

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ**  
**ΤΩΝ ΝΗΣΙΩΝ ΤΟΥ ΙΟΝΙΟΥ ΓΙΑ**  
**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:**

**ΖΗΣΗΣ ΘΩΜΑΣ    Α.Μ: 42864**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**Δρ. ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα έχουν σημειωθεί τεράστια άλματα στην τεχνολογία, με σκοπό την διευκόλυνση της ζωής του ανθρώπου. Η τεχνολογική, αυτή, εξέλιξη είχε σοβαρές επιπτώσεις στην φύση, καθώς για την παραγωγή οποιουδήποτε προϊόντος απαιτείται η κατανάλωση ενέργειας.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η αποψίλωση των δασών, η κλιματική αλλαγή, η τρύπα του όζοντος και η εξάντληση των φυσικών πόρων του πλανήτη. Η λύση σε αυτά τα προβλήματα, βρέθηκε στην αξιοποίηση πηγών ενέργειας που είναι πρακτικά ανεξάντλητες, όπως η ηλιακή ενέργεια, ο άνεμος, η γεωθερμία, η φυσική ροή του νερού (υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις) και η βιομάζα.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Ειδικότερα, στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας καθώς και η έννοια του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στα βασικά τμήματα μιας ανεμογεννήτριας, στα χαρακτηριστικά της μεγέθη, αλλά και στην χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος της. Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται η διαδικασία συλλογής δεδομένων για τα νησιά του Ιονίου, Κέρκυρα, Παξοί, Λευκάδα, Ιθάκη και Ζάκυνθο, η επιλογή των ανεμογεννητριών για τη μελέτη καθώς και η διαδικασία της επεξεργασίας αυτών των δεδομένων ώστε να καταλήξουμε στον υπολογισμό του Συντελεστή Χρησιμοποίησης ή αλλιώς Capacity Factor (CF).

Για το κάθε νησί κατασκευάστηκαν πολικά διαγράμματα διεύθυνσης του ανέμου καθώς και διαγράμματα με το ποσοστό εμφάνισης ανέμου σε συγκεκριμένες ταχύτητες. Υπολογίστηκε η μηνιαία, ετήσια και μέση παραγωγή ενέργειας για κάθε ανεμογεννήτρια που επιλέξαμε και αποτυπώθηκε στα αντίστοιχα διαγράμματα και τέλος, σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα υπολογίστηκε ο CF για κάθε νησί. Σύμφωνα με μελέτη του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, ο CF για τους σταθμούς στα διασυνδεδεμένα νησιά και το ηπειρωτικό σύστημα είναι 24.5%. Σε κανένα νησί ο μέσος CF δεν ξεπερνάει το 3.84% , πλην της Λευκάδος που εμφανίζεται έως και 15.4%. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι σταθμοί από τους οποίους πήραμε τα δεδομένα μας βρίσκονται κυρίως μέσα σε πόλεις, επομένως για πιο αντιπροσωπευτικές μετρήσεις θα πρέπει να τοποθετηθούν μετρητικοί ιστοί στα σημεία ενδιαφέροντος (πχ. Στους ορεινούς όγκους ή στα προσήνεμα σημεία). Επομένως μπορούμε να πούμε ότι, τουλάχιστον στη Λευκάδα, ίσως να υπάρχει η δυνατότητα, το αιολικό δυναμικό να μπορεί να υποστηρίξει μια βιώσιμη επένδυση για αιολικά πάρκα.

## ABSTRACT

Since the beginning of the 20th century, there have been tremendous advances in technology to facilitate human life. This technological development has had a serious impact on nature, as the production of any product requires energy consumption.

Typical examples are deforestation, climate change, ozone depletion and the depletion of the planet's natural resources. The solution to these problems was to exploit energy sources that are virtually inexhaustible, such as solar, wind and geothermal energy, natural water flow (hydroelectric plants) and biomass.

This thesis focuses on the utilization of wind energy. In particular, Chapter 2 outlines the advantages and disadvantages of wind energy utilization as well as the concept of wind potential of an area. Chapter 3 refers to the basic parts of a wind turbine, its characteristic sizes and its characteristic curve. In the 4th chapter the data collection process for the Ionian islands, Corfu, Paxos, Lefkada, Ithaca and Zakynthos is mentioned, the selection of the wind turbines for the study and the process of processing these data to arrive at the calculation of the Capacity Factor (CF).

For each island, polar, wind direction, diagrams, as well as charts with the wind rate at specific speeds were calculated. The monthly, annual and average power outputs were calculated for each wind turbine we selected and depicted in the corresponding charts. According to the above results, the CF was calculated for each island. According to a study by the Ministry of Environment and Energy, the CF for interconnected islands and the continental system is 24.5%. In no island, the average CF has a value greater than 3.84%, except for Lefkada, which is up to 15.4%. It should be noted that the stations from which we obtained our data are located mainly in cities, so for meticulous measurements, a wind data collection mast should be placed at the points of interest (e.g. in the mountainous areas or in the windy spots). So we can say that at least in Lefkada, there may be potential for a sustainable investment for wind farms.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή .....	5
1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα .....	5
1.2 Ανάγκη εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας .....	8
1.3 Κατάσταση στην Ευρώπη και τον κόσμο σήμερα .....	10
1.4 Κατάσταση στην Ελλάδα .....	11
Κεφάλαιο 2 : Αιολική Ενέργεια και Αιολικό Δυναμικό .....	12
2.1 Αιολική Ενέργεια – Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα αξιοποίησής της .....	12
2.2 Περιγραφή του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής .....	13
Κεφάλαιο 3 : Αιολικές Μηχανές .....	16
3.1 Κυριότερες κατηγορίες ανεμογεννητριών .....	16
3.1.1 Βασικά τμήματα ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα .....	17
3.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη αιολικών μηχανών .....	18
3.3 Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας .....	19
Κεφάλαιο 4 : Μελέτη του Αιολικού Δυναμικού .....	20
4.1 Πηγή δεδομένων .....	20
4.1.2 Επεξεργασία δεδομένων .....	20
4.1.3 Επιλογή ανεμογεννητριών και χαρακτηριστικά αυτών .....	21
4.1.4 Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος των ανεμογεννητριών .....	30
4.1.5 Υπολογισμός Capacity Factor .....	32
4.2 Κέρκυρα .....	34
4.3 Παξοί .....	39
4.4 Λευκάδα .....	44
4.5 Ιθάκη .....	49
4.6 Ζάκυνθος .....	55
Συμπεράσματα- Σχόλια .....	61
Βιβλιογραφία .....	62

## Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Ο άνθρωπος συνδέθηκε με την έννοια «ενέργεια» από την πρώτη στιγμή της ύπαρξής του πάνω στη Γη. Αρχικά όπως και οι άλλοι ζωντανοί οργανισμοί, μέσω της τροφής, ο πρωτόγονος άνθρωπος συσώρευε στις κατάλληλες αποθήκες του σώματός του ενέργεια, την οποία χρησιμοποιούσε για να κινηθεί, να κυνηγήσει και να αντιμετωπίσει τους εχθρούς του. [1] Αργότερα άρχισε να χρησιμοποιεί την ενέργεια άλλων ζωντανών οργανισμών (μυϊκή δύναμη των ζώων) αυξάνοντας σημαντικά τις δυνατότητές του και ενισχύοντας τη θέση του στο όχι και τόσο φιλικό περιβάλλον στο οποίο έπρεπε να επιβιώσει. Η εκμετάλλευση της ενέργειας που υπήρχε σε διάφορες μορφές στο φυσικό περιβάλλον (ενέργεια καυσίμων, αιολική, υδραυλική ενέργεια) ήταν αυτό που μαζί με την ευφυΐα του, του έδωσαν τη δυνατότητα να ακολουθήσει την εξελικτική του πορεία φτάνοντας στο σημερινό τεχνολογικό θαύμα. [1] Τα ίδια αυτά στοιχεία θα καθορίσουν την πορεία και την τεχνολογική εξέλιξή του και στο μέλλον, μόνο που οι πρώτες ανησυχίες τόσο για τις επιπτώσεις στον ίδιο και στο περιβάλλον, όσο και για την τελική κατάληξη αυτής της πορείας, πολλαπλασιάζονται και ενισχύονται με ανάλογους ρυθμούς. [1]

### 1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα

Περνώντας από διάφορα στάδια χρήσης της ενέργειας (ηλεκτρισμός, χρήση της πυρηνικής ενέργειας, κατάκτηση του διαστήματος) φτάσαμε στη σημερινή εποχή, την εποχή της πληροφορικής, της ψηφιακής τεχνολογίας, της παγκοσμιοποίησης και βέβαια του ενεργειακού προβλήματος, που εμφανίζεται οξύτερο από ποτέ. [1] Εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του '50 με τη μορφή φιλοσοφικού στοχασμού. Παρά το γεγονός ότι εκείνη την περίοδο τα εκτιμώμενα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα είχαν επάρκεια 20 χρόνων, επικρατούσε κάποια νηφαλιότητα σε σχέση με την ενεργειακή τροφοδότηση. Με την εμφάνιση της ενεργειακής κρίσης του 1973 άρχισε και συνειδητοποίηση του ενεργειακού προβλήματος. Από τότε, έχουν διατυπωθεί διάφορες ιδέες σχετικά με τα αίτια δημιουργίας, τις επιπτώσεις και τις πιθανές λύσεις του. [2] [3]

Το ενεργειακό πρόβλημα, ανεξάρτητα από τη χρονική και την τοπική ιδιαιτερότητα που εμφανίζει, προσδιορίζεται κυρίως από τα εξής χαρακτηριστικά:

► Την ανοδική τάση των τιμών της ενέργειας, οποία δημιουργεί αύξηση του κόστους στο σύνολο των προϊόντων και των υπηρεσιών. Αξίζει να σημειωθεί ότι από την ενεργειακή κρίση μέχρι σήμερα οι τιμές του αργού πετρελαίου έχουν τετραπλασιασθεί, γεγονός που πιστοποιεί τη μονιμότητα του ενεργειακού προβλήματος ως προς την άνοδο των τιμών.

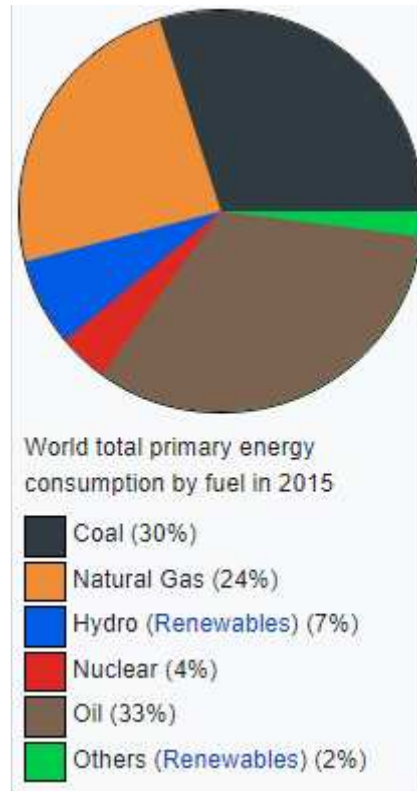
► Την αβεβαιότητα επάρκειας και σταθερότητας της ενεργειακής τροφοδοσίας. Το φαινόμενο της αβεβαιότητας συντηρείται από τοπικές και περιφερειακές συρράξεις, οι οποίες στις περισσότερες των περιπτώσεων δημιουργούνται από παρέμβαση τρίτων προκειμένου να αυξήσουν την επιρροή τους στο διεθνές κύκλωμα του πετρελαίου.

► Την εξάντληση των ενεργειακών πόρων, έστω και αν αυτή τοποθετείται σε μακρινούς χρονικούς ορίζοντες.

► Τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτινων αποδεκτών. Συγκεκριμένα η ενέργεια επιδρά δυσμενώς στο περιβάλλον σε κάθε φάση της ενεργειακής ροής, δηλαδή από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την τελική χρήση τους. Με συνέπεια να συμβάλλει τα μέγιστα στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου (από τις εκπομπές των αερίων καύσης) και ταυτόχρονα να μειώνει τη διαθεσιμότητα του υδάτινου δυναμικού (από την ποιοτική υποβάθμιση των αποδεκτών). Έτσι το ενεργειακό σύστημα είναι κυρίως υπεύθυνο για την κλιματική αλλαγή και για την παγκόσμια κρίση του νερού.

► Το κύκλωμα διαχείρισης της ενεργειακής ροής χαρακτηρίζεται από μεγάλες απώλειες, που ανέρχονται στο 85% της πρωτογενούς ενέργειας. [3]

Τα προηγούμενα περιγράφουν το ενεργειακό πρόβλημα το οποίο οφείλεται στην αποκλειστική εξάρτηση του ενεργειακού συστήματος από τα ορυκτά καύσιμα. Με πληροφορίες από την στατιστική έρευνα για την χρήση ενέργειας παγκοσμίως από την BP, το 87% της ενέργειας προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, το 9% από ΑΠΕ και το υπόλοιπο 4% από την πυρηνική ενέργεια. [4] Είναι φανερό ότι για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιηθεί χρήση ορυκτών καυσίμων. [3]



Σχήμα 1: Επί τοις εκατό ποσοστιαία κατανάλωση ενέργειας για το 2015 [4] [5]

### 1.1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα στην Ελλάδα

Αναπόφευκτα και στη χώρα μας ακολουθούνται οι πολιτικές της Ε.Ε. με καθυστέρηση και χωρίς προσαρμογή στα δεδομένα της χώρας. Έτσι, μέχρι τώρα έχουν υλοποιηθεί προγράμματα: εξοικονόμησης ενέργειας, εισαγωγής ΑΠΕ, παραγωγής βιοκαυσίμων κ.ά., τα οποία δεν είχαν το απαιτούμενο μέγεθος παρέμβασης, αλλά ταυτόχρονα δεν συνοδεύονταν από ευκρινείς και ποσοτικοποιημένους στόχους, με συνέπεια τα αποτελέσματα να επιφέρουν ασήμαντες μεταβολές στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Είναι κοινότοπη αναφορά το γεγονός ότι Ελλάδα διαθέτει σημαντικό δυναμικό ΑΠΕ (ηλιακό, αιολικό), το οποίο άμεσα είναι απαραίτητο να αξιοποιηθεί σε συνδυασμό με πολλαπλές δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας. [3]

Η σταδιακή αλλαγή του ενεργειακού συστήματος από την εξοικονόμηση, τις ΑΠΕ, δεν είναι μόνο αποτελεσματική αλλά και αναγκαία για τη συνολική αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος. Έτσι, τα φαινομενικά ετερόκλητα και ασύνδετα μεταξύ τους προβλήματα όπως ρύπανση του περιβάλλοντος, ανεπάρκεια του νερού, οι πληθωριστικές πιέσεις, οι χαμηλοί ρυθμοί ανάπτυξης και η σπατάλη φυσικών πόρων, θα υποχωρούν ανάλογα με το βαθμό αλλαγής του ενεργειακού συστήματος. [3]

## 1.2 Ανάγκη εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, η βιομάζα, τα βιοκαύσιμα και ακόμα και τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης αποτελούν πηγές ενέργειας που η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ αλλά και το αποτύπωμά τους στο φυσικό περιβάλλον είναι πολύ μικρότερο από αυτό των συμβατικών μορφών ενέργειας όπως το πετρέλαιο, οι γαιάνθρακες κλπ. Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ειδικότερα στην αιολική και ηλιακή ενέργεια και μπορεί να προσφέρει μια πραγματική εναλλακτική για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών. [6]

Σύμφωνα με την Eurostat η μείωση της πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας από λιθάνθρακα, λιγνίτη, αργό πετρέλαιο, φυσικό αέριο και, πιο πρόσφατα, πυρηνική ενέργεια είχε ως αποτέλεσμα την ολοένα μεγαλύτερη εξάρτηση της ΕΕ από τις εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση, αν και η κατάσταση αυτή παγιώθηκε μετά τη χρηματοπιστωτική και οικονομική κρίση. Το 2014 οι εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας στην ΕΕ-28 υπερέβησαν τις εξαγωγές κατά περίπου 881 εκατ. τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ). Οι μεγαλύτεροι καθαροί εισαγωγείς πρωτογενούς ενέργειας ήταν, σε γενικές γραμμές, τα πολυπληθέστερα κράτη μέλη της ΕΕ, εξαιρουμένης της Πολωνίας (όπου εξακολουθούν να υπάρχουν εγχώρια αποθέματα άνθρακα). Το 2004 ο μόνος καθαρός εξαγωγέας πρωτογενούς ενέργειας μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ ήταν η Δανία, αλλά, το 2013, οι εισαγωγές ενέργειας αυτής της χώρας υπερέβησαν τις εξαγωγές, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν πλέον κράτη μέλη της ΕΕ που να είναι καθαροί εξαγωγείς ενέργειας (βλ. πίνακα 1). Ως προς το μέγεθος του πληθυσμού, οι μεγαλύτεροι καθαροί εισαγωγείς, το 2014, ήταν το Λουξεμβούργο, η Μάλτα και το Βέλγιο. [7]



	(thousand tonnes of oil equivalent)						(tonnes of oil equivalent per inhabitant)					
	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2004	2006	2008	2010	2012	2014
<b>EU-28 (*)</b>	<b>939 420</b>	<b>1 013 992</b>	<b>1 014 220</b>	<b>954 191</b>	<b>923 010</b>	<b>880 892</b>	<b>1.9</b>	<b>2.0</b>	<b>2.0</b>	<b>1.9</b>	<b>1.8</b>	<b>1.7</b>
Belgium	53 623	52 793	55 638	53 592	46 187	47 070	5.1	5.0	5.2	4.9	4.2	4.2
Bulgaria	9 175	9 352	10 362	7 078	6 600	6 147	1.2	1.2	1.4	1.0	0.9	0.9
Czech Republic	11 634	12 873	12 677	11 447	10 844	12 590	1.1	1.3	1.2	1.1	1.0	1.2
Denmark	-9 835	-7 822	-4 214	-3 253	-473	2 259	-1.8	-1.4	-0.8	-0.6	-0.1	0.4
Germany	211 021	215 396	207 089	201 690	196 766	194 207	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4
Estonia	1 657	1 664	1 530	867	1 110	625	1.2	1.2	1.1	0.7	0.8	0.5
Ireland	13 823	14 309	14 321	13 212	11 784	11 683	3.4	3.3	3.2	2.9	2.6	2.5
Greece	24 775	24 911	25 595	21 828	19 873	17 404	2.3	2.3	2.3	2.0	1.8	1.6
Spain	115 141	123 898	122 285	106 337	99 662	90 661	2.7	2.8	2.7	2.3	2.1	2.0
France (*)	141 295	141 826	138 988	132 143	125 164	115 385	2.3	2.2	2.2	2.0	1.9	1.7
Croatia	4 998	4 771	5 390	4 393	4 338	3 587	1.2	1.1	1.3	1.0	1.0	0.8
Italy	158 893	163 669	156 494	149 460	133 190	116 122	2.8	2.8	2.7	2.5	2.2	1.9
Cyprus	2 442	3 001	3 069	2 944	2 627	2 291	3.4	4.0	3.9	3.5	3.0	2.7
Latvia	3 255	3 308	2 880	2 220	2 692	1 899	1.4	1.5	1.3	1.1	1.3	1.0
Lithuania	4 352	5 381	5 413	5 668	5 797	5 225	1.3	1.6	1.7	1.8	1.9	1.8
Luxembourg (‡)	4 609	4 638	4 515	4 505	4 349	4 073	10.1	9.8	9.2	8.9	8.2	7.3
Hungary (‡)	15 949	17 207	16 835	14 965	12 220	14 056	1.6	1.7	1.7	1.5	1.2	1.4
Malta	1 903	1 664	1 879	2 362	2 185	2 051	4.7	4.1	4.6	5.7	5.2	4.8
Netherlands	32 016	38 221	34 011	30 139	28 787	30 228	2.0	2.3	2.1	1.8	1.7	1.8
Austria	23 606	24 928	23 603	21 571	21 421	21 537	2.9	3.0	2.8	2.6	2.5	2.5
Poland	13 248	19 011	29 695	31 534	29 912	27 045	0.3	0.5	0.8	0.8	0.8	0.7
Portugal	23 024	22 527	21 643	18 588	18 119	16 262	2.2	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6
Romania	11 936	11 920	11 293	7 827	8 017	5 500	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3
Slovenia (‡)	3 749	3 828	4 309	3 580	3 631	3 007	1.9	1.9	2.1	1.7	1.8	1.5
Slovakia	12 518	12 048	11 791	11 263	10 045	9 856	2.3	2.2	2.2	2.1	1.9	1.8
Finland	20 536	20 409	19 707	17 868	16 119	16 919	3.9	3.9	3.7	3.3	3.0	3.1
Sweden	19 505	18 983	19 016	19 294	14 749	15 991	2.2	2.1	2.1	2.1	1.5	1.6
United Kingdom	10 575	49 279	58 407	61 071	87 297	87 218	0.2	0.8	0.9	1.0	1.4	1.3
Iceland	1 078	1 094	1 208	1 093	801	851	3.7	3.6	3.8	3.4	2.5	2.6
Norway	-201 882	-186 905	-188 632	-173 291	-172 323	-167 357	-44.0	-42.0	-39.2	-38.4	-37.6	-36.3
Montenegro	0	502	561	285	366	290	0.0	0.7	0.8	1.0	0.9	0.7
FYR of Macedonia	1 117	1 260	1 327	1 220	1 432	1 395	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6
Albania	1 069	890	1 089	654	461	783	0.3	0.4	0.3	:	:	0.4
Serbia	5 678	6 209	6 209	5 170	4 051	3 665	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7
Turkey	58 290	69 159	72 815	74 290	90 310	93 543	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9
Bosnia and Herzegovina	19	156	213	286	647	1 670	0.0	0.0	0.1	0.1	:	:
Kosovo (under UNSCR 1244/99) (‡)	545	581	601	619	650	523	0.3	0.3	0.3	0.3	:	:

(\*) Tonnes of oil equivalent per inhabitant, 2010, 2012 and 2014: break in series.

(\*) Tonnes of oil equivalent per inhabitant, 2012: break in series.

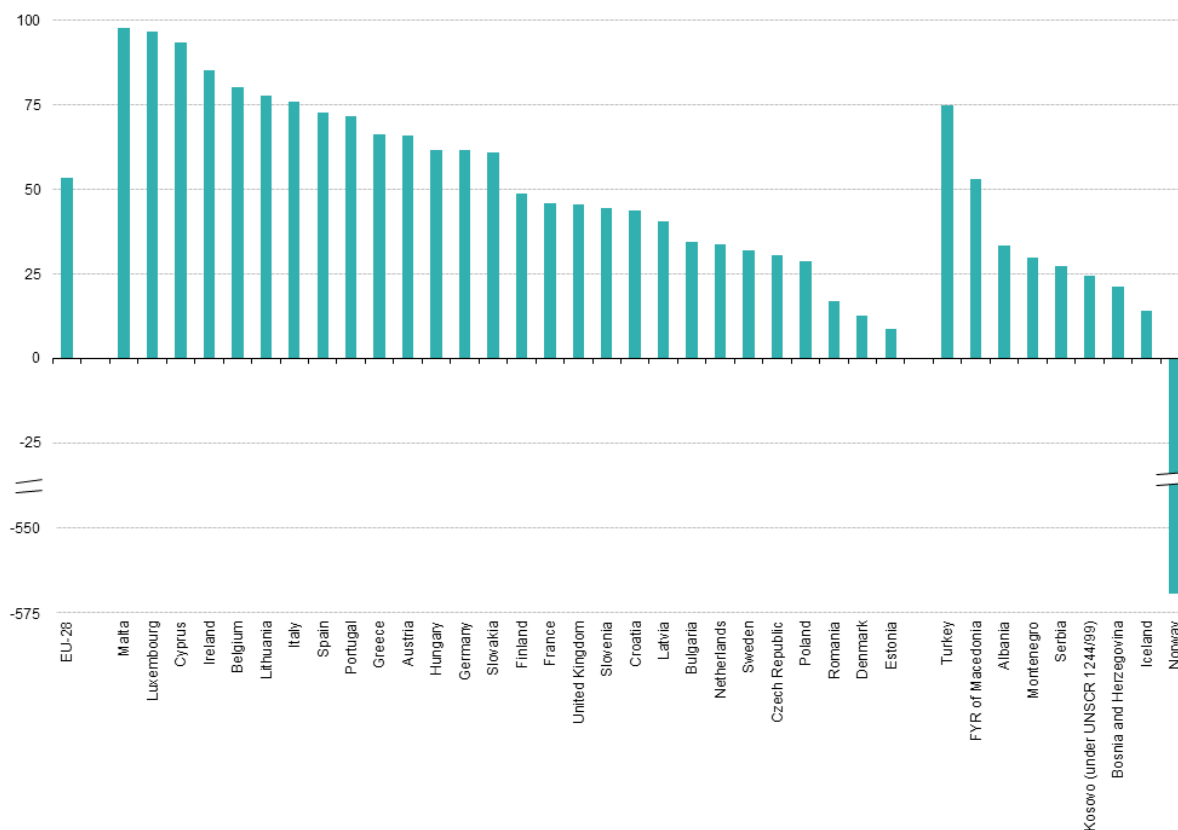
(‡) Tonnes of oil equivalent per inhabitant, 2008: break in series.

