{10}^{1,23}$$

5.5 Φάσματα

Φάσμα Pierson-Moskowitz

Διάφορα εξιδανικευμένα φάσματα χρησιμοποιούνται για να απαντήσουν το ερώτημα της ωκεανογραφίας και της μηχανικής των ωκεανών. Ίσως το πιο απλό είναι αυτό που προτείνεται από τους Pierson και Moskowitz (1964). Είναι δεδομένο ότι, αν ο άνεμος φυσήξει σταθερά για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μεγάλη έκταση, τα κύματα θα έρθουν σε ισορροπία με τον άνεμο. Αυτή είναι η έννοια μιας πλήρως ανεπτυγμένης θάλασσας (μια θάλασσα που παράγεται από ανέμους που πνέουν σταθερά πάνω από εκατοντάδες μίλια μακριά για αρκετές ημέρες).



Σχήμα 5.3. Σε δεδομένες συνθήκες πνοής στην ενεργό περιοχή ανάπτυξης υπάρχει οριακή τιμή του $H_{1/3} / T_p$

Για να δημιουργηθεί ένα φάσμα μίας πλήρως ανεπτυγμένης θάλασσας, χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις κυμάτων που πραγματοποιήθηκαν από

επιταχυνσιόμετρα στα βρετανικά πλοία στο Βόρειο Ατλαντικό. Πρώτον, χρησιμοποιούνται επιλεγμένα δεδομένα κύματος για τις φορές εκείνες που ο άνεμος φυσάει σταθερά για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μεγάλες περιοχές του Βορείου Ατλαντικού. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα φάσματα κύματος για διάφορες ταχύτητες ανέμου, και βρέθηκε ότι τα φάσματα ήταν της μορφής

$$S_{(\omega)} = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} \exp\left(-\beta \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^4\right)$$

Όπου

$$\omega = 2\pi f$$

f είναι η συχνότητα των κυμάτων σε Hertz,

$$\alpha = 8.1 * 10^{-3}$$

$$\beta = 0,74$$

$$\omega_0 = \frac{g}{U_{19,5}}$$

$U_{19,5}$ είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 19,5 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας

Για τα περισσότερα η πνοή του ανέμου πάνω από τη θάλασσα του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος έχει σχεδόν ουδέτερη σταθερότητα, και

$$U_{19,5} = 1,026U_{10}$$

Υποθέτοντας συντελεστή οπισθέλκουσας $1,3 * 10^{-3}$

Η συχνότητα της κορυφής των Pierson – Moskowitz υπολογίζεται από την επίλυση της $\frac{dS}{d\omega} = 0$ με αποτέλεσμα την

$$\omega_p = \frac{0,877g}{U_{19,5}}$$

Η οριακή ταχύτητα των κυμάτων κατά τις ώρες αιχμής είναι

$$c_p = \frac{g}{\omega_p} = 1,14U_{19,5} = 1,17U_{10}$$

Για αυτό και τα κύματα με δείκτη p και συχνότητα ω ταξιδεύουν 14 % γρηγορότερα από τον άνεμο σε ύψος 19,5 μέτρα ή 17 % ταχύτερα από τον άνεμο σε ύψος 10 μέτρων.

Το ύψος κύματος υπολογίζεται από την ολοκλήρωση της $S(\omega)$ για την απόκτηση

$$\langle \zeta^2 \rangle = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega = 2,74 * 10^{-3} \frac{U_{10,5}^4}{g^2}$$

Έτσι το ύψος κύματος υπολογίζεται από το φάσμα Pierson – Moskowitz και είναι

$$H_{1/3} = 0,21 \frac{U_{19,5}^2}{g} = 0,22 \frac{U_{10}^2}{g}$$

Η πρακτική ανάλυση των κυμάτων χρησιμοποιεί τη συχνότητα f αντί της γωνιακής συχνότητας ω . Αν έχουμε ένα φάσμα συχνοτήτων $S(\omega)$ τότε η αντιστοίχιση του φάσματος συχνοτήτων $S(f)$ θα είναι

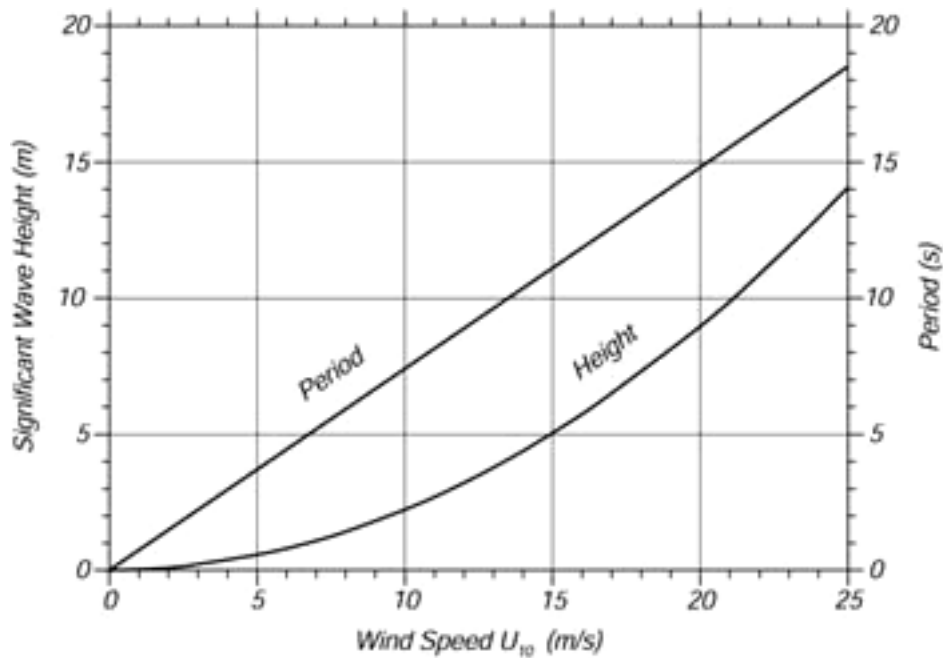
$$S(f) = S(2\pi f) \frac{d\omega}{df} = 2\pi S(2\pi f)$$

Για πρακτικούς λόγους, έχει επίσης καταστεί πρότυπο για ότι αφορά τις μεταβλητές με τις διάφορες παραμέτρους που δείχνουν την κατάσταση της θάλασσας και όχι την ταχύτητα του ανέμου, να χρησιμοποιηθούν ελαφρώς διαφορετικές τιμές, έτσι ώστε το φάσμα Pierson – Moskowitz μπορεί να εκφραστεί ως

$$S(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{f_m}{f}\right)^4\right)$$

Όπου α είναι η σταθερά του Philips και f_m είναι η μέγιστη συχνότητα.

Το σχήμα 5.4 δίνει το ύψος κύματος και τις περιόδους που υπολογίζονται από το φάσμα Pierson – Moskowitz.



Σχήμα 5.4. Ύψος κύματος και περίοδος στην κορυφή του φάσματος μιας πλήρως ανεπτυγμένης θάλασσας όπου υπολογίζονται από το φάσμα Pierson – Moskowitz.

Φάσμα JONSWAP

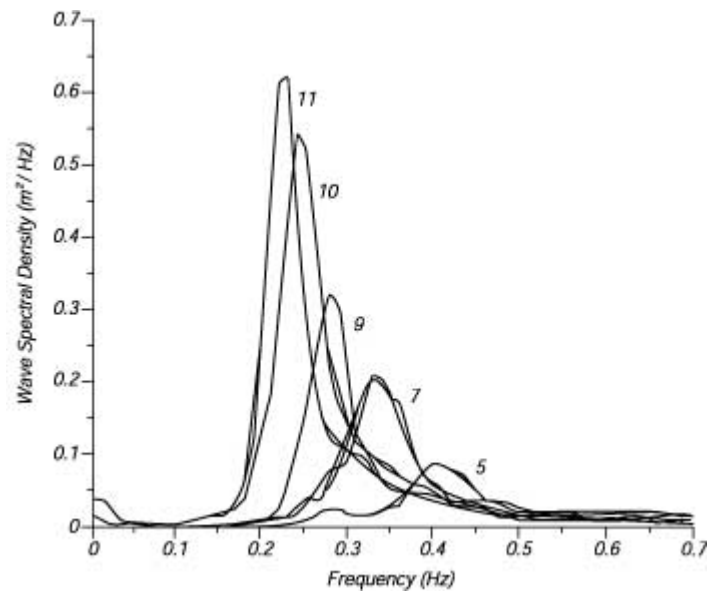
Το φάσμα Jonswar όπου μετά από ανάλυση δεδομένων που συλλέχθηκαν από το πρόγραμμα παρατήρησης κυμάτων Jonswar στη Βόρειο θάλασσα, διαπιστώθηκε ότι το φάσμα κύματος ποτέ δεν έχει πλήρως αναπτυχθεί. Συνεχίζει να αναπτύσσεται μέσω μη γραμμικών, αλληλεπιδράσεων κύματος – κύματος, ακόμη και για πολύ μεγάλους χρόνους και αποστάσεις. Ως αποτέλεσμα ένας επιπλέον παράγοντας προστέθηκε στο φάσμα Pierson – Moskowitz, προκειμένου να βελτιωθεί η θέση των μετρήσεων. Το φάσμα Jonswar είναι επομένως ένα φάσμα Pierson – Moskowitz πολλαπλασιασμένο με ένα επιπλέον παράγοντα γ ενισχυμένο με τον παράγοντα r

$$S(\omega) = \frac{ag^2}{\omega^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^4\right] \gamma^r$$

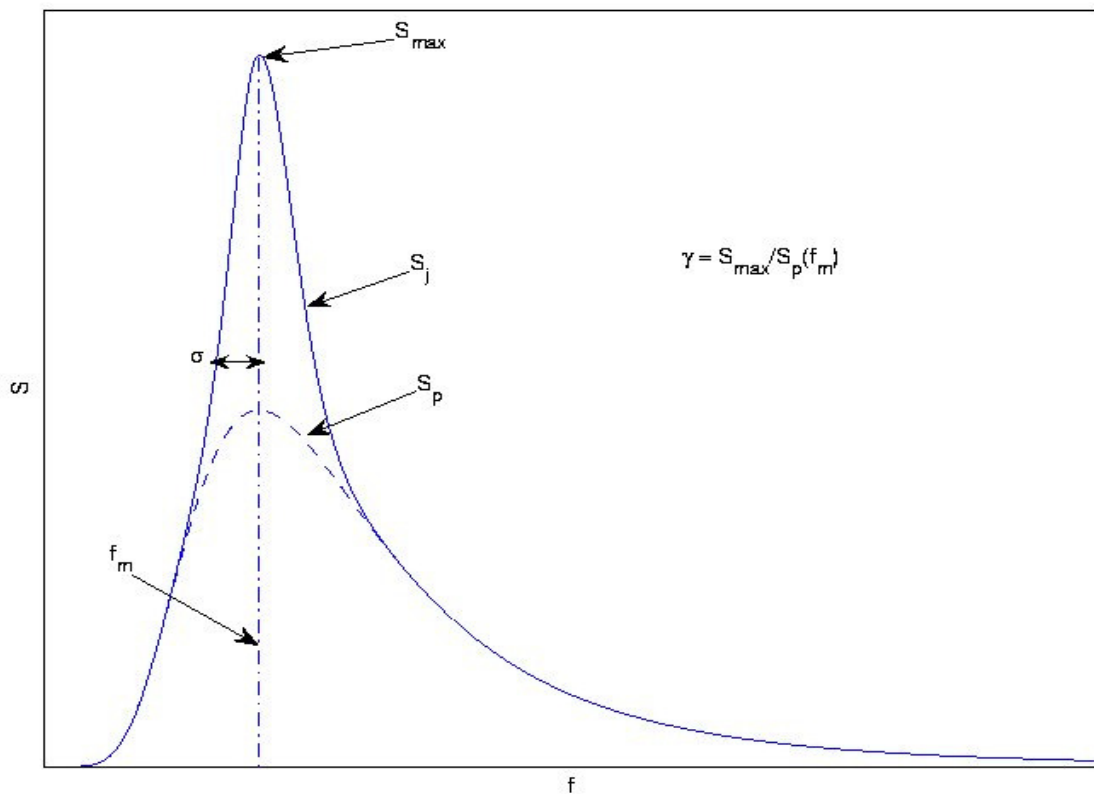
$$r = \exp\left[-\frac{(\omega - \omega_p)^2}{2\sigma^2\omega_p^2}\right]$$

$$S_j(f) = S_p(f)\gamma^r$$

$$r = \exp\left[-\frac{(f - f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2}\right]$$



Σχήμα 5.5. Φάσματα κύματος μιας αναπτυσσόμενης θάλασσας για διαφορετικά αναπτύγματα πελάγους σύμφωνα με τον Hasselmann et al. 1973



Σχήμα 5.6. Παρουσιάζει μια σύγκριση των φασμάτων JONSWAP και Pierson – Moskowitz

Κυματικά στοιχεία που συγκεντρώθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος Jonswar χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό των τιμών στις σταθερές των παραπάνω εξισώσεων.

$$\omega_p = 22 \left(\frac{g^2}{U_{10} F} \right)^{1/3}$$

$$\gamma = 3.3$$

$$\sigma = \begin{cases} 0.07 & \omega \leq \omega_p \\ 0.09 & \omega > \omega_p \end{cases}$$

Όπου F είναι η απόσταση από μία υπήνεμο ακτή, το οποίο ονομάζεται ανάπτυγμα πελάγους, ή η απόσταση όπου ο άνεμος φυσά με σταθερή ταχύτητα.

Η ενέργεια των κυμάτων αυξάνεται με ευρύτητα

$$\langle \zeta^2 \rangle = 1.67 * 10^{-7} \frac{(U_{10})^2}{g} x$$

Για τον υπολογισμό των κυματισμών με τη μέθοδο του Jonswar χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω σχέσεις (έχοντας γνωστό το ανάπτυγμα πελάγους)

$$\tilde{x} = \frac{gx}{U^2}$$

$$\tilde{t}_{min} = 63,8 * \tilde{x}^{0,7}$$

$$\tilde{f}_p = 2,84 * \tilde{x}^{-0,3}, \quad f_p = \frac{g\tilde{f}_p}{U}, \quad T = \frac{1}{f_p}$$

$$\tilde{H} = 1,65 * 10^{-3} \tilde{x}^{0,7}, \quad H = \frac{\tilde{H}U^2}{g}, \quad H_s = H$$

(Για τους ορισμούς βλέπε κεφάλαιο 2.)

6 Περιοχές μελέτης

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση των περιοχών μελέτης. Δίδονται τα γεωγραφικά τους χαρακτηριστικά, όπως η γεωγραφική τους θέση και τα αναπτύγματα πελάγους τους, καθώς και τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων παρατηρήσεων στην κάθε περιοχή.

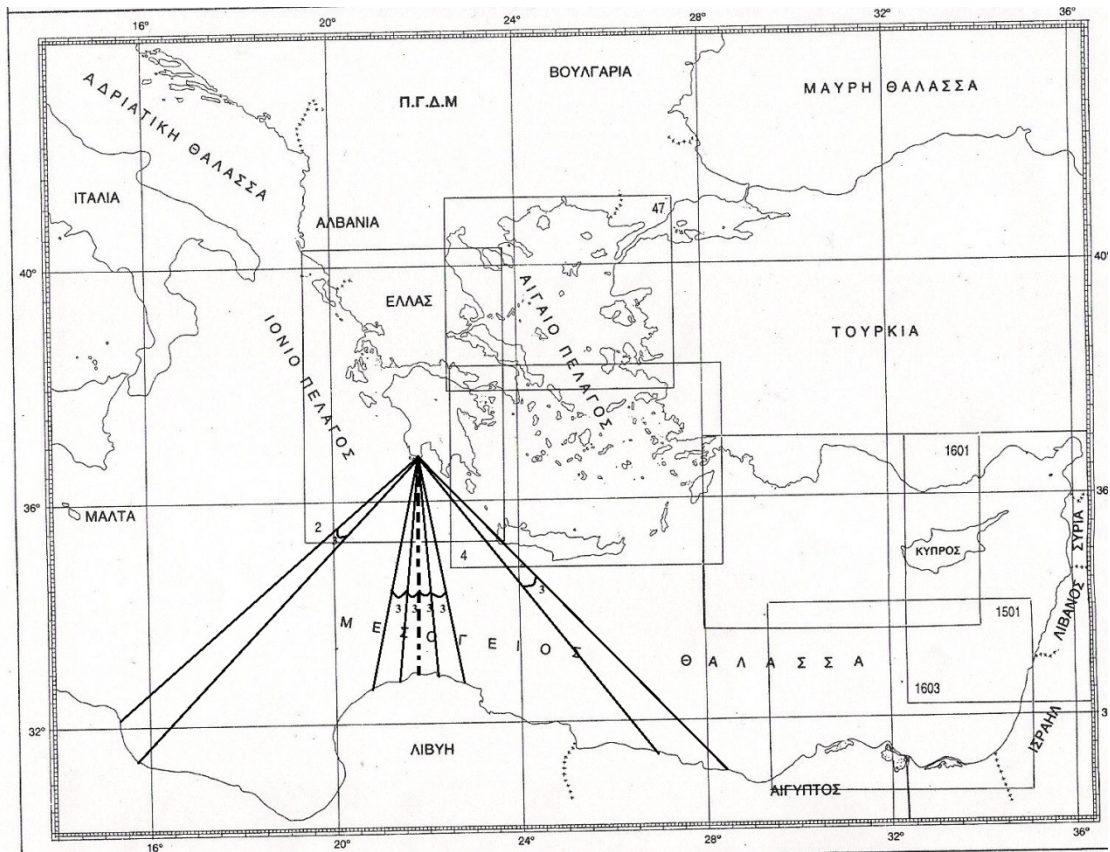
6.1 Μεθώνη

Για την αξιολόγηση των διαδικασιών πρόβλεψης επιλέχθηκε η περιοχή της Μεθώνης. Η Μεθώνη βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $36^{\circ} 49' B$, Γεωγραφικό μήκος-Longitude $21^{\circ} 42' A$) και βρέχεται από τη θάλασσα Κυθήρων. Η θέση είναι εκτεθειμένη στο νότιο τομέα και η περιοχή γένεσης των κυματισμών οριοθετείται νότια από τις ακτές της Αφρικής και της Ν. Κρήτης χωρίς ενδιάμεσα εμπόδια. Υπάρχει και λειτουργεί ο σταθμός της EMY στη Μεθώνη και υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από παρατηρήσεις πλοίων για την ευρύτερη περιοχή.

Ο μετεωρολογικός σταθμός της EMY στη Μεθώνη βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $36^{\circ} 50' B$, Γεωγραφικό μήκος-Longitude $21^{\circ} 42' A$). Το βαρόμετρο καταγραφής των εντάσεων των ανέμων είναι τοποθετημένο στα 52,4 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η περίοδος καταγραφής των ανεμολογικών δεδομένων ανέρχεται στα 42 έτη από το 1956-1997.

Η περιοχή συλλογής στοιχείων από ανερχόμενα πλοία οριοθετείται στα ανοιχτά της θάλασσας των Κυθήρων (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $36^{\circ} 00' B$ έως $37^{\circ} 00' B$, Γεωγραφικό μήκος-Longitude $21^{\circ} 00' A$ έως $21^{\circ} 50' A$). Η καταγραφή των δεδομένων έγινε την περίοδο 1970-2008. Το σύνολο των ανεμολογικών παρατηρήσεων, οι οποίες καταγράφηκαν με όργανα, ανέρχονται στις 20062 ενώ το σύνολο των παρατηρούμενων κυματικών χαρακτηριστικών ανέρχονται στις 16562 (για τα ύψη κύματος) και στις 14072 (για τις περιόδους των κυματισμών).

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης το ανάπτυγμα πελάγους σε γενικές γραμμές είναι εκείνο όπου και θα συναντηθεί το πρώτο φυσικό εμπόδιο, πιο συγκεκριμένα είναι η απόσταση της νοητής γραμμής από το νοτιότερο τμήμα της Μεθώνης έως το πρώτο φυσικό εμπόδιο το οποίο και είναι η Αφρική. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μετρήθηκε το ανάπτυγμα πελάγους για τις ΝΔ, Ν και ΝΑ διευθύνσεις, όπου και τα κυματικά χαρακτηριστικά ενδιαφέρουν. Η διαδικασία η οποία και έχει ακολουθηθεί, για τον υπολογισμό του αναπτύγματος πελάγους στις παραπάνω διευθύνσεις, είναι η εξής : αρχικά και για τη διεύθυνση Ν (η οποία συμπίπτει στις 180 °)επιλέχθηκε ο γεωγραφικός χάρτης της μεσογείου κατόπιν φέραμε από το νότιο κομμάτι της Μεθώνης ευθείες γραμμές έως ότου συναντήσουν το πρώτο φυσικό εμπόδιο. Η διεύθυνση των ευθειών μεταβάλλεται κατά 3 ° ωρολογιακά και αντιωρολογιακά έως τη στιγμή που αλλάζει η διεύθυνση από Ν σε ΝΔ και από Ν σε ΝΑ. Στη συνέχεια μετράται το μήκος των ευθειών, σε χιλιόμετρα, και το ανάπτυγμα πελάγους για τη νότια διεύθυνση θα είναι ο μέσος όρος του μήκους των ευθειών που έχουν χαραχθεί. Η ίδια διαδικασία έχει χρησιμοποιηθεί και για τις λοιπές διευθύνσεις. Έτσι σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία μετρήθηκε για ΝΔ, Ν και ΝΑ διευθύνσεις αντίστοιχα 478 km,400 km και 726 km αναπτύγματα πελάγους. Ενώ το μέσο ανάπτυγμα πελάγους ανέρχεται στα 508 km.



Σχήμα 6.1. Σχήμα διαδικασίας υπολογισμού αναπτύγματος πελάγους



Σχήμα 6.2. Παρουσίαση αναπτύγματος πελάγους στις 3 κύριες διευθύνσεις.

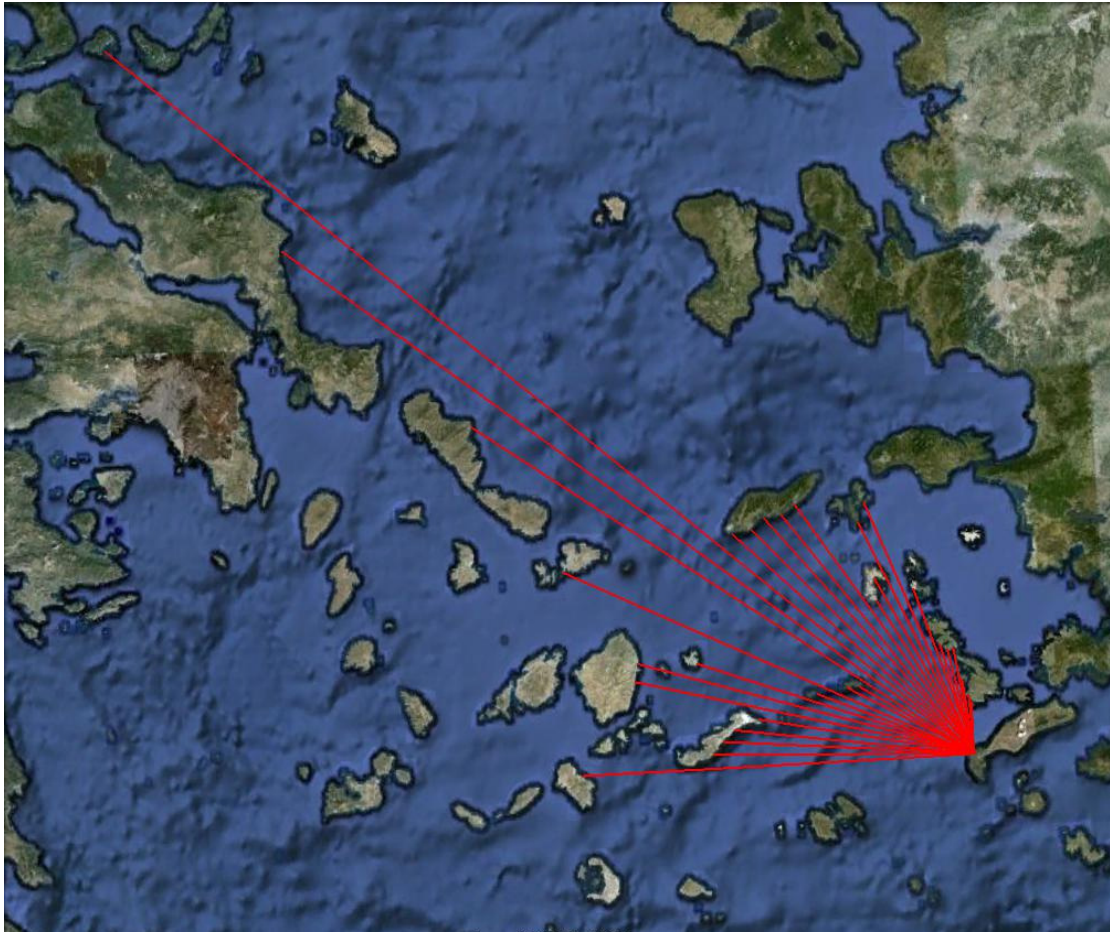
6.2 Ανατολικό Αιγαίο

Για την αξιολόγηση των διαδικασιών πρόβλεψης επιλέχθηκε η περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου. Το Ανατολικό Αιγαίο βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Αιγαίου Πελάγους (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $37^{\circ} 43' \text{ B}$, Γεωγραφικό μήκος-Longitude $25^{\circ} 11' \text{ A}$). Η θέση είναι εκτεθειμένη στο βορειοδυτικό τομέα και η περιοχή γένεσης των κυματισμών οριοθετείται βορειοδυτικά από τις ακτές της Εύβοιας και των Κυκλάδων με ενδιάμεσα εμπόδια. Υπάρχει και λειτουργεί ο σταθμός της EMY στην Κω και υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από παρατηρήσεις πλοίων για την ευρύτερη περιοχή.

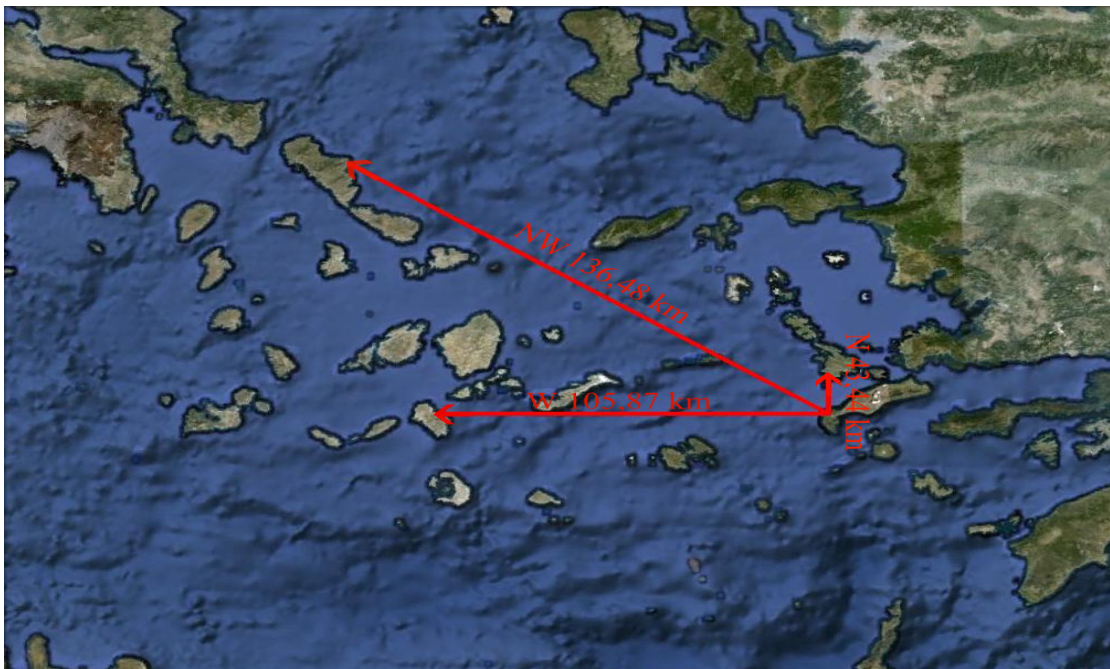
Ο μετεωρολογικός σταθμός της EMY στην Κω βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Κω (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $36^{\circ} 48' \text{ B}$, Γεωγραφικό μήκος-Longitude $27^{\circ} 04' \text{ A}$). Το βαρόμετρο καταγραφής των εντάσεων των ανέμων είναι τοποθετημένο στα 129,3 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η περίοδος καταγραφής των ανεμολογικών δεδομένων ανέρχεται στα 17 έτη από το 1981-1997.

Η περιοχή συλλογής στοιχείων από ανερχόμενα πλοία οριοθετείται στα ανοιχτά του ανατολικού Αιγαίου (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $26^{\circ} 10' \text{ B}$ έως $37^{\circ} 50' \text{ B}$, Γεωγραφικό μήκος-Longitude $26^{\circ} 00' \text{ E}$ έως $27^{\circ} 50' \text{ E}$). Η καταγραφή των δεδομένων έγινε την περίοδο 1970-2008. Το σύνολο των ανεμολογικών παρατηρήσεων, οι οποίες καταγράφηκαν με όργανα, ανέρχονται στις 10170 ενώ το σύνολο των παρατηρούμενων κυματικών χαρακτηριστικών ανέρχονται στις 7832 (για τα ύψη κύματος) και στις 5610 (για τις περιόδους των κυματισμών).

Τα αναπτύγματα πελάγους για την περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου υπολογίστηκαν (βλέπε διαδικασία στο κεφάλαιο 6.2) για Β, ΒΔ και Δ διευθύνσεις αντίστοιχα 43,44 km, 136,48 km και 105,87 km αναπτύγματα πελάγους. Ενώ το μέσο ανάπτυγμα πελάγους ανέρχεται στα 95,26 km.



Σχήμα 6.2. Σχήμα διαδικασίας υπολογισμού αναπτύγματος πελάγους



Σχήμα 6.4. Παρουσίαση αναπτύγματος πελάγους στις 3 κύριες διευθύνσεις

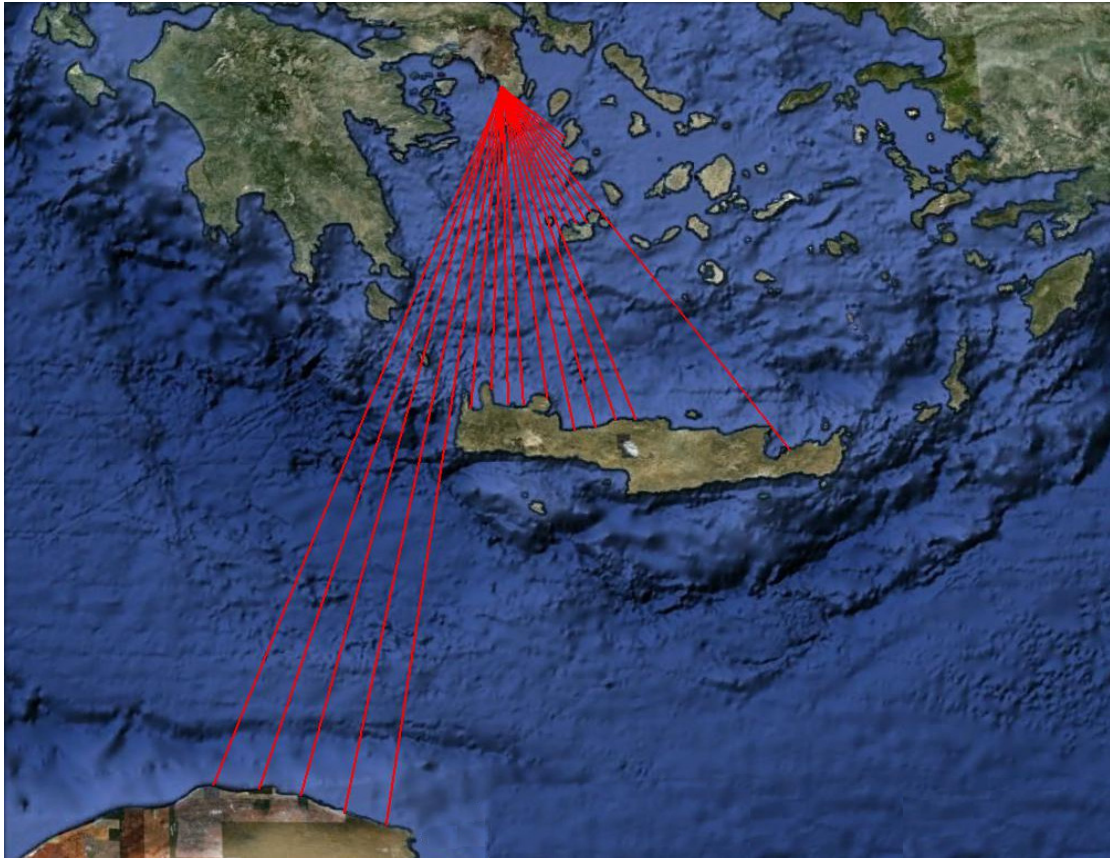
6.3 Σαρωνικός Κόλπος

Για την αξιολόγηση των διαδικασιών πρόβλεψης επιλέχθηκε η περιοχή του Σαρωνικού κόλπου. Ο Σαρωνικός κόλπος βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Αθήνας (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $37^{\circ} 42' B$, Γεωγραφικό μήκος-Longitude $23^{\circ} 47' A$). Η θέση είναι εκτεθειμένη στο νότιο-νοτιοανατολικό τομέα και η περιοχή γένεσης των κυματισμών οριοθετείται νότια από τις ακτές της Ν. Κρήτης και νοτιοανατολικά από τα νησιά των Κυκλάδων με ενδιάμεσα εμπόδια. Υπάρχει και λειτουργεί ο σταθμός της EMY στο Ελληνικό και υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από παρατηρήσεις πλοίων για την ευρύτερη περιοχή.

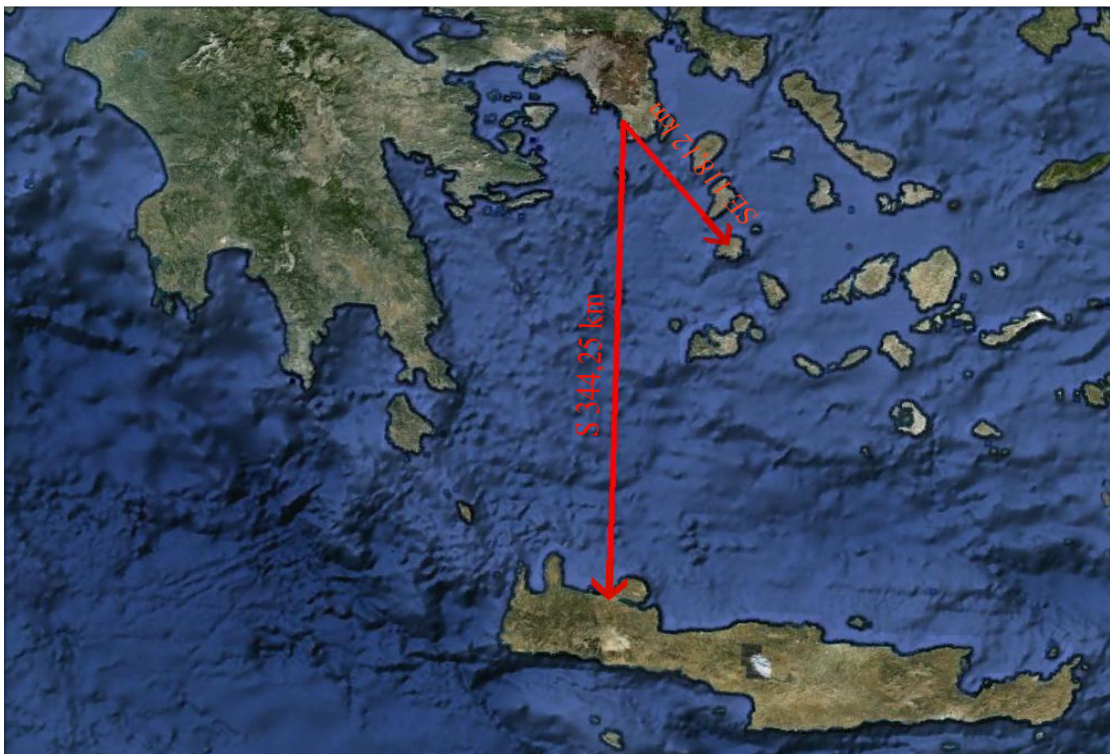
Ο μετεωρολογικός σταθμός της EMY στο Ελληνικό βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Αθήνας (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $37^{\circ} 54' B$, Γεωγραφικό μήκος-Longitude $23^{\circ} 45' A$). Το βαρόμετρο καταγραφής των εντάσεων των ανέμων είναι τοποθετημένο στα 15 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η περίοδος καταγραφής των ανεμολογικών δεδομένων ανέρχεται στα 44 έτη από το 1955-1998.

Η περιοχή συλλογής στοιχείων από ανερχόμενα πλοία οριοθετείται στα ανοιχτά του Σαρωνικού Κόλπου (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $37^{\circ} 00' B$ έως $38^{\circ} 00' B$, Γεωγραφικό μήκος-Longitude $23^{\circ} 00' A$ έως $24^{\circ} 50' A$). Η καταγραφή των δεδομένων έγινε την περίοδο 1970-2008. Το σύνολο των ανεμολογικών παρατηρήσεων, οι οποίες καταγράφηκαν με όργανα, ανέρχονται στις 31548 ενώ το σύνολο των παρατηρούμενων κυματικών χαρακτηριστικών ανέρχονται στις 21558 (για τα ύψη κύματος) και στις 18934 (για τις περιόδους των κυματισμών).

Τα αναπτύγματα πελάγους για την περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου υπολογίστηκαν (βλέπε διαδικασία στο κεφάλαιο 6.2) για Ν και ΝΑ διευθύνσεις αντίστοιχα 344,38 km και 118,12 km αναπτύγματα πελάγους. Ενώ το μέσο ανάπτυγμα πελάγους ανέρχεται στα 231,25 km.



Σχήμα 6.5. Σχήμα διαδικασίας υπολογισμού αναπτύγματος πελάγους



Σχήμα 6.6. Παρουσίαση αναπτύγματος πελάγους στις 2 κύριες διευθύνσεις

6.4 Κριτική-Αξιολόγηση

Για την αξιολόγηση των διαδικασιών πρόβλεψης επιλέχθηκαν οι περιοχές της Μεθώνης, του ανατολικού Αιγαίου και του Σαρωνικού Κόλπου γιατί :

- Υπάρχουν και λειτουργούν μετεωρολογικοί σταθμοί της ΕΜΥ
- Υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από παρατηρήσεις πλοίων για τις ευρύτερες περιοχές.

Η επιλογή της περιοχής της Μεθώνης έγινε διότι είναι εκτεθειμένη στο νότιο τομέα και η περιοχή γένεσης των κυματισμών οριοθετείται από τις ακτές της Αφρικής και της Ν. Κρήτης χωρίς ενδιάμεσα εμπόδια.. Οι νότιοι άνεμοι φυσούν σταθερά σε όλο το ανάπτυγμα πελάγους χωρίς μεγάλες και έντονες διακυμάνσεις. Χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς των κυματικών χαρακτηριστικών το γεωμετρικό ανάπτυγμα πελάγους καθώς η εκτίμηση του μέγιστου ενεργού αναπτύγματος πελάγους προϋποθέτει τη χρήση χαρτών επιφανείας.

Η επιλογή της περιοχής του ανατολικού Αιγαίου έγινε καθώς είναι εκτεθειμένη στο βορειοδυτικό τομέα και η περιοχή γένεσης των κυματισμών οριοθετείται βορειοδυτικά από τις ακτές της Εύβοιας και των Κυκλάδων με ενδιάμεσα εμπόδια. Τα ενδιάμεσα εμπόδια οδηγούν σε ένα μικρό μέσο γεωγραφικό ανάπτυγμα πελάγους το οποίο προσεγγίζει το ενεργό ανάπτυγμα πελάγους.

Η επιλογή της περιοχής του Σαρωνικού Κόλπου έγινε διότι η θέση είναι εκτεθειμένη στο νότιο-νοτιοανατολικό τομέα και η περιοχή γένεσης των κυματισμών οριοθετείται νότια από τις ακτές της Ν. Κρήτης και νοτιοανατολικά από τα νησιά των Κυκλάδων με ενδιάμεσα εμπόδια. Οι κυματικές-ανεμολογικές συνθήκες προσεγγίζουν εκείνες της περιοχής της Μεθώνης με μικρότερα όμως αναπτύγματα πελάγους.

