



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ
ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ**



Φοιτητής: ΚΕΚΕ ΑΪΒΑΣ

ΑΜ: ene46114

Επιβλέπων Καθηγητής

ΒΟΚΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

**DETAILED STUDY AND ENERGY YIELD SIMULATION OF A WIND
PARK**



Student: KEKE AIVAS
Registration Number: ene46114

Supervisor

VOKAS GEORGIOS
PROFESSOR

ATHENS-EGALEO, APRIL 2022

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

ΒΟΚΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Καθηγητής	ΚΑΜΙΝΑΡΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ Καθηγητής	ΚΑΡΑΪΣΑΣ ΠΕΤΡΟΣ Αναπληρωτής Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και (Κεκέ Αϊβάς),
Απρίλιος, 2022**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κεκέ Αϊβάς του Χασάν, με αριθμό μητρώου ene46114 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι την ολοκλήρωση και την παράδοση της και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών



Κεκέ Αϊβάς

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στην οικογένεια μου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου, κύριο Γεώργιο Βόκα, για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, και για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Τσεκούρα Ελένη, για τα δεδομένα της μελέτης του αιολικού πάρκου, που μου παρείχε και για την απόλυτη συνεργασία και την βοήθεια κατά την εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Πέτρο Αξαόπουλο, για το πρόγραμμα WindFarm που μου παρείχε για τη μελέτη του αιολικού πάρκου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την ηθική τους υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Η υπέρμετρη και αλόγιστη χρήση των ορυκτών καυσίμων τα τελευταία πενήντα περίπου χρόνια, έχει οδηγήσει από τη μία στη διαφαινόμενη εξάντλησή τους και από την άλλη, στην εμφάνιση ενός πλήθους περιβαλλοντικών επιπτώσεων, με βασικότερη την κλιματική αλλαγή. Η έρευνα γύρω από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εν τέλει η εγκατάσταση συστημάτων αξιοποίησής τους αποτελεί εδώ και αρκετά χρόνια την λύση για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων.

Μια από τις πλέον αξιοποιούμενες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί η αιολική ενέργεια, τομέας ενδιαφέροντος της παρούσης διπλωματικής εργασίας. Η εκμετάλλευση του δυναμικού που παρουσιάζεται σε μία περιοχή λόγω υψηλού ανέμου, δεν υπήρξε πρόσφατη ανακάλυψη, καθώς ανατρέχοντας αιώνες πίσω, οι ανεμόμυλοι αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα τεχνολογίας αξιοποίησης. Ωστόσο, η τεχνολογική πρόοδος και η διαρκής βελτίωση των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων της σύγχρονης εποχής προσφέρουν δυνατότητες ακόμη μεγαλύτερης αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού με τα μέσα που βρίσκονται στη διάθεση του ανθρώπου σήμερα.

Στην Ελλάδα, όπως και σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, η εγκατάσταση ανεμογεννητριών αποτελεί σημείο μείζονος ενδιαφέροντος και έρευνας. Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων Α.Π.Ε., αλλά και πιο συγκεκριμένα αιολικών πάρκων, συνθέτει ένα σοβαρό ζήτημα με οικονομικές, τεχνολογικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές προεκτάσεις. Ακόμη, σημαντικό παράγοντα επιτυχίας ενός αιολικού πάρκου αποτελεί η ενεργειακή του απόδοση, μιας και από αυτή θα εξαρτηθεί η οικονομική βιωσιμότητά του. Τα δύο αυτά στοιχεία, χωροθέτηση και ενεργειακή απόδοση, αποτελούν στοιχεία που λαμβάνονται πολύ σοβαρά υπόψιν κατά τη φάση σχεδιασμού και προμελέτης μιας εγκατάστασης ανεμογεννητριών.

Αντικείμενο ενδιαφέροντος της παρούσης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η χωροθέτηση σε επιλεγμένη τοποθεσία των ανεμογεννητριών ενός αιολικού πάρκου και η μελέτη της ενεργειακής του απόδοσης με τη βοήθεια χρήσης λογισμικού. Η διάρθρωση της εργασίας συντίθεται από πέντε επιμέρους θεματικές ενότητες, ξεκινώντας από μια εισαγωγική αναφορά σε στατιστικά δεδομένα που αφορούν την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα. Ακολουθώντας, παρουσιάζονται στοιχεία που αφορούν εν γένει την αιολική ενέργεια, όπως είναι τα ανεμολογικά δεδομένα και η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου. Στη συνέχεια το θεωρητικό

μέρος ολοκληρώνεται με την παράθεση κεφαλαίου σχετικά με τις αιολικές μηχανές, τις ανεμογεννήτριες. Στο επόμενο μέρος, ξεκινάει το ερευνητικό κομμάτι της εργασίας, το οποίο πραγματεύεται την επιλογή τοποθεσίας εγκατάστασης, την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, τεχνικά στοιχεία και υπολογισμούς που απαιτούνται ώστε στην τελευταία ενότητα να αξιολογηθεί η εγκατάσταση του πάρκου με τη χρήση του λογισμικού Windfarm. Και στο τέλος, η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν ως κατακλείδα της αναζήτησης πληροφοριών, της έρευνας, της συγγραφής και της χρήσης του λογισμικού.

Λέξεις – κλειδιά

Αιολικό δυναμικό, αιολικό πάρκο, αιολική μηχανή, ανεμογεννήτρια, ενεργειακή αξιολόγηση επένδυσης, οικονομική αξιολόγηση επένδυσης, Windfarm

Abstract

Excessive and reckless use of fossil fuels for the last fifty years or so, has both led to their apparent depletion and to the emergence of a large number of environmental impacts, most notably climate change. Research on renewable energy sources and finally the installation of their utilization systems has been the solution to address these problems for several years.

One of the most widely used forms of renewable energy sources is wind energy, an area of interest of this dissertation. The exploitation of the wind potential presented in an area due to high winds, was not a recent discovery, as looking back in centuries, windmills are a typical example of such a technology. However, the technological progress and the continuous improvement of the electromechanical systems of the modern era offer possibilities of even greater utilization of the wind potential with the means that are available to man today.

In Greece, as in many European countries, the installation of wind turbines is a point of major interest and research. The location of RES facilities, more specifically the wind farms, poses a serious issue with economic, technological, social and environmental implications. Also, an important factor of success of a wind farm is its energy efficiency, since its financial viability will depend on it. These two elements, location and energy efficiency, are elements that are taken very seriously during the pre-design and design phase of a wind farm installation.

The object of interest of the current dissertation is the location of the wind turbines of a wind farm in a selected location and the study of its energy efficiency with the help of software. The structure of the work is composed of five sub-thematic sections, starting from an introductory reference to statistical data concerning the utilization of wind energy in Greece. Next, data on wind energy in general are presented, such as wind data and wind speed measurement. Then the theoretical part is completed with the chapter on wind turbines and wind farms. In the next section, the research part of the work begins and deals with the choice of installation site, the estimation of the wind potential, technical data and calculations required in the last section to evaluate the installation of the park using the Windfarm software. Finally, the dissertation concludes with the presentation of conclusions that emerged as a result of information retrieval, research, writing and use of software.

Keywords

wind power, wind farm, wind turbine, energy investment evaluation, financial investment evaluation, Windfarm

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	20
ΜΕΡΟΣ Α - ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : Ιστορικά και στατιστικά στοιχεία αιολικής ενέργειας.....	23
1.1 Ιστορική αναδρομή στην αιολική ενέργεια	23
1.2 Η αιολική ενέργεια παγκοσμίως.....	24
1.3 Η αιολική ενέργεια στην Ευρώπη	25
1.4 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : Αιολική ενέργεια και στοιχεία ανέμου	31
2.1 Αιολική ενέργεια.....	31
2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τη χρήση αιολικής ενέργειας	32
2.2.1 Πλεονεκτήματα	33
2.2.2 Μειονεκτήματα	34
2.3 Αιολικό δυναμικό	35
2.4 Στοιχεία Ανέμου.....	37
2.4.1 Παράγοντες που επιδρούν στην ταχύτητα ανέμου	40
2.5 Μέτρηση αιολικού δυναμικού	41
2.5.1 Ταχύτητα ανέμου	42
2.5.2 Εκτίμηση ταχύτητας – κατανομή Weibull.....	43
2.5.3 Ισχύς του ανέμου	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : Αιολικές μηχανές και αιολικά πάρκα	47
3.1 Είδη ανεμογεννητριών	47
3.2 Δομή και μέρη μιας ανεμογεννήτριας	49
3.3 Αρχή λειτουργίας.....	51
3.4 Υπολογισμός ισχύος μιας ανεμογεννήτριας.....	54
3.5 Επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου	54
3.6 Αιολικά πάρκα.....	55
3.6.1 Χερσαία	56
3.6.2 Παράκτια.....	57
3.6.3 Υπεράκτια.....	57
ΜΕΡΟΣ Β - WINDFARM (E-STUDY).....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : Περιήγηση στο WindFarm	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : Δημιουργία μελέτης εγκατάστασης αιολικού πάρκου	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο : Η μελέτη μας.....	117
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	142
Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές.....	143

Κατάλογος Πινάκων

Δεν βρέθηκαν καταχωρήσεις πίνακα εικόνων.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Η πρώτη ηλεκτρική ανεμογεννήτρια (Πηγή: Wind Turbine Design And Analysis Oğuz KILIÇ, Yunus Emre Öztürk June, 2020).....	26
Εικόνα 2: Οι 15 χώρες με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη αιολική ισχύ (MW) παγκοσμίως (Sagbansua & Balo, 2017).....	27
Εικόνα 3: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς από αιολική ενέργεια στην Ευρώπη για τα έτη 1999-2022 σε MW (Πηγή: HWEA Wind Statics, June, 2022).	28
Εικόνα 4: Εγκατεστημένη αιολική ισχύς ανά χώρα στην Ευρώπη (Wind Europe, 2019).	29
Εικόνα 5: Διαχρονική εξέλιξη της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στην Ελλάδα (Πηγή: www.eletaen.gr).	30
Εικόνα 6: Γεωγραφική κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα (Πηγή: www.eletaen.gr)	31
Εικόνα 7: Απεικόνιση γεωγραφικής κατανομής εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα (Πηγή: www.eletaen.gr).	32
Εικόνα 8: Συχνότερα χρησιμοποιούμενες ανεμογεννήτριες (κατασκευαστές) (Πηγή: www.eletaen.gr).	33
Εικόνα 9: Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας (ΥΠΕΝ, 2021).....	40
Εικόνα 10: Απεικόνιση ανεμόμετρου (Στεργιόπουλος, 2021).....	41
Εικόνα 11: Ανεμοδείκτης (Πηγή: Οικονομοτεχνική μελέτη αιολικού πάρκου, Μπαρπαρήγου Μυρτώ 2011).	42
Εικόνα 12: Ενδεικτικό ροδόγραμμα (Πηγή: Ανάλυση και διαχείριση ρίσκου έργα από ΑΠΕ, Μηλιώνης Αλέξανδρος,2014.....	43
Εικόνα 13: Ενδεικτικό πεδίο ροής κοντά σε επιφανειακό εμπόδιο (Στεργιόπουλος, 2021).	44
Εικόνα 14: Ενδεικτικό διάγραμμα στιγμιαίας / μέσης ταχύτητας ανέμου – χρόνου (Μηλιώνης, 2014).....	46
Εικόνα 15: Ενδεικτική κατανομή Weibull (Μηλιώνης, 2014).....	47

Εικόνα 16: Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα (Λειβαδάρας, 2016).....	51
Εικόνα 17: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα (Στεργιόπουλος, 2021).....	52
Εικόνα 18: Κύρια μέρη μιας ανεμογεννήτριας (Χριστάκης & Αθανασόπουλος, 2016).....	52
Εικόνα 19: Τυπική απεικόνιση ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα (Μηλαράς, 2008).....	54
Εικόνα 20: Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας (Στεργιόπουλος, 2021).....	55
Εικόνα 21: Ενδεικτική απεικόνιση χερσαίου αιολικού πάρκου (Μακρίδης, 2013).....	59
Εικόνα 22: : Ενδεικτική απεικόνιση παράκτιου αιολικού πάρκου (Μπαιρακτάρης, 2018).....	60
Εικόνα 23: Ενδεικτική απεικόνιση υπεράκτιου αιολικού πάρκου (Πηγή: Μελέτη αιολικού πάρκου Μπαιρακτάρης Κωνταστίνος, 2018).	61
Εικόνα 24: Μέσω του προγράμματος Windfarm Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	64
Εικόνα 25: Χάρτης από το πρόγραμμα Windfarm Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	65
Εικόνα 26: Περιγραφή των εικόνων Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	66
Εικόνα 27: Σχεδιασμός μέσω του προγράμματος Windfarm Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	66
Εικόνα 28: Περιγραφή των εργαλείων Windfarm Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	67
Εικόνα 29: Περιγραφή των εργαλείων σχεδιασμού Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	68
Εικόνα 30: Μετακίνηση θέσης του πλαισίου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	69
Εικόνα 31: Επίδειξη του Designer Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	70
Εικόνα 32: Τα σύμβολα του προγράμματος Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	71
Εικόνα 33: Επιλογές μέσω του Options Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	72
Εικόνα 34: Επιλογής χρωμάτων για τους συμβολισμούς Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	73
Εικόνα 35: Εισαγωγή των Height Data Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	74

Εικόνα 36: Εισαγωγή των δεδομένων για την τραχύτητα Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	75
Εικόνα 37: Εγκατάσταση κάποιον ανεμογεννητριών Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	76
Εικόνα 38: Τα αποθηκευμένα δεδομένα του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	77
Εικόνα 39: Τα βοηθητικά για τους υπολογισμούς Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	78
Εικόνα 40: Υπολογισμός ενεργειακής απόδοσης Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	79
Εικόνα 41: Υπολογίζοντας την ροή του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	80
Εικόνα 42: Πληροφορίες Θορύβου Ανεμογεννητριών Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	81
Εικόνα 43: Υπολογισμός και απεικόνιση του θορύβου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	82
Εικόνα 44: Πληροφορίες ανεμογεννητριών για τους υπολογισμούς Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	83
Εικόνα 45: Πίνακας μετατροπής δεδομένων Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	84
Εικόνα 46: Δημιουργία μελέτης αιολικού πάρκου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	85
Εικόνα 47: Στοιχεία του Project και η θέση αποθήκευσης Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	86
Εικόνα 48: Παράθυρο διαλόγου που περιέχει τα δεδομένα μελέτης μας Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	87
Εικόνα 49: Παράθυρο μετονομασίας της μελέτης μας Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	88
Εικόνα 50: Αρχείο μετατροπής δεδομένων του Height Data Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	89
Εικόνα 51: Παράθυρο της τραχύτητας του εδάφους Κος Πέτρος Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	90
Εικόνα 52: Ανεμολογικά δεδομένα της μελέτης μας Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	91

Εικόνα 53: Γραμμή εργαλείων για την μετατροπή δεδομένων Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	91
Εικόνα 54: Μετατροπή ανεμολογικών δεδομένων Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	92
Εικόνα 55: Εισαγωγή δεδομένων στην επιθυμητή στήλη Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	93
Εικόνα 56: Ανοίγοντας τα ανεμολογικά δεδομένα μετά της μετατροπής Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	94
Εικόνα 57: Μετά μετατροπής ανεμολογικών δεδομένων Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	95
Εικόνα 58: Αρχείο κατανομή ταχυτήτων του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	96
Εικόνα 59: Απεικονίζοντας το ροδόγραμμα Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	98
Εικόνα 60: Ανοίγοντας τα ιστογράμματα και της καμπύλες Weibull Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	98
Εικόνα 61: Πρώτη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	99
Εικόνα 62: Δεύτερη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	99
Εικόνα 63: Τρίτη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	100
Εικόνα 64: Τέταρτη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	100
Εικόνα 65: Πέμπτη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	101
Εικόνα 66: Έκτη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	101
Εικόνα 67: Έβδομη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	102
Εικόνα 68: Όγδοη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	102
Εικόνα 69: Ένατη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	103

