



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

---

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

---



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : Διερεύνηση του αιολικού δυναμικού αντιπροσωπευτικών περιοχών  
της Μακεδονίας**

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ**

**ΣΙΑΧΟΥΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (ΑΜ 45133)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**Δρ. ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2021**

## ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

α/α	Όνοματεπώνυμο	Υπογραφή
1	ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ	
2	ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ ΚΟΣΜΑΣ	
3	ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	

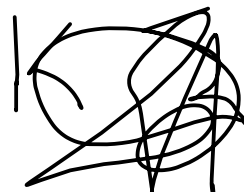
## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΣΙΑΧΟΥΛΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ του ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ με αριθμό μητρώου 45133 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη Σχολή Μηχανικών και συγκεκριμένα στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Μουστρή Κωνσταντίνο, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το αντικείμενο αυτό, για τη άψογη συνεργασία που είχαμε και την πολύτιμη καθοδήγησή του, καθόλη τη διάρκεια πραγματοποίησης της εργασίας αυτής.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω και σε όλους τους καθηγητές που είχα όλα τα χρόνια της μέχρι στιγμής ακαδημαϊκής μου ζωής, για την συνεργασία τους και για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν.

Ιδιαίτερα δε, οφείλω να ευχαριστήσω γονείς, συγγενείς και φίλους καθότι με την στήριξη τους με βοήθησαν καθόλη την διάρκεια των σπουδών και μέχρι το τέλος του πτυχίου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο 21<sup>ος</sup> αιώνας χαρακτηρίζεται από πολλές τεχνολογικές εξελίξεις αυξάνοντας τους ρυθμούς ανάπτυξης και την ταχύτητα διάδοσης των γνώσεων. Τα παραπάνω συνέβαλαν στην αντικατάσταση παλαιών συνήθειών και στην υιοθέτηση νέων, πάντα σε συνδυασμό με την ανάγκη αντιμετώπισης νέων απαιτητικών προκλήσεων. Κύριο παράδειγμα της παραπάνω αναφοράς είναι η ενέργεια. Η έλλειψη ορυκτών πόρων στην αγορά αλλά και η αβεβαιότητα κάλυψης των αναγκών από τα υπάρχοντα κοιτάσματα (πηγές) για τις επόμενες δεκαετίες μας κάνει να στραφούμε ολοένα στην ενεργειακή μετάβαση και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν πολλά και σημαντικά οφέλη και το σημαντικότερο, θεωρούνται οικονομικά αποδοτικότερες από τα ορυκτά καύσιμα.

Μια μορφή ήπιας ενέργειας με χαμηλές επιπτώσεις προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο είναι η αιολική ενέργεια. Για την αξιοποίηση της γίνεται χρήση ανεμογεννητριών μεμονωμένα είτε συνολικά σε αιολικά πάρκα. Πολλές είναι οι μελέτες και οι μετρήσεις που γίνονται για την τοποθέτηση μιας Α/Γ στην κατάλληλη περιοχή, με αποτέλεσμα την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού. Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού δημιουργεί καταστάσεις παραγωγής ενέργειας που όχι μόνο ωφελούν την καθημερινότητα μας αλλά δεν βλάπτουν σημαντικά και το περιβάλλον.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εστιάζει στην διερεύνηση του αιολικού δυναμικού αντιπροσωπευτικών περιοχών της Μακεδονίας. Έγινε λήψη για 10 σημεία της περιφέρειας και η επιλογή τους έγινε σύμφωνα με κάποια κριτήρια όπως το υψόμετρο, το χρονολογικό υπόβαθρο δεδομένων κτλ. Η παρακάτω διπλωματική χωρίζεται σε 5 κεφάλαια. Κύριες αναφορές του 1<sup>ου</sup> Κεφαλαίου είναι το ενεργειακό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η παγκόσμια κοινότητα και μαστίζει την κοινωνία, γίνεται αναφορά της τρέχουσας κατάστασης αποθεμάτων ενέργειας και κινδύνων που караδοκούν ενώ αποτυπώνονται η ενεργειακή ζήτηση και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αποτυπώνεται η αιολική ενέργεια αρχίζοντας από το "τι εστι", μια ιστορική αναδρομή αλλά και την πορεία της στην Ελλάδα, την Ευρώπη και το παγκόσμιο στερέωμα. Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις ανεμογεννήτριες, τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, τα είδη τους καθώς και κάποια οικονομικά στοιχεία. Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, ο υπολογισμός και ο τρόπος ανάλυσης των μετρήσεων που πάρθηκαν παρουσιάζονται στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο ενώ στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο πραγματοποιείται η διερεύνηση και μελέτη του αιολικού δυναμικού των επιλεγμένων περιοχών και συνολικά της Μακεδονίας.

Από ανεμογεννήτριες χρησιμοποιήθηκαν η E-48 της ENERCON και η NTK-300 της ABB με 800 kW και 300 kW αντίστοιχα. Οι επικρατέστερες και καταλληλότερες περιοχές για εγκατάσταση Α/Γ αποδείχθηκε ότι είναι η περιοχή του Καϊμακτσαλάν και της Βασιλίτσας. Ο συντελεστής Capacity Factor όσον αφορά το Καϊμακτσαλάν για την E-48 είχε μέσο όρο 27,14% ενώ για την NTK-300 21,05%. Για την Βασιλίτσα ήταν 26,78% για την Α/Γ 800kW και 20,61% για αυτήν των 300kW. Οι υπόλοιπες περιοχές παρουσιάζουν πολύ χαμηλό αιολικό δυναμικό και συνάμα συντελεστή CF (<8%) αν αναλογιστεί κανείς ότι ο ετήσιος συντελεστής χωρητικότητας στην Ελλάδα φτάνει το 20%.

## SUMMARY

The 21st century is characterized by several technological developments increasing the growth rate and the rapid dissemination of knowledge. The above contributed to the replacement of old habits and the adoption of new one, always in combination with the need to face new demanding challenges. The main example of the above reference is the energy. The lack of mineral resources in the market but also the uncertainty of covering the needs from the existing deposits (sources) for the next decades make us turn more and more to the energy transition and renewable energy sources (RES). Renewable energy sources have many significant benefits and, most importantly, are considered to be more cost-effective than fossil fuels.

A type of mild energy with low impact on the environment and human being is the wind energy. For its utilization, wind turbines are used either individually or as a whole in wind farms. There are many studies and measurements that are made for the placement of an W/T (Wind Turbines) in the appropriate area, resulting in the utilization of wind potential. The assessment of wind potential creates energy production situations that not only benefit our daily lives but also they do not greatly harm the environment.

This specific thesis focuses on the investigation of the wind potential of representative regions of Macedonia. In 10 places of the region were taken and their selection was made according to some criteria such as altitude, chronological data background, etc. The following diploma is divided into 5 chapters. The main references of Chapter 1 are the energy problem faced by the world community and plague society, it refers to the current state of energy reserves and the dangers that lurk while capturing energy demand and environmental impact. The Chapter 2 captures wind energy starting from "what actually is", a historical review but also its course in Greece, Europe and the world The Chapter 3 refers to wind turbines, their functional characteristics, their types as well as some financial data. The estimation of the wind potential, the calculation and the way of analysis for the measurements that are taken are presented in the 4<sup>th</sup> Chapter while in the 5<sup>th</sup> Chapter is carried out the investigation and study of the wind potential of the selected areas and the whole Macedonia.

From Wind turbines used ENERCON E-48 and ABB NTK-300 with 800 kW and 300 kW respectively. The most prevalent and suitable areas for the installation of W/T proved to be the area of Kaimaktsalan and Vasilitsa. The Capacity Factor about Kaikmatsalan for the E-48 had average 27.14% while for the NTK-300 21.05%. Vasilitsa had 26.78% average for the 800kW W/T and 20.61% for the 300kW. The rest of the areas present very low wind potential and at the same time CF coefficient (<8%) if we consider that the annual capacity coefficient in Greece reaches 20%.

## Περιεχόμενα

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ .....	2
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
SUMMARY.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ .....	9
1.1 Περιγραφή της κατάστασης σε παγκόσμια κλίμακα .....	9
1.2 Ενεργειακή ζήτηση .....	9
1.3 Ενεργειακό Πρόβλημα.....	11
1.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	11
1.5 Περιβαλλοντικές Συνέπειες .....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	13
2.1 Τι εστί αιολική ενέργεια .....	13
2.2 Ιστορική αναδρομή .....	14
2.3 Παγκόσμιος αιολικός χάρτης.....	17
2.4 Καθεστώς αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη και παγκοσμίως .....	18
2.5 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα.....	20
2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αιολικής ενέργειας.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ .....	23
3.1 Λειτουργία ανεμογεννητριών.....	23
3.2 Είδη ανεμογεννητριών .....	24
3.2.1 Α/Γ Οριζοντίου άξονα .....	24
3.2.2 Α/Γ Κατακόρυφου άξονα .....	25
3.3 Επιπλέον κατηγοριοποίηση.....	26
3.4 Λειτουργικά μέρη ανεμογεννήτριας .....	27
3.5 Οικονομικά στοιχεία.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ Κ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	32
4.1 Εκτίμηση αιολικού δυναμικού .....	32
4.2 Υπολογισμός διαθέσιμου αιολικού δυναμικού.....	36
4.3 Στάδια επεξεργασίας μετρήσεων.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ .....	39
5.1 Πηγή Δεδομένων.....	39

5.1.1 Επιλογή Ανεμογεννήτριας (Α/Γ) και προδιαγραφών της.....	41
5.1.2 Εύρεση και εκτίμηση της παραγόμενης ισχύος των Α/Γ .....	48
5.1.3 Υπολογισμός CF (Capacity FACTOR) .....	50
5.2 3-5 ΠΗΓΑΔΙΑ .....	52
5.3 ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑ.....	57
5.4 ΒΑΣΙΛΙΤΣΑ .....	62
5.5 ΚΑΙΚΜΑΤΣΑΛΛΑΝ.....	67
5.6 ΚΛΕΙΣΣΟΥΡΑ .....	72
5.7 ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ .....	77
5.8 ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑ .....	82
5.9 ΣΕΛΙ.....	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑ.....	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	94



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

### 1.1 Περιγραφή της κατάστασης σε παγκόσμια κλίμακα

Η κατανάλωση ενέργειας είναι κύριο χαρακτηριστικό βιοποριστικής ποιότητας και βιοτικού επιπέδου μιας χώρας. Είναι ο κινητήριος μοχλός τόσο για την καθημερινότητα του ανθρώπου όσο και για την ανάπτυξη της οικονομίας και της τεχνολογίας ενός τόπου.

Μέχρι τα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα ο άνθρωπος κάλυπτε τις ανάγκες του με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ηλιακή, αιολική (ανεμόμυλοι), κ' υδραυλική (νερόμυλοι). Με την βιομηχανική επανάσταση, όμως, τα ορυκτά καύσιμα και φυσικοί πόροι της Γης έγιναν οι κύριες εκμεταλλεύσιμες μορφές ενέργειας για τον άνθρωπο. Οι καθημερινές ανάγκες καλύπτονται παγκόσμια χρησιμοποιώντας συμβατικές μορφές ενέργειας όπως είναι ο άνθρακας, το πετρέλαιο, ο λιγνίτης κ.α. Έτσι στις μέρες μας η συνεχής ανεξέλεγκτη χρήση τους δημιουργεί το αποκαλούμενο ενεργειακό ζήτημα, πρόβλημα το οποίο επηρεάζει της ανθρώπινης διαβίωσης και του πλανήτη [1].

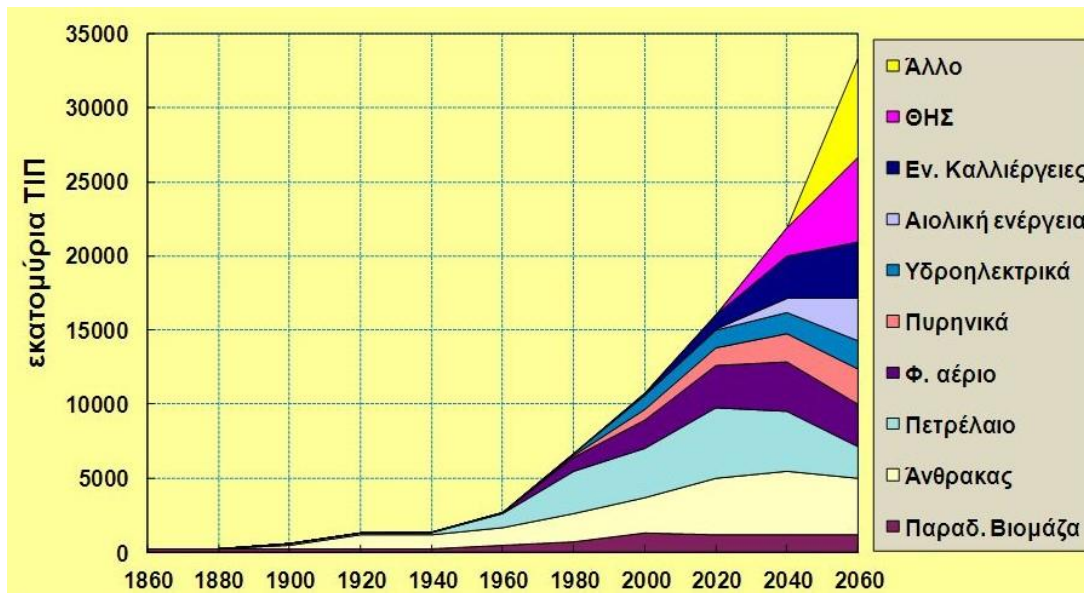
Τα συμβατικά καύσιμα και η ανεξέλεγκτη χρησιμοποίηση τους έχουν σαν αποτέλεσμα δύο πολύ σημαντικά προβλήματα. Πρώτον τις επιπτώσεις στο περιβάλλον που μόνο μελλοντικές δεν χαρακτηρίζονται αφού ήδη αντιμετωπίζονται και οι συνέπειες τους είναι καταστροφικές (βλέπε φαινόμενο θερμοκηπίου, τρύπα του όζοντος κτλ.). Δεύτερον την εξάντληση και μη διαθεσιμότητα των αποθεμάτων ενέργειας για τις επόμενες δεκαετίες [2].

Πολλές είναι οι χώρες που έχουν αντιληφθεί την επείγουσα κατάσταση και έχουν οδηγηθεί στην αξιοποίηση μιας πιο 'καθαρής' πηγής ενέργειας, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συγκεκριμένα η Ευρώπη έχει βάλει ως στόχο το 2050 να καταστεί η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος στον κόσμο, με ενδιάμεσο στόχο το 2030 να μειώσει κατά 55% τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [3],[4].

### 1.2 Ενεργειακή ζήτηση

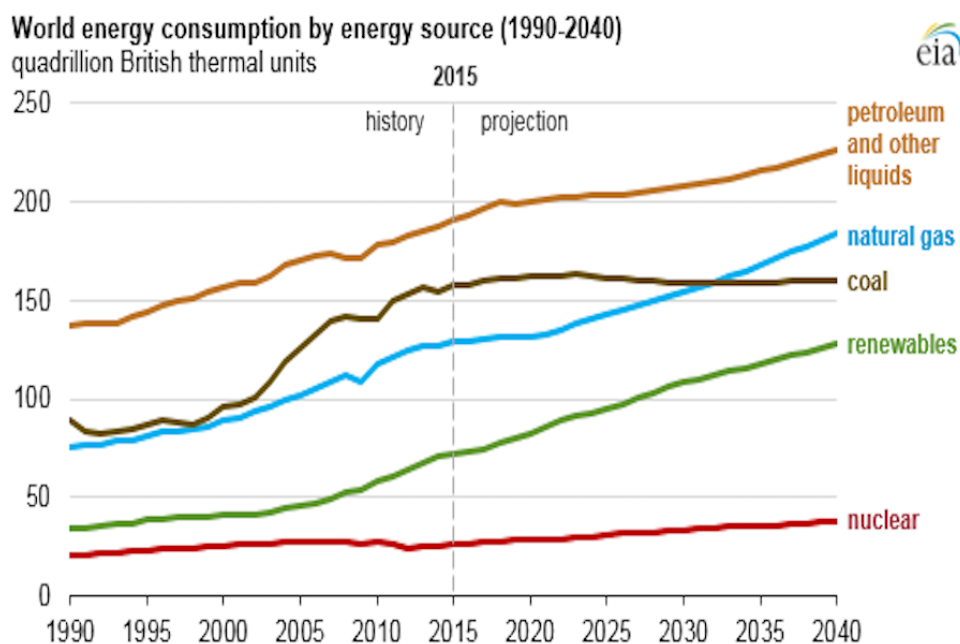
Η ενεργειακή ζήτηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την κατανάλωση ενέργειας από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Οδηγεί ολόκληρο το ενεργειακό σύστημα, επηρεάζοντας την θέση, την συνολική ενέργεια και τύπους καυσίμων που χρησιμοποιούνται στο σύστημα παροχής ενέργειας. Όταν μιλάμε για ζήτηση ενέργειας αναφερόμαστε σε όλες τις χρήσεις ενέργειας όπως ηλεκτρική ενέργεια, καύσιμα για θέρμανση, μεταφορά και βιομηχανικές κατεργασίες [5].

Το τρέχον ενεργειακό μας σύστημα βρίσκεται στην αρχή μιας περιόδου μαζικών αλλαγών. Η ενεργειακή ζήτηση ολοένα και αυξάνεται και προκειμένου να ανταποκριθούμε στην απειλή της κλιματικής αλλαγής θα πρέπει να εξαλειφθεί η χρήση ορυκτού καυσίμου και να γίνει επιτακτική η ανάγκη για αναζήτηση ήπιων μορφών ενέργειας.



Σχήμα 1 Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ετησίως [2]

Στην Κίνα, μια χώρα με υψηλά επίπεδα ζήτησης και κατανάλωσης ενέργειας, σύμφωνα με μια πρόβλεψη της CNPC, κρατική πετρελαϊκή εταιρία της Κίνας, η ενεργειακή ζήτηση της χώρας πρόκειται να κορυφωθεί σε 20 χρόνια σε 4.06 gtoe. Σε ότι αφορά την ενεργειακή ζήτηση για πετρέλαιο αναμένεται να ανέλθει σε 700 εκατομμύρια τόνους ετησίως μέχρι την επόμενη δεκαετία (2030), αύξηση της τάξης του 3% με σήμερα. Μέχρι το 2030 ο άνθρακας πρόκειται να αντικατασταθεί από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μέχρι το 2050 η Κίνα θα δρομολογήσει την εγκατάσταση νέων ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών συνολικής ισχύος 700 GW. Την ίδια ώρα που η συνολική ισχύς στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι 580 GW [6].



Σχήμα 2 Παγκόσμια κατανάλωση ανα πηγή ενέργειας για την περίοδο 1990-2040 [7]

### 1.3 Ενεργειακό Πρόβλημα

Η ενέργεια δεν είναι αναγκαίο μόνο για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών αλλά και για την μεγιστοποίηση της ωφελιμότητας που αναζητούν οι άνθρωποι στις προτιμήσεις τους όπως υποστηρίζουν τα οικονομικά της ευημερίας [8]. Η κατανάλωση της ενέργειας είναι το αντίστοιχο παράδειγμα με το ΑΕΠ μιας χώρας, αυτά τα δύο συμβαδίζουν και όσο αυξάνεται το ένα αυξάνεται και το άλλο.

Το ενεργειακό πρόβλημα πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 50 και προβληματίζει την ανθρώπινη κοινότητα όλο και περισσότερο λόγω της εξέλιξης του. Με τον όρο ενεργειακό πρόβλημα περιγράφουμε την σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και των αποθεμάτων της Γης, μια σχέση αντιστρόφως ανάλογη. Σαν αποτέλεσμα όσο αυξάνεται η αδιάκοπη κατανάλωση ενέργειας τόσο μειώνονται τα αποθέματα της Γης[9]. Συγκρίνοντας τις ενεργειακές ανάγκες του πρωτόγονου ανθρώπου, 6,3 MJ την ημέρα, με αυτές του σημερινού, 1000 MJ την ημέρα, γίνεται κατανοητό ότι καταναλώνεται 150 φορές περισσότερη ενέργεια σε σχέση με τότε. Σήμερα ο πληθυσμός της Γης είναι 8 δις περίπου και κάθε άνθρωπος καταναλώνει όσο 40 άνθρωποι πριν την βιομηχανική επανάσταση.

Το υψηλό περιβαλλοντικό κόστος έκανε επιτακτική την ανάγκη αντιμετώπισης του προβλήματος. Οι περιορισμένες ποσότητες συμβατικής ενέργειας που οδηγούνται στην εξάντληση τους, οι γεωγραφικές ανισοροπίες διανομής των αποθεμάτων καθώς και η ανάγκη σταθερότητας της ενεργειακής τροφοδοσίας είναι τα σημαντικότερα αίτια που οδηγούν στην συνειδητοποίηση και αντιμετώπιση του θέματος [10].

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος έχουν προταθεί διαφορετικές στρατηγικές, με τις δυο κύριες να είναι α) η εξοικονόμηση της ενέργειας [11] β) η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κ η αντικατάσταση των παλιών συμβατικών πηγών ενέργειας. Με τις δύο παραπάνω ενέργειες επιζητείται η χρυσή τομή μεταξύ ενεργειακού προβλήματος και μεγιστοποίηση αποτελεσματικότητας, ελαχιστοποίηση του κόστους και την βελτίωση της κοινωνικής ευημερίας [12].

### 1.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ [13]:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι με το πέρασμα του χρόνου εξαντλούνται...
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος. Έτσι, δίνετε η δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής ενώ παράλληλα μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας.

- Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών έως αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή), επιτυγχάνοντας πιο ορθολογική χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων, οικονομικά και κοινωνικά, περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με γεωθερμική ενέργεια).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα οι ΑΠΕ παρουσιάζουν και ορισμένα χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν την αξιοποίηση και ταχεία ανάπτυξή τους [13]:

- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος ώστε να μεταφερθεί και να αποθηκεύει.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων παραμένει ακόμη υψηλό.

### 1.5 Περιβαλλοντικές Συνέπειες

Την σημερινή εποχή η ανθρωπότητα καλείται να καταπολεμήσει την κλιματική αλλαγή και την καταστροφή του περιβάλλοντος, δύο πολύ σημαντικά προβλήματα. Κλιματική αλλαγή ονομάζουμε την μεταβολή του κλίματος από το ένα χρονικό διάστημα στο άλλο που αφορά την αύξηση της θερμοκρασίας της Γης, η οποία με την σειρά της αποσκοπεί στην αύξηση των συγκεντρώσεων αερίων στην ατμόσφαιρα. Η καύση των ορυκτών καυσίμων όπως το πετρέλαιο και ο λιγνίτης είναι υπεύθυνη για τις αυξημένες ποσότητες αερίων που βλάπτουν την ατμόσφαιρα και δημιουργούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το κύριο ρυπογόνο αέριο είναι το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub> [14].

Αν αναλογιστούμε ότι τα τελευταία 100 χρόνια ο πληθυσμός της Γης έχει τετραπλασιαστεί φτάνοντας τα 8 δις και το επίπεδο συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> έχει ανέβει κατά 30% τότε η κατάσταση οδηγείται στο ότι οι ανάγκες του ανθρώπου έχουν άμεση σχέση με τις

συμβατικές πηγές ενέργειας και αυτό πρέπει να αλλάξει. Η θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά 1,5°C, με φυσικό ακόλουθο την τήξη των πάγων και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 2 mm ανά έτος τα τελευταία 100 χρόνια [15].

Ο δρόμος για την αντιμετώπιση των παραπάνω είναι φυσικά η παγκόσμια μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μια λύση για ενεργειακή επάρκεια και βιωσιμότητα του πλανήτη, μια λύση που 'το παρόν δεν θα υποθηκεύει πλέον το μέλλον'.



Σχήμα 3 Ο πράσινος μονόδρομος των ΑΠΕ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 2.1 Τι εστί αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι ενέργεια που παράγεται με την εκμετάλλευση του ανέμου, είναι μια ήπια μορφή ενέργεια και δεν προκαλεί εκπομπή ρύπων κ.α. Για αυτό χαρακτηρίζεται ως “καθαρή” ενέργεια. Πήρε το όνομα της από την ελληνική μυθολογία και τον Αίολο, θεό του ανέμου.





Σχήμα 4 Αίολος, ο θεός των ανέμων [16]

Η αιολική ενέργεια είναι μια βιώσιμη και ανανεώσιμη ενέργεια με πολύ μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον σε σύγκριση με την καύση ορυκτών καυσίμων, γι' αυτό και σήμερα αποτελεί ελκυστική λύση στο δυσοίωνα πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» της είναι αποκεντρωμένο, δωρεάν και άφθονο. Δεν εκλύονται βλαβερά αέρια και ρύποι, ενώ οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι ελάχιστες σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα [16].

## 2.2 Ιστορική αναδρομή

Η αιολική ενέργεια εμφανίζεται ήδη από το 5000π.χ στον ποταμό Νείλο, που χρησιμοποιήθηκε από τους ανθρώπους, που κατασκεύασαν τα πρώτα πανιά, για την κίνηση των σκαφών τους. Το 200π.Χ στην Κίνα χρησιμοποιήθηκαν αντλίες νερού ενώ εμφανίστηκαν και οι πρώτοι ανεμόμυλοι στην Περσία και την Μέση Ανατολή για την παραγωγή τροφίμων. Οι έμποροι ήταν αυτοί που εξάπλωσαν τρόπους χρήσης της αιολικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο και την Ευρώπη [17]. Οι πρώτοι που ασχολήθηκαν στην Ευρώπη ήταν οι Ολλανδοί που ανέπτυξαν ανεμοφράκτες για την αποστράγγιση λιμνών και ελών στο δέλτα του Ρήνου. Οι μετανάστες μετέφεραν την γνώση της αιολικής ενέργειας στο δυτικό ημισφαίριο και στην συνέχεια άποικοι της Αμερικής χρησιμοποίησαν τους πρώτους ανεμόμυλους για βιοποριστικούς κ' κτηνοτροφικούς σκοπούς. Στις αρχές του 13<sup>ου</sup> αιώνα στην Αγγλία, την Γαλλία, την Ολλανδία και άλλες χώρες του ευρωπαϊκού στερεώματος εμφανίζεται ένας νέος τύπος ανεμόμυλου, αυτός του οριζόντιου άξονα που είναι διαφορετικός από τον προυπάρχων του κάθετου άξονα, και σηματοδοτήθηκε η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας [18],[19]. Στην Ολλανδία ξεκίνησε η μαζική εξάπλωση των ανεμόμυλων και ήταν αυτή που όχι μόνο χρησιμοποίησε την αιολική ενέργεια σε επίπεδο γεωργίας και κτηνοτροφίας αλλά βρήκε και ένα όπλο για την αντιμετώπιση των υψηλών επίπεδων υγρασίας.

Ακολούθησε μια ανοδική πορεία αξιοποίησης των δυνατοτήτων της αιολικής ενέργειας στα επόμενα χρόνια. Ένας νέος τύπος ανεμόμυλου εμφανίζεται στα μέσα του 18<sup>ου</sup> αιώνα, αυτός των πολλαπλών πτερυγίων, που ουσιαστικά μεταβάλλει την μετέπειτα πορεία ανάπτυξης και αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας. Αυτός ο τύπος αρχικά εφαρμόστηκε στην αντληση νερού για γεωργικές χρήσεις. Η πρώτη σύγχρονη κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε στην Δανία περίπου το 1900μ.χ και την ίδια περίοδο κατασκευάζεται στις ΗΠΑ ( Cleveland ) με ονομαστική ισχύ 12KW και διάμετρο ρότορα στα 17m. Το διάστημα 1850-1930 μ.Χ είχαν τοποθετηθεί στις ΗΠΑ περίπου έξι εκατομμύρια Α/Γ του συγκεκριμένου τύπου. Εκείνη την περίοδο ξεκίνησαν συστηματικές μέθοδοι σχεδιασμού Α/Γ καθώς και κατασκευάζονται με σταθερότερους ρότορες και σχεδιασμένα αεροδυναμικώς πτερύγια. Το 1910 εντοπίζονται στην Δανία μεγάλοι αριθμοί ανεμογεννητριών με σκοπό την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στα χωριά και το 1925 εισέρχονται δυναμικά στην αμερικάνικη αγορά. Το 1931 σε μια περιοχή μεταξύ Ουκρανίας και Ρωσίας, ονόματι Γιάλτα, γίνεται εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα παρόμοια με αυτήν που χρησιμοποιούμε σήμερα. Η ανεμογεννήτρια έχει χωρητικότητα 100 kW, πύργο ύψους 32 μέτρων και συντελεστή φόρτωσης 32% [20].



Σχήμα 5 Ιστορική εξέλιξη των ανεμογεννητριών με την πάροδο του χρόνου [21]

Σημαντικό επίτευγμα στην εξέλιξη στον χώρο της ενέργειας του ανέμου είναι η κατασκευή της πρώτης ανεμογεννήτριας μεγέθους μεγαβάτ, για την ακρίβεια 1.25 MW που κατασκευάστηκε από τον Palmer C. Putman και συνδεόταν με ένα τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο διανομής στο Castletown του Vermont. Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιήθηκαν και στον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο και συνέχισαν να διαδίδονται από χώρα σε χώρα. Στα τέλη της δεκαετίας του '60 κατασκευάζεται η πρώτη ανεμογεννήτρια παρόμοια σε σχεδιασμό με τις Α/Γ του σήμερα. Ήταν οριζόντιου άξονα με 3 λεπίδες και διάμετρο 24 μέτρων. Η ανεμογεννήτρια έχει χωρητικότητα 200 kW και χρησιμοποιεί μια νέα εφεύρεση, φρένα έκτακτης ανάγκης, η οποία εξακολουθεί να χρησιμοποιείται στις ανεμογεννήτριες σήμερα. Το 1973 λόγω της πετρελαϊκής κρίσης και της αύξησης τιμής του πετρελαίου ήταν η αρχή άνθισης της αιολικής ενέργειας και όλο και περισσότεροι στράφηκαν σε αυτή την πηγή ενέργειας. Τα πρώτα αιολικά πάρκα έκαναν την εμφάνιση τους, αρχικά το 1980 στο Crotched Mountain, ένα μικρό βουνό στη δυτική κομητεία Hillsborough, New Hampshire, στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το αιολικό πάρκο ήταν 0,6 MW, αποτελούμενο από 20 ανεμογεννήτριες με ισχύ 30 κιλοβάτ η καθεμιά. Εκείνη της περίοδο άρχισαν να ιδρύονται και οι πρώτες μεγάλες εταιρίες όπως η ENERCON, ZOND και VESTAS που στην συνέχεια κατοχύρωσαν μεγάλο μέρος της αγοράς. Δεν αργήσαν να δημιουργηθούν και τα πρώτα αιολικά πάρκα στην Ευρώπη. Το 1991 στην Δανία δημιουργείται το πρώτο υπεράκτιο αιολικό πάρκο αποτελούμενο από 11 Α/Γ 450KW ενώ στην Αγγλία έχουμε παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω 10 Α/Γ σε 2500 σπίτια [20].



Σχήμα 6 Το πρώτο υπεράκτιο πάρκο στην Δανία το 1991 [22]

Για λίγα χρόνια η δραστηριότητα αξιοποίησής της αιολικής ενέργειας παρέμενε στάσιμη ωστόσο η κατασκευή του αιολικού πάρκου στο Utgrunden με 7 ανεμογεννήτριες των 1.5 MW ήταν ορόσημο για πολύ αξιόλογες προσπάθειες στο μέλλον. Μέχρι το 2008 δημιουργήθηκαν και άλλα αιολικά πάρκα σε χώρες όπως η Σουηδία, η Δανία και στις ΗΠΑ.



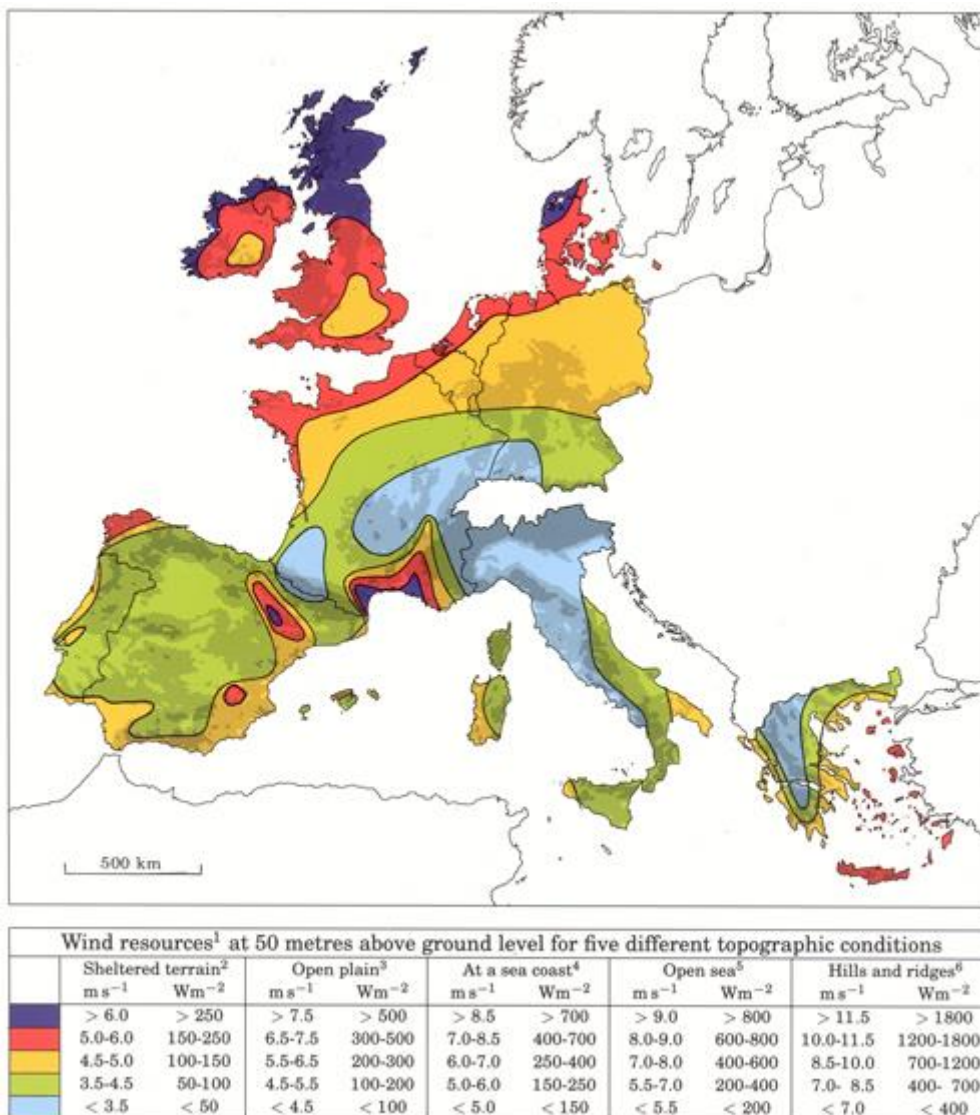
Το 2012 Η αιολική ενέργεια γίνεται η κύρια πηγή νέας ισχύος στις ΗΠΑ, 45.000 ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται, αντιπροσωπεύοντας το 42% του συνόλου ισχύος των ΗΠΑ. Την ίδια χρόνια η παγκόσμια παραγόμενη αιολική ενέργεια φτάνει τα 282.587 MW. Τα επόμενα χρόνια ενδεικτικά η Κίνα, οι ΗΠΑ, και η Γερμανία έφτασαν να έχουν 75 MW, 60 MW και 31 MW παραγόμενης ισχύος αντίστοιχα. Ακολουθούν χώρες με πλούσιο αιολικό δυναμικό όπως Ισπανία, Ιταλία και Γαλλία με μικρότερα επίπεδα παραγόμενης ενέργειας [20].

### 2.3 Παγκόσμιος αιολικός χάρτης

Μια καλή ενεργειακή πηγή που κατανέμεται εξίσου σε όλον τον πλανήτη είναι οι άνεμοι. Από έρευνες έχει παρουσιαστεί ότι η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας αυτή την στιγμή ισοδυναμεί περίπου με το 1-2% της συνολικής ενέργειας που μπορούν να προσφέρουν οι άνεμοι παγκοσμίως. Με σκοπό την αξιολόγηση αυτού του πόρου ποσοτικά και ποιοτικά το 1981 η WMO (Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Σταθμός ) ξεκίνησε μια μελέτη του παγκόσμιου αιολικού δυναμικού και δημιουργήθηκε ένας χάρτης αιολικής ενέργειας σε  $W/m^2$  σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος, τα στοιχεία πάρθηκαν από το παγκόσμιο δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών [23].

Αρχικά στον χάρτη δεν λήφθηκαν υπόψιν χαρακτηριστικά όπως το ανάγλυφο του εδάφους, η τοπογραφία, η χρήση των γαιών και η προσιτότητα του ανέμου, παρόλα αυτά σήμερα τα παραπάνω διορθώθηκαν.

Πολλές χώρες όπως οι ΗΠΑ έφτιαξαν τον δικό τους αιολικό χάρτη όπως και η Ευρώπη παρουσίασε τον δικό της αιολικό χάρτη στηριζόμενη στον Ευρωπαϊκό Αιολικό Άτλαντα. Συγκεκριμένα στις περιοχές της Ευρώπης έχουν δημιουργηθεί χάρτες που παρουσιάζουν την ταχύτητα και την ισχύ του ανέμου για διάφορες τοπογραφικές περιοχές και σε 50m πάνω από το έδαφος. Επιπρόσθετα χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία έχουν αναλάβει προσωπικά την αξιολόγηση και μελέτη του αιολικού δυναμικού τους και δεσμεύτηκαν με την χρήση της αιολικής ενέργειας.

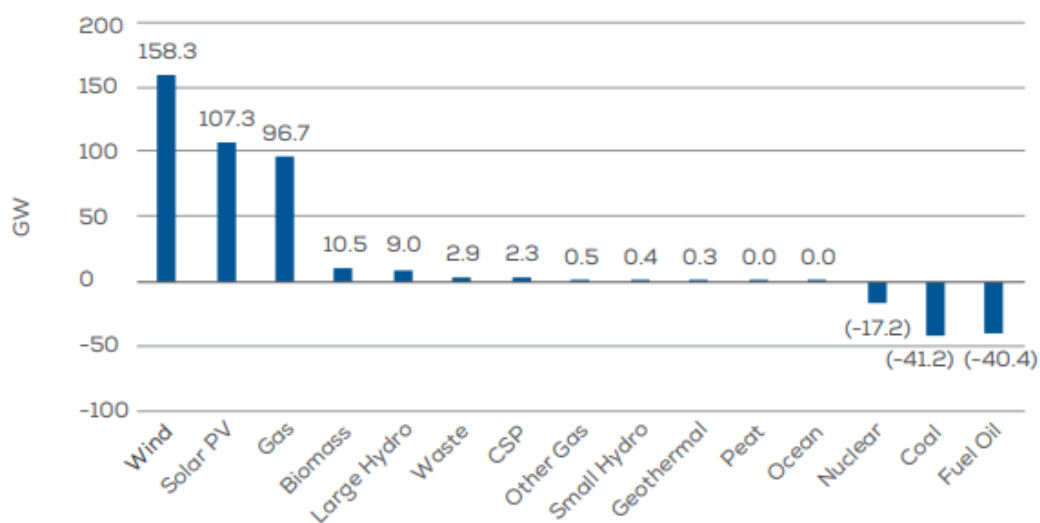


Σχήμα 7 Αιολικός χάρτης της Ευρώπης [24]

## 2.4 Καθεστώς αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη και παγκοσμίως

Η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ε.Ε είναι αστραπιαία καθώς από το 2000 και έπειτα η συνολική ισχύς οχταπλασιάστηκε. Ο ευρωπαϊκός τομέας χρειάστηκε 20 χρόνια για να φτάσει τα πρώτα 10 GW και 13 ακόμα χρόνια για να προστεθούν 90 GW επιπλέον. Το 2010 η πραγματική ισχύς άγγιξε τα 84,6 GW, το 2012 τα 106 GW, ενώ το 2017 προστέθηκαν άλλα 16,8 GW στην Ευρώπη και 15,8 GW νέας αιολικής ενέργειας στην Ε.Ε. Στην Ευρώπη το 2020 εγκαταστάθηκαν νέα αιολικά πάρκα ισχύος 14,7 GW, από τα οποία τα 10,5 GW είναι στην Ε.Ε και κάλυψαν το 16% της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώθηκε. Συνολικά, σύμφωνα με την Wind Europe, η συνολική εγκαταστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στην Ε.Ε ανέρχεται σε 170 GW εκ των οποίων το 90,5% είναι χερσαία αιολικά και το υπόλοιπο 9.5% είναι υπεράκτια [25].