7 Ανεμολογικά χαρακτηριστικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση των ανεμολογικών στοιχείων των μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ στην Μεθώνη, Κω και Ελληνικό. Παρουσιάζονται τα δεδομένα από τις παρατηρήσεις των πλοίων στις διάφορες περιοχές πλευσης. Τέλος παρουσιάζεται η συγκριτική τους αξιολόγηση.

7.1 Μετεωρολογικοί σταθμοί

7.1.1 Μετεωρολογικός σταθμός Μεθώνης

Η περιοχή μελέτης είναι εκτεθειμένη κυρίως στους Ν (Νότιους), ΝΔ (Νοτιοδυτικούς) και ΝΑ (Νοτιοανατολικούς) ανέμους. Οι συχνότητες των κατευθύνσεων και των εντάσεων των ανέμων σε μέση ετήσια βάση για την περίοδο από το 1956 – 1997 από τα στοιχεία της ΕΜΥ από τον μετεωρολογικό σταθμό της Μεθώνης (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $36^{\circ} 50' N$, Γεωγραφικό μήκος -Longitude $21^{\circ} 42' E$) απεικονίζεται στον πίνακα 7.1. Οι άνεμοι του ανατολικού τομέα (ΝΑ, Α, ΒΑ) είναι οι επικρατέστεροι με συνολική συχνότητα πνοής 57,15 % ενώ αυτοί του νότιου τομέα (ΝΔ, Ν, ΝΑ) παρουσιάζουν συχνότητα 15,80 % όμως είναι εκείνοι οι οποίοι έχουν άμεσο ενδιαφέρον ως προς τα κυματικά τους αποτελέσματα. Αυτό γιατί σε αυτές τις διευθύνσεις παρατηρείται και μέγιστο ενεργό – γεωγραφικό ανάπτυγμα πελάγους με αποτέλεσμα η μεταφερόμενη από τον άνεμο ενέργεια να είναι μεγαλύτερη και να οδηγεί σε μεγαλύτερους κυματισμούς. Η υπό μελέτη περιοχή δέχεται την επίδραση των νοτίων ανέμων εντάσεως μέχρι 9 bf. Αν και στο ανατολικό της τμήμα δέχεται ανέμους εντάσεως μέχρι 10 bf, οι νότιοι άνεμοι είναι εκείνη που δημιουργούν εντονότερους κυματισμούς καθώς το τμήμα αυτό έχει και το μεγαλύτερο ανάπτυγμα πελάγους.

7.1.2 Μετεωρολογικός σταθμός Κως

Η περιοχή μελέτης είναι εκτεθειμένη κυρίως στους Β (Βόρειους), ΒΔ (Βορειοδυτικούς) και Δ (Δυτικούς) ανέμους. Οι συχνότητες των κατευθύνσεων και των εντάσεων των ανέμων σε μέση ετήσια βάση για την περίοδο από το 1981 – 1997 από τα στοιχεία της ΕΜΥ από τον μετεωρολογικό σταθμό της Κως (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $36^{\circ} 48' B$, Γεωγραφικό μήκος -Longitude $27^{\circ} 04' A$) απεικονίζεται στον πίνακα 7.2. Οι άνεμοι του Βόρειου τομέα (Β, ΒΑ, ΒΔ) είναι οι επικρατέστεροι με συνολική συχνότητα πνοής 62,457 % ενώ αυτοί του βόρειου-βορειοδυτικού τομέα (Β, ΒΔ, Δ) παρουσιάζουν συχνότητα 41,611 % όμως είναι εκείνοι οι οποίοι έχουν άμεσο ενδιαφέρον ως προς τα κυματικά τους αποτελέσματα. Αυτό γιατί σε αυτές τις διευθύνσεις παρατηρείται και μέγιστο ενεργό – γεωγραφικό ανάπτυγμα πελάγους με αποτέλεσμα η μεταφερόμενη από τον άνεμο ενέργεια να είναι μεγαλύτερη και να οδηγεί σε μεγαλύτερους κυματισμούς. Η υπό μελέτη περιοχή δέχεται την επίδραση των βόρειων-βορειοδυτικών-δυτικών ανέμων εντάσεως μέχρι 8 bf.

7.1.3 Μετεωρολογικός σταθμός Ελληνικού

Η περιοχή μελέτης είναι εκτεθειμένη κυρίως στους Ν (Νότιους) και ΝΑ (Νοτιοανατολικούς) ανέμους. Οι συχνότητες των κατευθύνσεων και των εντάσεων των ανέμων σε μέση ετήσια βάση για την περίοδο από το 1955 – 1998 από τα στοιχεία της ΕΜΥ από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ελληνικού (Γεωγραφικό πλάτος-Latitude $37^{\circ} 54' B$, Γεωγραφικό μήκος -Longitude $23^{\circ} 45' A$) απεικονίζεται στον πίνακα 7.3. Οι άνεμοι του βόρειου τομέα (ΒΑ, Β, ΒΔ) είναι οι επικρατέστεροι με συνολική συχνότητα πνοής 43,482% ενώ αυτοί του νότιου τομέα ή τομέα ενδιαφέροντος (Ν, ΝΑ) παρουσιάζουν συχνότητα 17,365 % όμως είναι εκείνοι οι οποίοι έχουν άμεσο ενδιαφέρον ως προς τα κυματικά τους αποτελέσματα. Αυτό γιατί σε αυτές τις διευθύνσεις παρατηρείται και μέγιστο ενεργό – γεωγραφικό ανάπτυγμα πελάγους με αποτέλεσμα η μεταφερόμενη από τον άνεμο ενέργεια να είναι

μεγαλύτερη και να οδηγεί σε μεγαλύτερους κυματισμούς. Η υπό μελέτη περιοχή δέχεται την επίδραση των νοτίων ανέμων εντάσεως μέχρι 8 bf

HELLENIC NATIONAL METEOROLOGICAL SERVICE
DIRECTION OF CLIMATOLOGY
SECTION OF STATISTICAL CLIMATOLOGY

CLIMATOLOGICAL DATA BASE

D A T C L I M

STATION MEΘΩNH 734
LATITUDE 36° 50' N LONGITUDE 21° 42' E
ALTITUDE OF BAROMETER 52.4 METERS

PERIOD 1956-1997

ANNUAL FREQUENCY (PER CENT) OF WIND DIRECTION AND FORCES IN BEAUFORT SCALE
FROM OBSERVATIONS 06H, 12H, 18H GMT

BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	SUM
0									4,650	4,650
1	0,471	0,789	0,263	0,121	0,142	0,318	0,493	0,274		2,871
2	3,464	7,498	2,126	1,304	0,767	1,929	4,494	3,946		25,528
3	2,477	4,593	1,962	1,644	0,712	2,072	6,906	6,807		27,173
4	0,877	1,118	2,039	1,688	0,537	1,578	8,111	8,089		24,037
5	0,153	0,099	0,987	0,734	0,186	0,844	3,782	3,124		9,909
6	0,033	0,033	0,614	0,362	0,066	0,427	1,535	1,250		4,320
7	0,011	0,011	0,186	0,066	0,011	0,175	0,427	0,219		1,106
8	0,000	0,000	0,033	0,011	0,011	0,088	0,153	0,055		0,351
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,011	0,011		0,033
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,011		0,022
≥11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
SUM	7,486	14,141	8,210	5,930	2,432	7,442	25,923	23,786	4,650	100,00

Πίνακας 7.1. Πίνακας ανεμολογικών στοιχείων από το μετεωρολογικό σταθμό της Μεθώνης (1956 – 1997 Στοιχεία της EMY)

HELLENIC NATIONAL METEOROLOGICAL SERVICE
 DIRECTION OF CLIMATOLOGY
 SECTION OF STATISTICAL CLIMATOLOGY

CLIMATOLOGICAL DATA BASE

D A T C L I M

STATION ΚΩΣ 742
 LATITUDE 36° 48' N LONGITUDE 27° 04' E
 ALTITUDE OF BAROMETER 129.3 METERS

PERIOD 1981-1997

ANNUAL FREQUENCY (PER CENT) OF WIND DIRECTION AND FORCES IN BEAUFORT SCALE
 FROM OBSERVATIONS 06H, 12H, 18H GMT
 MONTH =00 YEAR =00

BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	SUM
0									8,459	8,459
1	0,208	0,121	0,121	0,088	0,088	0,066	0,110	0,153		0,955
2	6,325	1,502	0,723	2,302	1,721	0,866	1,820	5,053		20,312
3	8,265	1,173	0,559	2,675	1,929	1,096	2,598	9,514		27,809
4	10,578	1,041	0,263	3,014	1,732	0,844	1,820	9,591		28,883
5	4,406	0,318	0,132	1,589	0,833	0,274	0,307	1,896		9,755
6	1,611	0,077	0,066	0,691	0,274	0,088	0,033	0,307		3,147
7	0,241	0,011	0,011	0,175	0,066	0,011	0,011	0,044		0,570
8	0,022	0,000	0,011	0,055	0,011	0,000	0,011	0,000		0,110
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
≥11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
SUM	31,656	4,243	1,886	10,589	6,654	3,245	6,710	26,558	4,650	100,00

Πίνακας 7.2. Πίνακας ανεμολογικών στοιχείων από το μετεωρολογικό σταθμό της Κως (1981 – 1997 Στοιχεία της ΕΜΥ)

HELLENIC NATIONAL METEOROLOGICAL SERVICE
 DIRECTION OF CLIMATOLOGY
 SECTION OF STATISTICAL CLIMATOLOGY

CLIMATOLOGICAL DATA BASE

D A T C L I M

STATION ΕΛΛΗΝΙΚΟ 716
 LATITUDE 37° 54' N LONGITUDE 23° 45' E
 ALTITUDE OF BAROMETER 15.0 METERS

PERIOD 1955-1998

ANNUAL FREQUENCY (PER CENT) OF WIND DIRECTION AND FORCES IN BEAUFORT SCALE
 FROM OBSERVATIONS 06H, 12H, 18H GMT
 MONTH =00 YEAR =00

BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	SUM
0									18,109	18,109
1	0,953	0,668	0,482	0,362	0,603	0,482	0,646	0,635		4,831
2	4,820	13,396	1,917	2,607	3,966	3,856	2,859	3,013		26,434
3	5,752	4,404	1,632	1,994	4,174	3,232	1,972	2,531		25,691
4	5,390	4,875	1,435	0,920	1,873	0,909	0,668	1,775		17,845
5	1,775	1,687	0,296	0,208	0,471	0,186	0,208	0,548		5,379
6	0,493	0,416	0,088	0,044	0,110	0,055	0,066	0,153		1,425
7	0,077	0,055	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,022		0,209
8	0,022	0,011	0,011	0,000	0,011	0,011	0,000	0,011		0,077
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
≥11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
SUM	19,282	15,512	5,872	6,146	11,219	8,742	6,430	8,688	4,650	100,00

Πίνακας 7.3. Πίνακας ανεμολογικών στοιχείων από το μετεωρολογικό σταθμό του Ελληνικού (1955 – 1998 Στοιχεία της ΕΜΥ)

7.2 Περιγραφή ανεμολογικών παρατηρήσεων πλοίων

7.2.1 Περιγραφή ανεμολογικών παρατηρήσεων πλοίων στη ευρύτερη περιοχή της Μεθώνης

Η περιοχή πλεύσης των πλοίων στην ευρύτερη περιοχή της Μεθώνης όπου και έγινε η συλλογή των δεδομένων είναι: γεωγραφικό πλάτος από $36^{\circ} 00' B$ έως $37^{\circ} 00' B$, γεωγραφικό μήκος $21^{\circ} 00' A$ έως $21^{\circ} 50' A$. Η καταγραφή των δεδομένων έγινε την περίοδο 1970 – 2008. Η διεύθυνση του ανέμου δίνεται σε μοίρες. Ο κύκλος του ορίζοντα διαιρείται σε τριακοστά έκτα και τα χαρακτηριστικά των διάφορων σημείων του ανεμολογίου αυτού είναι τα ίδια με τα χαρακτηριστικά που αναγράφονται στην περιφέρεια του κινητού πλαισίου (ανεμολογίου) της μαγνητικής βελόνας της ναυτικής πυξίδας.

Οι μονάδες μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου δίδονται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/sec) με μέγιστη ταχύτητα ανέμου τα 50,9 m/sec Βόρεια. Στο συγκεκριμένο στάδιο είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία εκείνα των παρατηρήσεων τα οποία και αναφέρονται σε διευθύνσεις ανέμου ΝΔ, Ν και ΝΑ. Αυτό γίνεται διότι, όπως έχει είδη αναφερθεί στο πιο πάνω χωρίο, ο τομέας αυτός παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς τα χαρακτηριστικά των κυματισμών. Στις διευθύνσεις ΝΔ, Ν και ΝΑ παρατηρείται μέγιστη ταχύτητα ανέμου 30,9 m/sec.

Η δημιουργία των συχνοτήτων των κατευθύνσεων και των εντάσεων των ανέμων σε μέση ετήσια βάση για την περίοδο 1970 – 2008 από τα στοιχεία των παρατηρήσεων των πλοίων έγινε ως εξής. Αρχικά δημιουργήθηκε ένας πίνακας στον οποίο οι εντάσεις του ανέμου χωρίζονται σε ισοδιαστήματα των 0,5 m/sec ξεκινώντας από την τιμή των 0,00 m/sec φτάνοντας, στη μέγιστη δυνατή για τις παραπάνω διευθύνσεις, την τιμή των 31 m/sec. Κάθε ένα από τα ισοδιαστήματα αντιστοιχίζεται με τις διευθύνσεις που έχουν είδη αναφερθεί. Τα δεδομένα των διευθύνσεως δίνονται σε μοίρες και το βήμα μεταβολής τους είναι οι 10 μοίρες. Έτσι ορίζεται η Νοτιοδυτική διεύθυνση από $247,5^{\circ}$ έως $202,5^{\circ}$, όπου η αλλαγή διεύθυνσης παρατηρήτε κάθε 45° , Νότια διεύθυνση από $202,5^{\circ}$ έως $157,5^{\circ}$ και η Νοτιοανατολική διεύθυνση από $157,5^{\circ}$ έως $112,5^{\circ}$

Ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων των πλοίων κατά την περίοδο 1970 – 2008 ανέρχεται στις 20062. Για τη δημιουργία των συχνοτήτων των διάφορων ισοδιαστημάτων, μετρήθηκε η συχνότητα εμφάνισης των διάφορων ισοδιαστημάτων για κάθε μίας από τις διευθύνσεις των ΝΔ, Ν και ΝΑ του συνολικού δείγματος και κατόπιν διαιρέθηκε ο αριθμός της συχνότητας εμφάνισης ως προς το συνολικό αριθμό του δείγματος των 20062 παρατηρήσεων για να επιτευχθούν οι προσδοκώμενες συχνότητες (βλέπε πίνακα 7.4).

7.2.2 Περιγραφή ανεμολογικών παρατηρήσεων πλοίων στη ευρύτερη περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου

Η περιοχή πλεύσης των πλοίων στην ευρύτερη περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου όπου και έγινε η συλλογή των δεδομένων είναι: γεωγραφικό πλάτος από 26° 10' Β έως 37° 50' Β , γεωγραφικό μήκος 26° 00' Α έως 27° 50' Α. Η καταγραφή των δεδομένων έγινε την περίοδο 1970 – 2008. Η διεύθυνση του ανέμου δίνεται σε μοίρες.

Οι μονάδες μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου δίδονται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/sec) με μέγιστη ταχύτητα ανέμου τα 36 m/sec Νοτιοδυτικά. Στο συγκεκριμένο στάδιο είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία εκείνα των παρατηρήσεων τα οποία και αναφέρονται σε διευθύνσεις ανέμου Β, ΒΔ και Δ. Αυτό γίνεται διότι, όπως έχει είδη αναφερθεί στο πιο πάνω χωρίο, ο τομέας αυτός παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς τα χαρακτηριστικά των κυματισμών. Στις διευθύνσεις Β, ΒΔ και Δ παρατηρείται μέγιστη ταχύτητα ανέμου 28 m/sec.

Οι συχνότητες των κατευθύνσεων και των εντάσεων των ανέμων σε μέση ετήσια βάση για την περίοδο 1970 – 2008(με συνολικό αριθμό ανεμολογικών παρατηρήσεων τις 10170) από τα στοιχεία των παρατηρήσεων των πλοίων φαίνονται στον πίνακα 7.5(Για τον υπολογισμό βλέπε διαδικασία στο κεφάλαιο 7.2.1)

7.2.3 Περιγραφή ανεμολογικών παρατηρήσεων πλοίων στη ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού κόλπου

Η περιοχή πλεύσης των πλοίων στην ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού κόλπου όπου και έγινε η συλλογή των δεδομένων είναι: γεωγραφικό πλάτος από $37^{\circ} 00' B$ έως $38^{\circ} 00' B$, γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 00' A$ έως $24^{\circ} 50' A$. Η καταγραφή των δεδομένων έγινε την περίοδο 1970 – 2008. Η διεύθυνση του ανέμου δίνεται σε μοίρες.

Οι μονάδες μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου δίδονται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/sec) με μέγιστη ταχύτητα ανέμου τα 50,9 m/sec Βόρεια. Στο συγκεκριμένο στάδιο είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία εκείνα των παρατηρήσεων τα οποία και αναφέρονται σε διευθύνσεις ανέμου N και NA. Αυτό γίνεται διότι, όπως έχει είδη αναφερθεί, ο τομέας αυτός παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς τα χαρακτηριστικά των κυματισμών. Στις διευθύνσεις N και NA παρατηρείται μέγιστη ταχύτητα ανέμου 27,8 m/sec.

Οι συχνότητες των κατευθύνσεων και των εντάσεων των ανέμων σε μέση ετήσια βάση για την περίοδο 1970 – 2008 (με συνολικό αριθμό ανεμολογικών παρατηρήσεων τις 31548) από τα στοιχεία των παρατηρήσεων των πλοίων φαίνονται στον πίνακα 7.6 (Για τον υπολογισμό βλέπε διαδικασία στο κεφάλαιο 7.2.1).

Ταχύτητα ανέμου (m/sec)		ΚΛΙΜΑΚΑ BEAUFORT	SE	S	SW
> 0,5	1	0,05	0,01	0,015	
0,5-1		0,219	0,179	0,12	
1-1,5		0,01	0,11	0,08	
1,5-2	2	0,03	0,06	0,05	
2-2,5		0,259	0,209	0,229	
2,5-3		0,538	0,518	0,359	
3-3,5		0,259	0,389	0,259	
3,5-4	3	0,249	0,259	0,279	
4-4,5		0,319	0,409	0,359	
4,5-5		0,508	0,449	0,469	
5-5,5		0,578	0,618	0,528	
5,5-6	4	0,219	0,15	0,14	
6-6,5		0,498	0,36	0,349	
6,5-7		0,578	0,319	0,359	
7-7,5		0,309	0,209	0,279	
7,5-8		0,429	0,359	0,259	
8-8,5	5	0,417	0,329	0,269	
8,5-9		0,299	0,239	0,149	
9-9,5		0,379	0,169	0,239	
9,5-10		0,389	0,259	0,179	
10-10,5		0,289	0,189	0,179	
10,5-11		0,259	0,179	0,09	
11-11,5	6	0,05	0,01	0,03	
11,5-12		0,239	0,1	0,09	
12-12,5		0,0189	0,11	0,04	
12,5-13		0,333	0,129	0,15	
13-13,5		0,09	0,01	0,01	
13,5-14		0,139	0,09	0,07	
14-14,5	7	0,06	0,04	0,02	
14,5-15		0,12	0,07	0,04	
15-15,5		0,189	0,02	0,01	
15,5-16		0,06	0,02	0,01	
16-16,5		0,04	0,01	0,02	
16,5-17		0,02	0,02	0,01	
17-17,5	8	0,02	0,03	0	
17,5-18		0,06	0,03	0,03	
18-18,5		0,02	0	0	
18,5-19		0,06	0,03	0,02	
19-19,5		0,01	0	0	
19,5-20		0	0,01	0	
20-20,5		0	0,02	0	
20,5-21		0,03	0,01	0	

21-21,5	9	0,02	0,01	0
21,5-22		0,01	0	0
22-22,5		0,01	0	0
22,5-23		0,01	0	0
23-23,5		0,03	0	0
23,5-24		0	0	0
24-24,5		0	0	0
24,5-25	10	0	0	0
25-25,5		0	0	0
25,5-26		0	0,01	0
26-26,5		0	0	0
26,5-27		0	0	0
27-27,5		0	0	0
27,5-28		0	0	0
28-28,5	11	0	0	0
28,5-29		0	0	0
29-29,5		0	0	0
29,5-30		0,01	0	0
30-30,5		0	0	0
30,5-31		0,01	0	0
<31		0	0	0
sum		8,743	6,75	5,788

Πίνακας 7.4. Πίνακας ανεμολογικών στοιχείων από τις παρατηρήσεις πλοίων στην ευρύτερη περιοχή της Μεθώνης

Ταχύτητα ανέμου (m/sec)	ΚΛΙΜΑΚΑ BEAUFORT	N	NW	W
> 0,5	1	3,186	0,138	0,039
0,5-1		0,216	0,55	0,236
1-1,5		0,138	0,315	0,138
1,5-2	2	0,059	0,197	0,079
2-2,5		0,315	0,885	0,59
2,5-3		0,806	0,944	0,806
3-3,5		0,492	0,787	0,629
3,5-4	3	0,413	0,865	0,511
4-4,5		0,649	1,258	0,708
4,5-5		0,61	1,023	0,61
5-5,5		1,258	2,3	1,278
5,5-6	4	0,354	0,649	0,413
6-6,5		0,865	1,927	1,003

6,5-7		0,629	1,357	0,354
7-7,5		0,708	1,75	0,374
7,5-8		0,905	1,848	0,61
8-8,5	5	0,944	1,73	0,57
8,5-9		1,178	2,32	0,315
9-9,5		0,728	1,121	0,413
9,5-10		1,121	2,065	0,275
10-10,5		1,023	1,023	0,138
10,5-11		0,865	1,434	0,236
11-11,5	6	0,216	0,551	0,138
11,5-12		0,924	0,983	0,236
12-12,5		0,531	0,551	0,039
12,5-13		1,337	0,865	0,256
13-13,5		0,079	0,098	0,079
13,5-14		0,511	0,629	0,02
14-14,5	7	0,216	0,138	0,039
14,5-15		0,55	0,315	0,02
15-15,5		0,59	0,374	0,118
15,5-16		0,295	0,295	0,079
16-16,5		0,039	0,02	0
16,5-17		0,354	0,138	0,098
17-17,5	8	0,039	0,02	0
17,5-18		0,413	0,138	0,039
18-18,5		0,059	0,02	0
18,5-19		0,138	0,039	0
19-19,5		0,039	0	0
19,5-20		0,079	0	0
20-20,5		0,079	0,039	0
20,5-21		0,12	0	0
21-21,5	9	0,02	0	0
21,5-22		0	0	0
22-22,5		0,039	0	0
22,5-23		0,02	0	0
23-23,5		0,02	0	0
23,5-24		0	0	0
24-24,5		0,02	0	0
24,5-25	10	0	0	0
25-25,5		0,02	0,02	0
25,5-26		0	0	0
26-26,5		0	0	0
26,5-27		0	0	0
27-27,5		0	0	0
27,5-28		0	0	0,02
28-28,5		0	0	0

28,5-29	11	0	0	0
29-29,5		0	0	0
29,5-30		0	0	0
30-30,5		0	0	0
30,5-31		0	0	0
<31		0	0	0
sum		24,209	31,719	11,506

Πίνακας 7.5. Πίνακας ανεμολογικών στοιχείων από τις παρατηρήσεις πλοίων στην ευρύτερη περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου

Ταχύτητα ανέμου (m/sec)	ΚΛΙΜΑΚΑ BEAUFORT	S	SE
> 0,5	1	0,101	0,025
0,5-1		0,711	0,38
1-1,5		0,273	0,222
1,5-2	2	0,285	0,114
2-2,5		0,59	0,33
2,5-3		1,319	0,583
3-3,5		0,558	0,292
3,5-4	3	0,539	0,228
4-4,5		0,539	0,209
4,5-5		0,951	0,387
5-5,5		1,021	0,304
5,5-6	4	0,361	0,12
6-6,5		0,501	0,247
6,5-7		0,444	0,209
7-7,5		0,273	0,146
7,5-8		0,368	0,095
8-8,5	5	0,292	0,181
8,5-9		0,285	0,089
9-9,5		0,197	0,095
9,5-10		0,317	0,082
10-10,5		0,19	0,044
10,5-11		0,19	0,063
11-11,5	6	0,101	0,006
11,5-12		0,158	0,044
12-12,5		0,165	0,013
12,5-13		0,133	0,032
13-13,5		0,038	0,006
13,5-14		0,146	0,032
14-14,5	7	0,051	0
14,5-15		0,025	0,006

	15-15,5		0,082	0,006
	15,5-16		0,038	0
	16-16,5		0,032	0,006
	16,5-17		0,038	0,013
	17-17,5	8	0,006	0,006
	17,5-18		0,032	0,006
	18-18,5		0,013	0
	18,5-19		0,025	0,013
	19-19,5		0	0
	19,5-20		0,006	0
	20-20,5		0,006	0,006
	20,5-21		0,006	0,006
	21-21,5	9	0	0
	21,5-22		0	0
	22-22,5		0,013	0
	22,5-23		0	0
	23-23,5		0,006	0
	23,5-24		0	0
	24-24,5		0	0
	24,5-25	10	0	0
	25-25,5		0	0
	25,5-26		0	0
	26-26,5		0,006	0
	26,5-27		0	0
	27-27,5		0	0
	27,5-28		0,006	0
	28-28,5		0	0
	28,5-29	11	0	0
	29-29,5		0	0
	29,5-30		0	0
	30-30,5		0	0
	30,5-31		0	0
	<31		0	0
	sum		11,437	4,646

Πίνακας 7.6. Πίνακας ανεμολογικών στοιχείων από τις παρατηρήσεις πλοίων στην ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού κόλπου

7.3 Σύγκριση ανεμολογικών χαρακτηριστικών μεταξύ των μετεωρολογικών σταθμών και των παρατηρήσεων των πλοίων.

Αρχικά διακρίνεται ότι οι παρατηρήσεις των πλοίων δίνονται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο ενώ αυτές των μετεωρολογικών σταθμών σε beaufort. Σαν αποτέλεσμα να γενάτε η ανάγκη μετατροπής των ισοδιαστημάτων των ταχυτήτων των ανέμων από τις παρατηρήσεις των πλοίων σε beaufort. Η μετατροπή έγινε με βάση το πίνακα 3.3(βλέπε κεφάλαιο 3) όπου και δίνονται οι αναλογίες των beaufort σε μονάδες m/sec.

Αρχικά παρατηρείται ότι για την περιοχή της Μεθώνης και για τις διευθύνσεις ενδιαφέροντος οι συχνότητες των κατευθύνσεων και των εντάσεων των ανέμων σε μέση ετήσια συχνότητα πνοής που προκύπτει από τις παρατηρήσεις των πλοίων ανέρχεται σε 21,281 % έναντι των αντίστοιχων του μετεωρολογικού σταθμού της Μεθώνης σε 15,80 %. Στη συνέχεια εξετάζοντας την κάθε διεύθυνση αναλυτικότερα παρατηρείται ότι για ανέμους διευθύνσεων ΝΔ, Ν και ΝΑ η συχνότητα των παρατηρήσεων των πλοίων ανέρχεται σε 8,743 % έναντι 5,93 % αυτών του μετεωρολογικού σταθμού της Μεθώνης για την πρώτη, σε 6,75 % έναντι 2,432 για τη δεύτερη και 5,788 % έναντι 7,442 % για την τρίτη διεύθυνση. Συγκρίνοντας τα ισοδιαστήματα των ταχυτήτων τα οποία έχουν μετατραπεί σε beaufort με τα αντίστοιχα του μετεωρολογικού σταθμού παρατηρούμε ότι για τις αναφερόμενες διευθύνσεις του ανέμου οι συχνότητες των παρατηρήσεων των πλοίων σε beaufort είναι μεγαλύτερες από αυτές του μετεωρολογικού σταθμού σε beaufort.

Αρχικά παρατηρείται ότι για την περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου και για τις διευθύνσεις ενδιαφέροντος οι συχνότητες των κατευθύνσεων και των εντάσεων των ανέμων σε μέση ετήσια συχνότητα πνοής που προκύπτει από τις παρατηρήσεις των πλοίων ανέρχεται σε 67,434 % έναντι των αντίστοιχων του μετεωρολογικού σταθμού της Κω σε 62,366 %. Στη συνέχεια εξετάζοντας την κάθε διεύθυνση αναλυτικότερα παρατηρείται ότι για ανέμους διευθύνσεων Β, ΒΔ και Δ η συχνότητα των παρατηρήσεων των πλοίων ανέρχεται σε 24,209 % έναντι 31,656 % αυτών του μετεωρολογικού σταθμού της Κως για την πρώτη, σε 31,719 % έναντι 26,558για τη δεύτερη και 11,506 % έναντι 6,710 % για την τρίτη διεύθυνση. Συγκρίνοντας τα ισοδιαστήματα των ταχυτήτων τα οποία έχουν μετατραπεί σε beaufort με τα

αντίστοιχα του μετεωρολογικού σταθμού παρατηρείται ότι για διευθύνσεις του ανέμου Β και ΒΔ οι συχνότητες των παρατηρήσεων των πλοίων σε beaufort είναι μικρότερες από αυτές του μετεωρολογικού σταθμού έως τα 5 beaufort ενώ για μεγαλύτερες εντάσεις ανέμου οι συχνότητες των παρατηρήσεων των πλοίων είναι μεγαλύτερες από αυτές του μετεωρολογικού σταθμού. Για διεύθυνση ανέμου Δ οι συχνότητες των παρατηρήσεων των πλοίων σε beaufort είναι μεγαλύτερες από αυτές του μετεωρολογικού σταθμού.

Αρχικά παρατηρείται ότι για την περιοχή του Σαρωνικού κόλπου και για τις διευθύνσεις ενδιαφέροντος οι συχνότητες των κατευθύνσεων και των εντάσεων των ανέμων σε μέση ετήσια συχνότητα πνοής που προκύπτει από τις παρατηρήσεις των πλοίων ανέρχεται σε 16,083% έναντι των αντίστοιχων του μετεωρολογικού σταθμού του Ελληνικού σε 17,365 %. Στη συνέχεια εξετάζοντας την κάθε διεύθυνση αναλυτικότερα παρατηρείται ότι για ανέμους διευθύνσεων Ν και ΝΑ η συχνότητα των παρατηρήσεων των πλοίων ανέρχεται σε 11,437 % έναντι 11,219 % αυτών του μετεωρολογικού σταθμού του Ελληνικού για την πρώτη και 4,646 % έναντι 6,146 για τη δεύτερη διεύθυνση. Συγκρίνοντας τα ισοδιαστήματα των ταχυτήτων τα οποία έχουν μετατραπεί σε beaufort με τα αντίστοιχα του μετεωρολογικού σταθμού παρατηρείται ότι για διευθύνσεις ανέμου Ν και ΝΑ οι συχνότητες των παρατηρήσεων των πλοίων σε beaufort είναι μικρότερες από αυτές του μετεωρολογικού σταθμού έως τα 4 beaufort ενώ για μεγαλύτερες εντάσεις ανέμου οι συχνότητες των παρατηρήσεων των πλοίων είναι μεγαλύτερες από αυτές του μετεωρολογικού σταθμού.

Ταχύτητα ανέμου (m/sec)	ΚΛΙΜΑΚΑ BEAUFORT	SE	SE beauf	SE ANEM	S	S beauf	S ANEM	SW	SW beauf	SW ANEM
> 0,5	1	0,05	0,279	0,121	0,01	0,299	0,142	0,015	0,215	0,318
0,5-1		0,219			0,179			0,12		
1-1,5		0,01			0,11			0,08		
1,5-2	2	0,03	1,086	1,304	0,06	1,176	0,767	0,05	0,897	1,929
2-2,5		0,259			0,209			0,229		
2,5-3		0,538			0,518			0,359		
3-3,5		0,259			0,389			0,259		
3,5-4	3	0,249	1,654	1,644	0,259	1,735	0,712	0,279	1,635	2,072
4-4,5		0,319			0,409			0,359		
4,5-5		0,508			0,449			0,469		
5-5,5		0,578			0,618			0,528		
5,5-6	4	0,219	2,033	1,688	0,15	1,397	0,537	0,14	1,386	1,578
6-6,5		0,498			0,36			0,349		
6,5-7		0,578			0,319			0,359		
7-7,5		0,309			0,209			0,279		
7,5-8		0,429			0,359			0,259		
8-8,5	5	0,417	2,032	0,734	0,329	1,364	0,186	0,269	1,105	0,844
8,5-9		0,299			0,239			0,149		
9-9,5		0,379			0,169			0,239		
9,5-10		0,389			0,259			0,179		
10-10,5		0,289			0,189			0,179		
10,5-11		0,259			0,179			0,09		
11-11,5	6	0,05	0,87	0,362	0,01	0,449	0,066	0,03	0,39	0,427
11,5-12		0,239			0,1			0,09		
12-12,5		0,019			0,11			0,04		
12,5-13		0,333			0,129			0,15		
13-13,5		0,09			0,01			0,01		
13,5-14		0,139			0,09			0,07		
14-14,5	7	0,06	0,489	0,066	0,04	0,18	0,011	0,02	0,11	0,175
14,5-15		0,12			0,07			0,04		
15-15,5		0,189			0,02			0,01		
15,5-16		0,06			0,02			0,01		
16-16,5		0,04			0,01			0,02		
16,5-17		0,02			0,02			0,01		
17-17,5	8	0,02	0,2	0,011	0,03	0,13	0,011	0	0,05	0,088
17,5-18		0,06			0,03			0,03		
18-18,5		0,02			0			0		
18,5-19		0,06			0,03			0,02		
19-19,5		0,01			0			0		
19,5-20		0			0,01			0		
20-20,5		0			0,02			0		
20,5-21		0,03			0,01			0		

21-21,5	9	0,02	0,08	0	0,01	0,01	0	0	0	0,011
21,5-22		0,01			0			0		
22-22,5		0,01			0			0		
22,5-23		0,01			0			0		
23-23,5		0,03			0			0		
23,5-24		0			0			0		
24-24,5		0			0			0		
24,5-25	10	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0
25-25,5		0			0			0		
25,5-26		0			0,01			0		
26-26,5		0			0			0		
26,5-27		0			0			0		
27-27,5		0			0			0		
27,5-28		0			0			0		
28-28,5	11	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0
28,5-29		0			0			0		
29-29,5		0			0			0		
29,5-30		0,01			0			0		
30-30,5		0			0			0		
30,5-31		0,01			0			0		
<31		0			0			0		
sum		8,743	8,743	5,93	6,75	6,75	2,432	5,788	5,788	7,442

Πίνακας 7.7. Πίνακας σύγκρισης ανεμολογικών χαρακτηριστικών για την περιοχή της Μεθώνης

Ταχύτητα ανέμου (m/sec)	ΚΛΙΜΑΚΑ BEAUFORT	N	N beauf	N ANEM	NW	NW beauf	NW ANEM	W	W beauf	W ANEM
> 0,5	1	3,186	3,54	0,208	0,138	1,003	0,153	0,039	0,413	0,11
0,5-1		0,216			0,55			0,236		
1-1,5		0,138			0,315			0,138		
1,5-2	2	0,059	1,672	6,325	0,197	2,813	5,053	0,079	2,104	1,82
2-2,5		0,315			0,885			0,59		
2,5-3		0,806			0,944			0,806		
3-3,5		0,492			0,787			0,629		

3,5-4	3	0,413	2,93	8,265	0,865	5,446	9,514	0,511	3,107	2,598
4-4,5		0,649			1,258			0,708		
4,5-5		0,61			1,023			0,61		
5-5,5		1,258			2,3			1,278		
5,5-6	4	0,354	3,461	10,578	0,649	7,531	9,591	0,413	2,754	1,82
6-6,5		0,865			1,927			1,003		
6,5-7		0,629			1,357			0,354		
7-7,5		0,708			1,75			0,374		
7,5-8		0,905			1,848			0,61		
8-8,5	5	0,944	5,859	4,406	1,73	9,693	1,896	0,57	1,947	0,307
8,5-9		1,178			2,32			0,315		
9-9,5		0,728			1,121			0,413		
9,5-10		1,121			2,065			0,275		
10-10,5		1,023			1,023			0,138		
10,5-11		0,865			1,434			0,236		
11-11,5	6	0,216	3,598	1,611	0,551	3,677	0,307	0,138	0,768	0,033
11,5-12		0,924			0,983			0,236		
12-12,5		0,531			0,551			0,039		
12,5-13		1,337			0,865			0,256		
13-13,5		0,079			0,098			0,079		
13,5-14		0,511			0,629			0,02		
14-14,5	7	0,216	2,044	0,241	0,138	1,28	0,044	0,039	0,354	0,011
14,5-15		0,55			0,315			0,02		
15-15,5		0,59			0,374			0,118		
15,5-16		0,295			0,295			0,079		
16-16,5		0,039			0,02			0		
16,5-17		0,354			0,138			0,098		
17-17,5	8	0,039	0,966	0,022	0,02	0,256	0	0	0,039	0,011
17,5-18		0,413			0,138			0,039		
18-18,5		0,059			0,02			0		
18,5-19		0,138			0,039			0		
19-19,5		0,039			0			0		
19,5-20		0,079			0			0		
20-20,5		0,079			0,039			0		
20,5-21		0,12			0			0		
21-21,5	9	0,02	0,119	0	0	0	0	0	0	0,011
21,5-22		0			0			0		
22-22,5		0,039			0			0		
22,5-23		0,02			0			0		
23-23,5		0,02			0			0		
23,5-24		0			0			0		
24-24,5		0,02			0			0		
24,5-25	10	0	0,02	0	0	0,02	0	0	0,02	0
25-25,5		0,02			0,02			0		
25,5-26		0			0			0		
26-26,5		0			0			0		
26,5-27		0			0			0		
27-27,5		0			0			0		
27,5-28		0			0			0,02		

28-28,5		0			0			0		
28,5-29	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29-29,5		0			0					
29,5-30		0			0					
30-30,5		0			0					
30,5-31		0			0					
<31		0			0					
sum		24,21			24,209			31,656		

Πίνακας 7.8. Πίνακας σύγκρισης ανεμολογικών χαρακτηριστικών για την περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου

Ταχύτητα ανέμου (m/sec)	ΚΛΙΜΑΚΑ BEAUFORT	S	SE beauf	SE ANEM	SW	S beauf	S ANEM
> 0,5	1	0,101	1,085	0,603	0,025	0,627	0,482
0,5-1		0,711			0,38		
1-1,5		0,273			0,222		
1,5-2	2	0,285	2,752	3,966	0,114	1,319	3,856
2-2,5		0,59			0,33		
2,5-3		1,319			0,583		
3-3,5		0,558			0,292		
3,5-4	3	0,539	3,05	4,174	0,228	1,128	3,232
4-4,5		0,539			0,209		
4,5-5		0,951			0,387		
5-5,5		1,021			0,304		
5,5-6	4	0,361	1,947	1,873	0,12	0,817	0,909
6-6,5		0,501			0,247		
6,5-7		0,444			0,209		
7-7,5		0,273			0,146		
7,5-8		0,368			0,095		
8-8,5	5	0,292	1,471	0,471	0,181	0,554	0,186
8,5-9		0,285			0,089		
9-9,5		0,197			0,095		
9,5-10		0,317			0,082		
10-10,5		0,19			0,044		
10,5-11		0,19			0,063		
11-11,5	6	0,101	0,741	0,11	0,006	0,133	0,055
11,5-12		0,158			0,044		
12-12,5		0,165			0,013		
12,5-13		0,133			0,032		

13-13,5		0,038			0,006		
13,5-14		0,146			0,032		
14-14,5	7	0,051	0,266	0,011	0	0,031	0,011
14,5-15		0,025			0,006		
15-15,5		0,082			0,006		
15,5-16		0,038			0		
16-16,5		0,032			0,006		
16,5-17		0,038			0,013		
17-17,5		8			0,006		
17,5-18	0,032		0,006				
18-18,5	0,013		0				
18,5-19	0,025		0,013				
19-19,5	0		0				
19,5-20	0,006		0				
20-20,5	0,006		0,006				
20,5-21	0,006		0,006				
21-21,5	9	0	0,019	0	0	0	0
21,5-22		0			0		
22-22,5		0,013			0		
22,5-23		0			0		
23-23,5		0,006			0		
23,5-24		0			0		
24-24,5		0			0		
24,5-25	10	0	0	0	0	0	0
25-25,5		0			0		
25,5-26		0			0		
26-26,5		0,006			0		
26,5-27		0			0		
27-27,5		0			0		
27,5-28		0,006			0		
28-28,5		0			0		
28,5-29	11	0	0	0	0	0	0
29-29,5		0			0		
29,5-30		0			0		
30-30,5		0			0		
30,5-31		0			0		
<31		0			0		
sum		11,437	11,437	11,219	4,646	4,646	8,742

Πίνακας 7.9. Πίνακας σύγκρισης ανεμολογικών χαρακτηριστικών για την περιοχή του Σαρωνικού κόλπου

8 Εκτίμηση κυματισμών, κυματικό μοντέλο CEM-φάσμα Jonswap

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η εισαγωγή στη διαδικασία υπολογισμού των κυματικών δεδομένων μέσω του κυματικού μοντέλου CEM και του φάσματος JONSWAP.

