ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

NATIONAL & KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF SCIENCES
DEPARTMENT OF GEOLOGY & GEOENVIRONMENT

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης
Master Thesis

Μελέτη των ακραίων ανεμολογικών συνθηκών στο Αιγαίο Πέλαγος. Η επίδραση στα ναυτικά ατυχήματα.

Study of extreme wind conditions in the Aegean Sea. The effect on maritime accidents.

ΕΥΤΥΧΙΟΣ ΣΑΡΤΖΕΤΑΚΗΣ / EFTYCHIOS SARTZETAKIS
A.M. / R.N. : 15089

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:	**No. 2017093**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2018
Athens, February 2018

ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

NATIONAL & KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF SCIENCES
DEPARTMENT OF GEOLOGY & GEOENVIRONMENT

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης
Master Thesis

Μελέτη των ακραίων ανεμολογικών συνθηκών στο Αιγαίο Πέλαγος. Η επίδραση στα ναυτικά ατυχήματα.

Study of extreme wind conditions in the Aegean Sea. The effect on maritime accidents.

ΕΥΤΥΧΙΟΣ ΣΑΡΤΖΕΤΑΚΗΣ / EFTYCHIOS SARTZETAKIS
A.M. / R.N. : 15089

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Π. Νάστος,
Καθηγ. ΕΚΠΑ

Δρ. Ε. Λέκκας,
Καθηγ. ΕΚΠΑ

Δρ. Σ. Λόζιος,
Επικ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:	**No. 2017093**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2018
Athens, February 2018

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα v
Περίληψη vii
Abstract ix
Πρόλογος και ευχαριστίες xi
Κατάλογος Πινάκων xiii
Κατάλογος Εικόνων xv

Κεφάλαιο 1. Ο άνεμος 17
1.1. Ορισμός του ανέμου 17
1.2. Χαρακτηριστικά του ανέμου 17
1.2.1. Διεύθυνση 17
1.2.2. Ένταση 18
1.2.3. Διακύμανση 19
1.2.4. Απεικόνιση των χαρακτηριστικών του ανέμου 19
1.3. Δυνάμεις που διαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά των ανέμων 20
1.4. Ενεργειακή ισορροπία της ατμόσφαιρας και δημιουργία των ανέμων 21
1.4.1. Γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας 21
1.4.2. Το μοντέλο των τριών κυττάρων κυκλοφορίας 22
1.5. Διεύθυνση του ανέμου και ισοβαρείς καμπύλες 23
1.6. Ακραίος άνεμος 25
1.6.1. Ορισμός του ακραίου ανέμου 25
1.6.2. Μέθοδοι προσδιορισμού ακραίων καιρικών φαινομένων 26
1.6.3. Δημιουργία ακραίου ανέμου 26
1.6.4. Γενικές επιπτώσεις του ακραίου ανέμου 27
1.6.5. Μελέτη ακραίου ανέμου 27
1.6.6. Η έννοια της περιόδου επαναφοράς 28

Κεφάλαιο 2. Ανεμολογική μελέτη του Αιγαίου Πελάγους 31
2.1. Το Αιγαίο Πέλαγος 31
2.1.1. Γεωγραφικός προσδιορισμός 31
2.1.2. Τοπογραφία 31
2.2. Βαρομετρικά συστήματα επιρροής στο Αιγαίο 32
2.3. Οι άνεμοι του Αιγαίου 33
2.3.1. Γενική περιγραφή ανεμολογικού καθεστώτος 33
2.3.2. Οι Ετησίες (Μελτέμια) 34
2.3.3. Ο Βαρδάρης 36
2.4. Ανεμολογική μελέτη 36
2.4.1. Μετεωρολογικοί σταθμοί 36
2.4.2. Βάση δεδομένων και περίοδος μελέτης 37
2.4.3. Χρήση λογισμικού και μεθοδολογία 38
2.5. Ανάλυση δεδομένων 39
2.5.1. Μέση ετήσια ένταση ανέμου 39
2.5.2. Ετήσια κατανομή διεύθυνσης και έντασης ανέμου 40
2.5.3. Εποχική κατανομή διεύθυνσης και έντασης ανέμου 43
2.5.4. Ετήσια κατανομή μέγιστης έντασης ανέμου 46
2.5.5. Εποχική κατανομή μέγιστης έντασης ανέμου 47
2.5.6. Εκτίμηση ακραίου ανέμου με περίοδο επαναφοράς 20, 50 και 100 ετών. 49

Κεφάλαιο 3. Ναυτικά ατυχήματα 51
3.1. Ορισμός ναυτικού ατυχήματος 51
3.2. Κατηγοριοποίηση ναυτικών ατυχημάτων 51
3.3. Συνέπειες ναυτικού ατυχήματος 52
3.4. Πρόκληση ναυτικών ατυχημάτων 53
3.4.1. Αίτια 53
3.4.2. Μηχανισμός πρόκλησης 54
3.4.3. Ο άνεμος ως «ναυπηγικός» παράγοντας εκδήλωσης ναυτικού ατυχήματος 56
3.4.4. Ο άνθρωπος ως παράγοντας εκδήλωσης ναυτικού ατυχήματος 57
3.5. Μείωση της διακινδύνευσης ναυτικών ατυχημάτων 58
3.5.1. Ορισμός 58
3.5.2. Διεθνές επίπεδο 59
3.5.3. Εθνικό επίπεδο 61

Κεφάλαιο 4. Μελέτη ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος 63
4.1. Ναυτιλία και Αιγαίο Πέλαγος 63
4.2. Ναυτικά ατυχήματα στο Αιγαίο Πέλαγος 64
4.2.1. Βάση δεδομένων 64
4.2.2. Περιοχικός διαχωρισμός 65
4.3. Ανάλυση δεδομένων 66
4.3.1. Ετήσιες και μηνιαίες κατανομές ναυτικών ατυχημάτων 66
4.3.2. Γεωγραφική κατανομή ναυτικών ατυχημάτων 67
4.3.3. Ναυτικά ατυχήματα ανά κατηγορία ατυχήματος 68
4.3.4. Ναυτικά ατυχήματα ανά μέγεθος πλοίου 69
4.3.5. Ναυτικά ατυχήματα ανά είδος ατυχήματος 71
4.3.6. Κατανομή συνεπειών ναυτικών ατυχημάτων 72
4.3.7. Κατανομή αιτίων ναυτικών ατυχημάτων 73
4.4. Διακινδύνευση ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος 74
4.4.1. Ένταση ανέμου και ναυτικά ατυχήματα 74
4.4.2. Μεθοδολογία και αποτελέσματα 75
4.4.3. Εκτίμηση διακινδύνευσης 77

Βιβλιογραφία 79

Παράρτημα Α. Μέθοδος "Block Maxima" 85

Παράρτημα Β. Προϊόντα ανάλυσης ανεμολογικών δεδομένων 89

Παράρτημα Γ. Κλίμακα Beaufort 151

Περίληψη

Ο άνεμος αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα φυσικά φαινόμενα του πλανήτη και ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας, το οποίο ασκεί σημαντικές επιρροές στο γήινο οικοσύστημα. Ο άνθρωπος από πολύ νωρίς εκμεταλλεύτηκε τις ιδιότητες του ανέμου, αξιοποιώντας τον ως έναν σύμμαχο των δράσεών του στον δρόμο της ανάπτυξης. Την ίδια όμως στιγμή, ο άνεμος αποτελεί και έναν δυνητικό κίνδυνο πρόκλησης φυσικών καταστροφών, ιδίως στις ισχυρές και ακραίες εκφάνσεις του. Στη σημερινή εποχή, και ιδιαίτερα υπό το πρίσμα της συντελούμενης κλιματικής αλλαγής του πλανήτη, ο ακραίος άνεμος και τα ακραία καιρικά φαινόμενα εν γένει, αποτελούν αδιαμφισβήτητα έναν ουσιώδη τομέα μελετών στο πλαίσιο της μείωσης του κινδύνου καταστροφών.

Το Αιγαίο Πέλαγος χαρακτηρίζεται από τη συχνή παρουσία ισχυρών ανέμων, ωστόσο το ανεμολογικό του καθεστώς παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση από το γενικό μοτίβο που παρατηρείται στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, με τους βοριάδες να κυριαρχούν σε όλες τις εποχές, αν και τον χειμώνα απαντώνται σποραδικά και άνεμοι νότιων διευθύνσεων. Ο χειμώνας μπορεί να χαρακτηριστεί ως η πιο «ανεμώδης» εποχή του έτους, ωστόσο όμως, και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, παρατηρείται ένα έντονο ανεμολογικό καθεστώς, που οφείλεται στην εμφάνιση των Ετησιών ανέμων, ενός από τα σταθερότερα συστήματα ανέμων σε παγκόσμια κλίμακα. Από την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων που παρασχέθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, προέκυψε ότι οι ισχυροί άνεμοι στο Αιγαίο, παρουσιάζουν μία υψηλή ετήσια μεσοσταθμική επικράτηση της τάξης του 20%. Οι Κυκλάδες παρουσιάζουν τις εντονότερες ανεμολογικές συνθήκες σε σχέση με τις υπόλοιπες νησιωτικές ομάδες, ενώ τα υψηλότερα ποσοστά επικράτησης θυελλωδών ανέμων παρατηρούνται στους μετεωρολογικούς σταθμούς της Καρπάθου και της Νάξου. Η μελέτη του ακραίου ανέμου στο Αιγαίο Πέλαγος απέδωσε περιόδους επαναφοράς με τιμές που κυμαίνονται από τους 60 έως τους 100 κόμβους, ανάλογα με τον σταθμό και την υπολογιζόμενη διάρκεια επαναφοράς.

Την ίδια στιγμή, οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν μία από τις κυρίαρχες μεθόδους μεταφοράς επιβατικού κοινού και εμπορευματικών φορτίων, με το Αιγαίο να αποτελεί μια θαλάσσια δίοδο δραστηριοποίησης του εθνικού αλλά και του παγκόσμιου ναυτικού στόλου. Στην περίοδο από το 2003 έως το 2015, σημειώθηκαν στο Αιγαίο 516 ναυτικά ατυχήματα διαφόρων τύπων. Η συχνότητα της εκδήλωσης των ατυχημάτων παρουσίασε αυξητικές τάσεις κατά τους θερινούς μήνες ως απόρροια και της μεγαλύτερης ναυτιλιακής κίνησης, με το 40% του συνόλου των ατυχημάτων να εντοπίζεται στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων. Αν και οι καιρικές συνθήκες δεν καταγράφονται στα επίσημα πορίσματα ως ο κύριος παράγοντας πρόκλησης των ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο, κατά την ανάλυση των δεδομένων παρατηρήθηκε αύξηση στη συχνότητα εκδήλωσής τους σε σχέση με την αύξηση της έντασης του ανέμου. Το γεγονός αυτό, αν και βασίζεται σε στατιστική παρατήρηση, δύναται να ερμηνευτεί με τη χρήση των μοντέλων πρόκλησης ατυχημάτων, όπως αυτό του J. Reason, όπου ο ισχυρός άνεμος μπορεί να αποτελέσει έναν παράγοντα αρνητικής επίδρασης σε διάφορα επίπεδα και στάδια της εξέλιξης ενός ατυχήματος. Στο πλαίσιο του υπολογισμού της διακινδύνευσης της εκδήλωσης ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος, εκτιμήθηκε ότι κατά τη μετάβαση από τις ασθενείς στις μέτριες ανεμολογικές συνθήκες τετραπλασιάζεται η πιθανότητα της εκδήλωσης ενός ναυτικού ατυχήματος και ότι επταπλασιάζεται κατά τη μετάβαση από τις ασθενείς στις ισχυρές.

Λέξεις κλειδιά : Αιγαίο Πέλαγος, ακραίος άνεμος, περίοδος επαναφοράς, ναυτικό ατύχημα, διακινδύνευση.

Abstract

Wind is one of the most important natural phenomena on the planet as it consists a major feature of the atmosphere, that influences the earth's ecosystem. From the early ages, man took advantage of the wind's qualities on his road to development. But at the same time, wind constitutes a potential threat for humanity, as a causal factor of natural and technological disasters, especially in its strong and extreme forms. Nowadays, especially under the emerging climate change, extreme wind and extreme weather events in general, constitute an essential domain of disaster risk reduction studies.

The wind regime of the Aegean sea indicates a great departure from the general pattern of the observed winds in the wider Mediterranean sea region, with northern winds in all seasons, although sporadic southern winds occur during the winter. Winter can be described as the most "windy" season of the year but yet during summer, there is also an intense wind regime, due to the emergence of the "Etesians", one of the most stable wind systems on a global scale. Based on the analysis of the provided data by the National Meteorological Service, strong winds in the Aegean sea indicate an annual presence of 20%. The island complex of Cyclades has the strongest wind conditions in relation to the other groups of the Aegean islands, while the highest prevalence rates of strong winds are observed in the meteorological stations of Karpathos and Naxos. The study of extreme winds in the Aegean sea resulted correspondent return periods with attributed values ranging between 60 and 100 knots, depending on the stations and the return times of the calculations.

At the same time, the Aegean Sea is an international seaway used by the global passenger and commercial marine fleet. In the time period between the years 2003 and 2015, 516 marine casualties of different types and extent of consequences were recorded in the Aegean sea. The frequency of the accidents indicated upward trends over the summer period, probably as a result of the more dense maritime traffic, while 40% of the total number of accidents occurred in Cyclades. Although weather conditions are not officially recorded as a main cause of marine casualties in the Aegean, a particular increase of their occurrence frequency was observed, in relation to the wind intensity. This statistical observation can be interpreted with the aid of the accident evolution models, such as the one of J. Reason, where strong winds can act as a multilevel causal factor of marine accidents. Through the analysis of the relative data, it was estimated that during the transition from light to moderate wind conditions, the probability of a naval accident occurrence in the Aegean sea is increased by four times and during the transition from light to strong winds by seven times.

Keywords : Aegean Sea, extreme wind, return period, maritime accident, risk.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Το Αιγαίο Πέλαγος αποτελεί το μεγαλύτερο σε έκταση θαλάσσιο τμήμα της ελληνικής επικράτειας και σύμβολο του ναυτικού χαρακτήρα της Ελλάδας, άμεσα συνυφασμένο με το ιστορικό της παρελθόν αλλά και με το μέλλον της. Η γεωγραφική θέση του Αιγαίου καθώς και η πληθώρα των νησιών του, το καθιστούν ως έναν παράγοντα ισχυροποίησης τόσο της εθνικής οικονομίας όσο και της γεωπολιτικής και γεωστρατηγικής αξίας της χώρας στο παγκόσμιο στερέωμα. Ως εκ τούτου, η γνώση και η μελέτη του περιβάλλοντος του Αιγαίου και των παραμέτρων που το επηρεάζουν, αποκτά ιδιαίτερη σημασία, υπό το πρίσμα της βέλτιστης εκμετάλλευσης των πόρων του (π.χ. τουρισμός, θαλάσσιες μεταφορές, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, υδρογονάνθρακες), της διασφάλισης της ποιότητας ζωής των κατοίκων του αλλά και των προσπαθειών της μείωσης της διακινδύνευσης απέναντι σε κάθε είδους καταστροφή.

Κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας, αποτελεί η μελέτη των ανεμολογικών συνθηκών του Αιγαίου Πελάγους, με ιδιαίτερη έμφαση στον ακραίο άνεμο, ως πιθανό παράγοντα πρόκλησης φυσικών και τεχνολογικών καταστροφών. Παράλληλα με τον άνεμο, συνεξετάζεται και ένα υποσύνολο των τεχνολογικών καταστροφών, τα ναυτικά ατυχήματα (ατυχήματα μεταφοράς), όπου διερευνάται στατιστικά η επίδραση των ισχυρών και ακραίων ανέμων στην ασφάλεια της ναυσιπλοΐας. Στο πρώτο κεφάλαιο, αναλύονται τα κύρια γνωρίσματα του ανέμου καθώς και οι βασικοί μηχανισμοί που καθορίζουν τη δημιουργία και τη διαμόρφωση των χαρακτηριστικών του. Παράλληλα επιχειρείται μία εισαγωγή στον ορισμό του ακραίου ανέμου και στη χρήση της θεωρίας των ακραίων τιμών, ως «εργαλείου» της μείωσης του κινδύνου καταστροφών. Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύεται το ανεμολογικό καθεστώς του Αιγαίου Πελάγους, με την αξιοποίηση ανεμολογικών δεδομένων δεκαεπτά ετών από δέκα μετεωρολογικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Ακολούθως υπολογίζονται οι περίοδοι επαναφοράς του ακραίου ανέμου στο Αιγαίο Πέλαγος για τους δέκα σταθμούς. Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύεται η έννοια των ναυτικών ατυχημάτων, τα πιθανά τους αίτια και η συμβολή του ισχυρού ανέμου στον μηχανισμό της πρόκλησής τους, ενώ παρουσιάζονται συνοπτικά οι δραστηριοποιούμενοι οργανισμοί στην ασφάλεια της ναυσιπλοΐας. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται μία στατιστική ανάλυση των ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος, με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από το Αρχηγείο του Λιμενικού Σώματος - Ελληνική Ακτοφυλακή και τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό, ενώ επιχειρείται και η συσχέτιση των ανεμολογικών συνθηκών του Αιγαίου Πελάγους με την πιθανότητα της εκδήλωσης των ναυτικών ατυχημάτων.

Επιβλέπων καθηγητής της εργασίας ήταν ο κύριος Παναγιώτης Νάστος και μέλη της εξεταστικής επιτροπής ήταν οι κύριοι Ευθύμιος Λέκκας και Στυλιανός Λόζιος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου για τη βοήθεια που μου παρείχε στην επιλογή του θέματος και στην εκπόνηση της εργασίας καθώς και το προσωπικό των Διευθύνσεων Κλιματολογίας της Ε.Μ.Υ. και Ασφάλειας Ναυσιπλοΐας του Λ.Σ. - ΕΛ.ΑΚΤ. (ιδιαίτερα τον Πλωτάρχη Ε. Ρούσσο ΛΣ) για την παροχή των βάσεων δεδομένων που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1 Περίοδος επαναφοράς και αθροιστική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος σε n-έτη 29
Πίνακας 2-1 Μετεωρολογικοί σταθμοί ανεμολογικής μελέτης 37
Πίνακας 2-2 Στατιστικά στοιχεία βάσης δεδομένων ανεμολογικής μελέτης 38
Πίνακας 2-3 Μέγιστες ετήσιες τιμές ανέμου ανά σταθμό 49
Πίνακας 2-4 Εκτίμηση ακραίου ανέμου με περίοδο επαναφοράς 20, 50 και 100 ετών 50
Πίνακας 4-1 Στατιστικοί ανεμολογικοί δείκτες εκδήλωσης ναυτικών ατυχημάτων 78

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Ονοματολογία διευθύνσεων του ανέμου 18
Εικόνα 1.2 Χάρτης ανέμων με επεξήγηση διανυσμάτων 19
Εικόνα 1.3 Ροδόγραμμα ανέμου 20
Εικόνα 1.4 Μοντέλο τριών κυττάρων κυκλοφορίας 22
Εικόνα 1.5 Γεωστροφικός άνεμος 24
Εικόνα 1.6 Ισορροπία δυνάμεων στα βαρομετρικά συστήματα 24
Εικόνα 1.7 Κυκλωνική και αντικυκλωνική κίνηση αερίων μαζών 25
Εικόνα 2.1 Τοπογραφικός χάρτης Αιγαίου 32
Εικόνα 2.2 Κύρια βαρομετρικά συστήματα επιρροής του Αιγαίου 33
Εικόνα 2.3 Γενικοί εποχικοί ανεμολογικοί χάρτες του Αιγαίου 34
Εικόνα 2.4 Άξονες των μέγιστων εντάσεων των Ετησιών 35
Εικόνα 2.5 Ισοβαρική διάταξη για την επικράτηση του Βαρδάρη 36
Εικόνα 2.6 Μέσες ετήσιες εντάσεις ανέμου 40
Εικόνα 2.7 Χάρτης ροδογραμμάτων Αιγαίου Πελάγους (ετήσιων) 42
Εικόνα 2.8 Χάρτες ροδογραμμάτων Αιγαίου Πελάγους (ανά τρίμηνο) 45
Εικόνα 2.9 Επικράτηση (ετήσια) μέγιστων τιμών ανέμου 47
Εικόνα 2.10 Επικράτηση (ανά τρίμηνο) μέγιστων τιμών ανέμου 48
Εικόνα 2.11 Ανεμολογικός χάρτης ακραίου ανέμου Αιγαίου Πελάγους 50
Εικόνα 3.1 Μοντέλο πρόκλησης ατυχημάτων του J. Reason 55
Εικόνα 4.1 Ναυτιλιακή κίνηση και πυκνότητα θαλάσσιων διαδρομών στο Αιγαίο Πέλαγος για το έτος 2016 64
Εικόνα 4.2 Περιοχές μελέτης ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος 66
Εικόνα 4.3 Ετήσια κατανομή ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος 66
Εικόνα 4.4 Μηνιαία κατανομή εκδήλωσης ναυτικών ατυχημάτων και ακτοπλοϊκής κίνησης 67
Εικόνα 4.5 Γεωγραφική κατανομή ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος 68
Εικόνα 4.6 Κατανομή ναυτικών ατυχημάτων ανά κατηγορία ατυχήματος 68
Εικόνα 4.7 Κατανομή ναυτικών ατυχημάτων ανά περιοχή και ανα κατηγορία ατυχήματος 69
Εικόνα 4.8 Αριθμός πλοίων με ελληνική σημαία ανα Κ.Ο.Χ. 70
Εικόνα 4.9 Ναυτικά ατυχήματα ανα Κ.Ο.Χ. εμπλεκόμενων πλοίων 70
Εικόνα 4.10 Ναυτικά ατυχήματα ανά είδος ατυχήματος 72
Εικόνα 4.11 Κατανομή συνεπειών ναυτικών ατυχημάτων 73
Εικόνα 4.12 Κατανομή αιτίων ναυτικών ατυχημάτων 74
Εικόνα 4.13 Ετήσια επικράτηση ανεμολογικών κατηγοριών 76
Εικόνα 4.14 Συσχέτιση ναυτικών ατυχημάτων και έντασης ανέμου 77

Κεφάλαιο 1.

Ο άνεμος

1.1. Ορισμός του ανέμου

Ως άνεμος καλείται η οριζόντια κίνηση του αέρα, που προκαλείται από την ύπαρξη διαφορικών συστημάτων βαρομετρικών πιέσεων στην ατμόσφαιρα της Γης, τα οποία με τη σειρά τους οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της Γης από τον ήλιο. Οι άνεμοι αποτελούν έναν φυσικό μηχανισμό, μέσω του οποίου η ατμόσφαιρα «προσπαθεί» να εξισορροπήσει την άνιση κατανομή της βαρομετρικής πιέσεως πάνω από την επιφάνεια της Γης, με σκοπό τη διατήρηση μιας ενεργειακής ισορροπίας. Οι άνεμοι αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα φυσικά φαινόμενα του πλανήτη, καθώς ασκούν σημαντική επιρροή στο ανάγλυφο αλλά και στην χλωρίδα και πανίδα της Γης. Ο άνθρωπος από πολύ νωρίς έχει εκμεταλλευτεί τον άνεμο και τις ιδιότητές του. Από κινητήριος δύναμη των ιστιοφόρων πλοίων κατά την αρχαιότητα, μέχρι και τη σύγχρονη αξιοποίησή του ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, ο άνεμος υπήρξε ένας σύμμαχος του ανθρώπου, ο οποίος όμως μπορεί να «μεταμορφωθεί» σε έναν δυνητικό κίνδυνο, ιδίως κατά τη διάρκεια των ακραίων εκφάνσεών του.

1.2. Χαρακτηριστικά του ανέμου

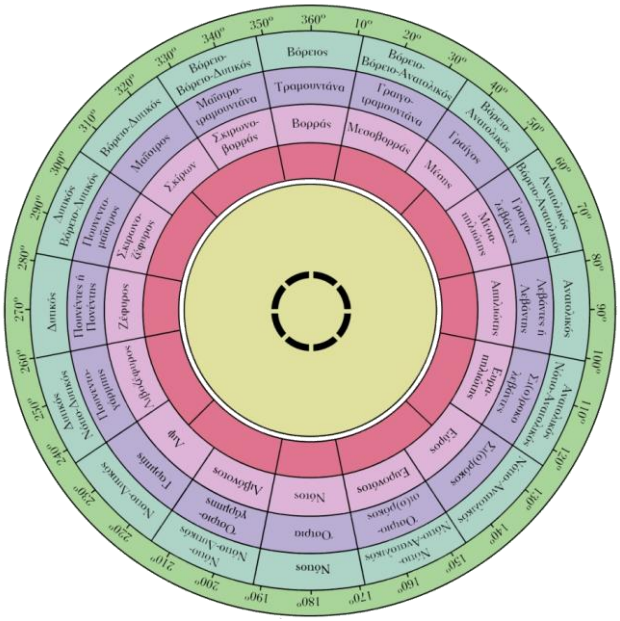
Τα κύρια μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του ανέμου είναι η διεύθυνση και η έντασή του. Δευτερευόντως χρησιμοποιείται και ο όρος της διακύμανσης, ως δείκτης της σταθερότητας / μεταβολής των παραπάνω χαρακτηριστικών του.

1.2.1. Διεύθυνση

Ως διεύθυνση του ανέμου ορίζεται το σημείο του ορίζοντα από το οποίο αυτός πνέει (προέρχεται). Η περιγραφή της διεύθυνσης του ανέμου, μπορεί να εκτελεστεί με τη χρήση όλων των δυνατών μεθόδων προσδιορισμού της κατεύθυνσης, και ειδικότερα με :

- Τη χρήση του αζιμούθιου σε μοίρες ως προς τον αληθή Βορρά (από 0° έως 359°).
- Τη χρήση των διεθνών κατευθύνσεων προσανατολισμού (Βόρειος - Βορειοανατολικός - Ανατολικός - Νοτιοανατολικός - Νότιος - Νοτιοδυτικός - Δυτικός - Βορειοδυτικός).

- Τη χρήση του ναυτικού ανεμολογίου, το οποίο προήλθε από τα ανεμολόγια των αρχαίων Ελλήνων, (Βορράς - Μέσης - Απηλιώτης - Εύρος - Νότος - Λίβας - Ζέφυρος - Σκύρων).
- Τη χρήση του εκλαϊκευμένου (Ελληνοβαρβαρικού) ανεμολογίου, που χρησιμοποιείται από ναυτικούς (Τραμουντάνα - Γρέγος - Λεβάντης - Σορόκος - Όστρια - Γαρμπής - Πουνέντης - Μάϊστρος).


Βόρειος
Τραμουντάνα
Βορράς
Μεσοβορράς
Μέσης
Γραίγος
Απηλιώτης
Λεβάντες ή Πανάτες
Ανατολικός
Εύρος
Νότος
Όστρια
Λίβας
Λίβας ή Γαρμπής
Δυτικός
Ζέφυρος
Σκύρων
Μαΐστρος
Βορειο-Βορειο-Ανατολικός
Γραιγο-τραμουντάνα
Βορειο-Ανατολικός
Μεσο-απηλιώτης
Λεβάντες ή Πανάτες
Ανατολο-Νοτιοανατολικός
Ευρο-νοτιος
Νοτιο-Νοτιοανατολικός
Νοτιο-Νοτιοδυτικός
Λιβονοτος
Νοτιο-Δυτικός
Λιβονοτος
Δυτικός
Πουνέντες ή Πανάτες
Ζέφυρος
Σκυρονοτος
Νοτιο-Δυτικός
Λιβονοτος
Νοτιο-Νοτιοδυτικός
Ευρο-νοτιος
Νοτιο-Νοτιοανατολικός
Ανατολο-Νοτιοανατολικός
Βορειο-Ανατολικός
Γραιγος
Μεσο-απηλιώτης
Βορειο-Βορειο-Ανατολικός
Γραιγο-τραμουντάνα
Βορειο-Ανατολικός
Μεσοβορράς
Μέσης
Γραίγος
Απηλιώτης
Λεβάντες ή Πανάτες
Ανατολικός
Εύρος
Νότος
Όστρια
Λίβας
Λίβας ή Γαρμπής
Δυτικός
Ζέφυρος
Σκύρων
Μαΐστρος
Βορειο-Βορειο-Δυτικός
Μαεσμο-τραμουντάνα
Βορειο-Δυτικός
Σκυρονο-βορράς
Βορειο-Δυτικός
Παιονικο-μαΐστρος
Δυτικός
Σκυρονο-ζέφυρος
Δυτικός
Πουνέντες ή Πανάτες
Νοτιο-Δυτικός
Λιβονοτος
Νοτιο-Νοτιοδυτικός
Ευρο-νοτιος
Νοτιο-Νοτιοανατολικός
Ανατολο-Νοτιοανατολικός
Βορειο-Ανατολικός
Γραιγος
Βορειο-Βορειο-Ανατολικός
Γραιγο-τραμουντάνα
Βορειο-Ανατολικός
Μεσοβορράς
Μέσης
Γραίγος
Απηλιώτης
Λεβάντες ή Πανάτες
Ανατολικός
Εύρος
Νότος
Όστρια
Λίβας
Λίβας ή Γαρμπής
Δυτικός
Ζέφυρος
Σκύρων
Μαΐστρος
Βορειο-Βορειο-Δυτικός
Μαεσμο-τραμουντάνα
Βορειο-Δυτικός
Σκυρονο-βορράς
Βορειο-Δυτικός
Παιονικο-μαΐστρος
Δυτικός
Σκυρονο-ζέφυρος
Δυτικός
Πουνέντες ή Πανάτες
Νοτιο-Δυτικός
Λιβονοτος
Νοτιο-Νοτιοδυτικός
Ευρο-νοτιος
Νοτιο-Νοτιοανατολικός
Ανατολο-Νοτιοανατολικός
Βορειο-Ανατολικός
Γραιγος
Μεσο-απηλιώτης

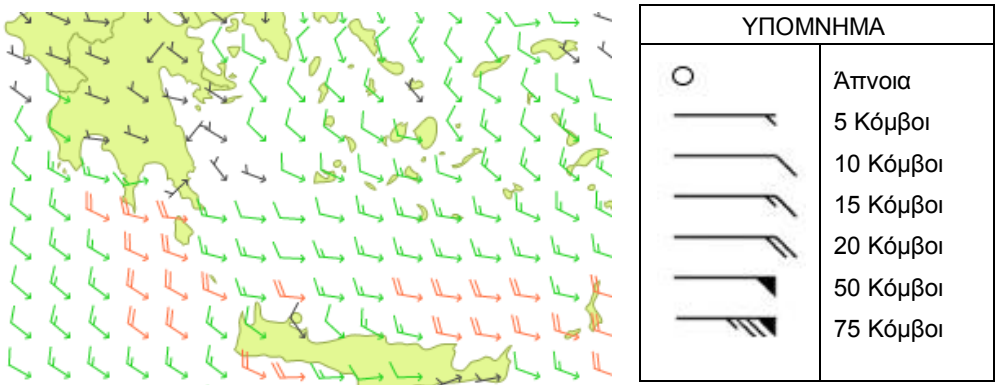
1.2.3. Διακύμανση

Με κριτήριο τη σταθερότητα και τις διακυμάνσεις των κύριων χαρακτηριστικών του (διεύθυνση - ένταση), ο άνεμος χαρακτηρίζεται ως (Ψυχά & Μηνογιάννης, 2016):

- Λείος, όταν δεν παρουσιάζει αυξομειώσεις στην έντασή του.
- Ριπαίος, όταν η έντασή του μεταβάλλεται σε σύντομα χρονικά διαστήματα.
- Μεταβλητός, όταν η έντασή του μεταβάλλεται.
- Σταθερός, όταν διατηρείται σταθερή η διεύθυνσή του για μεγάλο χρονικό διάστημα.

1.2.4. Απεικόνιση των χαρακτηριστικών του ανέμου

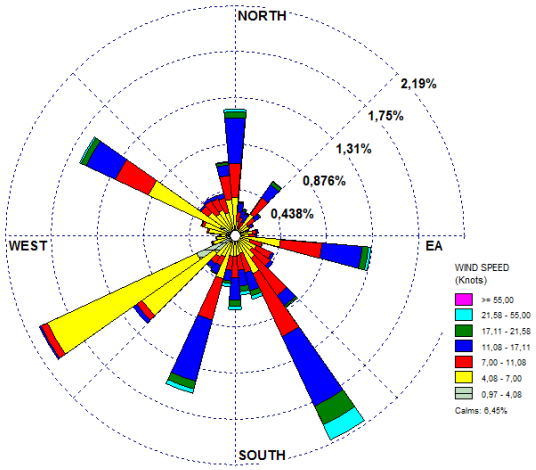
Η απεικόνιση των χαρακτηριστικών του ανέμου γίνεται συνήθως σε χάρτες, με τη χρήση διανυσμάτων. Τα διανύσματα αυτά ξεκινούν από το αντίστοιχο γεωγραφικό σημείο του οποίου τον άνεμο περιγράφουν, και έχουν διεύθυνση ίδια με αυτή του ανέμου. Το μήκος του διανύσματος είναι σταθερό ενώ η ένταση απεικονίζεται με την προσθήκη κεκλιμένων δεικτών (γραμμών), οι οποίοι ανάλογα με το μήκος τους αντιστοιχούν σε ταχύτητες 5 ή 10 κόμβων έκαστος. Το άθροισμα των επιμέρους εντάσεων του συνόλου των δεικτών απεικονίζει τη συνολική ένταση στο δεδομένο σημείο. Η απεικόνιση αυτή αφορά τις επικρατούσες ανεμολογικές συνθήκες σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή και χρονική περίοδο (π.χ. 3 ώρες).



Εικόνα 1.2 Χάρτης ανέμων με επεξήγηση διανυσμάτων

Ωστόσο, όταν είναι επιθυμητή η απεικόνιση των χαρακτηριστικών του ανέμου σε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες, γίνεται η χρήση διαφορετικού τύπου διαγραμμάτων. Ένας από τους πιο διαδεδομένους τύπους τέτοιου είδους είναι το ροδόγραμμα ανέμου (Wind Rose). Το ροδόγραμμα ανέμου είναι ένα διάγραμμα πολικού τύπου, με το οποίο είναι δυνατή η γραφική απεικόνιση των ανεμολογικών συνθηκών (διεύθυνσης και έντασης του ανέμου) που επικρατούν σε ένα γεωγραφικό σημείο, ταυτόχρονα με την ποσοστιαία επικράτησή τους σε μία καθορισμένη χρονική περίοδο. Τα ανεμολογικά δεδομένα, ταξινομούνται ακτινικά και σύμφωνα με τη διεύθυνση του ανέμου, πάνω στην οποία υπερτίθενται τα δεδομένα της ταχύτητάς του για τη συγκεκριμένη διεύθυνση. Με αυτήν τη μέθοδο, είναι δυνατός ο προσδιορισμός της ποσοστιαίας επικράτησης του ανέμου ανά διεύθυνση, τόσο συνολικά όσο και ανά κλίμακα έντασης. Τυπικά, τα δεδομένα διεύθυνσης και έντασης του ανέμου είναι κατανεμημένα σε γωνιακά τόξα και ομάδες (blocks) εντάσεων, τα εύρη των οποίων

καθορίζονται από τον χρήστη και σύμφωνα με τους σκοπούς που πρόκειται να εξυπηρετήσει η δημιουργία και χρήση των εκάστοτε ροδογραμμάτων.



Εικόνα 1.3 Ροδόγραμμα ανέμου

1.3. Δυνάμεις που διαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά των ανέμων

Οι κύριες δυνάμεις οι οποίες διαμορφώνουν τις κινήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα και συνεπώς τα χαρακτηριστικά των πνεόντων ανέμων είναι :

- Η δύναμη της βαροβαθμίδας. Αποτελεί την προκύπτουσα δύναμη από την διαφορά της ατμοσφαιρικής πιέσεως μεταξύ δύο τόπων. Έχει διεύθυνση κάθετη στην κατανομή της ατμοσφαιρικής πιέσεως (ισοβαρείς καμπύλες), με φορά από τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες πιέσεις και μέτρο ανάλογο της διαφοράς της πιέσεως.

- Η δύναμη Coriolis. Αποτελεί μια φαινομενική δύναμη, η οποία οφείλεται στην περιστροφή της γης. Η δύναμη Coriolis επηρεάζει μόνο τη διεύθυνση των ανέμων (όχι την ένταση) προκαλώντας τη δεξιόστροφη εκτροπή τους στο βόρειο ημισφαίριο και την αριστερόστροφη στο νότιο. Η προκαλούμενη εκτροπή εντείνεται με την αύξηση της ταχύτητας των αερίων μαζών καθώς και του γεωγραφικού πλάτους. Αν η δύναμη της βαροβαθμίδας αποτελούσε τη μοναδική δρώσα δύναμη στις αέριες μάζες, αυτές θα παρουσίαζαν συνεχή επιτάχυνση, με αποτέλεσμα τη σταδιακή εξίσωση των διαφορετικών βαρομετρικών πιέσεων, λόγω της μεταφοράς του αέρα από τις περιοχές υψηλής προς τις περιοχές χαμηλής πίεσης. Η δύναμη η οποία αποτρέπει τη συσσώρευση των αέριων μαζών στις περιοχές χαμηλών πιέσεων είναι η δύναμη Coriolis.

- Η δύναμη της τριβής. Προκαλείται από την επαφή των κινούμενων αερίων μαζών με το ανάγλυφο της Γης, μειώνοντας την ένταση των ανέμων επιφανείας και μεταβάλλοντας τη διεύθυνσή τους αναλόγως του γήινου ανάγλυφου.

1.4. Ενεργειακή ισορροπία της ατμόσφαιρας και δημιουργία των ανέμων

Οι αέριες μάζες της ατμόσφαιρας μετακινούνται από τις περιοχές υψηλών προς τις περιοχές χαμηλών πιέσεων, δημιουργώντας τους ανέμους. Η ύπαρξη των διαφορετικών οριζοντίων συστημάτων βαρομετρικών πιέσεων οφείλεται κυρίως στην άνιση κατανομή της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα, ως αποτέλεσμα της ανομοιόμορφης απορρόφησης της εκπεμπόμενης ηλιακής ενέργειας από την επιφάνεια της Γής. Αυτό συμβαίνει λόγω :

- Του σφαιρικού σχήματος της Γής, που επιτρέπει τη μεγαλύτερη πρόσπτωση θερμικής ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας στον Ισημερινό (εντονότερη θέρμανση) σε σχέση με τους πόλους.
- Της κλίσης του άξονα περιστροφής της Γής, η οποία δημιουργεί εποχιακές διαφορές σε ορισμένα γεωγραφικά πλάτη.
- Της διαφορετικής θερμοαγωγιμότητας του εδάφους και της θάλασσας που καλύπτει την επιφάνεια της Γής.
- Της περιστροφής της Γής γύρω από τον άξονά της (περίοδος ημέρας και νύχτας).

Λόγω της επίδρασης αυτών των παραγόντων, η ατμοσφαιρική πίεση κατανέμεται ανομοιόμορφα στην επιφάνεια της Γης, προκαλώντας μετακινήσεις των αερίων μαζών, οι οποίες υπόκεινται σε συνεχείς μεταβολές της διεύθυνσης και της ταχύτητας μετακίνησής τους.

1.4.1. Γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας

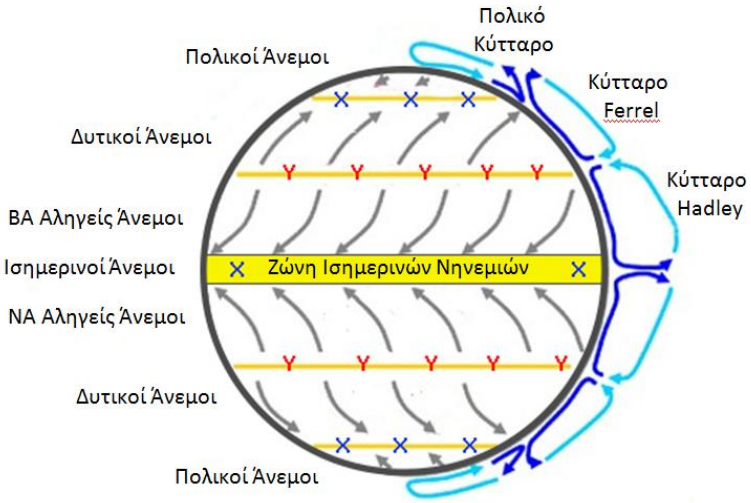
Η εντονότερη θέρμανση των εγγύτερων του Ισημερινού περιοχών (έναντι των πολικών) έχει ως αποτέλεσμα ο αέρας τους να γίνεται πιο αραιός (άρα και ελαφρύτερος) και να ανέρχεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, μέχρις ότου η θερμοκρασία του να εξισωθεί με αυτή του περιβάλλοντός του χώρου. Η αύξηση του όγκου των αερίων μαζών στις συγκεκριμένες περιοχές της ατμόσφαιρας τις εξαναγκάζει σε οριζόντια κίνηση προς τους πόλους της γης, όπου αρχίζουν να δημιουργούνται περιοχές υψηλών βαρομετρικών πιέσεων. Κατά συνέπεια, εκτελείται μία μετακίνηση αερίων μαζών από τις περιοχές των υψηλών βαρομετρικών πιέσεων προς τις περιοχές των χαμηλών πιέσεων, ήτοι από τις πολικές προς τις Ισημερινές περιοχές. Λόγω αυτών των μετακινήσεων, αντισταθμίζεται η υπέρμετρη και συνεχής θέρμανση των περιοχών του Ισημερινού σε αντίθεση με τη συνεχόμενη ψύξη των πόλων. Η διεργασία αυτή της κίνησης αερίων μαζών από τον Ισημερινό προς τους πόλους στην ανώτερη ατμόσφαιρα και από τους πόλους προς τον Ισημερινό στην κατώτερη ατμόσφαιρα αποτελεί την απλουστευμένη μορφή της γενικής κυκλοφορίας των αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα της γης.

Η γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία της Γής αποτελεί την κρισιμότερη ίσως παράμετρο της διαμόρφωσης του κλίματος και των ανέμων σε παγκόσμιο επίπεδο. Μια πλήρης περιγραφή της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας περιλαμβάνει μέσες τιμές άνεμων, θερμοκρασιών και υγρασίας, τη μεταβλητότητα αυτών των παραμέτρων καθώς και τις συνδιακυμάνσεις των χαρακτηριστικών των ανέμων σε σχέση με άλλες μεταβλητές, που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες συστημάτων μεγάλης κλίμακας (Hartmann, 1994). Επί της ουσίας, ο όρος *γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας* αναφέρεται στο πολυσύνθετο

σύστημα των πλανητικών ανέμων και ιδιαίτερα στις κινήσεις που αυτοί εκτελούν μέσα στην Τροπόσφαιρα και την κατώτατη Στρατόσφαιρα. Η διασαφήνιση και η πλήρης περιγραφή του τρόπου λειτουργίας αυτού του συστήματος είναι πρακτικά αδύνατη, καθώς επηρεάζεται από πολλούς και αστάθμητους παράγοντες, αρκετοί από τους οποίους δεν είναι ακόμα γνωστοί στην επιστημονική κοινότητα. Η ατμόσφαιρα σε τελική ανάλυση είναι μια «μηχανή», τις λειτουργίες της οποίας γνωρίζουμε μόνο μερικώς και όχι καθ' ολοκληρία (ΑΠΘ, 2017).

1.4.2. Το μοντέλο των τριών κυττάρων κυκλοφορίας

Η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα ανέμων, το οποίο λειτουργεί ως μία μονάδα, παρά την πολύπλοκη υφή του. Τα διάφορα μέρη του πολύπλοκου αυτού συστήματος δεν είναι ανεξάρτητα, αλλά συνεργάζονται και αλληλοσυσχετίζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να διατηρούν το όλο σύστημα σε λειτουργία. Για την εξήγηση της μορφής της Γενικής Κυκλοφορίας της Ατμόσφαιρας, έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφορα μοντέλα. Το επικρατέστερο από αυτά περιγράφει ένα σύστημα τριών κυττάρων κυκλοφορίας, τα οποία αφορούν κατά αντιστοιχία τρεις ζώνες (ανά ημισφαίριο της Γής), το κάθε ένα από τα οποία καλύπτει ένα φάσμα γεωγραφικών παραλλήλων πλάτους, με εύρος 30 μοιρών. Τα τρία αυτά κύτταρα σύμφωνα με τα γεωγραφικά πλάτη που καλύπτουν, είναι κατά σειρά το κύτταρο Hadley (φ: 0° - 30°), το κύτταρο Ferrel (φ: 30° - 60°) και Πολικό κύτταρο (φ: 60° - 90°). Μέσω των τριών αυτών κυττάρων, το μοντέλο περιγράφει τη διαδικασία της αναδιανομής της ενέργειας των αερίων μαζών στη γήινη ατμόσφαιρα. Μία συνοπτική περιγραφή τους καθώς και των επικρατούντων ανέμων των τριών αυτών ζωνών είναι η ακόλουθη :



Εικόνα 1.4 Μοντέλο τριών κυττάρων κυκλοφορίας

- Κύτταρο Hadley. Ο αέρας στον Ισημερινό ανέρχεται και συμπυκνώνεται, δημιουργώντας μία ζώνη χαμηλών πιέσεων. Καθώς ο αέρας ανέρχεται, αποκλίνει και κινείται προς τις υποτροπικές περιοχές, δημιουργώντας μια ζώνη υψηλών πιέσεων στον παράλληλο πλάτους των 30°. Παράλληλα αναπτύσσονται συνθήκες για τη δημιουργία μεγάλων καταιγίδων. Η λανθάνουσα θερμότητα που εκλύεται κατά τη διάρκεια των καταιγίδων, συνεχίζει να οδηγεί το κύτταρο Hadley. Η δύναμη Coriolis εκτρέπει τους ανέμους προς τα δεξιά στο βόρειο και προς τα αριστερά στο

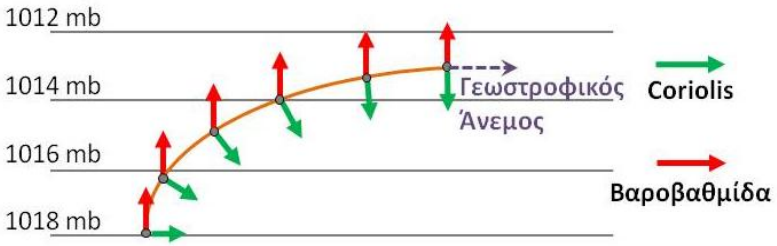
νότιο ημισφαίριο. Στην επιφάνεια της Γής, ο αέρας κινείται προς τον Ισημερινό με βορειοανατολικές κατευθύνσεις (στο βόρειο ημισφαίριο). Οι άνεμοι που επικρατούν ονομάζονται Αληγείς.

- Πολικό κύτταρο. Κατά αντιστοιχία με το κύτταρο Hadley, στις περιοχές του γεωγραφικού πλάτους των 60° παρατηρείται μία ανοδική κίνηση των αερίων μαζών στην Τροπόσφαιρα, οι οποίες βαίνουν κινούμενες προς τους πόλους στα ανώτερα επίπεδα. Λόγω της ύπαρξης ενός υποπολικού βαρομετρικού χαμηλού, αναπτύσσονται καταιγίδες και νέφη. Στους πόλους, οι αέριες μάζες κατέρχονται, προκαλώντας τη δημιουργία ενός πολικού υψηλού συστήματος. Οι προκαλούμενοι άνεμοι είναι ανατολικοί καθώς ο αέρας κινείται από πόλους προς το υποπολικό χαμηλό (φ: 60°).
- Κύτταρο Ferrel. Αποτελεί ένα έμμεσο θερμικά κύτταρο, καθώς προκαλείται από τις ατμοσφαιρικές κινήσεις που συντελούνται στα άλλα δύο κύτταρα που το περιβάλλουν. Σε αυτό το κύτταρο, λόγω του συστήματος του υποτροπικού υψηλού και του πολικού χαμηλού, ο άνεμος στην επιφάνεια θα έπρεπε να είναι νότιος στο βόρειο ημισφαίριο. Ωστόσο, λόγω της επίδρασης της δύναμης Coriolis, επικρατούν δυτικοί και νοτιοδυτικοί άνεμοι.

Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη παραμέτρους, όπως η συντελούμενη διαφορική θέρμανση του πλανήτη ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, η περιστροφική κίνηση της Γής (δύναμη Coriolis) και η δυναμική της ατμόσφαιρας, ενώ αγνοεί την επίδραση του γεωγραφικού ανάγλυφου και τις εποχιακές διακυμάνσεις της απορροφούμενης ηλιακής ενέργειας. Στην πραγματικότητα, το μοντέλο αυτό συμφωνεί με την κατανομή των επιφανειακών ανέμων και των πιέσεων στην επιφάνεια της Γης, αλλά αποκλίνει από την πραγματικότητα στα ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα, όπου λαμβάνουν χώρα πιο σύνθετα φαινόμενα (π.χ. αεροχείμαρροι). Επί της ουσίας, ο κόσμος δεν καλύπτεται από τις παραπάνω ζώνες υψηλής και χαμηλής πίεσης, αλλά από έναν αριθμό ημιμόνιμων κυττάρων, τα οποία υποβάλλονται σε εποχιακές διακυμάνσεις της θέσης και της έντασής τους.

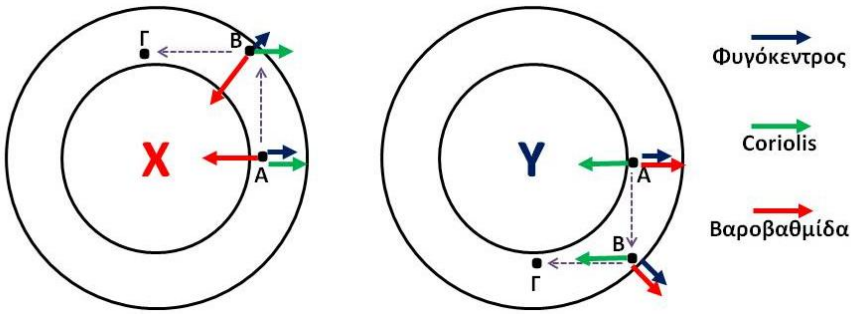
1.5. Διεύθυνση του ανέμου και ισοβαρείς καμπύλες

Όπως αναφέρθηκε, η δύναμη της βαροβαθμίδας προκαλεί την ώθηση των αερίων μαζών προς τις περιοχές των χαμηλών πιέσεων, ενώ η δύναμη Coriolis τις εκτρέπει δεξιόστροφα στο βόρειο ημισφαίριο. Εάν θεωρηθεί ότι δεν υφίστανται οι δυνάμεις της τριβής (κατάσταση η οποία μπορεί να παρατηρηθεί π.χ. σε ωκεανούς) και ότι οι ισοβαρείς εκτείνονται νοητά σε ευθείες διευθύνσεις, η εκτροπή αυτή του αέρα πάνω από την επιφάνεια της Γής θα συνεχιζόταν μέχρι που η δύναμη της βαροβαθμίδας να εξισορροπηθεί, δηλαδή να γίνει ίση και αντίθετη με τη δύναμη Coriolis (Πιτσικάκης, 2002). Το αποτέλεσμα θα ήταν ένας άνεμος με σταθερή ροή, που θα έπνεε σε κατεύθυνση παράλληλη με τις ισοβαρείς καμπύλες. Αυτή η ισορροπημένη ροή μίας αέριας μάζας που κινείται υπό τις παραπάνω προϋποθέσεις καλείται γεωστροφικός άνεμος. Ο θεωρητικός υπολογισμός του γεωστροφικού ανέμου αξιοποιείται στην εξαγωγή των μετεωρολογικών προγνώσεων.



Εικόνα 1.5 Γεωστροφικός άνεμος

Στην πραγματικότητα, όμως, οι ισοβαρείς καμπύλες είναι σχεδόν πάντα κυρτωμένες και πολύ σπάνια ομοιόμορφα κατανεμημένες, λόγω της ανομοιόμορφης οριζόντιας κατανομής των ατμοσφαιρικών πιέσεων στη Γή. Παρ' όλη όμως την κύρτωση των ισοβαρών καμπυλών, ο άνεμος εξακολουθεί να πνέει κατά μήκος τους, ακολουθώντας την καμπυλότητά τους, γεγονός που οφείλεται στην επίδραση - πέραν των δυνάμεων βαροβαθμίδας και Coriolis - της φυγόκεντρου δυνάμεως, η οποία αναπτύσσεται κατά την κίνηση μίας αέριας μάζας γύρω από ένα βαρομετρικό χαμηλό ή υψηλό. Ο παραπάνω μηχανισμός τήρησης αυτής της ισορροπίας θα εξηγηθεί με το ακόλουθο παράδειγμα. Ας θεωρήσουμε την ύπαρξη μίας βαρομετρικής ύφεσης στο βόρειο ημισφαίριο ενώ πνέει βόρειος άνεμος (Εικόνα 1.6). Στο σημείο Α, οι τρεις δυνάμεις βρίσκονται σε ισορροπία (βαροβαθμίδα, Coriolis, φυγόκεντρος). Καθώς η αέρια μάζα κινείται βορειότερα, απομακρύνεται από το κέντρο της υφέσεως με αποτέλεσμα να μειώνεται το μέτρο της φυγοκέντρου δυνάμεως. Η ισορροπία των δυνάμεων ανατρέπεται, με τη συνισταμένη τους να έχει τη διεύθυνση της δύναμης βαροβαθμίδας, η οποία και οδηγεί την αέρια μάζα ξανά προς το κέντρο της υφέσεως. Η φυγόκεντρος αυξάνεται, οπότε επανέρχεται και πάλι η ισορροπία των τριών δυνάμεων, όταν η αέρια μάζα βρεθεί στην αρχική ακτίνα (ίση με αυτή του σημείου Α) από το κέντρο της υφέσεως. Αυτή η συνεχόμενη διεργασία οδηγεί στην κίνηση της αέριας μάζας σε παραλληλία με τις ισοβαρείς. Αντίστοιχη ισορροπία συμβαίνει και στους αντικυκλώνες, με τη δύναμη Coriolis να είναι αυτή η οποία προκαλεί την επαναφορά της αέριας μάζας στην αρχική της ακτίνα.

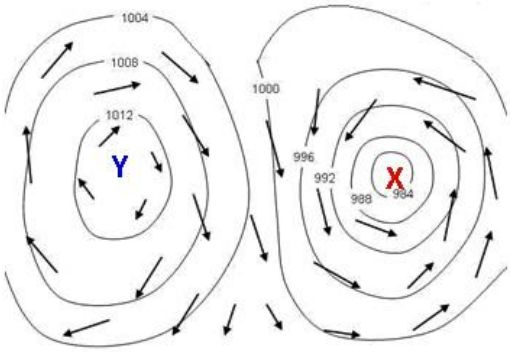


Εικόνα 1.6 Ισορροπία δυνάμεων στα βαρομετρικά συστήματα

Για τον άνεμο που πνέει αριστερόστροφα γύρω από ένα βαρομετρικό χαμηλό στο βόρειο ημισφαίριο, στη συνισταμένη προκύπτουσα δύναμη, η βαροβαθμίδα είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη Coriolis, και αυτή η συνισταμένη κρατάει τη ροή του αέρα προς το εσωτερικό του χαμηλού. Για έναν άνεμο που πνέει δεξιόστροφα γύρω από ένα υψηλό, η συνισταμένη δύναμη προκύπτει από το ότι η δύναμη Coriolis είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη

βαροβαθμίδας. Εφόσον η δύναμη Coriolis αυξάνει με την ταχύτητα του ανέμου, η ροή γύρω από ένα υψηλό θα είναι ισχυρότερη από τη ροή τον ανέμου γύρω από ένα χαμηλό, για ισαπέχουσες ισοβαρείς (Πιτσικάκης, 2002). Ως αποτέλεσμα, στο βόρειο ημισφαίριο ο άνεμος πνέει παράλληλα με τις ισοβαρείς καμπύλες με δεξιόστροφη φορά γύρω από ένα βαρομετρικό υψηλό (αντικυκλωνική κίνηση) και με αριστερόστροφη γύρω από ένα βαρομετρικό χαμηλό (κυκλωνική κίνηση). Τα αντίστροφα ισχύουν στο νότιο ημισφαίριο. Η ισορροπημένη αυτή ροή του αέρα γύρω από τις ισοβαρείς καμπύλες καλείται άνεμος βαροβαθμίδας. Ο άνεμος βαροβαθμίδας δεν λαμβάνει υπόψη τις δυνάμεις της τριβής, ενώ αναπαριστά με μεγάλη ακρίβεια τον αληθή άνεμο, ιδίως σε περιπτώσεις όπου οι τιμές της ταχύτητας και της καμπύλωσης των ισοβαρών είναι υψηλές (π.χ. τυφώνες). Εγγύς όμως της επιφάνειας της Γής, η επίδραση της δύναμης της τριβής γίνεται εντονότερη, προκαλώντας τη μείωση της ταχύτητας του πνέοντος ανέμου. Η επιβράδυνση αυτή προκαλεί με τη σειρά της μείωση της δύναμης Coriolis, με αποτέλεσμα η δύναμη της βαροβαθμίδας να γίνεται κυρίαρχη. Ως αποτέλεσμα, η διεύθυνση του πνέοντος ανέμου εκτρέπεται ελαφρώς προς την περιοχή των χαμηλότερων πιέσεων.

Στην Εικόνα 1.7 απεικονίζεται η κυκλωνική και η αντικυκλωνική κίνηση των αερίων μαζών. Στο βόρειο ημισφαίριο της Γής, σε έναν αντικυκλώνα, ο άνεμος κινείται δεξιόστροφα κατά μήκος των ισοβαρών και με απόκλιση προς την περιφέρεια του αντικυκλώνα, ενώ σε μία ύφεση κινείται αριστερόστροφα και με απόκλιση προς το κέντρο της.



Εικόνα 1.7 Κυκλωνική και αντικυκλωνική κίνηση αερίων μαζών

1.6. Ακραίος άνεμος

1.6.1. Ορισμός του ακραίου ανέμου

Σε μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που πραγματεύεται τα ακραία καιρικά φαινόμενα, διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει ένας κοινά αποδεκτός ορισμός του ακραίου ανέμου αλλά και των ακραίων καιρικών φαινομένων στο σύνολό τους. Ένας από τους πιο αντιπροσωπευτικούς ορισμούς είναι αυτός που αποδίδεται από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), η οποία ορίζει ένα καιρικό φαινόμενο ως ακραίο, όταν η μεταβλητή που το χαρακτηρίζει (εν προκειμένω η ένταση του ανέμου) υπερβαίνει μία τιμή κατωφλίου και η οποία τοποθετείται στα ανώτερα ακρότατα του εύρους των παρατηρούμενων τιμών της μεταβλητής.

Ορισμένες πτυχές αυτού του ορισμού μπορούν να ερμηνευτούν ως ακολούθως (Field, et al., 2012):

- Ο καθορισμός του κατωφλίου δεν είναι αυστηρά προσδιορισμένος αλλά συνήθως τοποθετείται σε τιμές με πιθανότητες εμφάνισης κάτω του 10, 5, 1%, ή και μικρότερες, για δεδομένη χρονική στιγμή του έτους και για καθορισμένη περίοδο αναφοράς.
- Ο ορισμός των κατωφλίων μπορεί να γίνει και με χρήση απόλυτων τιμών (αντί σχετικών, με βάση το εύρος των παρατηρούμενων τιμών μιας μεταβλητής), οι οποίες μπορεί να αντιπροσωπεύουν κάποιο θεσπισμένο κρίσιμο όριο (π.χ. ειδική κρίσιμη θερμοκρασία για επιπτώσεις στην υγεία).
- Ο χαρακτηρισμός ενός καιρικού φαινομένου ως ακραίου ενδέχεται να διαφέρει κατά απόλυτη έννοια, ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή που αυτό εκδηλώνεται (π.χ. μια ζεστή μέρα στους τροπικούς θα αντιπροσωπεύει μια διαφορετική θερμοκρασία από μια ζεστή μέρα στα μέσα γεωγραφικά πλάτη).
- Όλα τα ακραία καιρικά φαινόμενα δεν έχουν κατ' ανάγκη και ακραίες επιπτώσεις.

1.6.2. Μέθοδοι προσδιορισμού ακραίων καιρικών φαινομένων

Ποσοτικά τα ακραία καιρικά φαινόμενα και συνεπώς και ο ακραίος άνεμος, μπορούν να προσδιοριστούν με τους ακόλουθους τρόπους:

- Σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο κατώφλι (που συνήθως σχετίζεται με την πρόκληση συνεπειών).
- Σύμφωνα με την πιθανότητα εμφάνισής του. Ο συγκεκριμένος τύπος ορισμού μπορεί να εκφράζεται σε σχέση με ένα δεδομένο εκατοστημόριο μίας μαθηματικής συναρτήσεως που περιγράφει την κατανομή της μεταβλητής, ή σε σχέση με συγκεκριμένες συχνότητες επιστροφής (π.χ. συμβάν που λαμβάνει χώρα ανά 100 έτη).

Οι δύο αυτοί ορισμοί των ακραίων καιρικών φαινομένων (με βάση το κατώφλι ή την πιθανότητα), δεν είναι κατά ανάγκη αντιφατικοί, καθώς συνήθως οι κίνδυνοι για την κοινωνία και οικοσυστήματα είναι συχνά ακραίοι, τόσο από την άποψη της πιθανότητας όσο και του κατωφλίου.

1.6.3. Δημιουργία ακραίου ανέμου

Η εμφάνιση ανέμων υψηλής και ακραίας εντάσεως είναι συνήθως αποτέλεσμα συνδυασμού παραγόντων, που λειτουργούν τόσο στο μικροσκοπικό όσο και στο μακροσκοπικό κλιματικό επίπεδο. Βέβαια, πρωταρχικό παράγοντα για την εμφάνισή τους διαδραματίζει η δημιουργία δυνάμεων μεγάλης βαροβαθμίδας, λόγω της πρόκλησης υψηλών διαφορικών βαρομετρικών πιέσεων στην ατμόσφαιρα, και ως αποτέλεσμα των συντελούμενων διεργασιών των αερίων μαζών στα ανώτερα και κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (αεροχείμαρροι, αναβατικές / καταβατικές κινήσεις αερίων μαζών κ.τ.λ.). Ωστόσο, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και τα τοπικά ανεμολογικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ταχύτητα του ανέμου. Μεταξύ αυτών διακρίνεται η επίδραση του γήινου ανάγλυφου (ορογραφικά φαινόμενα, καναλισμοί)

καθώς και η τοπική ή γειτνιάζουσα εμφάνιση τυφώνων, ανεμοστρόβιλων και κυκλώνων, οι οποίοι δύνανται να επηρεάσουν δραστικά την ταχύτητα της ροής των αερίων μαζών. Οι ακραίοι άνεμοι, άλλωστε, μελετώνται σε συνδυασμό με τα φαινόμενα που σχετίζονται, όπως είναι π.χ. οι τροπικοί και οι εξωτροπικοί κυκλώνες, οι καταιγίδες και οι ανεμοστρόβιλοι. Οι μεταβολές στις ακραίες τιμές των ανέμων, προκύπτουν από αλλαγές στην ένταση και την τοποθεσία φαινομένων με τα οποία σχετίζονται ή από μεταβολές σε κλιματικά συστήματα, όπως τα συστήματα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μεγάλης κλίμακας (Rockel & Woth, 2007).

1.6.4. Γενικές επιπτώσεις του ακραίου ανέμου

Οι ακραίοι άνεμοι αποτελούν έναν δυνητικό κίνδυνο απέναντι στη φυσική ασφάλεια του ανθρώπου, του φυσικού και του τεχνητού περιβάλλοντος καθώς και σε οποιαδήποτε διεργασία ή δραστηριότητα συντελείται σε περιβάλλον έκθεσης στην επίδρασή τους. Πέραν από την ευκόλως εννοούμενη διακινδύνευση για τον άνθρωπο και το περιβάλλον από τη δυναμική πίεση των ανέμων ως μία φυσική δύναμη, ο συνδυασμός τους με άλλα καταστροφικά γεγονότα ενδέχεται να μετατρέψει ελεγχόμενους κινδύνους σε ανεξέλεγκτες καταστροφές. Για παράδειγμα, ο ακραίος άνεμος μπορεί να προκαλέσει την ταχεία εξάπλωση μίας περιορισμένης πυρκαγιάς και ταυτόχρονα να παρεμποδίσει τη δράση ή να περιορίσει την αποτελεσματικότητα των μέσων που αξιοποιούνται για την κατάσβεσή της. Ιδιαίτερη είναι η επίδραση του ακραίου ανέμου στις ανθρωπογενείς κατασκευές, καθώς μπορεί να αποτελέσει μια απειλή απέναντι στη δομική ευστάθεια και ακεραιότητα κτηρίων και δομικών έργων (π.χ. ικριώματα, γέφυρες, ανεμογεννήτριες), εφόσον βέβαια οι προδιαγραφές της κατασκευής τους ή η μετέπειτα εκτελούμενη συντήρησή τους δεν πληρούν τις κατάλληλες προδιαγραφές. Τέλος, σημαντική είναι η επίδραση του ακραίου ανέμου στην ασφάλεια των μεταφορών και ιδιαίτερα στη ναυσιπλοΐα και την αεροπλοΐα. Στις συγκεκριμένες κατηγορίες μεταφορών, τα μέσα είναι άμεσα εκτεθειμένα στον ακραίο άνεμο, ο οποίος ασκεί άμεση επίδραση όχι τόσο στη δομική ακεραιότητα των μέσων, των οποίων τα (αερο)ναυπηγικά χαρακτηριστικά πληρούν υψηλά κριτήρια δομικών αντοχών και δυναμικών φορτίσεων, αλλά κυρίως στην ικανότητα ασφαλούς χειρισμού και διατήρησης του ελέγχου τους ως αποτέλεσμα της υπέρβασης των ασφαλών ορίων χειρισμού τους (αναταράξεις, κυματισμός). Παράλληλα με τις ακραίες εκφάνσεις του ανέμου, άλλα χαρακτηριστικά του μπορούν να προκαλέσουν ακραίες επιπτώσεις (Field, et al., 2012) όπως ξηρασίες που μπορούν να επηρεαστούν από τη διακύμανση της μέσης ετήσιας έντασης ανέμου, υδάτινες εξατμίσεις, ανυψώσεις της στάθμης των παράκτιων υδάτων στα μέσα γεωγραφικά πλάτη λόγω της επικράτησης συνεχών και σταθερών ανέμων, ενώ σε πιο μακροπρόθεσμη βάση, μεταβολές του θαλάσσιου κυματικού καθεστώτος και της «σταθερότητας» των ακτογραμμών.

1.6.5. Μελέτη ακραίου ανέμου

Όπως γίνεται κατανοητό, τα ακραία καιρικά φαινόμενα δύνανται να επιφέρουν συνέπειες με δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη κοινωνία και στο οικοσύστημα. Ως εκ τούτου, η μελέτη τους αποτελεί μία υψηλής προτεραιότητας διεργασία σε παγκόσμιο επίπεδο, και ιδιαίτερα στον τομέα της διαχείρισης καταστροφών και κρίσεων, με κύριο στόχο τη μείωση της διακινδύνευσης των καταστροφών. Η μελέτη των ακραίων καιρικών φαινομένων αποτελεί τη συνεξέταση των ακραίων παρατηρούμενων ή υπολογιζόμενων τιμών (με χρήση κατάλληλων προγνωστικών μοντέλων) μίας σχετιζόμενης με τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα μεταβλητής (π.χ. άνεμος, θερμοκρασία, βροχόπτωση κ.τ.λ.), και της συχνότητας εμφάνισής της στη μονάδα του χρόνου. Κύρια μέθοδο αυτής της μελέτης συνιστά

η αξιοποίηση της θεωρίας των ακραίων τιμών, η οποία αποτελεί ένα από τα βασικά μαθηματικά εργαλεία του τομέα της στατιστικής ανάλυσης. Πρωτοπόροι της θεωρίας ήταν οι L. Tippett και R. Fisher, και εν συνεχεία ο E. Gumbel, οι οποίοι συνόψισαν την κατανομή των ακραίων τιμών σε τρείς ασυμπτωτικές μαθηματικές καμπύλες. Η θεωρία των ακραίων τιμών χαρακτηρίζεται από μία στατιστική πειθαρχία με μοναδικές ιδιότητες, καθώς ποσοτικοποίεί τη στοχαστική συμπεριφορά μιας διεργασίας σε ασυνήθιστα μικρή ή μεγάλη κλίμακα. Ειδικότερα, οι αναλύσεις των ακραίων τιμών συνήθως απαιτούν την εκτίμηση της πιθανότητας της εκδήλωσης πιο ακραίων γεγονότων από αυτά που έχουν ήδη παρατηρηθεί (Coles, 2001). Η θεωρία αφορά τη μοντελοποίηση και μακροπρόθεσμη πρόβλεψη της εμφάνισης ακραίων συμβάντων, ενώ βρίσκει ευρεία εφαρμογή στους τομείς της Κλιματολογίας, της Σεισμολογίας, της Υδρολογίας, της Αξιοπιστίας Συστημάτων και της Αστρονομίας. Κύριο προϊόν της εφαρμογής της θεωρίας είναι η μελέτη των ακραίων εκφάνσεων της εξεταζόμενης παραμέτρου και ο υπολογισμός της περιόδου επαναφοράς της. Η περίοδος επαναφοράς αποτελεί ένα στατιστικό μέγεθος για την εμφάνιση των ακραίων φαινομένων, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί στις δράσεις για τη μείωση της διακινδύνευσης του κινδύνου καταστροφών, στο πλαίσιο του σχεδιασμού και της πρόληψης. Οι βασικές της έννοιες καθώς και μια εισαγωγή στη θεωρία των ακραίων τιμών μπορούν να βρεθούν στην εκτενή διαθέσιμη σχετική παγκόσμια βιβλιογραφία (Coles, 2001; Beirlant, et al., 2006; De Haan & Ferreira, 2007; Falk, et al., 2010).

1.6.6. Η έννοια της περιόδου επαναφοράς

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, η μελέτη των ακραίων εκφάνσεων ενός φαινομένου, όπως ο άνεμος, μπορεί να αξιολογηθεί μέσω της διαδικασίας της ανάλυσης του κινδύνου, η οποία αποτελεί μια μεθοδολογία που συνδυάζει το μέγεθος και την πιθανότητα εμφάνισης ενός ακραίου συμβάντος. Σε αυτήν την κατεύθυνση, ο κίνδυνος μπορεί να εκφραστεί μέσω της έννοιας της περιόδου επαναφοράς (T), η οποία μπορεί να αποτελέσει έναν στατιστικό εκτιμητή για την επανεμφάνιση ακραίων φαινομένων, βάσει των στατιστικών δεδομένων μικρότερης χρονικής εμβέλειας από αυτήν της εκτίμησης.

Ως περίοδος επαναφοράς ορίζεται ο αντίστροφος αριθμός της πιθανότητας εμφάνισης ενός ακραίου γεγονότος (όπως η εμφάνιση ή η υπέρβαση μίας δεδομένης τιμής ακραίου ανέμου) κατά τη διάρκεια ενός οποιουδήποτε έτους. Για παράδειγμα, ένα γεγονός με περίοδο επαναφοράς 100 ετών έχει πιθανότητα εμφάνισης της τάξης του 1% σε ένα οποιοδήποτε έτος. Αυτό δεν σημαίνει ότι :

- Δεν είναι δυνατή η εμφάνιση του γεγονότος σε δύο διαδοχικά έτη.
- Εφόσον η πιθανότητα εμφάνισης είναι 1% σε ένα έτος, θα είναι 2% σε δύο έτη, 3% σε τρία έτη κ.ο.κ..