(\*) Tonnes of oil equivalent per inhabitant, 2010: break in series.

Source: Eurostat (online data codes: nrg\_100a and demo\_pjan)

## Σχήμα 2: Καθαρές εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας, 2004–14 . [7]

Φαίνεται λοιπόν ότι μέχρι πρότινος η Ευρωπαϊκή Ένωση εξαρτάται από τις εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας για να καλύψει τις ανάγκες της. Ειδικότερα για την Ελλάδα, βλέπουμε μέχρι το 2008 οι εισαγωγές ενέργειας βρίσκονται στις 25.595 ΤΙΠ, ενώ με το ξεκίνημα της οικονομικής κρίσης παρατηρούμε σταδιακή μείωση μέχρι το 2014 όπου οι εισαγωγές μειώθηκαν στους 17.404 ΤΙΠ (βλ. Σχήμα 1)

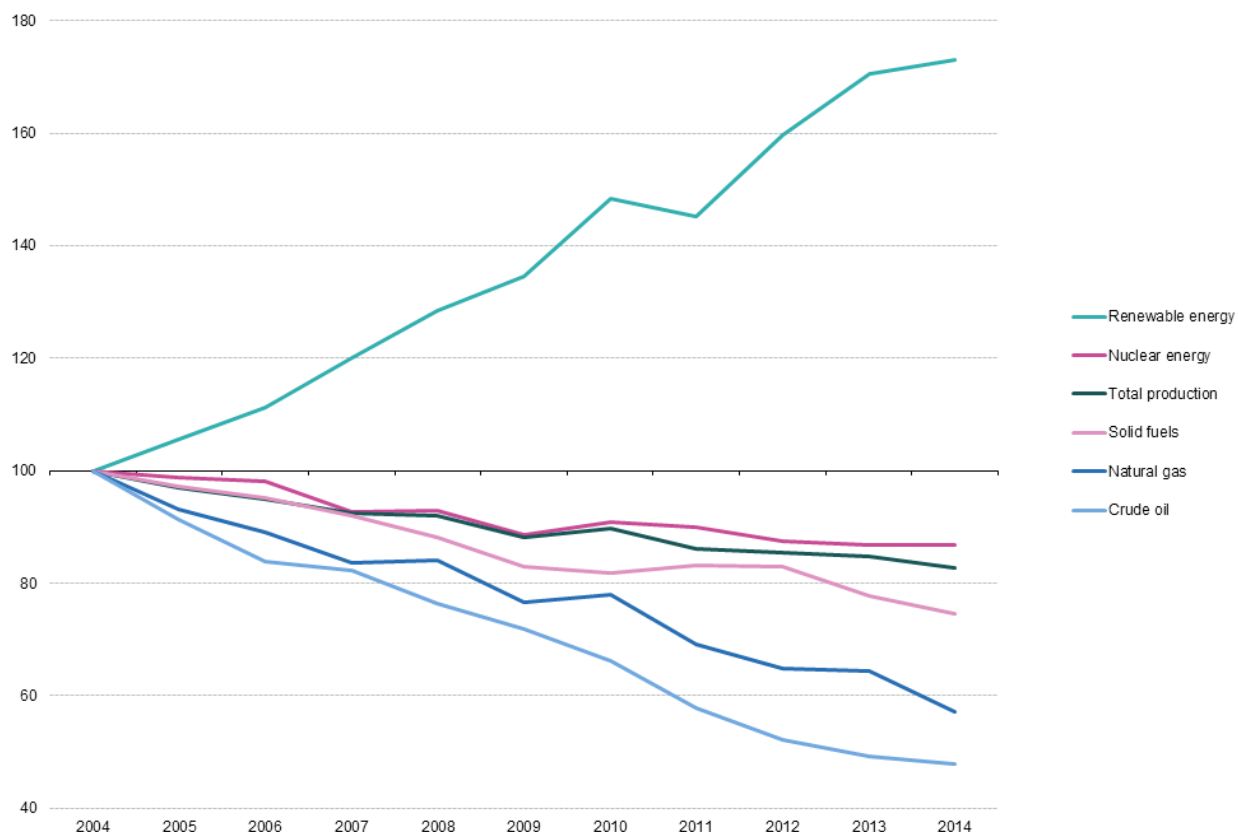


Source: Eurostat (online data code: tsdcc310)

**Σχήμα 3: Ποσοστό ενεργειακής εξάρτησης — όλα τα προϊόντα, 2014**  
 (% επί των καθαρών εισαγωγών σε ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση και δεξαμενές αποθήκευσης, με βάση τόνους ισοδύναμου πετρελαίου) [7]

### 1.3 Κατάσταση στην Ευρώπη και τον κόσμο σήμερα

Με στοιχεία από την Eurostat, το 2014, σχεδόν το ένα τέταρτο (25,5 %) της συνολικής παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας της ΕΕ-28 αντιστοιχούσε σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ το ποσοστό των στερεών καυσίμων (19,4 %, κυρίως άνθρακα) ήταν μόλις μικρότερο από το ένα πέμπτο, και το ποσοστό του φυσικού αερίου ήταν ελαφρώς χαμηλότερο (15,2 %). Το αργό πετρέλαιο (9,1 %) ήταν η μόνη άλλη σημαντική πηγή παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας. Η αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας υπερέβη την παραγωγή όλων των άλλων τύπων ενέργειας. Αυτή η αύξηση ήταν σχετικά ομοιόμορφη κατά την περίοδο 2004–14, με μια μικρή μείωση στην παραγωγή το 2011 (βλ. Σχήμα 3). Κατά τη διάρκεια αυτής της δεκαετούς περιόδου, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αυξήθηκε κατά 73,1 %. Αντιθέτως, τα επίπεδα παραγωγής για τις άλλες πρωτογενείς πηγές ενέργειας μειώθηκαν, γενικά, κατά την εν λόγω περίοδο· οι μεγαλύτερες μειώσεις καταγράφηκαν για το αργό πετρέλαιο (-52,0 %), το φυσικό αέριο (-42,9 %) και τα στερεά καύσιμα (-25,5 %), ενώ μικρότερη μείωση (-13,1 %) καταγράφηκε για την πυρηνική ενέργεια. [7]



Source: Eurostat (online data code: nrg\_100a)

**Σχήμα 4: Εξέλιξη της παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας (ανά είδος καυσίμου), ΕΕ-28, 2004–14 (2004 = 100, με βάση τόνους ισοδύναμου πετρελαίου). [7]**

#### 1.4 Κατάσταση στην Ελλάδα

Το 1982 εγκαθίσταται το πρώτο αιολικό πάρκο στην Κύθνο το οποίο αποτελείται από 5 ανεμογεννήτριες των 20 KW έκαστη, οι οποίες σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά 100 KW δημιουργούν το πρώτο υβριδικό σύστημα wind-pv-diesel στον κόσμο και επιτυγχάνουν έως και 25% στην διείσδυση των ΑΠΕ στο απομονωμένο δίκτυο του νησιού. Έως το 2008 η εγκατεστημένη ισχύς είναι μόλις 890 MW και δίνονται άδειες για έργα εγκατάστασης 690 MW και άδεια παραγωγής 4,5 GW. [8] Στα Τέλη του 2014 το σύνολο της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος ήταν 1979,8 MW, αυξημένο κατά 6,5% σε σχέση με το 2013 ενώ και το 2015 η πορεία εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα ήταν ανοδική καθώς εντός του έτους θα προστίθεντο 246,5 MW τα οποία βρίσκονταν υπό κατασκευή το 2014. Στην ανακοίνωσή της η ΕΛΕΤΑΕΝ αναφέρει ότι ο συνδυασμός των αιολικών που τέθηκαν σε λειτουργία το 2014 και το 2015 «αποδεικνύει την αναπτυξιακή δυναμική και τις προοπτικές των αιολικών επενδύσεων στην Ελλάδα καθώς προσφέρουν απασχόληση και εισόδημα ενώ παράλληλα συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων του 2020» μέσα στους οποίους είναι και η 18% παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και πιο συγκεκριμένα 10.000 MW εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.

Σύμφωνα με την ΕΛΕΤΑΕΝ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα στα τέλη του 2016 ανέρχεται στα 2374,3 MW. [9]

## **Κεφάλαιο 2 : Αιολική Ενέργεια και Αιολικό Δυναμικό**

### **2.1 Αιολική Ενέργεια – Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα αξιοποίησής της**

Η αιολική ενέργεια, καθώς είναι μια από τις πλέον διαδεδομένες Α.Π.Ε. έχει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με αυτές, Τα κυριότερα πλεονεκτήματα είναι τα εξής [10]

- ◆ Η επένδυση στις Α.Π.Ε. δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας σε τοπικό κυρίως επίπεδο
- ◆ Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από τον κόσμο
- ◆ Αποτελούν ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και έτσι συμβάλλουν στην μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους (ορυκτά καύσιμα), η χρήση των οποίων επιβαρύνει το περιβάλλον και οδηγεί στην εξάντληση αυτών με το πέρασμα του χρόνου.
- ◆ Λόγω του ότι είναι διάσπαρτες γεωγραφικά, οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος και δίνουν τη δυνατότητα κάλυψης ενεργειακών αναγκών σε τοπικό επίπεδο, μειώνοντας τα φορτία στις υποδομές μεταφοράς ενέργειας αλλά και τις απώλειες που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία.
- ◆ Έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος το οποίο δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις των τιμών των ορυκτών καυσίμων.
- ◆ Αποτελούν εγχώριες πηγές ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι στην αυτάρκεια και την ασφάλεια του εφοδιασμού ενέργειας σε τοπικό, περιφερειακό, ακόμα και σε εθνικό επίπεδο.
- ◆ Οι εγκαταστάσεις των Α.Π.Ε. μπορούν να καλύψουν ακόμα και ανάγκες μικρής κλίμακας και έχουν σύντομο χρόνο κατασκευής, επιτρέποντας έτσι την γρήγορη ανταπόκριση στη ζήτηση ενέργειας.

Στα μειονεκτήματα των Α.Π.Ε. συγκαταλέγονται τα παρακάτω:

- ♦ Παρουσιάζουν διακυμάνσεις στην διαθεσιμότητά τους οι οποίες μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας, απαιτώντας έτσι να υπάρχουν σε εφεδρεία άλλες ενεργειακές πηγές (diesel) ή μέθοδοι αποθήκευσης της ενέργειας οι οποίες είναι αρκετά δαπανηρές (μπαταρίες).
- ♦ Λόγω της διασποράς του ενεργειακού δυναμικού, δεν δύναται να συγκεντρωθεί αρκετή ισχύς ώστε να μεταφερθεί ή και να αποθηκευτεί.
- ♦ Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος, με αποτέλεσμα όταν απαιτείται μεγάλη παραγωγή, να χρειάζεται η δημιουργία εκτεταμένων εγκαταστάσεων.
- ♦ Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος παραμένει ακόμα υψηλό σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων.

## 2.2 Περιγραφή του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής

Ο άνεμος υπήρξε ανέκαθεν ένα ενδιαφέρον μετεωρολογικό φαινόμενο για τον άνθρωπο. Η ονομασία αιολικό δυναμικό προέρχεται από την ελληνική μυθολογία καθώς ο θεός του ανέμου ήταν ο Αίολος. Με απλά λόγια, το αιολικό δυναμικό είναι η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί εκμεταλλευόμενοι τον πλέοντα άνεμο.

Οι άνεμοι που μετακινούνται με ταχύτητα από περιοχή σε περιοχή, οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της Γης λόγω των διαφορετικών ποσοτήτων ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτουν στην επιφάνεια του πλανήτη, αλλά και. Λόγω της διαφορετικής απορρόφησης ενέργειας από τόπο σε τόπο, υπάρχει διαφορά στην ατμοσφαιρική πίεση και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση των αέριων μαζών. Ο άνεμος λοιπόν έχει δύο κύρια χαρακτηριστικά, αυτά είναι η δύναμη που συγκεντρώνεται στη ταχύτητα ή την ένταση του και τη διεύθυνση. Η ενέργεια των ανέμων (κινητική) επαρκεί ώστε να καλύψει περισσότερο από δύο φορές τις ανάγκες της Γης σε ηλεκτρική ενέργεια. [11] Τα χαρακτηριστικά αυτά καθώς και ο τρόπος που μεταβάλλονται στο χώρο και το χρόνο αποτελεί το κυριότερο κομμάτι της έρευνας αιολικού δυναμικού. Υπάρχουν κάποιες κατηγορίες στις οποίες το αιολικό δυναμικό θα μπορούσε να ταξινομηθεί, και οποίες είναι ακόλουθες [11]:

- Το μετεωρολογικό δυναμικό, όπου είναι η συνολική ενέργεια του ανέμου που ρέει στο περιβάλλον

- Το διαθέσιμο δυναμικό, όπου είναι το περιορισμένο θεωρητικό δυναμικό στις περιοχές που μπορεί να γίνει εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας μόνο
- Το τεχνολογικό δυναμικό, όπου αποτελεί ο κομμάτι του διαθέσιμου δυναμικού που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε με μία συγκεκριμένη τεχνολογία
- Το οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό, όπου είναι το οικονομικά βιώσιμο και εκμεταλλεύσιμο τεχνολογικό δυναμικό

Η κίνηση των αέριων μαζών οφείλεται στη διαφορά βαρομετρικών πιέσεων, που προκαλούνται κυρίως από την ανομοιομορφή θέρμανση των διαφόρων περιοχών της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία. Λόγω της καμπυλότητας της επιφάνειας της Γης, όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος οι ακτίνες του Ήλιου πέφτουν πιο πλάγια με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό έχει σαν φυσικό αποτέλεσμα ο Ισημερινός να είναι πιο θερμός από ότι οι πόλοι της Γης. Κάθε στρώμα αέρα που θα έρθει σε επαφή με την επιφάνεια της Γης θα θερμανθεί και ανέλθει καθώς έχει μικρότερη πυκνότητα από ένα ψυχρό στρώμα αέρα. Τη θέση του θα καλύψει ένα στρώμα ψυχρού αέρα, που με τη σειρά του θα θερμανθεί και θα ανέλθει. Αυτή η κυκλική κίνηση, ονομάζεται κατακόρυφη μεταφορά. Επειδή όμως η Γη περιστρέφεται λόγω αδρανείας οι ψυχρές αέριες μάζες που μετακινούνται προς τον ισημερινό, κινούνται προς τα δυτικά ενώ ταυτόχρονα οι θερμές αέριες μάζες που ανυψώνονται προς τον ισημερινό κινούνται προς τα ανατολικά. Αυτή η κίνηση του ανέμου είναι η πραγματική του κίνηση. [11]

Σε τοπικό επίπεδο οι άνεμοι εξαρτώνται από το ανάγλυφο της περιοχής, το υψόμετρο και από τη παρουσία της θάλασσας. Η θάλασσα έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τη ξηρά με αποτέλεσμα να ψύχεται και να θερμαίνεται πιο αργά από αυτή. [11]

Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι καθοριστικά τα χαρακτηριστικά του ανέμου που πνέουν σε αυτήν. Τα βασικά στοιχεία που πρέπει να εκτιμώνται με βάση μετρήσεις και υπολογιστικά μοντέλα είναι η ταχύτητα, η διεύθυνση και η διακύμανση στο χώρο και στο χρόνο.

Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται συνεχώς. Οι χρονικές μεταβολές της ταχύτητας χωρίζονται με βάση τη χρονική τους διάρκεια στις εξής κατηγορίες [11]:

**Μεγάλων περιόδων :** Η πρόβλεψη της διακύμανσης της ταχύτητας σε περίοδο μεγαλύτερη του έτους.

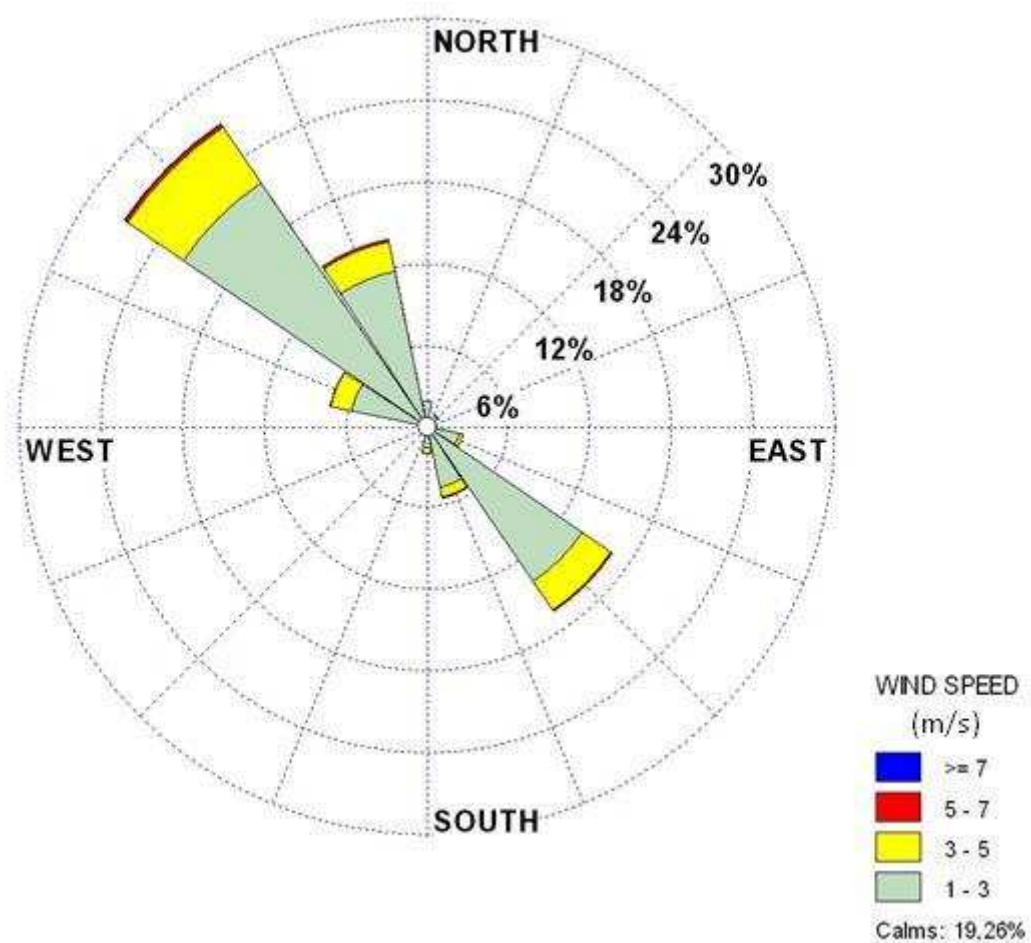
**Ετήσιες :** Οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου στη περίοδο ενός έτους.

**Ημερήσιες :** Η ημερήσια διακύμανση της ταχύτητας, όπου εξαρτώνται από το υψόμετρο, το ανάγλυφο της περιοχής και την εποχή.

**Σύντομες :** Οι διακυμάνσεις αυτές περιλαμβάνουν τη τύρβη και τις ριπές του ανέμου σε περίοδο από 1 δευτερόλεπτο έως 10 λεπτά. Η ριπή του ανέμου είναι ένα μεμονωμένο γεγονός μέσα στη τυρβώδη ροή.

Ο υπολογισμός της τυπικής απόκλισης χρησιμεύει για την εκτίμηση της αστάθειας του ανέμου .