Net electricity installations in the EU from 2000 to 2017



Source: WindEurope

Σχήμα 8 Δίκτυο εγκατεστημένης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη τη περίοδο 2000-2017 [26]

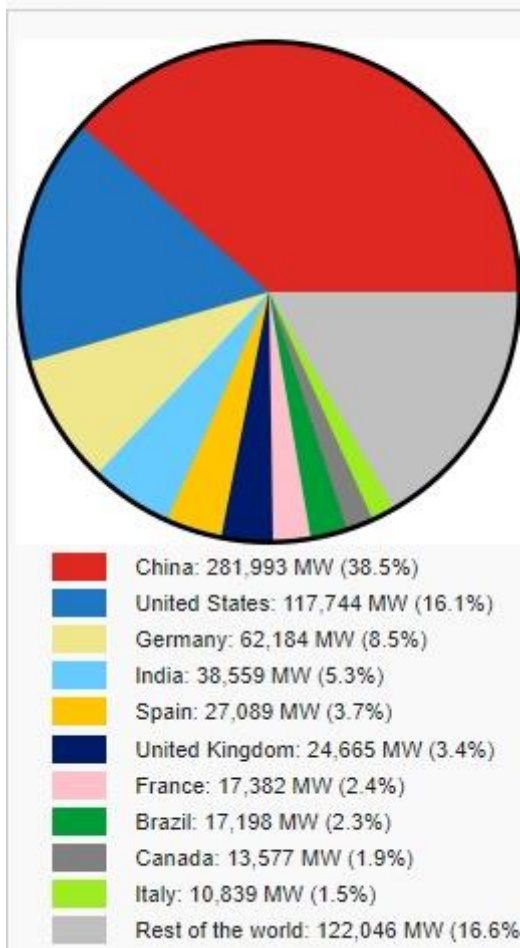
Σύμφωνα με την World Wind Energy Association, η συνολική εγκαταστημένη ισχύ αιολικής ενέργειας παγκοσμίως φτάνει τα 744000 MW καλύπτοντας το 7% της ετήσιας καταναλωθείσας ηλεκτρικής ενέργειας.

Πρωταθλήτριες χώρες στην συνολική εγκαταστημένη ισχύ αιολικών είναι α) η Κίνα με 290000 MW, β) οι ΗΠΑ με 122328 MW, γ) η Γερμανία με 62784 MW, δ) η Ινδία με 38625 MW, ε) και η Ισπανία με 27446 MW. Τα παραπάνω στατιστικά παρουσιάστηκαν στις 24 Μαρτίου το 2021 από την WWCA [27].

#	Country or territory	2014 <sup>[24]</sup>	2015 <sup>[3]</sup>	2016 <sup>[25]</sup>	2017 <sup>[26]</sup>	2018 <sup>[27]</sup>	2019 <sup>[15]</sup>	2020 <sup>[28]</sup>
1	China	114,763	145,104	168,690	188,232	211,392	236,320	281,993
-	European Union	128,752	141,579	153,730	169,319	178,826	192,020	201,507
2	United States	65,879	74,472	82,183	89,077	96,665	105,466	117,744
3	Germany	39,165	44,947	50,019	56,132	59,311	61,357	62,184
4	India	22,465	27,151	28,665	32,848	35,129	37,506	38,559
5	Spain	22,987	23,025	23,075	23,170	23,494	25,808	27,089
6	United Kingdom	12,440	13,603	15,030	18,872	20,970	23,515	24,665
7	France	9,285	10,358	12,065	13,759	15,309	16,643	17,382
8	Brazil	5,939	8,715	10,740	12,763	14,707	15,452	17,198
9	Canada <sup>[29]</sup>	9,694	11,205	11,898	12,239	12,816	13,413	13,577
10	Italy	8,663	8,958	9,257	9,479	9,958	10,512	10,839

Σχήμα 9 Συνολική ετήσια εγκατεστημένη ισχύ αιολικών ανά χώρα [28]

Top 10 countries by cumulative wind capacity in 2020



Σχήμα 10 Τοπ 10 χώρες σε εγκατεστημένη αιολική ισχύ το 2020 [28]

## 2.5 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Η ΔΕΗ ήταν αυτή που εγκατέστησε το πρώτο αιολικό πάρκο στο νησί της Κύθνου το 1982, αυτή είναι και από τις πρώτες προσπάθειες αξιοποίησης και εκμετάλλευσης της ενέργειας των ανέμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το πάρκο αποτελούνταν από 5 Α/Γ των 20 KW μαζί με 100 KW από φωτοβολταϊκά και σαν πρώτο υβριδικό σύστημα κατάφεραν έως και 25% εισχώρηση των ΑΠΕ στο δίκτυο του νησιού [29].

Ο ρυθμός εγκατάστασης αιολικών πάρκων αυξήθηκε κατά την δεκαετία του 90, ιδιαίτερα με τον νόμο Ν.2244/94 που η εγκατάσταση αιολικού πάρκου έγινε επιτρεπτή από ιδιώτες με την προϋπόθεση ότι η παραγωγή θα πωλείται στην ΔΕΗ. Από τότε η εγκατάσταση ισχύς αιολικών στην Ελλάδα ξεπερνά τα 4000 MW.

Το 2020 ήταν ένα έτος γεμάτο ρεκόρ σε ότι έχει να κάνει με την αιολική ενέργεια στην Ελλάδα, ως προς την ισχύ των εγκαταστάσεων αλλά και στο ποσοστό διείσδυσης στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Σύμφωνα με την ΕΛΕΤΕΑΝ (Στατιστική της Αιολικής Ενέργειας Στην Ελλάδα) η αιολική ισχύς έφθασε τον αριθμό των 4114 MW με την σύνδεση νέων ανεμογεννητριών ισχύος 517,5 MW, πράγμα που αποτέλεσε αύξηση κατά 14,4% σε σχέση με το 19 [30].



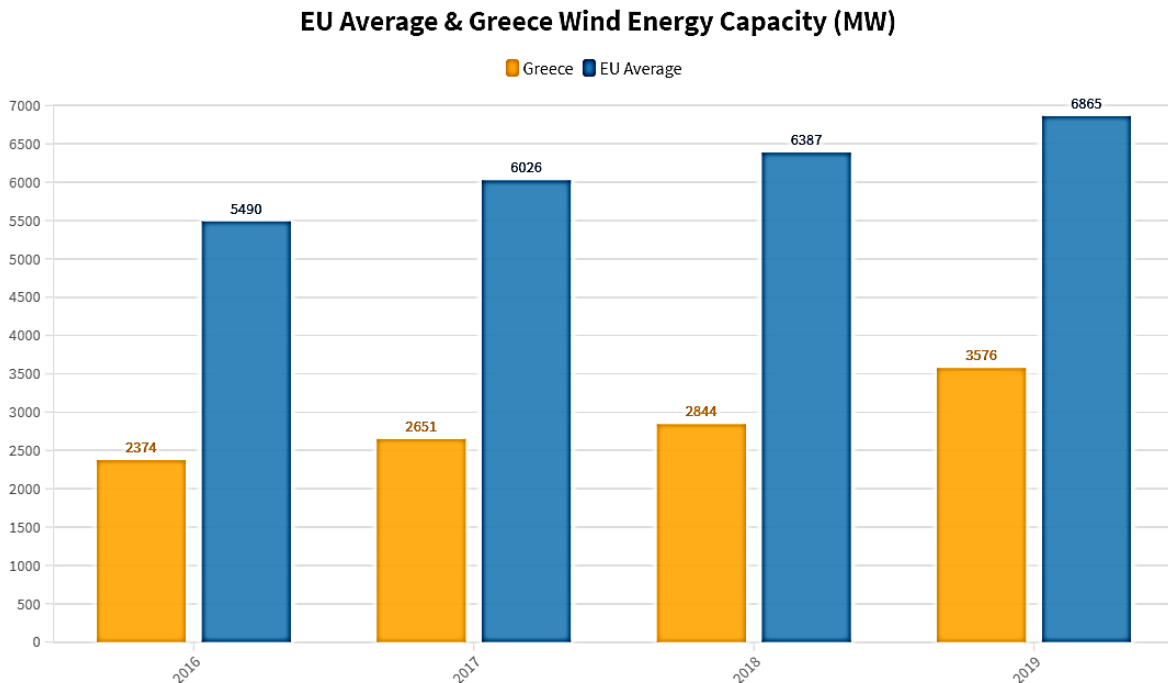
Σχήμα 11 Εγκαταστημένη αιολική ισχύς στην Ελλάδα [31]

Οι πιο πρόσφορες περιοχές όσον αφορά το αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα είναι στο Αιγαίο, ιδιαίτερα στις Κυκλάδες, στην Κρήτη, στην Ανατολική Πελοπόννησο και στην Εύβοια. Συγκεκριμένα σε επίπεδο περιφερειών η Στερεά Ελλάδα φιλοξενεί το 41% (1678 MW), η Πελοπόννησος το 15% (619 MW), και ανατολική Μακεδονία και Θράκη το 12% (485 MW) των αιολικών εγκαταστάσεων της Ελλάδος.

Όσον αφορά τους κατασκευαστές Α/Γ, ιδιαίτερα το 2020 προμήθευσαν η VESTAS κατά 41% (213 MW), η ENERCON κατά 29% (147 MW), Η NORDEX κατά 22% (111 MW) και η SIEMENS GAMESA 5,4% (28 MW).

Τέλος το 2020 είναι το δεύτερο αποδοτικότερο έτος για την αιολική ενέργεια μετά το 2019. Το σύνολο των εγκαταστάσεων ξεπερνά το διπλάσιο του δεκαετούς μέσου όρου και αυτό είναι εξαιρετικά θετικό. Το 2020 στην Ελλάδα καταγράφεται σαν το έτος που το ηλεκτρικό

μας σύστημα απέδειξε ότι μπορεί να ανταποκριθεί χωρίς πρόβλημα σε μεγάλες διεισδύσεις αιολικής ισχύος που άγγιξαν το 70% σε ωριαία βάση [31].



Σχήμα 12 Πορεία εγκαταστημένης αιολικής ισχύος στην Ελλάδα και σύγκριση με τον Ευρωπαϊκό Μ.Ο[32]

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω σύμφωνα με την ΕΛΕΤΕΑΝ (Στατιστική της Αιολικής Ενέργειας Στην Ελλάδα) η αιολική ισχύς το 2020 έφθασε τον αριθμό των **4114 MW** με την σύνδεση νέων ανεμογεννητριών ισχύος 517,5 MW, πράγμα που αποτέλεσε αύξηση κατά **14,4%** σε σχέση με το 2019 [31].

## 2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αιολικής ενέργειας

Η αιολική ενέργεια όπως και οι άλλες μορφές ενέργειας έχουν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

Είναι μια 'καθαρή' και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Σε αντίθεση με τον άνθρακα, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο δεν οδηγεί σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, επιπροσθέτως οι Α/Γ δεν χρειάζονται καύση ορυκτών καυσίμων για να λειτουργήσουν.



Επιπλέον η αιολική ενέργεια είναι εντελώς ανανεώσιμη και δεν θα εξαντληθεί ποτέ σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές που αναπληρώνονται αργά και κάποια στιγμή τα αποθέματα τους θα είναι αμελητέα.

Η εκμεταλλεύομενη ενέργεια του ανέμου είναι έχει χαμηλό λειτουργικό κόστος. Όσον αφορά το αρχικό κόστος, η εγκατάσταση αιολικών πάρκων ή μεμονωμένα μιας ανεμογεννήτριας μπορεί να είναι δαπανηρή, ωστόσο μόλις τεθεί σε λειτουργία το κόστος λειτουργίας είναι χαμηλό και ο καύσιμος, άνεμος, είναι δωρεάν.

Επίσης η αιολική ενέργεια είναι αποδοτική στον χώρο. Αθροιστικά τα αιολικά πάρκα μπορεί να καταλαμβάνουν πολύ χώρο, ωστόσο οι Α/Γ κι ο εξοπλισμός δεν το καταλαμβάνουν όλο. Έτσι η Γη που χρησιμοποιείται για τις ανεμογεννήτριες μπορεί συχνά να χρησιμοποιηθεί και για άλλους σκοπούς.

Το γεγονός ότι παρέχεται δωρεάν κάνει τον άνεμο μιας από τις κυριότερες, άφθονες πηγές ενέργειας στον πλανήτη, ωστόσο αυτό δεν σημαίνει ότι δεν έχει μειονεκτήματα. Τα προβλήματα από την αξιοποίηση αιολικής ενέργειας είναι ο θόρυβος από την λειτουργία των ανεμογεννητριών καθώς και οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες, τηλεόραση, ράδιο κ.τ.λ. Τα παραπάνω παρόλα αυτά καλύπτονται με την αξιοποίηση της σημερινής τεχνολογίας. Επίσης αναφέρονται σαν προβλήματα η χρήση της Γης/εκμετάλλευση καθαρού χώρου καθώς και η επιρροή της τοπικής οικολογίας μέσω του αντίκτυπου στην ζωή των πτηνών. Παρόλα αυτά, τα παραπάνω μπορούν να ξεπεραστούν με την σωστή σχεδίαση και εγκατάσταση της γεννήτριας και μιας πολιτικής αποδεκτής από την κοινή γνώμη [33].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

### 3.1 Λειτουργία ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν με μια απλή αρχή, χρησιμοποιούν τον άνεμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο άνεμος γυρίζει τα πτερύγια του στροβίλου, που μοιάζουν με έλικα γύρω από έναν ρότορα, ο οποίος περιστρέφει μια γεννήτρια και δημιουργείται ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια διατίθεται μέσω δικτιού στο κοινό. Μια ανεμογεννήτρια μετατρέπει την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρισμό χρησιμοποιώντας την αεροδυναμική δύναμη από τα πτερύγια της που λειτουργούν σαν πτέρυγα αεροπλάνου ή πτερύγια ελικοπτέρου. Όταν ο άνεμος ρέει κατά μήκος του πτερυγίου, η πίεση του αέρα στη μία πλευρά του πτερυγίου μειώνεται. Η διαφορά στην πίεση του αέρα στις δύο πλευρές του πτερυγίου δημιουργεί τόσο δυνάμεις άνωσης όσο και δυνάμεις οπισθέλκουσας. Η δύναμη της άνωσης είναι ισχυρότερη από την αντίσταση και αυτό αναγκάζει τον ρότορα να γυρίσει. Ο ρότορας συνδέεται με τη γεννήτρια ή απευθείας, εάν πρόκειται για στρόβιλο άμεσης κίνησης, είτε μέσω άξονα και σειράς γραναζιών. Αυτή η μετάπτωση της αεροδυναμικής δύναμης στην περιστροφή μιας γεννήτριας δημιουργεί την ηλεκτρική ενέργεια [34].

### 3.2 Είδη ανεμογεννητριών

Υπάρχουν πολλά είδη ανεμογεννητριών και η ταξινόμηση τους μπορεί να γίνει με κριτήρια όπως τον προσανατολισμό των αξόνων στην ροή του ανέμου, την ταχύτητα περιστροφής τους ή την μηχανική τους ισχύ.

Οι δυο κύριες κατηγορίες με κριτήριο τον προσανατολισμό των αξόνων στην ροή του ανέμου είναι οι α) Οριζόντιου άξονα και β) κατακόρυφου άξονα.



Σχήμα 13 Κατάταξη Α/Γ οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα [35]

#### 3.2.1 Α/Γ Οριζόντιου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι τύπος ανεμογεννητριών που απαιτούν ευθυγράμμιση με την κατεύθυνση του ανέμου. Επομένως, απαιτούν έναν αισθητήρα ανέμου που ανιχνεύει την κατεύθυνση του ανέμου και έναν μηχανισμό αποφυγής εκτροπής με σκοπό την περιστροφή της μηχανής για συνεχή ευθυγράμμιση με την ροή του ανέμου. Η δομή των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα πρέπει να είναι αρκετά ισχυρή ώστε να υποστηρίζει το βάρος των πτερυγίων του ρότορα, του κιβωτίου ταχυτήτων, της γεννήτριας και άλλων εξαρτημάτων της τουρμπίνας. Επίσης, η βάση του ιστού θα είναι σε θέση να αντέχει δυνατούς ανέμους που φυσούν όταν είναι εγκατεστημένος ο στρόβιλος.

Κύριο χαρακτηριστικό των Α/Γ οριζόντιου άξονα είναι ότι ο άξονας τους είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης και παράλληλα με την διεύθυνση του ανέμου, αν και αρκετές φορές η διεύθυνση τους είναι κάθετη προς την διεύθυνση του ανέμου. Οι Α/Γ αυτού του τύπου μπορεί να έχουν ένα, δύο, τρία η και περισσότερα πτερύγια, επιπροσθέτως η πτερωτή τους μπορεί να είναι τοποθετημένη μπροστά ή πίσω από τον πύργο στήριξης σε προσήνεμη και υπήνεμη διάταξη αντίστοιχα.



Οι κλασικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι καθώς και μηχανές άντλησης νερού συγκαταλέγονται στις Α/Γ οριζοντίου άξονα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι Α/Γ που χρησιμοποιούνται σήμερα, περίπου το 90% των εγκαταστημένων παγκοσμίως μηχανών, ανήκουν στην κατηγορία αιολικών μηχανών οριζοντίου άξονα (HAWT) και ονομάζονται τύπου έλικας.

Σημαντικά πλεονεκτήματα των παραπάνω ανεμογεννητριών είναι ότι δεν ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες ανέμου για να ξεκινήσουν περιστροφή, παρουσιάζουν υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή ενώ επίσης έχουν εύκολη συναρμολόγηση. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι η σημαντικότητα της τοποθέτησης της γεννήτριας και του κιβωτίου ταχυτήτων πάνω στον πύργο, πράγμα που δυσκολεύει την τοποθέτηση τους και αυξάνει το κόστος παραγωγής.

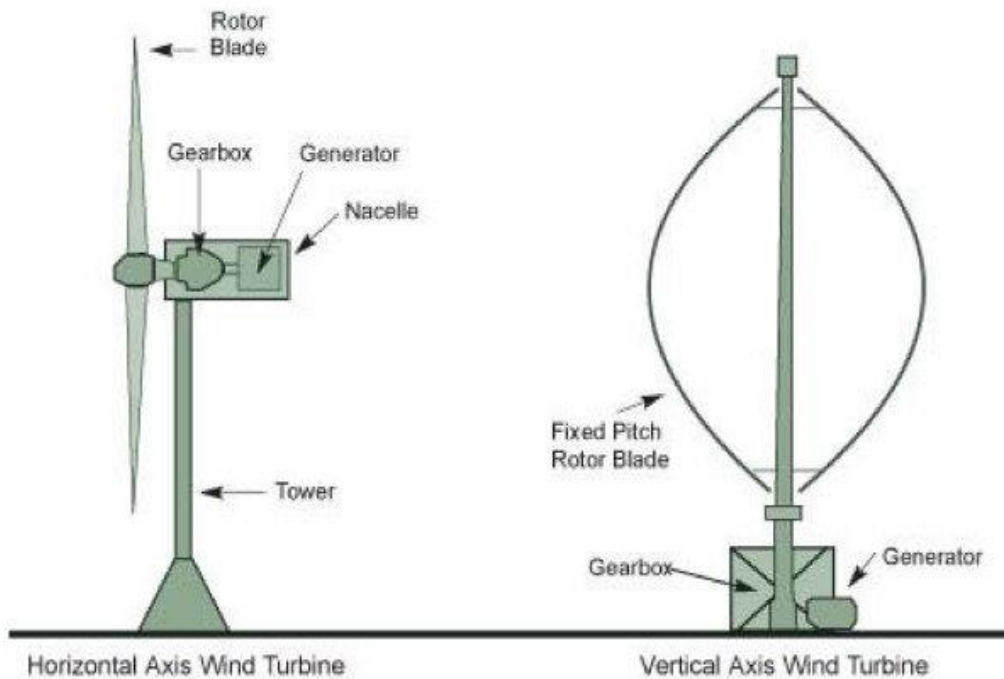
Ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων τους χωρίζονται σε μονοπτέρυγες, δυπτέρυγες και τριπτέρυγες με τις τελευταίες να είναι αυτές που χρησιμοποιούνται ευρέως. Ο λόγος είναι η σταθερότητα τους και ότι το φορτίο εξισορροπείται. Εντοπίζονται και Α/Γ με περισσότερα πτερύγια, προτιμώνται εκεί που απαιτείται μεγάλη ροπή εκκίνησης.

Ο πύργος στηρίξεως, η πτερωτή, ο άξονας περιστροφής, το σύστημα μετακίνησης, η ηλεκτρ. γεννήτρια και το σύστημα προσανατολισμού είναι τα κύρια μέρη μιας Α/Γ οριζοντίου άξονα [35].

### 3.2.2 Α/Γ Κατακόρυφου άξονα

Κύριο χαρακτηριστικό των Α/Γ κατακόρυφου άξονα είναι ότι ο άξονας περιστροφής τους είναι κάθετος ως προς το έδαφος και κατακόρυφος ως προς την ροή του ανέμου. Αυτές οι Α/Γ, 1% των εγκαταστημένων παγκοσμίως μηχανών σήμερα, χωρίζονται σε τύπου Savonius, που διαθέτουν έλικα αντίστασης, και τύπου Darrieus, διαθέτουν πτερύγια που χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα ταχύτητας περιστροφής. Οι Α/Γ τύπου Savonius είναι απλούστερο μοντέλο μηχανών, από δύο η τέσσερά κατακόρυφα φύλλα χωρίς αεροτομές και καμπύλες γεωμετρίας για να σχηματίσει ημικυκλοφορία. Οι μηχανές τύπου Darrieus προσφέρουν υψηλότερη απόδοση δεδομένου ότι μειώνουν τις απώλειες λόγω τριβής σε σχέση με τις Savonius.

Τα πλεονεκτήματα των Α/Γ κατακόρυφου άξονα είναι ότι δεν είναι αναγκαία η επίτευξη προσανατολισμού ως προς την διεύθυνση του ανέμου για να είναι αποτελεσματικές. Αρκετές φορές δεν χρειάζεται πυλώνας στήριξης, γεγονός που οδηγεί στην τοποθέτηση της γεννήτριας στο έδαφος (πιο οικονομική κατασκευή). Παρόλα αυτά παρουσιάζουν σημαντικά μειονεκτήματα έναντι των Α/Γ οριζόντιου τύπου. Καθώς η ροπή εκκίνησης τους είναι αρκετά υψηλή δεν είναι εύκολο να ξεκινήσουν περιστροφή χωρίς εξωτερική παρέμβαση. Η χαμηλή απόδοση τους είναι άλλο ένα μείον μιας και σε χαμηλά ύψη οι ταχύτητες του ανέμου είναι χαμηλές και σαν αποτέλεσμα η συνεισφορά τους στην παραγωγή είναι αμελητέα [36].



Σχήμα 14 Μορφή Α/Γ οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα [37]

### 3.3 Επιπλέον κατηγοριοποίηση

Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται επίσης [34] :

α) Σύμφωνα με την ταχύτητα περιστροφής του ή καλύτερα σύμφωνα με την παράμετρο περιστροφής  $\lambda$  σε:

- ταχύστροφες
- αργόστροφες

β) Σύμφωνα με τον αριθμό των πτερυγίων τους (οριζοντίου άξονα) σε :

- πολύπτερες, παλιού τύπου ανεμόμυλοι
- ολιγόπτερες, σύγχρονες Α/Γ με 1 έως 3 πτερύγια

γ) Σύμφωνα με την παράμετρο στιβαρότητας  $\sigma$  της εγκατάστασης σε :

- μεγάλης στιβαρότητας
- μικρής στιβαρότητας

δ) Βάση της μηχανικής ισχύς  $N_0$  στην έξοδο της Α/Γ σε :

- Μικρές, που η μηχανική ισχύ κυμαίνεται μεταξύ 50W - 30KW
- μεσαίες, που η μηχανική ισχύ κυμαίνεται μεταξύ 30 - 300 KW

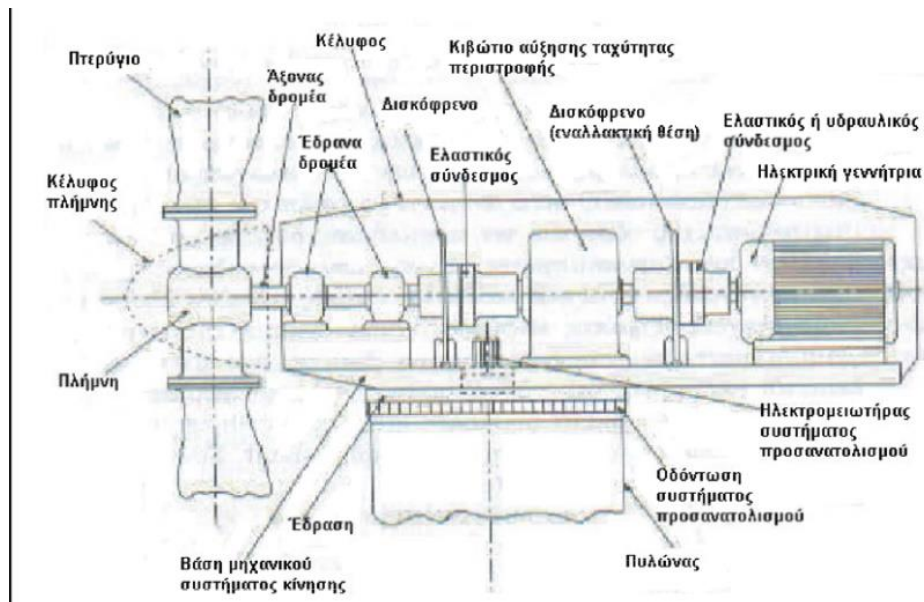
- Μεγάλες, που η μηχανική ισχύ κυμαίνεται μεταξύ 300KW - 5MW

### 3.4 Λειτουργικά μέρη ανεμογεννήτριας

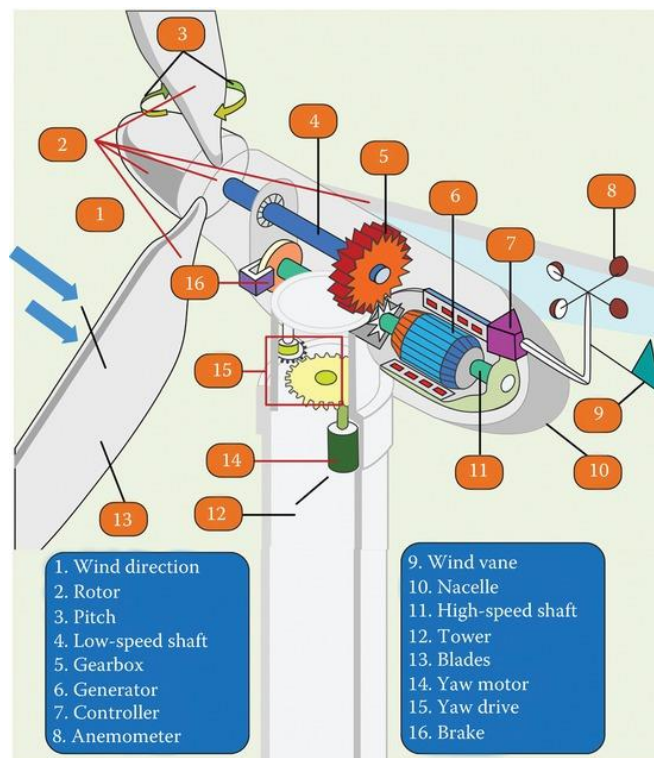
Οι ανεμογεννήτριες και κυρίως αυτές του οριζόντιου τύπου απαρτίζονται από τα παρακάτω στοιχεία [35],[38],[39] :

- Πύργος : Στις πιο σύγχρονες τουρμπίνες πύργος είναι στρογγυλός σωληνοειδής, κατασκευασμένος από χάλυβα με διάμετρο 3-4 m και ύψος 75-110 ανάλογα με το μέγεθος των στροβίλων και της θέσης του. Ο κανόνας αναφέρει ότι συνήθως ο πύργος έχει το ίδιο ύψος με την διάμετρο του κύκλου που διαγράφουν τα πτερύγια κατά την περιστροφή τους. Όσο υψηλότερος ο πύργος τόσο υψηλότερες ταχύτητες αντιμετωπίζει η Α/Γ.
- Ρότορας : Είναι το περιστρεφόμενο μέρος της ανεμογεννήτριας, αποτελείται από τα πτερύγια και το κεντρικό τμήμα σύνδεσης τους.
- Κέλυφος : Το κέλυφος στεγάζεται στην κορυφή του πύργου και φιλοξενεί όλα τα εξαρτήματα που πρέπει να βρίσκονται στην κορυφή της μηχανής όπως οι άξονες χαμηλής και υψηλής ταχύτητας, το κιβώτιο ταχυτήτων, η γεννήτρια, το φρένο και ο ελεγκτής.
- Γεννήτρια : Η γεννήτρια είναι το εξάρτημα που μετατρέπει την μηχανική ενέργεια του ρότορα, σε ηλεκτρική ενέργεια. Έχει ίδια δομή με έναν ηλεκτροκινητήρα και συνήθως περιστρέφεται με ταχύτητα που αντιστοιχεί στην συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου (50-60 Hz).
- Πτερύγια : Η άνωση (lift) αποτέλεσμα του ανέμου πάνω στα πτερύγια δημιουργεί ροπή στον άξονα περιστροφής και τα πτερύγια αναγκάζονται να περιστραφούν. Το 90% των Α/Γ είναι δίπτερες η τρίπτερες.
- Ανεμόμετρο : Μετρητικό όργανο της ταχύτητας του ανέμου και μεταφορέας των ανεμολογικών δεδομένων σε έναν ελεγκτή.
- Φρένο : Λειτουργεί μηχανικά, υδραυλικά, ηλεκτρικά και στην ουσία είναι υπεύθυνο για να σταματήσει την λειτουργία του κινητήρα σε έκτακτη ανάγκη.
- Ελεγκτής : Η δουλειά του ελεγκτή είναι να ξεκινά και να κλείνει την μηχανή σε ταχύτητες ανέμου 8-16 και 65 μίλια/ώρα αντίστοιχα. Αν οι ανεμογεννήτριες

ξεπεράσουν την τελευταία ταχύτητα τότε υπερθερμαίνονται και τα πτερύγια μπορεί να σπάσουν.



Σχήμα 15 Αποτελούμενα μέρη μιας Α/Γ [35]



Σχήμα 16 Αναπαράσταση στοιχείων πρότυπης Α/Γ [38]

- Κιβώτιο Ταχυτήτων : Είναι ένα ζωτικό συστατικό των ανεμογεννητριών και εδράζεται στο κέλυφος. Ένα κιβώτιο ταχυτήτων αυξάνει την ταχύτητα του κύριου άξονα από τα 12-25 rpm σε μια ταχύτητα κατάλληλη για την γεννήτρια του. Είναι ένα αρκετά ακριβό εξάρτημα και μελετάτε η αποφυγή λειτουργίας του για αυτόν τον λόγο στις μελλοντικές Α/Γ.
- Ανεμοδείκτης : Είναι υπεύθυνος για τον υπολογισμό της διεύθυνσης του ανέμου και κατατοπίζει τον οδηγό εκτροπής ώστε να προσανατολιστεί σε αυτόν.
- Οδηγός εκτροπής : Είναι το εξάρτημα που προσανατολίζει την την Α/Γ προς τον άνεμο
- Κινητήρας εκτροπής : Προσφέρει ενέργεια στον οδηγό εκτροπής

### 3.5 Οικονομικά στοιχεία

Στις μέρες μας μια ανεμογεννήτρια μπορεί να είναι υπεύθυνη για την παραγωγή ποιοτικού ηλεκτρικού ρεύματος και για την λειτουργία χωρίς επιτήρηση για τουλάχιστον 20-22 χρόνια. Γίνεται αναφορά για τουλάχιστον 120000 ώρες λειτουργίας όταν ένα συμβατικό αυτοκίνητο έχει ως στόχο σχεδιασμού τις 6000 ώρες λειτουργίας.

Όσον αφορά την οικονομική εκτίμηση της ενέργειας των ανέμων περιλαμβάνονται τα εξής :

- Η ετήσια παραγωγή ενέργειας
- Το κόστος κεφαλαίου της εγκατάστασης
- Το λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης
- Ο χρόνος απόσβεσης της εγκατάστασης σαν επένδυση

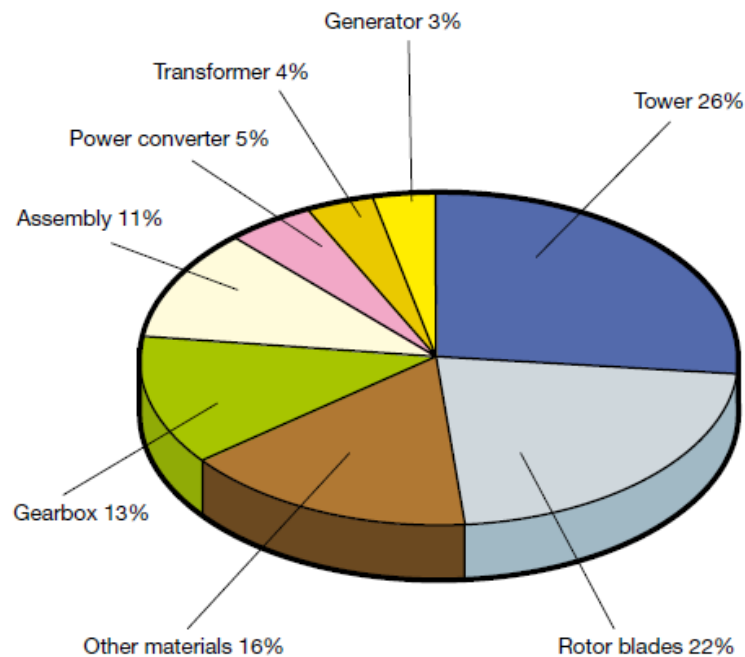
Αν το κόστος εγκατάστασης κυμαίνεται περίπου στο 66% για το κόστος ανεμογεννήτριας τότε το υπόλοιπο 25% είναι το κόστος διαμόρφωσης της περιοχής και συναρμολόγησης της μηχανής [40].

Οι ανεμογεννήτριες κάτω των 100KW, Α/Γ κλίμακας σπιτιού ή αγροκτήματος, κοστίζουν περίπου 3000-8000\$ (2500-6600€) ανά κιλοβατώρα χωρητικότητας. Μια μηχανή των 10 KW (το μέγεθος που απαιτείται για την εύλογη τροφοδοσία ενός μεγάλου διαστάσεων σπιτιού) μπορεί να κοστίζει 40-65 χιλιάδες €. Οι μικρότερες Α/Γ δηλαδή αυτές της αγροτικής ή οικιακής κλίμακας κοστίζουν λιγότερο συνολικά ωστόσο είναι ακριβότερες ανά κιλοβατώρα παραγωγής ενέργειας, σε σχέση με τις εμπορικές [41].

Στις εμπορικές ανεμογεννήτριες το κόστος κυμαίνεται από 1,3-2,2 εκατομμύρια δολάρια (1-1,9 εκατομμύρια €) ανά MW εγκαταστημένης χωρητικότητας. Οι περισσότερες

εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες σήμερα είναι μεγέθους 2 MW και κόστισαν περίπου 3-4 εκατομμύρια δολάρια [41].

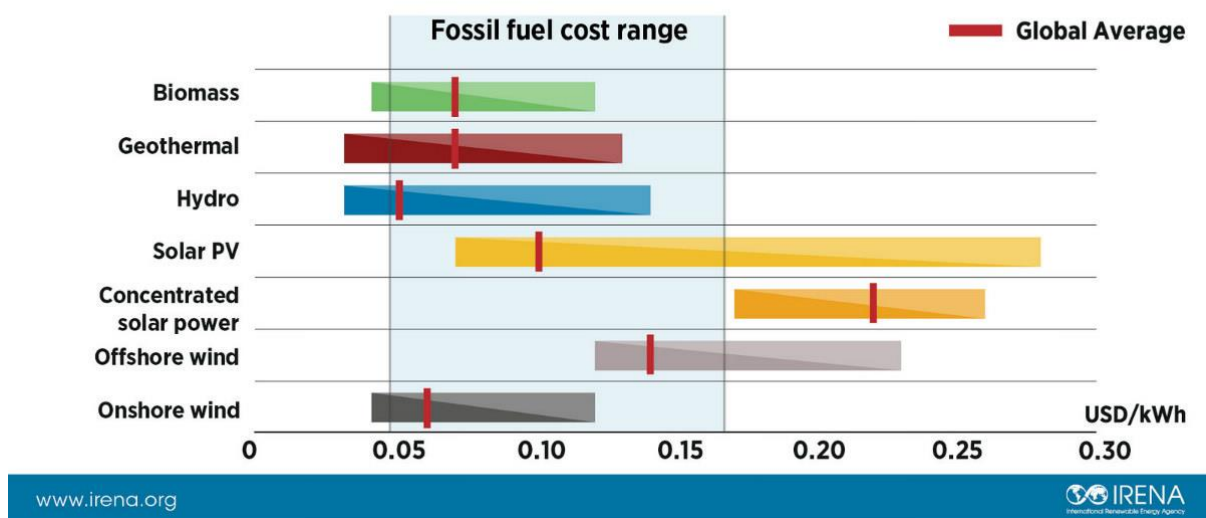
Το συνολικό κόστος μιας εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας εμπορικής κλίμακας ποικίλει ανάλογα με τον αριθμό στροβίλων που παραγγέλθηκαν, το κόστος χρηματοδότησης, την τοποθεσία της εγκατάστασης και άλλους παράγοντες όπως την εκτίμηση αιολικών πόρων και τα έξοδα ανάλυσης τοποθεσίας [41].