Εικόνα 70: Δέκατη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	103
Εικόνα 71: Ενδέκατη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	104
Εικόνα 72: Δωδέκατη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου Π. Αξαόπουλος (Αύγουστος 2022).....	104
Εικόνα 73: Επιλέγοντας το σύνολο των ωρών.....	105
Εικόνα 74: Απεικονίζοντας το ιστόγραμμα και η καμπύλη Weibull.....	105
Εικόνα 75: Δημιουργώντας ένα καινούργιο Layout.....	106
Εικόνα 76: Καταχωρώντας το όνομα της διάταξης.....	107
Εικόνα 77: Η 9 μηχανές στο σημείο τοποθέτησης στη πραγματικότητα.....	108
Εικόνα 78: Σημείο τοποθέτησης ανεμογεννητριών.....	108
Εικόνα 79: Τοποθέτηση ανεμόμετρου στο σωστό σημείο.....	109
Εικόνα 80: Παράθυρο διαλόγου ανεμογεννήτριας.....	109
Εικόνα 81: Επιλέγοντας την ανεμογεννήτρια.....	110
Εικόνα 82: Επιλέγοντας τον τύπο της ανεμογεννήτριας.....	110
Εικόνα 83: Επιλέγοντας μάρκα για την ανεμογεννήτρια.....	111
Εικόνα 84: Έχοντας υπολογίσει την ετήσια ηλεκτρική ενέργεια.....	111
Εικόνα 85: Επιλέγοντας το Wind Flow για τον υπολογισμό του αέρα.....	112
Εικόνα 86: Φτιάχνοντας καινούργιο παράθυρο της ροής του αέρα.....	112
Εικόνα 87: Επιλέγοντας τον τρόπο υπολογισμό.....	113
Εικόνα 88: Ονομάζουμε το νέο αρχείο.....	113
Εικόνα 89: Επιλέγουμε το πλήθος των διευθύνσεων.....	114
Εικόνα 90: Θέτουμε τα όρια έκτασης του χάρτη.....	114
Εικόνα 91: Παίρνοντας τους υπολογισμούς από την ροή του αέρα.....	115
Εικόνα 92: Η παραγόμενη ενέργεια πριν την βελτιστοποίηση.....	116
Εικόνα 93: Παράθυρο βελτιστοποιήσεις.....	116
Εικόνα 94: Δημιουργώντας το νέο αρχείο.....	117

Εικόνα 95: Δίνοντας ονομασία στο νέο παράθυρο.....	117
Εικόνα 96: Συμπληρώνοντας τα απαραίτητα στοιχεία.....	118
Εικόνα 97: Προσθέτοντας το αρχείο διανομής ταχυτήτων του ανέμου.....	118
Εικόνα 98: Τρόπος βελτιστοποιήσεις μέγιστη ενεργειακή απόδοση	119
Εικόνα 99: Τρέχοντας το πρόγραμμα για τους υπολογισμούς.....	119
Εικόνα 100: Τ αποτελέσματα με τους αυτόματους υπολογισμούς του προγράμματος.....	120
Εικόνα 101: Ανοίγοντας ένα νέο παράθυρο.....	120
Εικόνα 102: Ανοίγοντας και επιλέγοντας την νέα διάταξη μας.....	121
Εικόνα 103: Υπολογίζοντας των θόρυβο των ανεμογεννητριών.....	122
Εικόνα 104: Συμπληρώνοντας τα δεδομένα για τον υπολογισμό του θορύβου.....	123
Εικόνα 105: Καμπύλες εντάσεως θορύβου.....	124
Εικόνα 106: Απεικόνιση του Windrose.....	126
Εικόνα 107: Το σκαρίφημα του Weibull scale.....	127
Εικόνα 108 Enercon E66 1500Kw.....	128
Εικόνα 109: Γραφική παράσταση Powerdata.....	129
Εικόνα 110: Vestas V42-600Kw.....	129
Εικόνα 111: Γραφική παράσταση Powerdata.....	130
Εικόνα 112: Vestas V66-1650Kw.....	131
Εικόνα 113: Γραφική παράσταση Powerdata.....	132
Εικόνα 114: Nordex N54-1000Kw.....	133
Εικόνα 115: Γραφική παράσταση Powerdata.....	134
Εικόνα 116: Enercon E40-600-40Kw.....	135
Εικόνα 117: Γραφική παράσταση Powerdata.....	136
Εικόνα 118: Υπολογισμός ετήσια ηλεκτρικής ενέργειας.....	137
Εικόνα 129: Διαφορά σε MWh ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας.....	143
Εικόνα 130: Διάγραμμα αποτελεσμάτων capacity factor.....	145

Αλφαβητικό Ευρετήριο

Α.Π.Ε.: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ε.Ε.: Ευρωπαϊκή Ένωση

ΕΛΕΤΑΕΝ: Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας

ΡΑΕ: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κίνηση του αέρα συμβαίνει εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ δυο διαφορετικών αέριων μαζών και προκαλείται από την ανώμαλη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο στη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου. Με δεδομένο ότι η επιφάνεια της γης συντίθεται από στεριές και θάλασσες, ερήμους και δάση, απορροφά τη θερμότητα του ήλιου με διαφορετικό τρόπο σε κάθε μια από τις προηγούμενες επιφάνειες. Οι πλέον δροσερές μάζες αέρα, ως βαρύτερες, λαμβάνουν τη θέση του θερμότερου αέρα, ο οποίος ανεβαίνει σε υψηλότερα σημεία.

Η αιολική ενέργεια αξιοποιήθηκε πρώτη φορά στην ιστορία από τους Αιγύπτιους στην ναυσιπλοΐα, το 3500π.Χ, ωστόσο έχει λάβει το όνομα της από το Θεό του ανέμου, τον Αίολο. Οι αρχαιότερες μορφές εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού υπήρξαν τα πανιά των πρώτων ιστοφόρων, ενώ αρκετά αργότερα κατασκευάστηκαν ανεμόμυλοι στην ξηρά. Οι πρώτοι περιστρεφόμενοι μύλοι έκαναν την εμφάνιση τους κατά το Μεσαίωνα στην Ευρώπη αλλά τα θεμέλια της συστηματικής εκμετάλλευσης του ανέμου για ηλεκτροπαραγωγή μπήκαν από τους Ολλανδούς τον 19 αιώνα.

Στη σύγχρονη εποχή, εξαιτίας τη ρύπανση και των πολλαπλών περιβαλλοντικών προβλημάτων λόγω της αλόγιστης χρήσης των πεπερασμένων συμβατικών καυσίμων, το παγκόσμιο αλλά και το ευρωπαϊκό ενδιαφέρον έχει στραφεί, προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κομμάτι των οποίων αποτελεί και η αιολική.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη αναφορικά με τη χωροθέτηση και την ενεργειακή απόδοση ενός αιολικού πάρκου στην συγκεκριμένη επιλεχθείσα τοποθεσία, Εύβοιας της Περιφερειακής Ενότητας Εύβοιας, της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας. Στόχος της εργασίας είναι να αποτελεί η εκπόνηση μιας πλήρους ανάλυσης και μελέτης αναφορικά με την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου στη δεδομένη τοποθεσία και τα ενέργεια και οικονομικά αποτελέσματα που αυτή θα επιφέρει.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται στατιστικά δεδομένα αναφορικά με την αιολική ενέργεια στην Ελλάδα αλλά και στην Ευρώπη. Στόχος του κεφαλαίου είναι να αποτυπωθεί η υφιστάμενη κατάσταση με αριθμούς και να αναδειχθεί η διεύθυνση της αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα της χώρας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η αιολική ενέργεια και τα στοιχεία του ανέμου που αποτελούν εισαγωγική γνώση και προαπαιτούμενο για την εξέλιξη της εργασίας. Γίνεται μια

επανάληψη μάθησης για την φυσική το τι εννοούμε και για την αιολική ενέργεια, των οφέλων που παρουσιάζει, ύστερα παρουσιάζονται το τι πρέπει να τηρούν ώστε επιλέγοντας μία περιοχή να είναι κατάλληλη να μπορεί να γίνει μελέτη αιολικού πάρκου, ενώ παρατίθενται και τα χαρακτηριστικά εκείνα που ενδιαφέρουν τη μελέτη ως προς τον άνεμο, όπως είναι η ταχύτητά του.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι αιολικές μηχανές και τα αιολικά πάρκα. Σχετικά με τις πρώτες, παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας τους, αναλύονται τα αποδοτικότερα είδη των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιούνται, τα βασικά συστήματα που τις συνθέτουν, η απόδοση τους κ.ά. Όσον αφορά τα αιολικά πάρκα, περιγράφονται οι κατηγοριοποιήσεις αυτών και τα κύρια χαρακτηριστικά τους.

Με το τέταρτο κεφάλαιο άρχεται το ερευνητικό μέρος της διπλωματικής εργασίας, κατά το οποίο, αρχικά παρουσιάζεται η επιλεχθείσα τοποθεσία εγκατάστασης του υπό μελέτη αιολικού πάρκου. Ακόμη, δίνονται τα στοιχεία του αιολικού δυναμικού της περιοχής, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν, οι απαραίτητοι υπολογισμοί που πρέπει να γίνουν ούτως ώστε η εργασία να ολοκληρωθεί στο επόμενο κεφάλαιο κ.ά.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται χρήση του υπολογιστικού εργαλείου Windfarm βάσει του οποίου θα αξιολογηθεί η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών στην επιλεγμένη τοποθεσία. Στα πλαίσια της έρευνας θα αναλυθούν τα στοιχεία εκείνα που αποτελούν απαραίτητα δεδομένα για την ανάλυση και την εκτίμηση του κατά πόσον η επένδυση μπορεί να κριθεί ως σκόπιμη με κριτήρια ενεργειακά και τεχνικοοικονομικά.

Ολοκληρώνοντας την εργασία, παρατίθενται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν ως κατακλείδα της αναζήτησης πληροφοριών, της έρευνας, της συγγραφής και της χρήσης του λογισμικού Windfarm.

ΜΕΡΟΣ Α - ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

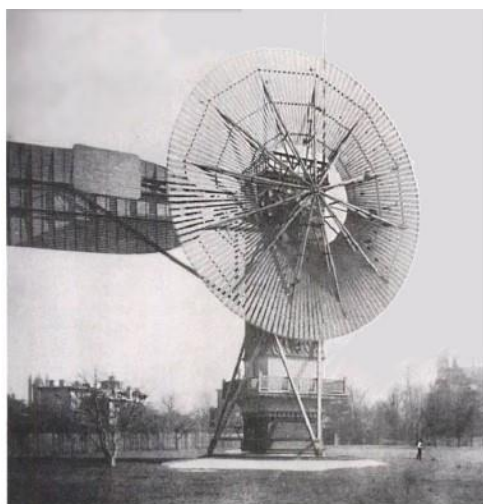
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Ιστορικά και στατιστικά στοιχεία αιολικής ενέργειας

Στην τρέχουσα ενότητα πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή στην αιολική ενέργεια και στη διεύθυνση που την χαρακτηρίζει στην ελληνική, ευρωπαϊκή και παγκόσμια πραγματικότητα. Η παρουσίαση επικεντρώνεται κατά βάση σε διαγράμματα.

1.1 Ιστορική αναδρομή στην αιολική ενέργεια

Η αξιοποίηση πηγών ενέργειας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού μιας και οι άνθρωποι από την αρχή της ιστορίας επιδίωξαν να κατανοήσουν και να επινοήσουν τρόπους ώστε να εκμεταλλεύονται την φυσική πηγή ενέργειας. Η αιολική ενέργεια ξεκίνησε να χρησιμοποιείται στη ναυσιπλοΐα (πανιά πλοίων) περίπου πριν 6.000 έτη, οδηγώντας στην ανάπτυξη των μετακινήσεων, του εμπορίου και της οικονομίας.

Αργότερα, περίπου το 1700 π.Χ., γίνονται οι πρώτες αναφορές για ανεμόμυλους με σκοπό την παραγωγή μηχανικής ενέργειας, κάτι που αποτυπώνεται και στην Ρωμαϊκή εποχή κατά τον 1^ο αιώνα π.Χ. Οι ανεμόμυλοι άρχισαν να αντικαθίστανται περίπου τον 17^ο αιώνα μ.Χ. οπότε και εντοπίζεται η ανακάλυψη των πρώτων αεροστροβίλων. Εν τέλει, το 1887 στη Δανία χρονολογείται η κατασκευή του πρώτου ανεμόμυλου, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Λύτρα, 2021).



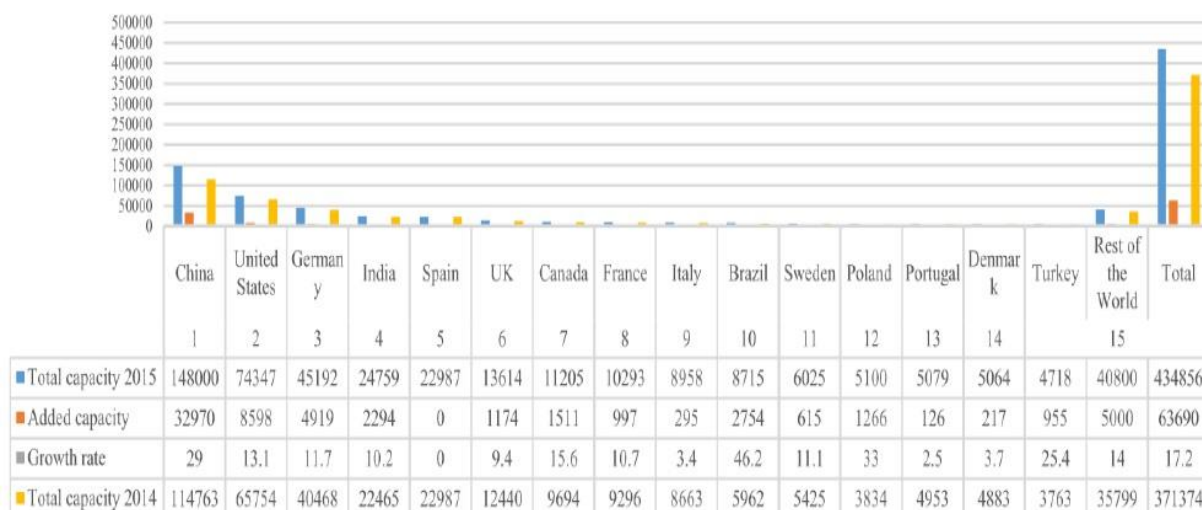
Εικόνα 1: Η πρώτη ηλεκτρική ανεμογεννήτρια (Πηγή: Wind Turbine Design And Analysis Oğuz KILIÇ, Yunus Emre Öztürk June, 2020).

Η αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως, η οποία υπήρξε επακόλουθο της τεράστιας τεχνολογικής και βιομηχανικής ανάπτυξης του 19^{ου} και 20^{ου} αιώνα, αλλά και η εμφάνιση περιβαλλοντικών προβλημάτων, εξαιτίας της υπερκατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων, προκάλεσε ενεργειακή ανασφάλεια αναφορικά με την επάρκεια των κοιτασμάτων. Έτσι, στα μέσα της δεκαετίας του 1970 το αυξανόμενο κόστος ηλεκτροπαραγωγής εξαιτίας της υψηλής τιμής του πετρελαίου διεθνώς δημιούργησε τις συνθήκες για την έναρξη της σημερινής εξέλιξης των ανεμογεννητριών (Σαραφόπουλος, 2017).

1.2 Η αιολική ενέργεια παγκοσμίως

Οι αιολική ενέργεια και γενικά οι Α.Π.Ε. είναι προσιτές για το περιβάλλον σε παγκόσμιο επίπεδο. Για το μέλλον θεωρούνται ως ο κομβικότερος συντελεστής άμβλυνσης της κλιματικής αλλαγής στον πλανήτη. Παρόλα αυτά, το ποσοστό για την αιολική ενέργεια μπορεί να μην έχει κατανομηθεί ομοιόμορφα στον πλανήτη. Έως το 1999 το 70% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας από αξιοποίηση αιολικού δυναμικού εντοπιζόταν στην Ευρώπη, ενώ έως τα τέλη του 2008 πρωτοπόροι ήταν οι Η.Π.Α. και η Γερμανία. Πλέον, πρώτες είναι η Κίνα και οι ΗΠΑ αντιπροσωπεύοντας συνολικά το 60% των νέων χερσαίων αιολικών προσηκών (Λύτρα, 2021).

Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα παρουσιάζεται η κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος έως το 2015 για τις χώρες στις οποίες εντοπιζόταν η υψηλότερη εκμετάλλευση αιολικού δυναμικού.