8.1 Εισαγωγή

Τα κύματα στην επιφάνεια του ωκεανού με περιόδους 3 έως 25 δευτερόλεπτα κατά κύριο λόγο προέρχονται από τους ανέμους και είναι ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό των παράκτιων περιοχών της γης. Η γνώση αυτών των κυμάτων και των δράσεων που προκαλούν είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό των παράκτιων έργων δεδομένου ότι είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει τη γεωμετρία των ακτογραμμών, τη λειτουργία και το σχεδιασμό των λιμένων, θαλάσσιους δρόμους, υδραυλικά έργα, καθώς άλλα πολιτικά και στρατιωτικά έργα.

Οι κυματικές θεωρίες είναι προσεγγίσεις που προσεγγίζουν την πραγματικότητα. Μπορούν να περιγράψουν μερικά φαινόμενα κάτω από ορισμένες συνθήκες που πληρούν τις παραδοχές που γίνονται κατά την διατύπωσή τους. Όμως αδυνατούν να περιγράψουν άλλα φαινόμενα που παραβιάζουν αυτές τις παραδοχές. Με την υιοθέτηση μιας θεωρίας, πρέπει να ληφθεί μέριμνα για να διασφαλιστεί ότι το κυματικό φαινόμενο που ενδιαφέρει προσεγγίζεται αρκετά καλά από τη θεωρία που χρησιμοποιήθηκε, δεδομένου ότι η προστασία μιας ακτής, η δημιουργία ενός παράκτιου έργου ή έργου στα ανοιχτά εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των κυματισμών.

8.2 Μοντέλο CEM

Για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι που δίδονται στο κεφάλαιο 5 στην ενότητα όπου γίνεται αναφορά στο μοντέλο CEM. Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι τα κυματικά χαρακτηριστικά προήλθαν από τα ανεμολογικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Μεθώνης και των παρατηρήσεων των πλοίων.

Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε έχει ως εξής :

- Επιλέγονται οι μέγιστες ταχύτητες ανέμου (από τα στοιχεία της EMY και των παρατηρήσεων των πλοίων) για τις διευθύνσεις ενδιαφέροντος των περιοχών μελέτης.
- Οι μέγιστες ταχύτητες διάρκειας 1h μετατρέπονται σε μέγιστες ταχύτητες διάρκειας t_h , εκτίμηση διάρκειας με διαδοχικές προσεγγίσεις.
- Οι μέγιστες ταχύτητες διάρκειας t_h μετατρέπονται σε μέγιστες ταχύτητες 10h στα 10m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.
- Υπολογίζεται ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για να διασχίσουν οι κυματισμοί το ανάπτυγμα πελάγους.
- Υπολογίζεται ο συντελεστής C_D (ο οποίος είναι συναρτήσεως της ταχύτητας ανέμου στα 10 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας).
- Υπολογίζεται η ταχύτητα τύρβης u_*
- Υπολογίζεται ο μέγιστος κυματισμός H_{m_0} .
- Υπολογίζεται η μέγιστη περίοδος T_p .

8.3 Φάσμα JONSWAP

Για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης χρησιμοποιείται το φάσμα JONSWAP (βλέπε κεφάλαιο 2,5). Η γενική αρχή είναι, καθώς ο άνεμος φυσάει στην ανοικτή θάλασσα μεταφέρεται ενέργεια από τον άνεμο στη θαλάσσια επιφάνεια. Όσο πιο σφοδρής εντάσεως είναι ο άνεμος τόσο μεγαλύτερη θα είναι η μεταφερόμενη ενέργεια με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση των κυματικών χαρακτηριστικών. Για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών το φάσμα JONSWAP, εκτός από την ενέργεια του ανέμου, λαμβάνει υπόψη και το ανάπτυγμα πελάγους (βλέπε κεφάλαιο 5). Ο άνεμος δεν φυσά σταθερά (με σταθερή ένταση και διεύθυνση) σε όλο το ανάπτυγμα πελάγους. Θα έπρεπε για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών να χρησιμοποιηθεί ένα μέσο ανάπτυγμα πελάγους (ενεργό ανάπτυγμα πελάγους) και όχι το γεωμετρικό του ανάπτυγμα. Όμως σε ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο δεν θα αποκλείονταν (αν και η πιθανότητα εμφάνισης θα ήταν πολύ μικρή για ένα τέτοιο άνεμο) να φυσήξει σταθερά σε όλο το γεωμετρικό ανάπτυγμα πελάγους. Σαν αποτέλεσμα, για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών να χρησιμοποιείται το γεωγραφικό ανάπτυγμα και όχι το ενεργό.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών προέρχονται από τις παρατηρήσεις των πλοίων. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα στοιχεία εκείνα τα οποία και συνδέονται με τις διάφορες διευθύνσεις ανέμου που ενδιαφέρουν. Για την κάθε διεύθυνση ανέμου, όπου στις παρατηρήσεις των πλοίων αναπαρίστανται σε μοίρες, χρησιμοποιήθηκαν οι εντάσεις ανέμου οι οποίες δίδονται σε m/sec. Επειδή οι εντάσεις των ανέμων από τις παρατηρήσεις των πλοίων αναφέρονται σε διάρκειες 1 min για την επεξεργασία τους με το φάσμα JONSWAP ήταν αναγκαία η μετατροπή τους σε ανέμους διάρκειας 10 hrs (βλέπε κεφάλαιο 5).

Για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία :

- Η κάθε διεύθυνση ενδιαφέροντος αντιστοιχίζεται σε μοίρες

- Οι διάφορες διευθύνσεις υποδιαιρούνται σε υποσύνολα, με βήμα του κάθε υποσυνόλου τις 10 μοίρες
- Οι άνεμοι από τις παρατηρήσεις διάρκειας 1 min μετατρέπονται σε ανέμους διάρκειας 10 hrs
- Υπολογίζεται το γεωγραφικό ανάπτυγμα πελάγους για την κάθε διεύθυνση
- Υπολογίζεται το ανοιγμένο ανάπτυγμα πελάγους \check{x}
- Υπολογίζεται ο ελάχιστος χρόνος \check{t}_{min} που απαιτείται για τον ακραίο άνεμο κάθε διεύθυνσεως να διασχίσει το γεωγραφικό ανάπτυγμα πελάγους
- Ελέγχεται αν ο ελάχιστος χρόνος είναι περίπου ίσος με 10 hrs
- Υπολογίζεται το \check{f}_p
- Υπολογίζεται το f_p
- Υπολογίζεται το T
- Υπολογίζεται το \check{H}
- Υπολογίζεται το H

Τέλος όλα τα εξαγόμενα αποτελέσματα αναπαρίστανται σε πίνακες. Οι πίνακες αναπαριστούν τις συχνότητες εμφάνισης των διαφόρων υψών κυμάτων σε συνάρτηση με το κάθε υποσύνολο των διευθύνσεων ενδιαφέροντος. Το βήμα αύξησης των κυματισμών, ξεκινώντας από κυματισμούς 0 m, είναι τα 0,25 m φτάνοντας στα 9,25, 4,00 και 7,00 m για της περιοχές της Μεθώνης, του Ανατολικού Αιγαίου και του Σαρωνικού κόλπου αντίστοιχα.

8.4 Κυματικές παρατηρήσεις από πλέοντα πλοία

Τα πλέοντα πλοία εκτός από ανεμολογικά χαρακτηριστικά παρέχουν και ένα μεγάλο αριθμό κυματικών χαρακτηριστικών με τη μορφή χρονοσειρών. Από εκείνα τα κυματικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται τα ύψη κύματος με στόχο τη συσχέτισή τους με τους μέγιστους κυματισμούς προερχόμενοι από το κυματικό μοντέλο CEM και το φάσμα JONSWAP. Για κάθε περιοχή μελέτης έχουμε :

Ευρύτερη περιοχή Μεθώνης:

Διεύθυνση ανέμου σε μοίρες	Διεύθυνση ανέμου σε τομείς	Μέγιστο ύψος κύματος
120	NA	3,50
130		3,25
140		3,25
150		3,50
160	N	10,00
170		3,25
180		3,50
190		2,75
200		2,00
210	NΔ	3,50
220		2,00
230		3,50
240		3,50

Πίνακας 8.1. Μέγιστοι κυματισμοί από τις παρατηρήσεις των πλοίων

Ευρύτερη περιοχή Σαρωνικού κόλπου:

Διεύθυνση ανέμου σε μοίρες	Διεύθυνση ανέμου σε τομείς	Μέγιστο ύψος κύματος
120	NA	1,25
130		1,25
140		1,50
150		1,25
160	N	1,50
170		1,50
180		2,00
190		2,25
200		2,00

Πίνακας 8.2. Μέγιστοι κυματισμοί από τις παρατηρήσεις των πλοίων

Ευρύτερη περιοχή Ανατολικού Αιγαίου

Διεύθυνση ανέμου σε μοίρες	Διεύθυνση ανέμου σε τομείς	Μέγιστο ύψος κύματος
20	B	2,25
10		2,25
0-360		2,50
350		2,50
340	BΔ	2,50
330		2,50
320		2,00
310		2,25
300	Δ	3,00
290		1,50
280		1,75
270		5,00
260		2,00
250		2,25

Πίνακας 8.3. Μέγιστοι κυματισμοί από τις παρατηρήσεις των πλοίων

9 Λογισμικό Υδρογνώμων

Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των κατανομών της ταχύτητας πνοής του ανέμου και των υψών κύματος.

9.1 Εισαγωγή

Το λογισμικό Υδρογνώμων είναι μια εφαρμογή ελεύθερου λογισμικού για την ανάλυση και την επεξεργασία υδρολογικών δεδομένων, κυρίως με τη μορφή χρονοσειρών.

Βασικές δυνατότητες :

- Πινακοποίηση δεδομένων σε διάφορες μορφές.
- Ανάλυση σε διάφορα χρονικά βήματα από λεπτά μέχρι δεκαετίες ή αιώνες.
- Εργαλεία στατιστικής ανάλυσης για προσαρμογή συναρτήσεων κατανομής, πολυμεταβλητή γραμμική παλινδρόμηση, Monte Carlo, στατιστική πρόγνωση, όμβριες καμπύλες.
- Ειδικά εργαλεία για υδρολογικά δεδομένα, όπως, υπολογισμοί εξατμοδιαπνοής, μοντέλο λεκάνης απορροής (μονοδιάστατο), καμπύλες στάθμης – παροχής κ.α.

Ο Υδρογνώμων αναπτύχθηκε για να εξυπηρετήσει κυρίως τις ερευνητικές δραστηριότητες της Ερευνητικής Ομάδας «ITIA» η οποία είναι υπεύθυνη για τον σχεδιασμό και την συντήρηση του λογισμικού. Επιπλέον είναι ένα από τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη του «Υδροσκοπίου» .

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ο Υδρογνώμων χρησιμοποιείται για την στατιστική ανάλυση (με το υποπρόγραμμα Πυθία) των ανεμολογικών καθώς και των κυματικών δεδομένων των παρατηρήσεων των πλοίων.

9.2 Περιγραφή δημιουργίας χρονοσειρών

Το πρώτο βήμα για τη λειτουργία του λογισμικού Υδρογνώμονα είναι η δημιουργία χρονοσειρών, ικανή και αναγκαία συνθήκη για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τις παρατηρήσεις πλοίων των περιοχών της Μεθώνης, Ανατολικού Αιγαίου και Σαρωνικού κόλπου. Η καταγραφή τους έχει γίνει από το έτος 1970 – 2008 (οι οποίες δίνονται σε τρίωρα) με συνολικά 20061, 10170 και 31548 παρατηρήσεις για τις περιοχές της Μεθώνης, Ανατολικού Αιγαίου και Σαρωνικού κόλπου αντίστοιχα για το σύνολο των διευθύνσεων ανέμων. Οι παρατηρήσεις, για τις διευθύνσεις ενδιαφέροντος κάθε περιοχής, ανέρχονται στις 4322, 6877 και 5089 από το συνολικό δείγμα των 20061, 10170 και 31548 παρατηρήσεων. Οι διευθύνσεις ανέμου, όπως έχει είδη αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, δίνονται σε μοίρες. Σαν αποτέλεσμα οι διευθύνσεις να ξεκινούν από τις 120° όπου αντιστοιχεί στην αρχή ανέμου διευθύνσεως ΝΔ και αυξάνοντας σταθερά με βήμα τις 10 ° φτάνει στις 240° όπου αντιστοιχεί στο τέλος ανέμου διευθύνσεως ΝΑ (για την περιοχή της Μεθώνης), από τις 270° που αντιστοιχεί στην αρχή ανέμου διευθύνσεως Δ φτάνοντας στις 20° που αντιστοιχεί στο τέλος ανέμου Β (για την περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου) και από τις 160 °που αντιστοιχεί στην αρχή ανέμου διευθύνσεως Ν φτάνοντας στις 240° που αντιστοιχεί στο τέλος ανέμου ΝΔ(για την περιοχή του Σαρωνικού κόλπου) .Οι τυχαίες χρονοσειρές που δημιουργήθηκαν αναφέρονται σε γεγονότα που αντιστοιχούν (για παράδειγμα την περιοχή της Μεθώνης) σε παρατηρήσεις με διευθύνσεις τις 120°, 140° έως και τις 240°. Πιο συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν 26,13 και 10 (για την κάθε περιοχή μελέτης) διαφορετικές τυχαίες χρονοσειρές. Αυτό διότι τα στοιχεία που ενδιαφέρουν ως προς τη δημιουργία των τυχαίων χρονοσειρών είναι οι ακραίοι άνεμοι διάρκειας 10 h, καθώς και οι ακραίοι κυματισμοί όπως προέκυψαν από το φάσμα JONSWAP(για την περιοχή της Μεθώνης).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία των τυχαίων χρονοσειρών περιγράφεται παρακάτω :

- Δημιουργούνται 1-2 τυχαίες χρονοσειρές, για κάθε μία διεύθυνση, διάρκειας 38 ετών, με χρονικό βήμα αύξησης χρονοσειράς το 1 έτος.
- Επιλέγονται οι ακραίοι άνεμοι διάρκειας 1 h και οι ακραίοι κυματισμοί από το φάσμα JONSWAP για κάθε έτος.
 1. Για τη δημιουργία των τυχαίων χρονοσειρών δεν επιλέχθηκε το σύνολο του δείγματος σε κάθε διεύθυνση. Αυτό γίνεται διότι θα υπήρχε μεγάλη συγκέντρωση μικρών τυχαίων γεγονότων και όχι ακραίων. Σαν αποτέλεσμα την εσφαλμένη λειτουργία του λογισμικού. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα δεν θα αναφέρονταν σε ακραία γεγονότα με αποτέλεσμα την εξαγωγή ιδιαίτερα ευμενών αποτελεσμάτων.
 2. Σε κάθε διεύθυνση αναλογούν περίπου 300 παρατηρήσεις. Η επιλογή των ακραίων γεγονότων γίνεται αν και μόνο αν για κάθε διαφορετικό χρονολογικό έτος ή έτος καταγραφής παρατηρήσεων θα εμφανίζονταν τουλάχιστο 15 παρατηρήσεις στο κάθε έτος, δηλαδή θα υπήρχε συχνότητα εμφάνισης περίπου στο 5 %. Αυτό γίνεται διότι λιγότερες από 15 παρατηρήσεις πιθανότατα να μην περιγράφουν σωστά ένα γεγονός με αποτέλεσμα την υποεκτίμηση των αποτελεσμάτων.
 3. Τα ακραία γεγονότα που επιλέγονται θα πρέπει να έχουν τουλάχιστο 1 ημέρα διαφορά. Μικρότερη διαφορά αντιστοιχεί στο ίδιο ακραίο γεγονός.
- Δημιουργία τυχαίων χρονοσειρών

	<i>NTUA Wind direction=+</i>	<i>Flags</i>	<i>NTUA Wind speed=+</i>	<i>Flags</i>
2000/05/11 17:00	241.61		3.20	
2000/05/11 20:00	252.25			
2000/05/11 23:00	142.55			
2000/05/12 02:00	146.58			
2000/05/12 05:00	159.09	SUSPECT		
2000/05/12 08:00	171.92		0.93	
2000/05/12 11:00	269.96		1.48	
2000/05/12 14:00	242.41		2.67	
2000/05/12 17:00	247.58		3.46	
2000/05/12 20:00	252.75		1.41	
2000/05/12 23:00	146.78		0.86	
2000/05/13 02:00	144.67		0.92	
2000/05/13 05:00	155.39		1.13	
2000/05/13 08:00	144.42		0.64	
2000/05/13 11:00	286.23		1.54	
2000/05/13 14:00	249.50		2.99	
2000/05/13 17:00	269.21		1.83	
2000/05/13 20:00	217.72		1.47	
2000/05/13 23:00	142.82		999.00	RANGE
2000/05/14 02:00	80.94		1.68	
2000/05/14 05:00	61.87		2.48	
2000/05/14 08:00	35.16		3.34	
2000/05/14 11:00	39.89		4.99	
2000/05/14 14:00			4.66	
2000/05/14 17:00	44.75		4.17	

Εικόνα 9.1 Κύρια οθόνη του λογισμικού Υδρογνώμονα με 2 χρονοσειρές

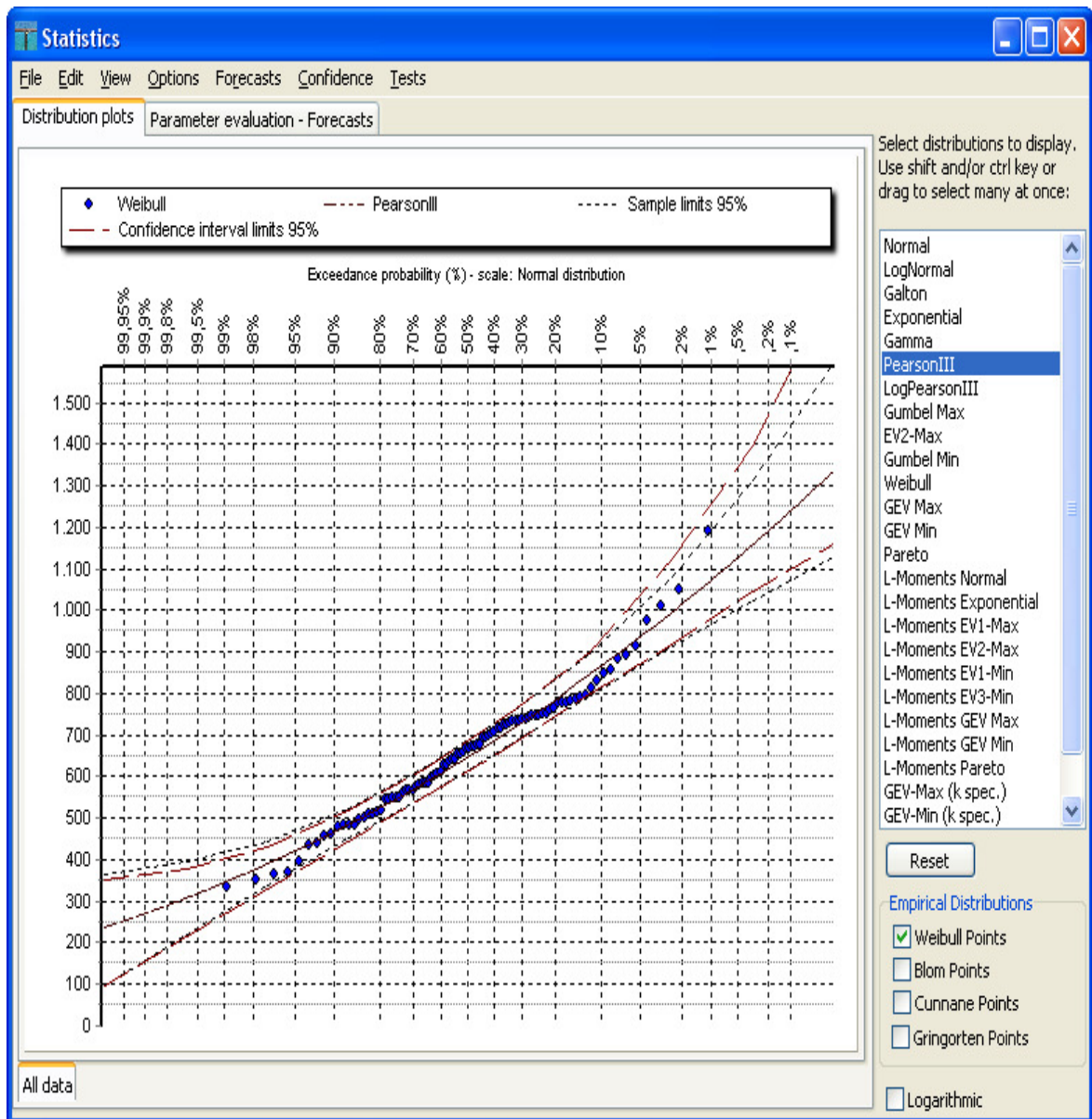
9.3 Υποπρόγραμμα Pythia

Για την τελική επεξεργασία και εξαγωγή αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το υποπρόγραμμα Pythia το οποίο είναι κατάλληλο για τη στατιστική ανάλυση χρονοσειρών. Χρησιμοποιεί ένα μεγάλο φάσμα στατιστικών κατανομών για την ανάλυση και επεξεργασία. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα αναφέρονται είτε σε μηνιαία είτε σε ετήσια κλίμακα. Στη συνέχεια δίδεται η δυνατότητα στατιστικής πρόβλεψης για διάφορες περιόδους επαναφοράς τα οποία αναφέρονται είτε σε μέγιστα είτε σε ελάχιστα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το υποπρόγραμμα Pythia χρησιμοποιήθηκε για τη στατιστική επεξεργασία των 26, 13 και 10 τυχαίων χρονοσειρών, που περιγράφονται στο κεφάλαιο 9.2. Κατόπιν εξάγονται αποτελέσματα για περιόδους επαναφοράς τα 2, 5, 10, 50, 100 έτη, όπως και θα περιγραφεί στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Από το σύνολο των στατιστικών κατανομών που διατίθενται από το υποπρόγραμμα γίνεται επιλογή της Weibull – GEVMAX καθώς το διάγραμμα το οποίο προέρχεται από στατιστική ανάλυση ταιριάζει περισσότερο στη διασπορά του δείγματος. Με αποτέλεσμα να την κάνει την πλέον κατάλληλη για την στατιστική πρόβλεψη των μεγίστων ακραίων γεγονότων. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα εξάγονται σε υπερετήσια κλίμακα.

Η στατιστική πρόβλεψη, όπως έχει είδη αναφερθεί, έγινε για περιόδους επαναφοράς τα 2, 5, 10, 50, 100 χρόνια. Τα αποτελέσματα που έδωσε η στατιστική πρόβλεψη αναφέρονται σε ακραίους μέγιστους ανέμους διάρκειας 10 h και ακραίους μέγιστους κυματισμούς για τις παραπάνω περιόδους επαναφοράς. Τέλος για κάθε χρονοσειρά γίνεται πινακοποίηση των αποτελεσμάτων που προέρχονται από τη στατιστική πρόβλεψη του υποπρογράμματος. Ιδιαίτερα για τους ακραίους μέγιστους ανέμους διάρκειας 10 h, υπολογίζονται οι ακραίοι κυματισμοί με χρήση του μοντέλου CEM και του φάσματος JONSWAP (η διαδικασία περιγράφεται στο κεφάλαιο 8).



Εικόνα 9.2 Στατιστική ανάλυση με το υποπρόγραμμα Pythia

10 Συμπεράσματα / Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

10.1 Ανεμολογικά στοιχεία

Τα ανεμολογικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από μετρήσεις πλοίων που διέρχονται από τις περιοχές μελέτης και μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ εγκατεστημένες στο χερσαίο χώρο των περιοχών μελέτης.

1. Περιοχή Μεθώνης

Ο σταθμός της ΕΜΥ στην περιοχή της Μεθώνης βρίσκεται στη θέση $\lambda=21^{\circ} 42' \text{A}$, $\varphi=36^{\circ} 50' \text{B}$. Χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των μετρήσεων της περιόδου 1956-1997. Από τις μετρήσεις των πλοίων χρησιμοποιήθηκαν αυτές που βρίσκονται στην περιοχή με γεωγραφικό μήκος $\lambda_1-\lambda_2=21^{\circ} 00' \text{A} -21^{\circ} 50' \text{A}$, γεωγραφικό πλάτος $\varphi_1-\varphi_2=36^{\circ} 00' \text{B}-37^{\circ} 00' \text{B}$ και καλύπτουν την περίοδο 1970-2008. Ο συνολικός αριθμός των στοιχείων αυτών ανέρχονται σε 20062.

Συγκρίνοντας τα δύο είδη ανεμολογικών δεδομένων για την ανοιχτή θάλασσα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι :

- Οι μέσες ετήσιες αθροιστικές συχνότητες για διευθύνσεις ανέμου ΝΔ, Ν, ΝΑ ανέρχονται στα 21,281% για τις παρατηρήσεις των πλοίων και στα 15,804% για το μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ.
- Εξετάζοντας την κάθε διεύθυνση αναλυτικότερα διαπιστώνεται ότι για ανέμους διευθύνσεων ΝΔ, Ν και ΝΑ η συχνότητα των παρατηρήσεων των πλοίων ανέρχεται σε 8,743 % έναντι 5,93 % αυτών του μετεωρολογικού σταθμού της Μεθώνης για την πρώτη, σε 6,75 % έναντι 2,432% για τη δεύτερη και 5,788 % έναντι 7,442 % για την τρίτη διεύθυνση.
- Οι παρατηρήσεις των πλοίων μετρούνται σε μονάδες m/sec με μέγιστη ένταση ανέμου τα 30,9 m/sec που αντιστοιχεί σε άνεμο εντάσεως 11 Β. Οι παρατηρήσεις από το μετεωρολογικό σταθμό μετρούνται σε Beaufort και εμφανίζουν μέγιστο άνεμο εντάσεως 9 Β.

2. Περιοχή Ανατολικού Αιγαίου

Ο σταθμός της EMY στην περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου βρίσκεται στη θέση $\lambda=27^{\circ}04' \text{A}$, $\varphi=36^{\circ} 48' \text{B}$. Χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των μετρήσεων της περιόδου 1981-1997. Απο τις μετρήσεις των πλοίων χρησιμοποιήθηκαν αυτές που βρίσκονται στην περιοχή με γεωγραφικό μήκος $\lambda_1-\lambda_2=26^{\circ} 00' \text{A} - 27^{\circ} 50' \text{A}$, γεωγραφικό πλάτος $\varphi_1-\varphi_2=26^{\circ} 10' \text{B} - 37^{\circ} 50' \text{B}$ και καλύπτουν την περίοδο 1970-2008. Ο συνολικός αριθμός των στοιχείων αυτών ανέρχονται σε 10170.

Συγκρίνοντας τα δύο είδη ανεμολογικών δεδομένων για την ανοιχτή θάλασσα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι :

- Οι μέσες ετήσιες αθροιστικές συχνότητες για διευθύνσεις ανέμου Β, ΒΔ και Δ ανέρχονται στα 67,434 % έναντι των αντίστοιχων του μετεωρολογικού σταθμού της Κως σε 62,366 %.
- Εξετάζοντας την κάθε διεύθυνση αναλυτικότερα διαπιστώνετε ότι για ανέμους διευθύνσεων Β, ΒΔ και Δ η συχνότητα των παρατηρήσεων των πλοίων ανέρχεται σε 24,209 % έναντι 31,656 % αυτών του μετεωρολογικού σταθμού της Κως για την πρώτη, σε 31,719 % έναντι 26,558 για τη δεύτερη και 11,506 % έναντι 6,710 % για την τρίτη διεύθυνση.
- Οι παρατηρήσεις των πλοίων μετρούνται σε μονάδες m/sec με μέγιστη ένταση ανέμου τα 28 m/sec που αντιστοιχεί σε άνεμο εντάσεως 10 Β. Οι παρατηρήσεις από το μετεωρολογικό σταθμό μετρούνται σε Beaufort και εμφανίζουν μέγιστο άνεμο εντάσεως 9 Β.

3. Περιοχή Σαρωνικού κόλπου

Ο σταθμός της EMY στην περιοχή του Ελληνικού βρίσκεται στη θέση $\lambda=23^{\circ} 45' \text{A}$, $\varphi=37^{\circ} 54' \text{B}$. Χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των μετρήσεων της περιόδου 1955-1998. Απο τις μετρήσεις των πλοίων χρησιμοποιήθηκαν αυτές που βρίσκονται στην περιοχή με γεωγραφικό μήκος $\lambda_1-\lambda_2=23^{\circ} 00' \text{A}$ έως $24^{\circ} 50' \text{A}$, γεωγραφικό πλάτος φ_1-

$\varphi_2=37^\circ 00' \text{ B} - 38^\circ 00' \text{ B}$ και καλύπτουν την περίοδο 1970-2008. Ο συνολικός αριθμός των στοιχείων αυτών ανέρχονται σε 31548.

Συγκρίνοντας τα δύο είδη ανεμολογικών δεδομένων για την ανοιχτή θάλασσα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι :

- Οι μέσες ετήσιες αθροιστικές συχνότητες για διευθύνσεις ανέμου N και NA ανέρχονται στα 16,083% έναντι των αντίστοιχων του μετεωρολογικού σταθμού του Ελληνικού σε 17,365 %.
- Εξετάζοντας την κάθε διεύθυνση αναλυτικότερα διαπιστώνετε ότι για ανέμους διευθύνσεων N και NA η συχνότητα των παρατηρήσεων των πλοίων ανέρχεται 11,437 % έναντι 11,219 % αυτών του μετεωρολογικού σταθμού του Ελληνικού για την πρώτη και 4,646 % έναντι 6,146 για τη δεύτερη διεύθυνση.
- Οι παρατηρήσεις των πλοίων μετρούνται σε μονάδες m/sec με μέγιστη ένταση ανέμου τα 27,8 m/sec που αντιστοιχεί σε άνεμο εντάσεως 10 B. Οι παρατηρήσεις από το μετεωρολογικό σταθμό μετρούνται σε Beaufort και εμφανίζουν μέγιστο άνεμο εντάσεως 8 B.

10.2 Χαρακτηριστικά κυματισμών

Για την ευρύτερη περιοχή της Μεθώνης, του Ανατολικού Αιγαίου και του Σαρωνικού κόλπου υπάρχουν διαθέσιμες παρατηρήσεις πλοίων. Παρέχονται με τη μορφή χρονοσειρών ανεμολογικά στοιχεία και κυματικά στοιχεία. Τα κυματικά χαρακτηριστικά των παρατηρήσεων των πλοίων παρέχουν πληροφορίες για τη διεύθυνση, τα ύψη και τις περιόδους των κυματισμών. Έτσι για κάθε περιοχή μελέτης και για της διευθύνσεις ενδιαφέροντος εμφανίζονται μέγιστοι κυματισμοί των 10 m για διεύθυνση ανέμου των 160° , των 2,25 m για διεύθυνση ανέμου των 190° και των 5 m για διεύθυνση ανέμου των 270° για τις περιοχές της Μεθώνης, Σαρωνικού κόλπου και Ανατολικού Αιγαίου αντίστοιχα.

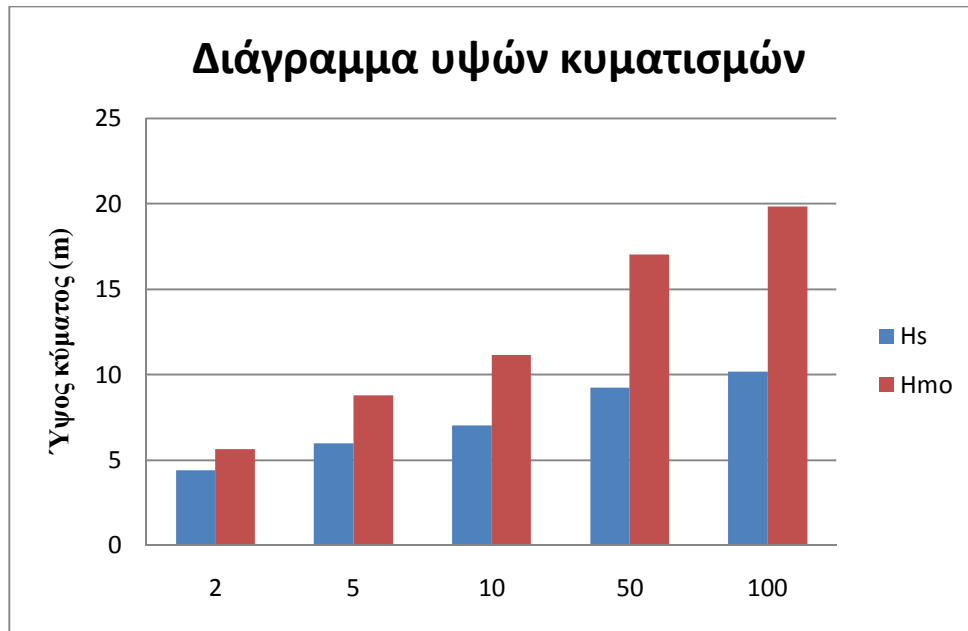
Αξιοποιήθηκαν τα ανεμολογικά στοιχεία από τις παρατηρήσεις των πλοίων και με το φάσμα JONSWAP υπολογίστηκαν τα κυματικά χαρακτηριστικά των τριών περιοχών μελέτης. Στη συνέχεια, και για κάθε περιοχή μελέτης, δημιουργήθηκαν πίνακες με τη συχνότητα εμφάνισης των υψών κύματος σε συνάρτηση με τη διεύθυνση του πνέοντος ανέμου. Πιο συγκεκριμένα στην ευρύτερη περιοχή της Μεθώνης εμφανίζεται μέγιστος κυματισμός 9,25 m με συχνότητα εμφάνισης το 0,01% για διεύθυνση ανέμου (120°-130°]. Για την ευρύτερη περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου και για άνεμο διευθύνσεως (260°-270°] εμφανίζεται μέγιστος κυματισμός των 4,00 m με συχνότητα εμφάνισης το 0,02%. Για την ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού κόλπου και για άνεμο διευθύνσεως (190°-200°] εμφανίζεται μέγιστος κυματισμός των 7,00 m με συχνότητα εμφάνισης το 0,006%.

Τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά από τις παρατηρήσεις πλοίων χρησιμοποιήθηκαν και για τον υπολογισμό των υψών κύματος με το μοντέλο CEM. Για την περιοχή της Μεθώνης και για διεύθυνση ανέμου 130° εμφανίζεται μέγιστος κυματισμός των 12,13 m. Για την περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου και για διεύθυνση ανέμου 300° εμφανίζεται μέγιστος κυματισμός των 5,116 m. Για την περιοχή του Σαρωνικού κόλπου και για διεύθυνση ανέμου 200° εμφανίζεται μέγιστος κυματισμός των 9,102 m.

Τα ανεμολογικά στοιχεία από τις παρατηρήσεις των πλοίων καταγράφονται με διάφορα όργανα ενώ τα κυματικά τους χαρακτηριστικά παρατηρούνται για αυτό το λόγο εμφανίζονται και μεγάλες διαφορές ως προς τους μέγιστους κυματισμούς από τις παρατηρήσεις των πλοίων και αυτών των κυματικών μοντέλων. Διαφορές εμφανίζονται και στο πλήθος των στοιχείων των ανεμολογικών και των κυματικών που διατίθενται από τις παρατηρήσεις των πλοίων το οποίο οφείλεται στην καταγραφή-παρατήρηση.

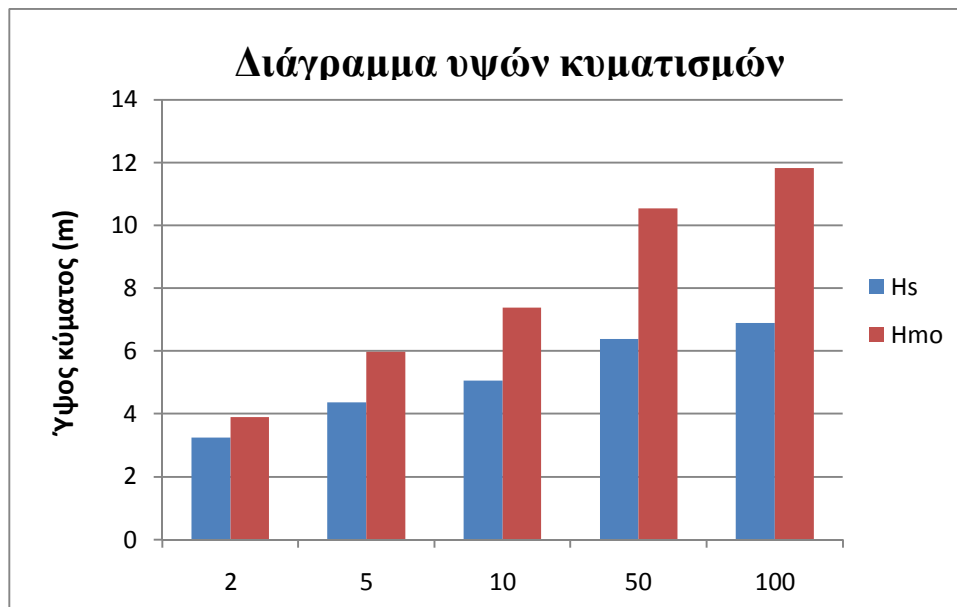
Τέλος υπολογίζονται τα κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από ανάλυση με το φάσμα JONSWAP και το κυματικό μοντέλο CEM μετά από στατιστική πρόβλεψη των ακραίων ανέμων για περιόδους επαναφοράς $T=2,5,10,50,100$ για τις περιοχές Μεθώνης, Σαρωνικού κόλπου και Νοτίου Αιγαίου. Τα ανεμολογικά που χρησιμοποιούνται από το λογισμικό Υδρογνώνων προέρχονται από τις παρατηρήσεις των πλοίων. Συγκρίνοντας τις δυο μεθόδους έχουμε :

1. Για την περιοχή της Μεθώνης με μέσο ανάπτυγμα πελάγους τα 508,2 km



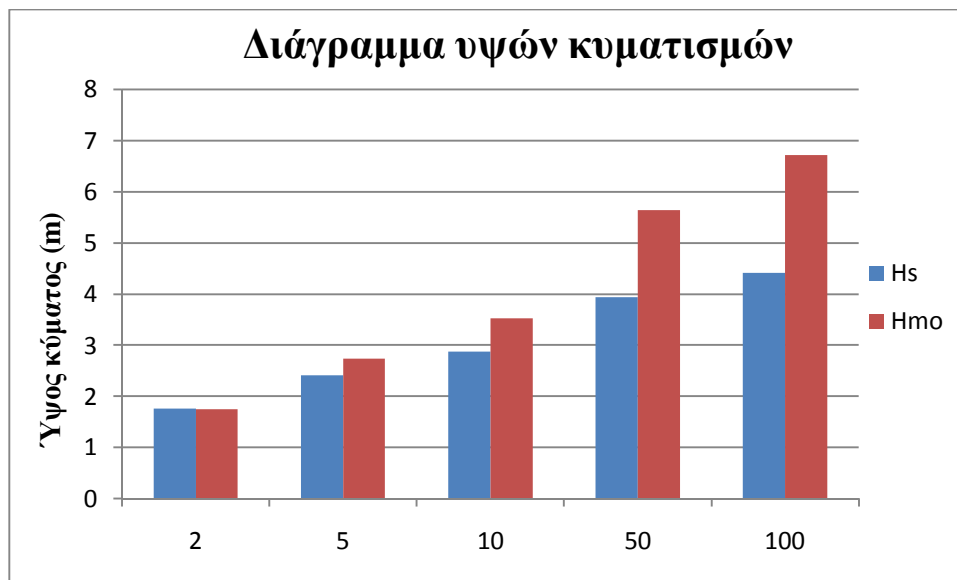
Διάγραμμα 10.1 Διάγραμμα μεγίστων κυματισμών για την περιοχή της Μεθώνης

2. Για την περιοχή του Σαρωνικού κόλπου με μέσο ανάπτυγμα πελάγους τα 231,25km



Διάγραμμα 10.2 Διάγραμμα μεγίστων κυματισμών για την περιοχή του Σαρωνικού κόλπου

3. Για την περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου με μέσο ανάπτυγμα πελάγους τα 95,26km



Διάγραμμα 10.3 Διάγραμμα μεγίστων κυματισμών για την περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου

11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ανεμολογικά στοιχεία : τα ανεμολογικά στοιχεία που έχουν χρησιμοποιηθεί προέρχονται από παρατηρήσεις πλοίων και από παρατηρήσεις μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ. Συγκρίνοντας τα δύο είδη ανεμολογικών δεδομένων για την ανοιχτή θάλασσα παρατηρείται ότι :

Οι επιτόπιες μετρήσεις από μετεωρολογικούς σταθμούς στην ξηρά επηρεάζονται σημαντικά από το ανάγλυφο του χερσαίου χώρου. Η επίδραση αυτή δεν μπορεί να εκτιμηθεί εύκολα με αποτέλεσμα να εμφανίζουν χαμηλότερη χρονική συχνότητα, χαμηλότερο μέγιστο άνεμο και να περιορίζονται ιδιαίτερα στο χώρο. Χρησιμοποιούν ως μονάδα μέτρησης την κλίμακα Beaufort η οποία προσδιορίζει την ταχύτητα του ανέμου δίνοντας για κάθε τιμή της κλίμακας σημαντικό εύρος τιμών σε μονάδες μετατόπισης/χρόνου πχ. Άνεμος 8 Β να είναι $17,2 \leq U_{10min} \leq 20,7$. Η κλίμακα Beaufort δηλώνει την κατάσταση της θάλασσας όπως αυτή επηρεάζεται από τον άνεμο και μόνο. Γεννάται το πρόβλημα χρήσης της κλίμακας καθώς στον σχεδιασμό λιμενικών έργων χρησιμοποιείται ο μέγιστος-ακραίος άνεμος της κλίμακας ενώ σε έργα ακτομηχανικής χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές της κλίμακας. Από την άλλη οι παρατηρήσεις πλοίων προσφέρουν μεγαλύτερη χωρική κάλυψη. Οι παρατηρείς στα ανοιχτά εμφανίζουν υψηλές χρονικές συχνότητες και μέγιστους ανέμους καθώς δεν επηρεάζονται από φυσικά εμπόδια, όμως περιορίζονται σε συγκεκριμένες πορείες (αποφεύγοντας όπου είναι δυνατό τις περιοχές με εντονότερες καιρικές συνθήκες). Οι παρατηρήσεις τους αναφέρονται σε διακριτές τιμές όπου και συνοδεύονται από συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα που διευκολύνουν τη δημιουργία χρονοσειρών. Με τη βοήθεια των χρονοσειρών μπορούμε να υπολογίσουμε τα κυματικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής, με στατιστική πρόβλεψη, για διάφορες περιόδους επαναφοράς. Οι παρατηρήσεις από τα πλοία υπερέχουν έναντι των παρατηρήσεων από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ, καθώς δίνουν ανεμολογικά χαρακτηριστικά χωρίς να διευκρινίζουν το χρονικό διάστημα εμφάνισής τους.

