ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ : ΜΗΧΑΝΟΓΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ :

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΘΕΡΙΑΝΟΣ ΑΜ: 38895

ΘΕΟΛΟΓΟΣ ΓΑΛΑΤΗΣ ΑΜ: 35453

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις αρχές του 20ου αιώνα παρατηρήθηκε μία ραγδαία εξέλιξη στις διάφορες τεχνολογίες, με σκοπό τη διευκόλυνση της καθημερινότητας του ανθρώπου. Η εξέλιξη αυτή όμως ήταν αντιστρόφως ανάλογη με τις επιπτώσεις που παρατηρούνταν στη φύση.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα των επιπτώσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας αποτελούν η αποδάσωση, η κλιματική αλλαγή, η τρύπα του όζοντος και η όξινη βροχή και η εξάντληση των φυσικών πόρων. Στο πλαίσιο εύρεσης λύσεων, ο άνθρωπος προσανατολίστηκε ως προς την αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, που δεν εξαντλούνται πρακτικά. Τέτοιες είναι η ηλιακή ενέργεια, ο άνεμος, η φυσική κίνηση του νερού και η βιομάζα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εστιάζεται στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας. Έπειτα, στα επόμενα κεφάλαια γίνεται μία ιστορική αναδρομή για την αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, καθώς και στο σύγχρονο τρόπο εκμετάλλευσης της και την ανεμογεννήτρια. Στο κεφάλαιο 5ο, εξετάζονται τα αιολικά δυναμικά οχτώ περιοχών της Νήσου Κρήτης, και η επιλογή της καλύτερης ανεμογεννήτριας.

ABSTRACT

At the beginning of the 20th century a rapid development in the various technologies was observed, in order to facilitate the everyday life of human. However, this development was inversely proportional to the effects observed in nature. Typical examples of the impacts of human activity are deforestation, climate change, ozone hole and acid rain and depletion of natural resources. In the context of finding solutions, man has been geared towards exploiting alternative energy sources that are in practise are unlimited. Some examples are solar energy, wind, natural water movement and biomass. This is a project that focuses on the exploitation of wind energy. Specifically, the second chapter presents the benefits of wind energy. Then, in the next chapters, a historical retrospection is made for the utilization of wind energy, as well as the modern way of exploiting it and the wind turbine. In chapter 5, we examine the wind potentials of eight regions of the island of Crete, and the choice of the best wind turbine.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ 5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 8

- ΕΙΣΑΓΩΓΗ 8
- Η ΓΕΝΕΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 8
- Η ΛΥΣΗ ΤΩΝ Α.Π.Ε. 8
- ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ Α.Π.Ε[4] 11
- Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ Α.Π.Ε. ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΑΙ ΕΘΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ[4] 12
- ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ Α.Π.Ε. ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ 16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ 17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ 31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ 48

5.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 48

5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ 76

5.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 80

5.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ 111

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 128

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΊΑ 130

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το καθηγητή μας Μουστρή Κωνσταντίνο, του οποίου η βοήθεια ήταν πολύτιμη για την εκπόνηση της εργασίας καθώς και όλους τους υπόλοιπους καθηγητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Πειραιά. Ακόμα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας, τους φίλους μας, τους συμφοιτητές μας και ιδιαίτερα την φίλη μας Σταυρούλα Λειβαδάρα για την πολύτιμη βοήθεια της και τους συναδέλφους μας που ήταν δίπλα μας και μας στήριζαν όλα αυτά τα χρόνια.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2018

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ

Τον όρο ενέργεια τον συναντάμε για πρώτη φορά στον Αριστοτέλη με πολύ μεγάλη ασάφεια. Έπρεπε να περιμένουμε 2500 χρόνια για να δοθεί ένας ορισμός στον όρο ενέργεια από τον φυσικό MaxPlank: ‘’ενέργεια είναι αυτό που βρίσκεται μέσα στο σύστημα και το κάνει ικανό να προκαλεί εσωτερικές δράσεις’’. [1]

Ο άνθρωπος είναι συνυφασμένος με την έννοια ενέργεια από τη στιγμή της δημιουργίας του. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, όπως και οι άλλοι ζωντανοί οργανισμοί μέσω της τροφής, είχε τη δυνατότητα να κινηθεί, να κυνηγήσει και να αντιμετωπίσει τους εχθρούς του. [2]

Με τη πάροδο των ετών κατάφερε μέσω της εκμετάλλευσης άλλων ζωντανών οργανισμών να αύξηση σημαντικά τις δυνατότητες και τη θέση του στο περιβάλλον που έπρεπε να επιβιώσει. [2]

Η ενέργεια που υπήρχε άφθονη και σε διάφορες μορφές στο φυσικό περιβάλλον, σε συνδυασμό με την εκμετάλλευση της και την ανάπτυξη κάποιων ικανοτήτων του ανθρώπου, του έδωσαν τη δυνατότητα να ακολουθήσει τη μεγαλειώδη εξελικτική του πορεία φτάνοντας στο σημερινό τεχνολογικό θαύμα. Αυτά τα στοιχεία θα συνεχίσουν να καθορίζουν την τεχνολογική του εξέλιξη και στο μέλλον, ωστόσο υπάρχουν ανησυχίες τόσο για τις επιπτώσεις στον ίδιο όσο και στο περιβάλλον του, οι οποίες αναπτύσσονται με τους ανάλογους ρυθμούς. [2]

Φτάνοντας λοιπόν στη σημερινή εποχή αντιλαμβανόμαστε, ότι το ενεργειακό πρόβλημα έχει οξυνθεί περισσότερο από ποτέ. [2]

Τι είναι το ενεργειακό πρόβλημα; η ενέργεια που παράγουμε και που χρειαζόμαστε είναι αντιστρόφως ανάλογη με τα ενεργειακά αποθέματα των συμβατικών ενεργειακών πηγών. Το ενεργειακό πρόβλημα έκανε την εμφάνιση του στις αρχές της δεκαετίας του ’50, υπό τη μορφή φιλοσοφικού στοχασμού. Με την εμφάνιση της ενεργειακής κρίσης το 1973 άρχισε και η συνειδητοποίηση του. [2]

Η συγκέντρωση του κόσμου στα μεγάλα αστικά κέντρα σε συνδυασμό με το τρόπο ζωής οδήγησαν στην αύξηση των ενεργειακών αναγκών. Για να κατανοήσουμε καλύτερα την ακόρεστη δίψα της ανθρωπότητας για ενέργεια αρκούν τα ακόλουθα στοιχεία: το 1929 ο πληθυσμός της Γης ήταν 2 δισεκατομμύρια και ο κάθε άνθρωπος δαπανούσε ενέργεια ίση με 12 ανθρώπους της προβιομηχανικής εποχής. Το 1979 ο πληθυσμός της Γης ήταν 4 δισεκατομμύρια και ο κάθε άνθρωπος δαπανούσε ενέργεια ίση με 27 ανθρώπους της προβιομηχανικής εποχής. Τ0 2020 ο κάθε άνθρωπος αναμένεται να καταναλώνει ενέργεια ίση με 43 ανθρώπους της προβιομηχανικής εποχής. [1]

Είναι πολύ εύκολο να κατανοήσουμε τι σημαίνει αύξηση της ενέργειας που καταναλώνουμε αν αναλογιστούμε το πλήθος των ηλεκτρικών συσκευών που έχουμε σήμερα στα σπίτια μας σε σχέση με τα προηγούμενα 50 ή 100 χρόνια. Αν το δούμε αυτό με αριθμούς υπολογίζεται ότι ο πρωτόγονος άνθρωπος χρησιμοποιούσε 6,3 MJ ενέργεια για τις ανάγκες του την ημέρα, ενώ την ίδια στιγμή εμείς σήμερα χρησιμοποιούμε περίπου 1000 MJ. Δηλαδή 150 φορές περισσότερη ενέργεια. [2]

Αναπόφευκτα η χώρα μας ακολουθεί τις πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με το ενεργειακό πρόβλημα καθυστερημένα και χωρίς προσαρμογή στα δεδομένα της χώρας μας. Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από υψηλή ενεργειακή ένταση (παραγόμενη kWh ανά μονάδα ΑΕΠ), έχει υψηλή εξάρτηση από λιγνίτη, πετρέλαιο και γίνεται άσκοπη κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό και τριτογενή τομέα. Προς στιγμήν, έχουν υλοποιηθεί στη χώρα μας προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας, εισαγωγής ΑΠΕ, παραγωγής βιοκαυσίμων κ.α., τα οποία δεν είχαν το απαιτούμενο μέγεθος παρέμβασης και την ίδια στιγμή δεν συνοδεύονταν από ευκρινείς και ποσοτικοποιημένους στόχους, με συνέπεια τα αποτελέσματα να επιφέρουν ασήμαντες μεταβολές στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό δυναμικό ΑΠΕ (ηλιακό και αιολικό), το οποίο άμεσα είναι απαραίτητο να αξιοποιηθεί σε συνδυασμό φυσικά με πολλαπλές δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Η σταδιακή αλλαγή του ενεργειακού συστήματος από την εξοικονόμηση, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεν πρέπει να είναι μόνο αποτελεσματική αλλά και αναγκαία για την αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος. Έτσι, προβλήματα φαινομενικά ασύνδετα και ετερόκλητα μεταξύ τους όπως η ρύπανση το περιβάλλοντος, η ανεπάρκεια του νερού, οι πληθωριστικές πιέσεις, οι χαμηλοί ρυθμοί ανάπτυξης κ.α., θα αρχίσουν να υποχωρούν ανάλογα με το βαθμό αλλαγής του ενεργειακού συστήματος. [1]

Τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος πρέπει να στηρίζονται[2]:

- Στη εξυπνότερη χρήση της ενέργειας
- Στην αύξηση της ωφέλιμης ενέργειας έναντι της καταναλισκόμενης
- Στην μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας
- Στην αντικατάσταση των συμβατικών πηγών ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Ο ‘’έξυπνος’’ τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών με σκοπό τη χρήση της ενέργειας μόνο για πραγματικές ανάγκες χωρίς υπερβολές και σπατάλες.

Αυτό βασικά προϋποθέτει ότι δεν θα μείνει μόνο σε προσωπικό επίπεδο αλλά και σε επίπεδο παραγωγής, αξιοποιώντας παράλληλα και την τελευταία γενιάς τεχνολογία.[2]

Φυσικά θα πρέπει να υιοθετήσουμε μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας για ψύξη και θέρμανση, να γίνουν σημαντικές αλλαγές στις γεωργικές καλλιέργειες, να δημιουργηθούν διαχειριστικά πλάνα για τους υδάτινους πόρους, να δημιουργηθούν σχέδια υποδομών για την αντιμετώπιση ακραίων καιρικών φαινομένων κι το πιο σημαντικό να γίνουν εκστρατείες με σκοπό την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση της ελληνικής κοινωνίας.[2]

Γενικά, θα πρέπει ληφθούν σημαντικές πολιτικές αποφάσεις και μέτρα για την προώθηση των ΑΠΕ και για την εξοικονόμηση ενέργειας στον ελλαδικό χώρο, διαφορετικά η Ελλάδα θα μείνει ουραγός των εξελίξεων.[2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

➢ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές , δηλαδή η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική, η κυματική, η παλιρροιακή, η υδραυλική , τα αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής,ενέργεια που προέρχεται από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια. Οι Α.Π.Ε. είναι πηγές ενέργειας όπου τα αποθέματα τους ανανεώνονται φυσικά και οι οποίες είναι πρακτικά ανεξάντλητες. Είναι πρακτικά οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούσε ο άνθρωπος.[3]

➢ Η ΓΕΝΕΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σαν ενέργεια ορίζεται η ικανότητα ενός σώματος να παράγει έργο εξαιτίας της θέσης, κίνησης ή κατάστασης του. Ενώ αντίστοιχα ως κλιματική αλλαγή καλείται η μεταβολή του κλίματος από ένα χρονικό διάστημα σε ένα άλλο. Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε αλλαγή του κλίματος που οφείλεται σε φυσικούς ή ανθρώπινους παράγοντες. Η αύξηση της θερμοκρασίας της Γης προέρχεται από τη συγκέντρωση των αερίων στην ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση των αερίων μπορεί να προέρχεται από τη καύση των ορυκτών καυσίμων, από τη χρήση λιπασμάτων, από τα απορρίμματα κ.α. Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί τη κύρια αιτία της αλλαγής αυτής. Ο άνθρωπος ευθύνεται για την υπερθέρμανση του πλανήτη. Τα τελευταία 200 χρόνια υπήρξε αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα κατά 25 %. Η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των αποθεμάτων του νερού, τη μεταβολή της θερμοκρασίας, τις υψηλές θερμοκρασίες, τη μείωση των αριθμών των ειδών κ.α. Ο άνθρωπος δημιούργησε τα προβλήματα στο περιβάλλον, όπου σε συνδυασμό με τη μείωση των αποθεμάτων του ορυκτού πλούτου Γης, αναγκάστηκε να στραφεί σε αναζήτηση νέων πηγών ενέργειας, οι οποίες είναι πιο φιλικές από το περιβάλλον. Αυτές φυσικά βρίσκονται στη φύση. Έτσι λοιπόν, υπάρχουν δύο τύποι ενέργειας. Αυτές είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι συμβατικές πηγές ενέργειας (μη συμβατικές). [3]

➢ Η ΛΥΣΗ ΤΩΝ Α.Π.Ε.

Είναι γεγονός ότι η αλλαγή του κλίματος του πλανήτη είναι εμφανής με διάφορες μορφές σε όλους μας πλέον. Από τότε που γίνονται καταγραφές και μετρήσεις η δεκαετία του 1990 ήταν

η πιο θερμή. Υπολογίζεται ότι η μέση θερμοκρασία της Γης έχει αυξηθεί κατά 0,6 ^{o}C μέσα στον 20^{ο} αιώνα. Φυσικά αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα επίπεδα CO_2 έχουν αυξηθεί κατά 30%. [4]

Η αλλαγή αυτή έχει ως άμεσο επακόλουθο την άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 2 χιλιοστά ανά έτος τα τελευταία 100 χρόνια. Αυτό οφείλεται στη τήξη των πάγων. Σε παγκόσμια κλίμακα η κάλυψη του χιονιού έχει μειωθεί σε ποσοστό 10% από το 1960. Οι οικονομικές καταστροφές σε επιχειρήσεις και νοικοκυριά δεκαπλασιάστηκαν τα τελευταία 40 χρόνια λόγω των άστατων καιρικών συνθηκών. [4]

Η διεθνής κοινότητα ολοένα και ευαισθητοποιείται λόγω της ανησυχητικής επιδείνωσης των συνεπειών του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι συνθήκες σήμερα ευνοούν περισσότερο από ποτέ την έρευνα και τη τεχνολογική εξέλιξη των μεθόδων παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε. Οι υψηλές τιμές του πετρελαίου και η μείωση της προσφοράς ορυκτών καυσίμων καθώς και η προσπάθεια για τον έλεγχο του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθιστούν τις Α.Π.Ε. ιδιαίτερα πιο ασφαλείς, ελκυστικές και ανταγωνιστικές. Αρκεί απλά να ληφθεί υπόψη το άμεσο κόστος παραγωγής και την απεξάρτηση που προσφέρουν από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων από ασταθείς περιοχές του πλανήτη.[2]

Μορφές Α.Π.Ε.[4]

Οι πιο δημοφιλείς και κυριότερες μορφές Α.Π.Ε. είναι οι ακόλουθες:

- **Γεωθερμία.** Είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης (Γαία) και εμπεριέχεται σε θερμά ξηρά πετρώματα, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε φυσικούς ατμούς.
- **Βιομάζα.** Το αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών.
- **Κυματική Ενέργεια.** Η ενέργεια που προέρχεται από τη παλίρροια, τα θαλάσσια ρεύματα και τους ωκεανούς.
- **Υδραυλική Ενέργεια.** Είναι η ενέργεια που προέρχεται από τις υδατοπτώσεις και αξιοποιείται στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς.
- **Ηλιακή Ενέργεια.** Η ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της θερμότητας και των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων του Ήλιου,
- **Αιολική Ενέργεια.** Η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Οι Α.Π.Ε. μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα είτε έμμεσα. Άμεσα ως πηγή θερμότητας κυρίως, είτε έμμεσα μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας π.χ. ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια. Για να μπορεί να είναι χρήσιμη μία ενέργεια πρέπει να ισχύουν κάποιες προϋποθέσεις [4]:

- Να είναι εύκολα μεταφερόμενη
- Να είναι εύκολα αποθηκεύσιμη
- Η ενεργειακή πηγή να είναι εύκολα προσβάσιμη και η ενέργεια να είναι άφθονη

➢ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ Α.Π.Ε[4]

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

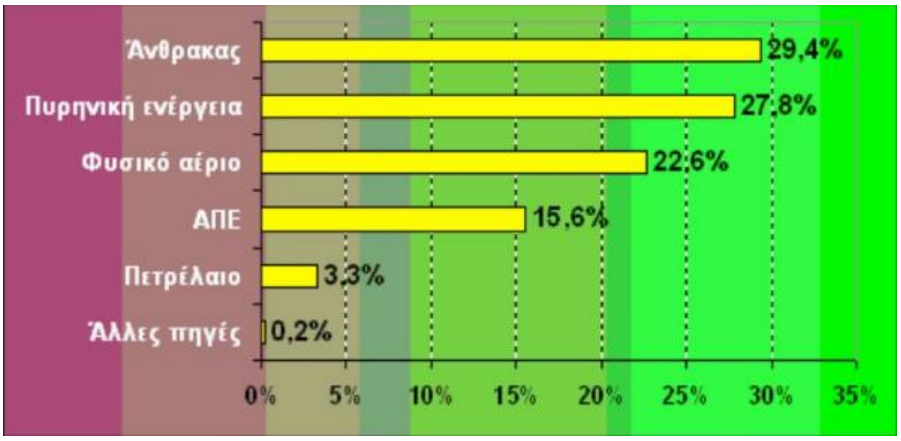
- Η δημιουργία θέσεων εργασίας σε τοπικό επίπεδο
- Είναι αποδεκτές από όλους και είναι φιλικές προς το περιβάλλον
- Είναι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας
- Συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και εξάρτησης από άλλους συμβατικούς πόρους
- Είναι γεωγραφικά διάσπαρτες με αποτέλεσμα να οδηγούν σε αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος
- Έχουν αρκετά χαμηλό λειτουργικό κόστος και δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στην ενίσχυση της αυτάρκειας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο
- Οι εγκαταστάσεις των Α.Π.Ε. έχουν σχεδιαστεί για να μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες σε μικρή και μεγάλη κλίμακα, έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής,έτσι επιτρέπουν τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων καλύπτοντας έτσι ένα ευρύ φάσμα των χρηστών

Τα βασικά μειονεκτήματα των Α.Π.Ε.[4]

- Παρουσιάζουν διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητα τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών
- Απαιτούνται γενικά δαπανηρές μορφές αποθήκευσης
- Έχουν χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων λόγω χαμηλής διαθεσιμότητας
- Για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται εκτεταμένες εγκαταστάσεις λόγω χαμηλής πυκνότητας ισχύος
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος παραμένει ακόμα υψηλό σε σχέση με τις τιμές των συμβατικών καυσίμων.

➢ Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ Α.Π.Ε. ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΑΙ ΕΘΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ[4]

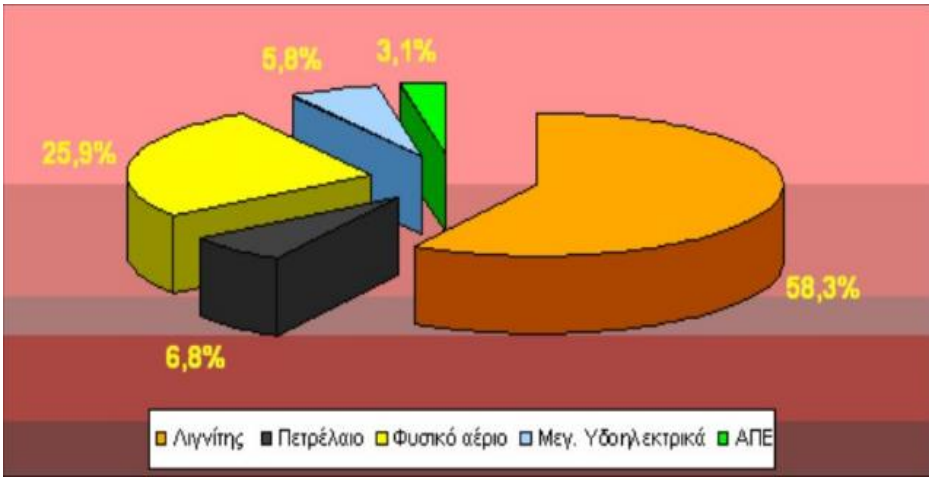
Η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αντληθεί από τη φυσική προσφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Πάραυτα, η χρήση των Α.Π.Ε. είναι ακόμα πολύ περιορισμένη σε παγκόσμια κλίμακα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα κράτη της Ε.Ε. (2008) παρουσιάζεται στο σχήμα.



Σχήμα 1: Πηγές ηλεκτροπαραγωγής στην Ευρωπαϊκή Ένωση[5]

Στο σχήμα 1 παρατηρείται ότι η κύρια πηγή για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη είναι ο άνθρακας με 29,4% και οι ΑΠΕ βρίσκονται στην 4η θέση με μόλις 15,6% .

Όσον αφορά τη χώρα μας ο λιγνίτης αποτελεί την καύσιμη ύλη για αρκετούς θερμικούς σταθμούς της χώρας μας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται κυρίως σε θερμικούς σταθμούς, όπου είναι συγκεντρωμένοι στο βόρειο τμήμα της χώρας καθώς ο σχεδιασμός βασίστηκε στις περιοχές που είναι πλουτοπαραγωγικές πηγές λιγνίτη. Σύμφωνα με στοιχεία του 2008 μεγαλύτερο ποσό της ενέργειας προέρχεται από θερμικούς σταθμούς εκ των οποίων με λιγνίτη 58,3%, με πετρέλαιο το 6,8%, με φυσικό αέριο το 25,9% και μόλις το 8% προέρχεται από Α.Π.Ε. [4]



Σχήμα 2: Εγχώρια Παραγωγή ενέργειας ανά μορφή καυσίμου στο διασυνδεδεμένο Σύστημα [5]

Στο σχήμα 2 παρατηρείται ότι στην Εγχώρια αγορά η παραγωγή ενέργειας βασίζεται κυρίως στην καύση του λιγνίτη ο οποίος με 58,3% αποτελεί την πρώτη πηγή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .

Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται μια σημαντική αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. Η εγκατεστημένη ισχύς Α.Π.Ε. στην Ελλάδα τα τελευταία τρία χρόνια φαίνεται στο παρακάτω πίνακα. [4]

Πίνακας 1: Εγκατεστημένη Ισχύς ΑΠΕ στην Ελλάδα [5].

Τεχνολογία	Ισχύς	Με Αίτηση για Άδεια Παραγωγής *Υπό αξιολόγηση 30/9/2012*	Σε Λειτουργία
Αιολικά	MW	23.644,69	1.740,39
Βιομάζα	MW	173,06	44,75
Γεωθερμία	MW	20,00	0,00
Μικρά Υδροηλεκτρικά	MW	152,47	213,08
Φωτοβολταϊκά	MW	100,00	1.353,54
Ηλιοθερμικά	MW	424,25	0,00
Υβριδικά	MW	1.020,70	0,00
	Σύνολο Ισχύος(MW)	**25.535**	**3.351**

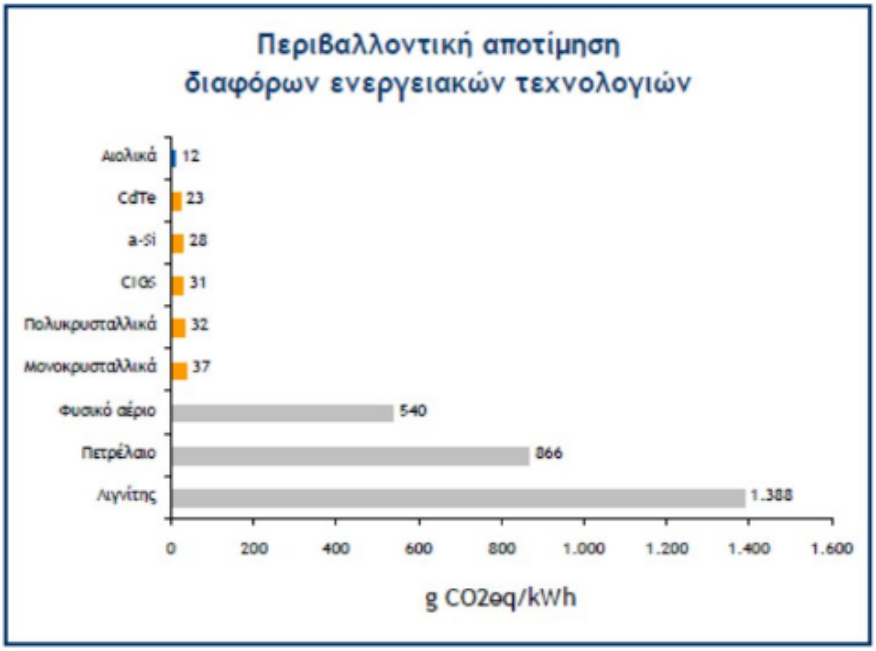
Στον Πίνακα 1 παρατηρείται ότι στην Ελλάδα η κύρια μορφή ΑΠΕ είναι η αιολική και η πιο γρήγορα αναπτυσσόμενη

Πίνακας 2: Ηλεκτροπαραγωγή Από Α/Γ Στην ΕΕ-27 για τα έτη 2010 -2011 (TWh)[5]

	2010	2011*
Germany	37,793	46,500
Spain	44,165	42,060
United Kingdom	10,182	14,100
France	10,028	12,200
Denmark	7,856	9,752
Italy	9,126	9,560
Portugal	9,182	9,264
Sweden	3,502	6,100
Netherlands	3,993	4,825
Ireland	3,473	3,671
Poland	1,664	2,584
Austria	2,019	2,300
Greece	2,136	2,130
Belgium	1,293	2,090
Romania	0,180	1,444
Bulgaria	0,600	0,968
Hungary	0,527	0,640
Finland	0,294	0,483
Czech Republic	0,336	0,397
Estonia	0,276	0,365
Lithuania	0,262	0,350
Cyprus	0,081	0,216
Latvia	0,053	0,062
Luxembourg	0,055	0,058
Slovakia	0,006	0,006
European Union (27 countries)	**149,1**	**172,1**

Στον παραπάνω Πίνακα 2 παρατηρείται ότι η Γερμάνια είναι η πρώτη σε ανάπτυξη χώρα στο χώρο τον ΑΠΕ. Επίσης παρατηρείται η αύξηση της χρήσης των ΑΠΕ από το 2010 κατά 23 μονάδες . Η χώρα μας η Ελλάδα βρίσκεται στην 13 θέση από της 27 χώρες της Ευρωπαϊκής ένωσης (για το έτη 2010-2011)

Στο ακόλουθο σχήμα 3 φαίνεται η περιβαλλοντική αποτίμηση που έχουν οι διάφορες ενεργειακές τεχνολογίες. [4]



<u>Σχήμα 3</u>: Περιβαλλοντική Αποτίμηση διάφορων ενεργειακών τεχνολογιών[5]

Στο Σχήμα 3 παρατηρείται ότι ο λιγνίτης που είναι η κύρια πηγή για την παραγωγή ενέργειας είναι ο πιο «ζημιογόνος» για το περιβάλλον μας ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται η χαώδη διαφορά που υπάρχει με τα αιολικά συστήματα .

➢ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ Α.Π.Ε. ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο αυτή τη στιγμή υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης μίας πολιτικής που θα καλύπτει όλες τις πηγές ενέργειας, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη οικονομίας χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και περισσότερο αειφόρου ώστε να είναι ανταγωνιστικότερη και ασφαλέστερη. Αυτή η ανάγκη οδήγησε στο καθορισμό των στόχων που είναι γνωστοί και ως στόχοι 20-20-20. [4]

Αναλυτικότερα έχουμε[4]:

- 20% παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας
- 20% εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής ενέργειας
- 20% μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με το 1990

Αυτοί οι στόχοι έχουν καθοριστεί έως το 2020 και ισχύουν για όλα τα κράτημέλη της Ε.Ε. Για τη χώρα μας, ο στόχος είναι η μείωση κατα΄4% για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 και 18% διείσδυση των Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση. [4]

Στο πλαίσιο του νόμου 3581/2010 η ελληνική κυβέρνηση προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των Α.Π.Ε. στη τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%. Επιπρόσθετα, η Ελλάδα έχει ήδη καταρτίσει το πρώτο σχέδιο δράσης ενεργειακής αποδοτικότητας σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας. Στο σχέδιο αυτό προβλέπεται 9% εξοικονόμηση ενέργειας στη τελική κατανάλωση μέχρι το τέλος του 2016 σύμφωνα με την οδηγία 2006/32/ΚΕΚ, ενώ με το πρόσφατο νόμο 3585 προχωράμε στη στην ανάπτυξη μηχανισμών αγοράς και εφαρμογής συγκεκριμένων μέτρων που αποσκοπούν στην επίτευξη του συγκεκριμένου εθνικού στόχου για την εξοικονόμηση ενέργειας. [4]

Φυσικά η επίτευξη των παραπάνω στόχων απαιτεί την υποστήριξη από τους φορείς της αγοράς, το συντονισμό σε δράσεις και μέτρα, καθώς και την έγκαιρη υλοποίηση έργων ανάπτυξης του ηλεκτρικού δικτύου ώστε να υπάρχει η δυνατότητα απορρόφησης της παραγόμενης ενέργειας από τους σταθμούς Α.Π.Ε. [4]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ºΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Οφείλει την ονομασία της στην ελληνική μυθολογία καθώς ο Θεός του ανέμου ονομαζόταν Αίολος. Με πολύ απλά λόγια αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πλέοντος ανέμου.[2]

Οι άνθρωποι είχαν πρόσβαση σε αυτήν από την αρχαιότητα. Η ενέργεια αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί και ως ήπια μορφή ενέργειας και περιλαμβάνεται στις πηγές ενέργειας που δεν προκαλούν ούτε εκπέμπουν ρύπους για αυτό λέγεται και καθαρή πηγή ενέργειας.[2]

Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και αργότερα οι ανεμόμυλοι. Πριν από περίπου 30 χρόνια μπήκαν σε εφαρμογή οι πρώτες σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Από τότε πολλές έχουν μπει σε λειτουργία σε όλο το κόσμο, όπως και στη χώρα μας.[2]

Σήμερα η αιολική ενέργεια αποτελεί μία ελκυστική λύση στο ενεργειακό πρόβλημα μέσω της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο και το πιο σημαντικό, είναι δωρεάν. Δεν δημιουργούνται ρύποι, ούτε εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι ελάχιστες σε σχέση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα (κυρίως λιγνίτη).[2]

Από την άλλη πλευρά, τα οικονομικά οφέλη από την ανάπτυξη αιολικής βιομηχανίας σε μία περιοχή είναι πολύ σημαντικά έως αξιοσημείωτα. Ο άνεμος είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που μπορεί να αξιοποιηθεί στη παραγωγή ηλεκτρισμού.[2]

Η αιολική ενέργεια είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στο κόσμο αυτή τη στιγμή. Τα πλεονεκτήματα της είναι τεράστια και για αυτό το λόγο γίνονται ερευνητικές προσπάθειες με στόχο την ανταπόκριση στις ανάγκες για ευρύτερη χρήση της.[2]

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας θα αναφερθούν παρακάτω. Η αιολική ενέργεια απορρέει από τον άνεμο δηλαδή είναι μία καθαρή μορφή ενέργειας. Η αιολική ενέργεια δεν ρυπαίνει την ατμόσφαιρα όπως τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, τα οποία στηρίζονται στη καύση συμβατικού καυσίμου, κυρίως λιγνίτη ή άνθρακα ή φυσικό αέριο. Επίσης οι ανεμογεννήτριες δεν εκλύουν χημικές ουσίες στο περιβάλλον προκαλώντας όξινη βροχή ή αέρια του θερμοκηπίου.[2]

Αυτή τη στιγμή στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής η αιολική ενέργεια είναι οικιακή πηγή ενέργειας καθώς αφθονεί ο άνεμος. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας στο κλάδο αυτό την καθιστά μία από τις πιο οικονομικές ΑΠΕ σήμερα. Το κόστος της είναι μόλις 4 με 6 σεντ (αμερικάνικου δολαρίου) ανά kWh δηλαδή 2,5 με 4,5 σεντ του ευρώ. Φυσικά η τιμή εξαρτάται από τη περιοχή,

την ύπαρξη ή μη του ανέμου και φυσικά από τη χρηματοδότηση ή μη του εκάστοτε αιολικού προγράμματος.[2]

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ωφελήσουν αρκετά τις αγροτικές οικονομίες καθώς μπορούν να στηθούν σε αγροκτήματα ή ακόμα και ράντσα, όπου από άποψη ανέμου βρίσκονται οι περισσότερες και καλύτερες τοποθεσίες. Οι ιδιοκτήτες των εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας πληρώνουν ενοίκιο στους αγρότες για τη χρήση της Γης.[2]

Η αιολική ενέργεια όμως έχει και κάποια μειονεκτήματα. Αναλυτικά το επίπεδο κόστους της αιολικής ενέργειας εξαρτάται από το πόσο ενεργητική ως προς τον άνεμο είναι μία τοποθεσία, ούτως ώστε το αιολικό πάρκο να είναι ανταγωνιστικό. Τα τελευταία 10 χρόνια παρότι το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί δραματικά, η αρχική επένδυση αποτελεί αγκάθι στην εισαγωγή ανεμογεννητριών σε σχέση με τις με τις ανεμογεννήτριες που λειτουργούν με τη καύση ορυκτών.[2]

Η μεγαλύτερη όμως πρόκληση στη χρησιμοποίηση του ανέμου ως κύρια πηγή ενέργειας είναι η διαρκής ανάγκη και ζήτηση για ηλεκτρισμό ακόμα και όταν ο άνεμος είναι διακοπτόμενος.[2]

Η αιολική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί μόνο με τη χρήση μπαταριών. Ακόμα είναι αδύνατο όλοι οι άνεμοι να τιθασευτούν, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες σε ηλεκτρισμό. Συνήθως τα κατάλληλα σημεία για αιολικά πάρκα είναι σε αποστάσεις εκατοντάδων χιλιομέτρων μακριά από τις πόλεις όπου χρειάζεται ο ηλεκτρισμός.[2]

Τα αιολικά πάρκα έχουν μικρή επίπτωση στο περιβάλλον, υπάρχουν όμως κάποιοι προβληματισμοί για το θόρυβο που παράγεται από το ρότορα, για την αισθητική επίπτωση και για την επίπτωση στο οικοσύστημα καθώς πολλές φορές έχουν σκοτωθεί πτηνά.[2]

Οι άνεμοι που μετακινούνται με ταχύτητα από περιοχή σε περιοχή, οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της Γης από τον Ήλιο. Λόγω της διαφορετικής απορρόφησης ενέργειας από τόπο σε τόπο, υπάρχει διαφορά στην ατμοσφαιρική πίεση και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση των αέριων μαζών. Ο άνεμος λοιπόν έχει δύο κύρια χαρακτηριστικά, αυτά είναι η δύναμη που συγκεντρώνεται στη ταχύτητα ή την ένταση του και τη διεύθυνση. Η ενέργεια των ανέμων (κινητική) επαρκεί ώστε να καλύψει περισσότερο από δύο φορές τις ανάγκες της Γης σε ηλεκτρική ενέργεια.[6]

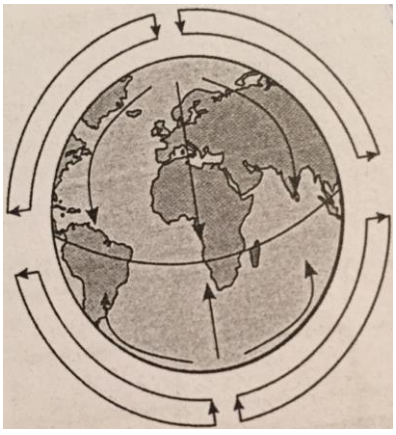
Τα χαρακτηριστικά αυτά καθώς και ο τρόπος που μεταβάλλονται στο χώρο και το χρόνο αποτελεί το κυριότερο κομμάτι της έρευνας αιολικού δυναμικού. Υπάρχουν κάποιες κατηγορίες στις οποίες το αιολικό δυναμικό θα μπορούσε να ταξινομηθεί, και οποίες είναι ακόλουθες[6]:

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

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

Φυσικά όλα τα είδη αιολικού δυναμικού αξιολογούνται βάσει της περιοχής και της χρονικής περιόδου της μελέτης.[6]

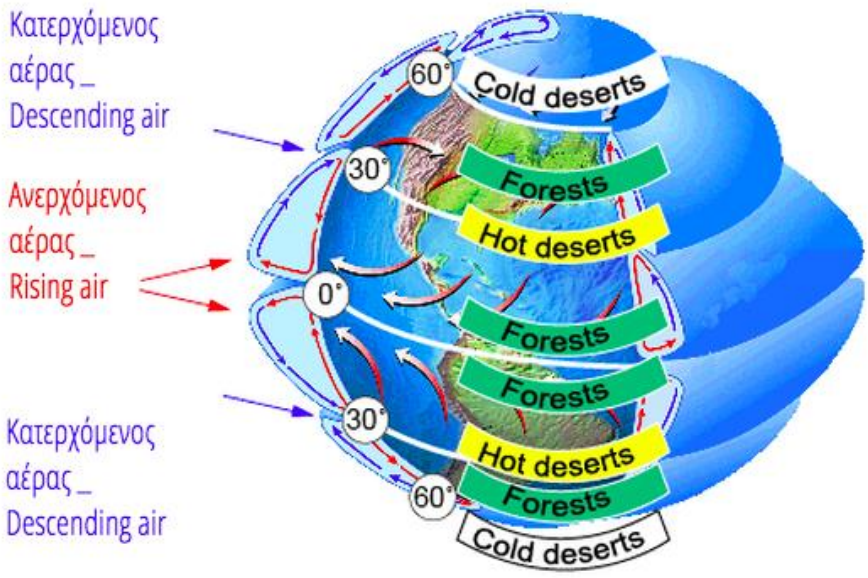
Οι αέριες μάζες που κινούνται έχουν ως αιτία διαφορά βαρομετρικών πιέσεων που προκαλούνται κυρίως από τη ανομοιόμορφη θέρμανση των διαφόρων περιοχών της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία. Λόγω της καμπυλότητας της επιφάνειας της Γης, όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος οι ακτίνες του Ήλιου πέφτουν πιο πλάγια και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό έχει το φυσικό αποτέλεσμα ο Ισημερινός να είναι πιο θερμός από ότι οι πόλοι της Γης. Κάθε στρώμα αέρα που θα έρθει σε επαφή με την επιφάνεια της Γης θα θερμανθεί και ανέλθει καθώς έχει μικρότερη πυκνότητα από ένα ψυχρό στρώμα αέρα. Τη θέση του θα καλύψει ένα στρώμα ψυχρού αέρα, που με τη σειρά του α θερμανθεί και θα ανέλθει. Αυτή η κυκλική κίνηση, ονομάζεται κατακόρυφη μεταφορά.[6]



Εικόνα 1 Ιδανική κίνηση του ανέμου αν η Γη δεν περιστρεφόταν

Επειδή όμως η Γη περιστρέφεται λόγω αδρανείας οι ψυχρές αέριες μάζες που μετακινούνται προς τον ισημερινό, κινούνται προς τα δυτικά ενώ ταυτόχρονα οι θερμές αέριες μάζες που

ανυψώνονται προς τον ισημερινό κινούνται προς τα ανατολικά. Αυτή η κίνηση του ανέμου είναι η πραγματική του κίνηση.[6]



Εικόνα 2: Πραγματική Κίνηση του Ανέμου

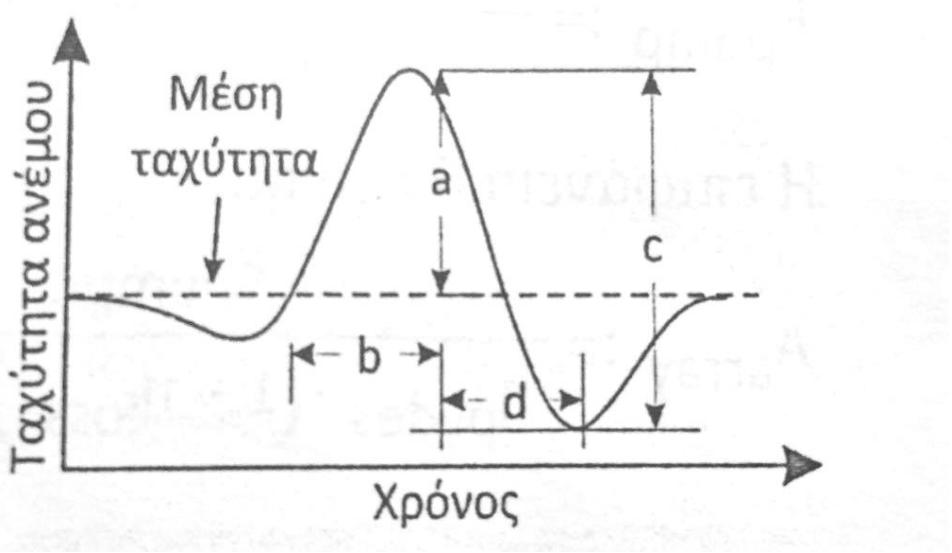
Σε τοπικό επίπεδο οι άνεμοι εξαρτώνται από το ανάγλυφο της περιοχής, το υψόμετρο και από τη παρουσία της θάλασσας. Η θάλασσα έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τη ξηρά με αποτέλεσμα να ψύχεται και να θερμαίνεται πιο αργά από αυτή.[6]

Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι καθοριστικά τα χαρακτηριστικά του ανέμου που πνέουν σε αυτήν. Τα βασικά στοιχεία που πρέπει να εκτιμώνται με βάση μετρήσεις και υπολογιστικά μοντέλα είναι η ταχύτητα, η διεύθυνση και η διακύμανση στο χώρο και στο χρόνο.[6]

Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται συνεχώς. Οι χρονικές μεταβολές της ταχύτητας χωρίζονται με βάση τη χρονική τους διάρκεια στις εξής κατηγορίες[6]:

- **Μεγάλων περιόδων.** Η πρόβλεψη της διακύμανσης της ταχύτητας σε περίοδο μεγαλύτερη του έτους.
- **Ετήσιες.** Οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου στη περίοδο ενός έτους.
- **Ημερήσιες.** Η ημερήσια διακύμανση της ταχύτητας, όπου εξαρτώνται από το υψόμετρο, το ανάγλυφο της περιοχής και την εποχή.
- **Σύντομες.** Οι διακυμάνσεις αυτές περιλαμβάνουν τη τύρβη και τις ριπές του ανέμου σε περίοδο από 1 δευτερόλεπτο έως 10 λεπτά.