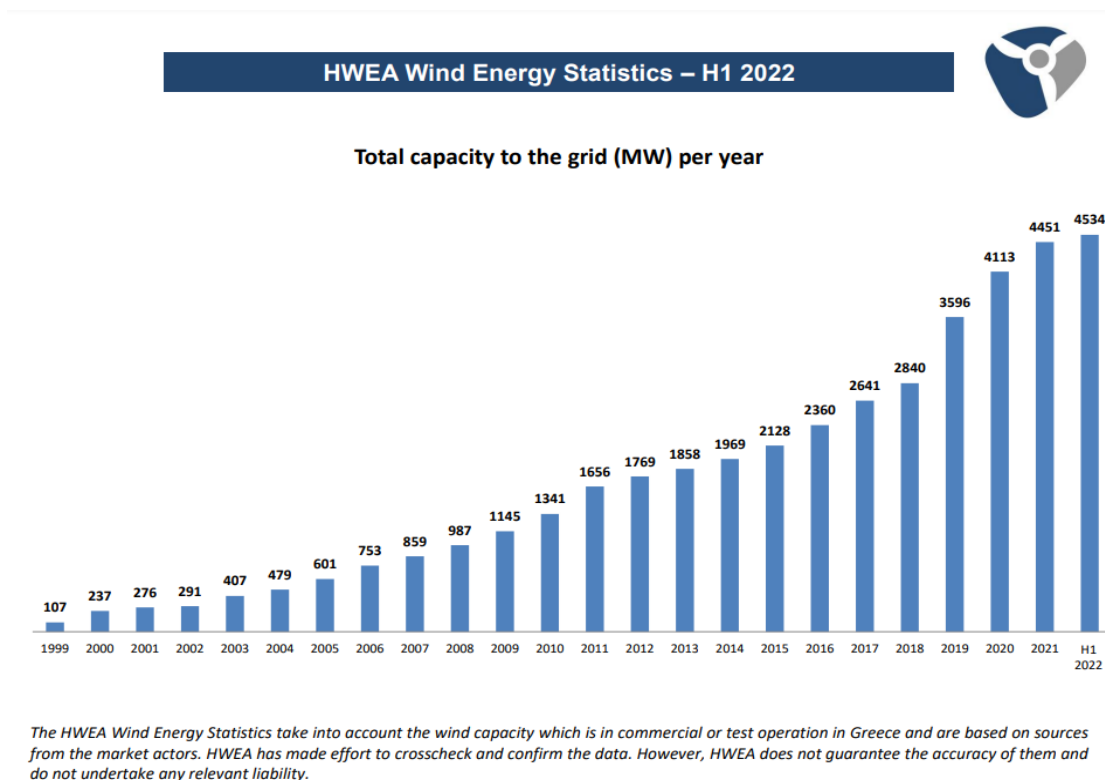


Εικόνα 2: Οι 15 χώρες με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη αιολική ισχύ (MW) παγκοσμίως (Sagbansua & Balo, 2017).

Η συνολική ισχύς αιολικής ενέργειας στον κόσμο έως το 2018 υπολογίζεται σε 600GW. Κατά τη διάρκεια του ίδιου έτους παρατηρήθηκε μεγάλο κέρδος όμως εκτός της Ευρώπης (Κίνα, Ινδία) ενώ εντός Ευρώπης εντοπίστηκε χαμηλή η αιολική στην αγορά. Οι μεγαλύτερες αγορές παγκόσμιος για της νέες εγκαταστάσεις κατά κάποια έτη είναι η Κίνα, οι ΗΠΑ, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ινδία και η Ισπανία, όπου αν αθροιστούν προκύπτει το 72% για την συνολική εγκατάσταση αιολικής ενέργειας σε όλο τον πλανήτη (Λύτρα, 2021).

1.3 Η αιολική ενέργεια στην Ευρώπη

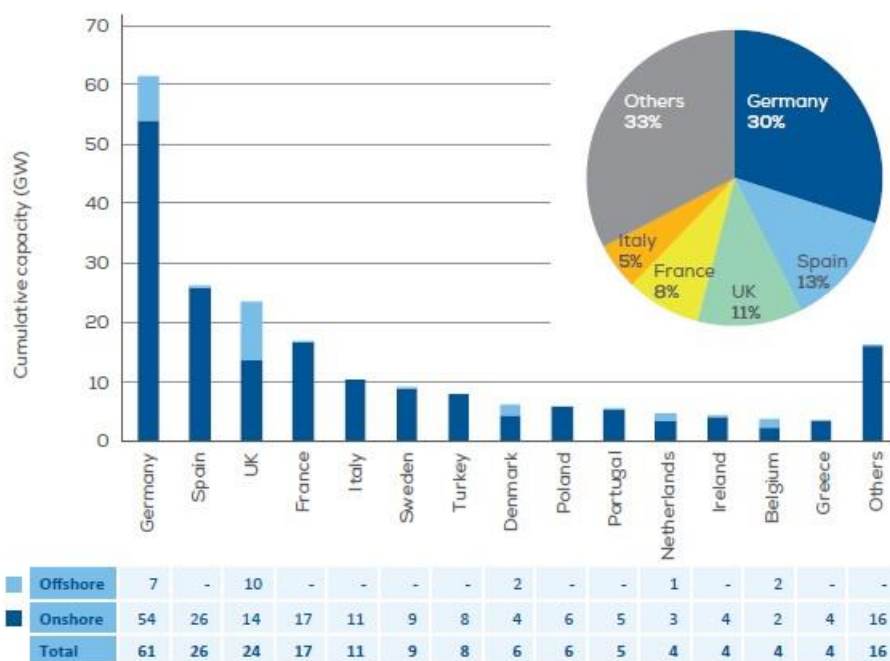
Η πολιτική της ευρωπαϊκής ένωσης (Ε.Ε.) στον τομέα της ενέργειας έχει σαν πρωτεύον στόχο την προώθηση των Α.Π.Ε. ούτως ώστε να πραγματοποιηθεί η επίτευξη των στόχων που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή. Ο βασικός στόχος είναι να γίνει η Ευρώπη ως το 2050 η πρώτη ουδέτερη κλιματικά ήπειρος παγκοσμίως. Τα τελευταία έτη έχουν πραγματοποιηθεί μεγάλες επενδύσεις στον τομέα της αιολικής ενέργειας. Όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα, το 1999 η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς ήταν μόλις 107 MW, ενώ το 2022 έχει σχεδόν πενταπλασιαστεί αγγίζοντας τα 4534 MW.



Εικόνα 3: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς από αιολική ενέργεια στην Ευρώπη για τα έτη 1999-2022 σε MW (Πηγή: HWEA Wind Statistics, June 2022).

Από τα 205GW αιολικής ενέργειας, τα 183GW εντοπίζονται στην ξηρά ενώ τα 22GW στην θάλασσα. Στη διάρκεια του τελευταίου έτους αναφοράς, εγκαταστάθηκαν στην Ευρώπη 16GW αιολικής ενέργειας (27% περισσότερο απ’ ότι το 2018 και 10% λιγότερο απ’ ότι το 2017).

Η Γερμανία αποτελεί μία χώρα με τη περισσότερη εγκατεστημένη ισχύ στην Ε.Ε.. Αναφορικά με τις υπόλοιπες χώρες, η Ισπανία και το Ηνωμένο Βασίλειο κατέχουν τη δεύτερη και τρίτη θέση αντίστοιχα, όπως παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα. Ακολουθούν η Γαλλία και η Ιταλία, ενώ η Ελλάδα εντοπίζεται στην 14^η θέση με συνολικά εγκατεστημένη ισχύ της τάξης των 4GW.



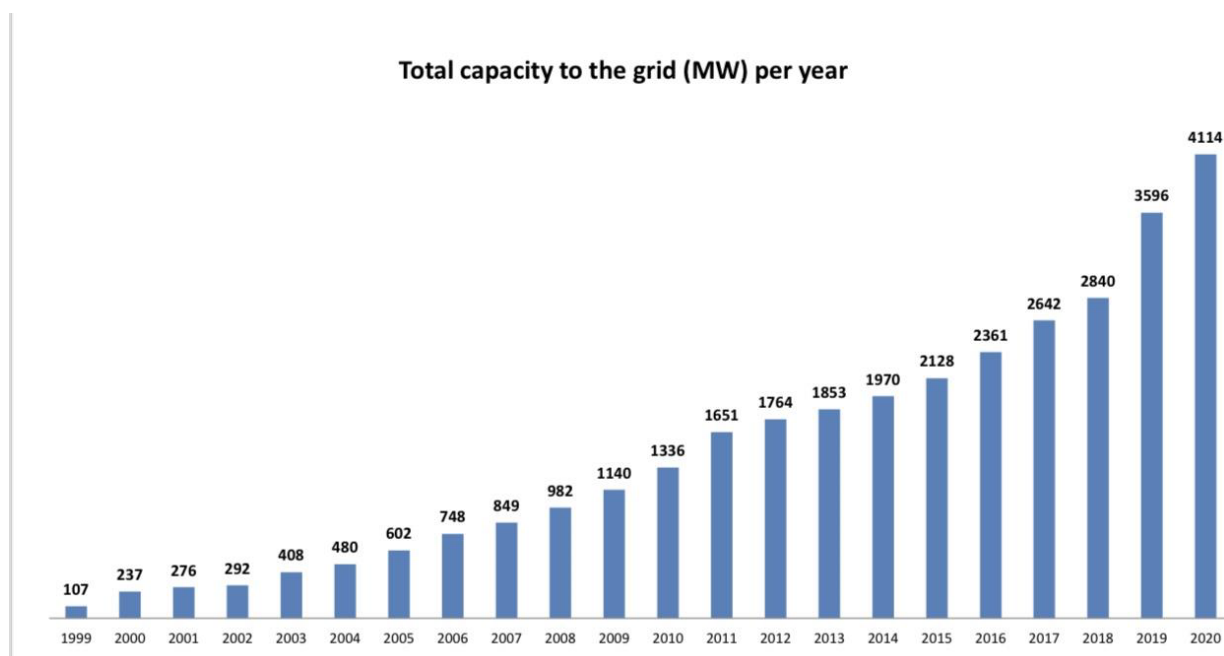
Εικόνα 4: Εγκατεστημένη αιολική ισχύς ανά χώρα στην Ευρώπη (Wind Europe, 2019).

1.4 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα με πολύ μεγάλο μήκος ακτογραμμών και αναρίθμητο αριθμό νησιών. Συνεπώς, οι άνεμοι που πνέουν κατά βάση στα νησιά και στα παράλια, δημιουργούν έντονο δυναμικό και προσδίδουν μεγάλο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη που δημιουργεί η αιολική ενέργεια στη περιοχή. Το αιολικό δυναμικό της χώρας θεωρείται μεγάλο, με ποσοστό πάνω από 8m/s σε αρκετά σημεία (Νικολαΐδης, 2018). Τα τελευταία 30 χρόνια, η Ελλάδα έχει κάνει πολλά μέτρα για την κατεύθυνση της προώθησης της αιολικής ενέργειας.

Το πρώτο εγχείρημα αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας στη χώρα, χρονολογείται το 1982, οπότε και χρησιμοποιήθηκε στην Κύθνο το αρχικό αιολικό πάρκο αποτελούμενο από 5 ανεμογεννήτριες των 2kW, συνδυαζόμενες με 100kW φωτοβολταϊκών στοιχείων. Ως το 2008 οι εγκαταστάσεις ανά έτος υπήρξαν μικρότερες από 120MW και η εγκατεστημένη ισχύς ήταν 890MW, τοποθετώντας τη χώρα στη 10^η θέση σε Ευρωπαϊκό επίπεδο.

Το 2019 υπήρξε ένα έτος σταθμός αφού στο τέλος του βρίσκονταν σε λειτουργία 3.5GW, μετά τη σύνδεση στο δίκτυο επιπλέον 727MW. Τα καινούργια αιολικά πάρκα που άρχισαν να λειτουργούν ήταν σχεδόν 4 φορές περισσότερα συγκριτικά με το μέσο όρο της προηγούμενης χρονιάς, ανά έτος. Το 2020 που ακολούθησε, ήταν καλύτερο το δεύτερο έτος στην ιστορία της χώρας, όπου η αιολική ισχύς έφτασε τα 4.1GW, μιας και εντός του έτους τέθηκαν σε λειτουργία ανεμογεννήτριες ισχύος 517MW. Όλα τα προηγούμενα αποτυπώνονται στο ακόλουθο διάγραμμα.

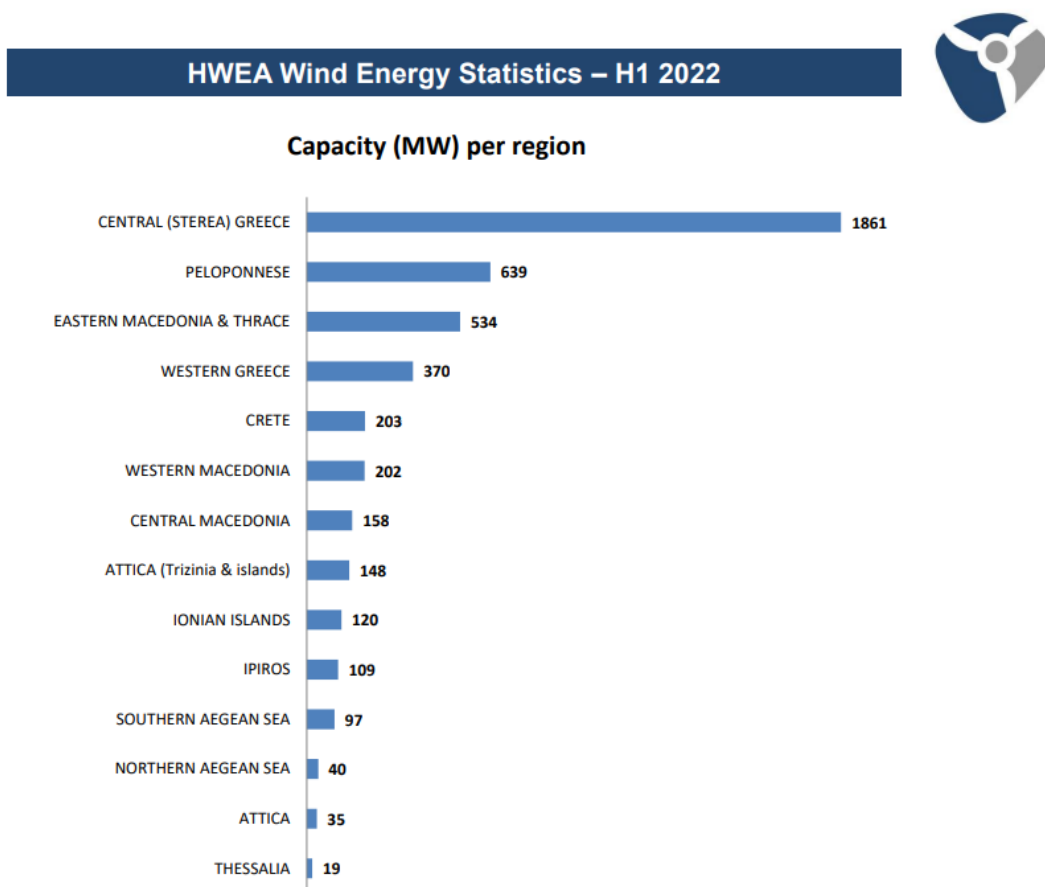


Εικόνα 5: Διαχρονική εξέλιξη της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στην Ελλάδα (Πηγή: www.eletaen.gr).

Όπως προαναφέρθηκε, εξαιτίας του πλήθους των νησιών και των ακτών της, η Ελλάδα αποτελεί γενικά σαν χώρα είναι ευνοημένη ως προς την εκμετάλλευση αιολικής ενέργειας. Οι περισσότερες ευνοημένες περιοχές εντοπίζονται κατά κύριο λόγο στα νησιά του Αιγαίου, με ταχύτητες που στο κεντρικά νησιά κυμαίνονται μεταξύ 7-12m/s, τα νησιά του Ιονίου αλλά και την Κρήτη και την Πελοπόννησο.

Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος της εγκατεστημένης ισχύος εντοπίζεται στη Στερεά Ελλάδα, το οποίο αποτυπώνεται στο 41% των ισχύος της χώρας ανερχόμενο στα 1.67GW. Δεύτερη

ακολουθεί η Πελοπόννησος όπου εντοπίζεται το 15% της ισχύος με 619MW, ακολουθούμενη από την Ανατολική Μακεδονία και Θράκη όπου υπάρχουν εγκατεστημένα 485MW. Στα ακόλουθα διαγράμματα παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς ανά Περιφέρεια στην Ελλάδα.