Κυματικά χαρακτηριστικά : συγκρίνοντας τα κυματικά χαρακτηριστικά που προέρχονται από το φάσμα JONSWAP και το μοντέλο CEM και τα κυματικά χαρακτηριστικά από στατιστική πρόβλεψη για περιόδους επαναφοράς τα $T=2,5,10,50,100$ έτη παρατηρείται ότι:

Το κυματικό μοντέλο CEM υπερεκτιμά τα κυματικά χαρακτηριστικά για μεγάλα αναπτύγματα πελάγους (όπως περιοχή της Μεθώνης 508,2 km) και για μεγάλες ταχύτητες ανέμου δίνει εξαιρετικά μεγάλους κυματισμούς. Σε μικρότερα αναπτύγματα πελάγους (όπως περιοχή της Κω 95,26 km και για μικρότερες ταχύτητες το κυματικό μοντέλο CEM δημιουργεί παρόμοιους κυματισμούς με το φάσμα JONSWAP αλλά και πάλι μεγαλύτερους. Όσο η ένταση του ανέμου και το ανάπτυγμα πελάγους αυξάνουν, τόσο τα κυματικά χαρακτηριστικά που υπολογίζονται από το μοντέλο CEM αυξάνουν. Φαίνεται ότι το φάσμα JONSWAP ανταποκρίνεται καλύτερα στην πραγματικότητα των Ελληνικών Θαλασσών και συγκρίνοντάς το με τα μέγιστα ύψη των κυματισμών από τις παρατηρήσεις των πλοίων, είναι εκείνο το οποίο έχει και την καλύτερη αντιστοιχία.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

- Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από εξεργασία με το πρόγραμμα CEM για τις παρατηρήσεις των πλοίων και τα στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών125
- Συχνότητες εμφάνισης διαφόρων υψών κυματισμών ως προς τη διεύθυνσή τους με το φάσμα JONSWAP129

ΔΑ	ΔΑ AN EM	U	U AN EM	U10	U10 ANEM	V10	V10 ANE M	CD	CD ANEM	u*	u* ANEM	Hmo	Hmo ANE M	Τρ	Τρ ANEM
120	NA	21,1	20,7	15,76	15,517	21,099	20,699	0,00184	0,00182	0,9047	0,8841	8,249	8,062	12,39	12,3
130		30,9		21,491		30,899		0,00185		1,3298		12,13		14,09	
140		30		20,981		29,999		0,00183		1,2848		11,72		13,93	
150		23,2		17,024		23,199		0,0017		0,9554		8,711		12,62	
160	N	25,7	20,7	18,501	15,517	25,699	20,699	0,00175	0,00182	1,0743	0,8841	8,958	7,372	12,36	11,588
170		16,5		12,905		16,499		0,00155		0,6499		5,42		10,45	
180		21,1		15,76		21,099		0,00165		0,8575		7,15		11,47	
190		20		15,089		19,999		0,00163		0,807		6,729		11,24	
200		20,1		15,15		20,099		0,00163		0,8115		6,767		11,26	
210	NΔ	14,9	24,4	11,878	17,737	14,9	24,399	0,00152	0,00195	0,5801	1,0785	6,517	12,11	12,28	15,104
220		18		13,85		17,999		0,00158		0,7165		8,051		13,18	
230		18		13,85		17,999		0,00158		0,7165		8,051		13,18	
240		19		14,473		18,999		0,00161		0,7615		8,556		13,45	

Πίνακας 1.1. Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από εξεργασία με το πρόγραμμα CEM για τις παρατηρήσεις των πλοίων και τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού της Μεθώνης

ΔΑ	ΔΑ ANEM	U	U ANEM	U10	U10 ANEM	V10	V10 ANEM	CD	CD ANEM	u*	u*ANEM	Hmo	Hmo ANEM	Tp	Tp ANEM
120	NA	18	17,1	13,85	13,285	17,999	17,099	0,00173	0,001698	0,7487	0,7047	3,393	3,194	7,301	7,155
130		20,6		15,456		20,599		0,00164		0,8345		3,782		7,57	
140		19		14,473		18,999		0,00161		0,7615		3,451		7,343	
150		19		14,473		18,999		0,00161		0,7615		3,451		7,343	
160	N	17	20,7	13,222	15,517	16,999	20,699	0,00156	0,001824	0,672	0,8841	5,2	6,842	10,06	11,03
170		19		14,473		18,999		0,00161		0,7615		5,893		10,49	
180		26,2		18,793		26,199		0,00176		1,0984		8,5		11,85	
190		20,1		15,15		20,099		0,00163		0,8115		6,28		10,71	
200		27,8		19,721		27,799		0,00179		1,1762		9,102		12,13	

Πίνακας 1.2. Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από εξεργασία με το πρόγραμμα CEM για τις παρατηρήσεις των πλοίων και τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού του Ελληνικού

ΔΑ	ΔΑ ANEM	U	U ANEM	U10	U10 ANEM	V10	V10 ANEM	CD	CD ANEM	u*	u* ANEM	Hmo	Hmo ANEM	Tp	Tp ANEM
20	B	19	20,7	14,473	15,517	18,999	20,699	0,00176	0,00182	0,7982	0,8841	2,194	2,43	5,344	5,529
10		22,1		16,365		22,099		0,00167		0,9039		2,484		5,57	
0-360		25,2		18,208		25,199		0,00174		1,0503		2,887		5,856	
350		22,1		16,365		22,099		0,00167		0,9039		2,484		5,57	
340	BΔ	23,2	17,1	17,024	13,285	23,199	17,099	0,0017	0,0017	0,9554	0,7047	4,654	3,433	8,31	7,509
330		20,1		15,15		20,099		0,00163		0,8115		3,953		7,87	
320		20,1		15,15		20,099		0,00163		0,8115		3,953		7,87	
310		17		13,222		16,999		0,00156		0,672		3,274		7,391	
300		25,2		18,208		25,199		0,00174		1,0503		5,116		8,577	
290	Δ	18	20,7	13,85	15,517	17,999	20,699	0,00158	0,00182	0,7165	0,8841	3,074	3,793	6,937	7,441
280		17		13,222		16,999		0,00156		0,672		2,883		6,791	
270		28		19,837		27,999		0,00179		1,186		5,088		8,206	
260		15,9		12,522		15,9		0,00154		0,6236		2,675		6,623	
250		15,4		12,201		15,4		0,00153		0,6018		2,582		6,545	

Πίνακας 1.3. Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από εξεργασία με το πρόγραμμα CEM για τις παρατηρήσεις των πλοίων και τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού της Κως

ΔΑ	:	Διεύθυνση ανέμου από παρατηρήσεις πλοίων	(°)
ΔΑANEM	:	Διεύθυνση ανέμου από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	
U	:	Ταχύτητα ανέμου από παρατηρήσεις πλοίων	(m)
UANEM	:	Ταχύτητα ανέμου από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	(m)
U10	:	Ταχύτητα ανέμου διάρκειας 10 h που προέρχονται από τις παρατηρήσεις των πλοίων	(m)
U10ANEM	:	Ταχύτητα ανέμου διάρκειας 10 h που προέρχονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	(m)
V10	:	Ταχύτητα ανέμου 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας που προέρχονται από τις παρατηρήσεις των πλοίων	(m)
V10ANEM	:	Ταχύτητα ανέμου 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας που προέρχονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	(m)
CD	:	Συντελεστής CD προερχόμενος από παρατηρήσεις πλοίων	
CDANEM	:	Συντελεστής CD προερχόμενος από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	
u*	:	Ταχύτητα τύρβης προερχόμενη από τις παρατηρήσεις πλοίων	
u*ANEM	:	Ταχύτητα τύρβης προερχόμενη από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	
Hmo	:	Μέγιστος κυματισμός από τις παρατηρήσεις των πλοίων	(m)
HmoANEM	:	Μέγιστος κυματισμός από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	(m)
Trp	:	Μέγιστη περίοδος από τις παρατηρήσεις πλοίων	(sec)
TrpANEM	:	Μέγιστη περίοδος από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	(sec)

Διεύθυνση κύματος σε μοίρες (°)								
Ύψος κύματος (m)		110-120	120-130	130-140	140-150	150-160	160-170	170-180
Ελλιπής μέτρηση		0	0	0	0	0,01	0	0
	<= 0,25	0,025	0,01	0,01	0,015	0	0	0,02
	0,25-0,50	0,07	0,04	0,179	0,03	0,065	0,03	0,04
	0,50-0,75	0,09	0,06	0,099	0,04	0,169	0,12	0,319
	0,75-1,00	0,179	0,179	0,349	0,09	0,09	0,179	0,249
	1,00-1,25	0,12	0,169	0,161	0,12	0,169	0,131	0,219
	1,25-1,50	0,12	0,11	0,169	0,11	0,129	0,14	0,209
	1,50-1,75	0,129	0,139	0,299	0,14	0,1	0,119	0,139
	1,75-2,00	0,219	0,159	0,389	0,309	0,129	0,06	0,149
	2,00-2,25	0,06	0,06	0,149	0,129	0,149	0,1	0,179
	2,25-2,50	0,269	0,189	0,249	0,139	0,05	0,018	0,07
	2,50-2,75	0,179	0,189	0,22	0,09	0,08	0,069	0,169
	2,75-3,00	0,11	0,09	0,139	0,05	0,1	0,05	0,09
	3,00-3,25	0,169	0,06	0,249	0,07	0,03	0,01	0,03
	3,25-3,5	0,07	0,04	0,089	0,05	0,07	0,05	0,05
	3,50-3,75	0,01	0,05	0,06	0,02	0,02	0	0,02
	3,75-4,00	0,129	0,1	0,139	0,05	0,03	0,02	0,01
4,00-4,25	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0	0,04	
4,25-4,5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	

4,5-4,75	0,06	0,04	0,08	0,06	0,01	0	0,01
4,75-5	0,02	0	0,01	0,01	0,01	0	0,01
5-5,25	0	0,03	0,27	0,01	0	0	0,01
5,25-5,5	0	0,05	0,07	0,01	0	0	0,01
5,5-5,75	0,04	0,03	0	0	0,01	0	0,01
5,75-6	0	0	0	0	0	0	0
6-6,25	0,02	0,01	0,02	0	0	0	0
6,25-6,5	0	0	0,01	0	0	0	0
6,5-6,75	0	0,01	0	0	0	0	0
6,75-7	0	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0
7-7,25	0	0	0	0	0	0	0
7,25-7,5	0	0	0	0	0	0	0
7,5-7,75	0	0	0	0	0	0	0
7,75-8	0	0	0	0	0	0	0
8-8,25	0	0	0	0	0	0	0
8,25-8,5	0	0	0	0	0	0	0
8,5-8,75	0	0	0	0	0	0	0
8,75-9	0	0	0,01	0	0	0	0
9-9,25	0	0,01	0	0	0	0	0
SUM	2,168	1,924	3,519	1,622	1,48	1,106	2,062

Διεύθυνση κύματος σε μοίρες (°)									
Υψος κύματος (m)									SUM
	170-180	180-190	190-200	200-210	210-220	220-230	230-240		
Ελλιπής μέτρηση	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
<= 0,25	0,02	0	0	0,005	0,005	0	0,01		0,1
0,25-0,50	0,04	0,035	0,109	0,02	0,02	0,04	0,05		0,728
0,50-0,75	0,319	0,02	0,1	0,03	0,04	0,03	0,03		1,147
0,75-1,00	0,249	0,06	0,149	0,07	0,159	0,231	0,1		2,084
1,00-1,25	0,219	0,129	0,22	0	0,01	0	0,01		1,458
1,25-1,50	0,209	0,08	0,129	0,209	0,189	0,249	0,249		2,092
1,50-1,75	0,139	0,06	0,089	0,05	0,1	0,139	0,1		1,603
1,75-2,00	0,149	0,06	0,129	0,1	0,149	0,2	0,159		2,211
2,00-2,25	0,179	0,1	0,159	0,07	0,09	0,159	0,169		1,573
2,25-2,50	0,07	0,03	0,07	0,05	0,07	0,109	0,06		1,373
2,50-2,75	0,169	0,02	0,09	0,1	0,08	0,059	0,11		1,455
2,75-3,00	0,09	0,07	0,059	0,06	0,12	0,169	0,179		1,286
3,00-3,25	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02		0,758
3,25-3,5	0,05	0,04	0,02	0,05	0,09	0,069	0,08		0,768
3,50-3,75	0,02	0,01	0,03	0,04	0,12	0,17	0,1		0,65
3,75-4,00	0,01	0	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02		0,588
4,00-4,25	0,04	0	0	0	0,02	0,01	0		0,27
4,25-4,5	0,01	0	0	0,03	0,05	0,03	0,02		0,23
4,5-4,75	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,05	0,05		0,43

4,75-5	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,07
5-5,25	0,01	0	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,42
5,25-5,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0	0,19
5,5-5,75	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0,1
5,75-6	0	0	0	0	0,01	0	0,02	0,03
6-6,25	0	0	0	0	0	0,01	0	0,06
6,25-6,5	0	0	0	0	0	0	0	0,01
6,5-6,75	0	0	0	0	0,01	0,02	0,01	0,05
6,75-7	0	0	0	0	0	0	0,02	0,07
7-7,25	0	0	0	0	0	0	0	0
7,25-7,5	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5-7,75	0	0	0	0	0	0	0	0
7,75-8	0	0	0	0	0	0	0	0
8-8,25	0	0	0	0	0	0	0	0
8,25-8,5	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5-8,75	0	0	0	0	0	0	0	0
8,75-9	0	0	0	0	0	0	0	0,01
9-9,25	0	0	0	0	0	0	0	0,01
SUM	2,062	0,764	1,443	0,994	1,442	1,854	1,586	21,964

Σεζόν	:	Ετήσια
Γεωγραφικό πλάτος-Latitude : 36° 00' N - 37° 00' N		
Περιοχή	:	

Γεωγραφικό μήκος-Longitude : 21° 00' E - 21° 50' E	
Πλήθος	: 4322
παρατηρήσεων	

Πίνακας 1.4. Συχνότητες εμφάνισης διαφόρων υψών κυματισμών ως προς τη διεύθυνσή τους με το φάσμα JONSWAP για την περιοχή της Μεθώνης

Διεύθυνση κύματος σε μοίρες (°)									
Ύψος κύματος (m)			240-250	250-260	260-270	270-280	280-290	290-300	300-310
			Ελλιπής μέτρηση			-	-	-	-
<= 0,25			0,118	0,02	0,138	0,039	0,098	0,157	0,118
0,25-0,50			0,256	0,374	0,846	0,374	0,531	0,413	0,806

0,50-075	0,334	0,216	0,905	0,57	0,806	0,59	0,708
0,75-1,00	0,334	0,354	0,57	0,413	0,472	0,885	1,495
1,00-1,25	0,098	0,157	0,492	0,354	0,393	0,492	0,944
1,25-1,50	0,077	0,118	0,216	0,315	0,354	0,767	1,396
1,50-1,75	0,04	0,098	0,098	0,059	0,177	0,511	0,708
1,75-2,00	0,059	0,059	0,118	0,04	0,098	0,216	0,492
2,00-2,25	0,02	0,04	0,079	0,02	0,059	0,177	0,393
2,25-2,50	0	0	0,059	0,02	0,059	0,098	0,157
2,50-2,75	0	0	0	0	0	0,02	0,059
2,75-3,00	0	0	0	0	0	0,04	0
3,00-3,25	0	0	0	0	0	0	0
3,25-3,5	0	0	0	0	0	0	0
3,50-3,75	0	0	0	0	0	0,02	0
3,75-4,00	0	0	0,02	0	0	0	0
SUM	1,336	1,436	3,541	2,204	3,047	4,386	7,276

Διεύθυνση κύματος σε μοίρες (°)								
Ύψος κύματος (m)	310-320	320-330	330-340	340-350	350-360	360-10	10-20	
								SUM
Ελλιπής μέτρηση	-	-	-	-	-	-	-	-
<= 0,25	0,413	0,275	0,374	0,197	3,658	0,177	0,216	5,998
0,25-0,50	1,16	0,433	1,357	0,61	0,924	0,374	0,433	8,891
0,50-075	1,18	0,354	1,436	0,767	1,003	0,433	0,59	9,892

0,75-1,00	1,87	0,944	1,73	1,219	0,905	0,728	0,55	12,469
1,00-1,25	1,85	1,023	0,983	0,767	0,885	0,452	0,295	9,185
1,25-1,50	2,439	1,219	0,452	0,413	0,472	0,157	0,197	8,592
1,50-1,75	1,849	1,455	0,197	0,197	0,197	0,216	0,236	6,038
1,75-2,00	0,846	0,531	0,079	0,098	0,059	0,098	0	2,793
2,00-2,25	0,629	0,393	0,02	0	0,059	0	0	1,889
2,25-2,50	0,452	0,354	0	0	0	0	0	1,199
2,50-2,75	0,177	0,059	0	0	0	0	0	0,315
2,75-3,00	0,02	0,079	0	0	0	0	0	0,139
3,00-3,25	0	0,02	0	0	0	0	0	0,02
3,25-3,5	0	0	0	0	0	0	0	0
3,50-3,75	0	0	0	0	0	0	0	0,02
3,75-4,00	0	0	0	0	0	0	0	0
SUM	12,885	7,139	6,628	4,268	8,162	2,635	2,517	67,46

Σεζόν	:	Ετήσια
Γεωγραφικό πλάτος-Latitude : 26° 10' B- 37° 50' B 26° 10' B έως 37° 50' B		
Περιοχή	:	Γεωγραφικό μήκος-Longitude : 26° 00' E- 27° 50' E
Πλήθος παρατηρήσεων	:	6877

Πίνακας 1.5. Συχνότητες εμφάνισης διαφόρων υψών κυματισμών ως προς τη διεύθυνσή τους με το φάσμα JONSWAP για την περιοχή του Νοτίου Αιγαίου

Διεύθυνση κύματος σε μοίρες (°)									
Ύψος κύματος (m)	110-120	120-130	130-140	140-150	150-160	170-180	180-190	190-200	
Ελλιπής μέτρηση	-	0,006	-	-	0,006	-	-	-	0,012
<= 0,25	0,108	0,155	0,257	0,117	0,006	0,26	0,133	0,203	1,239
0,25-0,50	0,241	0,203	0,494	0,38	0,216	0,165	0,101	0,095	1,895
0,50-0,75	0,165	0,165	0,412	0,387	0,323	0,634	0,266	0,387	2,739
0,75-1,00	0,114	0,101	0,146	0,165	0,197	0,304	0,178	0,216	1,421
1,00-1,25	0,082	0,082	0,139	0,162	0,184	0,55	0,203	0,323	1,725
1,25-1,50	0,025	0,063	0,076	0,101	0,19	0,418	0,241	0,33	1,444
1,50-1,75	0,029	0,025	0,051	0,051	0,178	0,292	0,139	0,203	0,968
1,75-2,00	0	0,006	0,038	0,013	0,07	0,19	0,108	0,203	0,628
2,00-2,25	0,013	0,006	0,019	0,006	0,114	0,184	0,089	0,133	0,564
2,25-2,50	0	0,013	0,006	0	0,038	0,158	0,095	0,184	0,494
2,50-2,75	0,006	0	0	0,006	0,019	0,146	0,07	0,108	0,355
2,75-3,00	0	0,006	0,006	0,006	0,025	0,082	0,057	0,07	0,252
3,00-3,25	0	0,006	0	0	0,025	0,127	0,063	0,063	0,284
3,25-3,5	0	0	0	0	0,013	0,063	0,025	0,057	0,158
3,50-3,75	0	0	0	0	0	0,013	0,006	0,032	0,051
3,75-4,00	0	0	0	0	0,025	0,025	0,032	0,038	0,12

4,00-4,25	0	0	0	0	0,006	0,019	0,019	0,019	0,063
4,25-4,5	0	0	0	0	0	0	0,006	0,019	0,025
4,5-4,75	0	0	0	0	0	0	0,013	0,019	0,032
4,75-5	0	0	0	0	0	0,006	0	0	0,006
5-5,25	0	0	0	0	0,006	0	0,006	0	0,012
5,25-5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,5-5,75	0	0	0	0	0	0	0	0,019	0,019
5,75-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,25-6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,5-6,75	0	0	0	0	0	0,006	0,006	0	0,012
6,75-7	0	0	0	0	0	0	0	0,006	0,006
SUM	0,783	0,837	1,644	1,394	1,641	3,642	1,856	2,727	14,524

Σεζόν	:	Ετήσια
Γεωγραφικό πλάτος-Latitude : 37° 00' B- 38° 00' B		
Περιοχή	:	
Γεωγραφικό μήκος-Longitude : 23° 00' A-24° 50' A		
Πλήθος παρατηρήσεων	:	5089

Πίνακας 1.6. Συχνότητες εμφάνισης διαφόρων υψών κυματισμών ως προς τη διεύθυνσή τους με το φάσμα JONSWAP για την περιοχή του Σαρωνικού κόλπου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

- Χρονοσειρές ανέμων και κυματισμών για διάφορες διευθύνσεις για τις ευρύτερες περιοχές139
- Στατιστικές κατανομές χρονοσειρών ανέμων-κυματισμών διαφόρων διευθύνσεων.....152
- Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από το λογισμικό Υδρογώμονα177

Χρονοσειρά	wind130	wind140	wind150	wind160	wind170	wind180
1970	13,4	13,9	15,4	12,9	12,9	12,9
1971	13	12,9	18	13,4	10,8	
1972	19	13,4	12,3	12,3		
1973	12,3	9,3	9,8	7,7		
1974		9,3	14,4	8,2	9,3	12,9
1975	16,5	12,3	12,9		12,9	10,3
1976	20,6	12,9	15,4	7,2	12,3	9,3
1977	10,3	9,8	12,9	9,8	15,9	9,8
1978	15,9		15,4		7,2	
1979	16,5	9,3	9,8	9,8	8,2	
1980			15,4	6,7		
1981		19	12,9		15,4	7,2
1982	19	15,4	10,3	8,7	14,4	12,9
1983	13,9	22,1	16,5	15,4	13,9	
1984	19	21,1	15,9	23,2	8,7	14,4
1985	12,9	8,7	15,9	15,4	13,9	12,9
1986	21,1	17,5	11,8	11,8	15,4	8,2
1987	11,8	30,9	20,6	14,9	25,7	10,8
1988	12	10,3	15,4		14,9	10,8
1989	15,4	23,2	13,9	17,5	9,3	14
1990	10,3		15	12,3	14	9
1991	10,3	15	23	16,5		
1992		12,9	11,3	7,7	10,8	
1993	13,4		9			

1994	21,1	22,1	7,7	11	20,6	
1995	19,5	19	6,2	10,3		
1996	12,9	15,4	10,3	18,5	17,5	
1997	20,6	30,9	13,4	16,5	12	12,9
1998		11,3	14,4		10,8	
1999	13,4	18	30	18,5		
2000	12,3		15			
2001			13	8		
2002			12,3			
2003			9		12	
2004	12,9	18	10,8	17,5		16,5
2005	15	12		15,4		
2006						
2007						12,3
2008						

Χρονοσειρά	wind190	wind200	wind210	wind220	wind230	wind240
1970	12,9	13,9	12,9	9,3	12,9	9,3
1971	7,7	11,8	14,9	11,3	14,9	8,7
1972		9,8				
1973	12,9	18		11,3	11,3	19
1974		13,4				
1975	18	10,8	8,2		10,8	
1076	10,3		9,8	7,7	13,9	12,9

1977	9,8	19		10,3		10,3
1978	11,8		12,3	14,4	14,4	9,8
1979	9,8	7,2	8,2		12,9	
1980				12,3	10,3	10,3
1981			10,8	15,9		10,8
1982	8,7	12,3	13,9	12,3	12,9	13,9
1983	9,8	19	12,9	15,9	14,9	16,5
1984	11,8	8,7	8,2	10,3	11,8	11,8
1985	14,9	14,4	14,9	12,9	18	18
1986	12,9	10,8	7,2	7,7	9,3	9,3
1987	21,1	20,1	13,9	15,4	14,9	12,9
1988	9,8	17	7,2	10,3	12,9	12,9
1989	13	10	12,9	13,9	9,3	13,9
1990	9,3	8,2	12	12	13,4	13
1991	10	17	9,3	18	11,3	18
1992			7,2	11,3	9,3	11,8
1993				12,3		10,8
1994		12,3	9,3	14,4		9,3
1995				10,3	10,3	10,3
1996	10,3		11	10,3	10,3	7,2
1997			9,3	9,3		8
1998		8,7			18	16,5
1999		9		14,9	14,4	13
2000					9,8	
2001					18	19

2002						10
2003					17	16,5
2004						
2005						
2006						
2007						
2008						

Χρονοσειρά	wave120	wave130	wave140	wave150	wave160	wave170
1970	3,95	4,1	4,54	3,8	3,48	3,48
1971	3,33	3,8	5,3	3,95	2,91	
1972	5,6	3,95	3,62	3,63		
1973	3,63	2,74	2,89	2,27		
1974		2,74	4,24	2,41	2,5	3,48
1975	4,86	3,62	3,8		3,48	2,77
1076	6,07	3,8	4,54	2,12	3,32	2,5
1977	3,04	2,74	3,8	2,89	4,29	2,64
1978	4,69		4,54		1,94	
1979	4,86	3,62	3,8	2,89	2,21	
1980			3,04	1,98		
1981		5,6	4,87		4,15	1,94
1982	5,6	4,54	4,69	2,56	3,88	3,48
1983	4,1	6,5	4,69	4,54	3,75	
1984	5,6	6,22	3,48	6,84	2,34	3,88

1985	3,81	2,56	6,07	4,54	3,75	3,48
1986	6,22	5,3	4,54	3,84	4,15	2,21
1987	3,48	6,84	4,1	4,39	6,93	2,91
1988	3,54	3,03	4,42		4,02	2,91
1989	4,54	6,84	6,78	5,16	2,5	3,77
1990	3,04		3,33	3,63	3,78	2,43
1991	3,04	4,42	2,65	4,87		
1992		3,8	2,27	2,27	2,91	
1993	3,95		1,82			
1994	6,22	6,5	3,04	3,24	5,55	
1995	5,75	5,6	3,95	3,04		
1996	3,8	4,54	4,25	5,45	4,7	
1997	6,07	9,11	8,85	4,87	3,23	3,48
1998		4,39	4,42		2,91	
1999	3,95	5,3	3,83	5,45		
2000	3,63		3,63			
2001			2,65	2,36		
2002			3,18			
2003					3,24	
2004	3,8	5,3		5,16		4,45
2005	4,42	3,53		4,54		
2006						
2007						3,37
2008						

Χρονοσειρά	wave180	wave190	wave200	wave210	wave220	wave230	wave240
1970	3,48	3,48	3,75	4,68	3,38	4,68	3,38
1971	2,08	3,31	3,18	5,41	4,1	5,41	3,16
1972			2,64				
1973	3,48	2,64	4,85		4,1	4,1	6,9
1974		2,78	3,61				
1975	4,85	2,34	2,91	2,98		3,92	
1976	2,78			3,56	2,8	5,05	4,69
1977	2,64		5,12		3,74		3,74
1978	3,18			4,48	5,23	5,23	3,56
1979	2,64		1,94	2,98		4,68	
1980					4,47	3,74	3,74
1981				3,92	5,78		3,92
1982	2,34	2,21	3,32	5,05	4,47	4,68	5,05
1983	2,64	4,72	5,12	4,68	5,78	5,41	5,99
1984	3,18	3,31	2,35	2,98	3,47	4,29	4,29
1985	4,02	2,21	3,88	5,41	4,69	6,54	6,54
1986	3,48	2,91	2,91	2,61	2,78	3,38	3,79
1987	5,71	3,74	5,42	5,05	5,6	5,41	4,69
1988	2,64	3,18	4,58	2,61	3,74	4,68	4,69
1989	3,51	1,94	2,7	4,69	5,05	3,38	5,05
1990	2,51	2,08	2,21	4,36	4,36	4,87	4,72
1991	2,69	3,47	4,58	3,38	6,5	4,1	6,54
1992				2,61	4,1	3,38	4,28
1993					4,47		3,92

1994			3,32	3,38	5,23		3,79
1995					3,74	3,74	3,74
1996	2,77			4	3,74	3,74	2,61
1997				3,38	3,38		2,9
1998			2,35			6,54	5,99
1999		2,78	2,42		5,41	5,23	4,72
2000						3,56	
2001		2,97				6,54	6,9
2002							3,63
2003						6,18	5,99
2004							
2005							
2006							
2007		5,39					
2008							

Πίνακας 2.1 Χρονοσειρές ανέμων και κυματισμών για διάφορες διευθύνσεις για την ευρύτερη περιοχή της Μεθώνης

Χρονοσειρά	wind20	wind10	wind0-360	wind350	wind340	wind330	wind320
1970	9,3		5,1	18	10,3	12,3	18
1971	6,7		17		8,2		11,3
1972	9,8	11,3	17,5	12,9	15,9		14,4
1973		12,3	12,3		12,9	9,3	
1974			8,7			11,3	12,9
1975	15,4	10,3	13,9	15,4	20,9	13,9	15,4
1076		9,3	13,9	17	12,9	18	12,3
1977	10,3	12,3	19,5	14,4	12,6	9,3	10,8
1978	12,3		20,6	12,3	15,9		7,7
1979	9,8	19		11,8	15,4	10,8	15,9
1980	18	9,3	9,3	15,4			12,3
1981		9,8	12,3	12,9	19,5	12,9	14,4
1982	17	14,9	15,9	20,1	15,4	15,9	19
1983	18	20,1	25,2	21,1	15,4	15,9	20,1
1984	8,7	22,1	14,4	15,9	17	15,4	15,9
1985	16,5	12,9	15,4	22,1	15,9	15,4	15,4
1986	8,7	15,4	14,4	14,9	12,9	15,9	15,9
1987	9,3	15,9	12,9	15,9	20,1	20,1	14,9
1988	18	14	12,9	12,3	19	13,9	12,3
1989	15,4	12,9	12,9	16	12	15,4	14
1990	15	12,9	19	16	16	14	14,4
1991	15	11	12,9	13	9	12,3	11,8

1992	13,9	17	12,3	13	9,3	15,4	17
1993		12,3	15,4	20	20,6	12,3	11
1994	8,2	15,4	20,1	20,6	12,9	16	15,4
1995	18	18	20,6	10,8	23,2	13	11
1996	18	18	15	12,9	15,4	15	12,9
1997	18,5	18	15,4	19	10,3	18,5	13,9
1998		12,9	10,3	11,3	15,4	6,7	14,4
1999	8,7	10	15		20	15	12,3
2000	15,4	21	17,5	12	11	10	15,9
2001	19		10,3		14	12	7
2002					8	11,3	
2003		15		15	17		
2004	13		15,4			15,1	
2005	10			12,9		10	15,4
2006	9						10,8
2007	19						11
2008			14	14,9	12	10	11,8

Χρονοσειρά	wind310	wind300	wind290	wind280	wind270	wind260	wind250
1970	14,4	12,9		9,3	15,4		
1971		8,2	11,3		7,7		8,2
1972	13,9	15,4	10,8		7,7	6,2	6,2

1973			15,9		6,7		
1974					10,3		10,8
1975	9,3	12,3		10,3	15,4		10,3
1076	15,9	6,7	12,9		8,2		9,3
1977	11,3		10,3		6,7	6,7	
1978		15,4		8,2			
1979	9,8			10,3		6,7	
1980		12,3		8,2	12,3	6,7	
1981	10,3	9,3	15,4	7,2	17	10,8	10,3
1982	15,4	25,2	17	8,2	18	12,9	6,2
1983	15,9	12,9	11,8	12,9	7,7	7,7	3,6
1984	12,9	10,8	11,8	11,3	11,3	11,8	11,8
1985	13,9	11,3	18	17	15,9	15,9	10,8
1986	13,9	18	12,9	9,8	17	8,2	13,9
1987	13,9	12,9	12,9	10,3	9,3	11	7,2
1988	13,4	12,3	11,8	9,3	7,7	10,3	
1989	12,3	12	10,3		8	7	
1990	14	12	12	10,3	13	14	6,2
1991	17	14	12,9		12,9	10,8	7,7
1992	12,3	9,3	17				
1993	12			12	12,3	10,3	15,4
1994	15,4	9,3	10,3	9,3	7,7		13
1995	16,5		10,8			11	
1996	13,9	18	15,4	9,3	15,4		14,4
1997	10,8	10,8	13				7,7

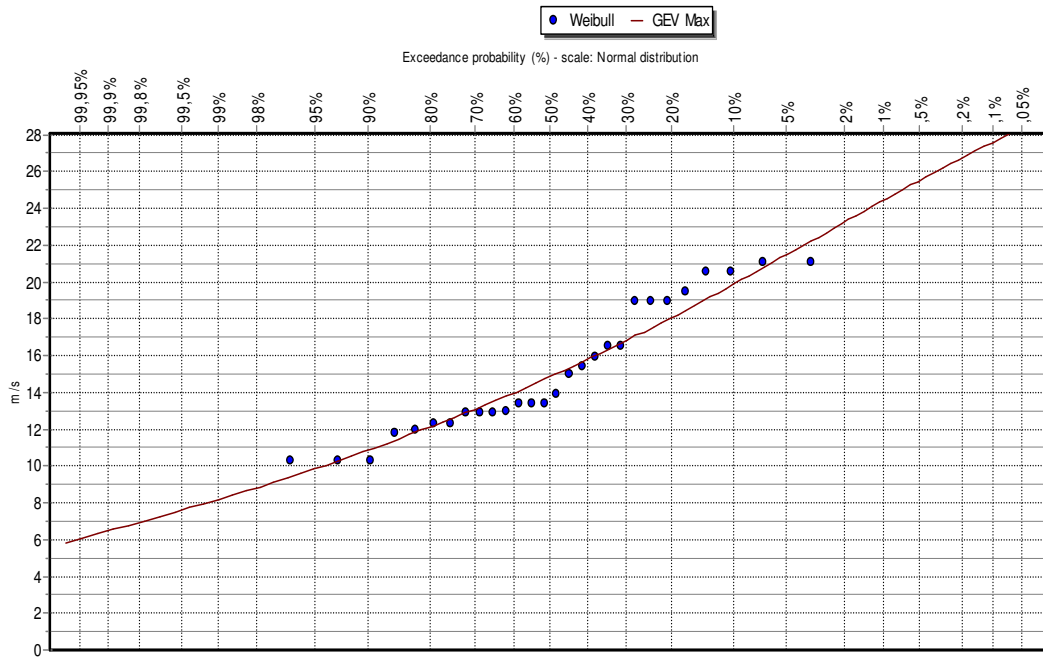
1998	12,3	10,3		12	10,8		
1999	7,2			9,8			
2000	15,4	15,4					
2001	16		10			12	
2002	9,3	14		9	10,8		
2003		15			28		
2004							
2005		10					
2006		11	9				
2007							
2008			9,8				

Πίνακας 2.2 Χρονοσειρές ανέμων για διάφορες διευθύνσεις για την ευρύτερη περιοχή του Νοτίου Αιγαίου

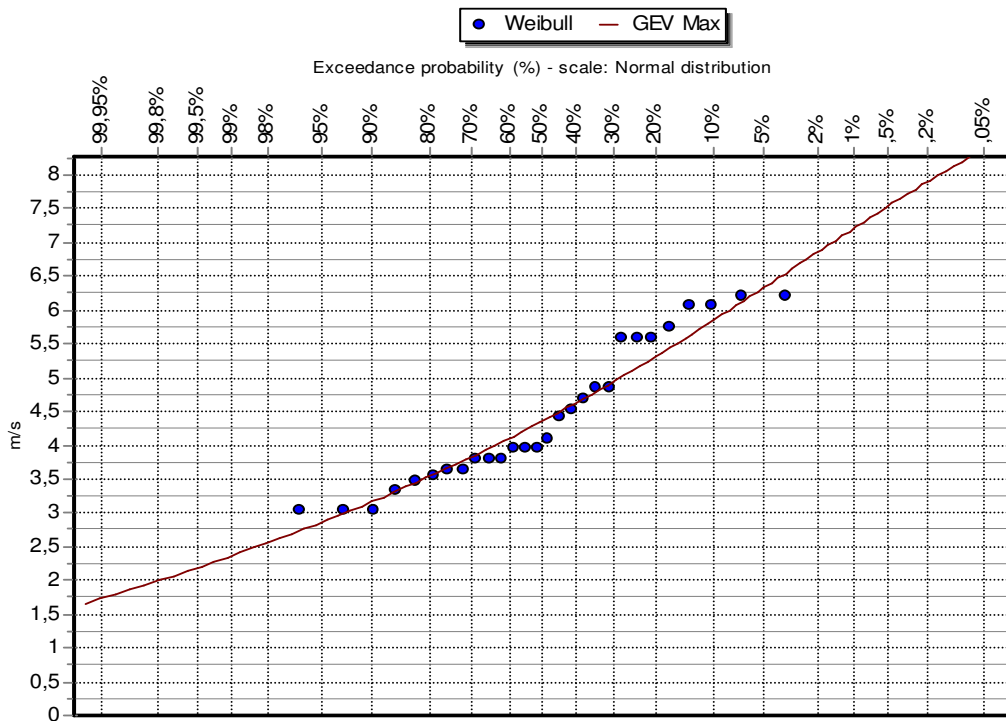
Χρονοσειρά	wind120	wind130	wind140	wind150	wind160	wind170	wind180	wind190	wind200
1970	10,3	10,8	10,8	12,9	13,4	15,4	16,5	15,9	13,9
1971	9,3	6,2	9,8	11,3	20,6	18	15,9	16,5	10,3
1972	10,8	11,8	12,9	9,3	9,8	11,3	13,4	12,3	13,4
1973	6,2	8,2	10,3	8,7	14,9	10,8	13,9	17,5	15,4
1974	6,7		12,9		13,9	12,3	12,9		12,3
1975	4,6	6,2	15,4	5,1		9,3	10,8	9,8	6,2
1076			19				9,8		6,7
1977	11,8		5,7				15,9		10,3
1978				6,2	8,2		12,9		7,7
1979				4,1		8,2		10,3	5,1
1980	9,8	10,3	10,3				12,3	9,8	6,2
1981		16,5	10,8	9,3		6,7	14,4	13,9	15,4
1982		9,8	11,8	8,2	13,9	15,4	13,9	10,8	13,9
1983	8,2	17	12,3		17	11,3	26,2	15,9	17
1984		13,9	12,9	7,2	8,2	15,4	8,2	13,9	11,8
1985	18	8,7	13,4	10,8	13,9	12,3	13,9	13,9	22,1
1986	13,9	6,2	7,2	13,9	8,7	6,2	11,8	8,2	18,5
1987	9,8	20,1	11,8	8,7	14,4	8,2	13,9	20,1	23,2
1988	15	12,9	14,9	10,8		11,8	10	16	27,8
1989	14	20,6	9,3	10			15,4	11	12
1990				8			20	8	12
1991			8,2		6,7	18	8,2	10	14,4
1992							12,9		15,4
1993	6,2			11	9	7,7	12,3	5,1	7,7