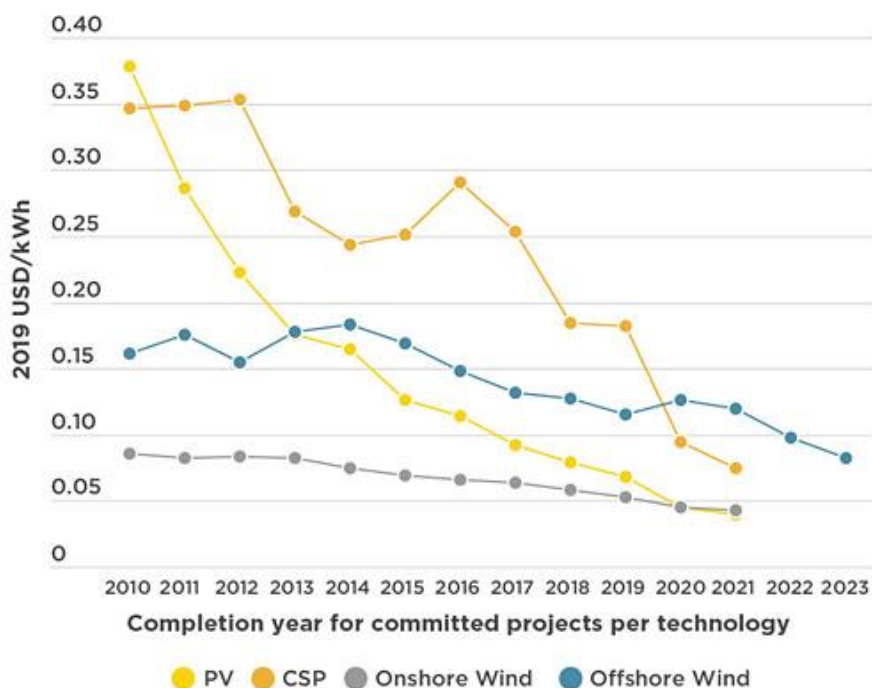
Σχήμα 17 Κόστος εξαρτήματος ανεμογεννητριών (% του συνόλου) [34]

Όσον αφορά το κόστος παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας την πρώτη ημέρα της όγδοης συνέλευσης της IRENA στο Αμπό Ντάμπι κυκλοφόρησε, το «Κόστος παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές το 2017» αναφέρει ότι άλλες μορφές παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, όπως έργα βιοενέργειας, γεωθερμίας και υδροηλεκτρικής ενέργειας τους τελευταίους 12 μήνες, ανταγωνίστηκαν σχετικά με το κόστος, με ισχύ από ορυκτά καύσιμα. Τα ευρήματα σημειώνουν ότι μέχρι το 2020, τα αποτελεσματικότερα έργα αιολικής και ηλιακής φωτοβολταϊκής ξηράς θα παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια για 3 σεντς ανά KWh, σημαντικά χαμηλότερο από το τρέχον κόστος ισχύος από ορυκτά καύσιμα, πράγμα που επιτεύχθηκε [42].

## Average renewable power generation costs in the fossil fuel range in 2017



Σχήμα 18 Μ.Ο κόστους ΑΠΕ συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα το 2017 [42]



Σχήμα 19 Πορεία κόστους των ΑΠΕ με την διάρκεια των χρόνων [43]

Το κόστος ηλιακής και αιολικής ενέργειας συνέχισε να μειώνεται χάρη στις εξελιγμένες τεχνολογίες βιοενέργειας, γεωθερμίας και υδροηλεκτρικής ενέργειας. Τα ηλιακά



φωτοβολταϊκά (PV) δείχνουν την ραγδαία μείωση του κόστους κατά το διάστημα 2010-2019 στο 82%, ακολουθούμενη από τη συγκέντρωση ηλιακής ενέργειας (CSP) στο 47%, στην ξηρά αιολική στο 40% και στην υπεράκτια αιολική στο 29%.

Το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκή κλίμακα μειώθηκε κατά 13% από έτος σε έτος, φθάνοντας σχεδόν τα επτά σεντς (0,068 USD) ανά κιλοβατώρα (kWh) το 2019. Ο αέρας χερσαίου και υπεράκτιου ανέμου μειώθηκε περίπου 9% από έτος σε έτος, φθάνοντας τα 0,053 USD / kWh και 0,1515 USD / kWh, αντίστοιχα, για έργα που τέθηκαν σε λειτουργία. Το κόστος για το CSP, που εξακολουθεί να είναι το λιγότερο ανεπτυγμένο μεταξύ των τεχνολογιών ηλιακής και αιολικής ενέργειας, μειώθηκε 1% σε 0,182 USD / kWh.

Η ανανεώσιμη ενέργεια είναι όλο και πιο φθηνή από οποιαδήποτε νέα χωρητικότητα ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τα ορυκτά καύσιμα, σύμφωνα με τα νέα κόστη παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές IRENA το 2019.

Η έκθεση αναφέρει ότι τα νέα έργα παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ξεπερνούν όλο και περισσότερο τις υπάρχουσες μονάδες με καύση άνθρακα. Κατά μέσο όρο, τα νέα ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV) και η χερσαία αιολική ενέργεια κοστίζουν λιγότερο από το να διατηρούν σε λειτουργία αρκετές υπάρχουσες μονάδες άνθρακα και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αυτή η νοοτροπία μεγαλώνει - ενισχύοντας την περίπτωση να εξαλειφθεί πλήρως ο άνθρακας.

Αντικαθιστώντας τον πιο ακριβό (500 GW) άνθρακα με ηλιακό φωτοβολταϊκό και αιολική ενέργεια τον επόμενο χρόνο, θα μειώσει το κόστος του συστήματος ισχύος έως και 23 δισεκατομμύρια δολάρια στις ΗΠΑ κάθε χρόνο και θα μειώσει τις ετήσιες εκπομπές κατά περίπου 1,8 gigatons (Gt) διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), που ισοδυναμεί με 5% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub> το 2019. Θα είχε ως αποτέλεσμα επίσης επενδυτικό κίνητρο 940 δισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ, το οποίο ισούται με περίπου το 1% του παγκόσμιου ΑΕΠ [43].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ Κ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 4.1 Εκτίμηση αιολικού δυναμικού

Η μελέτη και η εκτίμηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού ενός τόπου απαιτεί μια σειρά ενεργειών που συσχετίζονται με δεδομένα έντασης και κατεύθυνσης του ανέμου καθώς και υψομετρικών χαρακτηριστικών του τόπου.

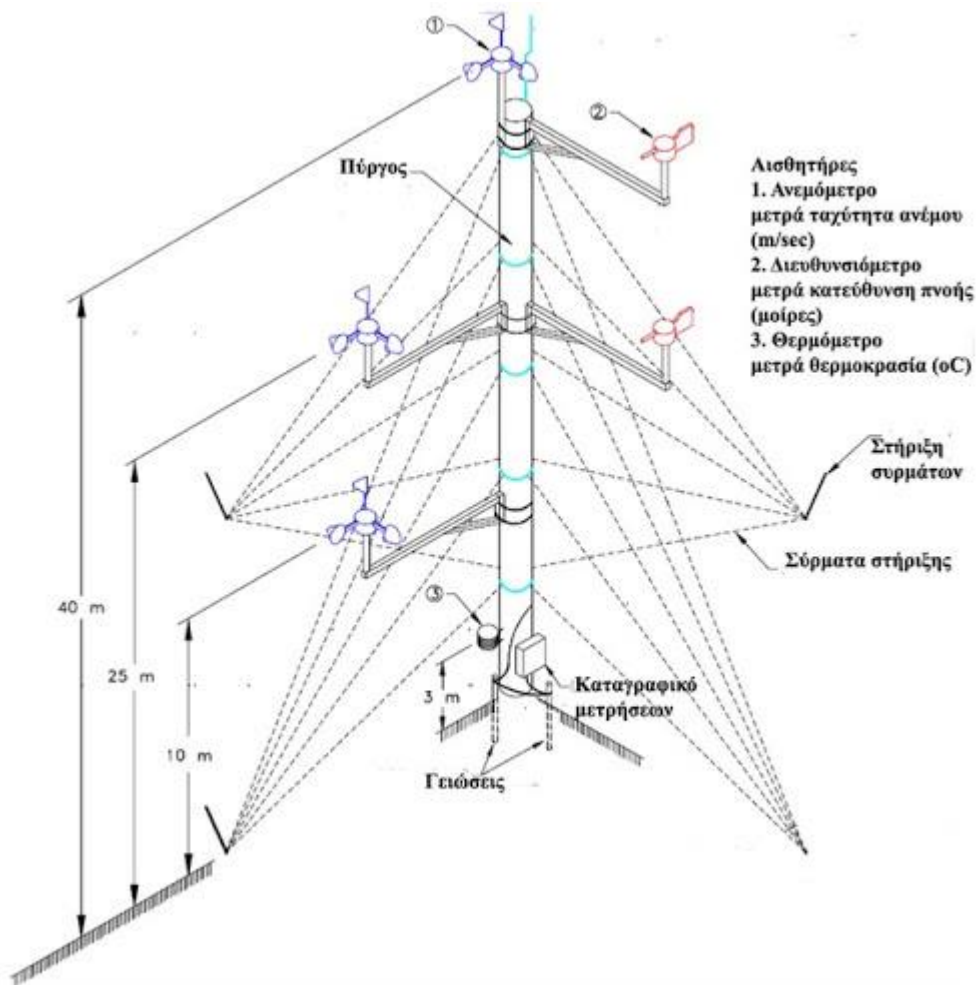
Για την αρχική εκτίμηση του αιολικού δυναμικού σε ένα τόπο πληροφορίες μπορούν να αντληθούν είτε από προφορικές μαρτυρίες κατοίκων της ευρύτερης περιοχής, είτε από την



παραμόρφωση της βλάστησης από τον άνεμο, είτε επίσημα από χάρτες αιολικού δυναμικού στα εξειδικευμένα ερευνητικά και επιστημονικά κέντρα.

Μετά την πρώτη προσεγγιστική προσέγγιση, η ακριβής αξιολόγηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού περιλαμβάνει :

α) Μετρήσεις μετεωρολογικών ιστών : Η ακριβής αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού ενός τόπου προϋποθέτει την τοποθέτηση ενός μετεωρολογικού ιστού για την καταγραφή μετρήσεων όπως το μέτρο και την διεύθυνση της ταχύτητας του ανέμου. Αυτό που χαρακτηρίζει τις μετρήσεις είναι ότι καταγράφονται για μικρά χρονικά διαστήματα (δευτερόλεπτα) για να αποθηκευτούν τελικά μέσες τιμές για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα (10 λεπτών, 30 λεπτών κτλ.). Η συλλογή των μετρήσεων για μεγάλες χρονικές περιόδους επιτρέπει την ασφαλή εκτίμηση του του αιολικού δυναμικού, έτσι ασφαλέστερες πληροφορίες για την διακύμανση του αιολικού δυναμικού μπορούν να συλλεχθούν από μακροχρόνιες μετρήσεις, που γίνονται από δορυφόρους σε συγκεκριμένα σημεία της Γης. Οι μακροχρόνιες μετρήσεις αιολικού δυναμικού είναι διαθέσιμες για διαστήματα των 30 ετών, με μέσες τιμές διαστημάτων των 6 μηνών . Παρέχονται από δορυφόρους και ανάγονται από τα διαθέσιμα σημεία στο σημείο ενδιαφέροντος με τεχνικές γραμμικής παρεμβολής. Μακροχρόνιες μετρήσεις αιολικού δυναμικού παρέχονται από ερευνητικά και επιστημονικά κέντρα (NASA, NRCEL, κτλ) αλλά και από συγκεκριμένους ιστότοπους. Το κύριο χαρακτηριστικό ενός μετεωρ. ιστού είναι το ύψος του, όσο υψηλότερος είναι τόσο υψηλότερες θα είναι οι ταχύτητες του ανέμου σύμφωνα με τη θεωρία των οριακών στρωμάτων. Η καλύτερη επιλογή θα ήταν η εγκατάσταση ενός ιστού στο ύψος της πλήμνης της ανεμογεννήτριας, γιατί οι μετρούμενες ταχύτητες ανέμου θα ήταν οι ίδιες με αυτές που θα αντιμετώπιζε η Α/Γ, ωστόσο αυτό δεν είναι πάντα εφικτό. Το κόστος εγκατάστασης και κατασκευής ενός ιστού αυξάνεται, όσο αυξάνεται το μέγεθος και το ύψος του. Στην Ελλάδα το κόστος ενός ιστού ύψους 10 μέτρων μπορεί να φτάσει τα 15000 ευρώ ενώ των 60 μέτρων φτάνει τα 60000 ευρώ. Σε περιοχές που το αιολικό δυναμικό αναμένεται υψηλό, αρκεί ένας ιστός των 10m, εγκατάσταση ιστών 30-60m συνήθως προκύπτει σε περιοχές που οι ταχύτητες ανέμου είναι χαμηλές σε χαμηλά ύψη και απαιτείται ακρίβεια λήψης δεδομένων. Στους μετεωρολογικούς ιστούς γίνεται τοποθέτηση ανεμόμετρου, θερμομέτρου και διευθυνσιομέτρου για την καταγραφή μετρήσεων ταχύτητας, θερμοκρασιών κτλ. μέσω καταγραφικού δεδομένων, που είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση και την συλλογή των μετεωρολογικών στοιχείων [44],[45].



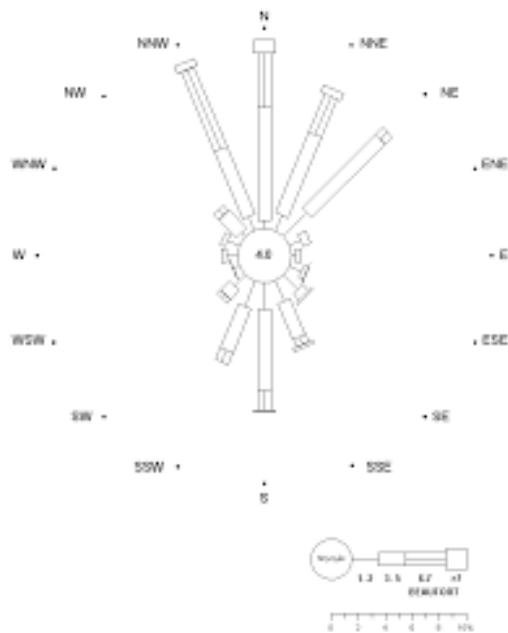
Σχήμα 20 Αναπαράσταση μετεωρολογικού ιστού [44]

β) Ένταση ανέμου : Κύριο στοιχείο της αξιολόγησης του αιολικού δυναμικού ενός τόπου είναι η ένταση του ανέμου. Η μέτρηση της έντασης του ανέμου πραγματοποιείται με κάποια όργανα μέτρησης ταχύτητας ανέμου, τα ανεμόμετρα. Τα ανεμόμετρα μπορεί να είναι :

- Ανεμόμετρο ταχύτητας στο οποίο η ένταση του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής και κατηγοριοποιείται σε κυπελλοφόρα και ελικοφόρα.
- Ανεμόμετρο πίεσης στο οποίο η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκείται σε συγκεκριμένα υψόμετρα του οργάνου
- Ανεμόμετρο θερμού στοιχείου για υψηλότερης ακρίβειας μετρήσεις
- Ανεμοδείκτες που η εγκατάσταση τους συνήθως γίνεται στα 10 m, χωρίς να είναι δεσμευτικό [46]

γ) Διεύθυνση του ανέμου : Ο προσδιορισμός της διεύθυνσης του ανέμου είναι άλλο ένα σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής. Η διεύθυνση του ανέμου ορίζεται ως το σημείο του ορίζοντα από το οποίο φυσάει ο άνεμος σε σχέση με την θέση στην οποία γίνεται η μέτρηση. Η απόδοση μιας Α/Γ επηρεάζεται

σημαντικά από λουπές μεταβολές του ανέμου, και αυτό επειδή η διεύθυνση του ανέμου μεταβάλλεται συνεχώς γύρω από μία θέση, παρόλα αυτά με μικρότερες διακυμάνσεις από αυτές της ταχύτητας του ανέμου. Η διεύθυνση του ανέμου βρίσκεται συνήθως με τη βοήθεια του οργάνου του ανεμοδείκτη. Επίσης ο προσδιορισμός της διεύθυνσης του ανέμου γίνεται με την βοήθεια διαγραμμάτων όπως το πολικό διάγραμμα ή ροδόγραμμα και οι κύριες διευθύνσεις του ανέμου χαρακτηρίζονται αυτές που συνεισφέρουν τουλάχιστον στο 10% της συνολικής αιολικής ενέργειας [44].



## 4.2 Υπολογισμός διαθέσιμου αιολικού δυναμικού

Ο άνεμος αποτελεί ένα ιδιαίτερα μεταβλητό (κατά διεύθυνση και μέτρο) μέγεθος, χρειάζονται για τις ανάγκες του υπολογισμού του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού ενός τόπου αναλυτικές μετρήσεις της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Για τις ανάγκες υπολογισμού του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν επαρκεί η γνώση της μέσης ταχύτητας του ανέμου του τόπου, αλλά απαιτούνται αναλυτικές πληροφορίες και για την κατανομή της πιθανότητας εμφάνισης των διαφορετικών τιμών ταχύτητας του ανέμου στη διάρκεια του χρόνου. Επίσης χρειάζεται η γνώση των διαστημάτων νηνεμίας καθώς και των ριπών του ανέμου στην περιοχή. Συνεπώς είναι λογικό ότι για να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε έγκυρα αποτελέσματα απαιτούνται αναλυτικές και μακροχρόνιες μετρήσεις. Παρόλα αυτά το σημαντικό κόστος αλλά και η αναπόφευκτη χρονική καθυστέρηση που ακολουθούν οι εκτεταμένες μετρήσεις, κάνει αναπόφευκτη την χρήση ημιεμπειρικών αναλυτικών μοντέλων, που περιγράφουν με σχετική ακρίβεια το τοπικό αιολικό δυναμικό ενός τόπου βάσει μικρού αριθμού παραμέτρων. Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες αναλυτικές κατανομές πυκνότητας πιθανότητας είναι η κατανομή "Weibull" και η κατανομή " Rayleigh". Για τον υπολογισμό της έντασης του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού και της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις Α/Γ χρησιμοποιούνται επιμέρους μαθηματικοί τύποι. Η ένταση της αιολικής ισχύος εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο [48],[49]:

$$\frac{P}{A \cdot t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{A} \cdot \frac{v^2}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3$$

Με:

P: Ισχύς ανέμου (W/m<sup>2</sup>)

A: Επιφάνεια σάρωσης πτερυγίων Α/Γ κατά την περιστροφή τους (m<sup>2</sup>)

v: Στιγμιαία ταχύτητα αέρα (m/s)

ρ: Πυκνότητα αέρα (kg/m<sup>3</sup>)

Η αιολική ενέργεια ενός ρεύματος αέρα είναι επομένως ανάλογη με τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου, δηλαδή η διαθέσιμη ισχύς οκταπλασιάζεται όταν η ταχύτητα του ανέμου διπλασιάζεται [16].

Η εμπειρική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας σύμφωνα με τον Weibull περιγράφει το μέτρο τη ταχύτητας του ανέμου σε ύψος έως 100 m από το έδαφος και για εύκρατης ζώνης περιοχές. Η εμπειρική κατανομή Weibull προσδιορίζει την πιθανότητα της ταχύτητας του ανέμου να βρίσκεται σε έναν τόπο συγκεκριμένης ταχύτητας σύμφωνα με τις παραμέτρους c και k. Δίνεται από την σχέση [46],[50] :

$$f(v) = \frac{dF}{dV} = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-(v/c)^k\right]$$

όπου η παράμετρος  $c$  συνδέεται με τη μέση ταχύτητα του ανέμου, και η παράμετρος  $k$  είναι αντιστρόφως ανάλογη της διασποράς του μέτρου των ταχυτήτων του ανέμου ως προς τη μέση ταχύτητα.

Οι μετρήσεις στην περιοχή εγκατάστασης του αιολικού πάρκου για μεγάλα χρονικά διαστήματα, δείχνει ότι η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου ( $v$ ) δεν μένει σταθερή ούτε είναι ισοκατανεμημένη. Η πιθανότητα εμφάνισης τιμής  $v$  εντός διαστήματος  $[0, u]$  [αθροιστική κατανομή πιθανότητας,  $F(u)$ ] που συνδέεται με την κατανομή Weibull, δίνεται από την [51],[52]:

$$F(u) = 1 - \exp\left[-(u/c)^k\right]$$

Οι συναρτήσεις κατανομής πιθανότητας  $f(v)$  και η αθροιστική κατανομή  $F(v)$  συνδέονται με την σχέση :

$$F(v) = \int_0^v f(v') dv'$$

#### 4.3 Στάδια επεξεργασίας μετρήσεων

Τα δεδομένα που συλλέγονται αναφορικά με τον άνεμο στην περιοχή εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας, διαμορφώνουν ένα σύνολο μετρήσεων που επιτρέπουν την επεξεργασία των μετρήσεων ταχύτητας του ανέμου. Τα παρακάτω είναι τα στατιστικά στοιχεία του ανέμου.

α) Αρχικά η μέση ταχύτητα του ανέμου υπολογίζεται δεδομένης μίας σειράς μετρήσεων από την σχέση:

$$\bar{V} = \sum_{i=1}^N \frac{V_i}{N} = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_N}{N}$$

όπου

$v$  η μέση ταχύτητα ανέμου,

$V_n$  η ταχύτητα του ανέμου στο  $n$  σημείο των μετρήσεων

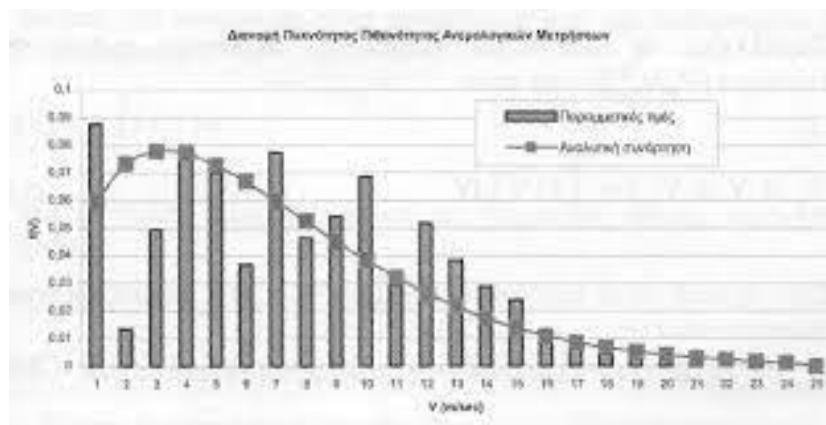
και  $n=1,2,\dots,N$  ο αριθμός των μετρήσεων.

β) Η τυπική απόκλιση  $\sigma$  δείχνει πόσο οι μετρήσεις αποκλίνουν από τη μέση τιμή του ανέμου, ονομάζεται και ένταση της τύρβης και υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους:

$$S_v = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2} \quad S_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N V_i^2 - N\bar{V}^2}{N-1}}$$

Τύρβη ονομάζεται η διαταραχή της ταχύτητας του ανέμου (διαφορές στιγμιαίας ταχύτητας από τη μέση τιμή ταχύτητας) και έχει ιδιαίτερη σημασία για την απόδοση των αιολικών μηχανών, αλλά και τον υπολογισμό της αντοχής λόγω των εναλλασσόμενων φορτίων που αναπτύσσονται και που οδηγούν στην κόπωση των υλικών της μηχανής [53].

γ) Διάγραμμα πυκνότητας πιθανότητας ανέμου : Έχοντας στη διάθεση μας ένα σύνολο πειραματικών μετρήσεων, μας δίνεται η δυνατότητα να καταταγούν οι μετρήσεις αυτές σε ένα αριθμό μικρότερων υποσυνόλων, τις κλάσεις. Για παράδειγμα το σύνολο "N" μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου είναι δυνατόν να χωρισθεί σε κλάσεις εύρους 1 m/sec, δηλαδή να ταξινομηθούν οι μετρήσεις που περικλείονται στο διάστημα  $[0 \div 1)$  m/sec,  $[1 \div 2)$  m/sec κ.λπ. Μια παραστατική εικόνα της συχνότητας εμφάνισης πειραματικών τιμών ενός συνεχούς μεγέθους αποτελεί το ιστογράμμο, το οποίο κατασκευάζεται σε επίπεδο σύστημα ορθογωνίων αξόνων, όταν στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται οι τιμές του συνεχούς μεγέθους και στον κατακόρυφο άξονα η πυκνότητα συχνότητας εμφάνισης 'f(V)'. [54]



Σχήμα 23 Διάγραμμα Πυκν. Πιθανότητας μετρήσεων του ανέμου

Από τη διαδικασία κατασκευής του ιστογράμματος προκύπτει ότι:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(V) dV = 1.0$$

δ) Καμπύλες Ολικής Πιθανότητας "F(V)" - Διάρκειας "G(V)". Η καμπύλη ολικής πιθανότητας παραπέμπει στην αθροιστική πιθανότητα η ένταση του ανέμου να είναι μικρότερη από μια συγκεκριμένη τιμή "V0", δηλαδή [54]:

$$F(V_0) = \int_0^{V_0} f(V) dV$$

Αντίστοιχα η καμπύλη διάρκειας παραπέμπει στην πιθανότητα η ένταση του ανέμου να είναι μεγαλύτερη από μία συγκεκριμένη τιμή "V0", δηλαδή:

$$G(V_0) = \int_{V_0}^{\infty} f(V) dV$$

και αποτελεί συμπληρωματική της καμπύλης ολικής πιθανότητας καθώς [48]:

$$F(V_0) + G(V_0) = 1.0$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

### 5.1 Πηγή Δεδομένων

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας πάρθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την ιστοσελίδα μετεωρολογίας του METEO, για τους επιλεγμένους μετρητικούς σταθμούς αιολικής ενέργειας καθόλη την περιοχή της Μακεδονίας. Οι σταθμοί επιλέχθηκαν με υψομετρικά κριτήρια ενώ επίσης θέλαμε και πλούσιο ερευνητικό υλικό για τουλάχιστο τα τελευταία 6-8 χρόνια. Η ημερομηνία έναρξης της περισυλλογής των μετρήσεων για κάθε περιοχή διαφέρει ωστόσο όλες καταλήγουν στον Δεκέμβριο του 2020.

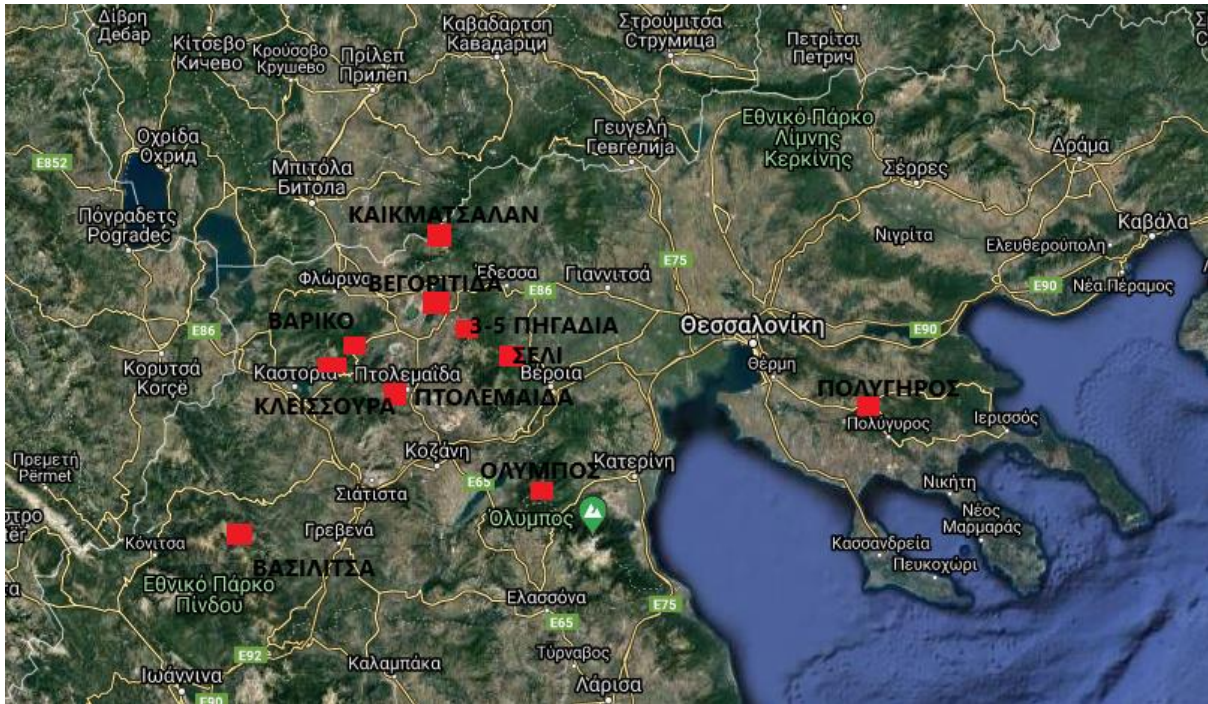
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	ΥΨΟΣ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟΥ (m)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
3-5 ΠΗΓΑΔΙΑ	40° 64' 19"	21° 96' 65"	5	1430
ΒΑΡΙΚΟ ΦΛΩΡ.	40° 54' 00"	21° 50' 18"	5	780
ΒΑΣΙΛΙΤΣΑ	40° 03' 34"	21° 08' 31"	5	1780
ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑ	40° 77' 01"	21° 79' 62"	5	647
ΚΑΙΚΜΑΤΣΑΛΑΝ	40° 91' 03"	21° 81' 24"	5	2090
ΚΛΕΙΣΟΥΡΑ	40° 53' 54"	21° 46' 80"	5	1160
ΟΛΥΜΠΟΣ	40° 13' 06"	22° 21' 54"	5	900
ΠΟΛΥΓΗΡΟΣ	40° 37' 33"	23° 44' 40"	5	580
ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑ Va	40° 48' 42"	23° 44' 40"	5	650
ΣΕΛΙ	40° 54' 13"	22° 01' 07"	5	1510

Πίνακας 24 Τοπογραφικά στοιχεία περιοχών μελέτης

Έγινε επεξεργασία των παραπάνω σταθμών ξεχωριστά και για κάθε σταθμό καταχωρήθηκαν δεδομένα σχετικά με την ποσότητα και ποιότητα βροχής, τις βαθμομέρες ψύξης και θέρμανσης, την θερμοκρασία (ελάχιστη, μέση και μέγιστη), την ταχύτητα του ανέμου καθώς και την κατεύθυνση του (Ε, W, N κτλ.). Στην συνέχεια κρατήθηκαν τα δεδομένα που είχαν να κάνουν με την μέση θερμοκρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την μέγιστη ταχύτητα ανέμου καθώς και την κύρια διεύθυνση του. Η διεύθυνση του ανέμου μετατράπηκε σε μοίρες όπως και η ταχύτητα του ανέμου από km/h σε m/s. Επιπλέον οι ταχύτητες κατηγοριοποιήθηκαν σε διαστήματα ( 0-4 m/s, 4-8 m/s, 8-12 m/s κτλ.) ώστε να δούμε το ποσοστό εμφάνισης της ταχύτητας του ανέμου ανά περιοχή αλλά και την επικρατέστερη διεύθυνση ανέμου αντίστοιχα. Με την βοήθεια των παραπάνω δημιουργήθηκαν τα ροδογράμματα και τα διαγράμματα κατανομής ταχυτήτων με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της κατάστασης.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο χάρτης της περιφέρειας Μακεδονίας με τα στίγματα των σταθμών/περιοχών.





Σχήμα 25 Στίγματα υπό μελέτη περιοχών Μακεδονίας

Με κόκκινο παραθέεται η τοποθεσία του κάθε σταθμού προς μελέτη του αιολικού δυναμικού και η ονομασία του. Παραπάνω υπάρχει αναλυτικός πίνακας με το γεωγραφικό πλάτος, μήκος καθώς και το υψόμετρο κάθε σταθμού αντίστοιχα.

### 5.1.1 Επιλογή Ανεμογεννήτριας (Α/Γ) και προδιαγραφών της

Με σκοπό την εύρεση του αποδοτικότερου σημείου, από τις παραπάνω περιοχές, για την τοποθέτηση ανεμογεννήτριας θα κάνουμε επιλογή μεταξύ δύο ανεμογεννητριών, μιας μεγάλης και μιας μικρής. Η πρώτη Α/Γ είναι η E-48 της εταιρίας ENERCON με ισχύ 800 kW ενώ η δεύτερη είναι η NTK-300 της εταιρίας ABB με μικρότερη ισχύ στα 300 kW. Έχοντας τα φυλλάδια του κατασκευαστή και εισάγοντας τα στοιχεία περί ταχύτητας(u) και ισχύς(P) στο excel μπορούμε να δημιουργήσουμε την χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της εκάστοτε Α/Γ. Στην συνέχεια υπολογίζουμε την εξίσωση που επαληθεύει την κάθε καμπύλη χρησιμοποιώντας στο excel τον τύπο της πολυωνυμικής εξίσωσης 4<sup>ου</sup> βαθμού. Η εξίσωση θα έχει την μορφή :

$$y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + k$$

Με a, b, c ,d, k τις σταθερές και x την ταχύτητα ανέμου.

Με την αντικατάσταση του x με τις ταχύτητες του ανέμου στο ύψος του πύργου της Α/Γ έχουμε ως αποτέλεσμα την παραγόμενη ισχύς της σε KW. Εν συνεχεία αν πολλαπλασιάσουμε την τιμή αυτή με το 24 τότε έχουμε την ημερήσια παραγόμενη ισχύ της σε KWh.

## 1<sup>η</sup> Ανεμογεννήτρια: ENERCON E-48

### Technical specifications E-48

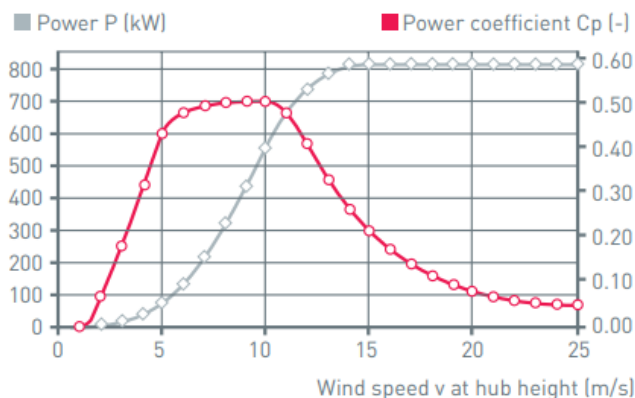
<b>Rated power:</b>	<b>800 kW</b>
<b>Rotor diameter:</b>	<b>48 m</b>
<b>Hub height in meter:</b>	<b>50 / 60 / 65 / 76</b>
<b>Wind zone (DIBt):</b>	<b>WZ III</b>
<b>Wind class (IEC):</b>	<b>IEC/EN IIA</b>
<b>WEC concept:</b>	Gearless, variable speed, single blade adjustment
<b>Rotor</b>	
<b>Type:</b>	Upwind rotor with active pitch control
<b>Rotational direction:</b>	Clockwise
<b>No. of blades:</b>	3
<b>Swept area:</b>	1,810 m <sup>2</sup>
<b>Blade material:</b>	GRP (epoxy resin); Built-in lightning protection
<b>Rotational speed:</b>	Variable, 16 - 31.5 rpm
<b>Pitch control:</b>	ENERCON single blade pitch system; one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply

### Drive train with generator

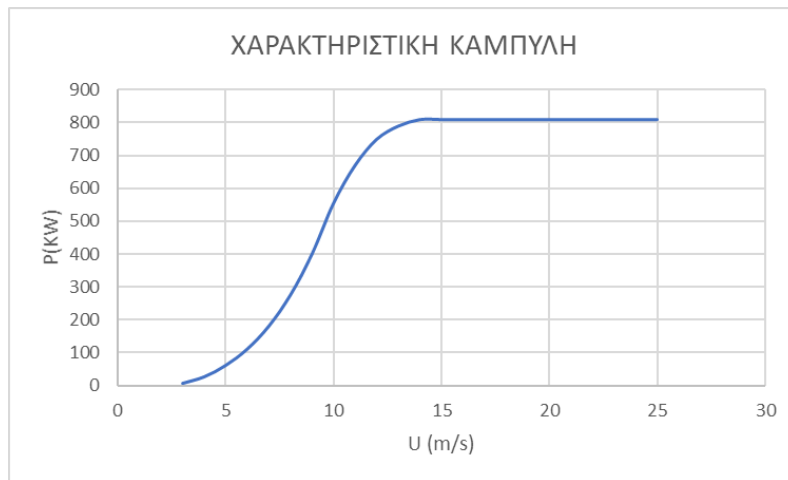
<b>Main bearing:</b>	Twin tapered roller bearing
<b>Generator:</b>	ENERCON direct-drive annular generator
<b>Grid feed:</b>	ENERCON inverter
<b>Brake systems:</b>	- 3 independent pitch control systems with emergency power supply - Rotor brake - Rotor lock
<b>Yaw system:</b>	Active via yaw gear, load-dependent damping
<b>Cut-out wind speed:</b>	28 - 34 m/s (with ENERCON storm control*)
<b>Remote monitoring:</b>	ENERCON SCADA

Σχήμα 26 Στοιχεία της Α/Γ E-48

### Calculated power curve



Σχήμα 27 Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος της Α/Γ E-48

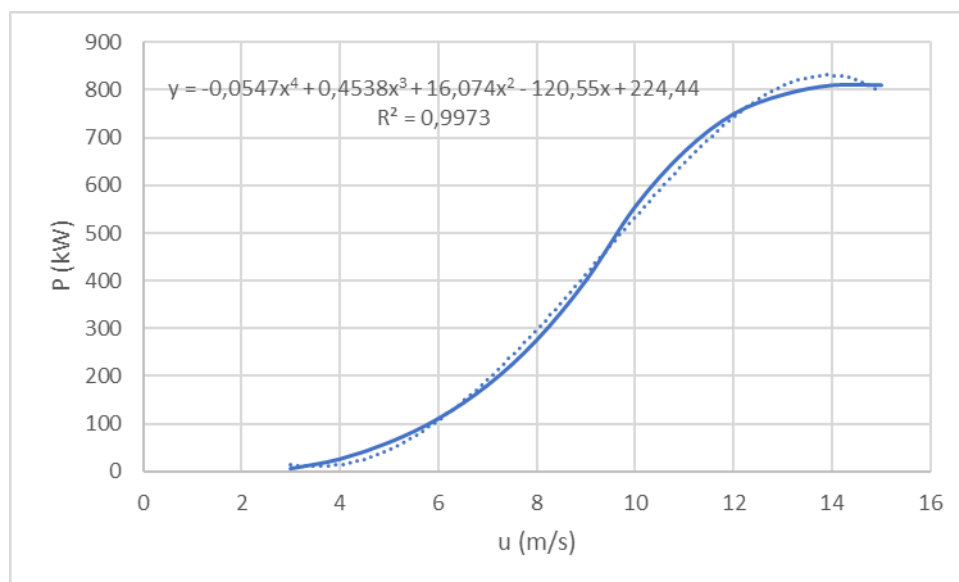


Σχήμα 28 Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος της Α/Γ Ε-48

Wind (m/s)	Power P (kW)	Power-coefficient $C_p$ (-)
1	0.0	0.00
2	0.0	0.00
3	5.0	0.17
4	25.0	0.35
5	60.0	0.43
6	110.0	0.46
7	180.0	0.47
8	275.0	0.48
9	400.0	0.50
10	555.0	0.50
11	671.0	0.45
12	750.0	0.39
13	790.0	0.32
14	810.0	0.27
15	810.0	0.22
16	810.0	0.18
17	810.0	0.15
18	810.0	0.13
19	810.0	0.11
20	810.0	0.09
21	810.0	0.08
22	810.0	0.07
23	810.0	0.06
24	810.0	0.05
25	810.0	0.05

Σχήμα 29 Παραγόμενη ισχύς και συντελ.  $C_p$  της Ε-48

Με τις παραπάνω τιμές εφόσον έχω για κάθε ταχύτητα και μια ισχύ μπορώ να δημιουργήσω την χαρακτηριστική καμπύλη της Α/Γ Ε-48 και να βρω την πολυωνυμική εξίσωση που την επαληθεύει. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στο excel και παρακάτω είναι τα αποτελέσματα.