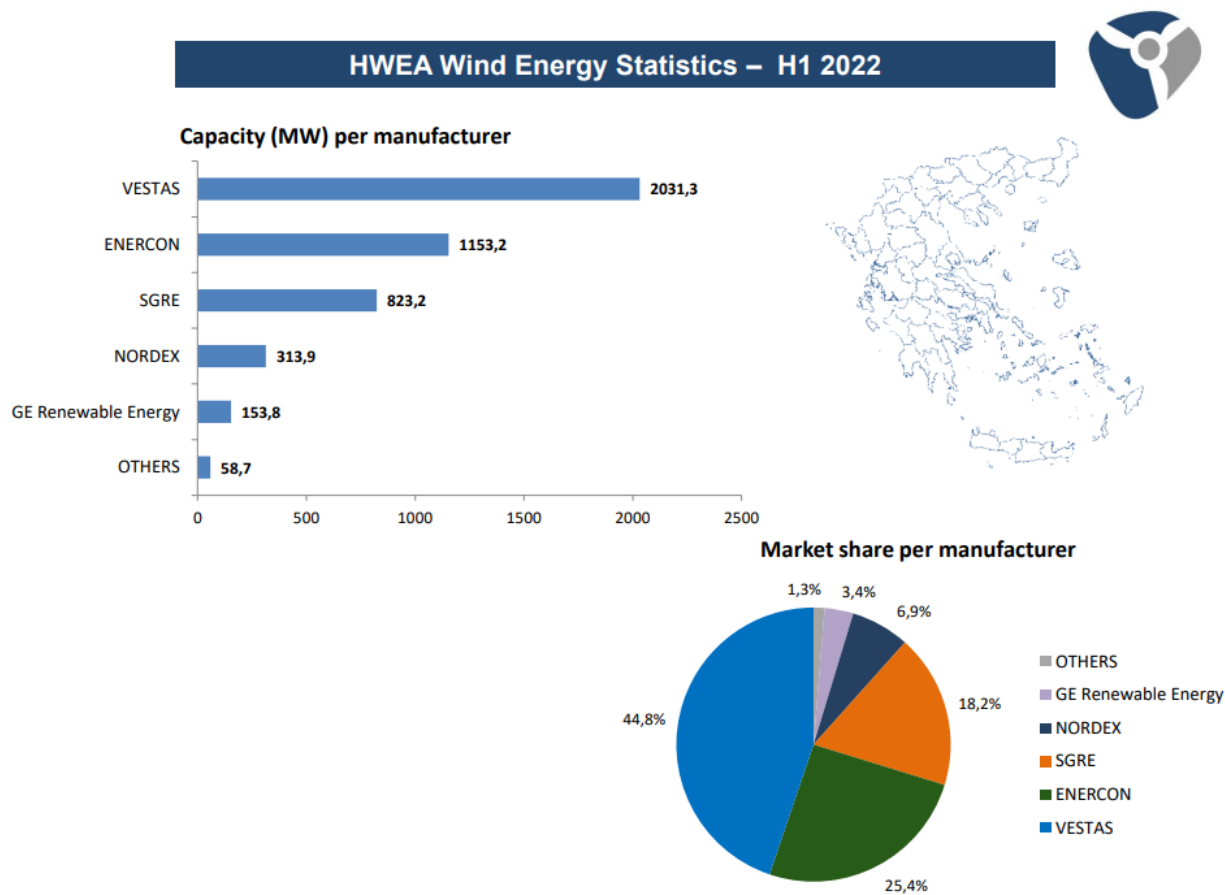


Εικόνα 6: Γεωγραφική κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα (Πηγή: www.eletaen.gr)



Εικόνα 7: Απεικόνιση γεωγραφικής κατανομής εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα (Πηγή: www.eletaen.gr).

Σχετικά με τις συχνότερα χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες ανεμογεννητριών, οι κατασκευαστές που επιλέγονται ως επί το πλείστον στην Ελλάδα είναι η Vestas κατέχοντας περίπου το ήμισυ της εγκατεστημένης ισχύος με 44,8%, το οποίο αποτυπώνεται σε (2031,3 MW) (μεγαβάτ) αιολικής ισχύος, ακολουθεί η Enercon με το 25,4% (1153.2 MW) επίσης ακολουθεί η Nordex και η GE renewable energy (Εικόνα 8). Όλα τα προηγούμενα παρουσιάζονται στο παρακάτω ραβδόγραμμα.



Εικόνα 8: Συχνότερα χρησιμοποιούμενες ανεμογεννήτριες (κατασκευαστές) (Πηγή: www.eletaen.gr).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Αιολική ενέργεια και στοιχεία ανέμου

Με στόχο την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής κρίνεται χρήσιμη και υποχρεωτική η ένταση για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η εκμετάλλευση του ανέμου για ηλεκτροπαραγωγή έχει αναπτυχθεί έντονα τα τελευταία έτη εξαιτίας των τεχνολογικών βελτιώσεων, προσφέροντας στην αιολική ενέργεια εξέχουσα θέση μεταξύ των Α.Π.Ε.. Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα η έννοια της αιολικής ενέργειας, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά της, καθώς και στοιχεία που αφορούν τον άνεμο και το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής.

2.1 Αιολική ενέργεια

Η λειτουργία της αιολικής ενέργειας βασίζεται στην ιδιότητα που διαθέτουν τα σώματα να συστέλλονται και να διαστέλλονται, με τη θερμοκρασιακή διαφορά να οδηγεί στη κίνηση των αέριων μαζών, παράγοντας έτσι το ρεύμα, που καλείται άνεμος (Γελεγένης & Αξαόπουλος, 2005). Επομένως, η αιολική ενέργεια προέρχεται από την μετακίνηση των αέριων μαζών της ατμόσφαιρας. Η μετακίνηση προκύπτει εξαιτίας των διαφορετικών τιμών της ατμοσφαιρικής πίεσης από περιοχή σε περιοχή, εξαιτίας της διαφορετικής θέρμανσης του ήλιου στις περιοχές αυτές. Στον ισημερινό η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι υψηλότερη απ' ότι κοντά στους πόλους, αντίθετα με την πίεση που εντοπίζεται χαμηλότερη στον ισημερινό και υψηλότερη στους πόλους. Επομένως, τα λιγότερο ζεστά στρώματα αέρα μετακινούνται από τους πόλους προς τον ισημερινό ενώ αυτά που έρχονται τα ζεστά ακριβώς αντίθετα. Ακόμη, λόγω της διαφορετικής θερμοχωρητικότητας (η θάλασσα διαθέτει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα) μεταξύ στεριάς και θάλασσας, η κατεύθυνση για τον άνεμο, κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι προς την στεριά, ενώ την νύκτα ακριβώς αντίθετη (Λύτρα, 2021).

Οι διαφορετικές θερμοκρασίες και οι παραγόμενοι άνεμοι οφείλονται από τη μία στη διαφορά γεωγραφικού πλάτους, άρα οι άνεμοι είναι σχετικά σταθεροί (λχ εποχικοί) και από την άλλη στη διαφορετική φύση και επιφάνεια του εδάφους (βουνά, πεδιάδες κτλ) και χαρακτηρίζονται από μικρή χρονική διάρκεια (Λειβαδάρας, 2016).

Επίσης, περιοχές χαμηλής πίεσης είναι αυτές στις οποίες ο αέρας θερμαίνεται με αποτέλεσμα τη διαστολή του (γίνεται ελαφρύτερος) και την άνοδο σε υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Αντίθετα, περιοχές υψηλής πίεσης είναι εκείνες όπου ο αέρας ψύχεται, συστέλλεται, αυξάνει η μάζα του και συνεπώς βαραίνει και μεταβαίνει σε χαμηλότερα στρώματα.

Στο βόρειο ημισφαίριο ο άνεμος περιστρέφεται γύρω από τις περιοχές με χαμηλή πίεση με αντιωρολογιακή φορά, ενώ στις περιοχές με υψηλή πίεση περιστρέφεται ωρολογιακά. Αντιθέτως, στο νότιο ημισφαίριο, οι διευθύνσεις περιστροφής είναι αντίθετες (Καραγιάννης, Αργυρίου, & Μπαλάρας, 2006).

Εξαιτίας της περιστροφής για την γη, οι αδρανειακές δυνάμεις μετατοπίζουν της αδράνειες για τις ψυχρές μάζες του ανέμου στην επιφάνειά της προς τα δυτικά ενώ τις πιο θερμές στα ανατολικά. Συνεπώς, η κίνηση του ανέμου είναι ένας συνδυασμός της περιστροφής της γης και της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η αιολική ενέργεια που αξιοποιείται σήμερα, ανέρχεται από τη μετατροπή σε κινητική ενέργεια, ενός πολύ χαμηλού ποσοστού, κατ' εκτίμηση 0.2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην ατμόσφαιρα της γης. Η ισχύς του ανέμου παγκοσμίως εκτιμάται σε 3.6×10^8 MW, ενώ, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας, μόνο περίπου το 5% της αιολικής ενέργειας καθίσταται διαθέσιμο προς αξιοποίηση σε διάφορα μέρη του πλανήτη (Μπαρμπαρήγου, 2011). Αν μπορούσε να πραγματοποιηθεί πλήρης αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της γης, εκτιμάται ότι η συνολικά παραγόμενη ετήσια ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού. Βάσει υπολογισμών, στο 25% της γης επικρατούν επιφάνειες ανέμου με ετήσια ταχύτητα μέσης υψηλότερη από 5m/sec σε ύψος 10m από κάτω (Μηλιώνης, 2014).

Συνολικά, οι πιο ευνοημένες περιοχές από πλευράς αιολικού δυναμικού είναι οι χώρες των πολικών και εύκρατων ζωνών, ιδιαίτερος κοντά στις ακτές. Ωστόσο, για την αξιοποίηση της δωρεάν αιολικής ενέργειας που προσφέρεται από την φύση στον άνθρωπο απαιτούνται οι κατάλληλες μηχανές, για τη δέσμευση της αιολικής ενέργειας και τη μετατροπή της στην επιθυμητή μορφή.

Στη Ελλάδα μας, το αιολικό δυναμικό είναι πλούσιο και η αιολική ενέργεια μπορεί να καταστεί σημαντικός άξονας ανάπτυξης. Η συστηματική εκμετάλλευσή της μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της ηλεκτροπαραγωγής και στην εξοικονόμηση κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, με συνεπακόλουθα οικονομικά αλλά και περιβαλλοντικά οφέλη.

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τη χρήση αιολικής ενέργειας

2.2.1 Πλεονεκτήματα

Η αιολική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή, η οποία είναι ανεξάντλητη αντίθετα με το σύνολο των ορυκτών καυσίμων των οποίων τα αποθέματα πρόκειται να εξαντληθούν σύντομα. Αποτελεί μια καθαρή μορφή ενέργειας (μη ρυπογόνος, δεν εκπέμπει τοξικές ουσίες κτλ), ήπια για το περιβάλλον, προσφέροντας δυνατότητες για ένα βιώσιμο μέλλον υποκαθιστώντας τα συμβατικά καύσιμα. Η χρήση της δεν είναι επιβαρυντική για τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης και είναι σε θέση να συνεισφέρει στην άμβλυση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, με τη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων και το συνεπακόλουθο περιορισμό των εκπομπών ρύπων. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα των περισσότερων ανεπτυγμένων χωρών, όπως και της Ελλάδας καθιστούν την αιολική ενέργεια ιδιαίτερος ελκυστική αναφορικά με την προστασία του περιβάλλοντος.

Σχετικά με επενδυτικούς όρους, αποτελεί μια επιλογή αποδοτική οικονομικά. Σχετικά το κόστος της εγκατάστασης των αιολικών συστημάτων είναι μεγάλο, τα λειτουργικά κόστη είναι πάρα πολύ χαμηλά. Τα μόνα απαιτητά κόστη λειτουργίας αποτελούν η ανεμογεννήτριες την συντήρηση και τους ιστούς των μετεωρολογικών που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις των μετεωρολογικών. Επιπλέον το πλεονέκτημα που είναι σημαντικό για την αιολική ενέργεια αποτελεί ασφάλεια των επενδύσεων μιας και η αβεβαιότητα όσον αφορά την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρή (Λύτρα, 2021).

Χωροταξικά, οι ανεμογεννήτριες δεν καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση και είναι σε θέση να τοποθετηθούν σε εκτάσεις όπου πραγματοποιείται ταυτόχρονη εκμετάλλευση τους για αγροτική παραγωγή και κτηνοτροφία, καθιστώντας την ενέργεια αιολικής αποδοτική ως προς το χώρο.

Ενεργειακά, η χρήση αιολικής ενέργειας συνεισφέρει σημαντικά στην ενεργειακή ανεξαρτησία μιας περιοχής ή και μιας χώρας. Με βάση αυτή την ενεργειακή αυτονομία μειώνονται οι απώλειες ενέργειας των μεγάλων δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, προσφέροντας στην εξοικονόμηση της παραγόμενης ενέργειας (Χριστάκης & Αθανασόπουλος, 2016). Με αυτόν τον τρόπο η αιολική ενέργεια είναι σε θέση να συνεισφέρει σημαντικά στην ηλεκτροπαραγωγή, σε τοπικό και διεθνές επίπεδο.

Κοινωνικά, η αιολική ενέργεια συνεισφέρει στην αναζωογόνηση υποβαθμισμένων περιοχών, συμβάλλει στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, και στη δημιουργία τοπικών έργων ανάπτυξης και υποδομών. Δεν μπορεί με κανένα τρόπο να μειώσει την αξία της γης και να φέρνει αποτελέσματα αρνητικά στον τουρισμό. Το θόρυβο που παράγουν από τη λειτουργία των ανεμογεννητριών είναι ελάχιστος γενικά οι αισθητικές βλάβες που προκαλούν είναι μικρές.

Τέλος, αξίζει να τονιστεί ότι η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία μιας χώρας, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για μια χώρα όπως η Ελλάδα, η οποία εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το εισαγόμενο πετρέλαιο προερχόμενο από χώρες υψηλού πολιτικού και οικονομικού κινδύνου που αρκετά συχνά εμπλέκονται σε πολιτικές και στρατιωτικές κρίσεις. Σε αυτές τις συνθήκες, το μεσοπρόθεσμο κόστος παραγωγής ενέργειας δεν είναι προβλέψιμο, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αβεβαιότητες τον σχεδιασμό της εθνικής οικονομίας (Μπαρμπαρήγου, 2011).

Σχετικά με τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας συγκριτικά με τις υπόλοιπες Α.Π.Ε. αξίζει να τονιστούν τα εξής (Χριστάκης & Αθανασόπουλος, 2016):

- Διαθέτει πλούσιο εκμεταλλεύσιμο δυναμικό
- Εμφανίζει διαρκώς μειούμενο κόστος κατασκευής των αιολικών συστημάτων
- Επιτρέπει την δημιουργία κλίμακας οικονομιών, όταν ξεκινάνε τα αιολικά πάρκα με μεγάλο αριθμό από ανεμογεννήτριες

2.2.2 Μειονεκτήματα

Ωστόσο εκτός από τα πολλά και σημαντικά πλεονεκτήματα, η ενέργεια της αιολικής όπως με κάθε άλλο τρόπο παραγωγή ενέργειας εμφανίζει και ορισμένα μειονεκτήματα. Ενεργειακά, καθώς οι ροές των ανέμων είναι ανεξέλεγκτες και απρόβλεπτες, η παραγωγή ενέργειας φέρει αβεβαιότητα. Για το λόγο αυτό τα αιολικά πάρκα δεν χρησιμοποιούνται ως μονάδες βάσης του συστήματος παραγωγής ενέργειας, αλλά ως εφεδρικές μονάδες. Ωστόσο, συνεχώς αναπτύσσονται αποθήκευση από διατάξεις της ηλεκτρικής ενέργειας παραγωγής (μπαταρίες) ώστε να καμφθεί η επίδραση αυτού του μειονεκτήματος στην ηλεκτροπαραγωγή μέσω αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού. Επιπλέον, διαθέτουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος, με αποτέλεσμα να απαιτούνται είτε πολλές ανεμογεννήτριες είτε ανεμογεννήτριες μεγάλων διαστάσεων για την παραγωγή αξιόλογης ποσότητας ενέργειας (Χριστάκης & Αθανασόπουλος, 2016). Ένα ακόμη μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι η περιορισμένη δυνατότητα αξιοποίησης του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού, καθώς πραγματικά αξιοποιείται μόνο ένα μέρος της κινητικής ενέργειας, που αντιστοιχεί σε ένα περιορισμένο εύρος ταχύτητας ανέμου (Μπαρμπαρήγου, 2011).

Σε οικονομικούς όρους, ένα σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός για την απόσβεση της κατασκευής του κόστους αιολικού πάρκου χρειάζεται διάστημα μεγάλης λειτουργίας.

Ακόμη, υπάρχει υψηλό κόστος σχετικά στην έρευνα και στην εγκατάσταση των αιολικών έργων, καθιστώντας την επιλογή τους απόρροια ενδεδειγμένων και εκτενών μελετών (Λύτρα, 2021).

Περιβαλλοντικά, γνωρίζοντας τα αιολικά έργα καθώς γίνονται τα πάρκα μπορεί να υπάρξει κάποια παρέμβαση στο μέρος και να φτάσουμε σε αρνητικά αποτελέσματα στη τάδε περιοχή της εκάστοτε. Τα είδη που επηρεάζονται επί το πλείστον είναι τα πουλιά, όπου εξαιτίας της περιστροφής των πτερυγίων των ανεμογεννητριών μπορούν να τραυματιστούν ή να σκοτωθούν.