Η διεύθυνση του ανέμου σε μία θέση μεταβάλλεται συνεχώς. Μετρίεται κατά ωρολογιακή φορά σε μοίρες σε σχέση με το πραγματικό βορά ή πιο απλά χωρίζοντας το κυκλικό τομέα σε 8, 16 ή 32 τομείς. Από τη παρατήρηση της διεύθυνσης του ανέμου κατασκευάζεται το ροδόγραμμα του ανέμου (η συχνότητα εμφάνισης του ανέμου για κάθε διεύθυνση σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων). [11]



Σχήμα 5 : Ροδόγραμμα ή ρόδο του ανέμου ή πολικό διάγραμμα

## Κεφάλαιο 3 : Αιολικές Μηχανές

### 3.1 Κυριότερες κατηγορίες ανεμογεννητριών

Οι πιο διαδεδομένοι τύποι ανεμογεννητριών είναι οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα και οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, σχήματα **1.2** και **1.3**. Οι α/γ οριζοντίου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και παράλληλο με την διεύθυνση του ανέμου (head on), ενώ μερικές έχουν τον άξονά τους κάθετο προς την διεύθυνση του ανέμου (cross-wind). Οι α/γ οριζοντίου άξονα μπορεί να έχουν ένα, δύο ή ακόμα και πενήντα πτερύγια, ενώ η πτερωτή τους μπορεί να είναι τοποθετημένη σε προσήνεμη διάταξη (up-wind), δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου, ή σε υπήνεμη διάταξη (down-wind), δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. [12]

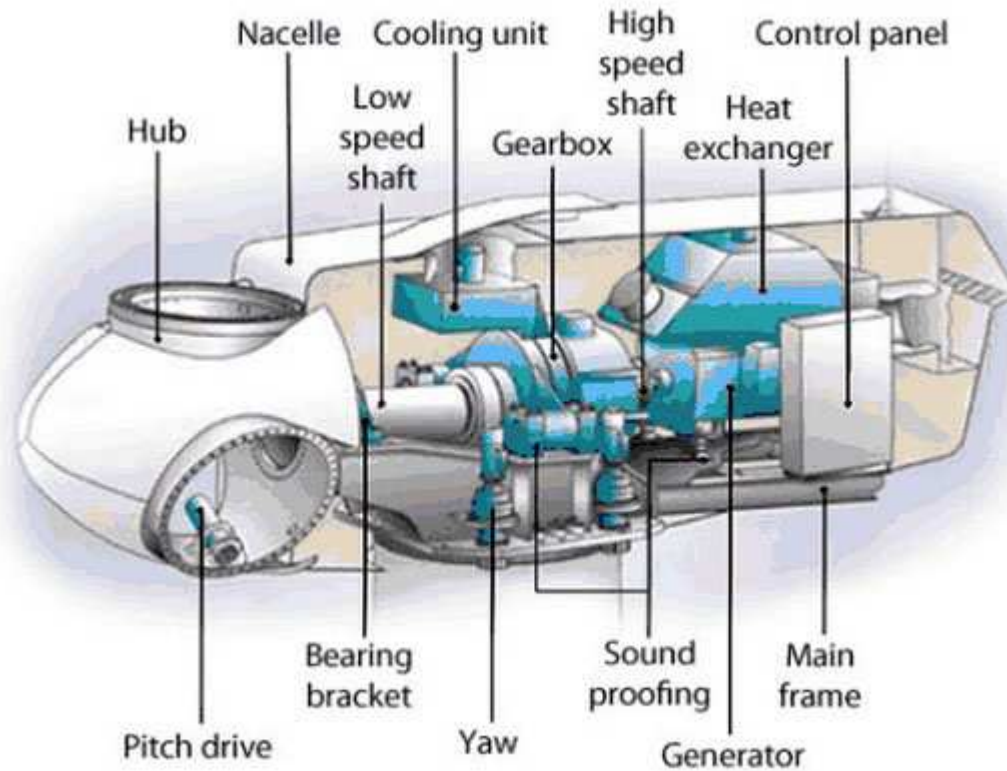
Κατά κύριο λόγο σήμερα χρησιμοποιούνται οι αιολικές μηχανές τύπου έλικας των οποίων τα πτερύγια είναι βασισμένα στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων. Το κυριότερό τους πλεονέκτημα είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσής τους αλλά και η βέλτιστη λειτουργία τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου περιστροφής «λ». [12] [13]

Για τον προσανατολισμό του δρομέα χρησιμοποιείται είτε καθοδηγητικό πτερύγιο (παθητική διάταξη), είτε με κατάλληλα αισθητήρια όργανα που καταγράφουν την στιγμιαία διεύθυνση του ανέμου και προσανατολίζουν την πτερωτή στην διεύθυνση του ανέμου ηλεκτρονικά με τη χρήση σερβομηχανισμού (ενεργητική διάταξη. Για τον έλεγχο ισχύος της μηχανής υπάρχουν δύο τρόποι. Ο ένας είναι με τη ρύθμιση του βήματος της πτερωτής (pitch control) όπου επιχειρείται η περιστροφή του πτερυγίου γύρω από τον διαμήκη άξονά του, με σκοπό την επίτευξη της επιθυμητής γωνίας προσβολής κατά το μήκος του πτερυγίου ώστε να υλοποιούνται οι απαιτήσεις ισχύος της μηχανής. Ο δεύτερος είναι με τον κατάλληλο αεροδυναμικό σχεδιασμό των πτερυγίων για την αξιοποίηση του φαινομένου «απώλειας στήριξης» (stall control) , ο οποίος βασίζεται στο αεροδυναμικό φαινόμενο της αποκόλλησης του οριακού στρώματος από τμήμα ή το σύνολο του πτερυγίου, εφόσον η γωνία προσβολής του πτερυγίου ξεπεράσει ορισμένα αεροδυναμικά όρια. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε απότομη μείωση τη ισχύος της μηχανής. [12] [14] Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα εμφανίζουν το πλεονέκτημα αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου και ως εκ τούτου αποτελούν πιο απλές κατασκευές. Οι πιο γνωστοί τύποι είναι οι μηχανές τύπου “Darrieus” και οι μηχανές τύπου “Savonius”. Το μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα απ’ ευθείας στο έδαφος όπου βρίσκεται τοποθετημένη η ηλεκτρική γεννήτρια. Έτσι μειώνεται το βάρος της υπερκατασκευής και διευκολύνεται η διαδικασία συντήρησης. Οι μηχανές τύπου “Darrieus” εργάζονται επίσης σε υψηλές τιμές της



παραμέτρου «λ», γεγονός που εξασφαλίζει ικανοποιητική αεροδυναμική απόδοση της πτερωτής της μηχανής. Ένα σημαντικό μειονέκτημα σε σχέση με τις μηχανές οριζοντίου άξονα είναι ότι ο συντελεστής ισχύος των μηχανών κατακόρυφου άξονα είναι μικρότερος ενώ ένα εξίσου σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι παρουσιάζουν πρόβλημα κατά την εκκίνηση, όπου απαιτείται εξωτερική βοήθεια, κάτι το οποίο δε συναντάται στις μηχανές οριζοντίου άξονα. [12]

### 3.1.1 Βασικά τμήματα ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα



Σχήμα 6: Μέρη της υπερκατασκευής μιας Α/Γ [15]

Μια ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής βασικά τμήματα:

**Πτερωτή (δρομέας):** Η πτερωτή αποτελείται από πτερύγια των οποίων το σχήμα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, προέρχεται από αντίστοιχα πτερύγια αεροπορικών κινητήρων. Τα πτερύγια αυτά είναι κατασκευασμένα από ελαφρά κράματα μετάλλων, ενισχυμένο πολυεστέρα αλλά και από ξύλο ενισχυμένο με ειδικές ρητίνες. Χρησιμοποιείται επίσης και ο συνδυασμός χάλυβα με πλαστικό, καθώς το κεντρικό χαλύβδινο τμήμα απορροφά τα καμπτικά και στρεπτικά φορτία, ενώ το πλαστικό κέλυφος προσδίδει την επιθυμητή αεροδυναμική μορφή στα πτερύγια. [12]

**Άξονας:** Ο άξονας της αιολικής μηχανής κατασκευάζεται από ειδικό ενισχυμένο χάλυβα ώστε να μεταφέρει ισχυρές στρεπτικές και καμπτικές ροπές, ενώ εδράζεται

σε δύο έδρανα τα οποία είναι ικανά να παραλαμβάνουν τόσο το βάρος του άξονα όσο και τα εξασκούμενα φορτία. [12]

**Σύστημα μετάδοσης κίνησης:** Το σύστημα μετάδοσης κίνησης περιλαμβάνει το διβάθμιο ή τριτοβάθμιο κιβώτιο μετασχηματισμού της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής σε υψηλή ταχύτητα περιστροφής που λειτουργεί συνήθως μια ηλεκτρική γεννήτρια. Επίσης υπάρχουν μηχανές χωρίς κιβώτιο μετάδοσης, οι οποίες χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά ισχύος, τα οποία επιτρέπουν στην πτερωτή να λειτουργεί με μεταβλητές στροφές περιστροφής, ενώ η γεννήτρια παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα σταθερής συχνότητας. Το σύστημα κίνησης περιλαμβάνει επίσης υδραυλικό φρένο και ελαστικούς συνδέσμους απορρόφησης στρεπτικών ταλαντώσεων. Το μηχανικό φρένο της ανεμογεννήτριας τοποθετείται συνήθως στον άξονα υψηλής ταχύτητας ώστε να απαιτείται μικρότερη δύναμη πέδησης αλλά δεν προστατεύεται η πτερωτή από την απώλεια φορτίου ή από θραύση του συστήματος κίνησης. Για να τοποθετηθεί φρένο στον άξονα χαμηλής ταχύτητας (ώστε να αποφευχθούν τα παραπάνω), λόγω της μεγάλης ροπής, απαιτείται φρένο μεγάλων διαστάσεων, βάρους άρα και κόστους, όμως παρέχεται μεγαλύτερη ασφάλεια στην εγκατάσταση. [12]

**Υπερκατασκευή:** Η υπερκατασκευή της εγκατάστασης περιλαμβάνει το σύνολο των μηχανισμών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Έχει τη δυνατότητα περιστροφής με τη βοήθεια καθοδηγητικών πτερυγίων ή αυτόματων μηχανισμών έτσι ώστε να προσανατολίζεται στη διεύθυνση του ανέμου. [12]

**Πύργος στήριξης:** Ο πύργος στήριξης είναι είτε ένα μεταλλικό δικτύωμα, είτε μια στήλη κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ για μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες είναι ένας μεταλλικός σωλήνας. Το ελάχιστο ύψος του πύργου στήριξης πρέπει να είναι συνήθως ίσο με τη διάμετρο της πτερωτής, ενώ για την επιλογή του πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν το αυξημένο κόστος κατασκευής και θεμελίωσης αλλά και η δυνατότητα αξιοποίησης μεγαλύτερων ταχυτήτων ανέμου όσο αυξάνεται το ύψος τοποθέτησης της πτερωτής. [12]

### 3.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη αιολικών μηχανών

Τα πτερύγια μιας α/γ δεσμεύουν ένα ποσοστό της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Η ενέργεια που δεσμεύεται υπολογίζεται από τον τύπο:

$$N_{ανέμου} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot V^3$$

Όπου “D” είναι η διάμετρος της πτερωτής, “ρ” η πυκνότητα του αέρα και “V” η ταχύτητα του ανέμου. Αυτή η ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με χαμηλή ταχύτητα περιστροφής στον κύριο άξονα της α/γ και μέσω ενός κιβωτίου μετάδοσης μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με υψηλή ταχύτητα περιστροφής, το οποίο εν συνεχεία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ μέσω της ηλεκτρικής γεννήτριας της εγκατάστασης. [12]

Η τελική ισχύς στην έξοδο της εγκατάστασης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$N_{ex} = C_p \cdot \eta \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot V^3 \right)$$

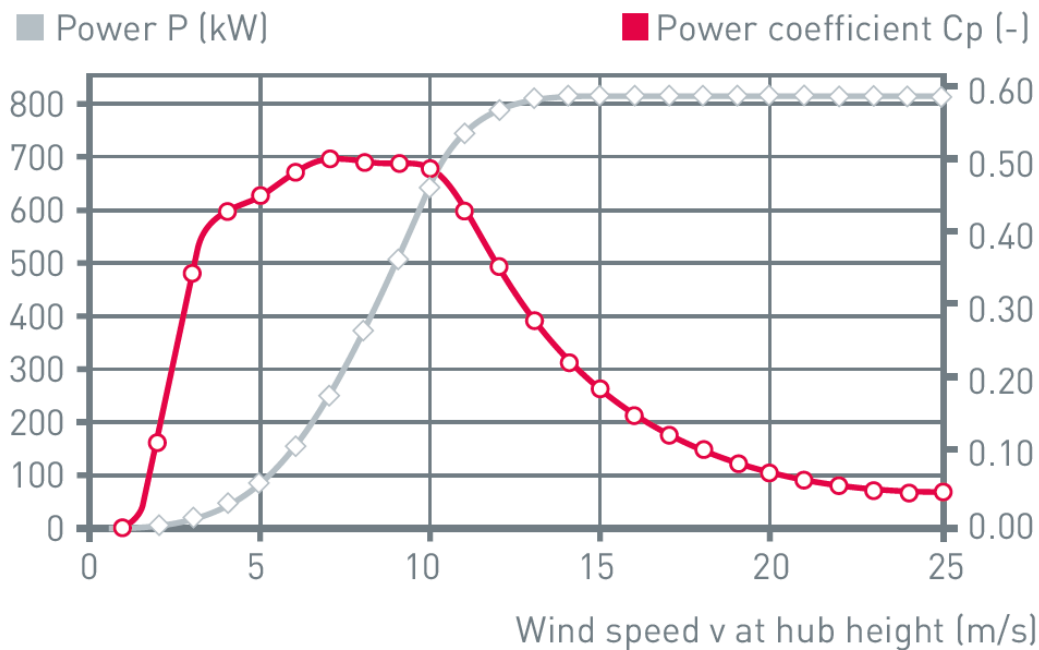
Όπου “C<sub>p</sub>” ορίζεται ο αεροδυναμικός βαθμός απόδοσης της πτερωτής και “η” ο ηλεκτρομηχανικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης. Από τον σχεδιασμό της πτερωτής, το C<sub>p</sub> εκφράζεται σαν συνάρτηση της παραμέτρου περιστροφής “λ” [12], όπου:

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60V}$$

### 3.3 Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

Για τον ακριβή προσδιορισμό της καμπύλης λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας ακολουθούνται συγκεκριμένες πρότυπες διαδικασίες, όπως αυτές που καθορίζονται από τους διεθνείς οργανισμούς προτυποποίησης όπως οι TÜV και Germanischer Lloyd της Γερμανίας, ο DNV/RISØ της Δανίας και ο CIWI/ECN της Ολλανδίας. [12] Στη χώρα μας, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, η έγκριση τύπου μιας συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας, στην οποία περιλαμβάνεται και η μέτρηση της χαρακτηριστικής καμπύλης ισχύος της μηχανής, γίνεται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) σε συνεργασία με τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης (ΕΛΟΤ). [12]

Η διαδικασία πιστοποίησης της καμπύλης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας περιλαμβάνει εξωτερικές δοκιμές σε επιλεγμένες εγκαταστάσεις των εταιριών πιστοποίησης, όπου η ανεμογεννήτρια λειτουργεί κάτω από λεπτομερώς μετρούμενες συνθήκες περιβάλλοντος, ταχύτητας ανέμου αλλά και τοπογραφικού ανάγλυφου. Επίσης πρέπει να λειτουργήσει για προκαθορισμένες ώρες λειτουργίας. [12] Στη συνέχεια οι μετρήσεις συγκεντρώνονται, ομαδοποιούνται και επεξεργάζονται και έτσι προκύπτει μια μέση τιμή ισχύος για συγκεκριμένες τιμές ταχύτητας ανέμου. [12] Επομένως η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας ή αλλιώς χαρακτηριστική λειτουργίας, είναι η παραγόμενη ισχύς συναρτήσει των τιμών της ταχύτητας του ανέμου και είναι της μορφής:



Σχήμα 7: Τυπική χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας (γκρι καμπύλη)

## Κεφάλαιο 4 : Μελέτη του Αιολικού Δυναμικού

### 4.1 Πηγή δεδομένων

Τα ανεμολογικά δεδομένα πάρθηκαν από το αρχείο της ΕΜΥ και συγκεκριμένα από τη βάση δεδομένων του meteo.gr για τα νησιά του Ιονίου και αφορούν τις μετρήσεις μέχρι και τον Νοέμβριο του 2016, παρόλο που ο χρόνος έναρξης συλλογής αυτών διαφέρει.

#### 4.1.2 Επεξεργασία δεδομένων

Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, κρατήθηκαν μόνο η μέση θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου και κυρίαρχη διεύθυνση του ανέμου. Η ταχύτητα του ανέμου μετατράπηκε από Km/h σε m/s και η διεύθυνση ανέμου σε μοίρες. Έπειτα κατηγοριοποιήθηκε η ταχύτητα ανέμου σε διαστήματα [0-1) m/s, [1-2) m/s κλπ και υπολογίσθηκε το ποσοστό εμφάνισης αυτών των ταχυτήτων για το κάθε νησί στην συνολική διάρκεια των μετρήσεων έτσι ώστε να αποτυπωθούν στο αντίστοιχα γραφήματα (ρόδο του ανέμου και ραβδόγραμμα ποσοστού εμφάνισης ανέμου συγκεκριμένου διαστήματος ταχύτητας)

### 4.1.3 Επιλογή ανεμογεννητριών και χαρακτηριστικά αυτών

Για την παρούσα διερεύνηση χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικές αιολικές μηχανές. Η **ENERCON E-53** ονομαστικής ισχύος 800 KW και η **VESTAS V-42** ονομαστικής ισχύος 600 KW και η **NTK 300** ονομαστικής ισχύος 300 KW.

Από το φυλλάδιο του κατασκευαστή της εκάστοτε ανεμογεννήτριας, εισάγουμε τα δεδομένα που μας δίνονται για την κατασκευή της χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας της α/γ στο excel. Εφόσον για δεδομένη ταχύτητα έχουμε συγκεκριμένη παραγόμενη ισχύ, τότε σχηματίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη. Έπειτα υπολογίζουμε την εξίσωση που εκφράζει την κάθε καμπύλη χρησιμοποιώντας σαν τύπο την πολυωνυμική εξίσωση 4<sup>ου</sup> βαθμού. Επομένως έχουμε μια εξίσωση της μορφής:

$$y = \alpha x^4 + \beta x^3 + \gamma x^2 + \delta x + k$$

Όπου:

**α, β, γ, δ, k** : σταθερές

**χ**: ταχύτητα ανέμου

Επομένως, αντικαθιστώντας το **χ** με τις ταχύτητες του ανέμου στο ύψος του πύργου στήριξης, προκύπτει η παραγόμενη ισχύς της α/γ σε KW. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζουμε την τιμή αυτή επί 24 και έτσι έχουμε την ημερήσια παραγόμενη ισχύ σε KWh.

## ENERCON E-53

### Technical specifications E-53

<b>Rated power:</b>	800 kW
<b>Rotor diameter:</b>	52.9 m
<b>Hub height in meter:</b>	50 / 60 / 73
<b>Wind zone (DIBt):</b>	WZ II exp
<b>Wind class (IEC):</b>	IEC/NVN Class S ( $V_{av} = 7.5 \text{ m/s}$ , $V_{ext} = 57 \text{ m/s}$ )
<b>WEC concept:</b>	Gearless, variable speed, single blade adjustment
<b>Rotor</b>	
<b>Type:</b>	Upwind rotor with active pitch control
<b>Rotational direction:</b>	Clockwise
<b>No. of blades:</b>	3
<b>Swept area:</b>	2,198 m <sup>2</sup>
<b>Blade material:</b>	GRP (epoxy resin); Built-in lightning protection
<b>Rotational speed:</b>	Variable, 11 - 29.5 rpm
<b>Pitch control:</b>	ENERCON single blade pitch system; one inde- pendent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply
<b>Drive train with generator</b>	
<b>Main bearing:</b>	Twin tapered roller bearing
<b>Generator:</b>	ENERCON direct-drive annular generator
<b>Grid feed:</b>	ENERCON inverter
<b>Brake systems:</b>	- 3 independent pitch control systems with emer- gency power supply  - Rotor brake  - Rotor lock
<b>Yaw system:</b>	Active via yaw gear, load-dependent damping
<b>Cut-out wind speed:</b>	28 - 34 m/s (with ENERCON storm control*)
<b>Remote monitoring:</b>	ENERCON SCADA

# E-53

800 kW



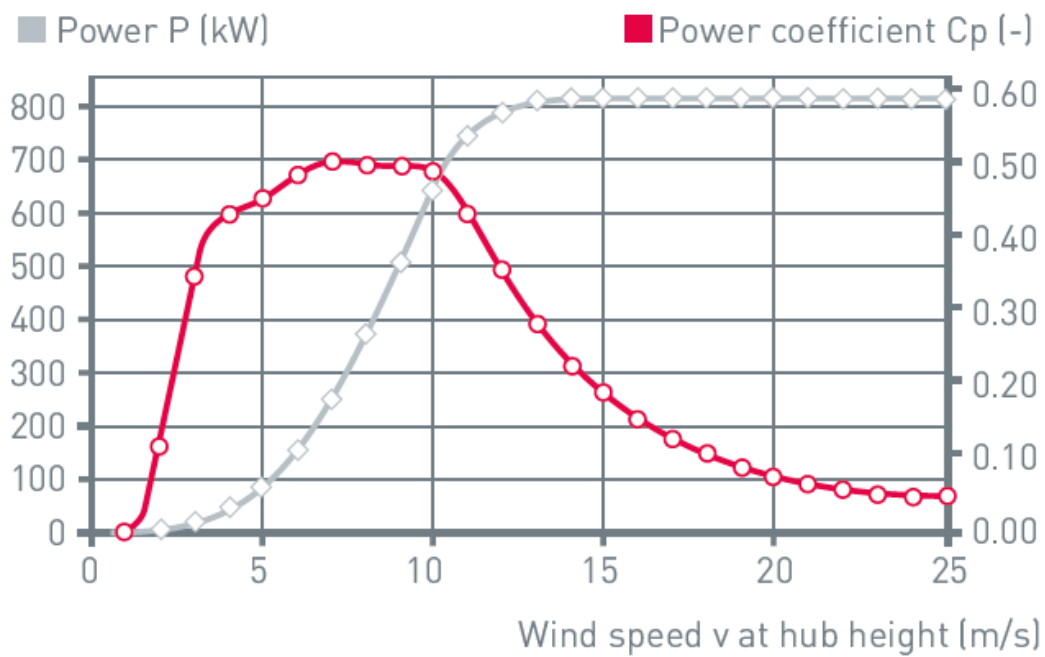
- 1 Main carrier
- 2 Yaw drive
- 3 Annular generator
- 4 Blade adapter
- 5 Rotor hub
- 6 Rotor blade

Σχήμα 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά της Α/Γ Enercon E-53

Wind (m/s)	Power P (kW)	Power-coefficient Cp (-)
1	0.0	0.00
2	2.0	0.19
3	14.0	0.39
4	38.0	0.44
5	77.0	0.46
6	141.0	0.48
7	228.0	0.49
8	336.0	0.49
9	480.0	0.49
10	645.0	0.48
11	744.0	0.42
12	780.0	0.34
13	810.0	0.27
14	810.0	0.22
15	810.0	0.18
16	810.0	0.15
17	810.0	0.12
18	810.0	0.10
19	810.0	0.09
20	810.0	0.08
21	810.0	0.06
22	810.0	0.06
23	810.0	0.05
24	810.0	0.04
25	810.0	0.04

ρ = 1.225 kg/m<sup>3</sup>

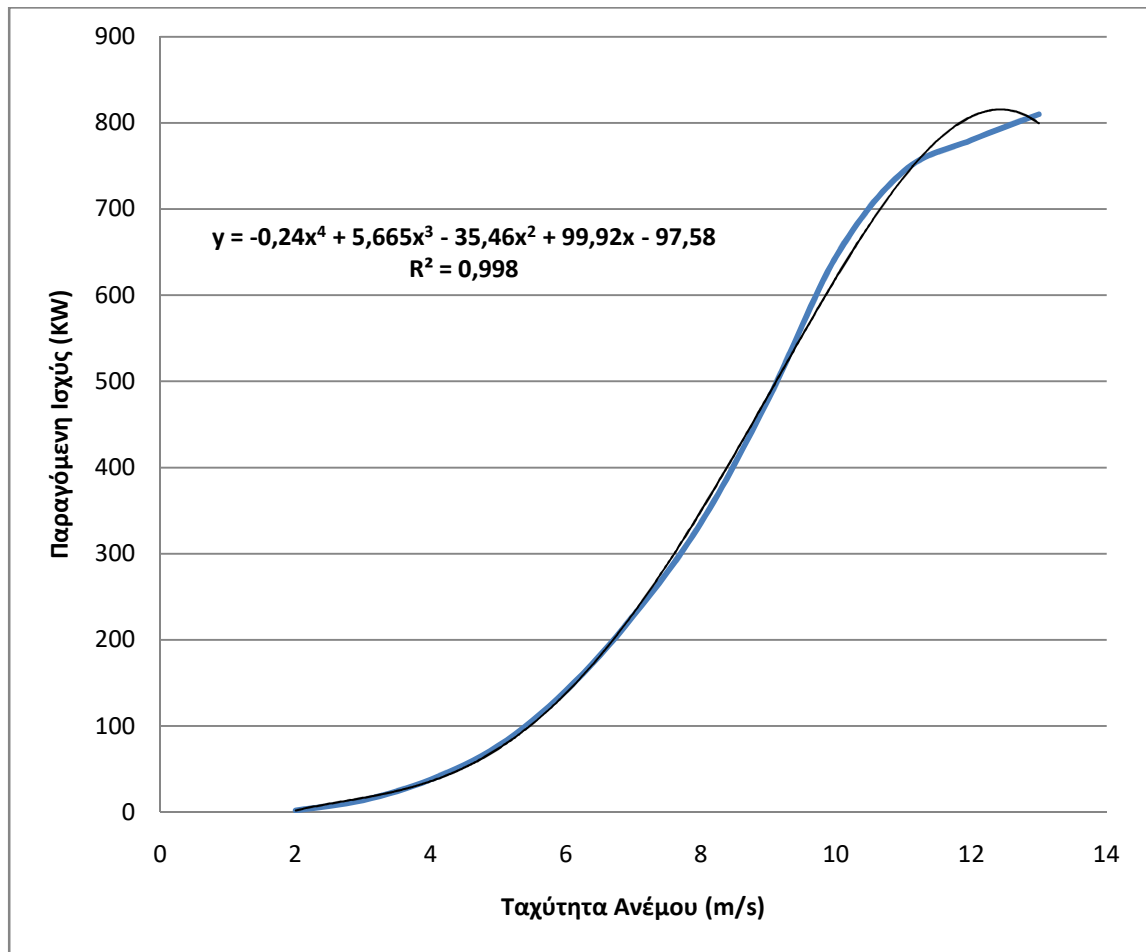
Σχήμα 9: Πίνακας παραγόμενης ισχύος και Cp για την Α/Γ Enercon E-53



Σχήμα 10 : Η χαρακτηριστική καμπύλη της Α/Γ Enercon E-53

Από τις τιμές του πίνακα στο σχήμα () κατασκευάζουμε την καμπύλη της Α/Γ στο excel έτσι ώστε να βρούμε την πολυωνμική εξίσωση που την διέπει.