Αντιθέτως, με τη χρήση της περιόδου επαναφοράς ως στατιστικού μέτρου της εμφάνισης ακραίων φαινομένων, είναι δυνατός ο υπολογισμός της συσσωρευτικής πιθανότητας (P) εκδήλωσης του γεγονός r-φορές σε ένα χρονικό διάστημα n-ετών σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση :

$$\mathrm{P} = \frac{n!}{\mathrm{r}!(n-r)!}\ \mathrm{p}^{\mathrm{r}}\ (1-p)^{n-r}\,, \quad \text{όπου p=1/T}$$

Ο Πίνακας 1-1, παρέχει την πιθανότητα εμφάνισης ενός γεγονότος με περίοδο επαναφοράς 5, 10, 20, 50 και 100 ετών σε διάφορες περιόδους αναφοράς. Παρατηρείται, ως μνημονικός κανόνας, ότι η αθροιστική πιθανότητα εμφάνισης ενός γεγονότος με περίοδο επαναφοράς Τ μέσα σε Τ έτη κυμαίνεται σε τιμές περί το 65%.

Πίνακας 1-1 Περίοδος επαναφοράς και αθροιστική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος σε n-έτη

Περίοδος Επαναφοράς	Πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος σε				
	5 έτη	10 έτη	20 έτη	50 έτη	100 έτη
5 έτη	67%	89%	99%	100%	100%
10 έτη	41%	65%	88%	99%	100%
20 έτη	23%	40%	64%	92%	99%
50 έτη	10%	18%	33%	64%	87%
100 έτη	5%	10%	18%	39%	63%
500 έτη	1%	2%	4%	10%	18%
1000 έτη	0%	1%	2%	5%	10%

Ο όρος της περιόδου επαναφοράς χρησιμοποιείται από την επιστημονική κοινότητα για την εκτίμηση των πιθανοτήτων της εκδήλωσης ακραίων γεγονότων, προκειμένου αυτές να αξιοποιηθούν για την ανάλυση της διακινδύνευσης (risk) και τον καθορισμό πολιτικών και προδιαγραφών για τη μείωση του κινδύνου καταστροφών. Για παράδειγμα, κατά την κατασκευή μίας γέφυρας, η περίοδος επαναφοράς του ανέμου των 100 ετών μπορεί να αξιοποιηθεί, προκειμένου να εκτιμηθούν οι προδιαγραφές κατασκευής και συντήρησης της γέφυρας ως μέτρου της μέγιστης έντασης του ανέμου που αναμένεται να εμφανιστεί στην περιοχή της κατασκευής της για τα επόμενα 100 χρόνια λειτουργίας της.

Η διαδικασία υπολογισμού των περιόδων επαναφοράς αποτελεί αντικείμενο της θεωρίας των ακραίων τιμών και δύναται να εκτελεστεί με τη χρήση την ακόλουθων μεθόδων : Block Maxima, Peaks-over-threshold , R-largest values και Independent storms, με τις δύο πρώτες να είναι οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες.

Κεφάλαιο 2.

Ανεμολογική μελέτη του Αιγαίου Πελάγους

2.1. Το Αιγαίο Πέλαγος

2.1.1. Γεωγραφικός προσδιορισμός

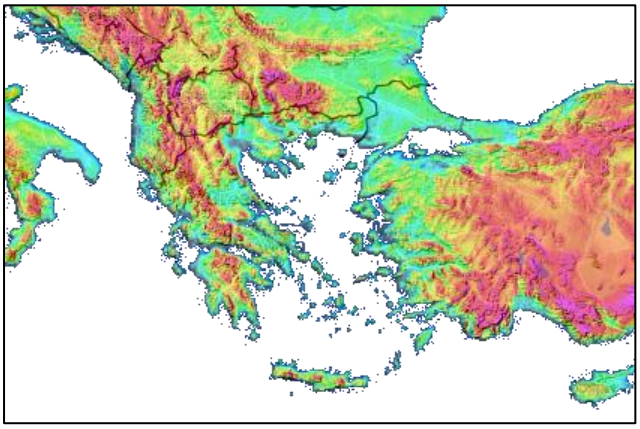
Το Αιγαίο Πέλαγος αποτελεί το μεγαλύτερο θαλάσσιο τμήμα του ελλαδικού χώρου. Γεωγραφικά τοποθετείται στην περιοχή της βορειοανατολικής Μεσόγειου, αποτελώντας μία από τις τέσσερις μεγαλύτερες της λεκάνες, καλύπτοντας έκταση 240.000 τ.χλμ. Η ακτογραμμή του Αιγαίου είναι πολύ ανώμαλη και η τοπογραφική της δομή πολύ περίπλοκη, αριθμώντας πάνω από 2000 νησιά διάφορων μεγεθών. Η ποικιλομορφία των ακτών του σχετίζεται άμεσα με τη γεωλογική ιστορία του ελλαδικού χώρου, και ιδιαίτερα με τις διαδικασίες που σχετίζονται με τον κατακερματισμό και τη βύθιση της Αιγηίδας. Η Αιγηίδα ήταν το χερσαίο τμήμα που περιλάμβανε ολόκληρη τη σημερινή Ελλάδα, μαζί με το Αιγαίο Πέλαγος και τη δυτική Μικρά Ασία. Το τμήμα αυτό ξεκίνησε να κατακερματίζεται σταδιακά πριν από 2,5 εκατομμύρια χρόνια, όπου ύστερα από πολλαπλές καταβυθίσεις, σχηματίστηκε το Αιγαίο. Ωστόσο, η τελική μορφή των ακτογραμμών του Αιγαίου επηρεάστηκε και από την ανάδυση ηπειρωτικών τμημάτων της Ελλάδας (Πελοπόννησος, Κρήτη), η οποία έλαβε χώρα τα τελευταία 1 εκατ. χρόνια. Τα νησιά του Αιγαίου ομαδοποιούνται σε επτά νησιωτικά συμπλέγματα, τα οποία είναι οι Κυκλάδες, τα Δωδεκάνησα, τα Επτάνησα, τα νησιά του Βορειοανατολικού Αιγαίου, οι Σποράδες και τα νησιά του Αργοσαρωνικού. Εξαίρεση αποτελούν τα δύο μεγαλύτερα του νησιά, η Κρήτη και η Εύβοια, τα οποία δεν ανήκουν σε κάποιο από τα παραπάνω νησιωτικά συμπλέγματα.

2.1.2. Τοπογραφία

Το Αιγαίο Πέλαγος αποτελεί μια περίκλειστη θάλασσα, η οποία επικοινωνεί με τη Μαύρη θάλασσα μέσω του Ελλησπόντου, και με τη Μεσόγειο μέσω των θαλάσσιων στενών που δημιουργούνται ανάμεσα στη Κρήτη και των νήσων των Κυθήρων, της Καρπάθου και της Ρόδου. Επί του περιμετρικού χερσαίου εδάφους του, περιβάλλεται από ορεινούς όγκους στα ηπειρωτικά της Τουρκίας και της Ελλάδας. Δυτικά, στον ελληνικό ηπειρωτικό κορμό βρίσκεται η οροσειρά της Πίνδου με υψόμετρο 2637 μ. ενώ ανατολικά και στα ηπειρωτικά τμήματα της Μικράς Ασίας, βρίσκονται οι τουρκικές οροσειρές Alacam Daglari (1615 μ.) και Boz Dag (1530 μ.). Στα βόρεια, βρίσκεται η οροσειρά της Ροδόπης (2191 μ.) που χωρίζεται από την Πίνδο με την κοιλάδα του Αξιού και από τις τουρκικές οροσειρές με τα Δαρδανέλια. Τα νησιά του Αιγαίου Πελάγους παρουσιάζουν διαφορές στην έκταση και στο ανάγλυφό τους. Ορισμένα από αυτά διαθέτουν έντονο ανάγλυφο και μεγάλα υψόμετρα (π.χ. Κρήτη - 2.456 μ., Σαμοθράκη -1.611 μ.) ενώ άλλα μεγάλες πεδινές εκτάσεις (π.χ. Λέσβος και Νάξος).

Ωστόσο, τα περισσότερα και ιδίως τα μικρότερα σε έκταση, παρουσιάζουν έντονο ανάγλυφο με μικρά - μέσα ύψη, περιπλέκοντας την τοπογραφία της περιοχής.

Η κατά τόπους περίπλοκη και έντονη τοπογραφία του Αιγαίου Πελάγους αποτελεί έναν παράγοντα τοπικής επιρροής στη διεύθυνση και ένταση του πνέοντος ανέμου, ιδιαίτερα στα χαμηλά ύψη (άνεμος επιφανείας). Το γεωμορφολογικό ανάγλυφο του Αιγαίου σχηματίζει σε αρκετές περιπτώσεις στενούς διαύλους μεταξύ των νήσων, οι οποίοι συνδυάζονται με το εκατέρωθεν έντονο και μεγάλο υψομετρικά ανάγλυφο (αναλογικά με τη μέση στάθμη της θάλασσας), προκαλώντας κατά αυτόν τον τρόπο το φαινόμενο του ορογραφικού καναλισμού, δηλαδή της επιτάχυνσης των αερίων μαζών και τον παραλληλισμό του άξονα μετακινήσεώς τους με αυτόν του διαύλου. Οι Brody & Nestor (1985) επισήμαναν ότι η τοπογραφία του Αιγαίου είναι δυνατόν να προκαλέσει τον καναλισμό του ανέμου μεταξύ των νησιών του ή ανάμεσα σε νησιά και τον ηπειρωτικό κορμό. Η εμφάνιση του φαινομένου εξαρτάται από τη γεωμορφολογία του ανάγλυφου σε συνδυασμό με την ένταση και διεύθυνση του πνέοντος ανέμου, καθώς και του τρόπου με τον οποίο αυτός ο συνδυασμός υπακούει στους νόμους της αεροδυναμικής. Η ακριβής καταγραφή αυτής της επιρροής του ανάγλυφου απαιτεί εξειδικευμένες μελέτες, με χρήση τρισδιάστατων ομοιωμάτων ανάγλυφου και αεροσήραγγας ή αντίστοιχα ηλεκτρονικών υπολογιστών με ειδικό λογισμικό αεροδυναμικής εξομοίωσης και ψηφιακών βάσεων δεδομένων του γήινου ανάγλυφου. Για το περιβάλλον του Αιγαίου, δεν εντοπίστηκε τέτοιου είδους μελέτη, ωστόσο είναι εμπειρικά επιβεβαιωμένη η ενίσχυση των βόρειων ανέμων που προκαλείται λόγω καναλισμού στο στενό του Καφηρέα (Κάβο Ντόρο), μεταξύ των νήσων Πάρου και Τήνου, μεταξύ Τουρκίας και Δωδεκανήσων, μεταξύ Κρήτης και Καρπάθου κ.τ.λ.. Ωστόσο, κατά καιρούς έχουν εκπονηθεί ανεμολογικές μελέτες, οι οποίες συνεξετάζουν την επιρροή του γεωγραφικού ανάγλυφου στη διαμόρφωση των πνεόντων ανέμων σε διάφορες περιοχές του Αιγαίου και κυρίως στην περιοχή της Κρήτης (Kotroni, et al., 2001; Koletsis, et al., 2009), όπου επισημαίνεται η επιβράδυνση των αερίων μαζών και κυρίως των ετησιών ανέμων στα προσήνεμα του νησιού, λόγω της εγκάρσιας διάταξης των ορεινών όγκων στη διεύθυνση των ανέμων.

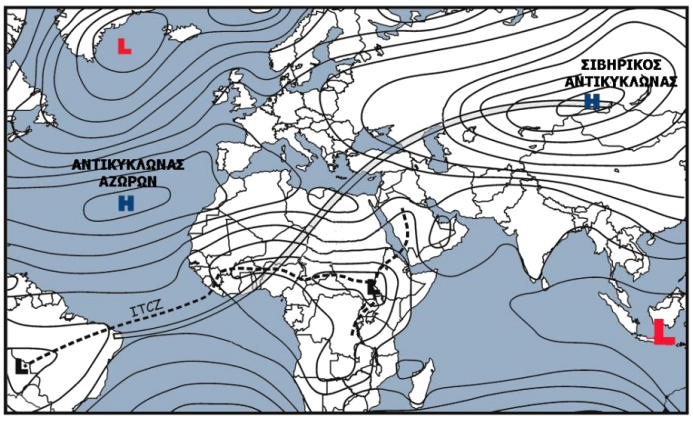


Εικόνα 2.1 Τοπογραφικός χάρτης Αιγαίου

2.2. Βαρομετρικά συστήματα επιρροής στο Αιγαίο

Τα κύρια βαρομετρικά συστήματα τα οποία επηρεάζουν την περιοχή της Μεσογείου θάλασσας και κατά συνέπεια και το Αιγαίο Πέλαγος κατά τη διάρκεια του χειμώνα, είναι αυτά

των υψηλών βαρομετρικών πιέσεων του εποχικού αντικυκλώνα της Σιβηρίας, ο οποίος τοποθετείται στα βάθη της Ασίας, και του μόνιμου αντικυκλώνα των Αζόρων στον Ατλαντικό Ωκεανό. Οι δύο αυτοί αντικυκλώνες, σε συνδυασμό με τα συστήματα χαμηλών πιέσεων που κυριαρχούν στον βορειοανατολικό Ατλαντικό και στη βορειοανατολική Αφρική, δημιουργούν έναν βαρομετρικό λαιμό, ο οποίος, σε συνδυασμό με τις ανατολικά μετακινούμενες υφέσεις και τις κυκλογενετικές εστίες της Μεσογείου ή τις περιοχές ενισχύσεων των διερχόμενων χαμηλών, επιδρά στο ανεμολογικό καθεστώς του Αιγαίου Πελάγους. Σημαντική είναι επίσης η επίδραση του αντικυκλώνα της Ευρασίας και των επεκτάσεών του, σε συνδυασμό με τα βαρομετρικά χαμηλά της Μεσογείου. Το σύστημα αυτό προκαλεί κινήσεις αερίων μαζών, που επηρεάζουν τη χερσαία μεσογειακή περιοχή της Ελλάδας, αναχαιτίζοντας παράλληλα τις ανατολικά κινούμενες υφέσεις οι οποίες και εκτρέπονται νότιο ανατολικά πάνω από τη Μεσόγειο. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οι χαμηλές πιέσεις του βόρειου Ατλαντικού και της βορειοανατολικής Αφρικής εξασθενούν, επεκτείνεται ο αντικυκλώνας του Αζόρων, ενώ παράλληλα ενισχύεται και το εποχικό (θερινό) βαρομετρικό χαμηλό των Ινδιών και του Πακιστάν. Συνεπώς, ο καιρός κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ελέγχεται κλιματικά από τα δύο αυτά κέντρα, τα οποία προωθούν ευσταθείς αέριες μάζες προς την περιοχή της Μεσογείου (αίτιο των μεσογειακών ή ξηρών θερινών υποτροπικών κλιμάτων) δημιουργώντας μεγαλύτερη βαροβαθμίδα στην περιοχή του Αιγαίου πελάγους (αιτία των Ετησιών ανέμων).



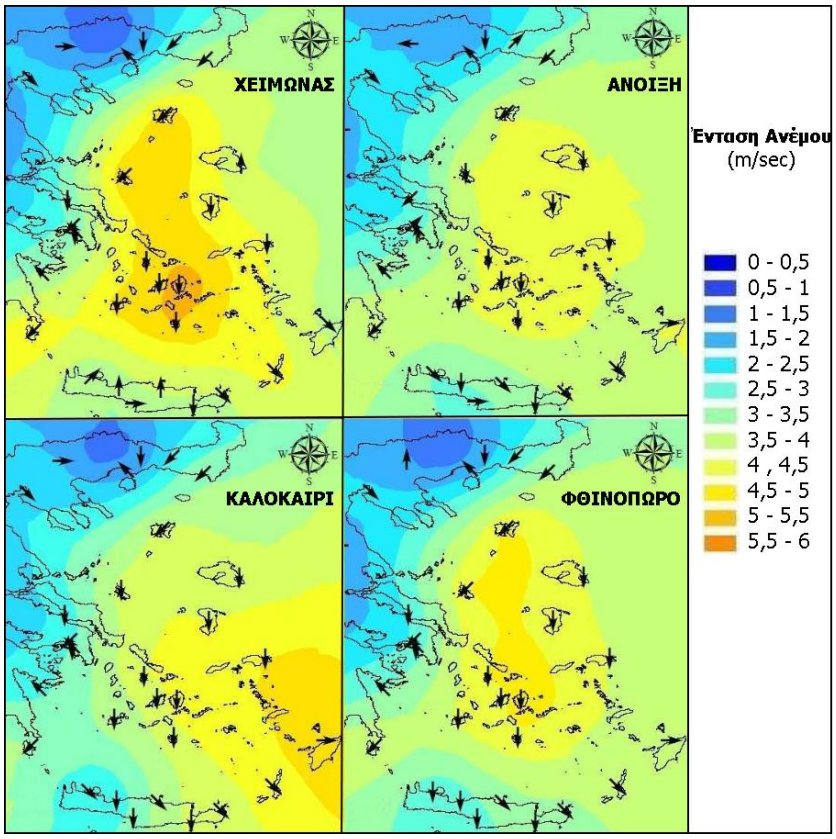
Εικόνα 2.2 Κύρια βαρομετρικά συστήματα επιρροής του Αιγαίου

2.3. Οι άνεμοι του Αιγαίου

2.3.1. Γενική περιγραφή ανεμολογικού καθεστώτος

Το Αιγαίο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απόκλιση από το γενικό μοτίβο ανέμων που παρατηρείται στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου Θάλασσας, με βοριάδες σε όλες τις εποχές, αν και το χειμώνα απαντώνται σποραδικά και νότιοι άνεμοι (Naval Meteorology and Oceanography Command, 1995). Κατά το παρελθόν, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες που πραγματεύονται τις παραμέτρους των πνεόντων ανέμων στην ελληνική επικράτεια και στο Αιγαίο Πέλαγος. Σύμφωνα με μία από τις πιο πρόσφατες (Chronopoulou, et al., 2010), οι κυρίαρχοι άνεμοι κατά τη διάρκεια του έτους (και ιδιαίτερα στο Αιγαίο Πέλαγος), είναι βόρειων, βορειοανατολικών και βορειοδυτικών διευθύνσεων καθ΄ όλη τη διάρκεια του έτους. Όσον αφορά την εποχική τους ένταση, ο χειμώνας θεωρείται ως η πιο «ανεμώδης» εποχή του έτους για το Αιγαίο Πέλαγος όπου η μέση ταχύτητα τους στο

κεντρικό Αιγαίο κυμαίνεται μεταξύ τιμών από 1 έως 6 m/sec ενώ οι αντίστοιχες μέγιστες από 5.5 έως 6 m/sec. Στο νότιο Αιγαίο, παρατηρούνται ελαφρά χαμηλότερες μέγιστες τιμές, που κυμαίνονται από 5 έως 5.5 m/sec. Σε αντίθεση με το χειμώνα, η άνοιξη θεωρείται ως η λιγότερο «ανεμώδης» εποχή του έτους για το Αιγαίο Πέλαγος όπου η μέση ταχύτητα των ανέμων κυμαίνεται μεταξύ 1 και 1,5 m/sec, ενώ οι μέγιστες τιμές από 5 έως 5,5 m/sec (κεντρικό Αιγαίο). Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οι άνεμοι ενισχύονται λόγω της εμφάνισης των Ετησιών. Η μέση τους ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 6 m/sec και η μέγιστη από 5,5 έως 6 m/sec (παρατηρούνται κυρίως στο ανατολικό και νοτιοανατολικό Αιγαίο και ιδιαίτερα στην περιοχή των Δωδεκανήσων). Το φθινόπωρο, η μέση ταχύτητα των ανέμων κυμαίνεται μεταξύ 1 και 5 m/sec με μέγιστες τιμές από 4,5 έως 5 m/sec (κεντρικό Αιγαίο). Οι άνεμοι εξασθενούν γενικότερα στο βόρειο Αιγαίο καθώς και στις εγγύς περιοχές των ανατολικών ακτών του ηπειρωτικού κορμού της χώρας, ενώ ενισχύονται ελαφρώς προς τις ανατολικές ακτές της Μικράς Ασίας.



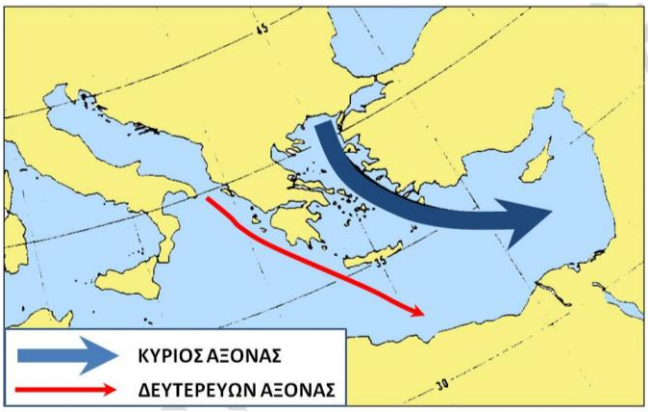
Εικόνα 2.3 Γενικοί εποχικοί ανεμολογικοί χάρτες του Αιγαίου (Chronopoulou, et al., 2010)

2.3.2. Οι Ετησίες (Μελτέμια)

Οι Ετησίες αποτελούν ένα σύστημα βόρειων άνεμων, οι οποίοι πνέουν κατά τη θερμή περίοδο του έτους, στην ανατολική λεκάνη της Μεσογείου και κυρίως στο Αιγαίο Πέλαγος. Όπως μαρτυρεί και η ονομασία τους, εμφανίζονται σε ετήσια βάση στο Αιγαίο, αποτελώντας παράλληλα ένα από τα σταθερότερα συστήματα ανέμων σε παγκόσμια κλίμακα. Καταγεγραμμένες αναφορές της εμφάνισης των Ετησιών εντοπίζονται από την περίοδο της αρχαιότητας, όπου ο Φίλιππος Β΄ ο Μακεδών, τις λάμβανε υπόψη κατά τον προγραμματισμό

των στρατιωτικών του επιχειρήσεων, προκειμένου να τις αξιοποιήσει ως αντίμετρο προστασίας των δυνάμεών του από την εκ του νότου προερχόμενη ναυτική απειλή.

Η δημιουργία των ανέμων οφείλεται στον συνδυασμό, αφενός της επέκτασης του θερινού θερμικού χαμηλού των Ινδιών (που μπορεί να ενισχυθεί και από τη μεταφορά ψυχρών αερίων μαζών καθ' ύψος από την ανατολική Μεσόγειο) δια μέσου των περσικών υψιπέδων προς τις ακτές της ανατολικής Μεσογείου, και αφετέρου της επέκτασης του αντικυκλώνα του Ατλαντικού προς τη νοτιοανατολική Ευρώπη (που προκαλείται από το ανώτερο θερινό υψηλό πάνω από την Ευρώπη). Επίσης, οι Ετησίες μπορούν να δημιουργηθούν, εάν αντί της επέκτασης του αντικυκλώνα του Ατλαντικού (αντικυκλώνα των Αζόρων), επικρατούν αντικυκλωνικές καταστάσεις πάνω από την νοτιοανατολική Ευρώπη. Αλλά και μόνο ένα βαθύ βαρομετρικό χαμηλό ανατολικά του Αιγαίου Πελάγους ή μόνο ένα βαρομετρικό υψηλό στην Ευρώπη, χωρίς αυτό να συνδυάζεται με άλλα συστήματα, είναι δυνατό να δημιουργήσει παρόμοιο ρεύμα ανέμων και μάλιστα σε οποιαδήποτε εποχή του έτους. Σε γενικές γραμμές, οι μετωπικές διαταραχές που διέρχονται από τα Βαλκάνια, και που οδηγούν σε αντικυκλωγενέσεις στην περιοχή αυτή, αποτελούν συνοπτικά την αιτία για την έναρξη μιας περιόδου Ετησιών ανέμων, οι οποίοι αρκετές φορές στο Αιγαίο φτάνουν σε ένταση θυελλωδών ανέμων (Ζιακόπουλος, et al., 2015). Στην εικόνα 2.4, φαίνεται ο άξονας των μεγίστων εντάσεων των Ετησιών ανέμων, ο οποίος σε γενικές γραμμές συμπίπτει και με τον άξονα της γενικής τους διεύθυνσης (Ζιακόπουλος, et al., 2015).



Εικόνα 2.4 Άξονες των μέγιστων εντάσεων των Ετησιών (Brody & Nestor, 1985)

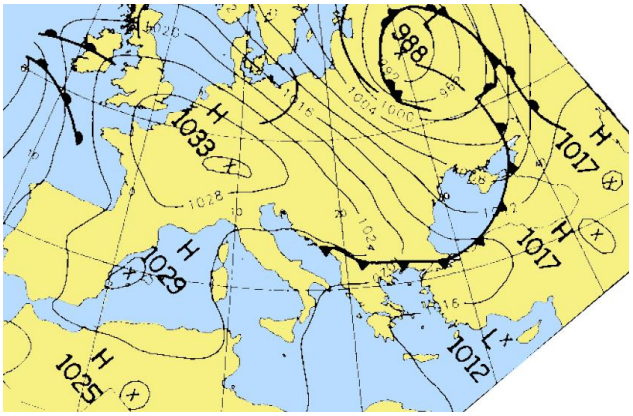
Η εμφάνιση των ανέμων στη διάρκεια του έτους τοποθετείται στον μήνα Μάιο, όπου και ξεκινούν να πνέουν με μικρή ένταση. Η μέγιστη ένταση και συχνότητά τους εντοπίζεται κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Οι άνεμοι που εμφανίζονται πριν τον Ιούλιο καλούνται «Πρόδρομοι». Οι Ετήσιες εξακολουθούν να πνέουν μέχρι το τέλος του Οκτωβρίου, αλλά με ασθενέστερες εντάσεις και πολύ μικρότερη συχνότητα εμφάνισης («Μετόπωροι»). Πέρα από την ετήσια συχνότητα εμφάνισης και τη διακύμανσή τους, παρουσιάζουν και μια αντίστοιχη ημερήσια διακύμανση. Σύμφωνα με τους Tyrlis & Lelieveld (2013), κατά τη διάρκεια της νύχτας, λαμβάνουν την ελάχιστη ένταση της ημερήσιας διακύμανσής τους στην περιοχή του νότιου Αιγαίου, ενώ τις πρώτες πρωινές ώρες αρχίζουν να ενισχύονται, ιδιαίτερα στο κεντρικό Αιγαίο, αποκτώντας τις μέγιστες τιμές τους κατά τις πρώτες απογευματινές ώρες. Μετά τη δύση του ηλίου, ξεκινά η σταδιακή τους εξασθένηση. Η παρατηρούμενη ενίσχυσή τους οφείλεται στην αύξηση της βαροβαθμίδας στην περιοχή των Κυκλάδων (και ανατολικότερα), λόγω της ενίσχυσης των επιφανειακών θερμικών συστημάτων χαμηλών

πιέσεων στην ηπειρωτική Τουρκία, που προκαλείται από τη θέρμανση της ρηξιτεμάχου της Ανατολίας και των υπερκείμενων της τροποσφαιρικών στρώματων.

Οι Ετησίες χαρακτηρίζονται από τον γενικά σταθερό καιρό, τις χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας και την έλλειψη βροχοπτώσεων. Ωστόσο, καταιγίδες παρατηρούνται στο Βόρειο Αιγαίο κατά τη διέλευση ψυχρών μετώπων, τα οποία συνήθως καθορίζουν την έναρξη της περιόδου των Ετησιών (Ζιακόπουλος, et al., 2015).

2.3.3. Ο Βαρδάρης

Ο Βαρδάρης είναι ένας ισχυρός ψυχρός καταβατικός άνεμος τύπου Bora, ο οποίος επηρεάζει κυρίως την κεντρική και δυτική Μακεδονία. Ο Βαρδάρης πνέει από βόρειες - βορειοδυτικές διευθύνσεις και προέρχεται από τα υψίπεδα των Σκοπίων. Κινούμενος μέσα από την κοιλάδα του Αξιού, φτάνει στον Θερμαϊκό κόλπο και «εισβάλλει» στο Αιγαίο Πέλαγος, όπου και σταδιακά εξασθενεί. Ο Βαρδάρης παρουσιάζει μια μέση συχνότητα εμφάνισης που κυμαίνεται στις 35 ημέρες ετησίως, με την εμφάνισή του να είναι συχνότερη κατά την ψυχρή περίοδο. Δημιουργείται από την παρουσία αντικυκλώνων στις περιοχές δυτικά και βορειοδυτικά της βαλκανικής χερσονήσου, με την κατανομή των βαρομετρικών πιέσεων πάνω από τη βαλκανική (ισοβαρείς) να ακολουθεί τη νότια - νοτιοανατολική διεύθυνση του ποταμού Αξιού με μεγάλες τιμές βαροβαθμίδας. Η εξασθένησή του ξεκινά όταν η κατανομή των ισοβαρών λάβει εγκάρσια διάταξη σχετικά με τη διεύθυνση του Αξιού (Ζιακόπουλος, et al., 2015).



Εικόνα 2.5 Ισοβαρική διάταξη για την επικράτηση του Βαρδάρη (Ζιακόπουλος, et al., 2015)

2.4. Ανεμολογική μελέτη

2.4.1. Μετεωρολογικοί σταθμοί

Για την ανεμολογική μελέτη του Αιγαίου Πελάγους επιλέχτηκε ένα δίκτυο δέκα Μετεωρολογικών σταθμών της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.), που να καλύπτει κατά το δυνατόν πληρέστερα και ομοιόμορφα όλη την έκταση του Αιγαίου. Πιο συγκεκριμένα οι σταθμοί που αξιοποιήθηκαν είναι οι ακόλουθοι :

- Βόρειο Αιγαίο : Λήμνος, Σκύρος και Λέσβος
- Κεντρικό Αιγαίο (Κυκλάδες) : Μήλος, Νάξος και Θήρα
- Ανατολικό Αιγαίο : Σάμος, Ρόδος και Κάρπαθος
- Βόρειο Κρητικό : Ηράκλειο

Και οι δέκα μετεωρολογικοί σταθμοί βρίσκονται τοποθετημένοι στα αεροδρόμια των αντίστοιχων νησιών και σε χαμηλά υψόμετρα, παρέχοντας δεδομένα των ανέμων επιφανείας της περιοχής τους. Τα ακριβή χαρακτηριστικά της τοποθεσίας των παραπάνω σταθμών φαίνονται στον Πίνακα 2-1.

Πίνακας 2-1 Μετεωρολογικοί σταθμοί ανεμολογικής μελέτης

Σταθμός	Κωδικός	Συντεταγμένες	Υψόμ.
Λήμνος	16650	39°55'20"Β - 025°13'58"Α	4,8 μ.
Λέσβος	16667	39°03'14"Β - 026°36'13"Α	4,2 μ.
Σκύρος	16684	38°57'46"Β - 024°29'26"Α	22 μ.
Νάξος	16732	37°06'05"Β - 025°22'23"Α	9 μ.
Θήρα	16744	36°25'00"Β - 025°25'00"Α	37,4 μ.
Μήλος	16738	36°41'00"Β - 024°28'00"Α	6 μ.
Ρόδος	16749	36°24'07"Β - 028°05'17"Α	6,6 μ.
Κάρπαθος	16765	35°25'00"Β - 027°08'00"Α	10,8 μ.
Ηράκλειο	16754	35°20'07"Β - 025°10'55"Α	39 μ.
Σάμος	16723	37°41'27"Β - 026°54'58"Α	5,9 μ.

2.4.2. Βάση δεδομένων και περίοδος μελέτης

Τα δεδομένα τα οποία παρασχέθηκαν από τη Διεύθυνση Κλιματολογίας της Ε.Μ.Υ. για τους παραπάνω σταθμούς περιείχαν τις στιγμιαίες τιμές έντασης και διεύθυνσης ανέμου από τις εκτελούμενες παρατηρήσεις τριώρου, καθώς και τις μέγιστες καταγεγραμμένες τιμές έντασης ανέμου κατά το συνολικό διάστημα του τριώρου της κάθε παρατήρησης. Οι παρατηρήσεις τριώρου αφορούν ακέραιους χρόνους UTC (00:00, 03:00, 06:00 κ.ο.κ.) και για την πλειοψηφία των σταθμών καλύπτουν όλο το εικοσιτετράωρο κάθε ημέρας. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις διαπιστώθηκαν μη έγκυρες καταγραφές (π.χ. αρνητικές τιμές έντασης, καταγραφές με ελλιπή δεδομένα όπως αναγραφή μόνο των τιμών της διεύθυνσης και όχι της έντασης, μηδενική μέγιστη ένταση με θετική στιγμιαία ένταση) αλλά και απουσία χρονικών διαστημάτων ανεμολογικών παρατηρήσεων, τα οποία στο σύνολό τους επηρέασαν σε ένα ποσοστό την πληρότητα των δεδομένων προς ανάλυση. Το σύνολο των παραπάνω στοιχείων αναφέρονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 2-2. Τα δεδομένα παρασχέθηκαν σε ηλεκτρονικά φύλλα εργασίας Excel, και κάλυπταν την χρονική περίοδο από το έτος 2000 έως και το έτος 2016.

Πίνακας 2-2 Στατιστικά στοιχεία βάσης δεδομένων ανεμολογικής μελέτης

Σταθμός	Ώρες παρατηρήσεων	Καταγραφές	Πληρότητα
Λήμνος	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	45894	88,77%
Λέσβος	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	44024	84,77%
Σκύρος	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	46621	93,99%
Νάξος	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	33702	67,98%
Θήρα	6, 9, 12, 15, 18	41825	84,36%
Μήλος	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	33141	66,84%
Ρόδος	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	46629	94,02%
Κάρπαθος	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	37967	76,59%
Ηράκλειο	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	47009	94,77%
Σάμος	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	38795	78,24%

2.4.3. Χρήση λογισμικού και μεθοδολογία

Η επεξεργασία της παραπάνω βάσης δεδομένων στηρίχτηκε στον συνδυασμό της εφαρμογής θεωρίας και της χρήσης κατάλληλου λογισμικού για την αξιοποίησή της. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το ακόλουθο :

- Εφαρμογή «Excel». Για τη μερική επεξεργασία των δεδομένων και την παραγωγή στατιστικών διαγραμμάτων, χρονοσειρών και κατανομών.
- Εφαρμογή «WRPlot View». Για την εκτέλεση στατιστικών υπολογισμών και ανάλυση των συχνοτήτων της διεύθυνσης και της έντασης του ανέμου και για τη δημιουργία ροδογραμμάτων. Η απεικόνιση των διευθύνσεων ομαδοποιήθηκε σε τόξα εύρους 10^{o}, γεγονός που καθιστά πιο πολύπλοκο τον προσδιορισμό των ποσοστών επικράτησης των ανέμων ως προς τις γενικές διευθύνσεις του ορίζοντα (βόρειος, βορειοανατολικός, ανατολικός, νοτιοανατολικός κ.τ.λ.), ωστόσο καταδεικνύει τις ακριβείς διευθύνσεις των επικρατούντων ανέμων σε κάθε σταθμό. Η ένταση του ανέμου ομαδοποιήθηκε σε έξι ομάδες, με μεγάλη διασπορά στις ασθενείς έως μέσες εντάσεις και μεγαλύτερη συγκέντρωση στις υψηλότερες. Η επιλογή των ομάδων έγινε κατά αυτόν τον τρόπο, καθώς οι υψηλές εντάσεις παρουσιάζουν σαφώς μικρότερη επικράτηση, οπότε και η περεταίρω κατάτμησή τους σε επιμέρους ομάδες θα καθιστούσαν τα ροδογράμματα δυσανάγνωστα.
- Εφαρμογή μαθηματικού προγραμματισμού «R». Για την εφαρμογή της θεωρίας των ακραίων τιμών και τον υπολογισμό των περιόδων επαναφοράς με αξιοποίηση του ειδικού πρόσθετου πακέτου «extRemes». Για τη μελέτη των δέκα σταθμών του Αιγαίου Πελάγους και τον υπολογισμό των περιόδων επαναφοράς χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος «Block Maxima» με χρήση διαστημάτων «blocks» διάρκειας ενός έτους (Annual Maxima). Η χρήση διαστημάτων ενός έτους επιλέχτηκε, καθώς σύμφωνα με τη βιβλιογραφία θα οδηγήσουν σε ρεαλιστικές

εκτιμήσεις των περιόδων επαναφοράς (Coles, 2001). Πρακτικά ως βάση για τον υπολογισμό των περιόδων επαναφοράς χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστες ετήσιες καταγεγραμμένες τιμές της έντασης ανέμου κάθε σταθμού. Η μέθοδος περιγράφεται αναλυτικότερα στο Παράρτημα Α.

Τα προϊόντα που προέκυψαν από τις παραπάνω εφαρμογές παρουσιάζονται στο σύνολό τους και ανά σταθμό στο Παράρτημα Β. Τα κυριότερα από αυτά παρουσιάζονται συνεπτυγμένα και σχολιάζονται στις επόμενες παραγράφους του κεφαλαίου.

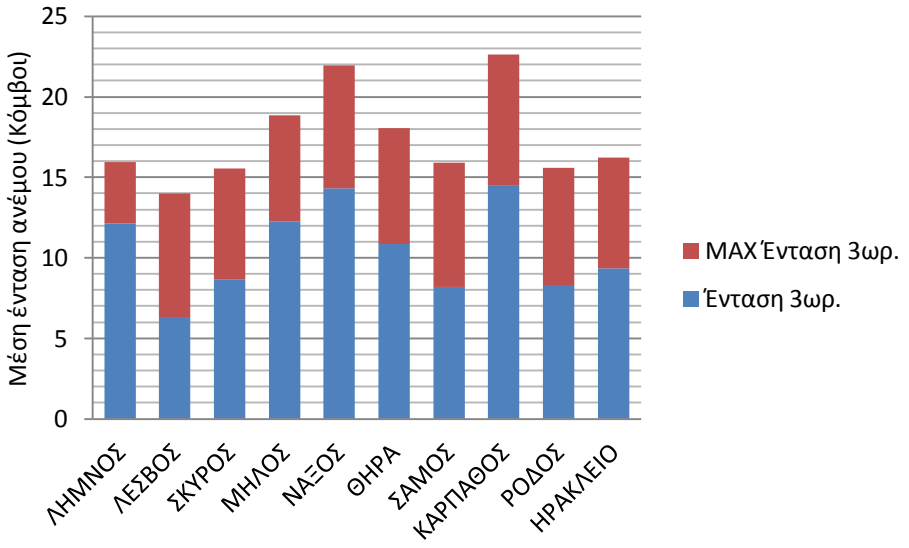
2.5. Ανάλυση δεδομένων

2.5.1. Μέση ετήσια ένταση ανέμου

Σύμφωνα με τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν, η μέση ετήσια ένταση του ανέμου στο Αιγαίο Πέλαγος, αγγίζει την τιμή των 10,5 κόμβων. Ο υπολογισμός της μέσης τιμής ($\mu_{3\omega\rho}$) εκτελέστηκε με την αξιοποίηση των εντάσεων που προκύπτουν από το ημιάθροισμα των καταγεγραμμένων τιμών της στιγμιαίας έντασης και της μέγιστης έντασης τριώρου. Αυτή η παραδοχή χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των μέσων τιμών της έντασης του πνέοντος ανέμου στο σύνολο της παρούσας εργασίας, καθώς εκτιμάται ότι η χρήση μόνο των στιγμιαίων τιμών τριώρου θα οδηγούσε σε (ελαφριά) υποεκτίμησή τους. Αντιθέτως, η χρήση της παραπάνω παραδοχής εκτιμάται ότι οδήγησε στον υπολογισμό πιο ρεαλιστικών εντάσεων καθώς :

- Η αξιοποίηση μόνο των στιγμιαίων τιμών ανά τρεις ώρες εκτιμάται ότι δεν μπορεί να αποδώσει στατιστικά και με ακρίβεια τη μέση ένταση του ανέμου για τη συνολική διάρκεια του τριώρου.
- Οι δύο τιμές για κάθε καταχώρηση τριώρου στη πλειοψηφία των καταγραφών δεν παρουσίαζαν μεγάλη μεταξύ τους απόκλιση, και συνεπώς ο μέσος όρος τους εκτιμάται ότι προσεγγίζει περισσότερο τη μέση ένταση του ανέμου για το σύνολο του τριώρου σε σχέση με τις στιγμιαίες μετρήσεις της εντάσεως κατά τους ακέραιους χρόνους των τριώρων.
- Η εμφάνιση ριπαίων ανέμων, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να παρουσιάζει μέγιστες εντάσεις με μεγάλη απόκλιση από τις στιγμιαίες τιμές του τριώρου, οι οποίες όμως δεν αντιπροσωπεύουν το μέσο τοπικό ανεμολογικό καθεστώς. Ωστόσο, ο συμψηφισμός τους με τις στιγμιαίες τιμές του τριώρου και η μικρή συχνότητα εμφάνισης τέτοιων αποκλίσεων στη συνολική διάρκεια της μελέτης (17 έτη) εκτιμάται ότι δεν επηρέασε σημαντικά το αποτέλεσμα, αλλά αντιθέτως το κατέστησε πιο ρεαλιστικό.

Όσον αφορά τις μέγιστες καταγεγραμμένες εντάσεις του ανέμου στο Αιγαίο Πέλαγος, η μέση τιμή τους ($\mu_{\mu\varepsilon\gamma}$) υπολογίστηκε στους 17,5 κόμβους. Στην Εικόνα 2.6 απεικονίζονται γραφικά οι δύο παραπάνω μέσες εντάσεις (τριώρου και μέγιστες τριώρου) για καθέναν από τους δέκα σταθμούς της μελέτης.



Εικόνα 2.6 Μέσες ετήσιες εντάσεις ανέμου

Οι σταθμοί στους οποίους καταγράφηκαν οι εντονότερες ανεμολογικές συνθήκες είναι αυτοί της Νάξου ($\mu_{3ωρ}$= 14,31 κόμβοι, $\mu_{μεγ}$= 21,96 κόμβοι) και της Καρπάθου ($\mu_{3ωρ}$= 14,52 κόμβοι, $\mu_{μεγ}$= 22,64 κόμβοι) με ελαφρώς ασθενέστερες αυτές των σταθμών της Μήλου και των Θηρών. Οι υπόλοιποι έξι σταθμοί παρουσιάζουν παρεμφερή χαρακτηριστικά, με τις $\mu_{3ωρ}$ να κυμαίνονται από τους 6 έως τους 12 κόμβους και τις $\mu_{μεγ}$ από τους 14 έως τους 16 κόμβους. Κατά αντιστοιχία, οι Κυκλάδες κατατάσσονται ως το πιο ανεμώδες νησιωτικό σύμπλεγμα του Αιγαίου. Στο ανατολικό Αιγαίο, οι άνεμοι χαρακτηρίζονται από ελαφρώς μικρότερες εντάσεις, ενώ το βόρειο Αιγαίο και το βόρειο Κρητικό παρουσιάζουν ασθενέστερα και σε γενικές γραμμές παρεμφερή μεταξύ τους χαρακτηριστικά, όσον αφορά την ένταση. Πιο συγκεκριμένα, οι ακριβείς ομαδοποιημένες τιμές των μέσων ανέμων στο Αιγαίο είναι οι ακόλουθες :

- Βόρειο Αιγαίο : $\mu_{3ωρ}$= 9,03 κόμβοι, $\mu_{μεγ}$=15,16 κόμβοι.
- Κεντρικό Αιγαίο (Κυκλάδες) : $\mu_{3ωρ}$= 12,47 κόμβοι, $\mu_{μεγ}$=19,62 κόμβοι.
- Ανατολικό Αιγαίο : $\mu_{3ωρ}$= 10,4 κόμβοι, $\mu_{μεγ}$=18,04 κόμβοι.
- Βόρειο Κρητικό : $\mu_{3ωρ}$= 9,36 κόμβοι, $\mu_{μεγ}$=16,21 κόμβοι.

2.5.2. Ετήσια κατανομή διεύθυνσης και έντασης ανέμου

Η βάση δεδομένων της Ε.Μ.Υ. χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των ροδογραμμάτων και για τους δέκα σταθμούς π.ου εξετάζονται στην παρούσα εργασία. Για κάθε σταθμό δημιουργήθηκαν συνολικά πέντε ροδογράμματα. Το πρώτο από αυτά αφορούσε το σύνολο των διαθέσιμων ανεμολογικών δεδομένων για τα 17 έτη της μελέτης (2000-2016), ενώ τα υπόλοιπα, τα τέσσερα διαδοχικά τρίμηνα του έτους (Ιανουάριος - Μάρτιος, Απρίλιος - Ιούνιος κ.ο.κ.). Παράλληλα με τα ροδογράμματα του ανέμου, δημιουργήθηκαν και τα ραβδογράμματα των κατανομών των εντάσεων του πνέοντος ανέμου για κάθε σταθμό, τα οποία απεικονίζουν την επικράτηση των εντάσεων των ανέμων, τόσο σε ετήσια βάση όσο και ανά τρίμηνο για το σύνολο των ετών της μελέτης. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για την παραγωγή ραβδογραμμάτων με δεδομένα εισόδου τις μέγιστες

εντάσεις του τριώρου, απεικονίζοντας την επικράτηση των μέγιστων εμφανιζόμενων εντάσεων σε ετήσια και τρίμηνη βάση. Το σύνολο των παραπάνω διαγραμμάτων παρουσιάζεται αναλυτικά και ανά σταθμό στο Παράρτημα Β.

Στην Εικόνα 2.7, απεικονίζονται συγκεντρωτικά σε χάρτη του Αιγαίου τα ετήσια ροδογράματα, με περίοδο αναφοράς από το 2000 έως το 2016 και για τους δέκα επιλεγμένους σταθμούς. Ακολούθως παρατίθεται μια γενική περιγραφή των ανεμολογικών καθεστώτων των σταθμών, ωστόσο επισημαίνεται ότι η πλήρης κατανόησή του είναι δυνατή μόνο μέσω της λεπτομερούς μελέτης των ροδογραμμάτων.

- Λήμνος: Η κύρια διεύθυνση του ανέμου είναι η βορειοανατολική (ποσοστό επικράτησης 25%) στην οποία παρουσιάζονται ασθενείς έως πολύ θυελλώδεις άνεμοι. Η βόρεια διεύθυνση είναι η δεύτερη σε συχνότητα εμφάνισης διεύθυνση (επικράτηση 21%), στην οποία παρουσιάζονται πολύ ασθενείς έως μέτριες εντάσεις. Άνεμοι υψηλής έντασης πνέουν επίσης και από βορειοδυτικές διευθύνσεις με μικρότερη συχνότητα εμφάνισης (9%), ενώ αντίστοιχες εντάσεις παρουσιάζονται σε μικρότερες συχνότητες από τις νότιες και νότιες-νοτιοδυτικές διευθύνσεις.

- Λέσβος: Η Λέσβος αποτελεί τον σταθμό με τη μεγαλύτερη διασπορά διευθύνσεων των πνεόντων ανέμων. Με εξαίρεση τη βορειοανατολική και τη δυτική διεύθυνση, οι οποίες εμφανίζονται σπάνια, παρουσιάζονται ασθενείς έως ισχυροί άνεμοι από όλες τις υπόλοιπες διευθύνσεις, με ποσοστά επικράτησης μεταξύ 4% και 6%. Ωστόσο, η εμφάνιση ισχυρών έως σφοδρών ανέμων, προέρχεται κυρίως από τις νότιες διευθύνσεις.

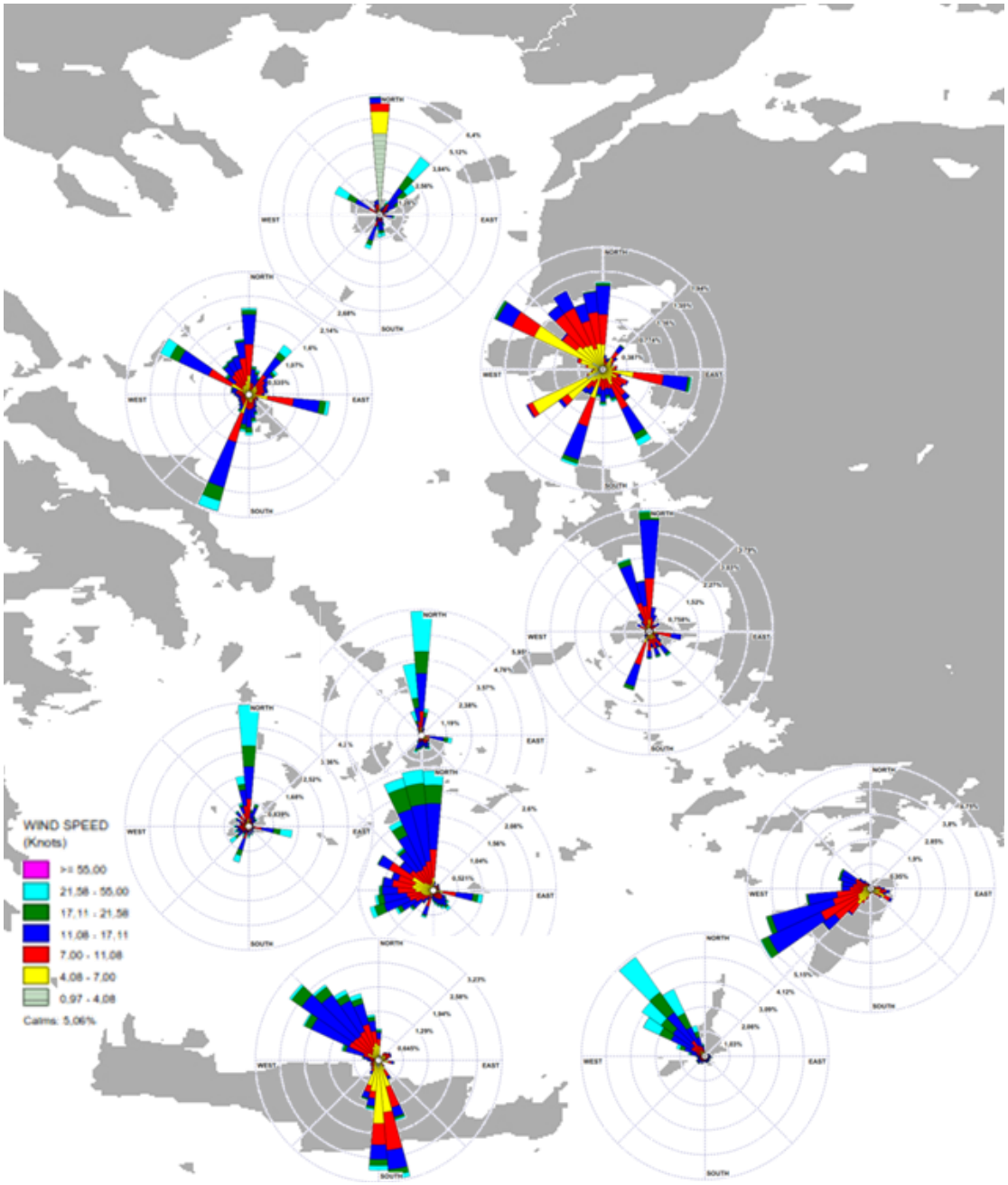
- Σκύρος: Οι άνεμοι στη Σκύρο πνέουν κυρίως από πέντε διαφορετικές διευθύνσεις. Κύριες διευθύνσεις αποτελούν η βόρεια και η νότια - νοτιοανατολική με ποσοστά επικράτησης 8,5%. Τις υπόλοιπες τρεις αποτελούν η βορειοδυτική, η βορειοανατολική και η ανατολική, με αντίστοιχα ποσοστά που κυμαίνονται από 4% έως 7%. Και στις πέντε αυτές διευθύνσεις εμφανίζονται από ασθενείς έως θυελλώδεις άνεμοι, με τη μεγαλύτερη συχνότητα εκδήλωσης των υψηλότερων εντάσεων να παρουσιάζεται στις βορειοδυτικές και νοτιοδυτικές διευθύνσεις. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι οι διευθύνσεις των επικρατούντων ανέμων στη Σκύρο απλώνονται σε όλο το εύρος των 360ο του ορίζοντα, με τις περιφερειακές διευθύνσεις (ομαδοποιημένες ανά 10ο) να επικρατούν σε ποσοστά έως 1,5%.

- Νάξος: Η Νάξος αποτελεί τον σταθμό με τη μεγαλύτερη σταθερότητα της διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με όλους τους σταθμούς, και με τις κύριες διευθύνσεις να περιορίζονται από τις βόρειες έως και τις βόρειες - βορειοδυτικές κατευθύνσεις. Παρατηρείται, επίσης, και ένα μικρό ποσοστό ανατολικών ανέμων (της τάξης του 5%). Οι ισχυροί έως θυελλώδεις άνεμοι παρουσιάζονται σε ποσοστό της τάξης του 22%.

- Μήλος: Και για τη Μήλο, η βόρεια διεύθυνση αποτελεί τον κύριο άξονα πνοής των ανέμων, με ποσοστό εμφάνισης περί το 26%. Δευτερεύουσες διευθύνσεις αποτελούν η ανατολική και η νότια - νοτιοδυτική, με επιμέρους ποσοστά της τάξης του 6%. Στις λοιπές διευθύνσεις εμφανίζονται κυρίως ασθενείς έως μέτριοι άνεμοι

με μικρά ποσοστά εκδήλωσης (κάτω του 3%). Οι ισχυροί έως θυελλώδεις άνεμοι παρουσιάζονται σε ποσοστό της τάξης του 15%.

- Σάμος: Η Σάμος χαρακτηρίζεται από ανέμους βόρειων έως βόρειων - βορειοδυτικών διευθύνσεων, οι οποίοι πνέουν σε ποσοστό 23% και κυρίως με ασθενείς έως μέτριες εντάσεις. Αξιοσημείωτη είναι επίσης και η επικράτηση της νότιας - νοτιοδυτικής συνιστώσας (6,5%), ενώ οι ισχυροί έως θυελλώδεις άνεμοι παρουσιάζονται σε ποσοστό της τάξης του 1%.



Εικόνα 2.7 Χάρτης ροδογραμμάτων Αιγαίου Πελάγους (ετήσιος)

- Θήρα: Οι κύριοι άξονες εκδήλωσης των ανέμων προέρχονται από τις βόρειες έως τις βορειοδυτικές διευθύνσεις, με συνολική επικράτηση της τάξης του 35%. Οι ίδιες διευθύνσεις αποτελούν και τους βασικούς άξονες της εκδήλωσης των ισχυρών ανέμων. Από τις δυτικές διευθύνσεις, προέρχονται κυρίως άνεμοι με ασθενείς έως μέτριες εντάσεις, ενώ είναι χαρακτηριστική η παντελής απουσία ανέμων στο τεταρτημόριο από τις βόρειες έως τις ανατολικές διευθύνσεις. Οι ισχυροί έως θυελλώδεις άνεμοι παρουσιάζονται σε ποσοστό της τάξης του 6%.

- Ρόδος: Οι πνέοντες άνεμοι στη Ρόδο προέρχονται στην πλειοψηφία τους από τον τομέα των βορειοδυτικών έως νοτιοδυτικών διευθύνσεων. Αξιοσημείωτη είναι επίσης και η εμφάνιση νοτιοανατολικών ανέμων (9%), ενώ οι ισχυροί έως θυελλώδεις άνεμοι παρουσιάζονται σε ποσοστό της τάξης του 1%.

- Κάρπαθος: Στην Κάρπαθο οι άνεμοι πνέουν αποκλειστικά από βόρειες - βορειοδυτικές έως δυτικές - βορειοδυτικές διευθύνσεις. Οι ισχυροί έως θυελλώδεις άνεμοι παρουσιάζονται σε ποσοστό της τάξης του 21%.

- Ηράκλειο: Οι κύριοι άξονες εκδήλωσης των ανέμων στο Ηράκλειο καλύπτουν τις βόρειες έως βορειοδυτικές και τις νότιες διευθύνσεις. Οι κυρίαρχες εντάσεις είναι από ασθενείς έως μέτριες, ενώ οι ισχυροί έως θυελλώδεις άνεμοι παρουσιάζονται σε ποσοστό της τάξης του 3%.

2.5.3. Εποχική κατανομή διεύθυνσης και έντασης ανέμου

Στην Εικόνα 2.8, απεικονίζονται συγκεντρωτικά τα ροδογράμματα του ανέμου για κάθε σταθμό της μελέτης, ανά τρίμηνο του έτους και με περίοδο αναφοράς από το 2000 έως το 2016. Σε αντιστοιχία με την προηγούμενη παράγραφο, παρατίθεται ακολούθως μια γενική περιγραφή των μεταβολών του ανεμολογικού καθεστώτος κατά τη διάρκεια του κάθε τριμήνου, όπως παρατηρείται σε κάθε σταθμό, και με έμφαση στις επικρατούσες διευθύνσεις των ανέμων και τη συχνότητα της εμφάνισης των ισχυρών εντάσεων.

- Λήμνος: Ο σταθμός της Λήμνου παρουσιάζει μία σταθερότητα των πνεόντων ανέμων καθ΄ όλη τη διάρκεια του έτους, με χαμηλά ποσοστά επικράτησης ισχυρών ανέμων. Οι κύριες διευθύνσεις (βόρεια και βορειοανατολική) επικρατούν και στα τέσσερα τρίμηνα, με τη βορειοδυτική συνιστώσα να κάνει λιγότερο αισθητή την παρουσία της, η οποία όμως εντείνεται στο τρίτο τρίμηνο με ισχυρές εντάσεις. Σε γενικές γραμμές δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες ανεμολογικές μεταβολές.

- Λέσβος: Όπως προαναφέρθηκε, ο σταθμός της Λέσβου παρουσιάζει μια ποικιλομορφία, όσον αφορά τις διευθύνσεις των ανέμων. Κατά το πρώτο και τέταρτο τρίμηνο, παρουσιάζονται όλες οι διευθύνσεις που περιέχουν τη νότια συνιστώσα, ενώ εμφανίζονται και άνεμοι ισχυρών εντάσεων από τη νότια - νοτιοανατολική και νοτιοδυτική διεύθυνση. Στο δεύτερο τρίμηνο, εμφανίζονται παράλληλα και οι βόρειες και βορειοδυτικές διευθύνσεις, ενώ στο τρίτο τρίμηνο αυτές επικρατούν σχεδόν αποκλειστικά, με ασθενείς έως μέτριες εντάσεις και στις δύο περιπτώσεις.

- Σκύρος: Η Σκύρος εμφανίζει και αυτή μία σταθερότητα όσον αφορά τις διευθύνσεις των ανέμων κατά τη διάρκεια του έτους. Όσον αφορά την ταχύτητά τους, παρατηρούνται κυρίως ασθενείς έως μέτριες εντάσεις κατά το δεύτερο και τρίτο

τρίμηνο του έτους, καθώς και ισχυρές (με χαμηλά, ωστόσο, ποσοστά επικράτησης) κατά το πρώτο και τέταρτο τρίμηνο.

- Νάξος: Σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του έτους επικρατούν άνεμοι βόρειων διευθύνσεων. Επιπλέον, στο πρώτο τρίμηνο είναι αισθητή και η παρουσία των ανατολικών έως νοτιοδυτικών διευθύνσεων, ενώ στο δεύτερο και τρίτο τρίμηνο κυρίως των δυτικών. Όσον αφορά την ένταση, ισχυροί άνεμοι παρατηρούνται σε μεγάλο βαθμό καθ΄ όλη τη διάρκεια του έτους, με την υψηλότερη συχνότητά τους να εμφανίζεται στο πρώτο και τέταρτο τρίμηνο και με την χαμηλότερη (αλλά χωρίς μεγάλη απόκλιση από την υψηλότερη) στο δεύτερο τρίμηνο.

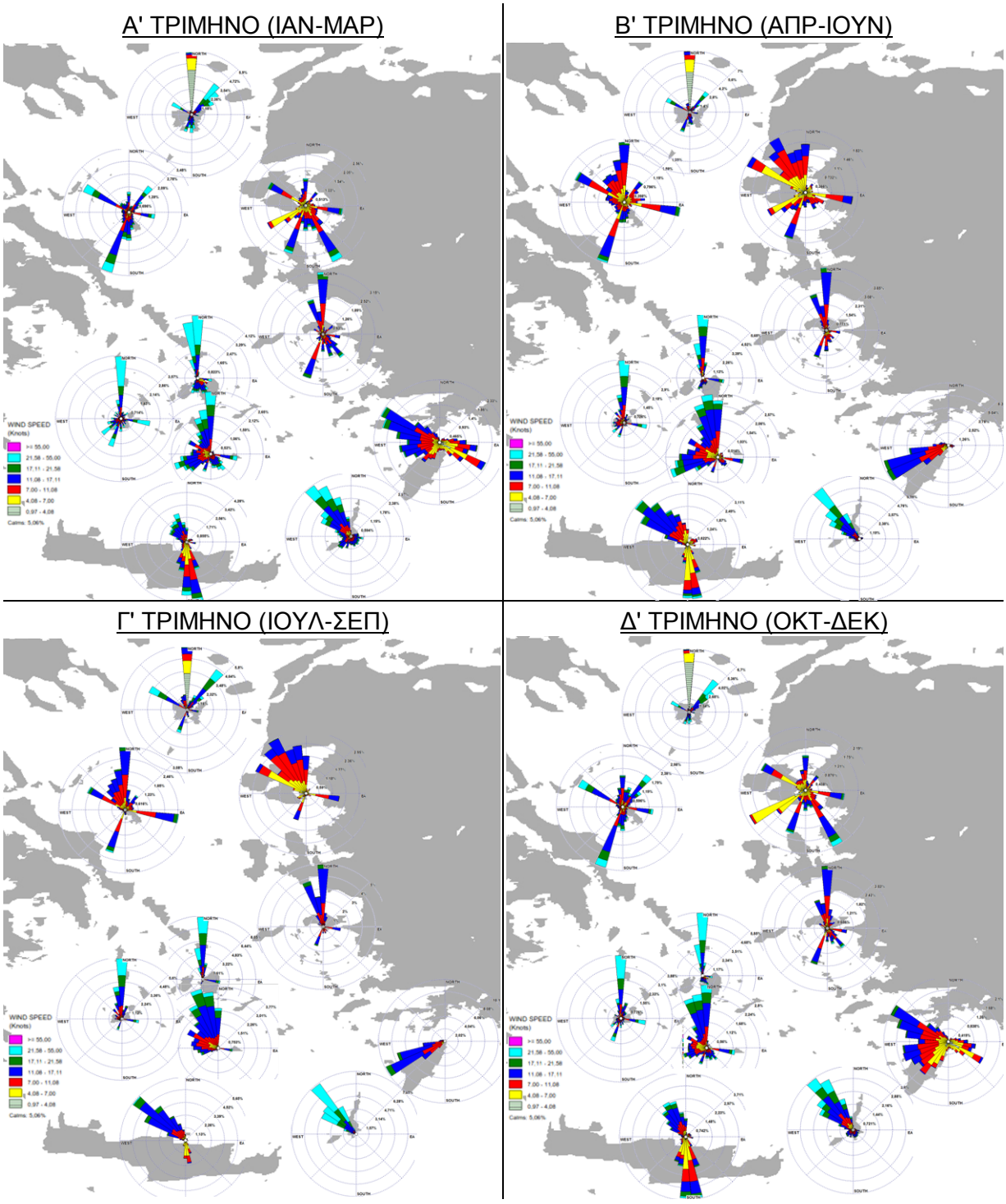
- Μήλος: Όπως προαναφέρθηκε, και για τη Μήλο η βόρεια αποτελεί την κυρίαρχη διεύθυνση του ανέμου καθ΄ όλη τη διάρκεια του έτους. Κατά το πρώτο και τέταρτο τρίμηνο, παρατηρούνται παράλληλα ανατολικές και νοτιοδυτικές διευθύνσεις, με κυρίως ισχυρές εντάσεις, ενώ κατά το τρίτο και τέταρτο τρίμηνο ανατολικές με μέτριες ως ισχυρές (αλλά με μικρότερη συχνότητα από τις αντίστοιχες των άλλων τριμήνων). Στη βόρεια διεύθυνση, η συχνότητα των ισχυρών ανέμων εντείνεται κατά το τρίτο τρίμηνο.

- Θήρα: Καθ΄ όλη τη διάρκεια του έτους, επικρατούν οι βόρειες έως νοτιοδυτικές διευθύνσεις. Νότιες έως ανατολικές διευθύνσεις παρατηρούνται κατά το πρώτο και τέταρτο τρίμηνο του έτους, με ασθενείς έως ισχυρές εντάσεις, ενώ στα άλλα δύο τρίμηνα ανατολικές, με έως μέτριες εντάσεις και με χαμηλή συχνότητα εμφάνισης.

- Σάμος: Στη Σάμο, η εμφάνιση ανέμων βόρειων διευθύνσεων παρατηρείται σταθερά καθ΄ όλη τη διάρκεια του έτους. Άνεμοι νοτιοανατολικών έως νοτιοδυτικών διευθύνσεων παρατηρούνται ταυτόχρονα (αλλά σε μικρότερη συχνότητα από την αντίστοιχη των βόρειων) κατά το πρώτο και τέταρτο τρίμηνο. Οι άνεμοι αυτοί μειώνονται κατά το δεύτερο τρίμηνο και σχεδόν εξαφανίζονται στο τρίτο. Όσον αφορά την ένταση των πνεόντων ανέμων, επικρατούν κυρίως οι ασθενείς έως μέτριες εντάσεις, ενώ οι ισχυρές παρατηρούνται πολύ αραιά και με ελαφρά υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης στο πρώτο τρίμηνο.

- Ρόδος: Η Ρόδος παρουσιάζει μία ιδιαίτερη μεταβλητότητα όσον αφορά τις επικρατούσες διευθύνσεις κατά τη διάρκεια του έτους. Κατά το πρώτο και τέταρτο τρίμηνο, επικρατούν οι βορειοδυτικές έως νοτιοδυτικές και οι ανατολικές έως νοτιοανατολικές διευθύνσεις. Κατά το δεύτερο και τρίτο τρίμηνο, αυτές περιορίζονται στις δυτικές έως νοτιοδυτικές διευθύνσεις. Οι επικρατούσες εντάσεις είναι ασθενείς έως μέτριες σε όλη τη διάρκεια του έτους, χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές στα ποσοστά επικράτησης και με μη αξιοσημείωτη εμφάνιση ισχυρών ανέμων.

- Κάρπαθος: Η Κάρπαθος παρουσιάζει μία ιδιαίτερη σταθερότητα όσον αφορά τη διεύθυνση των ανέμων, οι οποίοι πνέουν από τα βορειοδυτικά σε όλη τη διάρκεια του έτους. Όσον αφορά την ένταση, σημειώνονται ισχυροί άνεμοι καθ΄ όλο το έτος. Η συχνότητά τους λαμβάνει την ελάχιστη τιμή της στο τέταρτο τρίμηνο, εντείνεται στο δεύτερο και αποκτά τη μέγιστη τιμή της στο τρίτο τρίμηνο (τετραπλάσια σε σχέση με την τιμή του τέταρτου τριμήνου).



Εικόνα 2.8 Χάρτες ροδογραμμάτων Αιγαίου Πελάγους (ανά τρίμηνο)

- Ηράκλειο: Καθ΄ όλη τη διάρκεια του έτους παρατηρούνται άνεμοι νότιων και βορειοδυτικών διευθύνσεων. Ωστόσο, κατά το πρώτο και τέταρτο τρίμηνο, οι νότιες διευθύνσεις υπερτερούν σε συχνότητα εμφάνισης των βορειοδυτικών, κατάσταση η οποία αντιστρέφεται κατά το δεύτερο και τρίτο τρίμηνο. Οι ισχυροί άνεμοι εμφανίζονται σε χαμηλά ποσοστά, με την υψηλότερη συχνότητα εμφάνισής τους να παρουσιάζεται στο πρώτο και με τη χαμηλότερη στο τρίτο τρίμηνο του έτους.

2.5.4. Ετήσια κατανομή μέγιστης έντασης ανέμου

Τα ανεμολογικά δεδομένα που αναλύθηκαν στις προηγούμενες υποπαραγράφους αναφέρονται στις ανά τρίωρο καταγεγραμμένες τιμές της διεύθυνσης και έντασης του πνέοντος ανέμου για τους δέκα σταθμούς. Ακολούθως, αναλύονται τα δεδομένα των αντίστοιχων μέγιστων καταγεγραμμένων τιμών τριώρου, για τα οποία βέβαια δεν διατίθεται η παράμετρος της διεύθυνσης. Στο διάγραμμα της Εικόνας 2.9, απεικονίζονται συγκεντρωτικά οι κατανομές της ετήσιας επικράτησης των μέγιστων καταγεγραμμένων ανά σταθμό ανέμων, με βάση τα δεδομένα της περιόδου 2000 έως και 2016. Τα δεδομένα έχουν ομαδοποιηθεί με χρήση της κλίμακας Beaufort και σύμφωνα με το διάγραμμα εντοπίζονται τα ακόλουθα σημεία :

- Στους σταθμούς του βόρειου Αιγαίου, η πλειοψηφία των μέγιστων καταγεγραμμένων ανέμων τριώρου αφορούν τις ασθενείς εντάσεις (1-3 bf), οι οποίες επικρατούν σε ετήσια βάση σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 33% και 40%. Στους σταθμούς των Κυκλάδων και του ανατολικού Αιγαίου, καταγράφονται περίπου αντίστοιχα ποσοστά ετήσιας επικράτησης (34% με 36%), τα οποία ωστόσο αφορούν μέτριες έως και ισχυρές εντάσεις (5-6 bf). Τέλος για τους σταθμούς της Ρόδου και του Ηρακλείου κυριαρχούν ισόποσα οι μέτριες - ισχυρές με τις σχεδόν μέτριες εντάσεις σε ποσοστά περί το 35%.

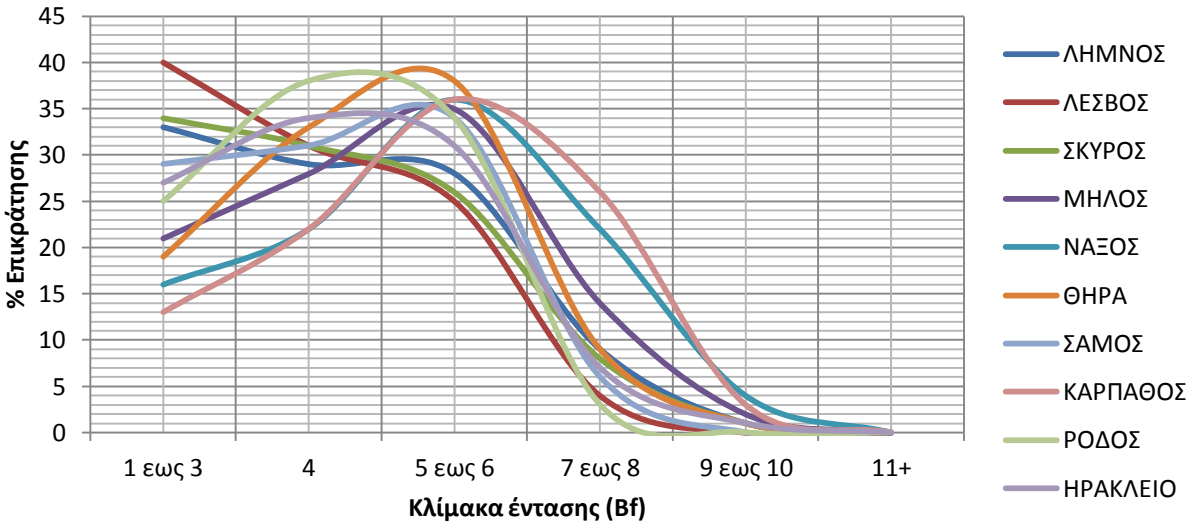
- Οι σταθμοί της Καρπάθου και της Νάξου παρουσιάζουν με διαφορά την υψηλότερη ποσοστιαία ετήσια επικράτηση (26% και 22% αντίστοιχα) θυελλωδών ανέμων (7-8 bf), με τον σταθμό της Μήλου να ακολουθεί με ποσοστό 14%. Οι υπόλοιποι σταθμοί κυμαίνονται σε ποσοστά μικρότερα του 9%, με τους σταθμούς της Ρόδου και της Λέσβου να παρουσιάζουν ποσοστά της τάξης μόλις του 3%.