Σχετικά με τα ως μειονεκτήματά της αιολικής ενέργειας συγκριτικά με τις υπόλοιπες Α.Π.Ε. τονίζονται τα εξής (Χριστάκης & Αθανασόπουλος, 2016):

- Ο παραγόμενος θόρυβος από τη λειτουργία των ανεμογεννητριών
- Η ικανοποιητική ταχύτητα ανέμου από την άμεση εξάρτηση

Συνοψίζοντας, αυτά που προκύπτουν από τα πλεονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση των αιολικών έργων είναι πολλά και σημαντικότερα από τα μειονεκτήματα που εμφανίζουν. Ως εκ τούτου, η στρατηγική απόφαση για αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού μιας χώρας μπορεί να οδηγήσει σε οικονομικά βιώσιμες και ελκυστικές επενδύσεις, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψιν τα οφέλη που προκύπτουν αναφορικά με την προστασία του περιβάλλοντος και την οικονομική ανεξαρτησία μιας χώρας.

2.3 Αιολικό δυναμικό

Μια εκ των πλέον σημαντικών προϋποθέσεων για να λειτουργήσει μια ανεμογεννήτρια πρέπει να υπάρχει καλό αιολικό δυναμικό. Η έναρξη των ανέμων βασίζεται στην αρχή, σύμφωνα με την οποία καθώς μία αέρια μάζα θερμαίνεται, εκτονώνεται, γίνεται πιο ελαφριά και κινείται ανοδικά, εξαιτίας της μεγαλύτερης πυκνότητας που αποκτά. Η δημιουργία ενός ανέμου αποτελεί αποτέλεσμα κάποιων διεργασιών της φύσης, όπως είναι η θεωρία της κατακόρυφης μεταφοράς. Βάσει αυτής όταν ένα στρώμα αέρα έρθει σε επαφή με τη γήινη επιφάνεια θερμαίνεται και ανέρχεται, ενώ στη θέση του πηγαίνει ένα ψυχρότερο στρώμα. Άλλες συνιστώσες που επηρεάζουν την παραγωγή ανέμων είναι η κίνηση της γης και το γεγονός ότι ο αέρας ζεσταίνεται ταχύτερα στον ισημερινό, ανέρχεται και μετακινείται προς βόρειες και νότιες κατευθύνσεις (Λύτρα, 2021).

Η δημιουργία ανέμων δεν είναι συνεχής καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Στις περιόδους που υφίσταται επάρκεια αιολικού δυναμικού ένα αιολικό πάρκο που διαθέτει συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, μπορεί να αποταμιεύει ενέργεια με σκοπό αυτή να χρησιμοποιηθεί σε μεταγενέστερη περίοδο, εφόσον οι ταχύτητες των ανέμων θα είναι χαμηλές. Τέτοια συστήματα αποθήκευσης ενέργειας αποτελούν οι μπαταρίες, η αποθήκευση θερμότητας, η αποθήκευση υδρογόνου κτλ.

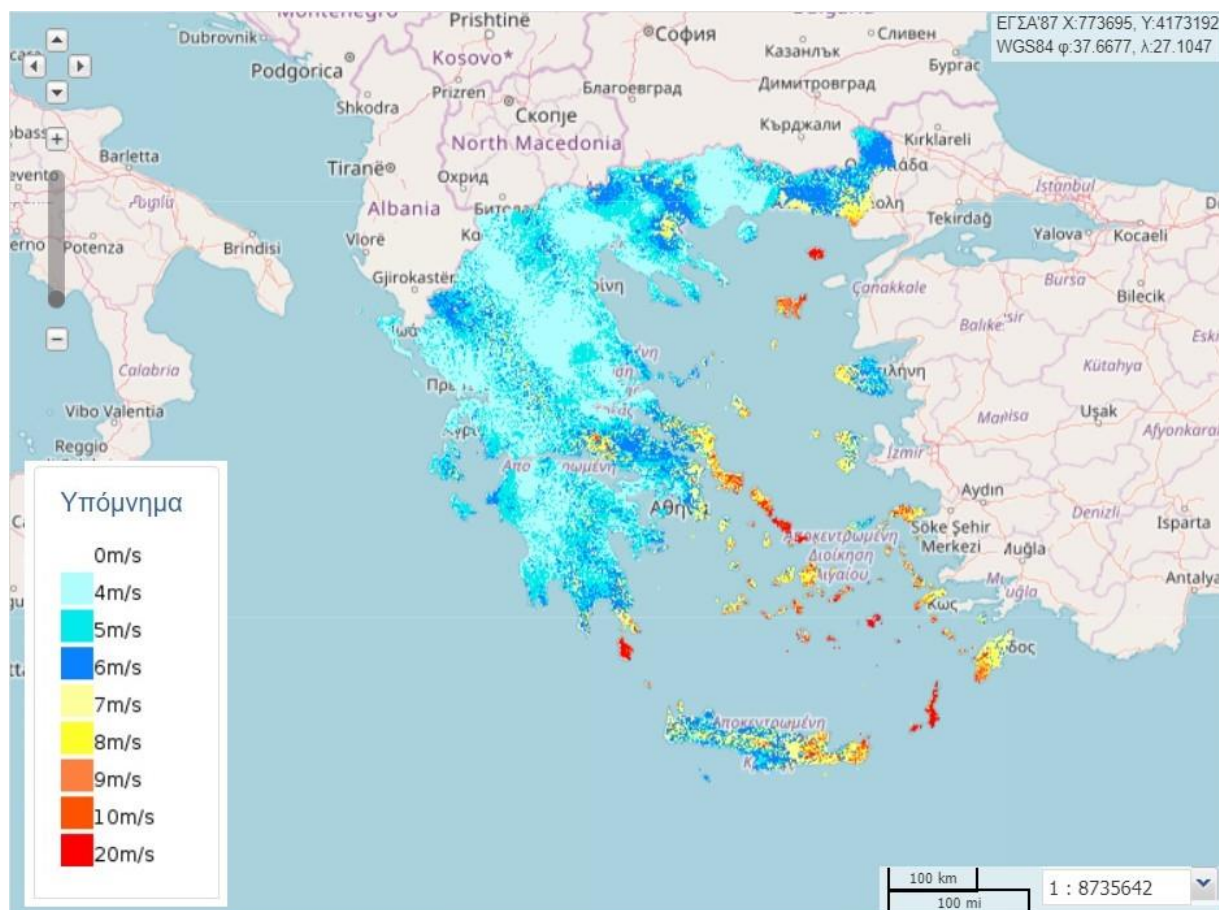
Διακύμανση του αιολικού δυναμικού μπορεί να εμφανίζεται ακόμα και μέσα στη διάρκεια μιας ημέρας. Σε αρκετές περιοχές με εγκατεστημένα αιολικά πάρκα, η ταχύτητα των ανέμων παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές, με υψηλότερες, πιο ισχυρές και μεγάλης διάρκειας ταχύτητες ανέμου να εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι οποίες μειώνονται τη νύχτα. Ακόμη, το χειμώνα το αιολικό δυναμικό εμφανίζεται πιο πλούσιο συγκριτικά με το καλοκαίρι, οπότε και οι συνεισφορά των αιολικών πάρκων στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι πιο αυξημένη.

Το αιολικό δυναμικό δεν αποτελεί τη μόνη παράμετρο προς εξέταση, έτσι ώστε να εντοπιστούν οι περιοχές με δυνατότητες εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας. Απαιτούνται αναλυτικές πληροφορίες, όσον αφορά την καταγραφή των χρονικών περιόδων άπνοιας ή πολύ ισχυρών ανέμων. Ακόμη, οι πληροφορίες για τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά μίας περιοχής, η στατιστική επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων παρέχει τη δυνατότητα να περιγραφεί η μεταβολή της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου (Hau, 2006). Το γενικό πρότυπο κατανομής της μεταβολής του ανέμου αποτελεί η κατανομή Weibull, η οποία θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα.

Προκείμενου να μελετηθεί και να σχεδιαστεί ένα αιολικό πάρκο θα πρέπει να μας δίνονται η να γνωρίζουμε χαρακτηριστικά του αέρα, όπως τα εξής:

- Η ταχύτητα
- Η διεύθυνση
- Η ανατάραξη του ανέμου στην περιοχή
- Ο στροβιλισμός του
- Η κατανομή του αέρα και συνεπακόλουθα η μεταβολή του ανέμου αναλόγως του ύψους

Η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα πολύ ευνοημένη από άποψη αιολικού δυναμικού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, κυρίως λόγω της ιδιαίτερης γεωγραφίας της, διαθέτοντας πολλά νησιά και βουνά. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας θεωρείται επιβεβλημένη, μιας και έχει εκτιμηθεί ότι η ενέργεια που μπορούν να παρέχουν οι άνεμοι που πνέουν άνω της χερσαίας έκτασης της χώρας κάθε έτος είναι μεγαλύτερη από τη συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας όλων των μορφών (Λειβαδάρας, 2016). Στον ακόλουθο χάρτη του Υπουργείου Ενέργειας και Περιβάλλοντος αποτυπώνεται η ένταση των ανέμων που πνέουν στην χώρα. Όπως φαίνεται στην ηπειρωτική Ελλάδα κατά κύριο λόγο πνέουν άνεμοι με ταχύτητες 5-6m/s, στα νησιά των Κυκλάδων το αιολικό δυναμικό αυξάνεται περαιτέρω, ενώ εντοπίζονται περιοχές (κόκκινο χρώμα), όπως οι ανατολικές Κυκλάδες και ανατολικά της Κρήτης, όπου οι τιμές του ανέμου αγγίζουν πάρα πολύ υψηλές τιμές, μη εκμεταλλεύσιμες, στα 20m/s.



Εικόνα 9: Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας (ΥΠΕΝ, 2021).

2.4 Στοιχεία Ανέμου

Άνεμος λέγεται ο ατμοσφαιρικός αέρας ο οποίος είναι εν κινήσει. Όπως προαναφέρθηκε, η γενικότερη ατμοσφαιρική κυκλοφορία προκαλείται επί το πλείστον λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας και της περιστροφής της γης. Η ταχύτητα του ανέμου σαν μέγεθος αποτελεί ένα διάνυσμα. Αυτό σημαίνει ότι για τον καθορισμό του διανύσματος της ταχύτητας του ανέμου είναι απαραίτητο να είναι γνωστά το μέτρο (ένταση του ανέμου) και η διεύθυνσή του. Αυτά τα δύο εξαρτώνται από ειδικούς που παράγουν, όπως είναι η γενικότερη κυκλοφορία στην ατμοσφαιρά, η πίεση και το πεδίο κα, αλλά και παράγοντες τοπικού όπως είναι για παράδειγμα το ανάγλυφο του μέρος ενδιαφέροντος και η εγγύτητα θάλασσας (Μπαρμπαρήγου, 2011).

Η κίνηση του ανέμου συμβαδίζει με τους νόμους που διέπουν την τυρβώδη ροή συνεκτικού ρευστού. Επομένως, η (στιγμιαία) ταχύτητα αποτελεί ένα μέγεθος που έχει διακυμάνσεις στο χρόνο, είτε αυτές αναφέρονται σε χρονικά διαστήματα εκατοστών του δευτερολέπτου είτε σε διαστήματα ωρών. Οι μέγιστες ταχύτητες που μπορεί να φτάσει ο άνεμος σε μία περιοχή επηρεάζει την κατασκευαστική αντοχή του πύργου στήριξης μιας ανεμογεννήτριας και τη

μέγιστη φόρτιση των πτερυγίων της. Η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου εξαρτάται από την γεωγραφική θέση της περιοχής και από το ανάγλυφό της.

Σημαντικά προβλήματα δημιουργούνται από τις αιφνίδιες εξάρσεις ανέμων μεγάλης έντασης και μικρής διάρκειας, τις επονομαζόμενες ριπές. Οι ριπές του ανέμου είναι λιγότερες πάνω από εκτενείς υδάτινες επιφάνειες και περισσότερες σε χερσαίες περιοχές έντονου τοπογραφικού ανάγλυφου ή με υψηλά εμπόδια (πχ υψηλά κτίρια, δέντρα κα). Για την μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται ανεμόμετρα ή ανεμογράφοι. Για τη μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται διατάξεις που ονομάζονται ανεμόμετρα, όπως αυτό της ακόλουθης εικόνας (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Απεικόνιση ανεμόμετρου (Στεργιόπουλος, 2021).

Τα πιο απλά ανεμόμετρα είναι τα ανεμόμετρα ταχύτητας, όπως αυτό της (Εικόνας 10) όπου η ένταση στα (μέση τιμή) προκύπτει από την περιστροφή ταχύτητας που επιβάλλεται από τον άνεμο στα πτερύγια του οργάνου. Για την καταγραφή στιγμιαίας τιμής της έντασης χρησιμοποιούνται ανεμόμετρα πίεσης, όπου η ένταση υπολογίζεται μέσω της πίεσης που ασκείται από τον άνεμο στα πτερύγια του οργάνου.

Η διεύθυνση του ανέμου εκτιμάται με σημείο αναφοράς το σημείο από το οποίο έρχεται ο αέρας του ορίζοντα. Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, ως κύρια διεύθυνση του ανέμου νοείται κάθε διεύθυνση που συνεισφέρει περισσότερο από 10% στη συνολική αιολική ενέργεια. Εκείνη η διεύθυνση που έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης, καλείται επικρατούσα διεύθυνση. Η επικρατούσα διεύθυνση μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή

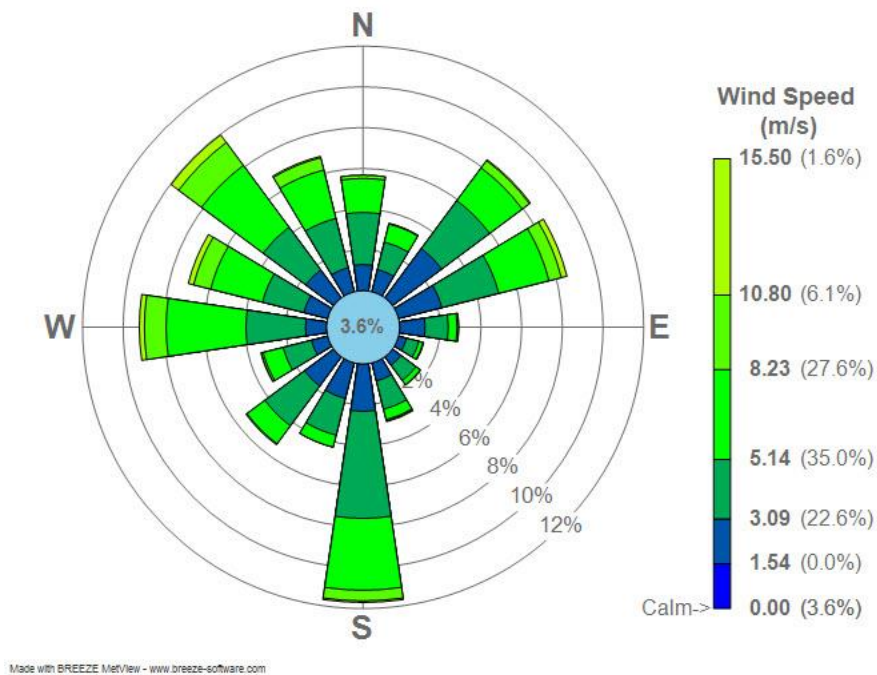
του έτους. Κατά κανόνα στην χώρα μας οι επικρατούσες διευθύνσεις κινούνται από τον βορά και πηγαίνουν βορειανατολικά. Ο εντοπισμός του αέρα για την διεύθυνση πραγματοποιείται, με όργανα που ονομάζονται ανεμοδείκτες, όπως αυτός της ακόλουθης εικόνας (Εικόνα 11).



Εικόνα 11: Ανεμοδείκτης (Πηγή: Οικονομοτεχνική μελέτη αιολικού πάρκου, Μπαρπαρήγου Μυρτώ 2011).

Απαραίτητο στοιχείο για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, αλλά και για να λειτουργήσει σωστά το αιολικό πάρκο αποτελούν το αιολικό δυναμικό από τις μετρήσεις. Αυτές συνήθως πραγματοποιούνται με τη βοήθεια ενός χάλκινου ιστού όπου κρέμονται τα ανεμόμετρα και οι ανεμοδείκτες.