Σχήμα 11 : Προσδιορισμός της εξίσωσης της καμπύλης της Α/Γ Enercon E-53

Επομένως η εξίσωση της καμπύλης για την Enercon E-53 είναι η:

$$y = -0,24x^4 + 5,665x^3 - 35,46x^2 + 99,92x - 97,58$$

## Vestas V-42

### *Vestas V42-600 kW*

Model ID: 135

Concept: Three bladed, horizontal axis

Made in: Denmark

Date last updated: 22/1/1997

This wind turbine is currently available

#### *Characteristics*

Rated power (kW): 600

Rated wind speed (m/s): 16

Cut in wind speed (m/s): 4,5

Cut out wind speed (m/s): 25

Survival wind speed (m/s): 50

#### *Rotor and Blades*

Rotor diameter (m): 42

Swept area (sq. m): 1385

Rotational speed (rpm): 30 / 30 Constant

Number of Blades: 3

Blade Position: upwind

Blade tip Speed (m/s): 66

Blade Make: Vestas

Blade Type: Vestas

Blade tip Angle (deg.): -

Hub height (m): 35/40/45/49,4/54,4

#### *Regulation and safety system*

Control system make: Vestas

Control system type: VMP-2500

Power regulation: Pitch+OptiSlip

Yaw system: Electr. motors

Brake system: Full-feathering

Second brake system: Disc brake

#### *Tower*

Type: Tubular/Lattice:41,8m

Tower height (m): 33,4/38,4/43,4/47,8/52,8

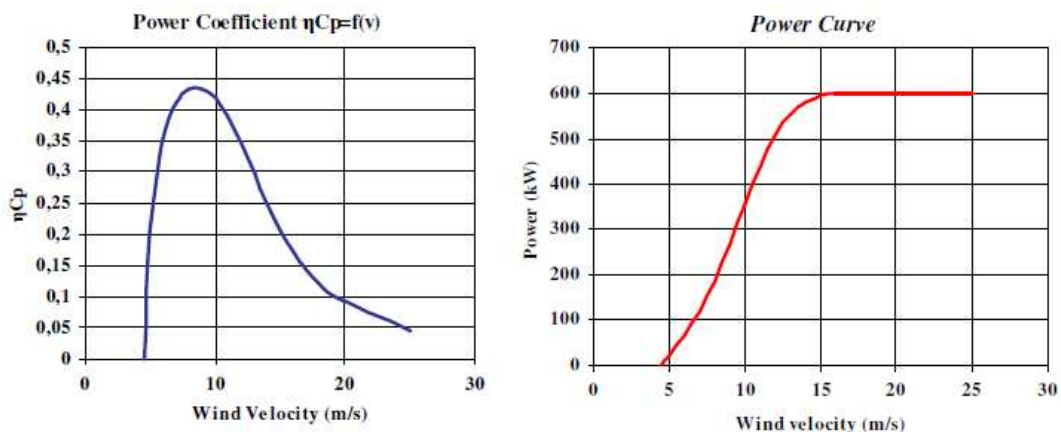
#### *Measured power curve*

Power curve measured by: Vestas

Air density  $\rho$  equal to 1.225 kg/m<sup>3</sup>, Temperature 15 deg. C



**Σχήμα 12 : Τεχνικά χαρακτηριστικά της Α/Γ Vestas V-42**

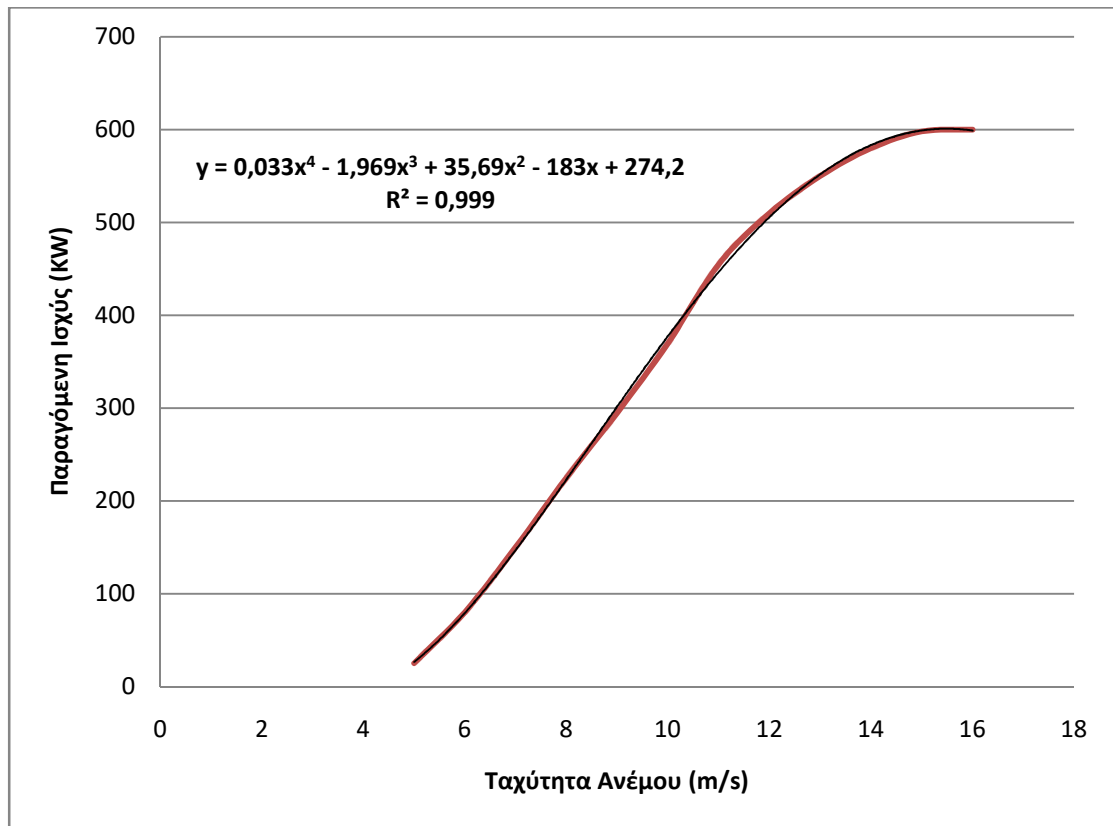


Σχήμα 13 : Χαρακτηριστική καμπύλη και Cp για την Α/Γ Vestas V-42

Καθώς δεν μας δίνεται κάποιος πίνακας με ταχύτητες ανέμου και παραγόμενη ισχύ για την κατασκευή της καμπύλης της Α/Γ στο excel, προσεγγιστικά από την δοθείσα καμπύλη φτιάχνουμε τον πίνακα ταχυτήτων ανέμου και παραγόμενης ισχύος.

Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Παραγόμενη Ισχύς(KW)
4	0
5	25
6	80
7	150
8	225
9	295
10	370
11	455
12	510
13	550
14	580
15	598
16	600
17	600
18	600
19	600
20	600
21	600
22	600
23	600
24	600
25	600

Σχήμα 14: Πίνακας παραγόμενης ισχύος για δεδομένη ταχύτητα ανέμου για την Α/Γ Vestas V-42



Σχήμα 15 : Προσδιορισμός της εξίσωσης της καμπύλης της Α/Γ Vestas V-42

Η εξίσωση που εκφράζει την καμπύλη της Α/Γ Vestas V-42 είναι η:

$$y = 0,033x^4 - 1,969x^3 + 35,69x^2 - 183x + 274,2$$

## NTK-300



## SPECIFICATIONS

<b>POWER</b>	
Grid power	200 / 250 / 300kW
Rotor diameter	28 m
Hub height	31 m
Cut-in wind speed	4 m/s
Rated wind speed	13 m/s
Cut-off wind speed	25 m/s

<b>ROTOR</b>	
Number of blades	3
Position	Upwind

<b>NACELLE</b>	
Steel main structure	
Weight	12.500 kg
Active yaw	by 2 motorgears

<b>GENERATOR</b>	
Asynchronous squirrel cage rotor, designed for VSD	
Voltage	400, 690V
Manufacturer	ABB

<b>CONVERTER</b>	
Full Power Concept	4Q-Operation, IGBT Power Rack Module
Grid Voltage	400, 480, 690V, 50 / 60Hz
Control System	DTC - Direct Torque Control
Manufacturer	ABB

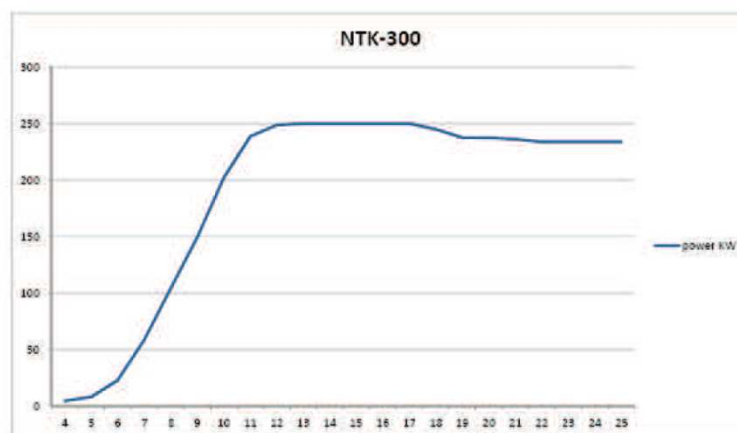
<b>GEARBOX</b>	
Stages	2 parallel

<b>TOWER</b>	
Height	30m (1 piece)
Design	1 cylindrical section
Diameter	2,400 mm
Weight	14.000 Kg

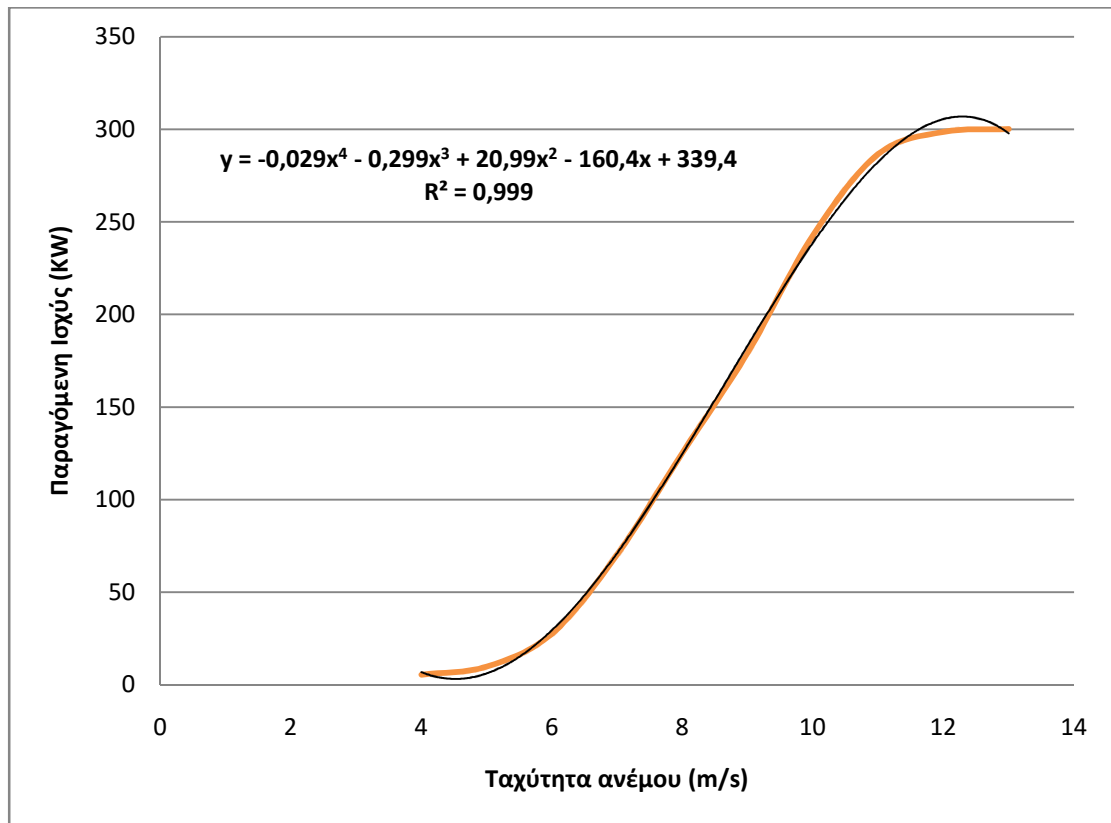
Σχήμα 16 : Γενικά χαρακτηριστικά Α/Γ NTK-300

## POWER CURVE NTK300

V m/s	power kW
4	5,52
5	9,735
6	27,51
7	70,305
8	125,22
9	178,31
10	242,67
11	286,5
12	298,5
13	300
14	300
15	300
16	300
17	300
18	294
19	285,105
20	285
21	283,5
22	280,5
23	280,5
24	280,5
25	280,5



Σχήμα 17 : Χαρακτηριστική καμπύλη της NTK-300



Σχήμα 18 : Χαρακτηριστική καμπύλη της Α/Γ ΝΤΚ-300 και η εξίσωση που την εκφράζει

Η εξίσωση που εκφράζει την καμπύλη της ΝΤΚ-300 είναι η:

$$y = -0,029x^4 - 0,299x^3 + 20,99x^2 - 160,4x + 339,4$$

#### 4.1.4 Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος των ανεμογεννητριών

Κατά την ανάλυσή μας δεχόμαστε ότι η ροή του ανέμου στην επιφάνεια της γης υπόκειται στους νόμους της μηχανικής ρευστών και πιο συγκεκριμένα, η κατακόρυφη διανομή ταχύτητας του ανέμου ακολουθεί τη συμπεριφορά τυρβώδους οριακού στρώματος (πλανητικό οριακό στρώμα) [12]. Για την περιγραφή της κατακόρυφης διανομής της ταχύτητας του ανέμου έχουν προταθεί διάφορες αναλυτικές σχέσεις [16] [17], οι οποίες στηρίζονται στη θεωρία των οριακών στρωμάτων. Σαν γενική παρατήρηση, η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος από το έδαφος στο οποίο αναφέρονται οι μετρήσεις. Συνήθως η μεταβολή αυτή είναι αξιοσημείωτη μέχρι τα πρώτα εκατό μέτρα από το έδαφος ανάλογα και με το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος [12].

Οι κυριότερες διανομές ταχύτητας που έχουν προταθεί είναι:

### Η λογαριθμική διανομή [12]

$$V_z = V_r \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)}$$

Όπου:

$V_z$ , ή ταχύτητα του ανέμου στο ύψος  $z$

$V_r$ , η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς (ύψος μετρητικού ιστού)

$z_r$ , το ύψος αναφοράς

$z$ , το ύψος στο οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του ανέμου (ύψος πλήμνης)

$z_0$ , το τυπικό ύψος τραχύτητας της περιοχής

### Η εκθετική διανομή [12]

$$V_z = V_r (z/z_r)^a$$

Όπου:

$V_z$ , ή ταχύτητα του ανέμου στο ύψος  $z$

$V_r$ , η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς (ύψος μετρητικού ιστού)

$z_r$ , το ύψος αναφοράς

$z$ , το ύψος στο οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του ανέμου (ύψος πλήμνης)

$a$ , εκθετικός συντελεστής της τραχύτητας του εδάφους

Στην παρούσα εργασία, για την αναγωγή των ταχυτήτων ανέμου από τα δεδομένα μας στο ύψος της πλήμνης της Α/Γ, χρησιμοποιήσαμε την σχέση της εκθετικής διανομής, με συντελεστή τραχύτητας  $a = 0,143$  για ουδέτερη σταθερότητα.

Αφού κάναμε την αναγωγή των ταχυτήτων του ανέμου από το ύψος των μετρήσεων στο ύψος της πλήμνης της κάθε Α/Γ και εφ' όσον βρήκαμε τις εξισώσεις που εκφράζουν της χαρακτηριστικές καμπύλες αυτών, αντικαθιστώντας στην κάθε εξίσωση (βλ. κεφ. 4.1.3) το  $\chi$  με τις ταχύτητες του ανέμου στο ύψος της πλήμνης ( $V_z$ ), προκύπτει η παραγόμενη ισχύς της α/γ σε KW. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζουμε την τιμή αυτή επί 24h και έτσι έχουμε την ημερήσια παραγόμενη ισχύ σε KWh.

Αφού βρούμε τις ημερήσιες παραγωγές, με τη χρήση φίλτρων χωρίζουμε τις μετρήσεις ανά μήνα (όλους τους Γενάρηδες κ.ο.κ). Έπειτα βρίσκουμε το άθροισμα όλων των παραγωγών ενέργειας για τον κάθε μήνα, στη συνέχεια το διαιρούμε με το σύνολο των μηνών και το αποτέλεσμα το διαιρούμε με τις ημέρες του μήνα.

Πχ. Για την Ζάκυνθο, η συνολική παραγωγή όλων των Γενάρηδων (από το 2011 μέχρι το 2016, άρα σύνολο 6) είναι 39786 KWh. Επομένως η ημερήσια παραγωγή ενέργειας προκύπτει κάνοντας τις πράξεις:  $(39789/6)/31 = 213$  KWh.

Οι πράξεις αυτές γίνονται αυτόματα από το Excel.

#### 4.1.5 Υπολογισμός Capacity Factor

Ο Capacity Factor ( CF ) ή αλλιώς Συντελεστής Χρησιμοποίησης, υπολογίζεται για κάθε ανεμογεννήτρια έτσι ώστε να διακρίνουμε εάν συμφέρει να χρησιμοποιήσουμε την εκάστοτε Α/Γ στη συγκεκριμένη περιοχή. Ο υπολογισμός γίνεται με τον ακόλουθο τύπο και εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό:

$$CF = \frac{\text{Πραγματική παραγόμενη ετήσια ισχύς (KWh)}}{\text{Θεωρητικά παραγόμενη ετήσια ισχύς (KWh)}} \times 100\%$$

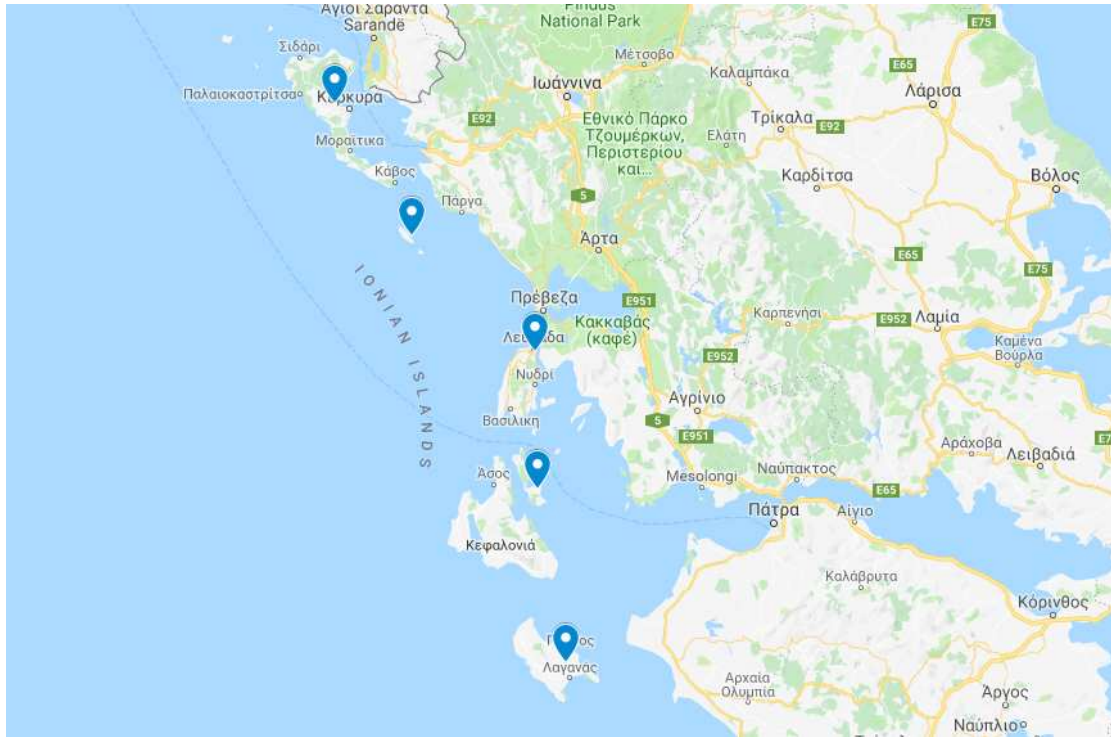
Πραγματική παραγόμενη ισχύς: Το άθροισμα των ημερησίων παραγόμενων ισχύων

Θεωρητικά παραγόμενη ισχύς:

*Ονομαστική ισχύς της Α/Γ × 365 ημέρες × 24 ώρες*

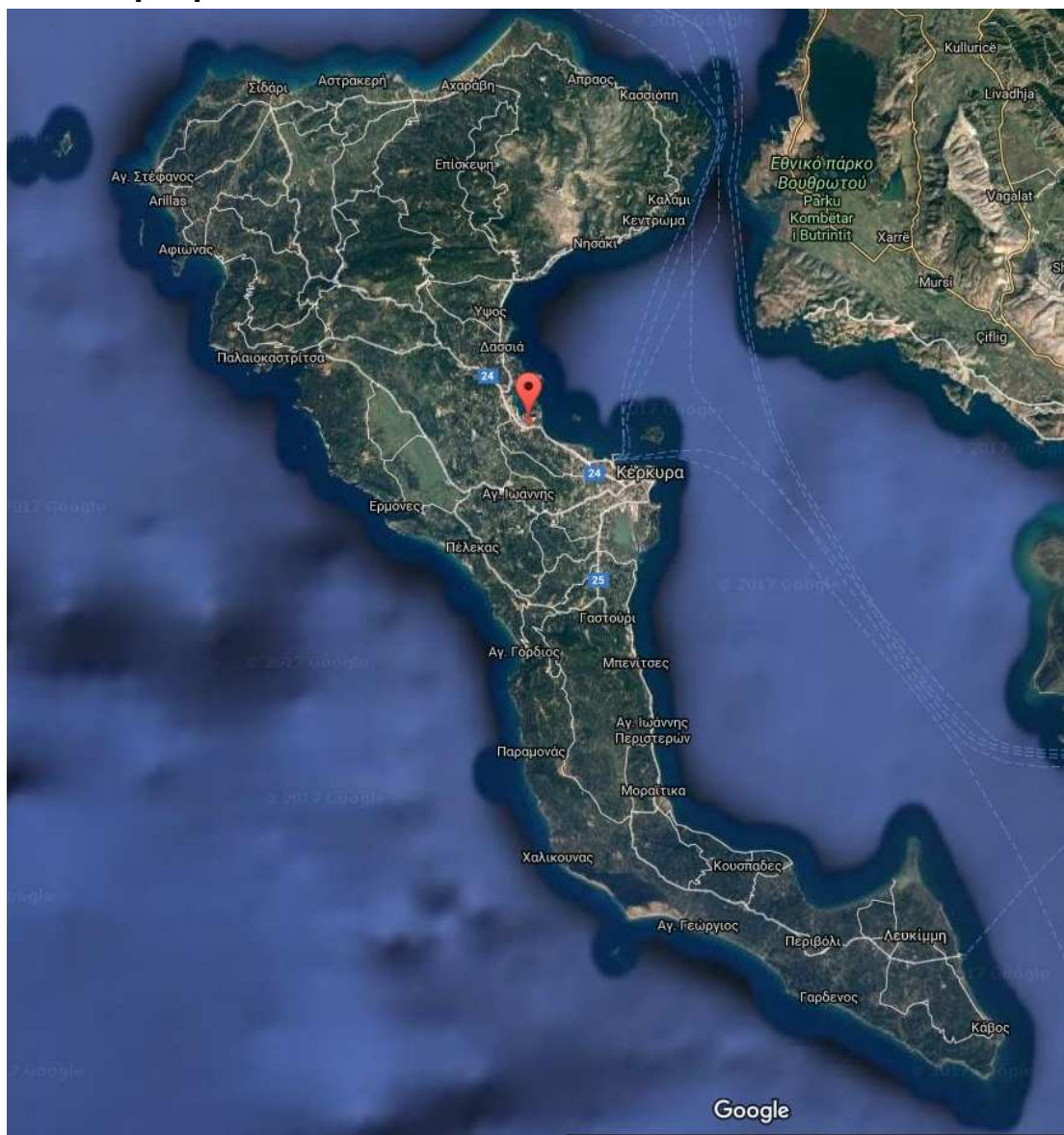
**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Επειδή τα δεδομένα ήταν ελλιπή, ο υπολογισμός της θεωρητικά παραγόμενης ετήσιας ισχύος έγινε εξαιρώντας τις ημέρες που δεν υπήρχαν μετρήσεις και έτσι πολλές φορές οι ημέρες του έτους είναι λιγότερες από 365. Επίσης σε κάποια νησιά (πχ. Ζάκυνθος) ο CF για το πρώτο έτος μετρήσεων εμφανίζεται πολύ μεγαλύτερος από τα υπόλοιπα και αυτό οφείλεται στο πολύ μικρό πλήθος μετρήσεων και έτσι δεν υπολογίζεται στον μέσο CF καθώς θα δώσει λάθος αποτέλεσμα. Επίσης τα διαγράμματα μηνιαίας και μέσης μηνιαίας καθώς και ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας παραγωγής ενέργειας είναι για την ανεμογεννήτρια Enercon E-53 και για ύψος 70m καθώς εκεί εμφανίζονται οι μεγαλύτερες ταχύτητες αέρα. Από αυτά τα δεδομένα υπολογίστηκε και ο CF.