Σχήμα 30 Μαθηματική εξίσωση καμπύλης ισχύος της Α/Γ Ε-48

Άρα η εξίσωση της καμπύλης για την Α/Γ Ε-48 είναι:

$$y = -0.0547x^4 - 0,4538x^3 + 16,074x^2 - 120,55x + 224,44$$

## 2<sup>η</sup> Ανεμογεννήτρια: ABB NTK-300

### SPECIFICATIONS

#### POWER

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

#### ROTOR

Number of blades	3
Position	Upwind

#### NACELLE

Steel main structure	
Weight	12.500 kg
Active yaw	by 2 motorgears

#### GENERATOR

Asynchronous squirrel cage rotor, designed for VSD	
Voltage	400, 690V
Manufacturer	ABB

#### CONVERTER

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

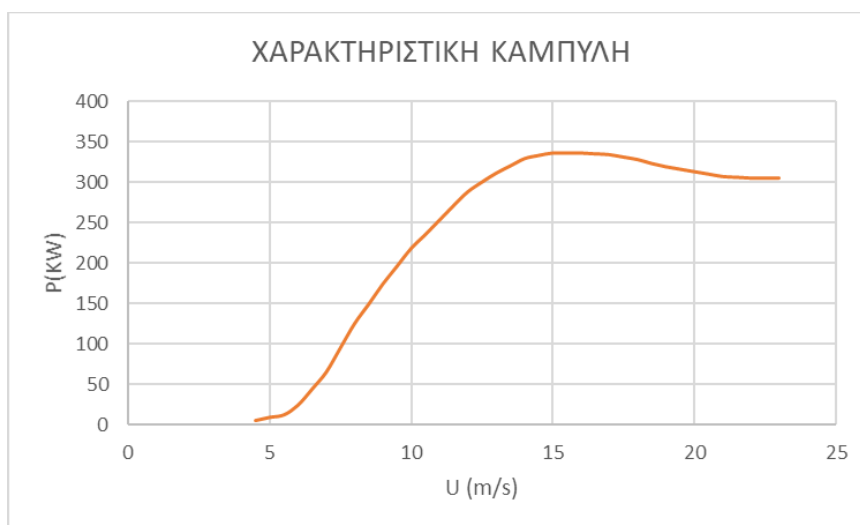
#### GEARBOX

Stages	2 parallel
--------	------------

#### TOWER

Height	30m (1 piece)
Design	1 cylindrical section
Diameter	2,400 mm
Weight	14.000 Kg

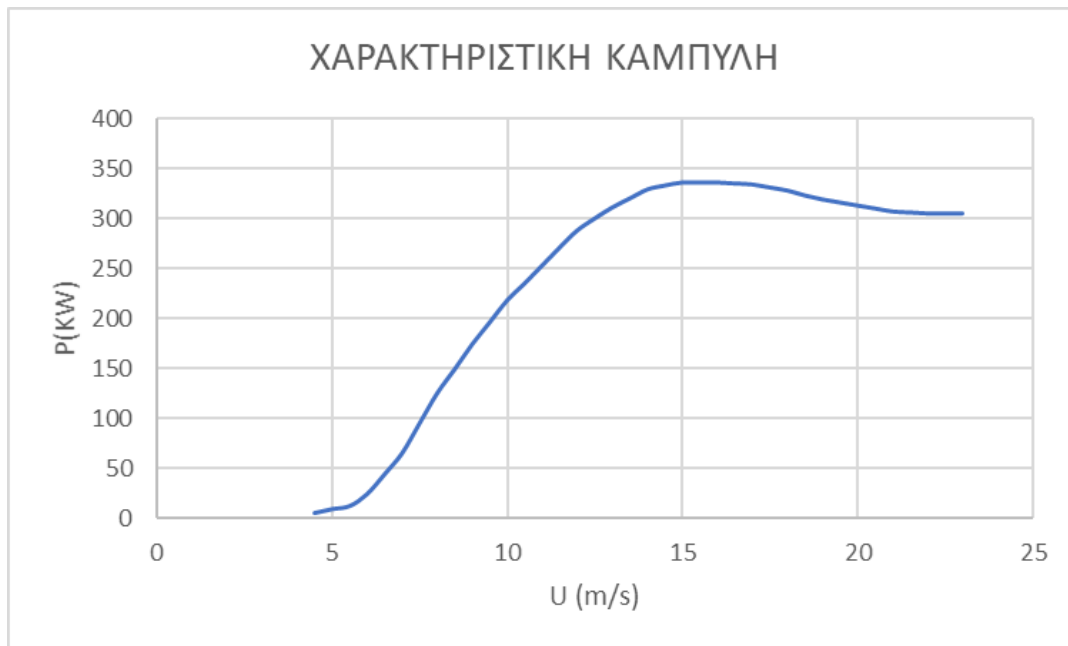
Σχήμα 31 Στοιχεία της Α/Γ Ε



Σχήμα 32 Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος της Α/Γ NTK-300

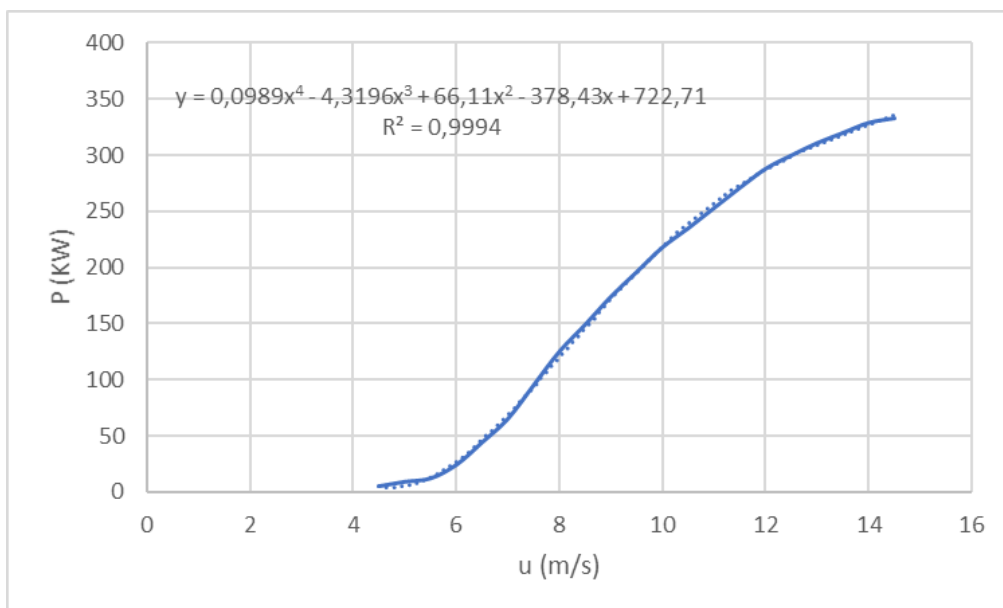
u (m/s)	P (KW)
0	0
1	0
2	0
3	0
4,5	5
5	9
5,5	12
6	24
6,5	44
7	65
7,5	95
8	125
8,5	149
9	174
9,5	196
10	218
10,5	235
11	253
11,5	271
12	288
12,5	300
13	311
13,5	320
14	329
14,5	333
15	336
15,5	336
16	336
16,5	335
17	334
17,5	331
18	328
18,5	323
19	319
19,5	316
20	313
20,5	310
21	307
21,5	306
22	305
22,5	305
23	305

Σχήμα 33 Παραγόμενη ισχύς και συντελ. Cp της NTK-300



Σχήμα 34 Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος της NTK-300

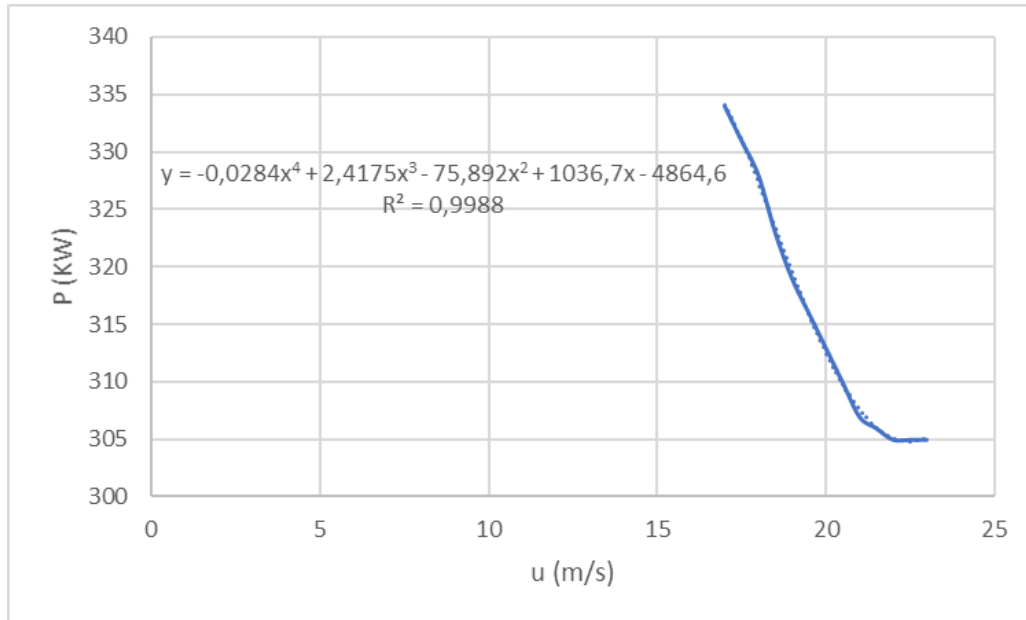
Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα υπάρχει μια περιοχή ταχυτήτων όπου παρουσιάζεται μείωση της ισχύς, αυτή η περιοχή είναι μεταξύ 17 και 25 m/s. Έτσι για να βρεθεί η χαρακτηριστική εξίσωση που διέπει την καμπύλη θα πρέπει να δημιουργηθούν 2 διαγράμματα στο excel. Το πρώτο για το τμήμα ταχυτήτων 4-14m/s και το δεύτερο για 17-22m/s αντίστοιχα. Μεταξύ των δύο τμημάτων η ισχύς παραμένει σταθερή και όπως φαίνεται και στην χαρακτηριστική καμπύλη δεν παρατηρείται κάποια μεταβολή.



Σχήμα 35 Μαθηματική εξίσωση καμπύλης ισχύος της Α/Γ NTK-300 για ταχύτητες 4-14m/s

Άρα η εξίσωση της καμπύλης για την Α/Γ NTK-300 για τις τιμές 4-14 m/s είναι:

$$y = 0.0989x^4 - 4.3196x^3 + 66.11x^2 - 378.43x + 722.71$$



Σχήμα 36 Μαθηματική εξίσωση καμπύλης ισχύος της Α/Γ NTK-300 για ταχύτητες 17-23m/s

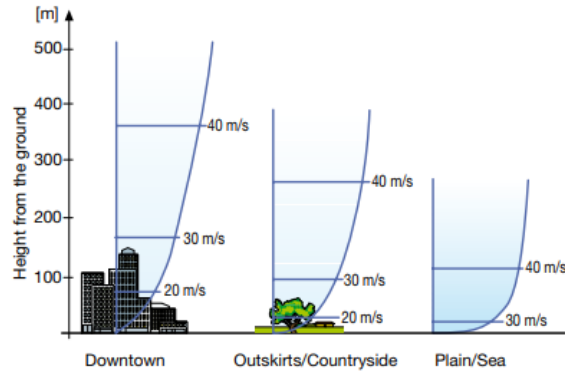
Άρα για τις τιμές 17-23 m/s η πολυων. εξίσωση της καμπύλης για την Α/Γ NTK-300 είναι:

$$y = -0,0284x^4 + 2,4175x^3 - 75,892x^2 + 1036,7x - 4864,6$$

### 5.1.2 Εύρεση και εκτίμηση της παραγόμενης ισχύος των Α/Γ

Από τα δεδομένα περισυλλογής μας και από περαιτέρω έρευνες είναι ορθό να υποθεί ότι η ένταση του ανέμου αυξάνεται με την αύξηση του ύψους, στο οποίο θα γίνει αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού. Κατά την ανάλυση είναι ξεκάθαρο ότι η ροή του ανέμου στην επιφάνεια της Γης διέπεται από τους νόμους της μηχανικής ρευστών. Στην πραγματικότητα η τριβή μεταξύ αέρα και εδάφους, επιβραδύνει τον άνεμο κοντά στο έδαφος, έτσι δημιουργείται ένα προφίλ ταχυτήτων σε συνάρτηση με το ύψος που χαρακτηρίζεται ως οριακό στρώμα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ακολουθούμε τη συμπεριφορά τυρβώδους οριακού στρώματος λόγω της κατακόρυφης διανομής ταχύτητας. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ταχύτητα του ανέμου ανάλογα με το ύψος επηρεάζεται από την φύση του εδάφους (τραχύτητα) και από οποιοδήποτε εμπόδιο (δέντρα, κτίρια κ.α).





Σχήμα 37 Προφίλ της ταχύτητας του ανέμου

Στην θεωρία των οριακών στρωμάτων έχουν στηριχτεί πολλές αναλυτικές σχέσεις που έχουν προταθεί για την περιγραφή της κατακόρυφης διανομής ταχύτητας. Οι βασικές διανομές ταχύτητας είναι: α) η λογαριθμική και β) η εκθετική διανομή.

Η **λογαριθμική διανομή** χαρακτηρίζεται από την παρακάτω σχέση [48]:

$$V(z) = V(z_1) \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_1/z_0)}$$

και δίνει την ταχύτητα του ανέμου σε ύψος “z”.

Έχω **V(z)**, η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος z

**V(z<sub>1</sub>)**, η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς

**z<sub>1</sub>**, το ύψος αναφοράς

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

**z<sub>0</sub>**, το ύψος τραχύτητας της περιοχής

Η **εκθετική διανομή** χαρακτηρίζεται από την παρακάτω σχέση [48]:

$$V(z) = V(z_1) \left(\frac{z}{z_1}\right)^a$$

**V(z)**, η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος z

$V(z_1)$  , η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς

$z_1$  , το ύψος αναφοράς

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

$\alpha$  , συντελεστής της τραχύτητας του εδάφους (0.07...0.40)

Για την πραγματοποίηση της διπλωματικής χρησιμοποιήσαμε την εκθετική διανομή και τη παραπάνω σχέση για το “άνοιγμα” των ταχυτήτων από το ύψος των μετρήσεων στο ύψος αναφοράς της κάθε Α/Γ δηλαδή στο ύψος της πλήμνης. Ο συντελεστής τραχύτητας  $\alpha$  κυμάνθηκε από 0,07 έως 0,4 ανάλογα με το είδος της περιοχής που χρησιμοποιήθηκε( π.χ 0,07 για λίμνη. 0,15-0,20 για γεωργικές περιοχές και 0,4 για αστικές περιοχές).

Εφόσον έγινε η αναγωγή των ταχυτήτων των ανέμων από το ύψος αναφοράς στο ύψος που θέλουμε να βρούμε την ταχύτητα, δηλαδή στο ύψος της πλήμνης, πήραμε τις ταχύτητες και τις αντικαταστήσαμε με το  $x$  στις χαρακτηριστικές εξισώσεις κάθε ανεμογεννήτριας με σκοπό να βρεθεί η παραγόμενη ισχύς σε KW. Στην συνέχεια έγινε έρευνα για κάθε σταθμό στις μέρες που υπολειτουργεί η δεν λειτουργεί καθόλου και υπολογίσαμε τις μέρες πληρότητας. Να αναφερθεί ότι κάποια έτη δεν χρησιμοποιήθηκαν λόγω ελάχιστης πληρότητας και λιγοστών δεδομένων. Με την βοήθεια του excel έγινε ο υπολογισμός της συνολικής παραγόμενης ισχύος σε KW για κάθε έτος και κάθε σταθμό. Τέλος πολλαπλασιάσαμε την συνολική παραγόμενη ενέργεια με το 24hours και υπολογίσαμε την συνολική ετήσια παραγόμενη ενέργεια ανά σταθμό σε KWh.

### 5.1.3 Υπολογισμός CF (Capacity FACTOR)

Ο τρόπος με τον οποίο η βιομηχανία ενέργειας μετρά την αξιοπιστία των σταθμών παραγωγής ενέργειας υπολογίζεται συχνά από τον συντελεστή χωρητικότητας ή χρησιμοποίησης ή CF. Ο παράγοντας CF είναι το μέτρο του πόσο συχνά λειτουργεί ένας σταθμός παραγωγής, συγκεκριμένα οι ανεμογεννήτριες μας, για μια χρονική περίοδο. Εκφράζεται ως ποσοστό, στην Ελλάδα όσον αφορά την αιολική ενέργεια κυμαίνεται στο 18-25%, και υπολογίζεται διαιρώντας την πραγματική μονάδα ηλεκτρικής παραγωγής με την μέγιστη δυνατή έξοδο. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιείται με σκοπό να βρούμε που συμφέρει περισσότερο να εγκαταστήσουμε Α/Γ και ποια από τις δύο. Ο συντελεστής CF υπολογίζεται ως:

$$CF = \frac{E_{\text{παραγόμενη}}}{E_{\text{θεωρητική}}} \cdot 100\%$$

Με

Επαραγόμενη: Το άθροισμα των ημερησίων παραγόμενων ισχύων

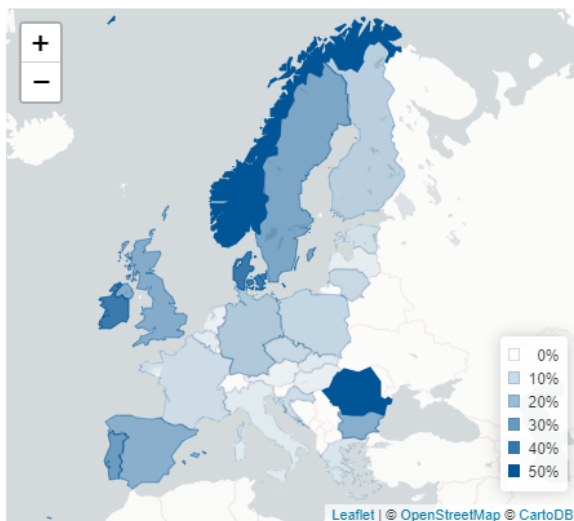
Εθεωρητική = P(kW) · 365 μέρες · 24 (kWh)

Η ισχύς P είναι η ονομαστική της α/γ. Για την Enercon E-48 και για την ABB NTK-300 είναι 800 kW και 300 kW αντίστοιχα. Οι μέρες σχετίζονται τις ημέρες πληρότητας. Αξίζει να αναφερθεί ότι κάθε έτος έχει διαφορετική πληρότητα.

Τέλος αυτός ο συντελεστής είναι πολύ σημαντικός καθώς δείχνει το πόσο πλήρως χρησιμοποιείται η ισχύς της Α/Γ.

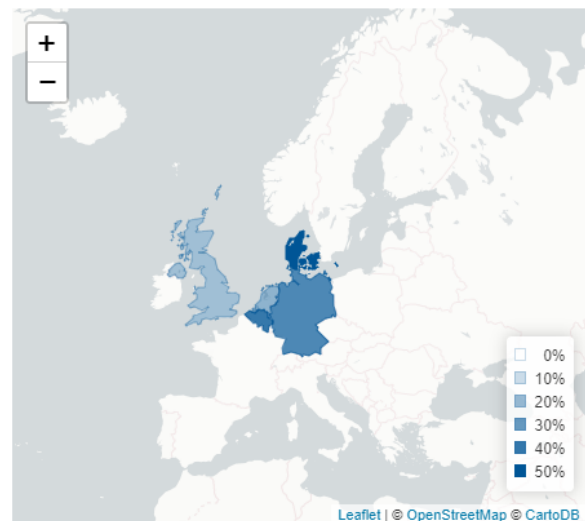
### Onshore wind

18.1%



### Offshore wind

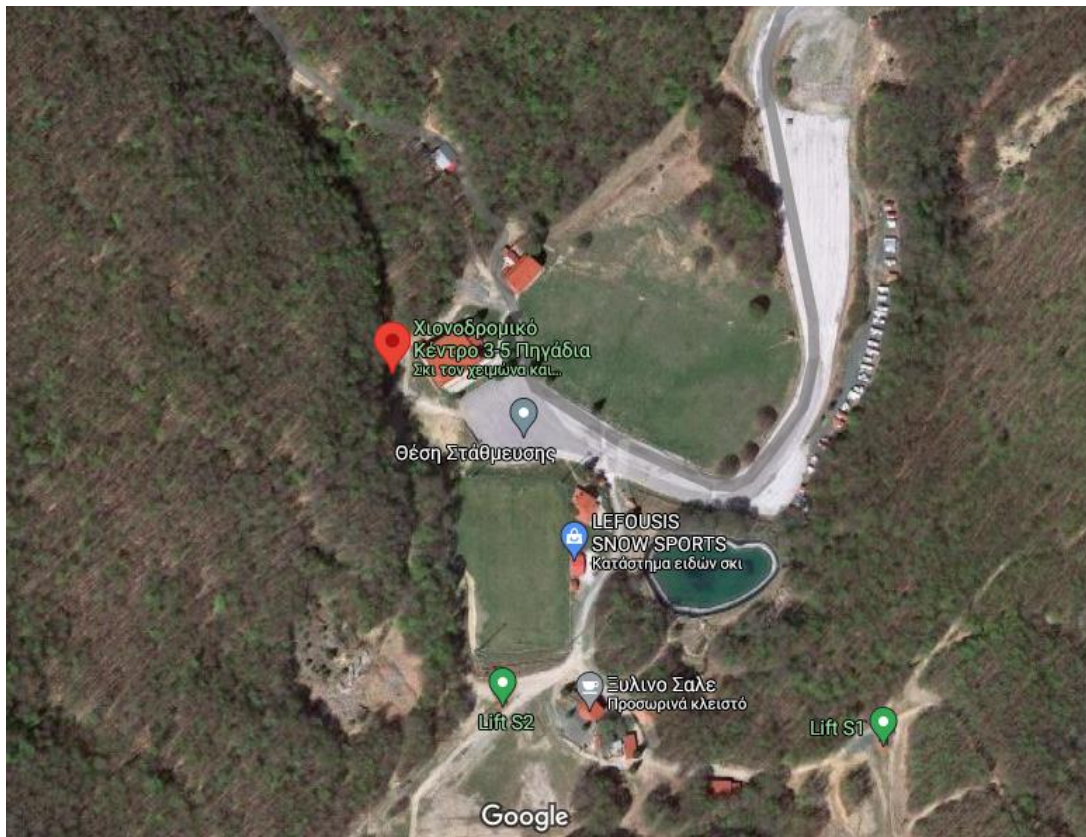
32.0%



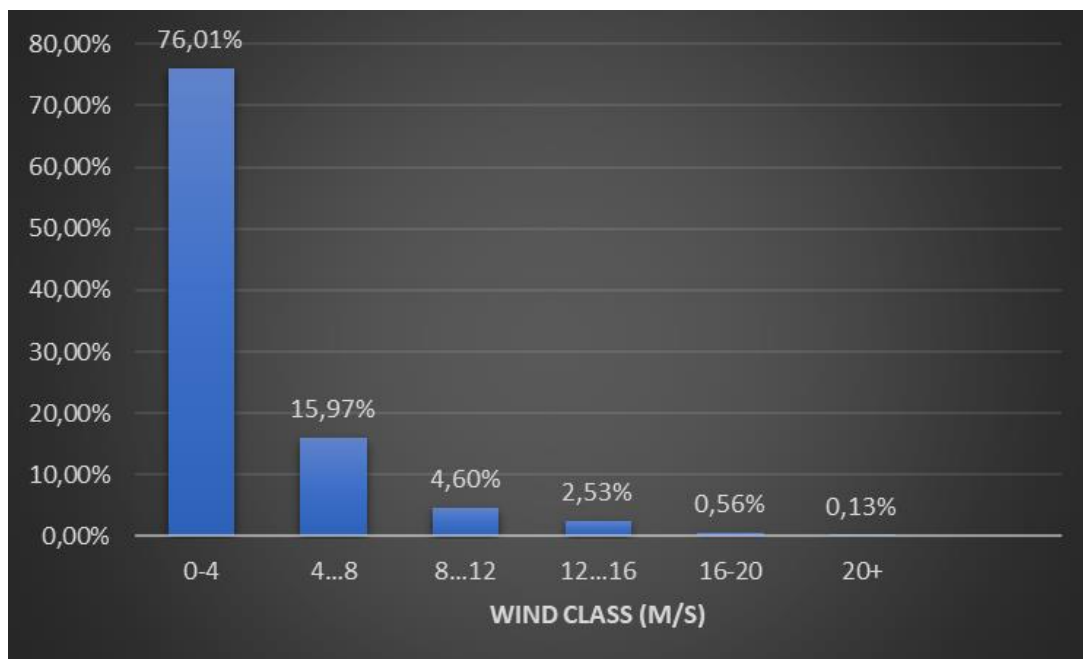
The capacity factor is the average power generated by wind divided by its peak capacity.

Σχήμα 38 Ο συντελεστής χρησιμοποίησης (CF) για το έτος 2021 στην Ευρώπη

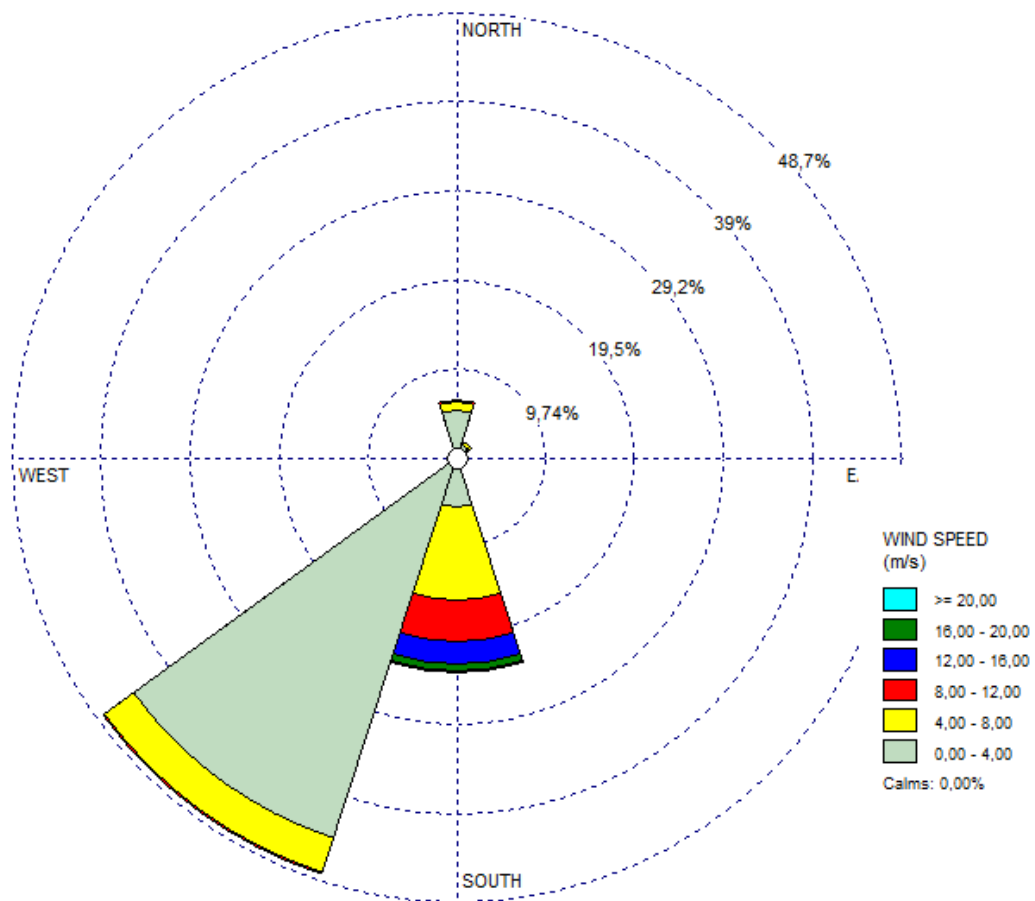
## 5.2 3-5 ΠΗΓΑΔΙΑ



Σχήμα 39 Τοπογραφική αναπαράσταση περιοχής 3-5 Πηγάδια

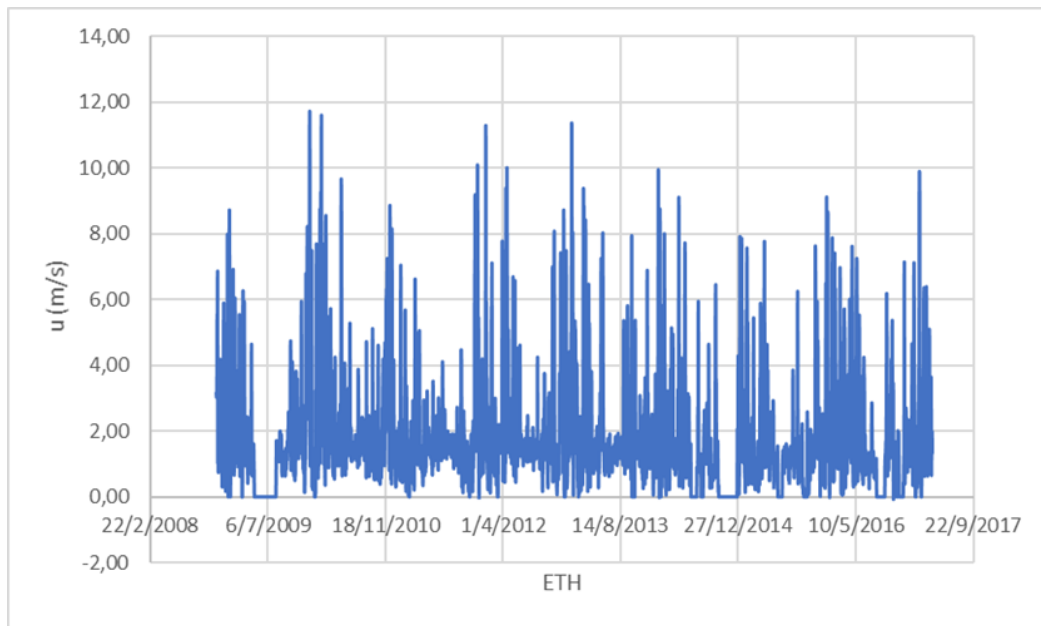


Σχήμα 40 Κατανομή ταχυτ. ανέμου στα 3-5 Πηγάδια, 2008-2017, 50μ από το εδαφος



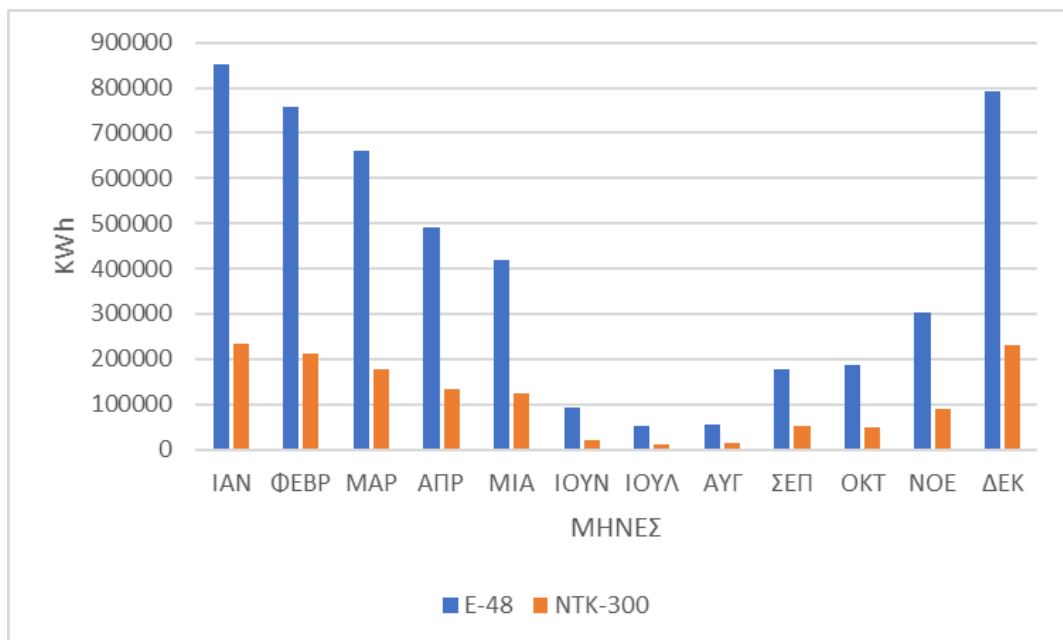
Σχήμα 41 Ροδόγραμμα ανέμου στα 3-5 Πηγάδια, 2008-2017, 50μ από το εδαφος

Σύμφωνα με το ροδόγραμμα και το διάγραμμα κατανομής ταχύτητας παραπάνω για την περιοχή 3-5 Πηγάδια, παρατηρούμε ότι η κύρια διεύθυνση του ανέμου κατά την διάρκεια 2008-2017 είναι οι νοτιοδυτικοί άνεμοι αν και τις μεγαλύτερες ταχύτητες τις παρατηρούμε από νότιους ανέμους. Σε ποσοστό 92% οι ταχύτητες ανέμου είναι χαμηλότερες από 8 m/s, ενώ μόνο το 3% ξεπερνά την ταχύτητα των 12m/s. Τα παραπάνω δεδομένα δηλώνουν ένα μέτριο αιολικό δυναμικό.



Σχήμα 42 Ταχύτητες ανέμου στα 3-5 Πηγάδια, 2007-2020

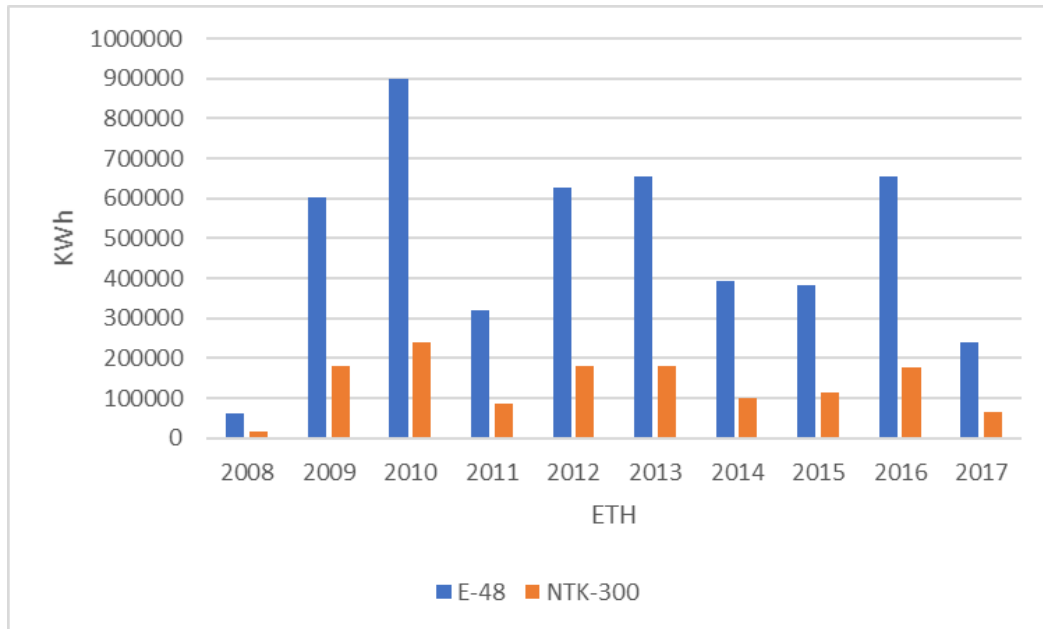
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι στον σταθμό 3-5 Πηγάδια για τα έτη 2008-2017 η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 0-10 m/s και σπάνια φτάνει τα 11-12 m/s. Γενικά παρατηρούνται μέτριες ταχύτητες.



Σχήμα 43 Παραγωγή ενέργειας στα 3-5 Πηγάδια, το διάστημα 2007-2020 ανά μήνα

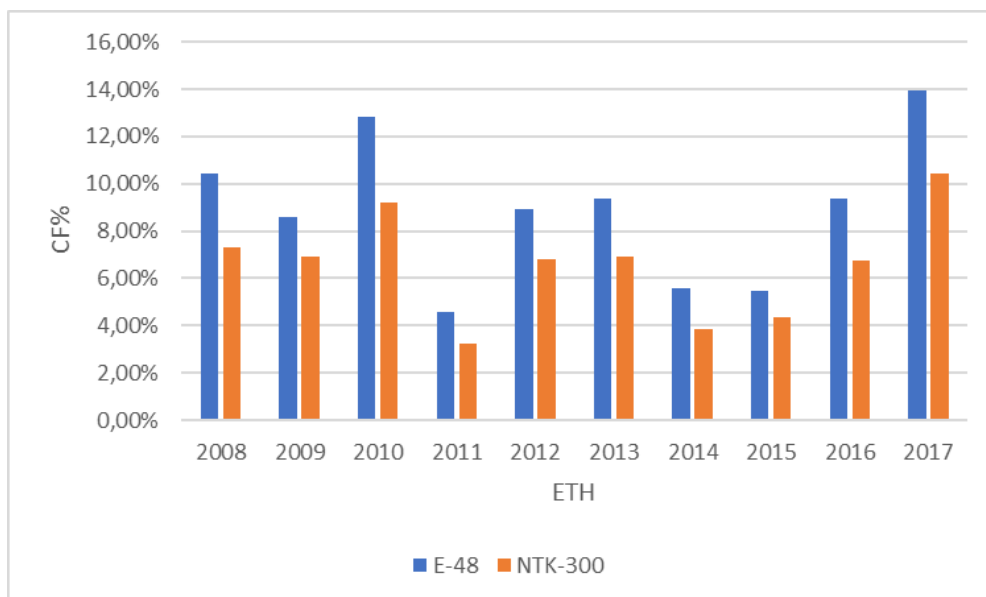
Στο διάγραμμα της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας παρατηρούμε ότι ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες η παραγωγή είναι ελάχιστη, υψηλότερη παραγωγή ενέργειας

παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και ακολουθεί η ανοιξιάτικη περίοδος. Συγκεκριμένα τον Ιανουάριο και τον Δεκέμβριο με 850628,4 KWh (E-48), 233749,9 KWh (NTK-300) και 792318,7 KWh (E-48), 229347,3 KWh (NTK-300) αντίστοιχα έχω την μέγιστη παραγωγή ενέργειας στις δύο Α/Γ. Είναι εμφανές ότι η Α/Γ ENERCON E-48 800 KW παράγει περισσότερη ενέργεια από τη Α/Γ της ABB NTK-300 300 Kw.



Σχήμα 44 Παραγωγή ενέργειας στα 3-5 Πηγάδια, το διάστημα 2007-2020 ανά έτος

Όπως στην μηνιαία παραγωγή έτσι και στην ετήσια παραγωγή το μοντέλο E-48 της ENERCON ξεπέρασε κατά πολύ την NTK-300 της ABB ξεπερνώντας το 2010 τις 890000 KWh σε σύγκριση με τις 241551,8 KWh της δεύτερης.



Σχήμα 45 Συντελεστής χρησιμοποίησης CF στα 3-5 Πηγάδια, 2007-2020

Οι τιμές του CF (συντελεστή διαθεσιμότητας) για την ENERCON E-48 κυμαίνονται από 4-14 % με μέσο όρο 8,51% και της ABB NTK-300 από 2-11 % με μέσο όρο 6,58%. Από το παραπάνω διάγραμμα η Α/Γ E-48 φαίνεται να είναι πιο αποδοτική από αυτήν της ABB εφόσον έχουμε μεγαλύτερο CF. Παρόλα αυτά οι τιμές του CF κυμαίνονται σε σχεδόν ικανοποιητικά επίπεδα όμως δεν ενδείκνυται εγκατάσταση ανεμογεννήτριας σε αυτό το σημείο.