- Οι σταθμοί της Καρπάθου και της Νάξου παρουσιάζουν αντίστοιχα και τα υψηλότερα ποσοστά επικράτησης ανέμων με ένταση θυέλλης (9-10 bf). Ωστόσο, σε αντίθεση με τα ποσοστά επικράτησης των θυελλωδών ανέμων, η Νάξος προηγείται της Καρπάθου με αντίστοιχα ποσοστά 4% και 3%.

- Σε όλους τους σταθμούς έχουν καταγραφεί περιπτώσεις όπου οι μέγιστες εντάσεις ανέμου αντιστοιχούν σε κλίμακες σφοδρής θύελλας και τυφώνα (>11 Bf), ωστόσο ο αριθμός τους συνιστά σχεδόν μηδενικά ετησιοποιημένα ποσοστά επικράτησης, που δεν είναι διακριτά στο διάγραμμα.

- Ο σταθμός της Καρπάθου παρουσιάζει τις ισχυρότερες ανεμολογικές συνθήκες σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς, ενώ οι αντίστοιχοι της Ρόδου και της Λέσβου παρουσιάζουν τις ασθενέστερες.

- Οι σταθμοί των Κυκλάδων παρουσιάζουν τις ισχυρότερες ανεμολογικές συνθήκες στο σύνολο τους, σε σχέση με τις υπόλοιπες ομάδες των σταθμών (όπως έχουν καθοριστεί στην παρούσα εργασία).



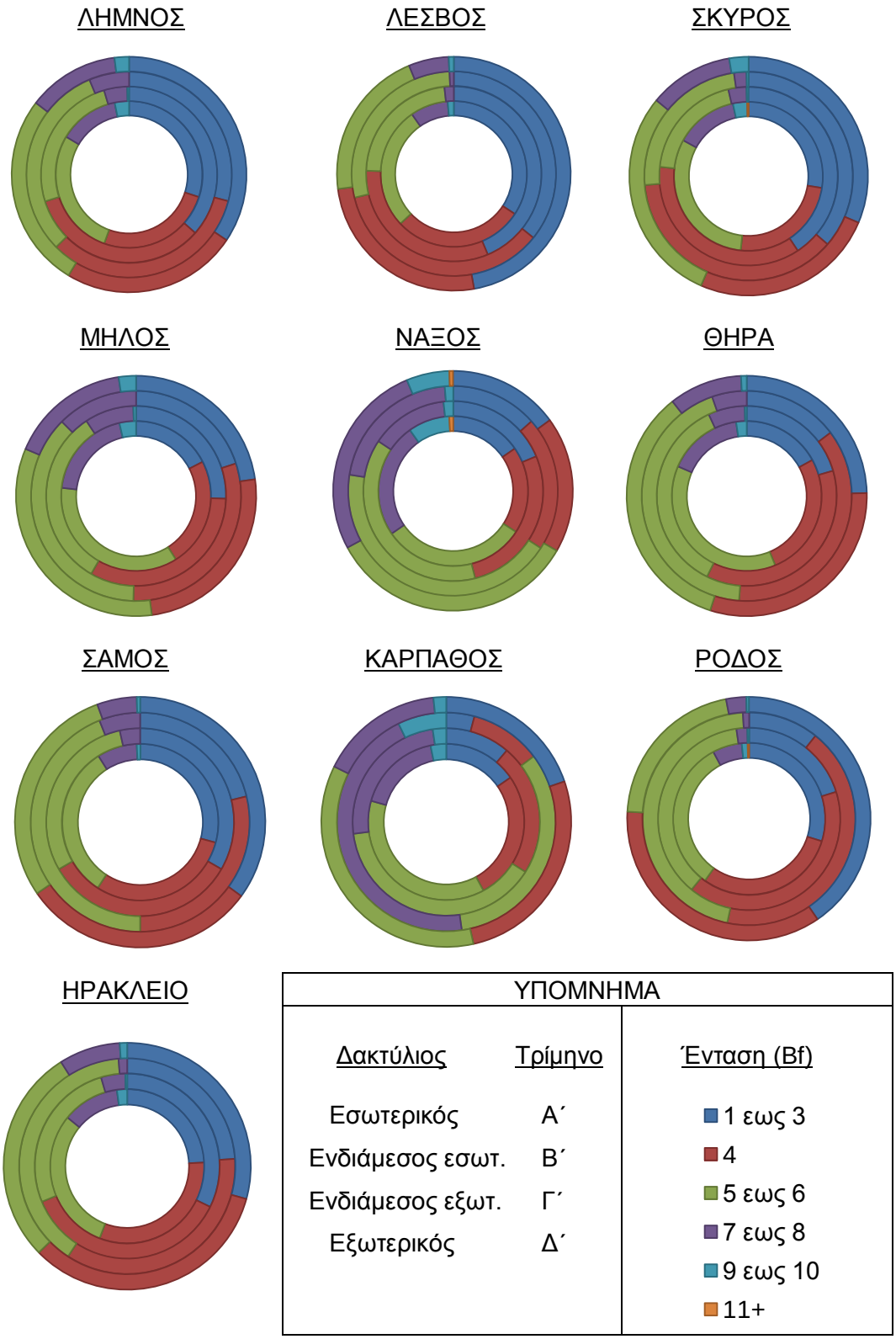
Εικόνα 2.9 Επικράτηση (ετήσια) μέγιστων τιμών ανέμου

2.5.5. Εποχική κατανομή μέγιστης έντασης ανέμου

Στην Εικόνα 2.10, απεικονίζονται ανά σταθμό τα ετήσια ποσοστά επικράτησης των μέγιστων καταγεγραμμένων εντάσεων τριώρου για κάθε τρίμηνο του έτους, με βάση τα δεδομένα της περιόδου 2000 έως και 2016. Για την απεικόνιση των ποσοστών επικράτησης, χρησιμοποιήθηκε για κάθε σταθμό ένα διάγραμμα, το οποίο αποτελείται από τέσσερεις ομόκεντρους κυκλικούς δακτυλίους. Ο κάθε δακτύλιος απεικονίζει ένα τρίμηνο του έτους, με τον εσωτερικό να αντιστοιχεί στο πρώτο τρίμηνο και τον εξωτερικό να αντιστοιχεί στο τέταρτο. Το σύνολο της περιφέρειας του κάθε δακτυλίου, αντιστοιχεί σε ποσοστό 100% και αντίστοιχα κάθε τεταρτημόριο στο 25%. Σύμφωνα με τα δεδομένα των διαγραμμάτων και με έμφαση στις ισχυρές και άνω εντάσεις, εντοπίζονται ακόλουθα σημεία :

- Οι σταθμοί του βόρειου Αιγαίου, των Κυκλάδων και του βόρειου Κρητικού Πελάγους παρουσιάζουν μία ομοιομορφία ως προς τη διακύμανση της επικράτησης των εντάσεων των μέγιστων ανέμων κατά τη διάρκεια των τεσσάρων τριμήνων. Η επικράτηση των ισχυρών και πλέον ανέμων λαμβάνει τις μέγιστες τιμές της κατά το πρώτο και τελευταίο τρίμηνο του έτους, με σχεδόν παραπλήσια ποσοστά ανά κατηγορία εντάσεως. Στο δεύτερο και τρίτο τρίμηνο παρατηρείται ενίσχυση της επικράτησης των ασθενέστερων ανέμων, με την επικράτηση των σφοδρών και άνω εντάσεων (>7 bf) να περιορίζεται στο ½ έως ¼ των αντίστοιχων τιμών των άλλων τριμήνων.

- Οι σταθμοί του ανατολικού Αιγαίου αποκλίνουν από το παραπάνω μοτίβο. Οι μέτριες έως ισχυρές εντάσεις αποκτούν τη μέγιστη επικράτησή τους στο τρίτο τρίμηνο του έτους. Όσον αφορά τις σφοδρές και άνω εντάσεις, στον σταθμό της Καρπάθου αυτές επικρατούν σε ποσοστό άνω του 50%, ενώ κατά τα υπόλοιπα τρίμηνα πνέουν με σχεδόν ισόποσες κατανομές. Την ίδια κατανομή ακολουθούν και οι θυελλώδεις άνεμοι. Οι άλλοι δύο σταθμοί δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες διακυμάνσεις στους ανέμους ισχυρών εντάσεων μεταξύ των τριμήνων, με εξαίρεση την ελαφριά αύξηση του ποσοστού τους κατά το πρώτο τρίμηνο.



Εικόνα 2.10 Επικράτηση (ανά τρίμηνο) μέγιστων τιμών ανέμου

- Αξιοσημείωτα ποσοστά επικράτησης ανέμων κλίμακας σφοδρής θύελλας και άνω παρατηρούνται στους σταθμούς της Μήλου (0,9% κατά το πρώτο τρίμηνο και 0,5% κατά το τέταρτο), της Σκύρου και της Ρόδου (0,3% κατά το πρώτο τρίμηνο σε αμφότερους τους σταθμούς).

2.5.6. Εκτίμηση ακραίου ανέμου με περίοδο επαναφοράς 20, 50 και 100 ετών

Όπως προαναφέρθηκε, ο υπολογισμός των περιόδων επαναφοράς του ακραίου ανέμου στο Αιγαίο Πέλαγος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μεθόδου «Annual Maxima». Η θεωρία και τα βήματα της εφαρμογής της μεθόδου περιγράφονται στο Παράρτημα Α. Τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου αντλήθηκαν από τις μέγιστες εντάσεις τριώρου για κάθε σταθμό της βάσης δεδομένων της Ε.Μ.Υ.. Στο Παράρτημα Β και για καθέναν από τους δέκα σταθμούς της μελέτης, απεικονίζονται σε πίνακα οι μέγιστες μηνιαίες και οι μέγιστες ετήσιες καταγεγραμμένες τιμές ανέμου για το σύνολο της χρονικής περιόδου από το έτος 2000 έως το έτος 2016, ενώ στον Πίνακα 2-3 απεικονίζονται μόνο οι μέγιστες ετήσιες τιμές. Η καθεμία στήλη του Πίνακα 2-3 αποτέλεσε τη βάση δεδομένων για την εφαρμογή της μεθόδου «Annual Maxima» στον υπολογισμό των περιόδων επαναφοράς του ακραίου ανέμου για τον αντίστοιχο σταθμό. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου για τον υπολογισμό των περιόδων επαναφοράς του ακραίου ανέμου για τα 20, 50 και 100 έτη παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-4, ενώ τα ενδιάμεσα προϊόντα της μεθόδου, που σχετίζονται με τον υπολογισμό και την εγκυρότητα της μεθόδου (όπως οι προκύπτουσες τιμές των συντελεστών της GEV, τα Q-Q τα plots, Return level plots κ.α.), παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β.

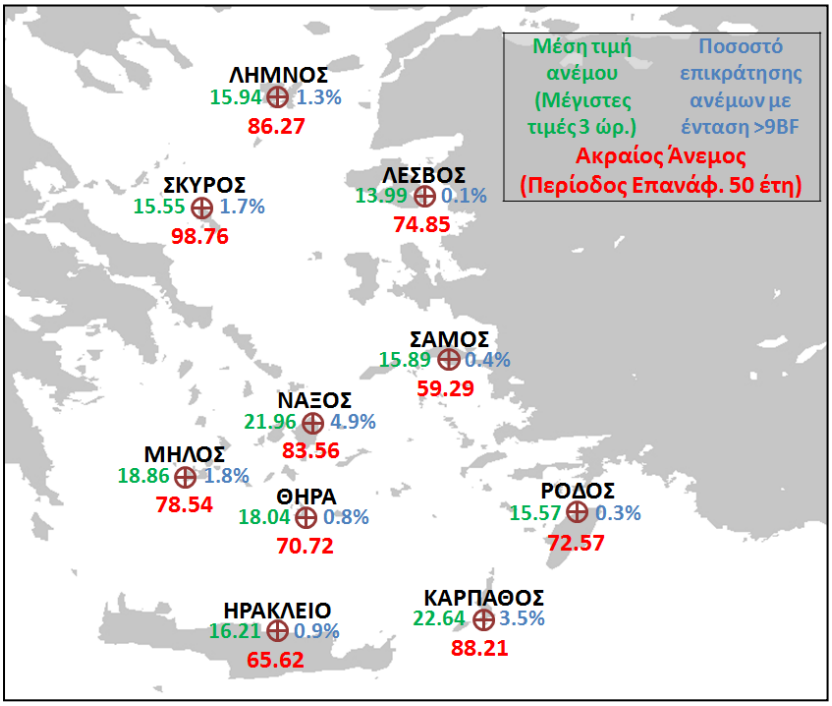
Πίνακας 2-3 Μέγιστες ετήσιες τιμές ανέμου ανά σταθμό

Έτος	ΛΗΜΝΟΣ	ΛΕΣΒΟΣ	ΣΚΥΡΟΣ	ΝΑΞΟΣ	ΘΗΡΑ	ΜΗΛΟΣ	ΡΟΔΟΣ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΣΑΜΟΣ
2000	48	57	55	70	45	53	50	54	55	49
2001	59	57	60	56	60	58	56	75	59	52
2002	63	69	60	60	82	50	62	50	44	51
2003	56	80	56	68	58	52	72	56	59	54
2004	90	60	82	80	58	99	63	63	52	55
2005	55	55	70	57	59	50	58	60	59	45
2006	60	49	66	69	48	66	52	50	60	45
2007	52	51	54	69	55	44	58	80	60	46
2008	78	54	56	64	52	48	58	52	55	60
2009	73	52	49	52	51	50	68	48	58	46
2010	50	53	55	65	47	45	70	50	61	47
2011	64	45	60	62	46	47	56	56	52	53
2012	56	54	92	62	48	58	60	61	53	49
2013	60	47	97	57	51	61	60	90	54	43
2014	54	48	55	52	55	47	54	84	42	37
2015	70	65	96	65	52	58	48	51	57	48
2016	60	51	64	63	49	62	44	57	60	45

Πίνακας 2-4 Εκτίμηση ακραίου ανέμου με περίοδο επαναφοράς 20, 50 και 100 ετών

Σταθμός	Περίοδος επαναφοράς					
	20 έτη		50 έτη		100 έτη	
	Ένταση [κόμβοι]	Δ/μα Εμπ. 95%	Ένταση [κόμβοι]	Δ/μα Εμπ. 95%	Ένταση [κόμβοι]	Δ/μα Εμπ. 95%
Λήμνος	**79,29597**	± 10,35411	**86,27475**	± 12,92197	**91,50437**	± 14,87671
Λέσβος	**69,41118**	± 8,09501	**74,85473**	± 10,11008	**78,93390**	± 11,64393
Σκύρος	**89,43124**	± 14,44398	**98,76161**	± 18,11195	**105,75340**	± 20,90067
Νάξος	**77,85187**	± 8,13839	**83,56079**	± 10,09656	**87,83881**	± 11,58896
Θήρα	**65,91181**	± 7,19412	**70,72801**	± 8,99699	**74,33707**	± 10,36918
Μήλος	**71,97777**	± 9,90562	**78,54064**	± 12,41338	**83,45859**	± 14,32154
Ρόδος	**70,06273**	± 5,2932	**72,57091**	± 7,21025	**74,05440**	± 8,91647
Κάρπαθος	**80,38701**	± 12,13356	**88,20640**	± 15,21675	**94,06593**	± 17,56072
Ηράκλειο	**63,65845**	± 1,92285	**64,61700**	± 2,04185	**65,09107**	± 2,25718
Σάμος	**57,32484**	± 3,77296	**59,29154**	± 4,79852	**60,48164**	± 5,73409

Στην Εικόνα 2.11, αποτυπώνεται σε χάρτη και ανά σταθμό ο αντίστοιχος ακραίος άνεμος με περίοδο επαναφοράς 50 ετών, σε συνδυασμό με τη μέση τιμή του μέγιστου ανέμου τριώρου και του ποσοστού της επικράτησης θυελλωδών ανέμων.



Εικόνα 2.11 Ανεμολογικός χάρτης ακραίου ανέμου Αιγαίου Πελάγους

Κεφάλαιο 3.

Ναυτικά ατυχήματα

3.1. Ορισμός ναυτικού ατυχήματος

Τα ναυτικά ατυχήματα εντάσσονται στην κατηγορία των ατυχημάτων μεταφοράς, ως υποσύνολο του ευρύτερου τομέα των τεχνολογικών ατυχημάτων. Ως ναυτικό ατύχημα νοείται κάθε γεγονός που συνδέεται άμεσα με τη λειτουργία ενός πλοίου, που έχει οδηγήσει σε οποιαδήποτε από τις ακόλουθες περιπτώσεις (EMSA, 2009):

- Θάνατο, απώλεια ή σοβαρό τραυματισμό προσωπικού.
- Απώλεια ή η εγκατάλειψη του πλοίου.
- Υλικές ζημιές σε πλοίο ή σε θαλάσσια υποδομή.
- Προσάραξη ή αδυναμία λειτουργίας του πλοίου ή συμμετοχή του πλοίου σε περιστατικό σύγκρουσης.
- Πρόκληση (ή δυνητική πρόκληση) σοβαρών συνεπειών για το περιβάλλον, ένεκα ζημίας του πλοίου.

3.2. Κατηγοριοποίηση ναυτικών ατυχημάτων

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Ν.4033/2011) τα ναυτικά ατυχήματα και συμβάντα κατατάσσονται με κριτήριο τις συνέπειές τους στην ανθρώπινη ζωή, στο περιβάλλον και στα ίδια τα πλοία. Στο σύνολο τους, διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες (ΦΕΚ 264 Α, 2011):

- «Πολύ σοβαρό Ναυτικό Ατύχημα» (Very Serious Casualty): Είναι το ατύχημα το οποίο έχει ως συνέπεια την ολική απώλεια πλοίου ή τον θάνατο ατόμου ή την πολύ σοβαρή ζημιά στο περιβάλλον. Ως συνέπεια σοβαρότατης ζημιάς στο περιβάλλον εκλαμβάνεται η ρύπανση, η οποία, όπως εκτιμάται από το επηρεαζόμενο παράκτιο Κράτος ή Κράτη ή τη Διοίκηση του Κράτους σημαίας κατά περίπτωση, προκαλεί μείζονα επιβλαβή επίδραση στο περιβάλλον ή θα προκαλούσε τέτοια επίδραση χωρίς τις ενέργειες πρόληψης.
- «Σοβαρό ναυτικό ατύχημα» (Serious Casualty): Είναι το ατύχημα σε πλοίο, το οποίο δεν κατηγοριοποιείται ως «πολύ σοβαρό» και αφορά σε πυρκαγιά, έκρηξη, σύγκρουση, προσάραξη, επαφή, σοβαρή ζημιά λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών, ζημιά λόγω πάγου, ρωγμές στο κύτος ή πιθανό ελάττωμα στο εξωτερικό περίβλημα (κύτος) του πλοίου, με αποτέλεσμα:

- Την ακινητοποίηση των κύριων μηχανών, εκτεταμένη ζημιά στους χώρους ενδιαίτησης, σοβαρότατη κατασκευαστική ζημιά, όπως εισροή υδάτων από τα ύφαλα κ.τ.λ., καθιστώντας το πλοίο ακατάλληλο να συνεχίσει λόγω της κατάστασής του, η οποία δεν είναι σύμφωνη με τις διεθνείς συμβάσεις, εμφανίζοντας κίνδυνο για το πλοίο, τους επιβαίνοντες ή απειλή βλάβης στο θαλάσσιο περιβάλλον.
- Τη ρύπανση ασχέτως της ποσότητας.
- Τη μηχανική βλάβη, η οποία απαιτεί ρυμούλκηση ή αρωγή από την ξηρά.

- «Ναυτικό Συμβάν» (Marine Incident) : Είναι κάθε συμβάν ή ακολουθία συμβάντων που δεν εμπίπτουν στις παραπάνω περιπτώσεις, τα οποία συνέβησαν σε άμεση σχέση με τις λειτουργίες ενός πλοίου και που έθεσαν σε κίνδυνο ή θα έθεταν σε κίνδυνο (εάν δεν διορθώνονταν) την ασφάλεια ενός πλοίου, των επιβαινόντων σε αυτό ή οποιουδήποτε άλλου προσώπου ή του περιβάλλοντος. Εντούτοις, το ναυτικό συμβάν δεν περιλαμβάνει τις σκόπιμες ενέργειες ή παραλείψεις, με την πρόθεση πρόκλησης βλάβης στην ασφάλεια ενός πλοίου, ενός ατόμου ή του περιβάλλοντος.

3.3. Συνέπειες ναυτικού ατυχήματος

Τα ναυτικά ατυχήματα αποτελούν μία δυνητική απειλή κατά της ανθρώπινης ζωής. Η απειλή αυτή δεν περιορίζεται μόνο στη φάση της εκδήλωσης ή της εξέλιξης ενός ατυχήματος (π.χ. τραυματισμός από τις επιταχύνσεις που μπορεί να αναπτυχθούν σε μία σύγκρουση ή πνιγμός λόγω εγκλωβισμού σε βυθιζόμενο πλοίο) αλλά και από τη δυνατότητα της επιβίωσης του εμπλεκόμενου προσωπικού μέχρι την έναρξη ή και κατά την εξέλιξη της διαδικασίας της έρευνας και διάσωσής του. Ο αντίκτυπος των συνεπειών στην ανθρώπινη ζωή, πέραν από το είδος και τη σφοδρότητα του ατυχήματος, εξαρτώνται και από το πλήθος του επιβιβαζόμενου προσωπικού και το επίπεδο της εκπαίδευσής του στις διαδικασίες αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών και επιβίωσης. Προφανώς και ένα κρουαζιερόπλοιο με πολλούς επιβάτες, οι οποίοι δεν θα έχουν την κατάλληλη εκπαίδευση σε αυτού του είδους τις διαδικασίες, διατρέχει αυξημένο κίνδυνο στο να παρουσιάσει υψηλές απώλειες σε ανθρώπινες ζωές και τραυματισμούς, ως συνέπεια ενός σοβαρού ναυτικού ατυχήματος. Σημαντική είναι επίσης η απειλή των ναυτικών ατυχημάτων απέναντι στο θαλάσσιο οικοσύστημα και στο περιβάλλον. Η εκδήλωσή τους ενδέχεται να προκαλέσει τη μόλυνση των θαλασσών, λόγω της διαρροής των καυσίμων και των λιπαντικών του προωστήριου σκεύους των πλοίων καθώς και των στερεών αποβλήτων, των λυμάτων και των χημικών ουσιών του φόρτου τους (π.χ. απορρυπαντικά, χρώματα, διαλύτες). Ωστόσο, η μεταφορά επικίνδυνων για την υγεία φορτίων (χημικών, ραδιενεργών, βιολογικών κ.τ.λ.) αποτελεί τον μεγαλύτερο κίνδυνο στον χώρο των μεταφορών (Λέκκας & Ανδρεαδάκης, 2015). Η διαρροή του επικίνδυνου φορτίου των εμπορικών πλοίων στη θάλασσα ενδέχεται να αποτελέσει την αιτία συντέλεσης μίας σημαντικής οικολογικής καταστροφής.

3.4. Πρόκληση ναυτικών ατυχημάτων

3.4.1. Αίτια

Τα αίτια που δύνανται να προκαλέσουν ένα ναυτικό ατύχημα είναι συνήθως πολυσύνθετα και πολυπαραγοντικά. Οι σύγχρονες προδιαγραφές ασφαλείας, σχεδίασης, ναυπήγησης και επιχειρησιακής εκμετάλλευσης των επιβατικών και εμπορικών πλοίων τα καθιστούν θεωρητικά απολύτως ασφαλή και αξιόπλοα. Η φυσική ασφάλεια των πλοίων και του προσωπικού στη θάλασσα αποτελεί μία από τις κύριες ανησυχίες του κλάδου της ναυτιλίας και, ταυτόχρονα, τομέα έρευνας και εξέλιξης, με τον οποίο ασχολούνται όλοι οι εμπλεκόμενοι με τον κλάδο φορείς. Από τη σχεδίαση και την κατασκευή των πλοίων μέχρι την εκπόνηση των διαδικασιών λειτουργίας και επίβλεψης σε ατομικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο, οι φορείς αυτοί επενδύουν διαρκώς στην επαύξηση της ασφάλειας της ναυσιπλοΐας, αποσκοπώντας στη μείωση της διακινδύνευσης των ναυτικών ατυχημάτων.

Οι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν ένα ναυτικό ατύχημα ποικίλλουν και συχνά δεν μπορούν να προβλεφθούν. Αν επιχειρούνταν μία ομαδοποίησή τους σε γενικές κατηγορίες, θα διακρίναμε τις ακόλουθες (Akten, 2006) :

- Φυσικές συνθήκες. Μπορεί να περιλαμβάνουν φυσικά φαινόμενα, όπως η παλίρροια και τα παλιρροιακά ρεύματα, οι ισχυροί άνεμοι, η κακή ορατότητα, το σκοτάδι κ.τ.λ., που μπορούν να επηρεάσουν το ίδιο το πλοίο ή το προσωπικό που το ελέγχει.

- Τεχνικές αστοχίες. Μπορεί να συμβούν τόσο εντός του πλοίου, όπως η διάβρωση, οι τεχνικές βλάβες σε κρίσιμα συστήματα (διεύθυνσης, πρόωσης) ή η αστοχία του κύτους που ενδέχεται να προκύψει από την ελαττωματική κατασκευή ή ακατάλληλη χρήση υλικών, όσο και στις εγκαταστάσεις στην ξηρά, όπως τα επίγεια ναυτιλιακά βοηθήματα.

- Συνθήκες ναυτιλιακής διαδρομής. Μπορεί να περιλαμβάνουν σφάλματα στην πλοήγηση, ναυτιλιακά σφάλματα, εκτέλεση πλου σε περιορισμένα ύδατα, ύπαρξη πυκνής θαλάσσιας κυκλοφορίας και κινδύνων ναυσιπλοΐας (ξέρες, ύφαλοι, ναυάγια κ.τ.λ.).

- Παράγοντες σχετιζόμενοι με το πλοίο. Μπορεί να περιλαμβάνουν τις εγγενείς αδυναμίες του πλοίου, όπως π.χ. το μεγάλο εκτόπισμα και μέγεθος, που του προσδίδουν μικρά ελικτικά στοιχεία, μειώνοντας τη δυνατότητα της εκτέλεσης δραστικών ελιγμών.

- Ανθρώπινος παράγοντας. Μπορεί να περιλαμβάνει – μεταξύ άλλων – την έλλειψη επαρκών γνώσεων και εμπειρίας του πληρώματος, τεχνικές αδυναμίες, κακή επίγνωση καταστάσεως (situational awareness), τη μη τήρηση / παρέκκλιση επί των θεσπισμένων κανόνων και διαδικασιών, τον κακό χειρισμό του πλοίου, την κόπωση και έλλειψη εγρήγορσης του προσωπικού, τη μη τήρηση των περιόδων ανάπαυσης του προσωπικού (crew rest) κ.τ.λ..

- Παράγοντες που σχετίζονται με το φορτίο. Μπορεί να περιλαμβάνουν την μεταφορά επικίνδυνων και βαρέων φορτίων (π.χ. λάδια, χημικά, πυρηνικές ουσίες), την κακή φόρτωση ή τη μετατόπιση του φορτίου κατά τον πλου

(αλλάζοντας τα χαρακτηριστικά πλοϊμότητας / ζύγισης του πλοίου), τις διατάξεις φύλαξης του φορτίου κ.τ.λ..

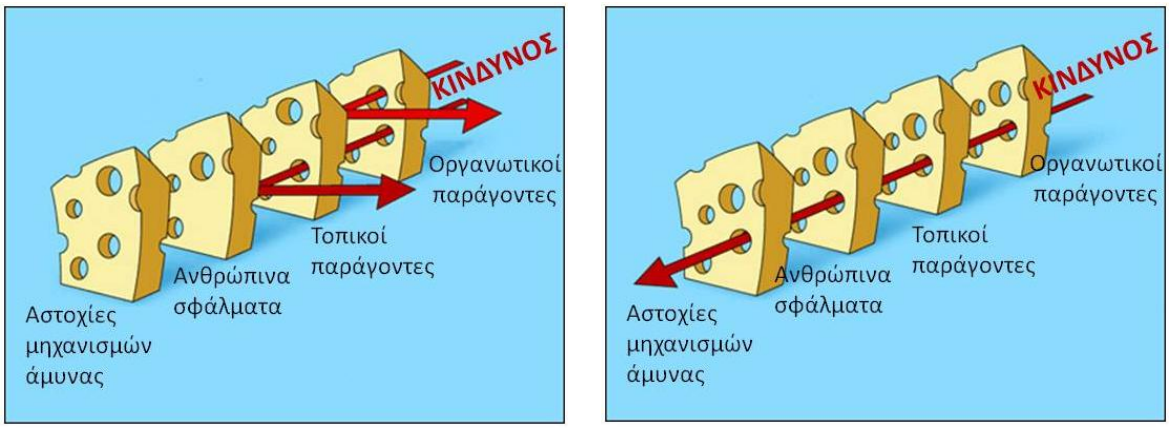
3.4.2. Μηχανισμός πρόκλησης

Στην προηγούμενη παράγραφο, αναφέρθηκαν οι παράγοντες που δύνανται να προκαλέσουν ένα ναυτικό ατύχημα. Ωστόσο, όπως αποδεικνύεται στην πράξη και όπως προκύπτει από τις περισσότερες διερευνήσεις ναυτικών ατυχημάτων, οι λόγοι για τους οποίους προκαλείται ένα ναυτικό ατύχημα είναι σπανίως μονοσήμαντοι. Άλλωστε, όπως προαναφέρθηκε, η διαρκής συντελούμενη εξέλιξη και εμβάθυνση στις θεωρητικές και πρακτικές επιστήμες, σε συνδυασμό με τη φυσική επαύξηση της εμπειρίας των οργανισμών και του προσωπικού που σχετίζεται με την παγκόσμια ναυτιλία, επιτρέπει τη διαρκή τεχνολογική βελτιστοποίηση των ναυτικών κατασκευών (πλοία, τεχνικός εξοπλισμός υποστήριξη), τη θέσπιση ασφαλών διαδικασιών (συνεργασία πληρώματος - Crew Resource Management, διαδικασίες λειτουργίας - Standard Operating Procedures, διαδικασίες αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών - Emergency Procedures) και την εξέλιξη των διαδικασιών επίβλεψης και εκπαίδευσης. Συνήθως, ένα ναυτικό ατύχημα έχει περισσότερες από μία αιτίες. Η εκδήλωση του αποτελεί την τελική έκβαση μίας αλληλουχίας γεγονότων, η οποία ξεκινά από ένα έναυσμα (κίνδυνο) που ακολουθείται από πιθανές παραλείψεις, ατυχείς χειρισμούς, αποτυχίες εφαρμογής διατάξεων ασφαλείας και από τη σύμπτωση επιπλέον επιβαρυντικών γεγονότων.

Όλα τα παραπάνω περιγράφονται συγκεντρωτικά από το μοντέλο πρόκλησης ατυχημάτων που διατυπώθηκε από τον James Reason (Reason, 1990), το γνωστό και ως μοντέλο του «ελβετικού τυριού». Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα από τα παρόμοιου τύπου μοντέλα που έχουν διατυπωθεί κατά καιρούς και είναι διαθέσιμα στη διεθνή βιβλιογραφία (ενδεικτικά αναφέρονται τα μοντέλα «Domino», «SHEL», «STAMP» κ.α.). Τα μοντέλα αυτά συνδυάζουν τα γεγονότα και τους παράγοντες που επιτρέπουν και τελικά οδηγούν στην εκδήλωση ενός ατυχήματος. Το συγκεκριμένο μοντέλο του Reason δέχεται ότι τα περισσότερα ατυχήματα μπορούν να προσδιοριστούν σε τέσσερα επίπεδα αστοχιών τα οποία σχετίζονται με (Cassama, 2015) :

- Οργανωτικούς παράγοντες (όπως ο έλεγχος και ο προγραμματισμός).
- Τοπικούς παράγοντες (όπως η αδικαιολόγητη πίεση χρόνου και οι δυσμενείς συνθήκες του περιβάλλοντος εργασίας).
- Ανθρώπινα σφάλματα (όπως οι εσφαλμένοι χειρισμοί και αποφάσεις).
- Αστοχία μηχανισμών άμυνας (όπως η αποτυχία λειτουργίας μηχανισμών πρόληψης και ελέγχου).

Το κάθε επίπεδο αναπαριστάται από μία φέτα ελβετικού τυριού, οι τρύπες του οποίου αντιπροσωπεύουν μεμονωμένες αδυναμίες σε μεμονωμένα μέρη του συστήματος και οι οποίες ποικίλλουν διαρκώς σε μέγεθος και θέση. Κατά αντιστοιχία, οι φέτες του τυριού αποτελούν μία σειρά από εμπόδια, που αντιπροσωπεύουν την άμυνα ενός οργανισμού στην αποτυχία. Το σύστημα στο σύνολό του παράγει αποτυχίες όταν οι τρύπες όλων των φετών στιγμιαία ευθυγραμμίζονται, επιτρέποντας έτσι τη δημιουργία μιας τροχιάς ευκαιρίας, ώστε ένας κίνδυνος να μπορέσει να περάσει μέσα από τις τρύπες σε όλες τις άμυνες, οδηγώντας στην εκδήλωση ενός ατυχήματος (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1 Μοντέλο πρόκλησης ατυχημάτων του J. Reason (Reason, 1990)

Ως εκ τούτου, οι καιρικές συνθήκες από μόνες τους δεν μπορούν να αποτελέσουν τη μοναδική αιτία πρόκλησης ενός ναυτικού ατυχήματος. Μπορούν, όμως, να αποτελέσουν τη γενεσιουργό αιτία στην αλυσίδα της πρόκλησής του, δηλαδή τον κίνδυνο ή τον ενισχυτικό παράγοντα (ή έναν από τους ενισχυτικούς παράγοντες) στη διαδικασία της εξέλιξής του. Για να γίνει πιο κατανοητό, θα εξεταστεί η πρόκληση ενός ναυτικού ατυχήματος από τον ακραίο άνεμο, ο οποίος προκάλεσε τη θραύση των ιστίων ενός ιστιοφόρου που εν συνεχεία κατέληξε σε ακυβερνησία και εν τέλει προσάραξε σε αβαθή, λόγω της αδυναμίας ελέγχου του σκάφους με την κύρια μηχανή του. Ως ο κίνδυνος από τον οποίο προκλήθηκε το ατύχημα προσδιορίζεται ο ακραίος άνεμος. Ωστόσο όμως στην εκδήλωση και εξέλιξη του ατυχήματος διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο το ότι :

- Σε οργανωτικό επίπεδο δεν εκτελέστηκε σωστός σχεδιασμός του πλου που οδήγησε στην υπέρβαση των ορίων ασφαλούς λειτουργίας του σκάφους. Ενδεχομένως αυτό το γεγονός να οφειλόταν στην ελλιπή εκπαίδευση του πληρώματος, ενώ πιθανώς να μην είχε εκτελεστεί και η προβλεπόμενη συντήρηση του υλικού, που οδήγησε στην αστοχία του.

- Σε τοπικό επίπεδο, οι ακραίες καιρικές συνθήκες δημιούργησαν ένα φορτικό περιβάλλον για το πλήρωμα, επηρεάζοντας την ευεξία και την κρίση του, ενώ ο πλους πλησίον της ακτογραμμής εγκυμονούσε την πιθανότητα πρόσκρουσης / προσάραξης, σε αντίθεση με τον πλου στην ανοιχτή θάλασσα.

- Εκτελέστηκαν πιθανοί εσφαλμένοι χειρισμοί του σκάφους από το πλήρωμα ή επιλέχτηκε μίας πορεία πλεύσης που να μεγιστοποίησε τις αεροδυναμικές φορτίσεις στους ιστούς (ανθρώπινα σφάλματα). Ταυτόχρονα, λήφθηκε η απόφαση εξακολούθησης του πλου υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες, αντί της επιλογής του απαγγιάσματος σε έναν ασφαλή όρμο.

- Σημειώθηκε αστοχία των μηχανισμών άμυνας σε θεσμικό επίπεδο καθώς παρατηρήθηκε αδυναμία ελέγχου ή προειδοποίησης του πληρώματος από τον πλοιοκτήτη ή την αρμόδια λιμενική αρχή για αναστολή του απόπλου ή διακοπή του πλου.

Κατ' αντιστοιχία, οι καιρικές συνθήκες μπορεί να μην αποτελούν το έναυσμα ενός ατυχήματος αλλά έναν επιβαρυντικό παράγοντα στην εξέλιξή του, ο οποίος αντί να μετριάζει, αμβλύνει τις συνέπειες του (π.χ. η παρεμπόδιση της διαδικασίας έρευνας διάσωσης μετά από την εγκατάλειψη ενός πλοίου από το πλήρωμα του).

3.4.3. Ο άνεμος ως «ναυπηγικός» παράγοντας εκδήλωσης ναυτικού ατυχήματος

Το θαλάσσιο περιβάλλον και τα καιρικά φαινόμενα που το συνοδεύουν, επηρεάζουν τον τρόπο και τις συνθήκες πλεύσης των πλοίων που δραστηριοποιούνται σε αυτό. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες αλλά κυρίως ο άνεμος και ο κυματισμός (ως συνέπεια των πνέοντων ανέμων) ενδέχεται κατά περίπτωση να δυσχεράνουν το καθεστώς της πλεύσης ενός πλοίου. Η προκαλούμενη αντίσταση του αέρα στις υπερκατασκευές του πλοίου δύναται να προκαλέσει ανεπιθύμητη συμπεριφορά στην πλεύση του, η οποία στην ανοικτή θάλασσα μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα ή εύκολα διαχειρίσιμη, ωστόσο κατά τη φάση της εκτέλεσης ελιγμών σε περιορισμένα ύδατα (π.χ. εντός λιμένων ή στενών διαύλων ναυσιπλοΐας) ενδέχεται να προξενήσει δυσχέρειες στον χειρισμό του πλοίου και να επηρεάσει την ασφάλειά του. Η επαγόμενη αντίσταση του αέρα στις υπερκατασκευές ενός πλοίου είναι ανάλογη του τετραγώνου της σχετικής ταχύτητάς του και της διεύθυνσής του ως προς την προβαλλόμενη επιφάνεια πρόσπτωσής του επί των υπερκατασκευών του (Andersen, 2012). Το εκτόπισμα, η επιφάνεια των εξάλων του και ο αεροδυναμικός συντελεστής που προκύπτει από τα ναυπηγικά του σχέδια καθορίζουν και το μέγεθος της επίδρασης του ανέμου σε αυτό. Τα μεγέθη αυτά για ορισμένους τύπους πλοίων δεν είναι σταθερά, καθώς εξαρτώνται από το μεταφερόμενο εσωτερικό και εξωτερικό φορτίο καθώς και από τον τρόπο της φόρτωσής του. Ένα πλοίο το οποίο πλέει υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες, με έντονη επικράτηση ισχυρών ανέμων και υψηλού κυματισμού, ενδέχεται να αντιμετωπίσει διάφορες επικίνδυνες καταστάσεις, που μπορούν να οδηγήσουν σε ανατροπή ή σε βίαιες κινήσεις και μετατοπίσεις, επηρεάζοντας το ίδιο το σκάφος, τον εξοπλισμό του, το φερόμενο φορτίο και τους επιβαίνοντες σε αυτό. Ακολούθως, περιγράφονται οι πιθανές επικίνδυνες καταστάσεις που μπορεί να αντιμετωπίσει ένα πλοίο, οι οποίες οφείλονται στην αλληλεπίδραση της κίνησής του με τον άνεμο και τον κυματισμό (Wen, et al., 2014).

Υψηλές τιμές διατοιχισμού

Σε γενικές γραμμές, ως υψηλή τιμή διατοιχισμού νοείται η κλίση που μπορεί να λάβει ένα πλοίο ως προς τον διαμήκη του άξονα και η οποία ενδέχεται να οδηγήσει σε ένα από τα ακόλουθα γεγονότα: ανατροπή, μετατόπιση ή απώλεια φορτίου, αστοχία ή υποβαθμισμένη αποτελεσματικότητα λειτουργίας των ζωτικών του συστημάτων ή οποιαδήποτε κατάσταση η οποία δύναται να οδηγήσει σε περαιτέρω αύξηση της γωνίας διατοιχισμού του. Οι λόγοι για την εμφάνιση των υψηλών γωνιών διατοιχισμού σε ένα πλοίο μπορεί να οφείλονται (Benedict, et al., 2009):

- Στη διακύμανση της ναυπηγικής του ευστάθειας κατά τη μετάβαση του από την κορυφή προς την κοίτη ενός κύματος.
- Στη σύμπτωση της φυσικής περιόδου διατοιχισμού του με την περίοδο συνάντησης των κυμάτων.
- Στη μείωση της άθικτης ευστάθειάς του κατά τη διέλευση της κορυφής ενός κύματος από το μεσαίο τμήμα της γάστρας του (μεσόστεγο).

Υψηλές επιταχύνσεις

Ως υψηλές ορίζονται οι προκαλούμενες επιταχύνσεις (και στους τρεις άξονες) που δύνανται να επιφέρουν: μετατόπιση ή μερική καταστροφή του φορτίου, αστοχία ή πρόκληση ζημιών σε ζωτικά συστήματα του πλοίου, δυναμική υπερφόρτωση ζωτικών δομικών τμημάτων του σκελετού του πλοίου και τραυματισμό του πληρώματος ή των επιβατών, και οι οποίες ενδέχεται να επιφέρουν φυσική ζημιά στο πλοίο. Την ίδια στιγμή, μπορούν να επιφέρουν άμεσες επιπτώσεις στη φυσικά ασφάλεια του πληρώματος. Οι Υψηλές

επιταχύνσεις δεν συνεπάγονται αναγκαστικά υψηλές γωνίες διατοιχισμού, και αντιστρόφως. Ακόμα και σχετικά μικρές γωνίες, μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη μεγάλων επιταχύνσεων, εφόσον η ευστάθεια του πλοίου είναι και αυτή υψηλή (δημιουργία υψηλών δυνάμεων επαναφοράς).

«Καβάλημα» κυματισμού

Αυτή η κατάσταση μπορεί να εμφανιστεί κατά τον πλου ενός πλοίου με ούριους ανέμους, καθώς αυτό ταξιδεύει με πρυμναίο κυματισμό που παρουσιάζει υψηλές κορυφές. Πρακτικά, η οριζόντια ταχύτητα ενός κύματος (απόρροια της περιόδου του κυματισμού) που το μήκος του συμπίπτει με αυτό του πλοίου, είναι συνήθως μεγαλύτερη από την ταχύτητα του πλοίου, με αποτέλεσμα το κύμα να «προσπερνά» το πλοίο. Ωστόσο, σε μια τέτοια κατάσταση ο ούριος κυματισμός ενδέχεται να επιταχύνει το πλοίο κατά τρόπο ώστε αυτό να συντονιστεί με το κύμα, κατάσταση που στην ναυτική αργκό περιγράφεται ως «καβάλημα» του κύματος. Εάν η κατάσταση αυτή συνδυαστεί και με ανεπαρκή ευστάθεια επαναφοράς στην κορυφή του κύματος, το πλοίο μπορεί να ανατραπεί ή να λάβει υψηλές γωνίες διατοιχισμού. Σημαντικός κίνδυνος υπάρχει επίσης, όταν το πλοίο κινείται από την κορυφή προς τη βάση του κύματος, όπου λόγω της ελαττωμένης σχετικής ταχύτητας της ροής του νερού στο πηδάλιο του πλοίου ελαττώνεται η αποτελεσματικότητα του, με αρνητική επίπτωση στον θετικό του έλεγχο. Οι μεγάλες εκτροπές ως προς τον οριζόντιο άξονα του πλοίου κατά την επαφή της πλώρης του πλοίου με τη βάση (κοίτη) του κύματος δημιουργούν υψηλές φυγόκεντρες δυνάμεις, οι οποίες σε συνδυασμό με τη μερική αποτελεσματικότητα του πηδαλίου του πλοίου μπορούν να οδηγήσουν στην ανατροπή του. Στην πραγματικότητα, το «καβάλημα» του κυματισμού αποτελεί συνέπεια προβληματικού χειρισμού του πλοίου, που εφόσον συμβεί, δεν μπορεί να αποφευχθεί με την εφαρμογή σχεδιαστικών τροποποιήσεων των πλοίων.

Συνδυασμός διάφορων επικίνδυνων φαινομένων

Η δυναμική συμπεριφορά ενός πλοίου που ταξιδεύει με ούριους ή δευτερόπρυμνους ανέμους (άνεμοι που πνέουν από διεύθυνση $\pm 45^{o}$ από την πρύμνη του πλοίου) και υπό μεγάλο κυματισμό είναι πολύ περίπλοκη. Η τρισδιάστατη κίνηση του πλοίου σε συνάρτηση με διάφορα επικίνδυνα φαινόμενα, που δεν ταξινομούνται σε μία από τις παραπάνω κατηγορίες, ενδέχεται να προκαλέσει επικίνδυνες καταστάσεις για την ασφάλεια του πλοίου. Ως τέτοια μπορούμε να διακρίνουμε τη δημιουργία πρόσθετων ροπών κλίσης από τη μερική βύθιση τμήματος του καταστρώματος, τη συσσώρευση και παγίδευση υδάτων στο κατάστρωμα, τις μετατοπίσεις φορτίου που ενδέχεται να προκύψουν από τις μεγάλες κλίσεις του σκάφους και που δύναται να μεταβάλλουν την ναυπηγική ευστάθεια του πλοίου. Η εκδήλωση αυτών των καταστάσεων, μπορεί να οδηγήσει σε εξαιρετικά επικίνδυνους συνδυασμούς και να προκαλέσει μέχρι και την ανατροπή του πλοίου στη θάλασσα.

3.4.4. Ο άνθρωπος ως παράγοντας εκδήλωσης ναυτικού ατυχήματος

Ένα ναυτικό ατύχημα μπορεί είναι αποτέλεσμα ανθρωπίνου σφάλματος, ως παράγοντα που αποτέλεσε το έναυσμα και την καθοριστική του αιτία, αλλά και ως παράγοντα που συνέβαλε στη μετεξέλιξη μίας επικίνδυνα εξελισσόμενης κατάστασης (που προήλθε από εξωγενείς παράγοντες) σε ατύχημα (Baker & Kuan Seah, 2004). Συνοπτικά, και εξετάζοντας τη συμβολή του ανθρώπινου παράγοντα στην εκδήλωση των ναυτικών ατυχημάτων, θα μπορούσαμε να τα διακρίνουμε σε :

- Ατυχήματα που οφείλονται κυρίως σε ανθρώπινο λάθος (δηλαδή, η αλυσίδα των γεγονότων που οδήγησε στο ατύχημα ξεκίνησε από ανθρώπινο σφάλμα).

- Ατυχήματα που ξεκίνησαν από συμβάντα ή καταστάσεις που δεν προήλθαν από ανθρώπινο σφάλμα, αλλά όπου ο άνθρωπος απέτυχε να ανταποκριθεί επαρκώς στο να τα αντιμετωπίσει και να τα αποτρέψει.
- Ατυχήματα που οφείλονται σε εξωτερικά συμβάντα ή συνθήκες ή σε μηχανικές βλάβες που αντιμετωπίστηκαν σωστά από το πλήρωμα αλλά ωστόσο δεν ήταν δυνατή η αποτροπή τους.

Σύμφωνα με διεθνείς αναλύσεις και στατιστικές (Lozowicka & Kaup, 2015; EMSA, 2009; Rothblum, 2014), οι δύο πρώτες κατηγορίες αποτελούν το 80% με 85% των εκδηλωθέντων ναυτικών ατυχημάτων σε παγκόσμια κλίμακα, με το 50% εξ αυτών να καταδεικνύει τον άνθρωπο ως το γενεσιουργό τους αίτιο, καθιστώντας τον ως πιο τον αδύναμο κρίκο στην αλυσίδα πρόκλησης των ατυχημάτων στη θάλασσα. Οι κυριότεροι παράγοντες οι οποίοι καθιστούν τον άνθρωπο επιρρεπή στην εκτέλεση σφαλμάτων στο ναυτικό περιβάλλον είναι οι ακόλουθοι (Rothblum, 2014):

- Κόπωση.
- Ανεπαρκής επικοινωνία.
- Ανεπαρκείς γενικές γνώσεις.
- Ανεπαρκής γνώση των συστημάτων του πλοίου.
- Κακός σχεδιασμός αυτοματισμών.
- Αποφάσεις που βασίζονται σε ανεπαρκείς πληροφορίες.
- Λανθασμένα πρότυπα, πολιτικές και πρακτικές.
- Κακή συντήρηση.
- Επικίνδυνο φυσικό περιβάλλον.

Στους παραπάνω παράγοντες εισέρχονται ταυτόχρονα τα επίπεδα της εκπαίδευσης και επίβλεψης του εξειδικευμένου προσωπικού, τα οποία εντάσσονται και αυτά στην κατηγορία του ανθρωπίνου σφάλματος.

3.5. Μείωση της διακινδύνευσης ναυτικών ατυχημάτων

3.5.1. Ορισμός

Ως Διακινδύνευση (Risk) ορίζεται η πιθανότητα επιζήμιων συνεπειών ή οι αναμενόμενες απώλειες (θάνατοι, τραυματισμοί, περιουσία, συνθήκες διαβίωσης, οικονομική δραστηριότητα που διαταράχτηκε ή ζημιές στο περιβάλλον) που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση ανάμεσα στους φυσικούς και ανθρωπογενείς κινδύνους στις εκάστοτε συνθήκες τρωτότητας (Λέκκας & Ανδρεαδάκης, 2015). Τα βασικά στοιχεία της έκφρασης της Διακινδύνευσης (R) είναι:

- Η πιθανότητα εκδήλωσης ενός γεγονότος – Κίνδυνος (H).
- Ο βαθμός της ευπάθειας (Τρωτότητα) του εκτιθέμενου στοιχείου – Τρωτότητα (V).

- Η Τρωτότητα αντισταθμίζεται από την Ικανότητα (C) της κοινωνίας να αντιμετωπίσει το καταστροφικό γεγονός.

Συμβατικά η Διακινδύνευση εκφράζεται από τη σχέση:

$$\text{Διακινδύνευση} = \text{Κίνδυνος} \times \frac{\text{Τρωτότητα}}{\text{Ικανότητα}}$$

3.5.2. Διεθνές επίπεδο

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός

Η ρύθμιση των ευρύτερων θεμάτων στον τομέα της ναυτιλίας εκτελείται σε διεθνές επίπεδο από το Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (International Maritime Organization - IMO). Ο IMO λειτουργεί στο πλαίσιο και υπό την αιγίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών, ενώ σύμφωνα με το άρθρο 1 του καταστατικού του έχει ως σκοπό (IMO, 2017) « … την παροχή μηχανισμών για τη συνεργασία μεταξύ των κυβερνήσεων στον τομέα των κυβερνητικών ρυθμίσεων και πρακτικών που αφορούν τεχνικά θέματα όλων των ειδών που επηρεάζουν τη ναυτιλία που ασχολούνται με το διεθνές εμπόριο, η ενθάρρυνση και διευκόλυνση της γενικής υιοθέτησης των υψηλότερων δυνατόν προτύπων σε θέματα που αφορούν την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας, την αποτελεσματικότητα της ναυσιπλοΐας και την πρόληψη και τον έλεγχο της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία». Ο οργανισμός διαθέτει 168 πλήρη κράτη μέλη (μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα) και 3 συνεργαζόμενα μέλη, ενώ συνεργάζεται ταυτόχρονα και με μη κυβερνητικούς διεθνείς οργανισμούς, οι οποίοι υποστηρίζουν το έργο του.

Στο πλαίσιο της αναγνώρισης της σοβαρότητας των συνεπειών που μπορεί να προκληθούν από την εκδήλωση των ναυτικών ατυχημάτων σε παγκόσμια κλίμακα, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός, από τα τέλη της δεκαετίας του ΄90, έστρεψε το επίκεντρο των προσπαθειών του στον άνθρωπο, αναγνωρίζοντάς τον ως τον σπουδαιότερο παράγοντα στην ασφάλεια της ναυσιπλοΐας. Μέσω του ανθρωπίνου παράγοντα ο οργανισμός επιχειρεί να αυξήσει την ικανότητα (C) του απασχολούμενου προσωπικού στη ναυτιλία και στους συνεργαζόμενους τομείς, αποσκοπώντας στην μείωση της εκδήλωσης των ναυτικών ατυχημάτων και στον μετριασμό των συνεπειών τους στο κοινωνικό σύνολο. Κύριους άξονες της δραστηριοποίησης του IMO σε αυτόν τον τομέα αποτελούν αυτοί της ασφάλειας στη θάλασσα και της προστασίας του θαλάσσιου - κυρίως - περιβάλλοντος από τη ρύπανση, ένεκα της ναυτιλίας. Από την ίδρυσή του έως σήμερα, ο IMO έχει αναπτύξει και υιοθετήσει περισσότερες από 40 Διεθνείς Συμβάσεις και πρωτόκολλα, καθώς και περισσότερους από 1.000 κώδικες και συστάσεις, όχι μόνο για τα θέματα ασφαλείας αλλά και για θέματα προστασίας του περιβάλλοντος (HELMEPA, 2017). Οι θεμελιώδεις συμβάσεις που έχει αναπτύξει ο οργανισμός είναι οι ακόλουθες:

- Η διεθνής σύμβαση για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα (SOLAS 74). Αποτελεί τη θεμελιώδη διεθνή σύμβαση του οργανισμού στον τομέα της ασφάλειας της ναυσιπλοΐας, η οποία θεσπίζει τις ελάχιστες προδιαγραφές για τη ναυπήγηση, τον φερόμενο εξοπλισμό και τη λειτουργία των πλοίων, με γνώμονα την επαύξηση της ασφάλειας του πλου σε παγκόσμια κλίμακα.
- Η διεθνής σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας από πλοία (MARPOL 73/78). Αποτελεί τη θεμελιώδη διεθνή σύμβαση του οργανισμού στον

τομέα της προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος, η οποία μπορεί να προκληθεί από τη συνήθη λειτουργία των πλοίων αλλά και από τα ναυτικά ατυχήματα. Η σύμβαση θεσπίζει τους κανόνες, τις τεχνικές προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει ο κάθε τύπος πλοίου, με σκοπό τη διασφάλιση της πρόληψης και ελέγχου της ρύπανσης από τα πετρελαιοειδή, τις επιβλαβείς χημικές ουσίες, τα λύματα και τα απορρίμματα των πλοίων καθώς και την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από τα εκπεμπόμενα καυσαέρια.

- Η διεθνής σύμβαση περί προτύπων εκπαίδευσης, έκδοσης πιστοποιητικών και τήρησης φυλακών των ναυτικών (STCW 95). Αποτελεί τη θεμελιώδη διεθνή σύμβαση του οργανισμού στον τομέα της διασφάλισης, της ορθής εκπαίδευσης και πιστοποίησης του προσωπικού, καθώς και της καταλληλότητας των συνθηκών εργασίας και διαβίωσης στο πλοίο, αναγνωρίζοντας τον άνθρωπο ως τον σπουδαιότερο παράγοντα ασφάλειας της ναυσιπλοΐας.

Τα κράτη μέλη του οργανισμού εναρμονίζουν τις κείμενες νομοθεσίες τους με τους διεθνείς κανονισμούς που θεσπίζει ο IMO, προσαρμόζοντάς τις παράλληλα στις ιδιαιτερότητες και ιδιομορφίες του κάθε κράτους. Οι ναυτιλιακές εταιρείες υποχρεούνται με τη σειρά τους να πληρούν όλα τα καθοριζόμενα πρότυπα και τις προδιαγραφές στους τομείς του υλικού, της εκπαίδευσης, των τηρούμενων διαδικασιών και των μέτρων ασφάλειας και πρόληψης, θεσπίζοντας τις αντίστοιχες διαδικασίες διαχείρισης, αξιολόγησης και εξάλειψης σφαλμάτων της ανθρώπινης συμπεριφοράς.

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια στη Θάλασσα

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (European Maritime Safety Agency - EMSA) αποτελεί οργανισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), ο οποίος διαθέτει νομική προσωπικότητα. Η EMSA παρέχει τεχνική εμπειρογνωσία και επιχειρησιακή βοήθεια, με στόχο τη βελτίωση της ασφάλειας της ναυσιπλοΐας, της ετοιμότητας και της αντίδρασης στην αντιμετώπιση της ρύπανσης και της γενικότερης ασφάλειας στη θάλασσα (EMSA, 2017). Στόχος του οργανισμού είναι η διασφάλιση του υψηλού, ομοιόμορφου και αποτελεσματικού επιπέδου ασφάλειας στη θάλασσα, της ασφάλειας της ναυσιπλοΐας και της πρόληψης της ρύπανσης από πλοία ή από εγκαταστάσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου. Παράλληλα παρέχει τεχνική βοήθεια και υποστήριξη στην ΕΕ και στις χώρες μέλη της, σχετικά με την ανάπτυξη, την εφαρμογή και την αξιολόγηση της κείμενης με την αποστολή της νομοθεσίας. Τα περισσότερα καθήκοντα του οργανισμού έχουν προληπτικό χαρακτήρα, όπως ο έλεγχος του τρόπου εφαρμογής ορισμένων νόμων και η αξιολόγηση της συνολικής αποτελεσματικότητάς τους, ενώ άλλα έχουν κατασταλτικό χαρακτήρα, όπως η αποστολή σε χώρες της ΕΕ σκαφών απάντλησης πετρελαίου (σε περίπτωση μεγάλης πετρελαιοκηλίδας στη θάλασσα) και ο εντοπισμός θαλάσσιας ρύπανσης μέσω δορυφορικής επιτήρησης. Οι βασικότερες οδηγίες / κανονισμοί της ΕΕ στον τομέα της ασφάλειας ναυσιπλοΐας και πρόληψης ρύπανσης είναι :

- Ο κανονισμός της ΕΕ υπ.αριθ. 911/2014 σχετικά με την πολυετή χρηματοδότηση της δράσης του Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την Ασφάλεια στη Θάλασσα, για την αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης από πλοία και εγκαταστάσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου.

- Η οδηγία 2009/16/ΕΚ σχετικά με τον έλεγχο των πλοίων από το κράτος λιμένα.

- Η οδηγία 2005/35/ΕΚ σχετικά με τη ρύπανση από τα πλοία και τη θέσπιση κυρώσεων για παραβάσεις.
- Η οδηγία 2002/59/ΕΚ για τη δημιουργία ενός κοινοτικού συστήματος παρακολούθησης της κυκλοφορίας των πλοίων.

3.5.3. Εθνικό επίπεδο

Η Ελλάδα, ως κράτος μέλος του ΙΜΟ και της ΕΕ, έχει συνυπογράψει και αποδεχτεί όλους τους βασικούς κανονισμούς / οδηγίες / συνθήκες των παραπάνω οργανισμών, εισάγοντας τις σχετικές ρυθμίσεις στο ναυτικό της δίκαιο και στην ελληνική νομοθεσία. Αρμόδιος φορέας για την εναρμόνιση και εφαρμογή της αποτελεί το Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής με την αρωγή του Αρχηγείου Λιμενικού Σώματος - Ελληνικής Ακτοφυλακής. Πέραν των ανωτέρω, οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν οι ελληνικές θάλασσες, αφενός λόγω της μεγάλης ναυτιλιακής τους κίνησης (ιδίως κατά τους θερινούς μήνες) και αφετέρου λόγω του περίκλειστου τους χαρακτήρα (Αιγαίο Πέλαγος), έχουν οδηγήσει στη θέσπιση πρόσθετων εθνικών κανονισμών. Ενδεικτικά αναφέρονται :

- Ο Κώδικας Δημοσίου Ναυτικού Δικαίου, ο οποίος ρυθμίζει - μεταξύ άλλων - θέματα ασφαλείας ως προς τη σύνθεση του προσωπικού, τον μέγιστο αριθμό των επιβατών και το μέγιστο φορτίο ενός πλοίου καθώς και την εκτέλεση των αρμοδίων επιθεωρήσεων.
- Το Εγχειρίδιο Ασφάλειας Ναυσιπλοΐας, το οποίο ρυθμίζει τις ενέργειες των λιμενικών αρχών σε περιπτώσεις δυσμενών καιρικών συνθηκών και θεσμοθετεί τα απαγορευτικά απόπλου από τους εθνικούς λιμένες (Λ.Σ., 2012).

Κεφάλαιο 4.

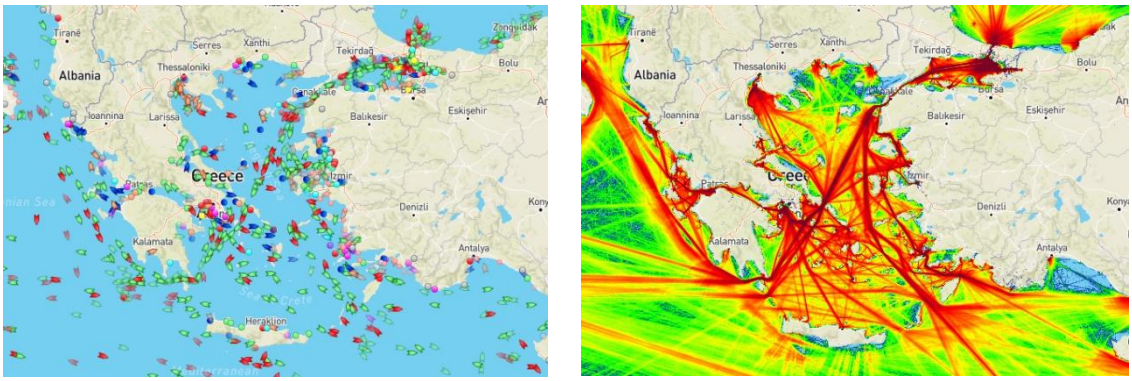
Μελέτη ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος

4.1. Ναυτιλία και Αιγαίο Πέλαγος

Κατά μέσο όρο, το 90% του παγκόσμιου εμπορίου διακινείται σε ετήσια βάση μέσω των διεθνών θαλάσσιων οδών. Σύμφωνα με την τελευταία ετήσια έκθεση του ΟΗΕ για τις θαλάσσιες μεταφορές (UNCTAD, 2016), το έτος 2015 10 δισ. τόνοι εμπορευματικού φορτίου μεταφέρθηκαν με πλοία διαφόρων τύπων και εκτοπισμάτων, ξεπερνώντας κάθε ιστορικό ρεκόρ. Οι ελληνικές θάλασσες αποτελούν χώρο δραστηριοποίησης και μετακίνησης του παγκόσμιου εμπορικού ναυτικού στόλου, λόγω τόσο της χρήσης των ελληνικών λιμένων ως ενδιάμεσων εμπορευματικών σταθμών όσο και του γεγονότος ότι οι διαδρομές του Αιγαίου και του Ιονίου Πελάγους αποτελούν τις θαλάσσιες οδούς που διασυνδέουν τη Μεσόγειο θάλασσα με τη Μαύρη θάλασσα και με την Αδριατική. Ταυτόχρονα, στην Ελλάδα οι θαλάσσιες μετακινήσεις αποτελούν μια από τις κυρίαρχες μεθόδους μεταφοράς επιβατικού κοινού αλλά και εμπορευμάτων, λαμβάνοντας υπόψη την πληθώρα των νησιών της χώρας και τον έντονα τουριστικό τους χαρακτήρα. Σύμφωνα με τις ετήσιες τριμηνιαίες εκθέσεις της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, η συνολική διακίνηση επιβατών στους ελληνικούς λιμένες κυμαίνεται σε μία μέση τιμή της τάξης των 38 εκ. ταξιδιωτών ανά έτος (ΕΛΣΤΑΤ, 2016) και λαμβάνει τη μέγιστη τιμή τριμήνου κατά το τρίτο τρίμηνο (17 εκ.). Το Αιγαίο Πέλαγος αποτελεί μία «κλειστή» θάλασσα, με έντονη ναυτιλιακή κίνηση και περίπλοκη γεωμορφολογία, που αυξάνει τον κίνδυνο της εκδήλωσης ναυτικών ατυχημάτων.

Σε καθημερινή βάση, υπολογίζεται ότι διαπλέουν το Αιγαίο περί τα 800 έως 1000 πλοία διαφόρων μεγεθών και τύπων. Στην Εικόνα 4.1 απεικονίζεται η ναυτιλιακή κίνηση (στιγμιότυπο του απογεύματος της 26/12/2016 - αριθμούνται συνολικά 849 πλοία) και η πυκνότητα των ναυτιλιακών διαδρομών του Αιγαίου για το έτος 2016. Σύμφωνα με τον χάρτη, τις διαδρομές με την υψηλότερη πυκνότητα ναυτιλιακής κίνησης αποτελούν:

- Οι διαδρομές που ενώνουν τα Δαρδανέλια με τη θάλασσα Κυθήρων και το Καρπάθιο Πέλαγος, καθώς επιτρέπουν την πρόσβαση των εμπορικών πλοίων που προέρχονται από την κεντρική Μεσόγειο, τη διώρυγα του Σουέζ και την Αδριατική, στη Μαύρη θάλασσα (και αντιστρόφως).
- Οι διαδρομές του νησιωτικού συμπλέγματος των Κυκλάδων, ως συνέπεια της έντονης ακτοπλοΐας και των σκαφών αναψυχής (θαλαμηγοί, ιστιοφόρα κ.τ.λ).
- Οι διαδρομές από το λιμάνι του Πειραιά προς τους λιμένες της Θεσσαλονίκης και του Ηρακλείου.



Εικόνα 4.1 Ναυτιλιακή κίνηση και πυκνότητα θαλάσσιων διαδρομών στο Αιγαίο Πέλαγος για το έτος 2016 (Πηγή: Marinetraffic)

4.2. Ναυτικά ατυχήματα στο Αιγαίο Πέλαγος

4.2.1. Βάση δεδομένων

Η εξεύρεση αρχείων επί των ναυτικών ατυχημάτων που έλαβαν χώρα στη θαλάσσια περιοχή του Αιγαίου Πελάγους αποτέλεσε μία περίπλοκη διαδικασία, από τη στιγμή που δεν υπάρχει κάποια ορισμένη προς τούτο υπηρεσία ή οργανισμός, η οποία να παρακολουθεί στο σύνολό τους τα ναυτικά ατυχήματα σε αυτήν την περιοχή.

Η πλειοψηφία των ατυχημάτων στο Αιγαίο καταγράφεται από το Λιμενικό Σώμα - Ελληνική Ακτοφυλακή. Το Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής μέσω του Αρχηγείου του Λιμενικού σώματος είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση και την άσκηση διοικητικού ελέγχου επί των ναυτικών ατυχημάτων και συμβάντων των πλοίων ελληνικής σημαίας σε παγκόσμιο επίπεδο, καθήκον το οποίο απορρέει από τα Ν.Δ. 712/70 (Α΄ 237) και 2575/98 (Α΄ 23) καθώς και από τον SOLAS 74. Αν αναλογιστούμε ότι το μεγαλύτερο τμήμα της ναυτιλιακής κίνησης στο Αιγαίο αφορά την ακτοπλοΐα και πλοία με ελληνική κυρίως σημαία, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα τηρούμενα αρχεία από το Λιμενικό Σώμα αποτελούν μία αξιόπιστη βάση δεδομένων, από την οποία μπορούν να προκύψουν αξιόπιστα στατιστικά δεδομένα. Η βάση δεδομένων παρασχέθηκε κατόπιν αιτήσεως από την Διεύθυνση Ασφάλειας Ναυσιπλοΐας του Λιμενικού Σώματος και περιείχε συνολικά 1450 καταγραφές. Οι καταγραφές αυτές κάλυπταν τα ναυτικά ατυχήματα που σημειώθηκαν σε πλοία ελληνικής σημαίας στη χρονική περίοδο από το 2003 έως το 2015, με την πλειοψηφία τους να αφορά συμβάντα εντός των ελληνικών θαλασσών. Η βάση δεδομένων (σε μορφή φύλλου εργασίας Excel) παρείχε λεπτομέρειες για κάθε ατύχημα, που περιελάμβαναν το είδος του εμπλεκόμενου πλοίου, τους Κόρους Ολικής Χωρητικότητάς (Κ.Ο.Χ.) του, την ημερομηνία και την περιοχή του ατυχήματος, το είδος, τα αίτια, τις συνέπειές του καθώς και τις απώλειες σε ανθρώπινες ζωές και σε τραυματισμούς που σημειώθηκαν κατά την εξέλιξή του. Τέλος, περιελάμβανε και μία μονολεκτική (κατηγοριοποιημένη) έκφανση του πορίσματος που εξέδωσε το Ανακριτικό Συμβούλιο Ναυτικών Ατυχημάτων που ανέλαβε τη διερεύνηση του ατυχήματος. Με βάση το κριτήριο της περιοχής της εκδήλωσης του ατυχήματος, από τις 1450 καταχωρίσεις επιλέχτηκαν για εξέταση μόλις οι 498. Οι υπόλοιπες 952 περιπτώσεις αφορούσαν στην πλειοψηφία τους περιστατικά που συνέβησαν στον Σαρωνικό και στον

Θερμαϊκό κόλπο, καθώς και περιστατικά που σημειώθηκαν στο Ιόνιο Πέλαγος, στη θάλασσα Κυθήρων και σε θάλασσες του εξωτερικού.

Για την αναζήτηση των Ναυτικών Ατυχημάτων των πλοίων με ξένη σημαία, χρησιμοποιήθηκε η αντίστοιχη βάση δεδομένων «Marine Casualties and Incidents» του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού. Η ενημέρωση της συγκεκριμένης βάσης δεδομένων στηρίζεται στην αναφορά των ατυχημάτων από τις αρμόδιες αρχές των κρατών μελών του οργανισμού, η οποία εκτελείται μέσω της ηλεκτρονικής πλατφόρμας Global Integrated Shipping Information System (GISIS). Η πρόσβαση στη βάση δεδομένων είναι δυνατή μέσω του διαδικτύου μετά την εγγραφή χρήστη, δυνατότητα που παρέχεται στο ευρύ κοινό. Η δομή των δεδομένων που παρείχε η συγκεκριμένη βάση παρουσίαζε αρκετές ομοιότητες με την αντίστοιχη ελληνική. Με κριτήριο αναζήτησης την τοποθεσία και τη χρονική περίοδο (2003-2015), προέκυψαν 100 καταχωρίσεις ναυτικών ατυχημάτων, οι οποίες αφορούσαν πλοία διάφορων σημαιών, μεταξύ των οποίων και η ελληνική.