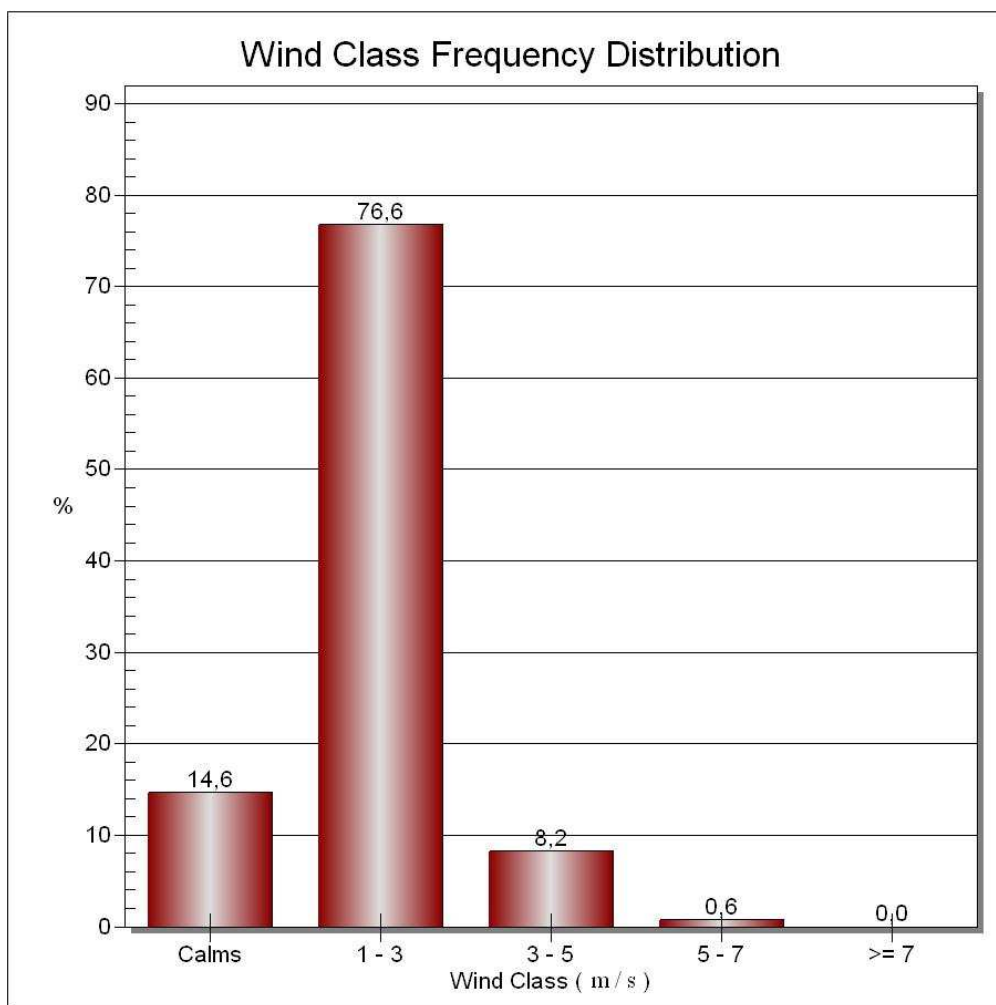
**Σχήμα 19: Τοποθεσίες για τις οποίες έγινε η μελέτη του αιολικού δυναμικού.**

## 4.2 Κέρκυρα



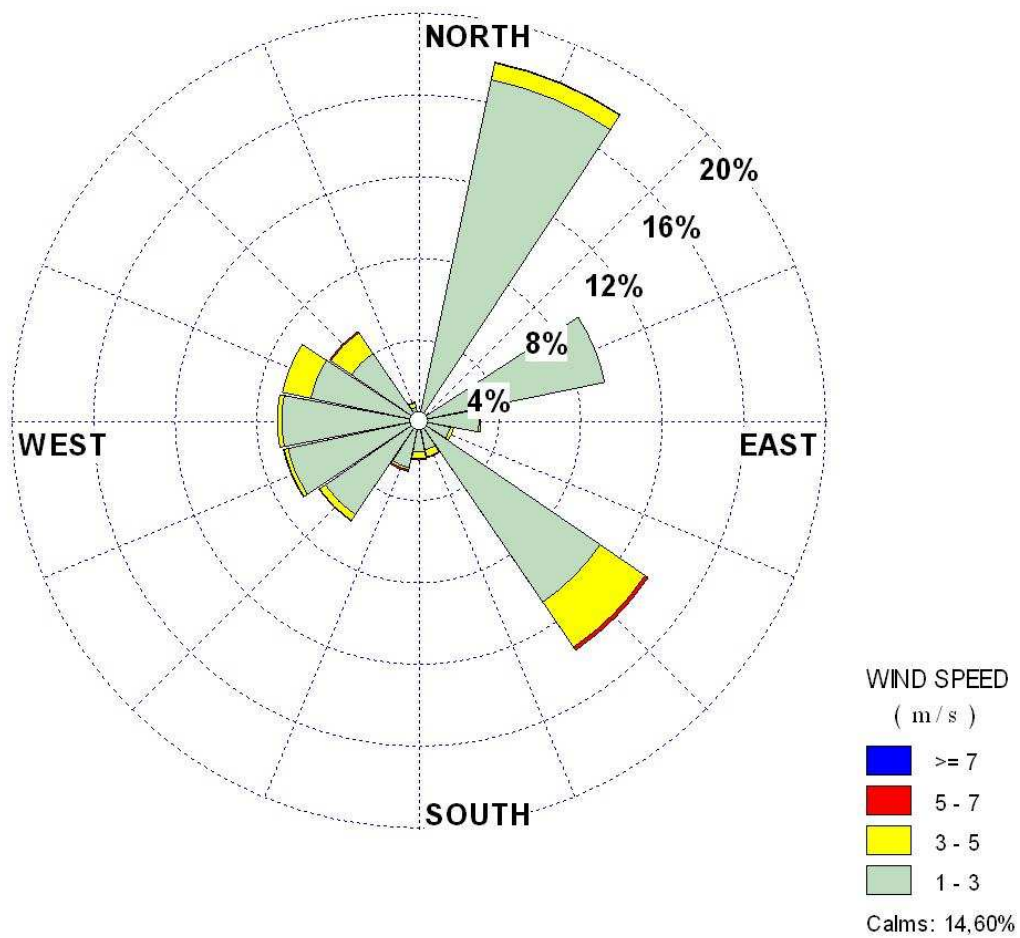
Σχήμα 20 : Τοποθεσία σταθμού μετρήσεων στην Κέρκυρα

Ο σταθμός στην Κέρκυρα βρίσκεται στην τοποθεσία με συντεταγμένες:  
LAT: 39deg 36min  
LONG: 19deg 54min  
και σε υψόμετρο 5m



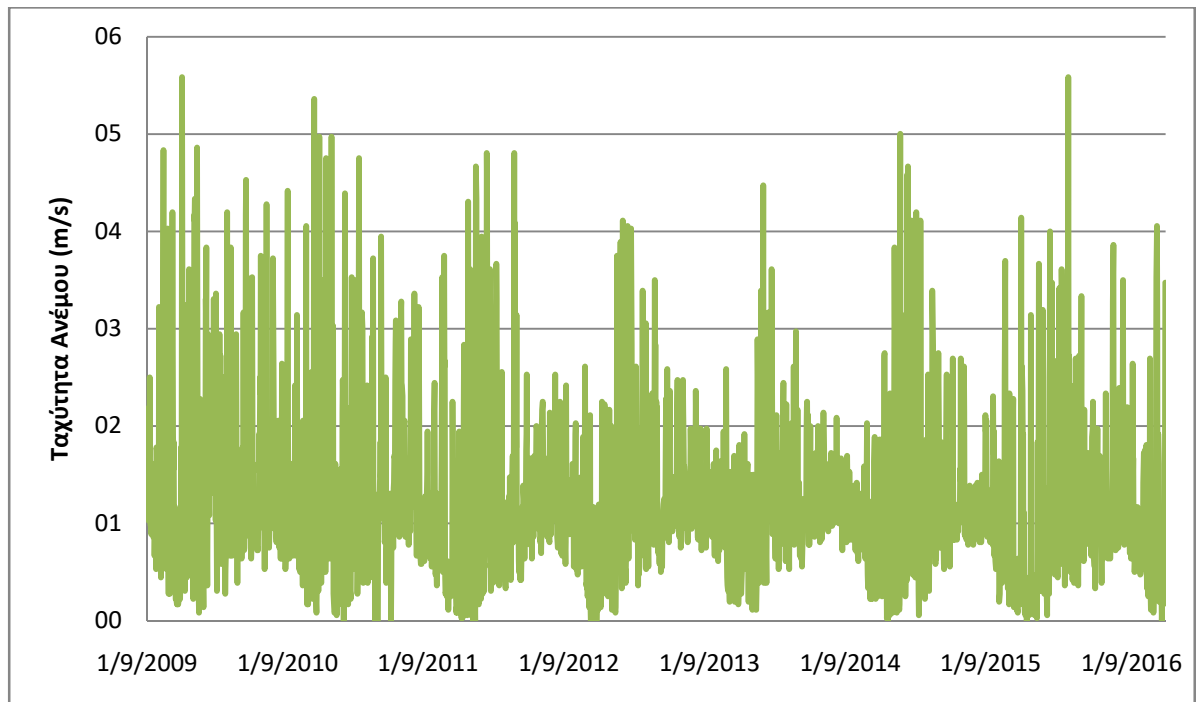
**Σχήμα 21 : Συχνότητα εμφάνισης ταχυτήτων ανέμου στην Κέρκυρα**

Με το μεγαλύτερο ποσοστό (76,6%) εμφανίζονται οι ταχύτητες 1-3 m/s, το 14,6% κατέχουν οι ηνεμίες, με 8,2% εμφανίζονται οι ταχύτητες 3-5 m/s, ενώ οι ταχύτητες 5-7 m/s εμφανίζονται με 0,6%. Δεν παρατηρούνται ταχύτητες μεγαλύτερες ή ίσες των 7 m/s.



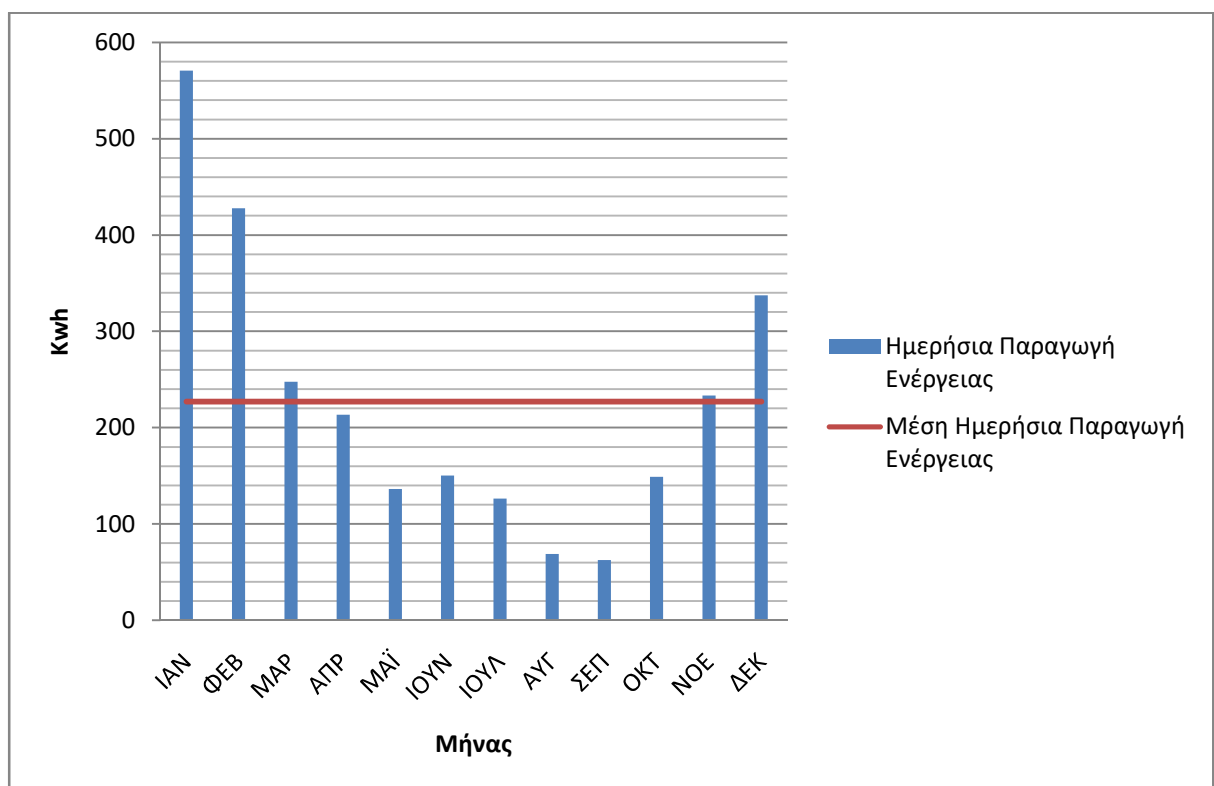
**Σχήμα 22 : Πολικό διάγραμμα ταχυτήτων και διεύθυνσης ανέμου στην Κέρκυρα**

Από το πολικό διάγραμμα φαίνεται ότι οι επικρατούσες διευθύνσεις είναι η βόρεια-βορειοανατολική (~18%) και η νοτιοανατολική (~14%)



Σχήμα 23 : Ταχύτητες ανέμου για την περίοδο 2009-2016 για τη νήσο Κέρκυρα

Σύμφωνα με το διάγραμμα, η ταχύτητα του ανέμου στην Κέρκυρα κυμαίνεται από 0 έως 5 m/s ενώ σπάνια φτάνει μέχρι τα 5,5 m/s.



Σχήμα 24: Ημερήσια και μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας για την Κέρκυρα

Στην παραγωγή ενέργειας παρατηρείται εποχικότητα, καθώς μεγαλύτερη παραγωγή παρατηρείται κατά τους χειμερινούς μήνες, με μέγιστη ημερήσια παραγωγή τον

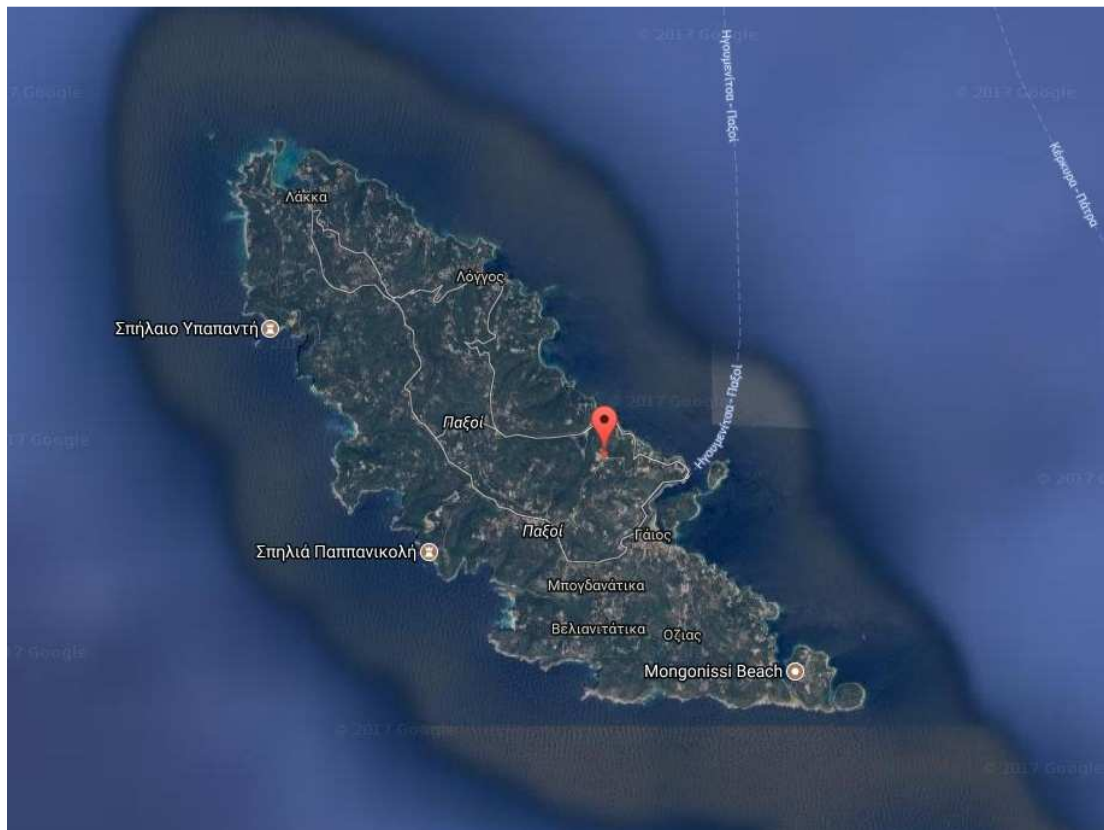
Ιανουάριο με περίπου 570 KWh/ημέρα , ενώ η μικρότερη παραγωγή παρατηρείται τον Σεπτέμβριο με 60 KWh/ημέρα . Η μέση ημερήσια παραγωγή είναι περίπου 225 KWh/ημέρα και η μέση ετήσια παραγωγή είναι περίπου 82125 KWh/έτος

Έτος	CF Enercon 50m	CF Enercon 60m	CF Enercon 70m	CF NTK 30m	CF Vestas 40m	CF Vestas 50m
2009	21,23%	23,25%	25,14%	4,19%	6,30%	7,62%
2010	6,48%	7,10%	7,68%	1,23%	1,88%	2,28%
2011	4,75%	5,21%	5,64%	0,78%	1,18%	1,44%
2012	3,87%	4,24%	4,59%	0,65%	0,98%	1,20%
2013	2,85%	3,14%	3,40%	0,43%	0,67%	0,82%
2014	2,21%	2,42%	2,62%	0,38%	0,56%	0,68%
2015	1,65%	1,80%	1,95%	0,33%	0,49%	0,60%
2016	0,84%	0,92%	1,00%	0,16%	0,21%	0,27%
<b>Average</b>	<b>3,24%</b>	<b>3,55%</b>	<b>3,84%</b>	<b>0,56%</b>	<b>0,85%</b>	<b>1,04%</b>

Σχήμα 25: Ετήσιοι και μέσοι CF για την Κέρκυρα

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι το 2009 ο CF εμφανίζεται με ποσοστό 25,14% κάτι το οποίο δεν είναι αντιπροσωπευτικό, καθώς έχουμε μετρήσεις για 122 μέρες εκείνη την χρονιά, επομένως δεν συμμετέχει στον υπολογισμό της μέσης τιμής του. Επομένως ο μέγιστος CF εμφανίζεται για την ανεμογεννήτρια Enercon E-53 στο ύψος των 70 μέτρων με μεγαλύτερη τιμή το 2010 (7,68%) και μέσο όρο 3,84%.