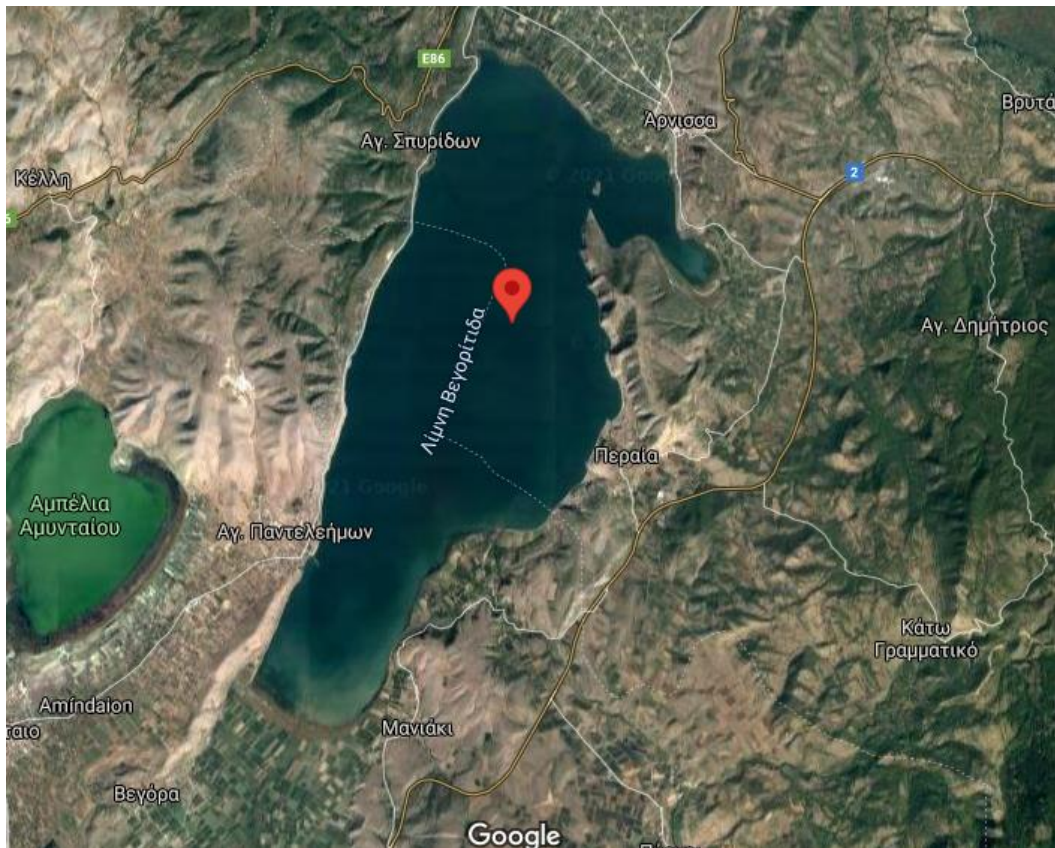
3-5 ΠΗΓΑΔΙΑ			E-48		NTK-300	
ετος	πληροτητα	%	P(KWh)	CF	P(KWh)	CF
2008	31/365	8,49%	62240,1	10,46%	16273,3	7,29%
2009	365/365	100,00%	601120,3	8,58%	181128,6	6,89%
2010	365/365	100,00%	899718,7	12,84%	241551,8	9,19%
2011	365/365	100,00%	320864,9	4,58%	85331,5	3,25%
2012	366/366	100,00%	626476,5	8,94%	179117,1	6,82%
2013	365/365	100,00%	655845,9	9,36%	182284,2	6,94%
2014	363/365	100,00%	392499,9	5,60%	100759,4	3,83%
2015	365/365	100,00%	381477,5	5,44%	115024	4,38%
2016	366/366	100,00%	656247,2	9,36%	177876	6,77%
2017	90/365	24,66%	240667	13,93%	67463,2	10,41%
M.O				8,91%		6,58%

Πίνακας 46 Παραγόμενη ισχύς και CF ανά έτος

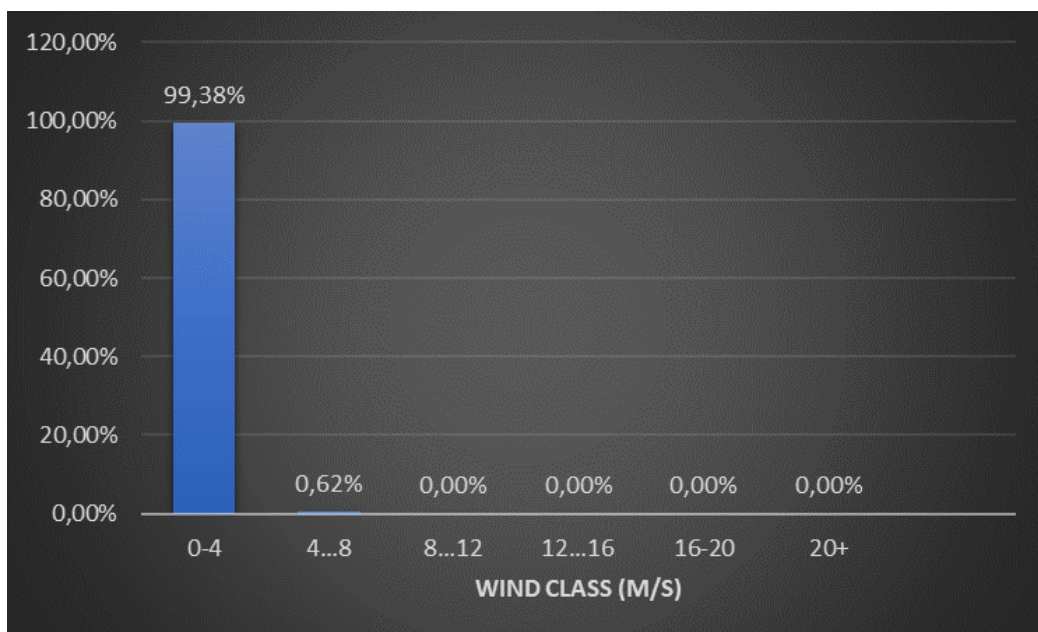
Η πληρότητα δεν αγγίζει το 100% για κάθε έτος, αποτέλεσμα που οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων από τον μετεωρολογικό σταθμό 3-5 Πηγάδια. Συγκεκριμένα το έτος 2008 και 2017 έχω δεδομένα διαθέσιμα για 31 και 90 μέρες αντίστοιχα. Παρόλα αυτά για την διεκπεραίωση της μελέτης μας υπολογίστηκε ο CF σύμφωνα με την εκάστοτε πληρότητα και σαν η Α/Γ να δουλεύει έτσι για όλη την διάρκεια του χρόνου.



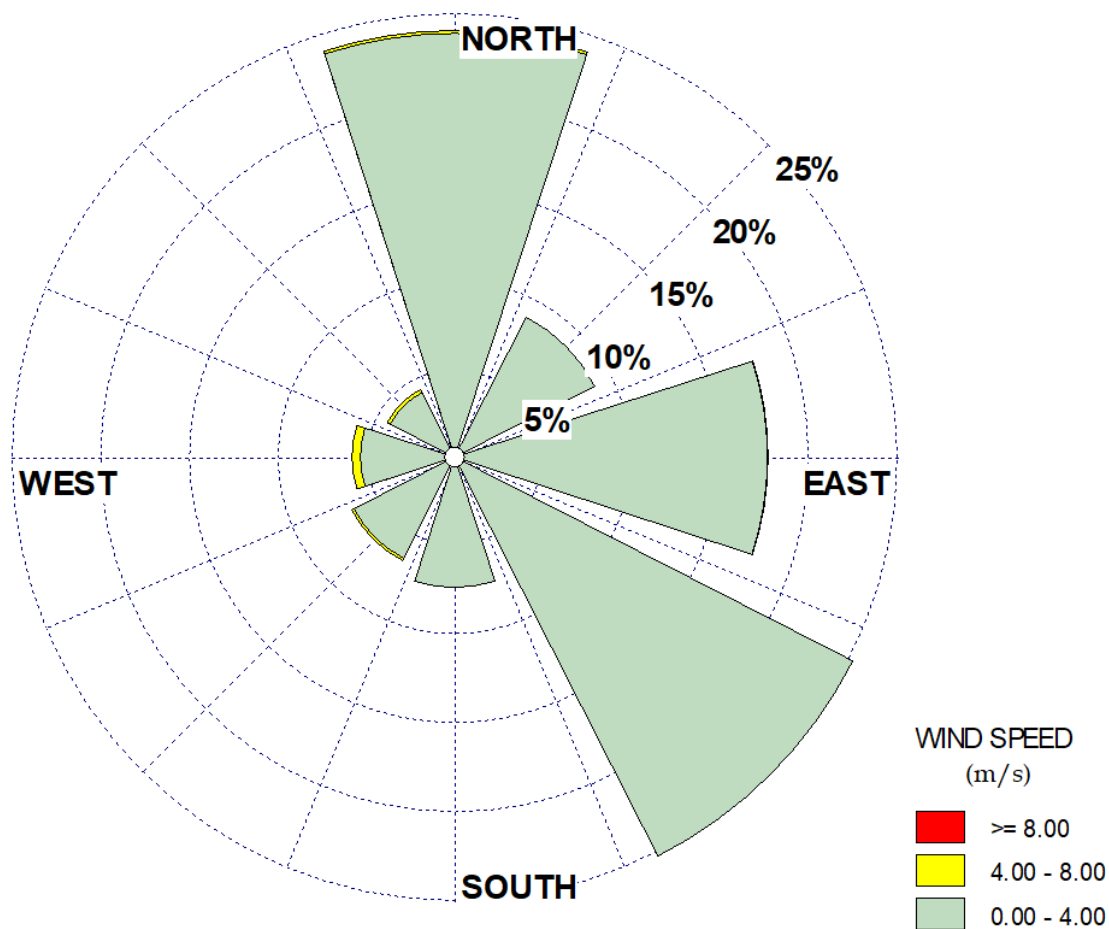
### 5.3 ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑ



Σχήμα 47 Τοπογραφική αναπαράσταση περιοχής Βεγορίτιδας

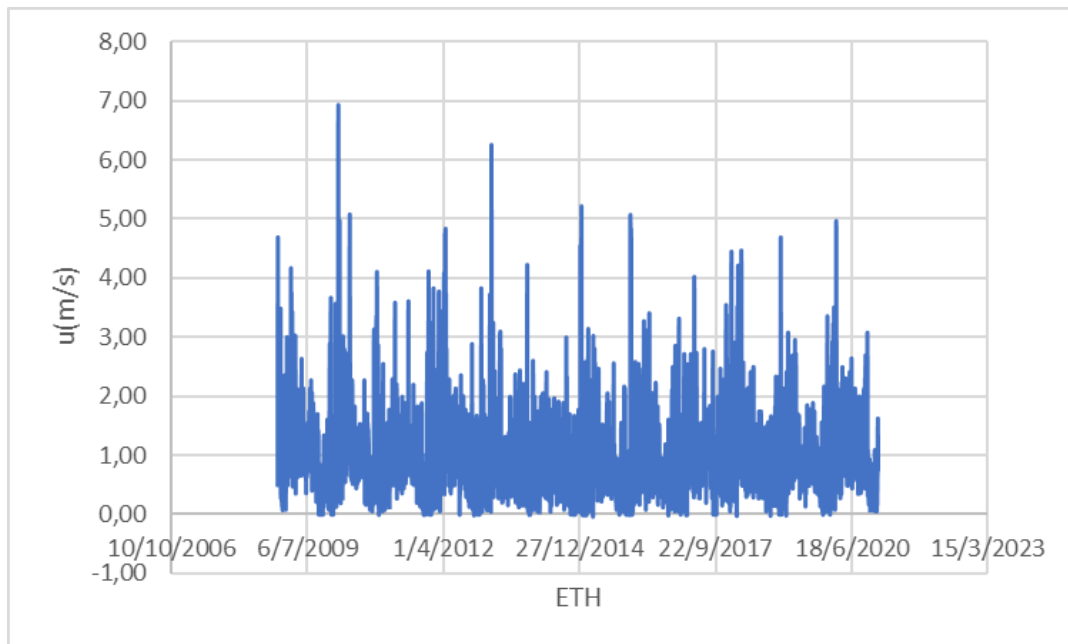


Σχήμα 48 Κατανομή ταχυτ. ανέμου στην Βεγορίτιδα, 2008-2020, 50μ από το έδαφος



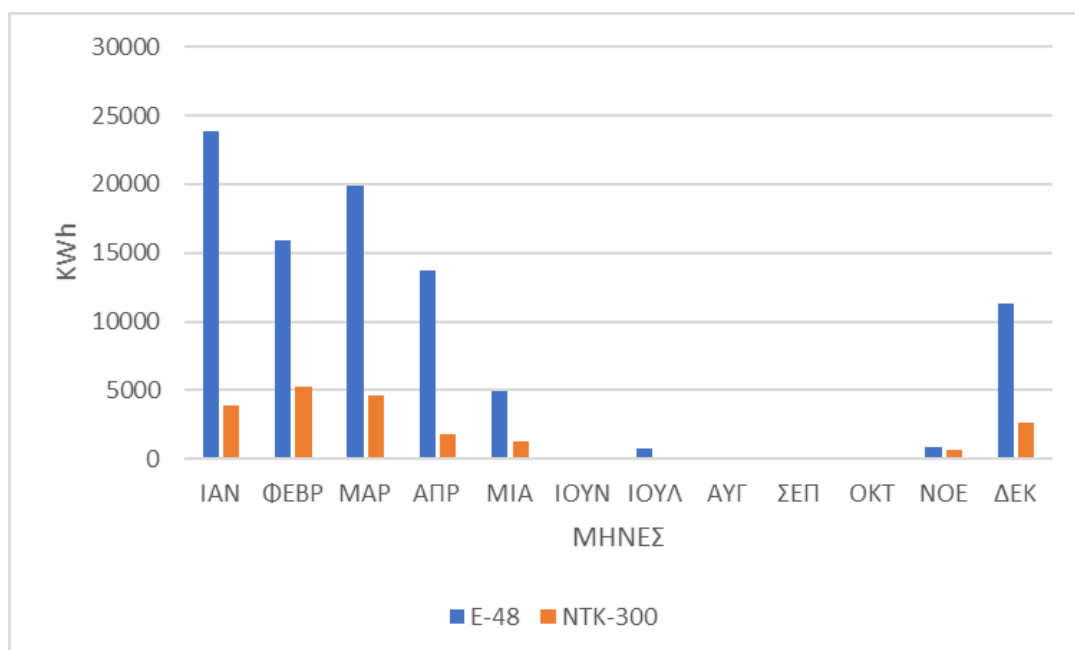
Σχήμα 49 Ροδόγραμμα ανέμου στην Βεγορίτιδα, 2008-2020, 50μ από το έδαφος

Σύμφωνα με το ροδόγραμμα και το διάγραμμα κατανομής ταχύτητας παραπάνω για την περιοχή Βεγορίτιδα, παρατηρούμε ότι η κύρια διεύθυνση του ανέμου κατά την διάρκεια 2008-2020 είναι οι νοτιοανατολικοί και οι βόρειοι άνεμοι αν και τις μεγαλύτερες ταχύτητες τις παρατηρούμε από δυτικούς ανέμους. Σε ποσοστό 99% οι ταχύτητες ανέμου είναι χαμηλότερες από 4 m/s, ενώ σε λιγοστές περιπτώσεις ξεπερνάμε την ταχύτητα των 4m/s. Τα παραπάνω δεδομένα δηλώνουν ένα πολύ χαμηλό αιολικό δυναμικό.



Σχήμα 50 Ταχύτητες ανέμου στην Βεγορίτιδα, 2008-2020

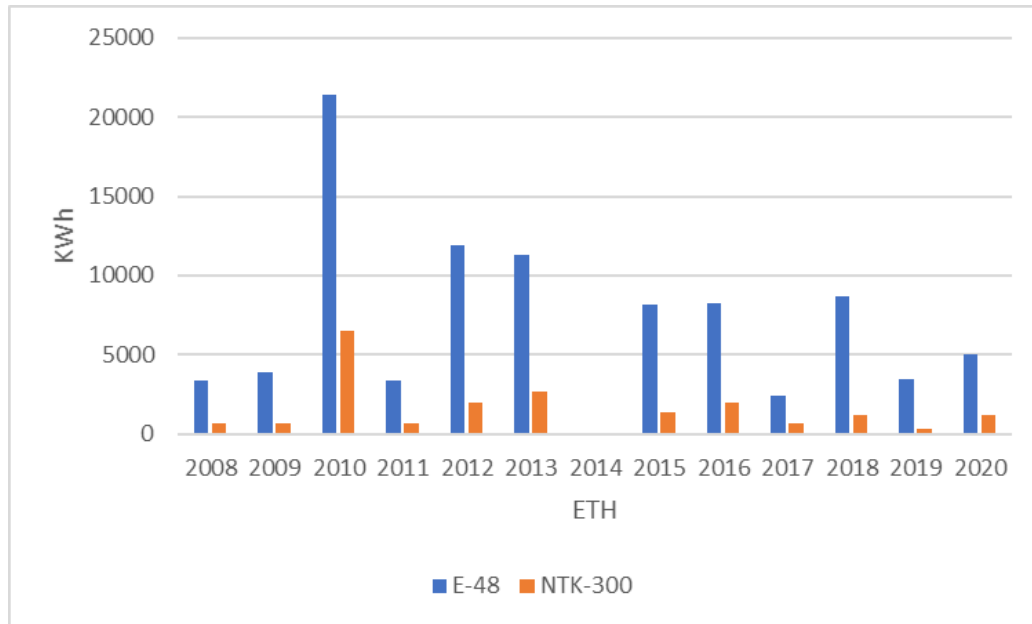
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι για τα έτη 2008-2020 η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 0-4 m/s και σπάνια φτάνει τα 5-7 m/s. Γενικά παρατηρούνται πολύ χαμηλές ταχύτητες.



Σχήμα 51 Παραγωγή ενέργειας στη Βεγορίτιδα, το διάστημα 2008-2020 ανά μήνα

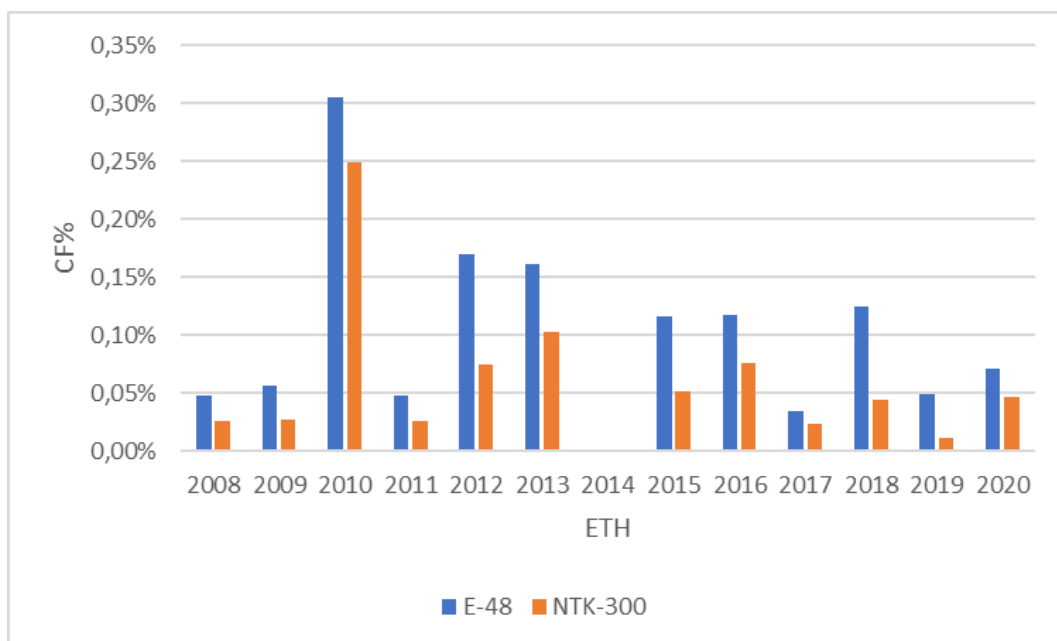
Στο διάγραμμα της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας παρατηρούμε ότι ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες η παραγωγή είναι ελάχιστη έως μηδενική, υψηλότερη παραγωγή ενέργειας παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και ακολουθεί η ανοιξιάτικη περίοδος.

Συγκεκριμένα τον Ιανουάριο και τον Δεκέμβριο με 995,8 KWh (E-48), 162,3 KWh (NTK-300) και 473,4 KWh (E-48), 109,3 KWh (NTK-300) αντίστοιχα έχω την μέγιστη παραγωγή ενέργειας στις δύο Α/Γ. Είναι εμφανές ότι η Α/Γ ENERCON E-48 800 KW παράγει περισσότερη ενέργεια από τη Α/Γ της ABB NTK-300 300 Kw.



Σχήμα 52 Παραγωγή ενέργειας στην Βεγορίτιδα, το διάστημα 2008-2020 ανά έτος

Όπως στην μηνιαία παραγωγή έτσι και στην ετήσια παραγωγή το μοντέλο E-48 της ENERCON ξεπέρνα κατά πολύ την NTK-300 της ABB ξεπερνώντας το 2010 τις 20000 KWh σε σύγκριση με τις 6540 KWh της δεύτερης.



Σχήμα 53 Συντελεστής χρησιμοποίησης CF στην Βεγορίτιδα, 2008-2020

Οι τιμές του CF (συντελεστή διαθεσιμότητας) για την ENERCON E-48 κυμαίνονται από 0-1 % με μέσο όρο 0,10% και της ABB NTK-300 από 0-0,3 % με μέσο όρο 0,1%. Από το παραπάνω διάγραμμα η Α/Γ E-48 φαίνεται να είναι πιο αποδοτική από αυτήν της ABB εφόσον έχουμε μεγαλύτερο CF. Παρόλα αυτά οι τιμές του CF δεν κυμαίνονται σε ικανοποιητικά επίπεδα και συμπερασματικά δεν ενδείκνυται εγκατάσταση ανεμογεννήτριας σε αυτό το σημείο.

ετος	ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑ		E-48		NTK-300	
	πληροτητα	%	P(KWh)	CF	P(KWh)	CF
2008	31/365	8,49%	3376,8	0,05%	684	0,03%
2009	365/365	100,00%	3921,6	0,06%	708	0,03%
2010	365/365	100,00%	21439,2	0,31%	6540	0,25%
2011	365/365	100,00%	3391,2	0,05%	693,6	0,03%
2012	365/365	100,00%	11947,2	0,17%	1960,8	0,07%
2013	365/365	100,00%	11332,8	0,16%	2707,2	0,10%
2014	365/365	100,00%	45,6	0,00%	0	0,00%
2015	365/365	100,00%	8174,4	0,12%	1365,6	0,05%
2016	365/365	100,00%	8241,6	0,12%	1994,4	0,08%
2017	365/365	100,00%	2400	0,03%	631,2	0,02%
2018	365/365	100,00%	8707,2	0,12%	1176	0,04%
2019	365/365	100,00%	3415,2	0,05%	297,6	0,01%
2020	365/365	100,00%	4994,4	0,07%	1219,2	0,05%
M.O				0,10%		0,06%

Πίνακας 54 Παραγόμενη ισχύς και CF ανά έτος

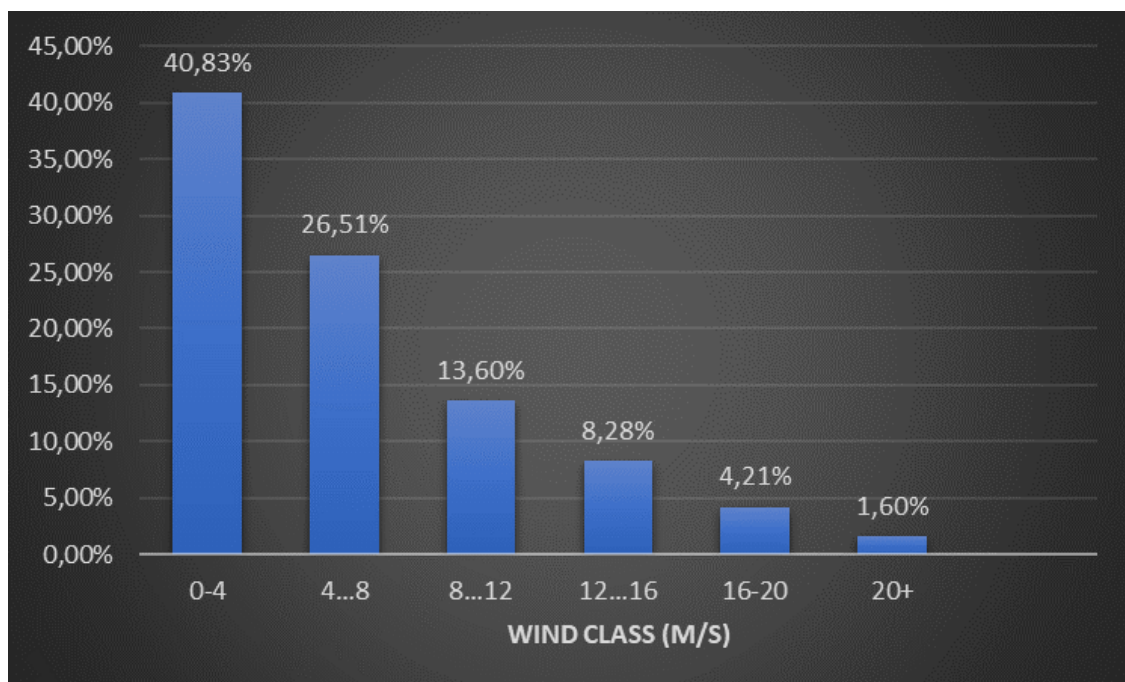
Η πληρότητα δεν αγγίζει το 100% για κάθε έτος, αποτέλεσμα που οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων από τον μετεωρολογικό σταθμό Βεγορίτιδα. Συγκεκριμένα το έτος 2008 έχω δεδομένα διαθέσιμα για 31 ημέρες. Παρόλα αυτά για την διεκπεραίωση της μελέτης μας υπολογίστηκε ο CF σύμφωνα με την εκάστοτε πληρότητα και σαν η Α/Γ να δουλεύει έτσι για όλη την διάρκεια του χρόνου.



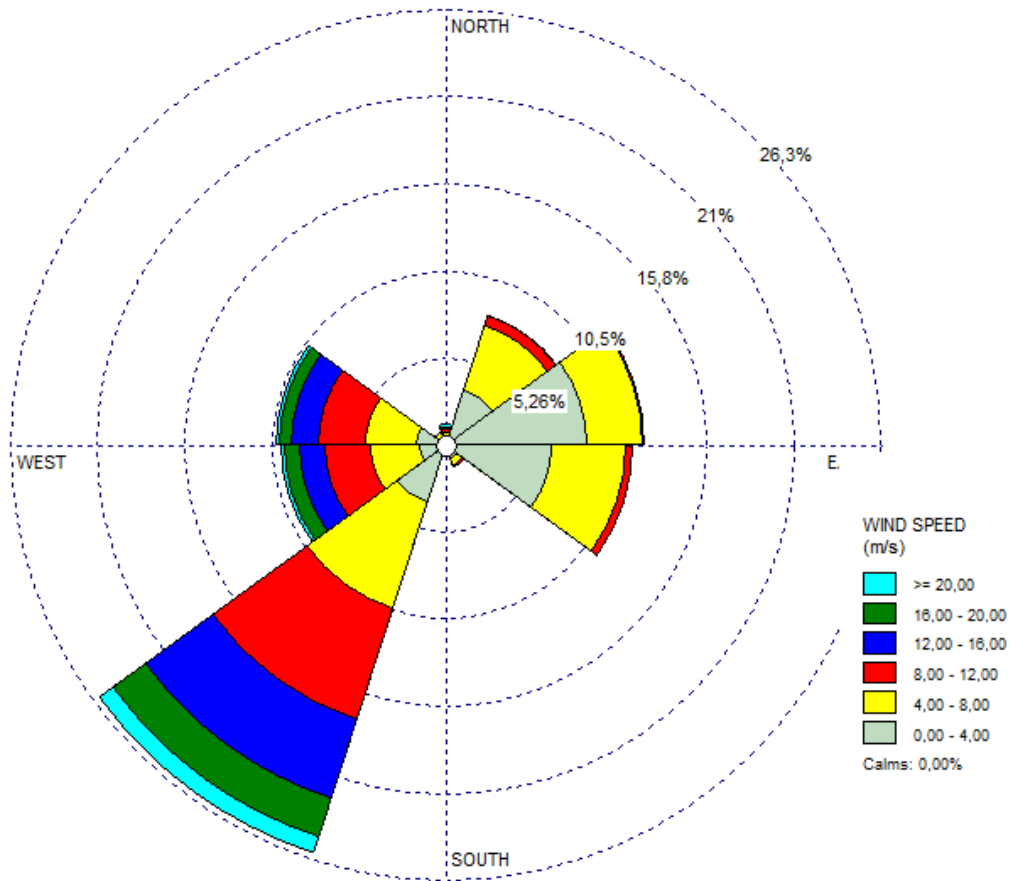
## 5.4 ΒΑΣΙΛΙΤΣΑ



Σχήμα 55 Τοπογραφική αναπαράσταση Βασιλίτσας



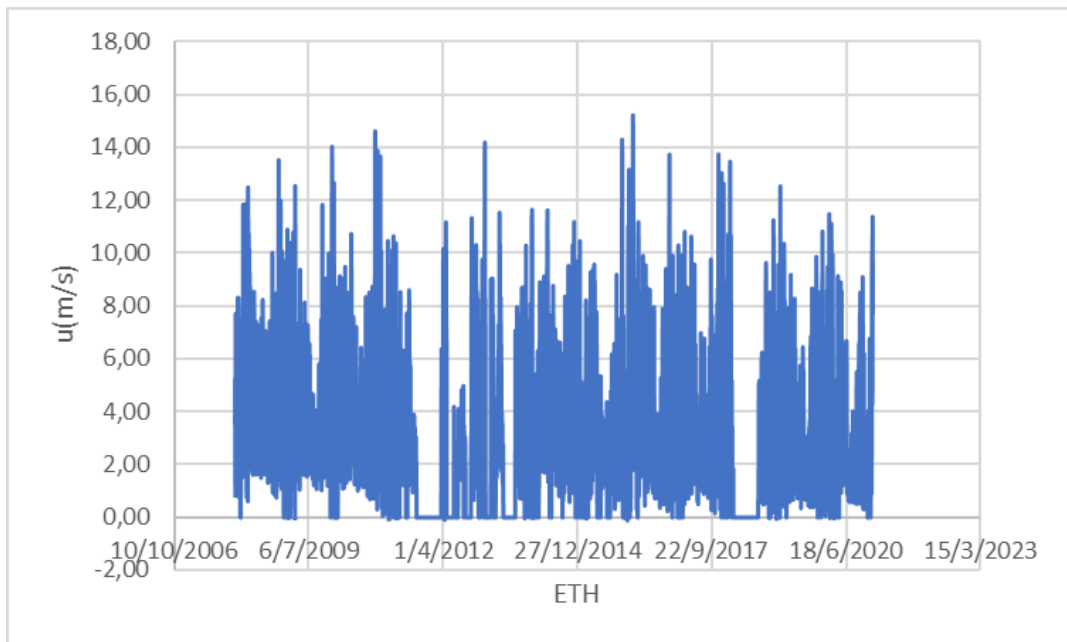
Σχήμα 56 Κατανομή ταχυτ. ανέμου στην Βασιλίτσα, 2008-2020, 50μ από το έδαφος



Σχήμα 57 Ροδόγραμμα ανέμου στην Βασιλίτσα, 2008-2020, 50μ από το έδαφος

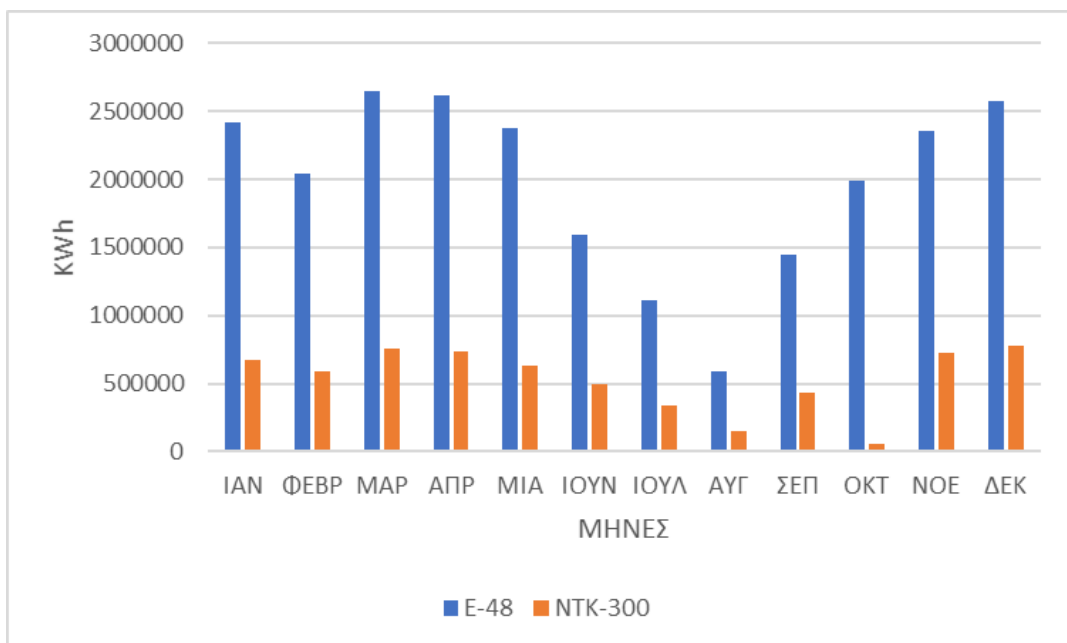
Σύμφωνα με το ροδόγραμμα και το διάγραμμα κατανομής ταχύτητας παραπάνω για την περιοχή Βασιλίτσα, παρατηρούμε ότι η κύρια διεύθυνση του ανέμου κατά την διάρκεια 2008-2020 είναι οι νοτιοδυτικοί άνεμοι αν και αρκετά μεγάλες ταχύτητες παρατηρούμε από νότιους κ ανατολικούς ανέμους. Σε ποσοστό 68% οι ταχύτητες ανέμου είναι χαμηλότερες από 8 m/s, ένα ποσοστό της τάξης του 13% είναι μεταξύ 12-20% ενώ ξεπερνάνε την ταχύτητα των 20m/s το 1,6%. Τα παραπάνω δεδομένα δηλώνουν ένα πολύ καλό αιολικό δυναμικό για τα δεδομένα της Ελλάδος.





Σχήμα 58 Ταχύτητες ανέμου στην Βασιλίτσα, 2008-2020

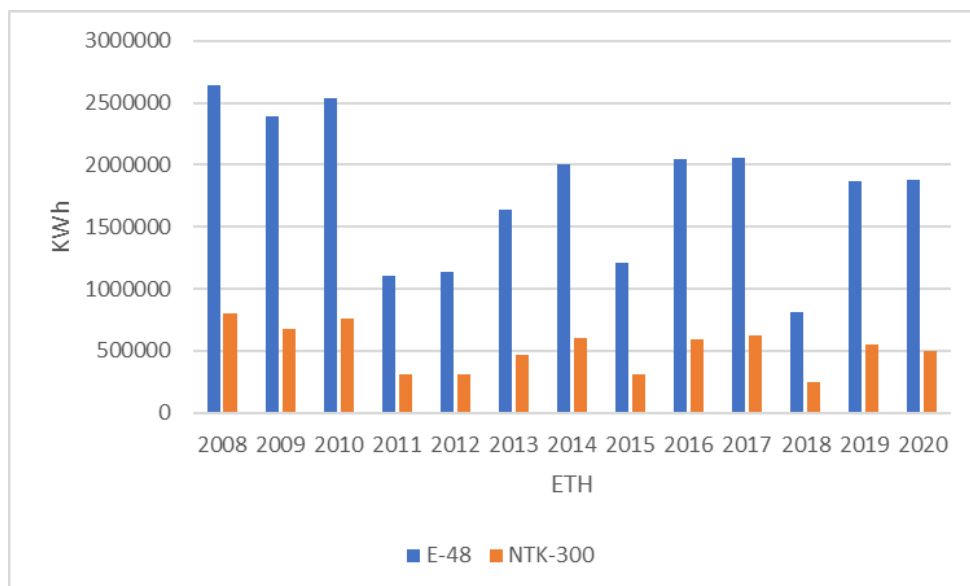
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι για τα έτη 2008-2020 η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 0-14 m/s και σπάνια ξεπερνάει τα 14 m/s. Παρατηρούνται υψηλές ταχύτητες.



Σχήμα 59 Παραγωγή ενέργειας στην Βασιλίτσα, το διάστημα 2008-2020 ανά μήνα

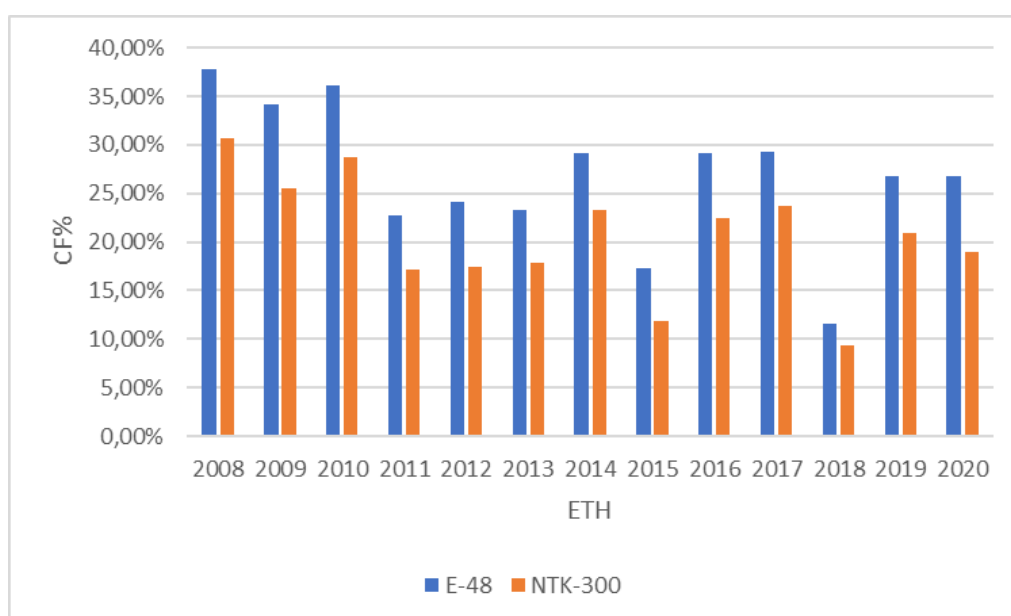
Στο διάγραμμα της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας παρατηρούμε ότι ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες η παραγωγή είναι μικρότερη σε σχέση με τους υπόλοιπους, παρόλα

αυτά είναι σε υψηλά επίπεδα. Η υψηλότερη παραγωγή ενέργειας παρατηρείται τους μήνες της άνοιξης και ακολουθεί η χειμερινή περίοδος. Συγκεκριμένα τον Μάρτιο και τον Απρίλιο με 2650121,9 KWh (E-48), 759796,5 KWh (NTK-300) και 2622495,7 KWh (E-48), 731211,7 KWh (NTK-300) αντίστοιχα έχω την μέγιστη παραγωγή ενέργειας στις δύο Α/Γ. Ακολουθεί ο Δεκέμβρης με το μοντέλο της ENERCON να ξεπερνά τις 2500000 KWh και της ABB τις 800000 KWh. Είναι εμφανές ότι η Α/Γ ENERCON E-48 800 KW παράγει περισσότερη ενέργεια από τη Α/Γ της ABB NTK-300 300 Kw.