Ως επακόλουθο των καταγραφών των διευθύνσεων των ανέμων μιας περιοχής προκύπτει το ροδόγραμμα όπου απεικονίζονται οι ποσοστιαίες συχνότητες των κατευθύνσεων των ανέμων που μετρήθηκαν. Στο διάγραμμα το ίδιο μπορεί να παρατεθεί και η ταχύτητα μέσης των ανέμων ανά διεύθυνση. Στο κεντρικό του ροδογράμματος σε έναν κύκλο αναγράφεται το ποσοστό άπνοιας. Ενδεικτικό ροδόγραμμα απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 12), όπου και αποτυπώνονται σε ομόκεντρους κύκλους τα ποσοστά των συχνοτήτων εμφάνισης, ενώ από το χρωματισμό κάθε ανέμου, με τη χρήση του πλαϊνού υπομνήματος δίνεται το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου.



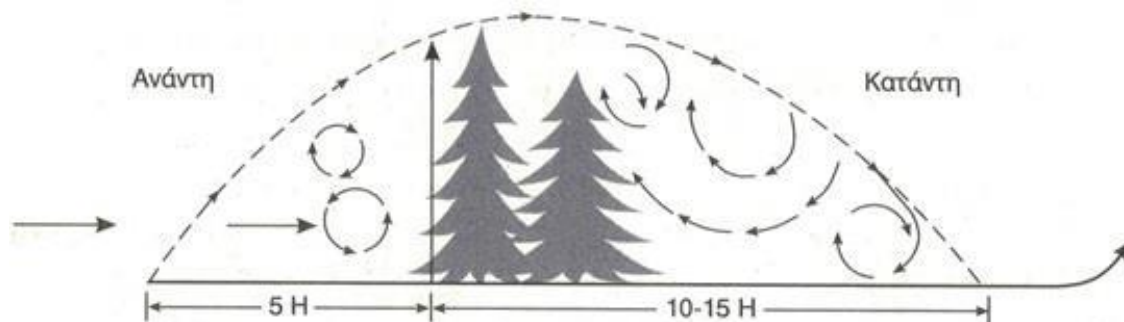
Εικόνα 12: Ενδεικτικό ροδόγραμμα (Πηγή: Ανάλυση και διαχείριση ρίσκου έργα από ΑΠΕ, Μηλιώνης Αλέξανδρος, 2014).

2.4.1 Παράγοντες που επιδρούν στην ταχύτητα ανέμου

Οι ταχύτητα του ανέμου ως συνήθως επηρεάζεται από τους παράγοντες του αέρα και είναι οι ακόλουθοι (Μπαρμπαρήγου, 2011; Μπαιρακτάρης, 2018):

- Η τραχύτητα του εδάφους. Μπορεί να έχει καθοριστική επίδραση στη συμπεριφορά του ανέμου κάτι που γίνεται αντιληπτό σε αιολικό πάρκα, στα οποία παρότι εντοπίζεται σημαντικό αιολικό δυναμικό, η απόδοσή τους είναι μέτρια. Η αιτία τις περισσότερες φορές, αποδίδεται στο γεγονός ότι οι ανεμογεννήτριες εργάζονται σε ένα έντονα μεταβαλλόμενο πεδίο ροής εξαιτίας υψηλής τύρβης της περιοχής.
- Το ανάγλυφο της περιοχής. Η μορφολογία του εδάφους έχει σημαντική επίδραση στη συμπεριφορά του ανέμου και επηρεάζει την επιλογή της κατάλληλης θέσης για την τοποθέτηση του αιολικού πάρκου. Η κορυφή μιας λοφοσειράς αποτελεί μια πολύ καλή θέση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας, με δεδομένη τη συμπίεση την ροή των γραμμών, η οποία με την επιτάχυνση ισοδυναμεί τον αέρα. Ο ενδεχόμενος τριπλασιασμός στην ταχύτητα, ισοδυναμεί με οκταπλασιασμό στην ισχύ του ανέμου στην περιοχή.
- Τα επιφανειακά εμπόδια. Με αυτό τον όρο νοείται κάθε εμπόδιο (πχ δέντρα, παρακείμενα κτίρια κα) που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης, φυσικό ή τεχνητό, που εμποδίζει την

ελεύθερη κυκλοφορία του ανέμου. Για την καλύτερη λειτουργία των ανεμογεννητριών, θα πρέπει οι φτερωτές να βρίσκονται εκτός του πεδίου επίδρασης των επιφανειακών εμποδίων.



Εικόνα 13: Ενδεικτικό πεδίο ροής κοντά σε επιφανειακό εμπόδιο (Στεργιόπουλος, 2021).

2.5 Μέτρηση αιολικού δυναμικού

Το πιο βασικό κριτήριο για την αξιολόγηση της ιδανικής επιλογής της θέσης εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου είναι η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, εξετάζοντας ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής. Η καλή αξιοποίηση της διάθεσης εξαρτάται από την αιολική ενέργεια από τα δεδομένα της ανεμογεννήτριας όπου θα εγκατασταθεί και κατά κύριο λόγο από την επιτυχημένη επιλογή τη θέση του αιολικού πάρκου.

Σωστό χαρακτηρίζεται ένα μέρος εφόσον (Στεργιόπουλος, 2021):

- Εμφανίζονται η ταχύτητες ανέμου υψηλές για μεγάλα χρονικά διαστήματα διάρκειας ενός χρόνου.
- Υπάρχει δρόμος και είναι εύκολη η μεταβίβαση στο αιολικό πάρκο.
- Υπάρχει διαθέσιμη μεγάλη έκταση για την εγκατάσταση επαρκούς αριθμού ανεμογεννητριών.
- Υπάρχει κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σε κοντινή απόσταση.
- Το υψόμετρο δεν είναι πολύ μεγάλο, ούτως ώστε να αποφεύγονται οι περιορισμοί σχετικά η ανεμογεννήτριες μετά την λειτουργία εξαιτίας επικρατουσών κακών καιρών στην συνθήκες.

Προτού πραγματοποιηθεί η τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας, συγκεντρώνονται τα ανεμολογικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα για την περιοχή της μελέτης, επεξεργάζονται και παράγονται διαγράμματα πυκνότητας πιθανότητας και διάρκειας των ανέμων. Ακόμη εντοπίζονται οι συχνότητες και οι διάρκειες των περιόδων χαμηλών ταχυτήτων και νηνεμίας. Για

την εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων είναι απαραίτητες μακρόχρονες και αναλυτικές μετρήσεις. Ωστόσο, εξαιτίας του υψηλού κόστους για της μετρήσεις των διαρκειών, εΐθισται να χρησιμοποιούνται αναλυτικά μοντέλα ημιεμπειρικά που μας δίνουν το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής με βάση έναν αριθμό παραμέτρων.

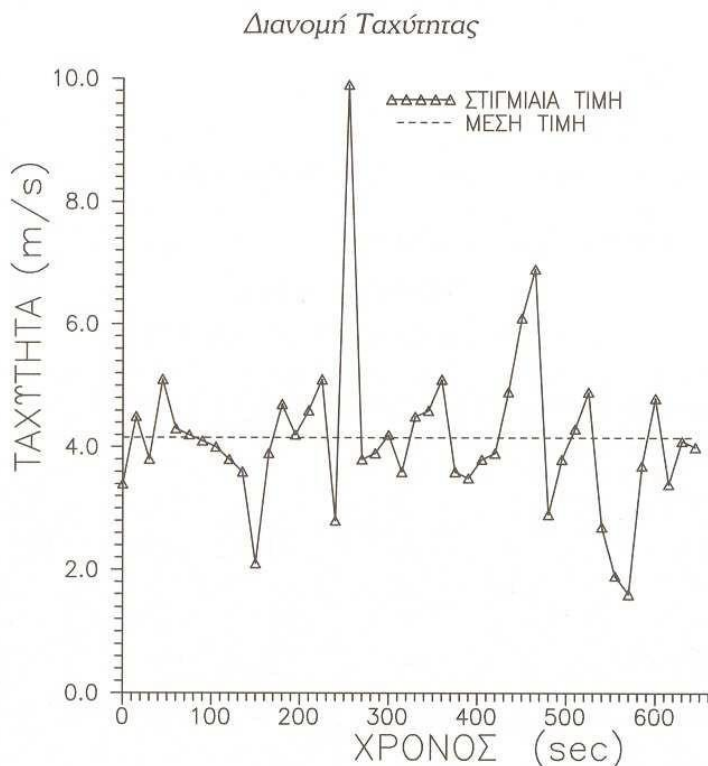
Η μέτρηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής απαιτεί την παρουσία εξειδικευμένου προσωπικού με εμπειρία ούτως ώστε να γίνει σωστή επιλογή στη θέση που θα λαμβάνονται οι μετρήσεις. Οι μετρήσεις διεξάγονται με την τοποθέτηση ενός χάλκινου ιστού ύψους μέχρι 60m όπου εγκαθίστανται ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες. Τα εν λόγω όργανα συνδέονται με ένα καταγραφικό, το οποίο απεικονίζει τις μετρήσεις στην οθόνη του. Οι μετρήσεις οφείλουν για λόγους αξιοπιστίας να διαρκούν κατ' ελάχιστον ένα έτος, ώστε να καλυφθούν όλες οι εποχιακές διακυμάνσεις που παρουσιάζονται σε μία περιοχή (Μπαιρακτάρης, 2018).

2.5.1 Ταχύτητα ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου αποτελεί ένα ιδιαίτερα μεταβλητό μέγεθος με έντονες χρονικές διακυμάνσεις. Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου αξίζει να αναφερθούν και να περιγραφούν τα ακόλουθα μεγέθη (Μπιζιώνης & Μπιζιώνης, 2015):

- Μέση ταχύτητα. Αποτελεί ιδιαίτερα μεταβλητό μέγεθος με εξάρτηση από τα χαρακτηριστικά του εδάφους.
- Στιγμαία ταχύτητα. Είναι το άθροισμα της μέσης ταχύτητας και της διακύμανσης γύρω από τη μέση τιμή.
- Μέγιστη ταχύτητα. Επηρεάζει την κατασκευαστική αντοχή του πύργου στήριξης των ανεμογεννητριών, όπως και τη μέγιστη φόρτιση των πτερυγίων τους. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες προκύπτουν από τη θέση της γεωγραφικής περιοχής αλλά και το ανάγλυφο.
- Ριπές ανέμου. Αποτελεί την μικρή και ξαφνική διάρκεια της ταχύτητας και την αύξηση του αέρα όπου ύστερα στο τέλος η ταχύτητα έρχεται στα επίπεδα τα προηγούμενα. Οι ριπές ξεπερνούν ως συνήθως τα 9m/s και διαφέρουν από τα επίπεδα τα συνηθισμένα κατά 4-5m/s. Καθορίζουν την κόπωση των ανεμογεννητριών και αν διαρκέσουν περισσότερο από 30s θα πρέπει οι μηχανισμοί ασφαλείας να θέσουν τις ανεμογεννήτριες ενός πάρκου εκτός λειτουργίας.
- Ανατάραξη ή τύρβη ανέμου. Η ταχύτητα γύρω από της διακύμανσης είναι μέση τιμή της. Η τραχύτητα του εδάφους εξαρτάται από την ένταση των αναταράξεων.
- Στροβιλισμός ανέμου. Είναι η ροή του ανέμου είναι η δημιουργία των ανωμαλιών εξαιτίας αναταράξεων και τα εμπόδια των διαφόρων στην επιφάνεια του. Ως συνήθως τα εμπόδια

επαναφέρουν στροβιλισμούς που επηρεάζουν την ισχύ και την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου.



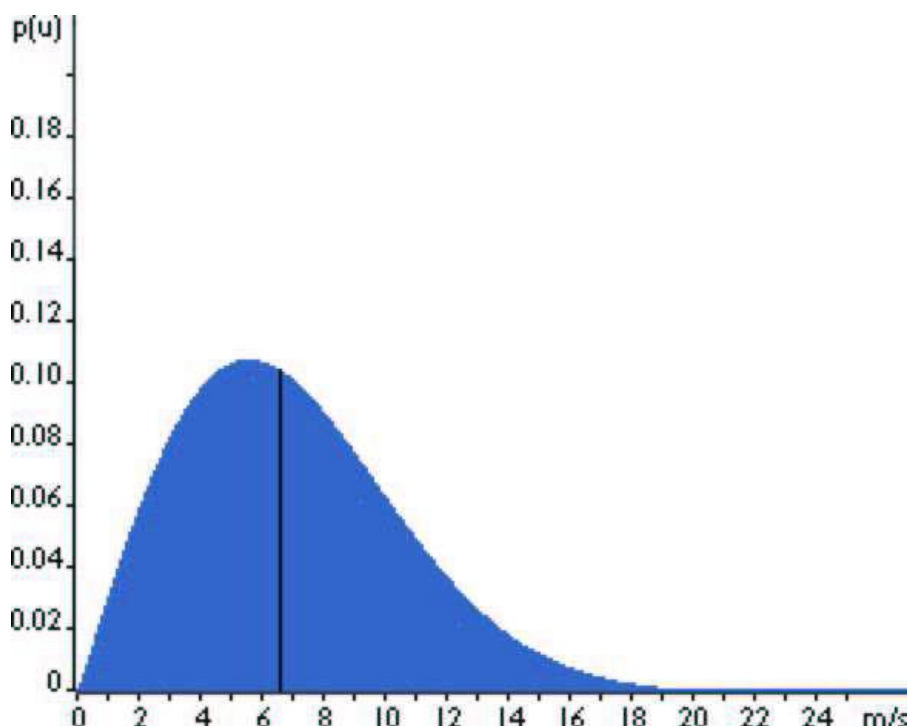
Εικόνα 14: Ενδεικτικό διάγραμμα στιγμιαίας / μέσης ταχύτητας ανέμου – χρόνου (Μηλιώνης, 2014).

2.5.2 Εκτίμηση ταχύτητας – κατανομή Weibull

Η ταχύτητα του χρόνου για κάθε κατανομή του ανέμου και για κάθε μέρη είναι πολύ σημαντική για την αξιολόγηση των περιοχών ως προς τη σκοπιμότητα εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου. Η ταχύτητα αντιμετωπίζεται και είναι δυνατόν ως μία συνεχής τυχαία μεταβλητή και να προέρχεται από μία πυκνότητα πιθανότητας συνάρτησης. Η πλέον διαδεδομένη κατανομή είναι η Weibull, δόθηκε και εμφανίστηκε από τον Σουηδό Walodi Weibull το 1951. Ωστόσο, η περιγραφή και η ποιότητα της προέρχεται από το πλήθος των διαθέσιμων μετρήσεων. Μπορεί τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά να περιγράφονται στα σημεία τα εύκρατα και για ύψος ως 100m από το χώμα. Με την συνάρτηση Weibull προσδιορίζεται η ταχύτητα και η πιθανότητα του αέρα σε ένα μέρος όπου βρίσκεται η ταχύτητα (V), ενώ διαφέρει η μορφή της κατά τόπους και η συνθήκες κλιματολογίας εξαρτώνται από το έδαφος του ανάγλυφου στην περιοχή μελέτης. Η εξίσωση Weibull φαίνεται από τον τύπο:

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

Όπου $f(V)$ είναι η πιθανότητα πυκνότητας, k σχήματος της παράμετρος (καθαρός αριθμός), c η κλίμακα της παράμετρος σε m/s και V ο άνεμος της ταχύτητας σε m/s και ισχύουν οι συνθήκες $k>0, c>1, v>0$.



Εικόνα 15: Ενδεικτική κατανομή Weibull (Μηλιώνης, 2014).

Οι παράμετροι k και c της κατανομής Weibull υπολογίζονται προσεγγιστικά από τις σχέσεις:

$$k = \frac{\sigma_V^{-1.086}}{V}$$

$$c = 1.128\bar{V}$$

Το k είναι μέση τιμή της συνάρτησης και η ταχύτητα της διασποράς του αέρα και φαίνεται το σύνολο της ταχύτητας διασποράς σε ένα μέρος. Η παράμετρος c είναι η ταχύτητα της συνάρτησης και της παραμέτρου k και φαίνεται η ένταση του αέρα που κρατεί σε μία τοποθεσία. Οι δύο παράμετροι ποικίλουν αναλόγως της τοποθεσίας, μιας και η διαμόρφωση εξαρτάται από το έδαφος και τις συνθήκες κλιματικές. Βλέποντας το μέρος του Αιγαίου οι τιμές της παραμέτρου k κυμαίνονται ανάμεσα στο 1.3-2, πολλές φορές ξεπερνώντας το 2, σημειώνοντας την υψηλοί και καλής ποιότητας αιολικού δυναμικού. Όσο το k μεγαλώνει η πιθανότητα συνάρτησης πηγαίνει ποίο κοντά στη τιμή τη μέση, που σημαίνει ότι οι πιθανότητες εμφάνισης πολύ αδύναμων αλλά

και πολύ δυνατών ανέμων είναι μειωμένες. Αντιστοίχως, οι παράμετρος και η τιμές του c πηγαίνουν ανάμεσα του 5-7, ενώ όταν επικρατούν υψηλές ταχύτητες ανέμου μπορεί να πλησιάσουν και την τιμή 10 (Νικολαΐδης, 2018).