### 4.3 Παξοί



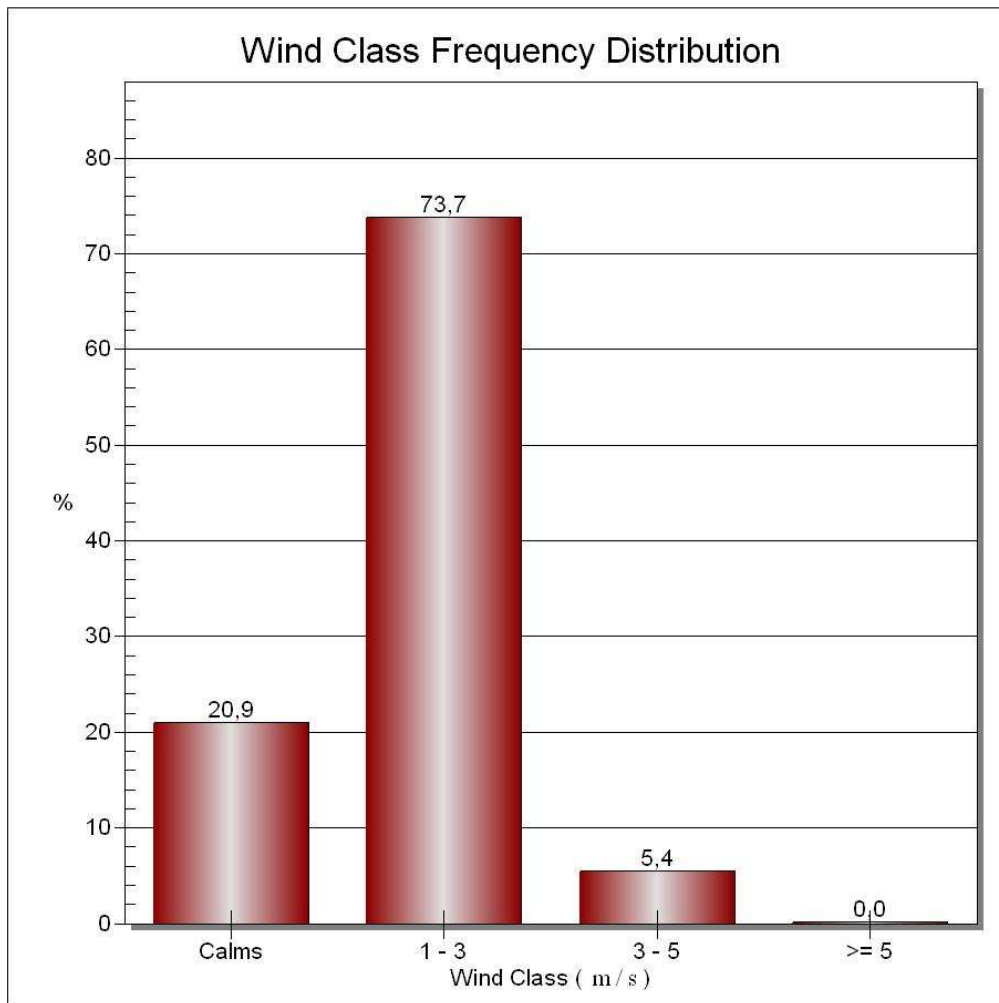
Σχήμα 26 : Τοποθεσία σταθμού μετρήσεων στους Παξούς

Ο σταθμός βρίσκεται στην τοποθεσία με συντεταγμένες:

LAT: 39° 12' 23" N

LONG: 20° 10' 42" E

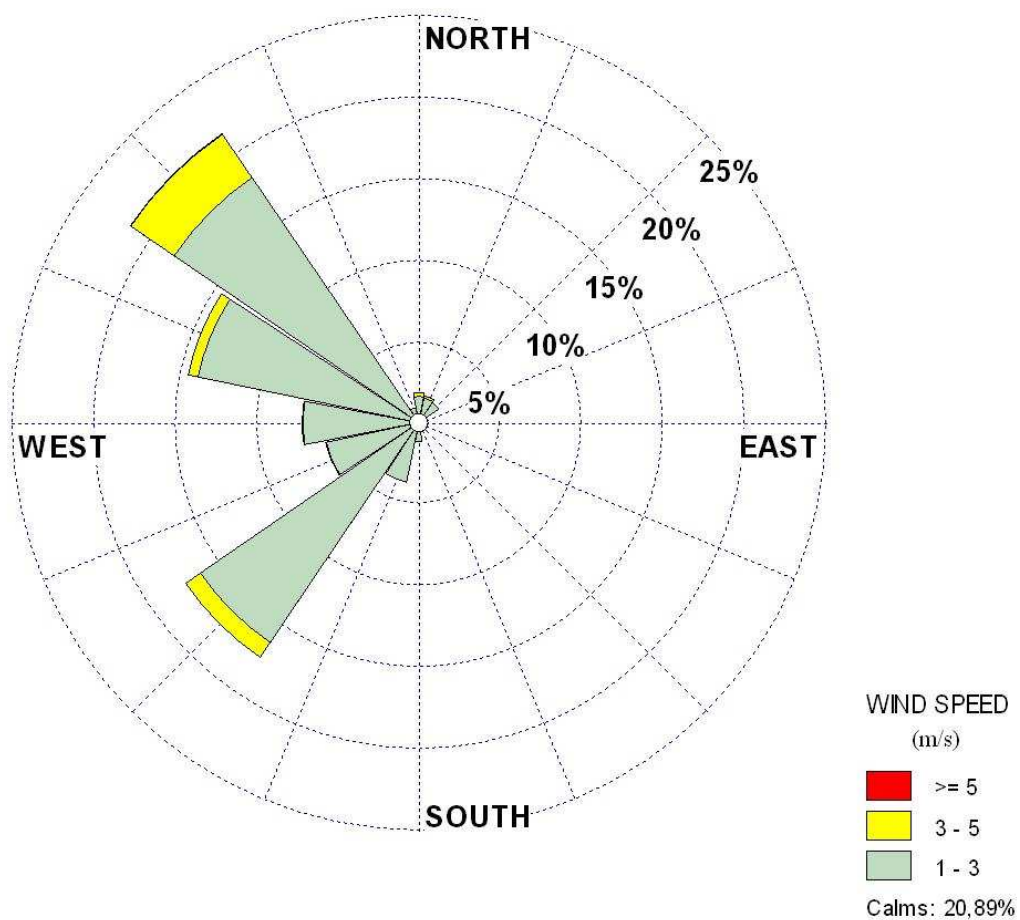
και σε υψόμετρο 80m



**Σχήμα 27 : Συχνότητα εμφάνισης ταχυτήτων ανέμου στους Παξούς**

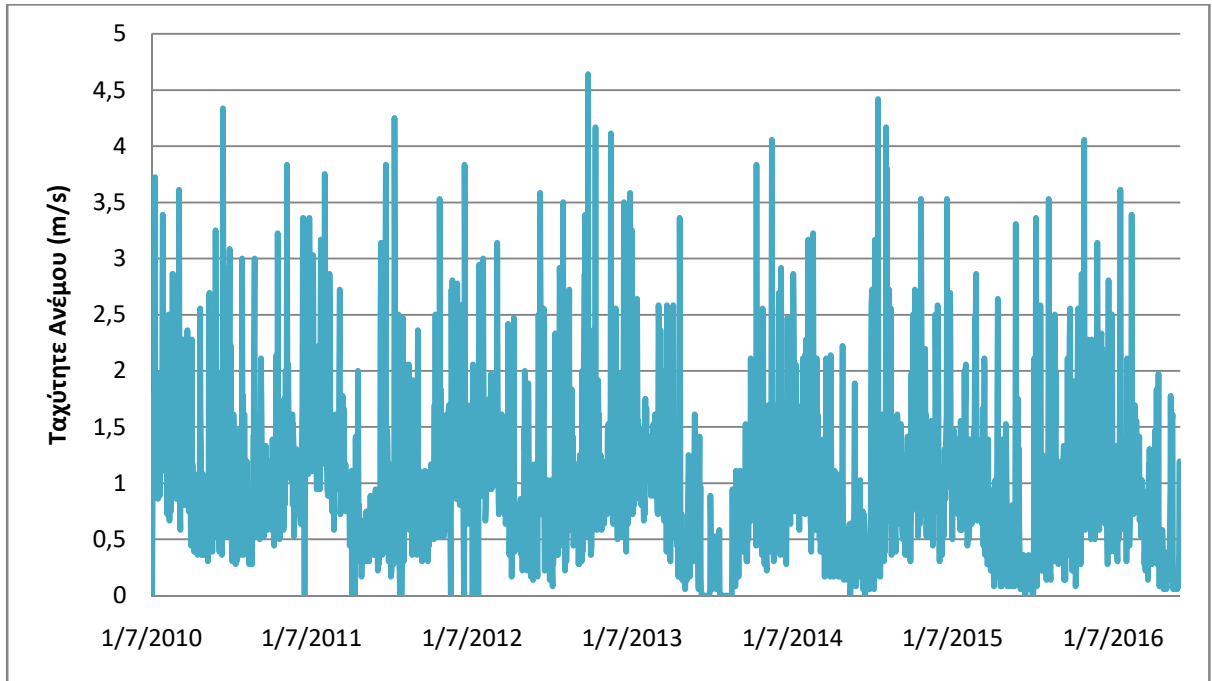
Το 73,7 % καταλαμβάνουν οι άνεμοι με ταχύτητες από 1 έως 3 m/s. Με ποσοστό 20,9% εμφανίζονται οι νηνεμίες, ενώ άνεμοι με ταχύτητες από 3 έως 5 m/s εμφανίζονται με ποσοστό 5,4%. Δεν εμφανίζονται ταχύτητες μεγαλύτερες από 5 m/s.





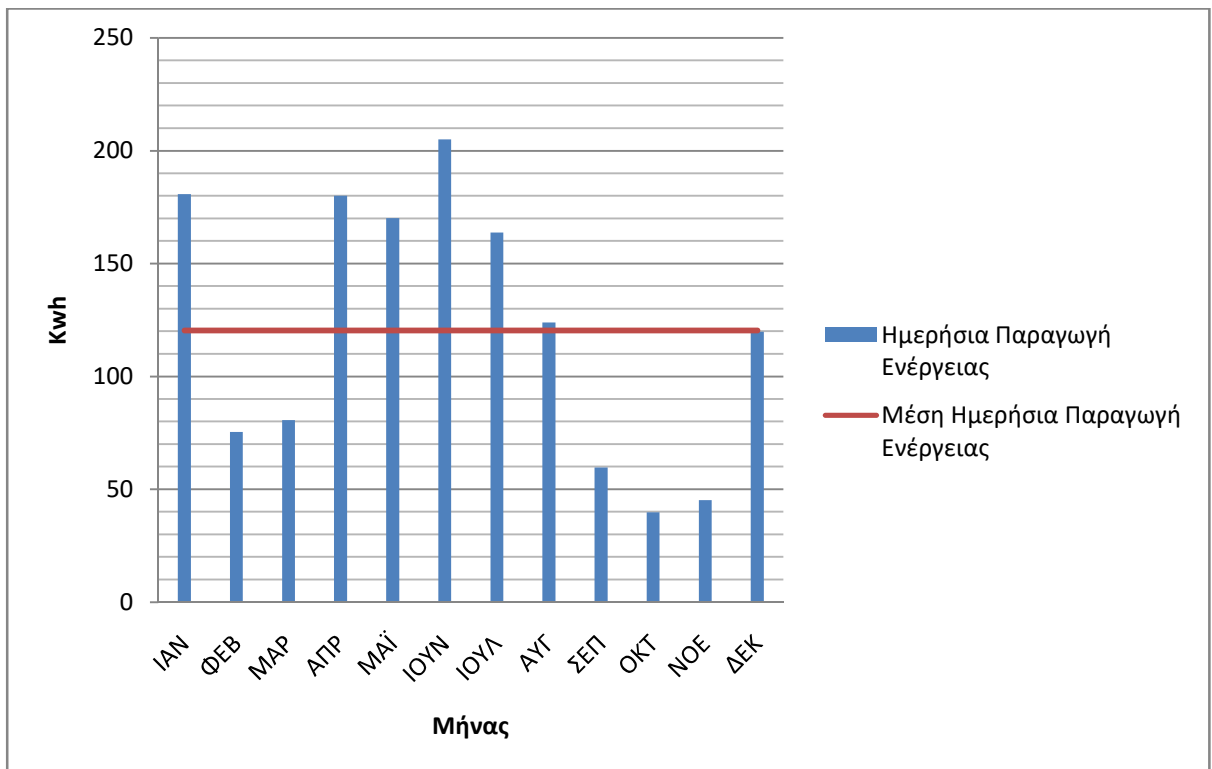
**Σχήμα 28 : Πολικό διάγραμμα ταχυτήτων και διεύθυνσης ανέμου στους Παξούς**

Από το πολικό διάγραμμα παρατηρούμε ότι στους Παξούς επικρατούν κυρίως βορειοδυτικοί άνεμοι (~22 %) ενώ σημαντικά ποσοστά εμφανίζουν οι νοτιοδυτικοί (~17,5%) και οι δυτικοί-βορειοδυτικοί (~14%)



Σχήμα 29 : Ταχύτητες ανέμου για την χρονική περίοδο 2010-2016 για τους Παξούς

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι ταχύτητες του ανέμου για τους Παξούς κυμαίνονται από 0 έως ~4,7 m/s



Σχήμα 30 : Ημερήσια και μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας στους Παξούς.

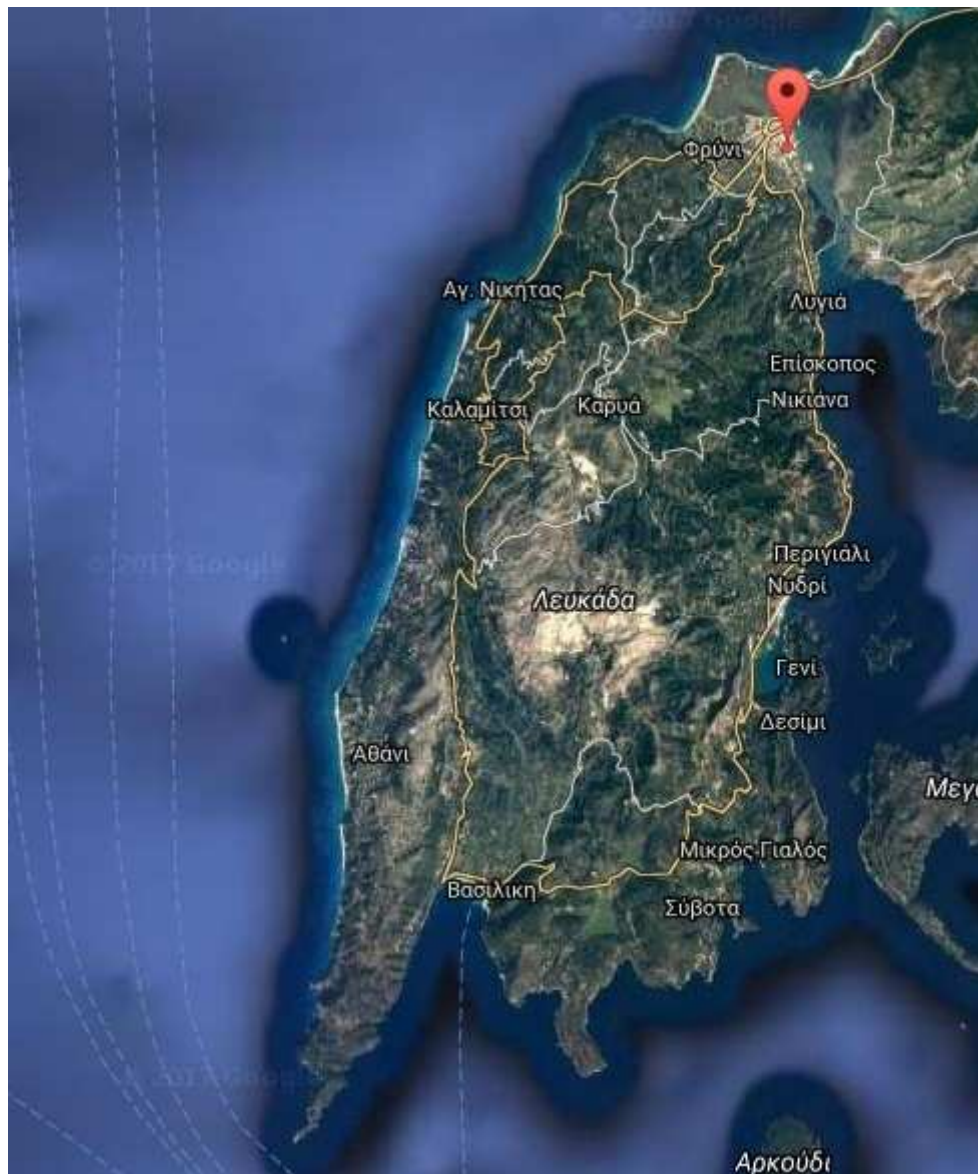
Στους Παξούς παρατηρείται εποχικότητα στην παραγωγή ενέργειας, με τη μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή να εμφανίζεται στα μέσα της άνοιξης και τους καλοκαιρινούς μήνες, με μέγιστη τιμή περίπου 205 KWh/ημέρα τον Ιούνιο, ενώ μεγάλη παραγωγή εμφανίζεται και κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο. Η μέση ημερήσια παραγωγή είναι περίπου 120 KWh/ημέρα και η μέση ετήσια παραγωγή είναι 43800 KWh/έτος.

Έτος	CF Enercon 50m	CF Enercon 60m	CF Enercon 70m	CF NTK 30m	CF Vestas 40m	CF Vestas 50m
2010	0,83%	0,91%	0,99%	0,03%	0,09%	0,12%
2011	2,99%	3,29%	3,58%	0,26%	0,42%	0,54%
2012	0,51%	0,57%	0,62%	0,04%	0,06%	0,08%
2013	1,99%	2,18%	2,37%	0,19%	0,31%	0,39%
2014	1,37%	1,51%	1,64%	0,12%	0,19%	0,24%
2015	0,89%	0,98%	1,07%	0,08%	0,14%	0,17%
2016	0,47%	0,52%	0,56%	0,03%	0,05%	0,07%
<b>Average</b>	<b>1,29%</b>	<b>1,42%</b>	<b>1,55%</b>	<b>0,11%</b>	<b>0,18%</b>	<b>0,23%</b>

Σχήμα 31 : Ετήσιοι και μέσοι CF για τους Παξούς

Ο CF εμφανίζει μέγιστο το 2011 με ποσοστό 3,58% για την ανεμογεννήτρια Enercon E-53 στο ύψος των 70 μέτρων και μέσο όρο 1,55%.

#### 4.4 Λευκάδα



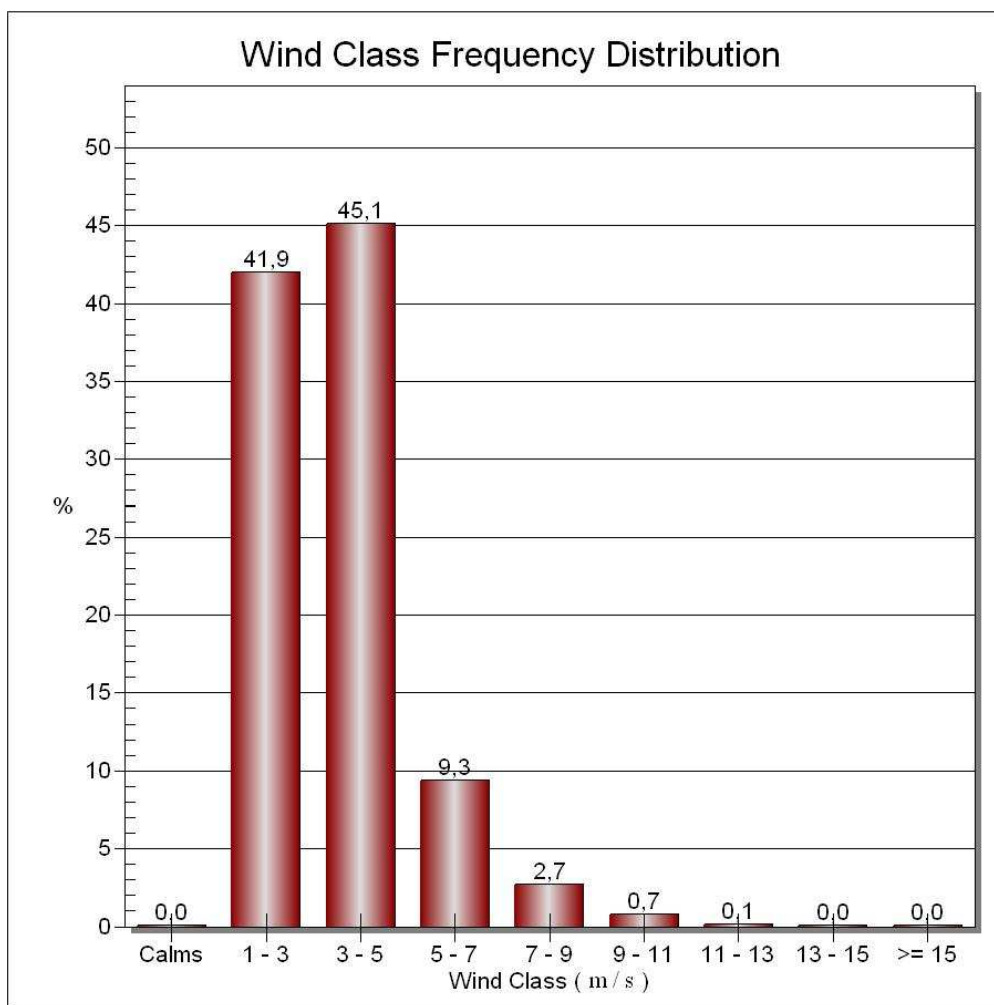
Σχήμα 32: Τοποθεσία σταθμού μετρήσεων στην Λευκάδα

Ο σταθμός στην Λευκάδα βρίσκεται στην περιοχή με συντεταγμένες:

LAT: 38° 49' 50» N

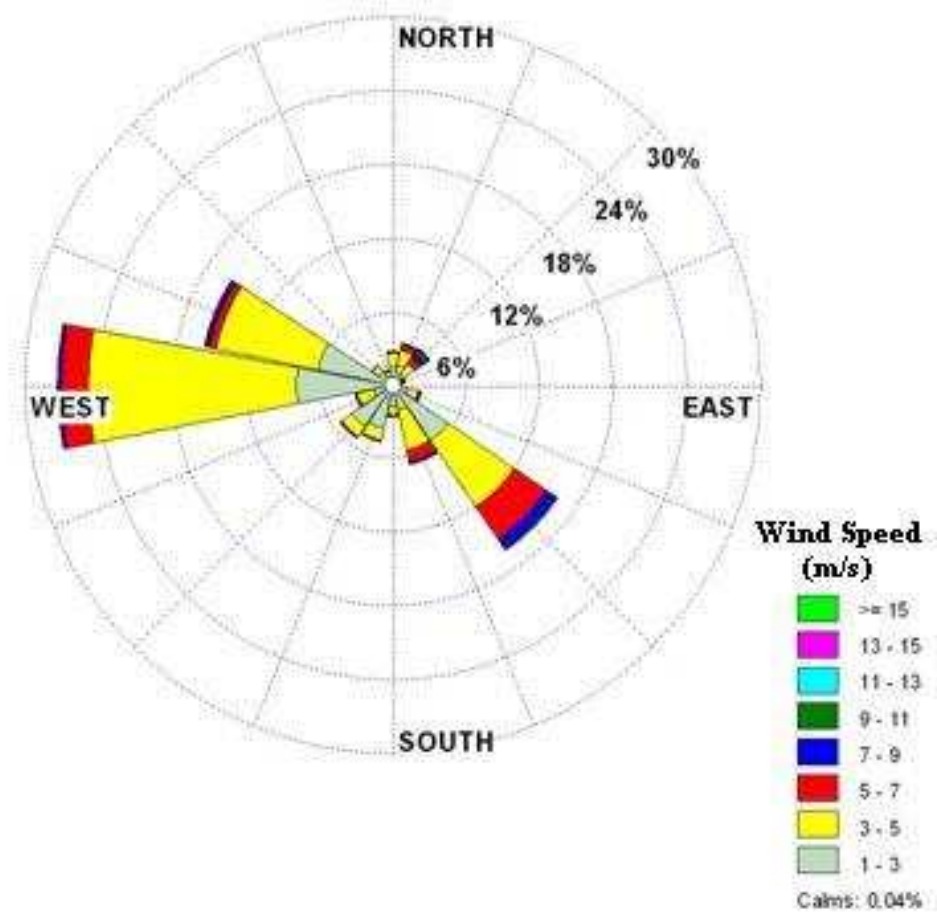
LONG: 20° 42' 42» E

Και σε υψόμετρο 12m



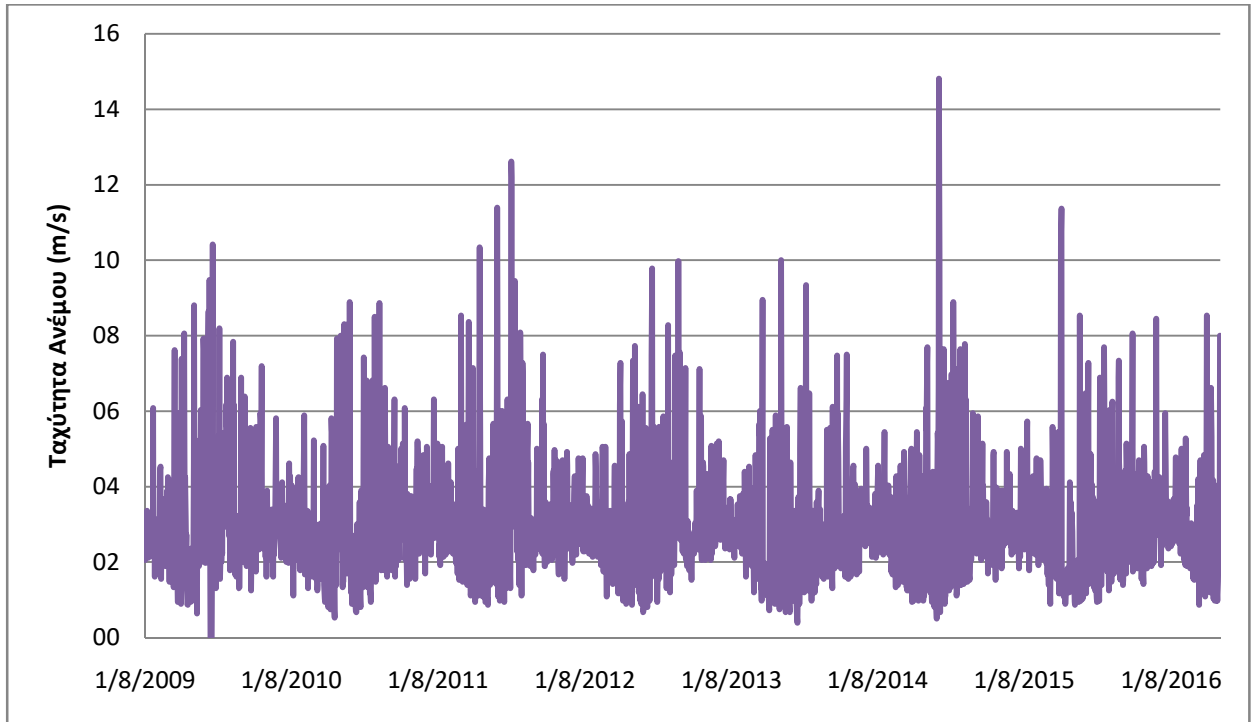
**Σχήμα 33 : Συχνότητα εμφάνισης ταχυτήτων ανέμου στην Λευκάδα**

Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κατέχουν οι άνεμοι με ταχύτητα 3-5 m/s (45,1%), αμέσως μετά με 41,5% εμφανίζονται οι άνεμοι με ταχύτητα 1-3 m/s. Οι άνεμοι από 5-7 m/s εμφανίζονται με συχνότητα 9,3%, ενώ οι άνεμοι με ταχύτητες 7-9 και 9-11 m/s εμφανίζονται με συχνότητα 2,7% και 0,7% αντίστοιχα. Με συχνότητα 0,1% εμφανίζονται οι άνεμοι με ταχύτητα 11-13 m/s.