Η ριπή του ανέμου είναι ένα μεμονωμένο γεγονός μέσα στη τυρβώδη ροή. Τα 4 χαρακτηριστικά των ριπών είναι: πλάτος (a), χρόνος ανάπτυξης (b), εύρος (c) και χρόνος παρέλευσης (d).[6]



Εικόνα 3: Χαρακτηριστικά Ριπής Ανέμου

Γενικά, μια χρονοσείρα μετρήσεων ταχύτητας ανέμου μιας περιοχής έχει μέση ταχύτητα (V_{mean}) [6]:

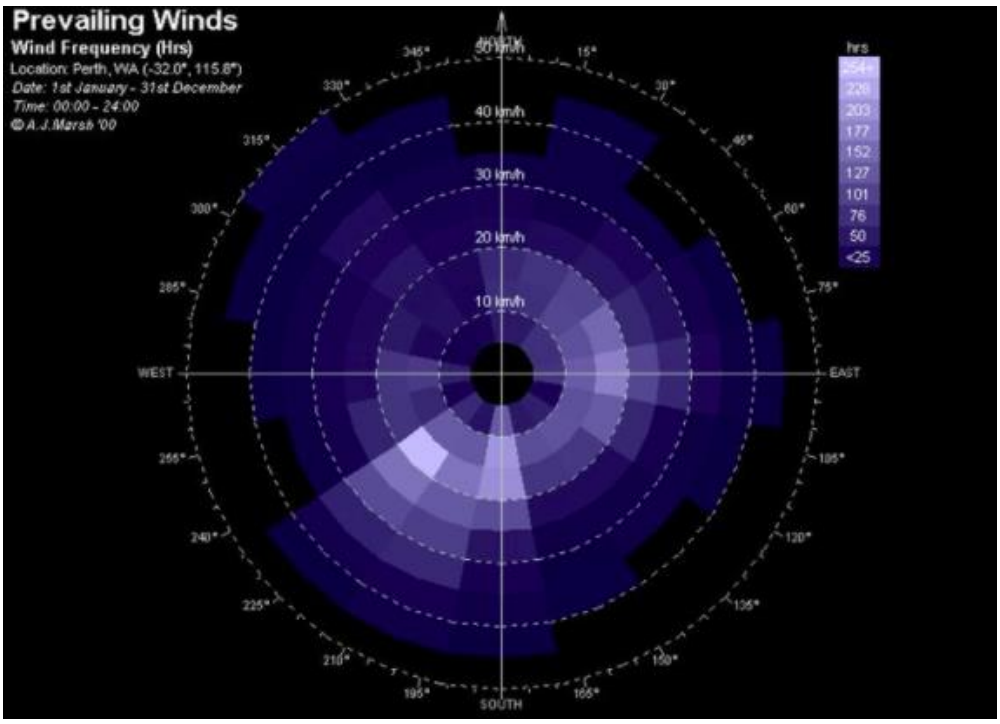
$$V_{mean} = \frac{1}{N}\sum_{I=1}^{N} Vi$$

όπου V_i είναι η i μέτρηση της ταχύτητας και N ο αριθμός των μετρήσεων. Η τυπική απόκλιση (σ) των μετρήσεων είναι [6]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{1-N}\sum_{i=1}^{N}(V_i - V_{mean})^2}$$

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

Η διεύθυνση του ανέμου σε μία θέση μεταβάλλεται συνεχώς. Μετριέται κατά ωρολογιακή φορά σε μοίρες σε σχέση με το πραγματικό βορά ή πιο απλά χωρίζοντας το κυκλικό τομέα σε 8, 16 ή 32 τομείς. Από τη παρατήρηση της διεύθυνσης του ανέμου κατασκευάζεται το ροδόγραμμα του ανέμου (η συχνότητα εμφάνισης του ανέμου για κάθε διεύθυνση σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων).[6]



Εικόνα 4*:* Ρόδο ανέμου

Για τη μέτρηση του ανέμου χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα κατάλληλα πιστοποιημένα και βαθμονομημένα. Το ανεμόμετρο είναι το όργανο που μετράει την ένταση της ταχύτητας του ανέμου και τη καταγράφει ηλεκτρονικά σε ειδικό καταγραφικό. [6]

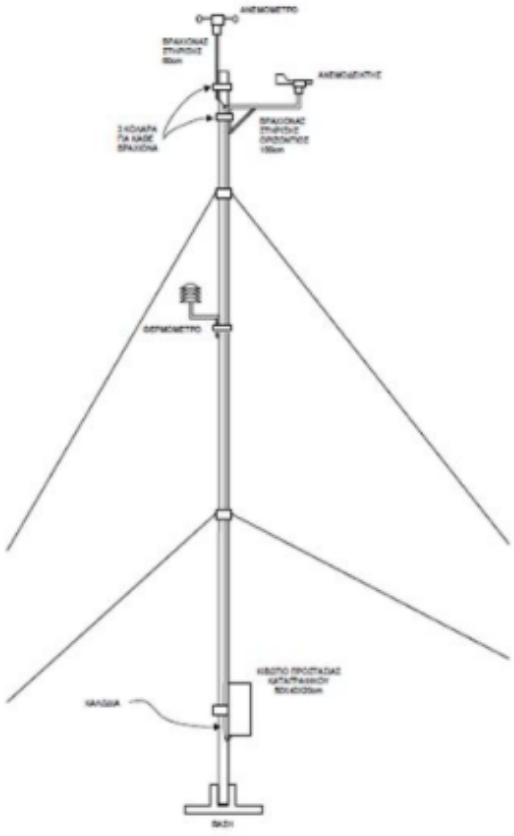
Τα σύγχρονα όργανα καταγράφουν με ρυθμό μετρήσεων ενός δευτερολέπτου τη μέση ταχύτητα του ανέμου σε ένα δεκάλεπτο, ταυτόχρονα καταγράφουν τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές καθώς και τη τυπική απόκλιση της ταχύτητας στο δεκάλεπτο αυτό.[6]

Οι ανεμοδείκτες χρησιμοποιούνται για τη καταγραφή της διεύθυνσης και καταγράφουν τη φορά του στο ειδικό καταγραφικό. Υπάρχουν και άλλα όργανα που λαμβάνουν μετρήσεις για άλλα μεγέθη όπως θερμοκρασία ατμοσφαιρική πίεση και βροχόπτωση.[6]

Επίσης τα καταγραφικά είναι εξοπλισμένα με σύστημα που αποστέλλει δεδομένα μέσω ασύρματου modem GSM στους ενδιαφερόμενους.[6]

Τα ανεμόμετρα όπως και όλα τα όργανα είναι σταθερά και τοποθετημένα σε ειδικούς μετρητικούς ιστούς αφού αφορούν μακροχρόνιες μετρήσεις. Για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με τα χαρακτηριστικά του ανέμου, πρέπει οι μετρήσεις να διαρκούν το λιγότερο ένα ημερολογιακό έτος. [6]

Συνηθίζεται σε έναν ιστό να υπάρχουν πάνω από ένα ανεμόμετρα με καθ' ύψος κατανομή. Ο ιστός είναι σωληνωτός έως 40 μέτρα ή δικτυωτός για μεγαλύτερα ύψη. Ο συνηθέστερος τύπος ανεμομέτρου είναι τα ανεμόμετρα κυπέλλου και τα ανεμόμετρα έλικας. Επίσης διαδομένα είναι και τα ανεμόμετρα με laser όπως και τα ανεμόμετρα με χρήση υπερήχων.[6]



<u>Εικόνα 5</u> ***:*** Ιστός μετρητικών οργάνων για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού

Οι ταχύτητες που εμφανίζονται σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια ενός έτους, έχει διαπιστωθεί πως ακολουθούν τη στατιστική κατανομή Weibull. Αυτή η κατανομή παρουσιάζει τη

πιθανότητα το μέτρο της έντασης της ταχύτητας του ανέμου να βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο διάστημα τιμών. [6]

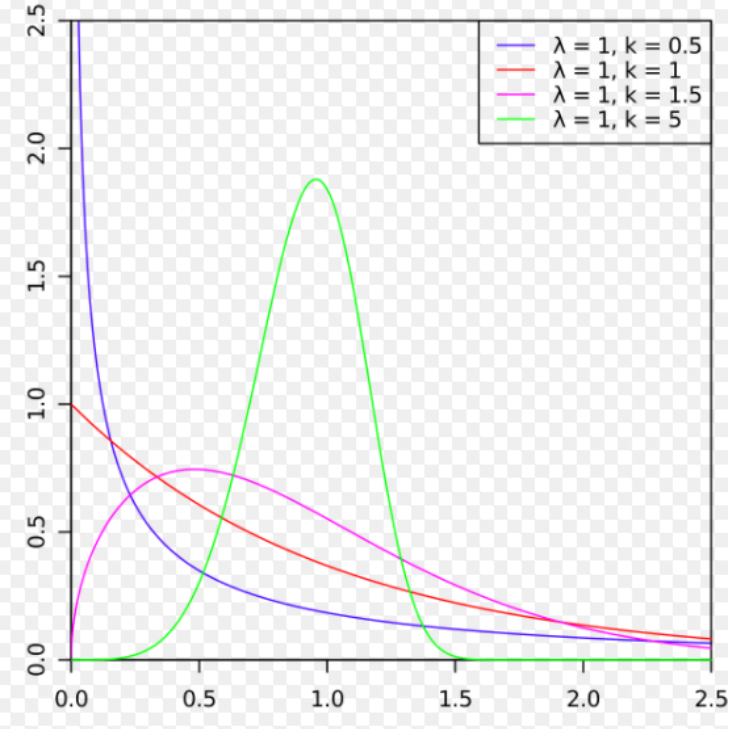
Αν τα διαστήματα γίνουν πολύ μικρά προκύπτει η συνάρτηση πυκνότητας-πιθανότητας που δίνεται από τη σχέση [6] :

$$f_W(V) = \frac{k}{c}\left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^{k}\right)$$

Η πιθανότητα κάποια χρονική στιγμή να φυσάει ο άνεμος μικρότερης ταχύτητας από V εκφράζεται από την αθροιστική κατανομή [6] :

$$\Pi_w(V \leq V_X) = \int_0^{V_x} f_w(V)dV = 1 - \exp(-\left(\frac{V_X}{c}\right)^{k})$$

Δύο συναρτήσεις παρουσιάζονται γραφικά στην εικόνα. Η παράμετρος k ονομάζεται παράμετρος μορφής, ενώ η παράμετρος λπαράμετρος κλίμακας. Αυτές οι παράμετροι υπολογίζονται με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων εφόσον υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου για όλο το έτος.[6]



Εικόνα 6: Κατανομή Weibull.

Η παράμετρος k (παράμετρος μορφής) εξαρτάται από τις διακυμάνσεις της ταχύτητας ενώ η παράμετρος λ (παράμετρος κλίμακας) εξαρτάται από τη μέση ταχύτητα. Οι συνήθεις τιμές της παραμέτρου k (παραμέτρου μορφής) είναι μεταξύ 1,5 και 2,5, ενώ για την Ελλάδα συνήθως λαμβάνουμε τιμές μεταξύ 1 και 2. Η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου για κατανομή Weibull δίνεται από τη σχέση[6]:

$$V_{mean} = \int_0^{\infty} V\, f_w(V) dV = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$$

Η ταχύτητα με τη μέγιστη πιθανότητα εμφάνισης για δεδομένη κατανομή Weibull δίνεται από τη σχέση[6]:

$$V_{mode} = c\left(\frac{k-1}{k}\right)^{\frac{1}{k}}$$

Μέσα στο οριακό ατμοσφαιρικό στρώμα η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται ανάλογα με το ύψος από ην επιφάνεια του εδάφους. Η αύξηση της ταχύτητας περιορίζεται από τα εμπόδια που υπάρχουν στην επιφάνεια του εδάφους (φυσικά ή τεχνητά). Η αναγωγή της ταχύτητας από το ύψος μετρήσεων Zr σε κάποιο άλλο ύψος Z γίνεται μέσω του εκθετικού νόμου[6]:

$$V_{(z)} = V_r\left(\frac{z}{z_r}\right)^{\alpha}$$

όπου :

- z_r , το ύψος αναφοράς ,
- $V_{(z)}$, η ταχύτητας σε ύψος z ,
- V_r , η ταχύτητα στο ύψος αναφοράς z_r
- α , ο εκθετικός συντελεστής της τραχύτητας του εδάφους .

Πίνακας 3: Τιμές για τον εκθετικό συντελεστή και το μήκος τραχύτητας.[6]

Τιμές για τον εκθετικό συντελεστή και το μήκος τραχύτητας		
Είδος Εδάφους	Εκθετικός Συντελεστής (α)	Μήκος τραχύτητας (z_0)
Θάλασσα	0,01	0,0001
Πεδιάδα	0,12	0,05
Ύπαιθρο (Κτίρια, Θάμνοι)	0,16	0,20
Ύπαιθρο (Δάση, Δέντρα)	0,28	0,80

Για αναγωγή του ύψους χρησιμοποιείται και ο λογαριθμικός νόμος[6]:

$$V_{(z)} = V_r \frac{\ln(z/z_{0)}}{\ln(z_r/z_{0)}}$$

Η αναγωγή αυτή είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της ταχύτητας στο ύψος της ανεμογεννήτριας.

Η κινητική ενέργεια του ανέμου ορίζεται ως[6] :

$$E = \frac{1}{2} m V^2$$

Η σχέση που ορίζει τη ροή μάζας του ανέμου πυκνότητας r διέρχεται από μία επιφάνεια A είναι :

$$\ddot{m} = \rho A V$$

Η ισχύς που διέρχεται από επιφάνεια με εμβαδό A είναι[6]:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Η επιφάνεια A ορίζεται ως [6]:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Η πυκνότητα του αέρα μειώνεται με το υψόμετρο και εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη πίεση. Η αιολική ισχύς σε μία δισκοειδή επιφάνεια είναι ανάλογη με τη τρίτη δύναμη της ταχύτητας, τη δεύτερη δύναμη της διαμέτρου και τη πυκνότητα του αέρα[6].

Η ατμοσφαιρική πίεση ως προς το ύψος δίνεται από τη σχέση[6]:

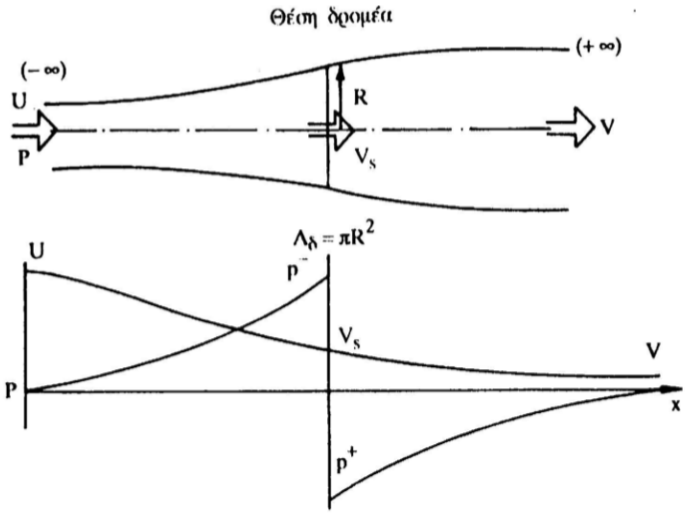
$$p_{atm} = \exp\left(5{,}25\, ln\left(1 - \frac{alt}{44{,}3}\right)\right)$$

όπου «alt» το υψόμετρο σε kmκαι p_{atm}η ατμοσφαιρική πίεση σε atm .

Η ισχύς έχει μη γραμμική εξάρτηση με τη ταχύτητα και για να βρεθεί πρέπει να ληφθεί υπόψιν η κατανομή του ανέμου σε ένα χρονικό διάστημα. Η τεχνικά εκμεταλλεύσιμη ισχύς ενός δεδομένου ρεύματος αέρα είναι μικρότερη από τη διαθέσιμη. Ο συντελεστής ισχύος (Cp) είναι ο λόγος της διαθέσιμης ισχύος προς την τεχνικά εκμεταλλεύσιμη και αποτελεί χαρακτηριστική μεταβλητή της ανεμογεννήτριας. Ο συντελεστής ισχύος δεν μπορεί να ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο, το οποίο ονομάζεται όριο του Betz (Betzlimit) και έχει τιμή Cp=0,5926. Ο αναλυτικός τρόπος υπολογισμού παρουσιάζεται παρακάτω στη θεωρία του δίσκου ενέργειας. [6]

Σύμφωνα με τη θεωρία του δίσκου ενέργειας ο μηχανισμός δέσμευσης της κινητικής

ενέργειας του ανέμου από το δρομέα του αεροκινητήρα θεωρείται ιδανικός, δηλαδή χωρίς απώλειες, (σύμφωνα με τις παραδοχές που θα αναφερθούν στη συνέχεια). Ο δρομέαςεξετάζεται σαν ένα «μαύροκουτί» δια μέσου του οποίουπερνάει ο αέρας που υφίσταται μεταβολή της ενέργειας του, μεταβολή που ουσιαστικά εκφράζεται με την πτώση της στατικής του πίεσης. Επιπλέον ο δρομέας θεωρείται σαν ένας δίσκος που ενεργεί πάνω στο ρευστό, εξ ου και η ονομασία του «δίσκος ενέργειας». [7]



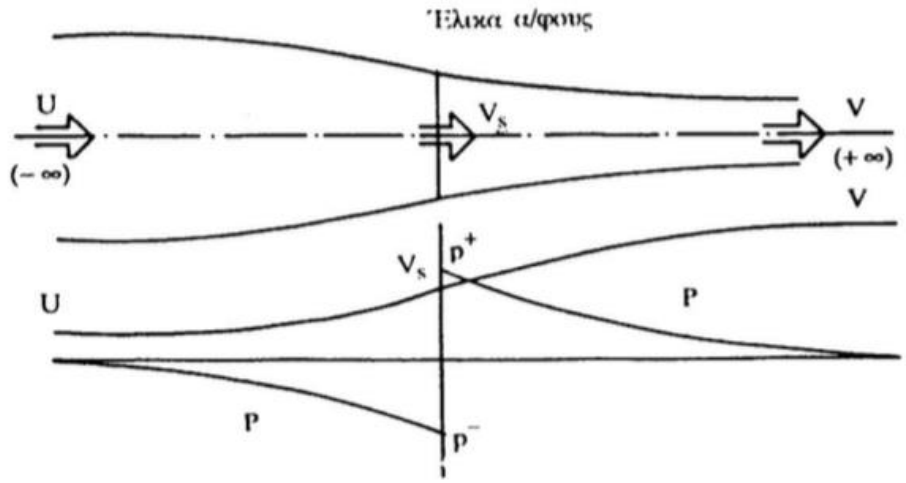
Σχήμα 4 : Ροϊκός σωλήνας δρομέα αεροκινητήρα.[7]

Το Σχήμα 4 δείχνει το ροϊκό σωλήνα αεροκινητήρα που ορίζεται από τη διάμετρο του δρομέα. Ο αέρας πολύ μακριά (στο άπειρο) πριν από το δίσκο έχει στατική πίεση p και πλησιάζει με ταχύτητα U. Ο δίσκος αφαιρεί ενέργεια από τον αέρα και συνεπώς πολύ μακριά μετά από το δίσκο όπου η πίεση του αέρα θα έχει αποκατασταθεί στην πίεση του περιβάλλοντος p, η ταχύτητα του ανέμουV θα είναι μικρότερη από την U. Για λόγους διατήρησης της μάζας μέσα στο ροϊκό σωλήνα, θα πρέπει η διατομή άρα και η διάμετρος του ροϊκού σωλήνα να μεγαλώνει πίσω από το δρομέα, δηλαδή να υπάρχειδιαστολή του ρεύματος του αέρα (όμορου) του αεροκινητήρα, όπως ακριβώς διαγραμματικά παριστάνεται στο Σχήμα 6. [7]

Το ρευστό μετά το δίσκο έχει μικρότερη ενέργεια από αυτήν πριν από το δίσκο και επειδή η αξονική ταχύτητα του ρευστού πάνω στο δίσκο και οριακά λίγο πριν και λίγο μετά από το δίσκο παραμένει η ίδια για λόγους διατήρησης της μάζας (η διαφορά κινητικής ενέργειας του ανέμου πριν και μετά το δίσκο δεσμεύτηκε από τον ιδανικό δρομέα του αεροκινητήρα) τότε η στατική πίεση του ρευστού μετά από το δίσκο θα είναι μικρότερη από τη στατική πίεση του ρευστού πριν από το δίσκο. Συνεπώς ο δίσκος αποτελεί μια επιφάνεια ασυνέχειας πίεσης, αλλά συνέχειας όμως της αξονικής ταχύτητας και ασυνέχειας της περιφερειακής ταχύτητας όπως θα φανεί παρακάτω. Τυπική μεταβολή των μεγεθών της αξονικήςταχύτητας και πίεσης του ανέμου

κατά μήκος του άξονα του ροϊκού σωλήνα, παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.[7]

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η μορφή του ροϊκού σωλήνα καθώς και η αξονική διανομή πίεσης και ταχύτητας για την περίπτωση έλικας αεροσκάφους ή πλοίου. Εδώ παρατηρείται συστολή του όμορου και ασυνέχεια της πίεσης του ρευστού καθώς αυτό διέρχεται από το δίσκο, βεβαίως με την αύξηση της πίεσης του. [7]



Σχήμα 5: Ροϊκός σωλήνας έλικας αεροσκάφους.[7]

Για τη μελέτη του αεροδυναμικούπεδίουγύρωαπό το δίσκο θα εφαρμοστούν οι γνωστοίνομοί της Μηχανικής των Ρευστών και πιο συγκεκριμένα[7]:

- Η εξίσωση διατήρησης της μάζας
- Η εξίσωση διατήρησης της ορμής
- Ενεργειακός ισολογισμός
- Η εξίσωση της ροπής της ορμής

Σε πρώτη προσέγγιση επίλυσης του προβλήματος γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές[7]:

1. Η εναλλαγή ενέργειας μεταξύ ρευστού και δίσκου γίνεται χωρίς απώλειες.
2. Ομοιόμορφη κατανομή της ταχύτητας στο δίσκο
3. Η φόρτιση (διαφορά πίεσης πριν και μετά) πάνω σε ολόκληρο το δίσκοείναισταθερή.
4. Ο δίσκος δεν περιστρέφει τη φλέβα της ροής. Η παραδοχή αυτή πρακτικά μπορεί να επιτευχθεί με την ύπαρξη δύο αντίθετα στρεφόμενων δρομέων ενώ οι παραδοχές 2 & 3 απαιτούν άπειρο αριθμό και πτερύγια κατάλληλης σχεδίασης.

Στη συνέχεια ορίζονται τα μεγέθη p και U ως η στατική πίεση και η ταχύτητα του ανέμου στο

άπειρο ανάντη του δίσκου, p^- και p^+, η στατική πίεση του ρευστού πριν και μετά το δίσκο, πάνω στο δίσκο, Vs η ταχύτητα του ρευστού δια μέσου του δίσκου και τέλος p και V η στατική πίεση (πλήρης ανάκτηση πίεσης) και η ταχύτητα του ρευστού στο άπειρο, κατάντη του δίσκου ενέργειας, όπως αυτά φαίνονται στο Σχήμα 6. [7]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χρειάζονται ειδικές μηχανές (ανεμογεννήτριες), οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική με δύο συστήματα μετατροπής. Το πρώτο σύστημα αποτελείται από τον αεροκινητήρα, όπου πραγματοποιείται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε μηχανική. Το δεύτερο σύστημα αποτελείται από την ηλεκτρογεννήτρια, όπου μετατρέπει τη μηχανική κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Αυτά τα δύο συστήματα συνδέονται μεταξύ τους με το σύστημα μετάδοσης κίνησης.[8]

Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Με βάση τη θέση του άξονα περιστροφής[8]
  - **Κατακόρυφου άξονα.** Σε αυτού του είδους τις ανεμογεννήτριες ο άξονας είναι κάθετος ως προς την επιφάνεια του εδάφους και κατακόρυφος ως προς τη ροή του ανέμου. Για να ξεκινήσει να λειτουργεί η ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα χρειάζεται ταχύτητα 1,5 m/s. Χρησιμοποιείται εξωτερικό στροφείο τριφασικής γεννήτριας και λειτουργεί σε χαμηλό επίπεδο θορύβου. Αυτού του είδους η ανεμογεννήτρια έχει εφαρμογή σε υβριδικά συστήματα μικρής ισχύος με φωτοβολταϊκούς συλλέκτες. Για ισχύ μεγαλύτερη ή ίση από 1Kw μπορεί να συνδεθεί σε δίκτυο κατάλληλου μετατροπέα. Η αποτελεσματικότητα της ανεμογεννήτριας εξαρτάται από τη ταχύτητα εκκίνησης, τη ταχύτητα ανέμου, τη σχετική ταχύτητα ανέμου και από την απόδοση της γεννήτριας. Έχει εφαρμογή σε σχολεία, σε σπίτια, σε φωτισμό δρόμων κ.α.

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα[8]:

Πλεονεκτήματα

- Είναι απλά σε κατασκευή και έχουν μικρό κόστος
- Παράγουν χαμηλό θόρυβο κατά τη λειτουργία τους
- Λόγω του μικρού μεγέθους τους μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν πάνω σε ταράτσες ή γενικά μέσα στις πόλεις
- Η συντήρηση τους είναι εύκολη
- Λόγω της μορφής των πτερυγίων εκμεταλλεύονται τον άνεμο από κάθε κατεύθυνση

Μειονεκτήματα

- Είναι ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους και ισχύος και δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν ανέμους με υψηλές ταχύτητες
- Έχουν χαμηλή ταχύτητα περιστροφής και χαμηλή απόδοση
- Η συντήρηση σε κάποια μηχανικά μέρη όπως έδρανα κύλισης παρουσιάζει δυσκολίες

Σχήμα 6: Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα

- **Οριζοντίου άξονα.** Σε αυτού του είδους τις ανεμογεννήτριες ο άξονας περιστροφής είναι οριζόντιος ως προς το έδαφος και παράλληλος ως προς τη ροή του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες έχουν περίπου 2 με 3 πτερύγια με κύριο χαρακτηριστικό τους γνώρισμα το αεροδυναμικό τους σχήμα. Η απόδοση τους εξαρτάται από το μέγεθος τους και από τη ταχύτητα του ανέμου. Οι συγκεκριμένου τύπου ανεμογεννήτριες είναι οι πιο διαδεδομένες και καλύπτουν περίπου το 95% των συστημάτων αιολικής ενέργειας.[8]

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους αντίστοιχα είναι τα εξής[8]:

Πλεονεκτήματα

Είναι εύκολη η συναρμολόγηση τους

- Εκμεταλλεύονται ανέμους με μεγάλες ταχύτητες
- Έχουν υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή
- Έχουν μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα

Μειονεκτήματα

- Έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής και είναι δύσκολη η μεταφορά τους
- Παράγουν πολύ θόρυβο, οπότε δεν ενδείκνυται η εγκατάσταση τους κοντά σε πόλεις
- Απαιτούν ειδικό μηχανισμό περιστροφής των πτερυγίων για να έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης του ανέμου από όλες τις κατευθύνσεις

Σχήμα 7: Ανεμογεννήτριες Οριζοντίου Άξονα

- Με βάση τη περιστροφική ταχύτητα[8]

- **Ανεμογεννήτριες με σταθερή ταχύτητα.** Αυτές οι ανεμογεννήτριες έχον απευθείας σύνδεση στο δίκτυο μέσω ενός μετασχηματιστή προσαρμογής της τάσης εξόδου της γεννήτριας στη τάση του δικτύου.

Η ταχύτητα περιστροφής μιας σύγχρονης ηλεκτρογεννήτριας είναι[8]:

$$n_s = \frac{f * 60}{p}$$

όπου :

n_s = σύγχρονη ταχύτητα περιστορφής σε στροφές/λεπτό

f = συχνότητα του παραγόμενου ρεύματος

p = αριθμός ζευγών των πόλων της γεννήτριας

Για επαγωγική μηχανή έχουμε ταχύτητα περιστροφής:

$$n = n_s - (1 - s)$$

όπου :

s = διολίσθηση

Η ταχύτητα περιστροφής του ανεμοκινητήρα (δρομέα) στις ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας, μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων προσαρμόζεται στη ταχύτητα περιστροφής του άξονα υψηλής ταχύτητας.

- **Ανεμογεννήτριες με μεταβλητές ταχύτητες.** οι ανεμογεννήτριες αυτής της κατηγορίας προσαρμόζουν τη ταχύτητα περιστροφής τους στη ταχύτητα του ανέμου και συνδέονται με το δίκτυο μέσω ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος. Σε αυτές τις ανεμογεννήτριες παρατηρείται μεγαλύτερη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού αλλά έχουν και το μειονέκτημα της πολυπλοκότητας του συστήματος, του μεγαλύτερου αρχικού κόστους εγκατάστασης, καθώς και του προβλήματος δικτύου.[8]

- Με βάση τη μέθοδο ελέγχου της αεροδυναμικής ισχύος

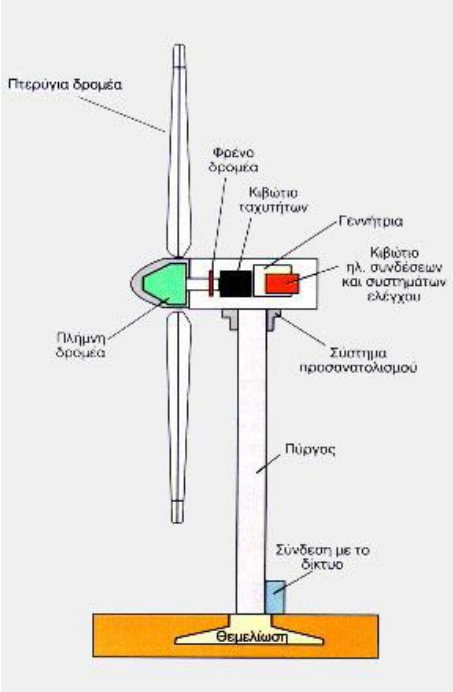
  - **Με έλεγχο της γωνίας βήματος των πτερυγίων (pitchcontrol).** Στον έλεγχο της γωνίας βήματος των πτερυγίων έχουμε μέτρηση της ισχύος στην έξοδο της ανεμογεννήτριας και εφόσον ξεπεραστεί η ονομαστική τιμή ταχύτητας αλλάζει κατάλληλα η κλίση των πτερυγίων. Όταν η ταχύτητα του ανέμου επανέλθει κάτω από την ονομαστική τιμήη κλίση

των πτερυγίων επανέρχεται στη κατάλληλη τιμή διατηρώντας τη μέγιστη ισχύ εξόδου της ανεμογεννήτριας.[8]

- **Με έλεγχο απώλειας στήριξης.** Αυτός ο έλεγχος στηρίζεται στον ειδικό σχεδιασμό και τη κατασκευή των πτερυγίων, ώστε η ανεμογεννήτρια να μην υπερβαίνει την ονομαστική ισχύ.[8]

Βασικά μέρη ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

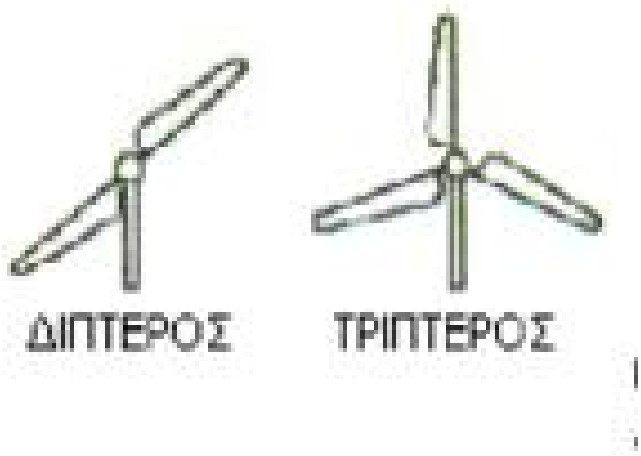
Τα κύρια μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα είναι ο ρότορας με τη πλήμνη και τα πτερύγια, το σύστημα μετάδοσης κίνησης, η ηλεκτρική γεννήτρια, το σύστημα πέδησης, το σύστημα προσανατολισμού, ο πύργος στήριξης, ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός πίνακας και η θεμελίωση. [8]



Εικόνα 7 Βασικά μέρη ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

Ρότορας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

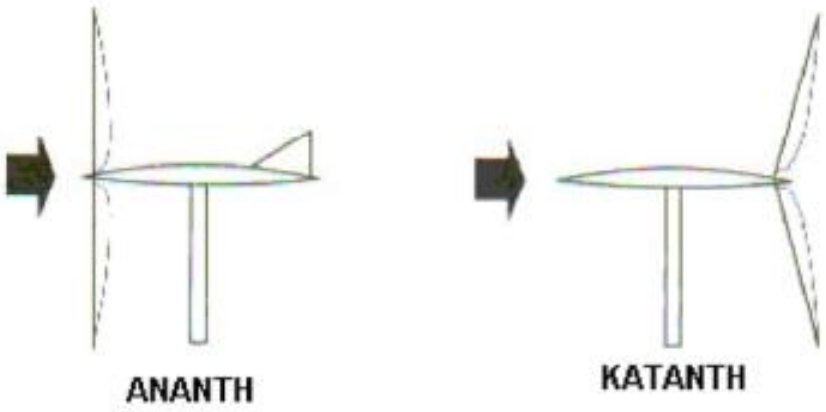
Ο δρομέας αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια κατασκευασμένα συνήθως από ενισχυμένο πολυεστέρα. Αυτά προσδένονται πάνω στη πλήμνη σταθερά ή με δυνατότητα περιστροφής γύρω από το διαμήκη άξονα της μεταβάλλοντας το βήμα. Οι τρίπτερες ανεμογεννήτριες κατασκευάζονται και με δρομείς μικρών διαστάσεων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα εκμετάλλευσης και ασθενούς δυναμικού. Οι δίπτερες ανεμογεννήτριες έχουν μικρότερο κόστος κατασκευής και συντήρησης σε σχέση με τις τρίπτερες αντίστοιχου μεγέθους και κατασκευάζονται με ρότορα από 10 μέτρα και πάνω. [8]



Εικόνα 8: Ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

Για να γίνει η επιλογή του πλήθους των πτερυγίων λαμβάνεται υπόψιν η αεροδυναμική τους φόρτιση, ο βαθμός απόδοσης τους, το κόστος κατασκευής της ανεμογεννήτριας, τα θέματα αντοχής και συντονισμού λόγω ταλαντώσεων καθώς και τα θέματα μεταβολής της ροπής της μηχανής λόγω μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος και της ζυγοστάθμισης των πτερυγίων.[8]

Η πτερωτή τοποθετείται είτε στο εμπρόσθιο τμήμα της ανεμογεννήτριας του ανέμου, είτε στο πίσω τμήμα της ανεμογεννήτριας από τη πλευρά του ανέμου με τα πτερύγια να καλύπτουν ένα ποσοστό της περιφέρειας που διαγράφουν. Προτιμάται η λειτουργία της ανεμογεννήτριας στο εμπρόσθιο τμήμα και όχι στο πίσω τμήμα λόγω διαφοράς θορύβου.[8]



Εικόνα 9: *Τ*οποθέτηση πτερωτής ανάντη και κατάντη της ανεμογεννήτριας.

Για τη καλύτερη απόδοση και τη προστασία της πτερωτής της ανεμογεννήτριας χρησιμοποιούνται πτερωτές μεταβλητού τμήματος. Με τη περιστροφή του πτερυγίου γύρω από το διαμήκη άξονα του αλλάζοντας τη γωνία προσβολής του από τον αέρα, γίνεται η μεταβολή βήματος της πτερωτής. Έτσι επιτυγχάνεται η αύξηση της αεροδυναμικής απόδοσης των πτερυγίων, ο περιορισμός των δυνάμεων καταπόνησης των πτερυγίων, ο έλεγχος της ισχύος παραγωγής και η διατήρηση της ταχύτητας περιστροφής σε σταθερά επίπεδα.[8]

Τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας

Τα πτερύγια κατασκευάζονται συνήθως από πολυεστερική ρητίνη ενισχυμένη με υαλόνηματα, χάλυβα ή αλουμίνιο και επικαλύπτονται με ειδικό υλικό για προστασία από υπεριώδη ακτινοβολία. Η σύνθεση και η δομή των πτερυγίων του δρομέα αποτελούν το βασικότερο παράγοντα για την απόδοση του συστήματος, τον περιορισμό του θορύβου και την ασφαλή λειτουργία. Τα πτερύγια μπορεί να έχουν σταθερό ή μεταβλητό βήμα ή μπορεί να περιστρέφεται το ακροπτέρυγο τους. Στα πτερύγια με σταθερό βήμα έχουμε αεροδυναμική πέδηση στις υψηλές ταχύτητες. Το μέγεθος των πτερυγίων είναι ανάλογο με την ισχύ της ανεμογεννήτριας. Για παράδειγμα ισχύος 50Watt έχουμε μήκος πτερυγίων περίπου 0,5m και για ανεμογεννήτριες πολύ μεγάλης ισχύος τα πτερύγια μπορεί να φτάσουν μέχρι και πάνω από 50m μήκος. Η ταχύτητα περιστροφής κυμαίνεται από 30-100m/s.

Η στερεότητα είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος σε μία ανεμογεννήτρια, ορίζεται ως το πηλίκο της επιφάνειας των πτερυγίων προς την επιφάνεια που σαρώνει κατά τη περιστροφική του κίνηση ο ρότορας. [8]

$$S = \frac{n * A_{\pi\tau}}{0{,}785 D^2}$$

όπου :

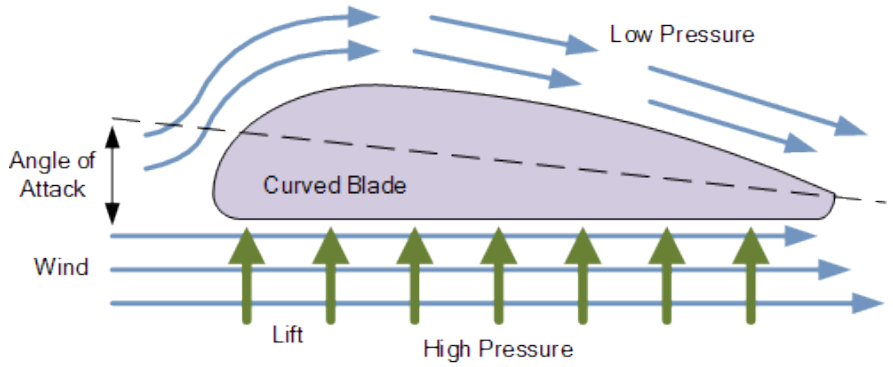
S = η στερεότητα,αδιάστατο μέγεθος μικρότερο της μονάδας

n = αριθμός πτερυγίων

$A_{\pi\tau}$ = η επιφάνεια κάθε πτερυγίου σε m^2

D = η διάμετρος της πτερωτής του δρομέα σε m

Αεροδυναμική πτερυγίου-αεροτομή. Η αεροδυναμική πραγματεύεται την αλληλεπίδραση της κίνησης του αέρα και μελετά τις δυνάμεις που δημιουργούνται. Για την αποδοτική μετατροπή της ενέργειας από κινητική του ανέμου σε περιστροφική του δρομέα, τα πτερύγια των ανεμογεννητριών έχουν τη μορφή αεροτομών. Λόγω της καμπυλότητας των αεροτομών ο αέρας που διέρχεται από την άνω πλευρά πρέπει να διανύσει περισσότερη απόσταση στη μονάδα του χρόνου (δηλαδή έχει μεγαλύτερη ταχύτητα) από ότι ο αέρας που περνά από τη κάτω πλευρά.[6]



Εικόνα 10:Εικονική κατανομή αέρα και πίεσης

Αυτό σύμφωνα με το θεώρημα Bernoulli οδηγεί σε χαμηλότερη πίεση άνω πλευρά της αεροτομής.

$$p + \frac{1}{2}\rho V^2 = const$$

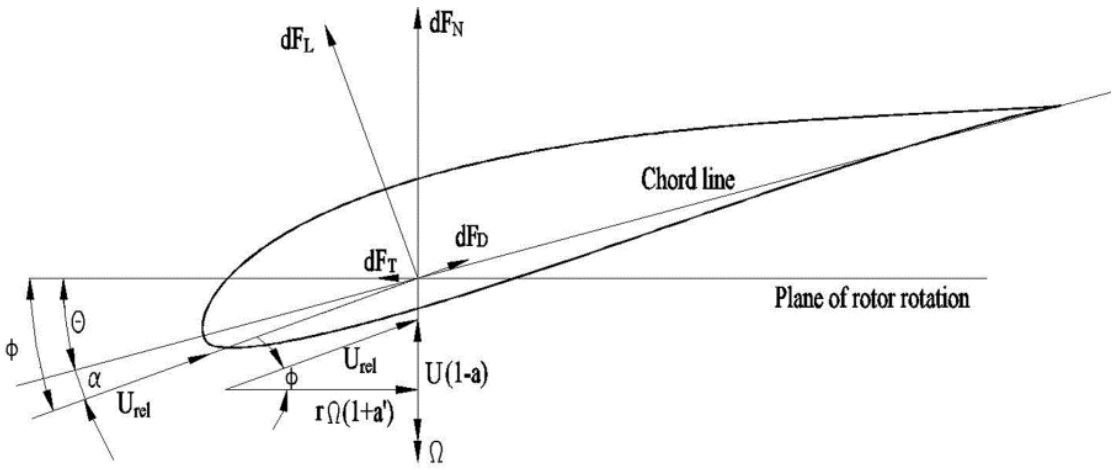
όπου:

p = πίεση

ρ = η πυκνότητα του αέρα

V = η ταχύτητα του αέρα

Η διαφορά πίεσης ανάμεσα στις δύο επιφάνειες της αεροτομής έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση της δύναμης F. Η συνιστώσα της δύναμης που αναπτύσσεται κάθετα στη διεύθυνση της ροής ονομάζεται άνωση (L), ενώ η συνιστώσα παράλληλη της ροής ονομάζεται αντίσταση (D). Η δύναμη της άνωσης είναι αυτή που εκμεταλλεύονται οι ανεμογεννήτριες για να παράξουν έργο και ο στόχος για το σχεδιασμό της είναι η μεγιστοποίηση της. [6]



Εικόνα 11: Εικονική κατανομή δυνάμεων σε ένα πτερύγιο.[6]

- Η δύναμη άνωσης δίνεται από τη σχέση:

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho A_f V^2$$

- Η δύναμη αντίστασης δίνεται από τη σχέση:

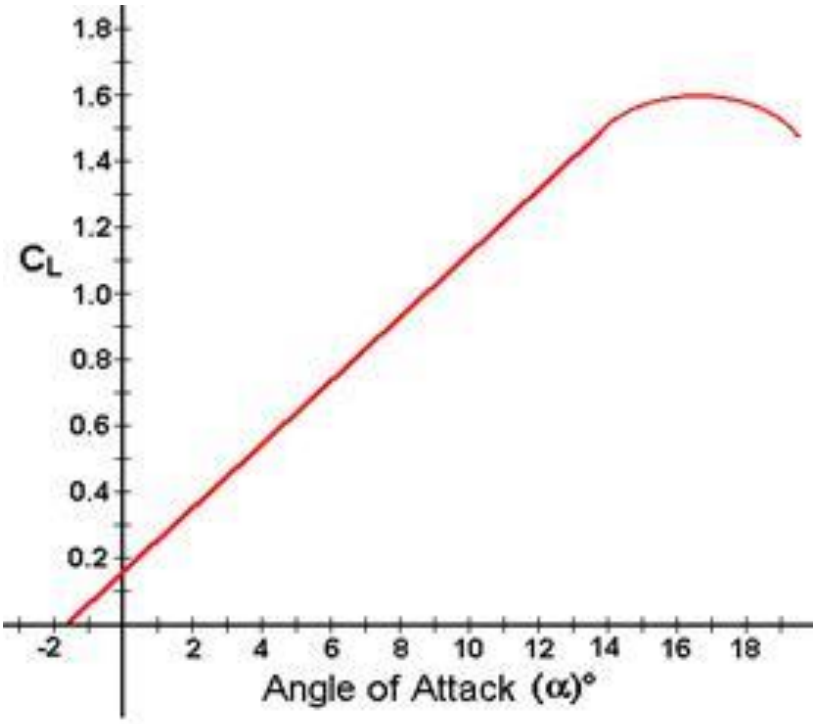
$$D = \frac{1}{2} C_D \rho A_f V^2$$

Όπου ρ η πυκνότητα του αέρα, A_fη επιφάνεια του πτερυγίου, C_Lκαι C_Dοι συντελεστές άνωσης και αντίστασης αντίστοιχα. Η γωνία ανάμεσα στη ροή και στη χορδή τη αεροτομής ονομάζεται γωνία πρόσπτωσης και συμβολίζεται με α. Οι συντελεστές άνωσης και αντίστασης εξαρτώνται από τη γωνία πρόσπτωσης.[6]

Ο συντελεστής άνωσης μεγιστοποιείται σε μία βέλτιστη γωνία, ενώ μειώνεται απότομα μόλις αυτή ξεπεραστεί. Επειδή η ροή εισέρχεται σε έντονα τυρβώδη περιοχή σε μεγάλες γωνίες, έχουμε ως αποτέλεσμα την αποκόλληση από το οριακό στρώμα.[6]

Η συμπεριφορά των συντελεστών άνωσης και αντίστασης μιας αεροτομής καθορίζεται από πειράματα σε αεροδυναμικές σήραγγες. Σε μία αεροτομή είναι πολύ σημαντικό να τοποθετηθεί το πτερύγιο σε γωνία τέτοια, ώστε ο λόγος του συντελεστή αντίστασης προς το συντελεστή άνωσης να είναι ο ελάχιστος.[6]

Στις ανεμογεννήτριες, το πτερύγιο περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα με αποτέλεσμα η περιφερειακή ταχύτητα να είναι διαφορετική σε κάθε σημείο κατά μήκος του πτερυγίου. Έτσι η συνισταμένη ταχύτητα θα είναι διαφορετική κατά μήκος του πτερυγίου και κατασκευαστικά αυτό ας οδηγεί σε πτερύγια με συστροφή, ώστε η βέλτιστη γωνία πρόσπτωσης να διατηρείται σε όλο το μήκος τους.[6]



Σχήμα 8: Ο συντελεστής άντωσης σε σχέση με την γωνία πρόσπτωσης .