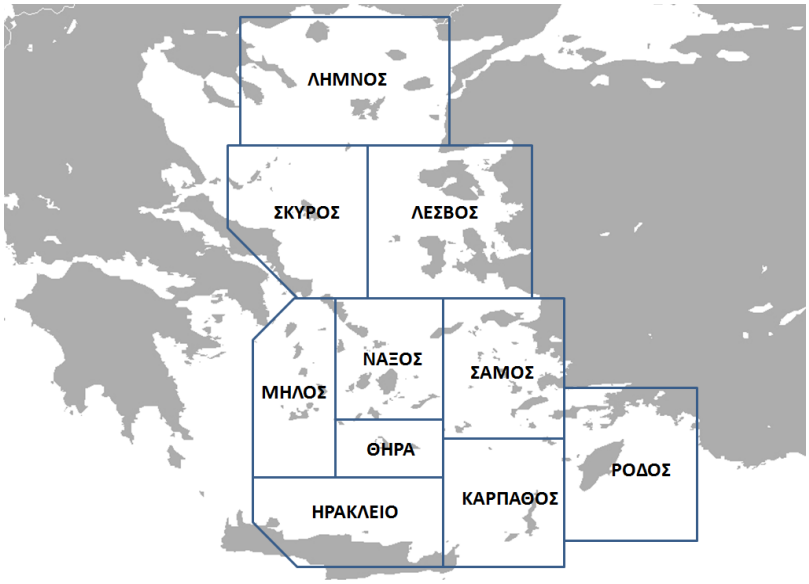
Τα αποτελέσματα από τις δύο βάσεις συγχωνεύτηκαν, και μετά από περαιτέρω επεξεργασία (κατάργηση διπλοεγγραφών), προέκυψε η τελική βάση προς εξέταση, η οποία αριθμεί 516 ναυτικά ατυχήματα διαφόρων τύπων τα οποία έλαβαν χώρα στο Αιγαίο Πέλαγος κατά τη χρονική περίοδο από το έτος 2003 έως το 2015.

4.2.2. Περιοχικός διαχωρισμός

Εν συνεχεία, τα ατυχήματα διαχωρίστηκαν και ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με τη γεωγραφική τους θέση. Η ομαδοποίηση έγινε με την χρήση δέκα περιοχών, οι οποίες επιλέχτηκαν ώστε να πληρούνται τα ακόλουθα κριτήρια :

- Να καλύπτουν στο σύνολό τους όλη την περιοχή της μελέτης.
- Να περιλαμβάνουν γεωγραφικά έναν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν στην ανεμολογική μελέτη της παρούσας εργασίας, κατά τρόπο ώστε οι καιρικές συνθήκες του σταθμού να αντιπροσωπεύουν τις επικρατούσες στην επικράτεια της εκάστοτε περιοχής.
- Να είναι ομοιόμορφες ως προς το εμβαδόν τους, ώστε τα στατιστικά αποτελέσματα που θα εξαχθούν για καθεμία από αυτές να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η περιοχή της μελέτης διαχωρίστηκε σε δέκα υποπεριοχές (Λήμνου, Λέσβου, Σκύρου, Μήλου, Νάξου, Θήρας, Σάμου, Ρόδου, Καρπάθου και Ηρακλείου), οι οποίες είχαν κατά προσέγγιση έκταση 3000 τετραγωνικών ναυτικών μιλίων (Εικόνα 4.2).



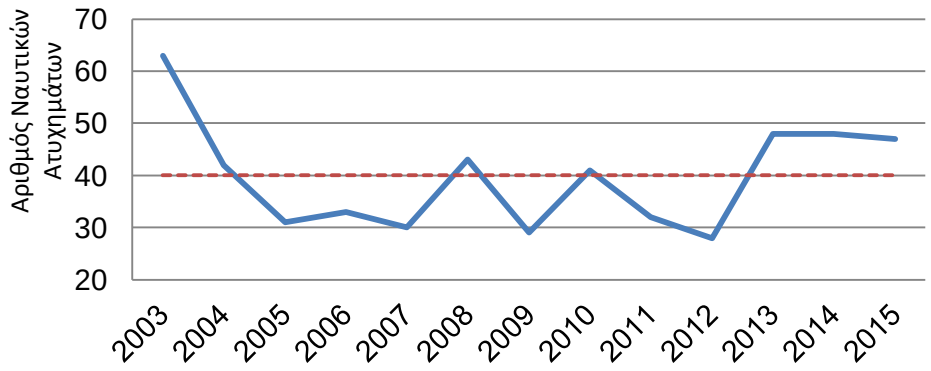
Εικόνα 4.2 Περιοχές μελέτης ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος

4.3. Ανάλυση δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε, σύμφωνα με τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν για τα ναυτικά ατυχήματα στο Αιγαίο Πέλαγος, κατά τη χρονική περίοδο από το 2003 έως το 2015 καταγράφηκαν συνολικά 516 περιστατικά διαφόρων τύπων. Ακολούθως παρουσιάζεται μία περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων με χρονικά και γεωγραφικά κριτήρια.

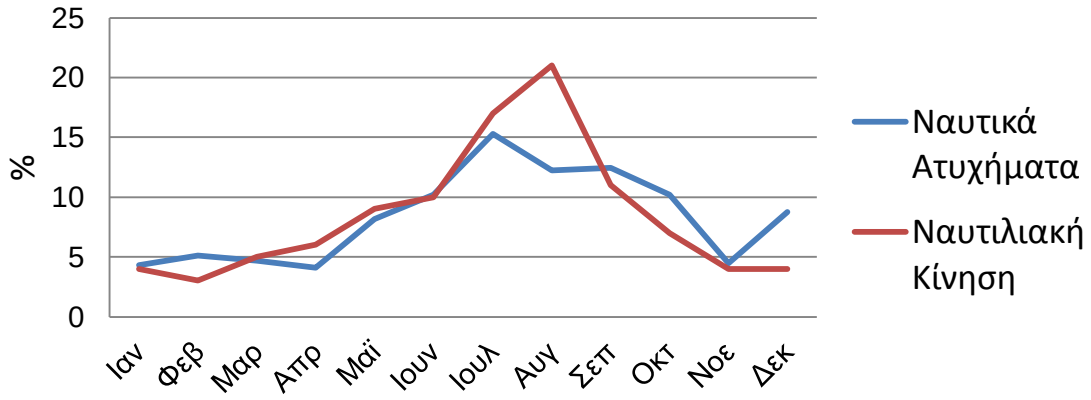
4.3.1. Ετήσιες και μηνιαίες κατανομές ναυτικών ατυχημάτων

Η μέση τιμή της εκδήλωσης των ναυτικών ατυχημάτων κατά την περίοδο 2003-2015 στο Αιγαίο ανέρχεται στα 40 ατυχήματα ανά έτος. Ο υψηλότερος ετήσιος αριθμός ατυχημάτων, παρατηρήθηκε κατά το 2003, όπου σημειώθηκαν 63 συμβάντα. Στα υπόλοιπα έτη παρουσιάζονται τιμές που κυμαίνονται σε ένα εύρος από τη μέση τιμή και έως -12 μονάδες από αυτή (το έτος 2012). Παρατηρείται επίσης μία αύξηση των ατυχημάτων κατά την τελευταία τριετία (2013-2015), που προσεγγίζει τιμές έως και +8 μονάδων από τη μέση τιμή. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται αναλυτικά στο διάγραμμα της Εικόνας 4.3.



Εικόνα 4.3 Ετήσια κατανομή ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος

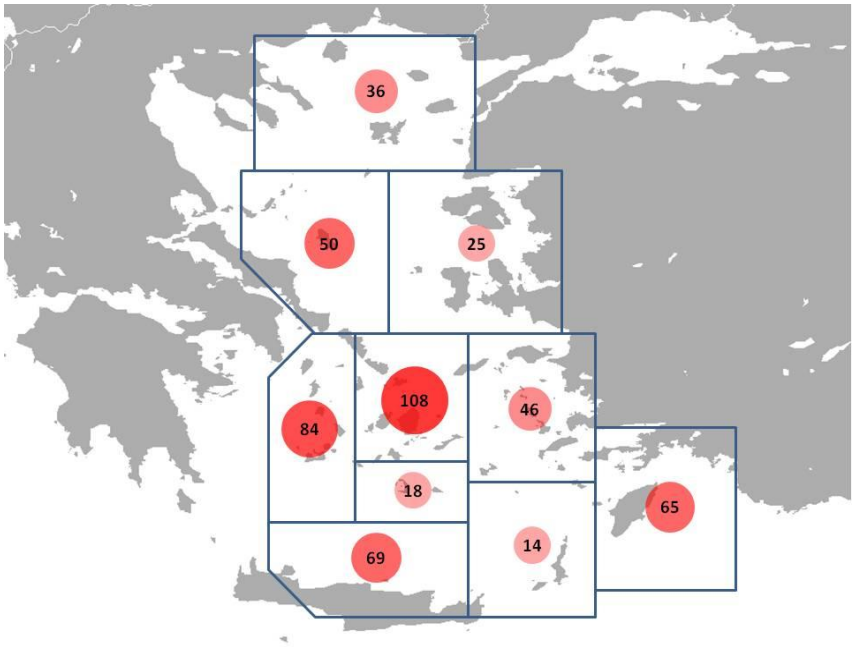
Όσον αφορά την εκδήλωση των ατυχημάτων κατά τη διάρκεια του έτους, σε μηνιαία βάση και για το σύνολο των ετών της μελέτης, η μεγιστοποίηση του αριθμού των ατυχημάτων παρατηρείται κατά τη θερινή περίοδο (Γ΄ τρίμηνο) και η ελαχιστοποίησή του κατά τη χειμερινή (Α΄ τρίμηνο). Η εποχικότητα των ναυτικών ατυχημάτων για την περίοδο 2003-2015, ως μηνιαίο ποσοστό εκδήλωσης επί του συνολικού τους αριθμού, απεικονίζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.4 (μπλε γραμμή). Στο ίδιο διάγραμμα απεικονίζεται ταυτόχρονα και η εκτιμώμενη μηνιαία ποσοστιαία κατανομή της ναυτιλιακής κίνησης (κόκκινη γραμμή), βασιζόμενη κυρίως στην καταγεγραμμένη επιβατική και εμπορευματική κίνηση. Η ακτοπλοϊκή κίνηση στο Αιγαίο παρουσιάζει μία ιδιαίτερη αύξηση από τον Μάρτιο έως τον Οκτώβριο – δηλαδή την κύρια τουριστική περίοδο για την Ελλάδα – ως αποτέλεσμα της αυξημένης επιβατικής κίνησης, κυρίως των ακτοπλοϊκών γραμμών που συνδέουν τα νησιά του Αιγαίου με τα λιμάνια της ηπειρωτικής Ελλάδας, και ιδιαίτερα με τον Πειραιά και τη Ραφήνα (Ι.Ο.Β.Ε., 2014). Είναι εμφανής η ομοιομορφία της διακύμανσης των δύο κατανομών, γεγονός το οποίο καταδεικνύει την αναλογικότητα της σχέσης της ναυτιλιακής κίνησης και της εκδήλωσης των ναυτικών ατυχημάτων.



Εικόνα 4.4 Μηνιαία κατανομή ναυτικών ατυχημάτων και ακτοπλοϊκής κίνησης

4.3.2. Γεωγραφική κατανομή ναυτικών ατυχημάτων

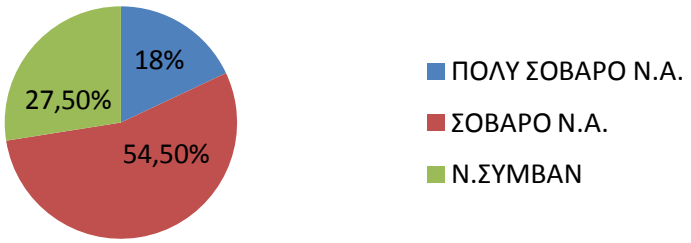
Σύμφωνα με την περιοχική κατανομή των ναυτικών ατυχημάτων, το μεγαλύτερο ποσοστό τους εκδηλώθηκε στη θαλάσσια περιοχή του νησιωτικού συμπλέγματος των Κυκλάδων. Στην επικράτεια των Κυκλάδων εντοπίζεται το 40% του συνόλου των ατυχημάτων, ενώ στα νησιωτικά συμπλέγματα των Δωδεκανήσων και των Σποράδων εντοπίζεται το 30% και το 10% αντίστοιχα. Η περιοχή της Νάξου (κεντρικές Κυκλάδες) είναι αυτή με τον μεγαλύτερο αριθμό ατυχημάτων σε όλη την καλυπτόμενη περίοδο της μελέτης, αριθμώντας 108 περιστατικά, με επόμενη στην κατάταξη την περιοχή της Μήλου (δυτικές Κυκλάδες) με 84. Ακολουθούν κατά σειρά οι περιοχές Ηρακλείου, Ρόδου, Σκύρου και Σάμου με αντίστοιχες τιμές από 69 έως 46 περιστατικά. Τα λιγότερα ατυχήματα εμφανίστηκαν στις περιοχές της Λήμνου, Λέσβου, Θήρας και Καρπάθου. Ειδικά όσον αφορά την περιοχή της Θήρας, παρατηρούμε ότι το μέγεθός της είναι μεν μικρότερο από αυτό των υπολοίπων περιοχών, εντούτοις η σχέση της έκτασης (1:2 σε σύγκριση με αυτές της Μήλου και Νάξου) και του αριθμού των καταγεγραμμένων περιστατικών την τοποθετεί και ποσοστιαία στις τελευταίες θέσεις της συγκεκριμένης κατάταξης.



Εικόνα 4.5 Γεωγραφική κατανομή ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος

4.3.3. Ναυτικά ατυχήματα ανά κατηγορία ατυχήματος

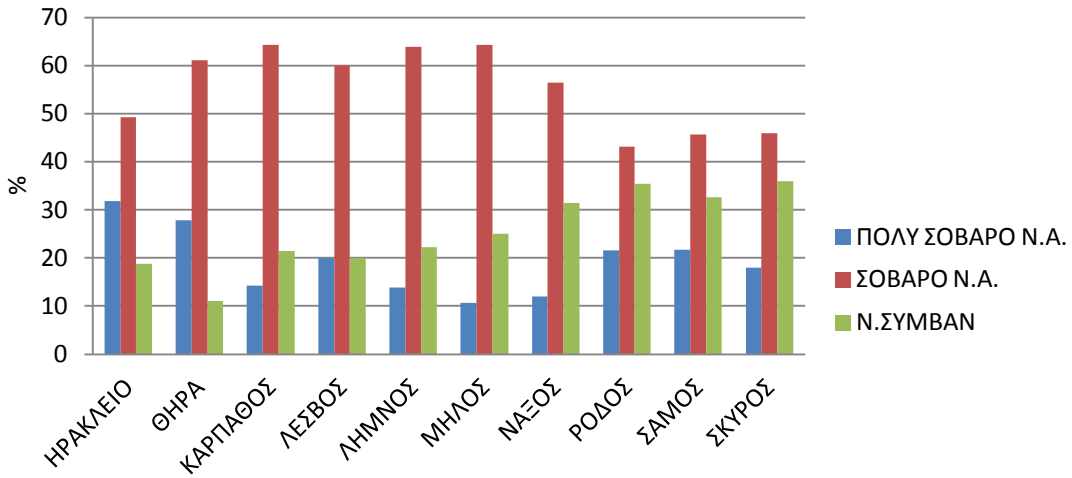
Η πλειοψηφία των ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος, σύμφωνα με τις κατηγορίες στις οποίες αυτά διαχωρίζονται από την ελληνική νομοθεσία (και όπως αναλύθηκαν στην παράγραφο 3.2), ανήκει σε αυτήν των σοβαρών ναυτικών ατυχημάτων. Η κατηγορία αυτή αφορά του 54.5% του συνόλου των ατυχημάτων, με τα πολύ σοβαρά ναυτικά ατυχήματα, τα οποία έχουν και τις δυσμενέστερες επιπτώσεις ανάμεσα σε όλες τις κατηγορίες (θάνατος, μεγάλη οικολογική καταστροφή, ολική απώλεια πλοίου), να αντιστοιχούν στο 18% του συνόλου. Τέλος, τα ναυτικά συμβάντα αντιστοιχούν στο 27.5%.



Εικόνα 4.6 Κατανομή ναυτικών ατυχημάτων ανά κατηγορία ατυχήματος

Η ίδια σειρά κατάταξης (Σοβαρό ναυτικό ατύχημα – Ναυτικό συμβάν – Πολύ σοβαρό ναυτικό ατύχημα) παρατηρείται και κατά την τμηματική εξέταση των ίδιων ατυχημάτων ανά γεωγραφική περιοχή. Και στις δέκα περιοχές του Αιγαίου, τα σοβαρά ναυτικά ατυχήματα παρουσιάζουν την υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες, με ποσοστά επικράτησης από 43 έως 65%. Το πολύ σοβαρά ναυτικά ατυχήματα είναι τελευταία στην κατάταξη με ποσοστά από 11% έως 22%, πλην των περιοχών του Ηρακλείου και των Θηρών, όπου βρίσκονται στη δεύτερη θέση με ποσοστά 32% και 28% αντίστοιχα. Η

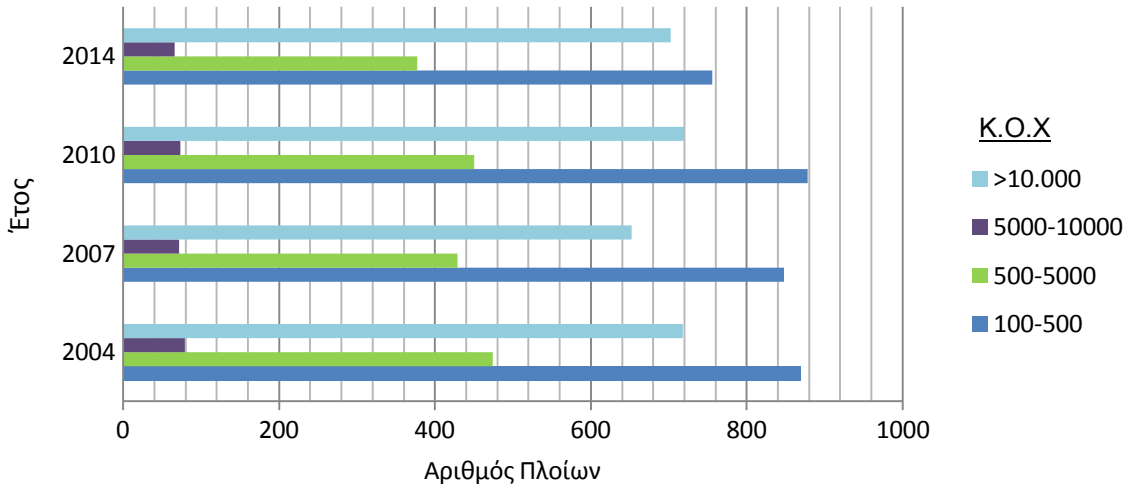
λεπτομερέστερη απεικόνιση των παραπάνω κατανομών φαίνεται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.7.



Εικόνα 4.7 Κατανομή ναυτικών ατυχημάτων ανα περιοχή και ανα κατηγορία ατυχήματος

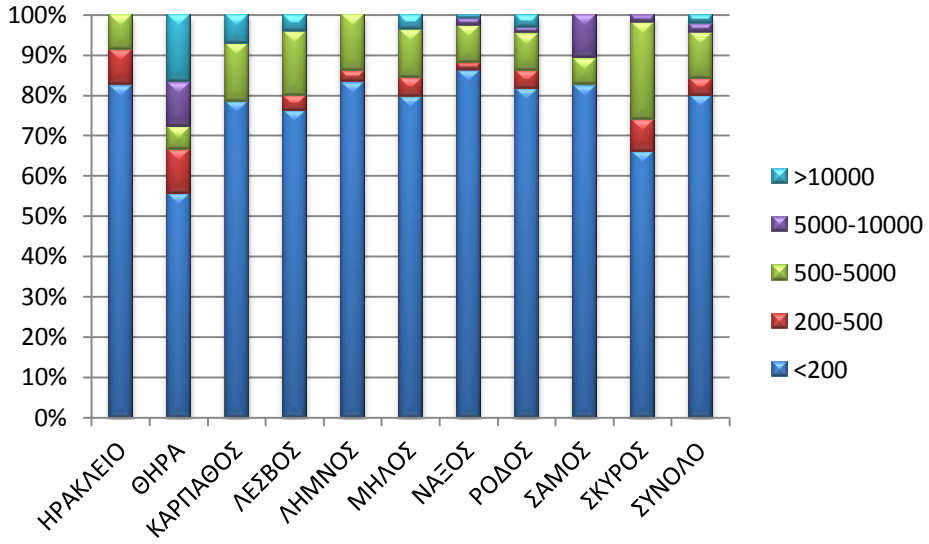
4.3.4. Ναυτικά ατυχήματα ανά μέγεθος πλοίου

Η μελέτη των ναυτικών ατυχημάτων σύμφωνα με το είδος και μέγεθος των εμπλεκόμενων σε αυτά πλοίων έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς αυτά τα χαρακτηριστικά συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με τη ναυπηγική τους συμπεριφορά και με την επίδραση που ασκούν οι καιρικές συνθήκες στην ασφάλεια του πλου τους. Ταυτόχρονα, τα στοιχεία αυτά καθορίζουν τις απαιτούμενες διατάξεις ασφαλείας, το επίπεδο της εκπαίδευσης του προσωπικού και τον υποχρεωτικά φερόμενο εξοπλισμό από το πλοίο, προκειμένου αυτό να πλέει με ασφάλεια. Η κατηγοριοποίηση του μεγέθους ενός πλοίου μπορεί να γίνει με διάφορα κριτήρια, όπως είναι ο τύπος του πλοίου (π.χ. γενικού φορτίου, επιβατηγό, αναψυχής, τάνκερ) και το εκτόπισμά του (το βάρος του θαλασσίου ύδατος που εκτοπίζει με τον όγκο του) ή με όρους που προσδιορίζουν τη χωρητικότητά του σε φορτίο. Στην παρούσα μελέτη, επιλέχτηκε το κριτήριο της μετρούμενης χωρητικότητας σε κόρους, καθώς αυτός ο όρος χρησιμοποιείται από την ελληνική νομοθεσία για να καθορίσει τις προαναφερθείσες προδιαγραφές και διατάξεις ασφαλείας, όπως είναι για παράδειγμα η απαγόρευση απόπλου των φορτηγών πλοίων από λιμένες, σύμφωνα με την ένταση του ανέμου (Λ.Σ., 2012). Ο όρος Κόροι Ολικής Χωρητικότητας (Κ.Ο.Χ.) εκφράζει τον συνολικό εσωτερικό όγκο, μετρούμενο σε κόρους, όλων των μόνιμα σκεπαστών και κλειστών χώρων του πλοίου, που βρίσκονται είτε κάτω από το ανώτατο κατάστρωμα είτε πάνω από αυτό. Στην ολική χωρητικότητα περιλαμβάνονται όλοι οι μονίμως κλειστοί χώροι που διατίθενται για το φορτίο, τα εφόδια του πλοίου και την ενδιαίτηση του πληρώματος και των επιβατών. Έτσι προκύπτει η συνολική σε όγκο διάσταση του πλοίου, η οποία είναι και η επίσημα καταχωρούμενη στο Νηολόγιο κάθε πλοίου ως «χωρητικότητα νηολογίου» (registered tonnage). Ο κόρος είναι ίσος με 2,83 κυβικά μέτρα ή 100 αγγλικά κυβικά πόδια (ΕΛΣΤΑΤ, 2015). Σύμφωνα με δεδομένα που αντλήθηκαν από τις εκθέσεις της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, (ΕΛΣΤΑΤ, 2010; ΕΛΣΤΑΤ, 2015), ο αριθμός των πλοίων με ελληνική σημαία για τη χρονική περίοδο της μελέτης κυμαίνεται στα 2000±100, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της Εικόνας 4.8. Στην πραγματικότητα, από το σύνολο των ελληνόκτητων πλοίων, μόνο το 40% πλέει υπό την ελληνική σημαία.



Εικόνα 4.8 Αριθμός πλοίων με ελληνική σημαία ανά K.O.X.

Η κατάταξη των ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος σύμφωνα με τους K.O.X. των εμπλεκόμενων πλοίων αποκαλύπτει ότι η πλειοψηφία τους αφορά πλοία μικρού μεγέθους. Το 84% των ατυχημάτων της βάσης δεδομένων της μελέτης αφορά πλοία μεγέθους κάτω των 500 K.O.X.. Στο γεγονός αυτό συμβάλλει το ότι η πλειοψηφία του στόλου που διαπλέει το Αιγαίο αφορά μικρού κυρίως μεγέθους πλοία (καθώς και πλήθος σκαφών αναψυχής ιδίως κατά τους θερινούς μήνες), οπότε και στατιστικά, με βάση την αρχή της αναλογικότητας, αυτά θα παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο ποσοστιαίο αριθμό ατυχημάτων. Ωστόσο, δεν μπορεί να αγνοηθεί και ο παράγοντας της υψηλότερης ευπάθειας αυτών των πλοίων απέναντι στα καιρικά φαινόμενα, των προδιαγραφών ασφαλείας τους και του επιπέδου της εκπαίδευσης του πληρώματός τους, που όπως προαναφέρθηκε, αποτελούν συνάρτηση του μεγέθους τους και που ενδεχομένως τα καθιστούν πιο «ευάλωτα» στην εμπλοκή τους σε ατυχήματα.



Εικόνα 4.9 Ναυτικά ατυχήματα ανα K.O.X. εμπλεκόμενων πλοίων

4.3.5. Ναυτικά ατυχήματα ανά είδος ατυχήματος

Τα ναυτικά ατυχήματα που καταγράφηκαν στην περίοδο της μελέτης εμπίπτουν στα ακόλουθα είδη :

- Ακυβερνησία: Είναι η κατάσταση κατά την οποία δεν είναι δυνατός ο έλεγχος της κίνησης του πλοίου (πορείας και ταχύτητας) από το πλήρωμά του. Συνήθως οφείλεται σε μηχανική βλάβη ή σε ακραίες καιρικές συνθήκες για το είδος του πλοίου.

- Προσάραξη: Ορίζεται ως η επαφή της γάστρας του πλοίου με την επιφάνεια του βυθού σε αβαθή ύδατα ή με ύφαλο/ξέρα. Μπορεί να είναι το αποτέλεσμα ακυβερνησίας του πλοίου ή ανθρωπίνου σφάλματος.

- Πρόσκρουση: Ορίζεται ως η επαφή οποιουδήποτε τμήματος του πλοίου με φυσικά εμπόδια ή κατασκευές που βρίσκονται επί της ξηράς (π.χ. προβλήτες, κτίσματα). Μπορεί να είναι το αποτέλεσμα ακυβερνησίας του πλοίου ή ανθρωπίνου σφάλματος.

- Σύγκρουση: Είναι η επαφή - επακούμβηση δύο πλοίων που βρίσκονται εν πλω. Μπορεί να είναι το αποτέλεσμα ακυβερνησίας του πλοίου ή ανθρωπίνου σφάλματος.

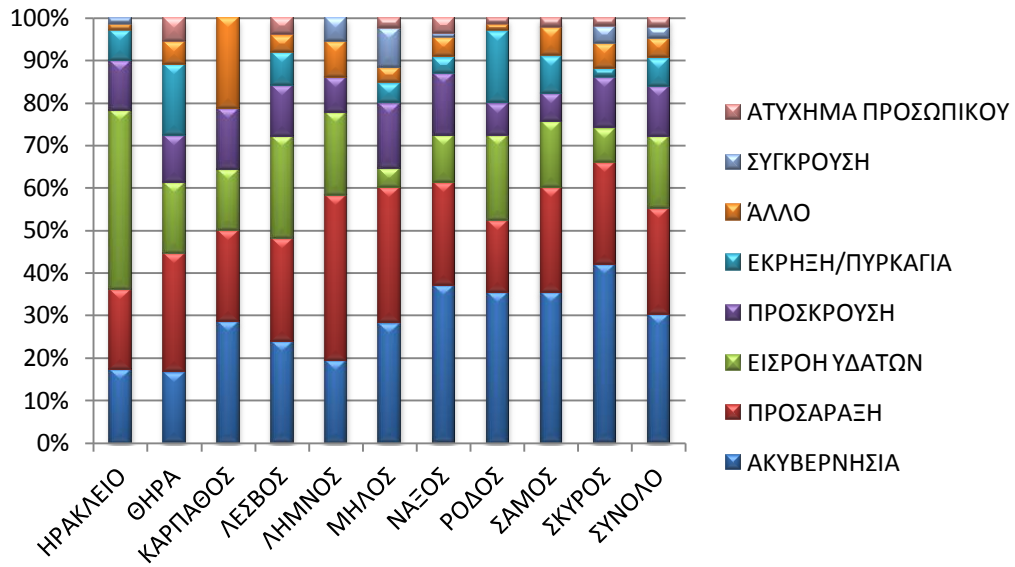
- Ατύχημα προσωπικού: Είναι το συμβάν που λαμβάνει χώρα σε πλοίο, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τον σοβαρό τραυματισμό ή την απώλεια ανθρώπινης ζωής τουλάχιστον ενός μέλους του πληρώματος ή επιβάτη. Μπορεί να οφείλεται σε συνδυασμούς παραγόντων όπως αμέλεια, ανθρώπινο σφάλμα, ακραίες καιρικές συνθήκες κ.τ.λ..

- Εισροή υδάτων: Είναι η είσοδος θαλασσινού νερού στα εσωτερικά διαμερίσματα και στεγανά του πλοίου, τα οποία ενδέχεται να επηρεάσουν τη ναυπηγική ευστάθειά του ή ακόμα και να προκαλέσουν τη βύθισή του. Μπορεί να οφείλεται σε συνδυασμούς παραγόντων όπως αμέλεια (π.χ. μη σφράγιση στεγανών διαμερισμάτων), ανθρώπινο σφάλμα, ακραίες καιρικές συνθήκες κ.τ.λ..

- Έκρηξη / Πυρκαγιά: Η εκδήλωση έκρηξης ή/και πυρκαγιάς σε διαμέρισμα του πλοίου. Μπορεί και αυτή να οφείλεται σε συνδυασμούς παραγόντων όπως αμέλεια, ανθρώπινο σφάλμα, μηχανική βλάβη, αστοχία υλικού κ.τ.λ..

Η πλειοψηφία των καταγεγραμμένων ναυτικών ατυχημάτων και περιστατικών αφορούν περιπτώσεις κατά τις οποίες σημειώθηκε ακυβερνησία του πλοίου (σε ποσοστό 30% επί του συνόλου) με δεύτερη στην κατάταξη την προσάραξη (σε ποσοστό 25%). Σε ένα γενικό πλαίσιο, παρόμοιες τιμές παρουσιάζονται και κατά την αντίστοιχη εξέταση των ατυχημάτων ανά περιοχή, με αξιοσημείωτες τις θετικές αποκλίσεις από τις μέσες τιμές των ακυβερνησιών στο κεντρικό Αιγαίο (περιοχή της Σκύρου με ποσοστό 42%) και των προσαράξεων στο βόρειο Αιγαίο (περιοχή της Λήμνου με ποσοστό 38%). Οι εισροές υδάτων κυμαίνονται σε ένα ποσοστό της τάξης του 17% των περιστατικών και οι προσκρούσεις στο 12% αντίστοιχα. Αξιοσημείωτο είναι και το υψηλό ποσοστό των περιστατικών εισροής υδάτων, που καταγράφεται στην περιοχή του Ηρακλείου (42% του συνόλου των περιστατικών της περιοχής), η οποία αποτελεί και την κυρίαρχη κατηγορία ναυτικών ατυχημάτων και συμβάντων στη συγκεκριμένη περιοχή. Οι υπόλοιπες κατηγορίες

παρουσιάζουν μικρά ποσοστά εμφάνισης (από 2 έως 6%) χωρίς να εντοπίζεται κάποια αξιοσημείωτη περιοχική απόκλιση από τις μέσες τιμές της επικράτειας. Η αναλυτική κατανομή του είδους των καταγεγραμμένων ναυτικών ατυχημάτων και συμβάντων φαίνεται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.10.

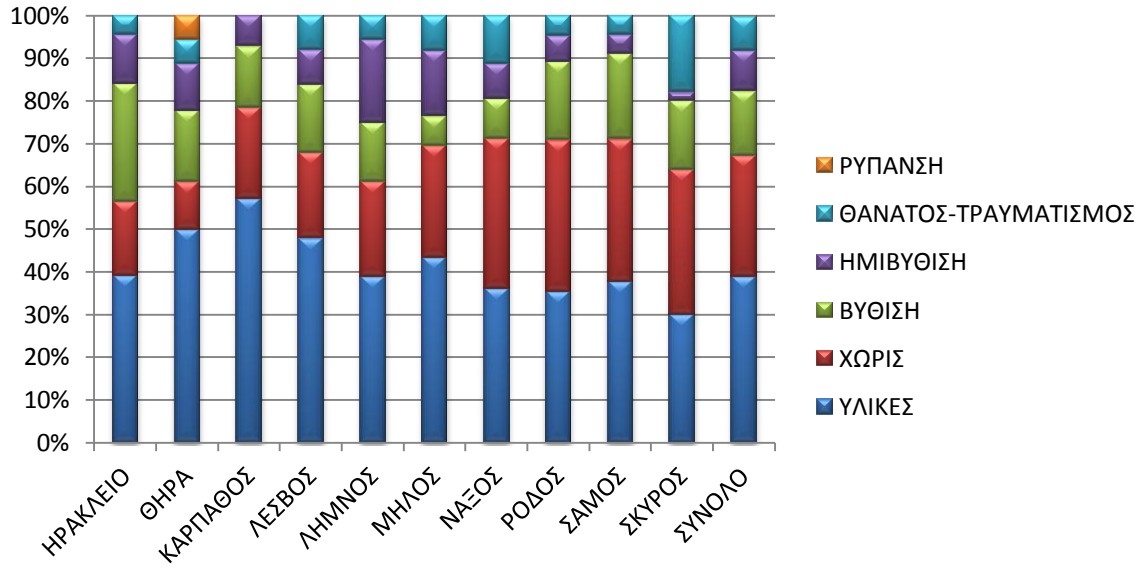


Εικόνα 4.10 Ναυτικά ατυχήματα ανά είδος ατυχήματος

4.3.6. Κατανομή συνεπειών ναυτικών ατυχημάτων

Η κύρια προκαλούμενη συνέπεια από τα ναυτικά ατυχήματα και συμβάντα στην περιοχή του Αιγαίου είναι οι υλικές φθορές (σε ποσοστό 39%) κυρίως στα εμπλεκόμενα πλοία και, σε ορισμένες περιπτώσεις, σε εγκαταστάσεις στην ξηρά. Η φθορά δύναται να προκληθεί από μία ποικιλία παραγόντων ανάλογα με το είδος του περιστατικού (π.χ. λόγω σύγκρουσης, πυρκαγιάς κ.τ.λ.) και καταγράφεται ως τέτοια, εφόσον το περιστατικό δεν καταλήξει στην ημιβύθιση ή την πλήρη βύθιση του πλοίου. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι το 15% των ατυχημάτων της περιόδου της μελέτης έχει οδηγήσει στην πλήρη βύθιση του εμπλεκόμενου πλοίου, με συνολικά 79 βυθίσεις, οι οποίες αφορούν κυρίως σκάφη κάτω των 200 K.O.X.. Για τα μεγαλύτερα σκάφη καταγράφηκαν μόλις τρεις περιπτώσεις για πλοία της τάξης των 500 K.O.X. και μόνο μία περίπτωση για πλοίο της τάξης των 22400 K.O.X.. Ωστόσο, μεγάλο ποσοστό των βυθίσεων δεν αφορούσε την ολική απώλεια των εμπλεκόμενων πλοίων, καθώς σε αρκετές περιπτώσεις ο συνδυασμός του μικρού βάθους και του μεγέθους των πλοίων επέτρεψε την ανέλκυσή τους από το βυθό και τη μετέπειτα επισκευή τους. Οι ανθρώπινες απώλειες λόγω των ατυχημάτων ανήλθαν σε 15 συνολικά θανάτους και 31 τραυματισμούς, ενώ αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι δεν καταγράφηκαν περιστατικά θαλάσσιας ρύπανσης, πλην της περιπτώσεως του Ε/Γ Sea Diamond στη Θήρα το 2007, όπου η ρύπανση περιορίστηκε σημαντικά λόγω της έγκαιρης αντίδρασης. Βέβαια, η βύθιση ενός πλοίου αποτελεί από μόνη της έναν παράγοντα θαλάσσιας ρύπανσης, κυρίως λόγω των καταλοίπων των μηχανοστασίων του πλοίου, του φόρτου των χημικών του ουσιών, των καυσίμων, των λιπαντικών καθώς και των υφαλοχρωμάτων του, χωρίς ωστόσο αυτό να εξετάζεται στη συγκεκριμένη κατηγορία συνεπειών. Μεγάλο ποσοστό, επίσης, του συνόλου των περιστατικών δεν επέφερε συνέπειες σε υλικό ή προσωπικό, με την

πλειοψηφία να αφορά περιπτώσεις ακυβερνησίας πλοίων που δεν επέφεραν περαιτέρω συνέπειες (ναυτικά συμβάντα). Η αναλυτική κατανομή του είδους των συνεπειών των ναυτικών ατυχημάτων και συμβάντων φαίνεται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.11.

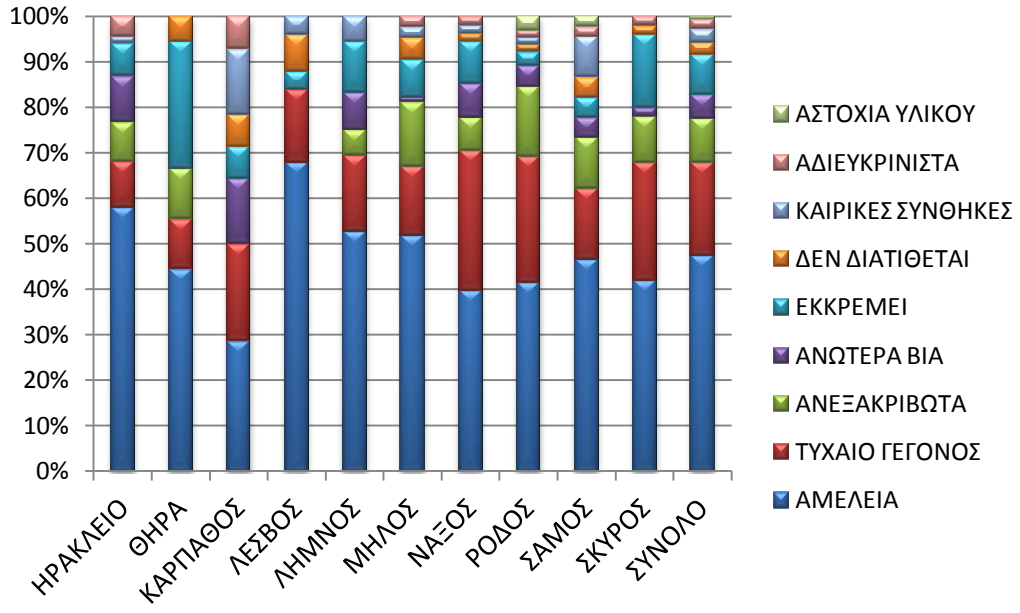


Εικόνα 4.11 Κατανομή συνεπειών ναυτικών ατυχημάτων

4.3.7. Κατανομή αιτίων ναυτικών ατυχημάτων

Τα αίτια τα οποία προκάλεσαν τα ναυτικά ατυχήματα στα πλοία ελληνικής σημαίας για την περίοδο της μελέτης, προσδιορίζονται από τις διενεργούμενες διερευνήσεις των Ανακριτικών Συμβουλίων Ναυτικών Ατυχημάτων (Α.Σ.Ν.Α.). Τα Α.Σ.Ν.Α. συγκροτούνται κάθε δύο χρόνια με απόφαση του Υπουργείου Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής, με σκοπό τον διοικητικό έλεγχο των ναυτικών ατυχημάτων. Οι διατάξεις για τον διοικητικό έλεγχο ενός ναυτικού ατυχήματος καθορίζονται από τα Ν.Δ. 712/70 (Α΄ 237) και 2575/98 (Α΄ 23) καθώς και από τον SOLAS 74. Μετά την εκδήλωση ενός ναυτικού ατυχήματος και την ολοκλήρωση της διαδικασίας διερεύνησής του, το Α.Σ.Ν.Α. καθορίζει με επίσημή του έκθεση τις αιτίες, τις συνθήκες, τους υπεύθυνους του ναυτικού ατυχήματος και τον βαθμό της ευθύνης που αυτοί φέρουν.

Στο διάγραμμα της Εικόνας 4.12, απεικονίζεται η κατανομή των αιτιών των ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο για την περίοδο 2003 – 2015, σύμφωνα με τις εκθέσεις των διερευνήσεων που εκτελέστηκαν από το εκάστοτε αρμόδιο Α.Σ.Ν.Α. Σύμφωνα με τα πορίσματα των εκθέσεων, κυρίαρχος παράγοντας των ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο είναι ο άνθρωπος, καταλογίζοντάς του ένα συνολικό ποσοστό υπαιτιότητας της τάξης του 47,4%. Υψηλό επίσης ποσοστό των πορισμάτων (20,6%) αποδίδει τα ατυχήματα σε τυχαία γεγονότα, ενώ το 9,71% σε ανεξακρίβωτα αίτια. Μόλις το 3% αποδίδεται στις κακές καιρικές συνθήκες, ενώ το 5,2% σε ανωτέρα βία.



Εικόνα 4.12 Κατανομή αιτίων ναυτικών ατυχημάτων

4.4. Διακινδύνευση ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο Πέλαγος

4.4.1. Ένταση ανέμου και ναυτικά ατυχήματα

Σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο, οι δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες, στις οποίες συγκαταλέγονται και οι ισχυροί άνεμοι, δεν αποτελούν μία από τις κυρίαρχες αιτίες πρόκλησης των ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο. Με βάση τις εκθέσεις των Ανακριτικών Συμβουλίων Ναυτικών Ατυχημάτων, οι καιρικές συνθήκες αντιστοιχούν ως αίτιο σε ένα ποσοστό της τάξης του 3% επί του συνόλου των ναυτικών ατυχημάτων. Αντιθέτως, ο κύριος παράγοντας πρόκλησής τους φαίνεται να είναι ο ίδιος ο άνθρωπος, με την αμέλεια να καταλαμβάνει την πρώτη θέση στην αντίστοιχη κατανομή με ποσοστό 47%. Ωστόσο, όπως αναλύθηκε και στην παράγραφο 3.4.4, οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες στο ναυτικό περιβάλλον μπορούν να αποτελέσουν επιπρόσθετους επιβαρυντικούς παράγοντες στη διαδικασία της πρόκλησης ενός ατυχήματος, αφενός διότι συμβάλλουν στη δημιουργία ενός επικίνδυνου φυσικού περιβάλλοντος για τον πλου ενός πλοίου, και αφετέρου διότι καθιστούν τον άνθρωπο πιο επιρρεπή σε σφάλματα, λόγω της κόπωσης και του στρες που δύνανται να προκαλέσουν στον οργανισμό του. Υπό αυτό το πρίσμα, οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες μπορούν να αναδειχθούν σε έναν σημαντικό παράγοντα επίδρασης στον μηχανισμό της πρόκλησης των ατυχημάτων που μπορεί να επηρεάσει καθοριστικά την εξέλιξη ενός ναυτικού ατυχήματος. Στο μοντέλο του Reason, ο ισχυρός άνεμος μπορεί να αποτελέσει είτε τον ίδιο τον κίνδυνο από τον οποίο ξεκινάει η αλυσίδα της εξέλιξης του ατυχήματος, είτε έναν παράγοντα πρόκλησης αστοχιών στα δύο από τα τέσσερα επίπεδα του μοντέλου (ανθρώπινα σφάλματα, τοπικοί παράγοντες).

Ωστόσο, η διερεύνηση της πιθανής επίδρασης της εντάσεως του ανέμου στον μηχανισμό της πρόκλησης των ναυτικών ατυχημάτων της μελέτης δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί από τη στιγμή που δεν είναι διαθέσιμες όλες οι λεπτομέρειες της πρόκλησης

και της εξέλιξης του καθενός από αυτά. Είναι δε αμφίβολο το κατά πόσον τα αποτελέσματα των ανακρίσεων που διενεργούνται μετά από την εκδήλωση ενός ατυχήματος μπορούν να εντοπίσουν την επίδραση των καιρικών συνθηκών ως παράγοντα πρόκλησης του ατυχήματος, από τη στιγμή που αυτό θα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καταθέσεις του εμπλεκομένου προσωπικού στο ατύχημα και για το οποίο ενδέχεται να προκύψουν ποινικές ευθύνες. Ενδέχεται δηλαδή το ανθρώπινο σφάλμα, ως κύρια αιτία των ατυχημάτων, να περιλαμβάνει την επίδραση των κακών καιρικών συνθηκών. Το παράδειγμα σε αυτόν τον τομέα δίδει η αεροπορική κοινότητα, όπου ο κλάδος της ασφάλειας των πτήσεων αντιμετωπίζει με υψηλή ευαισθησία τη διερεύνηση των αεροπορικών συμβάντων και ατυχημάτων. Σε σχεδόν παγκόσμια κλίμακα, η διερεύνηση ενός αεροπορικού ατυχήματος διενεργείται από αρμόδιες επιτροπές αποσκοπώντας αποκλειστικά και μόνο στον εντοπισμό των παραγόντων του μηχανισμού της πρόκλησής του και στη λήψη των καταλλήλων μέτρων για την μελλοντική μείωση της διακινδύνευσης της εκδήλωσης ενός αντίστοιχου συμβάντος. Οι διερευνήσεις των αεροπορικών ατυχημάτων δεν αποδίδουν ποινικές ευθύνες, οι οποίες και εξετάζονται σε ξεχωριστές διερευνήσεις (π.χ. Ένορκες Διοικητικές Εξετάσεις) από διαφορετικές επιτροπές, χωρίς οι τελευταίες να μπορούν να λάβουν υπόψη τα δεδομένα των διερευνήσεων ασφαλείας πτήσεων. Κατά αυτόν τον τρόπο μπορούν να διερευνηθούν τα βαθύτερα αίτια ενός ατυχήματος, χωρίς τα στοιχεία που προκύπτουν κατά τη διερεύνηση αυτή να μπορούν να αξιοποιηθούν για την επιβολή πειθαρχικών ποινών στους υπαιτίους.

4.4.2. Μεθοδολογία και αποτελέσματα

Με βάση τους παραπάνω προβληματισμούς, μία μέθοδος σύμφωνα με την οποία μπορεί να διερευνηθεί η πιθανή σχέση της έντασης του ανέμου και της εκδήλωσης ναυτικών ατυχημάτων είναι η παρατήρηση και στατιστική ανάλυση των δύο αυτών μεγεθών. Ακολούθως επιχειρείται μία στατιστική συσχέτιση των ναυτικών ατυχημάτων του Αιγαίου Πελάγους με τις επικρατούσες ανεμολογικές συνθήκες. Η συσχέτιση αυτή αφορά τη συνεξέταση των δεικτών της εκδήλωσης των ναυτικών ατυχημάτων σε σχέση με την επικρατούσα ένταση του ανέμου κατά την περίοδο της εκδήλωσης του ατυχήματος. Τα δεδομένα της έντασης του ανέμου για κάθε ατύχημα δεν συμπεριλαμβάνονται στη βάση δεδομένων των ατυχημάτων, και ανακτήθηκαν από τη βάση δεδομένων της Ε.Μ.Υ με κριτήριο τον χρόνο και την περιοχή του ατυχήματος. Κατά τη διερεύνηση της παραπάνω συσχέτισης προέκυψαν οι ακόλουθοι προβληματισμοί :

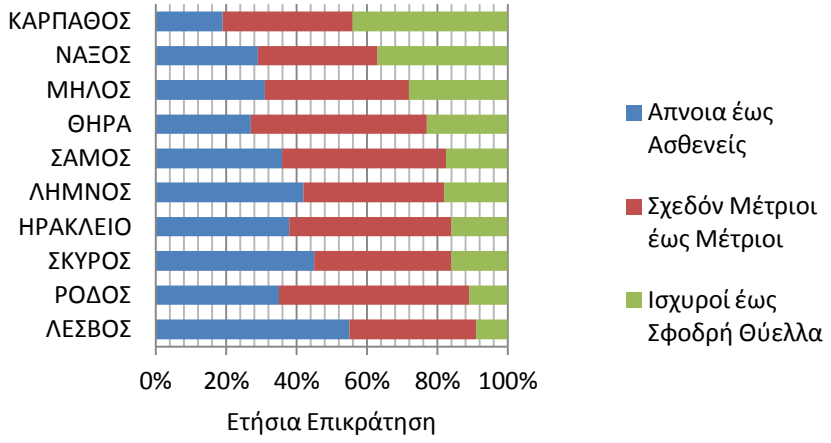
- Η στατιστική παρατήρηση των επικρατουσών ανεμολογικών συνθηκών κατά την εκδήλωση ενός ναυτικού ατυχήματος εμπεριέχει και την έννοια της επικράτησης των συγκεκριμένων ανεμολογικών συνθηκών. Για να γίνει πιο κατανοητό, η αντιστοίχιση του αριθμού των ατυχημάτων σε συγκεκριμένες εντάσεις ανέμου αφορά διαφορετικές σε διάρκεια χρονικές περιόδους, οι οποίες μεταβάλλουν το στατιστικό δείγμα και επηρεάζουν το αποτέλεσμα. Για την εξάλειψη του παράγοντα του χρόνου εκτελέστηκε αναλογική αναγωγή των εκδηλωθέντων ατυχημάτων σε κοινή χρονική βάση.

- Ο παράγοντας της γεωγραφίας (περιβάλλον διαφορετικής επικινδυνότητας) επηρεάζει και αυτός τον αριθμό των ατυχημάτων. Για την εξάλειψη του παράγοντα επιλέχθηκε η περιοχική εξέταση των ατυχημάτων αντί για το σύνολο του Αιγαίου.

- Η περιοχική εξέταση των ατυχημάτων μειώνει το συνολικό στατιστικό δείγμα, το οποίο διαμοιράζεται σε επιμέρους μικρότερα δείγματα. Για τον σκοπό αυτό

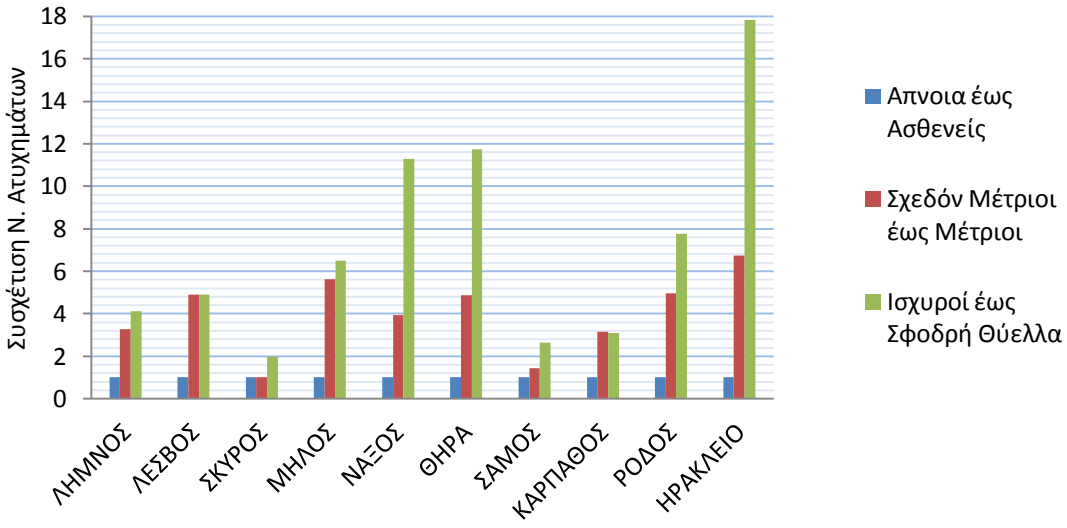
επιλέχθηκε ο περιορισμός του εύρους των προς εξέταση ανεμολογικών κατηγοριών σε τρεις, προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός των ατυχημάτων που αναλογεί σε κάθε κατηγορία. Οι τρεις ομάδες επιλέχθηκαν με βάση τα κριτήρια της έντασης για την απαγόρευση του απόπλου από τους ελληνικούς λιμένες (6 Bf) και που αντιστοιχούν συνοπτικά στις ασθενείς ανεμολογικές συνθήκες (έως 3 Bf), στις μέτριες (4 έως 5 Bf) και στις ισχυρές (6+ Bf).

- Αν και όπως αναφέρθηκε ο παράγοντας της επικράτησης των ανεμολογικών συνθηκών εξαλείφθηκε, οι τρεις παραπάνω κατηγορίες παρουσιάζουν μία σχετική ομοιομορφία ετήσια κατανομή και στους δέκα σταθμούς (Εικόνα 4.13) ενισχύοντας την αξιοπιστία του στατιστικού αποτελέσματος.



Εικόνα 4.13 Ετήσια επικράτηση ανεμολογικών κατηγοριών

Με βάση τα παραπάνω, συσχετίστηκε και για τις δέκα περιοχές ο συνολικός αριθμός των ναυτικών ατυχημάτων που σημειώθηκαν υπό τις συνθήκες έντασης καθεμίας εκ των τριών προαναφερθεισών ανεμολογικών κατηγοριών, με την αντίστοιχη επικράτηση των συνθηκών ανέμου κάθε κατηγορίας. Στην Εικόνα 4.14 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης, η οποία αποτελεί έναν δείκτη για τον αριθμό των ατυχημάτων που αντιστοιχούν στη δεύτερη και τρίτη κατηγορία ανέμου, για κάθε ατύχημα που σημειώθηκε στην πρώτη κατηγορία, σε μία κοινή γεωγραφική περιοχή και χρονική βάση, και με κύρια μεταβλητή την ένταση του ανέμου κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης του ατυχήματος.



Εικόνα 4.14 Συσχέτιση ναυτικών ατυχημάτων και έντασης ανέμου

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα, διαπιστώνονται τα ακόλουθα :

- Τα αποτελέσματα της συσχέτισης παρουσιάζουν μία σημαντική ομοιομορφία, καθώς για κάθε σταθμό κατά τη μετάβαση από κάθε ανεμολογική κατηγορία στην επόμενη παρατηρείται αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων.
- Η αύξηση αυτή του δείκτη των ατυχημάτων παρουσιάζει μία μέση τιμή της τάξης των τριών μονάδων κατά τη μετάβαση από τις ασθενείς προς τις μέτριες ανεμολογικές συνθήκες και τριών κόμμα δύο από τις μέτριες προς τις ισχυρές.
- Παρατηρείται θετική απόκλιση των δεικτών από τις μέσες τιμές στις περιοχές για τις οποίες υπάρχει μεγαλύτερο στατιστικό δείγμα (περιοχές εκδήλωσης περισσοτέρων συνολικά ατυχημάτων όπως Νάξος, Ρόδος, Ηράκλειο) και αρνητική στις περιοχές με μικρότερο δείγμα, χωρίς όμως ο δείκτης να λαμβάνει αρνητική τιμή σε καμία περίπτωση.

Όλα τα παραπάνω, αν και αποτελούν μία στατιστική παρατήρηση, εκτιμάται ότι καταδεικνύουν αδιαμφισβήτητα τη θετική σχέση των ανεμολογικών συνθηκών με τη συχνότητα της εκδήλωσης των ναυτικών ατυχημάτων.

4.4.3. Εκτίμηση διακινδύνευσης

Η εκτίμηση της διακινδύνευσης αποτελεί μια εξειδικευμένη τεχνική διαδικασία, η οποία συνήθως πραγματοποιείται από ειδικά εκπαιδευμένα άτομα και η οποία, ως μια ρητά επιστημονική προσέγγιση, προσπαθεί να αποκλείσει όλες τις συγκινησιακές απόψεις και να αξιολογήσει τις κρίσεις που σχετίζονται με προσωπικές προτιμήσεις συμπεριλαμβανομένων και αυτών του εκτιμητή (Λέκκας & Ανδρεαδάκης, 2015). Η εκτίμηση της διακινδύνευσης της εκδήλωσης των ναυτικών ατυχημάτων στο περιβάλλον του Αιγαίου μπορεί να προκύψει από τον συνυπολογισμό μίας πληθώρας παραγόντων όπως είναι η πυκνότητα της ναυτιλιακής κίνησης, το μεγάλο μήκος και η μορφολογία των ακτογραμμών, η πληθώρα των ναυτιλιακών κινδύνων και οπωσδήποτε ο άνεμος. Είναι, λοιπόν, προφανές ότι αυτή η διαδικασία απαιτεί

τη συνδυασμένη αξιοποίηση των προϊόντων της επεξεργασίας και ανάλυσης επιπρόσθετων βάσεων δεδομένων σε διάφορα επιστημονικά πεδία.

Οι εκάστοτε επικρατούσες ανεμολογικές συνθήκες εκτιμάται ότι αποτελούν μία κρίσιμη παράμετρο στον υπολογισμό της πιθανότητας εκδήλωσης ενός ναυτικού ατυχήματος. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δύο βάσεων δεδομένων που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, απέδωσαν μία εκτιμώμενη ποσοτικοποίηση της επιρροής του ανέμου στα ναυτικά ατυχήματα, η οποία εκφράστηκε με τον λόγο της αύξησης των δεικτών εκδήλωσης ναυτικών ατυχημάτων κατά τη μετάβαση από τις ασθενείς στις μέτριες ανεμολογικές συνθήκες και από τις ασθενείς στις ισχυρές. Οι συντελεστές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-1 αποτελούν έναν αναλογικό δείκτη της αύξησης της πιθανότητας εκδήλωσης ενός ναυτικού ατυχήματος σε μία περιοχή του Αιγαίου, κατά τη μετάβαση της έντασης του ανέμου από μία ανεμολογική κατηγορία σε μία άλλη. Οι συντελεστές αυτοί εκτιμάται ότι μπορούν να αποτελέσουν ένα αξιοποιήσιμο προϊόν και ταυτόχρονα ένα αρχικό βήμα στη διαδικασία της δημιουργίας μητρών διακινδύνευσης ή / και χαρτών επικινδυνότητας εκδήλωσης ναυτικών ατυχημάτων στο Αιγαίο, υπό τις παραδοχές βέβαια που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη υποπαράγραφο.

Πίνακας 4-1 Ανεμολογικοί συντελεστές εκδήλωσης ναυτικών ατυχημάτων

ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΛΗΜΝΟΣ	ΛΕΣΒΟΣ	ΣΚΥΡΟΣ	ΜΗΛΟΣ	ΝΑΞΟΣ	ΘΗΡΑ	ΣΑΜΟΣ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ	ΡΟΔΟΣ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ
ΑΣΘΕΝΕΙΣ ►ΜΕΤΡΙΕΣ	3,27	4,89	1,00	5,62	3,92	4,86	1,45	3,15	4,97	6,75	3,99
ΑΣΘΕΝΕΙΣ ►ΙΣΧΥΡΕΣ	4,12	4,89	1,97	6,48	11,29	11,74	2,66	3,08	7,78	17,81	7,18

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

ΕΛ.ΣΤΑΤ. (2016). *Διακίνηση επιβατών εμπορευμάτων και κινητών μονάδων στους ελληνικούς λιμένες*. Δελτίο τύπου. Πειραιάς: Ελληνική Στατιστική Αρχή.

Ζιακόπουλος, Δ., Φραγκούλη, Α., & Π. (2015). Το εγχειρίδιο του Μετεωρολόγου - Προγνώστη (Ηλεκτρονική Έκδοση). Αθήνα: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.

Ι.Ο.Β.Ε. (2014). *Η συμβολή της ακτοπλοΐας στην ελληνική οικονομία: Επιδόσεις και προοπτικές*. Αθήνα: Ίδρυμα Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών.

Λ.Σ. – ΕΛ.ΑΚΤ. (2012). *Εγχειρίδιο ασφάλειας ναυσιπλοΐας υπ΄αριθμ. 9.* Πειραιάς: Λιμενικό Σώμα – Ελληνική Ακτοφυλακή.

Λέκκας, Ε., & Ανδρεαδάκης, Ε. (2015). *Εισαγωγή στη Θεωρία της Διαχείρισης Καταστροφών και Κρίσεων* (1η Έκδοση). Αθήνα: ΕΚΠΑ.

Ν. 1045/80. (ΦΕΚ Α΄95). Περί κυρώσεως της υπογραφείσης εις Λονδίνον Διεθνούς Συμβάσεως «περί ασφάλειας της ανθρώπινης ζωής εν θαλάσση 1974» και περί άλλων τινών διατάξεων.

Ν.1638/86. (ΦΕΚ Α'108). Κύρωση της διεθνούς σύμβασης που υπογράφηκε στις Βρυξέλλες το 1971 «Ίδρυση διεθνούς κεφαλαίου για την αποζημίωση ζημιών ρύπανσης απο πετρελαοειδή» και ρύθμιση συναφών θεμάτων.

Π.Δ. 89/05. (ΦΕΚ Α'127). Προσαρμογή της ελληνικής νομοθεσίας προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2001/25/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Απριλίου 2001 "Για το ελάχιστο επίπεδο εκπαίδευσης των ναυτικών" και της Οδηγίας 2003/103/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου.

Πιτσικάκης, Ν. (2002). *Εγχειρίδιο Αεροπορικής Μετεωρολογίας* (1η Έκδοση). Αθήνα: Υπηρεσία Αεροπορικών Εκδόσεων - Πολεμική Αεροπορία.

ΦΕΚ 264 Α. (2011). Προσαρμογή στις διατάξεις της οδηγίας 2009/18/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Απριλίου 2009 για τον καθορισμό των θεμελιωδών αρχών που διέπουν τη διερεύνηση των ατυχημάτων. Αθήνα.

Ψυχά, Α., & Μηνογιάννης, Μ. (2016). *Ναυτική Μετεωρολογία* (2η Έκδοση). Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.

Ξενόγλωσση

Akten, N. (2006, 11 20). Shipping accidents: a serious threat for marine environment. *J. Black Sea/Mediterranean Environment*, pp. 269-304.

Anagnostopoulou, C., Zanis, P., Katragkou, E., Tolika, K., & Tegoulias, I. (2014, April). Recent past and future patterns of the Etesian winds based on regional scale climate model simulations. *Climate Dynamics*, pp. 1813-1836.

Anagnostopoulou, C., Zanis, P., Katragkou, E., Tolika, K., & Tegoulias, I. (2014). The future perspective of Etesian wind patterns over Aegean Sea. *COMECAP 2014 e-book of proceedings*, p. 55.

Andersen, I. (2012). *Wind forces on container ships.* Denmark: Mercator.

Baker, C., & Kuan Seah, A. (2004). *Maritime accidents and human performance: the statistical trail.* Houston: American Bureau of Shipping.

Beirlant, J., Goegebeur, Y., Segers, J., & Teugels, J. (2006). *Statistics of extremes: Theory and applications.* Sussex: John Wiley & Sons.

Benedict, K., Kirchhoff, M., & Baldauf, M. (2009). *Deccision support for avoiding roll resonance and wave impact for ship operation in heavy seas.* Wismar: Wismar University of Technology.

Brody, L., & Nestor, M. (1985). Regional forecasts for the Mediterranean basin, Technical Report. *Naval Environmental Prediction Research Facility*, pp. 80-110.

Cassama, F. (2015). *A study on marine accident causation models employed by marine accident investigators.* Malmö, Sweden: World Maritime University.

Chronopoulou, S., Nastos, P., & Kampanis, N. (2010). Estimation of the wind potential in Greece. Proceedings of 5th international conference on deregulated electricity market issues in South-Eastern Europe (2010).

Coles, S. (2001). *An Introduction to statistical modeling of extreme values.* London: Springer.

Cook, N. (1985). *The designer's guide to wind loading of building structures.* London, Boston: Butterworths.

Cook, N., & Mayne, J. (1980). A refined working approach to the assesment of wind loads for equivalent static design. *Journal of wind enginering and industrial aerodynamics 6*, pp. 125-137.

De Haan, L., & Ferreira, A. (2007). *Extreme value theory: An introduction.* Rotterdam: Springer.

EMSA. (2009). *Maritime accident review.* Lisbon: European Maritime Safety Agency.

Falk, M., Hüsler, J., & Dieter Reiss, R. (2010). *Laws of Small Numbers: Extremes and Rare Events* (3rd ed.). Wurzburg: Springer.

Field, C., Barros, V., Stocker, T., & Dahe, Q. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* New York: Cambridge.

Gabler, R., Petersen, J., & Michael Trapasso, L. (2003). *Essentials of Physical Geography* (8th ed.). Illinois: Cengage Learning.

Goss, R. (1994, February). Safety in sea transport. *Journal of Transport Economics and Policy*, pp. 99-110.

Gumbel, E. (1958). *Statistics of Extremes* (44th ed.). Mineloa, New York: Dover Publicatons.

Guo Larsén, X., Mann, J., Rathmann, O., & Jørgensen, H. (2015). Uncertainties of the 50-year wind from short time series using generalized extreme value distribution and generalized Pareto distribution. *Wind Energy*, pp. 59-74.

Hartmann, D. L. (1994). *Global physical climatology* (3rd ed.). Seattle, Whashington: Academic Press.

Knapp, S., & Shen, J. (2009). *The effect of changes in wind strength and wave heights on the safety of vessels in shipping.* Rotterdam: University of Rotterdam.

Koletsis, I., Lagouvardos, K., Kotroni, V., & Bartzokas, A. (2009, September). The interaction of northern wind flow with the complex topography of Crete island – Part 1: Observational study. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, pp. 1845–1855.

Kotroni, V., Lagouvardos, K., & Lalas, D. (2001, July). The effect of the island of Crete on the Etesian winds over the Aegean Sea. *Quarterly Journal of the Royal Meteorologic Society*, pp. 1917–1937 .

Lozowicka, D., & Kaup, M. (2015, 12 7). Analysis of the cause and effect of passenger ship accidents in the Baltic Sea . *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*, pp. 68-73.

Miliou, A., Acasuso-Rivero, C., Shepperson, J., Lindholm, A., Caprio, C., & Demetriou, M. (2012). *Evidence of high risk maritime traffic conditions in the Aegean Sea.* Samos: Archipelagos, Institute of Marine Conservation.

Morgan, E., Lackner, M., Vogel, R., & Baise, L. (2011). Probability distributions for offshore wind speeds. *Energy Conversion and Management*, pp. 15–26.

Nastos, P., Philandras, C., & Repapis, C. (2002). Application of canonical analysis to air temperature and precipitation regimes over Greece. *Environmental Bulletin 11 (8)*, pp. 488-493.

Naval Meteorology and Oceanography Command. (1995). *Marine climatic atlas of the world. Mediterranean severe weather port guides* (1.1 ed.). Asheville, N.C: U.S. Navy.

Palutikof, J., Brabson, B., Lister, D., & Adcock, S. (1999). A review of methods to calculate extreme wind speeds. *Meteorol. Appl. 6*, pp. 119-132.

Perrin, O., Rootzen, H., & Taesler, R. (2005). *A discussion of statistical methods for estimation of extreme wind speeds.* Tolouse : Universite de Tolouse .

Primorac, B., & Parunov, J. (2016). Review of statistical data on ship accidents. *Maritime Technology and Engineering*, pp. 809-814.

Reason, J. (1990). *Human error.* Cambridge: University Press.

Rockel, B., & Woth, K. (2007, May). Extremes of near-surface wind speed over Europe and their future changes as estimated from an ensemble of RCM simulations. *Climatic Change Volume 81, Supplement 1*, pp. 267–280.

Rothblum, A. (2014). *Human error and marine safety.* Washington: U.S. Coast Guard Research & Development Center.

Rózsás, A., & Sýkora, M. (2016). Effect of Statistical Uncertainties on Predicted Extreme Wind Speeds. *7th International Workshop on Reliable Engineering Computing*, pp. 489-503.

Tyrlis, E., & Lelieveld, J. (2013, November). Climatology and Dynamics of the Summer Etesian Winds over the Eastern Mediterranean. *Journal of the Atmospheric Sciences*, pp. 3374-3396.

UNCTAD. (2016). *Review of Maritime Transport.* Geneva: United Nations Conference on Trade and Development.

Vagenas, C., Anagnostopoulou, C., & Tolika, K. (2014). Climatic study of the surface wind field and extreme winds over the Greek seas. *COMECAP 2014 e-book of proceedings – vol.3P* , p. 283.

Van Den Brink, H., Konnen, G., Opsdeek, J., Van Den Oldenborch, G., & Burgers, G. (2005). Estimating return periods of extreme events from ECMWF seasonal forecast ensembles. *International JournalL of Climatology*, pp. 1345-1354.

Vezzoli, R., & Mercogliano, P. (2012, September). A brief introduction to the concept of return period for univariate variables. *SSRN Electronic Journal*.

Vivekanandan, N. (2012, September). Comparison of Estimators of Extreme Value Distributions for Wind Data Analysis. *Bonfring International Journal of Data Mining, Vol. 2, No. 3,*, pp. 16-20.

Walshaw, D. (1994, July). Getting the most from your extreme wind data : A step by step guide. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology Vol 99*, pp. 399-411.

Wang, L., & Li, W. (2016, April). Estimation of extreme wind speed in SCS and NWP by a non-stationary model. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, pp. 131-138.

Wen, Y., Cai, Y., & Wu, L. (2014, December). Ship route design for avoiding heavy weather and sea conditions. *TRANSNAV. The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, pp. 552-556.

Wilks, D. (1993). Comparison of three-parameter probability distributions for representing annual extreme series. *Water Resour. Res*, pp. 3543–3549.

Διαδικτυακή

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. (2016, 11 27). Κλίμακα Beaufort. Ανάκτηση από ΕΜΥ : http://www.hnms.gr/hnms/english/navigation/Beaufort_Scale_html

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. (2016, 11 27). Λεξικό μετεωρολογικών όρων. Ανάκτηση από ΕΜΥ : http://www.hnms.gr/hnms/greek/meteorology/full_story_html?dr_url=/docs/lexikon/ lexicon

Ευρωπαϊκή Ένωση. (2017, 4 22). Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (EMSA). Ανάκτηση από Βασικές πληροφορίες για την Ευρωπαϊκή Ένωση : https://europa.eu/european-union/about-eu/agencies/emsa_el

Ελληνική Ένωση Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος. (2017, 3 15). Ασφάλεια στη θάλασσα. Ανάκτηση από HELMEPA : http://www.helmepacadets.gr/gr/shipping/security-sea

Φείδας, Χ., Καρακώστας, Θ., Μαυρομάτης, Θ. (2017, 11 12). Γενική Μετεωρολογία - Η Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας. Ανάκτηση από Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης : http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/th/math8.html

International Maritime Organization. (2017, 1 12). Brief History of International Maritime Organization. Ανάκτηση από IMO : http://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx

Marine Traffic. (2017, 1 24). Χάρτης Πλοίων. Ανάκτηση από Marine Traffic : https://www.marinetraffic.com/gr/ais/home/centerx:28/centery:38/zoom:6

Παράρτημα Α.

Μέθοδος "Block Maxima"

Η μέθοδος "Block Maxima" αποτελεί μία από τις δημοφιλέστερες μεθόδους υπολογισμού των περιόδων επαναφοράς. Σύμφωνα με τη μέθοδο, τα μέγιστα των πολλαπλών δειγμάτων ανεξάρτητων, ταυτόσημων και κατανεμημένων δεδομένων θα συγκλίνουν σε μία από τις τρεις κλασικές κατανομές (Gumbel - Frechet - Weibull), οι οποίες ομαδοποιούνται στην Γενικευμένη Κατανομή Ακραίων Τιμών (Generalized Extreme Value distribution - GEV) (Gumbel, 1958). Η μέθοδος στηρίζεται στην εφαρμογή της Γενικευμένης Θεωρίας Ακραίων Τιμών στα μέγιστα των πολλαπλών δειγμάτων και συνοψίζεται στα ακόλουθα στάδια :

1. Υποδιαίρεση της χρονοσειράς σε τμήματα (blocks).