1994		10	14	6,7		9,3	9		10
1995	7,7							10	19
1996			9,8	17,5	6,7	7,2	16,5	12,3	14
1997		7		19	12,9	12,3	12,3	10,3	15,4
1998			8,7		3,6	15,4	10,8		15,9
1999				7			15,4	19	14,4
2000	10,3						12,3	10,3	12,9
2001	8			5,1			10,3		
2002							11		9
2003		10	7				12	8	14
2004				8		9		15,4	16,5
2005					10		10,3		
2006							13		
2007									
2008	2	5	8,2	8,2	4	4		6	

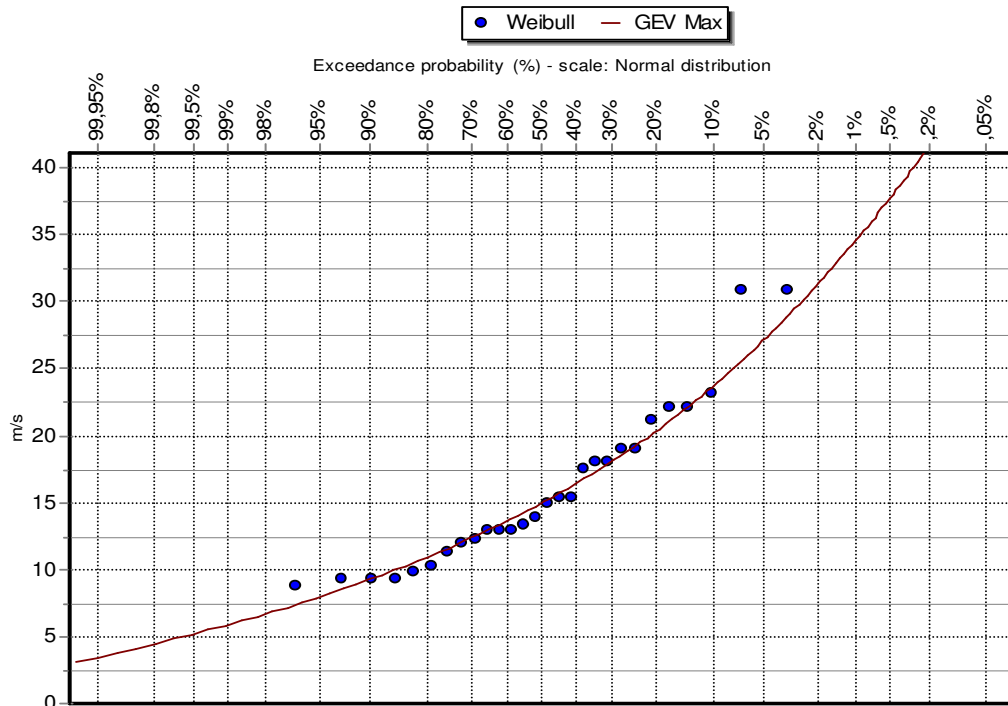
Πίνακας 2.3 Χρονοσειρές ανέμων για διάφορες διευθύνσεις για την ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου



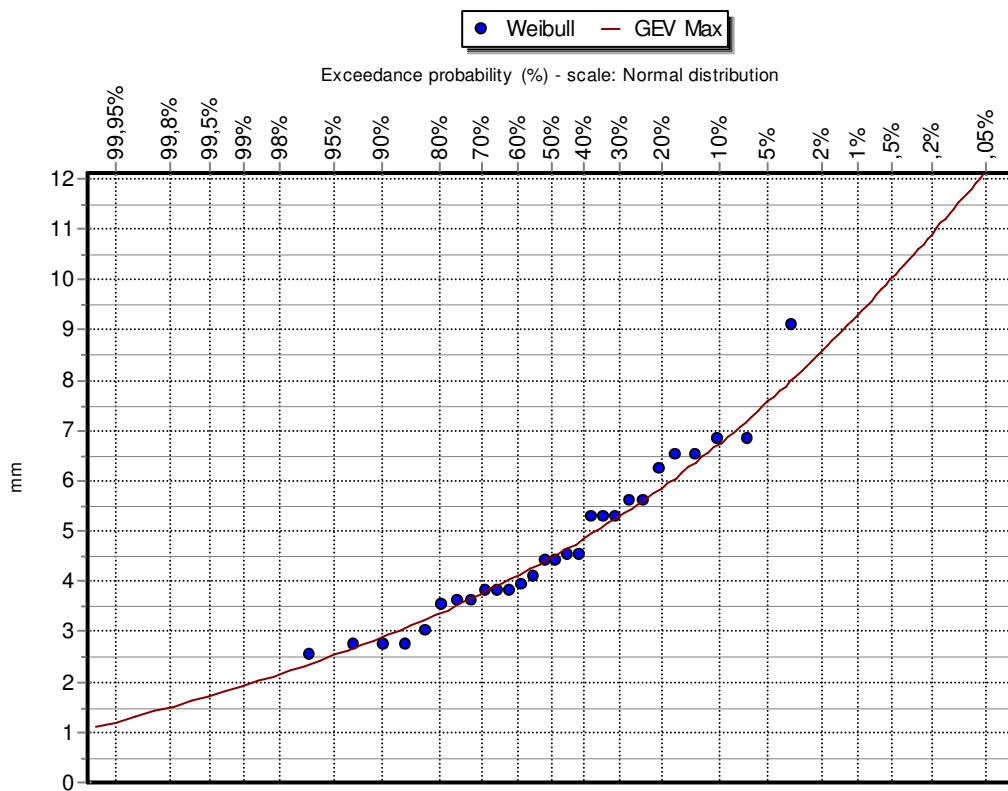
Πίνακας 2.4 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεύθυνσεως 120° για την ευρύτερη περιοχή της Μεθώνης



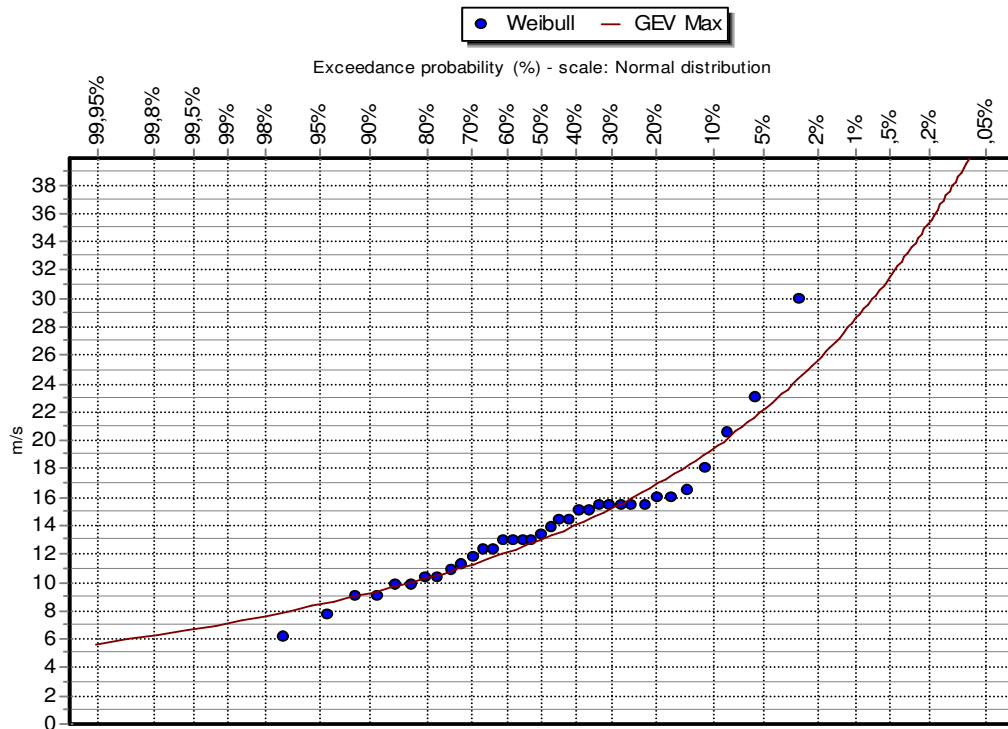
Πίνακας 2.5 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διεύθυνσεως 120°



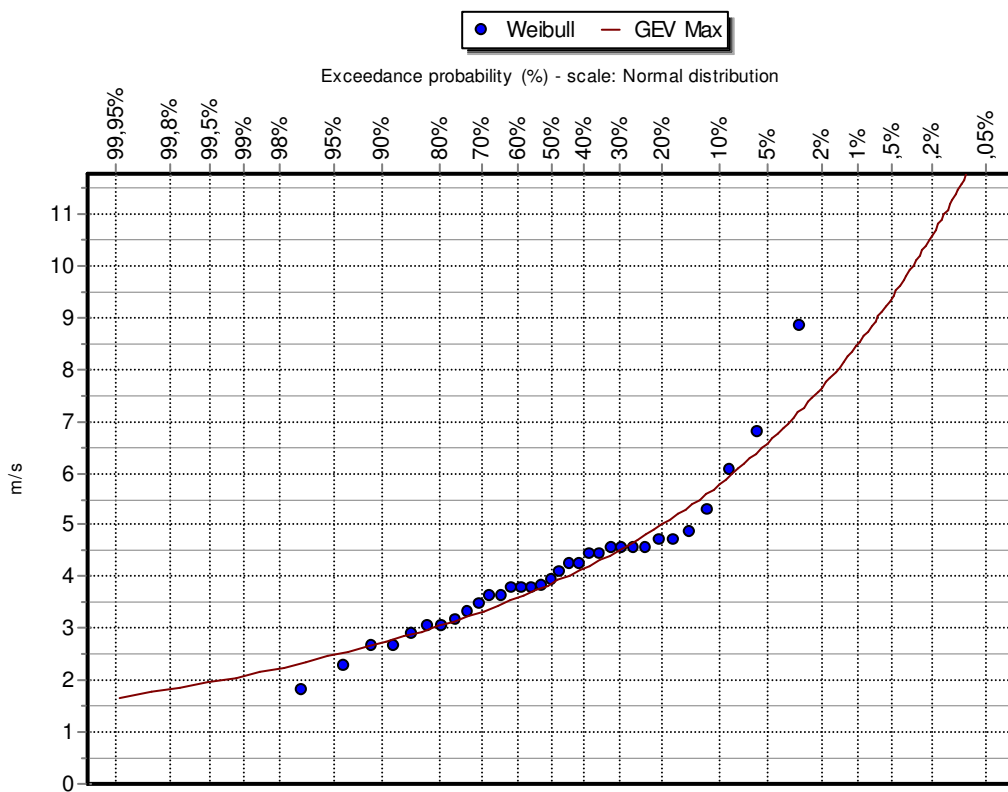
Πίνακας 2.6 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεύθυνσεως 130°



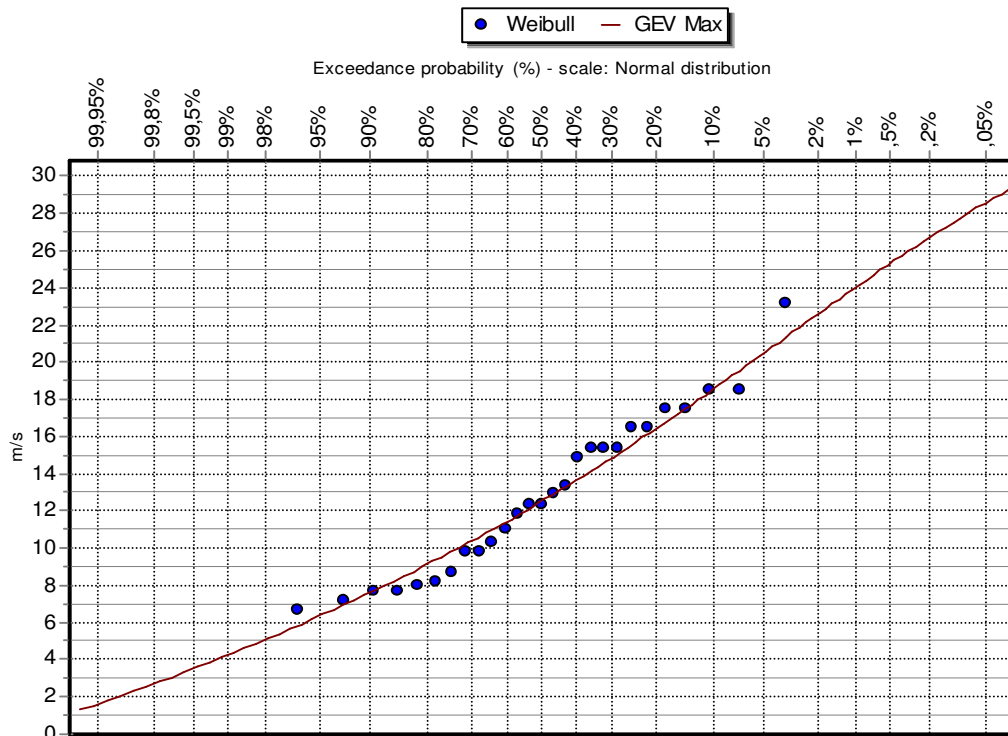
Πίνακας 2.7 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διεύθυνσεως 130°



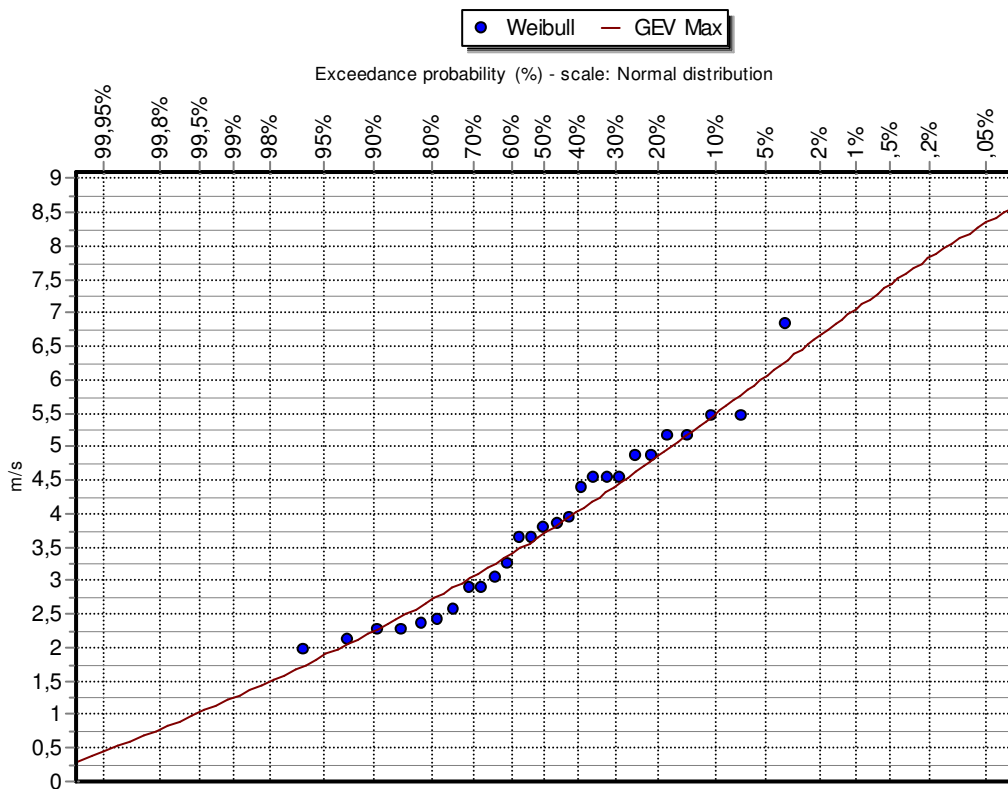
Πίνακας 2.8 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεύθυνσεως 140°



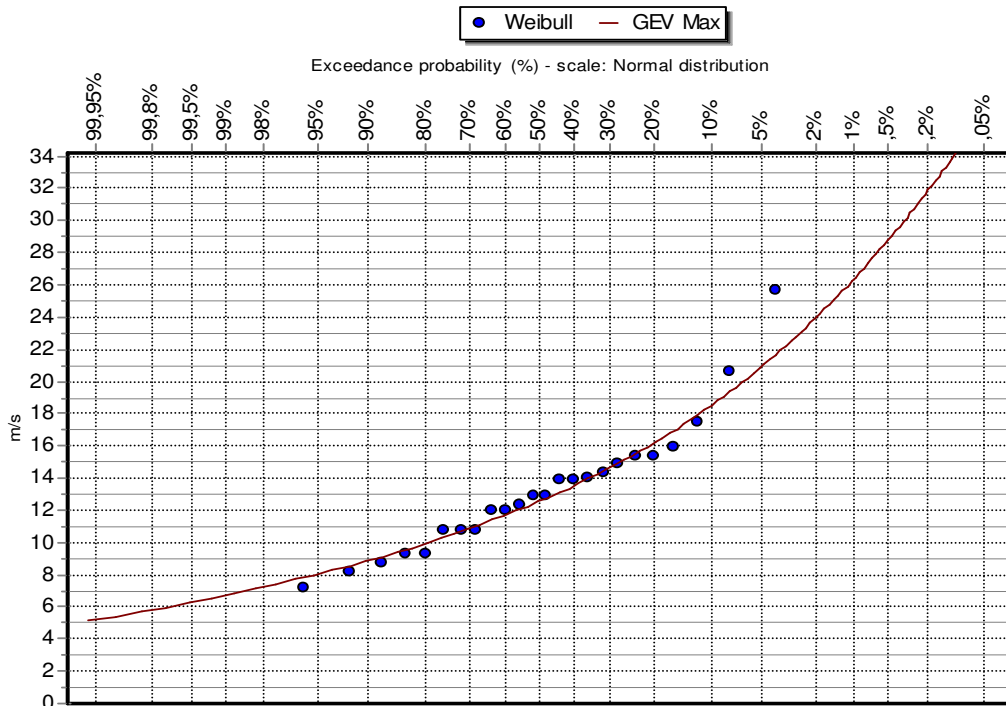
Πίνακας 2.9 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διεύθυνσεως 140°



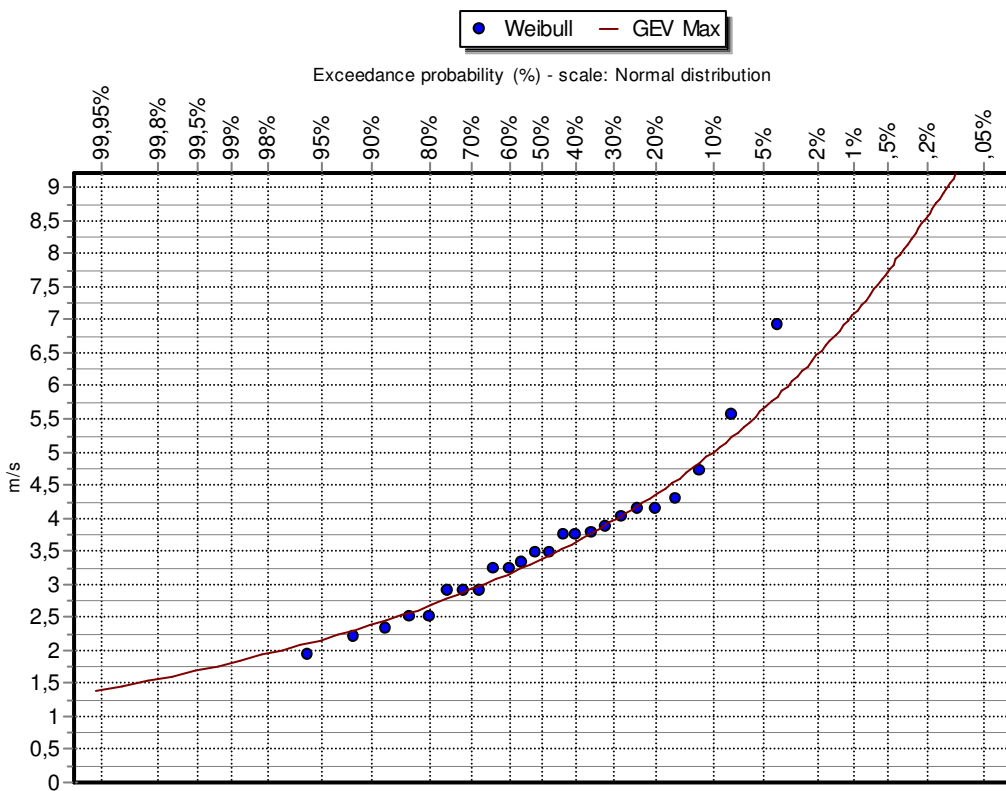
Πίνακας 2.10 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεύθυνσεως 150°



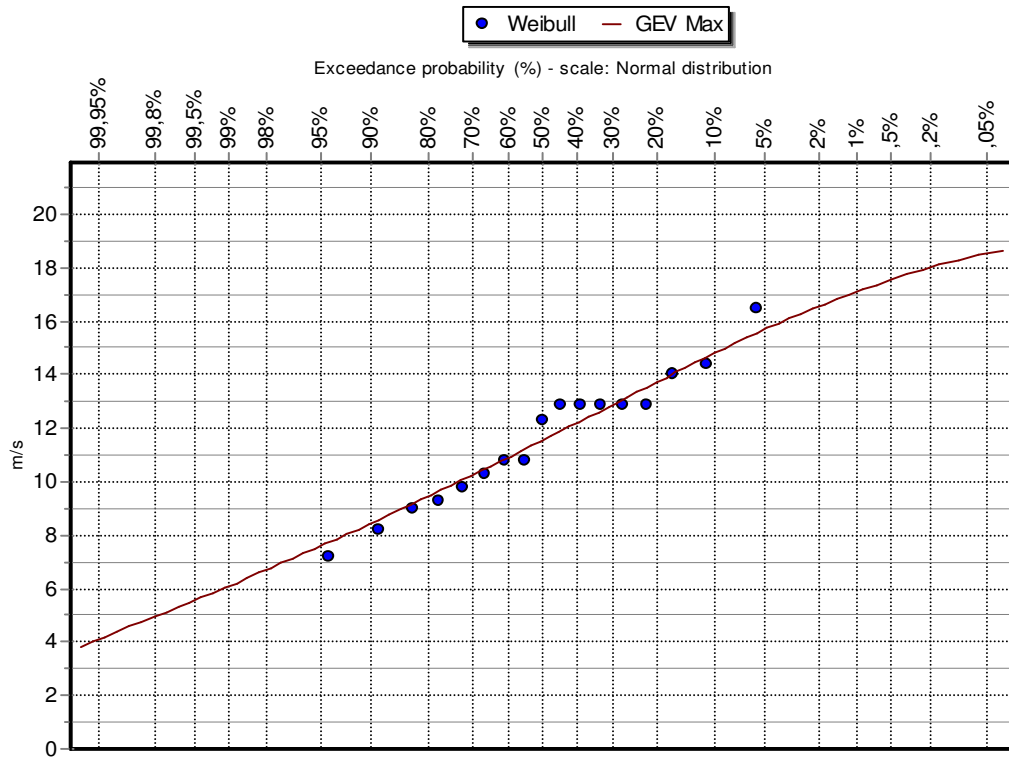
Πίνακας 2.11 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διεύθυνσεως 150°



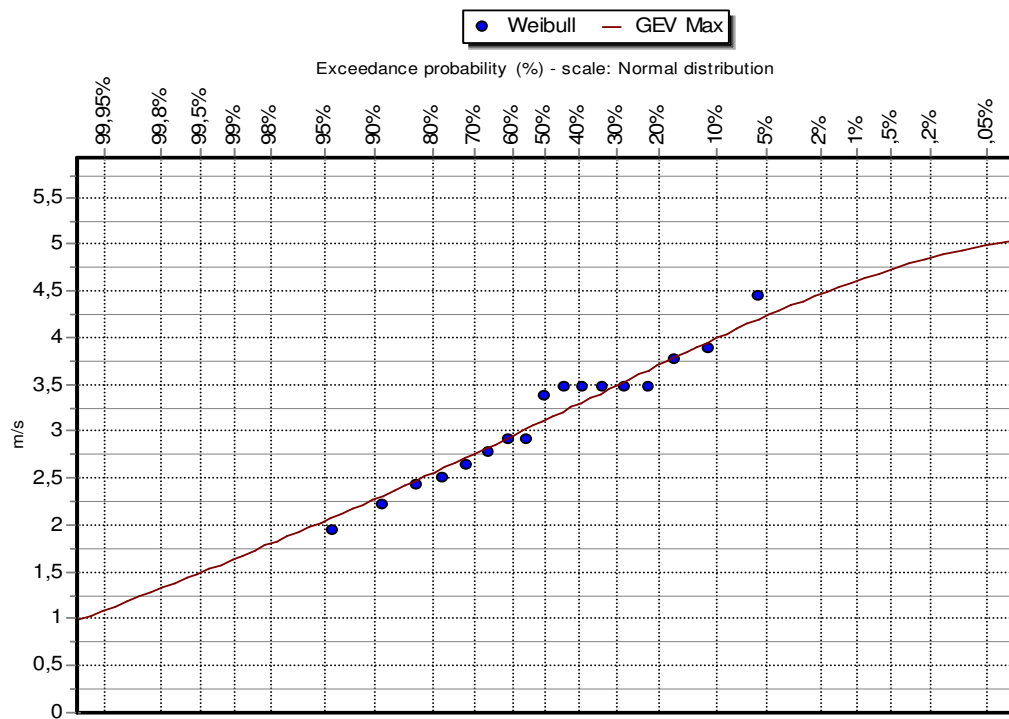
Πίνακας 2.12 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 160°



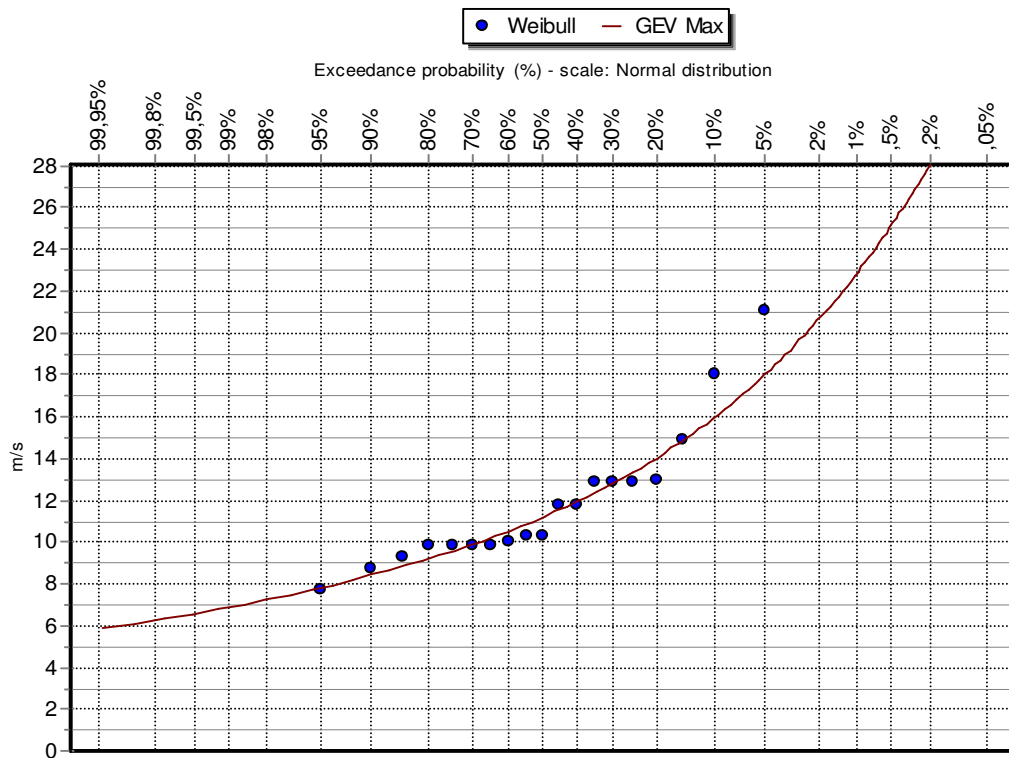
Πίνακας 2.13 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διεθύνσεως 160°



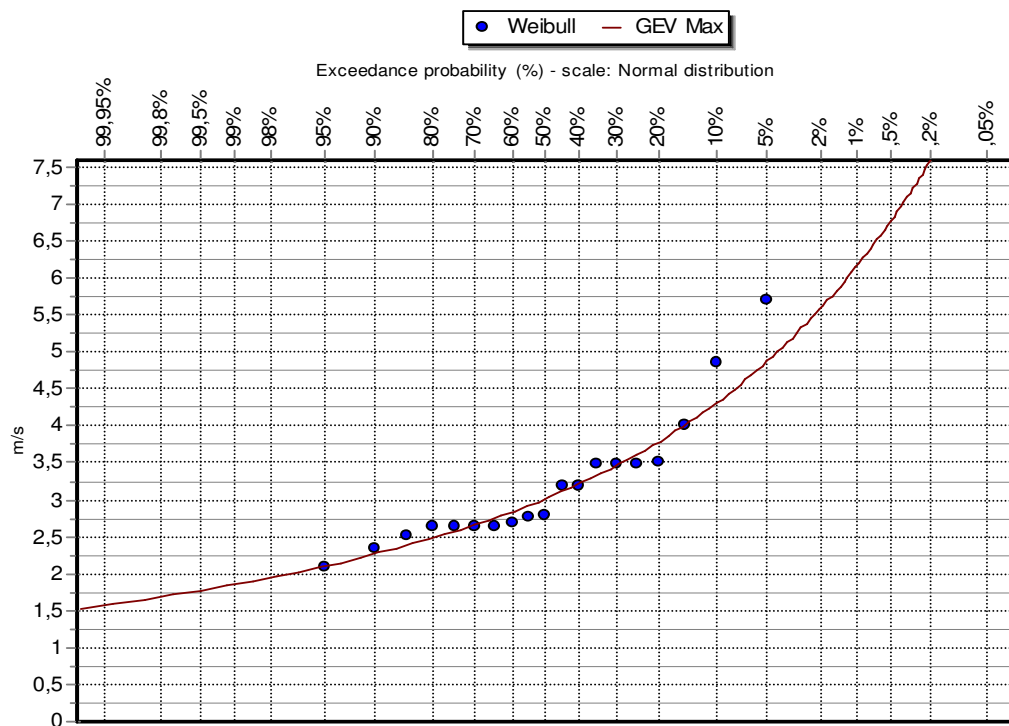
Πίνακας 2.14 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 170°



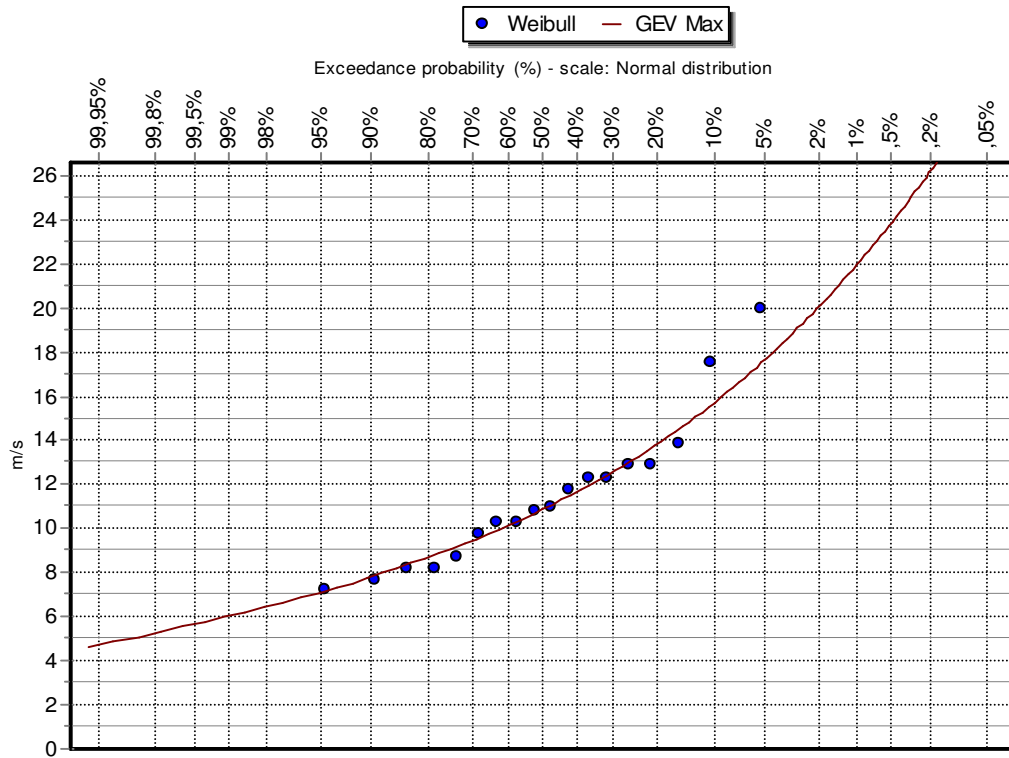
Πίνακας 2.15 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διευθύνσεως 170°



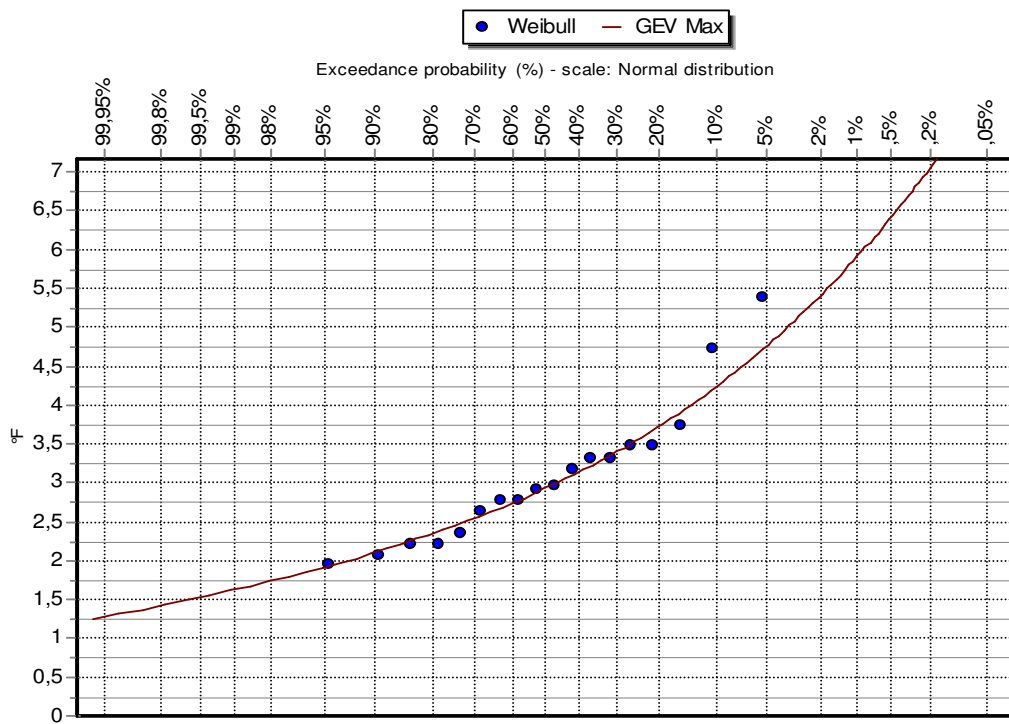
Πίνακας 2.16 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 180°



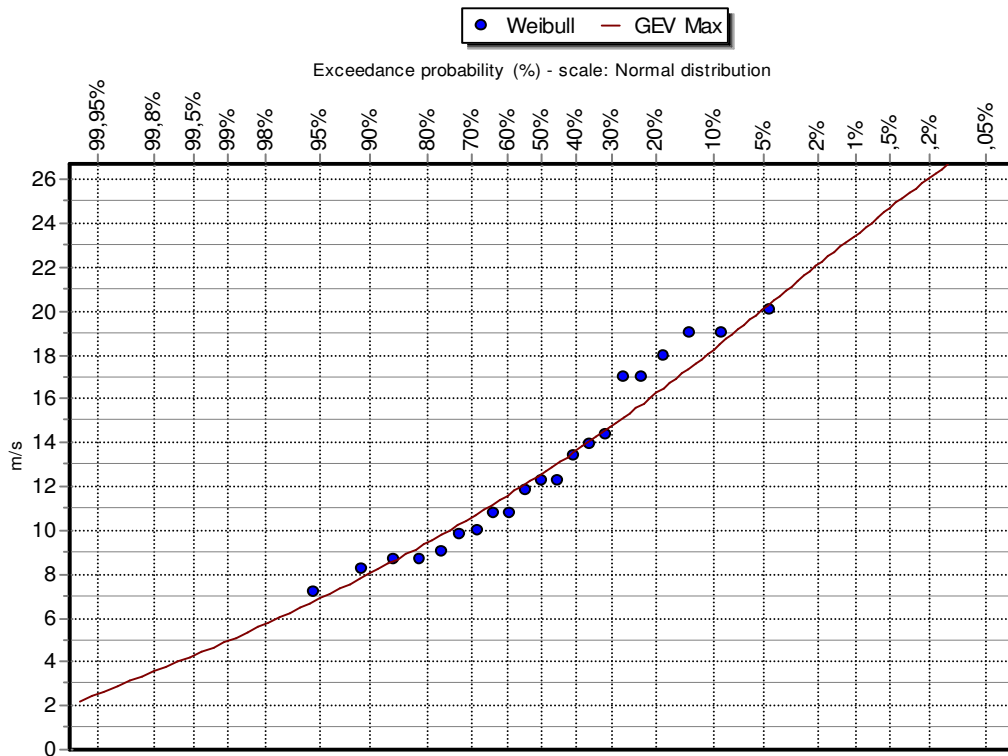
Πίνακας 2.17 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διεθύνσεως 180°



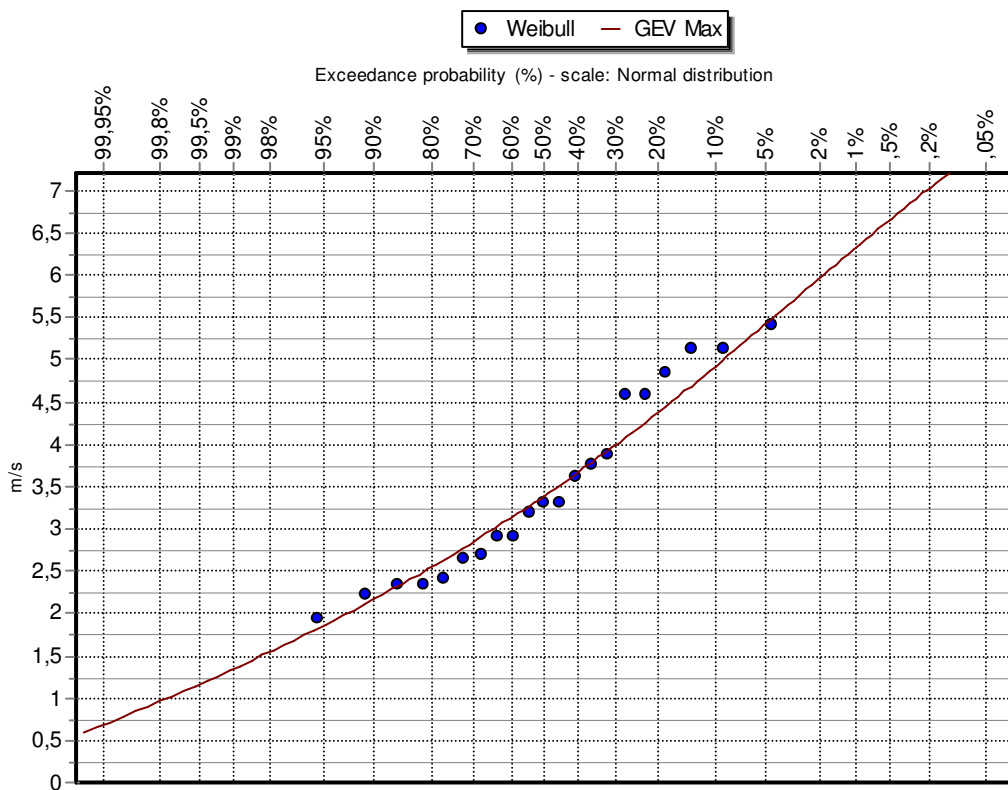
Πίνακας 2.18 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 190°