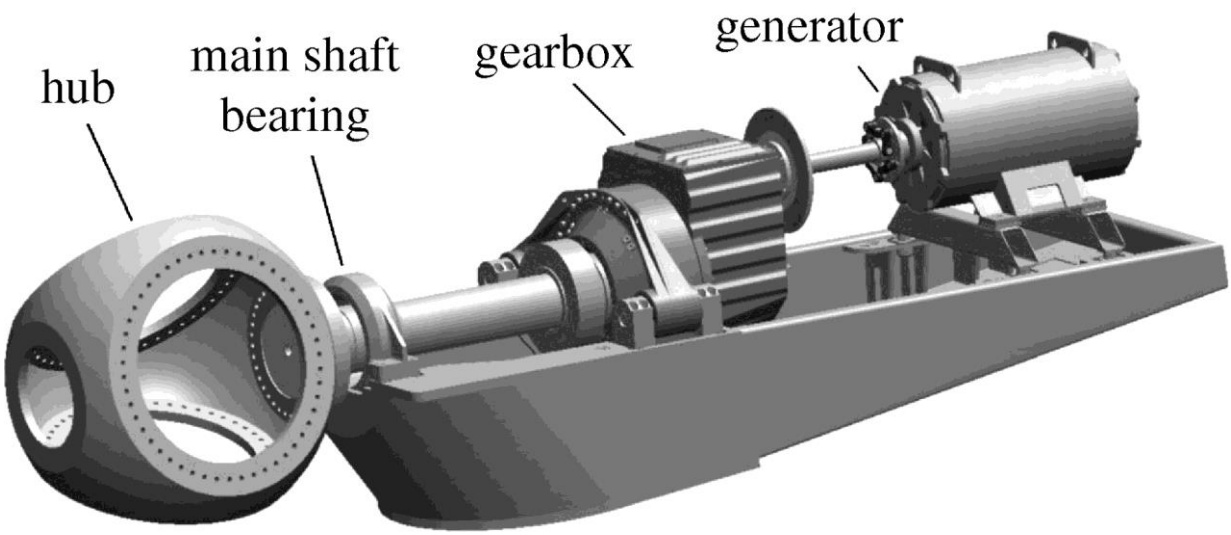
Εάν αναλυθούν οι δυνάμεις L και D στις συνιστώσες τους ως προς το επίπεδο περιστροφής και τη κάθετη του, τότε προκύπτουν δύο σύνθετες δυνάμεις. Αυτές είναι η περιφερειακή δύναμη F_{tan}και η αξονική $F_{\alpha\chi}$και είναι ίσες με[6]:

$$F_{tan} = Lsin\varphi - Dcos\varphi$$

$$F_{\alpha\chi} = Dsin\varphi + Lcos\varphi$$

Πλήμνη πτερυγίων ρότορα-ανεμογεννήτριας

Η πλήμνη είναι κατασκευασμένη συνήθως από χυτοσίδηρο και προσαρμόζεται απευθείας στον άξονα του δρομέα. Φέρει ειδικές υποδοχές όπου προσαρμόζονται τα μέτωπα επαφής των πτερυγίων. Για την ασφαλέστερη και καλύτερη προσαρμογή τα μέτωπα επαφής των πτερυγίων κατασκευάζονται με κοιλώματα και οπές για κοχλίες. Στις ανεμογεννήτριες μεγάλων διαστάσεων υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης στο εσωτερικό της πλήμνης, για την εξέταση και τη συντήρηση του συστήματος διασύνδεσης και στήριξης των πτερυγίων.[8]

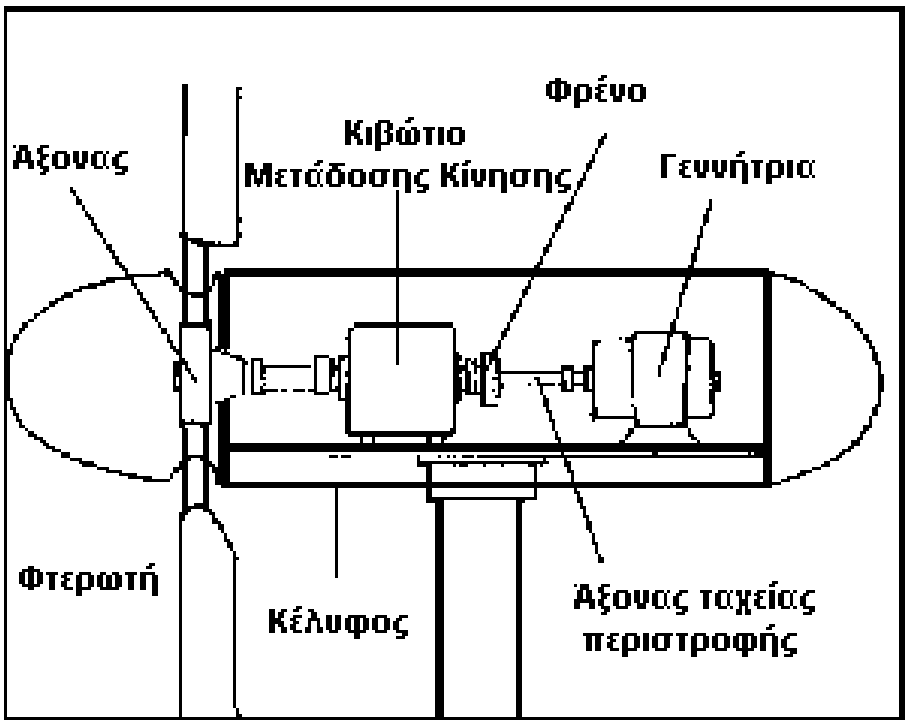


Εικόνα 12: Κύρια μέρη ανεμογεννήτριας

Σύστημα μετάδοσης-κίνησης

Το σύστημα μετάδοσης-κίνησης αποτελείται από το κύριο άξονα περιστροφής, από τα έδρανα στήριξης και από το κιβώτιο προσαρμογής στροφών.[8]

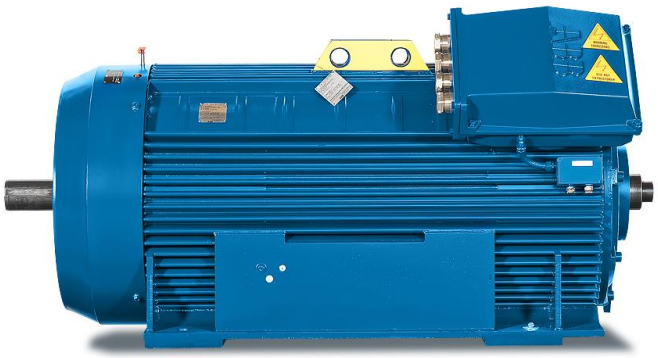
- Ο άξονας χαμηλής ταχύτητας περιστρέφεται από το ρότορα της ανεμογεννήτριας με ταχύτητες περίπου 30-70 στροφές το λεπτό
- Το κιβώτιο ταχυτήτων συνδέει τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας με μετατρέποντας τη ταχύτητα περιστροφής στην ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας της επαγωγικής μηχανής. Αυτή εξαρτάται από τον αριθμό ζευγών των πόλων που έχει και πρέπει να παραμείνει σταθερή κατά τη λειτουργία της με μεταβαλλόμενο φορτίο. Αυτή η προσαρμογή γίνεται στις ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας
- Ο άξονας υψηλής ταχύτητας οδηγεί τη γεννήτρια



Εικόνα 13:Σκαρίφημα συστήματος μετάδοσης κίνησης (ισχύος) ανεμογεννήτριας

Ηλεκτρική γεννήτρια

- Για ανεμογεννήτριες μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούνται επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού. Αυτές περιστρέφονται με ταχύτητα λίγο μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα, έχουν μικρό σχετικά κόστος, είναι απλές στη κατασκευή τους, έχουν όμως το μειονέκτημα ότι χρειάζονται ρεύμα από το δίκτυο για τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου.[8]
- Για τις ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος χρησιμοποιούνται σύγχρονες ανεμογεννήτριες μόνιμου μαγνήτη. Αυτές περιστρέφονται με ταχύτητα ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα που εξαρτάται από τον αριθμό ζευγών των μαγνητικών πόλων. Είναι πιο πολύπλοκες από τις επαγωγικές, έχουν μεγαλύτερο κόστος όμως έχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα να διεγείρονται χωρίς να χρησιμοποιούν ρεύμα από το δίκτυο.[8]



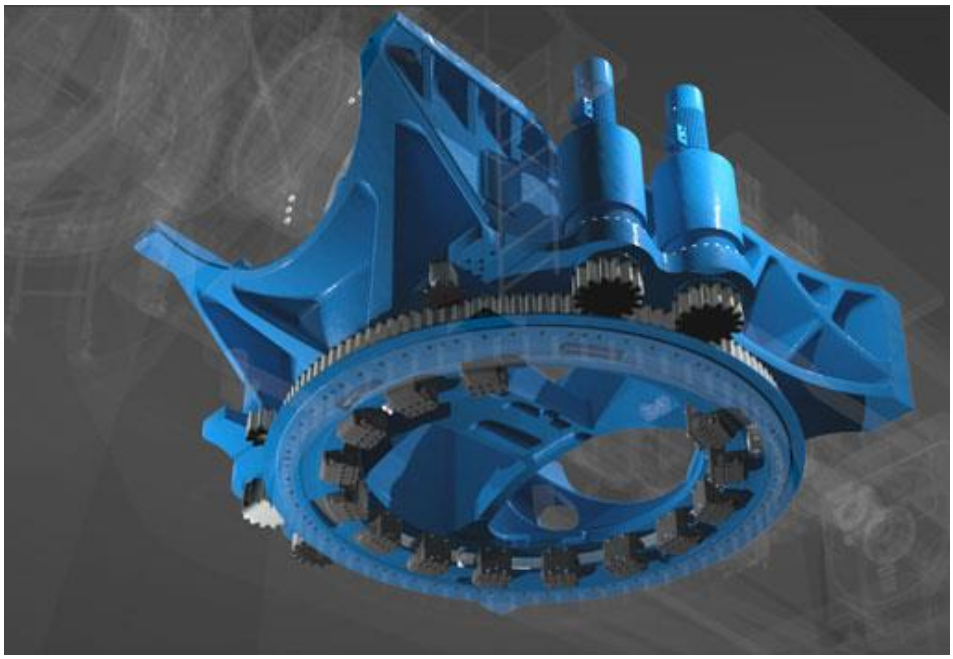
Εικόνα 14*:* Ηλεκτρική Γεννήτρια

Σύστημα πέδησης

Το σύστημα πέδησης περιλαμβάνει συνήθως αεροπέδη και μηχανικά φρένα με τα οποία έχουμε μερικό έλεγχο του ανοίγματος του πτερυγίου και ένα μηχανικό φρένο με δύο επίπεδα οπών ρυθμιζόμενα από το σύστημα ελέγχου. Περιλαμβάνει επίσης ελαστικού συνδέσμου για την απορρόφηση των ταλαντώσεων. Τοποθετείται στο κύριο άξονα για τη προστασία της ανεμογεννήτριας από υψηλές ταχύτητες, για εργασίες συντήρησης ή και για έλεγχο.[8]

Σύστημα προσανατολισμού ή εκτροπής

Βρίσκεται στη κορυφή του πύργου στήριξης με την άτρακτο να εδράζεται πάνω σε αυτό. Όλο αυτό το σύστημα εφαρμόζει με ειδικό κυλινδρικό κολάρο στη κορυφή του πύργου στήριξης. Χρησιμοποιείται για τον αυτόματο προσανατολισμού της ατράκτου.[8]



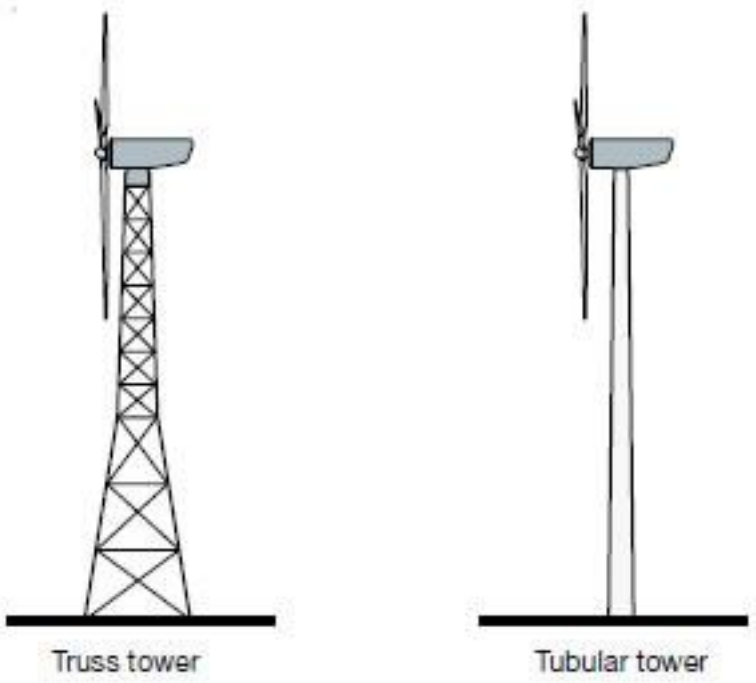
Εικόνα 15*:* Σύστημα προσανατολισμού ή εκτροπής

Πύργος στήριξης

Ο πύργος στήριξης της ανεμογεννήτριας μπορεί να είναι τύπου δικτυώματος ή σωληνωτός. Η εφαρμογή του τύπου έχει σχέση με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης και τα οικονομικά κριτήρια.[8]

- Ο πύργος τύπου δικτυώματος είναι οικονομικότερος είναι πιο ασφαλής ως προς τα άτομα που τον παρακολουθούν και τον συντηρούν, κατασκευάζεται από γαλβανισμένο χάλυβα για προστασία από τη διάβρωση και έχει συνήθως τριγωνική διάταξη στήριξης.
- Ο σωληνωτός πύργος είναι πιο ακριβός από το πύργο τύπου δικτυώματος. Κατασκευάζεται συνήθως σε περισσότερα του ενός τμήματα χαλυβδόφυλλα. Η εξωτερική επιφάνεια του πύργου δέχεται επικάλυψη από κατάλληλο υλικό για τη προστασία από τη διάβρωση.

Απαιτείται ειδική και ισχυρή θεμελίωση για να αντέχει στα φορτία και τις καταπονήσεις ανεμογεννήτριας και πρέπει η σχεδίαση του να είναι τέτοια ώστε η ιδιοσυχνότητες του να μην συμπίπτουν με αυτές που επάγονται από το δρομέα. Ο οπλισμός και το μέγεθος της βάσης στήριξης εξαρτάται από τις διαστάσεις, το βάρος και τις συνθήκεςφόρτισης της ανεμογεννήτριας.[8]



Εικόνα 16: Πύργος στήριξης

Ηλεκτρικός πίνακας ανεμογεννήτριας

Ο ηλεκτρονικός πίνακας της ανεμογεννήτριας τοποθετείται συνήθως στη βάση του πύργου στήριξης. Περιλαμβάνει ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές διατάξεις για τη παρακολούθηση και την ασφαλή λειτουργία της γεννήτριας.[8]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

5.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

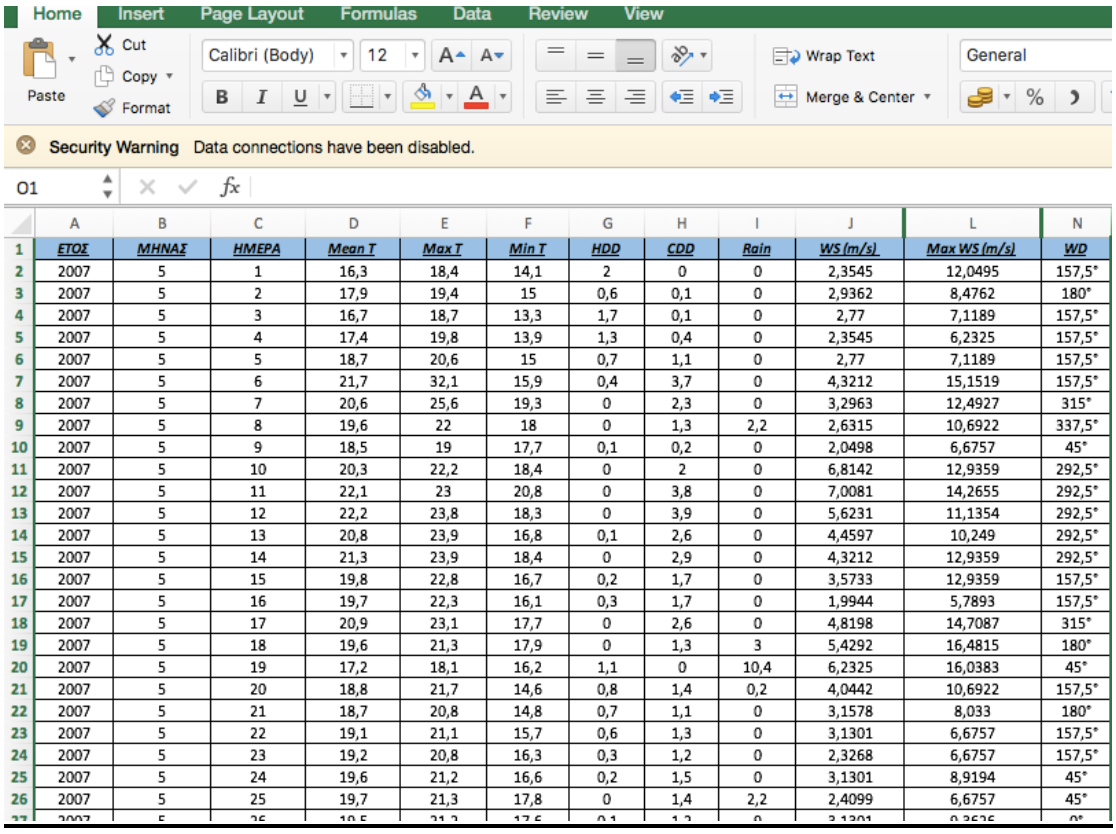
Το πεδίο μελέτης στην παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά στο αιολικό δυναμικό σε περιοχές της Κρήτης. Αρχικά αποφασίστηκε ποιες περιοχές της Κρήτης θα μελετηθούν με βάση το υψόμετρο τους. Επιλέχθηκαν δύο από κάθε νομό και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η ιστοσελίδα www.meteo.gr για τη συλλογή των δεδομένων για την εκάστοτε περιοχή. Μέσα στην ιστοσελίδα αυτή (στην αρχική σελίδα), ψάχνοντας στην αναζήτηση των δεδομένων μπορεί κανείς να συλλέξει στοιχεία για τη μελέτη αιολικού δυναμικού ολόκληρης της χώρας. Επιλέχτηκαν ως προ μελέτη από το νομό Ηρακλείου, το λιμάνι Ηρακλείου (10m) και το Μεταξοχώρι Ηρακλείου (418m). Από το νομό Λασιθίου διαλέξαμε, τη περιοχή της Ιεράπετρας (5m) και τα Φινοκάλια (250m). Από το νομό Χανίων επιλέχθηκαν, τα Χανιά (0m) και το Φαράγγι της Σαμαριάς (349m). Τέλος, από το νομό Ρεθύμνου επιλέχθηκαν, τη Πόλη του Ρεθύμνου (39m) και το Σπήλι (405m). Παρατηρήθηκε ότι τα δεδομένα έχουν διαφορετικό χρόνο έναρξης συλλογής ανά περιοχή, ωστόσο όλα αφορούν μέχρι και τις αρχές του 2017.

Εικόνα 17: Χάρτης επιλεγμένων περιοχών της Κρήτης.

Πίνακας 4 Συντεταγμένες περιοχών της Κρήτης που επιλέχθηκαν και η υψομετρική διαφορά τους από τη θάλασσα.

α/α	Νομός	Περιοχή	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος	Υψόμετρο από θάλασσα (m)
1	Ηράκλειο	Ηράκλειο Λιμάνι	25° 08′ 15.86′′ E	35° 20′ 35.5′′ E	10
2		Μεταξοχώρι Ηρακλείου	35° 07′ 48′′ N	25° 08′ 32′′ E	418
3	Λασίθι	Φινολάκια	35° 18′	25° 42′	250
4		Ιεράπετρα	25° 24′ 00′′ E	35° 00′ 00′′ N	5
5	Ρέθυμνο	Ρέθυμνο	24° 26′ 00′′ E	35° 22′ 00′′ N	39
6		Σπήλι Ρεθύμνου	24° 18′ 00′′ E	35° 06′ 00′′ N	405
7	Χανιά	Χανιά	24° 01′ 04′′ E	35° 30′ 49′′ N	0
8		Σαμαριά-Φαράγγι	24° 07′ 08′′ E	35° 26′ 29′′ N	349

Το πρώτο λοιπόν βήμα ήταν η συλλογή όλου αυτού του όγκου δεδομένων και η αποθήκευση του σε αρχεία της μορφής .txt. Από εκεί με τη κατάλληλη επεξεργασία τα αρχεία αυτά εισήχθησαν σε ένα φύλλο excel. Έγινε μετατροπή των μονάδων της ταχύτητας από km/h σε m/s, μετατράπηκε η διεύθυνση του ανέμου σε μοίρες, αφαιρέθηκαν κάποιες περιττές στήλες δεδομένων, έγινε εισαγωγή των μηνών αριθμητικά από το 1-12 και ο τελικός πίνακας είχε τη παρακάτω μορφή:

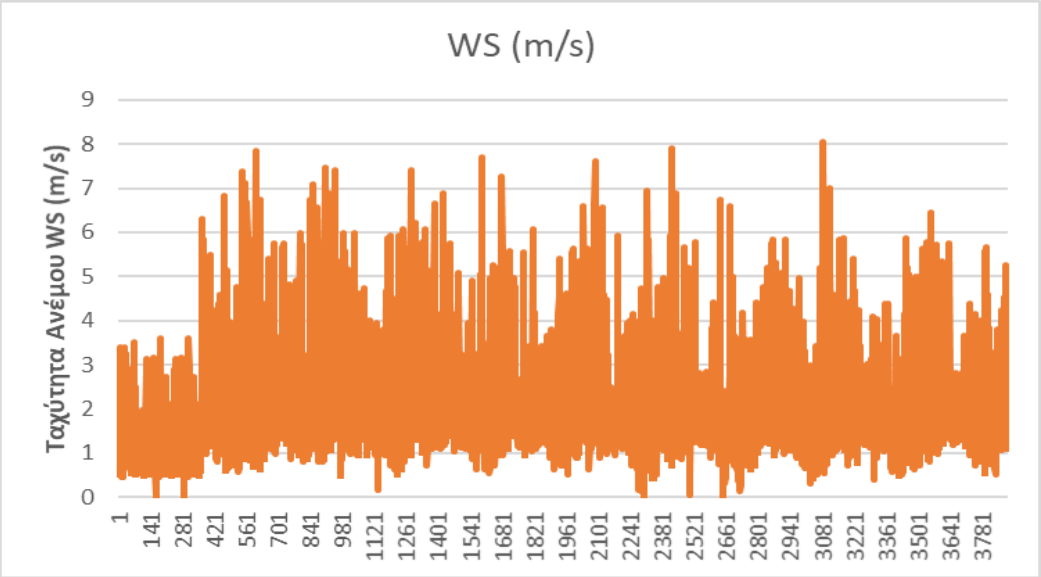


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	N
1	ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	Mean T	Max T	Min T	HDD	CDD	Rain	WS (m/s)	Max WS (m/s)	WD
2	2007	5	1	16,3	18,4	14,1	2	0	0	2,3545	12,0495	157,5°
3	2007	5	2	17,9	19,4	15	0,6	0,1	0	2,9362	8,4762	180°
4	2007	5	3	16,7	18,7	13,3	1,7	0,1	0	2,77	7,1189	157,5°
5	2007	5	4	17,4	19,8	13,9	1,3	0,4	0	2,3545	6,2325	157,5°
6	2007	5	5	18,7	20,6	15	0,7	1,1	0	2,77	7,1189	157,5°
7	2007	5	6	21,7	32,1	15,9	0,4	3,7	0	4,3212	15,1519	157,5°
8	2007	5	7	20,6	25,6	19,3	0	2,3	0	3,2963	12,4927	315°
9	2007	5	8	19,6	22	18	0	1,3	2,2	2,6315	10,6922	337,5°
10	2007	5	9	18,5	19	17,7	0,1	0,2	0	2,0498	6,6757	45°
11	2007	5	10	20,3	22,2	18,4	0	2	0	6,8142	12,9359	292,5°
12	2007	5	11	22,1	23	20,8	0	3,8	0	7,0081	14,2655	292,5°
13	2007	5	12	22,2	23,8	18,3	0	3,9	0	5,6231	11,1354	292,5°
14	2007	5	13	20,8	23,9	16,8	0,1	2,6	0	4,4597	10,249	292,5°
15	2007	5	14	21,3	23,9	18,4	0	2,9	0	4,3212	12,9359	292,5°
16	2007	5	15	19,8	22,8	16,7	0,2	1,7	0	3,5733	12,9359	157,5°
17	2007	5	16	19,7	22,3	16,1	0,3	1,7	0	1,9944	5,7893	157,5°
18	2007	5	17	20,9	23,1	17,7	0	2,6	0	4,8198	14,7087	315°
19	2007	5	18	19,6	21,3	17,9	0	1,3	3	5,4292	16,4815	180°
20	2007	5	19	17,2	18,1	16,2	1,1	0	10,4	6,2325	16,0383	45°
21	2007	5	20	18,8	21,7	14,6	0,8	1,4	0,2	4,0442	10,6922	157,5°
22	2007	5	21	18,7	20,8	14,8	0,7	1,1	0	3,1578	8,033	180°
23	2007	5	22	19,1	21,1	15,7	0,6	1,3	0	3,1301	6,6757	157,5°
24	2007	5	23	19,2	20,8	16,3	0,3	1,2	0	2,3268	6,6757	157,5°
25	2007	5	24	19,6	21,2	16,6	0,2	1,5	0	3,1301	8,9194	45°
26	2007	5	25	19,7	21,3	17,8	0	1,4	2,2	2,4099	6,6757	45°

Στη συνέχεια έγινε στατιστική επεξεργασία των ταχυτήτων με τα διαγράμματα τους για τη μέση τιμή της ταχύτητας για κάθε μέρα μήνα και έτος για κάθε περιοχή. Με τα ακόλουθα αποτελέσματα:

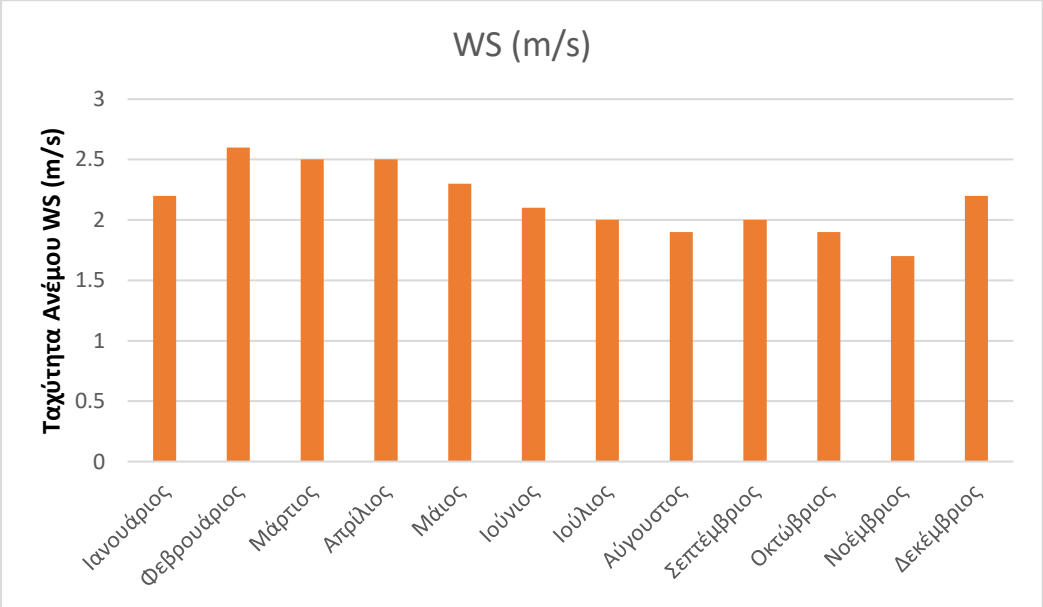
Νομός Χανίων

- Χανιά



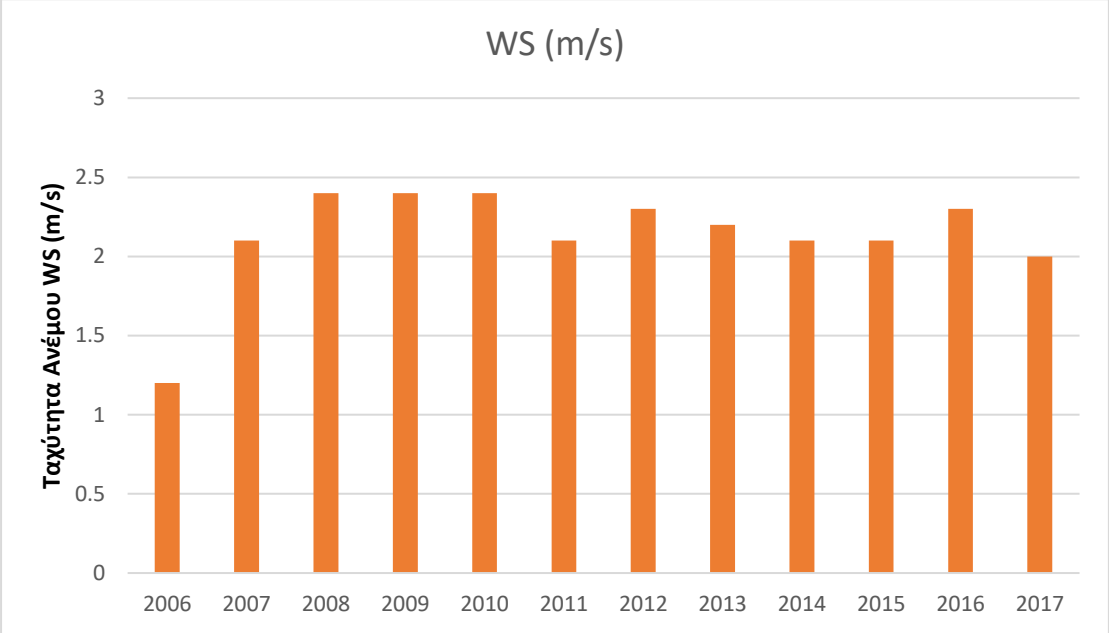
Σχήμα 9: Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή των Χανιών

Παρατηρείται ότι η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κυμαίνεται από 1-8 (m/s).



Σχήμα 10 Μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα στην περιοχή των Χανιών

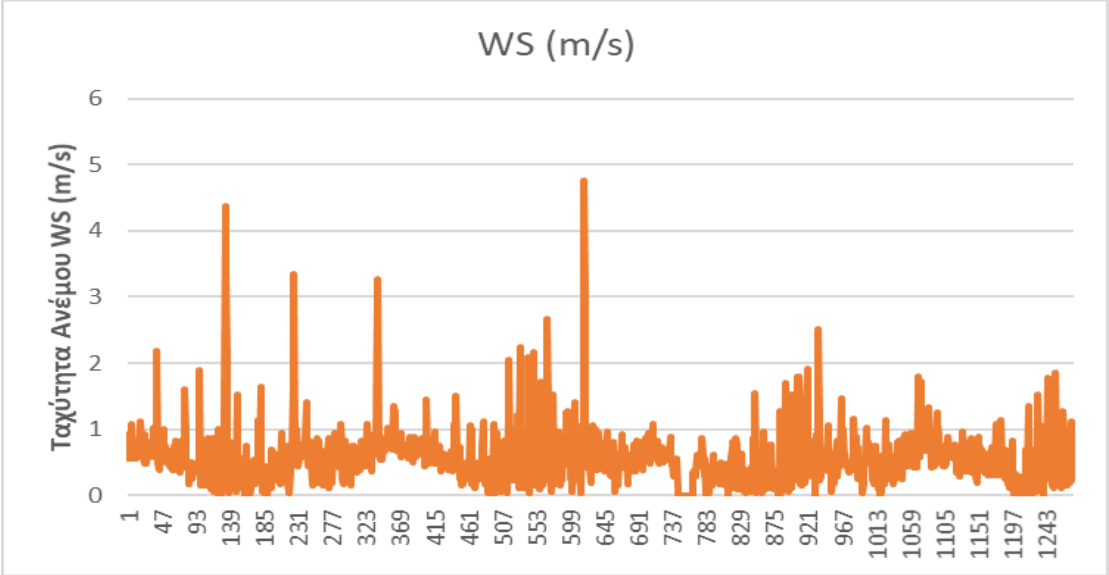
Παρατηρείται από το διάγραμμα ταχύτητας του ανέμου, ότι η ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ 1,7-2,6 (m/s). Κυρίως τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο φαίνεται ότι η ταχύτητα παρουσιάζει τις μεγαλύτερες της τιμές, ενώ κατά το μήνα Νοέμβριο παρατηρείται η μεγαλύτερη πτώση της τιμής της ταχύτητας.



<u>Σχήμα 11</u> Μέση ταχύτητα ανέμου για 2006- 2017 στην περιοχή των Χανιών

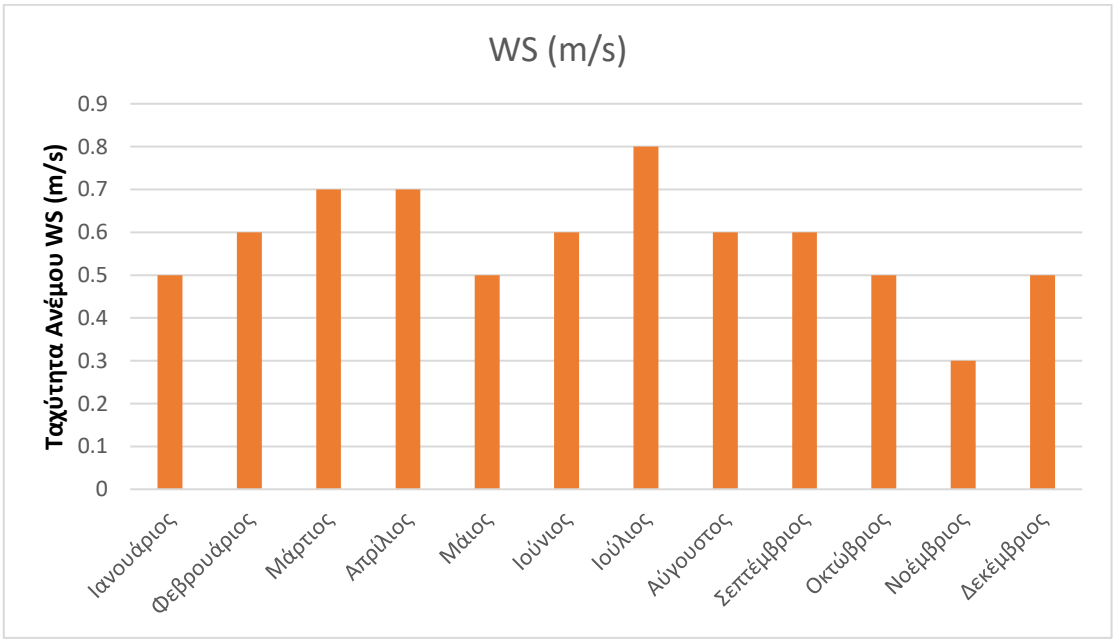
Από το διάγραμμα ταχύτητας του ανέμου προς τα συνολικά έτη μετρήσεων, παρατηρούμε την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου από το 2006 μέχρι το 2010 μία μικρή πτώση το 2011 και στη συνέχει μία αύξηση και σταθεροποίηση της ταχύτητας με μικρές αποκλίσεις της τάξεως του ±0,2 m/s. Γενικά η ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 2,1-2,4 (m/s).

- Σαμαριά Φαράγγι



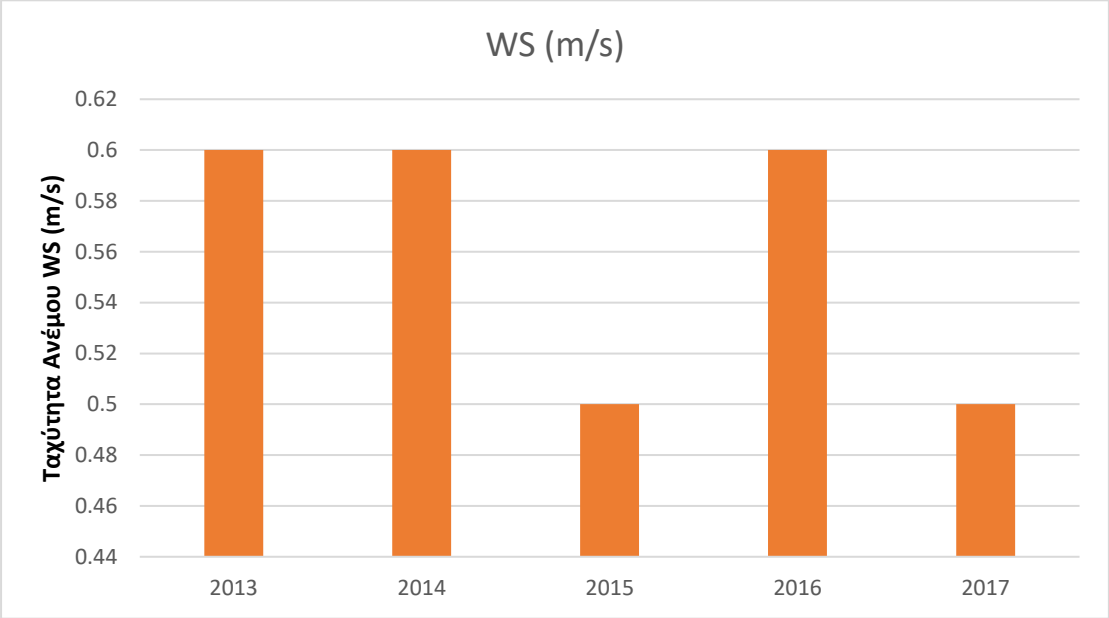
Σχήμα 12 Μέση ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα στην περιοχή Φαράγγι Σαμαριάς

Παρατηρείται ότι η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κυμαίνεται από 0-5 (m/s).



Σχήμα 13 Μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα στην περιοχή Φαράγγι Σαμαριάς

Στο διάγραμμα ταχύτητας του ανέμου παρατηρείται ότι η ταχύτητα είναι πολύ μικρή της τάξεως των 0,8 m/sστη μέγιστη τιμή της και 0,3 m/sστην ελάχιστη τιμή της.

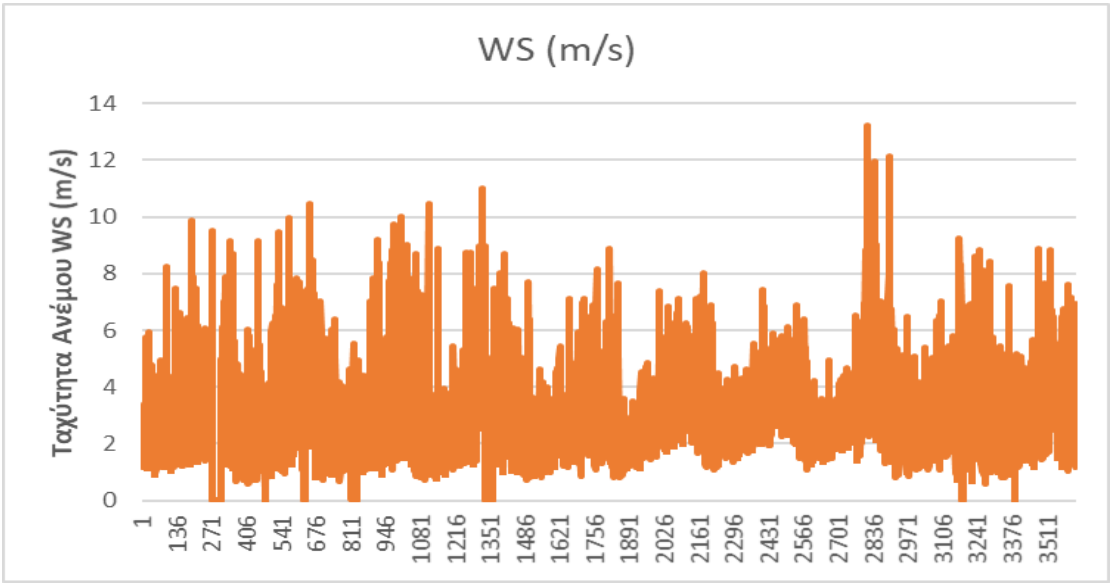


<u>Σχήμα 14</u> Μέση ταχύτητα ανέμου για τα έτη 2013-2017 στην περιοχή Φαράγγι Σαμαριάς

Παρατηρείται από το διάγραμμα ότι η ταχύτητα του ανέμου ανά έτος είναι πολύ μικρή και οι αποκλίσεις μεταξύ τους είναι της τάξεως 0,1 m/s.

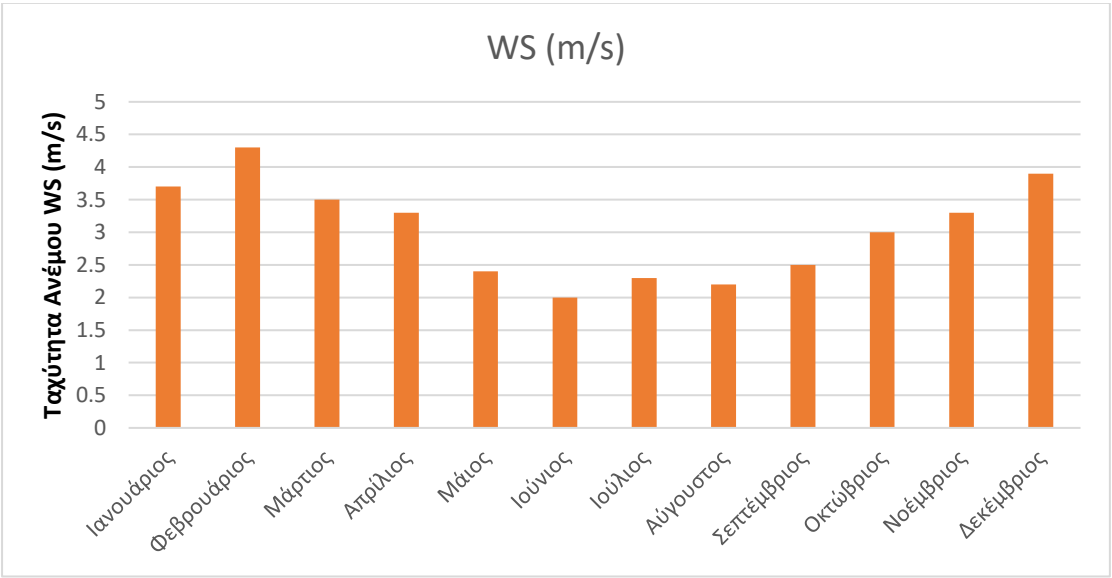
Νομός Ρεθύμνου

- Ρέθυμνο



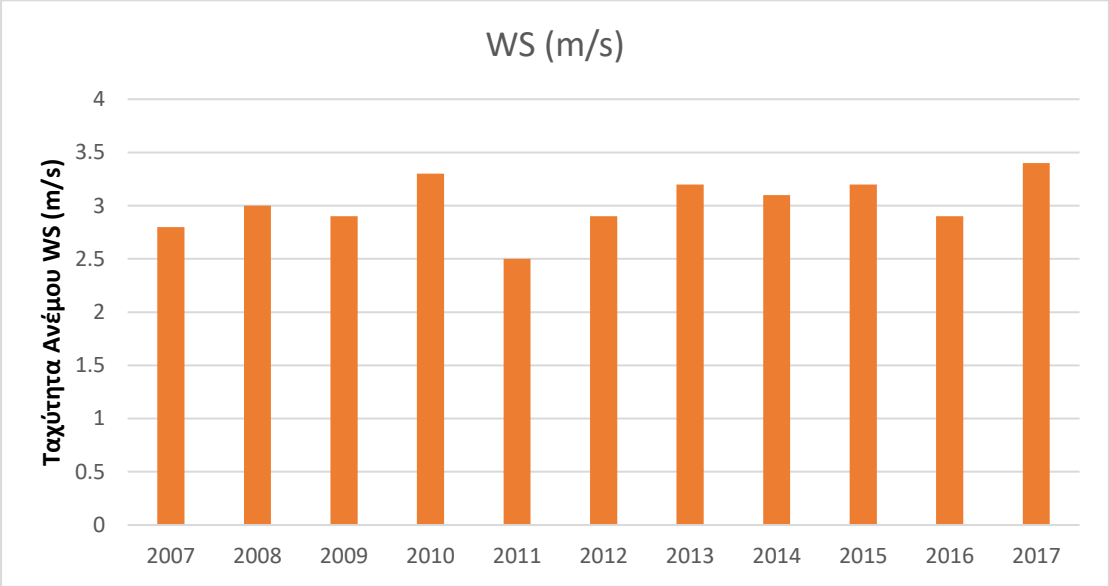
Σχήμα 15 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Ρέθυμνου

Παρατηρείται ότι η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κυμαίνεται από 0-13 (m/s).