Σχήμα 60 Παραγωγή ενέργειας στην Βασιλίτσα, το διάστημα 2008-2020 ανά έτος

Όπως στην μηνιαία παραγωγή έτσι και στην ετήσια παραγωγή το μοντέλο E-48 της ENERCON ξεπέρνα κατά πολύ την NTK-300 της ABB ξεπερνώντας το 2008 τις 2500000 KWh σε σύγκριση με τις 804474.1 KWh της δεύτερης.



Σχήμα 61 Συντελεστής χρησιμοποίησης CF στη Βασιλίτσα, 2008-2020

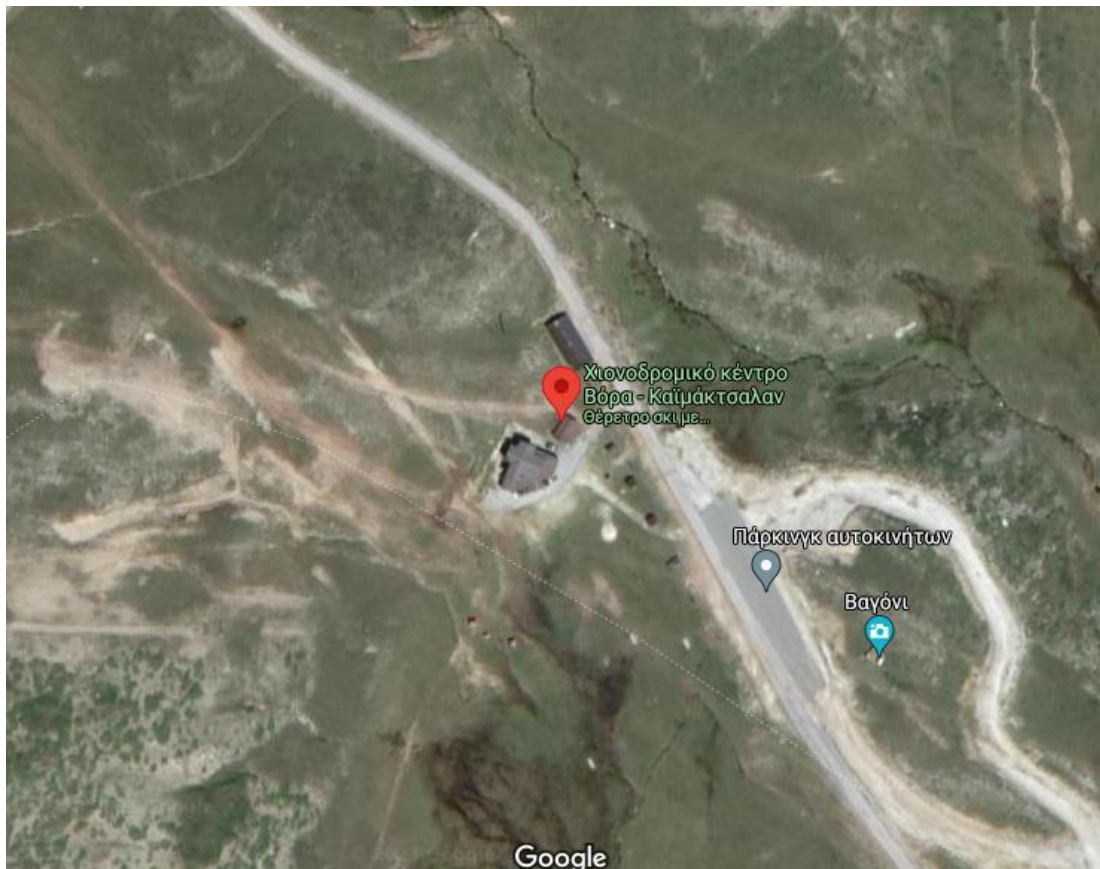
Οι τιμές του CF (συντελεστή διαθεσιμότητας) για την ENERCON E-48 κυμαίνονται από 12-37 % με μέσο όρο 26,27% και της ABB NTK-300 από 9-30 % με μέσο όρο 20,61 %. Από το παραπάνω διάγραμμα η Α/Γ E-48 φαίνεται να είναι πιο αποδοτική από αυτήν της ABB εφόσον έχουμε μεγαλύτερο CF. Στην περίπτωση της Βασιλίτσας, αν λάβουμε υπόψιν ότι ο CF στην Ελλάδα κυμαίνεται μεταξύ 18-25 %, τότε βρισκόμαστε σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα και ενδείκνυται η εγκατάσταση Α/Γ.

ΒΑΣΙΛΙΤΣΑ			E-48		NTK-300	
ετος	πληροτητα	%	P(KWh)	CF	P(KWh)	CF
2008	366/366	100,00%	2645637	37,75%	804474,1	30,61%
2009	365/365	100,00%	2393467	34,15%	671176,2	25,54%
2010	365/365	100,00%	2533201	36,15%	754543	28,71%
2011	252/365	69,04%	1101005	22,76%	311350,1	17,16%
2012	244/365	66,85%	1132058	24,16%	305153,4	17,37%
2013	365/365	100,00%	1635039	23,33%	469384	17,86%
2014	358/365	98,08%	2000068	29,10%	600940	23,31%
2015	365/365	100,00%	1208118	17,24%	312642,1	11,90%
2016	365/365	100,00%	2045632	29,19%	590040	22,45%
2017	365/365	100,00%	2055524	29,33%	624610	23,77%
2018	365/365	100,00%	810270	11,56%	246159	9,37%
2019	365/365	100,00%	1871718	26,71%	548251	20,86%
2020	365/365	100,00%	1873611	26,74%	500000,2	19,03%
M.O				26,78%		20,61%

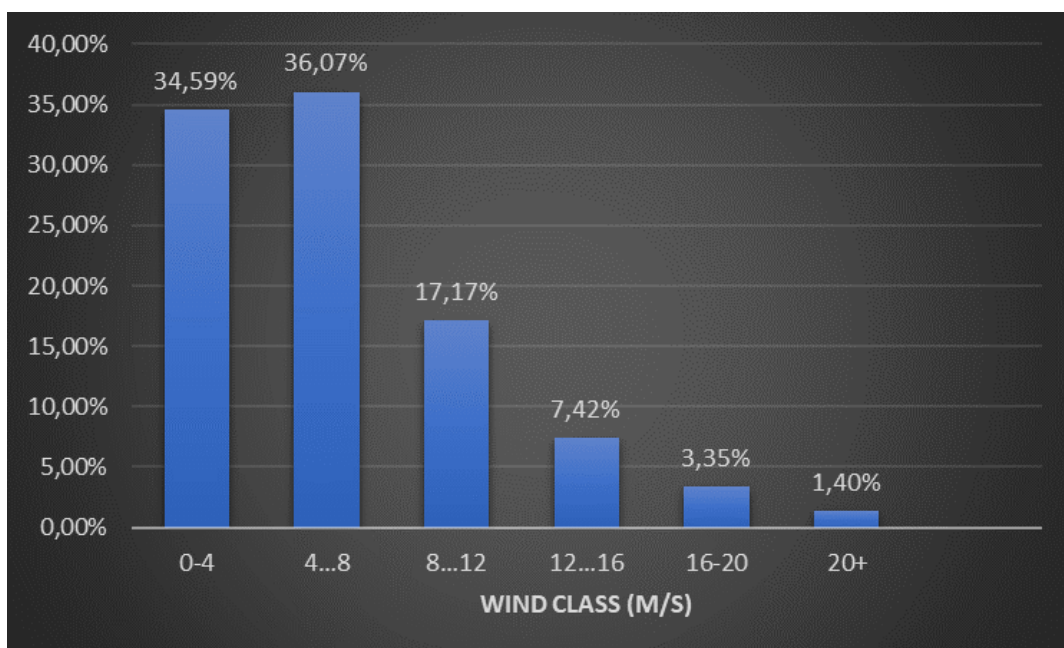
Πίνακας 62 Παραγόμενη ισχύς και CF ανά έτος

Η πληρότητα δεν αγγίζει το 100% για κάθε έτος, αποτέλεσμα που οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων από τον μετεωρολογικό σταθμό Βασιλίτσα. Συγκεκριμένα το έτος 2011 και 2012 έχω δεδομένα διαθέσιμα για 252 και 244 μέρες αντίστοιχα. Παρόλα αυτά για την διεκπεραίωση της μελέτης μας υπολογίστηκε ο CF σύμφωνα με την εκάστοτε πληρότητα και σαν η Α/Γ να δουλεύει έτσι για όλη την διάρκεια του χρόνου.

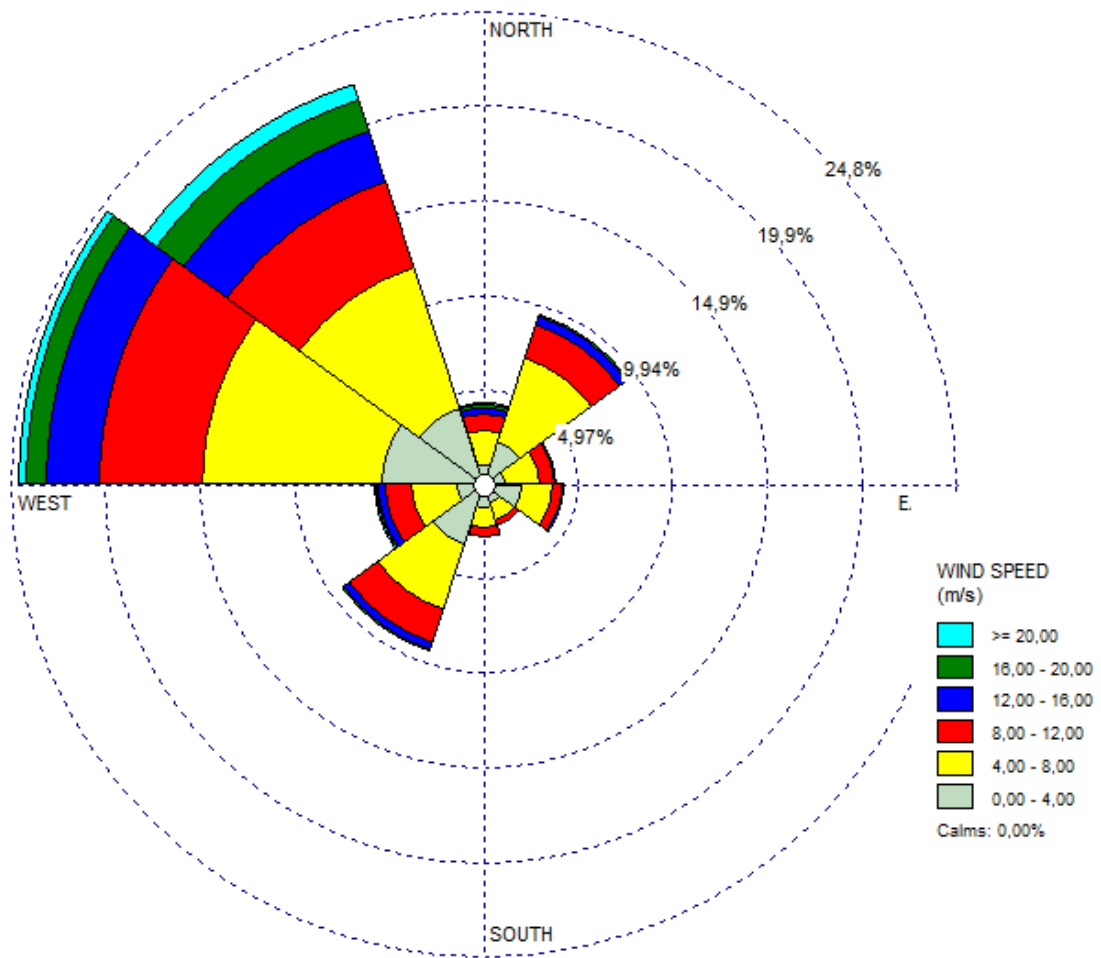
## 5.5 ΚΑΙΚΜΑΤΣΑΛΑΝ



Σχήμα 63 Τοπογραφική αναπαράσταση περιοχής Καϊμακτσαλάν

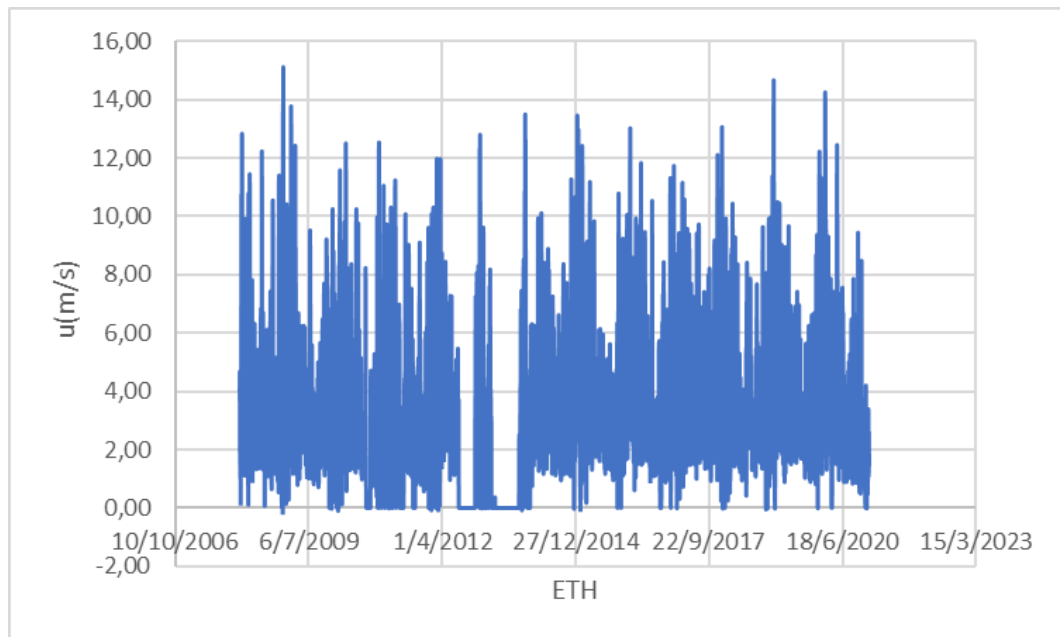


Σχήμα 64 Κατανομή ταχυτ. ανέμου στο Καϊμακτσαλάν , 2008-2020, 50μ από το έδαφος



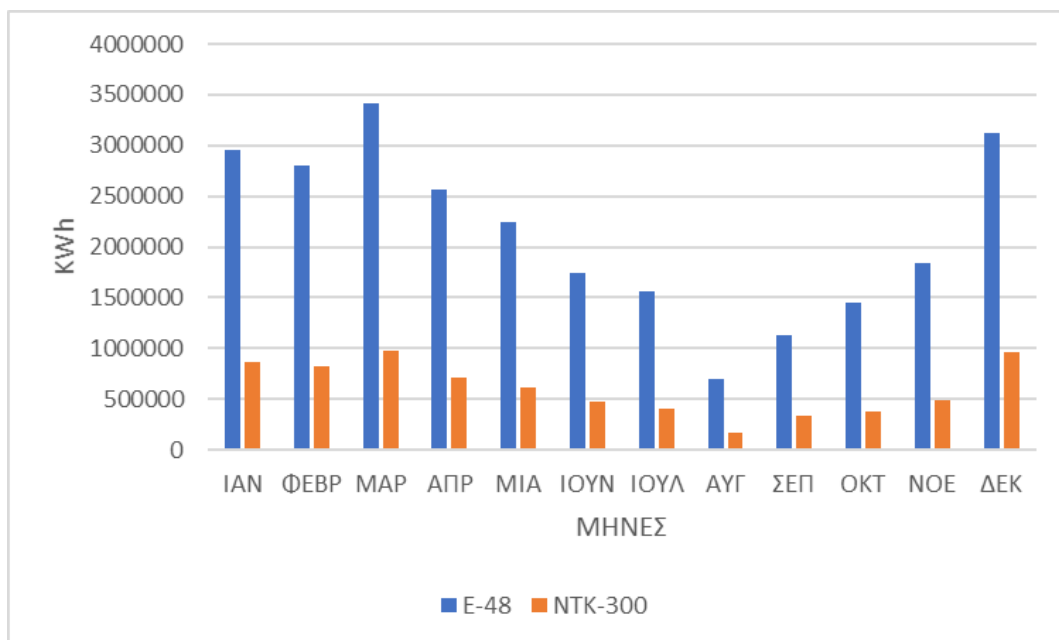
Σχήμα 65 Ροδόγραμμα ανέμου στο Καϊμακτσαλάν, 2008-2020, 50μ από το έδαφος

Σύμφωνα με το ροδόγραμμα και το διάγραμμα κατανομής ταχύτητας παραπάνω για την περιοχή Καϊμακτσαλάν, παρατηρούμε ότι η κύρια διεύθυνση του ανέμου κατά την διάρκεια 2008-2020 είναι οι βορειοδυτικοί άνεμοι. Σε ποσοστό 71% οι ταχύτητες ανέμου είναι χαμηλότερες από 8 m/s, ένα ποσοστό της τάξης του 11% είναι μεταξύ 12-20% ενώ ξεπερνάνε την ταχύτητα των 20m/s το 1,4%. Τα παραπάνω δεδομένα δηλώνουν ένα πολύ καλό αιολικό δυναμικό για τα δεδομένα της Ελλάδος.



Σχήμα 66 Ταχύτητες ανέμου στο Καϊμακτσαλάν, 2008-2020

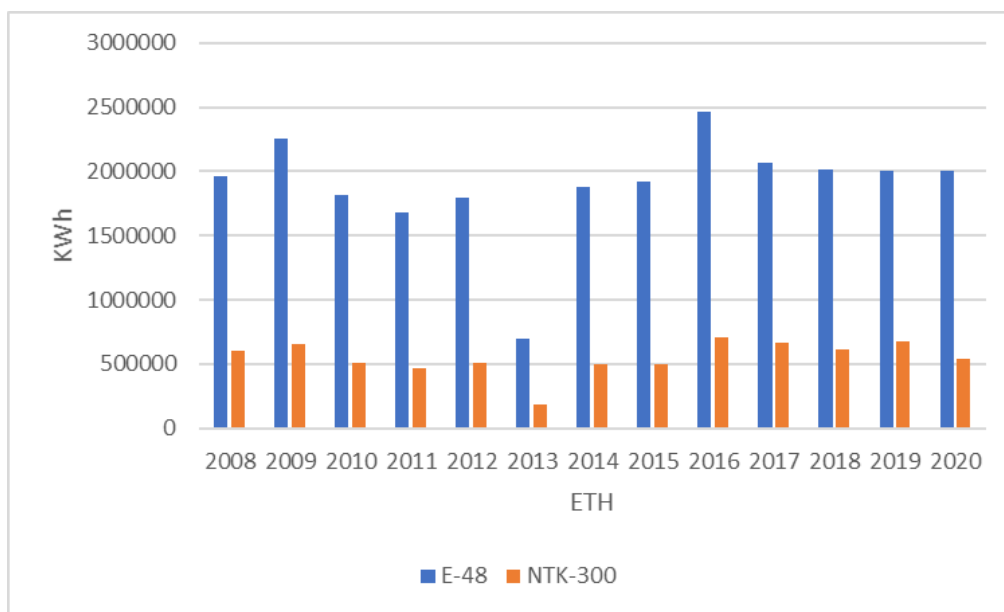
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι για τα έτη 2008-2020 η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 0-14 m/s και σπάνια ξεπερνάει τα 14 m/s. Παρατηρούνται υψηλές ταχύτητες.



Σχήμα 67 Παραγωγή ενέργειας στο Καϊμακτσαλάν, το διάστημα 2008-2020 ανά μήνα

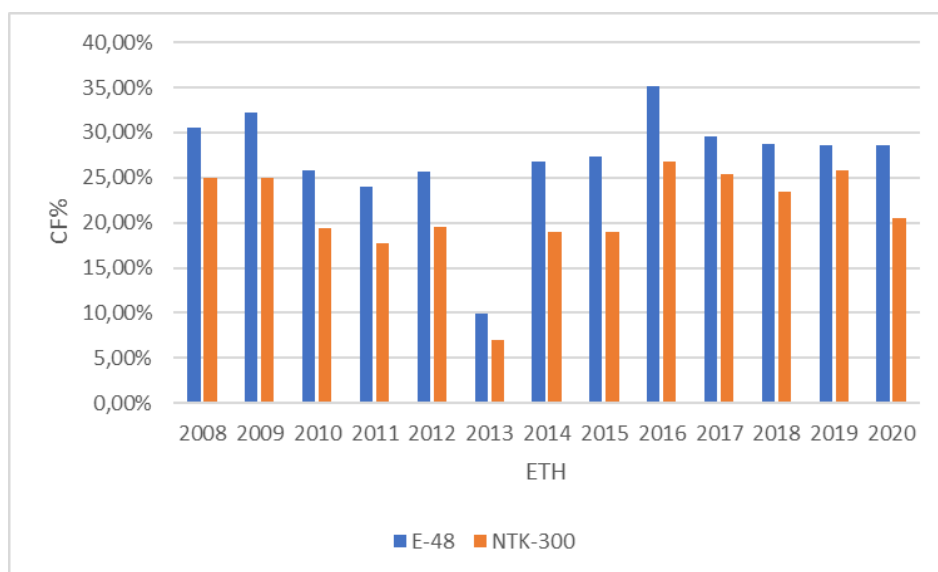
Στο διάγραμμα της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας παρατηρούμε ότι ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες η παραγωγή είναι 50-60% σε σχέση με την υπόλοιπη περίοδο, υψηλότερη παραγωγή ενέργειας παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και ακολουθεί η ανοιξιάντικη περίοδος. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι εμφανίζεται φαινόμενο εποχικότητας. Συγκεκριμένα τον Δεκέμβριο

και τον Ιανουάριο με 3123458,3 KWh (E-48), 956103,1 KWh (NTK-300) και 2954799,5 KWh (E-48), 866871,8 KWh (NTK-300) αντίστοιχα έχω υψηλή παραγωγή ενέργειας στις δύο Α/Γ.Η μέγιστη εμφανίζεται τον μήνα Μάρτιο και ξεπερνά τις 3400000 kWh, 950000 KWh για τα δύο μοντέλα. Είναι εμφανές ότι η Α/Γ ENERCON E-48 800 KW παράγει περισσότερη ενέργεια από τη Α/Γ της ABB NTK-300 300 Kw.



Σχήμα 68 Παραγωγή ενέργειας στο Καϊμακτσαλάν, το διάστημα 2008-2020 ανά έτος

Όπως στην μηνιαία παραγωγή έτσι και στην ετήσια παραγωγή το μοντέλο E-48 της ENERCON ξεπερνά κατά πολύ την NTK-300 της ABB ξεπερνώντας το 2016 τις 2400000 KWh σε σύγκριση με τις 702595,6 KWh της δεύτερης.



Σχήμα 69 Συντελεστής χρησιμοποίησης CF στο Καϊμακτσαλάν, 2008-2020



Οι τιμές του CF (συντελεστή διαθεσιμότητας) για την ENERCON E-48 κυμαίνονται από 10-35 % με μέσο όρο 27,14% και της ABB NTK-300 από 7-27 % με μέσο όρο 21,05 %. Από το παραπάνω διάγραμμα η Α/Γ E-48 φαίνεται να είναι πιο αποδοτική από αυτήν της ABB εφόσον έχουμε μεγαλύτερο CF. Στην περίπτωση του Καϊμακτσαλάν, αν λάβουμε υπόψιν ότι ο CF στην Ελλάδα κυμαίνεται μεταξύ 18-25 %, τότε βρισκόμαστε σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα και ενδείκνυται η εγκατάσταση Α/Γ.

ΚΑΙΚΜΑΤΣΑΛΑΝ			E-48		NTK-300	
ετος	πληροτητα	%	P(KWh)	CF	P(KWh)	CF
2008	335/365	91,78%	1964954	30,55%	603583	25,02%
2009	365/365	100,00%	2256039	32,19%	655949	24,96%
2010	365/365	100,00%	1812417	25,86%	509851,4	19,40%
2011	365/365	100,00%	1679535	23,97%	465823,4	17,73%
2012	365/365	100,00%	1796832	25,64%	513211,2	19,53%
2013	365/365	100,00%	694800,7	9,91%	184732,3	7,03%
2014	365/365	100,00%	1875659	26,76%	500071,3	19,03%
2015	365/365	100,00%	1917040	27,36%	498450,2	18,97%
2016	365/365	100,00%	2462211	35,13%	702595,2	26,73%
2017	365/365	100,00%	2069001	29,52%	665617,1	25,33%
2018	365/365	100,00%	2017730	28,79%	616627,1	23,46%
2019	365/365	100,00%	2000241	28,54%	680000	25,88%
2020	365/365	100,00%	2000321	28,54%	540520,6	20,57%
M.O				27,14%		21,05%

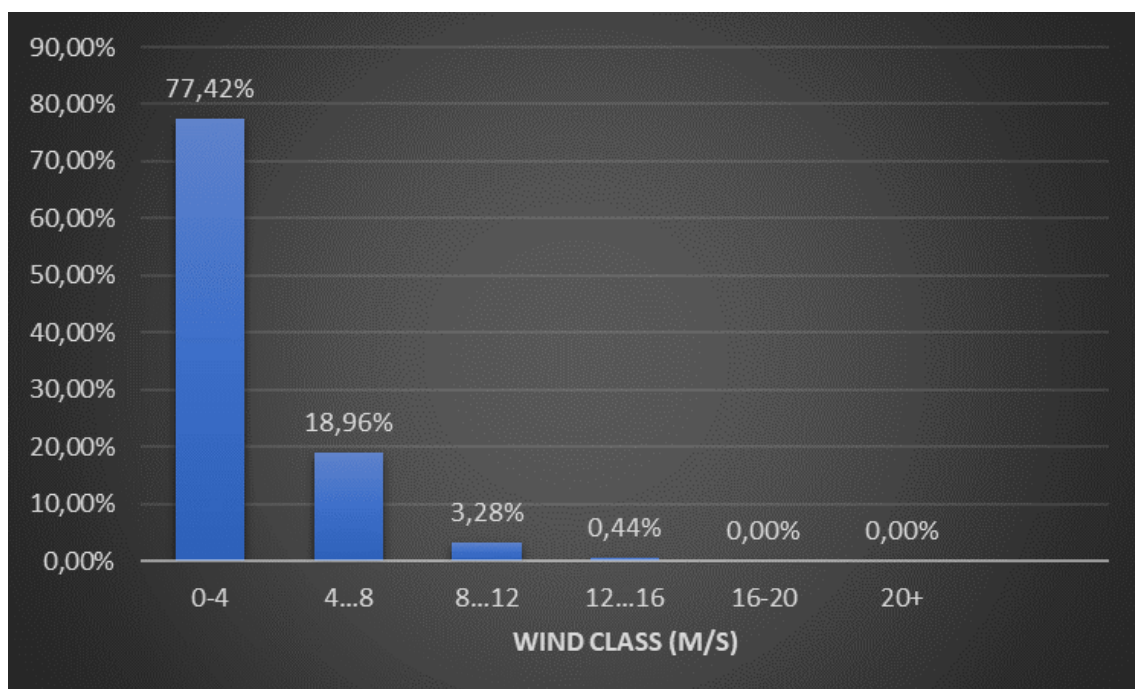
Πίνακας 70 Παραγόμενη ισχύς και CF ανά έτος

Στον σταθμό Καϊμακτσαλάν παρατηρείται πληρότητα σχεδόν 100%. Το έτος 2008 είναι η μόνη χρονιά που εμφανίζεται έλλειψη δεδομένων κατά 10%. Παρόλα αυτά για την διεκπεραίωση της μελέτης μας υπολογίστηκε ο CF σύμφωνα με την εκάστοτε πληρότητα και σαν η Α/Γ να δουλεύει έτσι για όλη την διάρκεια του χρόνου.

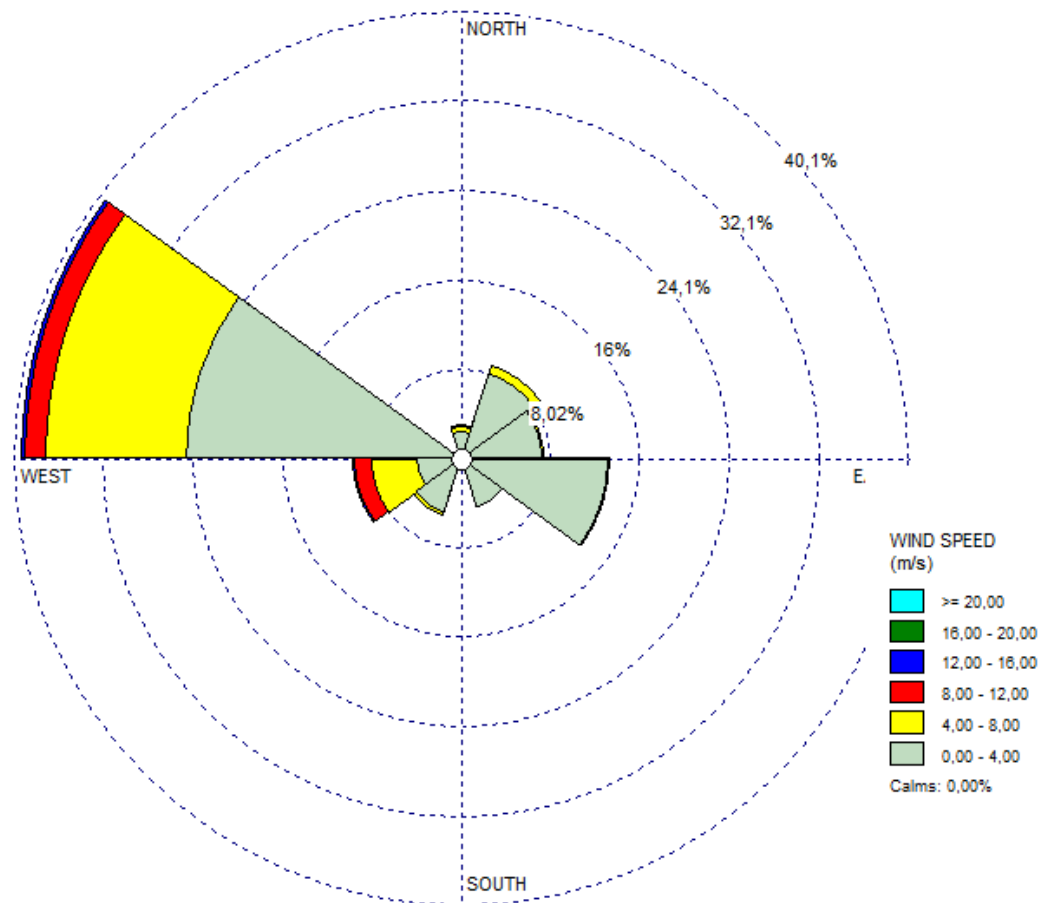
## 5.6 ΚΛΕΙΣΣΟΥΡΑ



Σχήμα 71 Τοπογραφική αναπαράσταση περιοχής Κλεισσοουρα

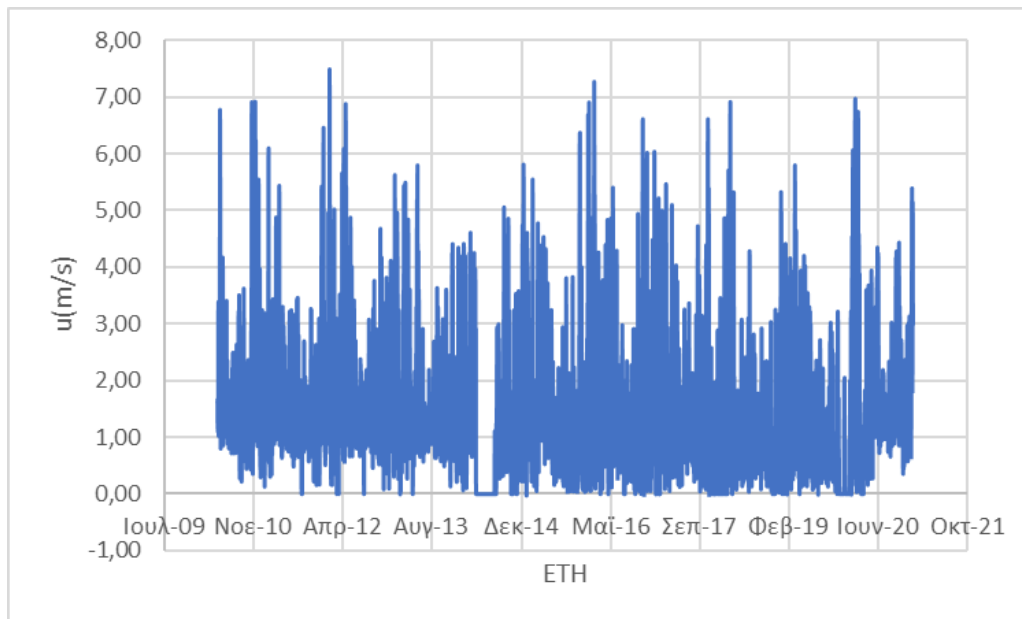


Σχήμα 72 Κατανομή ταχυτ. ανέμου στη κλεισσοουρα, 2010-2020, 50μ από το εδαφος



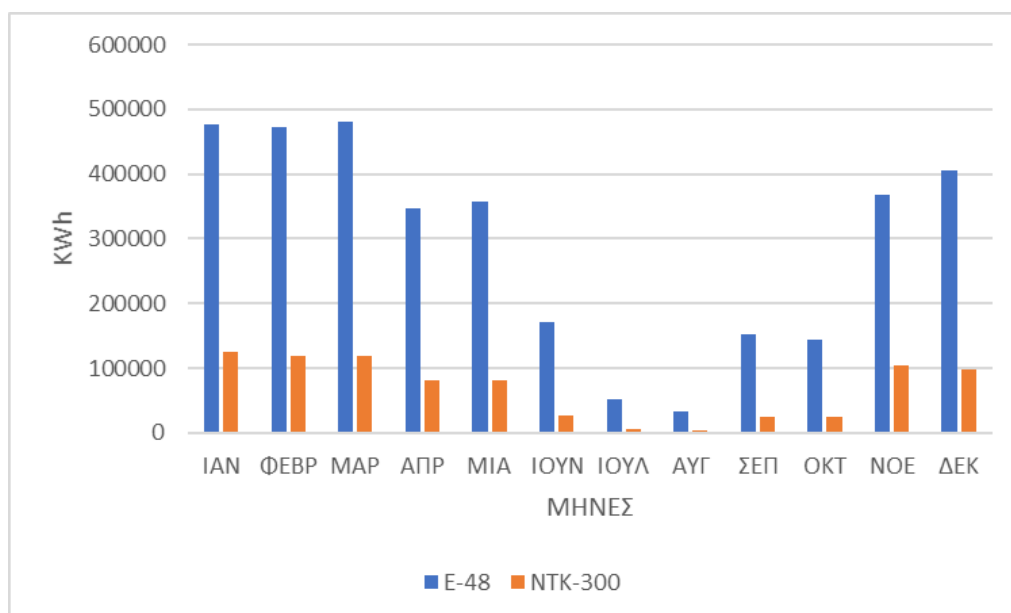
Σχήμα 73 Ροδόγραμμα ανέμου στη Κλεισσοúra, 2010-2020, 50μ από το έδαφος

Σύμφωνα με το ροδόγραμμα και το διάγραμμα κατανομής ταχύτητας παραπάνω για την περιοχή Κλεισσοúra, παρατηρούμε ότι η κύρια διεύθυνση του ανέμου κατά την διάρκεια 2010-2020 είναι οι βορειοδυτικοί άνεμοι. Σε ποσοστό 47% οι ταχύτητες ανέμου είναι χαμηλότερες από 4 m/s, 19% χαμηλότερες από 8 m/s ενώ ελάχιστες ξεπερνάνε την ταχύτητα των 12m/s. Τα παραπάνω δεδομένα δηλώνουν ένα χαμηλό αιολικό δυναμικό.



Σχήμα 74 Ταχύτητες ανέμου στην Κλεισσούρα, 2010-2020

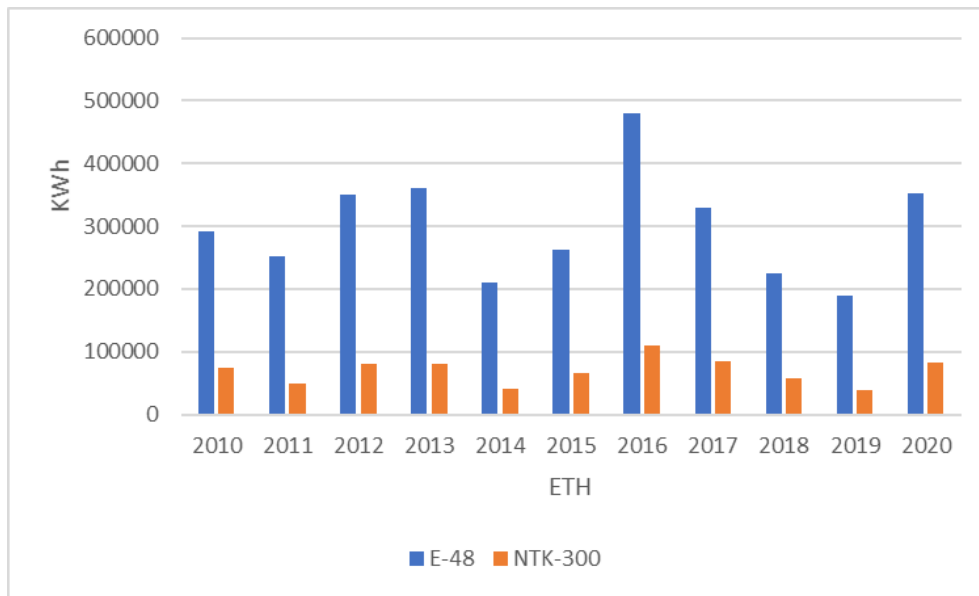
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι για τα έτη 2010-2020 η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 0-6 m/s και σπάνια φτάνει τα 7 m/s. Γενικά παρατηρούνται χαμηλές ταχύτητες.