Τα δεδομένα της χρονοσειράς διαχωρίζονται σε ισοκατανεμημένα χρονικά τμήματα (blocks), για τα οποία εφαρμόζεται η Γενικευμένη Κατανομή των Ακραίων Τιμών στις ακραίες τιμές του κάθε τμήματος. Η επιλογή των τμημάτων διαδραματίζει καθοριστική σημασία για την εφαρμογή της μεθόδου, καθώς πολύ μικρά τμήματα ενδέχεται να οδηγήσουν σε στατιστικά σφάλματα (π.χ. αύξηση του συστηματικού σφάλματος της εκτίμησης - bias) ενώ πολύ μεγάλα κομμάτια δημιουργούν λιγότερα μέγιστα και μεγάλη διακύμανση (Coles, 2001).

2. Επιλογή της κατανομής που θα γίνει η εφαρμογή.

Αφού καθοριστεί το στατιστικό δείγμα, που για την μέθοδο "Annual Maxima" αποτελεί τις ετήσιες μέγιστες τιμές της χρονοσειράς, επιλέγεται η κατανομή που εκφράζει καλύτερα το δείγμα, ως το κύριο εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί μετέπειτα για τον υπολογισμό των περιόδων επαναφοράς. Η κλασική θεωρία των ακραίων τιμών περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο επαρκώς μακρές ακολουθίες, οι οποίες περιγράφουν ανεξάρτητες και πανομοιότυπα κατανεμημένες τυχαίες μεταβλητές, μπορούν να προσαρμοστούν σε μία από τις τρεις βασικές μορφές της GEV. Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της GEV είναι η ακόλουθη :

$$f(x) = \begin{cases} \exp\left[-(1-\kappa y)^{\frac{1}{k}}\right], & k \neq 0 \\ exp[-\exp(-y)], & k = 0 \end{cases}$$

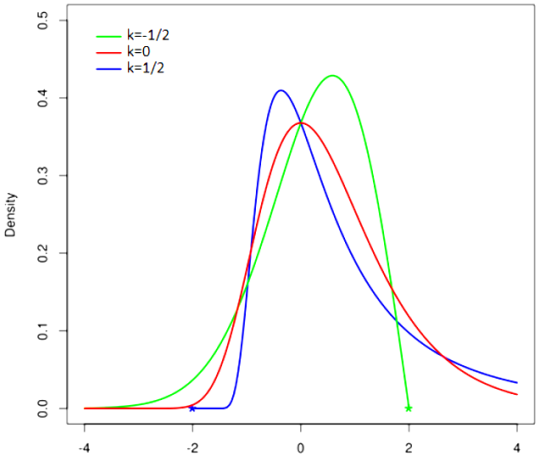
όπου y=(x-β)/α, β η παράμετρος θέσης, α η παράμετρος κλίμακας και k η παράμετρος σχήματος. Ανάλογα με την τιμή που λαμβάνει η παράμετρος σχήματος, η κατανομή εκφράζει τις τρείς προαναφερθείσες κατανομές ως ακολούθως :

• Fisher-Tippett Type I (Gumbel), για k=0

• Fisher-Tippett Type II (Frechet), για k>0

• Fisher-Tippett Type III (Weibull), για k<0

Στην παράπλευρη Εικόνα απεικονίζεται μια ενδεικτική γραφική αναπαράσταση των τριών μορφών της GEV, με κοινούς παραμέτρους θέσης και κλίμακας.



Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η μέθοδος "Annual Maxima" παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα σε συνδυασμένη χρήση με την GEV για την κατανομή του δείγματος. Όσον αφορά τον τύπο που θα χρησιμοποιηθεί, και πάλι σύμφωνα με την βιβλιογραφία είναι κοινά αποδεκτό ότι ο τρίτος τύπος (Weibull) αποτελεί μία αξιόπιστη προσέγγιση για την έκφραση κατανομών ταχύτητας αέρα (Hennessey, 1977), και αντίστοιχα ο πρώτος τύπος (Gumbel) για τις ακραίες τιμές ταχύτητας ανέμου (Cook, 1985). Ωστόσο ακόμα και στην περίπτωση όπου δεν επιλεγεί ο καταλληλότερος τύπος της κατανομής, γεγονός που ενδέχεται να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση των περιόδων επαναφοράς των ακραίων τιμών, η χρήση τους στην εφαρμογή ανάλυσης ρίσκου θα αποδώσει θεμιτά αποτελέσματα όσον αφορά θέματα ασφάλειας. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου "Annual Maxima" με την χρήση της GEV είναι ότι χρησιμοποιείται, ουσιαστικά, μόνο μία τιμή ανά έτος. Αυτό μειώνει σημαντικά τον αριθμό των δεδομένων προς ανάλυση. Για τον λόγο αυτό, η μέθοδος δεν δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα για χρονοσειρές μικρότερες των 10, ετών με το ιδανικό μέγεθος να κυμαίνεται στα είκοσι έτη (Cook & Mayne, 1980).

3. Υπολογισμός συντελεστών της κατανομής.

Μετά από την επιλογή του τύπου της κατανομής που θα χρησιμοποιηθεί, εκτελείται ο υπολογισμός των παραμέτρων της (παράμετροι θέσης, κλίμακας και σχήματος), προκειμένου αυτή να προσεγγίζει κατά το δυνατόν το δείγμα των τιμών της παραμέτρου προς ανάλυση. Για την εκτίμηση των παραμέτρων, διατίθεται μία ποικιλία μεθόδων, οι οποίες κατά περίπτωση βασίζονται σε γραφικές μεθόδους, σε ροπές, σε τεχνικές διατεταγμένης παρατήρησης ή τέλος σε μεθόδους που βασίζονται στην εύρεση μέγιστης πιθανοφάνειας. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood - ML) η διαδικασία και εφαρμογή της οποίας περιγράφεται εκτενώς στη διεθνή βιβλιογραφία (Davison & Smith, 1990; Wilks, 1993)

4. Έλεγχος εγκυρότητας του μοντέλου.

Αν και είναι αδύνατον να ελεγχθεί η εγκυρότητα της εκτίμησης που βασίζεται στην κατανομή GEV, μπορεί να γίνει μία εκτίμηση με βάση τα παρατηρούμενα δεδομένα. Αυτό δεν είναι αρκετό για να δικαιολογήσει την προσέγγιση αλλά είναι μία προϋπόθεση. Η σύγκριση αυτή μπορεί να γίνει κάνοντας χρήση κάποιων γραφικών μεθόδων, όπως τα Q-Q plots, τα probability plots και τα return level plots (Coles, 2001) με σκοπό να εκτιμηθεί η καταλληλόλητα της επιλογής. Ταυτόχρονα διατίθενται και υπολογιστικές μέθοδοι εκτίμησης της εγκυρότητας της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε με χρήση ειδικών τεστ (goodness-of-fit) όπως είναι το τεστ Kolmogorov-Smirnov.

5. Χρήση των συντελεστών που βρέθηκαν για την εκτίμηση των ακραίων τιμών του ανέμου με επαναληψιμότητα Τ χρόνια (T-year event)

Εφόσον υπολογιστούν οι συντελεστές της κατανομής GEV, είναι δυνατός ο υπολογισμός των περιόδων επαναφοράς των ακραίων τιμών του δείγματος που αυτή αντιπροσωπεύει.

Για το ποσοστημόριο (quantile) Χ με διάστημα επανόδου (return period) Τ, η πιθανότητα θα δίνεται από τη σχέση: $F(X_T) = 1 - (1/T)$. Όπου το X_T, είναι η ταχύτητα ανέμου (extreme) που η τιμή της συναντάται κατά μέσο όρο μία φορά για διάστημα επανόδου Τ χρόνων (Palutikof, et al., 1999). Από τα παραπάνω προκύπτει :

$$f(x) = \begin{cases} \beta + \frac{\alpha}{\kappa}\left\{1 - \left[-ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]^k\right\}, & k \neq 0 \\ \beta - \alpha\, ln\left[-ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right], & k = 0 \end{cases}$$

Η εκτίμηση της αβεβαιότητας του U_T μπορεί να γίνει με χρήση της αβεβαιότητάς του α:

$$\sigma(U_T) = \pi\, \alpha \sqrt{\frac{1 + 1.14k_T + 1.10{k_T}^2}{6n}}$$

όπου $k_T = \frac{\sqrt{6}(lnT - y_e)}{\pi}$, n ο αριθμός ετών και y_e η σταθερα euler.

Το διάστημα εμπιστοσύνης 95% υπολογίζεται ως**:** 1.96 ·σ(UT).

Παράρτημα Β.

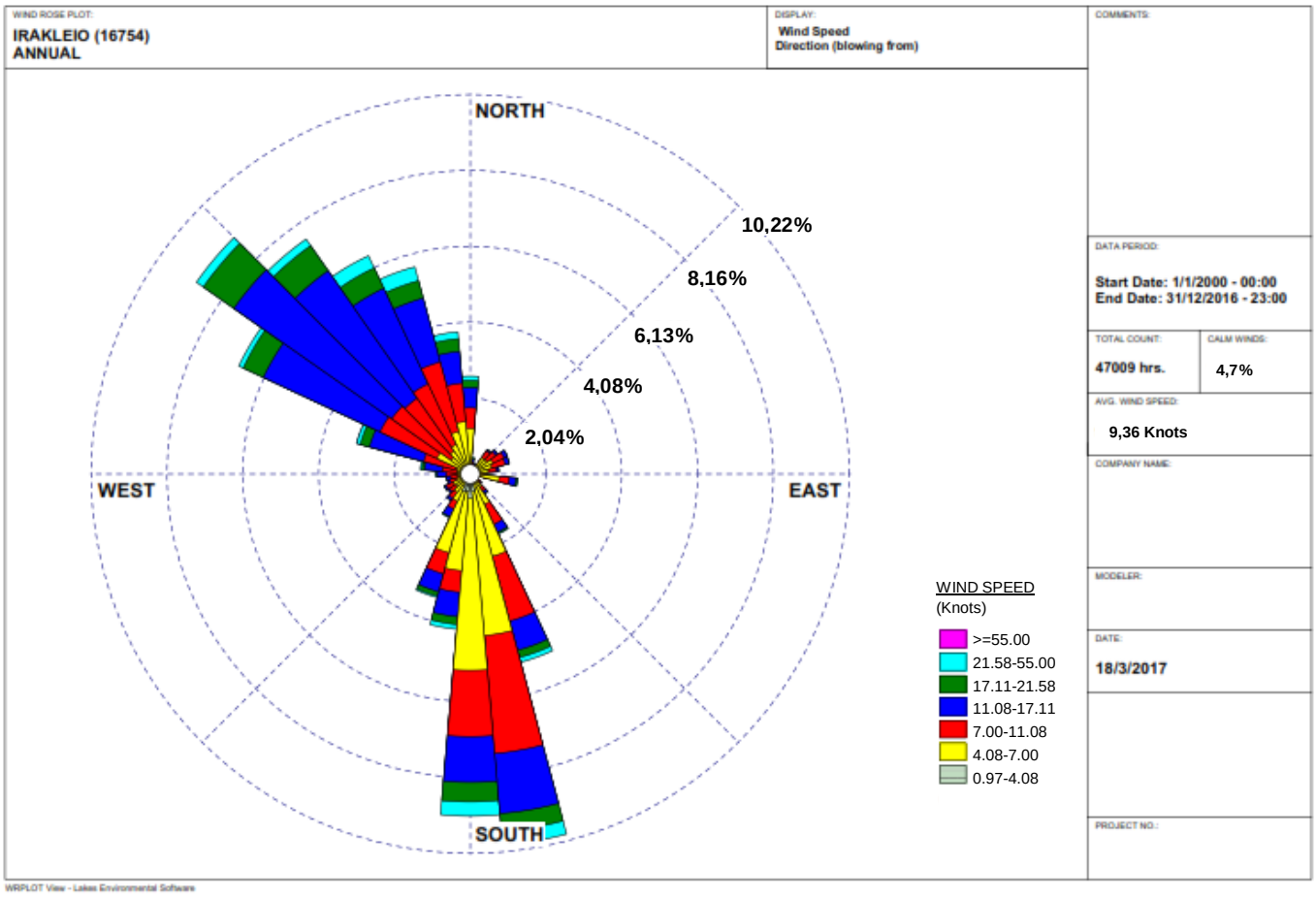
Προϊόντα ανάλυσης ανεμολογικών δεδομένων

Στο παρόν παράρτημα παρουσιάζονται τα προϊόντα που προέκυψαν από την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων για κάθε έναν από τους δέκα σταθμούς ως ακολούθως :

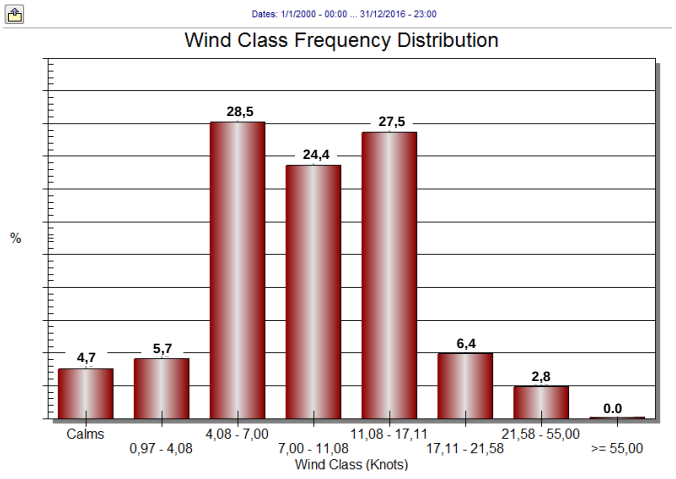
- Ετήσιο ροδόγραμμα ανέμου και διαγράμματα κατανομών εντάσεων ανέμου (για τις στιγμιαίες μετρήσεις τρίωρου και τις μέγιστες τιμές τρίωρου).
- Ροδόγραμμα ανέμου και διαγράμματα κατανομών εντάσεων ανέμου (για τις στιγμιαίες μετρήσεις τρίωρου και τις μέγιστες τιμές τρίωρου) ανά τρίμηνο του έτους.
- Χρονοσειρά μέγιστων μηνιαίων τιμών ανέμου.
- Πίνακας μέγιστων καταγεγραμμένων μηνιαίων και ετησίων τιμών ανέμου.
- Πινάκας εκτίμησης των παραμέτρων της GEV (ώστε αυτή να αντιπροσωπεύει την κατανομή των μέγιστων ετήσιων τιμών ανέμου) και των περιόδων επαναφοράς του ακραίου ανέμου με προσαρμογή στις ετήσιες μέγιστες τιμές της περιόδου 2000-2016.

ΗΡΑΚΛΕΙΟ	**ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΜΥ :** 16754 **ΘΕΣΗ :** 35°20'07"B - 25°10'55"A **ΥΨΟΜ. :** 39 μέτρα

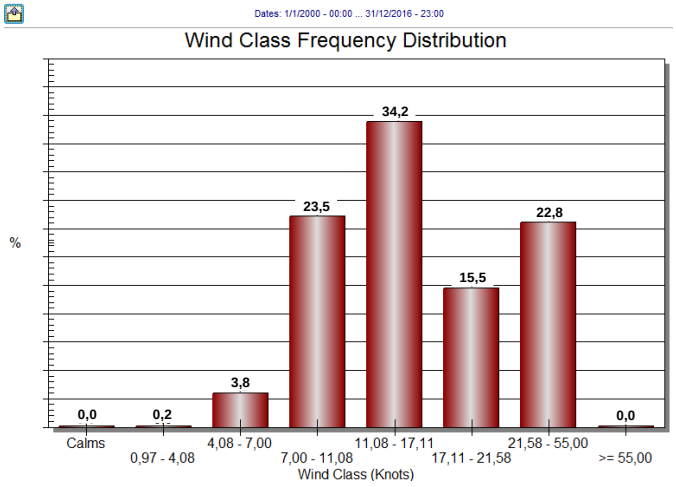
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

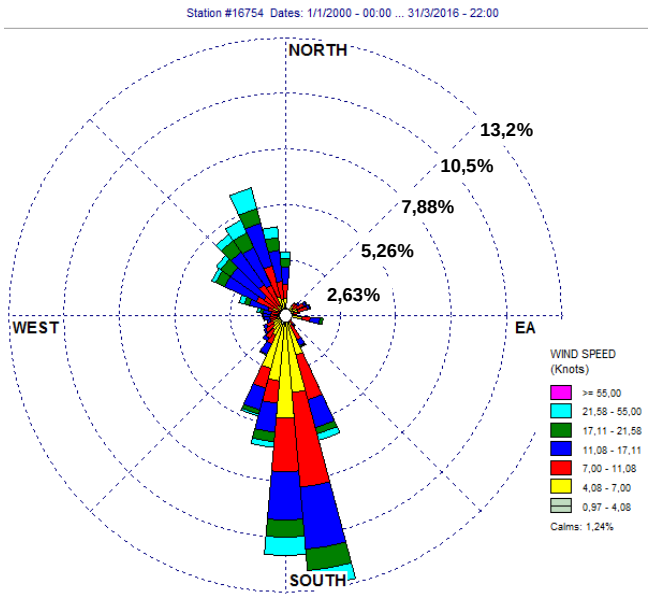


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (MAX 3Ω)

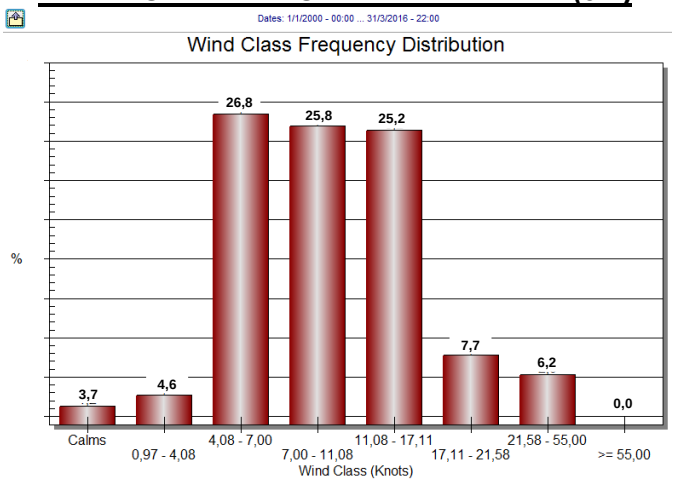


Α' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΑΝ-ΜΑΡ)

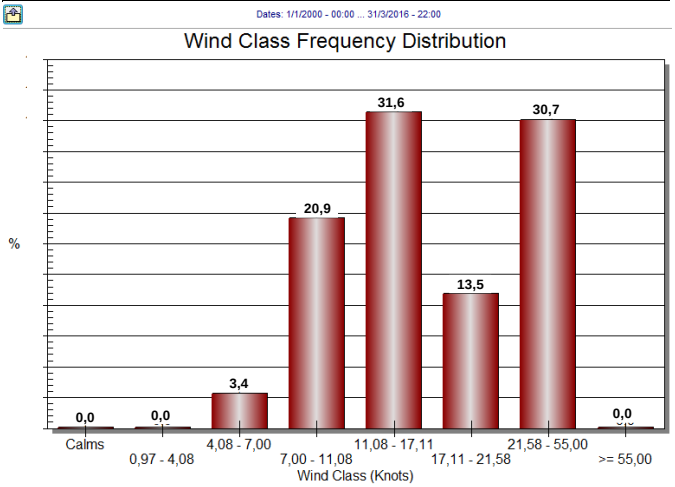
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

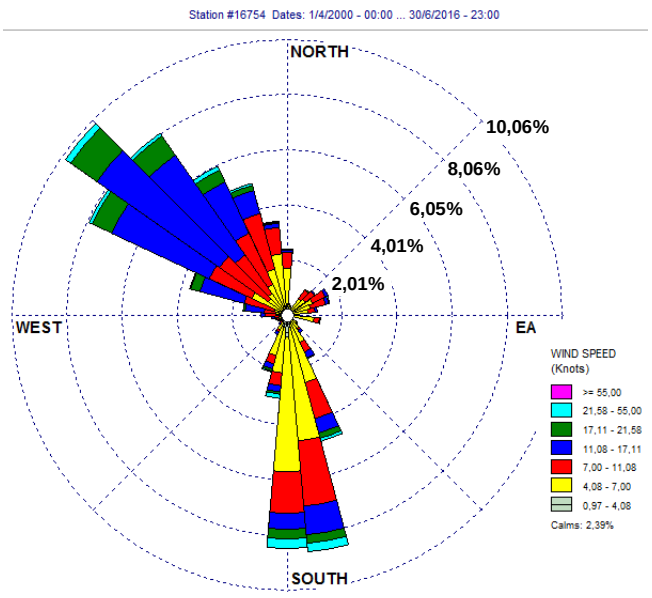


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

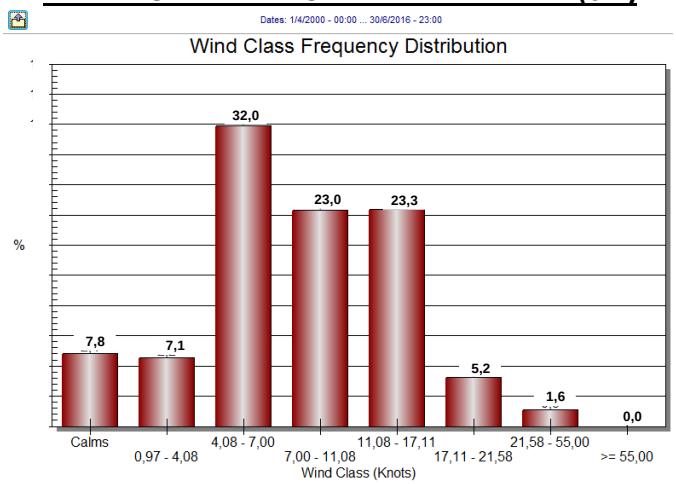


Β' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΑΠΡ-ΙΟΥΝ)

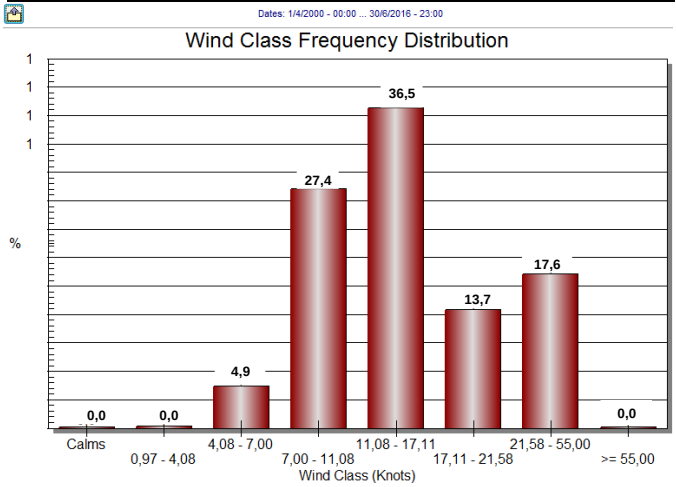
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

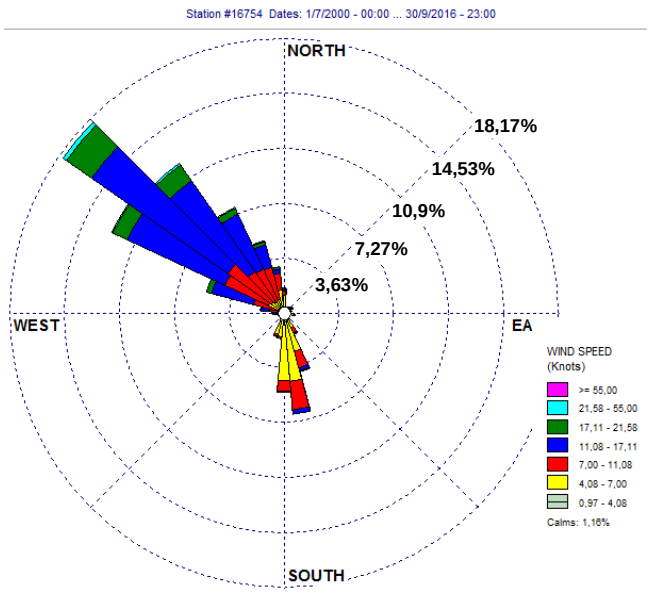


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



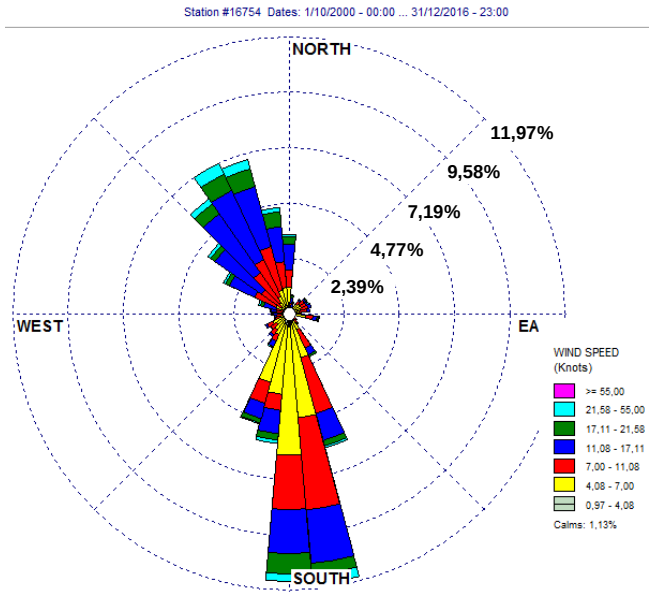
Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΟΥΛ-ΣΕΠ)

ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ

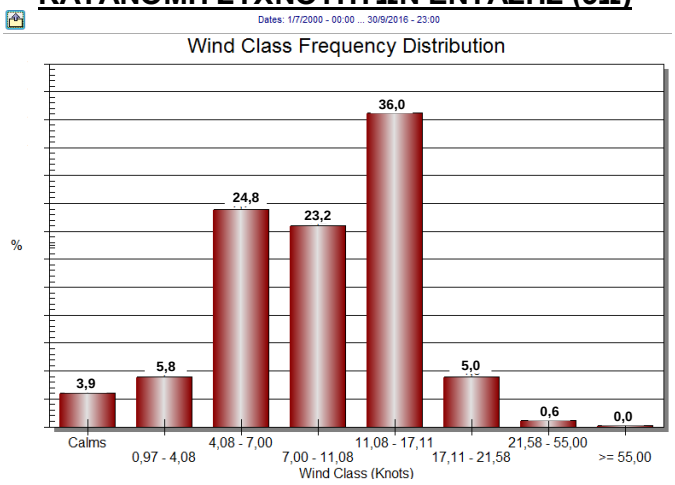


Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΟΚΤ-ΔΕΚ)

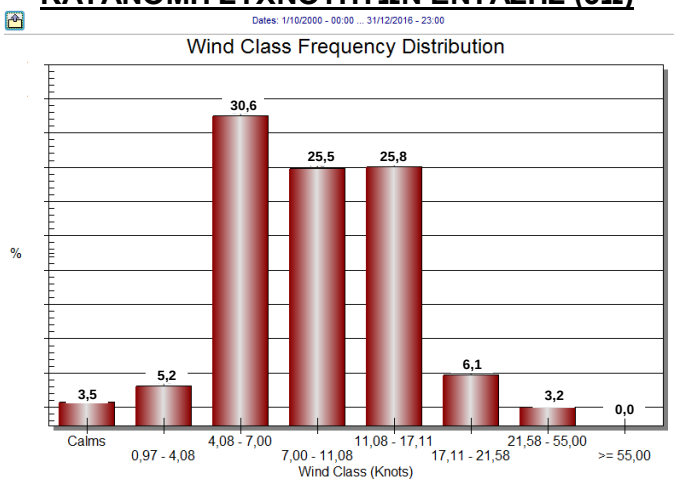
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



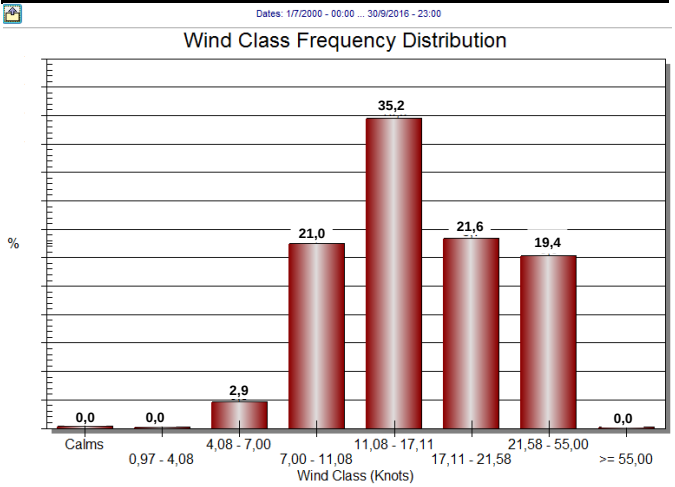
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



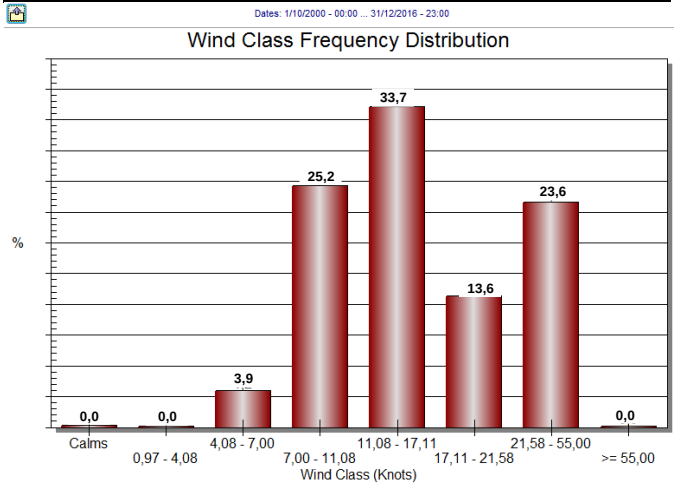
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



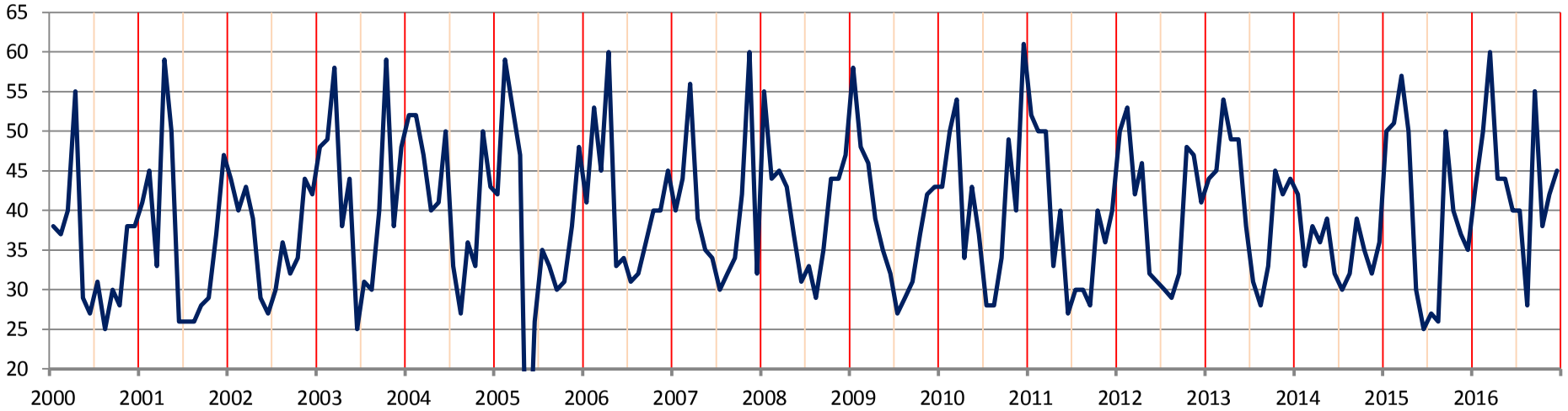
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

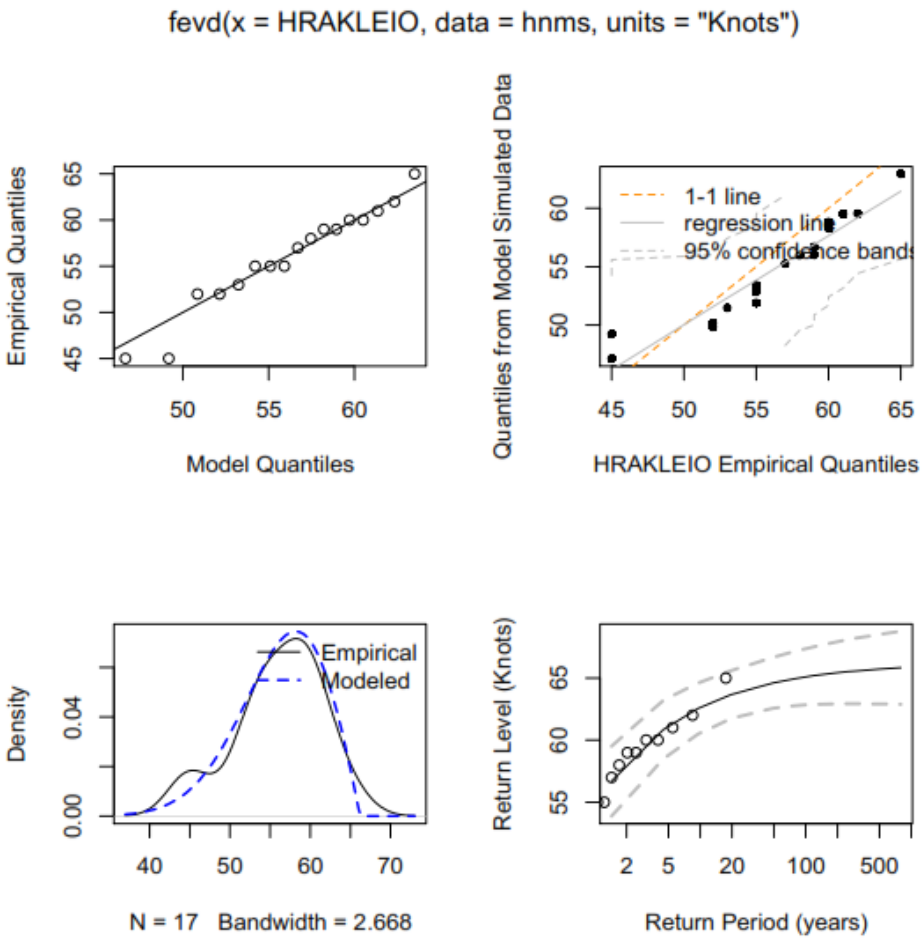


ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ΙΑΝ	38	41	44	48	52	42	41	40	55	58	43	52	50	44	42	50	43
ΦΕΒ	37	45	40	49	52	59	53	44	44	48	50	50	53	45	33	51	50
ΜΑΡ	40	33	43	58	47	53	45	56	45	46	54	50	42	54	38	57	60
ΑΠΡ	55	59	39	38	40	47	60	39	43	39	34	33	46	49	36	50	44
ΜΑΙ	29	50	29	44	41	0	33	35	37	35	43	40	32	49	39	30	44
ΙΟΥΝ	27	26	27	25	50	26	34	34	31	32	37	27	31	38	32	25	40
ΙΟΥΛ	31	26	30	31	33	35	31	30	33	27	28	30	30	31	30	27	40
ΑΥΓ	25	26	36	30	27	33	32	32	29	29	28	30	29	28	32	26	28
ΣΕΠ	30	28	32	40	36	30	36	34	35	31	34	28	32	33	39	50	55
ΟΚΤ	28	29	34	59	33	31	40	42	44	37	49	40	48	45	35	40	38
ΝΟΕ	38	37	44	38	50	38	40	60	44	42	40	36	47	42	32	37	42
ΔΕΚ	38	47	42	48	43	48	45	32	47	43	61	40	41	44	36	35	45
ΜΑΧ	55	59	44	59	52	59	60	60	55	58	61	52	53	54	42	57	60

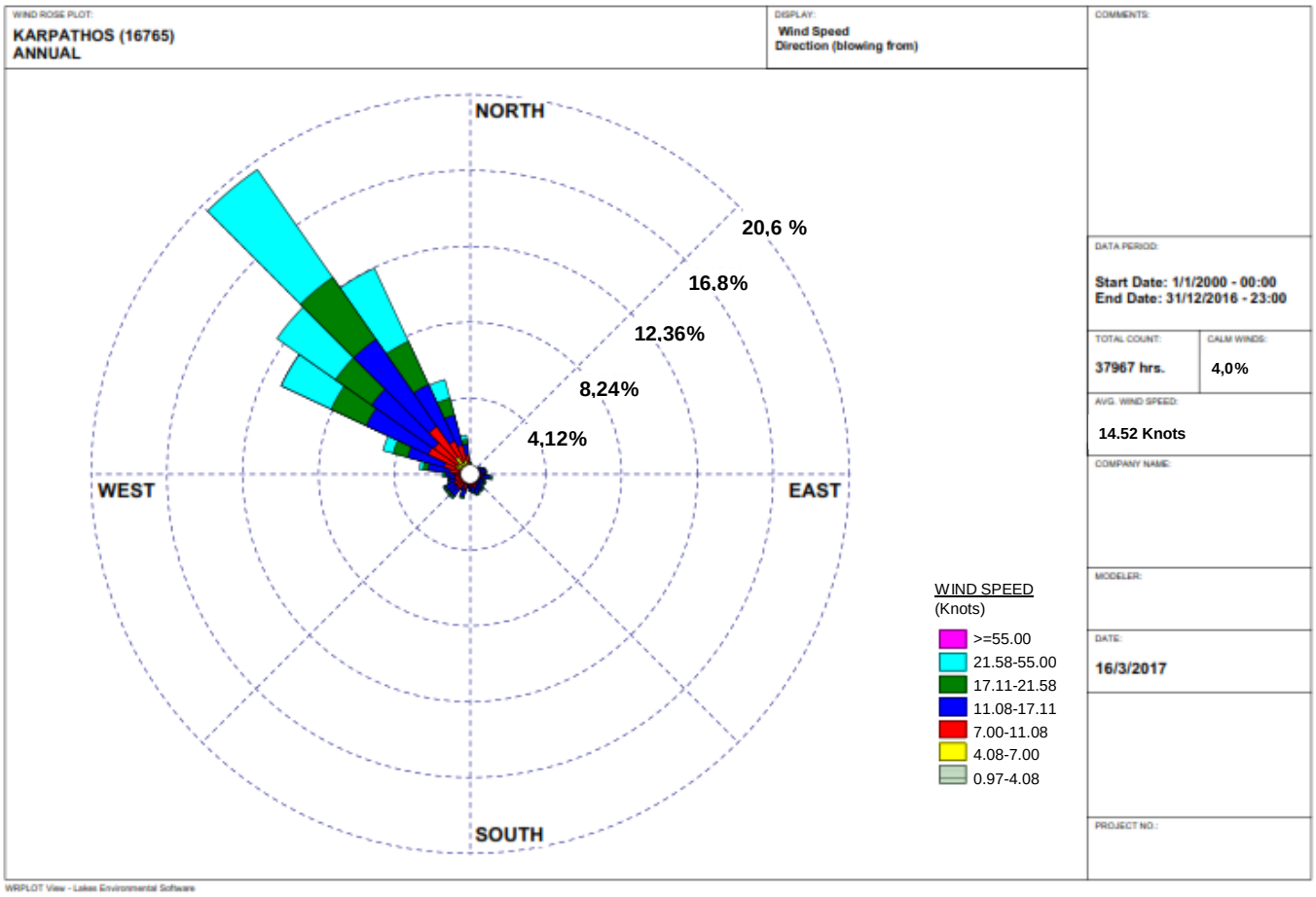
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ GEV ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΚΡΑΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2000-2016

ΗΡΑΚΛΕΙΟ	παράμετρος θέσης (β)	παράμετρος κλίμακας (α)	παράμετρος σχήματος (κ)
Εκτιμώμενες τιμές	54.7685485	5.7784643	-0.5049306
Τυπικό σφάλμα	1.5245853	1.1488538	0.1565517
Συνδιακύμανση εκτίμησης παραμέτρων			
παράμετρος θέσης (β)	2.32436039	-0.4882083	-0.09174433
παράμετρος κλίμακας (α)	-0.48820833	1.3198651	-0.11695554
παράμετρος σχήματος (κ)	-0.09174433	-0.1169555	0.02450843
Negative log-likelihood	51.6965		
AIC	109.393		
BIC	111.8926		
Εκτιμώμενες περίοδοι επαναφοράς	(Κόμβοι)	(95% διάστημα εμπιστοσύνης)	
2-έτη	56.70201	(53.89001 - 59.51401)	
20-έτη	63.65845	(61.73569 - 65.58121)	
50-έτη	64.61700	(62.57515 - 66.65885)	
100-έτη	65.09107	(62.83389 - 67.34825)	

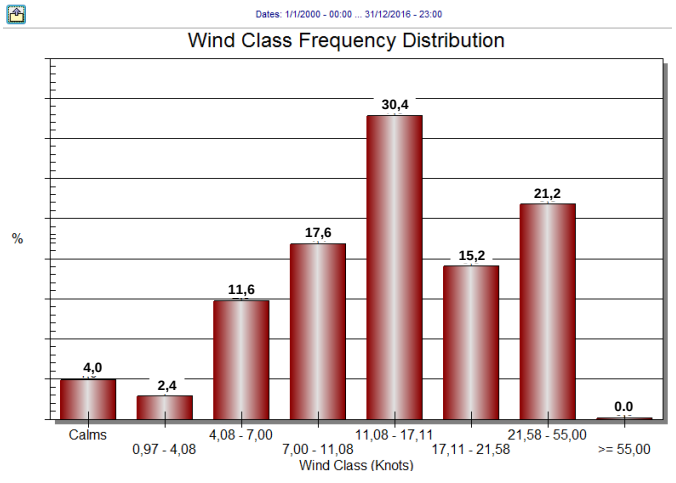


ΚΑΡΠΑΘΟΣ	**ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΜΥ :** 16765 **ΘΕΣΗ :** 35°25'0" B - 027°8'0" A **ΥΨΟΜ. :** 10.77 μέτρα

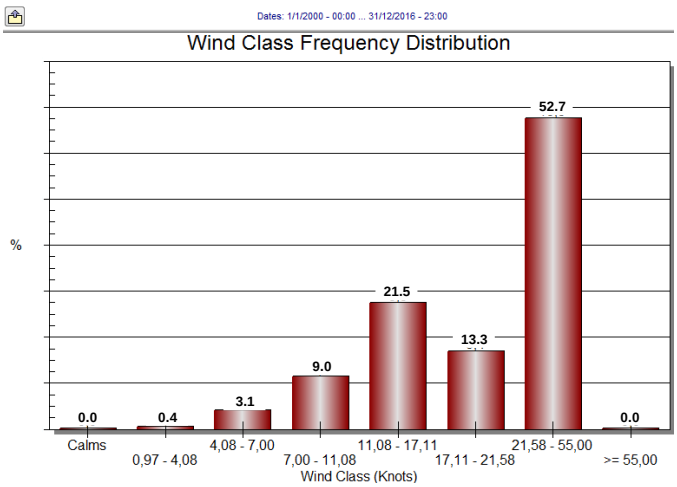
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

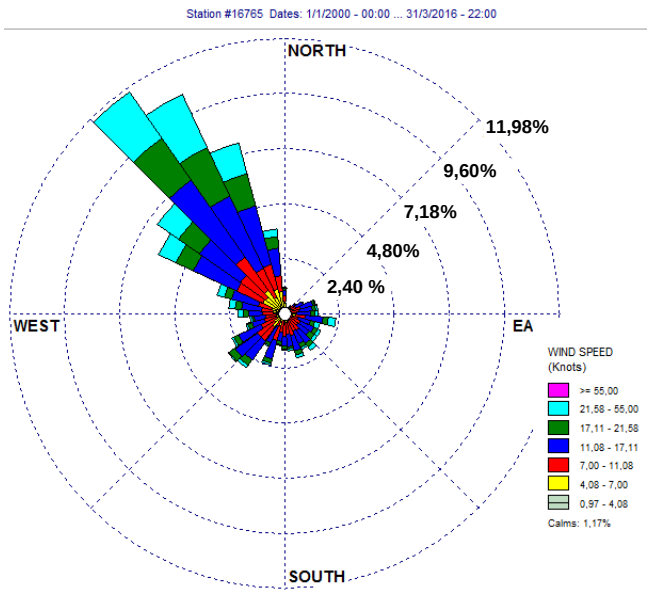


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (MAX 3Ω)

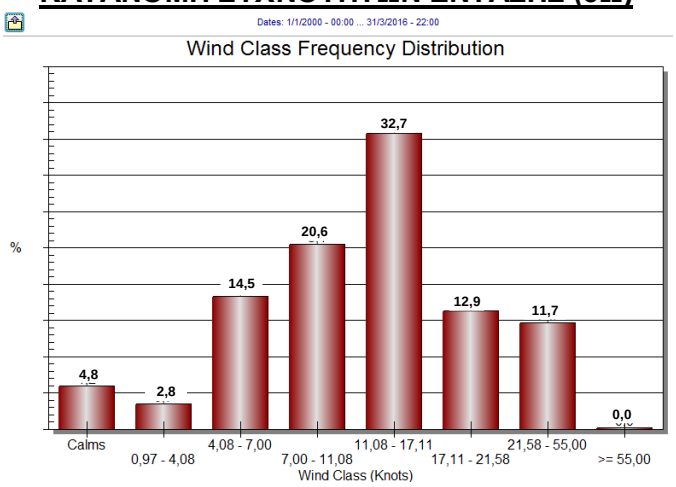


Α' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΑΝ-ΜΑΡ)

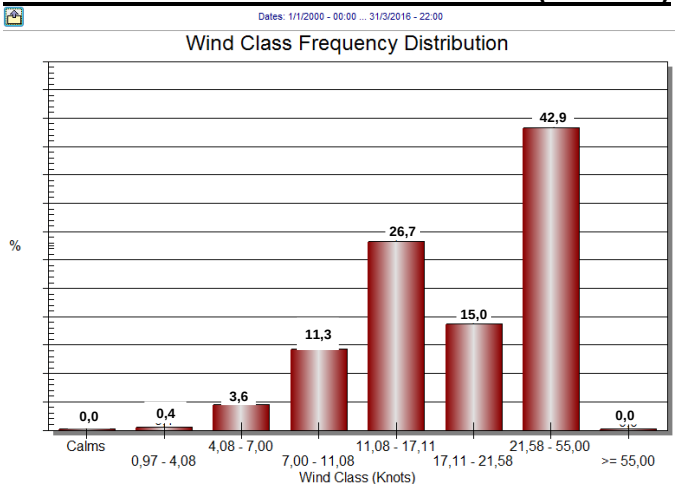
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

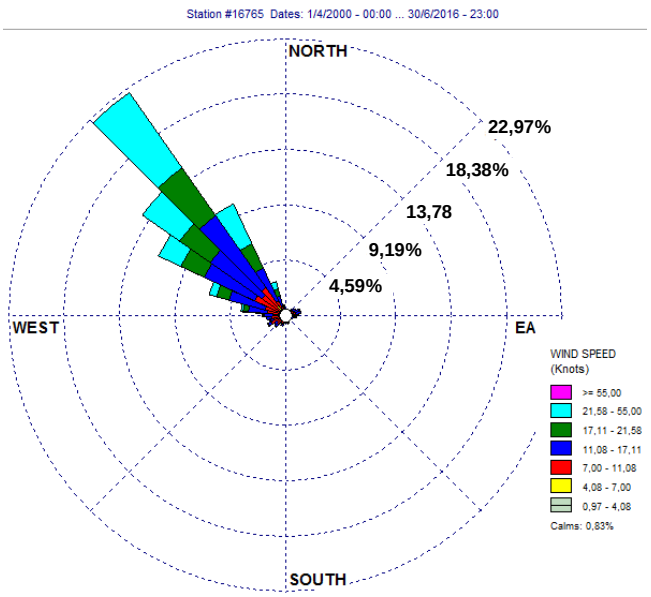


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

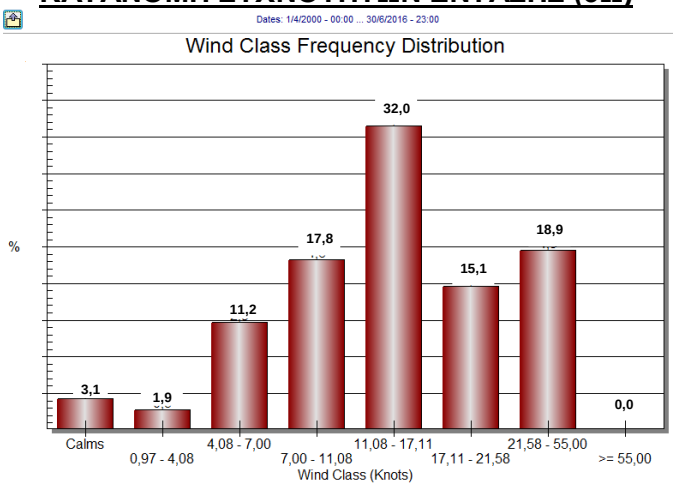


Β' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΑΠΡ-ΙΟΥΝ)

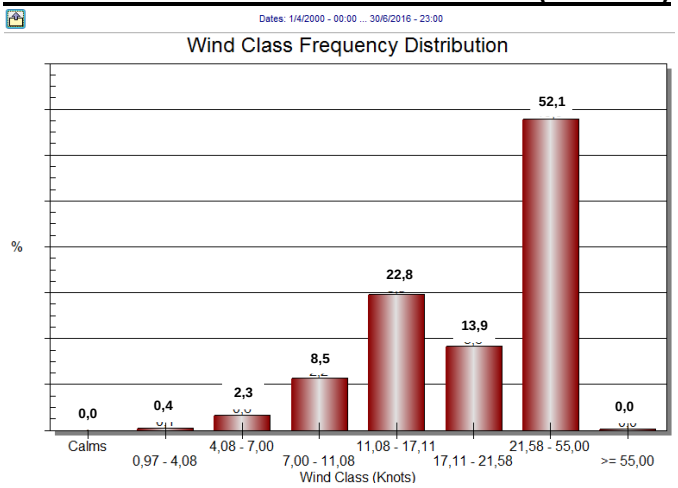
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

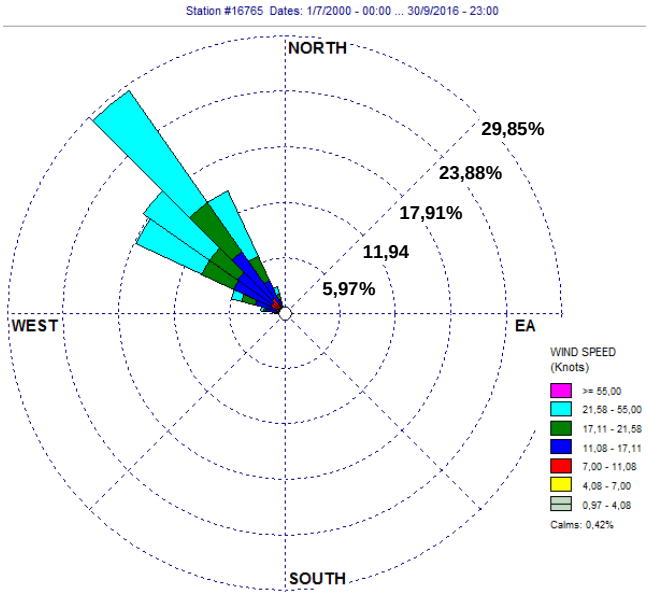


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

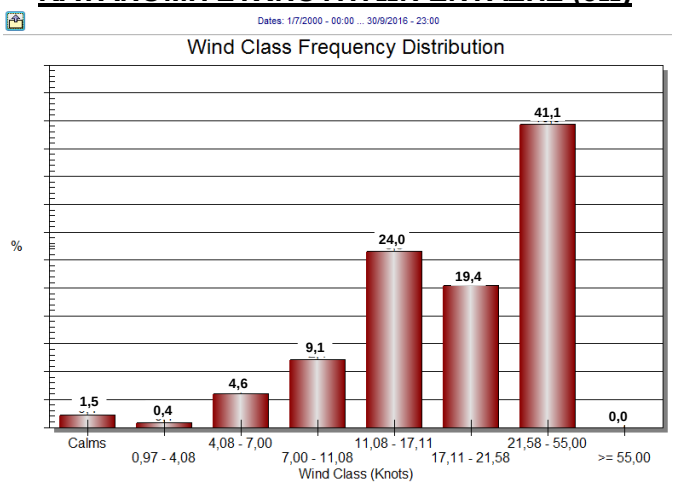


Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΟΥΛ-ΣΕΠ)

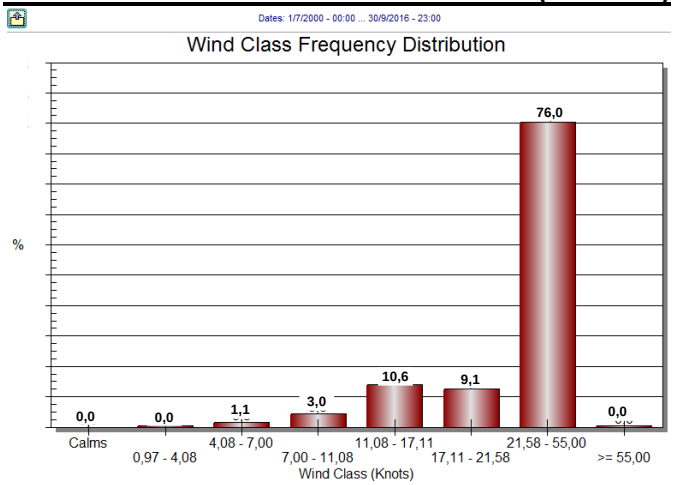
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

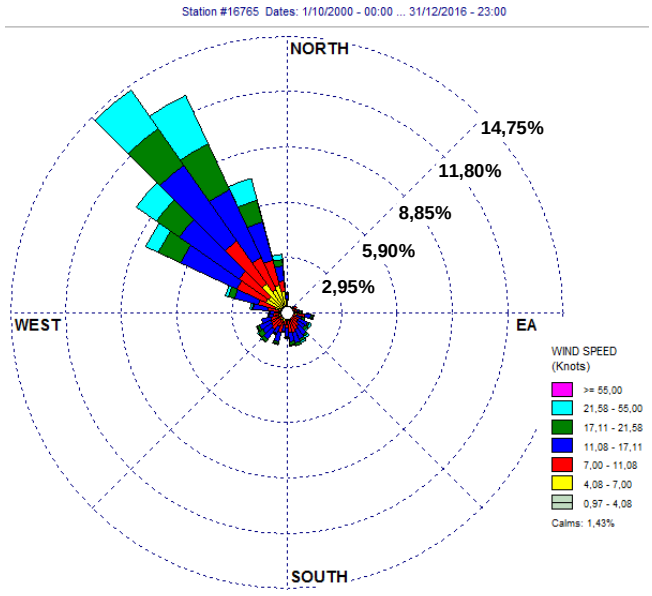


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

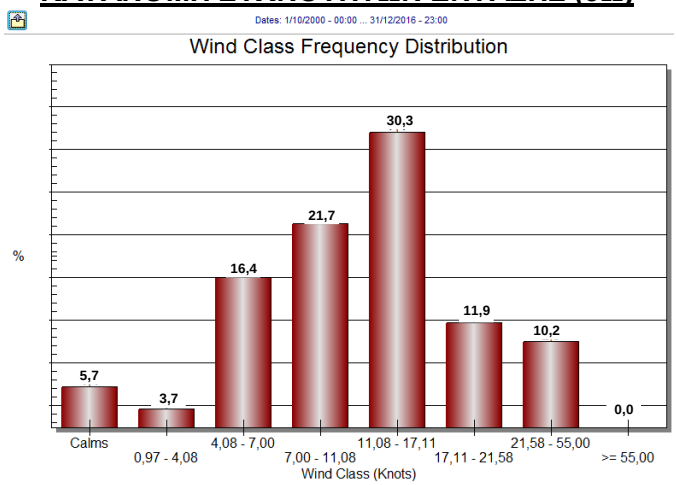


Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΟΚΤ-ΔΕΚ)

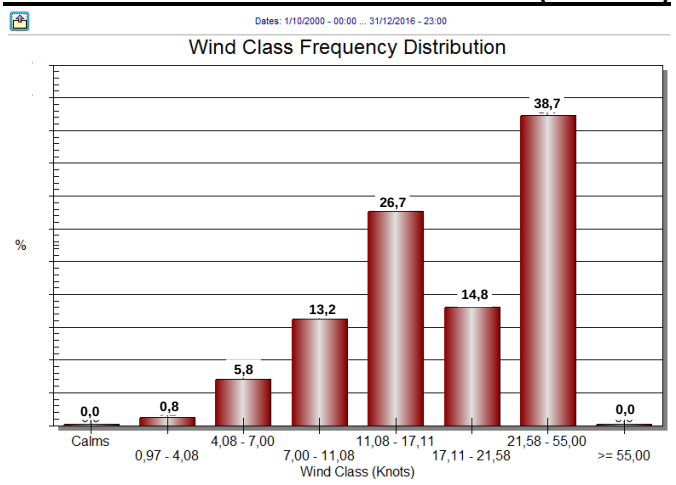
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



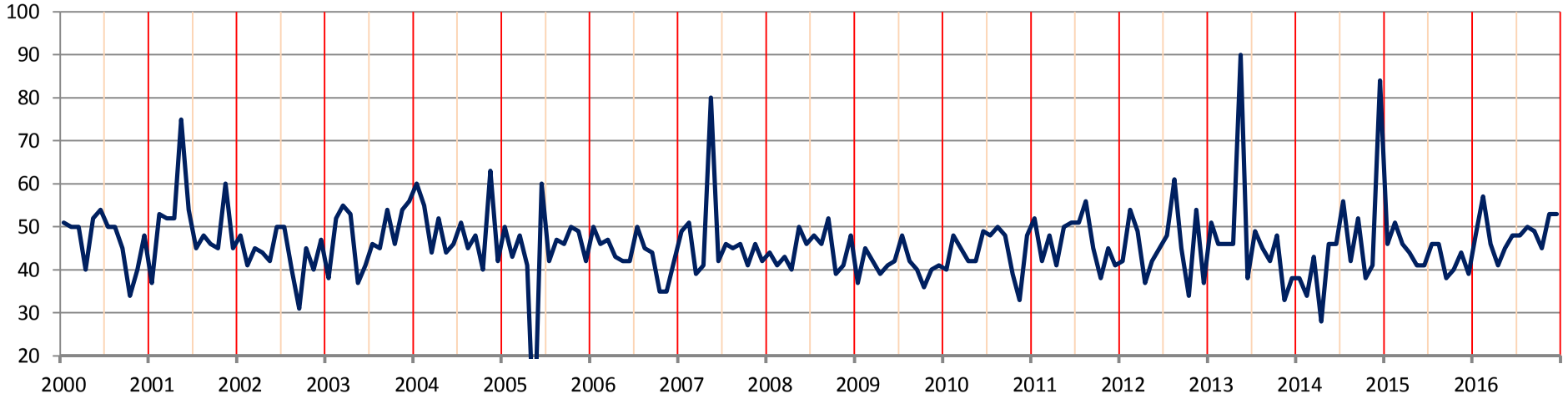
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)



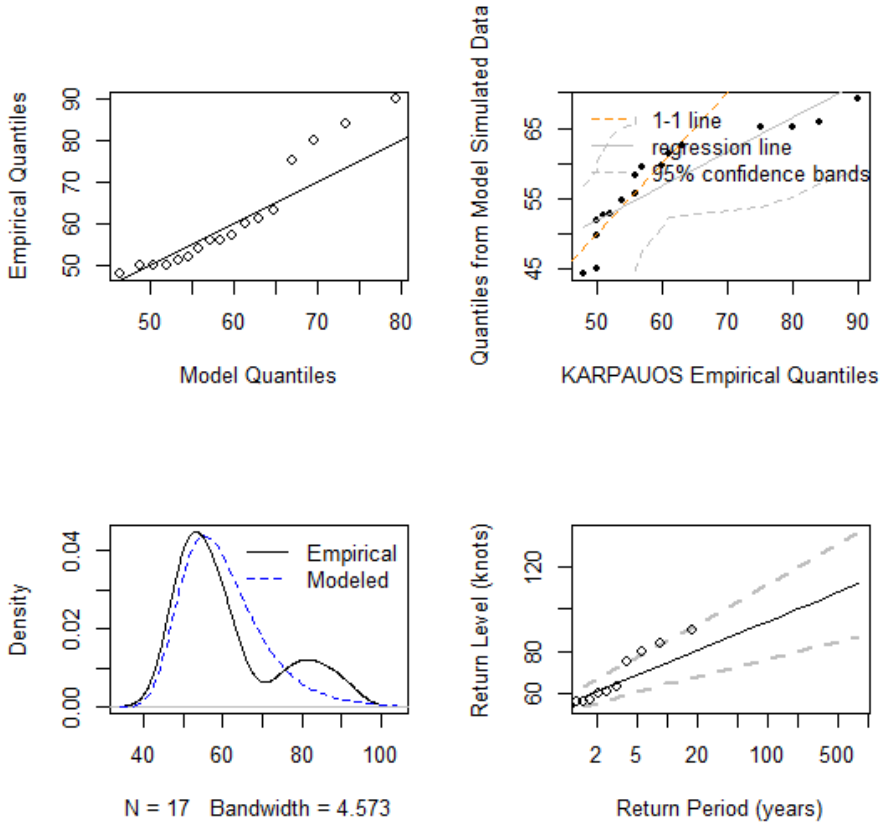
ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ΙΑΝ	51	37	48	38	60	50	50	49	44	37	40	52	42	51	38	46	48
ΦΕΒ	50	53	41	52	55	43	46	51	41	45	48	42	54	46	34	51	57
ΜΑΡ	50	52	45	55	44	48	47	39	43	42	45	48	49	46	43	46	46
ΑΠΡ	40	52	44	53	52	41	43	41	40	39	42	41	37	46	28	44	41
ΜΑΙ	52	75	42	37	44	0	42	80	50	41	42	50	42	90	46	41	45
ΙΟΥΝ	54	54	50	41	46	60	42	42	46	42	49	51	45	38	46	41	48
ΙΟΥΛ	50	45	50	46	51	42	50	46	48	48	48	51	48	49	56	46	48
ΑΥΓ	50	48	40	45	45	47	45	45	46	42	50	56	61	45	42	46	50
ΣΕΠ	45	46	31	54	48	46	44	46	52	40	48	45	45	42	52	38	49
ΟΚΤ	34	45	45	46	40	50	35	41	39	36	39	38	34	48	38	40	45
ΝΟΕ	40	60	40	54	63	49	35	46	41	40	33	45	54	33	41	44	53
ΔΕΚ	48	45	47	56	42	42	42	42	48	41	48	41	37	38	84	39	53
ΜΑΧ	54	75	50	56	63	60	50	80	52	48	50	56	61	90	84	51	57

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ GEV ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΚΡΑΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2000-2016

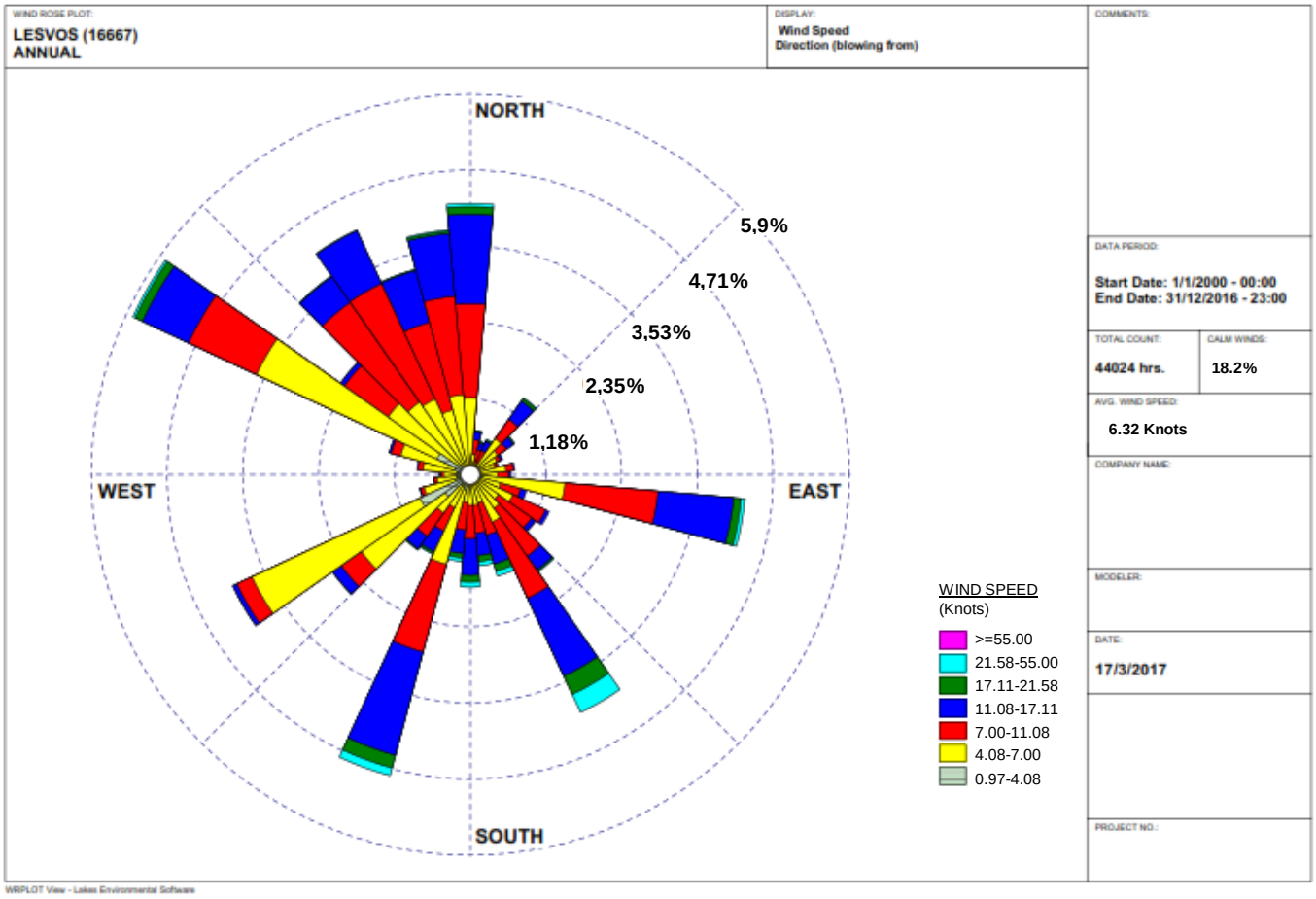
ΚΑΡΠΑΘΟΣ	παράμετρος θέσης (β)	παράμετρος κλίμακας (α)	παράμετρος σχήματος (κ)
Εκτιμώμενες τιμές	55.460507	8.392212	0
Τυπικό σφάλμα	2.122115	1.766261	
Συνδιακύμανση εκτίμησης παραμέτρων			
παράμετρος θέσης (β)	4.503370	1.060453	
παράμετρος κλίμακας (α)	1.060453	3.119677	
παράμετρος σχήματος (κ)			
Negative log-likelihood	64.38545		
AIC	132.7709		
BIC	134.4373		
Εκτιμώμενες περίοδοι επαναφοράς	(Κόμβοι)	(95% διάστημα εμπιστοσύνης)	
2-έτη	58.53636	(53.85710 - 63.21562)	
20-έτη	80.38701	(68.25345 - 92.52058)	
50-έτη	88.20640	(72.98965 - 103.42316)	
100-έτη	94.06593	(76.50521 - 111.62665)	

fevd(x = KARPAUOS, data = hnms, type = "Gumbel", units = "knots")

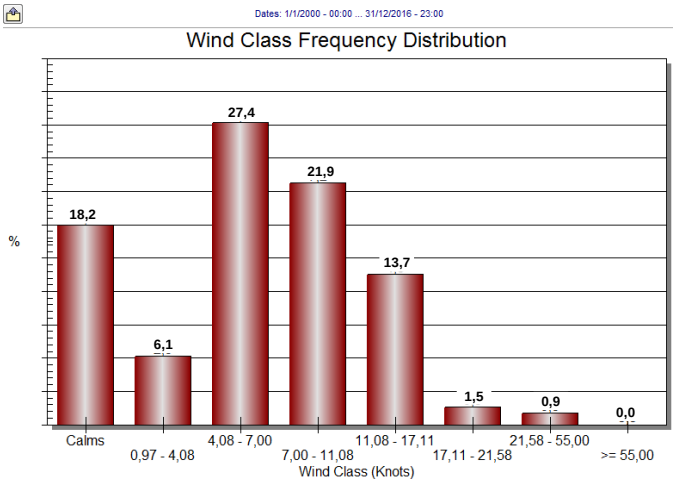


ΛΕΣΒΟΣ	**ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΜΥ :** 16667 **ΘΕΣΗ :** 39°03'14" B - 026°36'13" A **ΥΨΟΜ. :** 4.2 μέτρα

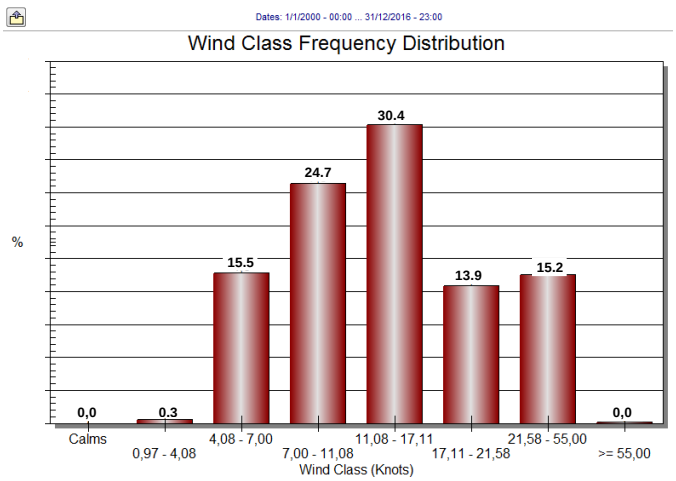
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

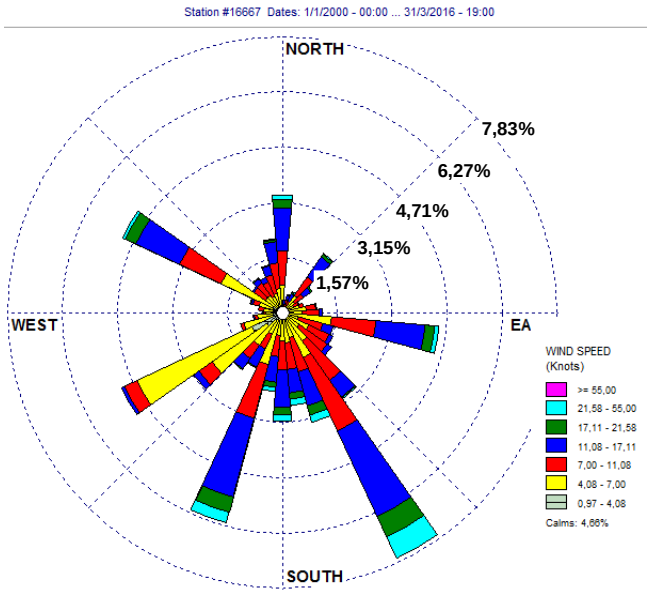


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (MAX 3Ω)