Σχήμα 16 Μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα στην περιοχή Ρέθυμνου

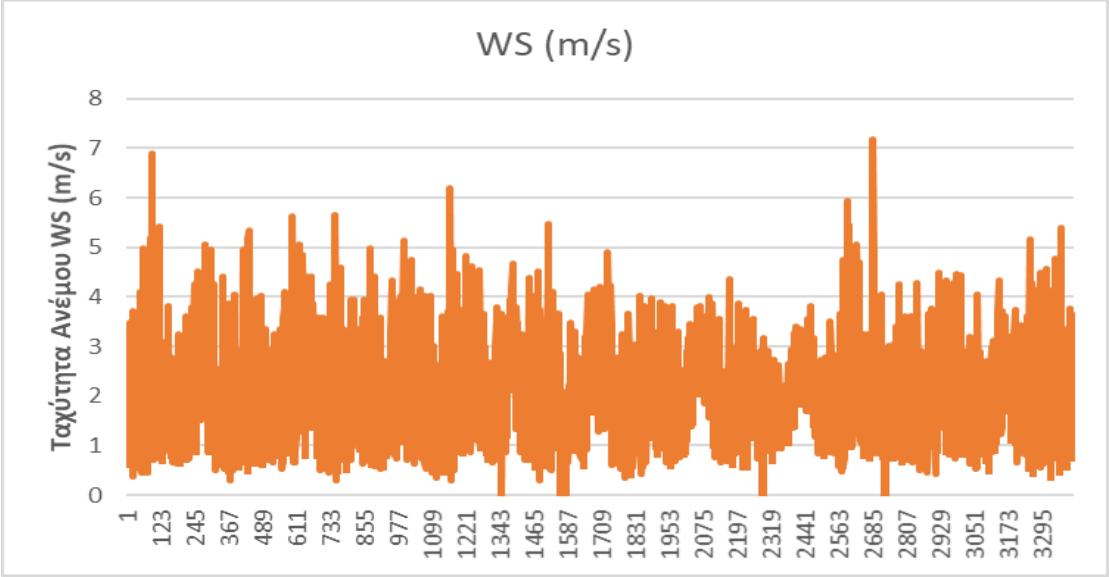
Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου είναι μεταξύ των 2,0 – 4,3 m/s, όπως επίσης μια μείωση της ταχύτητας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.



<u>Σχήμα 17</u> Μέση ταχύτητα ανέμου για τα έτη 2007-2017 στην περιοχή Ρέθυμνου

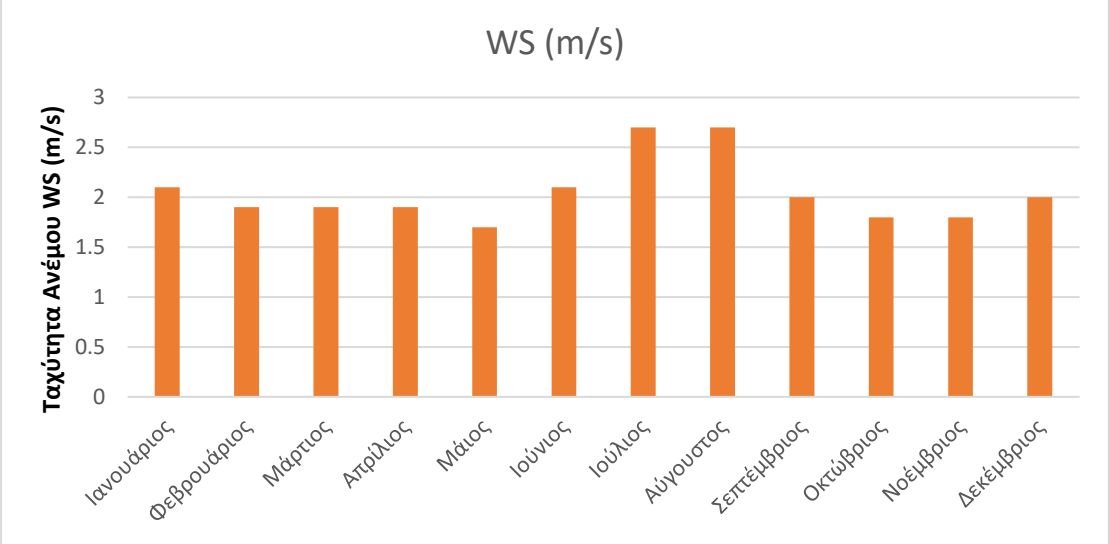
Στο παραπάνω διάγραμμα δεν παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις της ταχύτητας για τα έτη για τα οποία υπάρχουν δεδομένα και η μέση τιμή της ταχύτητας είναι περίπου 3 m/s.

- Σπήλι



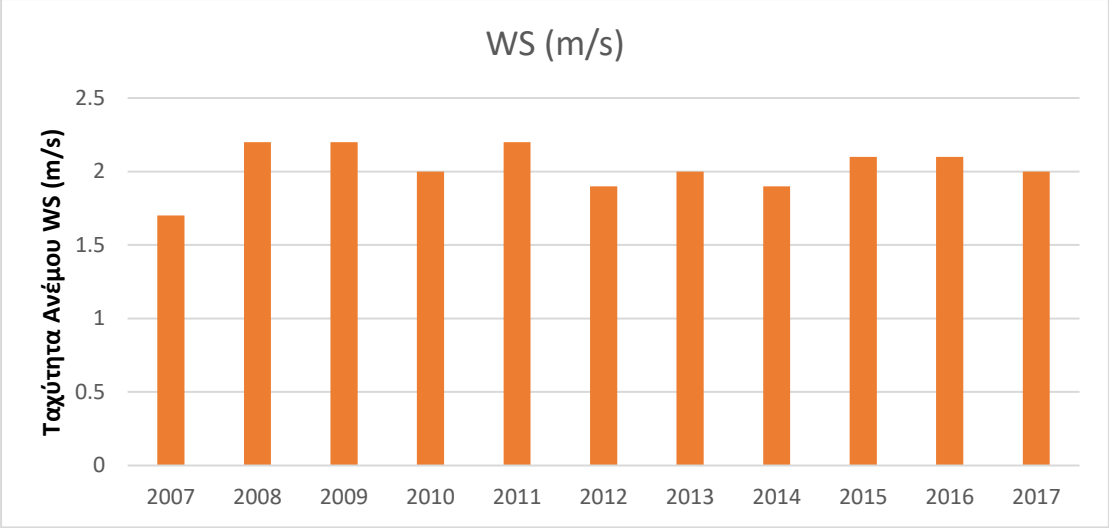
<u>Σχήμα 18</u> Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Σπηλίου

Παρατηρείται ότι η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κυμαίνεται από 0-7 (m/s).



<u>Σχήμα 19</u> Μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα στην περιοχή Σπηλίου

Παρατηρείται ότι η ταχύτητα στο Σπήλι Ρεθύμνου είναι σταθερή στα περίπου 2 m/sεκτός από τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, όπου η ταχύτητα αυξάνεται στα 2,6 m/s.

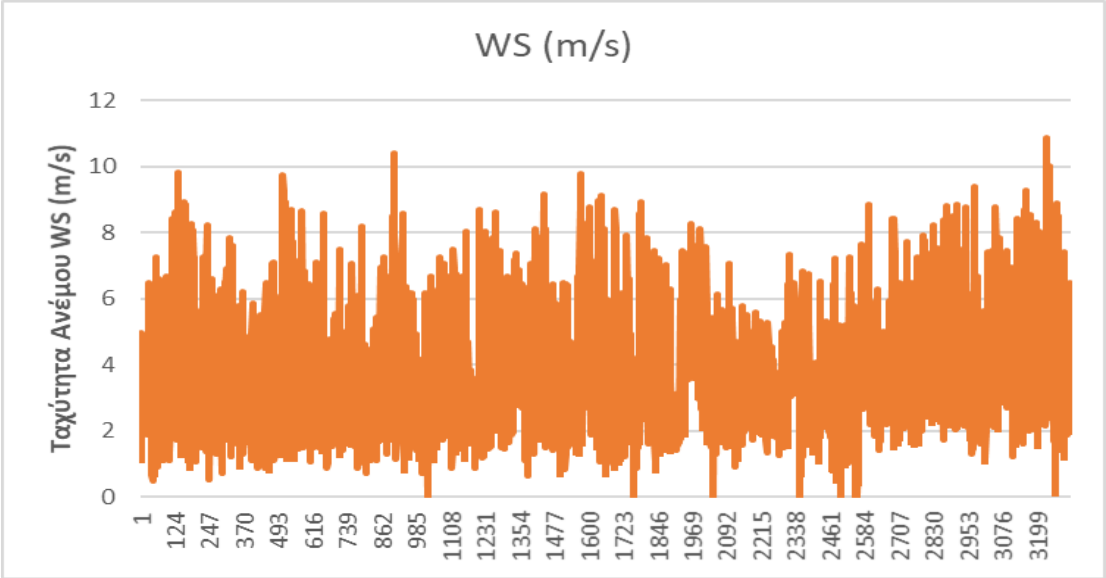


Σχήμα 20 Μέση ταχύτητα ανέμου τα έτη 2007- 2017 στην περιοχή Σπηλίου

Παρατηρείται ότι η τιμή της ταχύτητας ανά όλα τα έτη παραμένει σταθερή με πολύ μικρές διαφορές.

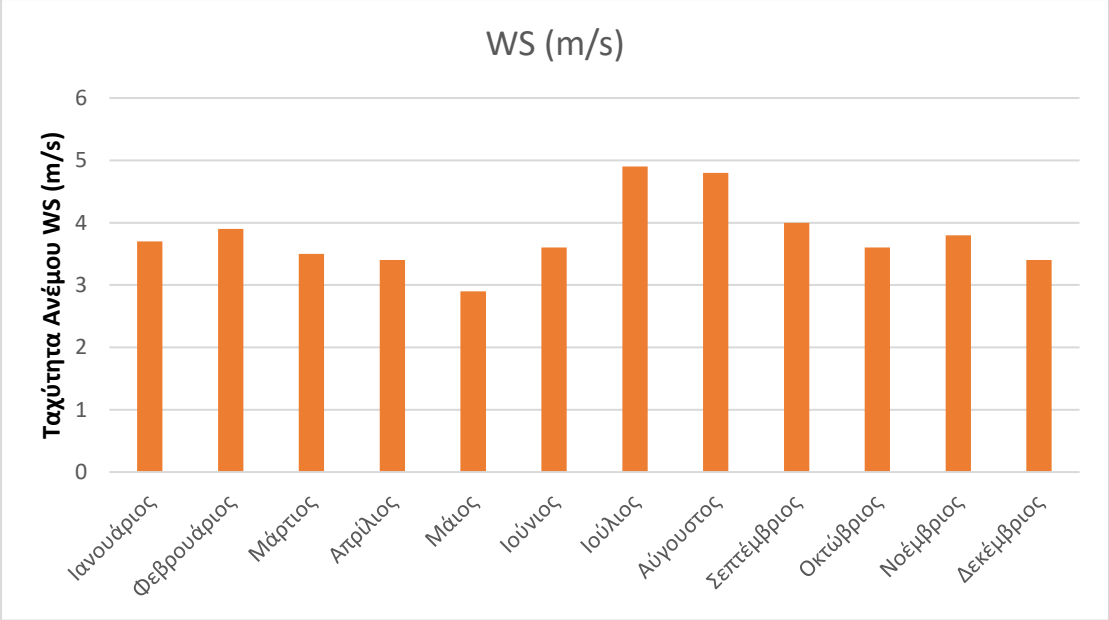
Νομός Λασιθίου

- Ιεράπετρα



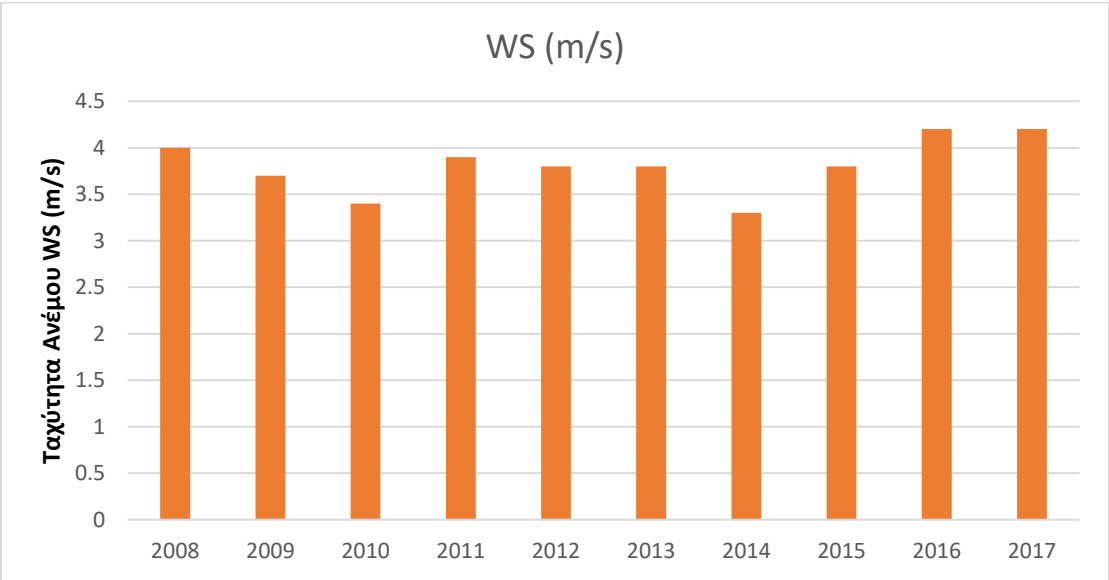
Σχήμα 21 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Ιεράπετρα

Παρατηρείται ότι η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κυμαίνεται από 0-11 (m/s).



Σχήμα 22 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Ιεράπετρα ανά μήνα

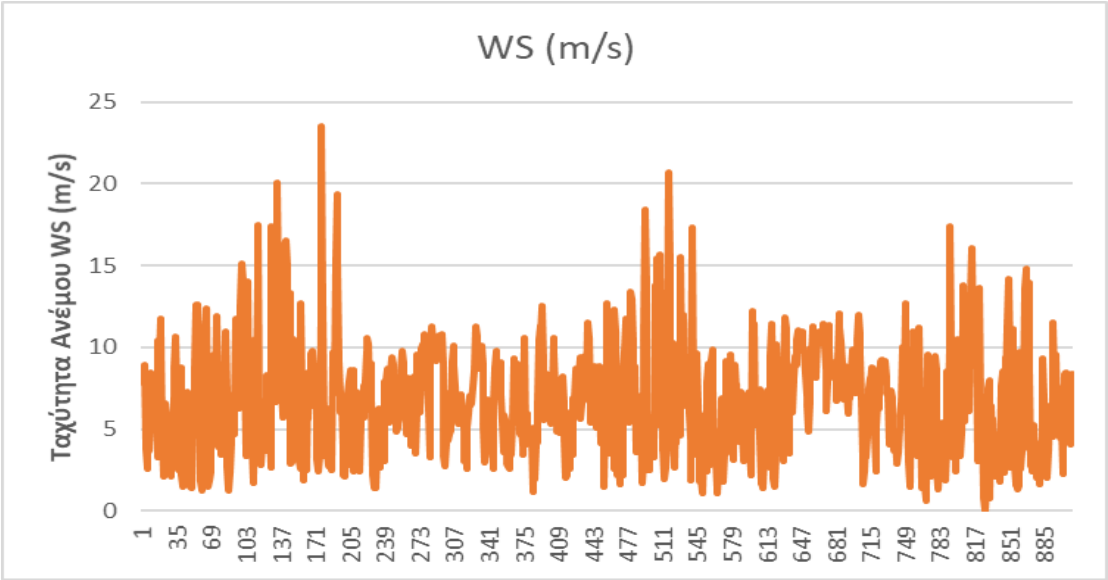
Στο διάγραμμα, η ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ 2,9 και 4,9 m/s, με τις μικρότερες τιμές να παρουσιάζονται τους μήνες Απρίλιο και Μάιο και τις μέγιστες τιμές της ταχύτητας να παρουσιάζονται κατά τον Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβρη.



Σχήμα 23 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Ιεράπετρα το διάστημα 2008-2017

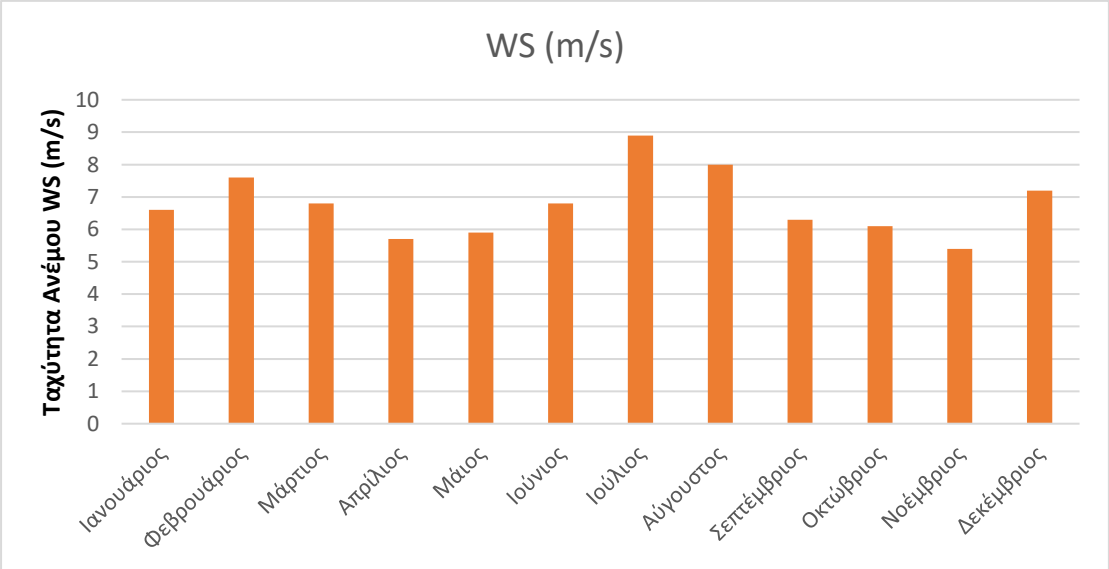
Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι η ταχύτητα είναι μεταξύ των τιμών 3,3-4,2 (m/s). Υπάρχει μία αύξηση της ταχύτητας του ανέμου τα τελευταία δύο χρόνια.

- Φινοκάλια



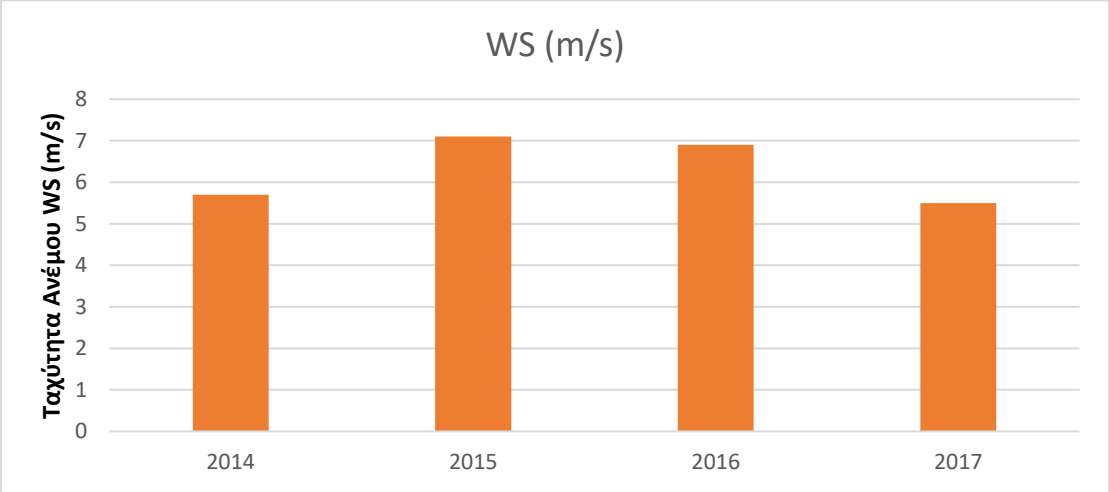
Σχήμα 24 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Φινοκάλια

Παρατηρείται ότι η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κυμαίνεται από 0-24 (m/s).



Σχήμα 25 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Φινοκάλια ανά μήνα

Παρατηρείται από το διάγραμμα μία αυξομείωση της ταχύτητας με την ελάχιστη τιμή της ταχύτητας να είναι το μήνα Νοέμβριο και τη μέγιστη τιμή το μήνα Ιούλιο.

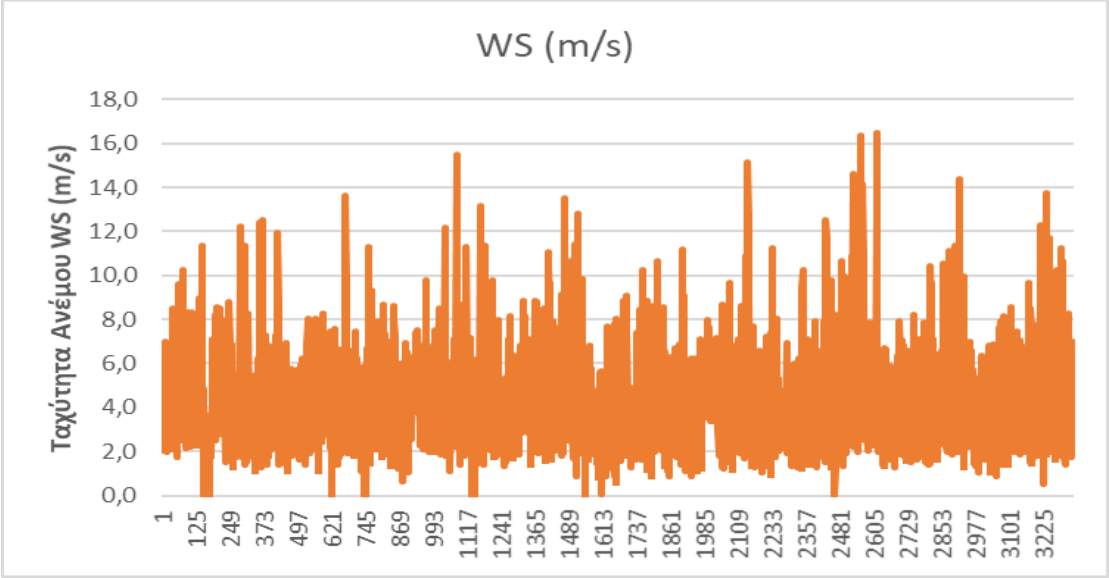


Σχήμα 26 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Φινοκάλια τα έτη 2014-2017

Από το διάγραμμα παρατηρείται μία μικρή αυξομείωση της ταχύτητας και τα τέσσερα έτη, της τάξεως του 1m/sπερίπου, με μέγιστη τιμή τα 7,1 m/sκαι ελάχιστη τα 5,5 m/s.

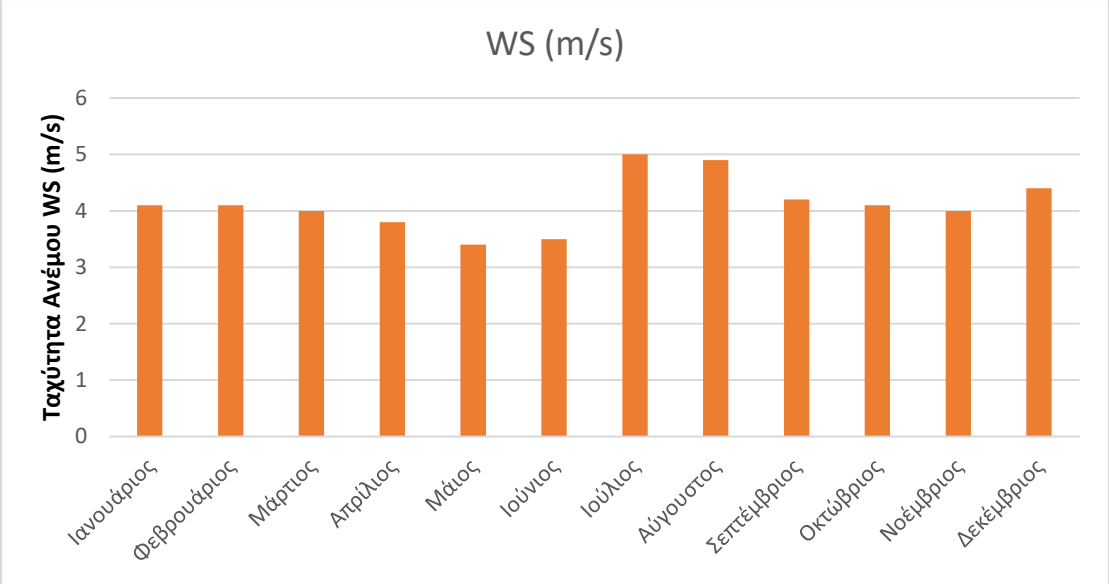
Νομός Ηρακλείου

- Λιμάνι



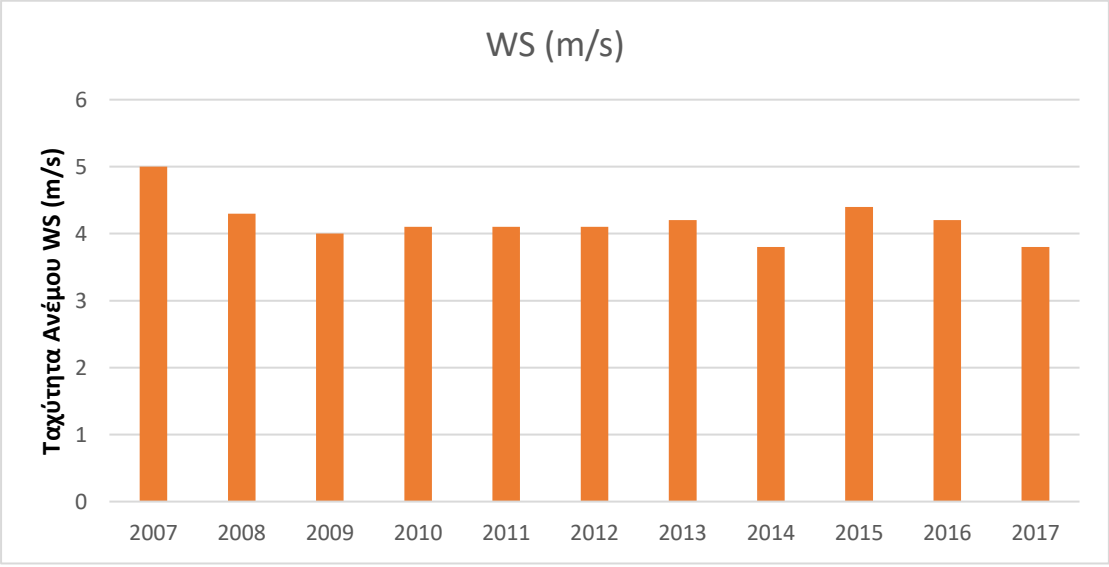
Σχήμα 27 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Λιμανιού Ηρακλείου

Παρατηρείται ότι η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κυμαίνεται από 0-17 (m/s).



Σχήμα 28 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Λιμανιού Ηρακλείου ανά μήνα

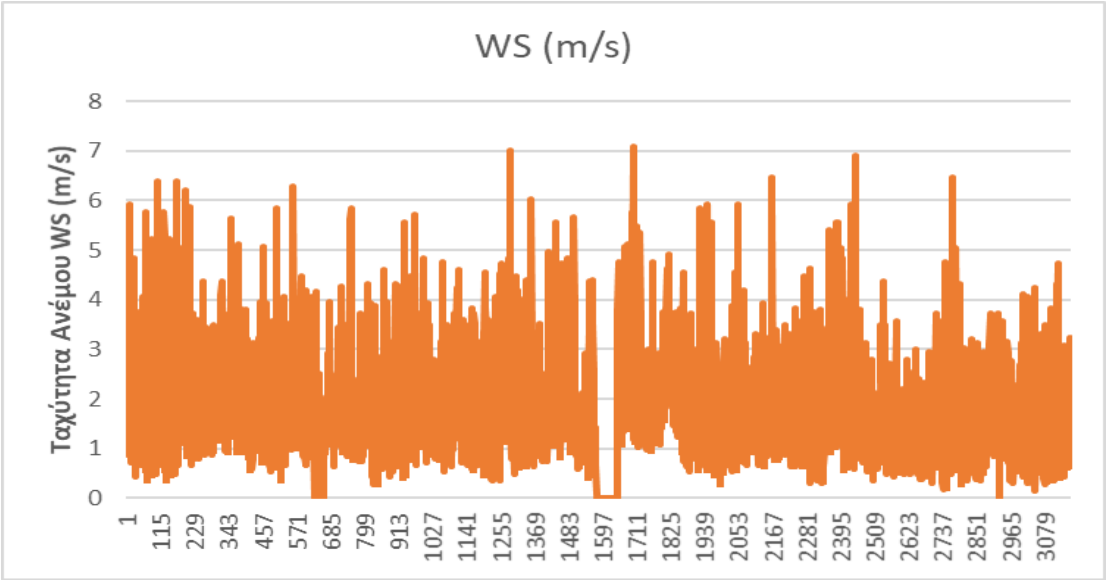
Στο διάγραμμα της ταχύτητας του ανέμου παρατηρείται μια σταθερότητα στη τιμή της ταχύτητας με πολύ μικρές αυξομειώσεις. Η ελάχιστη τιμή της ταχύτητας είναι κατά το μήνα Μάιο και είναι 3,4 m/sκαι η μέγιστη τιμή της ταχύτητας είναι κατά το μήνα Ιούλιο και είναι 5m/s.



Σχήμα 29 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Λιμανιού Ηρακλείου 2007-2017

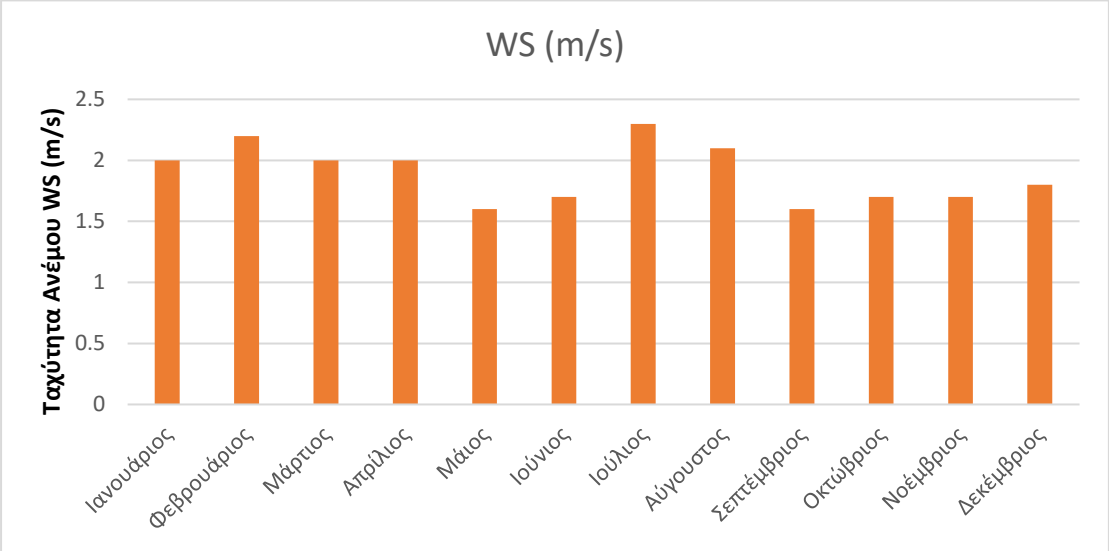
Από το διάγραμμα, παρατηρείται μείωση της ταχύτητας από το 2007 μέχρι και σήμερα (2017). Σε γενικές γραμμές η ταχύτητα είναι σταθερή στη τιμή 4.1 m/s.

- Μεταξοχώρι



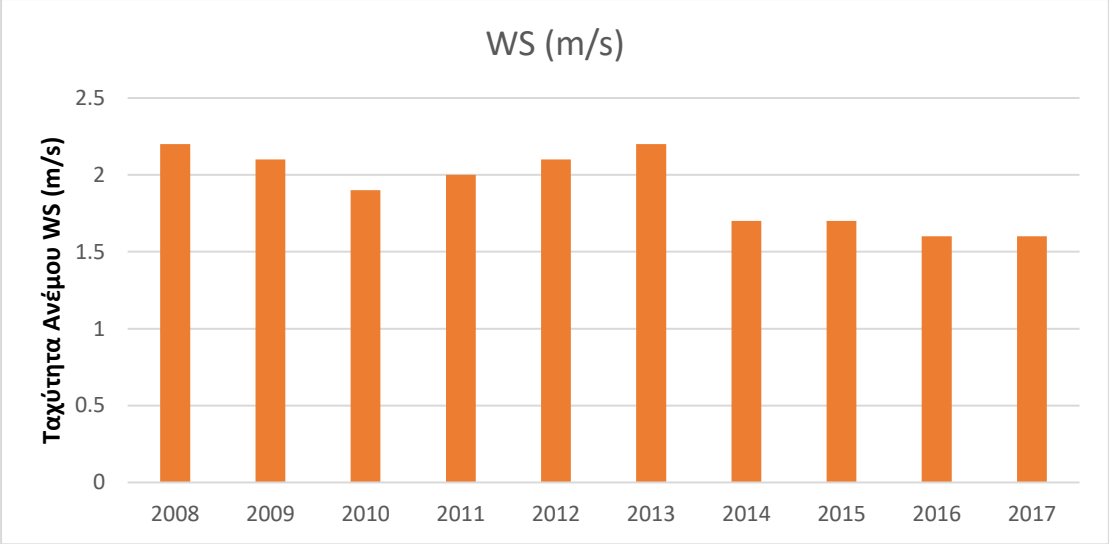
Σχήμα 30 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Μεταξοχωρίου

Παρατηρείται ότι η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κυμαίνεται από 0-7 (m/s).



Σχήμα 31 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Μεταξοχωρίου ανά μήνα

Στο διάγραμμα της ταχύτητας του ανέμου παρατηρείται μία αυξομείωση της ταχύτητας των 0,3 m/sμε την υψηλότερη τιμή της κατά το μήνα Ιούλιο και την χαμηλότερη τιμή της κατά τους μήνες Σεπτέμβριο και Μάιο .



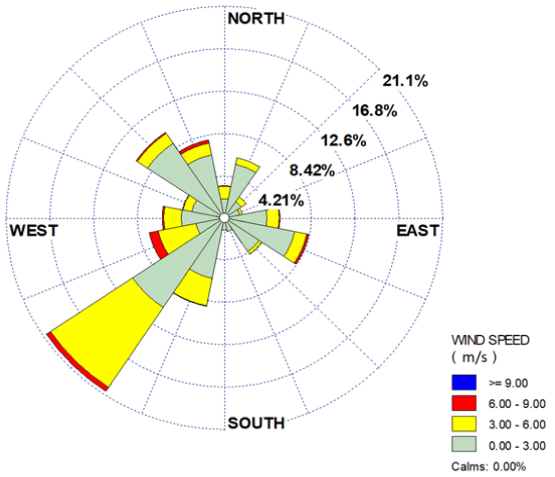
Σχήμα 32 Μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή Μεταξοχωρίου το έτος 2008-2017

Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι από το έτος 2008 έως και το 2013 υπάρχει μία μικρή αυξομείωση και από το 2014 και έπειτα υπάρχει μία σταθερή μείωση της ταχύτητας.

Βάσει των δεδομένων που συλλέχθηκαν δημιουργήθηκαν τα ροδογράμματα του ανέμου και η σχηματική κατανομή των συχνοτήτων της ταχύτητας του ανέμου. Παρακάτω απεικονίζονται τα ροδογράμματα και η σχηματική κατανομή για κάθε περιοχή που επιλέχθηκε:

Νομός Χανίων

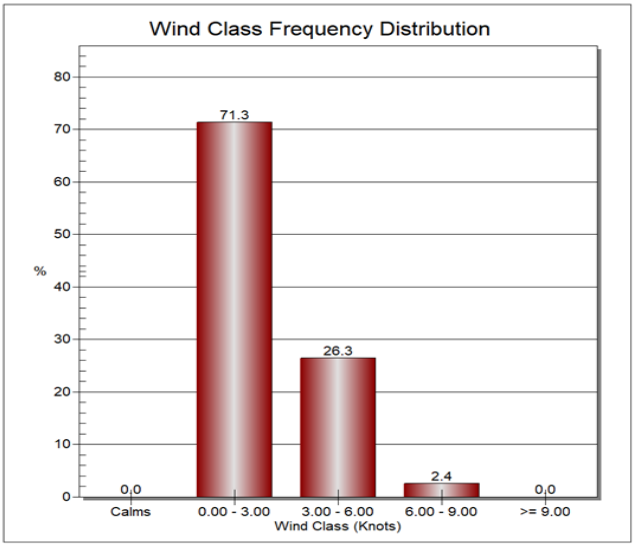
- Χανιά



Σχήμα 33 Ροδόγραμμα της περιοχής των Χανιών

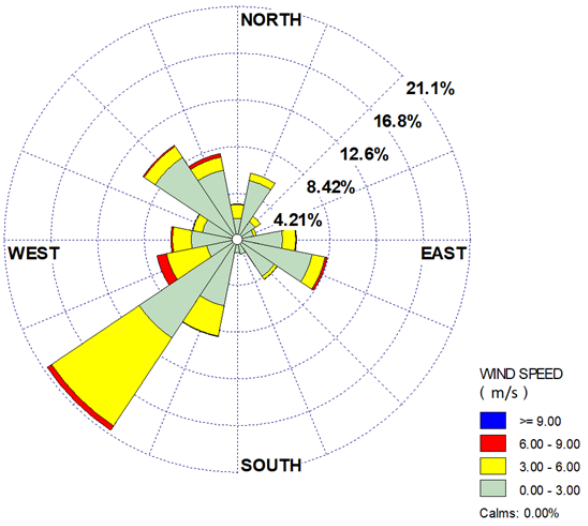
Παρατηρείται ότι για τη περιοχή των Χανίων οι άνεμοι είναι κυρίως νοτιοδυτικοί. Υπάρχει και ένα ικανοποιητικό ποσοστό βορειοδυτικών ανέμων αλλά και νοτιοανατολικοί.

Πίνακας 5: Κατανομή συχνότητας έντασης ανέμων στα Χανιά



Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (71,3%) της μετρούμενης ταχύτητας κυμαίνεται από 0-3 (m/s). Το 26,3% είναι μεταξύ 3-6 (m/s), ενώ μόλις το 2,4% κυμαίνεται μεταξύ 6-9 (m/s).

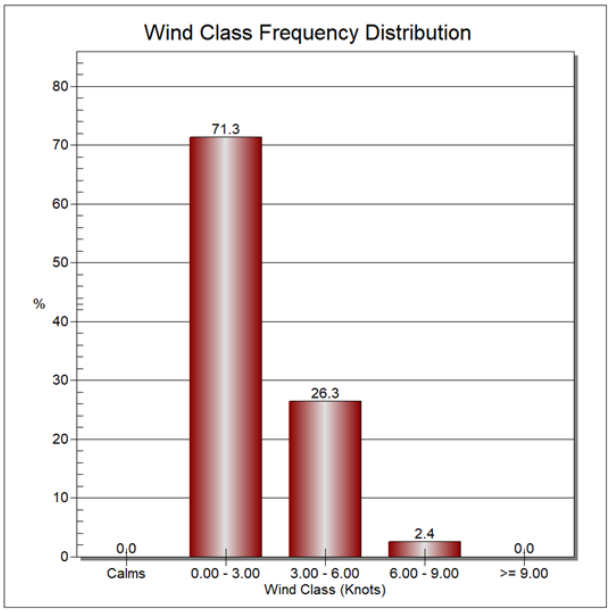
- Σαμαριά Φαράγγι



Σχήμα 34 Ροδόγραμμα της περιοχής του Φαράγγιου

Παρατηρείται ότι για τη περιοχή της Σαμαριάς οι άνεμοι είναι κυρίως νοτιοδυτικοί. Υπάρχει και ένα ικανοποιητικό ποσοστό βορειοδυτικών ανέμων αλλά και νοτιοανατολικοί.

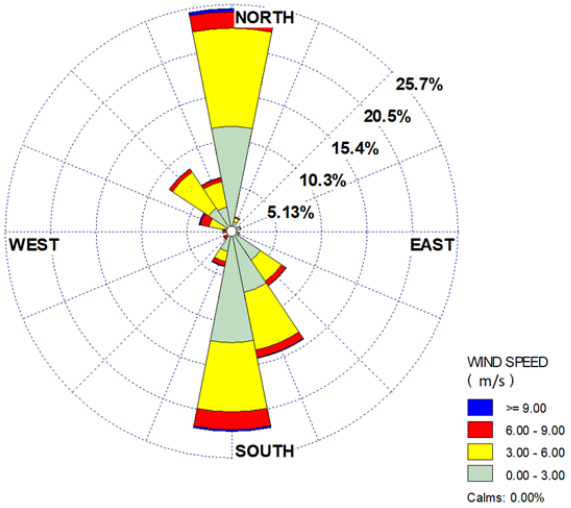
Πίνακας 6 Κατανομή συχνότητας έντασης ανέμων στο Φαράγγι



Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (71,3%) της μετρούμενης ταχύτητας κυμαίνεται από 0-3 (m/s). Το 26,3% είναι μεταξύ 3-6 (m/s), ενώ μόλις το 2,4% κυμαίνεται μεταξύ 6-9 (m/s).

Νομός Ρεθύμνου

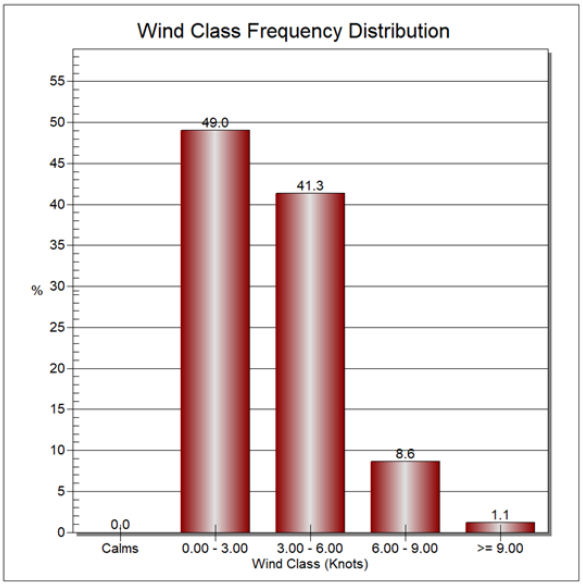
- Ρέθυμνο



Σχήμα 35 Ροδόγραμμα της περιοχής Ρεθύμνου

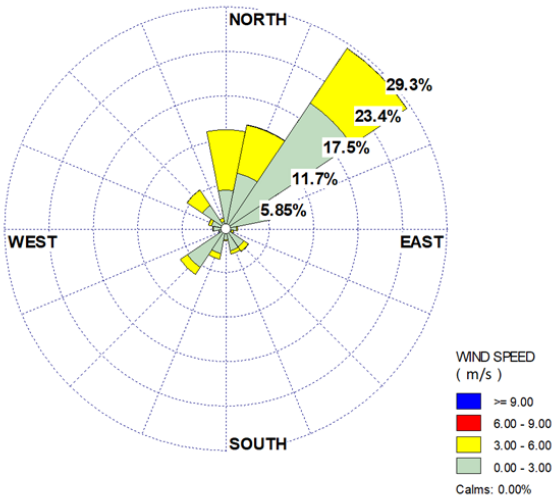
Παρατηρείται ότι για τη περιοχή του Ρεθύμνου οι άνεμοι είναι Βόρειοι και Νότιοι.