Σχήμα 75 Παραγωγή ενέργειας στην Κλεισσούρα, το διάστημα 2010-2020 ανά μήνα

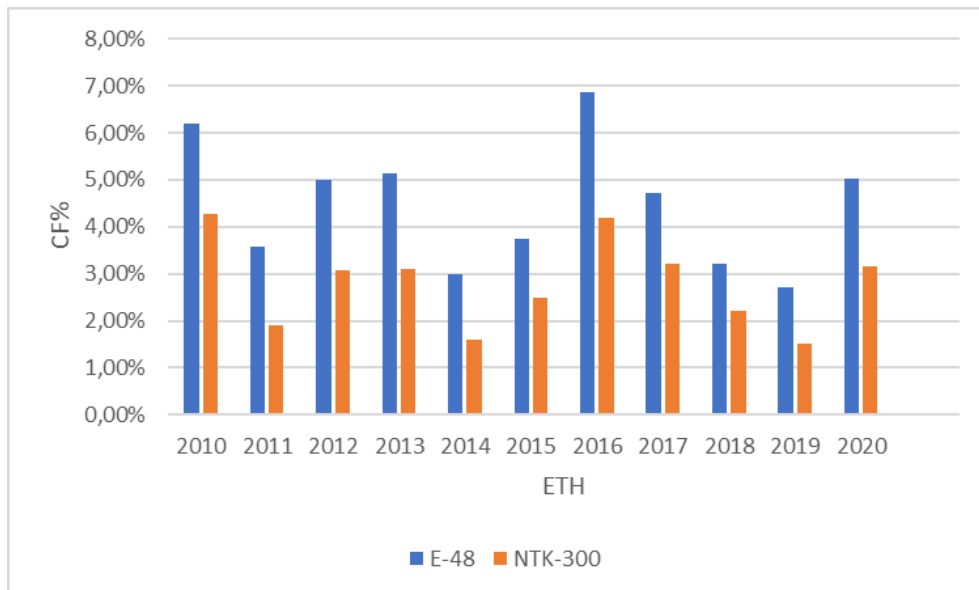
Στο διάγραμμα της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας παρατηρούμε ότι ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες η παραγωγή είναι ελάχιστη, υψηλότερη παραγωγή ενέργειας παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και ακολουθεί η ανοιξιάτικη περίοδος. Συγκεκριμένα

τον Ιανουάριο και τον Μάρτιο με 475816,2 KWh (E-48), 125639,7 KWh (NTK-300) και 480744,8 KWh (E-48), 119235,6 KWh (NTK-300) αντίστοιχα έχω την μέγιστη παραγωγή ενέργειας στις δύο Α/Γ. Είναι εμφανές ότι η Α/Γ ENERCON E-48 800 KW παράγει περισσότερη ενέργεια από τη Α/Γ της ABB NTK-300 300 Kw. Παρατηρείται το φαινόμενο της εποχικότητας, ελάχιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τους καλοκαιρινούς μήνες σε σχέση με χειμώνα και άνοιξη.



Σχήμα 76 Παραγωγή ενέργειας στην Κλεισσοúra, το διάστημα 2010-2020 ανά έτος

Όπως στην μηνιαία παραγωγή έτσι και στην ετήσια παραγωγή το μοντέλο E-48 της ENERCON ξεπέρανα κατά πολύ την NTK-300 της ABB ξεπερνώντας το 2016 τις 450000 KWh σε σύγκριση με τις 110342,6 KWh της δεύτερης.



Σχήμα 77 Συντελεστής χρησιμοποίησης CF στην Κλεισσοúra, 2010-2020

Οι τιμές του CF (συντελεστή διαθεσιμότητας) για την ENERCON E-48 κυμαίνονται από 2-7 % με μέσο όρο 4,47% και της ABB NTK-300 από 1,5-5 % με μέσο όρο 2,79%. Από το παραπάνω διάγραμμα η Α/Γ E-48 φαίνεται να είναι πιο αποδοτική από αυτήν της ABB εφόσον έχουμε μεγαλύτερο CF. Παρόλα αυτά οι τιμές του CF δεν κυμαίνονται σε ικανοποιητικά επίπεδα και συμπερασματικά δεν ενδείκνυται εγκατάσταση ανεμογεννήτριας σε αυτό το σημείο.

ΚΛΕΙΣΟΥΡΑ			E-48		NTK-300	
ετος	πληροτητα	%	P(KWh)	CF	P(KWh)	CF
2010	245/365	67,12%	291948,3	6,21%	75153,2	4,26%
2011	365/365	100,00%	251513,8	3,59%	50000	1,90%
2012	365/365	100,00%	350922	5,01%	80524,2	3,06%
2013	365/365	100,00%	360037,6	5,14%	81160,3	3,09%
2014	365/365	100,00%	210134,7	3,00%	41592,3	1,58%
2015	365/365	100,00%	262135,6	3,74%	65400	2,49%
2016	365/365	100,00%	480337,3	6,85%	110342,6	4,20%
2017	365/365	100,00%	330517,7	4,72%	84263,7	3,21%
2018	365/365	100,00%	224655,2	3,21%	57971	2,21%
2019	365/365	100,00%	189956,2	2,71%	39726	1,51%
2020	365/365	100,00%	352955,6	5,04%	82765,4	3,15%
M.O				4,47%		2,79%

Πίνακας 78 Παραγόμενη ισχύς και CF ανά έτος

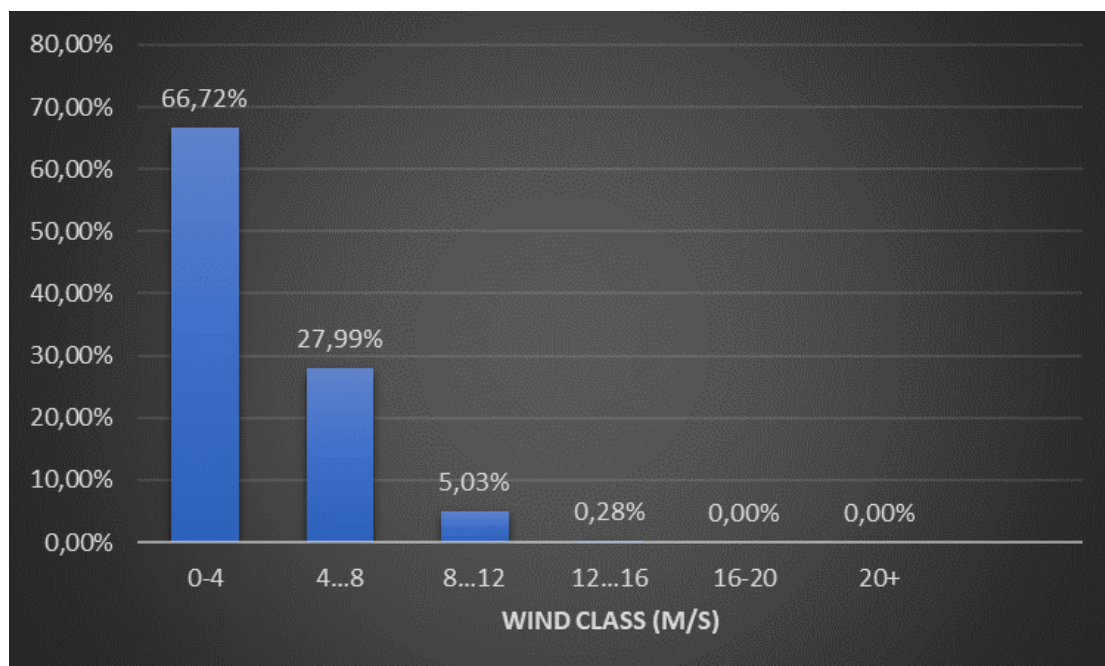
Στον σταθμό Κλεισούρα παρατηρείται πληρότητα σχεδόν 100%. Το έτος 2010 είναι η μόνη χρονιά που εμφανίζεται έλλειψη δεδομένων κατά 33%. Παρόλα αυτά για την διεκπεραίωση της μελέτης μας υπολογίστηκε ο CF σύμφωνα με την εκάστοτε πληρότητα και σαν η Α/Γ να δουλεύει έτσι για όλη την διάρκεια του χρόνου.



## 5.7 ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ

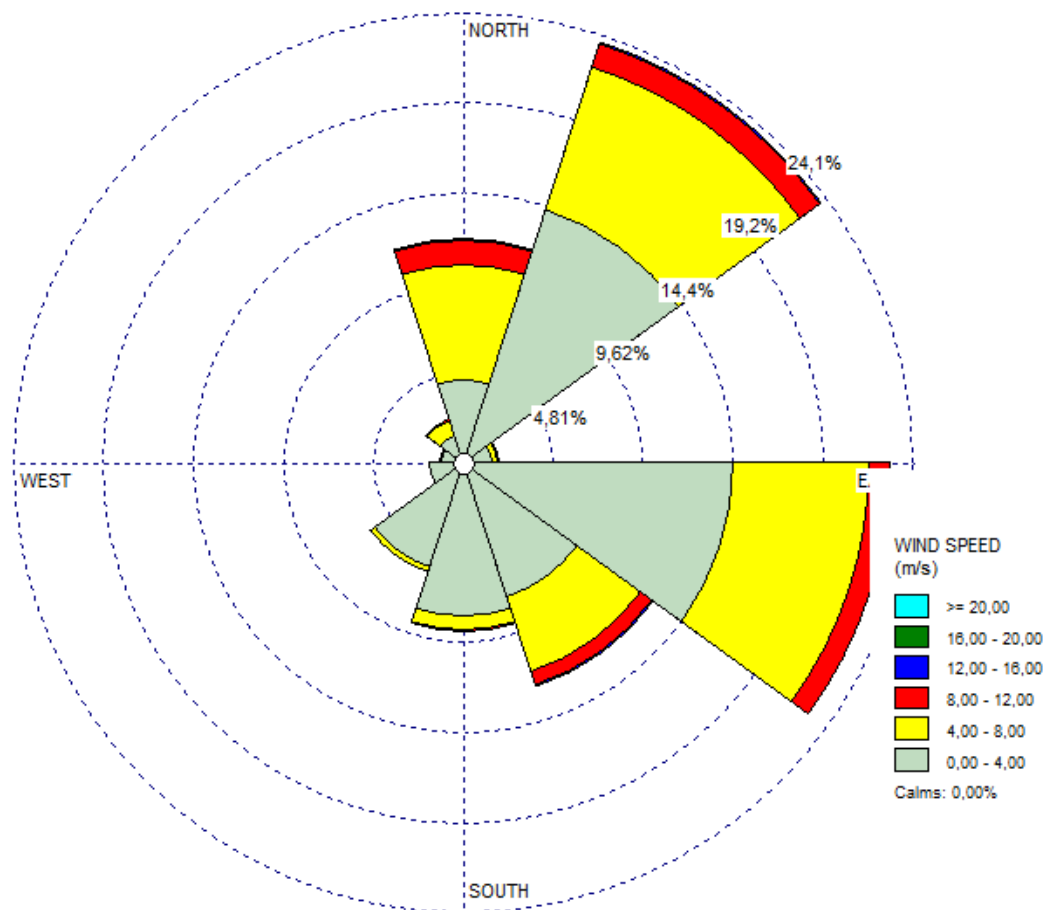


Σχήμα 79 Τοπογραφική αναπαράσταση περιοχής Πολύγυρος



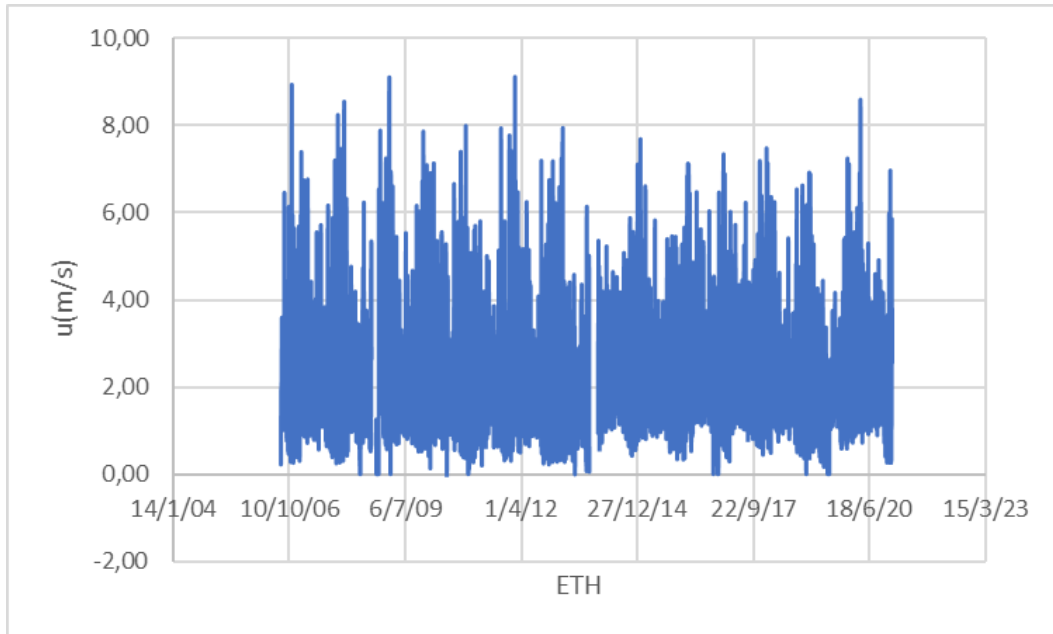
Σχήμα 80 Κατανομή ταχυτ. ανέμου στον Πολύγυρο, 2006-2020, 50μ από το έδαφος





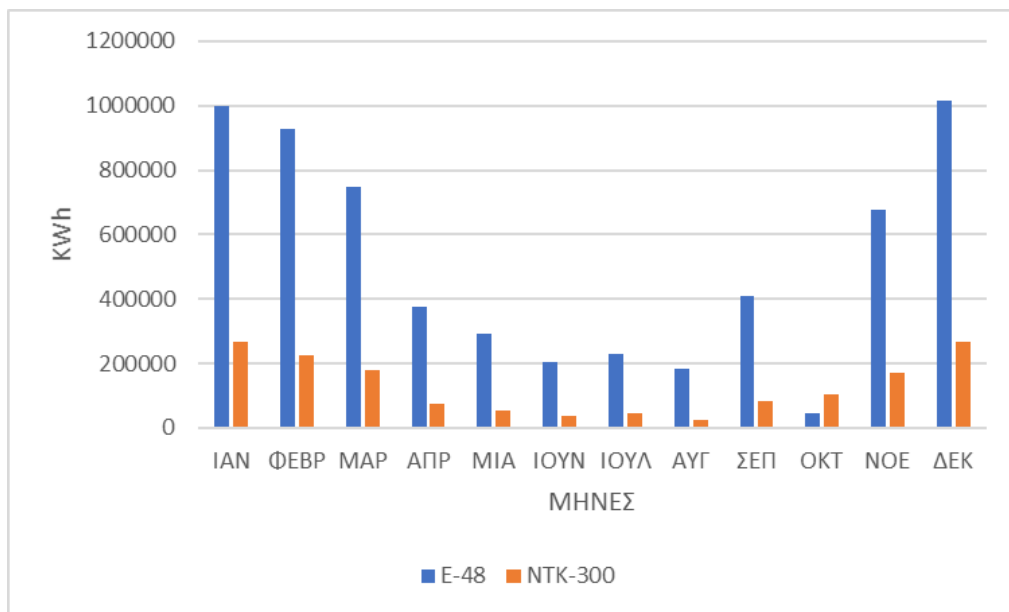
Σχήμα 81 Ροδογράμματα ανέμου στον Πολύγυρο, 2006-2020, 50μ από το έδαφος

Σύμφωνα με τα ροδογράμματα και το διάγραμμα κατανομής ταχύτητας παραπάνω για την περιοχή Πολύγυρος, παρατηρούμε ότι η κύρια διεύθυνση του ανέμου κατά την διάρκεια 2006-2020 είναι οι ανατολικοί άνεμοι και τις μεγαλύτερες ταχύτητες τις παρατηρούμε σε αυτές τις διευθύνσεις. Σε ποσοστό 95% οι ταχύτητες ανέμου είναι χαμηλότερες από 8 m/s, ενώ ελάχιστες ξεπερνάνε την ταχύτητα των 12m/s. Τα παραπάνω δεδομένα δηλώνουν ένα χαμηλό αιολικό δυναμικό.



Σχήμα 82 Ταχύτητες ανέμου στον Πολύγυρο, 2006-2020

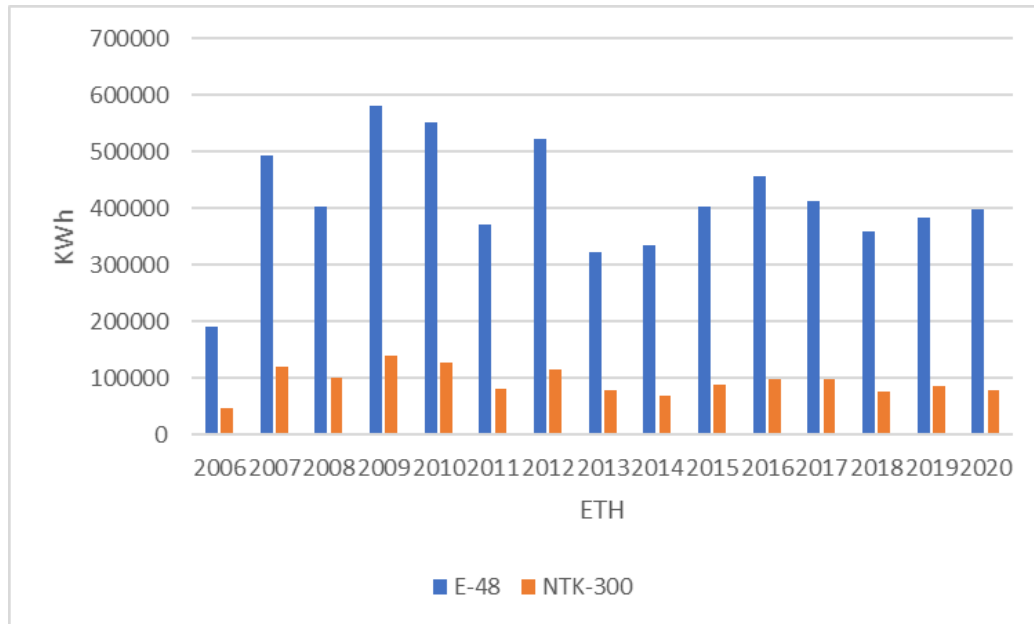
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι για τα έτη 2006-2020 η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 0-8 m/s και σπάνια ξεπερνά τα 9 m/s. Γενικά παρατηρούνται χαμηλές ταχύτητες.



Σχήμα 83 Παραγωγή ενέργειας στον Πολύγυρο, το διάστημα 2006-2020 ανά μήνα

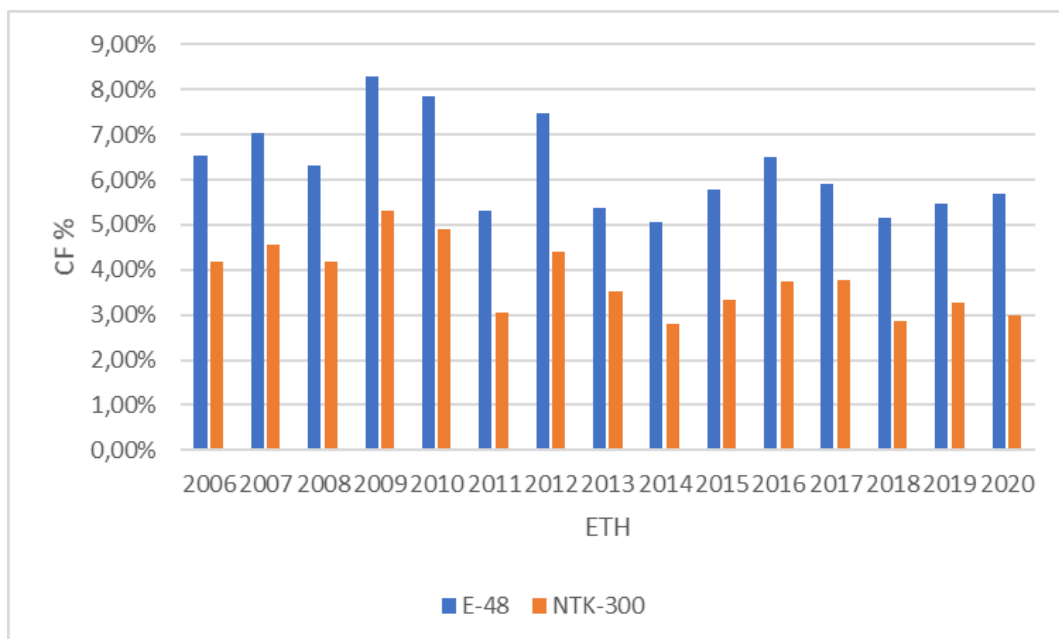
Στο διάγραμμα της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας παρατηρούμε ότι ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες η παραγωγή είναι ελάχιστη, υψηλότερη παραγωγή ενέργειας παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και ακολουθεί η ανοιξιάτικη περίοδος (εποχικότητα).

Συγκεκριμένα τον Δεκέμβριο και τον Γενάρη με 1014351,3 KWh (E-48), 266051 KWh (NTK-300) και 1000507,8 KWh (E-48), 264809 KWh (NTK-300) αντίστοιχα έχω την μέγιστη παραγωγή ενέργειας στις δύο Α/Γ. Είναι εμφανές ότι η Α/Γ ENERCON E-48 800 KW παράγει περισσότερη ενέργεια από τη Α/Γ της ABB NTK-300 300 Kw.



Σχήμα 84 Παραγωγή ενέργειας στον Πολύγυρο, το διάστημα 2006-2020 ανά έτος

Όπως στην μηνιαία παραγωγή έτσι και στην ετήσια παραγωγή το μοντέλο E-48 της ENERCON ξεπέρανα κατά πολύ την NTK-300 της ABB ξεπερνώντας το 2009 τις 550000 KWh σε σύγκριση με τις 139524,2 KWh της δεύτερης.



Σχήμα 85 Συντελεστής χρησιμοποίησης CF στον Πολύγυρο, 2006-2020

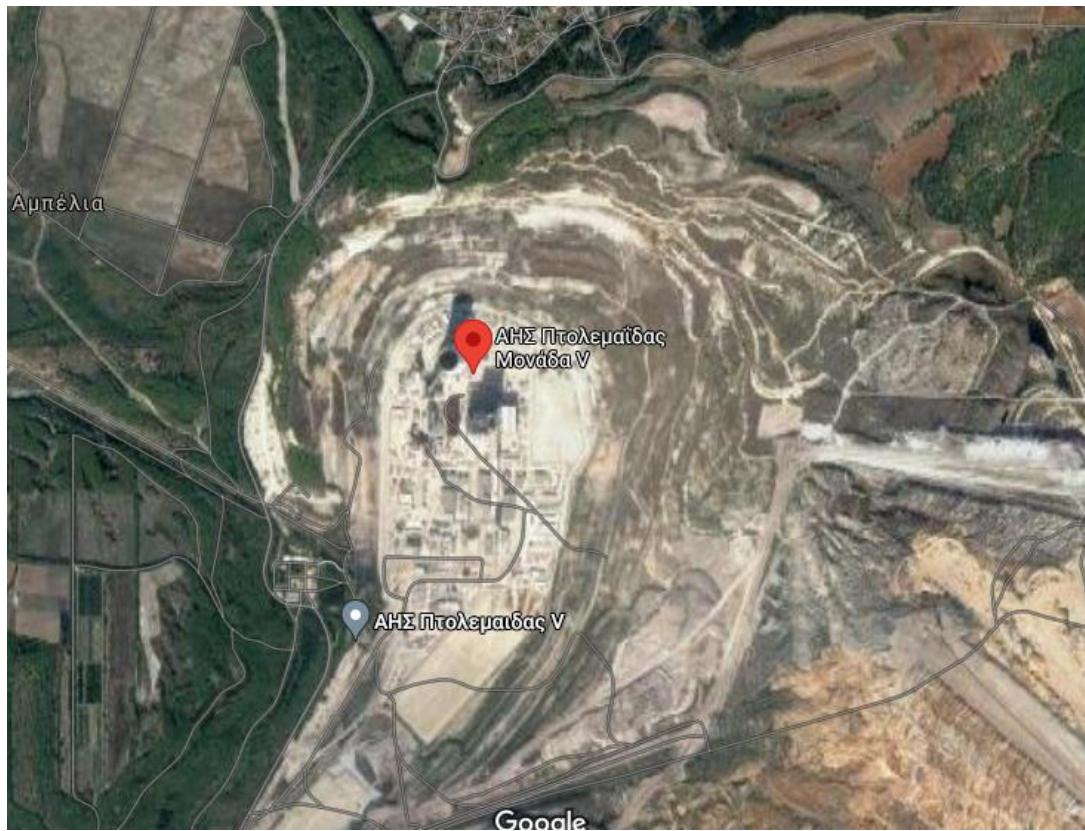
Οι τιμές του CF (συντελεστή διαθεσιμότητας) για την ENERCON E-48 κυμαίνονται από 5-8 % με μέσο όρο 6,25 % και της ABB NTK-300 από 3-5,5 % με μέσο όρο 3,79%. Από το παραπάνω διάγραμμα η Α/Γ Ε-48 φαίνεται να είναι πιο αποδοτική από αυτήν της ABB εφόσον έχουμε μεγαλύτερο CF. Παρόλα αυτά οι τιμές του CF δεν κυμαίνονται σε ικανοποιητικά επίπεδα και συμπερασματικά δεν ενδείκνυται εγκατάσταση ανεμογεννήτριας σε αυτό το σημείο.

ετος	ΠΟΛΥΓΗΡΟΣ		E-48		NTK-300	
	πληροτητα	%	P(KWh)	CF	P(KWh)	CF
2006	153/365	41,92%	192224,8	6,54%	46189,2	4,19%
2007	365/365	100,00%	493976,6	7,05%	119599,2	4,55%
2008	331/365	90,68%	402171,5	6,33%	99671,9	4,18%
2009	362/365	98,90%	581877,2	8,30%	139524,2	5,31%
2010	365/365	100,00%	550954,3	7,86%	128625,2	4,89%
2011	365/365	100,00%	371567,6	5,30%	80460,3	3,06%
2012	365/365	100,00%	524024,1	7,48%	115378,4	4,39%
2013	313/365	85,75%	323122,2	5,38%	79281,9	3,52%
2014	344/365	94,25%	334170,2	5,06%	69308,2	2,80%
2015	365/365	100,00%	404429,1	5,77%	87532,1	3,33%
2016	365/365	100,00%	456693,1	6,52%	98030,1	3,73%
2017	365/365	100,00%	412939	5,89%	99046,6	3,77%
2018	365/365	100,00%	360392,2	5,14%	75559,7	2,88%
2019	365/365	100,00%	384220,8	5,48%	85674,2	3,26%
2020	365/365	100,00%	399293,2	5,70%	78268,2	2,98%
M.O				6,25%		3,79%

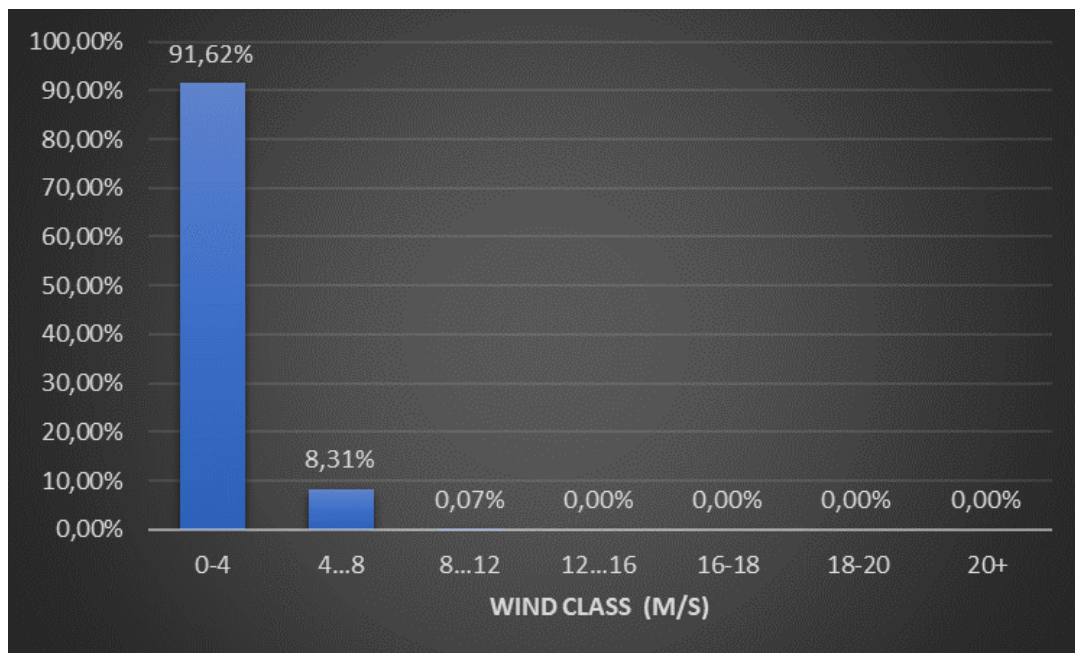
Πίνακας 86 Παραγόμενη ισχύς και CF ανά έτος

Η πληρότητα δεν αγγίζει το 100% για κάθε έτος, αποτέλεσμα που οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων από τον μετεωρολογικό σταθμό Πολύγυρος. Συγκεκριμένα το έτος 2006, 2008 και 2013 έχω δεδομένα διαθέσιμα για 153, 331 και 313 μέρες αντίστοιχα. Παρόλα αυτά για την διεκπεραίωση της μελέτης μας υπολογίστηκε ο CF σύμφωνα με την εκάστοτε πληρότητα και σαν η Α/Γ να δουλεύει έτσι για όλη την διάρκεια του χρόνου.

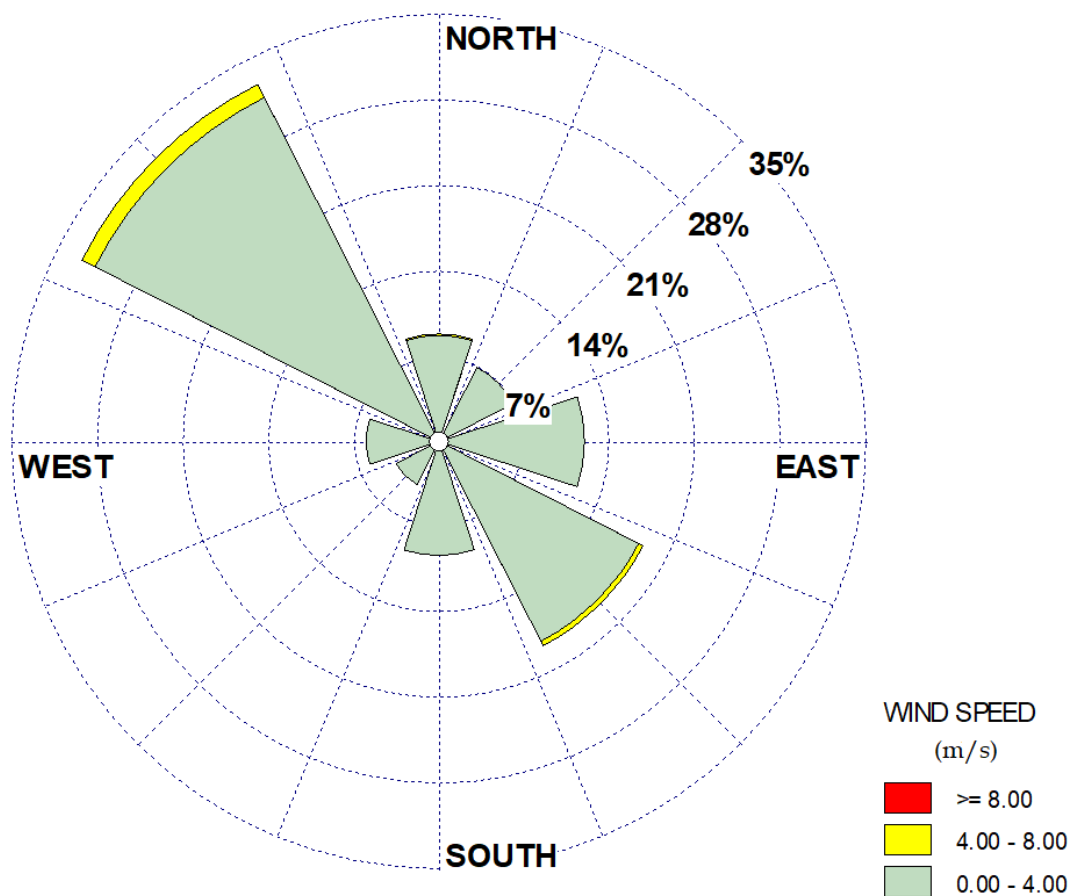
## 5.8 ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑ



Σχήμα 87 Τοπογραφική αναπαράσταση περιοχής Πτολεμαΐδας

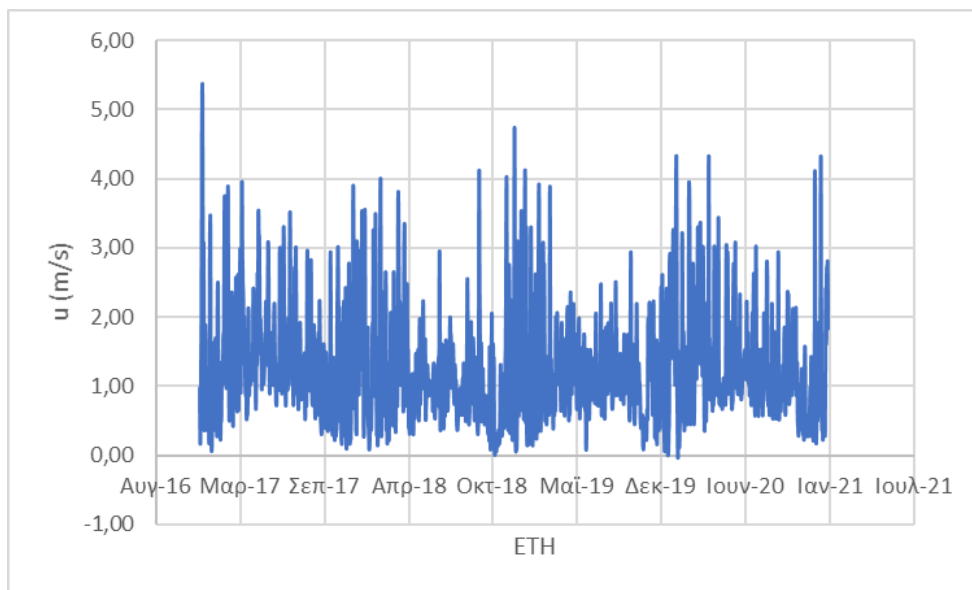


Σχήμα 88 Κατανομή ταχυτ. ανέμου στην Πτολεμαΐδα, 2016-2020, 50μ από το έδαφος



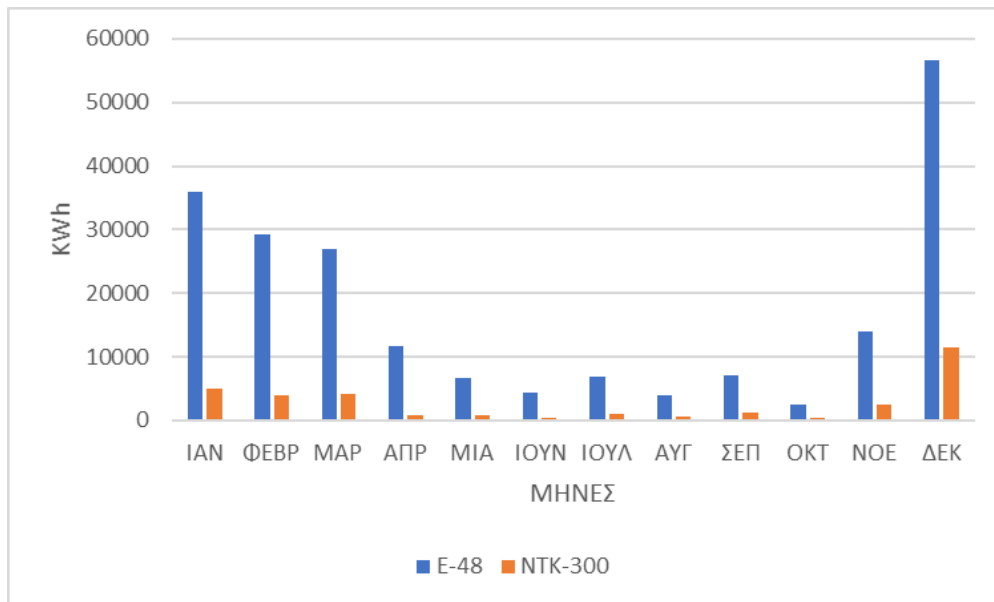
Σχήμα 89 Ροδόγραμμα ανέμου στην Πτολεμαΐδα, 2016-2020, 50μ από το έδαφος

Σύμφωνα με το ροδόγραμμα και το διάγραμμα κατανομής ταχύτητας παραπάνω για την περιοχή Πτολεμαΐδα Va, παρατηρούμε ότι η κύρια διεύθυνση του ανέμου κατά την διάρκεια 2016-2020 είναι οι βορειοδυτικοί άνεμοι. Σε ποσοστό 91.62% οι ταχύτητες ανέμου είναι χαμηλότερες από 4 m/s, ενώ μόνο το 8,31% ξεπερνά την ταχύτητα των 4m/s. Τα παραπάνω δεδομένα δηλώνουν ένα κακό αιολικό δυναμικό.



Σχήμα 90 Ταχύτητες ανέμου στην Πτολεμαΐδα, 2016-2020

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι στον σταθμό Πτολεμαΐδα Va για τα έτη 2016-2020 η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 0-4 m/s και σπάνια φτάνει τα 5 m/s. Γενικά παρατηρούνται χαμηλές ταχύτητες.

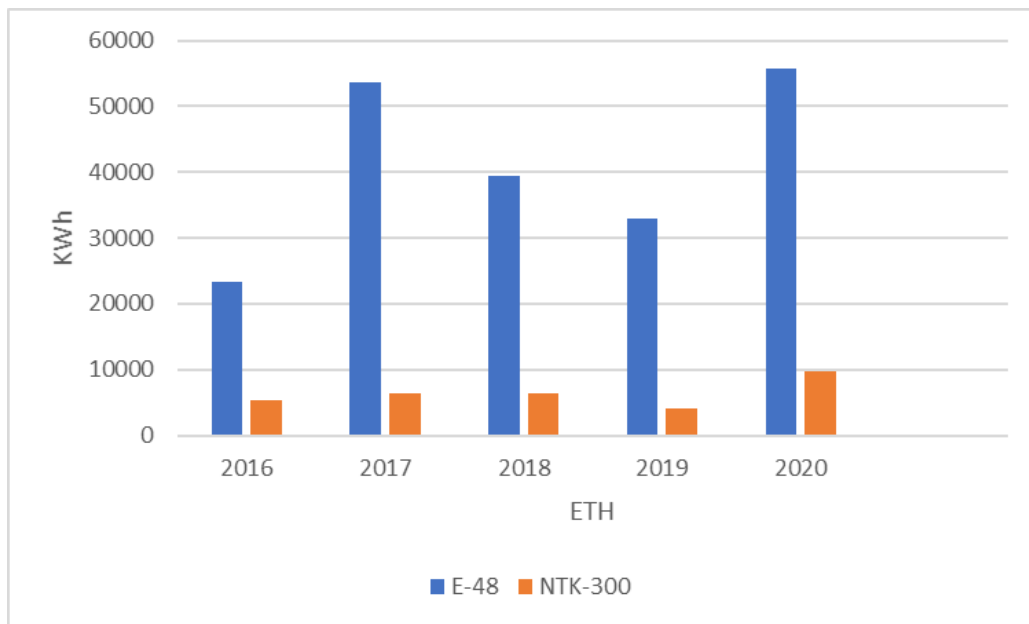


Σχήμα 91 Παραγωγή ενέργειας στην Πτολεμαΐδα, το διάστημα 2016-2020 ανά μήνα

Στο διάγραμμα της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας παρατηρούμε ότι ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες η παραγωγή είναι ελάχιστη, υψηλότερη παραγωγή ενέργειας παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και ακολουθεί η ανοιξιάτικη περίοδος. Συγκεκριμένα τον Δεκέμβριο με 56584,2 kWh (E-48), 11376 kWh (NTK-300) έχω την μέγιστη παραγωγή

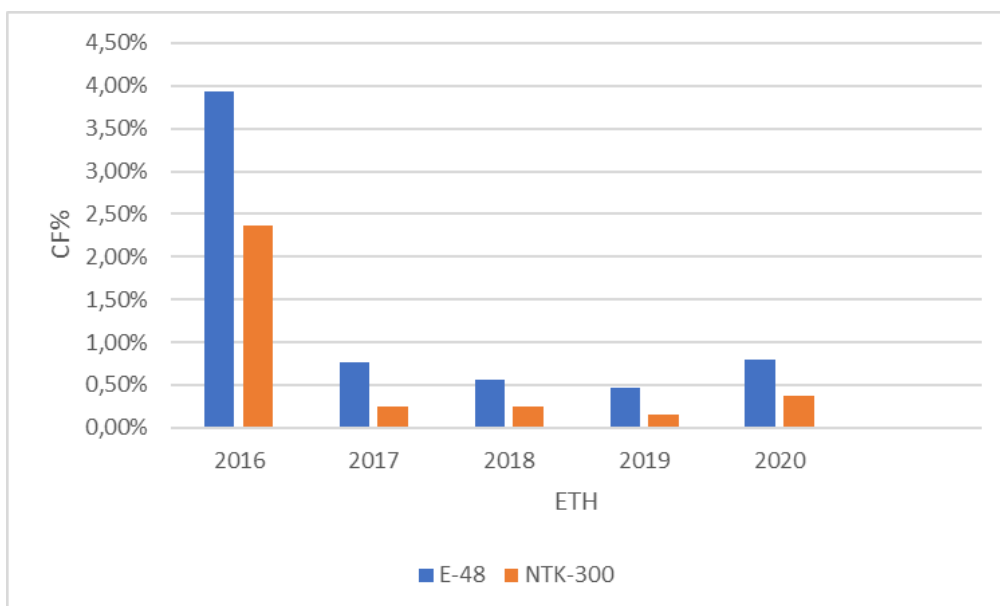


ενέργειας στις δύο Α/Γ. Είναι εμφανές ότι η Α/Γ ENERCON E-48 800 KW παράγει περισσότερη ενέργεια από τη Α/Γ της ABB NTK-300 300 Kw.