Οι κατασκευάστριες εταιρίες ανεμογεννητριών είθισται να δίνουν τα χαρακτηριστικά στοιχεία (τυποποιημένα στοιχεία απόδοσης) βάσει της κατανομής Rayleigh ($k=2$). Η Rayleigh κατανομή εναλλακτικά χρησιμοποιείται για την κατανομή Weibull, στη θέση της όπως παρουσιάζει κάποια αποτελέσματα συγκρίσιμα με πράξεις λιγότερα με τα μαθηματικά (Παπαδάκης, 2012). Κατά τη διαδικασία εκτίμησης του αιολικού δυναμικού βάσει της Weibull, κατά τον έλεγχο για την επιλογή της καταλληλότερης σε μέγεθος γεννήτριας, θα χρειαστεί να παίρνεται υπόψιν, την πιθανότητα της ταχύτητας εμφάνισης, το μέγεθος και όχι μόνο την ταχύτητα του μέτρου. Αυτό σημαίνει ότι αν επιλεγεί μια ανεμογεννήτρια βάσει μιας υψηλής τιμής ταχύτητας, που η εμφάνιση της συχνότητας θα είναι μικρή, η ανεμογεννήτρια δεν θα δουλεύει για ένα συγκεκριμένο χρονικό έτος ή θα δίνει λίγο, καθώς η μικρές ταχύτητες του ανέμου θα είναι πολύ μεγάλες που θα παρουσιάζονται. Το μέγεθος για την καταλληλότητα μιας ανεμογεννήτριας (ονομαστική ισχύ και ταχύτητα λειτουργίας) είναι προτιμότερο η πραγματοποιήσει βάσει της μέσης ετήσιας ταχύτητας όπου είναι η μελέτη του ανέμου που προκύπτει από την στατική. Όσο πλησιέστερα είναι η ταχύτητα με την ονομαστική της ανεμογεννήτριας που επιλέχθηκε, τόσο μεγαλύτερη απόδοση και ενεργειακή παραγωγή θα έχει (Στεργιόπουλος, 2021).

2.5.3 Ισχύς του ανέμου

Η ισχύς P_A μιας σταθερής ταχύτητας V με αέρια δέσμης και πυκνότητας ρ , όπου έρχεται από την επιφάνεια εμβαδού A νοητής κάθετη στο διάνυσμα της ταχύτητας φαίνεται από τη σχέση:

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

Όπου:

P_A : ή θεωρητική ισχύς σε kW η ισχύς του αέρα.

ρ : σε kg/m^3 η πυκνότητα του αέρα.

A : από τα πτερύγια που δημιουργείται από το κύκλο του εμβαδόν της ανεμογεννήτριας σε m^2

V: ο άνεμος της ταχύτητας σε m/s

Από αυτή γνωρίζουμε ότι ο άνεμος της ισχύς που προκύπτει είναι ανάλογη από την ταχύτητα του κύβου. Ως εκ τούτου, η μεταβολές μικρές της ταχύτητας μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές μεταβολές στη διαθέσιμη αιολική ισχύ.

Η πυκνότητα του αέρα δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_a = \frac{P_a}{R_g T_a}$$

Όπου:

P_a : η πίεση περιβάλλοντος σε Nt/m^2 .

R_g : η σταθερά αερίων, για τον ξηρό αέρα είναι ίση με $287 \text{ J/kg}^{\circ}\text{K}$.

T_a : η θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε $^{\circ}\text{K}$

Το εμβαδό του κύκλου σάρωσης των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας δίνεται από τον τύπο:

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

Όπου:

D: η διάμετρος της πτερωτής της ανεμογεννήτριας σε m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Αιολικές μηχανές και αιολικά πάρκα

Το τρίτο κεφάλαιο πραγματεύεται τις μηχανές με τις οποίες επιτυγχάνεται η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, της επονομαζόμενες ανεμογεννήτριες. Στα πλαίσια της ανάλυσης παρουσιάζονται τα είδη των ανεμογεννητριών, η δομή και τα μέρη που τις απαρτίζουν, η αρχή λειτουργίας τους και άλλα θέματα που σχετίζονται με αυτές και κρίνονται απαραίτητα για την πλήρη παρουσίαση του θέματος αλλά και την υλοποίηση του ερευνητικού μέρους.

3.1 Είδη ανεμογεννητριών

Κύριος στόχος μιας ανεμογεννήτριας είναι η μετατροπή της κινητικής ενέργειας που έχει ο αέρας σε ηλεκτρική. Αρχικά, η ενέργεια που κινείται μετατρέπεται σε ενέργεια της μηχανικής στα πτερύγια η ακολούθως σε ενέργεια της ηλεκτρικής με τη βοήθεια του ηλεκτρικού μέρους της ανεμογεννήτριας. Είναι αυτονόητο ότι για τη βέλτιστη μετατροπή ενέργειας θα πρέπει να προηγηθεί κατάλληλος σχεδιασμός της μηχανής. Η επικέντρωση αυτή και ο σχεδιασμός είναι η αύξηση όσο το δυνατόν περισσότερο, το κόμβο αιολικής ενέργειας και στη μείωση του κόστους λειτουργίας και αγοράς των αιολικών μηχανών.

Σε δύο βασικά μέρη χωρίζονται η ανεμογεννήτριες ως εξής, άξονα οριζόντιου (Εικόνα 16) και άξονα κατακόρυφα (Εικόνα 17), η κύρια διαφορά των οποίων έγκειται στον τρόπο που είναι τοποθετημένος ο άξονας περιστροφής. Τα πτερύγια σε μια μηχανή άξονα οριζόντιου γυρνάνε με περιστροφή του άξονα παράλληλα με τον αέρα της κατεύθυνσης του εδάφους, ενώ ο δρομέας της είναι τύπου έλικας. Στις μηχανές κάθετου άξονα, ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος ως προς την γη και την επιφάνεια και πηγαίνουν τα πτερύγια από κάτω προς τα πάνω.

Ενδεικτικά μια ανεμογεννήτρια άξονα οριζόντιου έχει ύψος περίπου 60m και διαθέτει δύο ή τρία πτερύγια, με υψηλό αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης (Μπαιρακτάρης, 2018). Μία ανεμογεννήτρια τυπικού άξονα κάθετου έχει ύψος 30m και πλάτος ίσο με 15m. Ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται οι οριζόντιου άξονα, ισχύος 200-400kW, καθότι διαθέτουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης (περίπου 35-40%) συγκριτικά με τις μηχανές κάθετου άξονα (περίπου 15%). Επίσης, οι μηχανές οριζόντιου άξονα συναρμολογούνται ευκολότερα και μπορούν να αξιοποιήσουν ανέμους με υψηλή ταχύτητα (εξαιτίας του ύψους τους) εν συγκρίσει με της μηχανές κατακόρυφου άξονα (Στεργιόπουλος, 2021). Τέλος, οι οριζόντιου άξονα εμφανίζουν ένα επιπρόσθετο συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με τις κάθετου άξονα και αυτό αφορά το γεγονός ότι εμφανίζουν μεγαλύτερη σταθερότητα, μοιράζοντας το αεροδυναμικό τους φορτίο ομοιόμορφα (Λύτρα, 2021). Ακολούθως, ενδεικτικά παρατίθεται οι εικόνες που απεικονίζουν τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες ανεμογεννητριών.



Εικόνα 16: Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα (Λειβαδάρας, 2016).

Περίπου το 90% επί του συνόλου των εγκατεστημένων ανεμογεννητριών σε παγκόσμιο επίπεδο είναι οριζοντίου άξονα. Αυτές παρουσιάζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγια τους, τα οποία συνηθέστερα είναι 3, κατασκευάζονται με βάση την τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων και των ελικοπτέρων (van Kuik, et al., 2016).

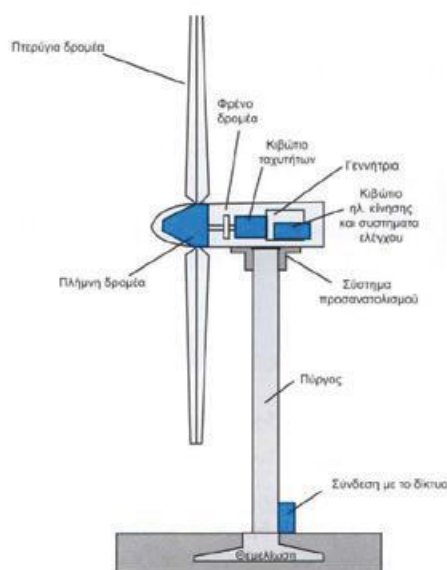
Τέλος, αξίζει να τονιστεί ότι αυτό που παραλαμβάνουν η ανεμογεννήτριες εντός 2-3 μηνών η ενέργεια που χρειάστηκαν για την λειτουργία έτσι ώστε να δημιουργηθούν (Hrafinkelsson, Oddsson, & Unnthorsson, 2016).



Εικόνα 17: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα (Στεργιόπουλος, 2021)

3.2 Δομή και μέρη μιας ανεμογεννήτριας

Στην παρούσα ενότητα περιγράφεται η δομή μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα. Παρότι στο εμπόριο υπάρχουν πολλοί κατασκευαστές, τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα συνοψίζονται ακολούθως και απεικονίζονται στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 18) (Κανελλόπουλος, 2008).



Εικόνα 18: Κύρια μέρη μιας ανεμογεννήτριας (Χριστάκης & Αθανασόπουλος, 2016).

- Πύργος στήριξης. Αποτελεί το βαρύτερο και μεγαλύτερο μέρος της μηχανής, κατασκευάζεται από χάλυβα ή οπλισμένο σκυρόδεμα και μπορεί να είναι δικτυωτού ή σωληνωτού τύπου, με το δεύτερο τύπο να είναι επικρατέστερος. Εντός αυτού βρίσκεται ολόκληρη η ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας. Αναλογικά με το ύψος του, αυξάνεται και η ισχύς των μηχανών. Τέλος, το ύψος δε μπορεί να είναι αρκετά κάτω για τυχόν φαινομένων αποφυγής με το έδαφος.
- Βάση στήριξης. Αφορά τη θεμελίωση του πύργου στήριξης στο έδαφος και κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Πτερύγια. Αφορούν το τμήμα της μηχανής στο οποίο προσπίπτει ο άνεμος, μεταβιβάζει την κινητική του ενέργεια και τα θέτει σε κίνηση. Η διάμετρος της πτερωτής αποτελεί καθοριστικό χαρακτηριστικό μιας ανεμογεννήτριας καθώς επηρεάζει το εμβαδόν σάρωσής της.
- Πλήμνη. Είναι το μέρος της ανεμογεννήτριας όπου τοποθετούνται τα πτερύγια. Η κατασκευαστική μορφή πλήμνης ποικίλλει αναλόγως του είδους της πτερωτής και του επιθυμητού βαθμού ελευθερίας στη θέση σύνδεσης πτερυγίων και άξονα.
- Ηλεκτρική μηχανή. Αποτελεί την καρδιά του συνολικού συστήματος και είναι αυτή που μετατρέπει την περιστροφική (μηχανική) ενέργεια σε ηλεκτρική. Εντοπίζεται στο οριζόντιο μέρος της μηχανής, στο ανώτερο σημείο του πύργου και μπορεί να είναι είτε σύγχρονη είτε επαγωγική γεννήτρια.
- Κιβώτιο ταχυτήτων. Αποτελεί το συνδετικό κρίκο μεταξύ πτερυγίων και γεννήτριας. Ο ρόλος του συστήματος μετάδοσης κίνησης είναι να μετατρέπει τη μικρή ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων σε υψηλότερες τιμές, οι οποίες απαιτούνται έτσι ώστε η γεννήτρια να είναι σε θέση να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.
- Σύστημα προσανατολισμού. Λειτουργεί ηλεκτρικά και ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη με σκοπό να καθιστά τον δρομέα του άξονα περιστροφής σε θέση παράλληλης της γεννήτριας με τον άνεμο στη διεύθυνση που κινείται.
- Σύστημα ελέγχου. Αποτελείται από μικροελεγκτές με στόχο τον έλεγχο και την παρακολούθηση το πως λειτουργεί η ανεμογεννήτρια. Σε κάποιες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας μπορεί να ανταπεξέλθει.
- Σύστημα πέδησης (φρένο). Τοποθετείται με σκοπό της προστασία της μηχανής από υψηλές ταχύτητες. Περιλαμβάνει αεροδυναμικό και μηχανικό σύστημα ασφαλείας.
- Ηλεκτρικός πίνακας. Τοποθετείται στη βάση του πύργου στήριξης και αφορά το σημείο όπου εντοπίζονται τα ηλεκτρικά μέσα προστασίας και το σημείο παροχέτευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο.



Εικόνα 19: Τυπική απεικόνιση ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα (Μηλαράς, 2008).

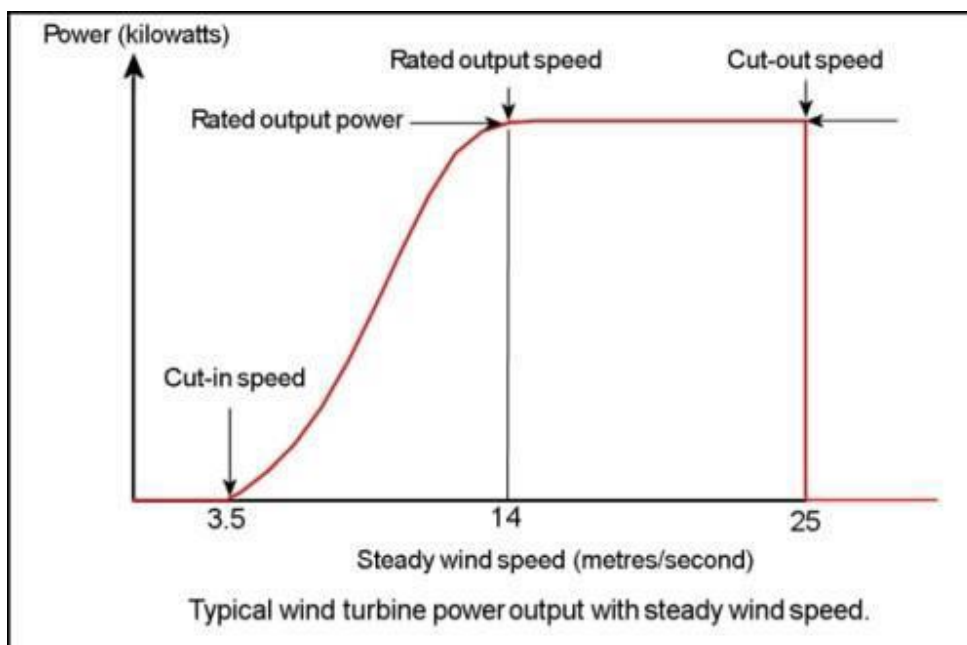
3.3 Αρχή λειτουργίας

Μία ανεμογεννήτρια λειτουργεί με τον ακριβώς αντίθετο τρόπο απ' ότι ένας ανεμιστήρας, δηλαδή αντί να αξιοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια για τη δημιουργία αέρα, εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στο γεγονός ότι ο αέρας περιστρέφει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, τα οποία συνδέονται με έναν περιστρεφόμενο άξονα χαμηλής ταχύτητας περιστροφής. Αυτός συνδέεται με ένα κιβώτιο ταχυτήτων στο οποίο η ταχύτητα περιστροφής αυξάνεται. Το κιβώτιο συνδέεται με έναν άξονα μεγαλύτερης ταχύτητας περιστροφής, ο ρόλος του οποίου είναι να κινεί μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Τα παραγόμενα ρεύμα μεταφέρεται μέσω καλωδίων και μετασχηματιστών στο δίκτυο και από εκεί καταλήγει στους τελικούς καταναλωτές.

Σε επίπεδο φυσικής, οι ανεμογεννήτριες εκμεταλλεύονται τις δυνάμεις (αντίσταση και άνωση) που αναπτύσσονται στα πτερύγια ώστε να επιτύχουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο. Η αντίσταση αφορά τη δύναμη που ασκείται σε ένα αντικείμενο από την ροή του αέρα και έχει την κατεύθυνση της ροής. Η άνωση αφορά τη δύναμη που ασκείται από τον άνεμο στο αντικείμενο και έχει κατεύθυνση κάθετη στη ροή του ανέμου. Η άνωση είναι μικρή για μηδενική γωνία πρόσπτωσης και αυξάνεται για μικρές γωνίες πρόσπτωσης οι οποίες καθορίζονται από τις αεροτομές (Αργυρός, 2011).