Πίνακας 7 Κατανομή συχνότητας έντασης ανέμων στο Ρέθυμνο



Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά ταχυτήτων από 0-3 (m/s) και από 3-6 (m/s) με ποσοστά 49% και 41,3% αντίστοιχα. Επίσης παρατηρούνται οι ταχύτητες 6-9 (m/s) και >= 9 (m/s) με ποσοστά 8,6% και 1,1%.

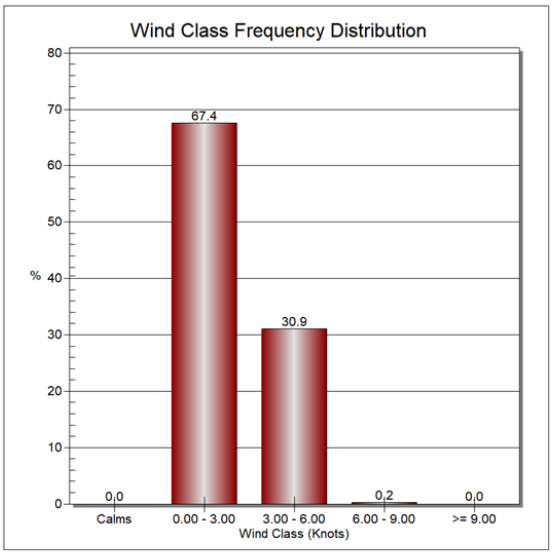
- Σπήλι



Σχήμα 36 Ροδόγραμμα της περιοχής Σπηλίου

Παρατηρείται ότι για τη περιοχή Σπήλι οι άνεμοι είναι βορειοανατολικοί.

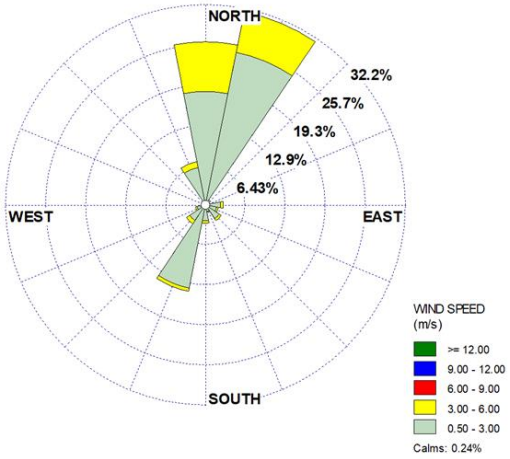
Πίνακας 8 Κατανομή συχνότητας έντασης ανέμων στο Σπηλί



Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ταχυτήτων ανέμου είναι 67,4% με ταχύτητες από 0-3 (m/s), ενώ υπάρχουν και ταχύτητες ανέμου που κυμαίνονται από 3-6 (m/s) με ποσοστό 30,9%.

Νομός Λασιθίου

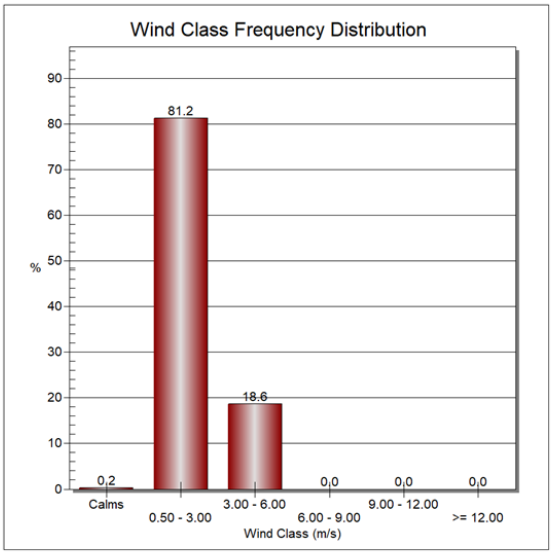
- Ιεράπετρα



Σχήμα 37 Ροδόγραμμα της περιοχής Ιεράπετρας

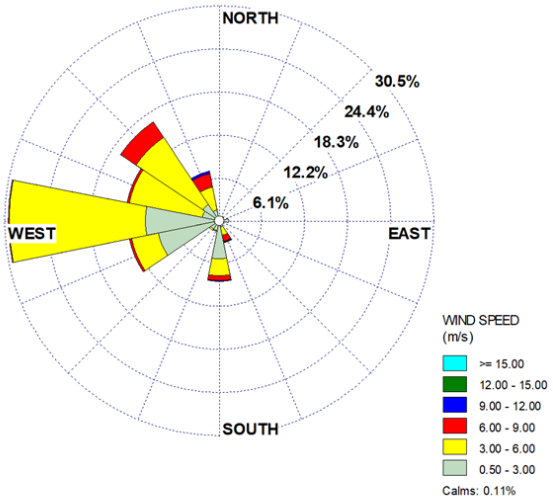
Παρατηρείται ότι για τη περιοχή της Ιεράπετρας οι άνεμοι είναι Βόρειοι.

Πίνακας 9 Κατανομή συχνότητας έντασης ανέμων στην Ιεράπετρα



Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ταχυτήτων ανέμου είναι 81,2% με ταχύτητες από 0,5-3 (m/s), ενώ υπάρχουν και ταχύτητες ανέμου που κυμαίνονται από 3-6 (m/s) με ποσοστό 18,6%.

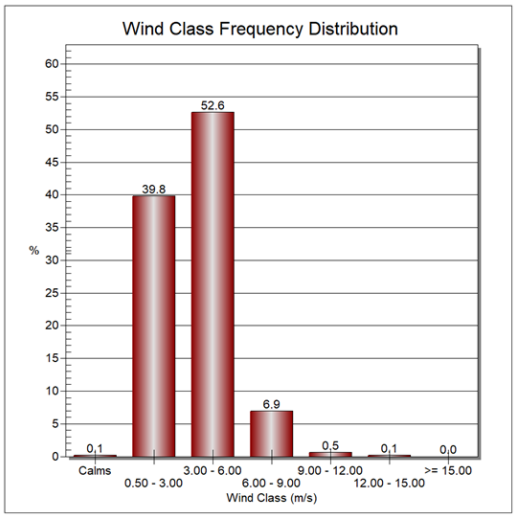
- Φινοκάλια



Σχήμα 38 Ροδόγραμμα της περιοχής Φινακάλια

Παρατηρείται ότι για τη περιοχή Φινοκάλια οι άνεμοι είναι Δυτικοί.

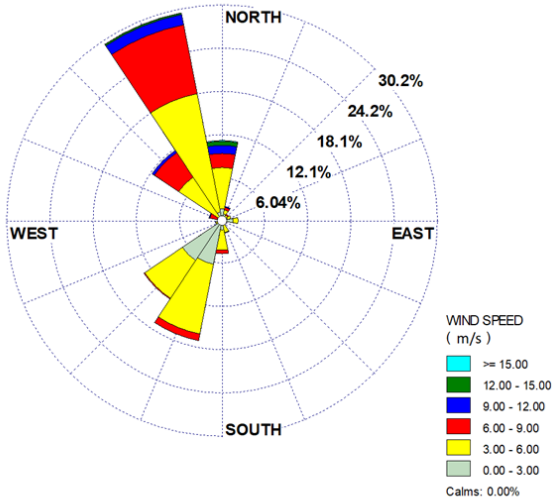
<u>Πίνακας 10</u> Κατανομή συχνότητας έντασης ανέμων στα Φινοκάλια



Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ταχυτήτων ανέμου είναι 52,6% με ταχύτητες από 3-6 (m/s) και 39,8% με ταχύτητες 0,5-3 (m/s), ενώ υπάρχουν και ταχύτητες ανέμου που κυμαίνονται από 6-9 (m/s) με ποσοστό 6.9% μόλις 0,5% με ταχύτητες 9-12(m/s).

Νομός Ηρακλείου

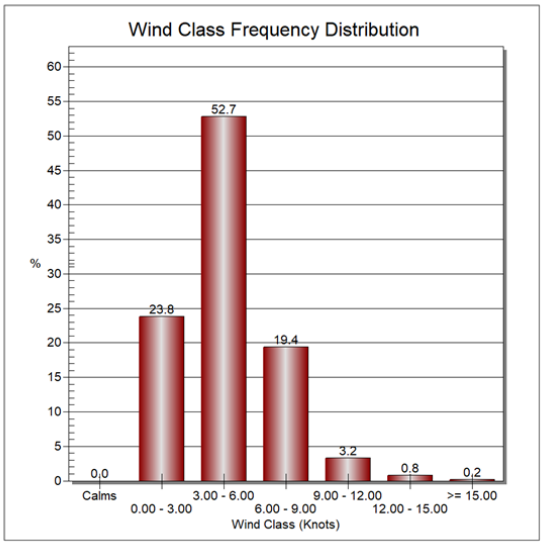
- Ηράκλειο Λιμάνι



Σχήμα 39 Ροδόγραμμα της περιοχής Λιμάνι Ηρακλείου

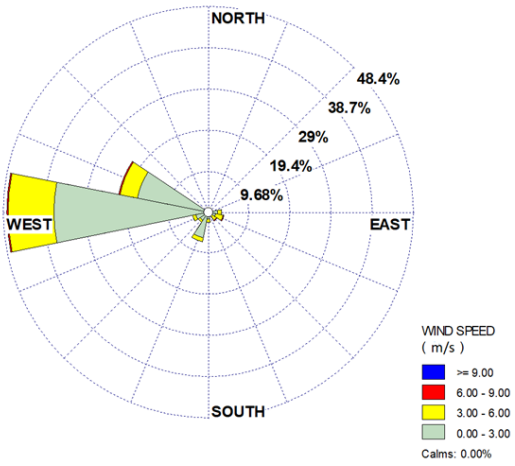
Παρατηρείται ότι για τη περιοχή Ηράκλειο Λιμάνι οι άνεμοι είναι βορειοδυτικοί.

Πίνακας 11 Κατανομή συχνότητας έντασης ανέμων στο Λιμάνι



Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ταχυτήτων ανέμου είναι 52,7% με ταχύτητες από 3-6 (m/s). Επίσης υπάρχουν ταχύτητες που κυμαίνονται από 0-3 (m/s) και από 6-9 (m/s) με ποσοστά 23,6% και 19,4% αντίστοιχα. Τέλος παρατηρούνται και ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμων όπως 9-12 (m/s) και 12-15 (m/s) σε πολύ μικρότερη όμως συχνότητα.

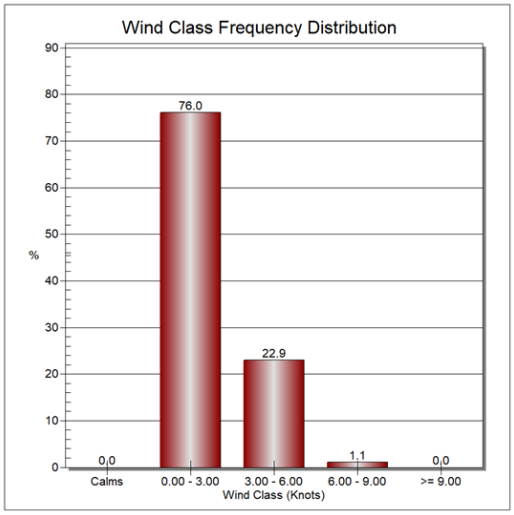
- Μεταξοχώρι



Σχήμα 40 Ροδόγραμμα της περιοχής Μεταξοχώρι

Παρατηρείται ότι για τη περιοχή του Μεταξοχωρίου οι άνεμοι είναι Δυτικοί.

Πίνακας 12 Κατανομή συχνότητας έντασης ανέμων στο Μεταξοχώρι



Παρατηρείται στο διάγραμμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ταχυτήτων ανέμου είναι 76% με ταχύτητες από 0-3 (m/s). Σε ποσοστό 22,9% οι ταχύτητες κυμαίνονται από 3-6 (m/s), ενώ οι ταχύτητες από 6-9 (m/s) είναι μόλις το 1,1%.

***Σημείωση**: Όλες οι μετρήσεις που εισήχθησαν για τη δημιουργία των διαγραμμάτων είναι σύμφωνες με τις καμπύλες λειτουργίας των ανεμογεννητριών που επιλέχθηκαν [E-48 (800 kw) και E-82 (2000 kw)], επίσης οι μετρήσεις αφορούν το επίπεδο του ιστού και πρέπει να αναχθούν στο επίπεδο της ανεμογεννήτριας. Αυτό γίνεται με τη παρακάτω εξίσωση*

$$u_z = u_{ref}\left(\frac{z}{z_{ref}}\right)^a$$

Όπου,

u_z*:η ταχύτητα στο ύψος της ανεμογεννήτριας*

u_{ref}*: η ταχύτητα στον ιστό*

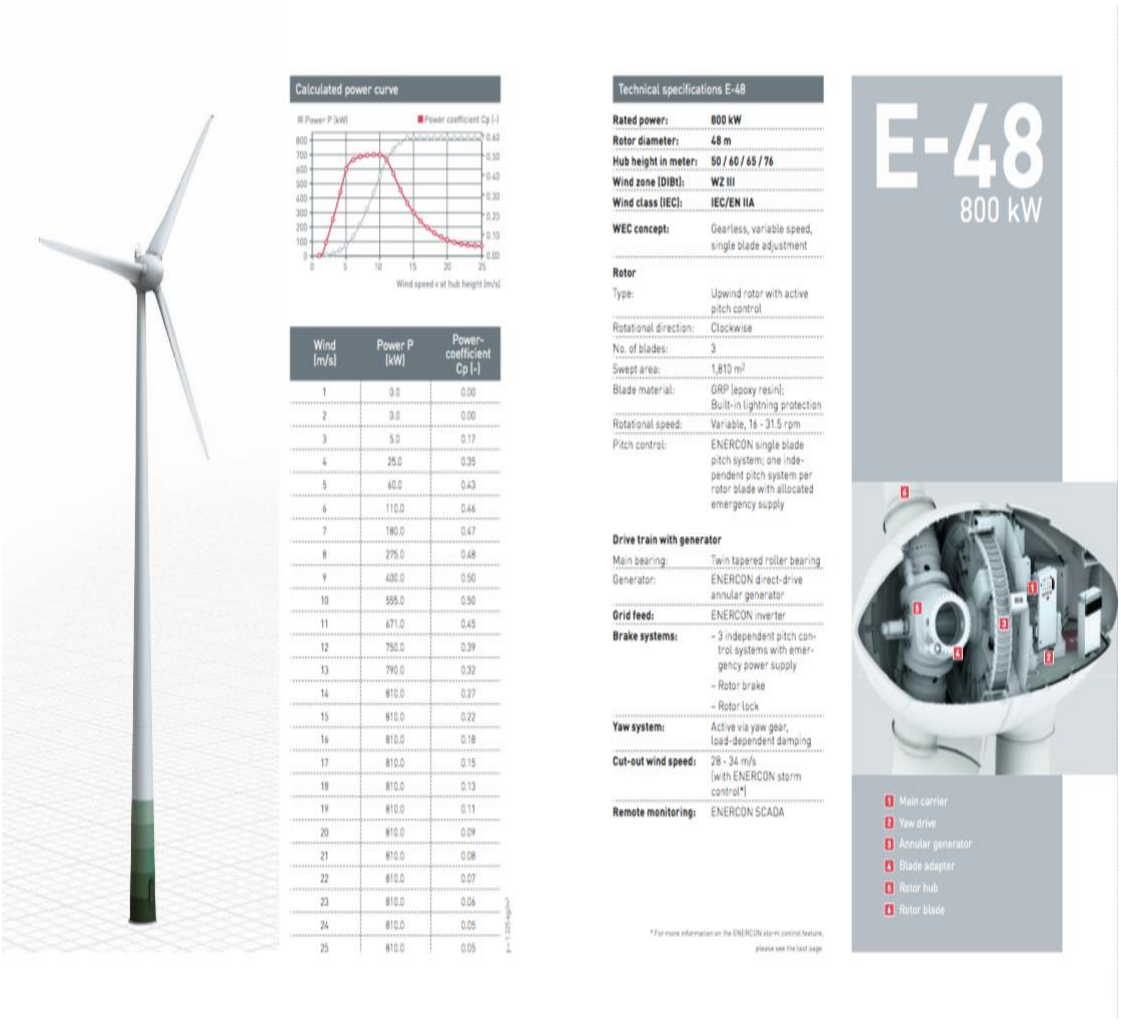
z*: το ύψος της ανεμογεννήτριας*

z_{ref}*: το ύψος του ιστού*

a*: εκθετικός συντελεστής (για τη περίπτωση μας 0,15).*

5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

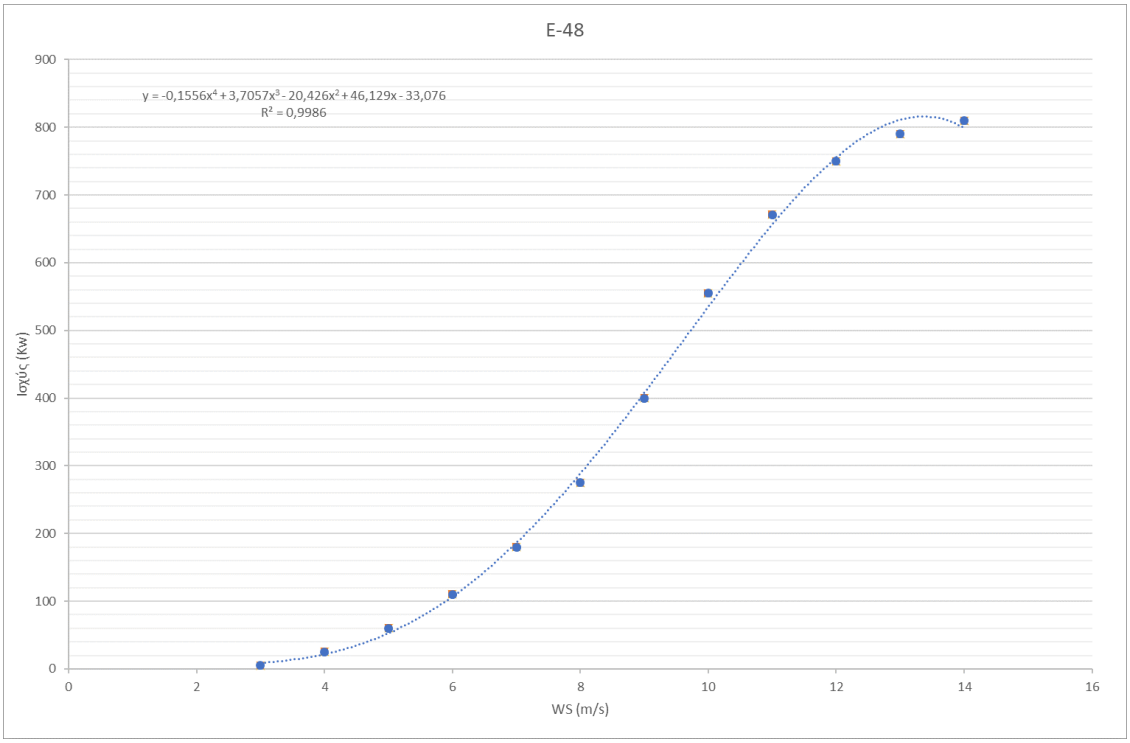
Στο επόμενο βήμα επιλέχθηκαν δύο ανεμογεννήτριες της εταιρείας Enercon,η E-48 (800 kw) και η E-82 (2000 kw) αντίστοιχα. Έχοντας ταχαρακτηριστικά στοιχεία λειτουργίας και των δύο ανεμογεννητριών επιλέχθηκαν οι τιμές ταχύτητας για βέλτιστη απόδοση (cut-inκαι cut-off).



Wind [m/s]	Power P [kW]	Power-coefficient Cp [-]
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	595.0	0.50
11	671.0	0.45
12	790.0	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

Εικόνα 18 Χαρακτηριστικά Ανεμογεννήτριας E-48

Όπως παρατηρείται για την E-48 η Καμπύλη λειτουργίας (οι αριθμητικές τιμές) μας δείχνει ότι στις τιμές της ταχύτητας του ανέμου από 0-3 (m/s) η ανεμογεννήτρια δεν παράγει καμία ισχύ. Στα 3 m/sξεκινάει η ανεμογεννήτρια να παράγει ισχύ ίση με 5 Kw (cut-in), με μέγιστη παραγόμενη ισχύ τα 810 kw, η οποία εντοπίζεται στα 28m/s (cut-off). Από αυτό το σημείο και πάνω η ανεμογεννήτρια δεν παράγει περισσότερη ισχύ ανεξάρτητα από τη ταχύτητα του ανέμου.



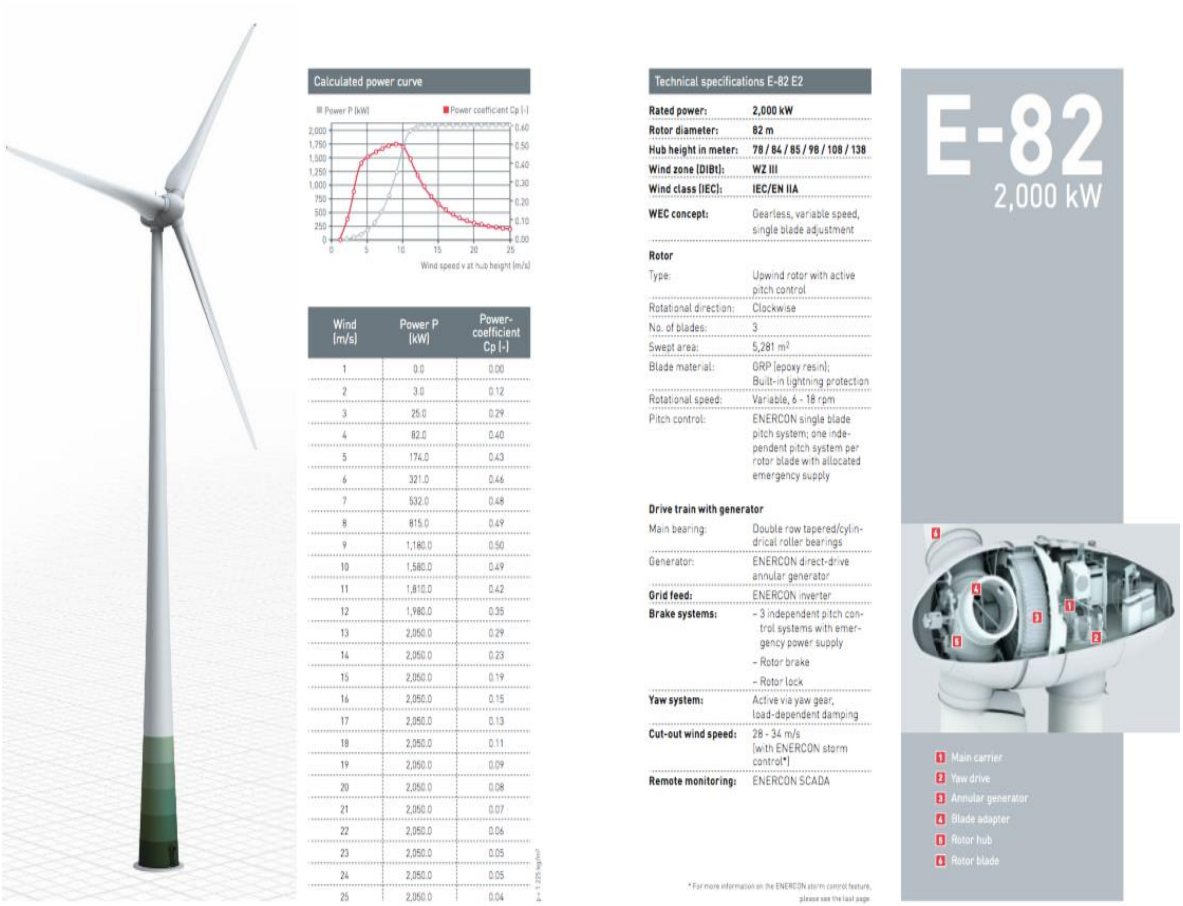
<u>Σχήμα 41</u> Καμπύλη ανεμογεννήτριας E-48

Στο παραπάνω γράφημα παρατηρείται η καμπύλη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας E-48. Παρατηρείται και γραφικά το cut-inκαι cut-offτης συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας, ότι δηλαδή στις τιμές μεταξύ 0-3 (m/s) η ανεμογεννήτρια δεν παράγει ισχύ ενώ από 3-14 (m/s) η ανεμογεννήτρια παράγει ισχύ. Τέλος από πάνω από τα 14m/sπαρατηρείται μία σταθεροποίηση στην ισχύ. Για να μπορέσει αυτό να παραστεί όσο το δυνατόν καλύτερα γραφικά χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση,

$$y = -0.1556x^4 + 3.7057x^3 - 20.426x^2 + 46.129x - 33.07$$

$$R^2 = 0.99857$$

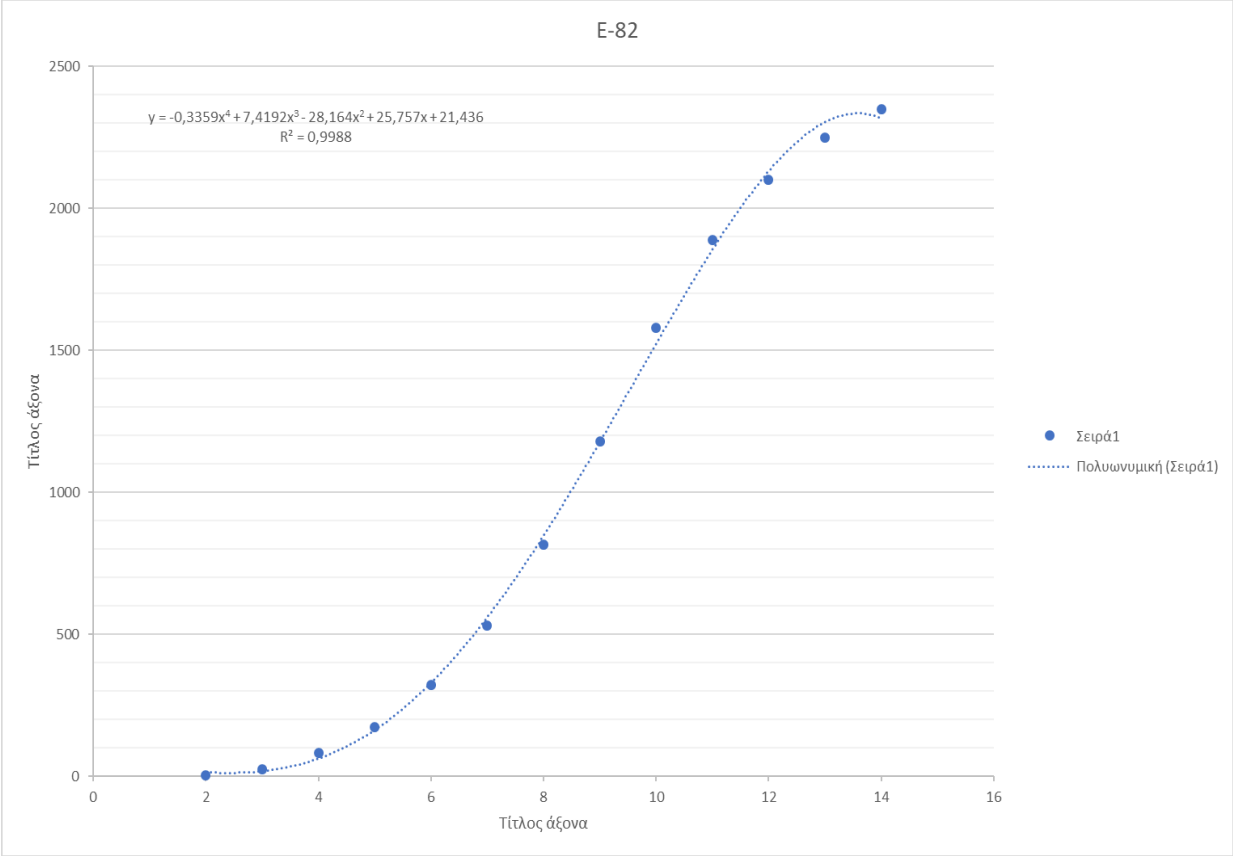
<u>Όπου R^2 ο συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of determination.) Δείχνει το ποσοστό επί τοις εκατό της διακύμανσης των τιμών που ερμηνεύει η συγκεκριμένη εξίσωση .</u>



Wind (m/s)	Power P (kW)	Power-coefficient Cp [-]
1	0.0	0.00
2	3.0	0.12
3	25.0	0.29
4	82.0	0.40
5	174.0	0.43
6	321.0	0.46
7	532.0	0.48
8	815.0	0.49
9	1,160.0	0.50
10	1,580.0	0.49
11	1,810.0	0.42
12	1,980.0	0.35
13	2,050.0	0.29
14	2,050.0	0.23
15	2,050.0	0.19
16	2,050.0	0.15
17	2,050.0	0.13
18	2,050.0	0.11
19	2,050.0	0.09
20	2,050.0	0.08
21	2,050.0	0.07
22	2,050.0	0.06
23	2,050.0	0.05
24	2,050.0	0.05
25	2,050.0	0.04

<u>Εικόνα 19</u>: Χαρακτηριστικά Ανεμογεννήτριας E-82

Όπως παρατηρείται για την E-82 η Καμπύλη λειτουργίας (οι αριθμητικές τιμές) μας δείχνει ότι στις τιμές της ταχύτητας του ανέμου από 0-1 (m/s) η ανεμογεννήτρια δεν παράγει καμία ισχύ. Στα 2 m/s ξεκινάει η ανεμογεννήτρια να παράγει ισχύ ίση με 3Kw (cut-in), με μέγιστη παραγόμενη ισχύ τα 2350 kw, η οποία εντοπίζεται στα 28 m/s (cut-off). Από αυτό το σημείο και πάνω η ανεμογεννήτρια δεν παράγει περισσότερη ισχύ ανεξάρτητα από τη ταχύτητα του ανέμου.



<u>Σχήμα 42:</u> Καμπύλη ανεμογεννήτριας E-82

Στο παραπάνω γράφημα παρατηρείται η καμπύλη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας E-82. Παρατηρείται και γραφικά το cut-in και cut-off της συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας, ότι δηλαδή στις τιμές μεταξύ 0-1 (m/s) η ανεμογεννήτρια δεν παράγει ισχύ ενώ από 2-14 (m/s) η ανεμογεννήτρια παράγει ισχύ. Τέλος πάνω από τα 14 m/s παρατηρείται μία σταθεροποίηση στην ισχύ. Για να μπορέσει αυτό να παραστεί όσο το δυνατόν καλύτερα γραφικά χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση,

$$y = -0.3359x^4 + 7.4192x^3 - 28.164x^2 + 25.757x + 21.436$$

$$R^2 = 0.99879$$

<u>Όπου R^2 ο συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of determination.)Δείχνει το ποσοστό επί τοις εκατό της διακύμανσης των τιμών που ερμηνεύει η συγκεκριμένη εξίσωση .</u>

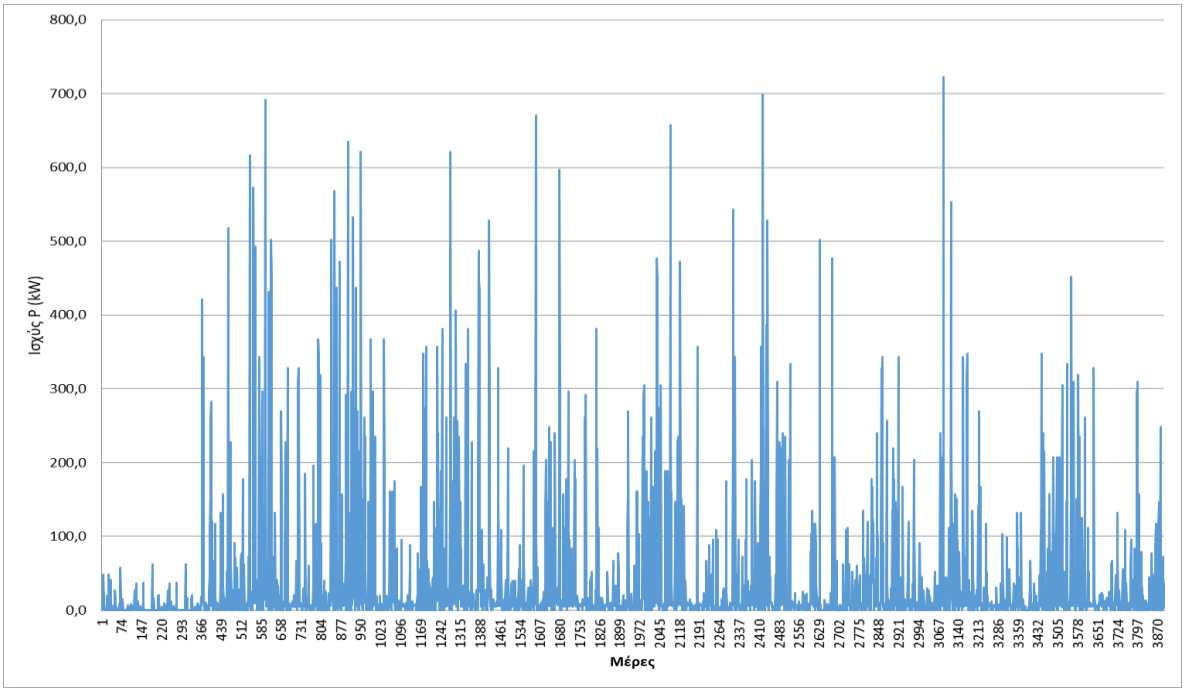
5.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα διαγράμματα ισχύος που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων για τα χωριά που επιλέχθηκαν είναι τα παρακάτω:

Νομός Χανίων

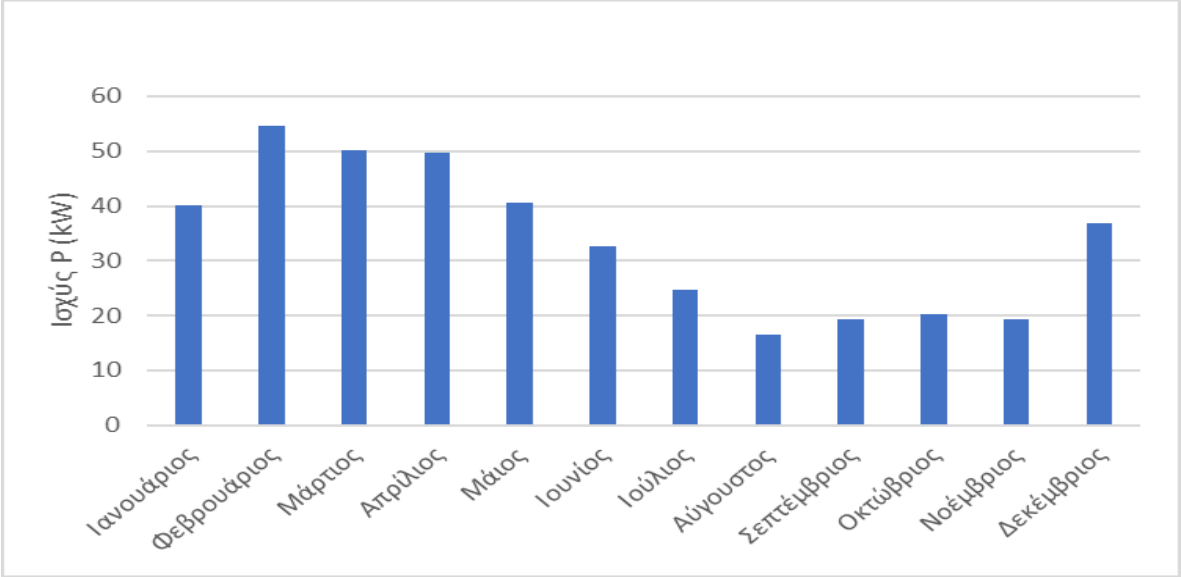
Χανιά

Enercon E-48 (800kW)



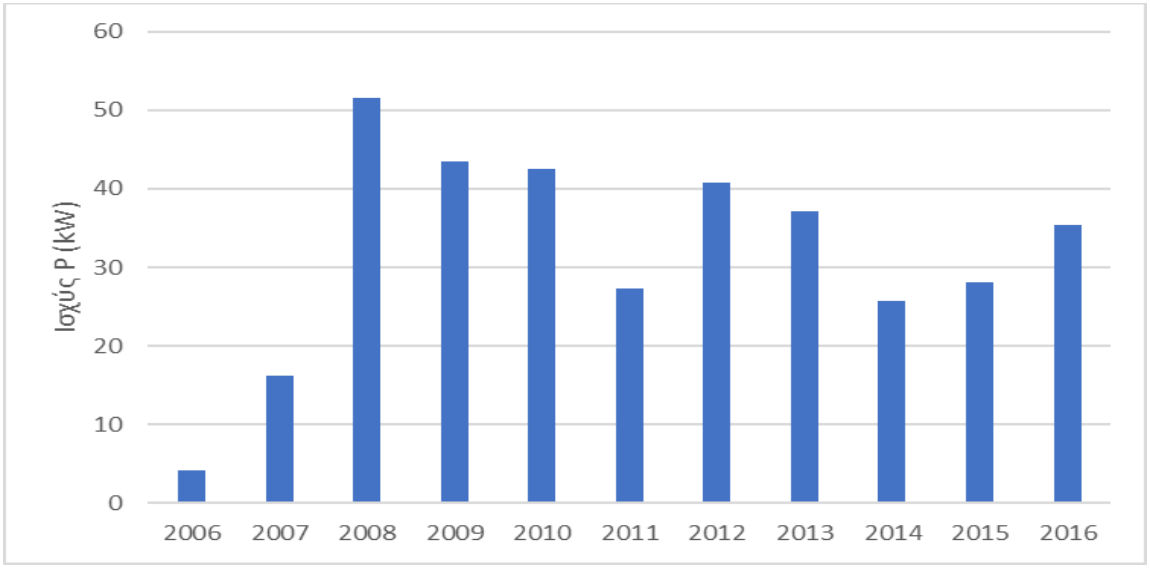
Σχήμα 43:Διάγραμμα μέσης ισχύος στα Χανιά Ε-48

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για τα Χανιά είναι τα 250kw.



<u>Σχήμα 44</u> Διάγραμμα μέσης ισχύος ανά μήνα στα Χανιά Ε-48

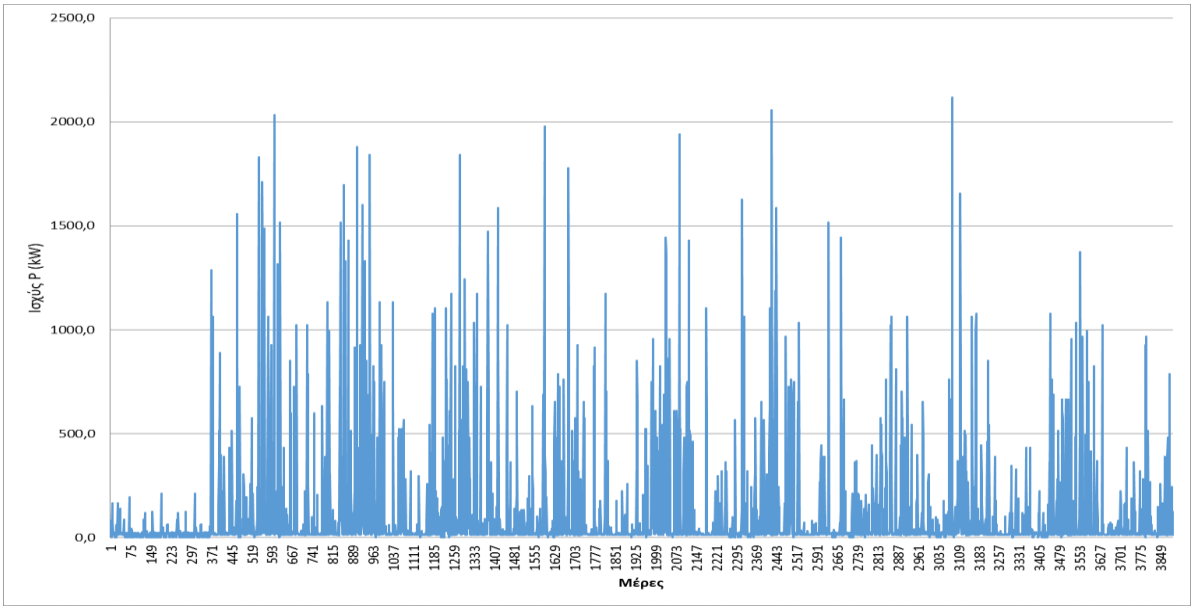
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για τα Χανιά είναι τα 25kw.



<u>Σχήμα 45</u> Διάγραμμα μέσης ισχύος το διάστημα 2006-2016 στα Χανιά Ε-48

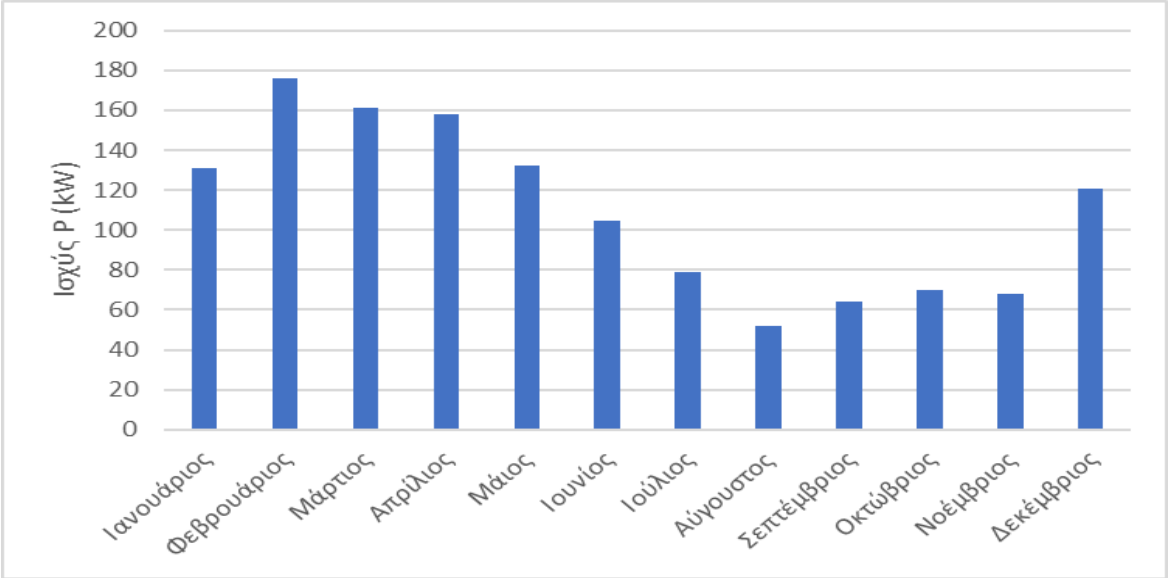
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για τα Χανιά είναι τα 25kw.