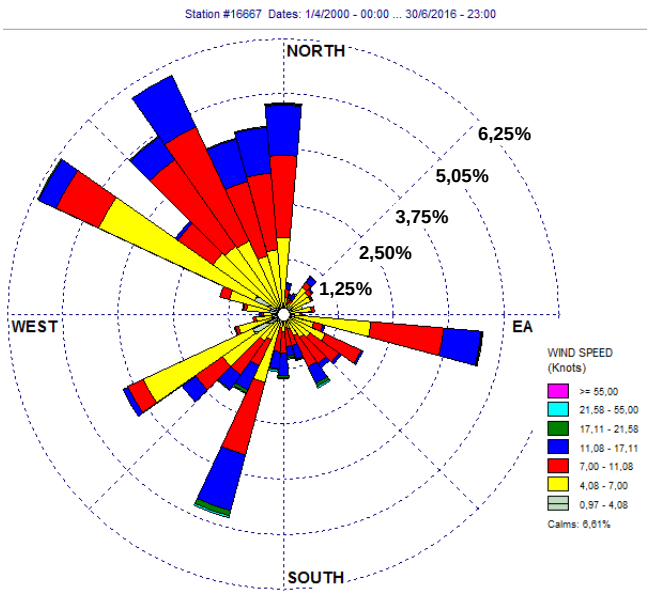
Α' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΑΝ-ΜΑΡ)

ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ

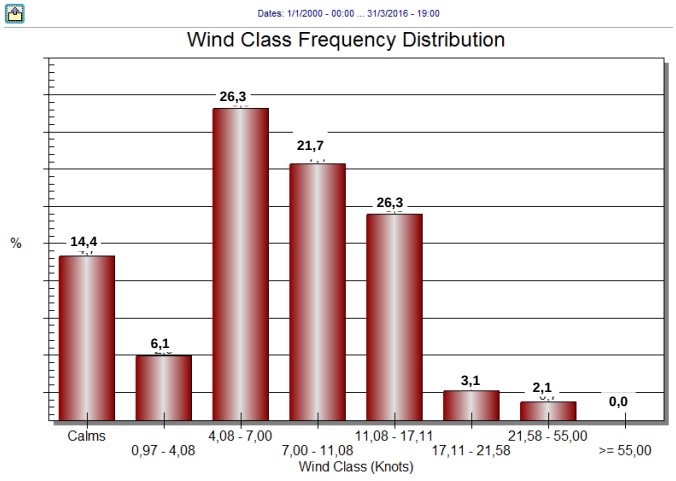


Β' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΑΠΡ-ΙΟΥΝ)

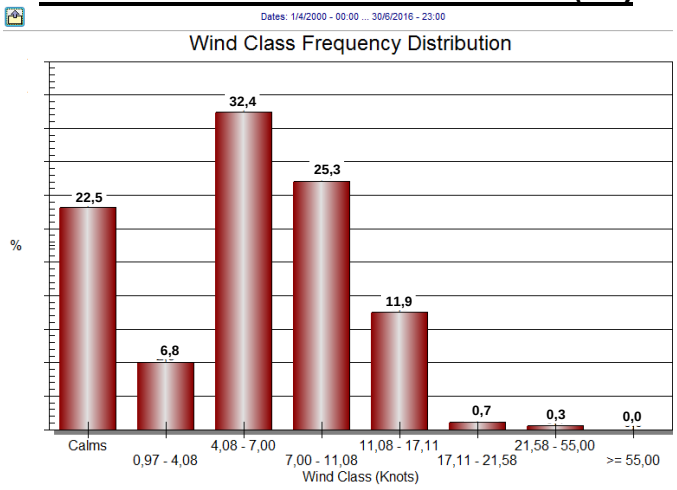
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



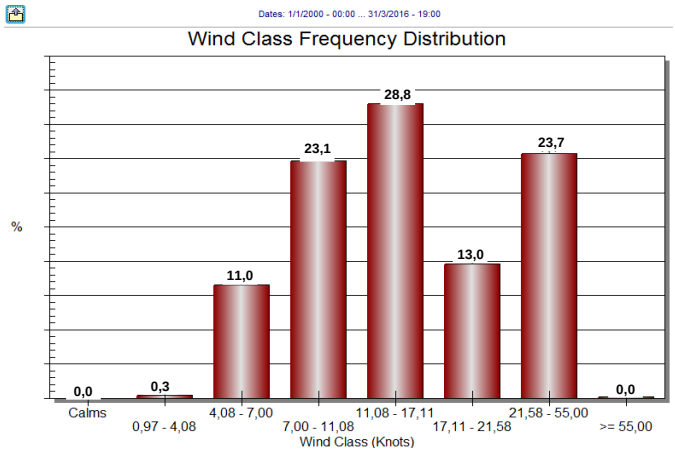
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



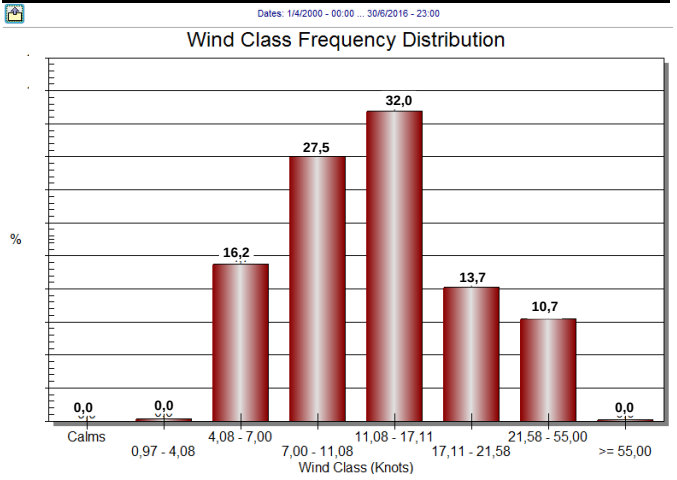
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

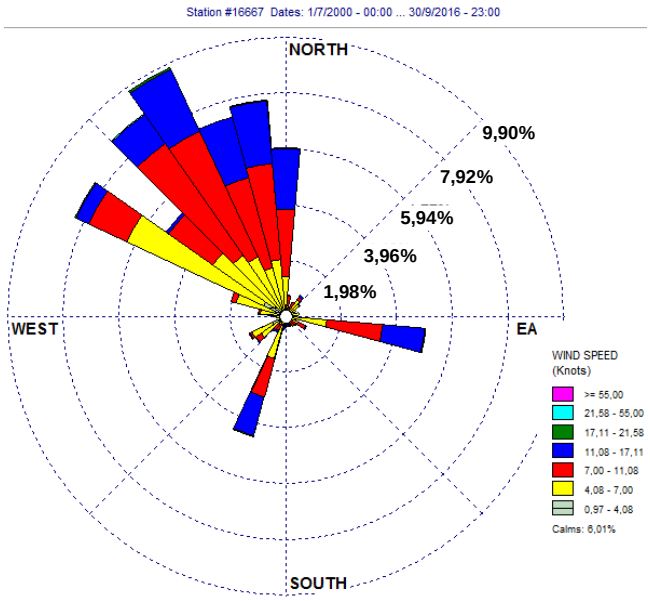


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

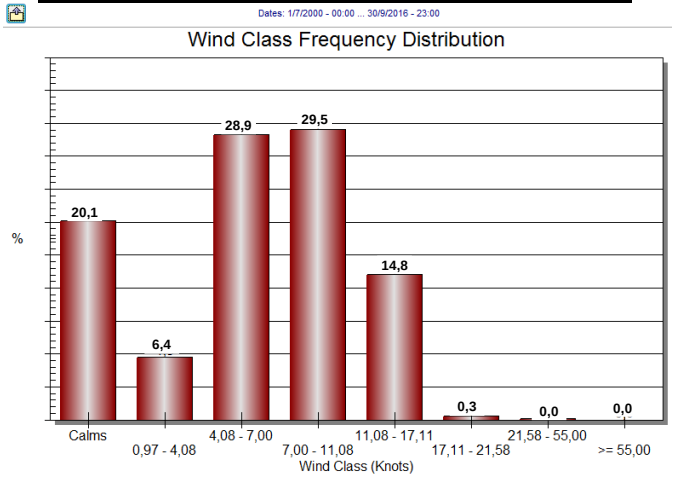


Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΟΥΛ-ΣΕΠ)

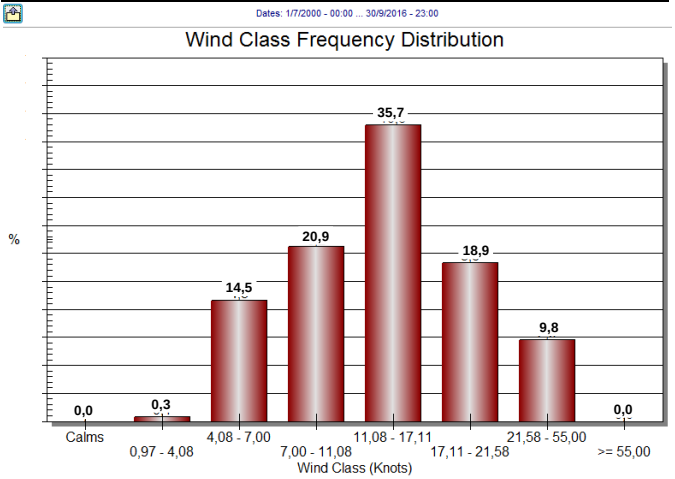
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

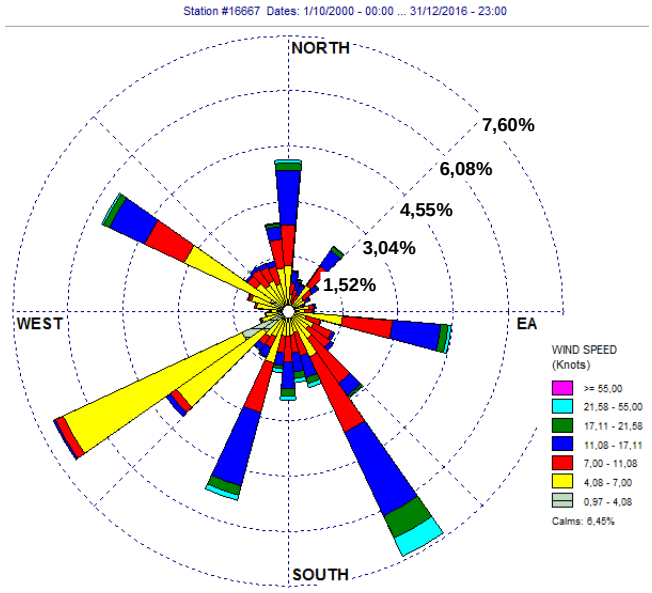


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

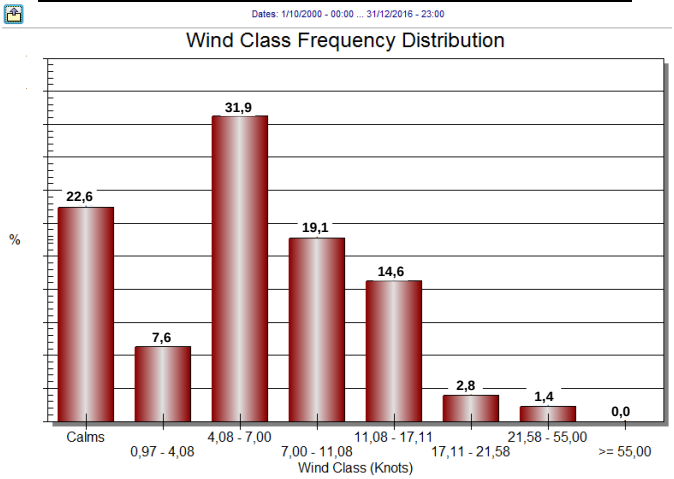


Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΟΚΤ-ΔΕΚ)

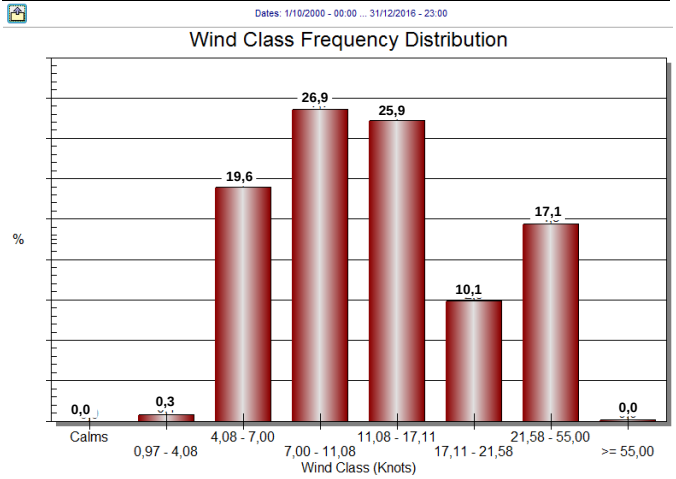
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



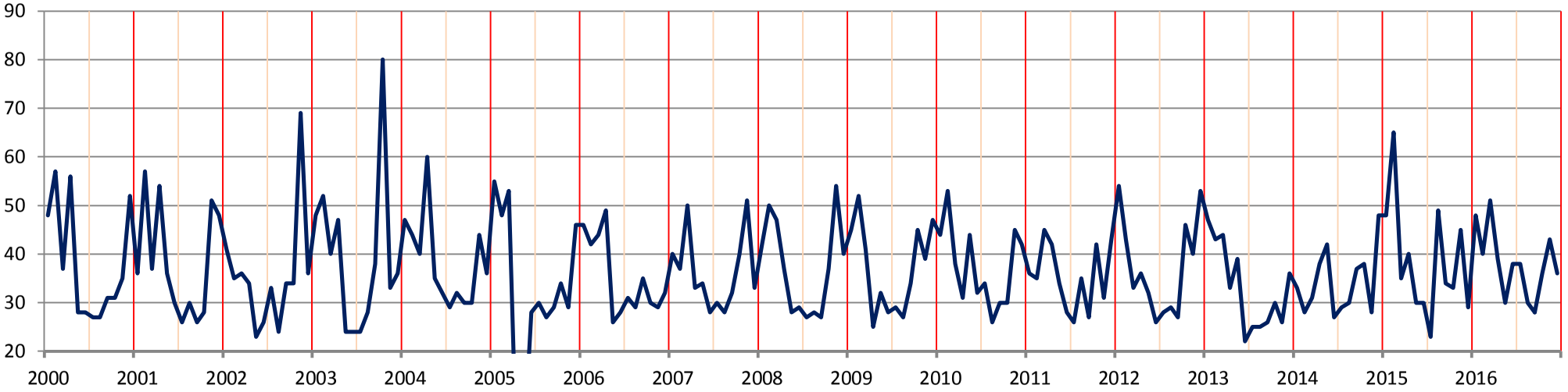
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)



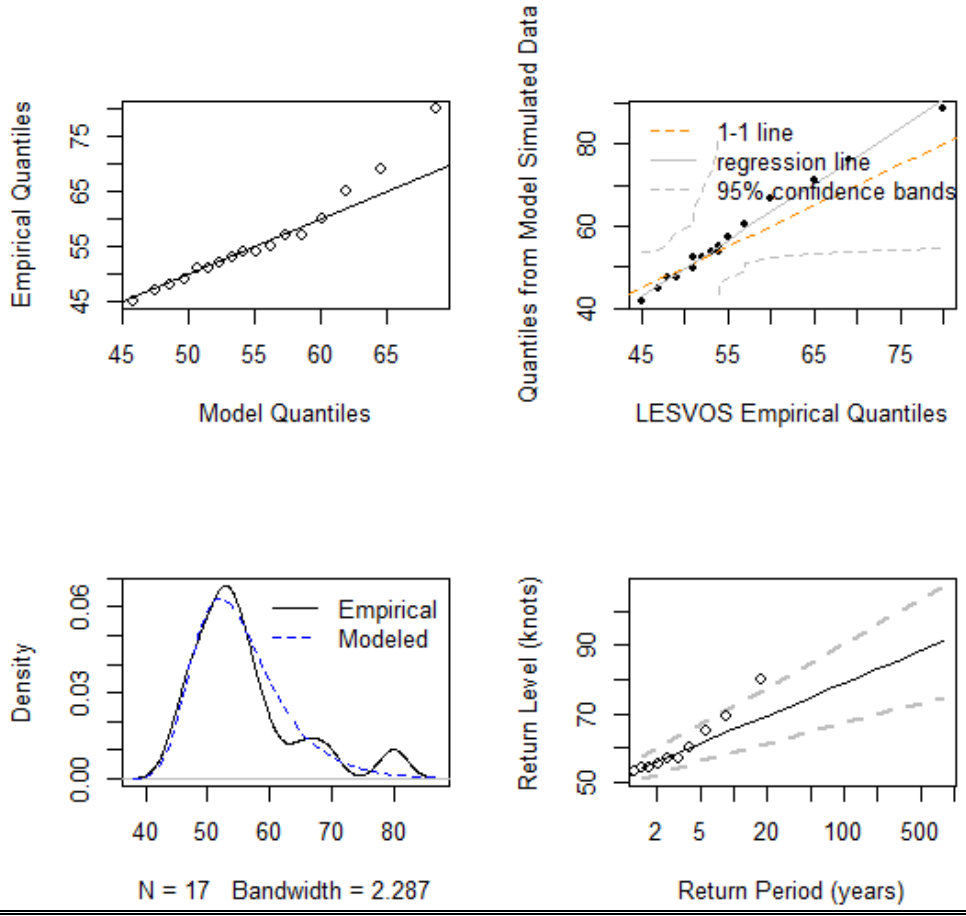
ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ΙΑΝ	48	36	41	48	47	55	46	40	42	45	44	36	54	47	33	48	48
ΦΕΒ	57	57	35	52	44	48	42	37	50	52	53	35	43	43	28	65	40
ΜΑΡ	37	37	36	40	40	53	44	50	47	41	38	45	33	44	31	35	51
ΑΠΡ	56	54	34	47	60	0	49	33	37	25	31	42	36	33	38	40	39
ΜΑΙ	28	36	23	24	35	0	26	34	28	32	44	34	32	39	42	30	30
ΙΟΥΝ	28	30	26	24	32	28	28	28	29	28	32	28	26	22	27	30	38
ΙΟΥΛ	27	26	33	24	29	30	31	30	27	29	34	26	28	25	29	23	38
ΑΥΓ	27	30	24	28	32	27	29	28	28	27	26	35	29	25	30	49	30
ΣΕΠ	31	26	34	38	30	29	35	32	27	34	30	27	27	26	37	34	28
ΟΚΤ	31	28	34	80	30	34	30	40	37	45	30	42	46	30	38	33	36
ΝΟΕ	35	51	69	33	44	29	29	51	54	39	45	31	40	26	28	45	43
ΔΕΚ	52	48	36	36	36	46	32	33	40	47	42	43	53	36	48	29	36
ΜΑΧ	57	57	69	80	60	55	49	51	54	52	53	45	54	47	48	65	51

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ GEV ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΚΡΑΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2000-2016

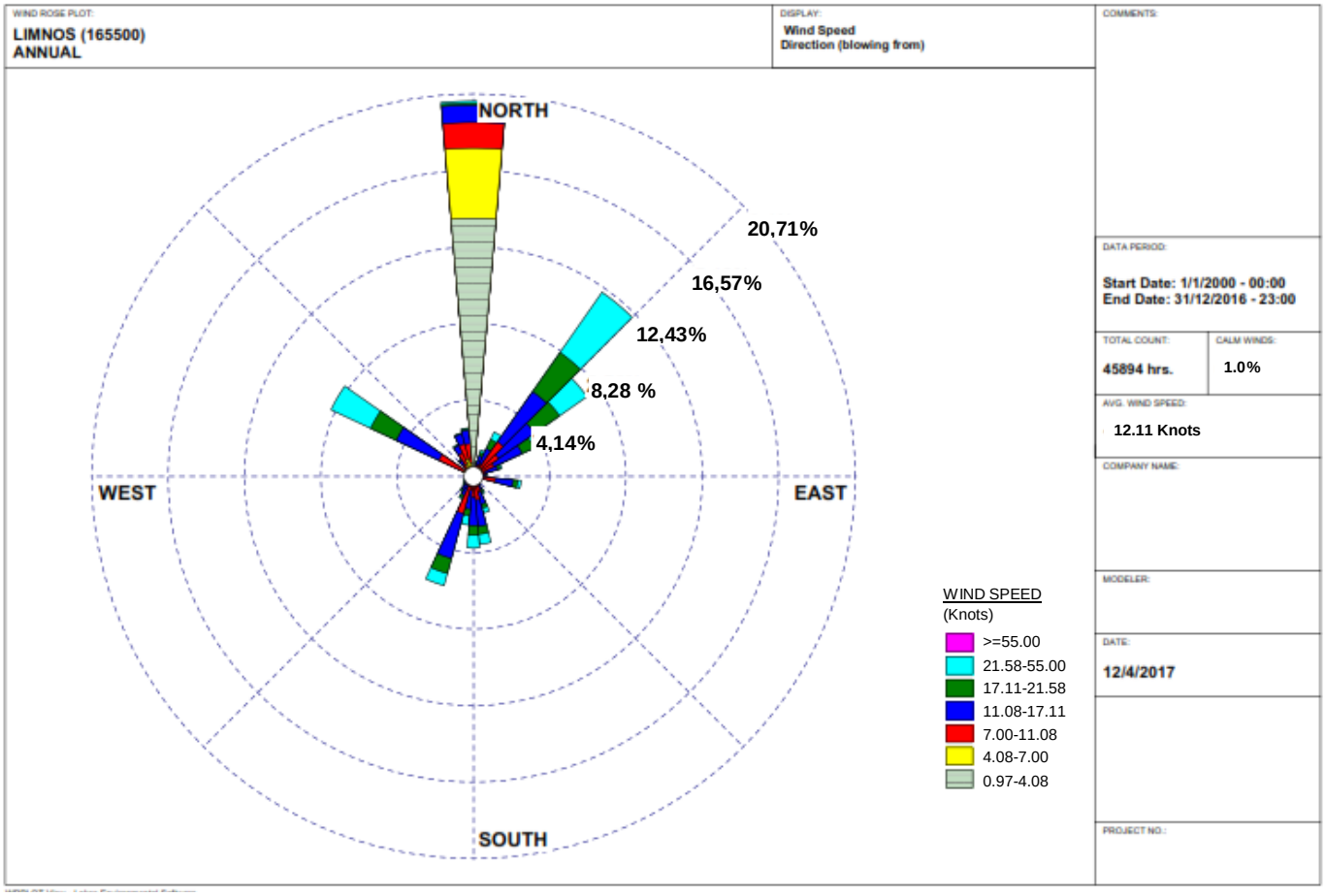
ΛΕΣΒΟΣ	παράμετρος θέσης (β)	παράμετρος κλίμακας (α)	παράμετρος σχήματος (κ)
Εκτιμώμενες τιμές	52.058334	5.842326	0
Τυπικό σφάλμα	1.482409	1.159494	
Συνδιακύμανση εκτίμησης παραμέτρων			
παράμετρος θέσης (β)	2.197538	0.505061	-
παράμετρος κλίμακας (α)	0.505061	1.344427	-
παράμετρος σχήματος (κ)	-	-	-
Negative log-likelihood	57.6209		
AIC	119.2418		
BIC	120.9082		
Εκτιμώμενες περίοδοι επαναφοράς	(Κόμβοι)	(95% διάστημα εμπιστοσύνης)	
2-έτη	54.19962	(50.95036 - 57.44888)	
20-έτη	69.41118	(61.31617 - 77.50619)	
50-έτη	74.85473	(64.74465 - 84.96481)	
100-έτη	78.93390	(67.28997 - 90.57783)	

fevd(x = LESVOS, data = hnms, type = "Gumbel", units = "knots")

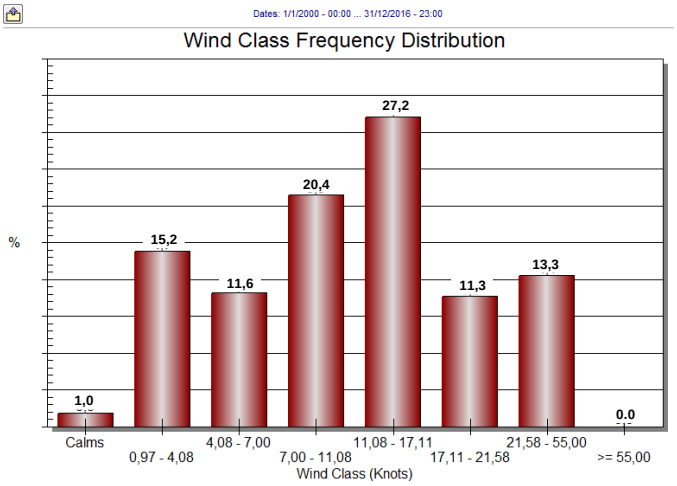


ΛΗΜΝΟΣ	**ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΜΥ :** 16650 **ΘΕΣΗ :** 39°55'20"B - 25°13'58"A **ΥΨΟΜ. :** 4.8 μέτρα

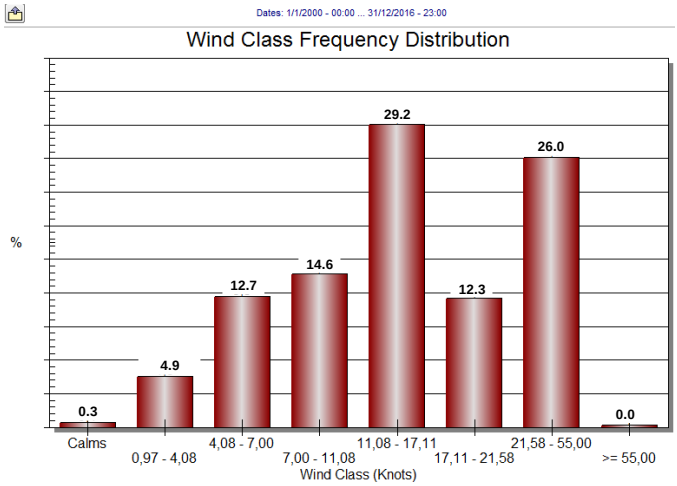
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

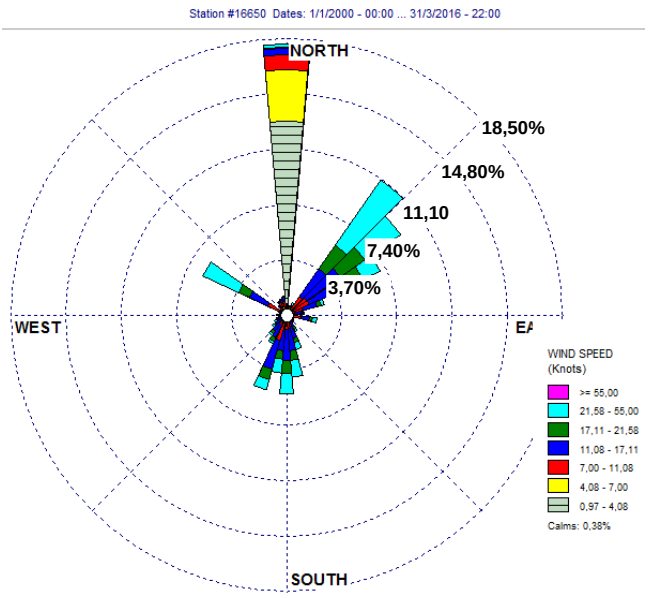


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (MAX 3Ω)

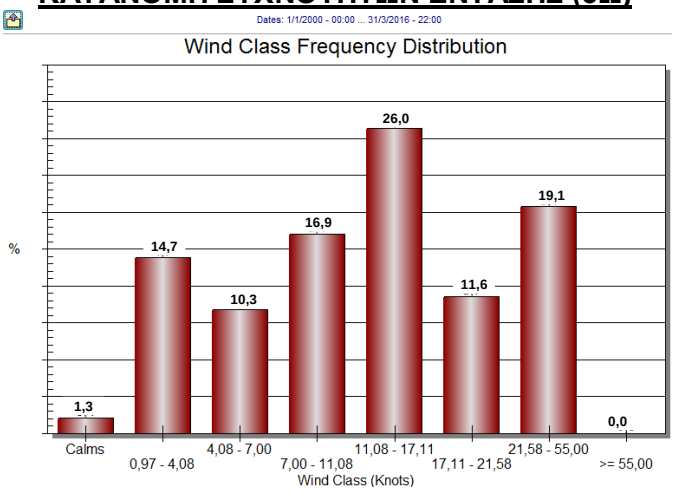


Α' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΑΝ-ΜΑΡ)

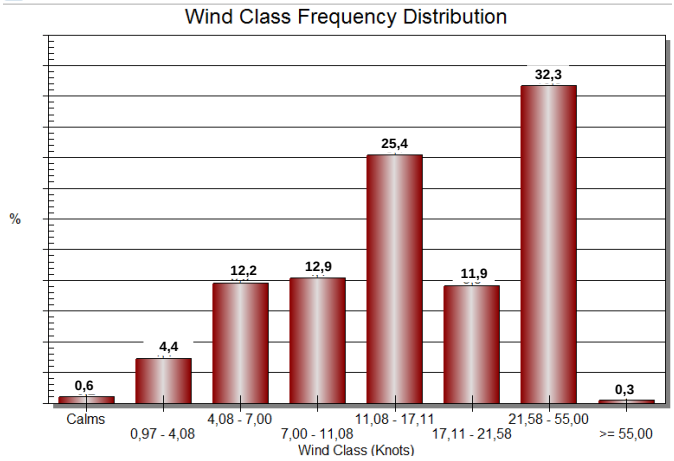
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

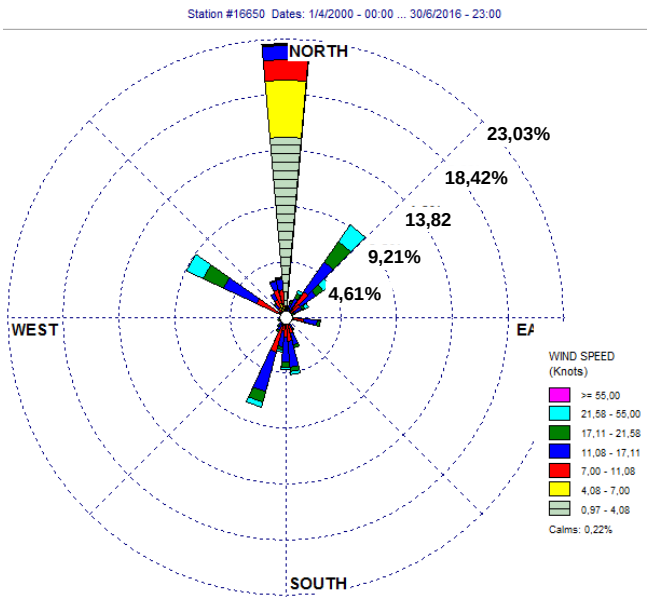


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

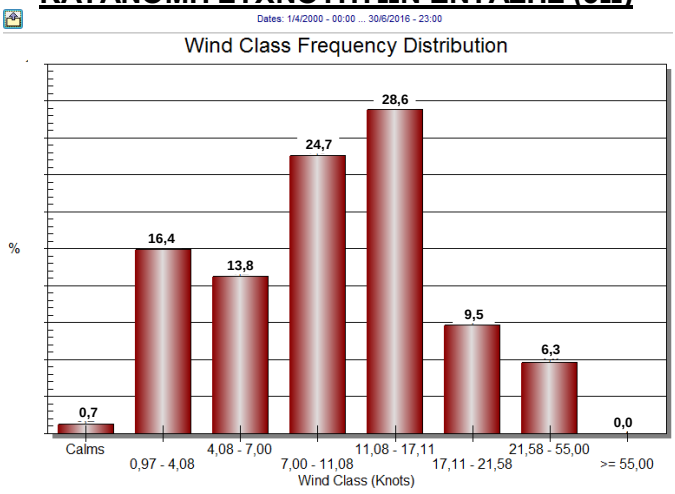


Β' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΑΠΡ-ΙΟΥΝ)

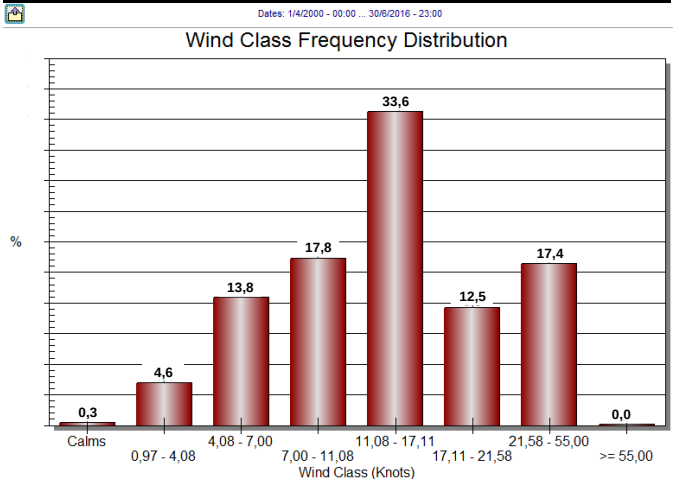
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

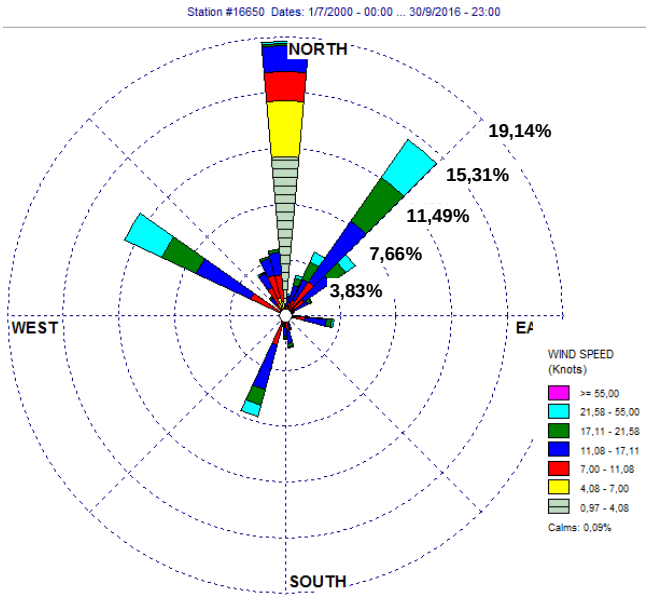


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



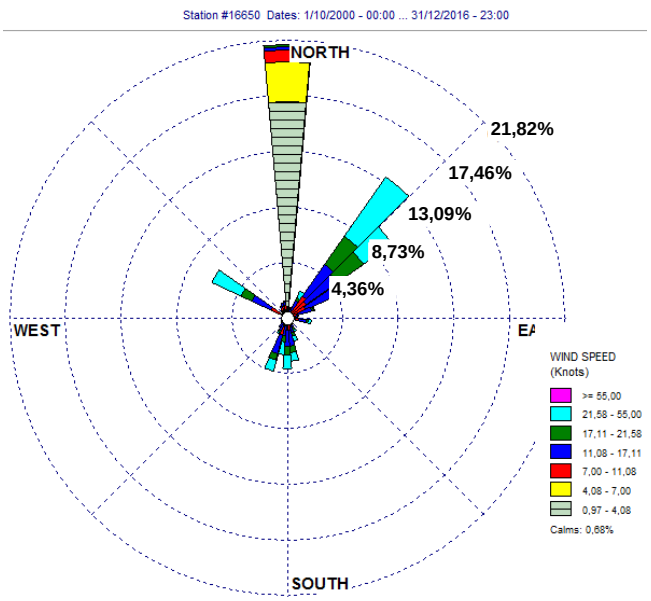
Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΟΥΛ-ΣΕΠ)

ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ

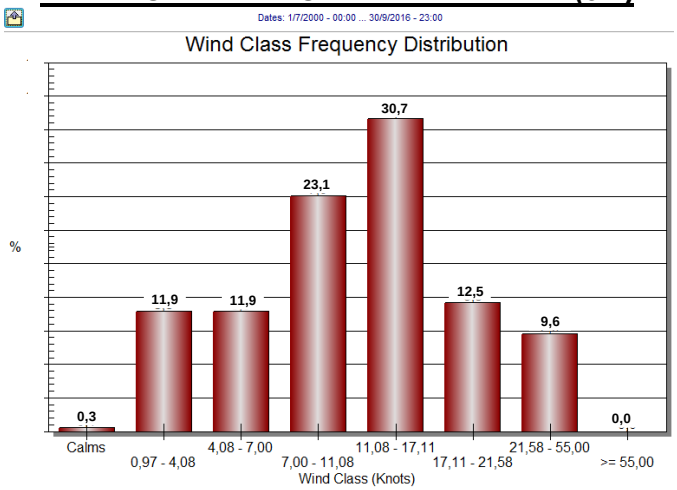


Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΟΚΤ-ΔΕΚ)

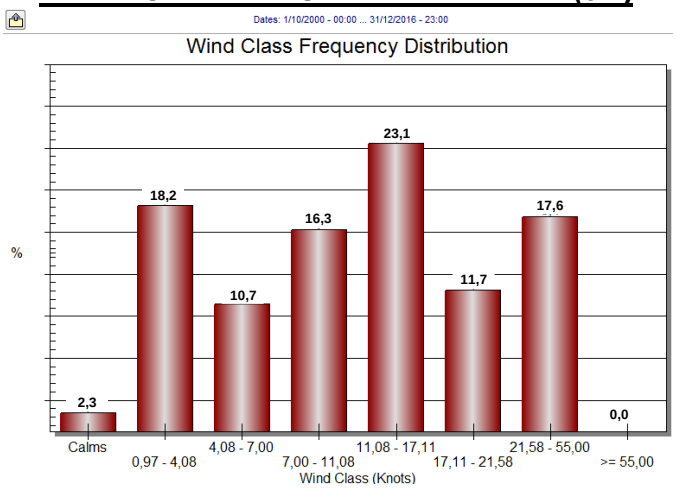
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



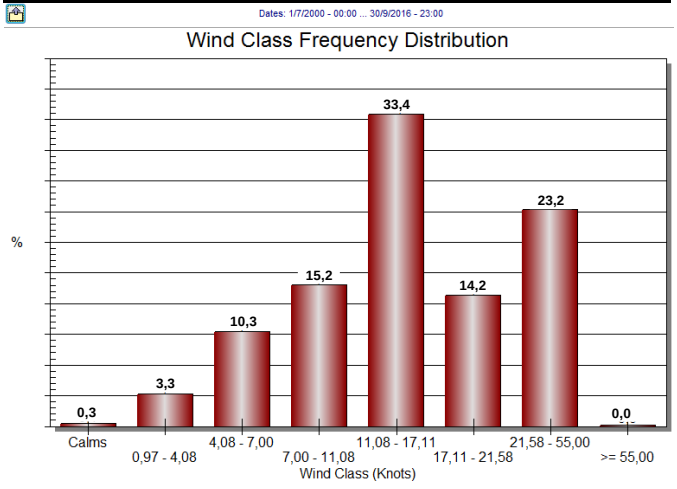
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



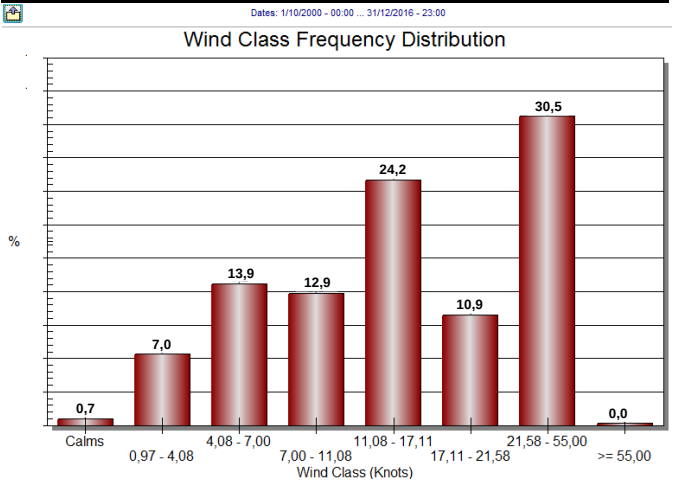
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



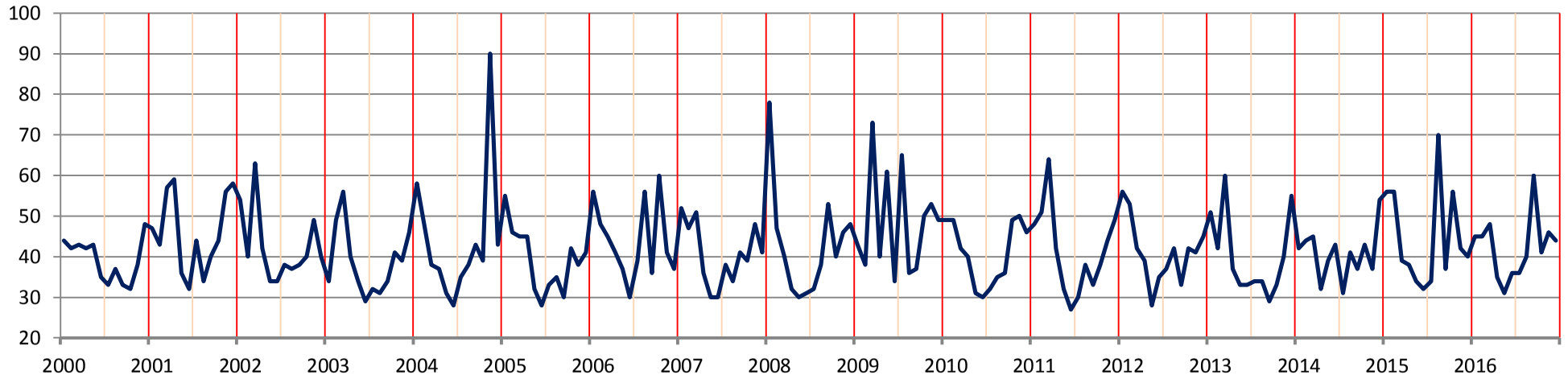
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

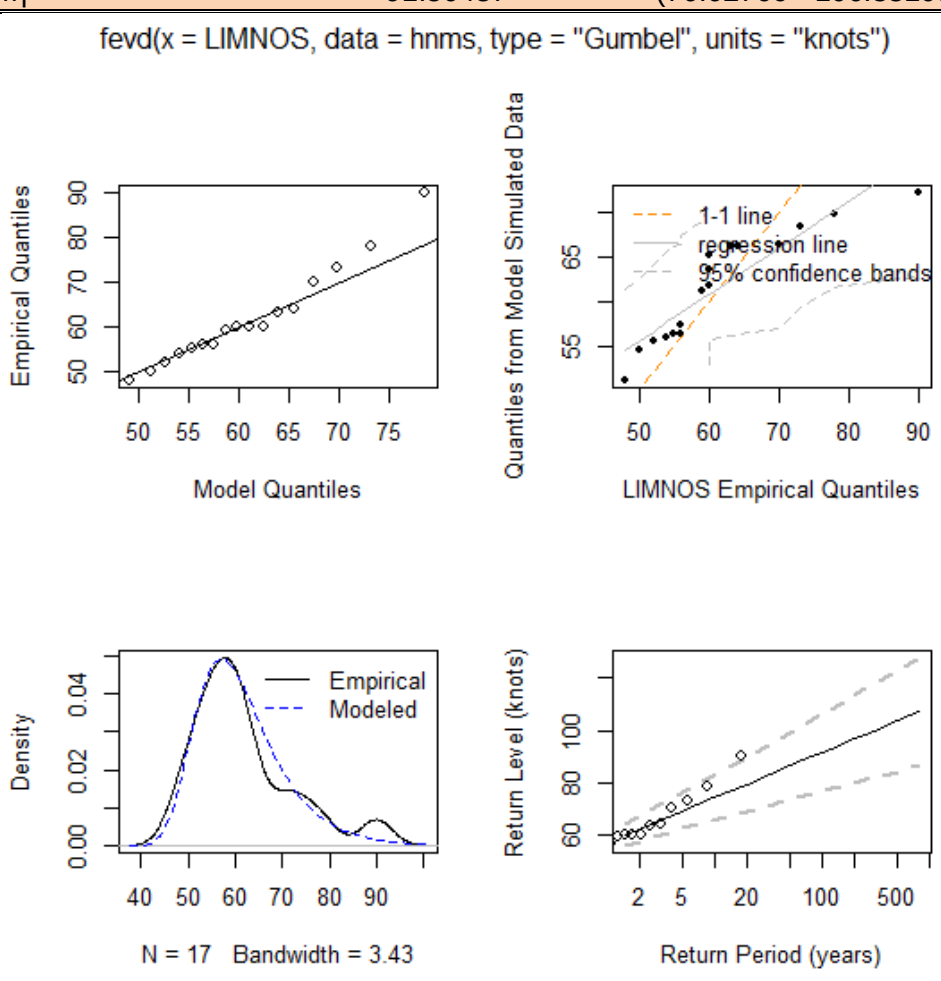


ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ΙΑΝ	44	47	54	34	58	55	56	52	78	43	49	48	56	51	42	56	45
ΦΕΒ	42	43	40	49	48	46	48	47	47	38	49	51	53	42	44	56	45
ΜΑΡ	43	57	63	56	38	45	45	51	40	73	42	64	42	60	45	39	48
ΑΠΡ	42	59	42	40	37	45	41	36	32	40	40	42	39	37	32	38	35
ΜΑΙ	43	36	34	34	31	32	37	30	30	61	31	32	28	33	39	34	31
ΙΟΥΝ	35	32	34	29	28	28	30	30	31	34	30	27	35	33	43	32	36
ΙΟΥΛ	33	44	38	32	35	33	39	38	32	65	32	30	37	34	31	34	36
ΑΥΓ	37	34	37	31	38	35	56	34	38	36	35	38	42	34	41	70	40
ΣΕΠ	33	40	38	34	43	30	36	41	53	37	36	33	33	29	37	37	60
ΟΚΤ	32	44	40	41	39	42	60	39	40	50	49	38	42	33	43	56	41
ΝΟΕ	38	56	49	39	90	38	41	48	46	53	50	44	41	40	37	42	46
ΔΕΚ	48	58	40	46	43	41	37	41	48	49	46	49	45	55	54	40	44
ΜΑΧ	48	59	63	56	90	55	60	52	78	73	50	64	56	60	54	70	60

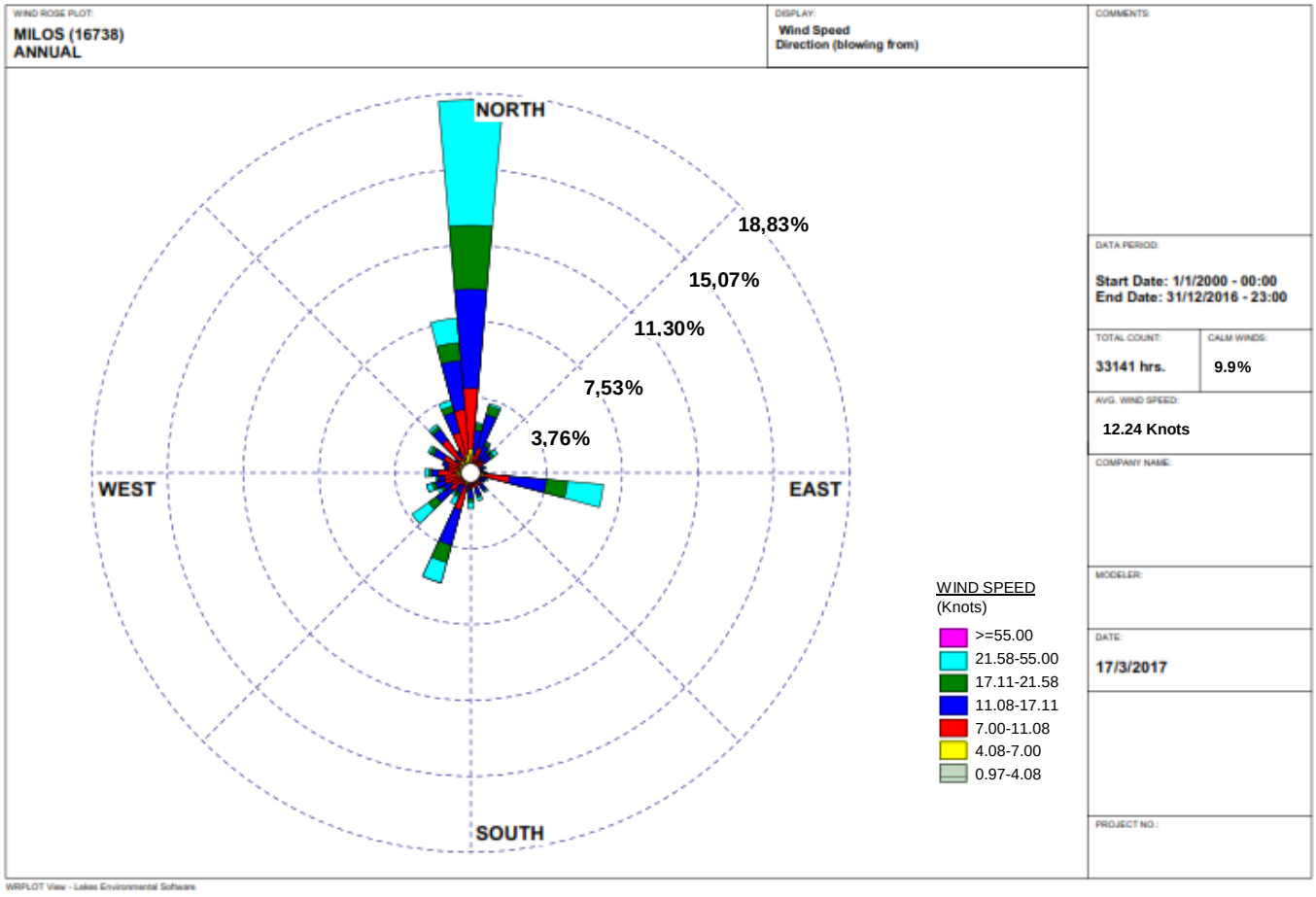
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ GEV ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΚΡΑΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2000-2016

ΛΗΜΝΟΣ	παράμετρος θέσης (β)	παράμετρος κλίμακας (α)	παράμετρος σχήματος (κ)
Εκτιμώμενες τιμές	57.049119	7.490029	0
Τυπικό σφάλμα	1.904104	1.477991	
Συνδιακύμανση εκτίμησης παραμέτρων			
παράμετρος θέσης (β)	3.6256124	0.8435466	-
παράμετρος κλίμακας (α)	0.8435466	2.1844586	-
παράμετρος σχήματος (κ)	-	-	-
Negative log-likelihood	61.66744		
AIC	127.3349		
BIC	129.0013		
Εκτιμώμενες περίοδοι επαναφοράς	(Κόμβοι)	(95% διάστημα εμπιστοσύνης)	
2-έτη	59.79431	(55.61936 - 63.96926)	
20-έτη	79.29597	(68.94186 - 89.65008)	
50-έτη	86.27475	(73.35278 - 99.19673)	
100-έτη	91.50437	(76.62766 - 106.38108)	

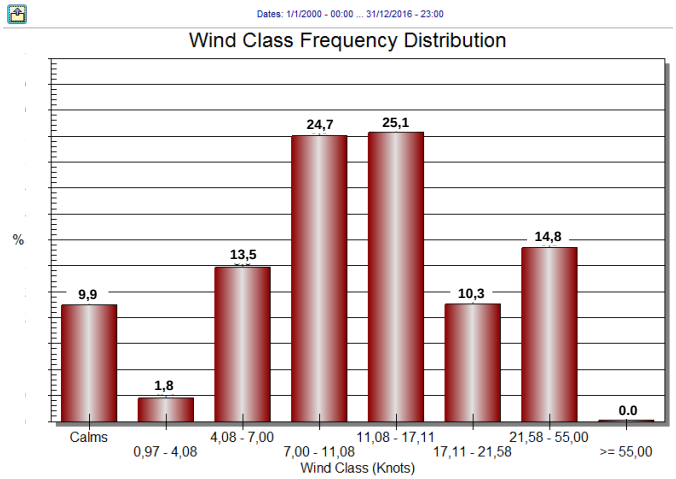


ΜΗΛΟΣ	**ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΜΥ :** 16738 **ΘΕΣΗ :** 36°41'0"B - 24°28'0"A **ΥΨΟΜ. :** 162 μέτρα

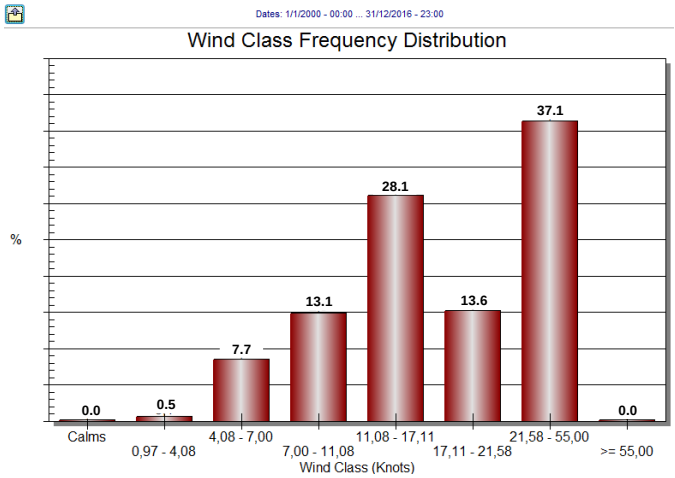
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

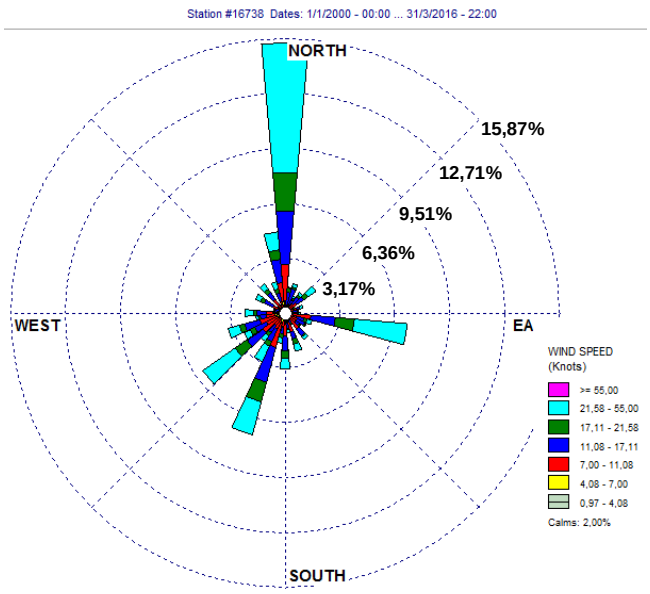


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



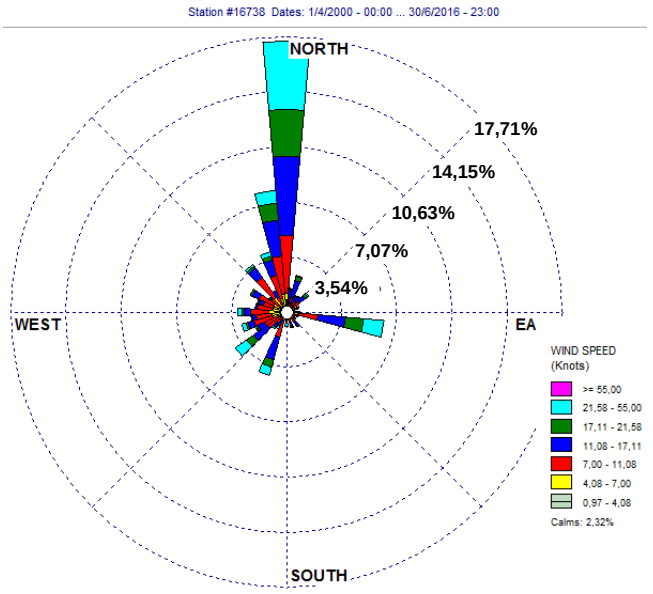
Α' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΑΝ-ΜΑΡ)

ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ

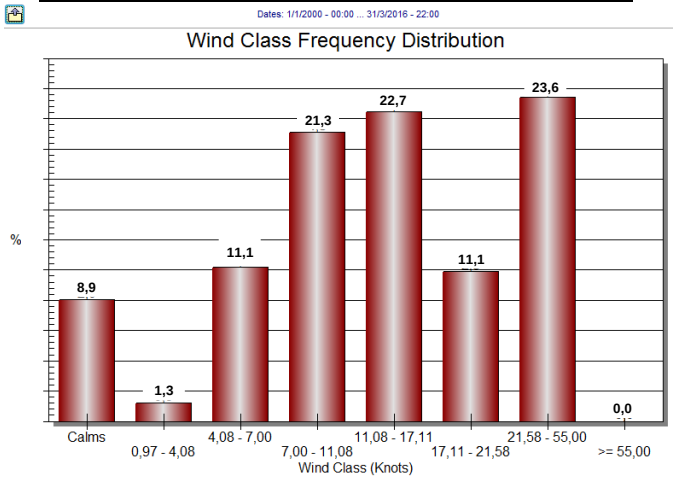


Β' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΑΠΡ-ΙΟΥΝ)

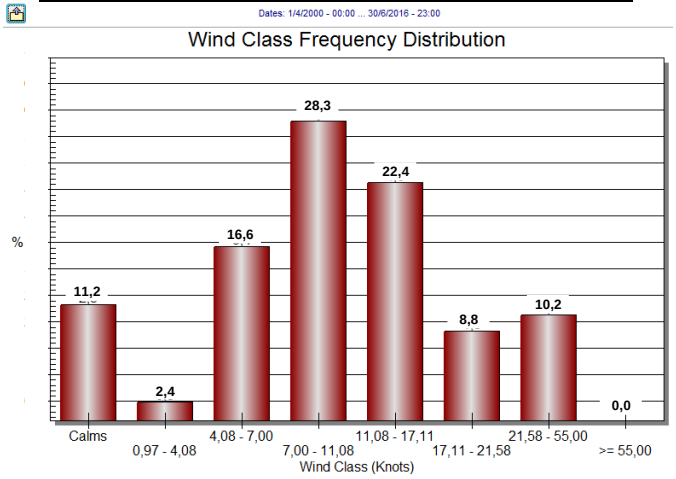
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



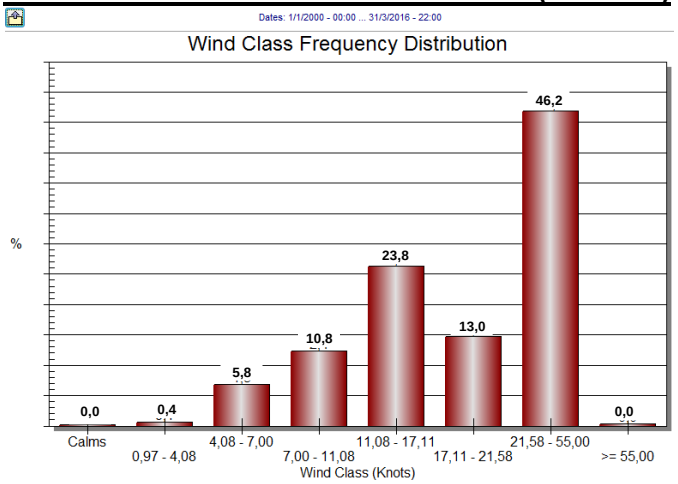
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



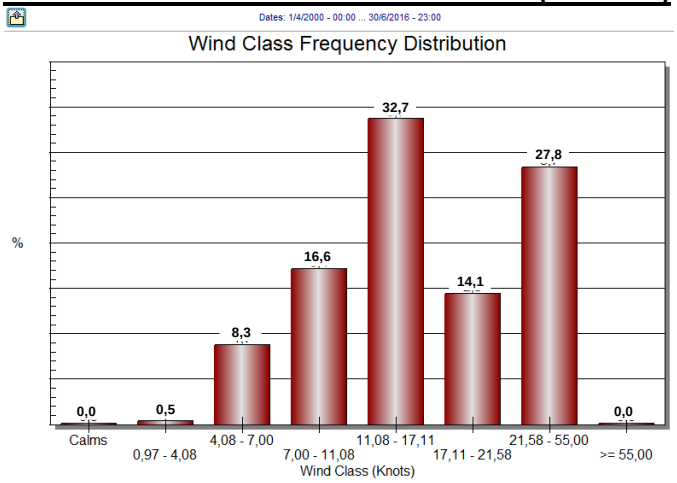
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

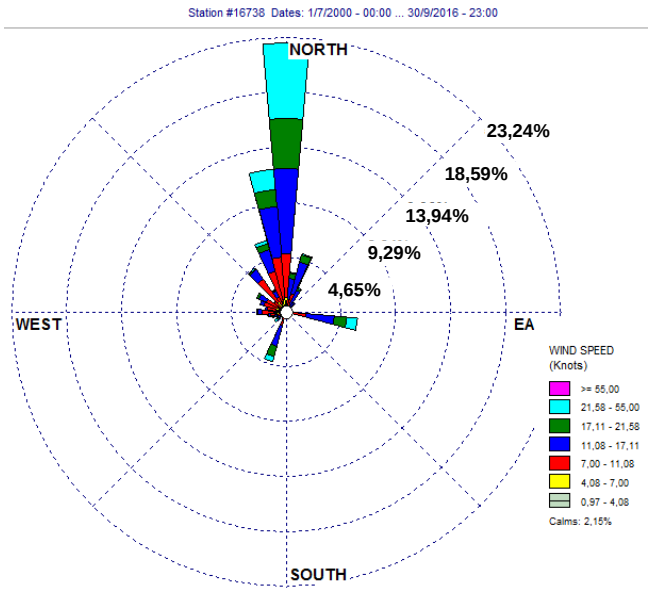


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



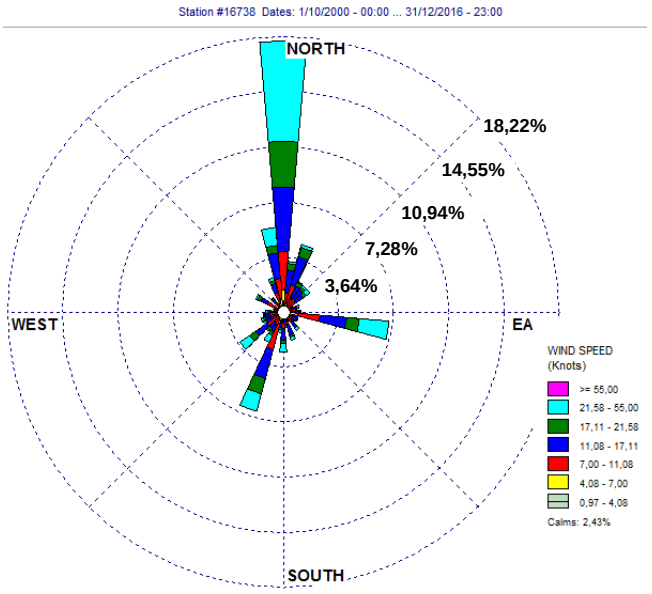
Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΟΥΛ-ΣΕΠ)

ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ

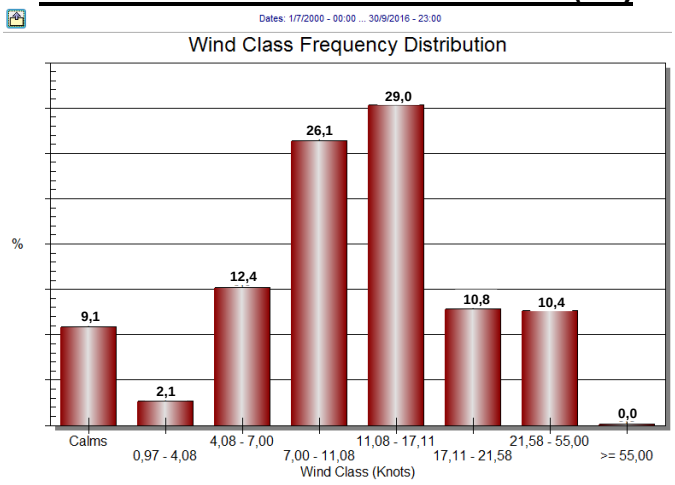


Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΟΚΤ-ΔΕΚ)

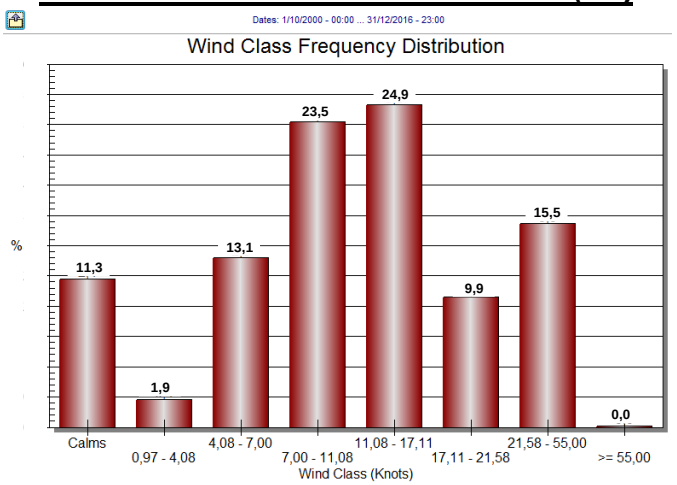
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



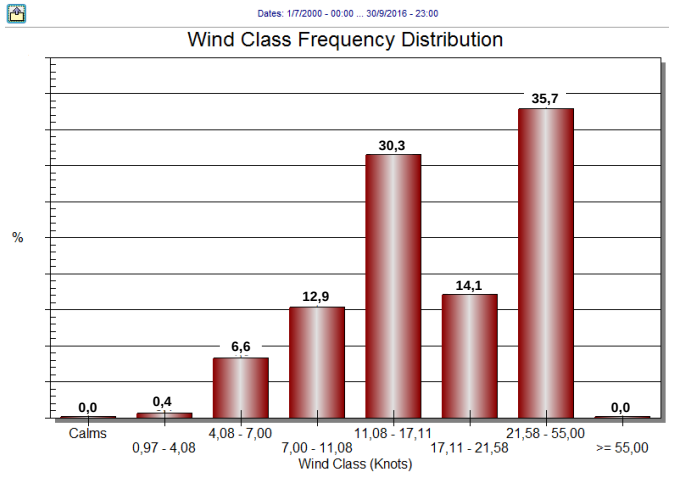
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



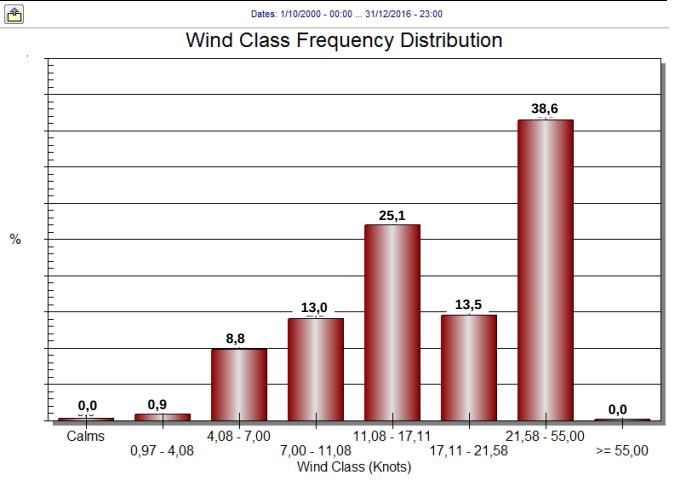
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



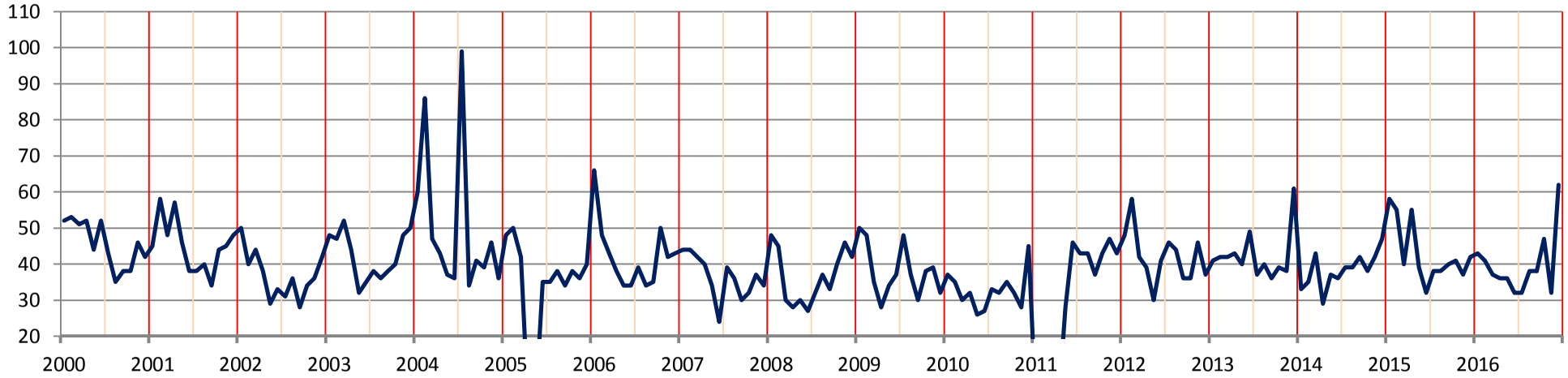
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