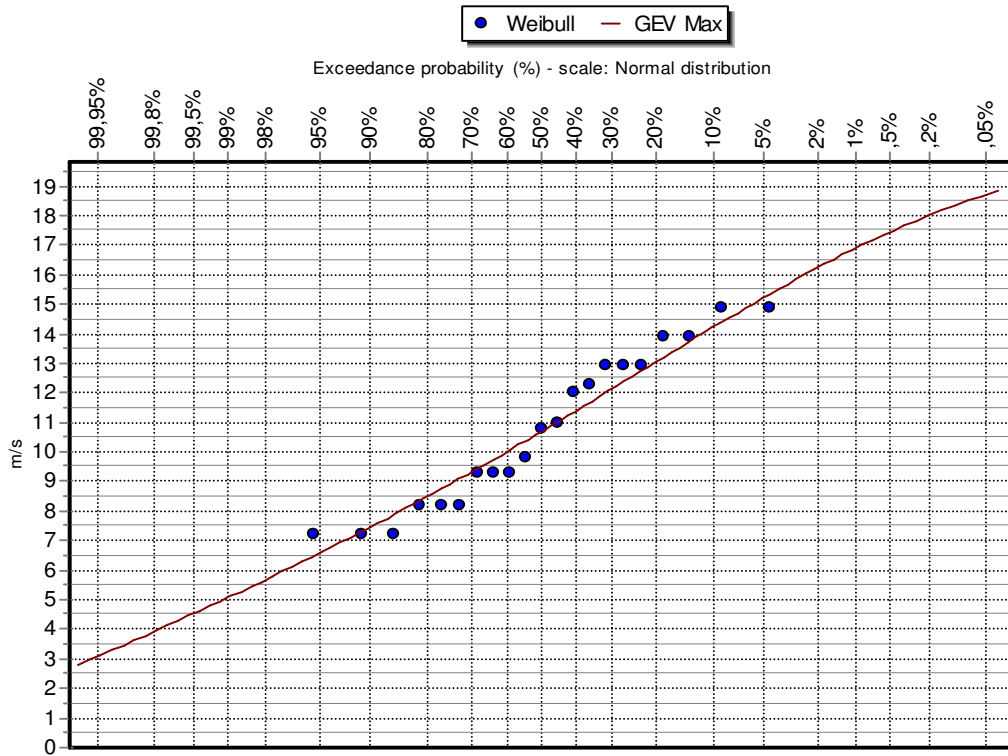
Πίνακας 2.19 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διεθύνσεως 190°



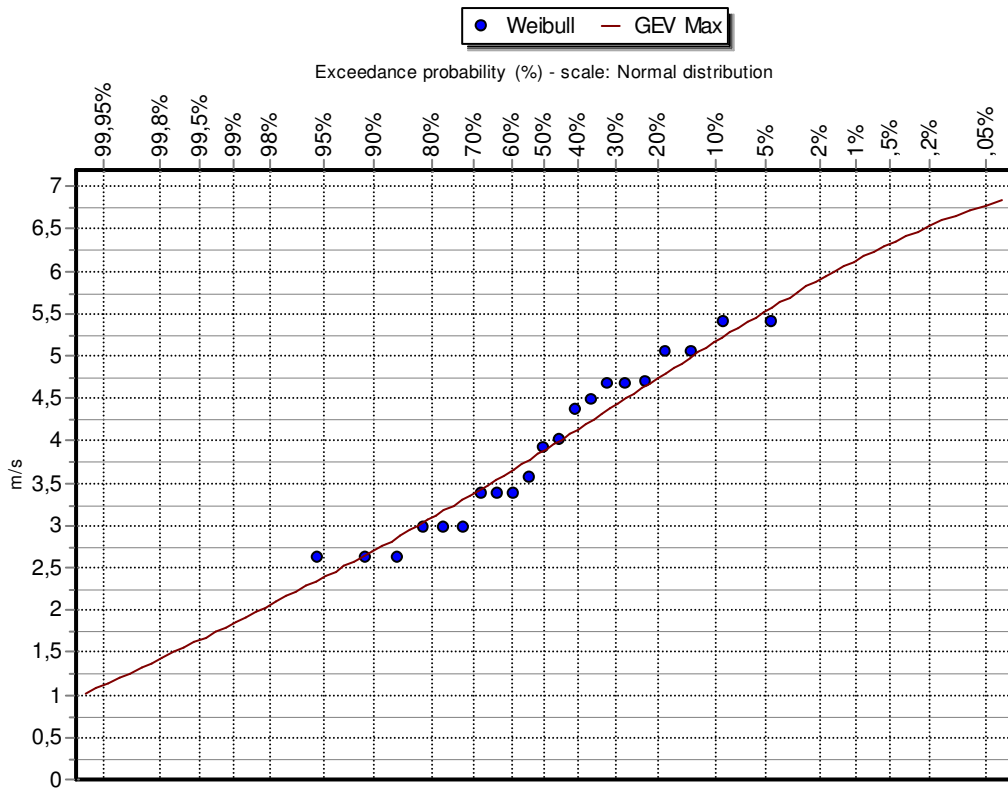
Πίνακας 2.20 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 200°



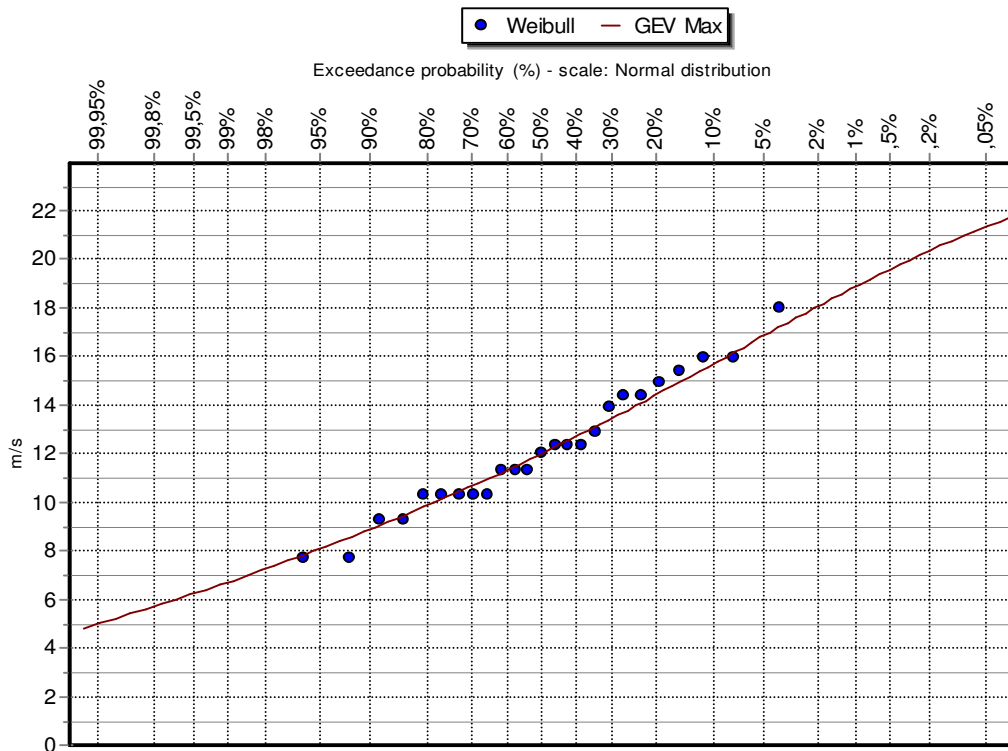
Πίνακας 2.21 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διεθύνσεως 200°



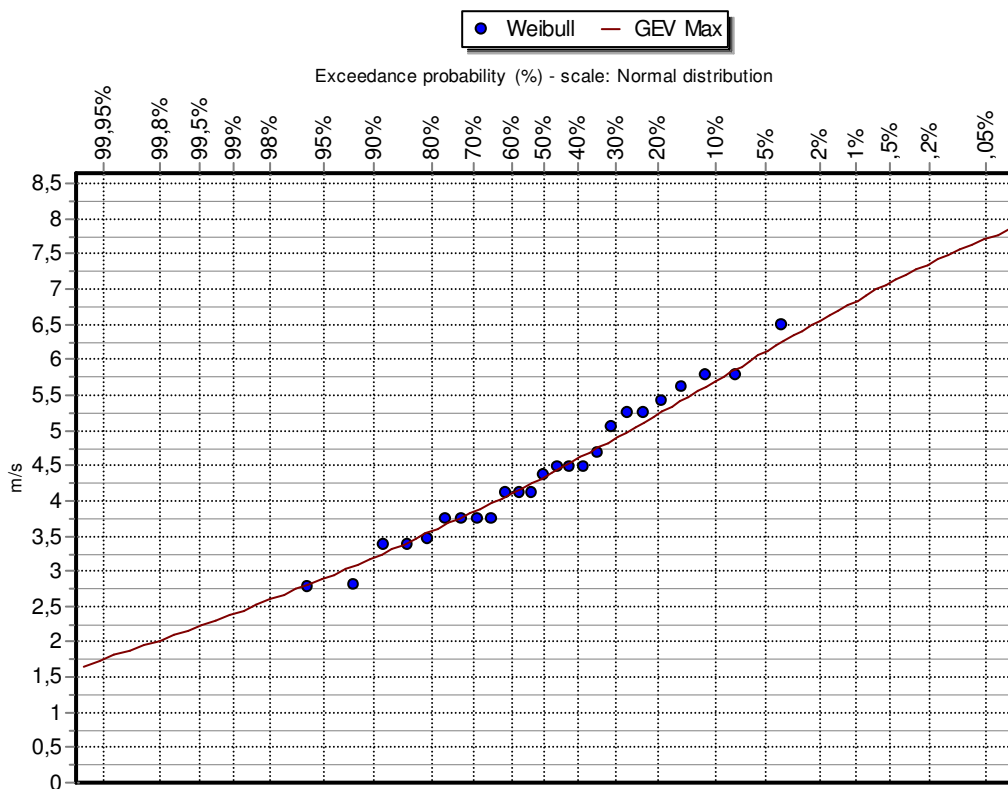
Πίνακας 2.22 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 210°



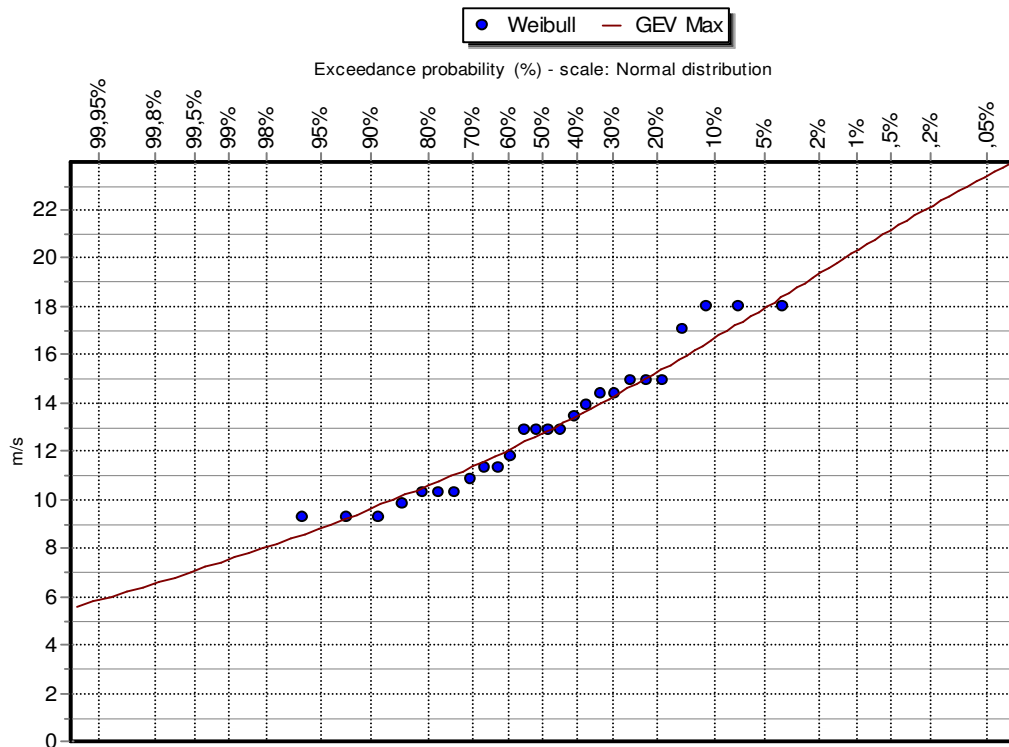
Πίνακας 2.23 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διευθύνσεως 210°



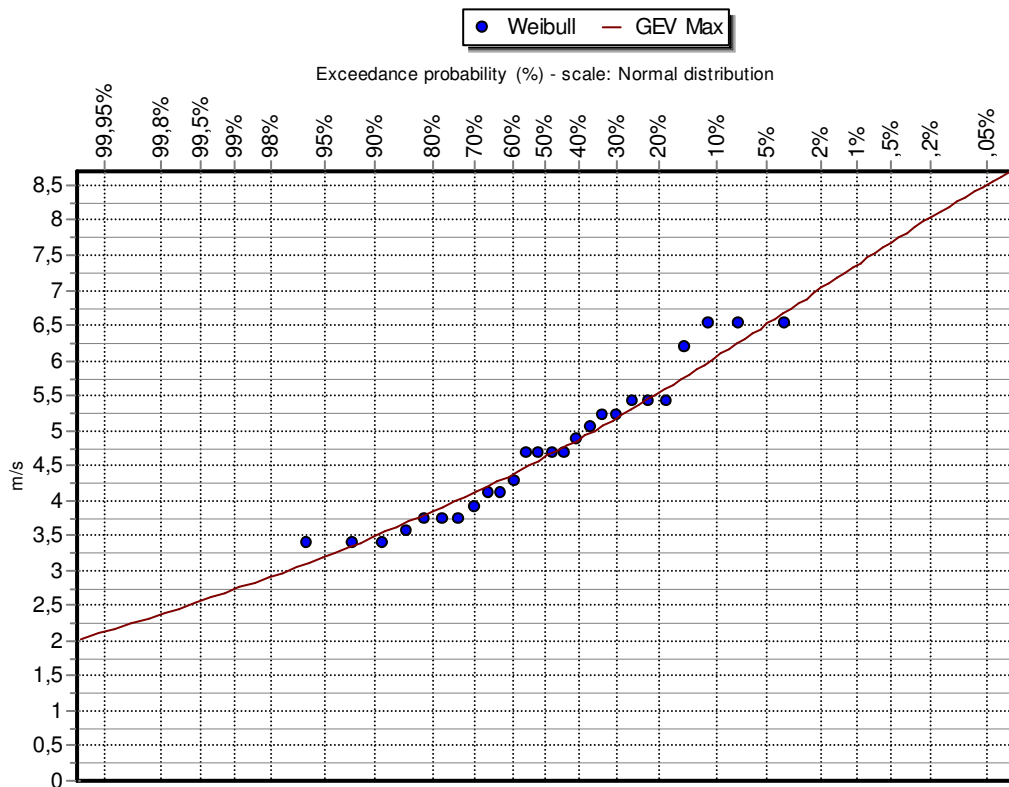
Πίνακας 2.24 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 220°



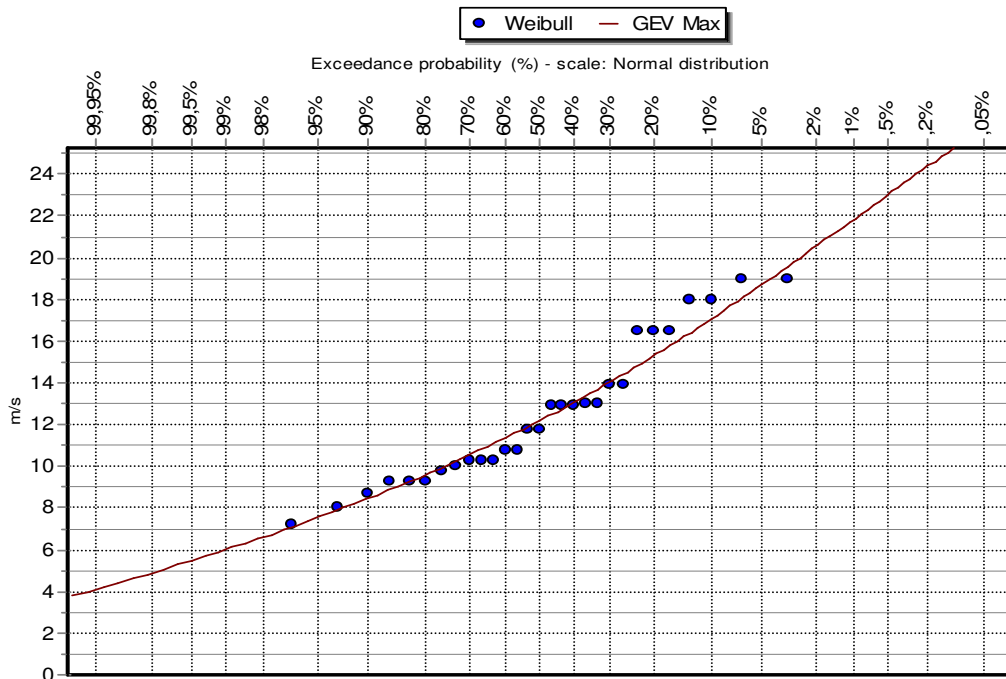
Πίνακας 2.25 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διεθύνσεως 220°



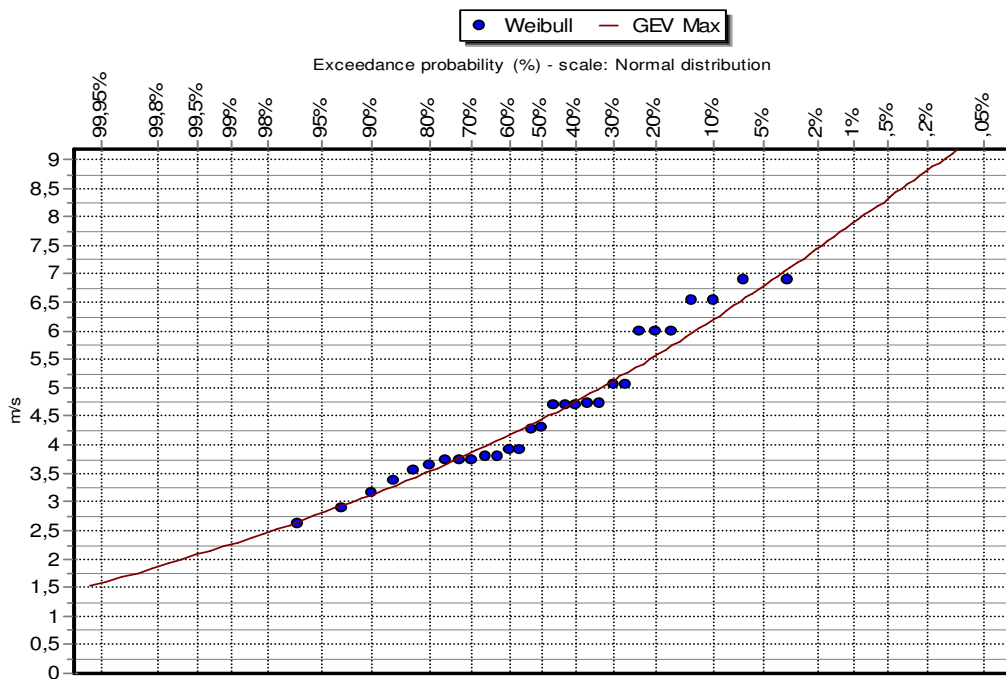
Πίνακας 2.26 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 230°



Πίνακας 2.27 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διευθύνσεως 230°

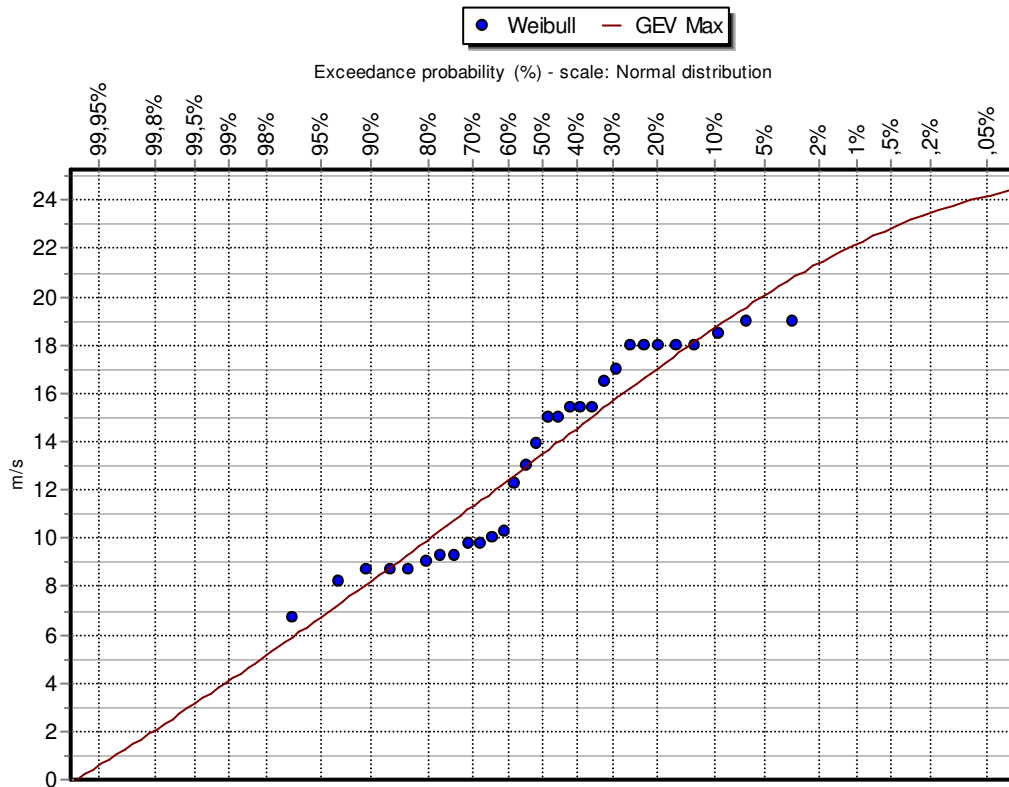


Πίνακας 2.28 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 240°

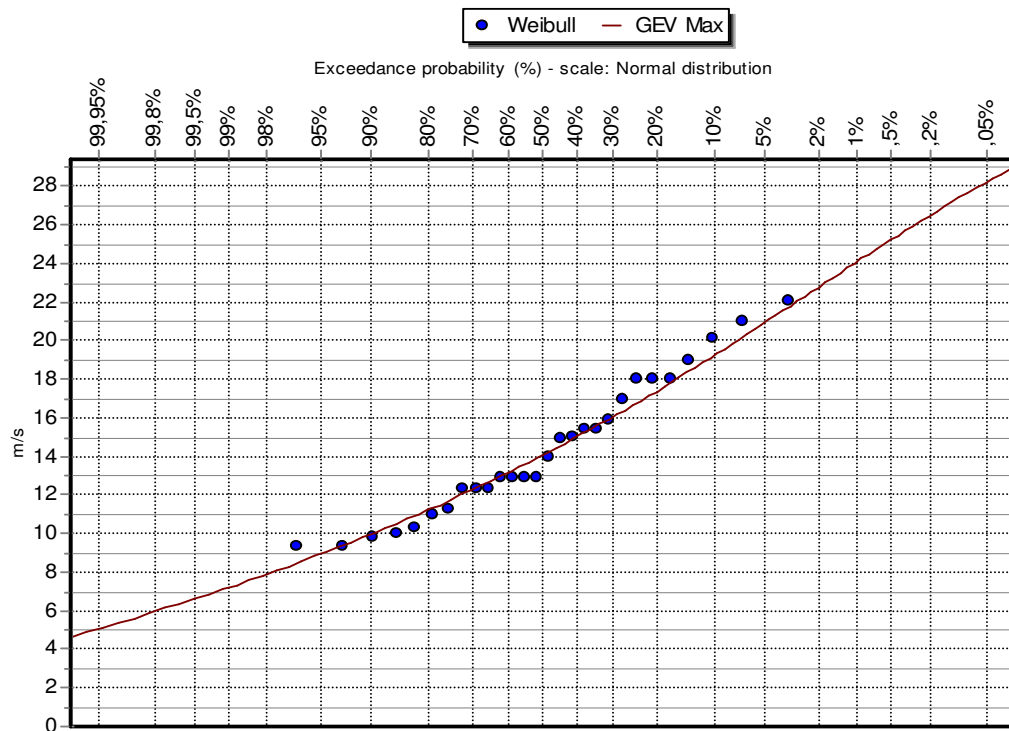


Πίνακας 2.29 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς κυματισμών διευθύνσεως 240°

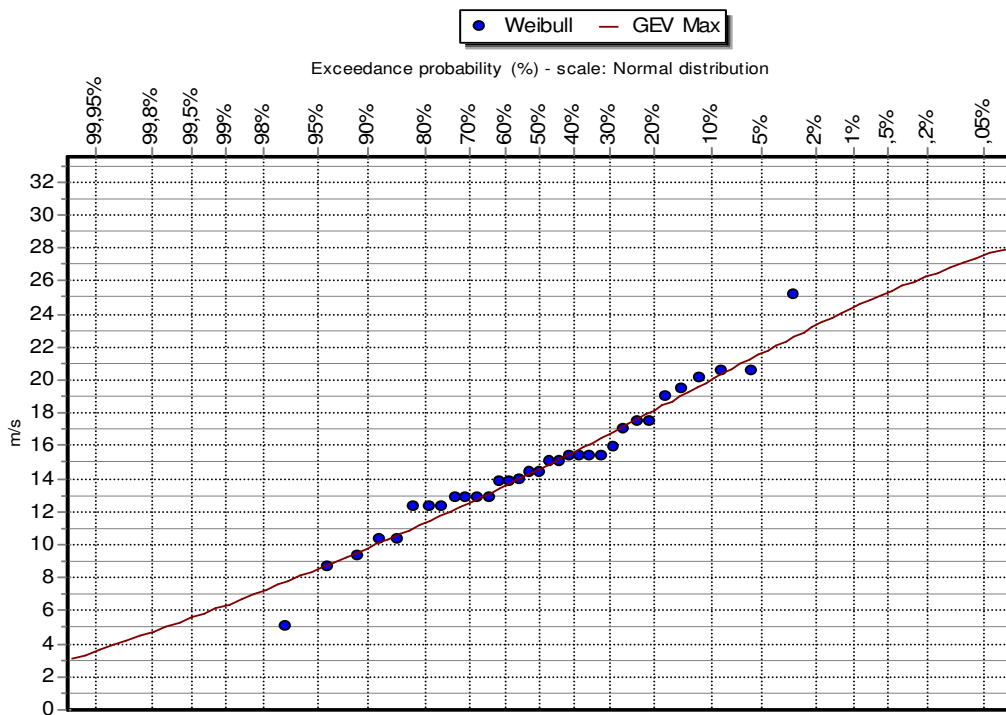
(οι άνω πίνακες αναφέρονται στην περιοχή της Μεθώνης)



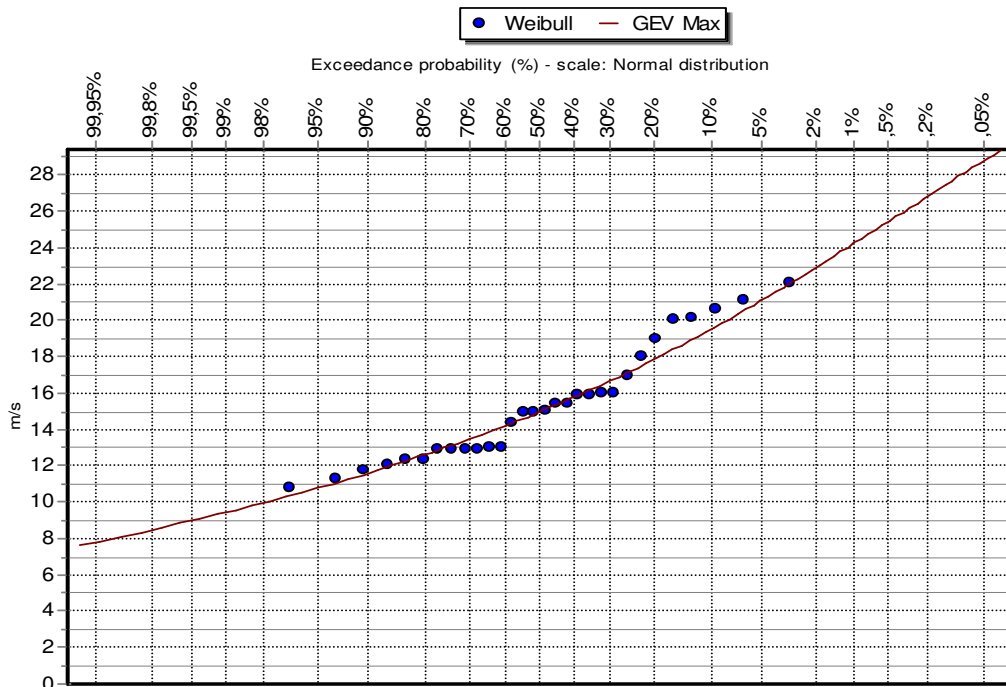
Πίνακας 2.30 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 20°



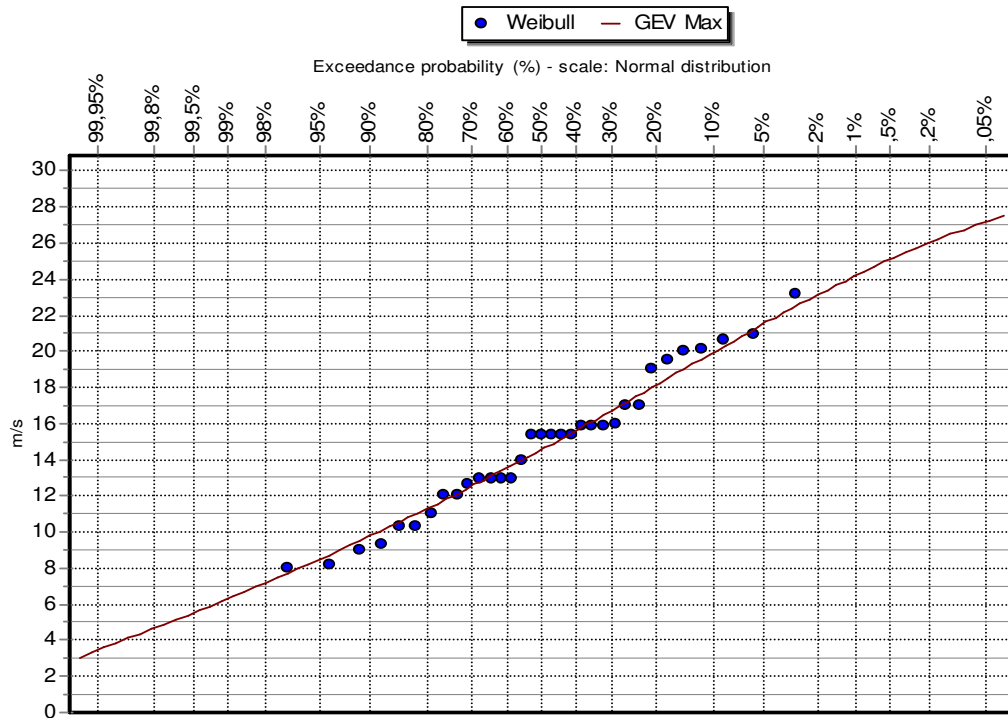
Πίνακας 2.31 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 10°



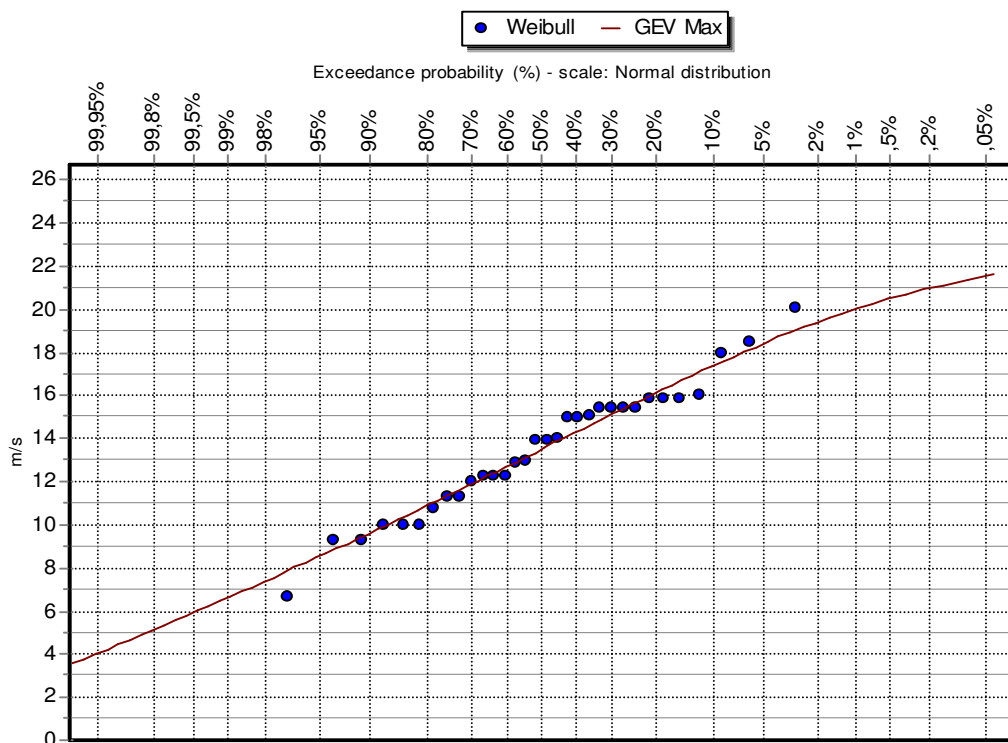
Πίνακας 2.32 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 0°-360°



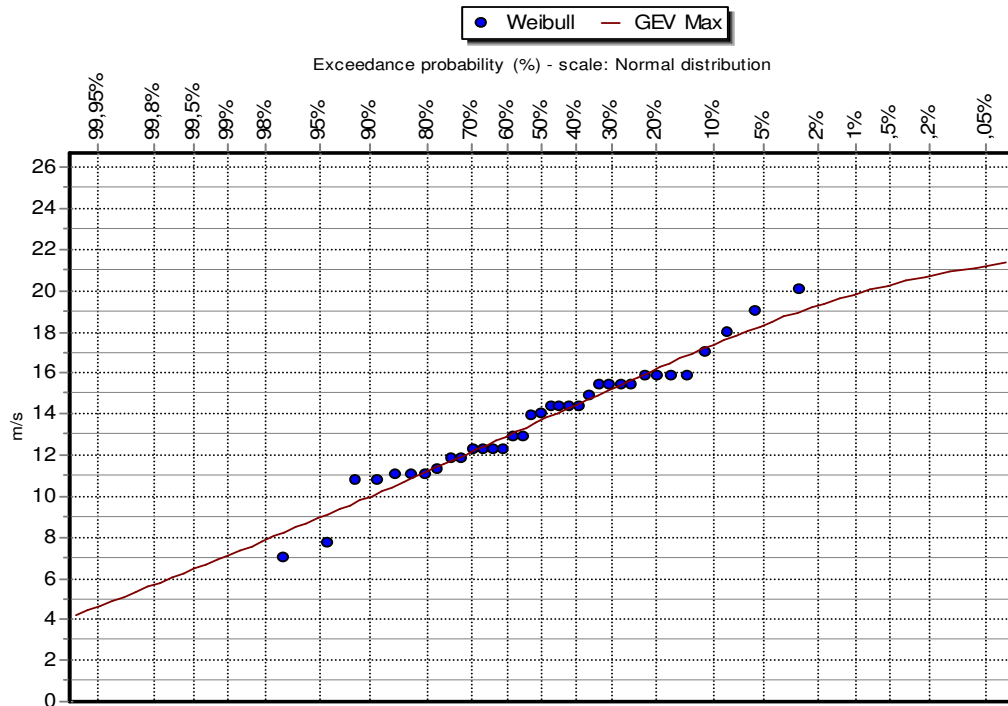
Πίνακας 2.33 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 350°



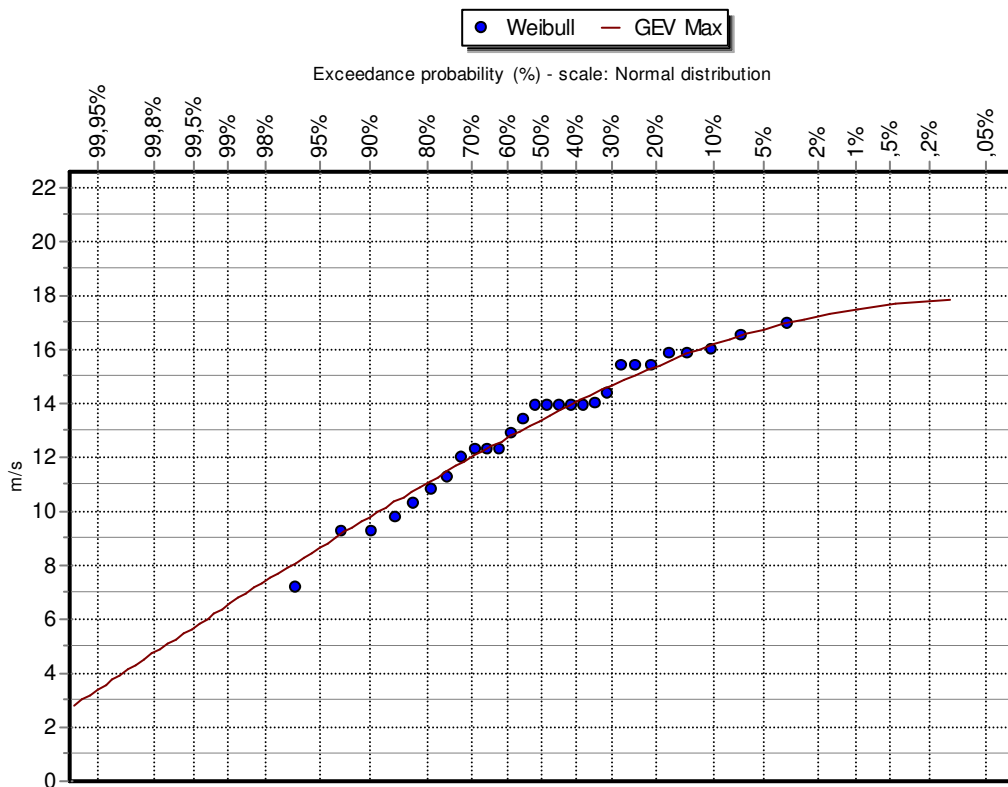
Πίνακας 2.34 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 340°