Enercon E-82 (2000kW)



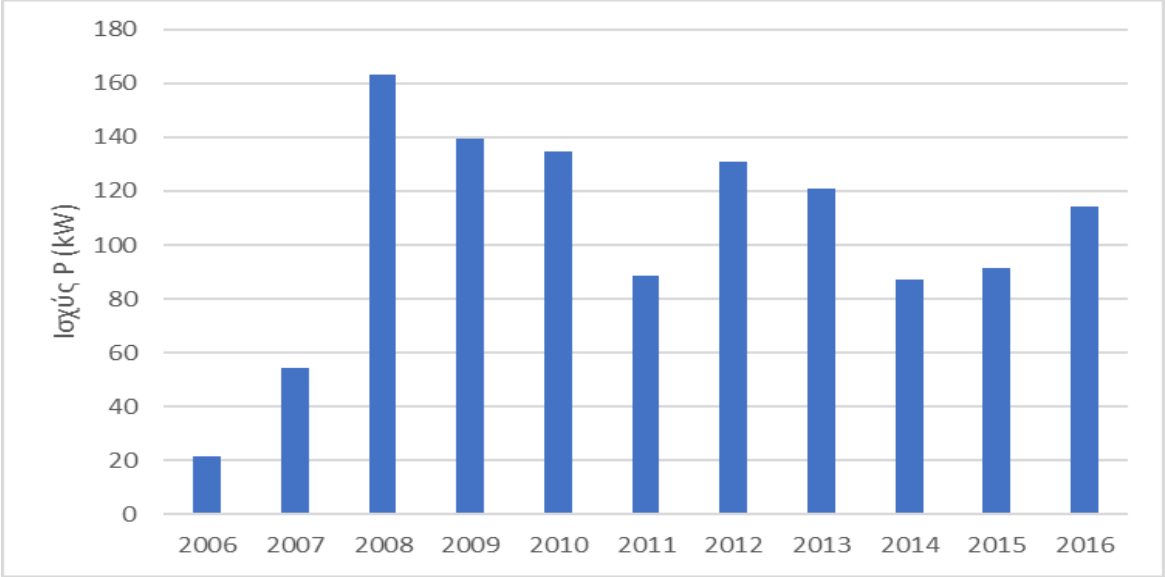
Σχήμα 46 Διάγραμμα μέσης ισχύος στα Χανιά E-82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για τα Χανιά είναι τα 650kw.



Σχήμα 47 Διάγραμμα μέσης ισχύος ανά μήνα στα Χανιά E-82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για τα Χανιά είναι τα 80kw.

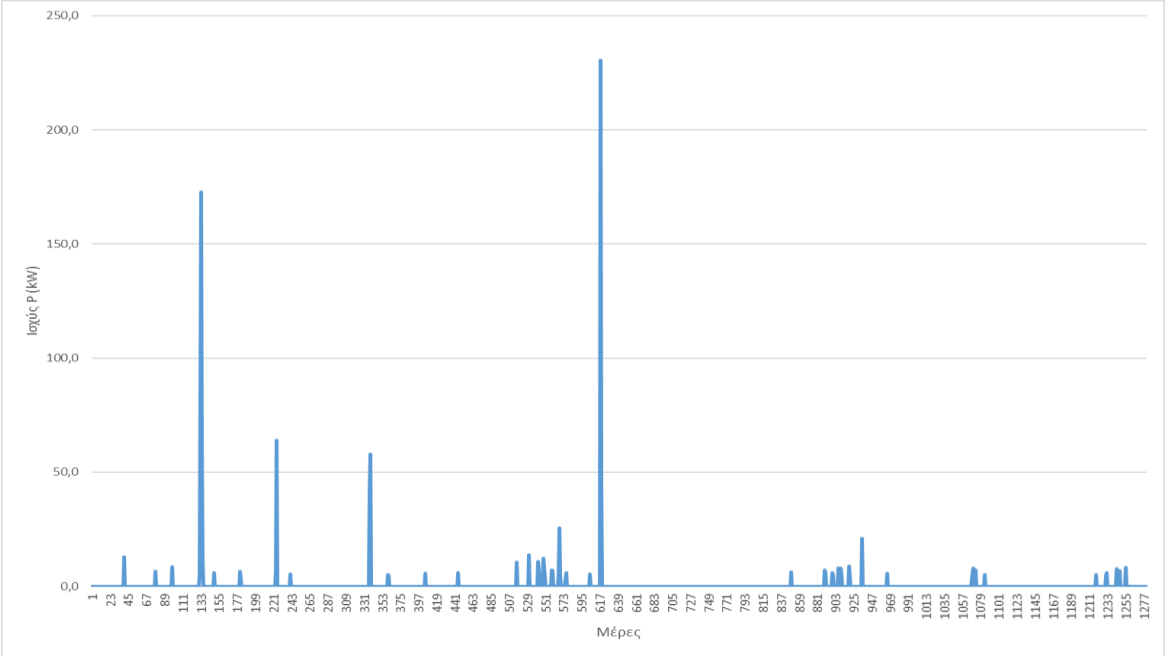


Σχήμα 48 Διάγραμμα μέσης ισχύος το διάστημα 2006-2016 στα Χανιά E-82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για τα Χανιά είναι τα 80kw.

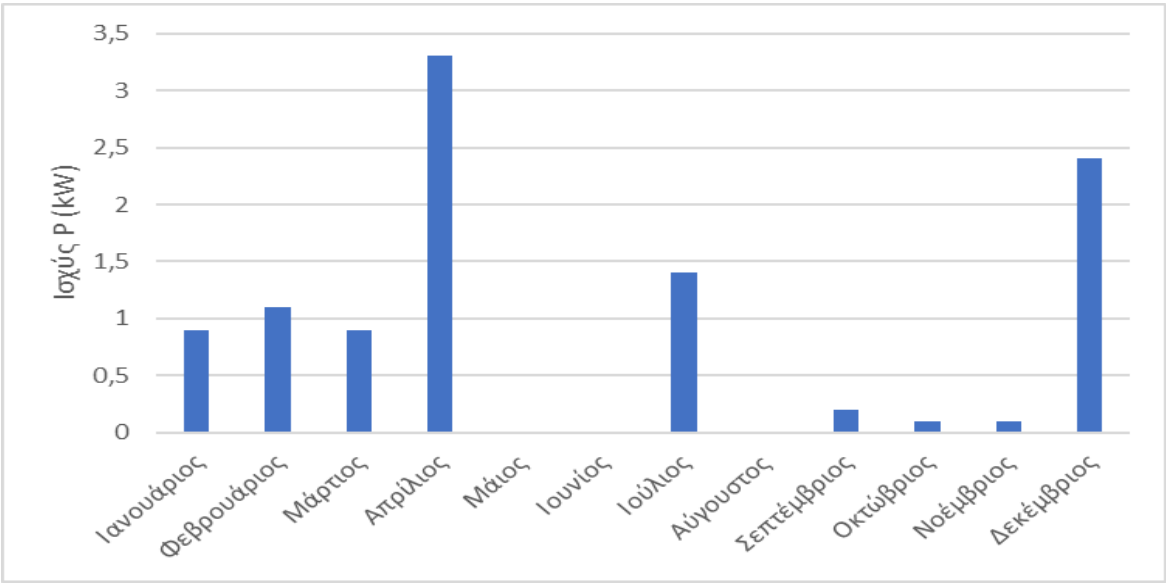
Σαμαριά Φαράγγι

Enercon E-48 (800kW)



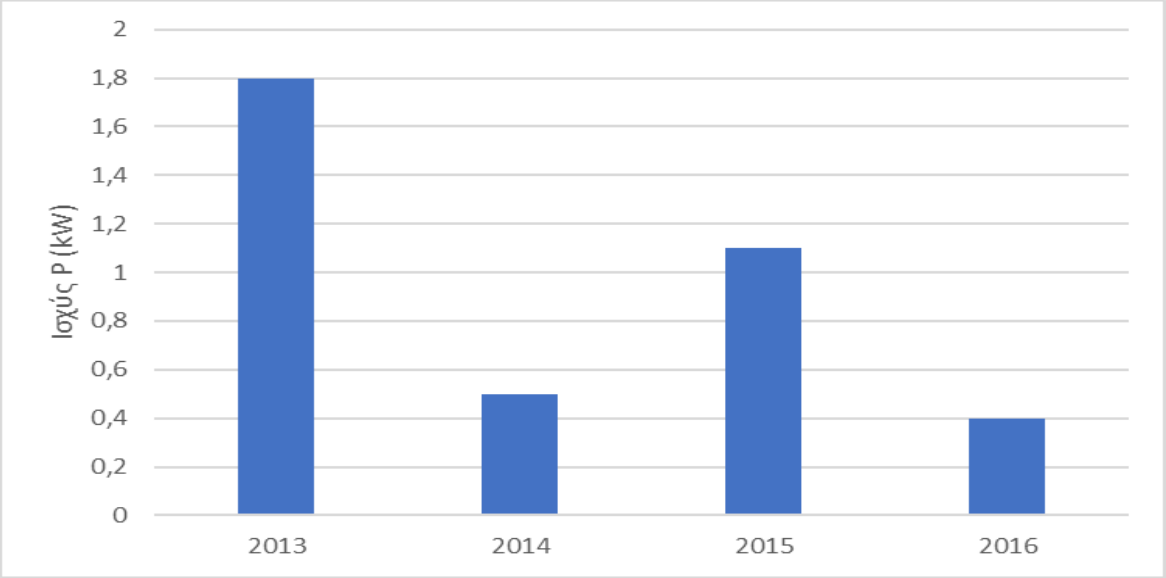
Σχήμα 49 Διάγραμμα μέσης ισχύος το διάστημα στο Φαράγγι Σαμαριάς Ε-48

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για το Φαράγγι Σαμαριάς είναι σχεδόν μηδενική.



Σχήμα 50: Διάγραμμα μέσης ισχύος ανά μήνα στο Φαράγγι Σαμαριάς Ε-48

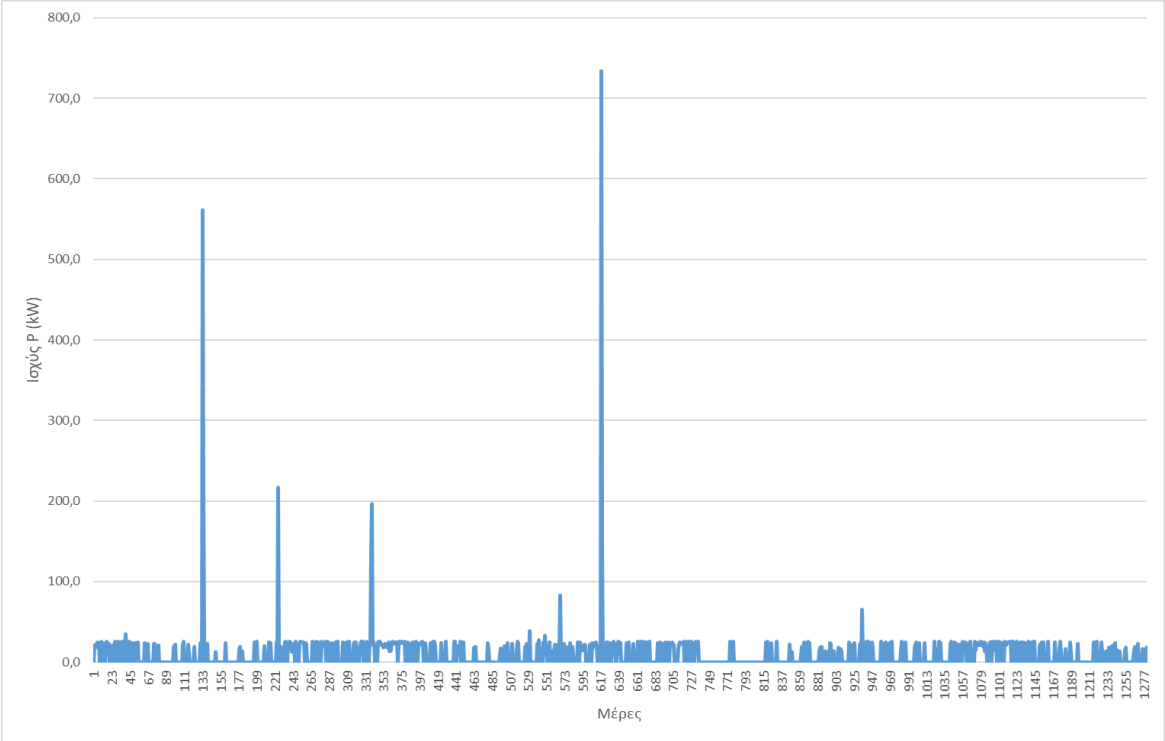
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για το Φαράγγι Σαμαριάς είναι σχεδόν 1kW.



Σχήμα 51 Διάγραμμα μέσης ισχύος για τα έτη από 2013-2016 στο Φαράγγι Σαμαριάς E-48

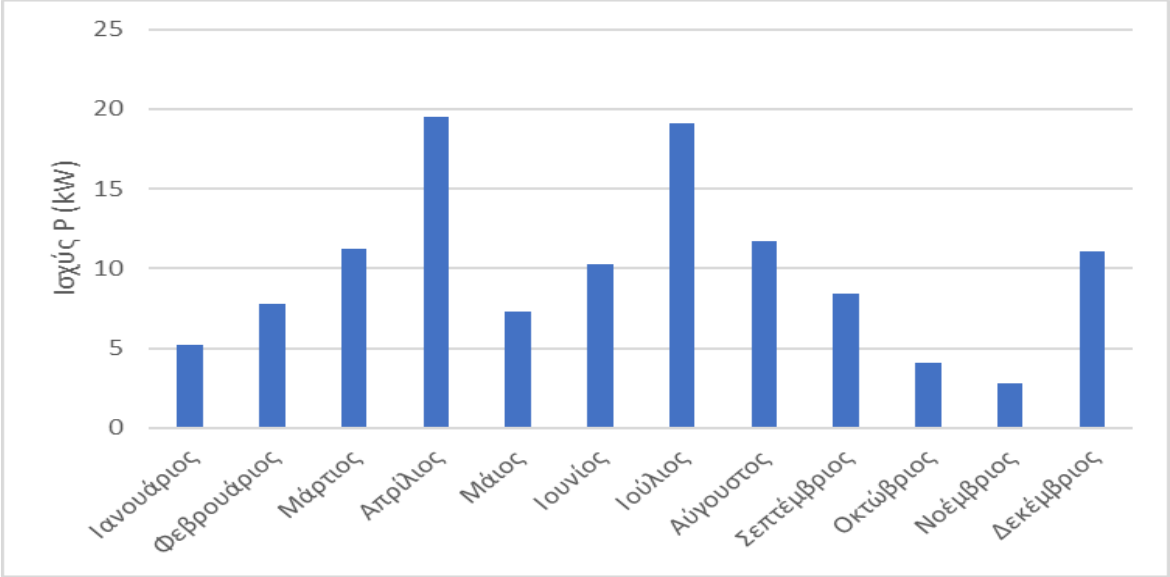
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για το Φαράγγι Σαμαριάς είναι σχεδόν 1kW.

Enercon E-82 (2000kW)



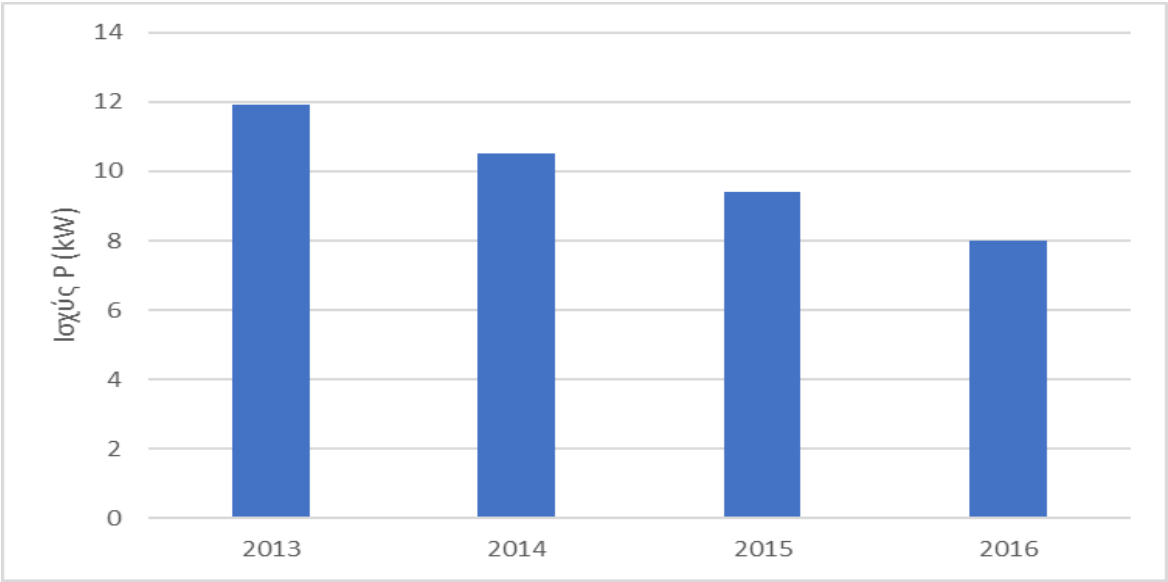
Σχήμα 52 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Φαράγγι Σαμαριάς E-82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για το Φαράγγι Σαμαριάς είναι αρκετά χαμηλή περίπου στα 80kw.



Σχήμα 53 Διάγραμμα μέσης ισχύος ανά μήνα στο Φαράγγι Σαμαριάς Ε-82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για το Φαράγγι Σαμαριάς είναι αρκετά χαμηλή περίπου στα 10kw.



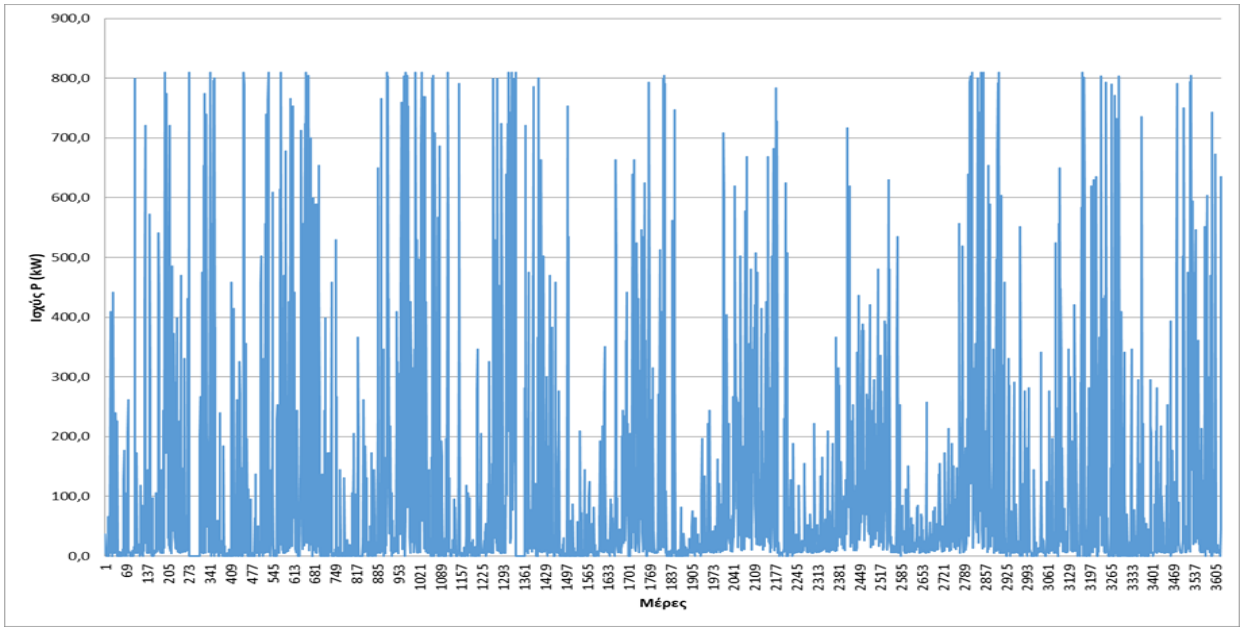
Σχήμα 54 Διάγραμμα μέσης ισχύος για τα έτη από 2013-2016 στο Φαράγγι Σαμαριάς Ε-82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για το Φαράγγι Σαμαριάς είναι αρκετά χαμηλή περίπου στα 8kw.

Νομός Ρεθύμνου

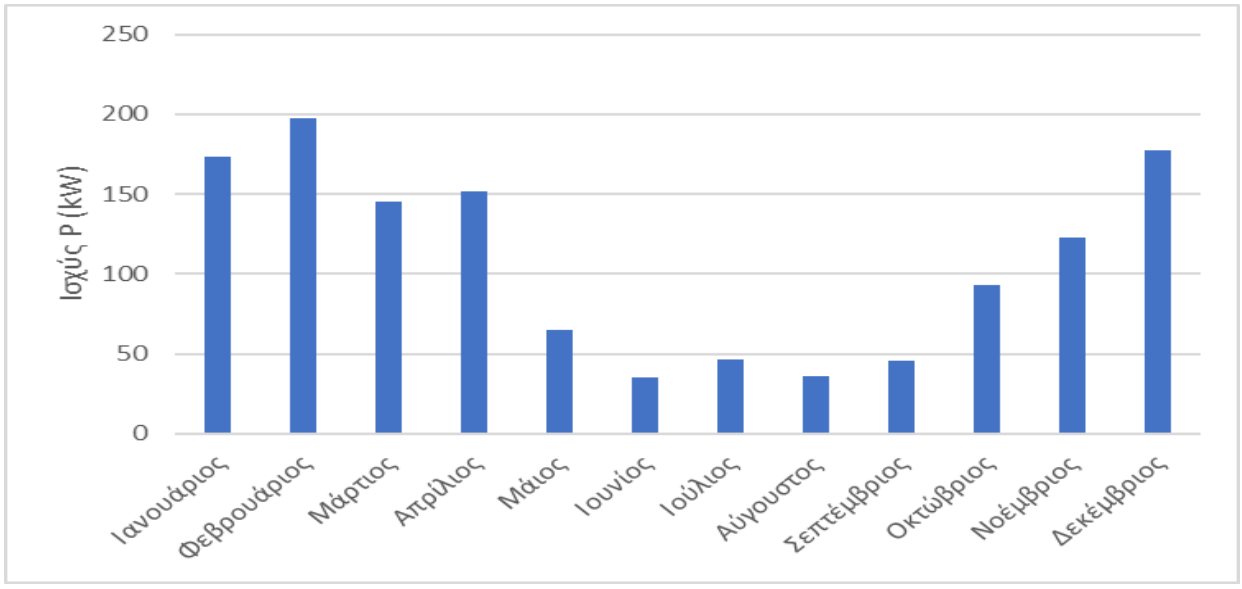
Ρέθυμνο

EnerconE-48 (800kW)



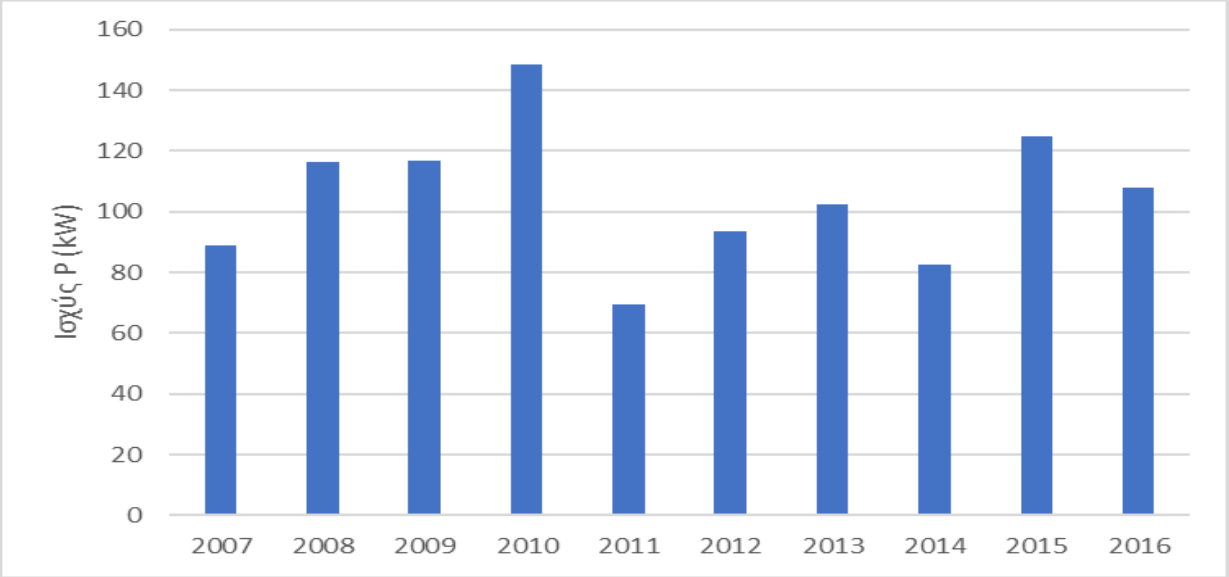
Σχήμα 55 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Ρέθυμνο E-48

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για το Ρέθυμνο είναι περίπου 500kw.



Σχήμα 56 Διάγραμμα μέσης ισχύος για το μήνα στο Ρέθυμνο E-48

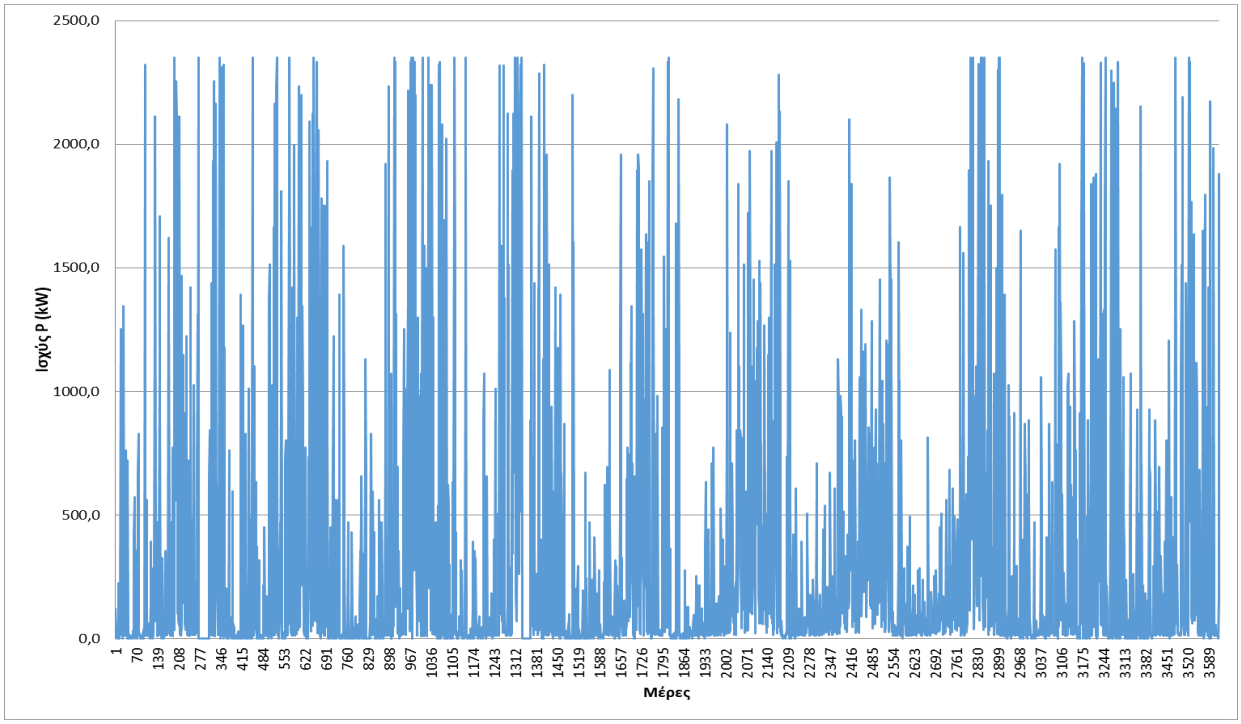
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για το Ρέθυμνο είναι περίπου 100kw.



Σχήμα 57: Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Ρέθυμνο για το διάστημα 2007 ως 2016 E-48

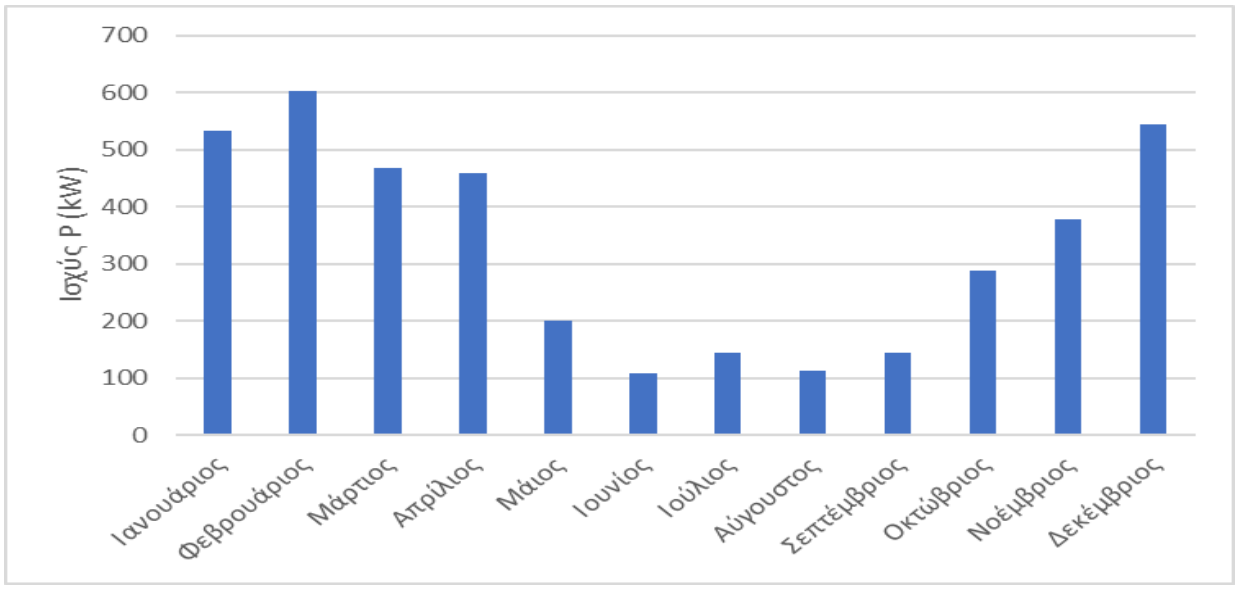
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για το Ρέθυμνο είναι περίπου 100kw.

Enercon E-82 (2000kW)



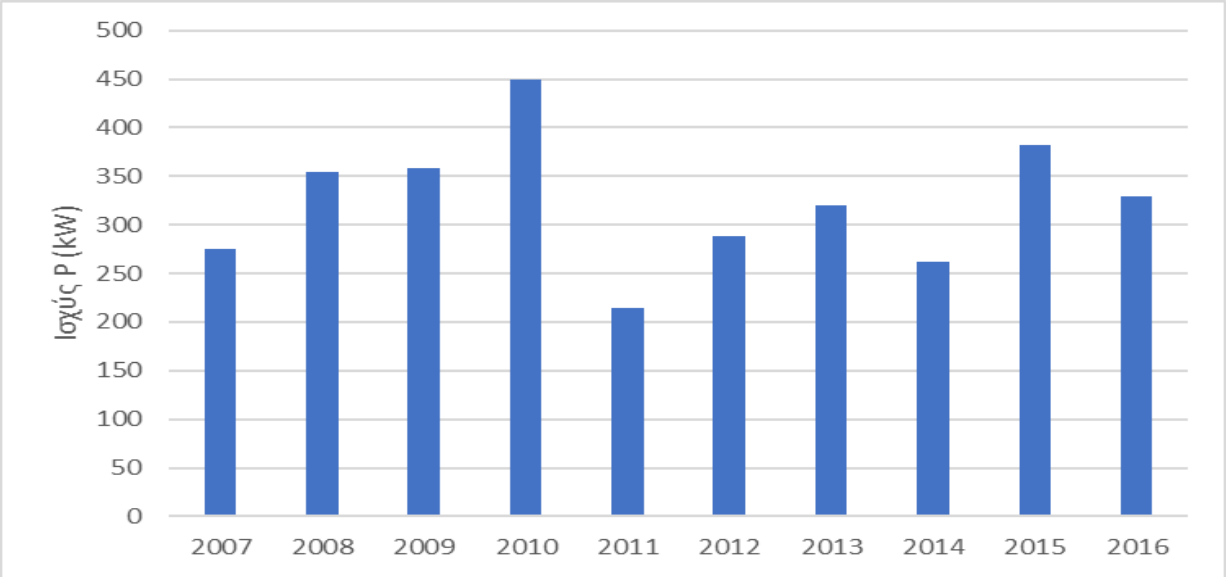
Σχήμα 58 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Ρέθυμνο E-82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για το Ρέθυμνο είναι περίπου 1000kw.



Σχήμα 59: Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Ρέθυμνο E-82 ανά μήνα

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για το Ρέθυμνο είναι περίπου 250kw.

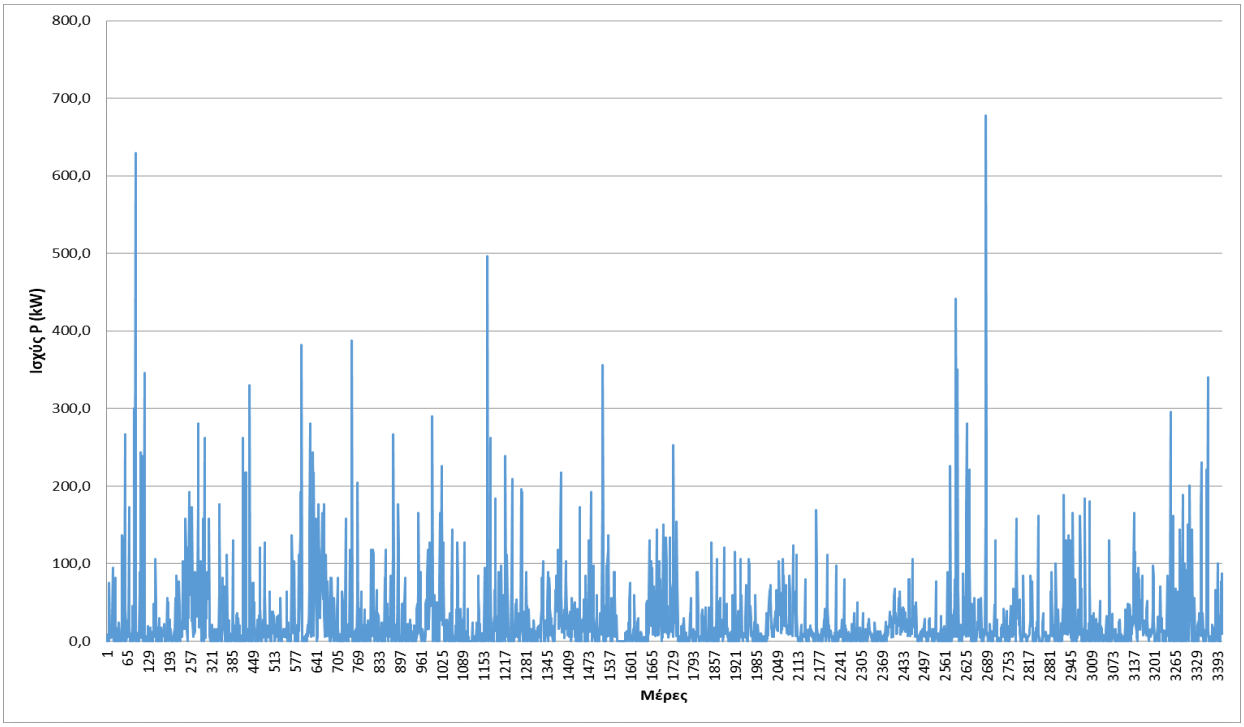


Σχήμα 60: Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Ρέθυμνο E-82 το διάστημα από 2007 ως 2016

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για το Ρέθυμνο είναι περίπου 250kw.

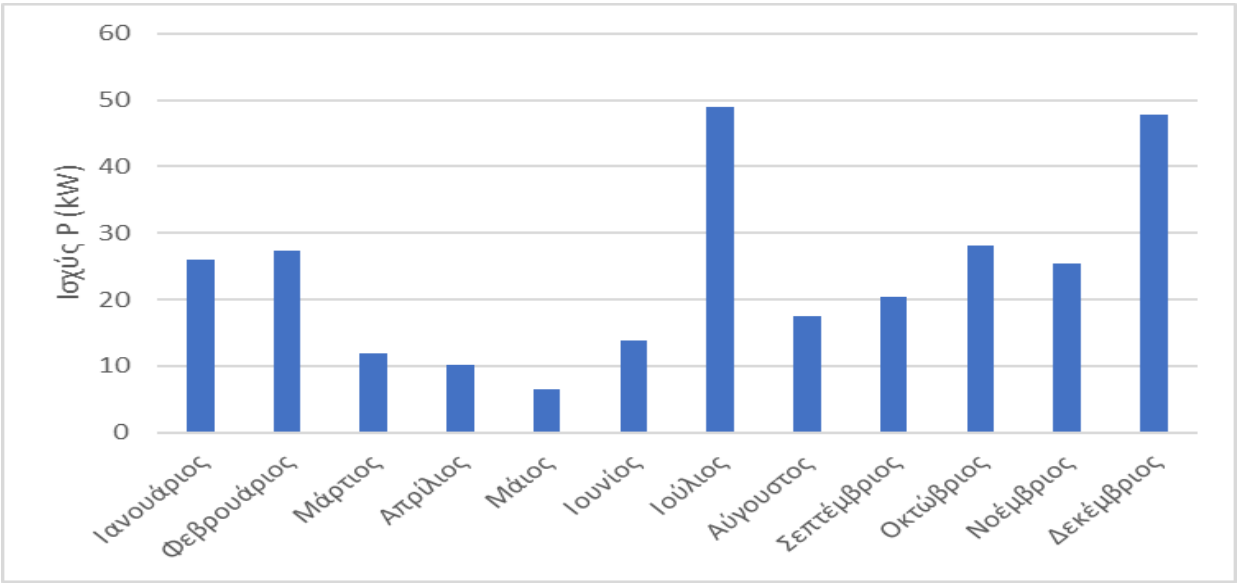
Σπήλι Ρεθύμνου

Enercon E-48 (800kW)



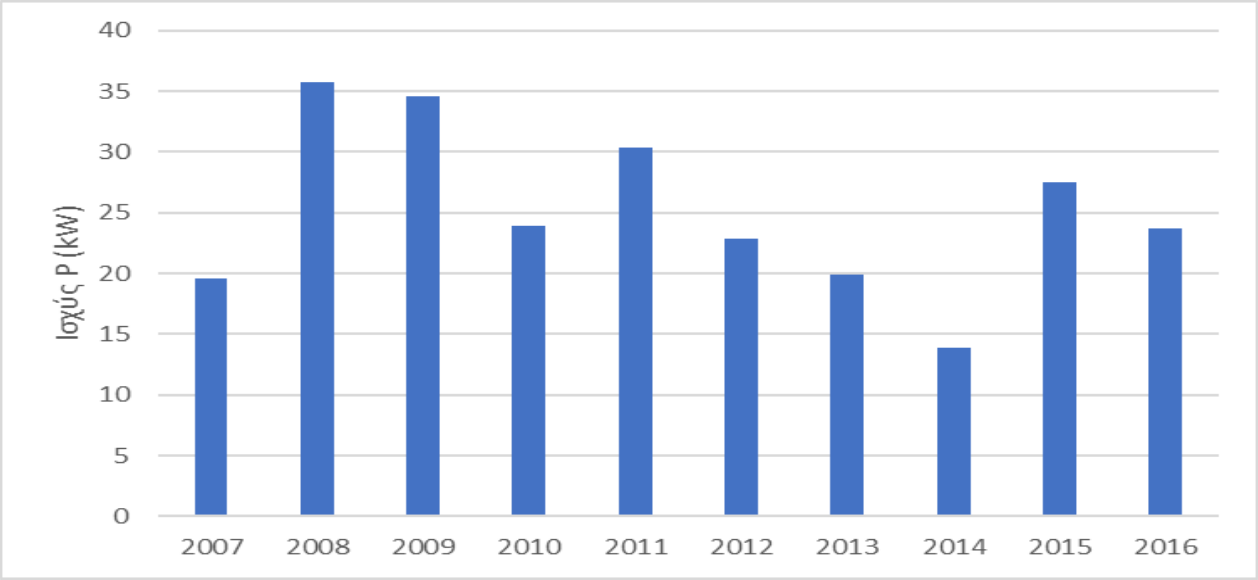
Σχήμα 61: Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Σπηλι Ρεθύμνου Ε-48

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για το Σπήλι Ρεθύμνου είναι περίπου 100kw.



Σχήμα 62 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Σπηλι Ρεθύμνου Ε-48 ανά μήνα

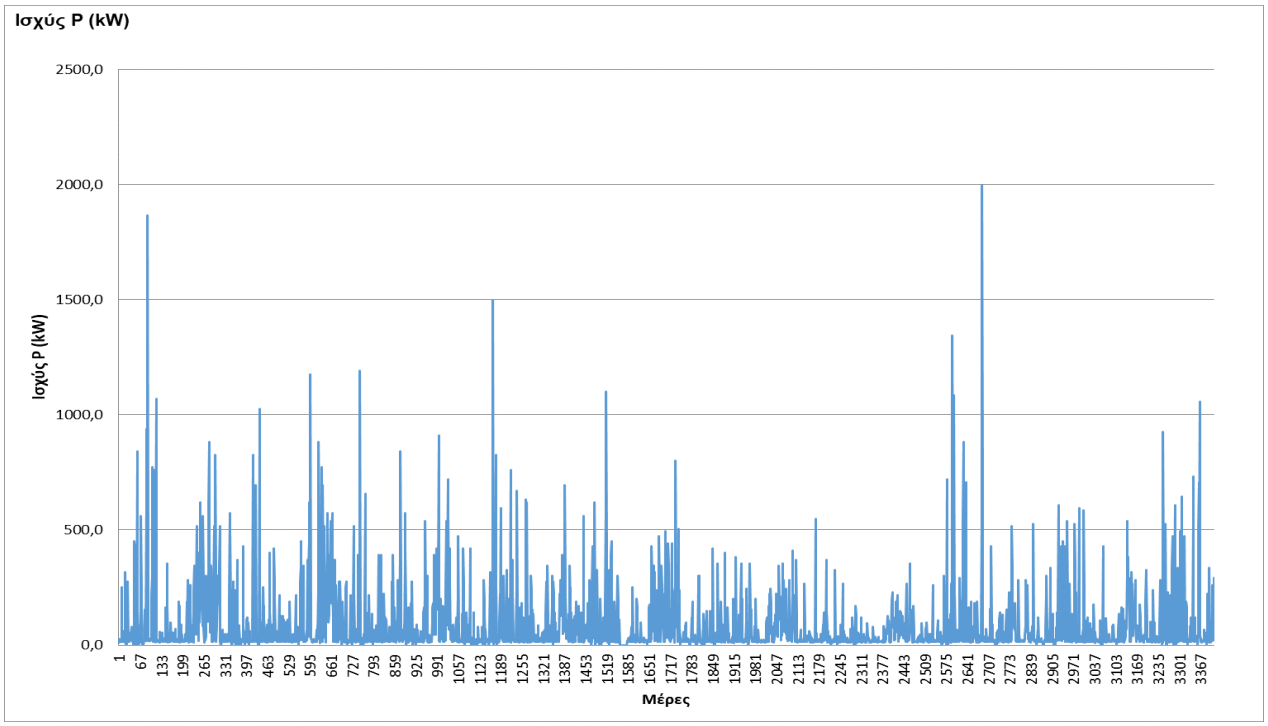
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για το Σπήλι Ρεθύμνου είναι περίπου 25kw.