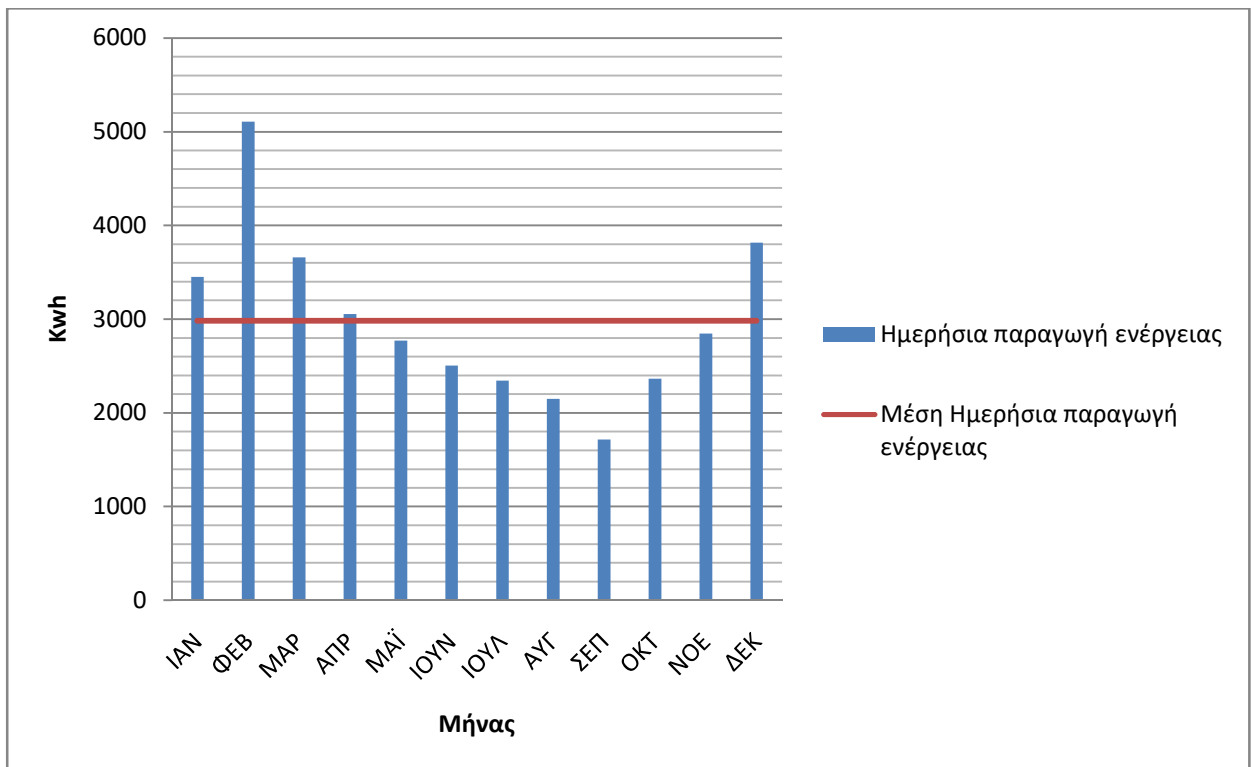
Σχήμα 34 : Πολικό διάγραμμα ταχυτήτων και διεύθυνσης ανέμου στην Λευκάδα

Από το πολικό διάγραμμα παρατηρούμε ότι στην Λευκάδα επικρατούν κυρίως Δυτικοί άνεμοι με ποσοστό περίπου 27%, ενώ με ποσοστό περίπου 15% και 16% εμφανίζονται Δυτικοί Βορειοδυτικοί και Νοτιοανατολικοί άνεμοι αντίστοιχα.



Σχήμα 35 : Ταχύτητες ανέμου για τη χρονική περίοδο 2009-2016 για τη νήσο Λευκάδα

Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα η ταχύτητες του ανέμου κυμαίνονται από 0 έως 10 m/s ενώ σπάνια ξεπερνάνε τα 12 και 14 m/s



Σχήμα 36 : Ημερήσια και μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας στην Λευκάδα

Η παραγωγή ενέργειας στην Λευκάδα εμφανίζει εποχικότητα με αύξηση από το φθινόπωρο και μέγιστη παραγωγή τον Φεβρουάριο >5000 KWh/ημέρα και με σταδιακή μείωση από την άνοιξη μέχρι το καλοκαίρι με ελάχιστη παραγωγή τον Σεπτέμβριο (περίπου 1700 KWh/ημέρα). Η μέση ημερήσια παραγωγή είναι περίπου 3000 KWh. Η μέση ετήσια παραγωγή ανέρχεται περίπου σε 1095000 KWh/έτος

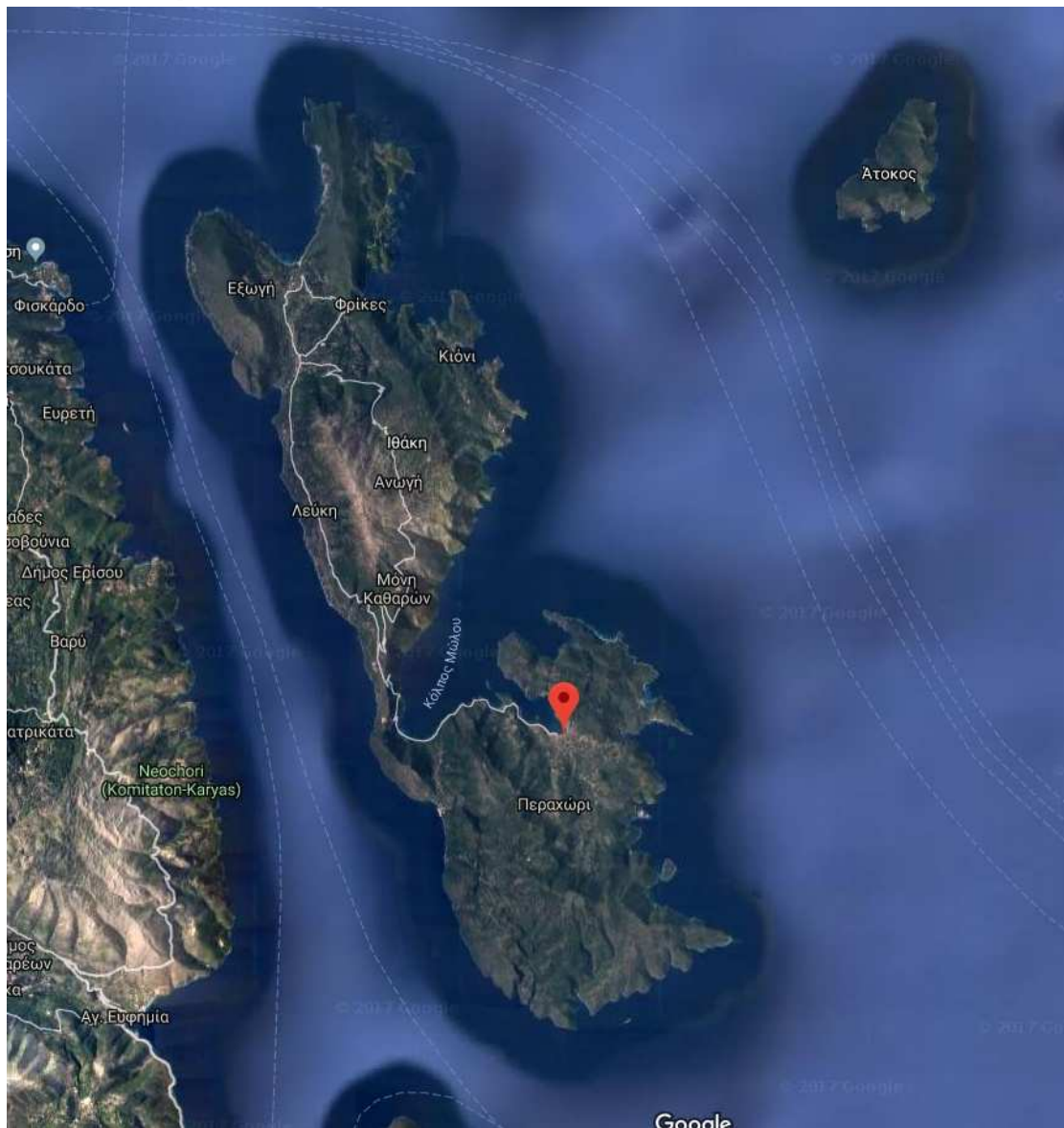
Έτος	CF Enercon 50m	CF Enercon 60m	CF Enercon 70m	CF NTK 30m	CF Vestas 40m	CF Vestas 50m
2009	14,4%	15,2%	15,9%	9,7%	9,4%	10,2%
2010	17,3%	18,3%	19,2%	11,8%	11,5%	12,5%
2011	13,9%	14,8%	15,6%	8,9%	9,0%	9,8%
2012	14,9%	15,9%	16,7%	9,3%	9,5%	10,5%
2013	13,3%	14,2%	14,9%	7,9%	8,3%	9,1%
2014	11,5%	12,3%	13,1%	6,4%	6,9%	7,7%
2015	11,8%	12,5%	13,1%	7,0%	7,2%	7,9%
2016	12,7%	13,6%	14,3%	7,1%	7,7%	8,6%
<b>Average</b>	<b>13,7%</b>	<b>14,6%</b>	<b>15,4%</b>	<b>8,5%</b>	<b>8,7%</b>	<b>9,5%</b>

Σχήμα 37 : Ετήσιοι και μέσοι CF για την Λευκάδα

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι ο CF εμφανίζει μέγιστο το 2010 με ποσοστό 19,2% για την ανεμογεννήτρια Enercon E-53 στο ύψος των 70 μέτρων και μέσο όρο 15,4%.



## 4.5 Ιθάκη



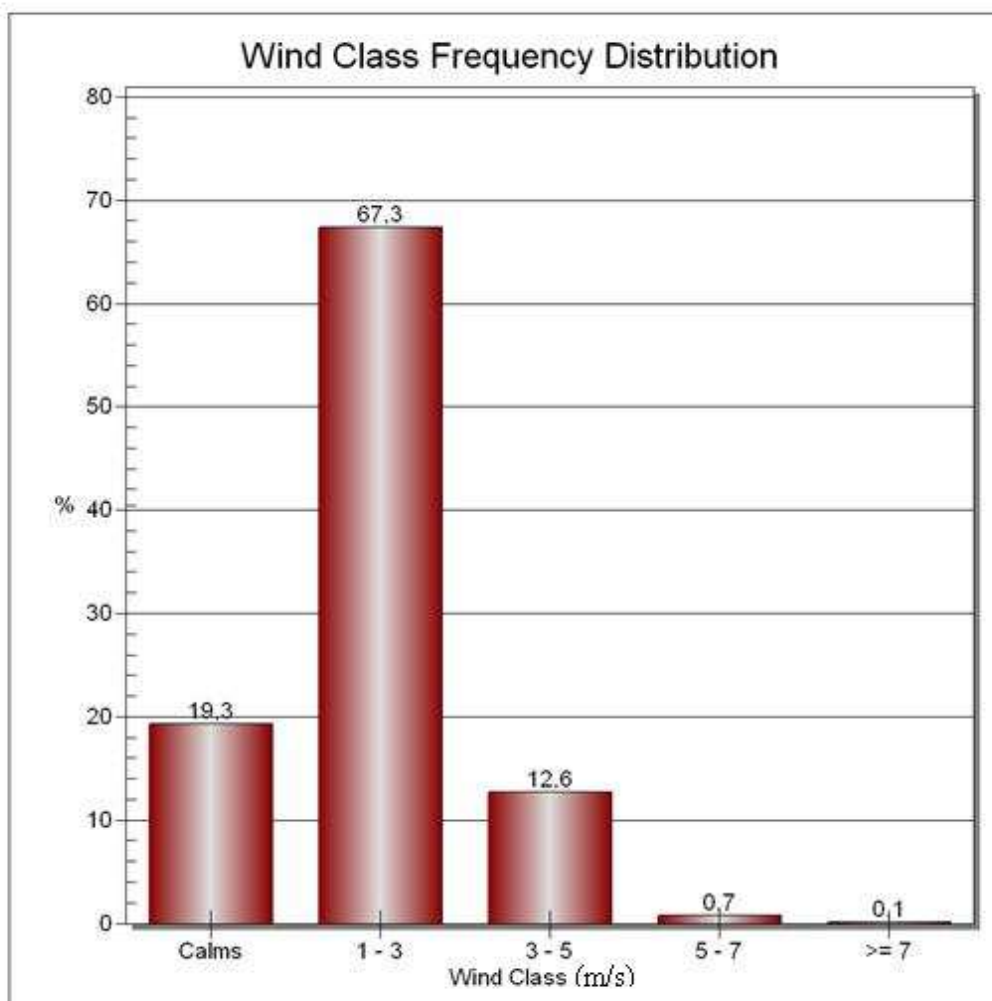
Σχήμα 38: Τοποθεσία σταθμού μετρήσεων στην Ιθάκη

Ο σταθμός στην Ιθάκη βρίσκεται στην περιοχή με συντεταγμένες:

LAT: 38° 24' 00" N

LONG: 20° 42' 00" E

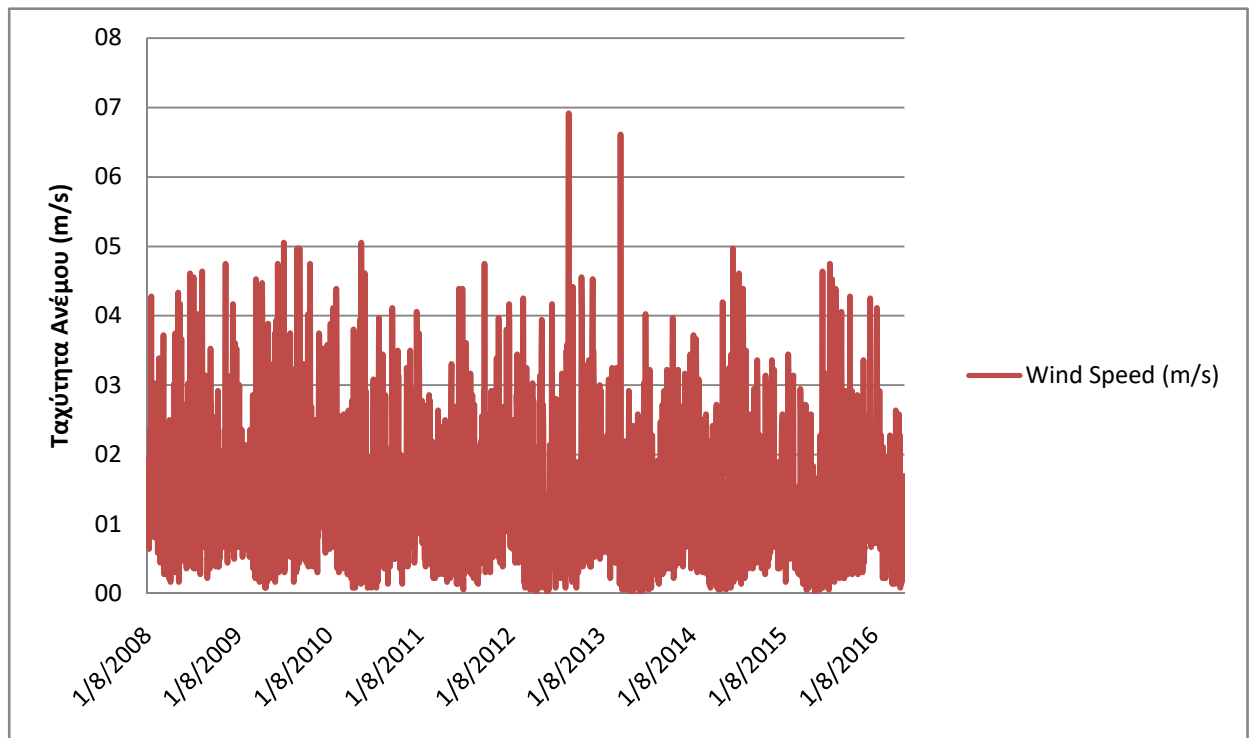
και σε υψόμετρο 7m



**Σχήμα 39 : Συχνότητα εμφάνισης ταχυτήτων ανέμου στην Ιθάκη**

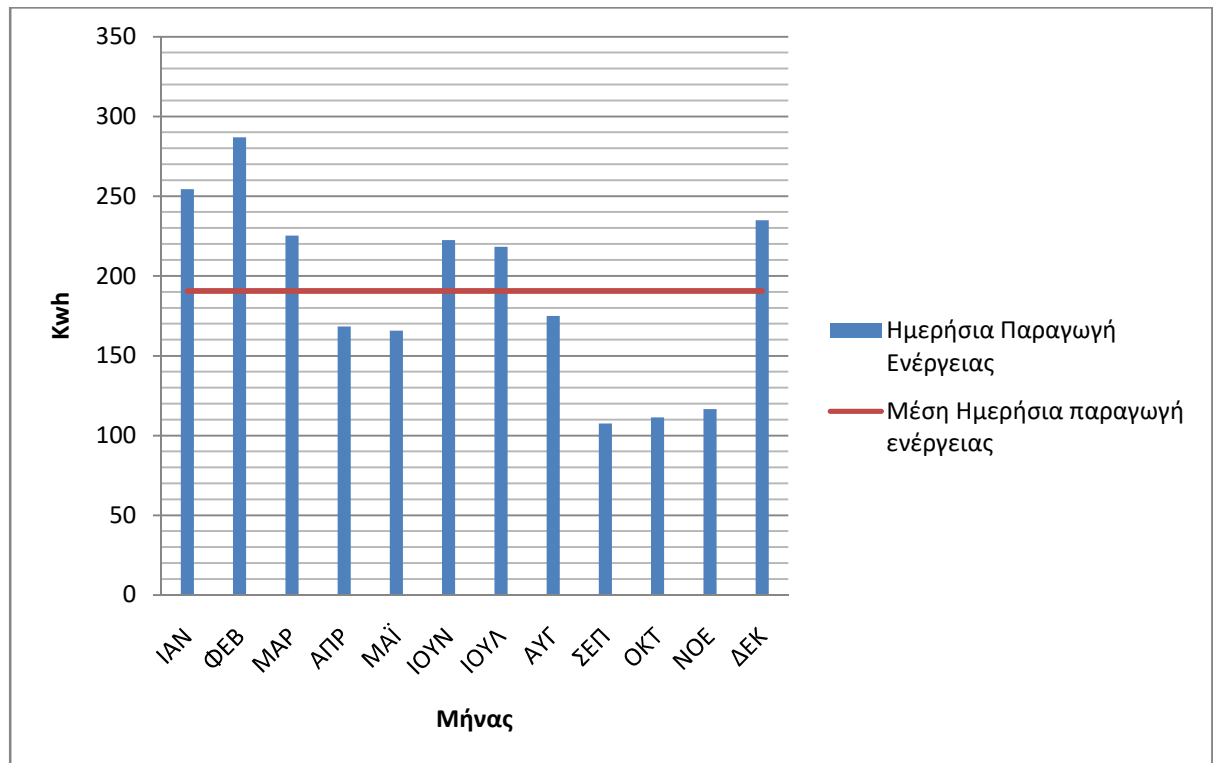
Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κατέχουν οι άνεμοι με ταχύτητα 1-3 m/s (67,3%), αμέσως μετά με 19,3% εμφανίζονται οι νηνεμίες. Οι άνεμοι από 3-5 m/s εμφανίζονται με συχνότητα 12,6%, ενώ οι άνεμοι με ταχύτητες 5-7 και μεγαλύτεροι ή ίσοι με 7 m/s εμφανίζονται με συχνότητα 0,7% και 0,1% αντίστοιχα.





Σχήμα 41 : Ταχύτητες ανέμου για την χρονική περίοδο 2008-2016 για τη νήσο Ιθάκη

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, η ταχύτητα του ανέμου στην Ιθάκη συνήθως δεν ξεπερνάει κατά πολύ τα 5 m/s ενώ μόνο κατά το έτος 2013 φαίνεται να ξεπερνάει τα 6 m/s



Σχήμα 42 : Ημερήσια και μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας στην Ιθάκη

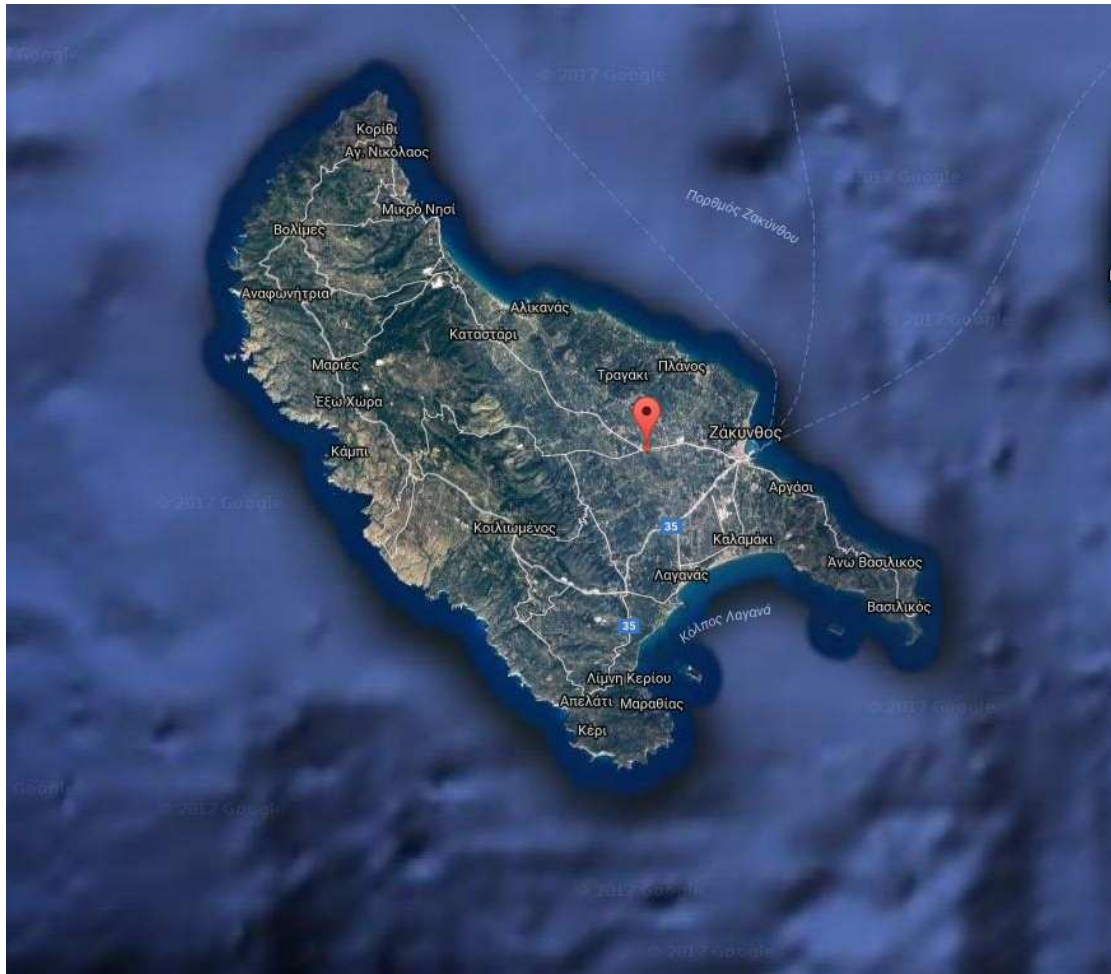
Στο παραπάνω ραβδόγραμμα παρατηρούμε εποχικότητα στην παραγωγή ενέργεια κατά τους χειμερινούς μήνες, με την μικρότερη παραγωγή να σημειώνεται κατά το Φθινόπωρο. Μέγιστη παραγωγή παρατηρείται τον Φεβρουάριο με περίπου 290 KWh/ημέρα. Η μέση ημερήσια παραγωγή είναι περίπου 190 KWh/ημέρα και η μέση ετήσια παραγωγή 69350 KWh/έτος.