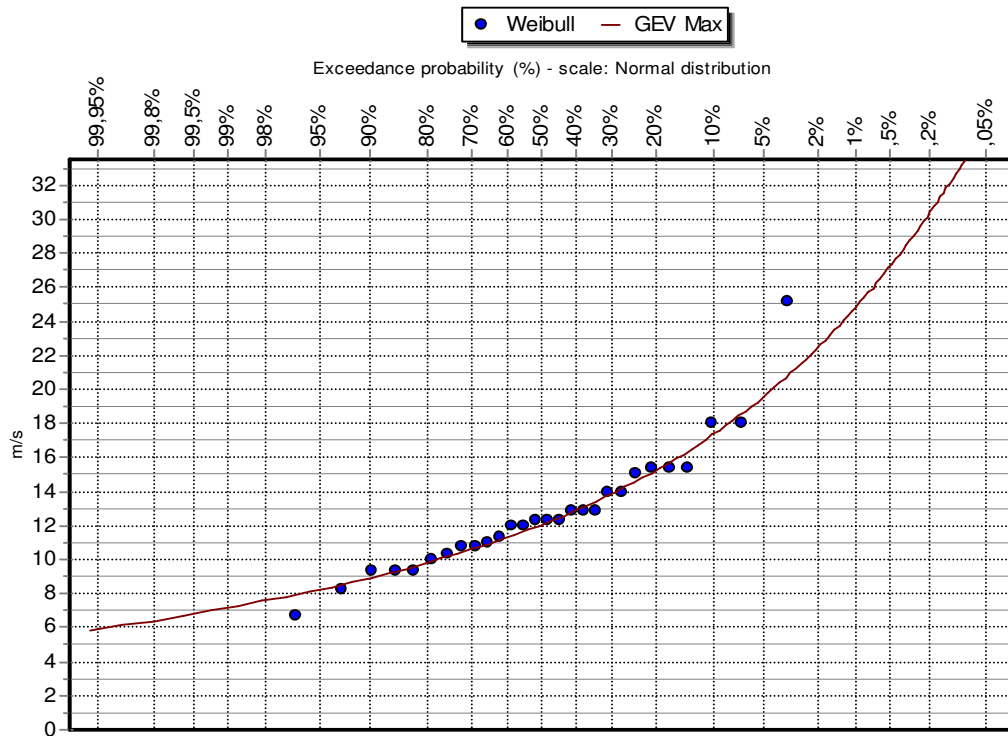
Πίνακας 2.35 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 330°



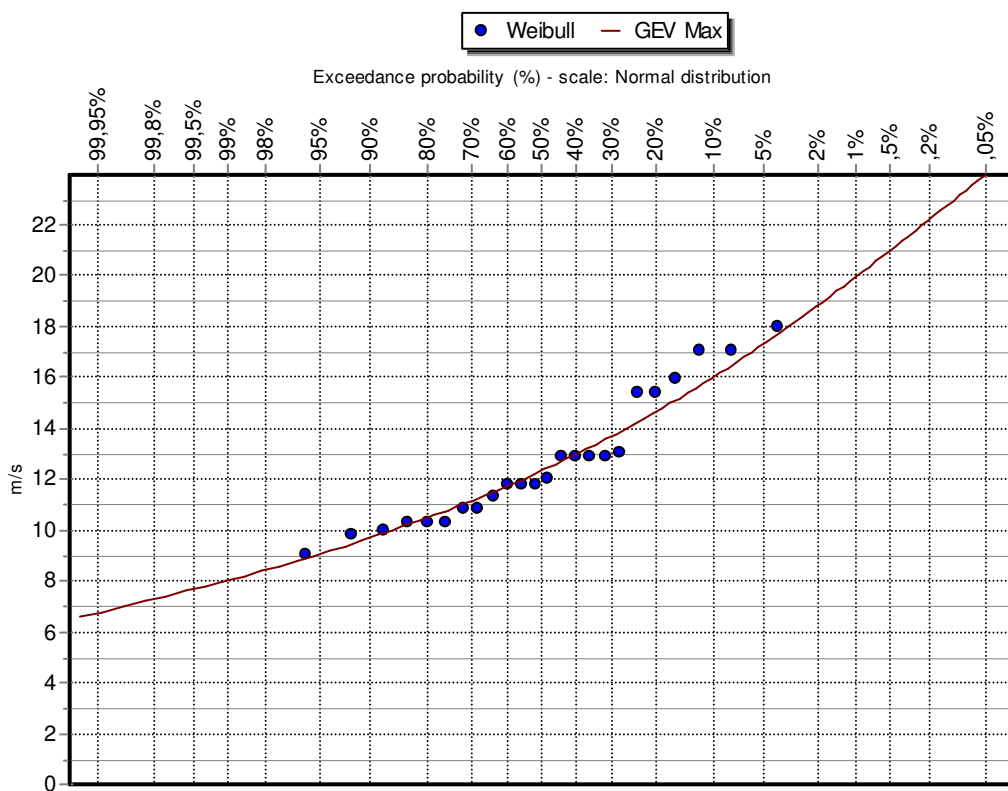
Πίνακας 2.36 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 320°



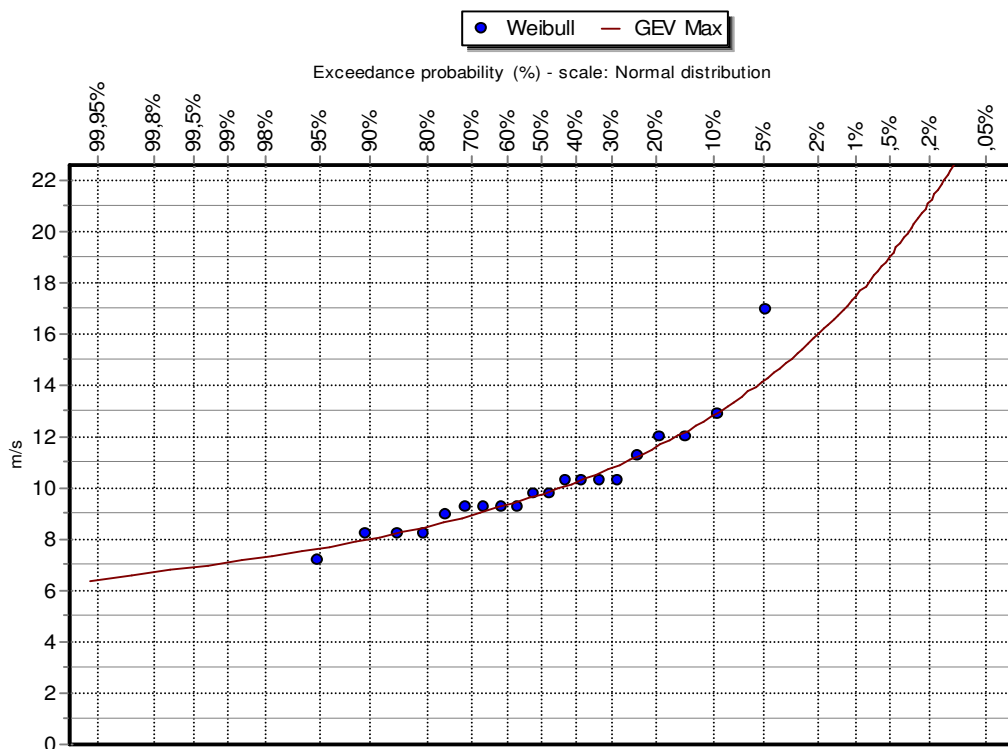
Πίνακας 2.37 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 310°



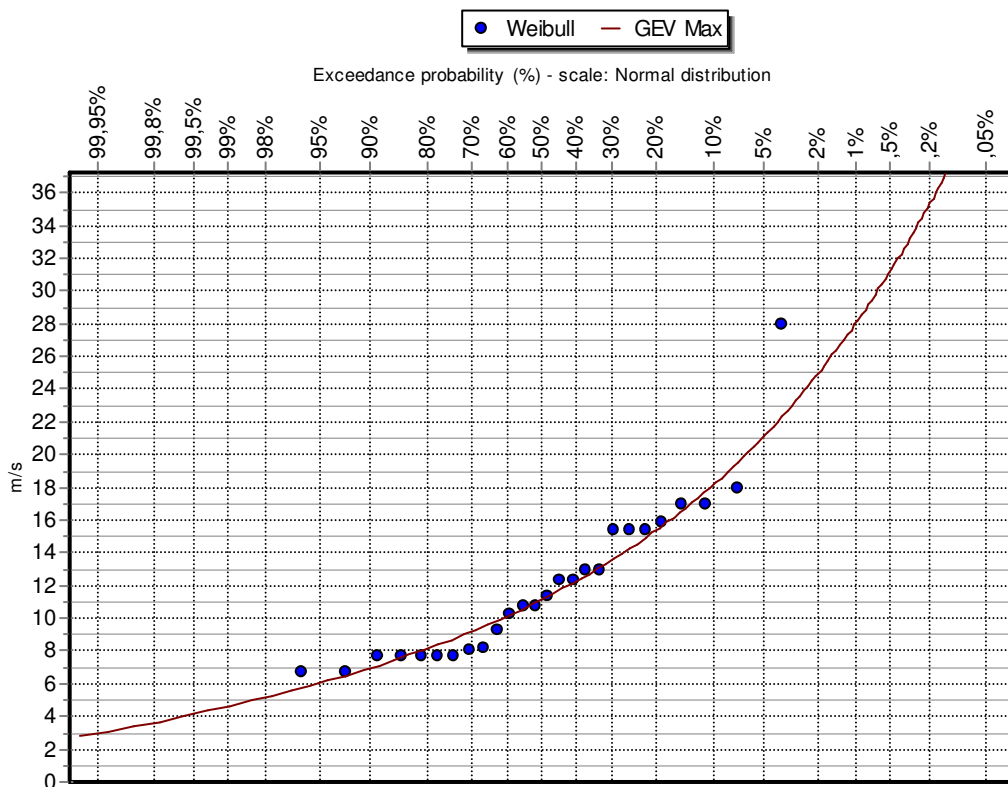
Πίνακας 2.38 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 300°



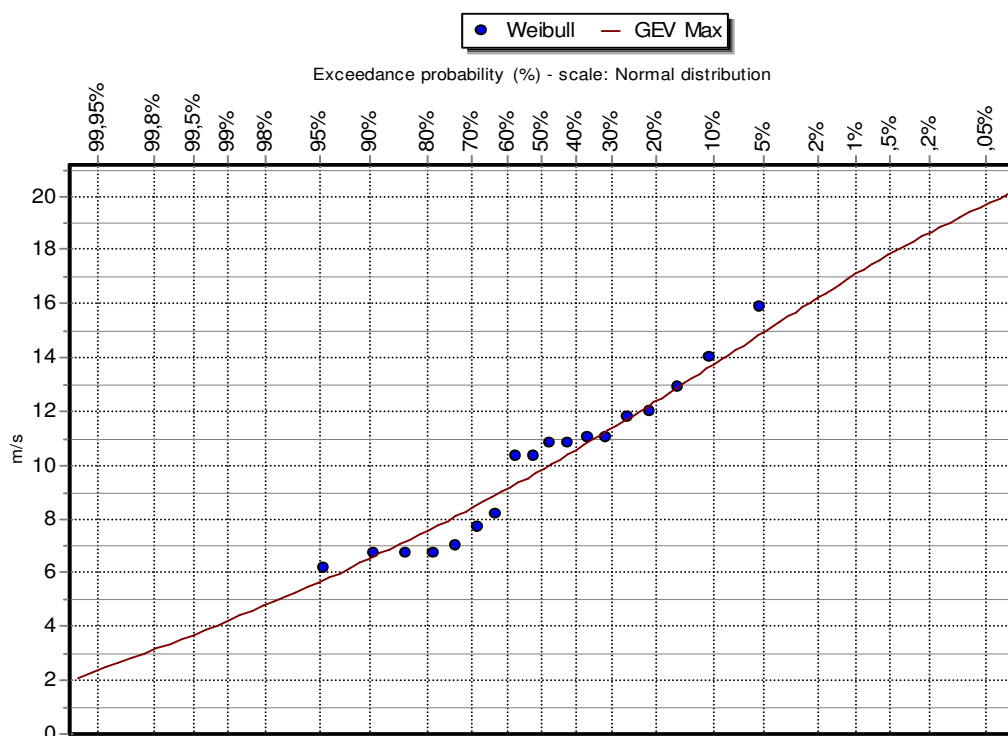
Πίνακας 2.39 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 290°



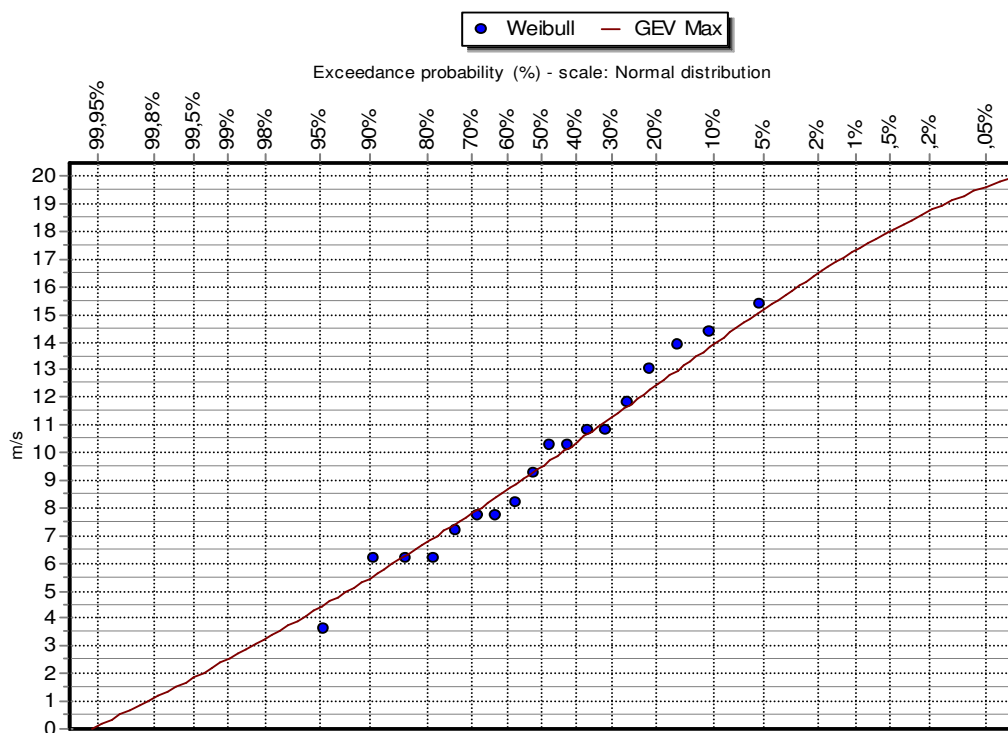
Πίνακας 2.40 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 280°



Πίνακας 2.41 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 270°

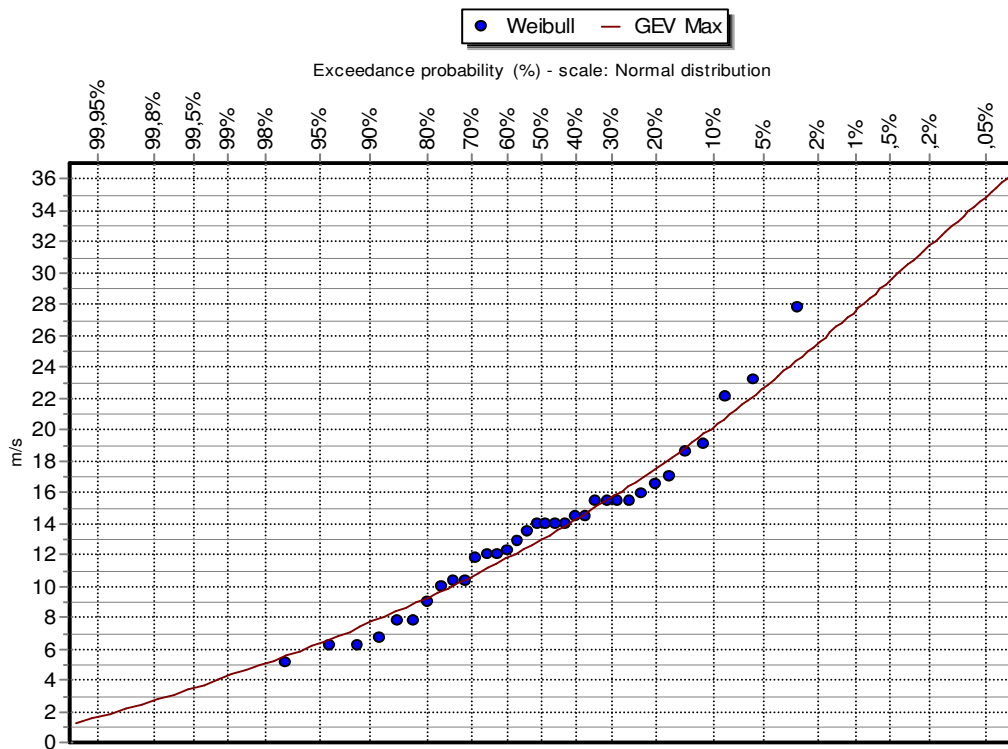


Πίνακας 2.42 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 260°

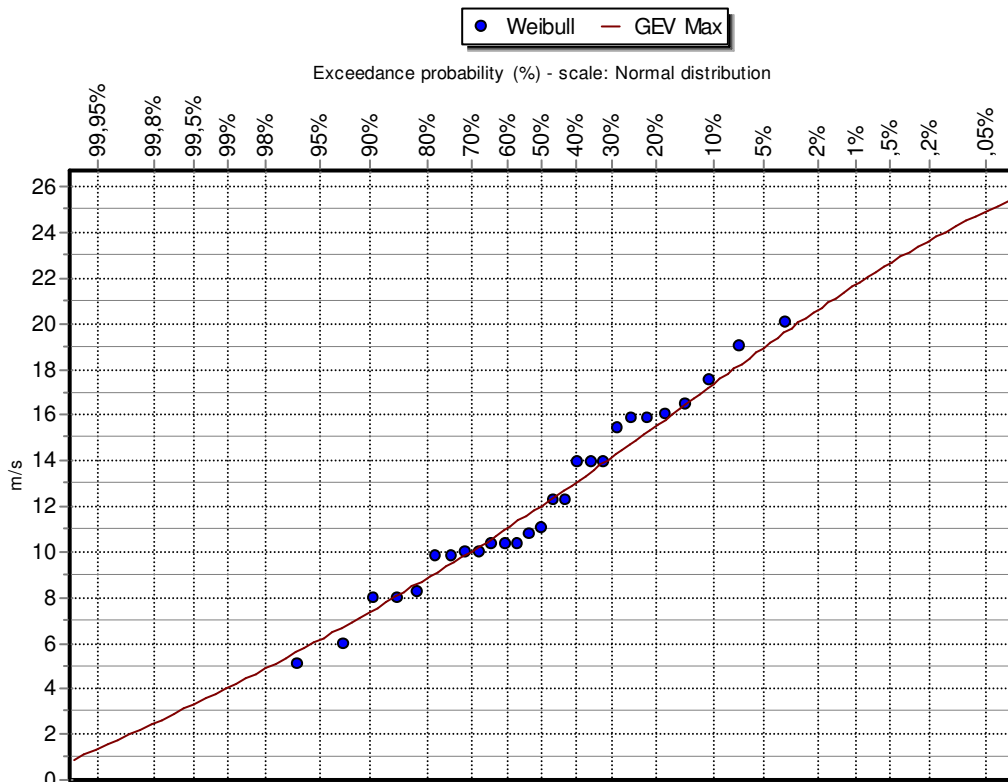


Πίνακας 2.43 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 250°

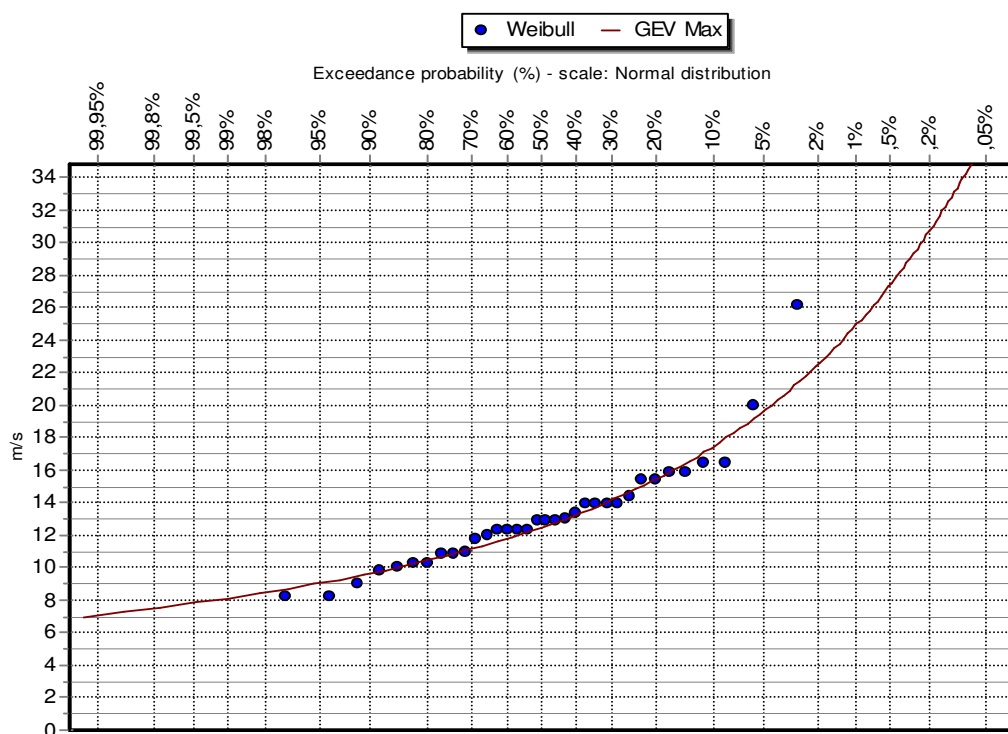
(οι άνω πίνακες αναφέρονται στην περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου)



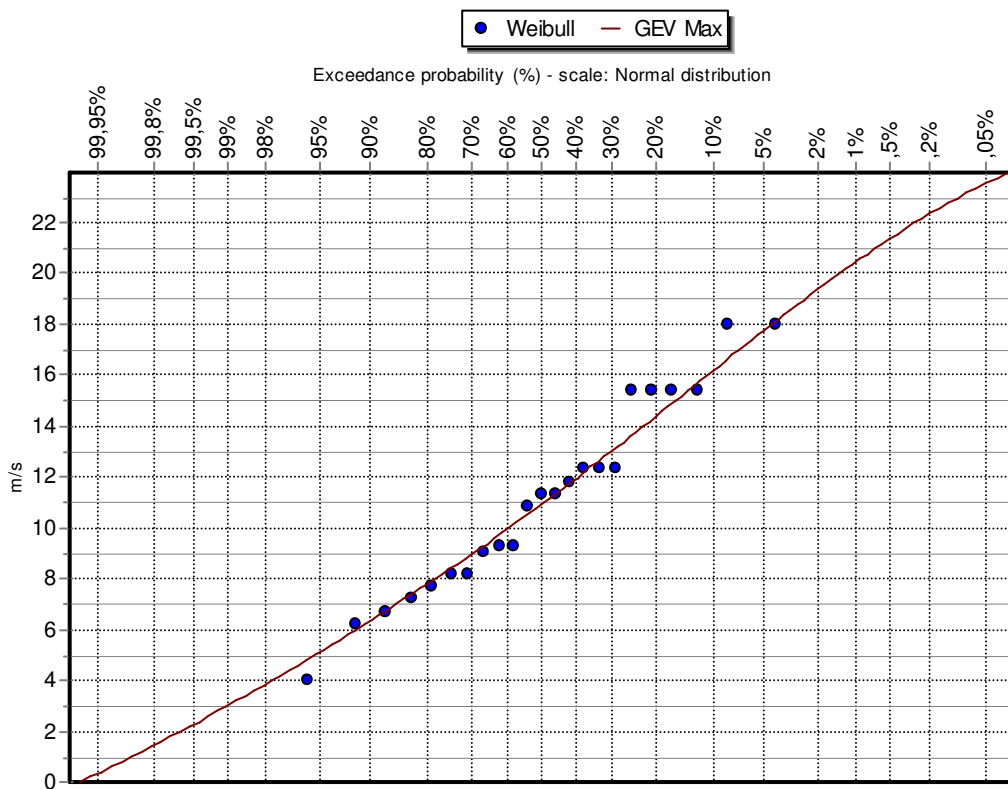
Πίνακας 2.44 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 200°



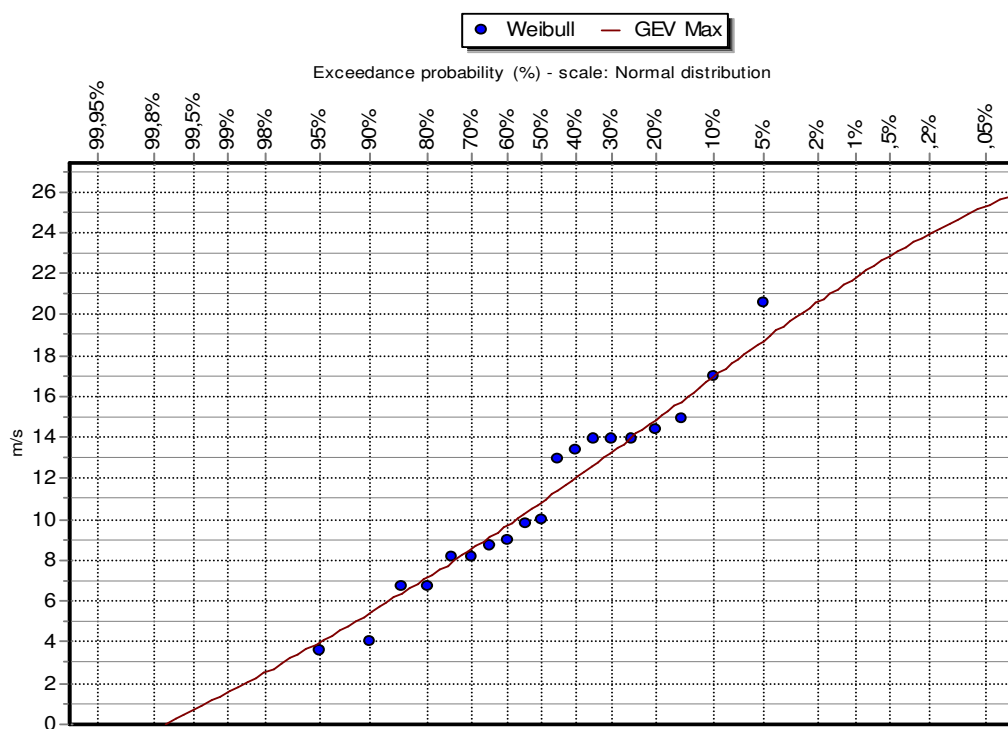
Πίνακας 2.45 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διεθύνσεως 190°



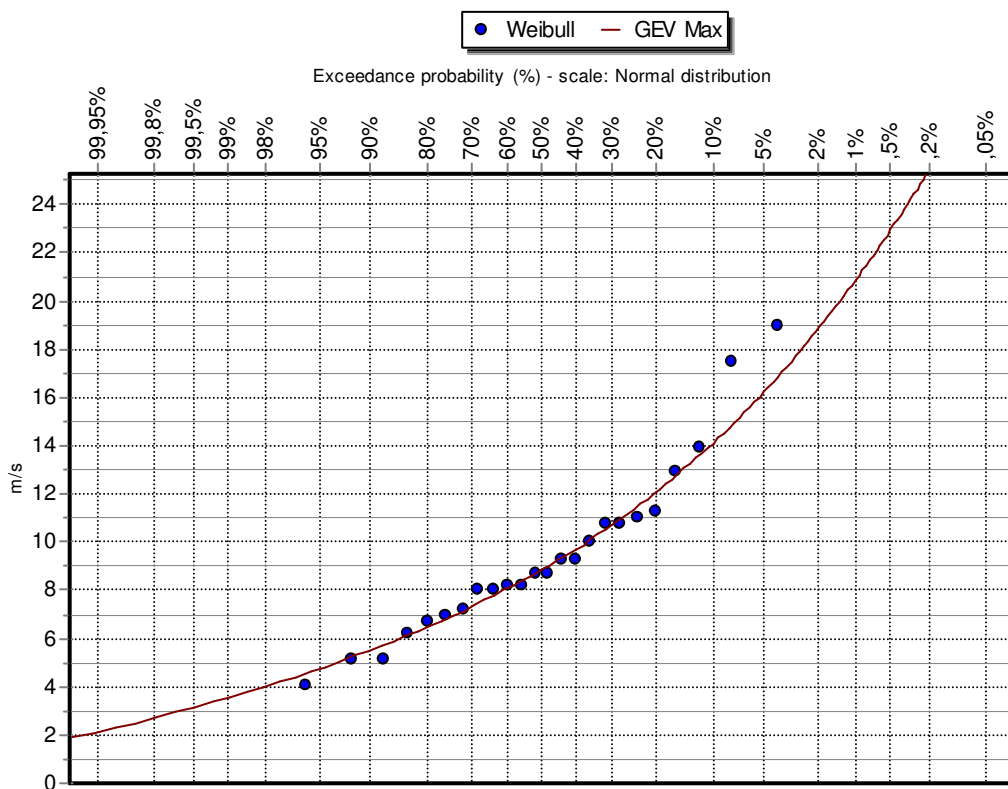
Πίνακας 2.46 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 180°



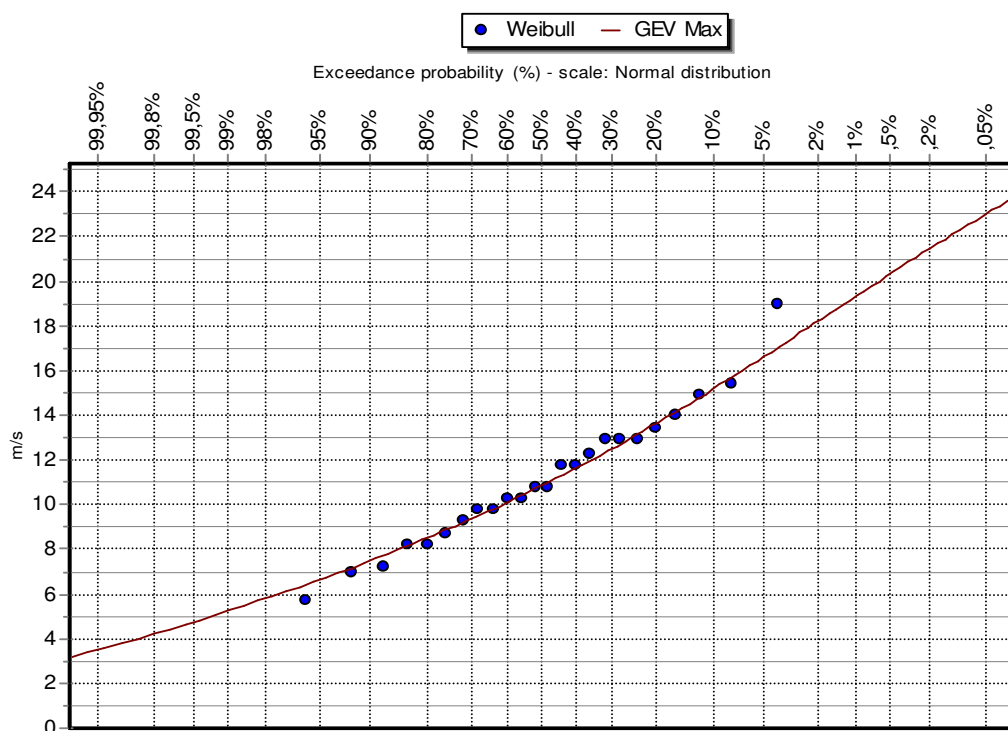
Πίνακας 2.47 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 170°



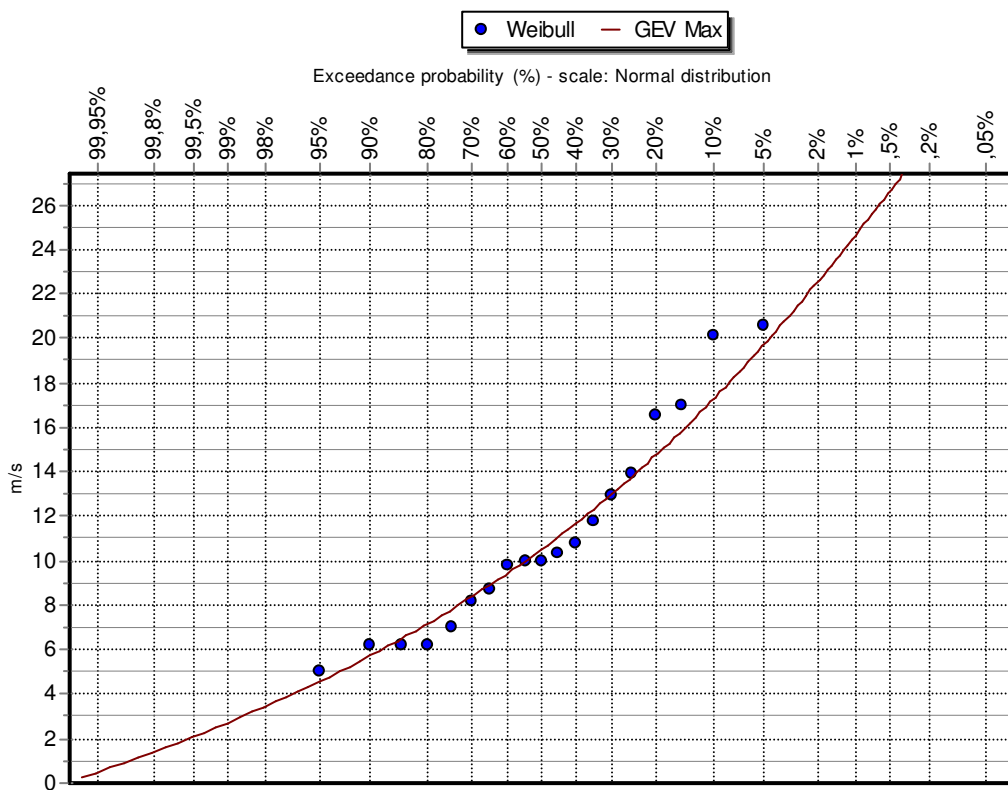
Πίνακας 2.48 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 160°



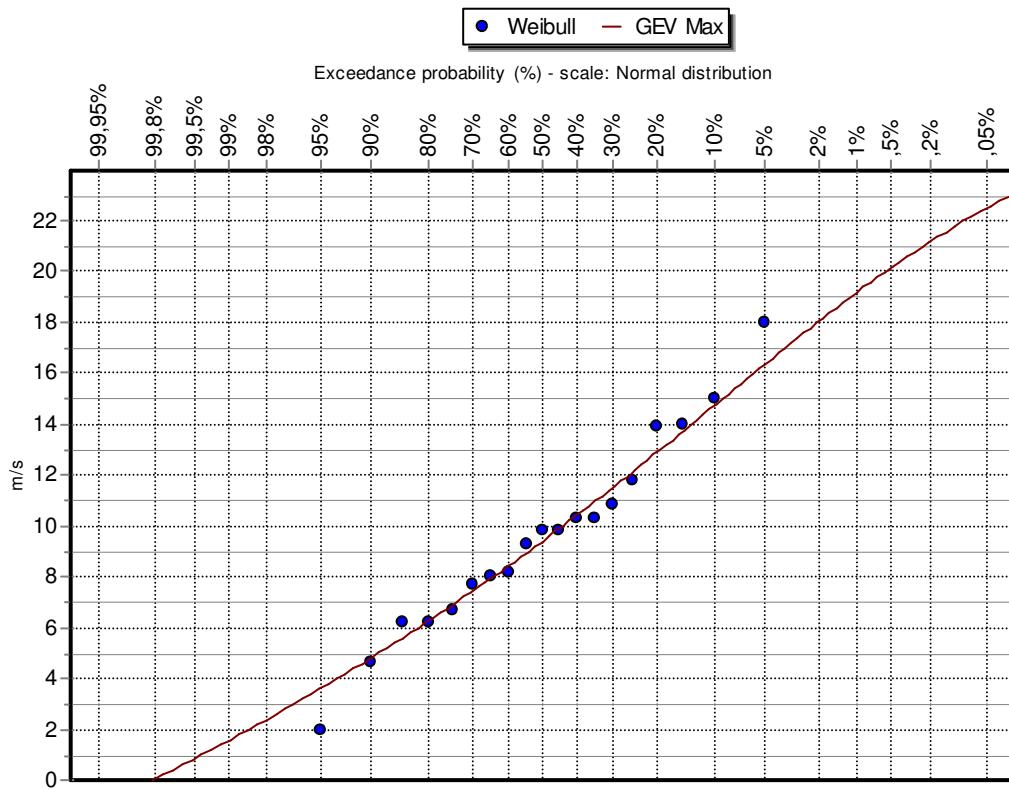
Πίνακας 2.49 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 150°



Πίνακας 2.50 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 140°



Πίνακας 2.51 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 130°



Πίνακας 2.52 Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ανέμων διευθύνσεως 120°

(οι άνω πίνακες αναφέρονται στην περιοχή του Σαρωνικού κόλπου)

	GEV MAX 120	V10	xm	tmin	fpm	fp	Ts	Hm	H	Hmax kim	Hmax
T=2	14,864	12,033	32400,218	25,463	0,126	0,103	9,740	0,297	4,383	6,220	4,364
T=5	18,049	14,611	21975,416	19,403	0,141	0,095	10,526	0,245	5,323		5,315
T=10	19,878	16,091	18117,032	16,950	0,150	0,091	10,940	0,222	5,862		5,861
T=50	23,246	18,818	13246,820	13,614	0,165	0,086	11,647	0,190	6,855		6,866
T=100	24,438	19,783	11986,771	12,694	0,170	0,084	11,883	0,181	7,207		7,222
	GEV MAX 130										
T=2	14,976	12,123	31919,543	25,198	0,127	0,102	9,769	0,295	4,416	9,110	4,465
T=5	20,314	16,445	17346,479	16,442	0,152	0,091	11,036	0,217	5,991		5,870
T=10	23,808	19,273	12629,662	13,167	0,167	0,085	11,759	0,185	7,021		6,756
T=50	31,380	25,403	7269,695	8,945	0,197	0,076	13,133	0,141	9,254		8,850
T=100	34,534	27,956	6002,374	7,822	0,209	0,073	13,645	0,128	10,184		9,310
	GEV MAX 140										
T=2	13,024	10,543	42204,351	30,639	0,116	0,108	9,238	0,339	3,841	8,850	3,857
T=5	16,842	13,634	25238,166	21,378	0,136	0,098	10,239	0,262	4,967		5,002
T=10	19,500	15,786	18825,655	17,412	0,148	0,092	10,857	0,226	5,751		5,799
T=50	25,742	20,839	10803,012	11,803	0,175	0,082	12,132	0,171	7,591		7,660
T=100	28,551	23,113	8781,538	10,210	0,186	0,079	12,646	0,155	8,420		8,510
	GEV MAX 150										
T=2	12,527	10,141	45620,479	32,354	0,114	0,110	9,095	0,352	3,694	6,840	3,713

T=5	16,401	13,277	26612,395	22,186	0,134	0,099	10,131	0,269	4,837		4,854
T=10	18,606	15,062	20677,338	18,594	0,144	0,094	10,655	0,237	5,487		5,498
T=50	22,620	18,311	13990,529	14,145	0,162	0,087	11,521	0,195	6,671		6,658
T=100	24,028	19,451	12399,339	12,999	0,168	0,085	11,802	0,184	7,086		7,060
	GEV MAX 160										
T=2	12,578	10,182	37840,058	28,385	0,120	0,116	8,634	0,321	3,392	6,930	3,390
T=5	16,170	13,090	22895,591	19,968	0,140	0,105	9,547	0,250	4,361		4,358
T=10	18,585	15,045	17331,309	16,432	0,152	0,099	10,094	0,217	5,012		5,010
T=50	24,000	19,429	10392,946	11,488	0,177	0,089	11,181	0,168	6,472		6,470
T=100	26,340	21,323	8628,387	10,085	0,187	0,086	11,605	0,153	7,103		7,100
	GEV MAX 170										
T=2	11,568	9,365	44733,934	31,913	0,114	0,120	8,350	0,349	3,120	4,450	3,123
T=5	13,718	11,105	31809,773	25,137	0,127	0,112	8,939	0,294	3,700		3,704
T=10	14,817	11,995	27266,099	22,566	0,133	0,108	9,219	0,272	3,996		3,999
T=50	16,570	13,414	21802,994	19,297	0,142	0,104	9,641	0,244	4,469		4,470
T=100	17,100	13,843	20472,408	18,464	0,145	0,102	9,763	0,236	4,612		4,610
	GEV MAX 180										
T=2	11,194	9,062	47771,324	33,415	0,112	0,121	8,241	0,361	3,019	5,690	3,018
T=5	14,025	11,354	30433,312	24,370	0,128	0,111	9,019	0,288	3,782		3,783
T=10	16,009	12,960	23357,552	20,250	0,139	0,105	9,509	0,252	4,317		4,321
T=50	20,710	16,765	13957,285	14,121	0,162	0,095	10,541	0,195	5,585		5,590
T=100	22,830	18,481	11485,485	12,320	0,172	0,091	10,960	0,177	6,157		6,170
	GEV MAX 190										
T=2	10,876	8,804	50607,487	34,791	0,110	0,123	8,147	0,371	2,933	5,390	2,931