Σχήμα 63 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Σπηλι Ρεθύμνου E-48 για το διάστημα ετών 2007-2016

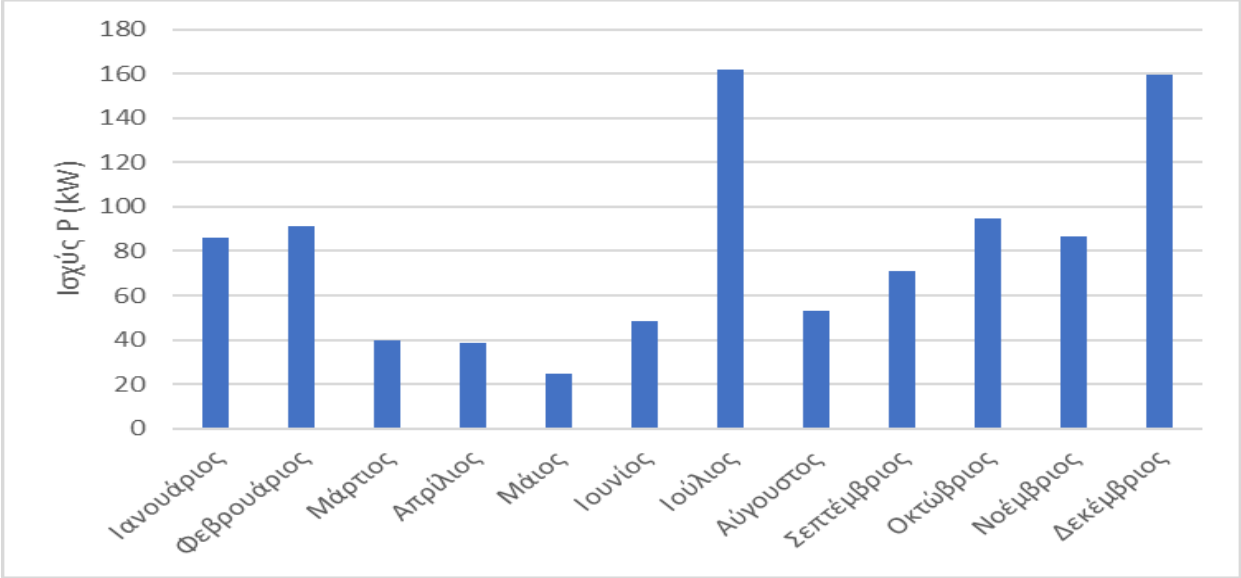
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για το Σπήλι Ρεθύμνου είναι περίπου 15kw.

Enercon E-82 (2000kW)



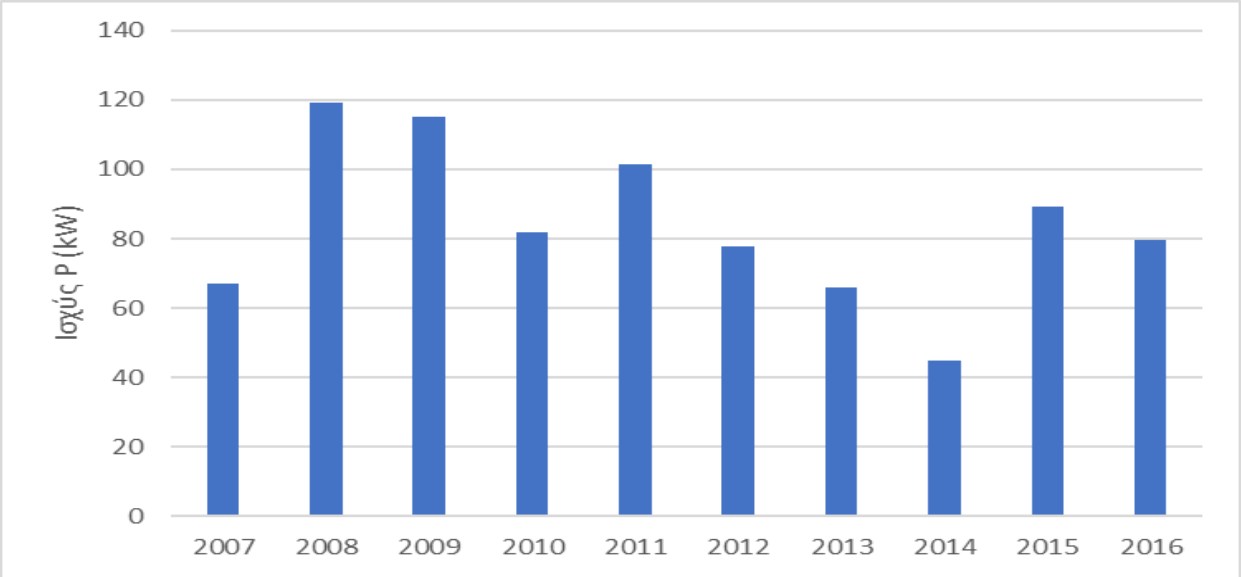
Σχήμα 64 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Σπηλι Ρεθύμνου Ε 82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για το Σπήλι Ρεθύμνου είναι περίπου 500kw.



Σχήμα 65 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Σπηλι Ρεθύμνου Ε-82 ανά μήνα

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για το Σπήλι Ρεθύμνου είναι περίπου 60kw.



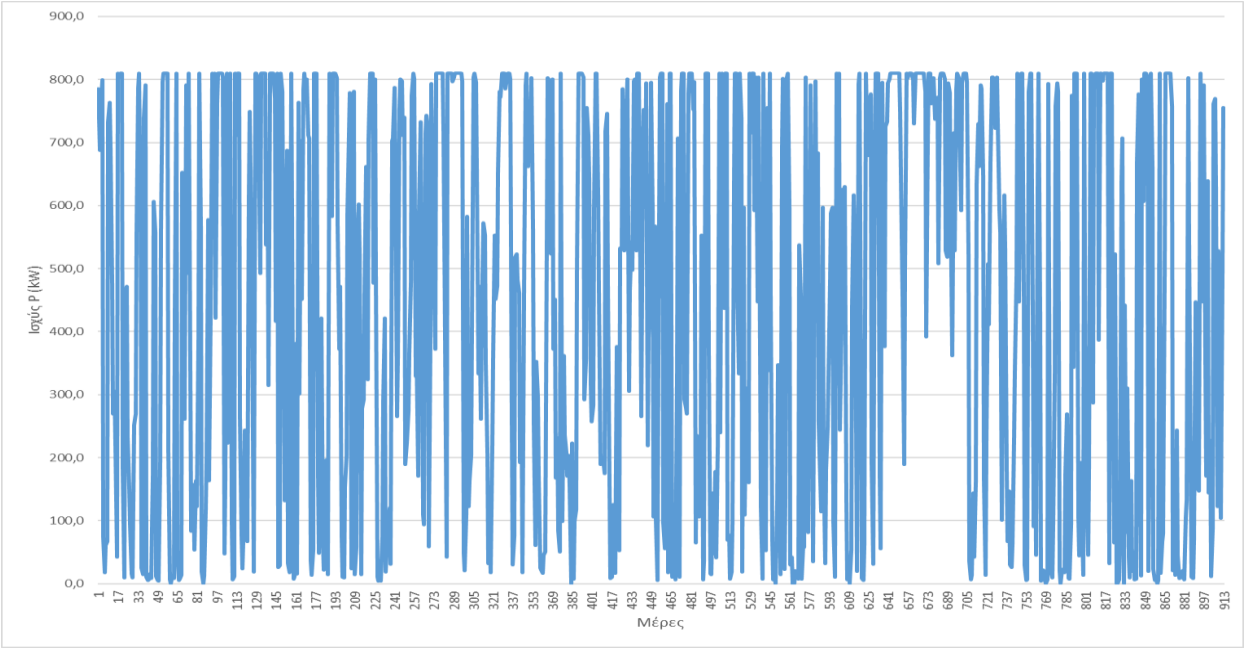
Σχήμα 66 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Σπηλι Ρεθύμνου E-82 για το διάστημα 2007-2016

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για το Σπήλι Ρεθύμνου είναι περίπου 60kw.

Νομός Λασιθίου

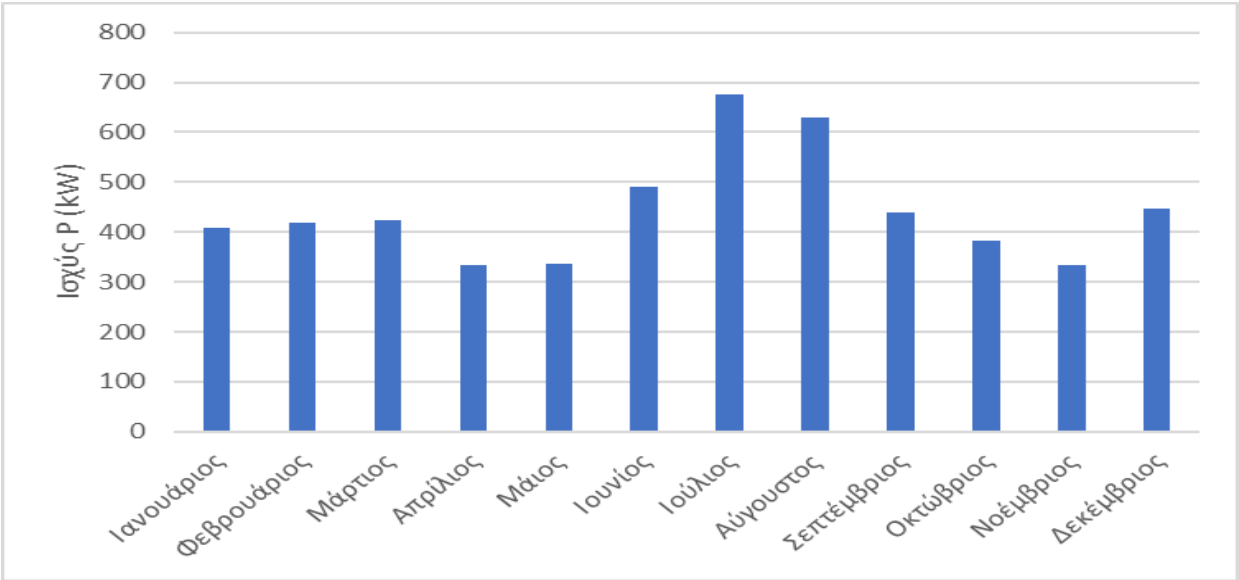
Φινοκάλια

Enercon E-48 (800kW)



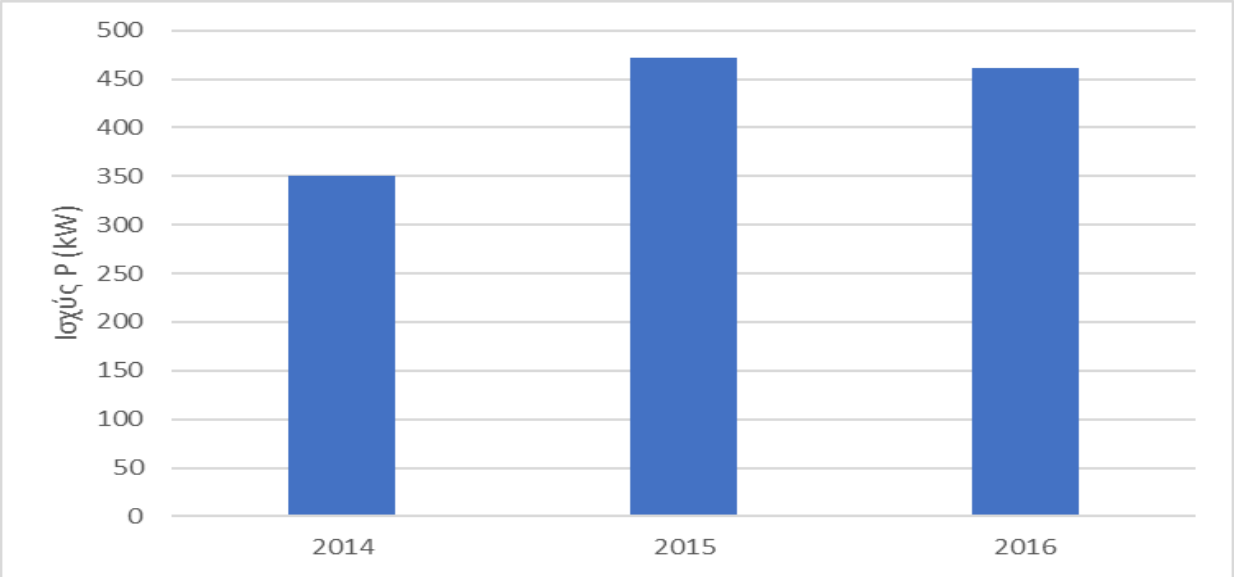
Σχήμα 67 Διάγραμμα μέσης ισχύος στα Φινοκάλια E-48

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για τα Φινοκάλια είναι περίπου 500kw.



Σχήμα 68 Διάγραμμα μέσης ισχύος στα Φινοκάλια E-48 ανά μήνα

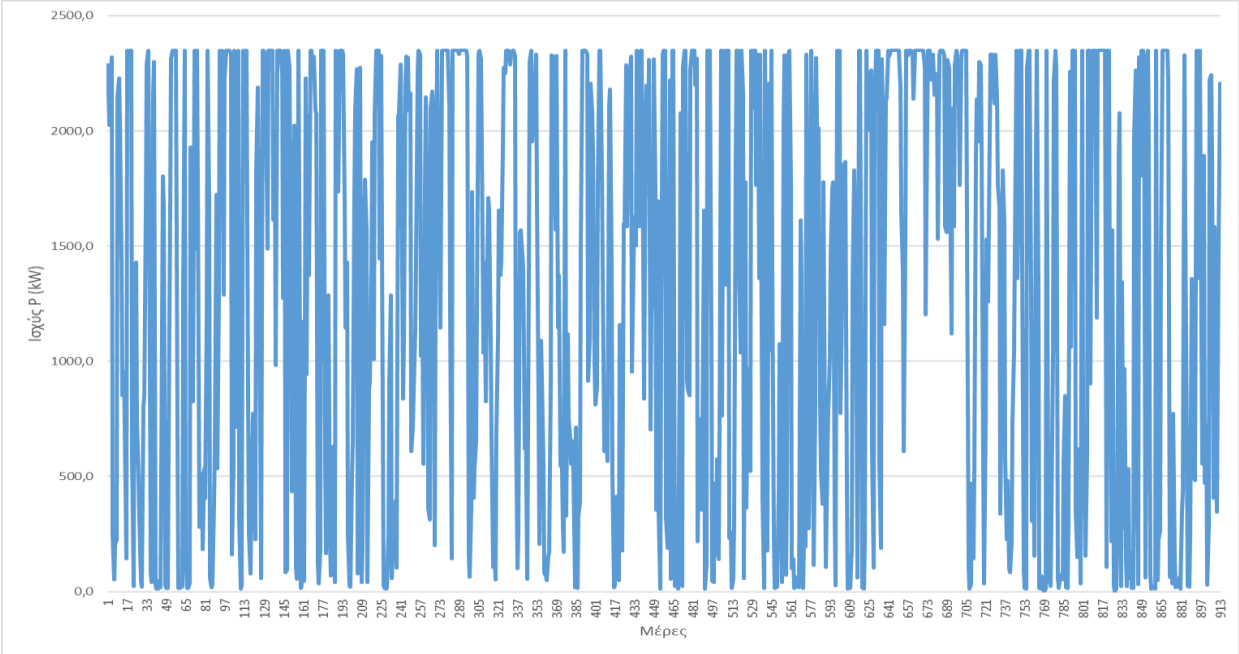
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για τα Φινοκάλια είναι περίπου 300kw.



Σχήμα 69 Διάγραμμα μέσης ισχύος στα Φινοκάλια E-48 τα έτη 2014-2015-2016

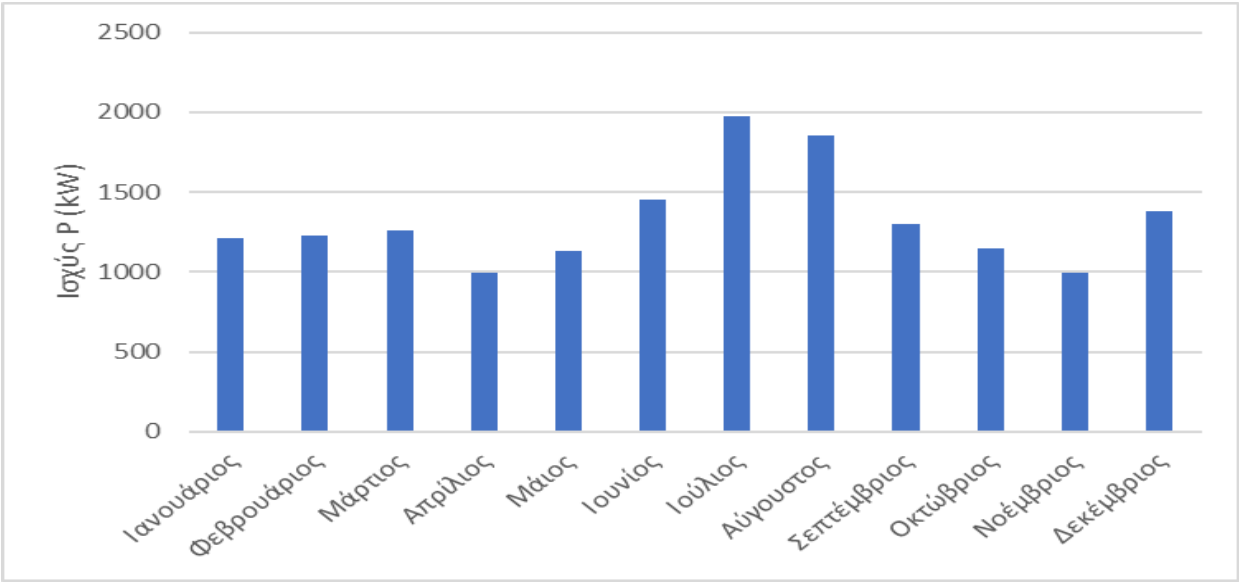
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για τα Φινοκάλια είναι περίπου 400kw.

Enercon E-82 (2000kW)



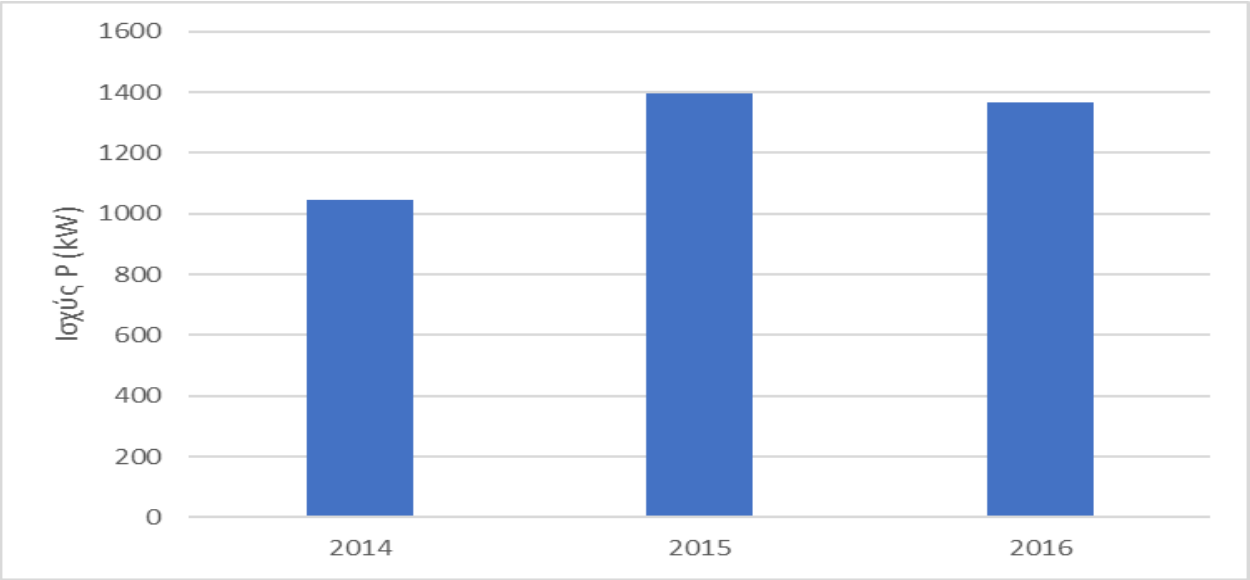
Σχήμα 70 Διάγραμμα μέσης ισχύος στα Φινοκάλια Ε-82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για τα Φινοκάλια είναι περίπου 1200kw.



Σχήμα 71 Διάγραμμα μέσης ισχύος στα Φινοκάλια Ε-82 ανά μήνα

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για τα Φινοκάλια είναι περίπου 1200kw.

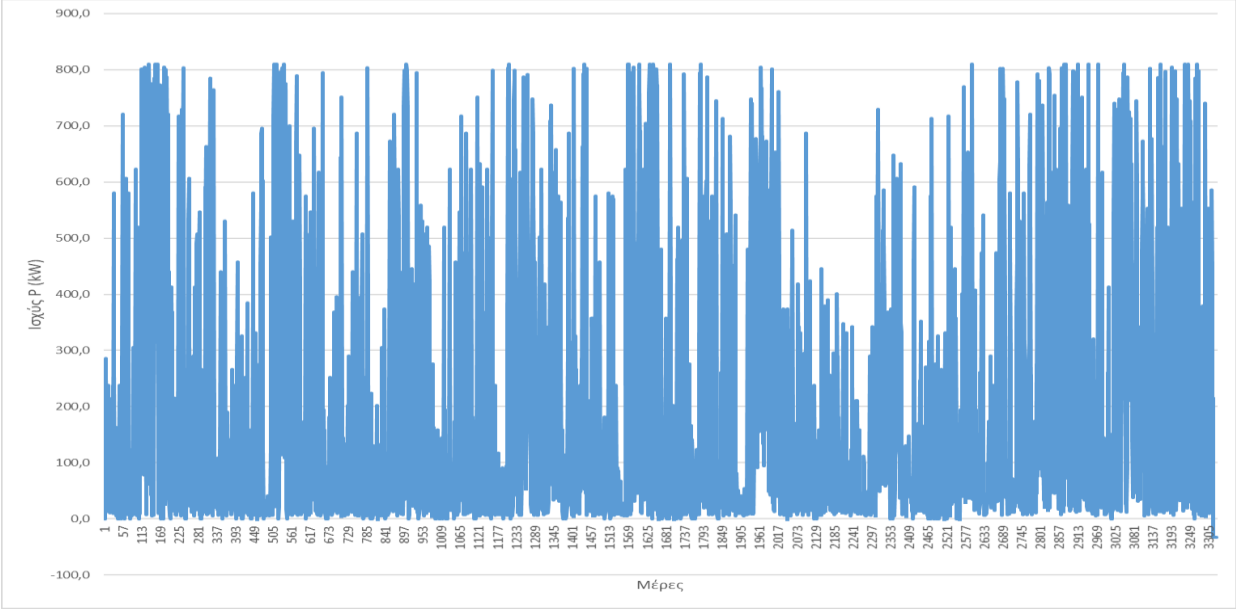


Σχήμα 72 Διάγραμμα μέσης ισχύος στα Φινοκάλια E-82 τα έτη 2014-2015-2016

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για τα Φινοκάλια είναι περίπου 1200kw.

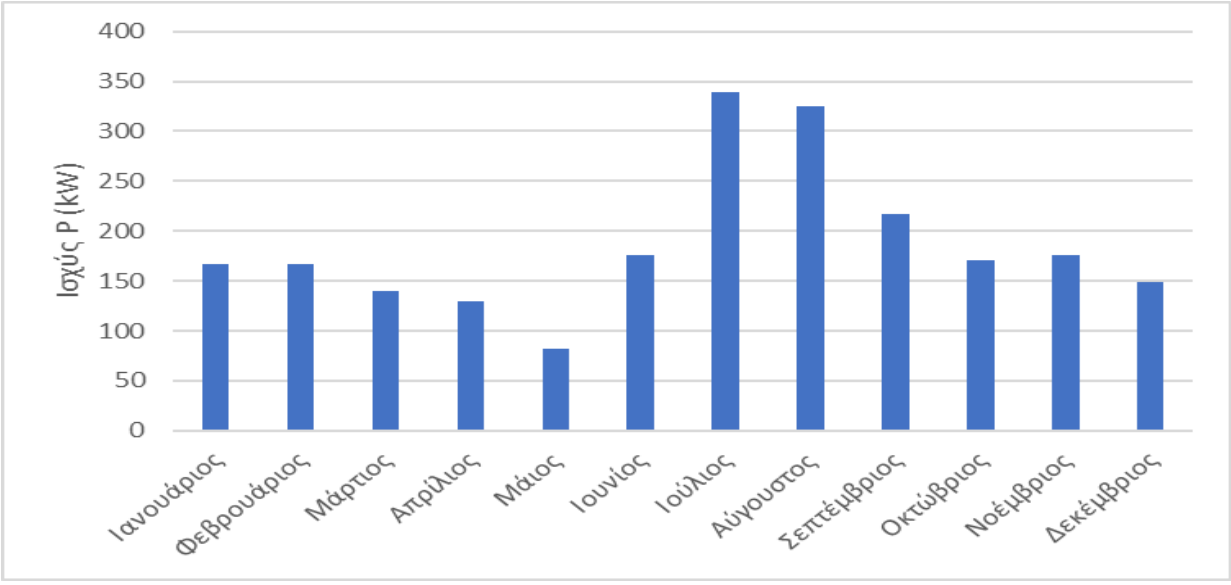
Ιεράπετρα

Enercon E-48 (800kW)



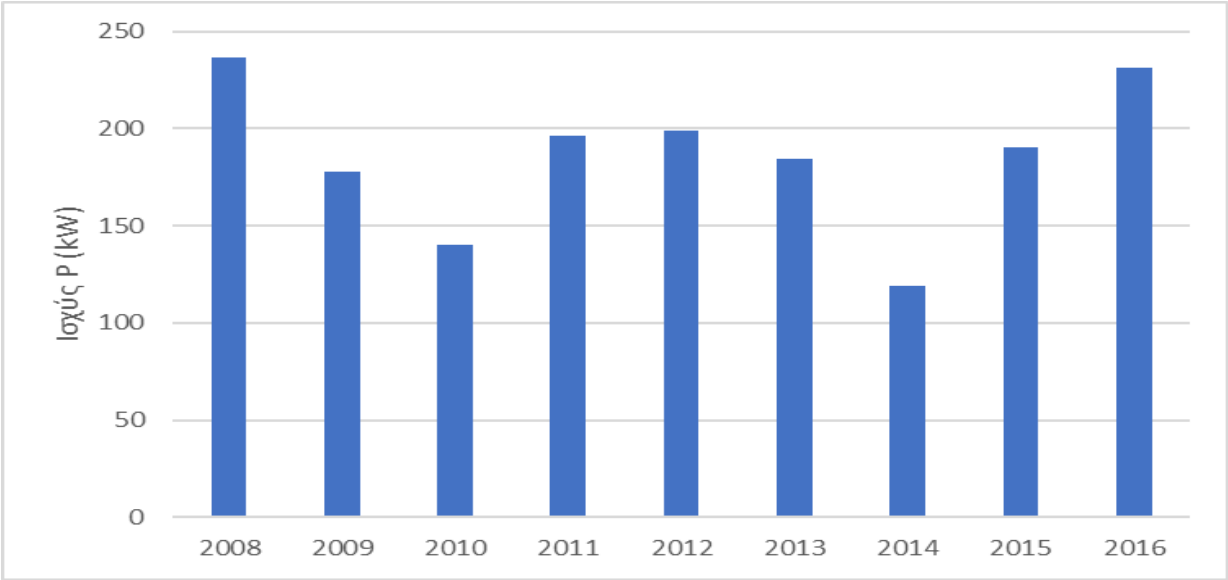
Σχήμα 73 Διάγραμμα μέσης ισχύος στην Ιεράπετρα Ε-48

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για την Ιεράπετρα είναι περίπου 400kw.



Σχήμα 74: Διάγραμμα μέσης ισχύος στην Ιεράπετρα Ε-48 ανά μήνα

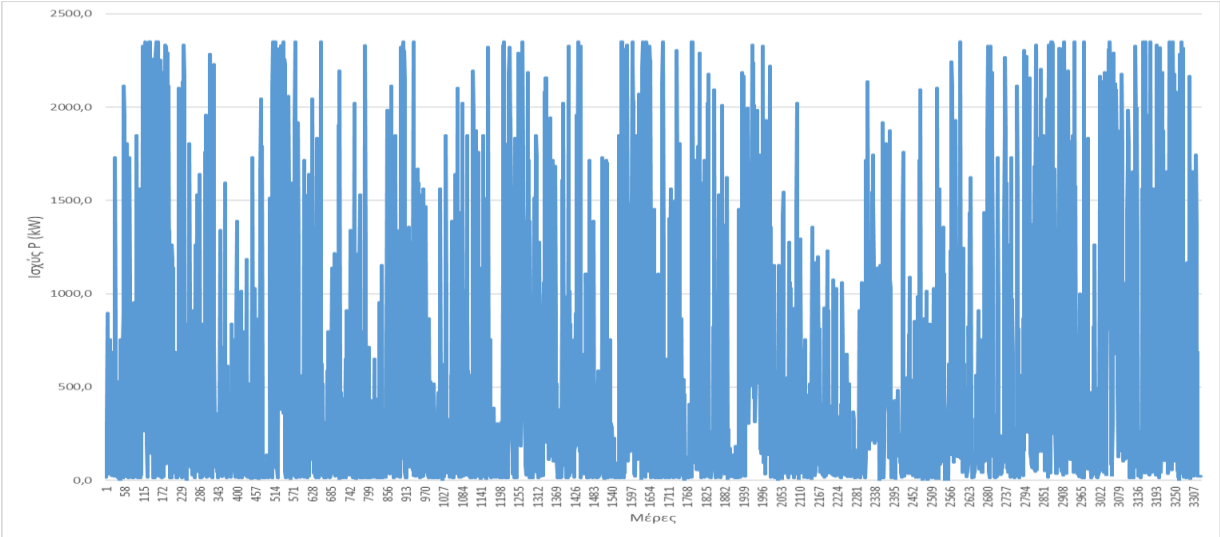
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για την Ιεράπετρα είναι περίπου 200kw.



Σχήμα 75 Διάγραμμα μέσης ισχύος στην Ιεράπετρα E-48 τα έτη από 2008-2016

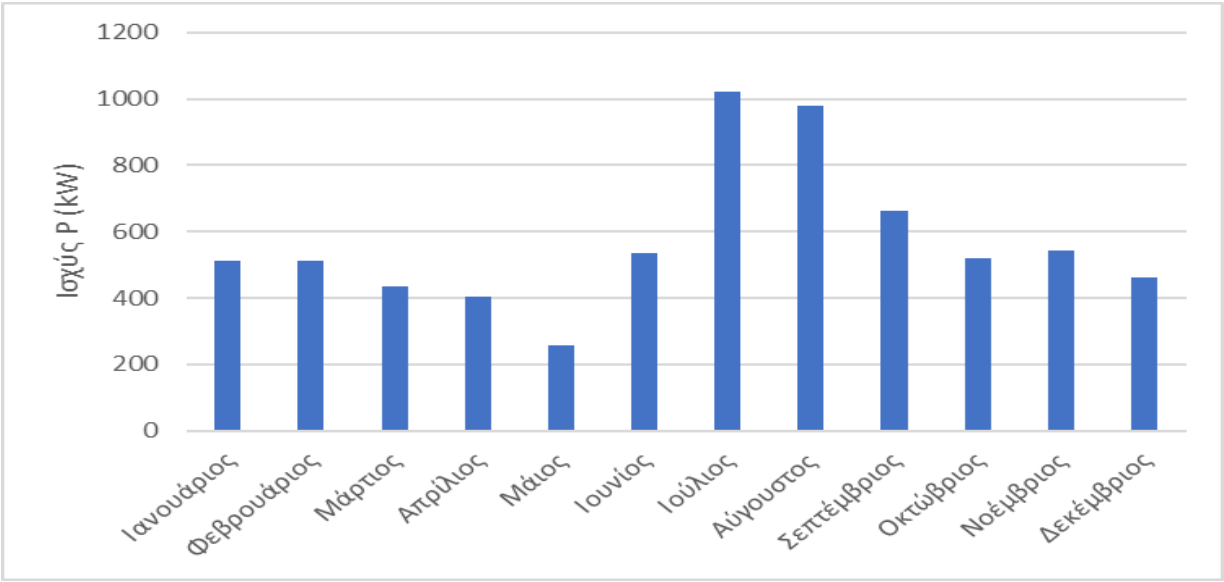
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για την Ιεράπετρα είναι περίπου *150kw*.

Enercon E-82 (2000kW)



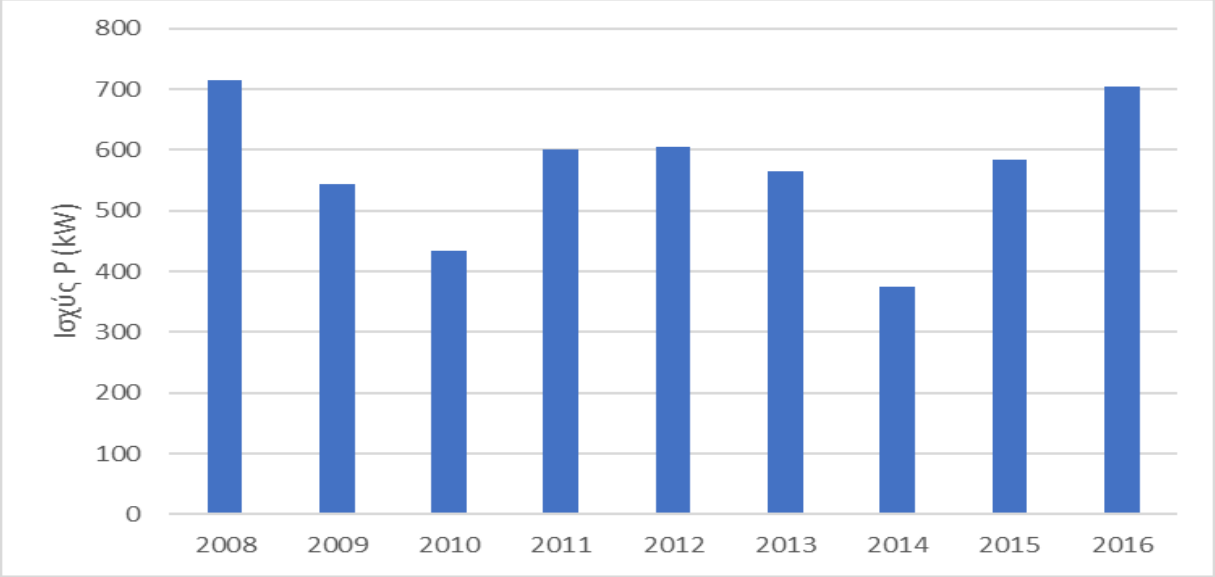
Σχήμα 76 Διάγραμμα μέσης ισχύος στην Ιεράπετρα E-82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για την Ιεράπετρα είναι περίπου 1200kw.



Σχήμα 77 Διάγραμμα μέσης ισχύος στην Ιεράπετρα E-82 ανά μήνα

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για την Ιεράπετρα είναι περίπου 500kw.



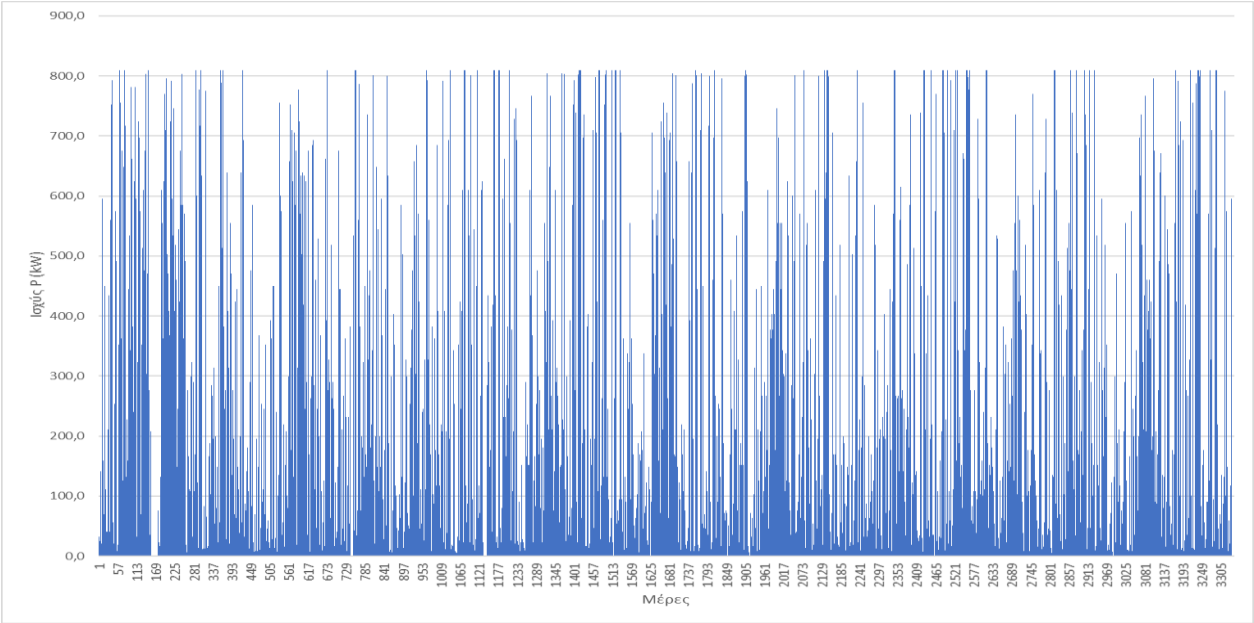
Σχήμα 78 Διάγραμμα μέσης ισχύος στην Ιεράπετρα Ε-82 τα έτη από 2008-2016

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για την Ιεράπετρα είναι περίπου 350kw.

Νομός Ηρακλείου

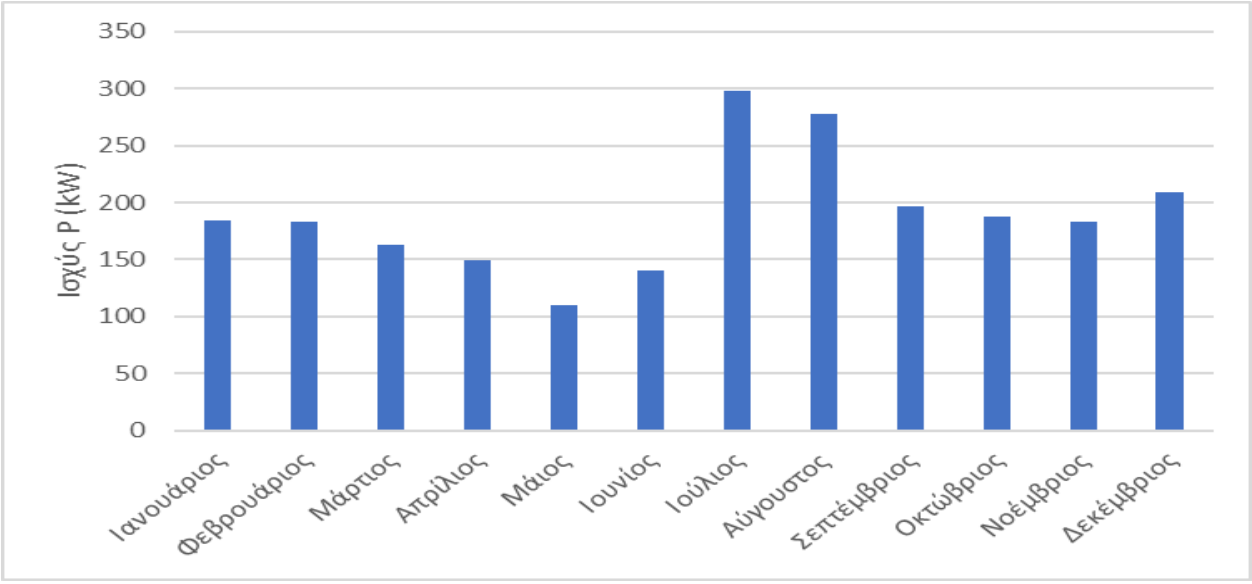
Ηράκλειο Λιμάνι

Enercon E-48 (800kW)



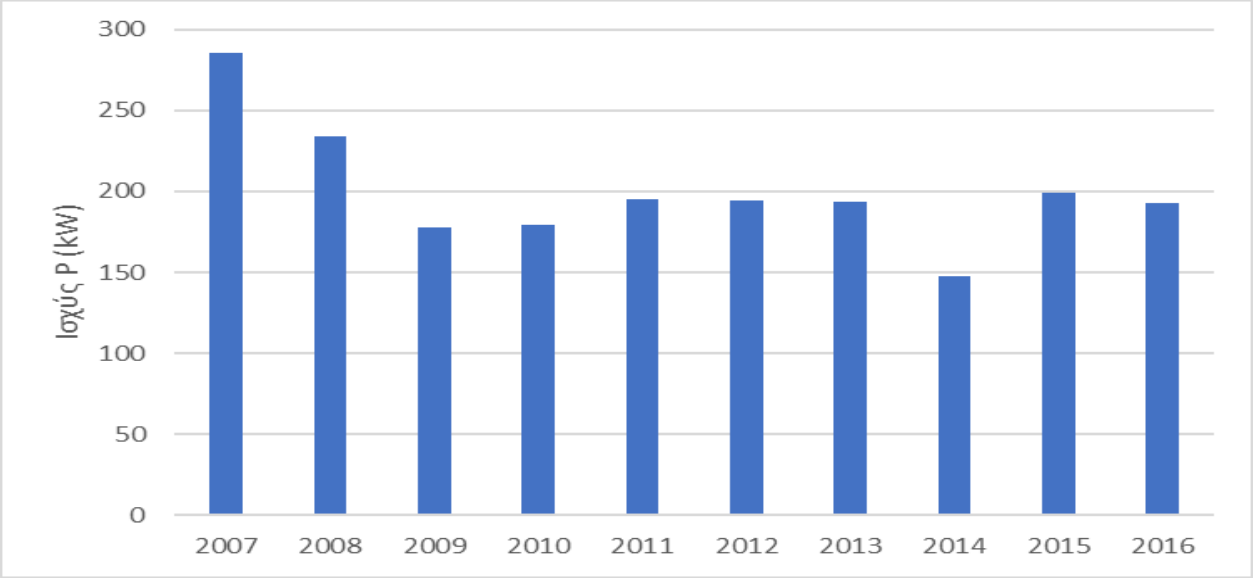
Σχήμα 79 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Λιμάνι Ηρακλείου E-48

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για το Ηράκλειο Λιμάνι είναι περίπου 300kw.



Σχήμα 80 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Λιμάνι Ηρακλείου E-48 ανά μήνα

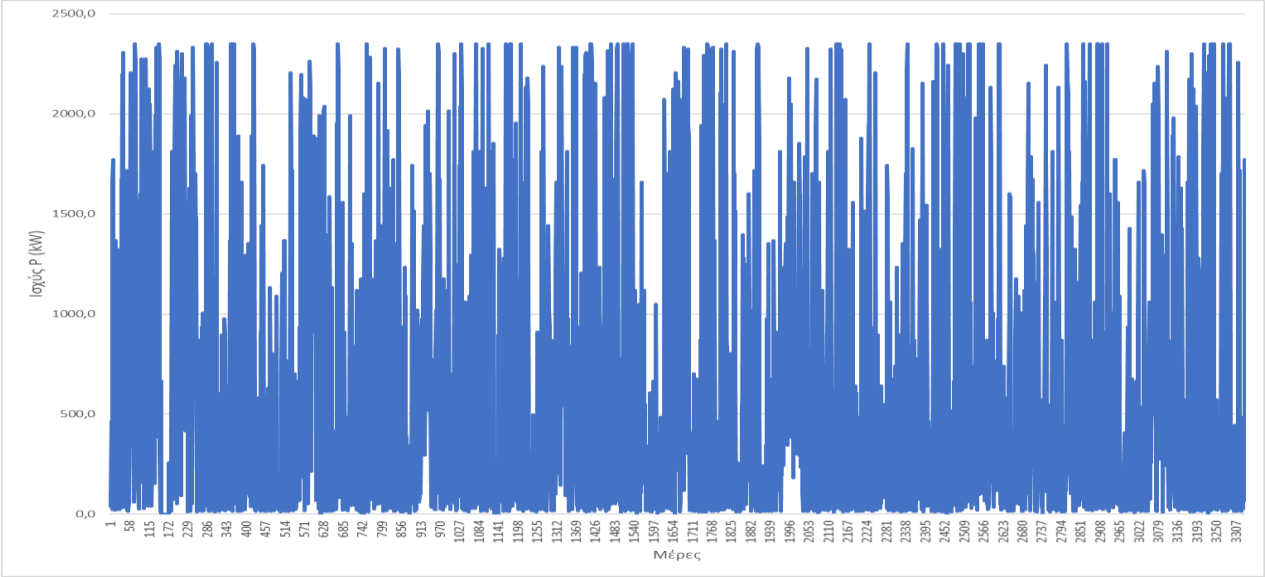
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για το Ηράκλειο Λιμάνι είναι περίπου 200kw.