Σχήμα 92 Παραγωγή ενέργειας στην Πτολεμαίδα, το διάστημα 2016-2020 ανά έτος

Όπως στην μηνιαία παραγωγή έτσι και στην ετήσια παραγωγή το μοντέλο E-48 της ENERCON ξεπέρνα κατά πολύ την NTK-300 της ABB ξεπερνώντας το 2020 τις 55000 KWh σε σύγκριση με τις 9729.6 KWh της δεύτερης.



Σχήμα 93 Συντελεστής χρησιμοποίησης CF στην Πτολεμαίδα, 2016-2020

Οι τιμές του CF (συντελεστή διαθεσιμότητας) για την ENERCON E-48 κυμαίνονται από 0-4 % με μέσο όρο 1,3% και της ABB NTK-300 από 0-2,5 % με μέσο όρο 0,68%. Από το παραπάνω διάγραμμα η A/Γ E-48 φαίνεται να είναι πιο αποδοτική από αυτήν της ABB εφόσον έχουμε μεγαλύτερο CF. Παρόλα αυτά οι τιμές του CF κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα και δεν ενδείκνυται εγκατάσταση ανεμογεννήτριας σε αυτό το σημείο.

ετος	ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑ		E-48		NTK-300	
	πληροτητα	%	P(KWh)	CF	P(KWh)	CF
2016	31/365	8,49%	23380,8	3,93%	5284,8	2,37%
2017	365/365	100,00%	53575,2	0,76%	6475,2	0,25%
2018	365/365	100,00%	39458,4	0,56%	6408	0,24%
2019	365/365	100,00%	33033,6	0,47%	4132,8	0,16%
2020	365/365	100,00%	55802,4	0,80%	9729,6	0,37%
M.O				1,30%		0,68%

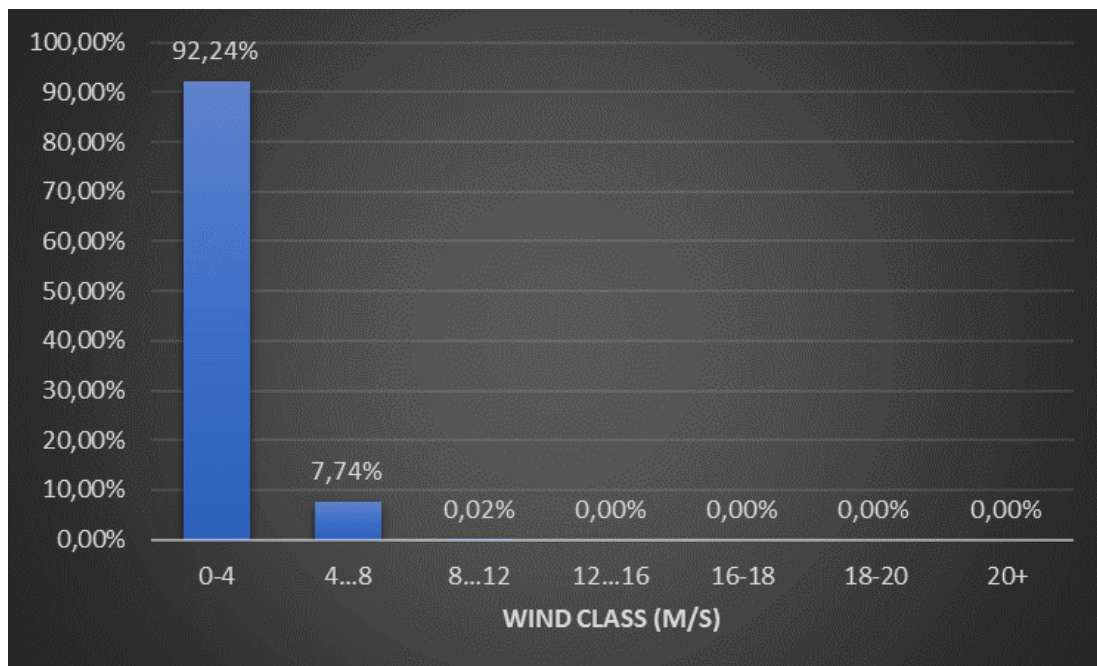
Πίνακας 94 Παραγόμενη ισχύς και CF ανά έτος

Η πληρότητα δεν αγγίζει το 100% για κάθε έτος, αποτέλεσμα που οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων από τον μετεωρολογικό σταθμό Πτολεμαΐδα Va. Συγκεκριμένα το έτος 2016 έχω δεδομένα διαθέσιμα για 31 μέρες. Παρόλα αυτά για την διεκπεραίωση της μελέτης μας υπολογίστηκε ο CF σύμφωνα με την εκάστοτε πληρότητα και σαν η A/Γ να δουλεύει έτσι για όλη την διάρκεια του χρόνου.

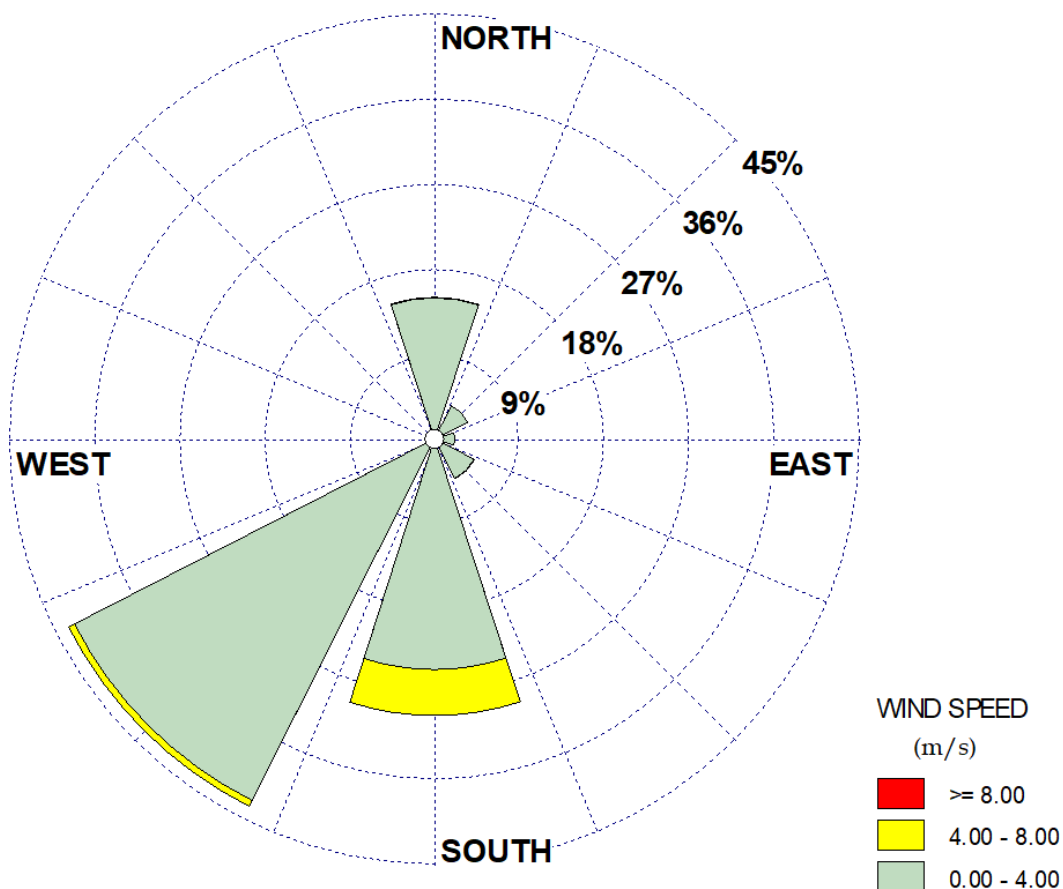
5.9 ΣΕΛΙ



Σχήμα 95 Τοπογραφική αναπαράσταση περιοχής Σέλι

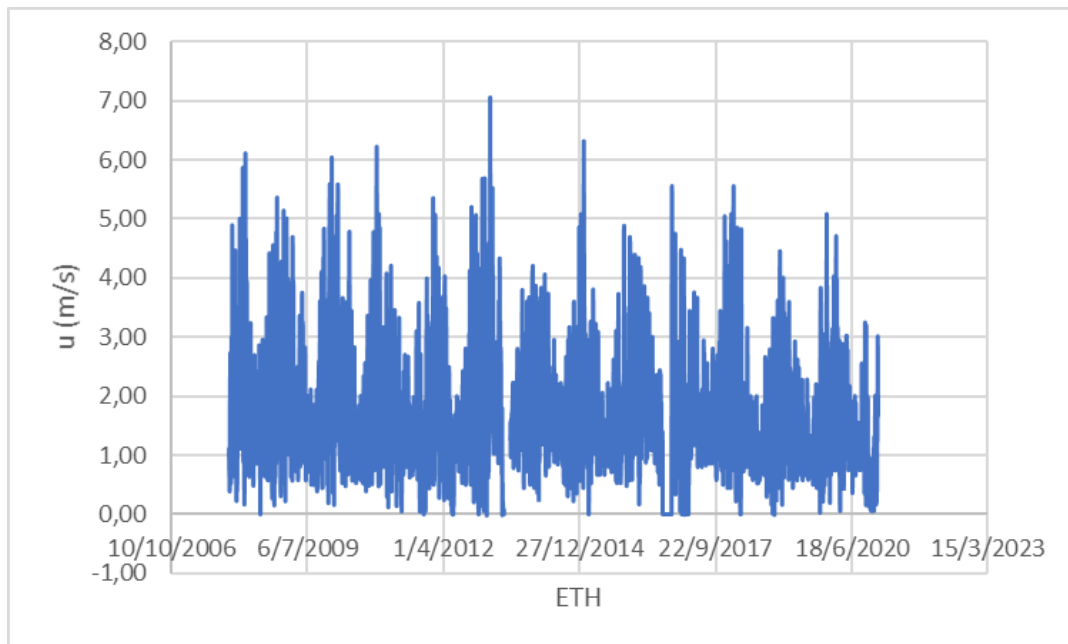


Σχήμα 96 Κατανομή ταχυτ. ανέμου στο Σέλι, 2007-2020, 50μ από το έδαφος



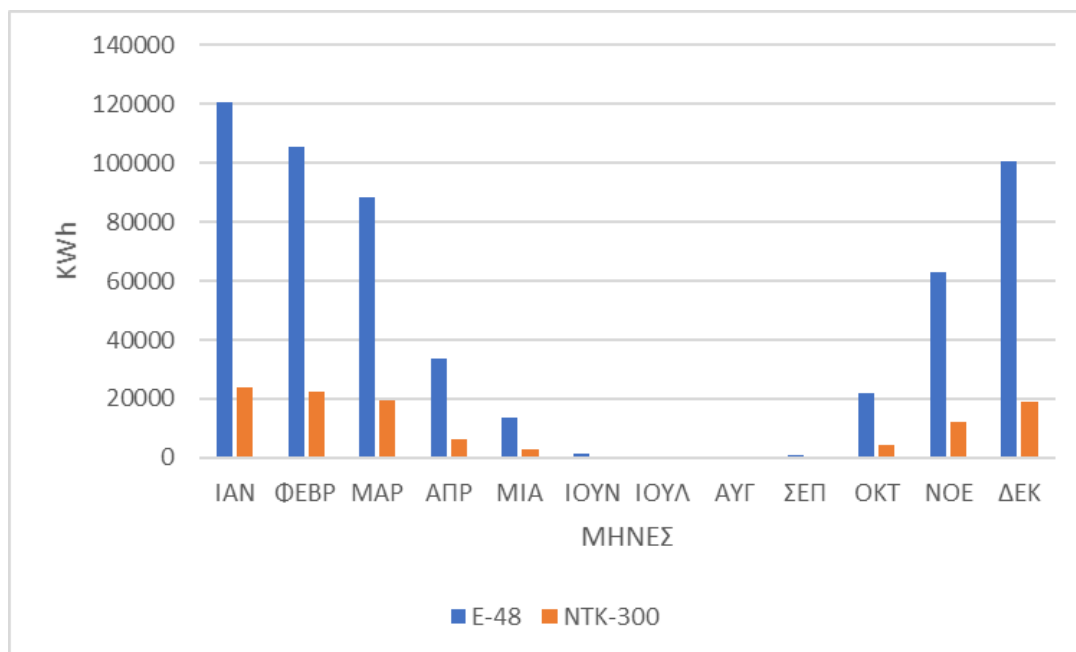
Σχήμα 97 Ροδόγραμμα ανέμου στο Σέλι, 2007-2020, 50μ από το έδαφος

Σύμφωνα με το ροδόγραμμα και το διάγραμμα κατανομής ταχύτητας παραπάνω για την περιοχή Σέλι, παρατηρούμε ότι η κύρια διεύθυνση του ανέμου κατά την διάρκεια 2008-2020 είναι οι νοτιοδυτικοί άνεμοι αν και τις μεγαλύτερες ταχύτητες τις παρατηρούμε από νότιους ανέμους. Σε ποσοστό 92.24% οι ταχύτητες ανέμου είναι χαμηλότερες από 4 m/s, ενώ μόνο το 7,74% ξεπερνά την ταχύτητα των 4m/s. Τα παραπάνω δεδομένα δηλώνουν ένα κακό αιολικό δυναμικό.



Σχήμα 98 Ταχύτητες ανέμου στο Σέλι, 2007-2020

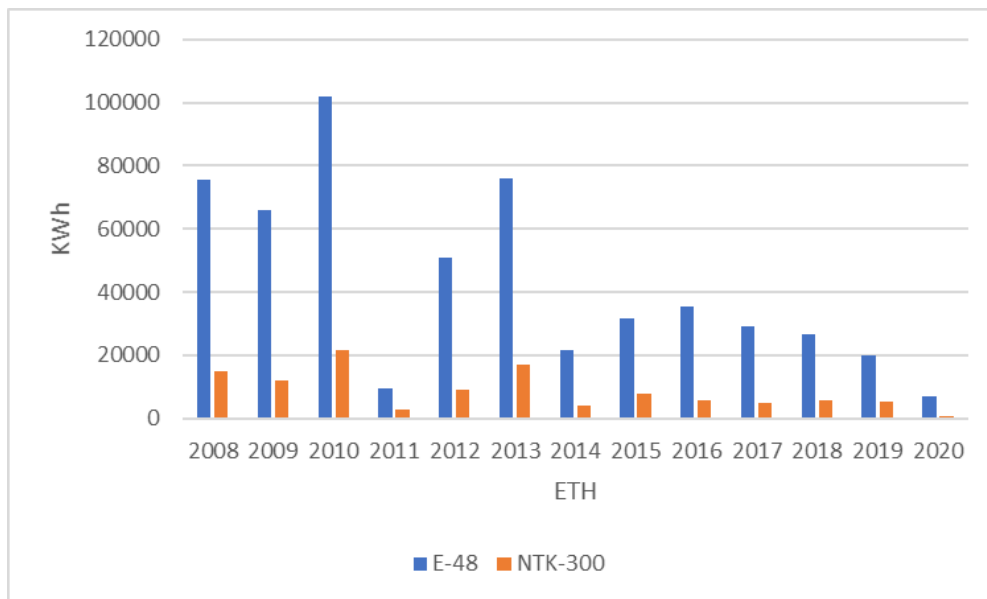
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι στον σταθμό Σέλι για τα έτη 2006-2020 η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 0-6 m/s και σπάνια φτάνει τα 7 m/s. Γενικά παρατηρούνται χαμηλές ταχύτητες.



Σχήμα 99 Παραγωγή ενέργειας στο Σέλι, το διάστημα 2007-2020 ανά μήνα

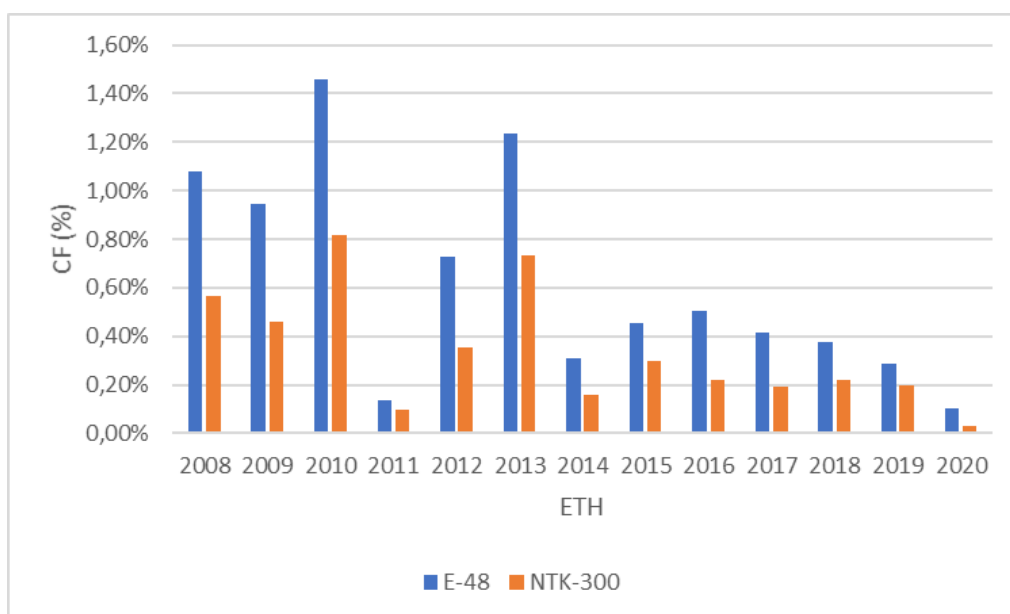
Στο διάγραμμα της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας παρατηρούμε ότι ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες η παραγωγή είναι ελάχιστη, υψηλότερη παραγωγή ενέργειας παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και ακολουθεί η ανοιξιάτικη περίοδος. Συγκεκριμένα τον Ιανουάριο με 120410,4 KWh (E-48), 23745,6 KWh (NTK-300) έχω την μέγιστη παραγωγή

ενέργειας στις δύο Α/Γ. Είναι εμφανές ότι η Α/Γ ENERCON E-48 800 KW παράγει περισσότερη ενέργεια από τη Α/Γ της ABB NTK-300 300 Kw.



Σχήμα 100 Παραγωγή ενέργειας στο Σέλι, το διάστημα 2007-2020 ανά έτος

Όπως στην μηνιαία παραγωγή έτσι και στην ετήσια παραγωγή το μοντέλο E-48 της ENERCON ξεπέρνα κατά πολύ την NTK-300 της ABB ξεπερνώντας το 2010 τις 100000 KWh σε σύγκριση με τις 21530,4 KWh της δεύτερης.



Σχήμα 101 Συντελεστής χρησιμοποίησης CF στο Σέλι, 2007-2020

Οι τιμές του CF (συντελεστή διαθεσιμότητας) για την ENERCON E-48 κυμαίνονται από 0-1,5% με μέσο όρο 0,62% και της ABB NTK-300 από 0-1 % με μέσο όρο 0,33%. Από το παραπάνω διάγραμμα η Α/Γ E-48 φαίνεται να είναι πιο αποδοτική από αυτήν της ABB εφόσον έχουμε μεγαλύτερο CF. Παρόλα αυτά οι τιμές του CF κυμαίνονται σε σχεδόν μηδενικά επίπεδα και δεν ενδείκνυται εγκατάσταση ανεμογεννήτριας σε αυτό το σημείο.

ετος	ΣΕΛΙ		E-48		NTK-300	
	πληροτητα	%	P(KWh)	CF	P(KWh)	CF
2008	365/365	100,00%	75492	1,08%	14916	0,57%
2009	365/365	100,00%	66112,8	0,94%	12064,8	0,46%
2010	365/365	100,00%	102021,6	1,46%	21530,4	0,82%
2011	365/365	100,00%	9624	0,14%	2592	0,10%
2012	365/365	100,00%	50856	0,73%	9225,6	0,35%
2013	319/365	87,40%	75796,8	1,24%	16828,8	0,73%
2014	365/365	100,00%	21592,8	0,31%	4224	0,16%
2015	365/365	100,00%	31687,2	0,45%	7857,6	0,30%
2016	365/365	100,00%	35359,2	0,50%	5815,2	0,22%
2017	365/365	100,00%	29030,4	0,41%	5071,2	0,19%
2018	365/365	100,00%	26479,2	0,38%	5760	0,22%
2019	365/365	100,00%	19996,8	0,29%	5232	0,20%
2020	365/365	100,00%	7041,6	0,10%	854,4	0,03%
M.O				0,62%		0,33%

Πίνακας 102 Παραγόμενη ισχύς και CF ανά έτος

Η πληρότητα δεν αγγίζει το 100% για κάθε έτος, αποτέλεσμα που οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων από τον μετεωρολογικό σταθμό Σέλι. Συγκεκριμένα το έτος 2013 έχω δεδομένα διαθέσιμα για 319 μέρες. Παρόλα αυτά για την διεκπεραίωση της μελέτης μας υπολογίστηκε ο CF σύμφωνα με την εκάστοτε πληρότητα και σαν η Α/Γ να δουλεύει έτσι για όλη την διάρκεια του χρόνου.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑ

Η διεύθυνση της ταχύτητας του ανέμου είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την ακριβή αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού ενός τόπου, το ίδιο συμβαίνει και για τις επικρατέστερες διευθύνσεις του ανέμου. Σύμφωνα με το κεφάλαιο 5 με τα ροδογράμματα και το διάγραμμα κατανομής ταχυτήτων της εκάστοτε υπό μελέτη περιοχής προκύπτει ότι στην περιοχή 3-5 Πηγάδια οι επικρατέστεροι άνεμοι είναι νοτιοδυτικοί με το 76% των ταχυτήτων να κυμαίνεται μεταξύ 0-4m/s ενώ μόνο το 4,6% να ξεπερνά τα 8m/s. Στην Βεγορίτιδα οι επικρατέστεροι άνεμοι είναι νοτιοανατολικοί με το 99,38% των ταχυτήτων να είναι κάτω των 4 m/s, στην Βασιλίτσα είναι νοτιοδυτικοί, στο Καϊμακτσαλάν Βορειοδυτικοί, στην Κλεισούρα βορειοδυτικοί με το 77,42% των ταχυτήτων να κυμαίνεται μεταξύ 0-4 m/s και το 18,96% μεταξύ 4-8 m/s, στον Πολύγυρο βορειοανατολικοί με το 66,72% των ταχυτήτων να κυμαίνεται μεταξύ 0-4 ενώ μόνο το 5,06% να ξεπερνά τα 8m/s, στην Πτολεμαΐδα να είναι βορειοδυτικοί με το 91,62% των ταχυτήτων να είναι κάτω των 4 m/s, στο Σέλι νοτιοδυτικοί με το 92,24% των ταχυτήτων να είναι κάτω των 4 m/s. Όσον αφορά την ένταση της ταχύτητας των ανέμων μόνο στην περιοχή της Βασιλίτσας και του Καϊμακτσαλάν η ταχύτητα ξεπερνάει ικανοποιητικά επίπεδα τα 8-12 m/s, σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές σπάνια εμφανίζονται τέτοιες ταχύτητες. Συγκεκριμένα στην περιοχή της Βασιλίτσας το 12,49% των ταχυτήτων ξεπερνά τα 12 m/s και μάλιστα το 1,6% ξεπερνά και τα 20 m/s. Στο Καϊμακτσαλάν το 10,77% των ταχυτήτων ξεπερνά τα 12 m/s ενώ το 1,4% ξεπερνά τα 20 m/s.

Στο τελευταίο κεφάλαιο μετά την επεξεργασία των μετρήσεων και το πέρας της μελέτης του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού υπολογίστηκε ο συντελεστής χωρητικότητας ή χρησιμοποίησης (Capacity Factor). Ο CF ήταν λογικό διέφερε ανά περιοχή και στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα αποτελέσματα του.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ENERCON E-48	ABB NTK-300
	CF %	CF %
3-5 ΠΗΓΑΔΙΑ	8,91	6,58
ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑ	0,1	0,06
ΒΑΣΙΛΙΤΣΑ	26,78	20,61
ΚΑΙΚΜΑΤΣΑΛΑΝ	27,14	21,05
ΚΛΕΙΣΣΟΥΡΑ	4,47	2,79
ΠΟΛΥΓΗΡΟΣ	6,25	3,79
ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑ	1,3	0,68
ΣΕΛΙ	0,62	0,33
ΟΛΥΜΠΟΣ	0,58	0,31
ΒΑΡΙΚΟ	0,04	0,001

Πίνακας 103 Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών χρησιμοποίησης ανά τόπο

Σε κάποιες περιπτώσεις όπως οι περιοχές του Ολύμπου, του Βαρικού και της Βεγορίτιδας ο CF υπολογίστηκε μικρότερος του 1% (αμελητέος) είτε λόγω αξιοποίησης μικρής βάσης δεδομένων είτε λόγω χαμηλών ταχυτήτων των επικρατέστερων ανέμων. Αντίθετα, στην περιοχή της Βασιλίτσας του Ν. Γρεβενών και στο Καϊμακτσαλάν του Ν. Πέλλας καταγράφηκαν οι μεγαλύτεροι συντελεστές χωρητικότητας 26,78% και 27,14% αντίστοιχα. Αν ο συντελεστής χρησιμοποίησης μιας ανεμογεννήτριας κυμαίνεται σε 20-30% σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ, τότε οι δύο παραπάνω περιοχές καλύπτουν τα κριτήρια για την εγκατάσταση και των δύο Α/Γ και καθιστούν την περιοχή ενεργειακά και οικονομικά κατάλληλη για αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού. Οι υπόλοιπες περιοχές έχουν πολύ χαμηλό δείκτη χρησιμοποίησης, κακό αιολικό δυναμικό άρα χαρακτηρίζονται και ακατάλληλες για τοποθέτηση ανεμογεννήτριας.

Συγκρίνοντας τις δύο ανεμογεννήτριες αυτή που είναι κατάλληλη από άποψη ενεργειακής και οικονομικής απόδοσης είναι αυτή της ENERCON E-48 σε όλες τις υπό μελέτη περιοχές που πληρούν τα κριτήρια εγκατάστασης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εκπαιδευτήρια, Δ. (2014). *ecododonea*: Το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη και οι διαστάσεις του στη χώρα μας. *ecododonea*.  
<http://ecododonea.blogspot.com/2014/06/blog-post.html>
2. Καπλάνης Ν. Σωκράτης, (2003), Ήπιες μορφές ενέργειας - Περιβάλλον & Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, εκδόσεις ΙΩΝ
3. *Ενεργειακή πολιτική: Γενικές αρχές | Θεματολογικά δελτία για την Ευρωπαϊκή Ένωση | Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο*. . Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από  
<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/68/energy-policy-general-principles>
4. Anonymous. (2016, Νοέμβριος 23). *2050 long-term strategy* [Text]. Climate Action - European Commission. [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en)
5. *What is Energy Demand? – CREDS*. Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από  
<https://www.creds.ac.uk/what-is-energy-demand/>
6. Pappas, C. (2017, Αύγουστος 21). *Οι ενεργειακές ανάγκες της Κίνας θα χτυπήσουν ρεκόρ το 2040*. Ναυτικά Χρονικά. <https://www.naftikachronika.gr/2017/08/21/oi-energeiakes-anagkes-tis-kinas-tha-htypisoun-rekor-to-2040/>
7. *EIA projects 28% increase in world energy use by 2040—Today in Energy—U.S. Energy Information Administration (EIA)*. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 10 Ιούνιος 2021, από  
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=32912>
8. *Chapter-69.pdf*. Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από  
<https://static.eudoxus.gr/books/69/chapter-69.pdf>
9. Aronson, E.; Stern, P.C. (1984). *Energy use: The human dimension*, US
10. Goodstein, D. & Intriligator, D. M. (2017). *Climate Change And The Energy Problem: Physical Science And Economics Perspective*, World scientific

11. Sioshansi, F. (2014). *Energy Efficiency: Towards the End of Demand Growth*, Academic Press Amsterdam
  
12. Staff, I. (χ.χ.). *Pareto Efficiency Definition*. Investopedia. Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από <https://www.investopedia.com/terms/p/pareto-efficiency.asp>
  
13. *ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ-ΘΕΡΙΑΝΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΓΑΛΑΤΗΣ ΘΕΟΛΟΓΟΣ.pdf*. Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από <http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4106/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97%20%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%91-%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%91%CE%9D%CE%9F%CE%A3%20%CE%94%CE%97%CE%9C%CE%97%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%9F%CE%A3%2C%20%CE%93%CE%91%CE%9B%CE%91%CE%A4%CE%97%CE%A3%20%CE%98%CE%95%CE%9F%CE%9B%CE%9F%CE%93%CE%9F%CE%A3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  
14. *Τι είναι η κλιματική αλλαγή; | European Youth Portal*. Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από [https://europa.eu/youth/get-involved/sustainable%20development/what-climate-change\\_el](https://europa.eu/youth/get-involved/sustainable%20development/what-climate-change_el)
  
15. Anonymous. (2016, Νοέμβριος 23). *Αίτια της κλιματικής αλλαγής* [Text]. Δράση Για Το Κλίμα - European Commission. [https://ec.europa.eu/clima/change/causes\\_el](https://ec.europa.eu/clima/change/causes_el)
  
16. Αιολική ενέργεια. (2021). Στο *Βικιπαίδεια*. [https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1&oldid=8639869](https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1&oldid=8639869)
  
17. Fleming, P. D., & Probert, S. D. (1984). The evolution of wind-turbines: An historical review. *Applied Energy*, 18(3), 163–177. <https://doi.org/10.1016/0306->

2619(84)90007-2

18. Ackermann, T. (2005). *Wind Power in Power Systems*. New York: John Wiley.
19. Sathyajith, M. (2006). *Wind energy: Fundamentals, resource analysis and economics*. Berlin: Springer.
20. Shahan, Z. (2014, Νοέμβριος 21). History of Wind Turbines. *Renewable Energy World*. <https://www.renewableenergyworld.com/storage/history-of-wind-turbines/>
21. Dodge, D. (2006) *The illustrated history of wind power development*. Colorado: U.S. Federal Wind Energy Program [8]
22. Built in 1991, Vindeby in Denmark was the world's first offshore wind farm · 35 years. (χ.χ.). *35 Years*. Ανακτήθηκε 10 Ιούνιος 2021, από <https://windeurope.org/about-wind/history/timeline/one-of-the-first-wind-turbines-2-2-2-2-2/>
23. *Global Wind Atlas*. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από <https://globalwindatlas.info>
24. Petersen, E.L., I. Troen, S. Frandsen and K. Hedegaard (1989). *European Wind Atlas (1989) . A rational method of wind energy siting*. Risø-R-428. Risø National Laboratory, Roskilde
25. *Ιστορικά Υψηλές Επιδόσεις Κατέγραψε η Παγκόσμια Αγορά Αιολικής Ενέργειας το 2017*. Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από <https://www.energia.gr/article/126452/istorika-yphshles-epidoseis-kategrapse-h-pagkosmia-agora-aiolikhs-energeias-to-2017>
26. *Wind in Power: 2017 European Statistics*. (2018, Φεβρουάριος 13). WindEurope. <https://windeurope.org/about-wind/statistics/european/wind-in-power-2017/>
27. *Worldwide Wind Capacity Reaches 744 Gigawatts – An Unprecedented 93 Gigawatts added in 2020*. (2021, Μάρτιος 24). *World Wind Energy Association*. <https://wwindea.org/worldwide-wind-capacity-reaches-744-gigawatts/>
28. *Wind power by country*. (2021). Στο *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Wind\\_power\\_by\\_country&oldid=1023626574](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Wind_power_by_country&oldid=1023626574)

574

29. Φαϊτατζογλου, Κ., & Μηχανικος, Μ. *Η Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα*. 8.
30. *ΕΛΕΤΑΕΝ – ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*.  
(χ.χ.). Ανακτήθηκε 10 Ιούνιος 2021, από <https://eletaen.gr/>
31. *Ρεκόρ για την αιολική ενέργεια στην Ελλάδα το 2020*. (2021, Ιανουάριος 28).  
<https://www.naftemporiki.gr/story/1686026/rekor-gia-tin-aioliki-energeia-stin-ellada-to-2020>
32. Georgoulas, M. A. (2020). *English: Wind energy capacity in Megawatt / Comparison of Greece and the EU average* *Deutsch: Windenergiekapazität in Megawatt / Vergleich von Griechenland und dem EU-Durchschnitt* *Ελληνικά: Χωριτηκότητα αιολικής ενέργειας σε Μέγκαβατ / Σύγκριση Ελλάδας και μέσου όρου* *E.E.Français : Capacité d'énergie éolienne en mégawatts / Comparaison entre la Grèce et la moyenne de l'UE* *Italiano: Capacità di energia eolica in Megawatt / Confronto tra la Grecia e la media UE*. Own work.  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EU\\_Average\\_and\\_Greece\\_Wind\\_Energy\\_Capacity\\_\(MW\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EU_Average_and_Greece_Wind_Energy_Capacity_(MW).png)
33. *Advantages and Challenges of Wind Energy*. Energy.Gov. Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από <https://www.energy.gov/eere/wind/advantages-and-challenges-wind-energy>
34. *ISDC007112G0201.pdf*. Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από <https://library.e.abb.com/public/92faf0c1913f5651c1257937002f88e8/ISDC007112G0201.pdf>
35. *Ανεμογεννήτριες*. (χ.χ.). *ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-1ο ΕΠΑΛ ΣΥΡΟΥ*.  
Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από <http://ape1epalsyrou.weebly.com/alphanuepsilonmuomicrongammaepsilonnunu942taurhoiotaepsilonsigmaf.html>
36. Óskarsdóttir, M. (2014). A general description and comparison of horizontal axis wind turbines and vertical axis wind turbines. Iceland: Faculty of Industrial

- Engineering, Mechanical Engineering and Computer Science University of Iceland, 1-117
37. *Schematic of the horizontal and vertical axis wind turbine (Source: [23]).* | Download *Scientific Diagram.* (χ.χ.). Ανακτήθηκε 10 Ιούνιος 2021, από [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-horizontal-and-vertical-axis-wind-turbine-Source-23\\_fig2\\_6174926](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-horizontal-and-vertical-axis-wind-turbine-Source-23_fig2_6174926)
38. Wind Turbine Parts and Functions. (2018, Δεκέμβριος 30). *Electrical Academia.* <https://electricalacademia.com/renewable-energy/wind-turbine-parts-functions/>
39. *The Inside of a Wind Turbine.* (χ.χ.). Energy.Gov. Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από <https://www.energy.gov/eere/wind/inside-wind-turbine>
40. *BOOK\_3.pdf.* (χ.χ.). Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από [http://users.auth.gr/users/8/3/010438/public\\_html/tdk/Teaching/BOOK\\_3.pdf](http://users.auth.gr/users/8/3/010438/public_html/tdk/Teaching/BOOK_3.pdf)
41. *How much do wind turbines cost?* (χ.χ.). Windustry. Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από [https://www.windustry.org/how\\_much\\_do\\_wind\\_turbines\\_cost](https://www.windustry.org/how_much_do_wind_turbines_cost)
42. *Renewable power generation costs in 2017: Key findings and executive summary.* (2017). 16.
43. *Renewable power generation costs in 2019.* 144
44. *Ηλεκτρονική εκπαίδευση / Εκτίμηση αιολικού δυναμικού | Αιολική Γη Α.Ε.* (χ.χ.). Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από <http://www.aiolikigi.gr/el/e-learning/wind-potential-evaluation/>
45. Kavadias, K. (2010). Experimental applications in renewable energy sources. Athens: Stamoulis]
46. *III. Αιολικό Δυναμικό.pdf.* (χ.χ.). Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από <http://eclass.teipir.gr/openeaclass/modules/document/file.php/MECH105/I.%20CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82%20CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/III.%20CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20CE%94%CF%85%CE%BD%CE%B1%CE%BC%CE%B9%>



CE%BA%CF%8C.pdf

47. Li, M., Li, X. (2005). Investigation of wind characteristics and assessment of wind energy potential for Waterloo region, Canada. *J. Energy Convers. Manag.* 46(18-19), 3014–3033.

48. Καββαδίας Κοσμάς Καλδέλλης Ιωάννης, Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας. Αθήνα: Αθ. Σταμούλης, 2001

49. Kavadias, K. (2010). Experimental applications in renewable energy sources. Athens: Stamoulis]

50. *Ενότητα 6 \_ Αιολικό Δυναμικό.pdf*. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από

[https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CMNG2123/2015/%CE%91%CE%9D%CE%9F%CE%99%CE%9A%CE%A4%CE%91%20%CE%9C%CE%91%CE%98%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91\\_%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%206%20\\_%20%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%94%CF%85%CE%BD%CE%B1%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%8C.pdf](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CMNG2123/2015/%CE%91%CE%9D%CE%9F%CE%99%CE%9A%CE%A4%CE%91%20%CE%9C%CE%91%CE%98%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91_%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%206%20_%20%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%94%CF%85%CE%BD%CE%B1%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%8C.pdf)

51. Ulgen, K., Hepbasli, A. (2002). Determination of Weibull parameters for wind energy analysis of Izmir, Turkey. *Int. J. Energy Res.* 26(6), 494–506.

52. Weisser, D. (2003). A wind energy analysis of Grenada: an estimation using the Weibull density function. *Renew Energ.* 28(11):1803–1812]

53. *Lecture\_wind\_potential.pdf*. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 9 Ιούνιος 2021, από

[https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/MECH108/lecture\\_wind\\_potential.pdf](https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/MECH108/lecture_wind_potential.pdf)

54. Καλδέλλης, Ι. (2005). Διαχείριση της αιολικής ενέργεια., ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗ ΑΕς, Β' Έκδοση, ISBN: 960-351-576-0.