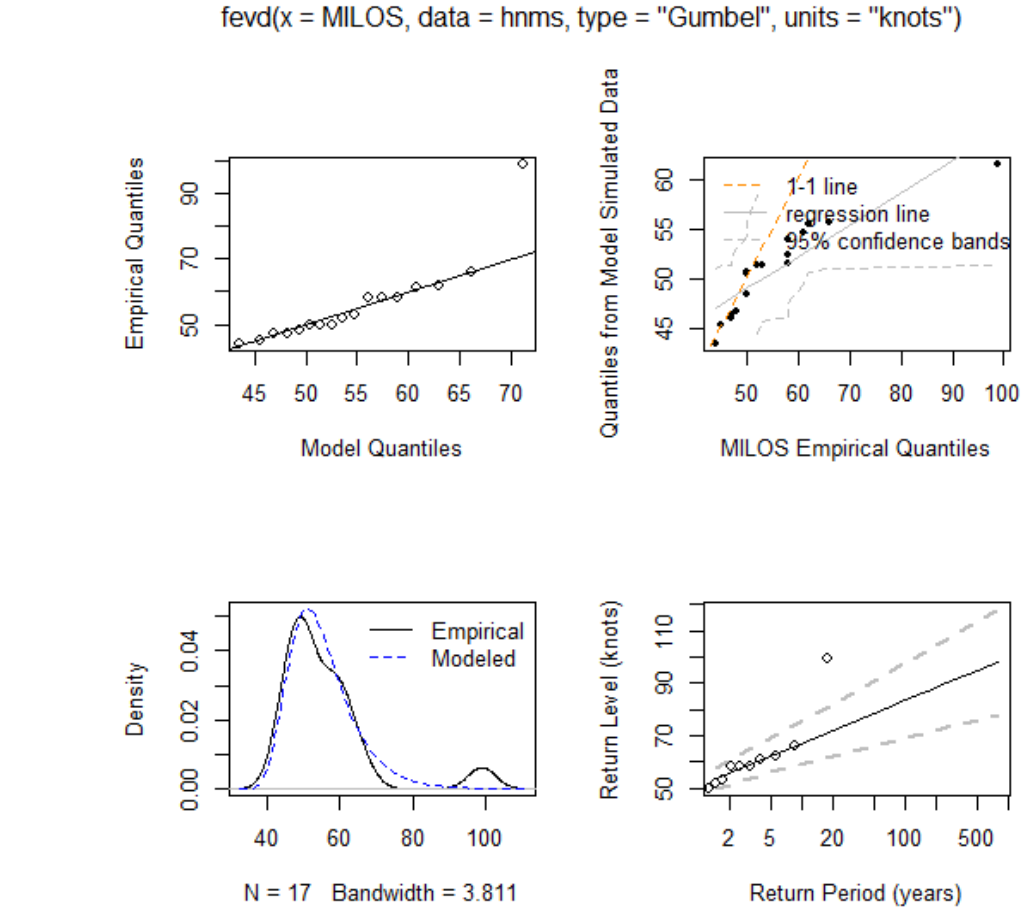


ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ΙΑΝ	52	45	50	48	60	48	66	44	48	50	37	0	48	41	33	58	43
ΦΕΒ	53	58	40	47	86	50	48	44	45	48	35	0	58	42	35	55	41
ΜΑΡ	51	48	44	52	47	42	43	42	30	35	30	0	42	42	43	40	37
ΑΠΡ	52	57	38	44	43	0	38	40	28	28	32	0	39	43	29	55	36
ΜΑΙ	44	46	29	32	37	0	34	34	30	34	26	28	30	40	37	39	36
ΙΟΥΝ	52	38	33	35	36	35	34	24	27	37	27	46	41	49	36	32	32
ΙΟΥΛ	43	38	31	38	99	35	39	39	32	48	33	43	46	37	39	38	32
ΑΥΓ	35	40	36	36	34	38	34	36	37	37	32	43	44	40	39	38	38
ΣΕΠ	38	34	28	38	41	34	35	30	33	30	35	37	36	36	42	40	38
ΟΚΤ	38	44	34	40	39	38	50	32	40	38	32	43	36	39	38	41	47
ΝΟΕ	46	45	36	48	46	36	42	37	46	39	28	47	46	38	42	37	32
ΔΕΚ	42	48	42	50	36	40	43	34	42	32	45	43	37	61	47	42	62
ΜΑΧ	53	58	50	52	99	50	66	44	48	50	45	47	58	61	47	58	62

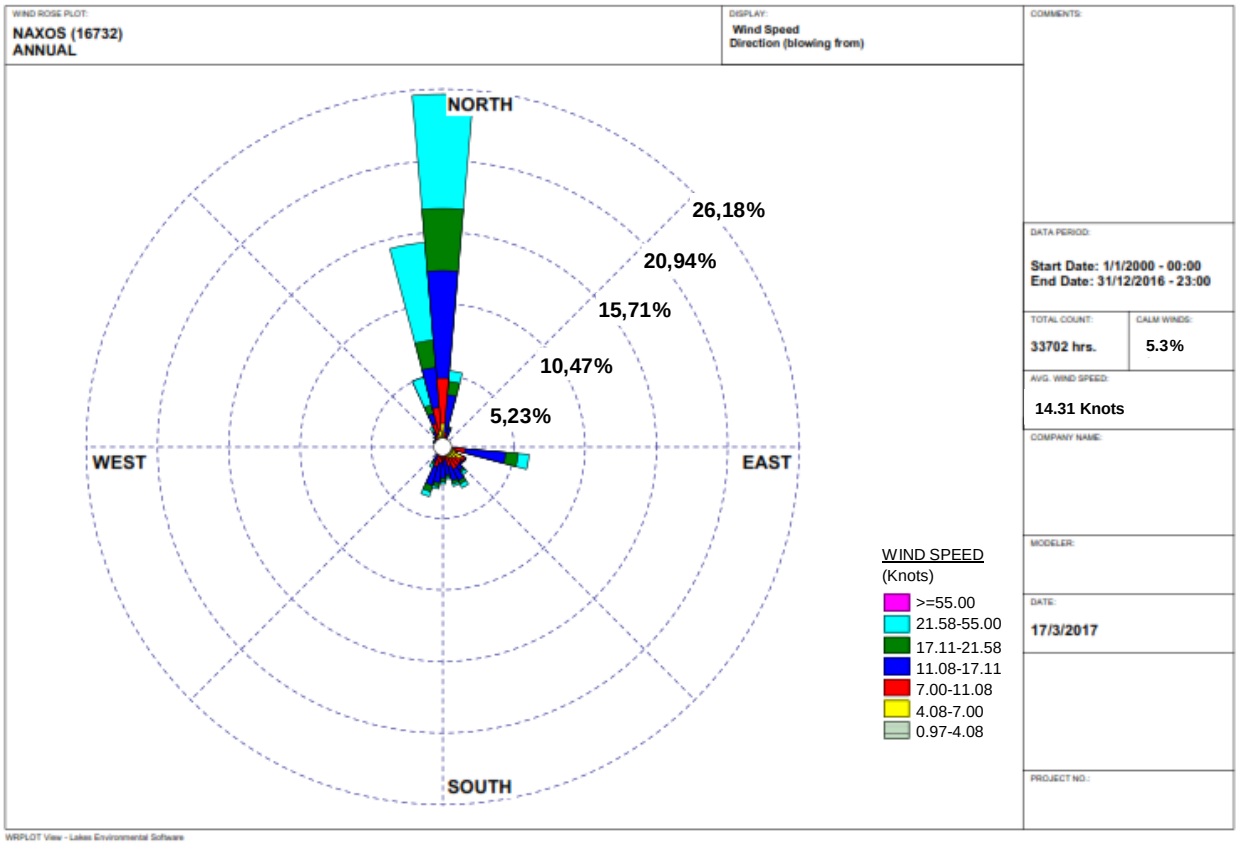
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ GEV ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΚΡΑΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2000-2016

ΜΗΛΟΣ	παράμετρος θέσης (β)	παράμετρος κλίμακας (α)	παράμετρος σχήματος (κ)
Εκτιμώμενες τιμές	51.056757	7.043648	0
Τυπικό σφάλμα	1.773803	1.440547	
Συνδιακύμανση εκτίμησης παραμέτρων			
παράμετρος θέσης (β)	3.1463757	0.6883358	-
παράμετρος κλίμακας (α)	0.6883358	2.0751750	-
παράμετρος σχήματος (κ)	-	-	-
Negative log-likelihood	61.55096		
AIC	127.1019		
BIC	128.7683		
Εκτιμώμενες περίοδοι επαναφοράς	(Κόμβοι)	(95% διάστημα εμπιστοσύνης)	
2-έτη	53.63834	(49.75301 - 57.52368)	
20-έτη	71.97777	(62.07215 - 81.88338)	
50-έτη	78.54064	(66.12726 - 90. 95401)	
100-έτη	83.45859	(69.13705 - 97.78012)	

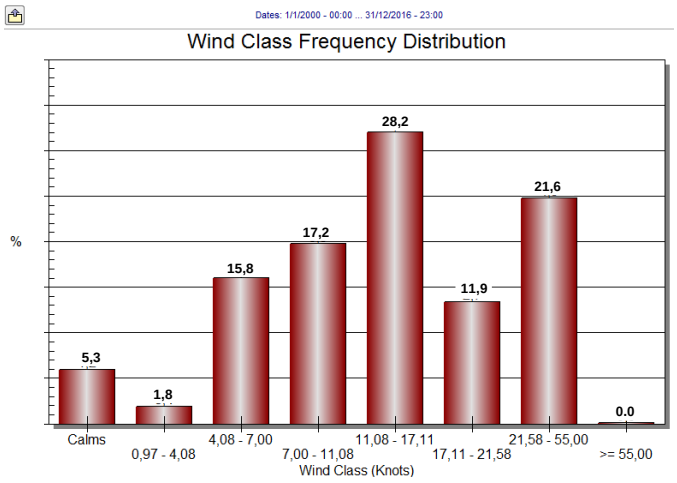


ΝΑΞΟΣ	**ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΜΥ :** 16732 **ΘΕΣΗ :** 37°06'05"B - 25°22'23"A **ΥΨΟΜ. :** 9 μέτρα

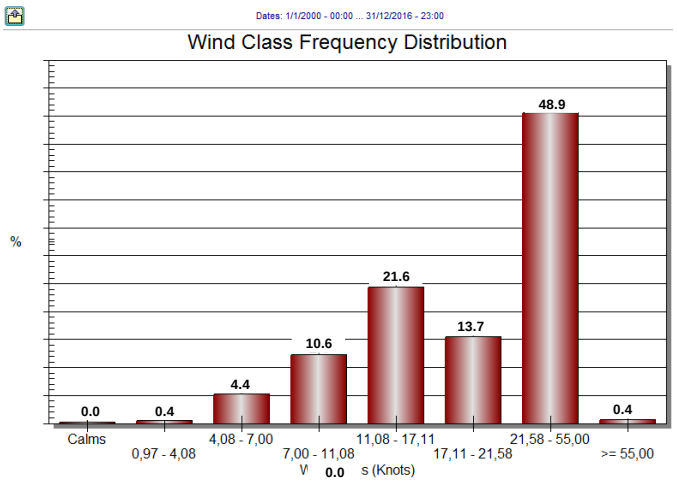
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

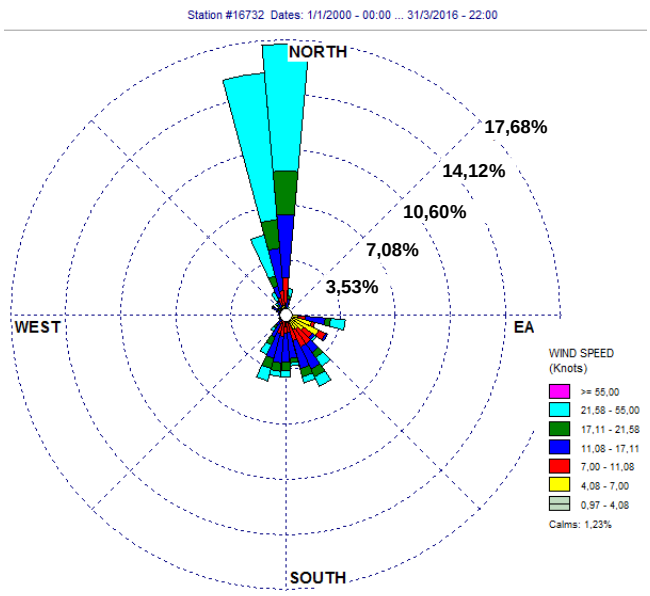


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (MAX 3Ω)

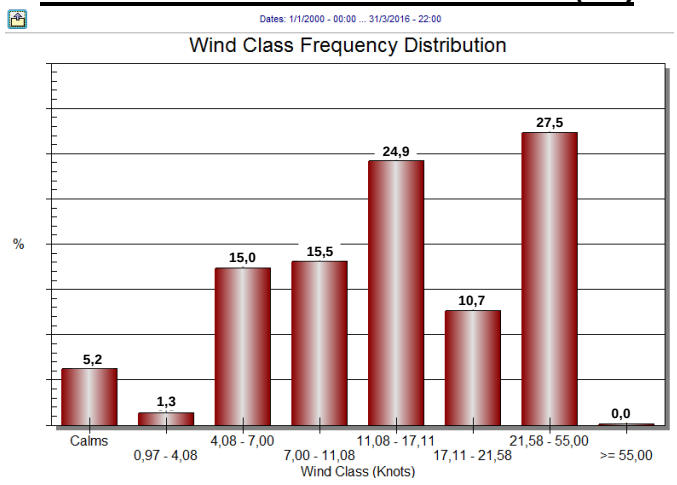


Α' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΑΝ-ΜΑΡ)

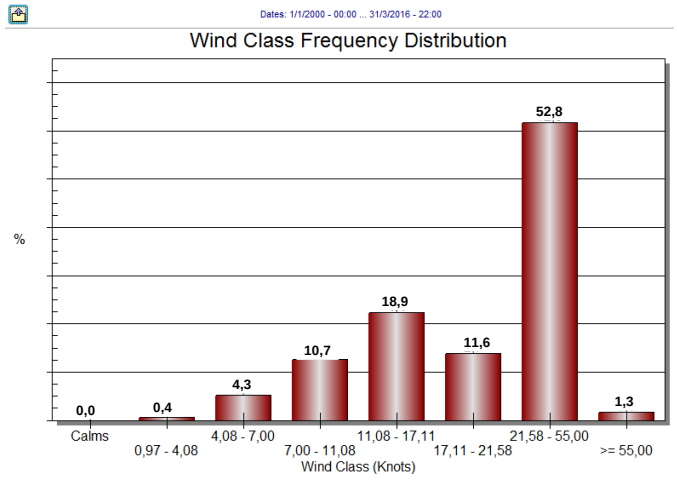
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

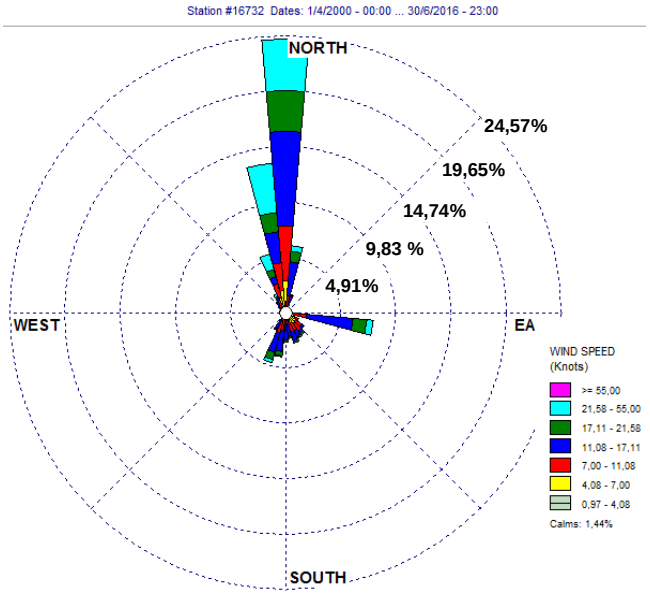


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

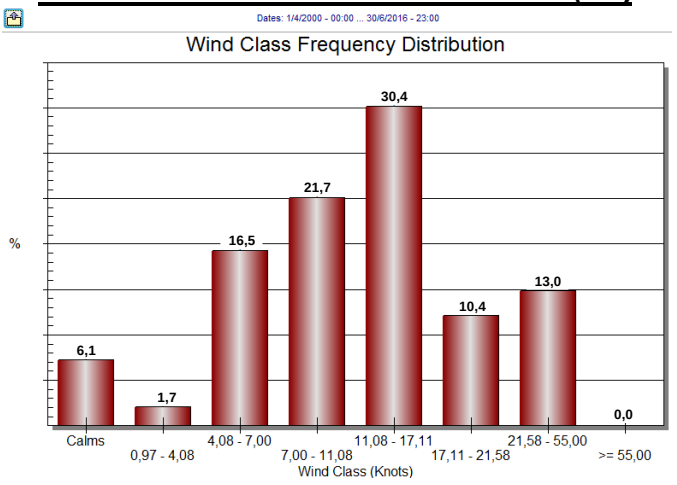


Β' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΑΠΡ-ΙΟΥΝ)

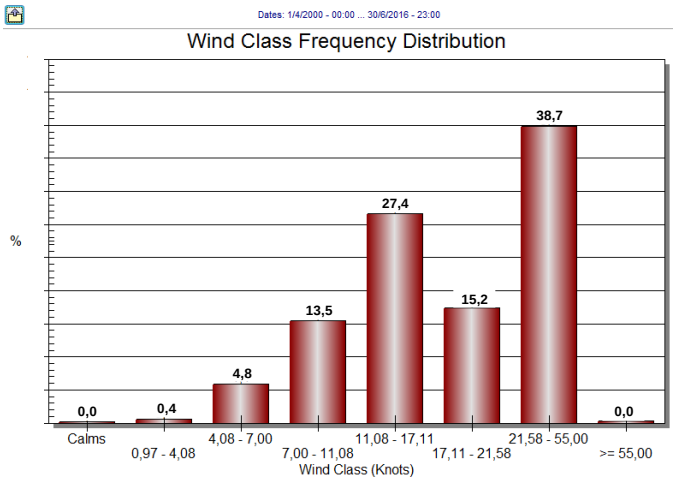
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

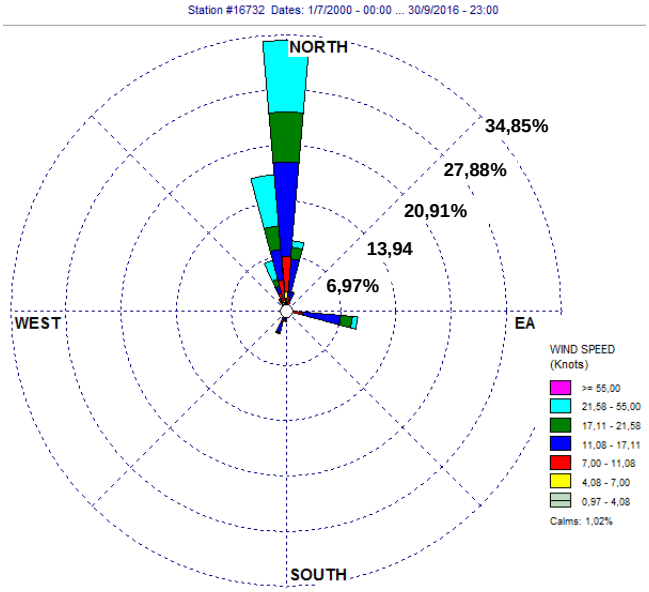


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



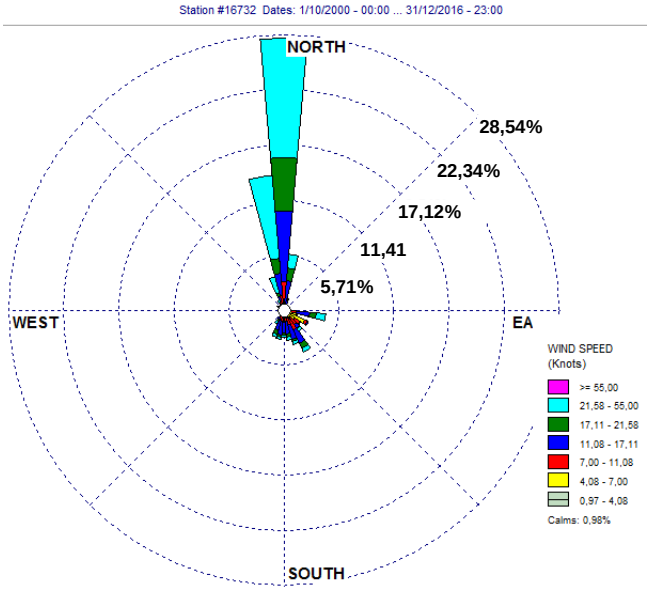
Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΟΥΛ-ΣΕΠ)

ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ

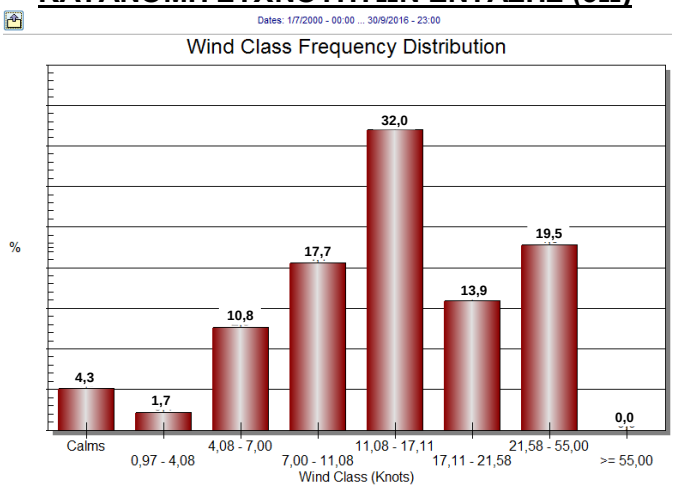


Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΟΚΤ-ΔΕΚ)

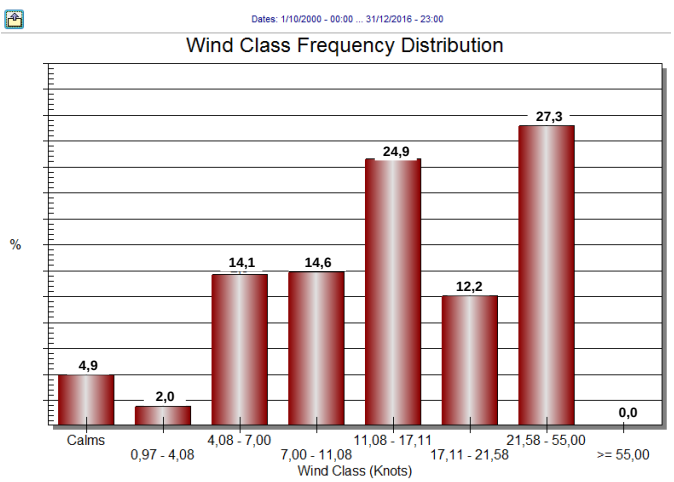
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



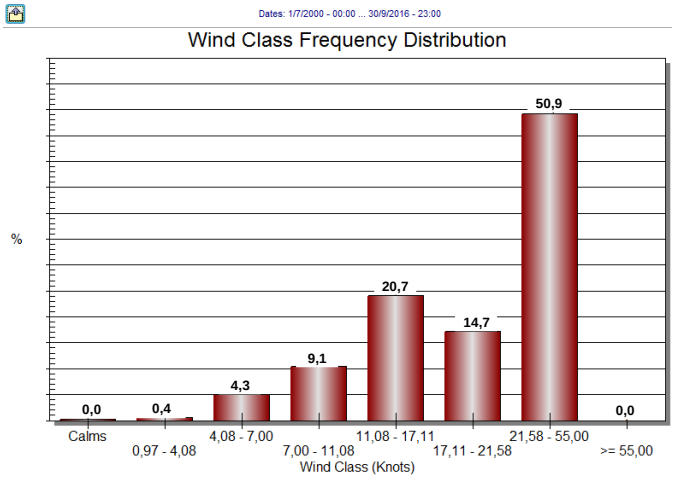
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



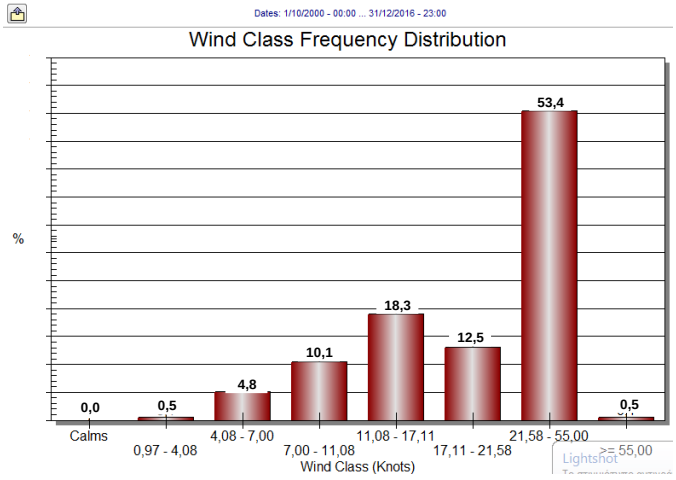
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



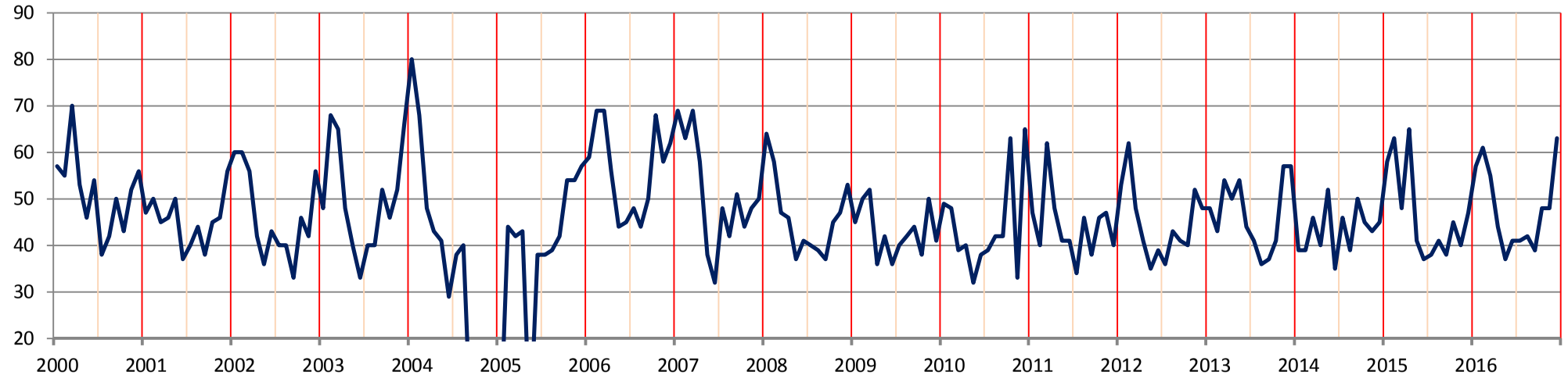
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (MAX 3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (MAX 3Ω)



ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

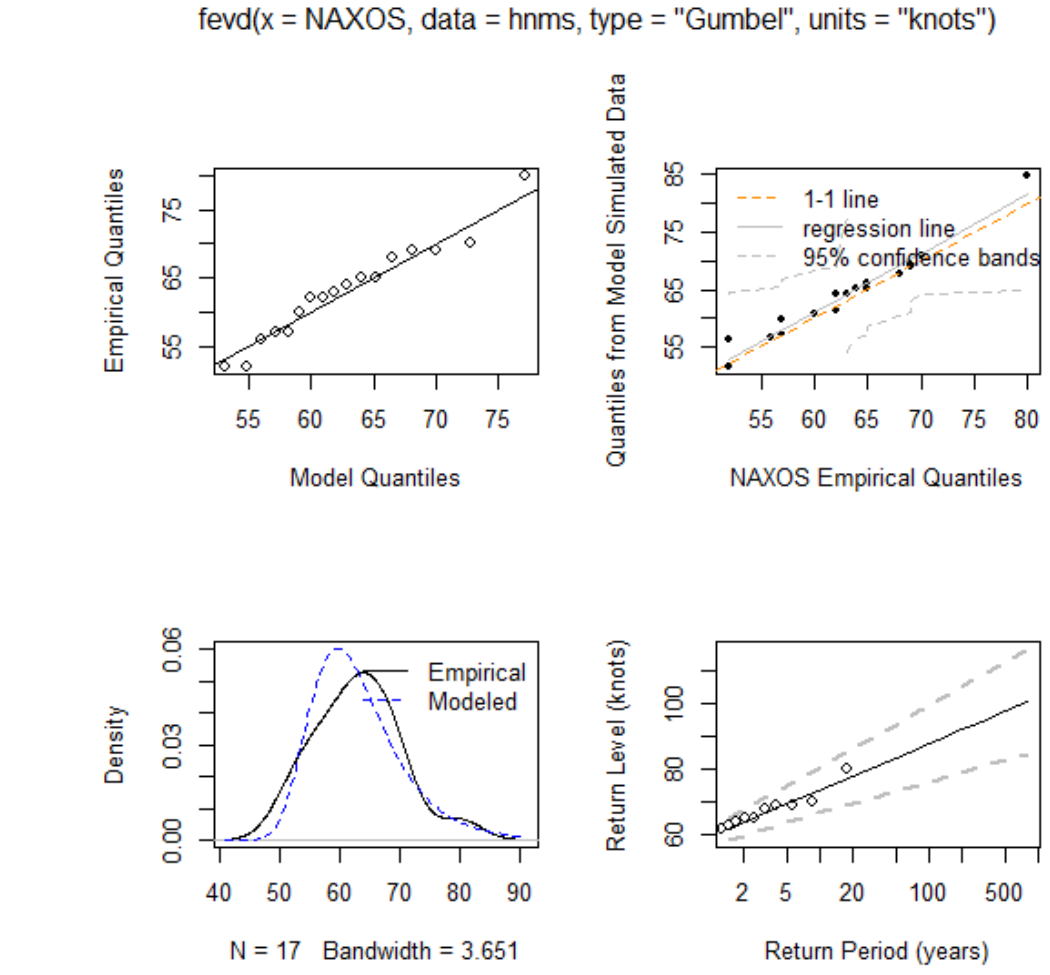


ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ΙΑΝ	57	47	60	48	80	0	59	69	64	45	49	47	53	48	39	58	57
ΦΕΒ	55	50	60	68	68	44	69	63	58	50	48	40	62	43	39	63	61
ΜΑΡ	70	45	56	65	48	42	69	69	47	52	39	62	48	54	46	48	55
ΑΠΡ	53	46	42	48	43	43	56	58	46	36	40	48	41	50	40	65	44
ΜΑΙ	46	50	36	40	41	0	44	38	37	42	32	41	35	54	52	41	37
ΙΟΥΝ	54	37	43	33	29	38	45	32	41	36	38	41	39	44	35	37	41
ΙΟΥΛ	38	40	40	40	38	38	48	48	40	40	39	34	36	41	46	38	41
ΑΥΓ	42	44	40	40	40	39	44	42	39	42	42	46	43	36	39	41	42
ΣΕΠ	50	38	33	52	0	42	50	51	37	44	42	38	41	37	50	38	39
ΟΚΤ	43	45	46	46	0	54	68	44	45	38	63	46	40	41	45	45	48
ΝΟΕ	52	46	42	52	0	54	58	48	47	50	33	47	52	57	43	40	48
ΔΕΚ	56	56	56	66	0	57	62	50	53	41	65	40	48	57	45	47	63
ΜΑΧ	70	56	60	68	80	57	69	69	64	52	65	62	62	57	52	65	63

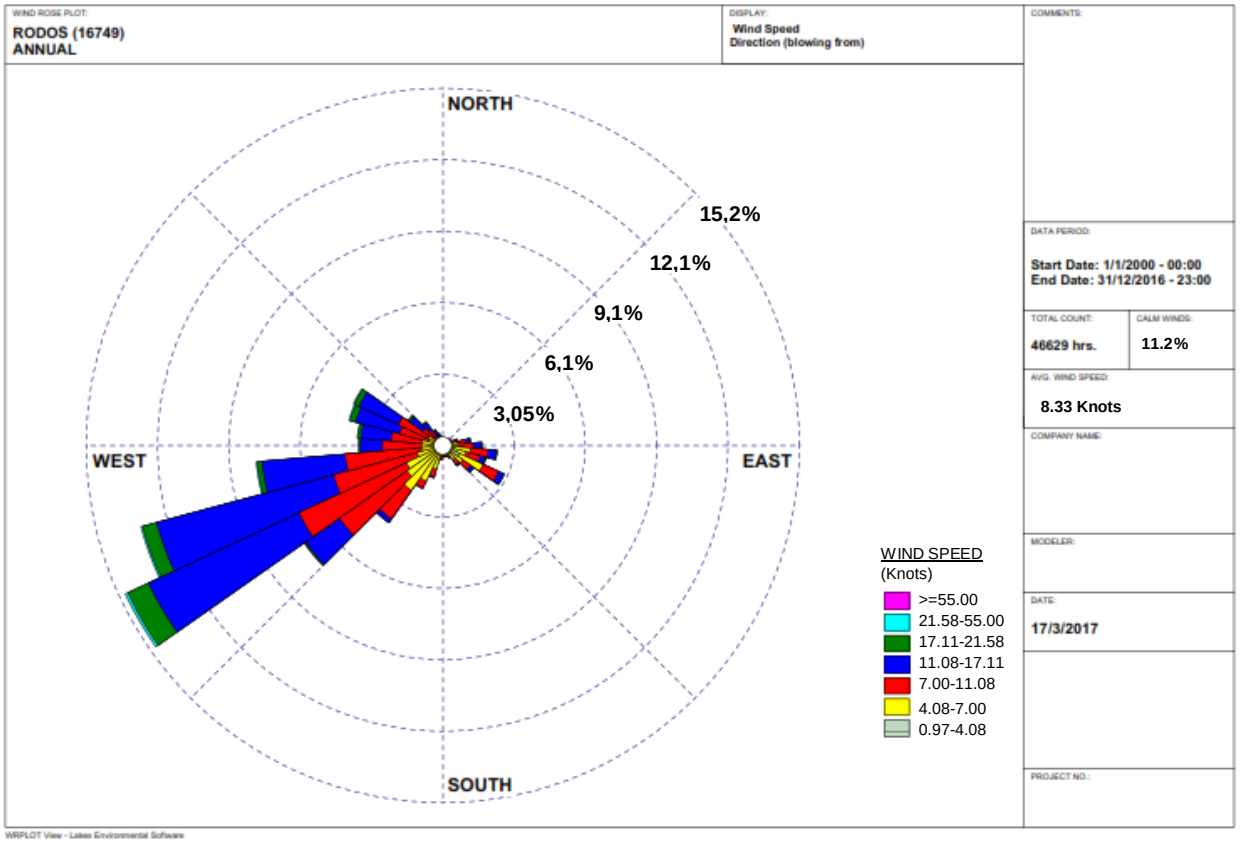
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ GEV ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΚΡΑΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2000-2016

ΝΑΞΟΣ	παράμετρος θέσης (β)	παράμετρος κλίμακας (α)	παράμετρος σχήματος (κ)
Εκτιμώμενες τιμές	59.65310	6.12713	0
Τυπικό σφάλμα	1.572363	1.132403	
Συνδιακύμανση εκτίμησης παραμέτρων			
παράμετρος θέσης (β)	2.4723239	0.5818714	-
παράμετρος κλίμακας (α)	0.5818714	1.2823373	-
παράμετρος σχήματος (κ)	-	-	-
Negative log-likelihood	57.10279		
AIC	118.2056		
BIC	119.872		
Εκτιμώμενες περίοδοι επαναφοράς	(Κόμβοι)	(95% διάστημα εμπιστοσύνης)	
2-έτη	61.89877	(58.46402 - 65.33353)	
20-έτη	77.85187	(69.71348 - 85.99026)	
50-έτη	83.56079	(73.46423 - 93.65735)	
100-έτη	87.83881	(76.24985 - 99.42778)	

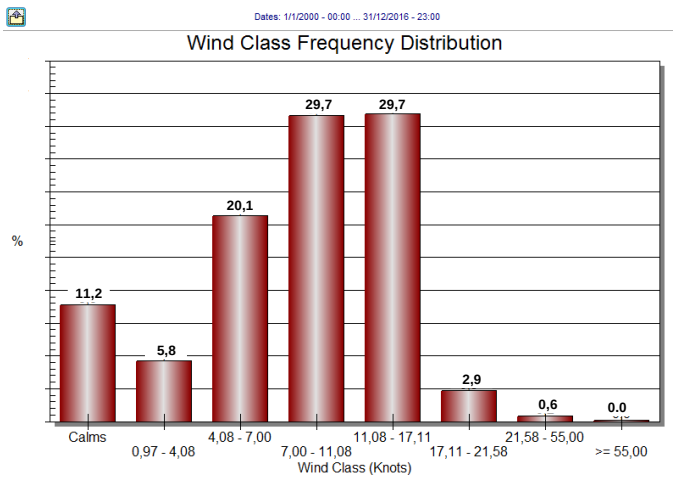


ΡΟΔΟΣ	**ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΜΥ :** 16749 **ΘΕΣΗ :** 36°24'07"B - 28°05'17"A **ΥΨΟΜ. :** 6.63 μέτρα

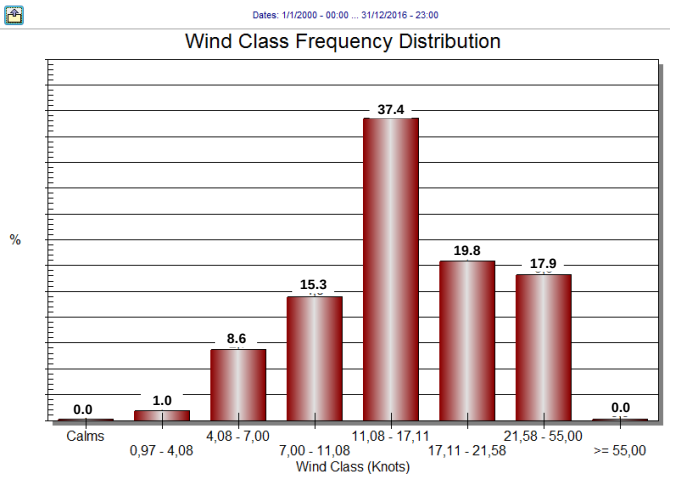
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

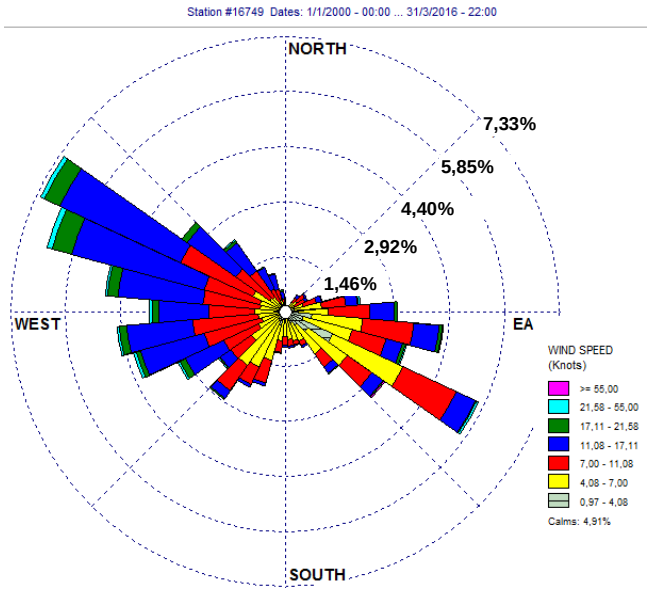


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (MAX 3Ω)

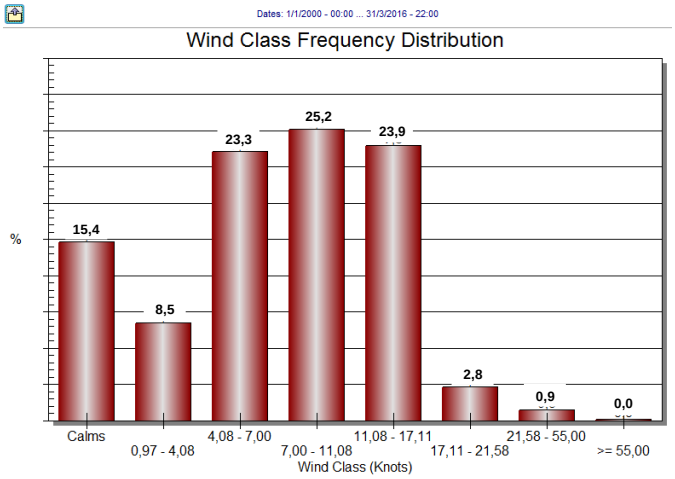


Α' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΑΝ-ΜΑΡ)

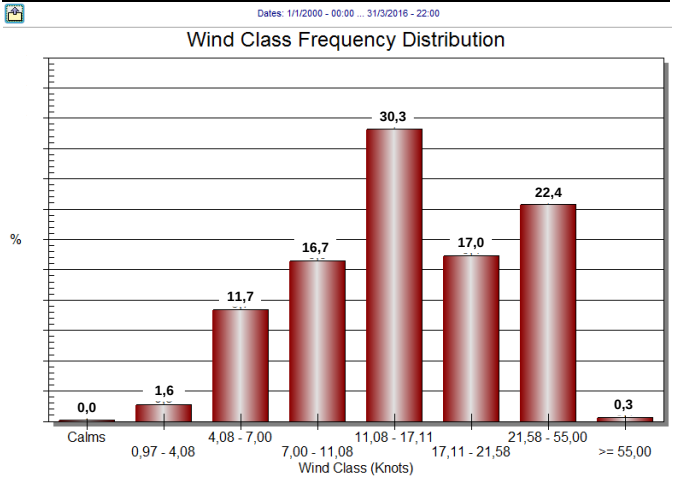
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

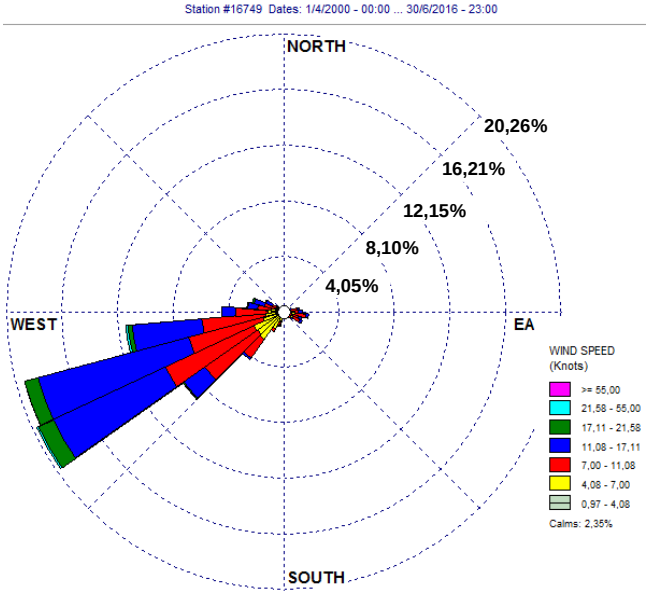


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

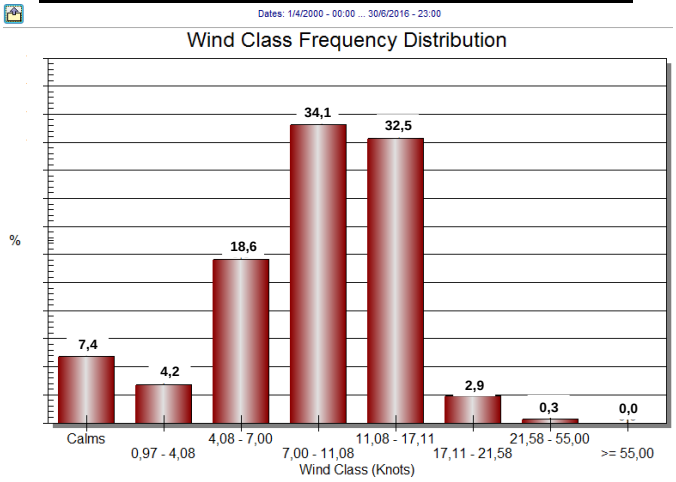


Β' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΑΠΡ-ΙΟΥΝ)

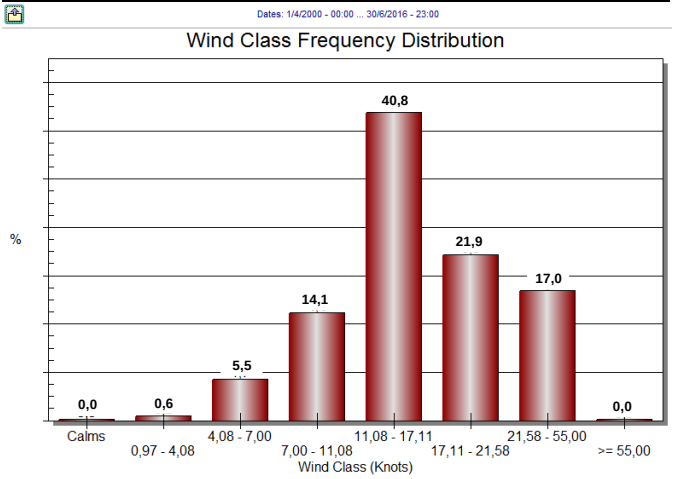
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

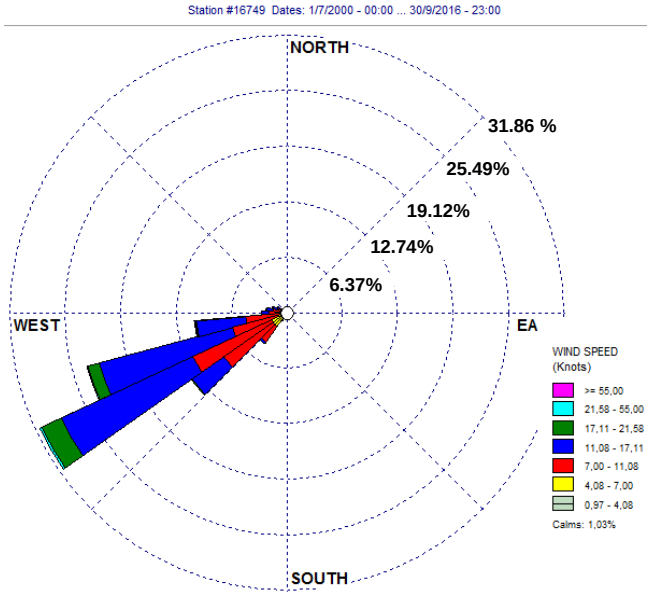


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

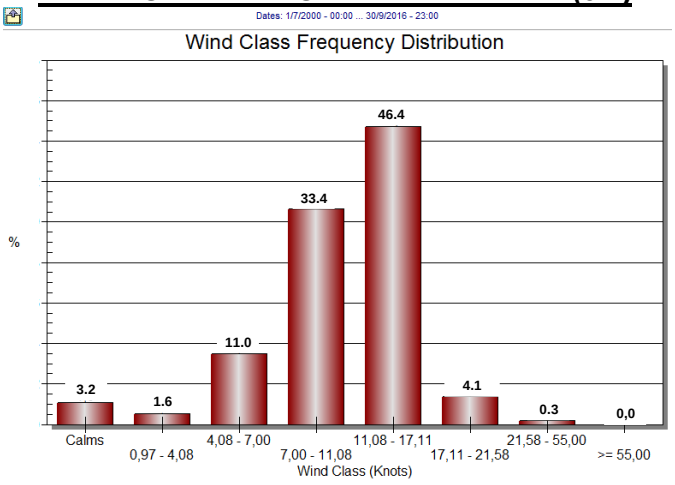


Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΟΥΛ-ΣΕΠ)

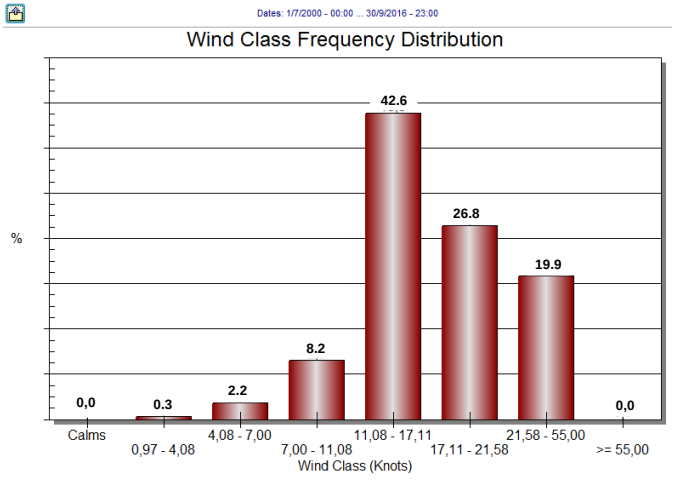
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

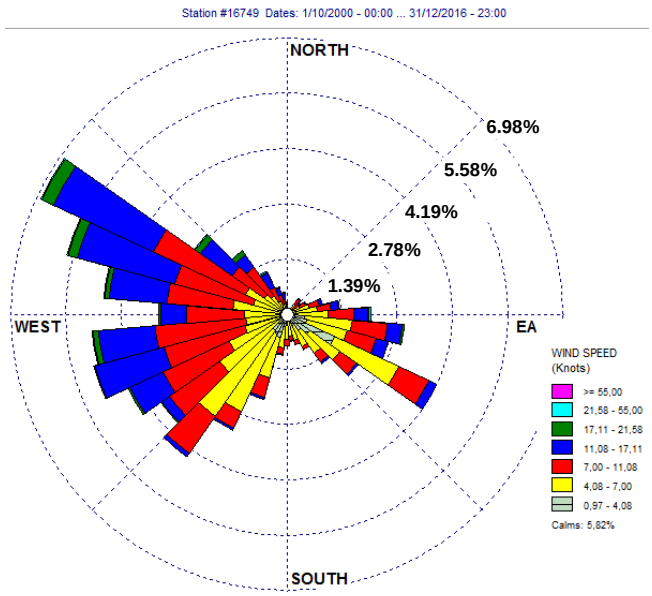


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

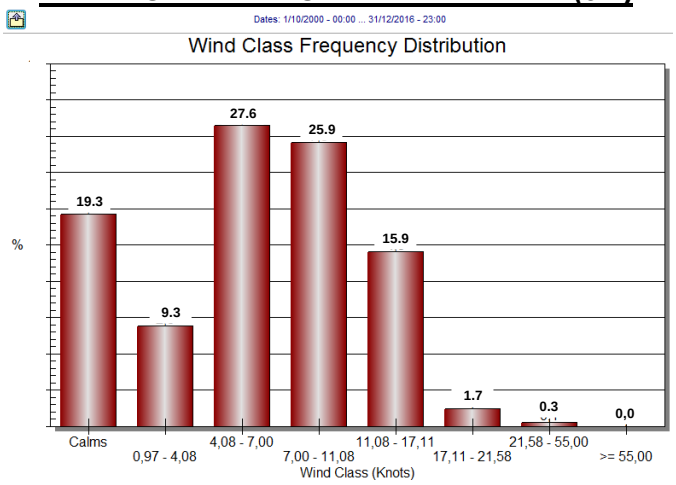


Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΟΚΤ-ΔΕΚ)

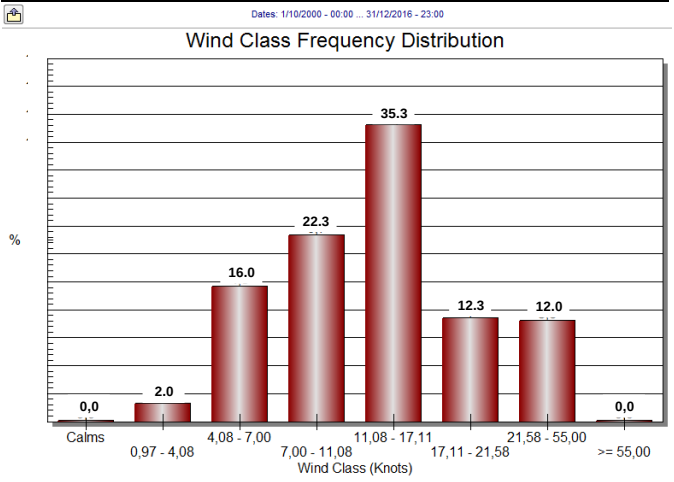
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



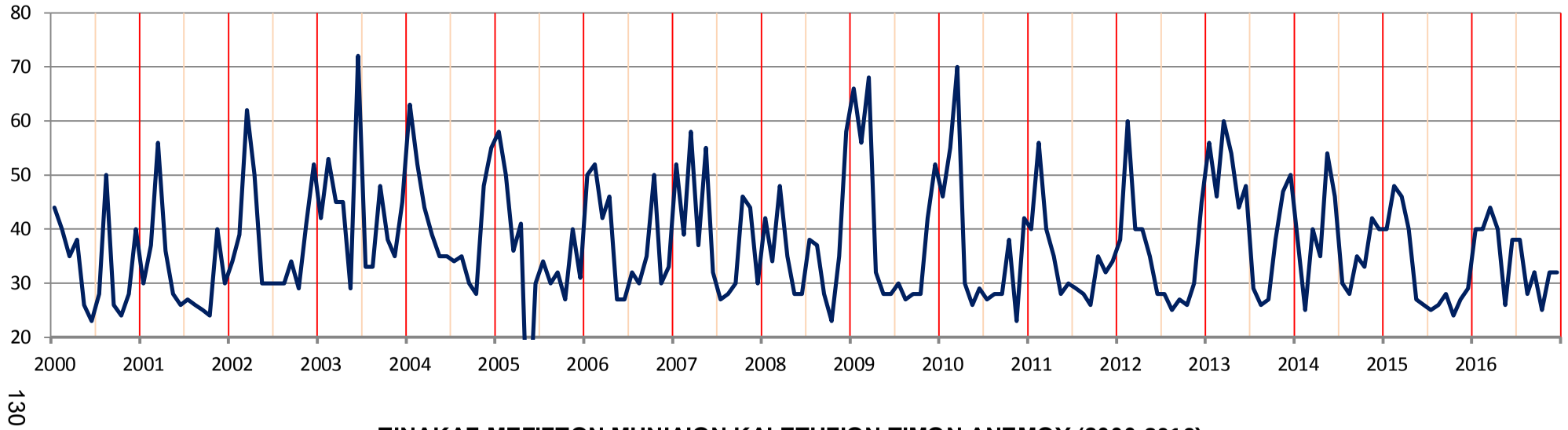
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

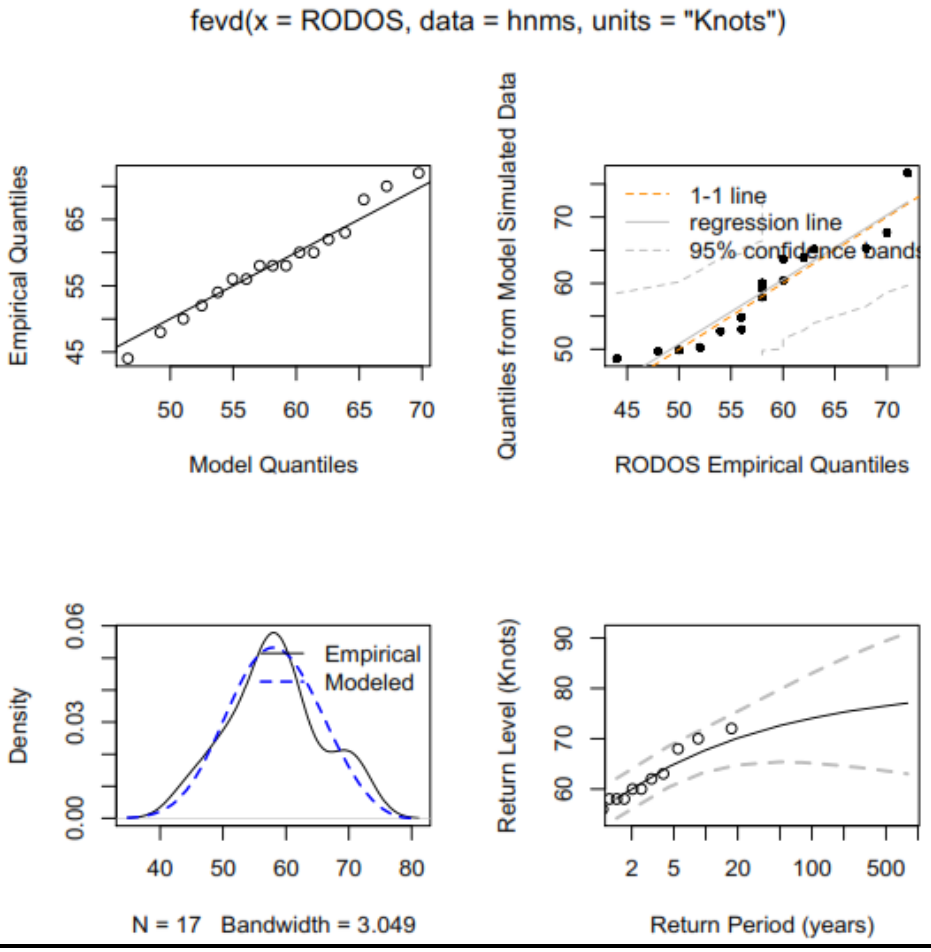


ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ΙΑΝ	44	30	34	42	63	58	50	52	42	66	46	40	38	56	38	40	40
ΦΕΒ	40	37	39	53	52	50	52	39	34	56	55	56	60	46	25	48	40
ΜΑΡ	35	56	62	45	44	36	42	58	48	68	70	40	40	60	40	46	44
ΑΠΡ	38	36	50	45	39	41	46	37	35	32	30	35	40	54	35	40	40
ΜΑΙ	26	28	30	29	35	0	27	55	28	28	26	28	35	44	54	27	26
ΙΟΥΝ	23	26	30	72	35	30	27	32	28	28	29	30	28	48	46	26	38
ΙΟΥΛ	28	27	30	33	34	34	32	27	38	30	27	29	28	29	30	25	38
ΑΥΓ	50	26	30	33	35	30	30	28	37	27	28	28	25	26	28	26	28
ΣΕΠ	26	25	34	48	30	32	35	30	28	28	28	26	27	27	35	28	32
ΟΚΤ	24	24	29	38	28	27	50	46	23	28	38	35	26	38	33	24	25
ΝΟΕ	28	40	41	35	48	40	30	44	35	42	23	32	30	47	42	27	32
ΔΕΚ	40	30	52	45	55	31	33	30	58	52	42	34	45	50	40	29	32
ΜΑΧ	50	56	62	72	63	58	52	58	58	68	70	56	60	60	54	48	44

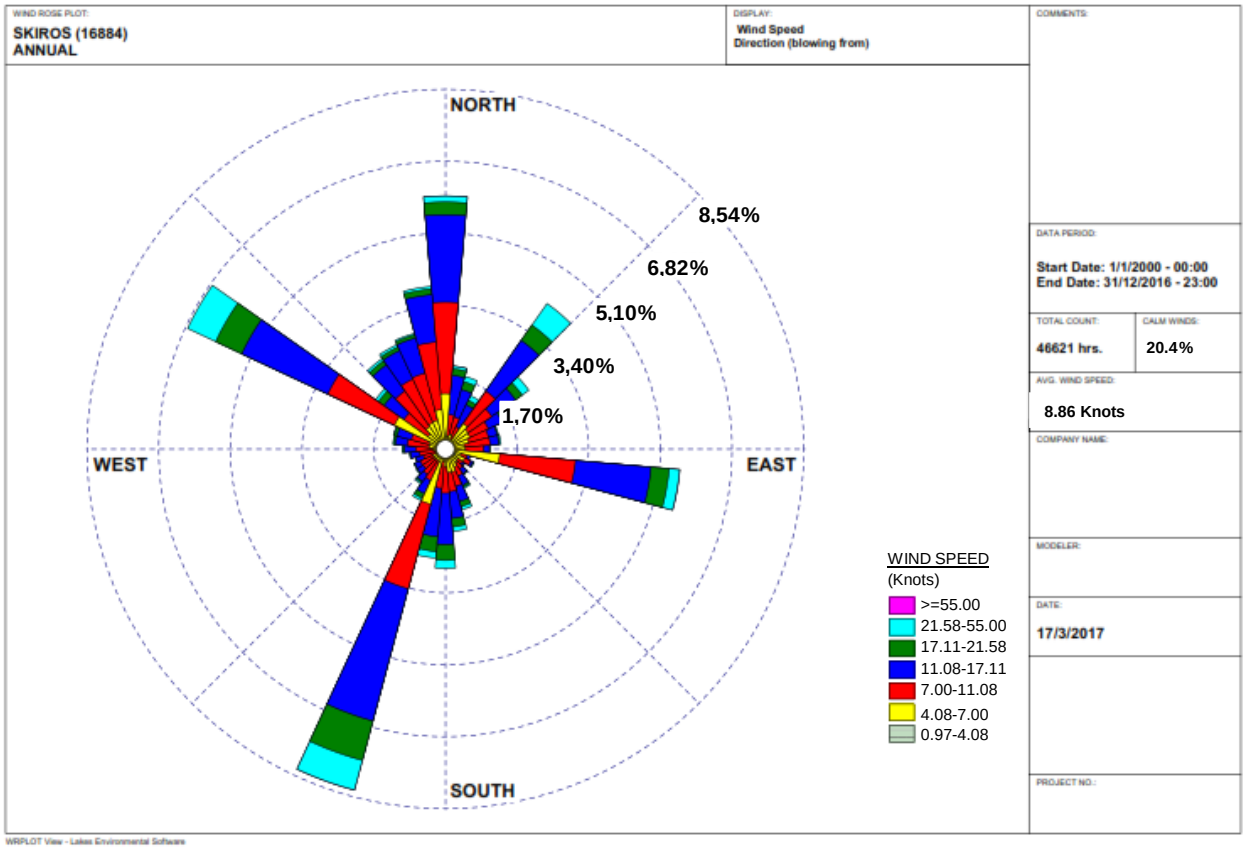
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ GEV ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΚΡΑΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2000-2016

ΡΟΔΟΣ	παράμετρος θέσης (β)	παράμετρος κλίμακας (α)	παράμετρος σχήματος (κ)
Εκτιμώμενες τιμές	55.6284170	7.2376829	-0.2887196
Τυπικό σφάλμα	1.979738	1.427345	0.193914
Συνδιακύμανση εκτίμησης παραμέτρων			
παράμετρος θέσης (β)	3.9193644	0.1855976	-0.16466498
παράμετρος κλίμακας (α)	0.1855976	2.0373152	-0.16546925
παράμετρος σχήματος (κ)	-0.1646650	-0.1654693	0.03760265
Negative log-likelihood	57.7824		
AIC	121.5648		
BIC	124.0644		
Εκτιμώμενες περίοδοι επαναφοράς	(Κόμβοι)	(95% διάστημα εμπιστοσύνης)	
2-έτη	58.14559	(54.17638 - 62.11480)	
20-έτη	70.06273	(64.76953 - 75.35592)	
50-έτη	72.57091	(65.36066 - 79.78115)	
100-έτη	74.05440	(65.13793 - 82.97087)	

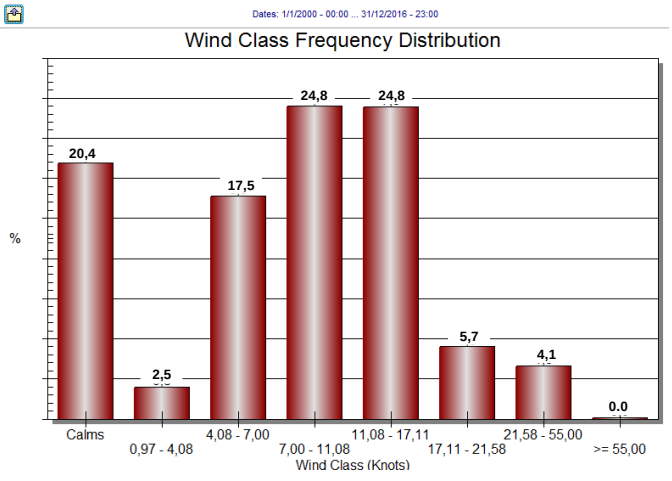


ΣΚΥΡΟΣ	**ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΜΥ :** 16684 **ΘΕΣΗ :** 38°57'46"B - 24°29'26"A **ΥΨΟΜ. :** 22 μέτρα

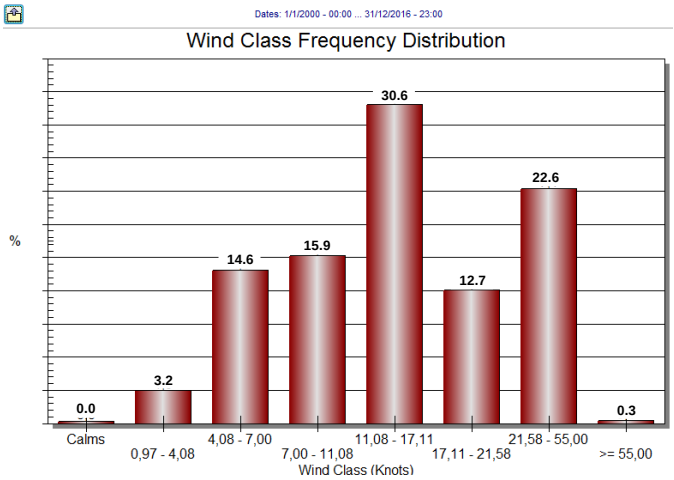
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

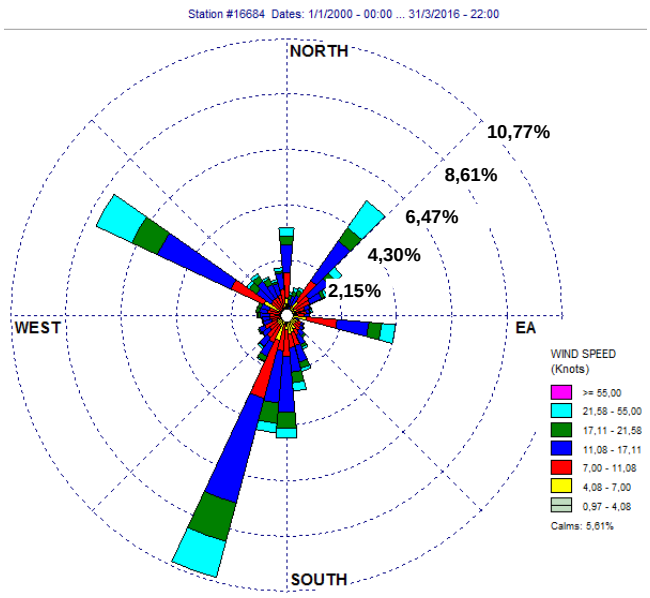


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (MAX 3Ω)

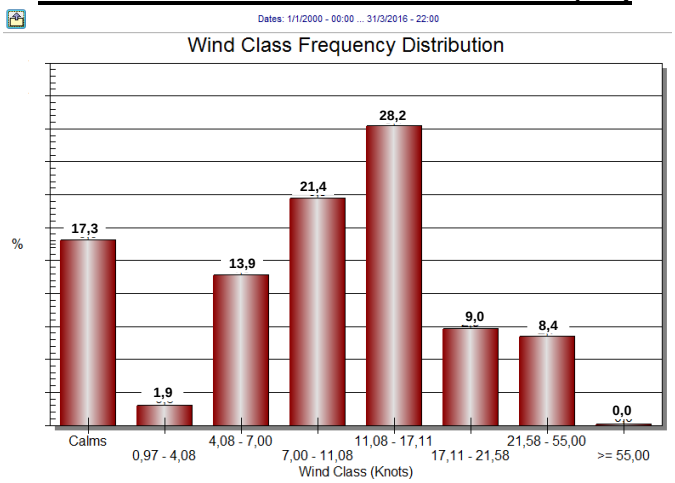


Α' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΑΝ-ΜΑΡ)

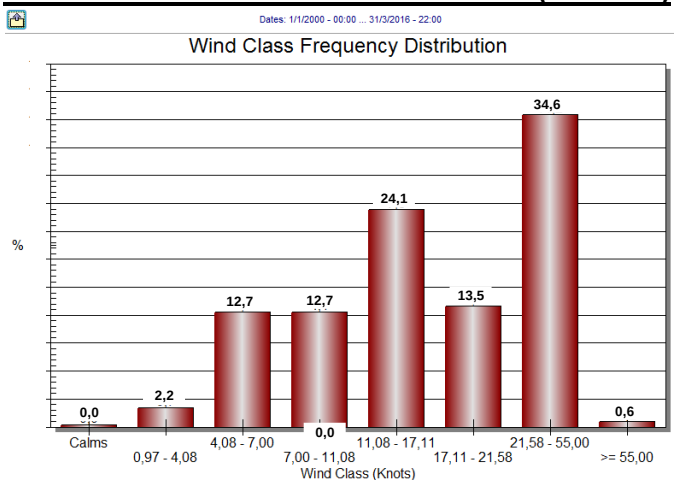
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

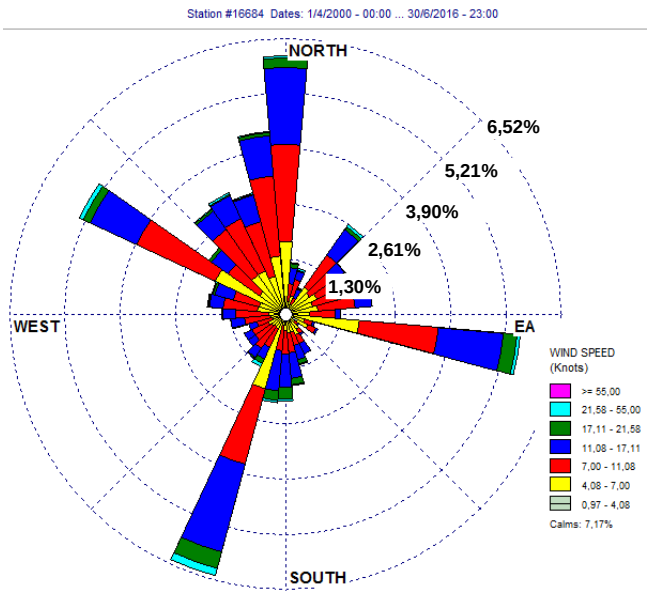


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

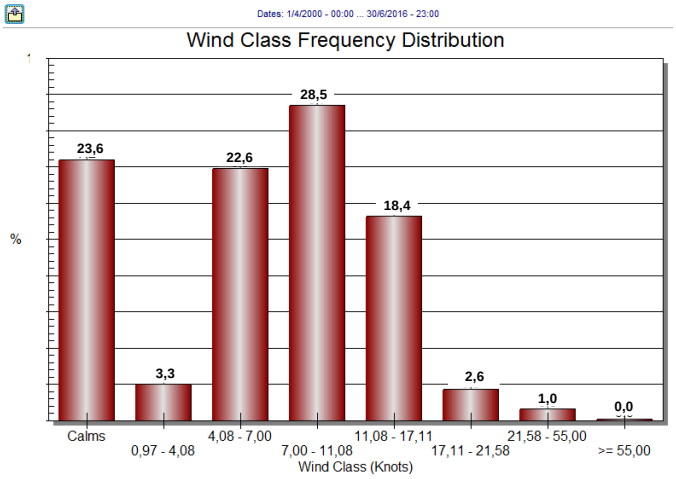


Β' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΑΠΡ-ΙΟΥΝ)

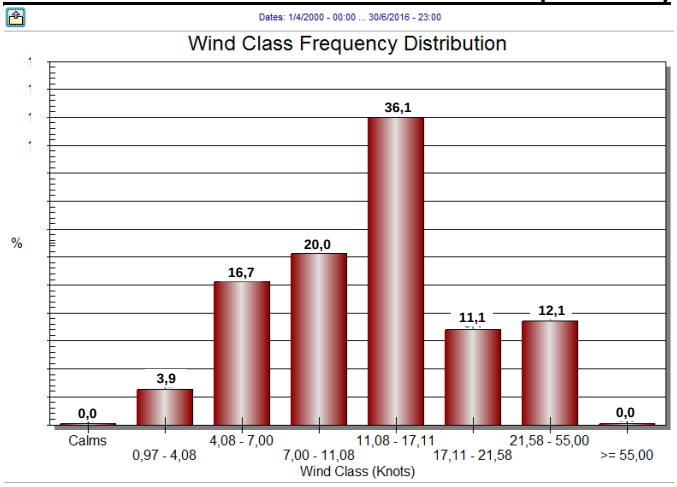
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