	CF Enercon 50m	CF Enercon 60m	CF Enercon 70m	CF NTK 30m	CF Vestas 40m	CF Vestas 50m
2008	0,87%	0,95%	1,03%	0,06%	0,11%	0,14%
2009	0,94%	1,02%	1,11%	0,10%	0,17%	0,21%
2010	1,36%	1,48%	1,60%	0,20%	0,32%	0,40%
2011	0,54%	0,59%	0,63%	0,01%	0,03%	0,04%
2012	0,76%	0,83%	0,90%	0,06%	0,10%	0,13%
2013	1,06%	1,15%	1,24%	0,26%	0,31%	0,36%
2014	1,92%	2,09%	2,27%	0,13%	0,25%	0,32%
2015	1,28%	1,39%	1,51%	0,11%	0,22%	0,27%
2016	0,78%	0,85%	0,92%	0,08%	0,15%	0,19%
<b>Average</b>	<b>1,06%</b>	<b>1,15%</b>	<b>1,24%</b>	<b>0,11%</b>	<b>0,18%</b>	<b>0,23%</b>

Σχήμα 43 : Ετήσιοι και μέσοι CF για την Ιθάκη

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι ο CF εμφανίζει μέγιστο το 2014 με ποσοστό 2,27% για την ανεμογεννήτρια Enercon E-53 στο ύψος των 70 μέτρων και μέσο όρο 1,24%.

## 4.6 Ζάκυνθος



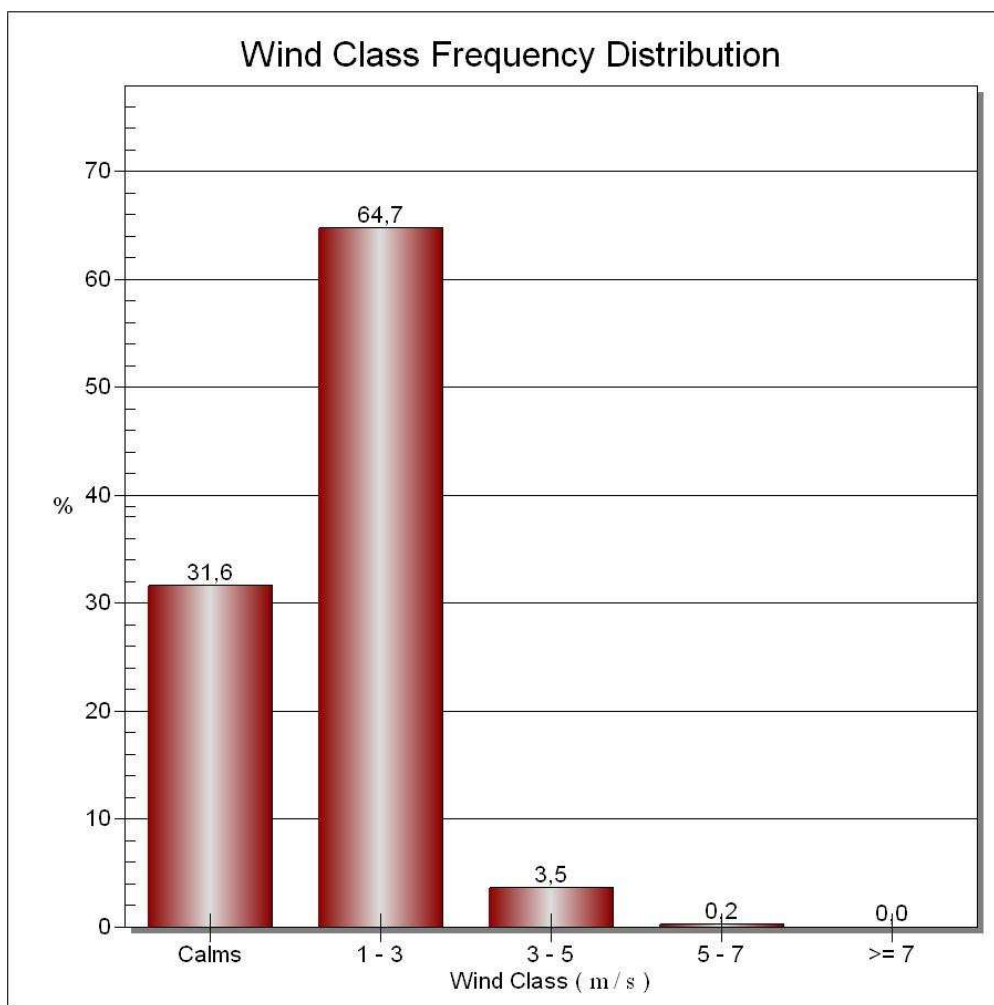
Σχήμα 44 : Τοποθεσία σταθμού μετρήσεων στην Ζάκυνθο

Ο σταθμός βρίσκεται στην τοποθεσία με συντεταγμένες:

LAT: 37deg 48min

LONG: 20deg 48min

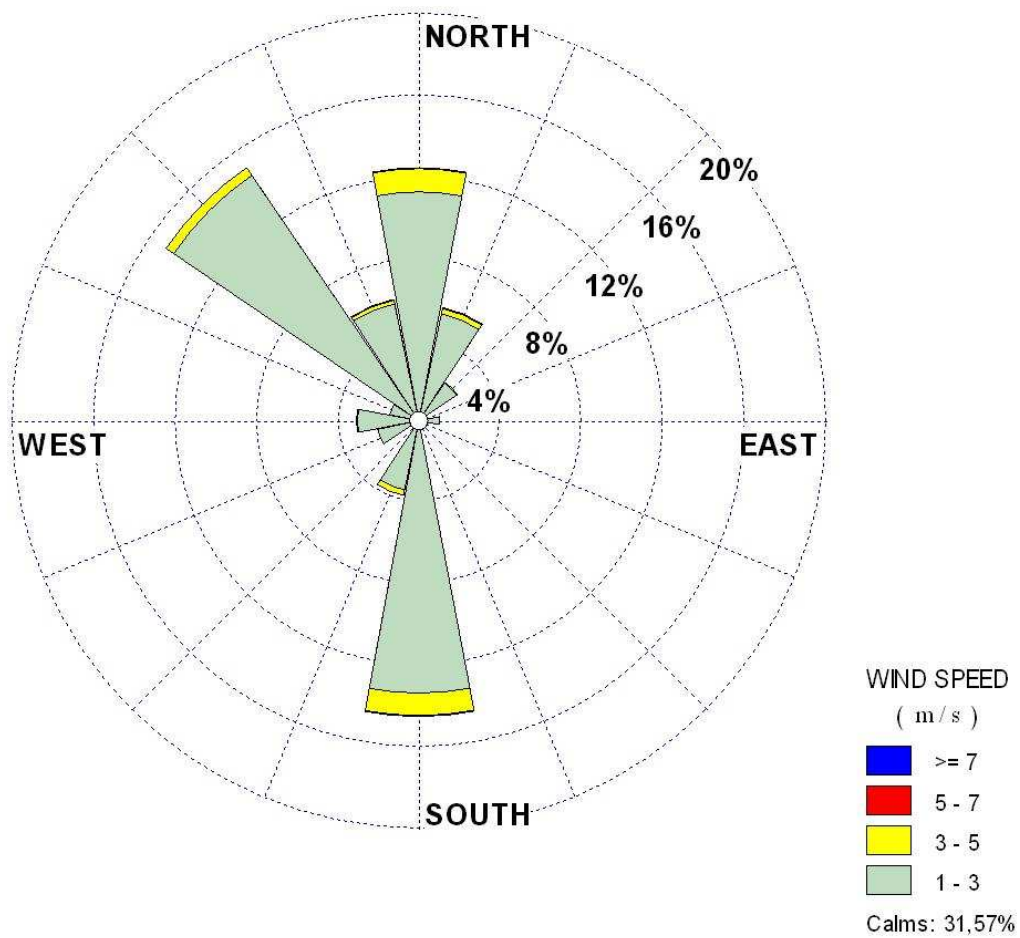
και σε υψόμετρο 10m



**Σχήμα 45 : Συχνότητα εμφάνισης ταχυτήτων ανέμου στην Ζάκυνθο**

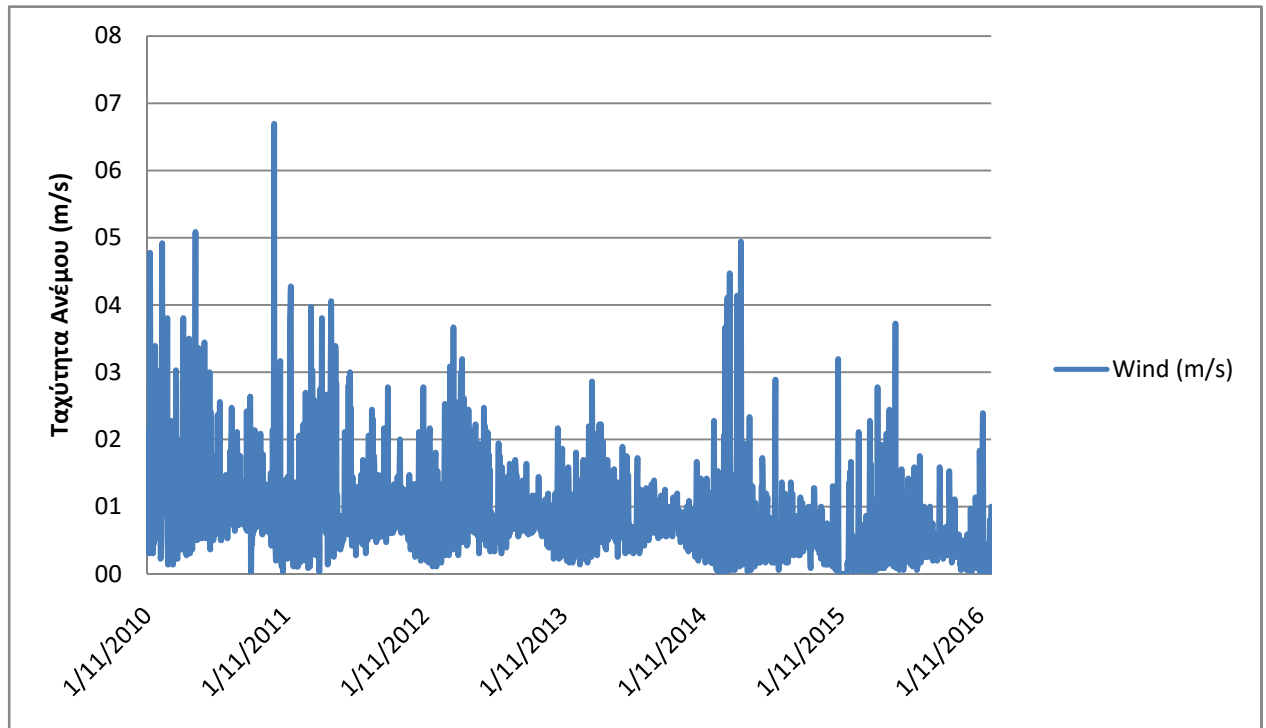
Από το παραπάνω ραβδόγραμμα παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της μετρούμενης ταχύτητας του ανέμου (64,7%) κυμαίνεται μεταξύ 1-3 m/s. Οι νηνεμίες καταλαμβάνουν το 31,6% ενώ άνεμοι ταχύτητας 3-5 m/s εμφανίζονται σε ποσοστό 3,5 % . Ταχύτητες 5-7 m/s παρατηρούνται ελάχιστα (0,2%) ενώ ταχύτητες μεγαλύτερες από 7 m/s δεν παρατηρούνται καθόλου.





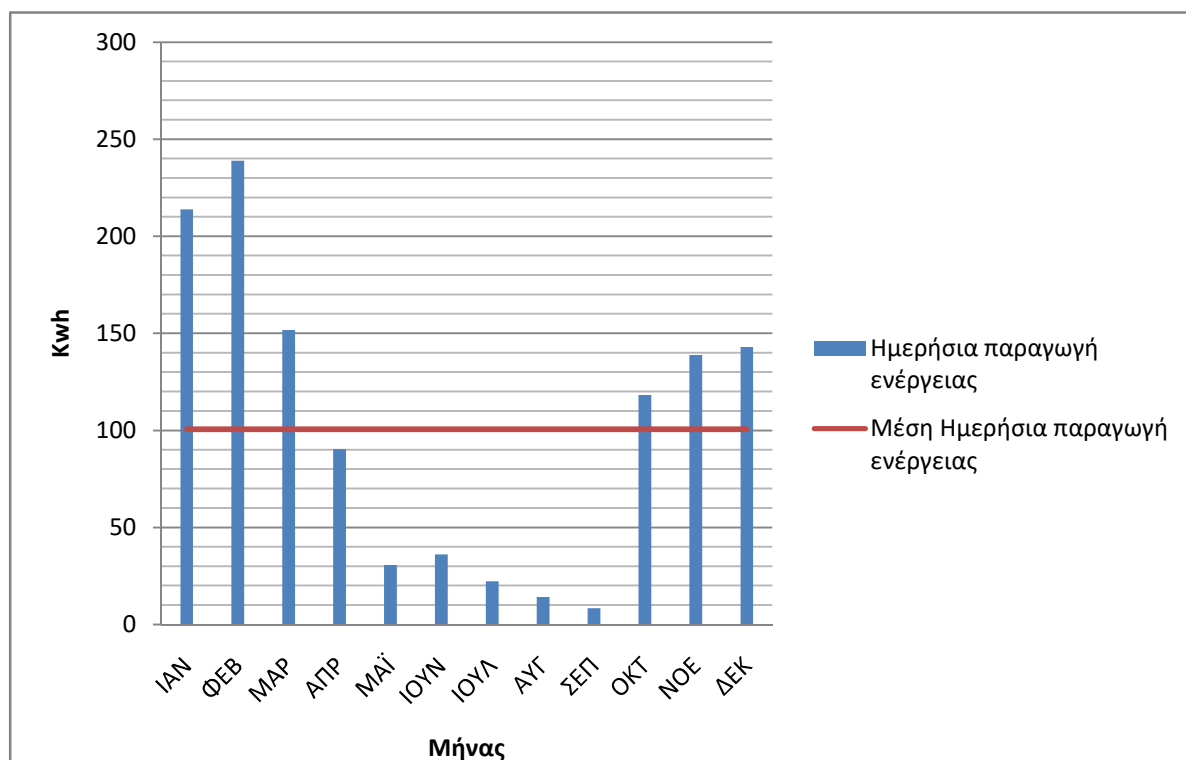
**Σχήμα 46 : Πολικό διάγραμμα ταχυτήτων και διεύθυνσης ανέμου στη Ζάκυνθο**

Σύμφωνα με το πολικό διάγραμμα παρατηρούμε ότι στην Ζάκυνθο επικρατούν κυρίως βορειοδυτικοί άνεμοι ( ~15%), αλλά νοτιάδες (~14%) και βοριάδες (~13%)



**Σχήμα 47 : Ταχύτητες ανέμου για την χρονική περίοδο 2010-2016 για τη νήσο Ζάκυνθο**

Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω διάγραμμα, η ταχύτητα του ανέμου στην Ζάκυνθο για τα έτη 2010-2016 δεν ξεπερνάει τα 7 m/s.



Σχήμα 48 : Ημερήσια και μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας στην Ζάκυνθο.

Παρατηρούμε εποχικότητα στην παραγωγή ενέργειας με αύξηση αυτής από τον Οκτώβριο και με μέγιστη παραγωγή τον Φεβρουάριο κάτι λιγότερο από 240 KWh/ημέρα. Η μέση ημερήσια παραγωγή είναι περίπου 100 KWh/ημέρα και η μέση ετήσια παραγωγή ανέρχεται περίπου σε 36500 KWh/έτος.

Έτος	CF Enercon 50m	CF Enercon 60m	CF Enercon 70m	CF NTK 30m	CF Vestas 40m	CF Vestas 50m
2010	2,5%	2,7%	2,9%	0,7%	0,9%	1,1%
2011	2,29%	2,51%	2,71%	0,58%	0,54%	0,65%
2012	1,37%	1,51%	1,63%	0,26%	0,24%	0,30%
2013	0,87%	0,96%	1,04%	0,16%	0,18%	0,22%
2014	0,59%	0,65%	0,70%	0,13%	0,17%	0,20%
2015	0,50%	0,54%	0,58%	0,13%	0,17%	0,20%
2016	0,12%	0,13%	0,14%	0,01%	0,01%	0,02%
<b>Average</b>	<b>1,2%</b>	<b>1,3%</b>	<b>1,4%</b>	<b>0,3%</b>	<b>0,3%</b>	<b>0,4%</b>

Σχήμα 49 : Ετήσιοι και μέσοι CF για την Ζάκυνθο.

Παρατηρούμε ότι ο CF εμφανίζει μέγιστο το 2011 με ποσοστό 2,71% για την ανεμογεννήτρια Enercon E-53 στο ύψος των 70 μέτρων και μέσο όρο 1,4%.

## Συμπεράσματα- Σχόλια

Στην παρούσα εργασία, εξετάστηκε η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού πέντε νησιών του Ιονίου. Σύμφωνα με την «Έκθεση για τον τομέα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. στο πλαίσιο του σχεδιασμού αναμόρφωσης του μηχανισμού στήριξης» του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας το 2012, ο CF είναι 24,5% για τους σταθμούς που βρίσκονται στα διασυνδεδεμένα νησιά και στο ηπειρωτικό σύστημα, 30% για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά και 38% για τους θαλάσσιους αιολικούς σταθμούς. [18]

	CF Enercon 50m	CF Enercon 60m	CF Enercon 70m	CF NTK 30m	CF Vestas 40m	CF Vestas 50m
<b>Κέρκυρα</b>	3,24%	3,55%	3,84%	0,56%	0,85%	1,04%
<b>Παξοί</b>	1,29%	1,42%	1,55%	0,11%	0,18%	0,23%
<b>Λευκάδα</b>	13,70%	14,60%	15,40%	8,50%	8,70%	9,50%
<b>Ιθάκη</b>	1,06%	1,15%	1,24%	0,11%	0,18%	0,23%
<b>Ζάκυνθος</b>	1,20%	1,30%	1,40%	0,30%	0,30%	0,40%

Σχήμα 50 : Μέσοι CF της κάθε Α/Γ για κάθε νησί

Όπως παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα, σε κανένα νησί δεν εμφανίζεται ο μέσος CF μεγαλύτερο από 15,4% και αυτό συμβαίνει μόνο με την Α/Γ Enercon E-58 για το ύψος των 70m. Αν κοιτάξουμε τους αναλυτικούς πίνακες των CF για κάθε νησί ξεχωριστά, θα παρατηρήσουμε ότι μόνο στη Λευκάδα εμφανίζονται σχετικά «καλές» τιμές του CF μόνο για την Α/Γ Enercon E-58 στο ύψος των 70m.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες περιοχές οι μετρητικοί σταθμοί βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο και κοντά σε πόλεις, πράγμα που σημαίνει ότι οι μετρήσεις σε κάποιο άλλο τμήμα των νησιών (σε βουνά ή σε προσήνεμα σημεία) μπορεί να είναι ευνοϊκές για τοποθέτηση ανεμογεννητριών. Θα πρέπει επομένως να γίνει μια πιο εξειδικευμένη μελέτη στους τόπους ενδιαφέροντος έτσι ώστε να μπορούμε να πούμε με σιγουριά εάν συμφέρει ή όχι η αξιοποίηση αιολικών πάρκων στις εν λόγω περιοχές.

Βλέποντας λοιπόν όλα τα στοιχεία συγκεντρωτικά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στα συγκεκριμένα νησιά του Ιονίου και στις συγκεκριμένες περιοχές δεν είναι βιώσιμη η επένδυση σε αιολικά πάρκα, εκτός από τη Λευκάδα που εμφανίζει θετικές προοπτικές, δεδομένων των τιμών του CF που βρήκαμε.

## Βιβλιογραφία

- [1] Καπλάνη Αλεξάνδρα, "Το Ενεργειακό Πρόβλημα στη Σύγχρονη Εποχή," 1ο Λύκειο Βύρωνα, Αθήνα, 2013.
- [2] Χατζής Κωνσταντίνος, "Το Ενεργειακό Πρόβλημα και η Λύση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας - Παράδειγμα Δημιουργίας Φωτοβολταϊκού Πάρκου 100 KW στο Αεροδρόμιο της Ν. Αγχιάλου," Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας - Τμήμα Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος, 2008.
- [3] Μαρίνος-Κουρής Δημήτριος, "Το ενεργειακό πρόβλημα αναζητεί λύση," *The Economist*, no. 31, p. 82, 2006.
- [4] (2016, Ιούνιος) [www.bp.com](https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf). [Online].  
<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>
- [5] Wikipedia. [Online].  
[https://en.wikipedia.org/wiki/World\\_energy\\_consumption#cite\\_note-2](https://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption#cite_note-2)
- [6] ΚΑΠΕ. (2004, Aug.) Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας. [Online].  
<http://www.cres.gr/kape/news/deltia/perivallon.htm>
- [7] Eurostat. (2016, June) Παραγωγή και εισαγωγές ενέργειας. [Online].  
[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy\\_production\\_and\\_imports/el](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports/el)
- [8] Κωνσταντίνος Φαϊτατζόγλου, "Η Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα," Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας, 2008.
- [9] Ιωάννης Ελαφρός. (2015, Jan.) Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ. [Online].  
<http://www.kathimerini.gr/801321/article/epikairothta/perivallon/h-aiolikh-energeia-anaptyssetai-dynamika>
- [10] Ιωάννης Χριστάκης and Ιωάννης Αθανασόπουλος, "Αιολική Ενέργεια Στην Ελλάδα Και Οικονομική Αξιολόγηση," Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα, Αιγάλεω, 2016.
- [11] Αραμπατζής Γεώργιος, Αγγελής - Δημάκης Αθανάσιος, Καρταλίδης Αβραάμ, Τσιλιγκιρίδης Γεώργιος Ασημακόπουλος Διονύσης, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας - Δυναμικό & Τεχνολογίες*. Θεσσαλονίκη: Σοφία, 2015.
- [12] Καββαδίας Κοσμάς Καλδέλλης Ιωάννης, *Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας*. Αθήνα: Αθ. Σταμούλης, 2001.

- [13] Ktenidis P. , Papadopoulos E., Kaldellis J., "Future Possibilities and Aerodynamic Limits for the Design of Advanced Wind Turbine Blades,".
- [14] J.P. Molly, *Windenergie*. Karlsruhe: Verlag C.F, 1990.
- [15] Earth 104 - Penn State University. [Online]. <https://www.education.psu.edu/earth104/node/923>
- [16] Ιωάννης Καλδέλλης, *Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας*. Αθήνα: Εκδ. Σταμούλης, 1999.
- [17] Le Gourieres D, *Energie Eolienne, Theorie, Conception et Calcul Pratique des Installations*. Paris: Eyrolles, 1980.
- [18] ΥΠΕΚΑ. (2012, Απρίλιος) [www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr). [Online]. <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=ayq57alx1P4%3D&tabid=37&>