T=5	13,810	11,179	31389,643	24,904	0,127	0,112	8,963	0,292	3,724		3,721
T=10	15,764	12,761	24090,140	20,692	0,138	0,106	9,451	0,256	4,251		4,247
T=50	20,097	16,269	14821,723	14,728	0,159	0,096	10,415	0,201	5,420		5,420
T=100	21,940	17,761	12436,206	13,026	0,168	0,093	10,787	0,184	5,917		5,910
	GEV MAX 200										
T=2	12,596	10,196	37733,782	28,329	0,120	0,116	8,639	0,321	3,397	5,420	3,395
T=5	16,222	13,132	22748,199	19,878	0,140	0,105	9,559	0,249	4,375		4,372
T=10	18,304	14,818	17867,720	16,787	0,151	0,100	10,032	0,221	4,936		4,933
T=50	22,135	17,919	12217,945	12,865	0,169	0,092	10,825	0,182	5,969		5,960
T=100	23,489	19,015	10850,059	11,839	0,175	0,090	11,085	0,172	6,335		6,320
	GEV MAX 210										
T=2	10,702	8,664	94887,360	54,021	0,091	0,103	9,680	0,508	3,889	5,410	3,888
T=5	13,022	10,542	64089,122	41,046	0,103	0,096	10,470	0,418	4,732		4,721
T=10	14,243	11,530	53574,943	36,207	0,108	0,092	10,852	0,382	5,175		5,174
T=50	16,260	13,163	41106,007	30,078	0,117	0,087	11,443	0,335	5,908		5,900
T=100	16,900	13,681	38051,604	28,496	0,120	0,086	11,621	0,322	6,141		6,130
	GEV MAX 220										
T=2	11,995	9,710	75540,887	46,052	0,098	0,099	10,132	0,453	4,358	6,540	4,347
T=5	14,383	11,643	52538,493	35,715	0,109	0,092	10,895	0,378	5,226		5,221
T=10	15,710	12,718	44032,913	31,562	0,115	0,089	11,287	0,346	5,709		5,704
T=50	18,060	14,620	33320,452	25,967	0,125	0,084	11,934	0,301	6,562		6,550
T=100	18,850	15,260	30586,069	24,456	0,128	0,082	12,140	0,289	6,849		6,830
	GEV MAX 230										
T=2	12,739	10,312	66970,342	42,329	0,101	0,096	10,379	0,427	4,629	6,540	4,625

T=5	15,239	12,336	46797,434	32,936	0,113	0,090	11,150	0,357	5,537		5,534
T=10	16,678	13,501	39071,352	29,028	0,119	0,087	11,560	0,326	6,060		6,058
T=50	19,334	15,651	29075,381	23,604	0,130	0,082	12,263	0,281	7,025		7,027
T=100	20,275	16,413	26438,281	22,084	0,134	0,080	12,499	0,268	7,367		7,371
	GEV MAX 240										
T=2	12,205	9,880	72962,427	44,946	0,099	0,098	10,202	0,446	4,435	6,900	4,462
T=5	15,287	12,375	46505,843	32,792	0,113	0,090	11,164	0,356	5,555		5,561
T=10	17,107	13,848	37136,737	28,014	0,121	0,086	11,678	0,318	6,216		6,210
T=50	20,575	16,656	25672,912	21,635	0,135	0,080	12,572	0,264	7,476		7,450
T=100	21,845	17,684	22774,572	19,895	0,140	0,078	12,877	0,249	7,938		7,904

Πίνακας 2.53 Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από το λογισμικό Υδρογνώμονα για την περιοχή της Μεθώνης με το φάσμα JONSWAP

	GEV MAX 120	V10	U10	CD	u*	Hm0	TP
T=2	14,864	12,033	15,139	0,00163	0,61120	5,573	10,876
T=5	18,049	14,611	19,222	0,00177	0,80934	7,380	11,943
T=10	19,878	16,091	21,646	0,00186	0,93293	8,507	12,522
T=50	23,246	18,818	26,242	0,00202	1,17898	10,750	13,538
T=100	24,438	19,783	27,906	0,00208	1,27169	11,596	13,884
	GEV MAX 130						
T=2	14,976	12,123	15,279	0,00163	0,61777	5,633	10,915
T=5	20,314	16,445	22,232	0,00188	0,96348	8,785	12,657
T=10	23,808	19,273	27,023	0,00205	1,22228	11,145	13,702
T=50	31,380	25,403	37,954	0,00243	1,87035	17,055	15,790
T=100	34,534	27,956	42,700	0,00259	2,17497	19,832	16,604
	GEV MAX 140						
T=2	13,024	10,543	12,868	0,00155	0,50666	4,620	10,217
T=5	16,842	13,634	17,653	0,00172	0,73169	6,672	11,548
T=10	19,500	15,786	21,141	0,00184	0,90683	8,269	12,404
T=50	25,742	20,839	29,748	0,00214	1,37655	12,552	14,256
T=100	28,551	23,113	33,791	0,00228	1,61444	14,721	15,034
	GEV MAX 150						
T=2	12,527	10,141	12,266	0,00153	0,47969	4,374	10,032
T=5	16,401	13,277	17,087	0,00170	0,70411	6,420	11,401
T=10	18,606	15,062	19,956	0,00180	0,84628	7,717	12,122
T=50	22,620	18,311	25,375	0,00199	1,13143	10,317	13,354
T=100	24,028	19,451	27,331	0,00206	1,23945	11,302	13,766
	GEV MAX 160						
T=2	12,578	10,182	12,328	0,00153	0,48245	4,023	9,470

T=5	16,170	13,090	16,791	0,00169	0,68982	5,752	10,668
T=10	18,585	15,045	19,928	0,00180	0,84486	7,045	11,414
T=50	24,000	19,429	27,292	0,00206	1,23729	10,317	12,962
T=100	26,340	21,323	30,601	0,00217	1,42584	11,889	13,589
	GEV MAX 170						
T=2	11,568	9,365	11,122	0,00149	0,42922	3,579	9,108
T=5	13,718	11,105	13,717	0,00158	0,54526	4,547	9,864
T=10	14,817	11,995	15,081	0,00163	0,60846	5,074	10,231
T=50	16,570	13,414	17,304	0,00171	0,71465	5,959	10,795
T=100	17,100	13,843	17,987	0,00173	0,74805	6,238	10,960
	GEV MAX 180						
T=2	11,194	9,062	10,682	0,00147	0,41009	3,420	8,970
T=5	14,025	11,354	14,095	0,00159	0,56264	4,692	9,968
T=10	16,009	12,960	16,586	0,00168	0,67995	5,670	10,617
T=50	20,710	16,765	22,766	0,00190	0,99150	8,268	12,040
T=100	22,830	18,481	25,665	0,00200	1,14728	9,567	12,640
	GEV MAX 190						
T=2	10,876	8,804	10,310	0,00146	0,39404	3,286	8,852
T=5	13,810	11,179	13,830	0,00158	0,55042	4,590	9,895
T=10	15,764	12,761	16,274	0,00167	0,66498	5,545	10,539
T=50	20,097	16,269	21,940	0,00187	0,94822	7,907	11,862
T=100	21,940	17,761	24,440	0,00196	1,08074	9,012	12,390
	GEV MAX 200						
T=2	12,596	10,196	12,349	0,00153	0,48340	4,031	9,476
T=5	16,222	13,132	16,858	0,00169	0,69304	5,779	10,685
T=10	18,304	14,818	19,557	0,00178	0,82617	6,889	11,329
T=50	22,135	17,919	24,708	0,00196	1,09518	9,132	12,445
T=100	23,489	19,015	26,579	0,00203	1,19763	9,986	12,822

	GEV MAX 210						
T=2	10,702	8,664	10,107	0,00145	0,38537	4,330	10,718
T=5	13,022	10,542	12,866	0,00155	0,50658	5,692	11,741
T=10	14,243	11,530	14,365	0,00160	0,57509	6,461	12,249
T=50	16,260	13,163	16,907	0,00169	0,69538	7,813	13,049
T=100	16,900	13,681	17,729	0,00172	0,73538	8,262	13,295
	GEV MAX 220						
T=2	11,995	9,710	11,629	0,00151	0,45143	5,072	11,299
T=5	14,383	11,643	14,538	0,00161	0,58314	6,552	12,305
T=10	15,710	12,718	16,206	0,00167	0,66174	7,435	12,835
T=50	18,060	14,620	19,237	0,00177	0,81009	9,102	13,730
T=100	18,850	15,260	20,277	0,00181	0,86262	9,692	14,021
	GEV MAX 230						
T=2	12,739	10,312	12,523	0,00154	0,49115	5,518	11,621
T=5	15,239	12,336	15,611	0,00165	0,63342	7,117	12,649
T=10	16,678	13,501	17,443	0,00171	0,72141	8,105	13,210
T=50	19,334	15,651	20,919	0,00183	0,89542	10,060	14,196
T=100	20,275	16,413	22,179	0,00188	0,96069	10,794	14,533
	GEV MAX 240						
T=2	12,205	9,880	11,880	0,00152	0,46251	5,196	11,391
T=5	15,287	12,375	15,671	0,00165	0,63626	7,149	12,668
T=10	17,107	13,848	17,996	0,00173	0,74849	8,410	13,373
T=50	20,575	16,656	22,583	0,00189	0,98189	11,032	14,640
T=100	21,845	17,684	24,310	0,00195	1,07372	12,064	15,082

Πίνακας 2.54 Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από το λογισμικό Υδρογνώμονα για την περιοχή της Μεθώνης με το μοντέλο CEM

	GEV MAX 20	V10	xm	tmin	fpm	fp	Ts	Hm	H
T=2	13,497	10,926	3569,434	5,437	0,244	0,219	4,563	0,099	1,200
T=5	17,008	13,768	2247,957	3,933	0,280	0,200	5,005	0,078	1,512
T=10	18,747	15,176	1850,313	3,432	0,297	0,192	5,204	0,071	1,666
T=50	21,421	17,341	1417,124	2,848	0,322	0,182	5,489	0,062	1,904
T=100	22,204	17,975	1318,929	2,708	0,329	0,180	5,569	0,060	1,974
	GEV MAX 10								
T=2	14,092	11,408	3274,524	5,118	0,250	0,215	4,643	0,094	1,253
T=5	17,387	14,075	2150,999	3,814	0,284	0,198	5,050	0,077	1,545
T=10	19,290	15,616	1747,554	3,298	0,302	0,190	5,264	0,069	1,715
T=50	22,818	18,472	1248,959	2,607	0,334	0,178	5,630	0,058	2,028
T=100	24,074	19,489	1122,017	2,418	0,345	0,174	5,752	0,055	2,140
	GEV MAX 0-360								
T=2	14,591	11,812	3054,299	4,875	0,256	0,212	4,708	0,091	1,297
T=5	18,134	14,680	1977,394	3,596	0,291	0,195	5,135	0,073	1,612
T=10	20,047	16,229	1618,018	3,125	0,309	0,187	5,346	0,066	1,782
T=50	23,313	18,872	1196,494	2,530	0,339	0,176	5,678	0,057	2,072
T=100	24,381	19,737	1093,993	2,376	0,348	0,173	5,781	0,055	2,167
	GEV MAX 350								
T=2	14,972	12,120	2900,832	4,702	0,260	0,210	4,757	0,089	1,331
T=5	17,830	14,434	2045,419	3,682	0,288	0,196	5,101	0,075	1,585
T=10	19,556	15,831	1700,424	3,235	0,305	0,189	5,293	0,068	1,738
T=50	22,935	18,567	1236,227	2,588	0,335	0,177	5,641	0,058	2,039

T=100	24,208	19,597	1109,676	2,400	0,347	0,173	5,764	0,055	2,152
	GEV MAX 340								
T=2	14,581	11,804	3058,574	4,880	0,256	0,212	4,706	0,091	1,296
T=5	18,095	14,649	1985,949	3,607	0,291	0,195	5,131	0,074	1,608
T=10	19,978	16,173	1629,296	3,140	0,309	0,187	5,338	0,067	1,776
T=50	23,161	18,749	1212,230	2,553	0,337	0,177	5,663	0,057	2,059
T=100	24,113	19,520	1118,409	2,413	0,346	0,174	5,755	0,055	2,143
	GEV MAX 330								
T=2	13,523	10,947	11172,871	12,085	0,173	0,155	6,438	0,174	2,130
T=5	16,125	13,053	7857,701	9,446	0,193	0,145	6,908	0,146	2,540
T=10	17,422	14,104	6731,049	8,476	0,202	0,140	7,125	0,135	2,745
T=50	19,434	15,732	5409,688	7,273	0,215	0,134	7,443	0,121	3,062
T=100	20,628	16,699	4801,549	6,691	0,223	0,131	7,623	0,114	3,250
	GEV MAX 320								
T=2	13,704	11,093	10879,353	11,862	0,175	0,155	6,472	0,172	2,159
T=5	16,173	13,093	7810,644	9,406	0,193	0,145	6,916	0,146	2,548
T=10	17,399	14,085	6749,244	8,492	0,202	0,140	7,121	0,136	2,741
T=50	19,287	15,614	5492,068	7,351	0,214	0,135	7,421	0,122	3,039
T=100	19,842	16,062	5189,498	7,065	0,218	0,133	7,505	0,119	3,126
	GEV MAX 310								
T=2	13,420	10,864	11343,520	12,214	0,173	0,156	6,418	0,176	2,114
T=5	15,385	12,454	8632,011	10,088	0,187	0,148	6,779	0,153	2,424
T=10	16,210	13,122	7775,317	9,376	0,193	0,144	6,922	0,145	2,554
T=50	17,257	13,970	6860,459	8,589	0,201	0,141	7,098	0,137	2,719
T=100	17,505	14,171	6667,446	8,420	0,202	0,140	7,138	0,135	2,758

	GEV MAX 300								
T=2	12,064	9,766	14037,472	14,178	0,162	0,163	6,151	0,195	1,901
T=5	15,221	12,322	8818,453	10,240	0,186	0,148	6,750	0,155	2,398
T=10	17,409	14,093	6741,183	8,485	0,202	0,140	7,123	0,135	2,743
T=50	22,514	18,226	4030,492	5,919	0,235	0,127	7,894	0,105	3,547
T=100	24,799	20,075	3322,083	5,170	0,249	0,122	8,205	0,095	3,907
	GEV MAX 290								
T=2	12,327	9,979	10429,605	11,516	0,177	0,174	5,749	0,169	1,710
T=5	14,619	11,834	9560,336	10,836	0,182	0,151	6,642	0,161	2,303
T=10	16,026	12,973	7954,786	9,527	0,192	0,145	6,891	0,147	2,525
T=50	18,843	15,254	5753,872	7,594	0,212	0,136	7,352	0,125	2,969
T=100	19,928	16,132	5144,803	7,022	0,219	0,133	7,518	0,118	3,140
	GEV MAX 280								
T=2	9,767	7,906	21417,854	19,057	0,143	0,177	5,652	0,241	1,539
T=5	11,580	9,374	15235,410	15,015	0,158	0,165	6,051	0,204	1,824
T=10	12,876	10,424	12322,819	12,942	0,168	0,158	6,313	0,183	2,029
T=50	16,023	12,971	7957,666	9,529	0,192	0,145	6,890	0,147	2,524
T=100	17,486	14,155	6681,867	8,432	0,202	0,140	7,135	0,135	2,755
	GEV MAX 270								
T=2	11,140	9,018	16463,569	15,852	0,154	0,168	5,958	0,212	1,755
T=5	15,327	12,408	8696,786	10,141	0,187	0,148	6,769	0,154	2,415
T=10	18,226	14,754	6150,634	7,957	0,207	0,138	7,254	0,129	2,871
T=50	24,979	20,221	3274,403	5,118	0,250	0,122	8,229	0,094	3,935
T=100	27,997	22,664	2606,581	4,363	0,268	0,116	8,613	0,084	4,411
	GEV MAX 260								

T=2	9,827	7,955	21156,591	18,894	0,143	0,176	5,666	0,240	1,548
T=5	12,355	10,002	13384,660	13,713	0,164	0,161	6,210	0,191	1,946
T=10	13,759	11,138	10792,234	11,795	0,175	0,154	6,483	0,171	2,168
T=50	16,240	13,146	7746,807	9,352	0,193	0,144	6,927	0,145	2,559
T=100	17,081	13,827	7002,895	8,714	0,199	0,141	7,068	0,138	2,691
	GEV MAX 250								
T=2	9,508	7,697	22600,534	19,788	0,140	0,179	5,592	0,248	1,498
T=5	12,404	10,041	13278,691	13,637	0,165	0,161	6,219	0,190	1,954
T=10	13,944	11,288	10508,215	11,577	0,177	0,153	6,517	0,169	2,197
T=50	16,499	13,356	7505,313	9,147	0,195	0,143	6,971	0,143	2,599
T=100	17,313	14,015	6816,229	8,551	0,201	0,141	7,107	0,136	2,728

Πίνακας 2.55 Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από το λογισμικό Υδρογνώμονα για την περιοχή του Νοτίου Αιγαίου με το φάσμα

JONSWAP

	GEV MAX 20	U10	V10	CD	u*	Hm0	Tp
T=2	13,497	10,926	13,446	0,00157	0,53287	1,464	4,671
T=5	17,008	13,768	17,868	0,00173	0,74222	2,040	5,216
T=10	18,747	15,176	20,141	0,00180	0,85568	2,352	5,469
T=50	21,421	17,341	23,731	0,00193	1,04272	2,866	5,842
T=100	22,204	17,975	24,803	0,00197	1,10033	3,024	5,947
	GEV MAX 10		0,000				
T=2	14,092	11,408	14,178	0,00160	0,56646	1,557	4,767
T=5	17,387	14,075	18,360	0,00174	0,76641	2,106	5,272
T=10	19,290	15,616	20,861	0,00183	0,89245	2,453	5,546
T=50	22,818	18,472	25,648	0,00200	1,14637	3,151	6,029
T=100	24,074	19,489	27,396	0,00206	1,24308	3,416	6,194
	GEV MAX 0-360		0,000				
T=2	14,591	11,812	14,798	0,00162	0,59525	1,636	4,846
T=5	18,134	14,680	19,335	0,00178	0,81498	2,240	5,381
T=10	20,047	16,229	21,873	0,00187	0,94475	2,596	5,653
T=50	23,313	18,872	26,334	0,00202	1,18408	3,254	6,095
T=100	24,381	19,737	27,826	0,00207	1,26717	3,483	6,234
	GEV MAX 350		0,000				
T=2	14,972	12,120	15,275	0,00163	0,61758	1,697	4,906
T=5	17,830	14,434	18,937	0,00176	0,79507	2,185	5,337
T=10	19,556	15,831	21,215	0,00184	0,91065	2,503	5,584
T=50	22,935	18,567	25,811	0,00200	1,15525	3,175	6,045

T=100	24,208	19,597	27,583	0,00207	1,25356	3,445	6,212
	GEV MAX 340		0,000				
T=2	14,581	11,804	14,786	0,00162	0,59465	2,695	6,762
T=5	18,095	14,649	19,284	0,00177	0,81241	3,682	7,503
T=10	19,978	16,173	21,780	0,00186	0,93990	4,260	7,876
T=50	23,161	18,749	26,124	0,00201	1,17246	5,313	8,479
T=100	24,113	19,520	27,450	0,00206	1,24612	5,647	8,653
	GEV MAX 330		0,000				
T=2	13,523	10,947	13,477	0,00157	0,53427	2,603	3,178
T=5	16,125	13,053	16,734	0,00169	0,68704	3,347	3,456
T=10	17,422	14,104	18,405	0,00174	0,76864	3,744	3,588
T=50	19,434	15,732	21,052	0,00184	0,90227	4,395	3,784
T=100	20,628	16,699	22,654	0,00189	0,98564	4,801	3,898
	GEV MAX 320		0,000				
T=2	13,704	11,093	13,699	0,00158	0,54444	2,652	3,198
T=5	16,173	13,093	16,796	0,00169	0,69003	3,361	3,461
T=10	17,399	14,085	18,374	0,00174	0,76713	3,737	3,585
T=50	19,287	15,614	20,858	0,00183	0,89226	4,347	3,770
T=100	19,842	16,062	21,597	0,00186	0,93042	4,532	3,823
	GEV MAX 310		0,000				
T=2	13,420	10,864	13,352	0,00157	0,52858	2,575	3,167
T=5	15,385	12,454	15,794	0,00165	0,64210	3,128	3,379
T=10	16,210	13,122	16,843	0,00169	0,69229	3,372	3,465
T=50	17,257	13,970	18,191	0,00174	0,75806	3,693	3,571
T=100	17,505	14,171	18,513	0,00175	0,77398	3,770	3,596

	GEV MAX 300		0,000				
T=2	12,064	9,766	11,712	0,00151	0,45509	2,217	3,012
T=5	15,221	12,322	15,588	0,00165	0,63233	3,080	3,361
T=10	17,409	14,093	18,388	0,00174	0,76780	3,740	3,586
T=50	22,514	18,226	25,229	0,00198	1,12350	5,473	4,071
T=100	24,799	20,075	28,414	0,00209	1,30039	6,335	4,275
	GEV MAX 290		0,000				
T=2	12,327	9,979	12,026	0,00152	0,46902	2,012	6,023
T=5	14,619	11,834	14,832	0,00162	0,59683	2,561	6,527
T=10	16,026	12,973	16,608	0,00168	0,68098	2,922	6,821
T=50	18,843	15,254	20,269	0,00181	0,86217	3,699	7,379
T=100	19,928	16,132	21,713	0,00186	0,93640	4,018	7,585
	GEV MAX 280		0,000				
T=2	9,767	7,906	9,032	0,00142	0,33988	1,458	5,410
T=5	11,580	9,374	11,136	0,00149	0,42984	1,844	5,851
T=10	12,876	10,424	12,689	0,00154	0,49860	2,139	6,148
T=50	16,023	12,971	16,604	0,00168	0,68080	2,921	6,820
T=100	17,486	14,155	18,488	0,00175	0,77276	3,315	7,114
	GEV MAX 270		0,000				
T=2	11,140	9,018	10,618	0,00147	0,40732	1,748	5,747
T=5	15,327	12,408	15,722	0,00165	0,63866	2,740	6,676
T=10	18,226	14,754	19,454	0,00178	0,82099	3,522	7,259
T=50	24,979	20,221	28,668	0,00210	1,31478	5,641	8,493
T=100	27,997	22,664	32,985	0,00225	1,56618	6,720	9,003
	GEV MAX 260		0,000				

T=2	9,827	7,955	9,100	0,00142	0,34274	1,471	5,426
T=5	12,355	10,002	12,060	0,00152	0,47050	2,019	6,030
T=10	13,759	11,138	13,767	0,00158	0,54755	2,349	6,342
T=50	16,240	13,146	16,881	0,00169	0,69413	2,978	6,864
T=100	17,081	13,827	17,962	0,00173	0,74681	3,204	7,034
	GEV MAX 250		0,000				
T=2	9,508	7,697	8,738	0,00141	0,32763	1,406	5,345
T=5	12,404	10,041	12,119	0,00152	0,47313	2,030	6,041
T=10	13,944	11,288	13,995	0,00159	0,55800	2,394	6,383
T=50	16,499	13,356	17,213	0,00170	0,71021	3,047	6,917
T=100	17,313	14,015	18,263	0,00174	0,76164	3,268	7,080

Πίνακας 2.56 Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από το λογισμικό Υδρογνώμονα για την περιοχή του Ανατολικού Αιγαίου με το μοντέλο CEM

	GEV MAX 120	V10	xm	tmin	fpm	fp	Ts	Hm	H
T=2	9,403	7,612	19997,783	18,164	0,146	0,188	5,331	0,233	1,378
T=5	12,859	10,409	10694,139	11,720	0,176	0,166	6,042	0,171	1,885
T=10	14,754	11,943	8123,278	9,668	0,191	0,157	6,384	0,149	2,162
T=50	18,051	14,612	5426,876	7,290	0,215	0,145	6,920	0,122	2,646
T=100	19,151	15,503	4821,347	6,710	0,223	0,141	7,086	0,115	2,807
	GEV MAX 130			0,000					
T=2	10,520	8,516	15976,631	15,522	0,156	0,179	5,576	0,209	1,542
T=5	14,718	11,914	8162,955	9,701	0,190	0,157	6,377	0,149	2,157
T=10	17,321	14,022	5893,758	7,723	0,210	0,147	6,807	0,127	2,539
T=50	22,594	18,290	3463,723	5,324	0,246	0,132	7,570	0,097	3,312
T=100	24,648	19,953	2910,538	4,713	0,259	0,128	7,838	0,089	3,613
	GEV MAX 140			0,000					
T=2	10,862	8,793	14986,410	14,842	0,159	0,177	5,648	0,202	1,592
T=5	13,610	11,018	9546,042	10,824	0,182	0,162	6,181	0,161	1,995
T=10	15,214	12,316	7639,173	9,261	0,194	0,155	6,462	0,144	2,230
T=50	18,228	14,756	5321,992	7,191	0,217	0,144	6,947	0,120	2,672
T=100	19,315	15,636	4739,426	6,630	0,224	0,141	7,110	0,114	2,831
	GEV MAX								

	150								
T=2	8,856	7,169	22547,438	19,755	0,140	0,192	5,205	0,248	1,298
T=5	12,052	9,756	12173,486	12,832	0,169	0,170	5,887	0,182	1,766
T=10	14,175	11,475	8799,841	10,225	0,186	0,159	6,282	0,155	2,078
T=50	18,869	15,275	4966,170	6,851	0,221	0,142	7,044	0,116	2,766
T=100	20,863	16,889	4062,489	5,952	0,235	0,136	7,332	0,105	3,058
	GEV MAX 160								
T=2	10,853	8,786	43764,711	31,427	0,115	0,128	7,783	0,345	2,716
T=5	14,833	12,008	23430,622	20,294	0,139	0,113	8,819	0,253	3,712
T=10	16,976	13,742	17889,678	16,801	0,151	0,107	9,308	0,221	4,248
T=50	20,619	16,692	12125,740	12,797	0,169	0,099	10,061	0,182	5,160
T=100	21,806	17,652	10841,856	11,833	0,175	0,097	10,288	0,172	5,457
	GEV MAX 170								
T=2	10,931	8,849	43144,743	31,115	0,116	0,128	7,805	0,343	2,736
T=5	14,354	11,620	25019,789	21,248	0,136	0,115	8,704	0,261	3,592
T=10	16,209	13,122	19620,910	17,923	0,146	0,109	9,137	0,231	4,057
T=50	19,390	15,696	13712,148	13,947	0,163	0,102	9,816	0,193	4,853
T=100	20,434	16,542	12346,053	12,959	0,168	0,100	10,024	0,183	5,114
	GEV MAX 180								
T=2	12,493	10,113	33030,428	25,808	0,125	0,121	8,233	0,300	3,127
T=5	15,427	12,488	21661,591	19,209	0,142	0,112	8,958	0,243	3,861
T=10	17,515	14,179	16804,570	16,081	0,153	0,106	9,425	0,214	4,383
T=50	22,558	18,261	10130,684	11,284	0,178	0,096	10,429	0,166	5,646

T=100	24,891	20,150	8320,894	9,832	0,189	0,092	10,848	0,151	6,229
	GEV MAX 190								
T=2	12,040	9,747	35562,698	27,178	0,122	0,123	8,113	0,311	3,013
T=5	15,514	12,559	21419,873	19,059	0,143	0,111	8,978	0,241	3,883
T=10	17,402	14,088	17022,932	16,227	0,153	0,106	9,401	0,215	4,355
T=50	20,655	16,720	12083,977	12,766	0,169	0,099	10,068	0,181	5,169
T=100	21,728	17,589	10919,737	11,892	0,175	0,097	10,274	0,172	5,438
	GEV MAX 200								
T=2	12,961	10,492	30689,567	24,514	0,128	0,120	8,355	0,289	3,244
T=5	17,471	14,143	16889,513	16,138	0,153	0,106	9,415	0,214	4,372
T=10	20,197	16,350	12638,122	13,173	0,167	0,100	9,978	0,185	5,055
T=50	25,544	20,679	7900,654	9,482	0,192	0,091	10,961	0,147	6,393
T=100	27,561	22,311	6786,784	8,525	0,201	0,089	11,299	0,136	6,897

Πίνακας 2.57 Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από το λογισμικό Υδρογνώμονα για την περιοχή του Σαρωνικού κόλπου με το φάσμα JONSWAP

	GEV MAX 120	V10	U10	CD	u*	Hm0	Tp
T=2	9,403	7,612	8,620	0,00140	0,32273	1,463	5,515
T=5	12,859	10,409	12,667	0,00154	0,49765	2,255	6,372
T=10	14,754	11,943	15,001	0,00163	0,60473	2,741	6,800
T=50	18,051	14,612	19,225	0,00177	0,80948	3,668	7,494
T=100	19,151	15,503	20,676	0,00182	0,88295	4,001	7,714
	GEV MAX 130						
T=2	10,520	8,516	9,896	0,00145	0,37637	1,706	5,805
T=5	14,718	11,914	14,956	0,00162	0,60263	2,731	6,792
T=10	17,321	14,022	18,274	0,00174	0,76216	3,454	7,345
T=50	22,594	18,290	25,339	0,00199	1,12948	5,119	8,374
T=100	24,648	19,953	28,201	0,00209	1,28836	5,839	8,749
	GEV MAX 140						
T=2	10,862	8,793	10,293	0,00146	0,39335	1,783	5,892
T=5	13,610	11,018	13,584	0,00158	0,53917	2,443	6,544
T=10	15,214	12,316	15,579	0,00165	0,63191	2,864	6,900
T=50	18,228	14,756	19,457	0,00178	0,82113	3,721	7,530
T=100	19,315	15,636	20,895	0,00183	0,89418	4,052	7,747
	GEV MAX 150						
T=2	8,856	7,169	8,007	0,00138	0,29747	1,348	5,368
T=5	12,052	9,756	11,697	0,00151	0,45445	2,060	6,182

T=10	14,175	11,475	14,281	0,00160	0,57122	2,589	6,672
T=50	18,869	15,275	20,303	0,00181	0,86392	3,915	7,658
T=100	20,863	16,889	22,972	0,00190	1,00241	4,543	8,047
	GEV MAX 160						
T=2	10,853	8,786	10,283	0,00146	0,39290	3,040	8,413
T=5	14,833	12,008	15,101	0,00163	0,60939	4,715	9,739
T=10	16,976	13,742	17,826	0,00172	0,74015	5,727	10,391
T=50	20,619	16,692	22,643	0,00189	0,98503	7,622	11,429
T=100	21,806	17,652	24,256	0,00195	1,07085	8,286	11,752
	GEV MAX 170						
T=2	10,931	8,849	10,374	0,00146	0,39680	3,070	8,441
T=5	14,354	11,620	14,503	0,00161	0,58151	4,500	9,588
T=10	16,209	13,122	16,842	0,00169	0,69225	5,357	10,162
T=50	19,390	15,696	20,994	0,00183	0,89926	6,959	11,088
T=100	20,434	16,542	22,394	0,00188	0,97194	7,521	11,379
	GEV MAX 180						
T=2	12,493	10,113	12,226	0,00153	0,47789	3,698	8,981
T=5	15,427	12,488	15,848	0,00165	0,64464	4,988	9,923
T=10	17,515	14,179	18,526	0,00175	0,77463	5,994	10,550
T=50	22,558	18,261	25,290	0,00199	1,12679	8,719	11,953
T=100	24,891	20,150	28,544	0,00210	1,30773	10,119	12,562
	GEV MAX 190						
T=2	12,040	9,747	11,683	0,00151	0,45382	3,512	8,827
T=5	15,514	12,559	15,957	0,00166	0,64986	5,029	9,950
T=10	17,402	14,088	18,379	0,00174	0,76738	5,938	10,517

T=50	20,655	16,720	22,691	0,00189	0,98756	7,642	11,439
T=100	21,728	17,589	24,150	0,00195	1,06512	8,242	11,731
	GEV MAX 200						
T=2	12,961	10,492	12,791	0,00155	0,50322	3,894	9,137
T=5	17,471	14,143	18,468	0,00175	0,77179	5,972	10,537
T=10	20,197	16,350	22,074	0,00187	0,95521	7,392	11,313
T=50	25,544	20,679	29,468	0,00213	1,36044	10,527	12,728
T=100	27,561	22,311	32,355	0,00223	1,52872	11,829	13,233

Πίνακας 2.58 Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από το λογισμικό Υδρογώνονα για την περιοχή του Σαρωνικού κόλπου με το μοντέλο

CEM

GEV MAX aaa	:	Στατιστική κατανομή χρονοσειράς ταχύτητας ανέμου (όπου aaa η διεύθυνση ανέμου)	
U10	:	Ταχύτητα διάρκειας 10 hrs από στατιστική ανάλυση ανέμων	(m)
xm	:	Αδιάστατο ενεργό ανάπτυγμα πελάγους από στατιστική ανάλυση ανέμων	(-)
tmin	:	αδιάστατη ελάχιστη διαδρομή για πλήρως ανεπτυγμένη θάλασσα από στατιστική ανάλυση ανέμων	(sec)
fpm	:	Αδιάστατη συχνότητα αιχμής φάσματος από στατιστική ανάλυση ανέμων	(-)
fpm	:	Συχνότητα αιχμής φάσματος από στατιστική ανάλυση ανέμων	(sec ⁻¹)
Ts	:	Περίοδος αιχμής φάσματος από στατιστική ανάλυση ανέμων	(sec)
Hm	:	Αδιάστατο χαρακτηριστικό ύψος κύματος από στατιστική ανάλυση ανέμων	(-)
H	:	Χαρακτηριστικό ύψος κύματος από στατιστική ανάλυση ανέμων	(m)
Hmax kim	:	Μέγιστος κυματισμός ανά διεύθυνση πνοής ανέμου από φασματική ανάλυση	(m)
Hmax	:	Μέγιστος κυματισμός από στατιστική ανάλυση χρονοσειράς κυματισμών	(m)

T_a	:	Περίοδος επαναφοράς	(year)
V_{10}	:	Ταχύτητα ανέμου διάρκειας 10h 10m επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας	(m)
CD	:	Συντελεστής	(-)
u^*	:	Ταχύτητα τριβής	(m/se)
H_{m0}	:	Ενέργεια βασισμένη στο ύψος κύματος	(m)
T_p	:	Περίοδος κυματισμών	(sec)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κ. Μέμος (2008) Εισαγωγή στα λιμενικά συστήματα, Αθήνα, Εκδόσεις Συμμετρία
- [2] Κ. Μέμος (2008) Λιμενικά συστήματα, Αθήνα, Εκδόσεις ΕΜΠ
- [3] Κ.Ι Μουτζούρη (2007) Θαλάσσια Υδραυλική, Αθήνα, Εκδόσεις ΕΜΠ
- [4] Κ.Ι Μουτζούρη (2005) Εισαγωγή στην ακτομηχανική, Αθήνα, Εκδόσεις ΕΜΠ
- [5] C.Linwood Vincent, Zeki Demirbilek, J. Richard Weggel (2002) Estimation of Nearshore Waves, Mississippi
- [6] Construction and Inspection of Fixed offshore Structures (1977) DET NORRSKE VERITAS: Rules for Design
- [7] Donald T. Resio, Steven M. Bratos, Edward F. Thompson (2006) Meteorology and Wave Climate, Mississippi
- [8] D. E. Cartwright and M. S. Longuet-Higgins (1956) The Statistical Distribution of the Maxima of a Random Function, London
- [9] Hasselmann et al. 1973. "Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay During the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)," *Deutsche Hydrograph. Zeit., Ergänzungsheft Reihe A*
- [10] Hasselmann, K. et al. 1976. "A Parametric Wave Prediction Model," *Jour. Phys. Ocean*
- [11] Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke K., Weing, J. A., Gienapp, H., Hasselmann, D. E., Kruseman, P., Meerburg, A., Muller, P., Olbers, K. J., Richter, K., Sell, W., and Walden, W. H. 1973. "Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay During the Joint

North Sea Wave Project (JONSWAP),” *Deutsche Hydrograph, Zeit., Erganzung-self Reihe*

[12] Helmholtz, H. 1888. “Uber Atmospharische Bewwgungen,” *S. Ber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, Mathem. Physik KI*

[13] Jeffreys, H. 1924. “On the Formation of Waves by Wind,” *Proc. Roy. Soc. Lond*

[14] Jeffreys, H. 1925. “On the Formation of Waves by Wind,” *Proc. Roy. Soc. Lond*

[15] Joan Pope & John H.Lockhart (2006) *The Coastal Engineering Manual*, Washington

[16] Kelvin, Lord, 1887. “On the Waves Produced by a Single Impulse in Water of Any Depth or in a Dispersive Medium,” *Mathematical and Physical Papers*, Vol IV, London, Cambridge University Press

[17] Kinsman, B. 1965. *Wind Waves*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ

[18] Longuet-Higgins, M.S. 1952. “On the Statistical Distribution of the Wave Heights of Sea Waves,” *Jour.Marine Res*

[19] Longuet-Higgins, M.S. 1957. “Statistical Analysis of a Random, Moving Surface,” *Phil Trans. Roy. Soc.London, Series A*

[20] Longuet-Higgins, M. S. 1984. “Statistical Properties of Wave Groups in a Random Sea State,” *Phil. Trans.Roy. Soc. London, Series A*

[21] Phillips, O. M. 1958. “The Equilibrium Range in the Spectrum of Wind-Generated Waves,” *Journal of Fluid Mechanics*

[22] Phillips, O. M. 1977. *The Dynamics of the Upper Ocean*, 2nd ed., Cambridge University Press

- [23] Pierson, W. J., and Moskowitz, L. 1964. "A Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas Based in the Similarity Theory of S. A. Kitaigorodskii," *J Geophys.*
- [24] Pierson, W. J., and Moskowitz, L. 1964. "A Proposed Spectral Form for Fully-Developed Wind Sea Based on the Similarity Law of S. A. Kitaigorodskii," *Journal of Geophysical Research*
- [25] Pierson, W. J., Nemman, G., and James, R. W. (1955). "Observing and forecasting ocean waves by means of wave spectra
- [26] Pierson, W. J., Neuman, G., and James, R. W. 1955. "Observing and Forecasting Oceanwaves by Means of Wave Spectra and Statistics," U.S. Navy Hydrographic Office Pub. No. 60
- [27] Rayleigh, L. 1876. "On Waves," *Phil. Mag*
- [28] Rice, S. O. 1944-1945. "Mathematical Analysis of Random Noise," *Bell System Tech. Jour*
- [29] US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg (1984) SPM: Shore Protection Manual, USA
- [30] USA Army Corps of Engineers (2001) CEM: Coastal Engineer Manual Part VI. Design of Coastal Projects Elements, Washington
- [31] Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide i. Holst (2002) EAK 2002-Empfehlungen für Küstenschutzbauwerke: Ausschuss für Küstenschutzbauwerke der DGGT und der HTG,,Die Küste "Heft 65-2002
- [32] Zeki Demirbilek & C. Linwood Vincent (2006) Water Wave Mechanics, Virginia
- [33] Γεώργιος Σακελλαρίδης, Βασίλης Κωστόπουλος, Θεαγένης Χαραντώνης (2010) Η μεθοδολογία υπολογισμού του Ανέμου για τη δημιουργία βιώσιμων αιολικών πάρκων Ανάκτηση 25/11/2010 από library.tee.gr/digital/m2483_sakellaridis.pdf
- [34] Τακβόρ Σουκισιάν, Δεδομένα και διαδικασίες για την αξιόπιστη εκτίμηση υπεράκτιας κυματικής και αιολικής ενέργειας στην Ανατολική Μεσόγειο Θάλασσα

Ανάκτηση 22/11/2010 από

www.waveplam.eu/files/downloadw/HCMR_Hmerida%_Soukissian.pdf

[35] Χ.Μεταξιάτος (2006) Πλωτό αγκυροβόλιο στο λιμένα Πόρτο Ράφτη,Ανάκτηση 12/12/2010 από

www.naspor.ge/old/members_only/correspondence/incoming/20061124_MELETI_LI_MANI_PORTO_RAFTI.pdf

[36]CD epistimi kai zoi,Ανάκτηση 12/11/2010 από

<http://www.neo.gr/website/ergasiamathiti/109.htm>

[37] Robert H. Stewart (2005) Ocean Waves, Ανάκτηση 13/11/2010 από

http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/chapter16/chapter16_04.htm