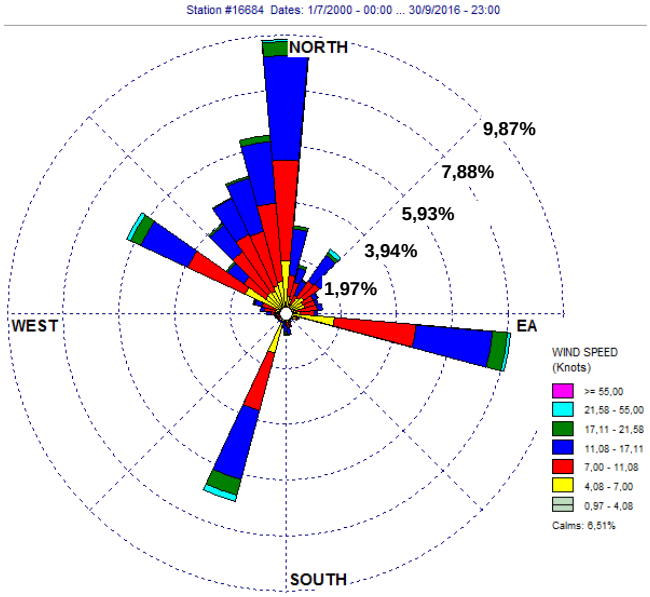


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



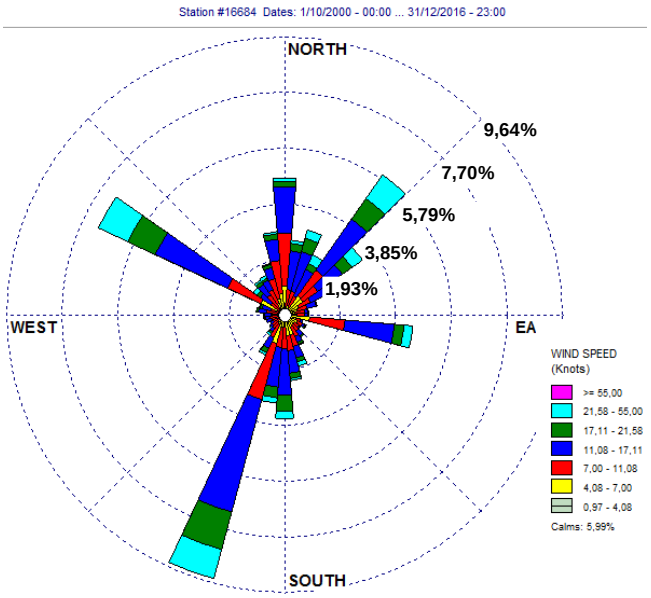
Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΟΥΛ-ΣΕΠ)

ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ

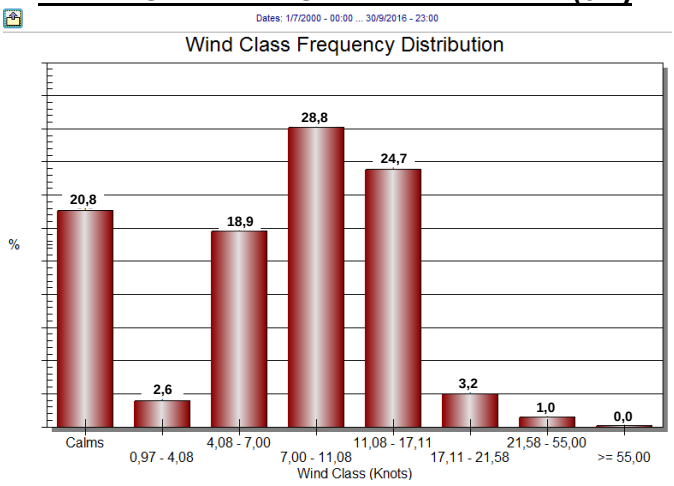


Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΟΚΤ-ΔΕΚ)

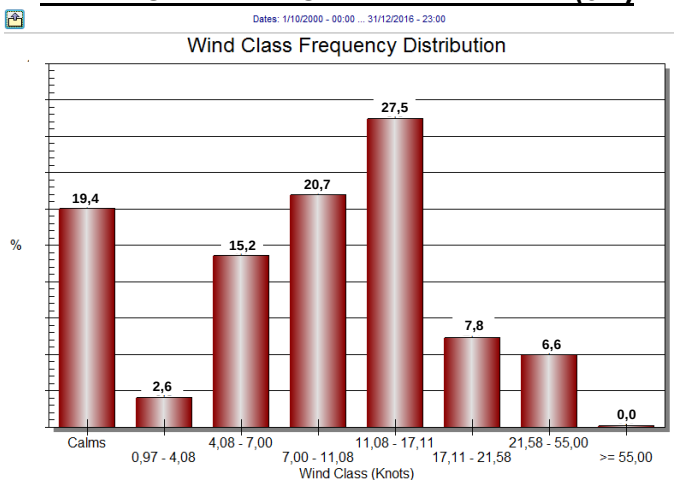
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



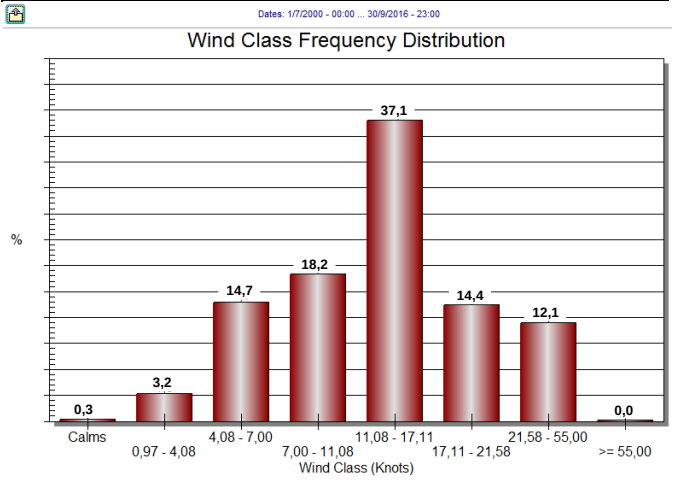
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



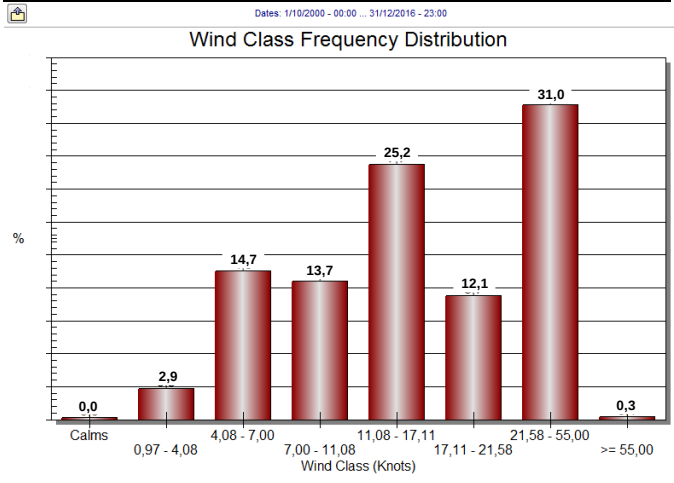
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



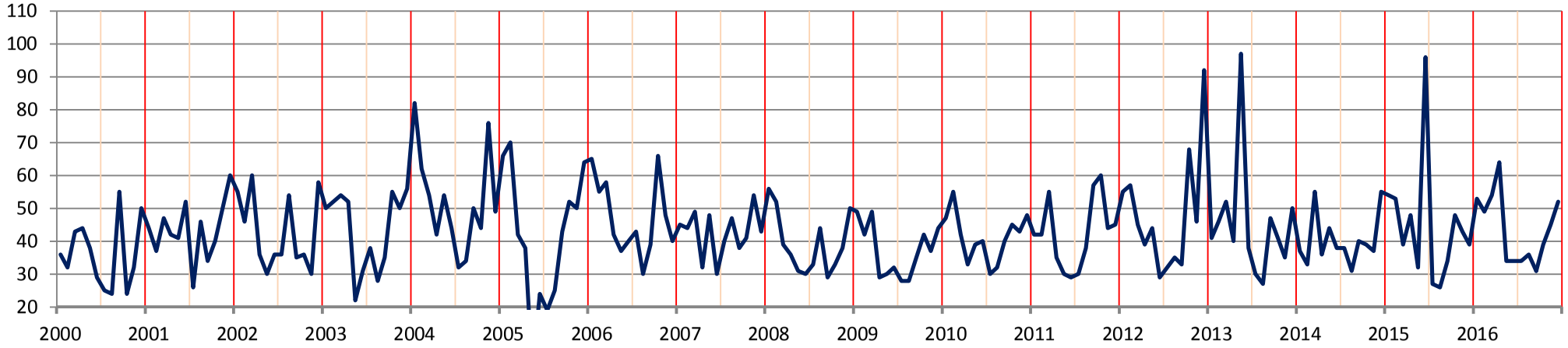
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

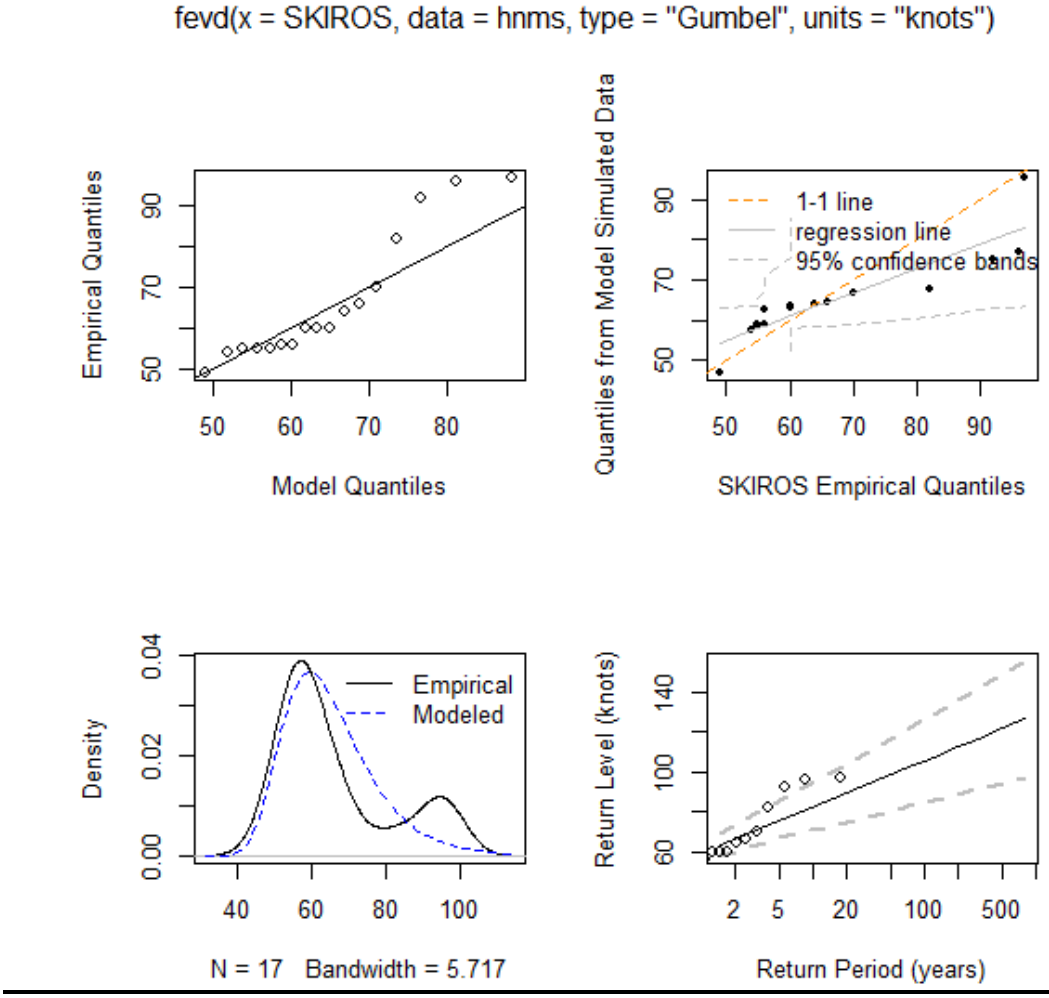


ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ΙΑΝ	36	44	55	50	82	66	65	45	56	49	47	42	55	41	37	54	53
ΦΕΒ	32	37	46	52	62	70	55	44	52	42	55	42	57	46	33	53	49
ΜΑΡ	43	47	60	54	54	42	58	49	39	49	42	55	45	52	55	39	54
ΑΠΡ	44	42	36	52	42	38	42	32	36	29	33	35	39	40	36	48	64
ΜΑΙ	38	41	30	22	54	0	37	48	31	30	39	30	44	97	44	32	34
ΙΟΥΝ	29	52	36	31	44	24	40	30	30	32	40	29	29	38	38	96	34
ΙΟΥΛ	25	26	36	38	32	19	43	40	33	28	30	30	32	30	38	27	34
ΑΥΓ	24	46	54	28	34	25	30	47	44	28	32	38	35	27	31	26	36
ΣΕΠ	55	34	35	35	50	43	39	38	29	35	40	57	33	47	40	34	31
ΟΚΤ	24	40	36	55	44	52	66	41	33	42	45	60	68	41	39	48	39
ΝΟΕ	32	50	30	50	76	50	48	54	38	37	43	44	46	35	37	43	45
ΔΕΚ	50	60	58	56	49	64	40	43	50	44	48	45	92	50	55	39	52
ΜΑΧ	55	60	60	56	82	70	66	54	56	49	55	60	92	97	55	96	64

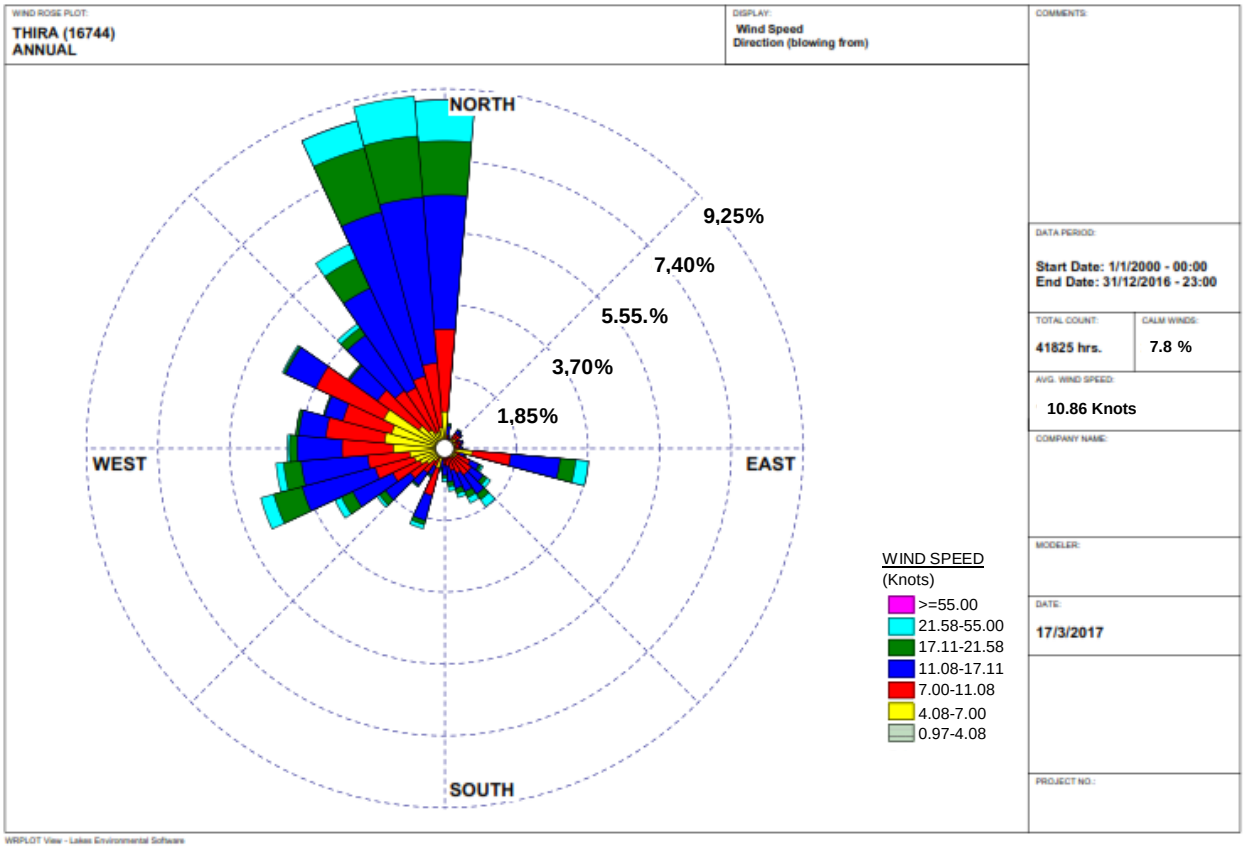
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ GEV ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΚΡΑΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2000-2016

ΣΚΥΡΟΣ	παράμετρος θέσης (β)	παράμετρος κλίμακας (α)	παράμετρος σχήματος (κ)
Εκτιμώμενες τιμές	59.68807	10.01388	0
Τυπικό σφάλμα	2.531855	2.101743	
Συνδιακύμανση εκτίμησης παραμέτρων			
παράμετρος θέσης (β)	6.410288	1.503195	-
παράμετρος κλίμακας (α)	1.503195	4.417325	-
παράμετρος σχήματος (κ)	-	-	-
Negative log-likelihood	67.38204		
AIC	138.7641		
BIC	140.4305		
Εκτιμώμενες περίοδοι επαναφοράς	(Κόμβοι)	(95% διάστημα εμπιστοσύνης)	
2-έτη	63.35829	(57.77822 - 68.93836)	
20-έτη	89.43124	(74.98726 - 103.87523)	
50-έτη	98.76161	(80.64966 - 116.87356)	
100-έτη	105.75340	(84.85273 - 126.65408)	

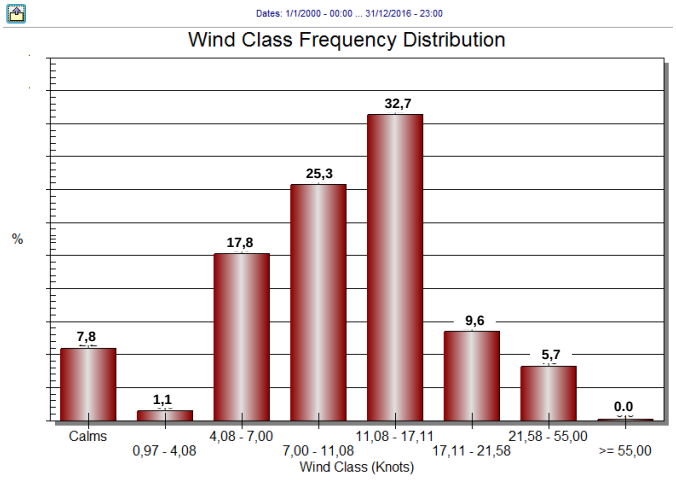


ΘΗΡΑ	**ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΜΥ :** 16744 **ΘΕΣΗ :** 36°25'0"B - 25°25'0"A **ΥΨΟΜ. :** 37.4 μέτρα

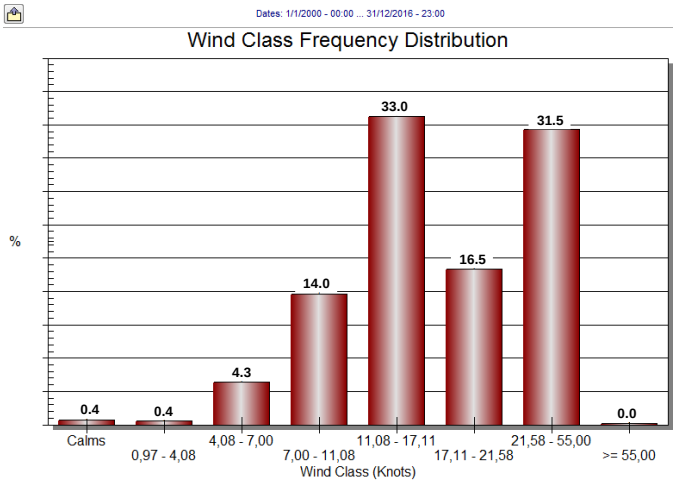
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

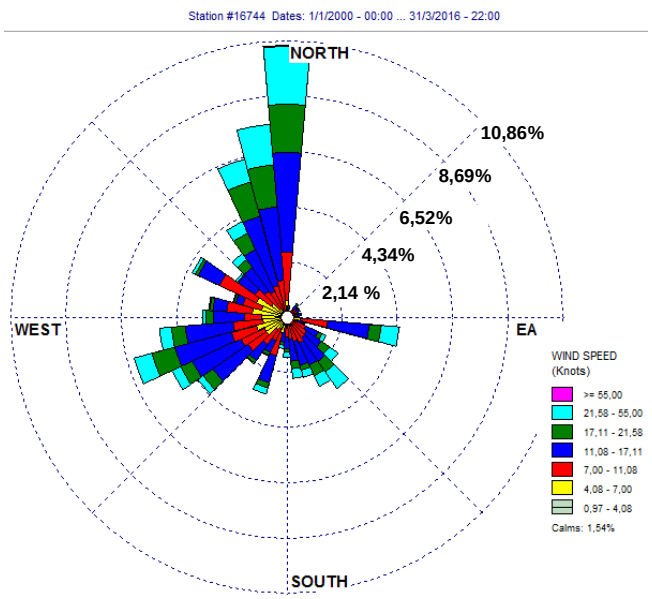


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (MAX 3Ω)



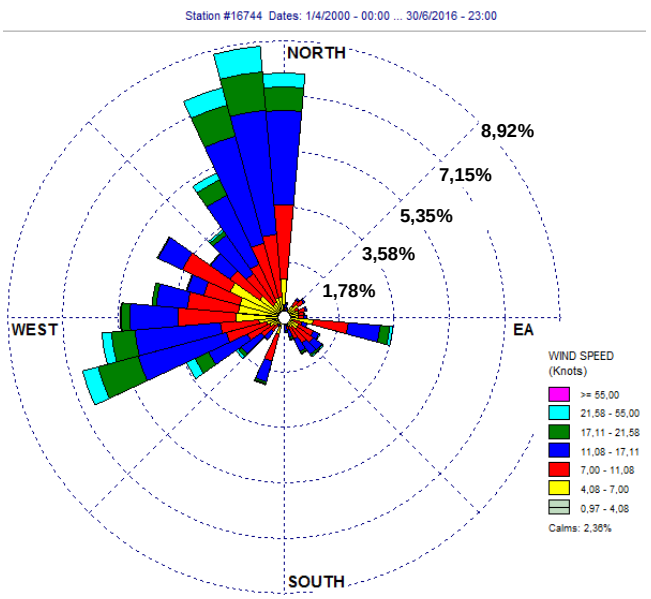
Α' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΑΝ-ΜΑΡ)

ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ

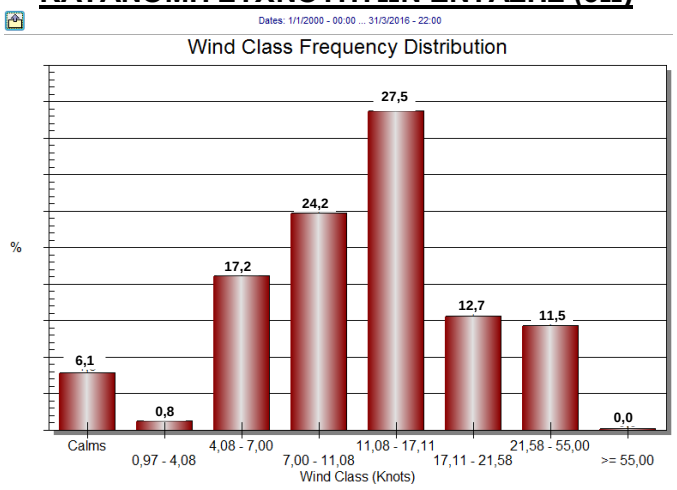


Β' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΑΠΡ-ΙΟΥΝ)

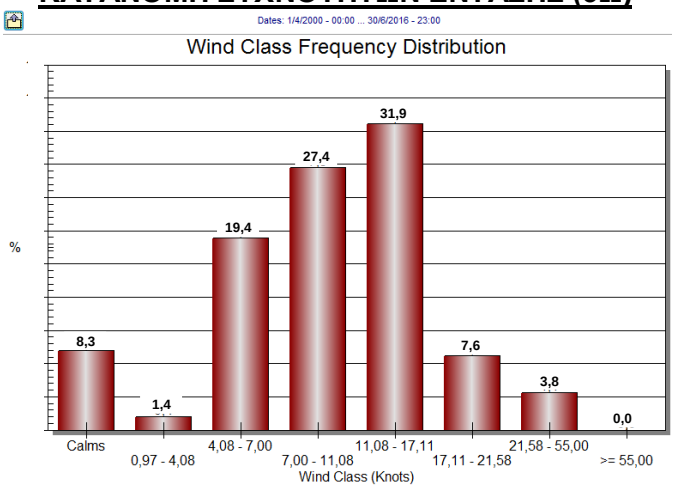
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



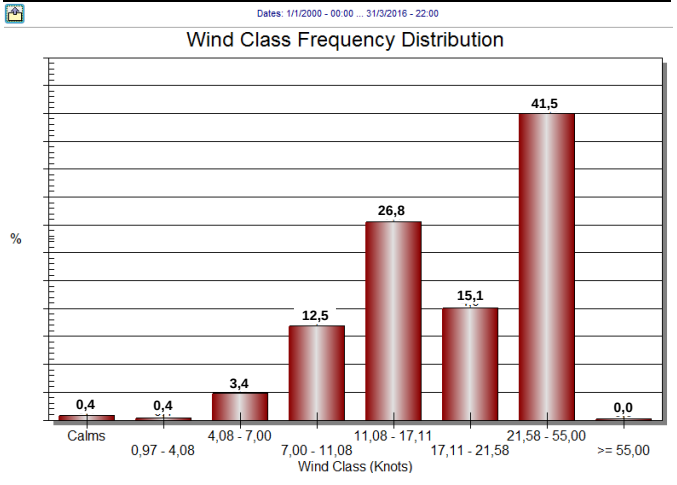
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



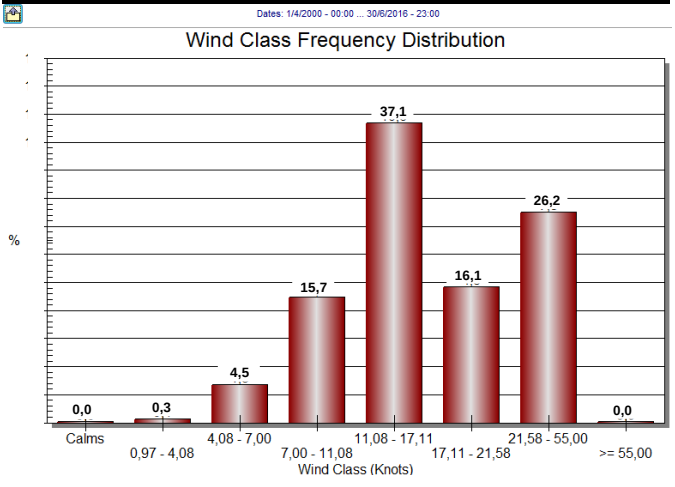
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

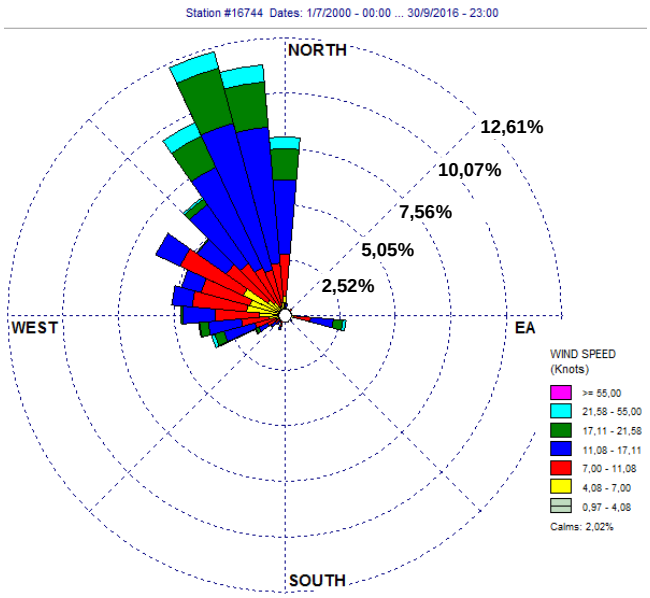


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

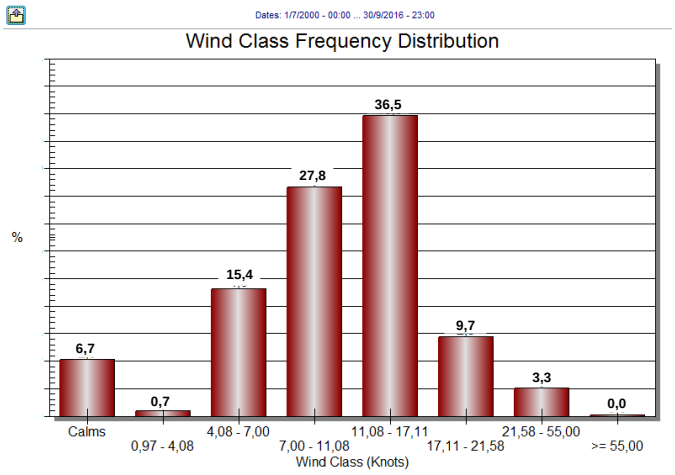


Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΟΥΛ-ΣΕΠ)

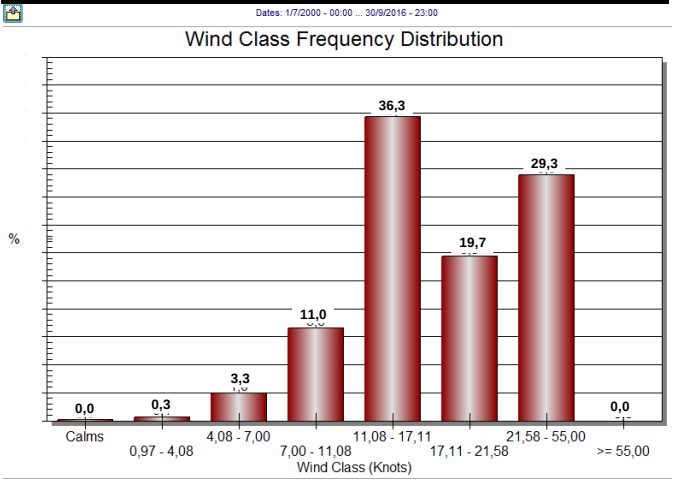
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

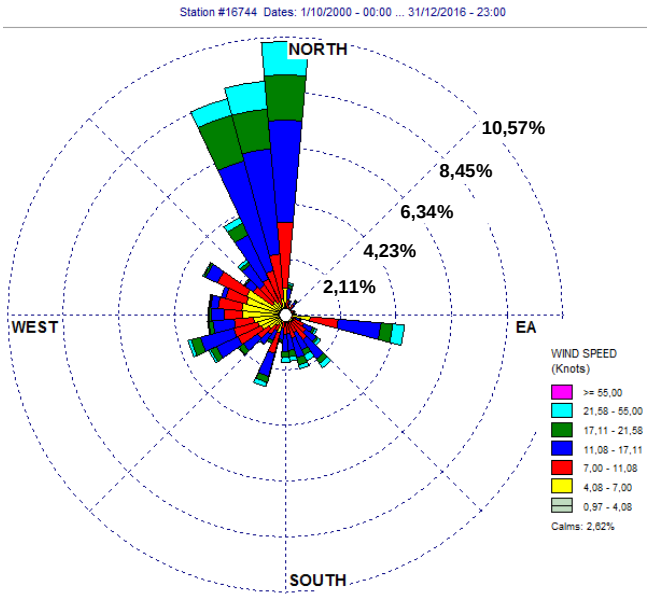


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

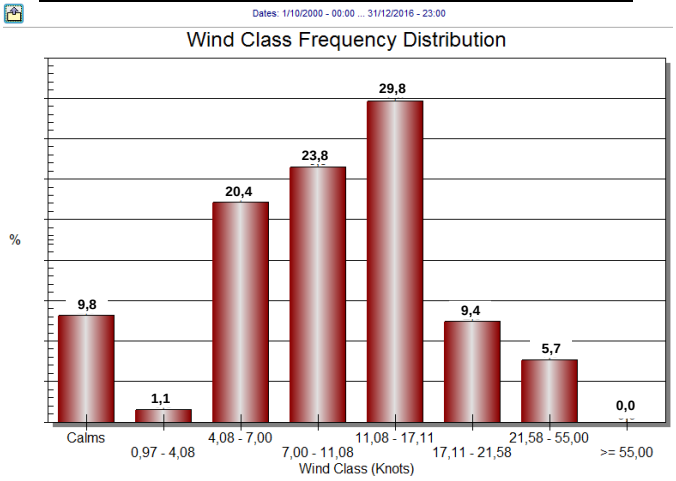


Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΟΚΤ-ΔΕΚ)

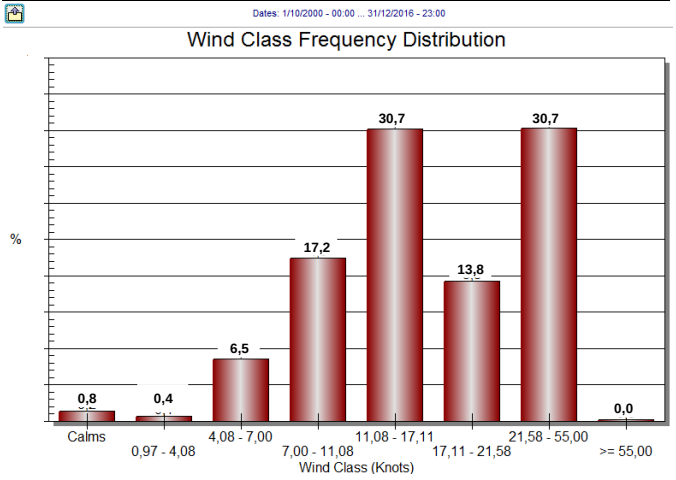
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



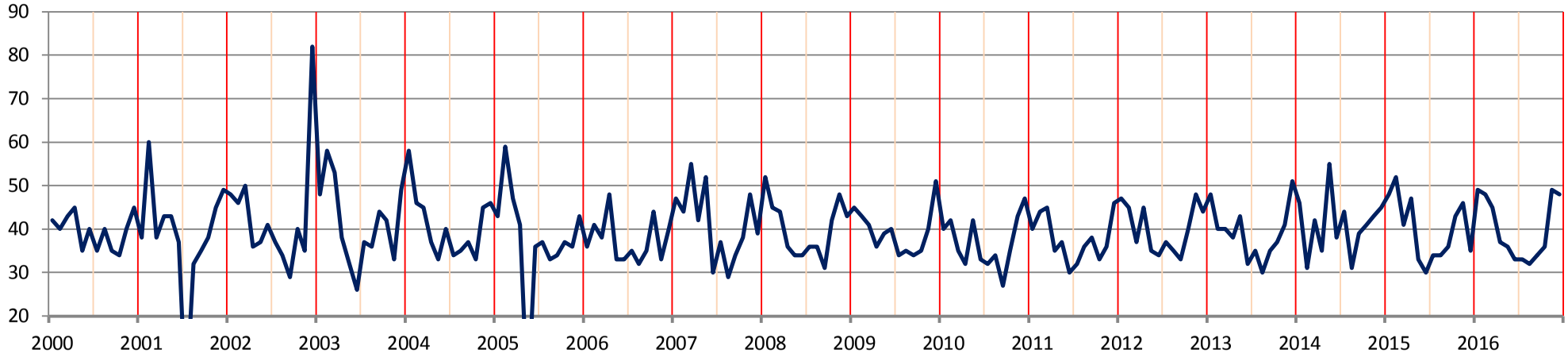
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)



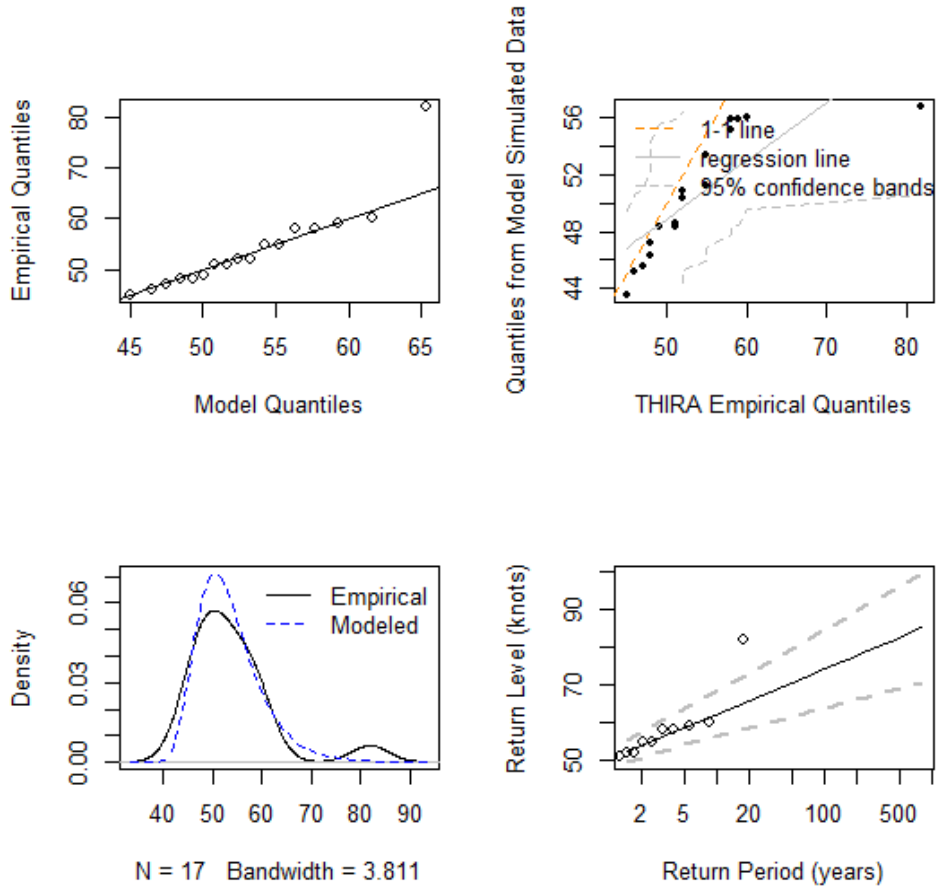
ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ΙΑΝ	42	38	48	48	58	43	36	47	52	45	40	40	47	48	46	48	49
ΦΕΒ	40	60	46	58	46	59	41	44	45	43	42	44	45	40	31	52	48
ΜΑΡ	43	38	50	53	45	47	38	55	44	41	35	45	37	40	42	41	45
ΑΠΡ	45	43	36	38	37	41	48	42	36	36	32	35	45	38	35	47	37
ΜΑΙ	35	43	37	32	33	0	33	52	34	39	42	37	35	43	55	33	36
ΙΟΥΝ	40	37	41	26	40	36	33	30	34	40	33	30	34	32	38	30	33
ΙΟΥΛ	35	0	37	37	34	37	35	37	36	34	32	32	37	35	44	34	33
ΑΥΓ	40	32	34	36	35	33	32	29	36	35	34	36	35	30	31	34	32
ΣΕΠ	35	35	29	44	37	34	35	34	31	34	27	38	33	35	39	36	34
ΟΚΤ	34	38	40	42	33	37	44	38	42	35	35	33	40	37	41	43	36
ΝΟΕ	40	45	35	33	45	36	33	48	48	40	43	36	48	41	43	46	49
ΔΕΚ	45	49	82	49	46	43	40	39	43	51	47	46	44	51	45	35	48
ΜΑΧ	45	60	82	58	58	59	48	55	52	51	47	46	48	51	55	52	49

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ GEV ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΚΡΑΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2000-2016

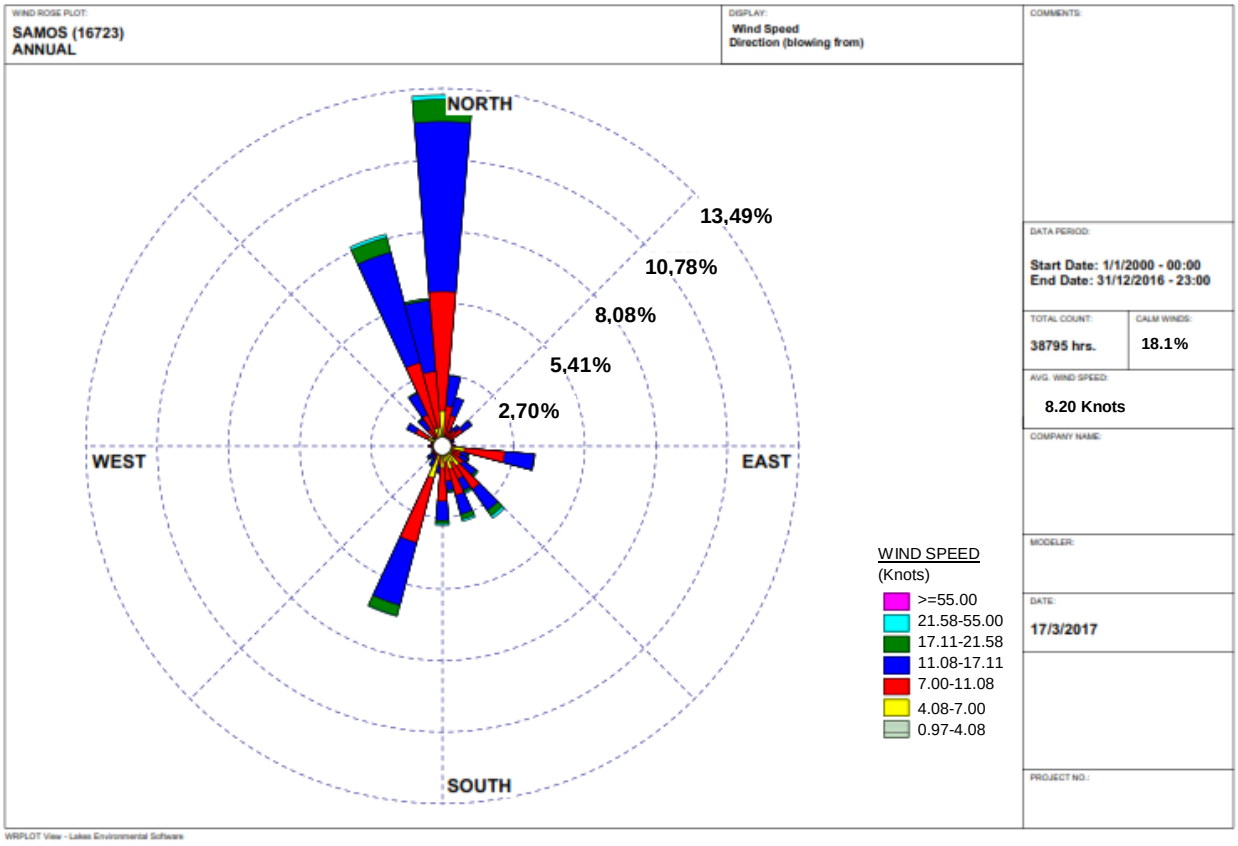
ΘΗΡΑ	παράμετρος θέσης (β)	παράμετρος κλίμακας (α)	παράμετρος σχήματος (κ)
Εκτιμώμενες τιμές	50.558821	5.169017	
Τυπικό σφάλμα	1.307182	1.036842	
Συνδιακύμανση εκτίμησης παραμέτρων			
παράμετρος θέσης (β)	1.7087250	0.3838201	-
παράμετρος κλίμακας (α)	0.3838201	1.0750412	-
παράμετρος σχήματος (κ)	-	-	-
Negative log-likelihood	55.85612		
AIC	115.7122		
BIC	117.3787		
Εκτιμώμενες περίοδοι επαναφοράς	(Κόμβοι)	(95% διάστημα εμπιστοσύνης)	
2-έτη	52.45333	(49.58985 - 55.31682)	
20-έτη	65.91181	(58.71769 - 73.10593)	
50-έτη	70.72801	(61.73102 - 79.72500)	
100-έτη	74.33707	(63.96789 - 84.70625)	

fevd(x = THIRA, data = hnms, type = "Gumbel", units = "knots")

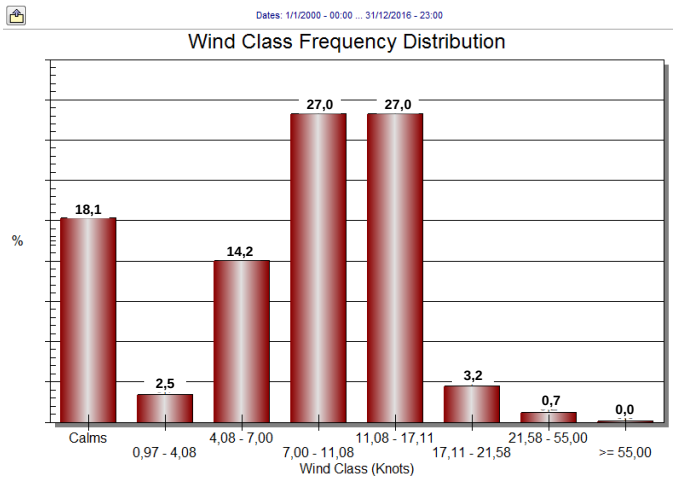


ΣΑΜΟΣ	**ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΜΥ :** 16723 **ΘΕΣΗ :** 37°41'27"B - 26°54'58"A **ΥΨΟΜ. :** 5.93 μέτρα

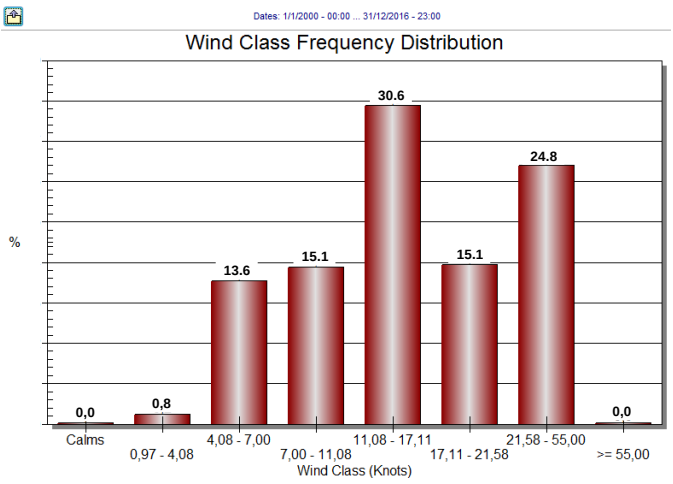
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΗΣΙΟ)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

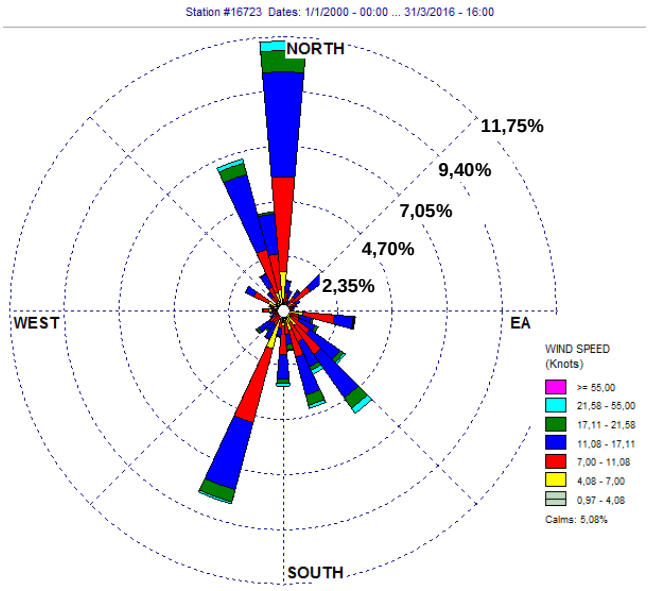


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (MAX 3Ω)

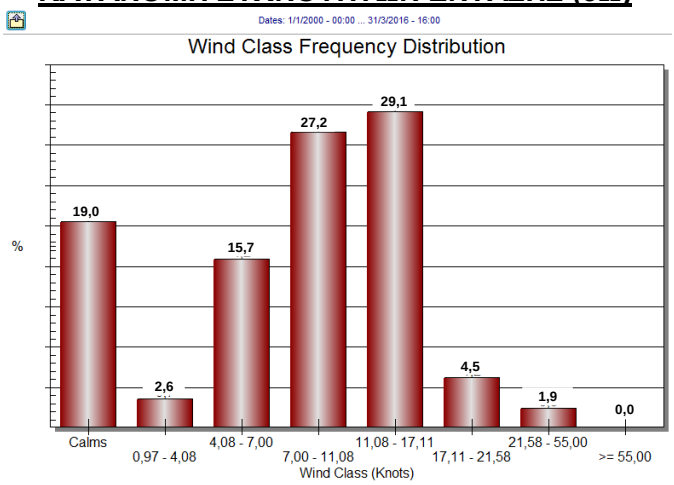


Α' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΑΝ-ΜΑΡ)

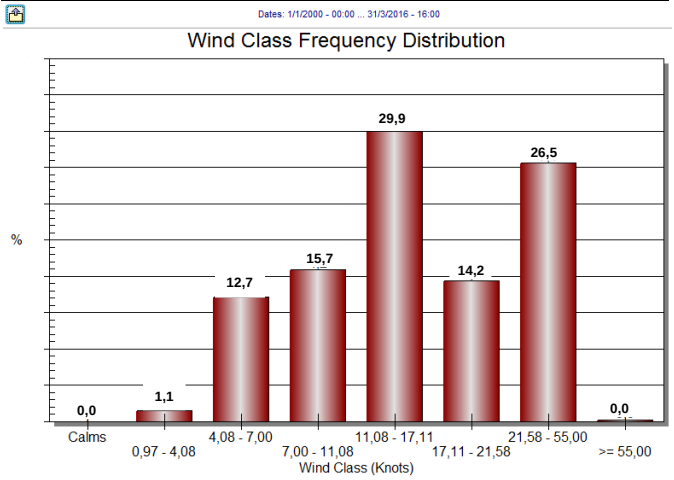
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

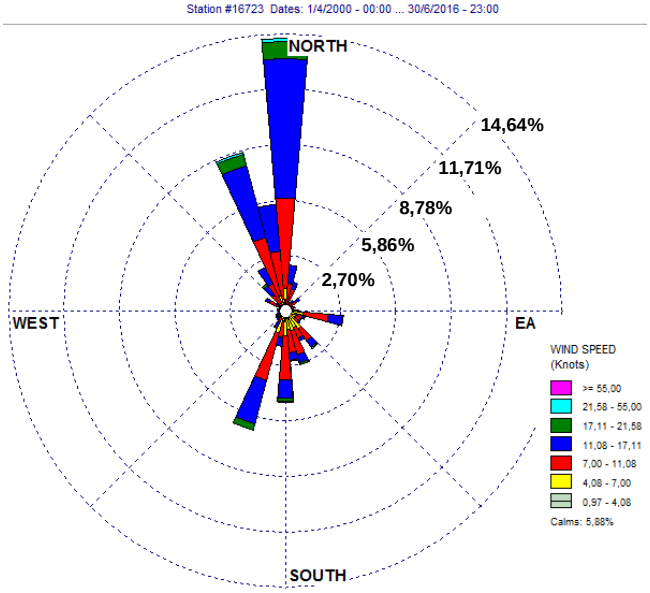


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

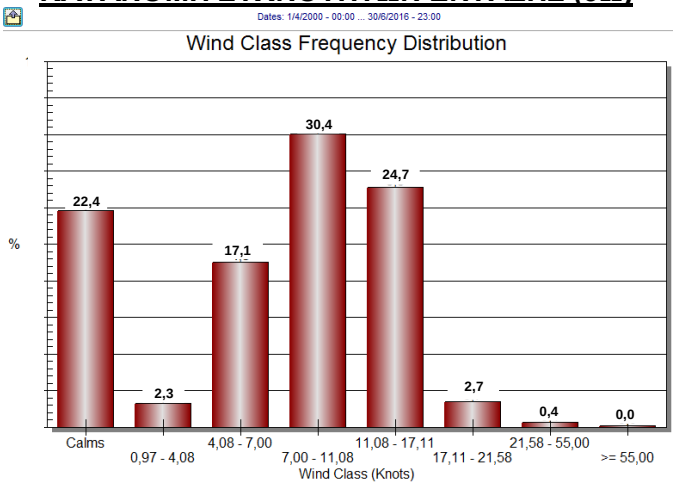


Β' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΑΠΡ-ΙΟΥΝ)

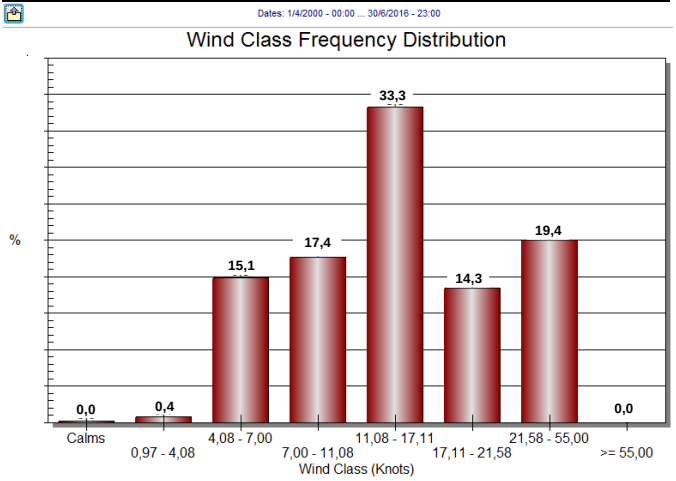
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

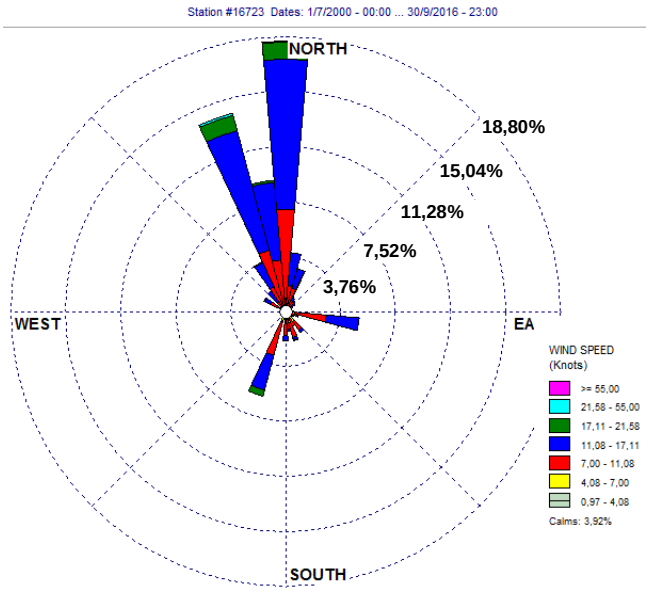


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

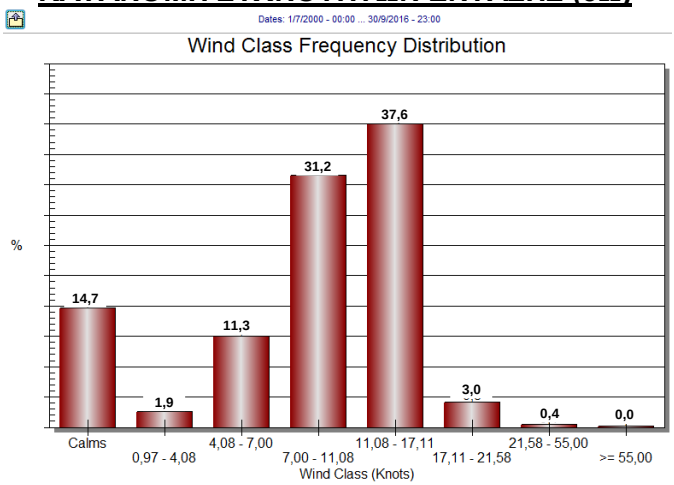


Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΙΟΥΛ-ΣΕΠ)

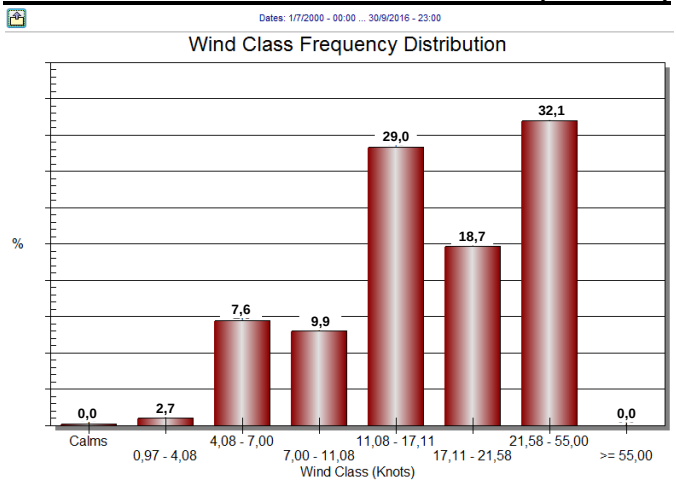
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)

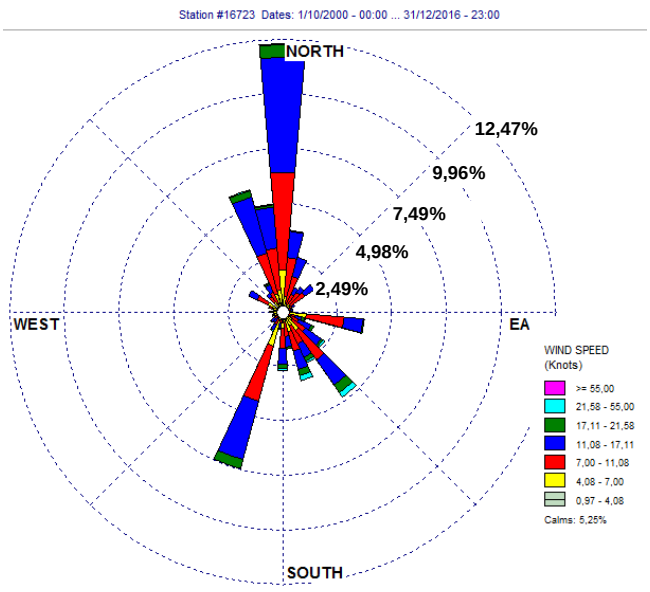


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)

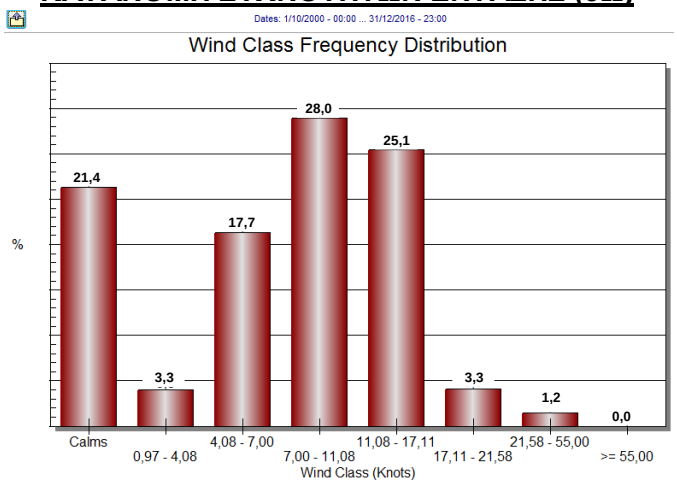


Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ (ΟΚΤ-ΔΕΚ)

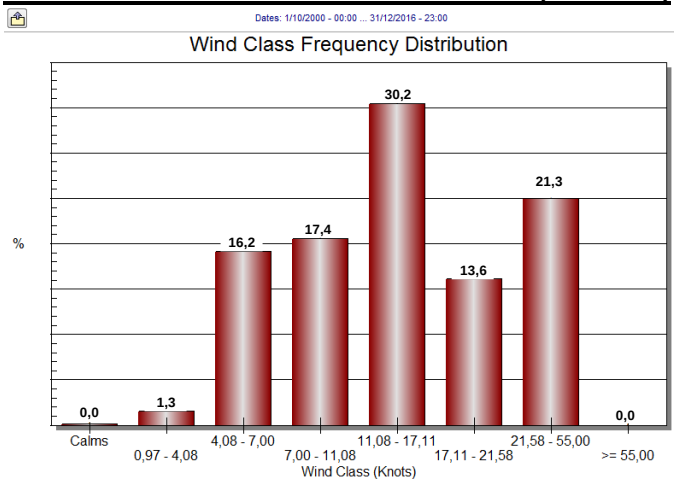
ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ



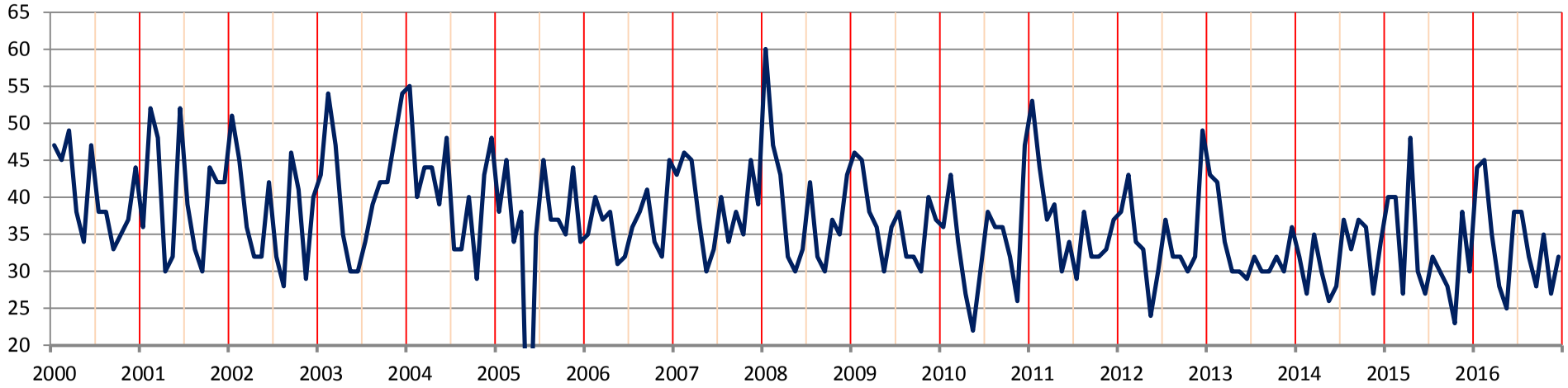
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (3Ω)



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ (ΜΑΧ 3Ω)



ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

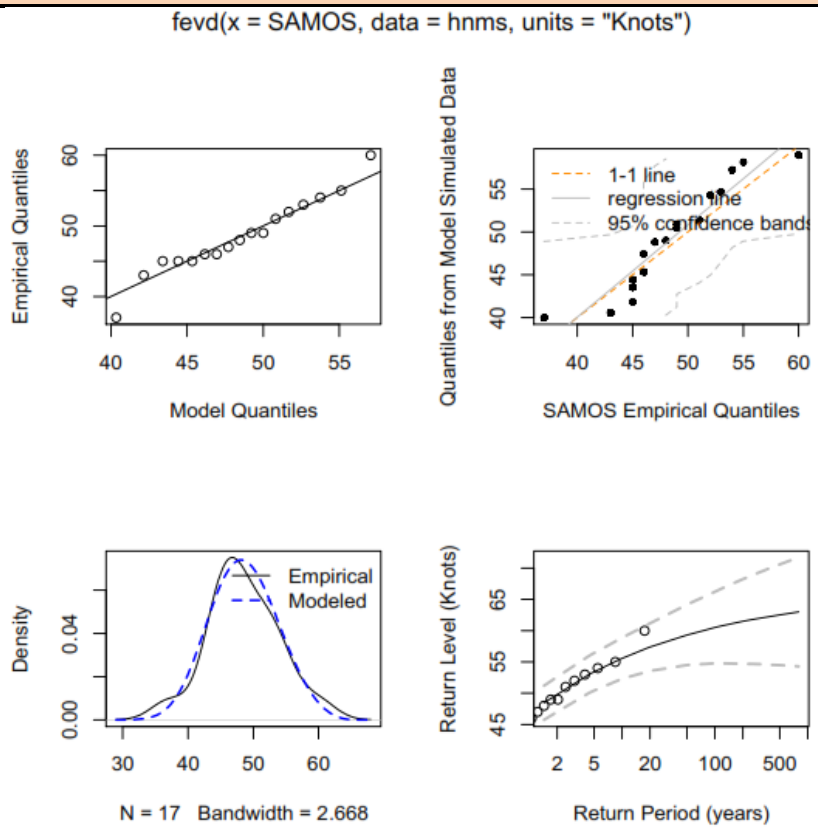


ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΑΝΕΜΟΥ (2000-2016)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ΙΑΝ	47	36	51	43	55	38	35	43	60	46	36	53	38	43	32	40	44
ΦΕΒ	45	52	45	54	40	45	40	46	47	45	43	44	43	42	27	40	45
ΜΑΡ	49	48	36	47	44	34	37	45	43	38	34	37	34	34	35	27	35
ΑΠΡ	38	30	32	35	44	38	38	37	32	36	27	39	33	30	30	48	28
ΜΑΙ	34	32	32	30	39	0	31	30	30	30	22	30	24	30	26	30	25
ΙΟΥΝ	47	52	42	30	48	35	32	33	33	36	30	34	30	29	28	27	38
ΙΟΥΛ	38	39	32	34	33	45	36	40	42	38	38	29	37	32	37	32	38
ΑΥΓ	38	33	28	39	33	37	38	34	32	32	36	38	32	30	33	30	32
ΣΕΠ	33	30	46	42	40	37	41	38	30	32	36	32	32	30	37	28	28
ΟΚΤ	35	44	41	42	29	35	34	35	37	30	32	32	30	32	36	23	35
ΝΟΕ	37	42	29	48	43	44	32	45	35	40	26	33	32	30	27	38	27
ΔΕΚ	44	42	40	54	48	34	45	39	43	37	47	37	49	36	34	30	32
ΜΑΧ	49	52	51	54	55	45	45	46	60	46	47	53	49	43	37	48	45

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ GEV ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΑΚΡΑΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2000-2016

ΣΑΜΟΣ	παράμετρος θέσης (β)	παράμετρος κλίμακας (α)	παράμετρος σχήματος (κ)
Εκτιμώμενες τιμές	46.6556954	5.1625478	-0.2610061
Τυπικό σφάλμα	1.3717097	0.9388694	0.1430477
Συνδιακύμανση εκτίμησης παραμέτρων			
παράμετρος θέσης (β)	1.88158747	0.01949542	-0.07138791
παράμετρος κλίμακας (α)	0.01949542	0.88147583	-0.06925572
παράμετρος σχήματος (κ)	-0.07138791	-0.06925572	0.02046266
Negative log-likelihood	52.12821		
AIC	110.2564		
BIC	112.7561		
Εκτιμώμενες περίοδοι επαναφοράς	(Κόμβοι)	(95% διάστημα εμπιστοσύνης)	
2-έτη	48.46015	(45.72823 - 51.19208)	
20-έτη	57.32484	(53.55188 - 61.09779)	
50-έτη	59.29154	(54.49302 - 64.09007)	
100-έτη	60.48164	(54.74755 - 66.21572)	



Παράρτημα Γ.

Κλίμακα Beaufort

Bf	Χαρακτηρισμός ανέμου	Ισοδύναμη ένταση			Περιγραφή	Πιθανό ύψος Κύματος σε μέτρα (max)
		Kts	m/sec	Km/h		
0	Άπνοια (νηνεμία)	00	0 - 0,2	01	Επίπεδη, κατοπτρική επιφάνεια *(κοινώς «θάλασσα λάδι»)*.	-
1	Σχεδόν άπνοια / Υποπνέων (ελαφρύ αεράκι)	01 - 03	0,3 - 1,5	01 - 05	Το νερό κάνει μικρές «ρυτίδες».	0,1 (0,1)
2	Πολύ ασθενής (ελαφριά αύρα)	04 - 06	1,6 - 3,3	06 - 11	Μικρά κυματάκια που δεν «σπάνε». Οι κορυφές τους έχουν υαλώδη μορφή και ποτέ αφρό.	0,2 (0,3)
3	Ασθενής (γλυκιά αύρα)	07 - 10	3,4 - 5,4	12 - 19	Τα μικρά κύματα αρχίζουν να σπάνε και εμφανίζεται λίγος αφρός («προβατάκια»).	0,6 (1)
4	Σχεδόν μέτριος (μέτρια αύρα)	11 - 16	5,5 - 7,9	20 - 28	Μέτρια κύματα, εμφανίζεται αφρός και σταγονίδια νερού (πίτυλος).	1 (1,5)
5	Μέτριος	17 - 21	8,0 - 10,7	29 - 38	Μεγαλύτερα κύματα (ύψους 1,2 - 2,5 μ.), εμφανίζονται αφρώδεις κορυφές παντού.	2 (2,5)

6	Ισχυρός	22 - 27	10,8 - 13,8	39 - 49	Μεγάλα κύματα (ύψους 2 - 4 μ.) με επιμήκεις αφρώδεις κορυφές («άσπρα άλογα») και έντονο πίτυλο.	3 (4)
7	Σφοδρός / Σχεδόν Θυελλώδης (Near Gale)	28 - 33	13,9 - 17,1	50 - 61	Η θάλασσα ογκούται (φουσκώνει) και λευκός αφρός από κύματα (ύψους 3 - 5 μ.) που σπάζουν αρχίζει να παρασύρεται και να σχηματίζονται ραβδώσεις κατά την διεύθυνση του ανέμου.	4 (5,5)
8	Θυελλώδης (Gale)	34 - 40	17,2 - 20,7	62 - 74	Η θάλασσα αρχίζει να φουρτουνιάζει. Σχετικά υψηλά κύματα (4 - 6 μ.) με προεξέχουσες κορυφές που αρχίζουν να σπάνε. Σχηματίζονται έντονες λωρίδες αφρού κατά την διεύθυνση του ανέμου. Μεγάλες ποσότητες αιωρούμενου αφρού.	5,5 (7,5)
9	Πολύ Θυελλώδης (Strong Gale)	41 - 47	20,8 - 24,4	75 - 88	. Υψηλά κύματα (6 - 9 μ.) με πυκνές ραβδώσεις αφρού κατά την διεύθυνση του ανέμου. Οι κορυφές των κυμάτων αρχίζουν να γέρνουν, να πέφτουν και να κυλίονται. Ο αφρός είναι δυνατόν να επηρεάζει την ορατότητα.	7 (10)

10	Θύελλα (Storm)	48 - 55	24,5 - 28,4	89 - 102	Πολύ υψηλά (8 - 12,5 μ.) κύματα με μακριές λοφώδεις ράχες. Το σπάσιμο και κύλισμα των κορυφών των κυμάτων γίνεται έντονο και βίαιο. Η θάλασσα εμφανίζει μεγάλα λευκά μπαλώματα και η συνολική της εμφάνιση αρχίζει να ασπρίζει. Η ορατότητα μειώνεται	9 (12,5)
11	Βίαιη / Σφοδρή θύελλα (Violent Storm)	56 - 63	28,5 - 32,6	103 - 117	Εξαιρετικά υψηλά (9 - 14 μ.) ογκώδη κύματα, μεγάλες ποσότητες αιωρούμενου αφρού, μικρή ορατότητα. Δύσκολη η θέα πλοίων μικρής και μεσαίας χωρητικότητας, ίσως για λίγη ώρα να χάνονται πίσω από τα κύματα.	11,5 (16)
12	Τυφώνας (Hurricane-force)	>64	>32,7	>118	Τεράστια κύματα (14 μ. και άνω). Ο αέρας γεμίζει με αφρό και πίτυλο, η θάλασσα ασπρίζει εντελώς. Ελάχιστη έως μηδενική ορατότητα.	14 (-)