Σχήμα 81 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Λιμάνι Ηρακλείου Ε-48 ανά έτος το διάστημα 2007-2016

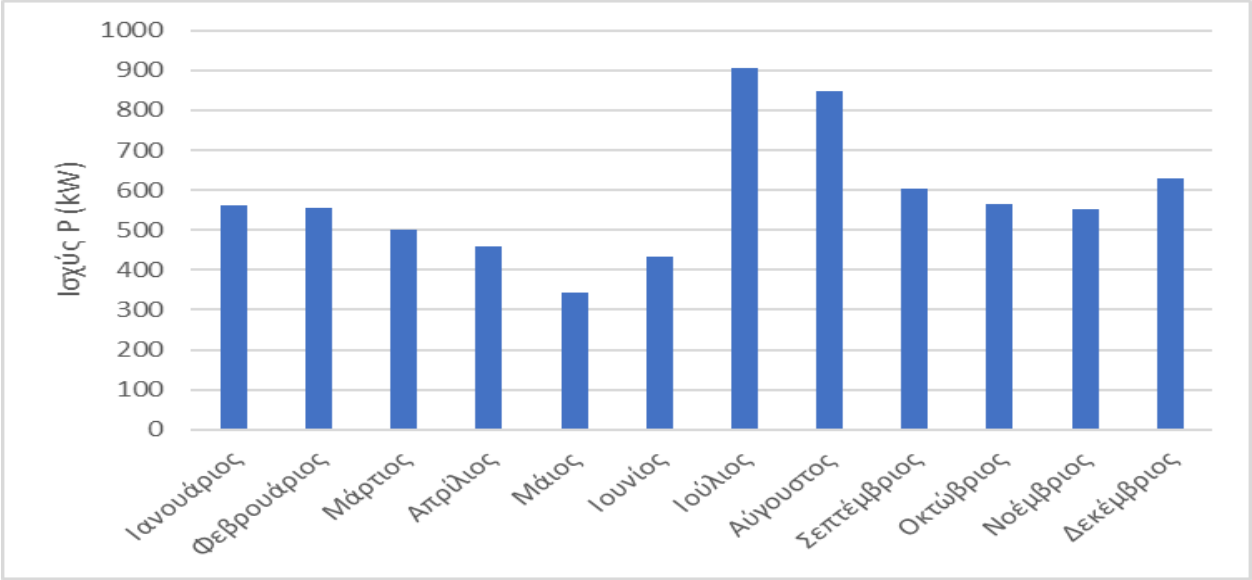
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για το Ηράκλειο Λιμάνι είναι περίπου 200kw.

Enercon E-82 (2000kW)



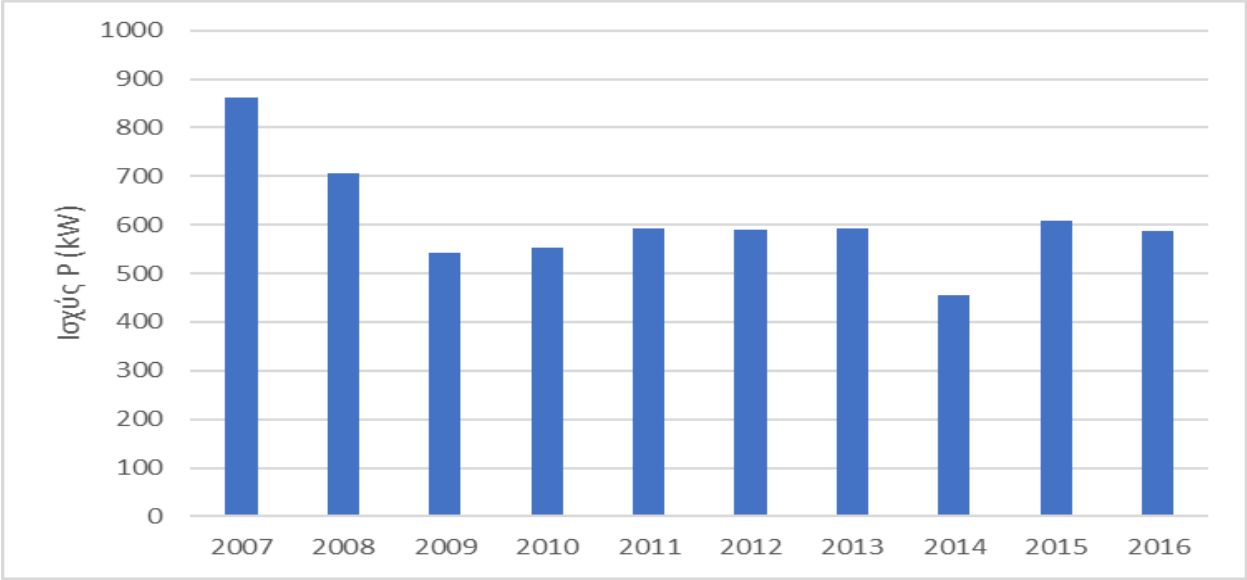
Σχήμα 82 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Λιμάνι Ηρακλείου E-82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για το Ηράκλειο Λιμάνι είναι περίπου 1200kw.



Σχήμα 83: Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Λιμάνι Ηρακλείου E-82 ανά μήνα

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για το Ηράκλειο Λιμάνι είναι περίπου 500kw.

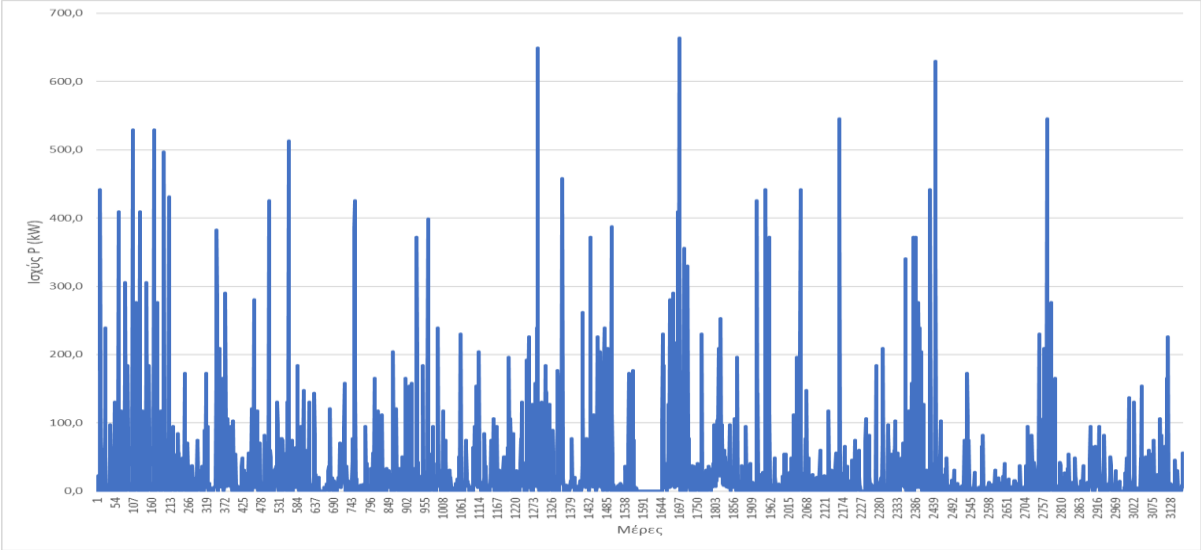


Σχήμα 84 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Λιμάνι Ηρακλείου E-82 ανά έτος το διάστημα 2007-2016

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για το Ηράκλειο Λιμάνι είναι περίπου 600kw.

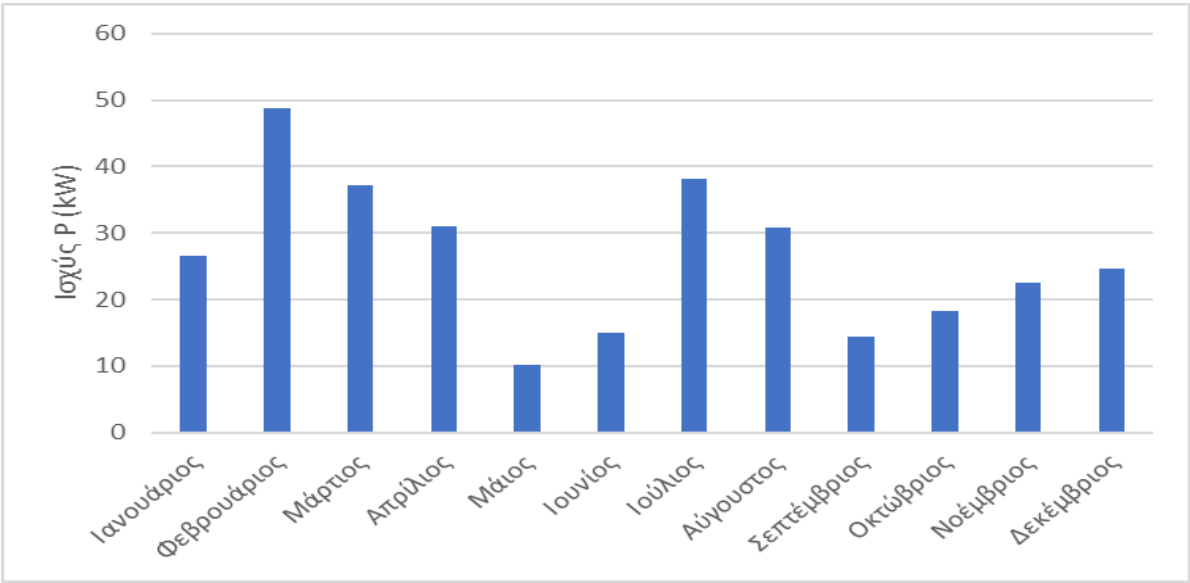
Μεταξοχώρι

Enercon E-48 (800kW)



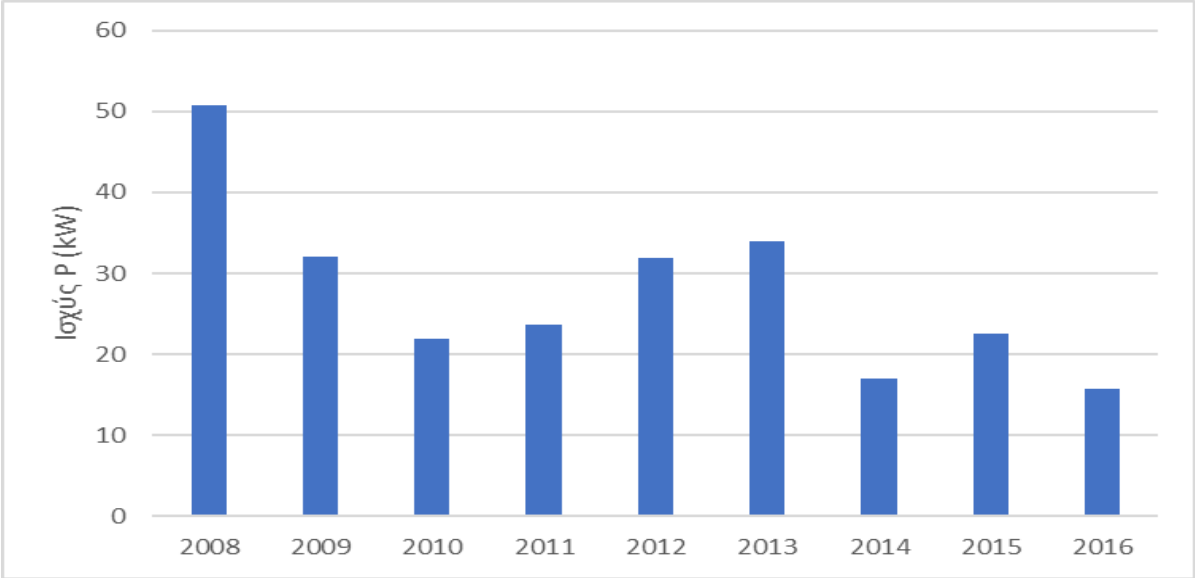
Σχήμα 85: Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Μεταξοχώρι E-48

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για το Μεταξοχώρι είναι περίπου 150kw.



Σχήμα 86: Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Μεταξοχώρι E-48 ανά μήνα

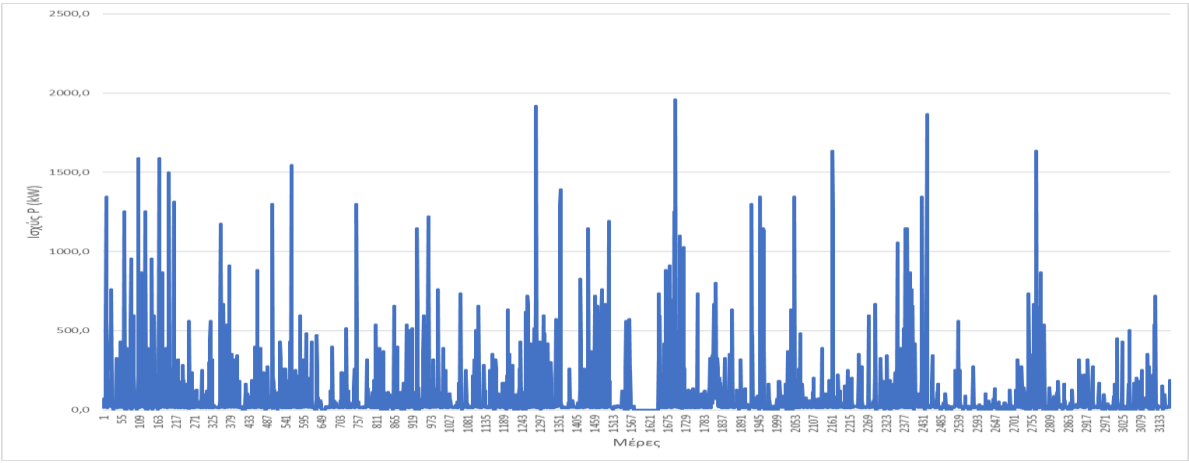
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για το Μεταξοχώρι είναι περίπου 15kw.



Σχήμα 87: Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Μεταξοχώρι E-48 ανά έτος το διάστημα 2008-2016

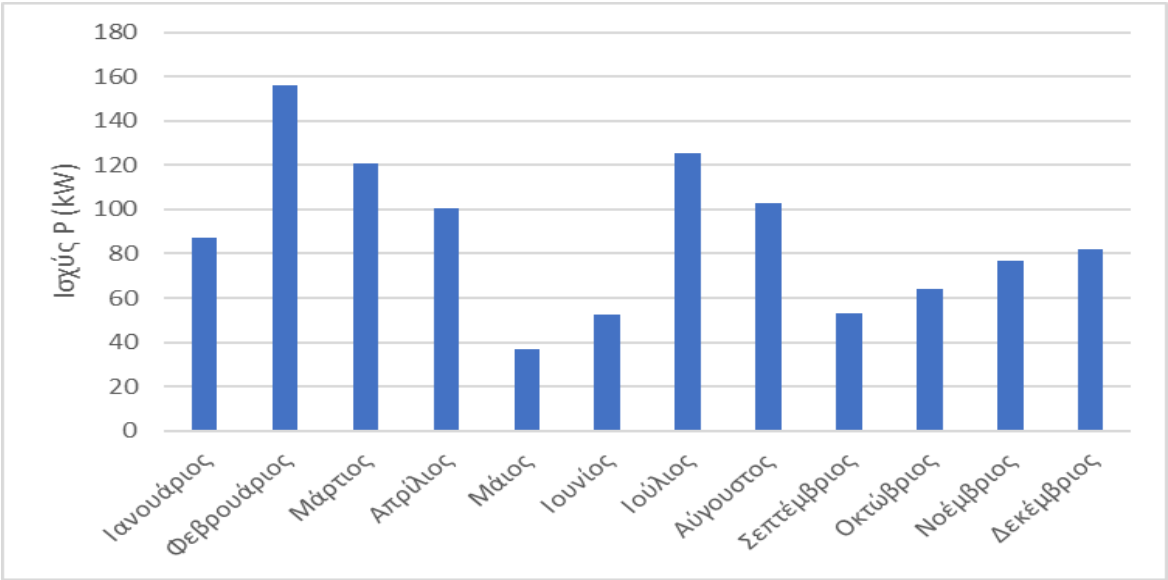
Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-48 (800kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για το Μεταξοχώρι είναι περίπου 20kw.

Enercon E-82 (2000kW)



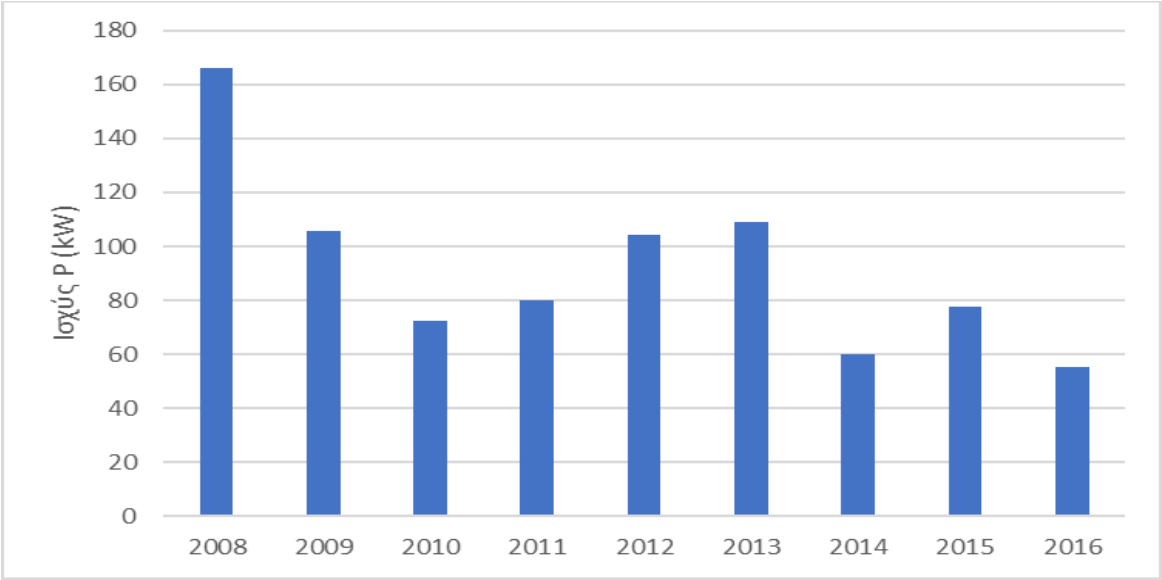
Σχήμα 88 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Μεταξοχώρι E-82

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς για το Μεταξοχώρι είναι περίπου 500kw.



Σχήμα 89 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Μεταξοχώρι Ε-82 ανά μήνα

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά μήνα για το Μεταξοχώρι είναι περίπου 60kw.



Σχήμα 90 Διάγραμμα μέσης ισχύος στο Μεταξοχώρι Ε-82 ανά έτος το διάστημα 2008-2016

Το παραπάνω διάγραμμα αντιστοιχεί στην ανεμογεννήτρια EnerconE-82 (2000kw), όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα η μέση ισχύς ανά έτος για το Μεταξοχώρι είναι περίπου 70kw.

5.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ (Capacity Factor-CF) ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Στη συνέχεια , έγινε η κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων ώστε να βρεθούν για τις περιοχές που μελετήθηκαν το συντελεστή χρησιμοποίησης (*Capacity Factor-CF*) της κάθε ανεμογεννήτριας. Ως *capacity factor* εννοείται ο μέσος ετήσιος συντελεστής της ανεμογεννήτριας, που ορίζεται ως ο λόγος της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ανεμογεννήτρια προς τη θεωρητική μέγιστη ετήσια παραγωγή. Για την θεωρητική μέγιστη ετήσια παραγωγή ενέργειας θεωρήθηκε ότι η παραγωγή της ανεμογεννήτριας παραμένει σταθερή και ίση με την ονομαστική ισχύ της καθ' όλη τη διάρκεια του έτους .

Νομός Χανίων

Πίνακας 13: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα Χάνια σε *kWh ανά Α/Γ*

Μήνας	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	28872	94104
Φεβρουάριος	39384	126864
Μάρτιος	36072	115992
Απρίλιος	35856	113976
Μάιος	29232	95328
Ιούνιος	23544	75528
Ιούλιος	17712	56736
Αύγουστος	11808	37368
Σεπτέμβριος	13824	46008
Οκτώβριος	14616	50112
Νοέμβριος	13896	48744
Δεκέμβρης	26496	86760

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι μηνιαίες kWh για τη περιοχή Χανιά, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 14: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα Χάνια σε *kWh ανά Α/Γ*

Έτος	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
2006	37142,4	188340
2008	452016	1428756
2009	380184	1220268
2010	372300	1179096
2011	239148	777012
2012	357408	1147560
2013	324996	1060836
2014	226008	763872
2015	246156	799788
2016	310104	1001268

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες kWh για τη περιοχή Χανιά, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 15:Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στα Χάνια σε Ε-48

Ε-48 (800KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2006	37142,4	7008000	0,0053
2008	452016	7008000	0,0645
2009	380184	7008000	0,05425
2010	372300	7008000	0,0531
2011	239148	7008000	0,0341
2012	357408	7008000	0,051
2013	324996	7008000	0,0463
2014	226008	7008000	0,03225
2015	246156	7008000	0,035125
2016	310104	7008000	0,04425
ΜΕΣΟΣ			**4,203%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το *capacity factor* για την ανεμογεννήτρια Ε-48 στην περιοχή των Χανίων.

Πίνακας 16 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στα Χάνια σε Ε-82

E-82 (2000KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2006	188340	17520000	0,01075
2008	1428756	17520000	0,08155
2009	1220268	17520000	0,06965
2010	1179096	17520000	0,0673
2011	777012	17520000	0,04435
2012	1147560	17520000	0,0655
2013	1060836	17520000	0,06055
2014	763872	17520000	0,0436
2015	799788	17520000	0,04565
2016	1001268	17520000	0,05715
ΜΕΣΟΣ			**5,46%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το capacity factor για την ανεμογεννήτρια Ε-82 στην περιοχή των Χανίων.

<u>Σαμαριά Φαράγγι</u>

<u>Πίνακας 17</u> Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Φαράγγι Σαμαριάς σε *kWh ανά Α/Γ*

Μήνας	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	648	3744
Φεβρουάριος	792	5616
Μάρτιος	648	8064
Απρίλιος	2376	14040
Μάιος	0	5256
Ιούνιος	0	7416
Ιούλιος	1008	13752
Αύγουστος	0	8424
Σεπτέμβριος	144	6048
Οκτώβριος	72	2952
Νοέμβριος	72	2016
Δεκέμβρης	1728	7992

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι μηνιαίες kWh για τη περιοχή Σαμαριά Φαράγγι, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

<u>Πίνακας 18</u> Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα Φαράγγι Σαμαριάς σε *kWh ανά Α/Γ*

Έτος	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
2014	4380	91980
2015	9636	82344
2016	3504	70080

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες kWh για τη περιοχή Σαμαριά Φαράγγι, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 19 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στα Φαράγγι Σαμαριάς σε E-48

E-48 (800KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2014	4380	7008000	0,000625
2015	9636	7008000	0,001375
2016	3504	7008000	0,0005
ΜΕΣΟΣ			**0,0833%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το *capacity factor* για την ανεμογεννήτρια E-48για τη περιοχή Σαμαριά Φαράγγι.

Πίνακας 20 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στα Χάνια σε E-82

E-82 (2000KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2014	91980	17520000	0,00525
2015	82344	17520000	0,0047
2016	70080	17520000	0,004
ΜΕΣΟΣ			**0,465%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το capacity factor για την ανεμογεννήτρια E-82για τη περιοχή Σαμαριά Φαράγγι.

Νομός Ρεθύμνου

Ρέθυμνο

Πίνακας 21 Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Ρέθυμνο σε *kWh ανά Α/Γ*

Μήνας	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	124992	384696
Φεβρουάριος	142056	434160
Μάρτιος	104472	336168
Απρίλιος	109080	330912
Μάιος	46944	144144
Ιούνιος	25488	77976
Ιούλιος	33192	103536
Αύγουστος	25776	81360
Σεπτέμβριος	32904	103608
Οκτώβριος	67104	207864
Νοέμβριος	88128	271440
Δεκέμβρης	127584	391680

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι μηνιαίες kWh για τη περιοχή του Ρέθυμνο, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 22 Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Ρέθυμνο σε *kWh ανά Α/Γ*

Έτος	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
2008	1019664	3099288
2009	1022292	3141336
2010	1300860	3934116
2011	607944	1881648
2012	819060	2524632
2013	898776	2804076
2014	723576	2293368
2015	1095000	3350700
2016	943452	2885544

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες kWh για τη περιοχή του Ρέθυμνο, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 23 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στο Ρέθυμνο σε E-48

E-48 (800KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2008	1019664	7008000	0,1455
2009	1022292	7008000	0,145875
2010	1300860	7008000	0,185625
2011	607944	7008000	0,08675
2012	819060	7008000	0,116875
2013	898776	7008000	0,12825
2014	723576	7008000	0,10325
2015	1095000	7008000	0,15625
2016	943452	7008000	0,134625
ΜΕΣΟΣ			**13,36%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το capacity factor για την ανεμογεννήτρια E-48για τη περιοχή του Ρεθύμνου.

Πίνακας 24 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στο Ρέθυμνο σε E-82

E-82 (2000KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2008	3099288	17520000	0,1769
2009	3141336	17520000	0,1793
2010	3934116	17520000	0,22455
2011	1881648	17520000	0,1074
2012	2524632	17520000	0,1441
2013	2804076	17520000	0,16005
2014	2293368	17520000	0,1309
2015	3350700	17520000	0,19125
2016	2885544	17520000	0,1647
ΜΕΣΟΣ			**16,44%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το capacity factor για την ανεμογεννήτρια E-82 για τη περιοχή του Ρεθύμνου.

Σπήλι Ρεθύμνου

Πίνακας 25 Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Σπηλί Ρέθυμνου σε *kWh ανά Α/Γ*

Μήνας	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	18720	61920
Φεβρουάριος	19656	65520
Μάρτιος	8568	28728
Απρίλιος	7272	27936
Μάιος	4680	17928
Ιούνιος	9936	35064
Ιούλιος	35208	116712
Αύγουστος	12600	38160
Σεπτέμβριος	14616	51120
Οκτώβριος	20232	68112
Νοέμβριος	18288	62424
Δεκέμβρης	34344	114696

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι μηνιαίες kWh για το Σπήλι Ρεθύμνου, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 26 Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Σπηλί Ρέθυμνου σε *kWh ανά Α/Γ*

Έτος	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
2008	312732	1044192
2009	303096	1009152
2010	209364	716568
2011	266304	889140
2012	200604	681528
2013	174324	579036
2014	121764	393324
2015	240900	783144
2016	207612	699048

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες kWh για το Σπήλι Ρεθύμνου, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 27 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στο Σπηλί Ρέθυμνου σε E-48

E-48 (800KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2008	312732	7008000	0,044625
2009	303096	7008000	0,04325
2010	209364	7008000	0,029875
2011	266304	7008000	0,038
2012	200604	7008000	0,028625
2013	174324	7008000	0,024875
2014	121764	7008000	0,017375
2015	240900	7008000	0,034375
2016	207612	7008000	0,029625
ΜΕΣΟΣ			**3,29%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το capacity factor για την ανεμογεννήτρια E-48 για το Σπήλι Ρεθύμνου.

Πίνακας 28 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στο Σπηλί Ρέθυμνου σε E-82

E-82 (2000KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2008	1044192	17520000	0,0596
2009	1009152	17520000	0,0576
2010	716568	17520000	0,0409
2011	889140	17520000	0,05075
2012	681528	17520000	0,0389
2013	579036	17520000	0,03305
2014	393324	17520000	0,02245
2015	783144	17520000	0,0447
2016	699048	17520000	0,0399
ΜΕΣΟΣ			**4,24%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το *capacity factor* για την ανεμογεννήτρια Ε-82 για το Σπήλι Ρεθύμνου.

Νομός Λασιθίου

Φινοκάλια

Πίνακας 29 Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα Φιγοκάλια σε *kWh ανά Α/Γ*

Μήνας	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	294408	870480
Φεβρουάριος	300816	886176
Μάρτιος	305424	909288
Απρίλιος	241128	718632
Μάιος	242856	813816
Ιούνιος	352656	1046736
Ιούλιος	485856	1420272
Αύγουστος	453240	1333296
Σεπτέμβριος	315720	938304
Οκτώβριος	275904	825408
Νοέμβριος	240624	715824
Δεκέμβρης	321192	995400

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι μηνιαίες kWh για τα Φινοκάλια, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 30 Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα Φιγοκάλια σε *kWh ανά Α/Γ*

Έτος	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
2015	4014624	12241224
2016	3933684	11953020

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες kWh για τα Φινοκάλια, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 31 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στα Φινοκάλια σε Ε-48

Ε-48 (800KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2015	4014624	7.008.000	0,572863014
2016	3933684	7.008.000	0,561313356
ΜΕΣΟΣ			**56,7%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το *capacity factor* για την ανεμογεννήτρια Ε-48 για τα Φινοκάλια.

Πίνακας 32 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στα Φιγοκάλια σε Ε-82

Ε-82 (2000KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2015	12.242.100	17.520.000	0,6985
2016	11.962.656	17.520.000	0,6828
ΜΕΣΟΣ			**69,065%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το *capacity factor* για την ανεμογεννήτρια Ε-82 για τα Φινοκάλια.

Ιεράπετρα

Πίνακας 33 Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ιεράπετρα σε *kWh ανά Α/Γ*

Μήνας	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	119736	368712
Φεβρουάριος	119664	368280
Μάρτιος	100440	312120
Απρίλιος	92808	289656
Μάιος	59328	185832
Ιούνιος	126936	384768
Ιούλιος	244584	734832
Αύγουστος	233712	704160
Σεπτέμβριος	156456	477000
Οκτώβριος	122544	373968
Νοέμβριος	126360	391464
Δεκέμβρης	107496	333792

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι μηνιαίες kWh για την Ιεράπετρα, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 34 Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ιεράπετρα σε *kWh ανά Α/Γ*

Έτος	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
2009	1559280	4754928
2010	1229904	3795708
2011	1720464	5260380
2012	1744992	5297172
2013	1613592	4954656
2014	1042440	3285000
2015	1666152	5107080
2016	2027064	6165288

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες kWh για την Ιεράπετρα, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 35 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στην Ιεράπετρα σε E-48

E-48 (800KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2009	1559280	7008000	0,2225
2010	1229904	7008000	0,1755
2011	1720464	7008000	0,2455
2012	1744992	7008000	0,249
2013	1613592	7008000	0,23025
2014	1042440	7008000	0,14875
2015	1666152	7008000	0,23775
2016	2027064	7008000	0,28925
ΜΕΣΟΣ			**22,48%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το capacity factor για την ανεμογεννήτρια E-48 για την Ιεράπετρα.

Πίνακας 36 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στην Ιεράπετρα σε E-82

E-82 (2000KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2009	4754928	17520000	0,2714
2010	3795708	17520000	0,21665
2011	5260380	17520000	0,30025
2012	5297172	17520000	0,30235
2013	4954656	17520000	0,2828
2014	3285000	17520000	0,1875
2015	5107080	17520000	0,2915
2016	6165288	17520000	0,3519
ΜΕΣΟΣ			**27,55%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το *capacity factor* για την ανεμογεννήτρια E-82 για την Ιεράπετρα.

Νομός Ηρακλείου

Ηράκλειο Λιμάνι

Πίνακας 37 Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Λιμάνι Ηρακλείου σε *kWh ανά Α/Γ*

Μήνας	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	132840	403344
Φεβρουάριος	131976	399888
Μάρτιος	117504	360000
Απρίλιος	107352	330048
Μάιος	79416	247968
Ιούνιος	100656	312912
Ιούλιος	214344	651600
Αύγουστος	199944	610704
Σεπτέμβριος	141840	434520
Οκτώβριος	134712	406584
Νοέμβριος	131472	396792
Δεκέμβρης	150336	452376

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι μηνιαίες kWh για το λιμάνι Ηρακλείου, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 38 Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Λιμάνι Ηρακλείου σε *kWh ανά Α/Γ*

Έτος	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
2009	1554024	4761060
2010	1570668	4840776
2011	1709076	5195556
2012	1703820	5164896
2013	1696812	5196432
2014	1296480	3980544
2015	1747620	5334840
2016	1686300	5139492

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες kWh για το λιμάνι Ηρακλείου, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 39 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στο Λιμάνι Ηρακλείου σε E-48

E-48 (800KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2009	1554024	7008000	0,22175
2010	1570668	7008000	0,224125
2011	1709076	7008000	0,243875
2012	1703820	7008000	0,243125
2013	1696812	7008000	0,242125
2014	1296480	7008000	0,185
2015	1747620	7008000	0,249375
2016	1686300	7008000	0,240625
ΜΕΣΟΣ			**23,18%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το capacity factor για την ανεμογεννήτρια E-48 για το λιμάνι Ηρακλείου.

Πίνακας 40 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στο Λιμάνι Ηρακλείου σε E-82

E-82 (2000KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2009	4761060	17520000	0,27175
2010	4840776	17520000	0,2763
2011	5195556	17520000	0,29655
2012	5164896	17520000	0,2948
2013	5196432	17520000	0,2966
2014	3980544	17520000	0,2272
2015	5334840	17520000	0,3045
2016	5139492	17520000	0,29335
ΜΕΣΟΣ			**28,26%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το capacity factor για την ανεμογεννήτρια E-82 για το λιμάνι Ηρακλείου.

Ηράκλειο Μεταξοχώρι

Πίνακας 41 Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Μεταξοχώρι σε *kWh ανά Α/Γ*

Μήνας	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	19080	62640
Φεβρουάριος	35136	112392
Μάρτιος	26784	86904
Απρίλιος	22320	72576
Μάιος	7272	26640
Ιούνιος	10800	37944
Ιούλιος	27504	90288
Αύγουστος	22248	73944
Σεπτέμβριος	10368	38016
Οκτώβριος	13176	46008
Νοέμβριος	16272	55296
Δεκέμβρης	17712	58968

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι μηνιαίες kWh για το Μεταξοχώρι Ηρακλείου, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 42 Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Μεταξοχώρι σε *kWh ανά Α/Γ*

Έτος	Α/Γ Ε-48	Α/Γ Ε-82
	(kWh)	(kWh)
2009	281196	91411,2
2010	191844	62640
2011	207612	69033,6
2012	279444	90115,2
2013	297840	94348,8
2014	148920	51840
2015	197100	67046,4
2016	137532	47692,8

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες kWh για το Μεταξοχώρι Ηρακλείου, για κάθε μία ανεμογεννήτρια.

Πίνακας 43 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στο Μεταξοχώρι σε E-48

E-48 (800KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2009	281196	7008000	0,040
2010	191844	7008000	0,0273
2011	207612	7008000	0,0296
2012	279444	7008000	0,0399
2013	297840	7008000	0,0425
2014	148920	7008000	0,02125
2015	197100	7008000	0,0281
2016	137532	7008000	0,0196
ΜΕΣΟΣ			**15,43%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το *capacity factor* για την ανεμογεννήτρια E-48 για το Μεταξοχώρι Ηρακλείου.

Πίνακας 44 Συντελεστής χρησιμοποίησης ανά έτος στο Μεταξοχώρι σε E-82

E-82 (2000KW)			
Έτος	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Θεωρητική Ενέργεια (kWh)	CF
2009	919.800	17.520.000	0,0522
2010	635.976	17.520.000	0,03575
2011	692.033,6	17.520.000	0,0394
2012	913.668	17.520.000	0,051
2013	956.942	17.520.000	0,0539
2014	525.600	17.520.000	0,0296
2015	680.652	17.520.000	0,0383
2016	483.814	17.520.000	0,02761
ΜΕΣΟΣ			**40,94%**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούνται οι ετήσιες παραγόμενες και θεωρητικές kWh όπως και το capacity factor για την ανεμογεννήτρια E-82 για το Μεταξοχώρι Ηρακλείου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού οχτώ περιοχών της Νήσου Κρήτης. Από Κεφάλαιο 5 και τα αντίστοιχα ροδογράμματα, προκύπτει η ακόλουθη εικόνα: Στο Νόμο Ρέθυμνου, στην ομώνυμη περιοχή, οι επικρατέστεροι άνεμοι ταχύτητας 0-3 m/sec (49%) και 3-6 m/sec (41,3%), είναι κατεύθυνσης Βόρειοι και Δυτικοί. Στο ίδιο Νομό, και συγκεκριμένα στο Σπήλι, είναι οι επικρατέστεροι άνεμοι είναι Βορειοανατολικοί με ταχύτητα 0-3 m/sec (67%), ενώ ακολουθούν οι 3-6 m/sec (30.9%). Στο Νομό Λασιθίου, στην περιοχή της Ιεράπετρας οι επικρατέστεροι άνεμοι είναι Βόρειοι με ταχύτητα 0-3 m/sec (81,2%), ενώ υπόλοιπο 18% κυμαίνεται 3-6 m/sec. Στα Φινοκάλια, οι άνεμοι είναι κυρίως δυτικοί με ένταση 3-6 m/sec σε πιθανότητα 52.6%, ενώ στην περιοχή παρατηρούνται άνεμοι μεγαλύτερης έντασης 9-12 m/sec. Στο Νομό Χανιών, ειδικότερα στις περιοχές των Χανιών και στο Φαράγγι της Σαμαριάς, οι επικρατέστεροι άνεμοι είναι νοτιοδυτικοί με ταχύτητας 0-3 m/sec, γεγονός που την καθιστούν μη αξιοποιήσιμη. Στο Νομό Ηρακλείου, στην περιοχή του λιμανιού επικρατούν βορειοδυτικοί άνεμοι εντάσεως από 3-6 m/sec (52,7%), ενώ έχουν καταγραφεί εντάσεως 12-15 m/sec με συχνότητα 0,5%. Στο Μεταξοχώρι του ίδιου Νομού, επικρατούν οι δυτικοί άνεμοι με ταχύτητες 0-3 m/sec το 76%, ενώ ακολουθεί 3-6 m/sec με πιθανότητα 22,9%. Συνεπώς, οι περιοχές που ικανοποιούν τα κριτήρια επιλογής (ταχύτητα 5-6 m/sec) για την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού είναι τα Φινοκάλια του Νομού Λασιθίου και η ομώνυμη περιοχή του Νομού Ηρακλείου.

Όπως τονίστηκε στο κεφάλαιο 5, όλες οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι σύμφωνες με τις καμπύλες λειτουργίας των ανεμογεννητριών E-48 (800 kW) και E-82 (2000 kW) που επιλέχτηκαν και αφορούν το επίπεδο του ιστού. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να αναχθούν στο επίπεδο της ανεμογεννήτριας. Από τις καμπύλες λειτουργίες ανεμογεννήτριες E-48 και E-82 δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα ισχύος για όλες τις περιοχές (ημερήσια, μηνιαία, ετήσια). Πρέπει να σημειωθεί ότι για τη δημιουργία αυτών των διαγραμμάτων αξιοποιηθήκαν ακόμα και έτη, τα οποία είχαν ελλιπή δεδομένα ημερών. Ωστόσο, για τον υπολογισμό του συντελεστή χρησιμοποίησης χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα έτη με πλήρη δεδομένα. Στον ακόλουθο Πίνακα, συνοψίζονται οι συντελεστές χρησιμοποίησης κάθε περιοχής ανά ανεμογεννήτρια:

<u>Πίνακας 45</u> Συνοπτικός πίνακας συντελεστών χρησιμοποίησης ανά περιοχή και ανεμογεννήτρια

ΠΕΡΙΟΧΗ	Α/Γ Ε-48 (800 kW)	Α/Γ Ε-82 (2000 kW)
	CF (%)	CF (%)
Χάνια	4,203	5,46
Σαμαριά Φαράγγι	0,0833	0,465
Ρέθυμνο	13,36	16,44
Σπήλι Ρεθύμνου	3,29	4,24
Ιεράπετρα	22,48	27,55
Φινοκάλια	**56,7**	**69,06**
Μεταξοχώρι	15,43	40,94
Ηράκλειο Λιμάνι	23,18	**28,26**

Από το παραπάνω Πίνακα παρατηρείται ότι το Φαράγγι της Σαμαριάς παρουσιάζει πολύ χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης, ο οποίος έχει διεξαχθεί αξιοποιώντας μόνο τρία έτη δεδομένων. Ο όγκος των δεδομένων σε συνδυασμό με της χαμηλής ταχύτητας επικρατέστερους ανέμους, καθιστούν την περιοχή οικονομικά και ενεργειακή ακατάλληλη προς αξιοποίηση του αιολικού της δυναμικού. Αντίθετα, στα Φινοκάλια του Ν. Λασιθίου για την ανεμογεννήτρια Ε-48, καταγράφεται ο μεγαλύτερος συντελεστής χρησιμοποίησης 56,7% ενώ στην Α/Γ Ε-82 69,06%. Η παραγόμενη ετήσια ισχύς ανέρχεται στην πρώτη Α/Γ στα 400 kW ενώ στην Ε-82 είναι 1200 kW.

Σύμφωνα με την έκθεση για τον τομέα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε στο πλαίσιο του σχεδιασμού αναμόρφωσης του μηχανισμού στήριξης το 2012 από το Υ.Π.Ε.Κ.Α ο μέσος ετήσιος συντελεστής χρησιμοποίησης (capacity factor) μιας Α/Γ κυμαίνεται σε 20-30% για το ηπειρωτικό σύστημα και τα διασυνδεδεμένα νησιά. Από τον Πίνακα, οι περιοχές που καλύπτουν το προαναφερθέν κριτήριο είναι η Ιεράπετρα, τα Φινοκάλια, το λιμάνι του Ηρακλείου και το Μεταξοχώρι (υπό την προϋπόθεση εφαρμογής Α/Γ Ε-82). [12]

.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΊΑ

[1]Τίτλος : Το ενεργειακό πρόβλημα και η λύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας – Παράδειγμα δημιουργίας φωτοβολταϊκού πάρκου 100kW στο αεροδρόμιο της Ν. Αγχίαλου.(του Χατζή Κωνσταντίνου),(Πτυχιακή Εργασία) Διαθέσιμο στο (2017) : http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/14064/P0014064.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[2]Τίτλος : Το Ενεργειακό πρόβλημα στη σύγχονη εποχή,(Ερευνιτική Εργασία)Διαθέσιμο στο (2017) : http://1lyk-vyron.att.sch.gr/A1b_kaplani.pdf

[3]Τίτλος : Η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελληνική οικονομία.(του Δούρου Ιωάννη),(Πτυχιακή Εργασία)
Διαθέσιμο στο (2017) : http://okeanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2715/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97.pdf?sequence=1

[4]Τίτλος : Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα και οικονομική αξιολόγηση.(του Ιωάννη Χριστάκη και του Ιωάννη Αθανασόπουλου),(Πτυχιακή Εργασία)Διαθέσιμο στο (2017) : http://okeanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3025/wind%20energy.pdf?sequence=1

***[5] Ρυθμιστική Αρχή ενέργειας*, http://www.rae.gr**

[6]Τίτλος:Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας : δυναμικό και τεχνολογίες / Διονύσης Ασημακόπουλος... [κ.ά.], Ασημακόπουλος , Διονύσης
ISBN: 978-960-6706-76-9

[7]Τίτλος : Αιολικά Συστήματα Σημειώσεις Θεωρίας Πτερυγώσεων . (Κώστας Κονταξάκης) Διαθέσιμο στο (2017) : http://docplayer.gr/31753595-S-t-ef-tmima-mihanologias-t-e-i-kritis-mathima-aiolika-systimata-simeioseis-theorias-pterygoseon.html

[8]Τίτλος :Ηλιακή και Αιολική Ενέργεια. Θεωρία και Εφαρμογές Βασίλειος Δ. Μπιτζιώνης , Δημήτριος Δ. Μπιτζιώνης

ISBN: 978-960-418-403-3

[9]Τίτλος : Ρευστοδυναμικές Μηχανές ,

3η Έκδοση (Αθήνα 2012),Δημήτρης Γ. Παπανίκας

ISBN:978-960-88598-2-1

[10]Τίτλος : Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας , Βασίλειος Δ. Μπιτζίωνης , Δημήτριος Δ. Μπιτζίωνης

ISBN:978-960-418-310-4

[11]Τίτλος : Αιολική ενέργεια μελέτη και εφαρμογές.(του Πελοποννήσιου Εμμανουήλ), (Πτυχιακή Εργασία) Διαθέσιμο στο (2017) : http://okeanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/782/hlg_00677.pdf?sequence=1

[12]Τίτλος :www.ypeka.gr (http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=ayq57aIx1P4%3D&tabid=37&)