Η ανεμογεννήτρια με την καμπύλη ισχύος συναρτήσει με τον αέρα της ταχύτητας, είναι βασικό δεδομένο για την παραγωγή και τον καθορισμό ισχύος και τον χρόνο εκτίμησης απόσβεσης ενός αιολικού πάρκου. Στην ακόλουθη εικόνα δίνεται μια απλοποιημένη μορφή της καμπύλης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας. Από αυτή φαίνεται ότι ο αέρας ταχύτητας είναι

μικρότερες από την λειτουργία ταχύτητα έναρξης «cut-in speed», η ισχύς που παράγεται είναι μηδενική, που σημαίνει ότι δεν αξιοποιείται το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό. Οι συνήθεις τιμές της ταχύτητας έναρξης κυμαίνονται μεταξύ 3-6m/s. Η ταχύτητα μεταξύ της έναρξης και η ονομαστική ταχύτητα ισχύος « V_R », αυξάνεται η ισχύς της ανεμογεννήτριας, με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Σ' αυτή την περιοχή λειτουργίας, αναλόγως της μηχανής μεταβολής έχει τους εκθετικούς, παραβολικούς και γραμμικούς ρυθμούς. Όταν ο άνεμος της ταχύτητας είναι ανάμεσα στην ταχύτητα ονομαστικής λειτουργίας (ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας (rated output speed) 12-15 m/sec) και όταν διακοπή η λειτουργία της ταχύτητας «cut-out speed», είναι σταθερή η παραγόμενη ισχύς και ίση με την ονομαστική τιμή της ανεμογεννήτριας P_e , ανεξαρτήτως της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση ισχύος της μηχανής η μεταβολή της πτερωτής διεύθυνσης και η μεταβολή γίνεται με τη χρήση αερόφρενων τη χρήση αερόφρενων σχετικά με τον άνεμο ή των στροφών της. Η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας της ανεμογεννήτριας ποικίλλει αναλόγως της εγκατάστασης και κυμαίνεται μεταξύ 20-30m/s. Όταν ο αέρας της ταχύτητας ξεπεράσει την λειτουργία της ταχύτητας διακοπής, η παραγόμενη ισχύς μηδενίζεται για την ασφάλεια. Η εγκατάσταση είναι ασφαλής, δίχως προφανώς να παράγεται ενέργεια, ως επιβίωση λεγόμενης ταχύτητας « V_s » της εγκατάστασης, όπου είναι ανάμεσα μεταξύ των 50-80m/s (Στεργιόπουλος, 2021). Η ισχύς της καμπύλης στηρίζεται στη ποιότητα της αεροδυναμικής μίας ανεμογεννήτριας, με τον άνεμο στις συνθήκες της περιοχής και στα εδάφη τα χαρακτηριστικά.



Εικόνα 20: Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας (Στεργιόπουλος, 2021).

Συνοψίζοντας, η μορφή ισχύος της καμπύλης μιας ανεμογεννήτριας με την ταχύτητα του αέρα δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$P_w = \begin{cases} 0 & \text{για } V < V_{in} \\ f_{WT}(V) & \text{για } V_{in} < V < V_r \\ P_e & \text{για } V_r < V < V_{out} \\ 0 & \text{για } V > V_{out} \end{cases}$$

Η συνάρτηση $f_{WT}(V)$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_{WT}(V) = a_{WT}V^3 - b_{WT}P_e$$

όπου a_{WT} , και b_{WT} είναι η καμπύλη ισχύος με τους συντελεστές της ανεμογεννήτριας και αναφέρονται από τις συνάρτησης:

$$a_{WT} = \frac{P_r}{V_r^3 - V_{in}^3}$$

$$b_{WT} = \frac{V_{in}^2}{V_r^3 - V_{in}^3}$$

Αποτελεί γεγονός ότι κάθε ανεμογεννήτρια είναι εφικτό να βελτιστοποιείται ώστε να δίνει καλύτερα την ταχύτητα σε ένα εύρος. Με τη μεταβολή μεγεθών όπως το ύψος (επιδρά στην ταχύτητα του ανέμου), τη γωνία πρόσπτωσης του ανέμου, το σύνολο των πτερυγίων ή το σύνολο της γεννήτριας (κινείται η καμπύλη ισχύος) αλλάζει η ενεργειακή συμπεριφορά της. Οι ανεμογεννήτριες οφείλουν να υπάρχει ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης από τον άνεμο στις ταχύτητες που αποτελείται η περισσότερη ενέργεια χρονικά, δηλαδή με τις ταχύτητες των υψηλών συχνότερων στο εύρος. Με το μέγεθος δεδομένο των πτερυγίων, όσο μεγαλύτερη είναι η γεννήτρια τόσο περισσότερο παράγει ενέργεια, διαθέτοντας τόση μικρότερη απόδοση στις μικρές και μέσες ταχύτητες και τούμπαλιν (Νικολαΐδης, 2018).

3.4 Υπολογισμός ισχύος μιας ανεμογεννήτριας

Η ονομαστική ισχύς μιας ανεμογεννήτριας καθορίζει το μέγεθος της και υπολογίζεται με τη βοήθεια της ισχύος του ανέμου P_A , όπως υπολογίστηκε στην ενότητα 2.5.3. Η ισχύς του ανέμου P_A μετατρέπεται σε μηχανική ισχύ ένα μόνο μέρος της. Στον άξονα η παραγόμενη της ανεμογεννήτριας ισχύς μηχανική P_m δίνεται από την σχέση:

$$P_m = C_p P_A$$

Η ισχύ μηχανική P_m μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ ένα μόνο μέρος της. Η ηλεκτρική ισχύς P_e όπου παράγεται από την ανεμογεννήτρια και κατά βάση ενδιαφέρεται για τον μελετητή, φαίνεται από τη σχέση:

$$P_e = n_t P_m = n_t C_p \frac{1}{2} \rho A V^3$$

όπου n_t είναι βαθμός ο συνολικός απόδοσης της ανεμογεννήτριας και C_p είναι ο συντελεστής αεροδυναμικός ισχύος του έλικα. Ο συντελεστής C_p αναφέρει της ισχύος το ποσοστό του ανέμου που η πτερωτή της μηχανής το εκμεταλλεύεται. Ο n_t ισούται με $n_t = n_h * n_m$, όπου n_h οι ηλεκτρικές απώλειες οι οποίες υπολογίζονται από 2 μέχρι 5% και n_m οι μηχανικές απώλειες στο 5%.

Σημειώνεται επίσης ότι και σε έναν ιδανικό έλικα, η ισχύος του συντελεστή δεν μπορεί να ξεπεράσει το όριο του Betz περίπου την τιμή 0,593. Ο συντελεστής ισχύος στη πραγματικότητα είναι πάντα χαμηλότερος από το όριο του Betz εξαιτίας του ανέμου και τη συνεκτικότητα, του αριθμού πεπερασμένου της πτερωτής των πτερυγίων και της ενέργειας των απωλειών λόγω του μη ιδανικού σχεδιασμού των πτερυγίων των ανεμογεννητριών. Άρα, σύμφωνα με το όριο αυτό η ισχύ της αιολικής, είναι η περισσότερη μηχανική ισχύς που μπορεί να αξιοποιηθεί είναι το 59,3%. Πρακτικά λαμβάνεται ως 65%.

3.5 Επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου

Για την επιλογή τοποθεσίας εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου υφίστανται ορισμένες προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληρούνται. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να θεωρηθεί ένα μέρος κατάλληλο για την μελέτη ενός αιολικού πάρκου ο άνεμος θα πρέπει να εμφανίζει μεγάλες ταχύτητες για ένα αρκετό χρονικό διάστημα στη διάρκεια του έτους. Ακόμη, θα πρέπει να

υπάρχει σε διαθεσιμότητα μεγάλη έκταση γης αλλά και δυνατότητα εύκολης πρόσβασης στην τοποθεσία για τη μεταφορά του εξοπλισμού. Επίσης, θα είναι τοποθετημένος σε κοντινή απόσταση από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υφίσταται δυνατότητα σύνδεσης (χαμηλό κόστος εγκατάστασης) και να μην είναι σε μεγάλο υψόμετρο ώστε να μην τίθενται περιορισμοί εξαιτίας καιρικών συνθηκών (Λύτρα, 2021).

Πλην των ανωτέρω, θα πρέπει να γνωρίζουμε την ταχύτητα (μέση, στιγμιαία και μέγιστη) και ο άνεμος στη διεύθυνση στην συγκεκριμένη περιοχή. Θα πρέπει να εξετάζονται κατά περίπτωση τα εμπόδια που φαίνονται (πχ δέντρα, σπίτια) που υπάρχουν και βρίσκονται προς το μέρος του ανέμου παρεμποδίζοντας την ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα. Επιπλέον, καθοριστικός είναι ο ρόλος της τραχύτητας του εδάφους (αύξησή της αλλάζει την ταχύτητα του ανέμου προς την κατανομή) αλλά και η τύρβη (επηρεάζει την ισχύ της εγκατάστασης).

Ένας ακόμα παράγοντας έρευνας είναι η μορφολογία του εδάφους, η οποία επιδρά στο πως συμπεριφέρεται ο άνεμος. Για την τοποθέτηση ανεμογεννητριών ιδανική θέση αποτελούν οι κορυφές μιας λοφοσειράς μιας και η ταχύτητα του ανέμου εμφανίζει εκεί τη μεγαλύτερη τιμή οδηγώντας σε αύξηση της παραγόμενης ισχύος. Επίσης, η κλίση του εδάφους επιδρά σημαντικά δυσκολεύοντας την πρόσβαση και την κατασκευή του πάρκου.

Αν αφαιρεθούν οι απαιτήσεις αναφορικά με τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά ενός μέρους η τοποθέτηση εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου επικεντρώνεται στα ίδια οικονομοτεχνικά κριτήρια που αφορούν οποιαδήποτε ενεργειακή επένδυση, όπως είναι οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια, περιορισμοί βάσει κανονισμών και χρήσεων γης, κοινωνική αποδοχή κα (Στεργιόπουλος, 2021).

Σχετικά με τη διάταξη των ανεμογεννητριών (θέσεις και αποστάσεις), υπάρχει εξάρτηση από το διαθέσιμο χώρο, αλλά και από τα σημεία με τα ευνοϊκότερα ανεμολογικά στοιχεία. Πρακτικά, όταν υφίσταται ο διαθέσιμος χώρος και η περιοχή διαθέτει τα ίδια ανεμολογικά χαρακτηριστικά, οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον ίση με το δεκαπλάσιο της διαμέτρου του ρότορα ($L \geq 10D$). Για λόγους ασφαλείας βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας, η απόσταση από τα όρια του αιολικού πάρκου για περιοχές εκτός της οικιστικής ζώνης, οφείλει να είναι τουλάχιστον ίση με τη διάμετρο του ρότορα ($L \geq D$) (Μπαιρακτάρης, 2018).

3.6 Αιολικά πάρκα

Με τον όρο αιολικό πάρκο νοείται ένα σύνολο με ανεμογεννήτριες σε ένα μέρος με αρκετό δυναμικό με σκοπό την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή. Έκτος των ανεμογεννητριών, σε ένα αιολικό πάρκο εμπεριέχονται οι σταθμοί μετασχηματισμού, η μεταφορά

των καλωδίων, οι πρόσβαση στους δρόμους, οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικές, η κάμερες παρακολούθησης και ελέγχου, οι μετεωρολογικοί ιστοί κα. Τα αιολικά πάρκα κατηγοριοποιούν σε χερσαία, παράκτια και υπεράκτια αναλόγως της τοποθεσίας εγκατάστασής τους.

3.6.1 Χερσαία

Τα χερσαία πάρκα εντοπίζονται στη ξηρά στις κορυφογραμμές περιοχών μεγάλου σχετικά υψόμετρου (άρα και υψηλής ταχύτητας ανέμου), σε απόσταση τουλάχιστον 3km από τις ακτές. Αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή αιολικών πάρκων. Αν τοποθετηθούν σε μεγάλο υψόμετρο ενδέχεται να χρειαστεί να ανοιχτούν δρόμοι αυξάνοντας κατά πολύ το κόστος εγκατάστασης.



Εικόνα 21: Ενδεικτική απεικόνιση χερσαίου αιολικού πάρκου (Μακρίδης, 2013).

Η χωροθέτηση ενός χερσαίου αιολικού πάρκου οφείλει να απέχει από κατοικίες με οικολογικό ενδιαφέρον και περιοχές που κατοικούνται. Το μέτρο της ζώνης που πρέπει να απέχουν οι κατοικημένες περιοχές σε σχέση με το αιολικό πάρκο περίπου είναι 500m ως 2.5km (Λύτρα, 2021). Τα χερσαία αιολικά πάρκα διαθέτουν χαμηλό κόστος κατασκευής, φθηνή ενοποίηση με το ηλεκτρικό δίκτυο και καλύτερη προσβασιμότητα συγκριτικά με τις υπόλοιπες δύο κατηγορίες αιολικών πάρκων (Bilgili, Yasar, & Simsek, 2011).

3.6.2 Παράκτια

Παράκτια αιολικά πάρκα καλούνται εκείνα που χωροθετούνται στην ξηρασία σε απόσταση κάτω των 3km από την πιο κοντινή ακτή ενώ στην θάλασσα σε απόσταση μικρότερη των 10km από την ακτή. Σε αυτά που βρίσκονται στη ξηρά η τεχνολογία τους είναι παραπλήσια με των χερσαίων. Εξαιτίας των δυνατών ανέμων που δημιουργούνται με τη θερμοκρασιακή διαφορά θάλασσας και στεριάς τα παράκτια εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα εν αντιθέσει με τα παράκτια μέσα στη θάλασσα, όπου δημιουργούνται δυσκολίες στην τοποθέτηση.



Εικόνα 22: : Ενδεικτική απεικόνιση παράκτιου αιολικού πάρκου (Μπαιρακτάρης, 2018).

3.6.3 Υπεράκτια

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα διατάσσονται σε περιοχές εντός θαλάσσης και έξω από την ζώνη των 10km από την ακτογραμμή. Έχει αποδειχθεί ότι οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν πιο αποδοτικά στη θάλασσα σε σύγκριση με τη στεριά εξαιτίας των υψηλότερων ταχυτήτων ανέμου. Στην θάλασσα δεν εμφανίζεται τύρβη οδηγώντας σε βελτίωση στην απόδοση των ανεμογεννητριών και σε μείωση της καταπόνησής τους.

Το μέρος με το θαλάσσιο περιβάλλον προσφέρει μεγαλύτερο εύρος επιλογής κατάλληλο μέρος δε σημαίνει πως δεν οφείλουν να τηρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Απαιτείται σκάψιμο ως 50m, αλλά και υψηλή ταχύτητα ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται στη θάλασσα σε βάθος ως και 900m και έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι εκτεθειμένες σε ανέμους υψηλής ταχύτητας διαθέτοντας με αυτό τον τρόπο μεγάλες αποδόσεις. Μειονεκτούν ως προς το υψηλό κόστος εγκατάστασης και την περιορισμένη δυνατότητα πρόσβασης για συντήρηση κα (Esteban, Diez, Lopez, & Negro, 2011).

Επίσης, πρέπει να τηρείται απόσταση από την επιφάνεια των υδάτινων όγκων ώστε να προστατεύονται οι τοπικοί υγρότοποι. Τα θεμέλια των ανεμογεννητριών εγκαθίστανται εντός θαλάσσης ενώ ο πύργος πάνω από την επιφάνειά της. Παρόλα αυτά, το ποσοστό εγκατάστασης ενός υπεράκτιου πάρκου είναι πάρα πολύ συγκριτικά με τα χερσαία ή παράκτια γι' αυτό και είναι αρκετά λιγότερα σε αριθμό. Το πρώτο υπεράκτιο αιολικό έργο κατασκευάστηκε το 1991 στη Δανία (Λύτρα, 2021).



Εικόνα 23: Ενδεικτική απεικόνιση υπεράκτιου αιολικού πάρκου (Πηγή: Μελέτη αιολικού πάρκου Μπαιρακτάρης Κωσταντίνος, 2018).

ΜΕΡΟΣ Β - WINDFARM (E-STUDY)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Περιήγηση στο WindFarm

4.1 Εισαγωγή

Το Πρόγραμμα Windfarm είναι αρκετά δυνατό και εύκολο σύστημα, το οποίο διευκολύνει τη διαδικασία ανάπτυξης και την δημιουργία, για την ανάλυση και για την βελτιστοποίηση ενός αιολικού πάρκου.

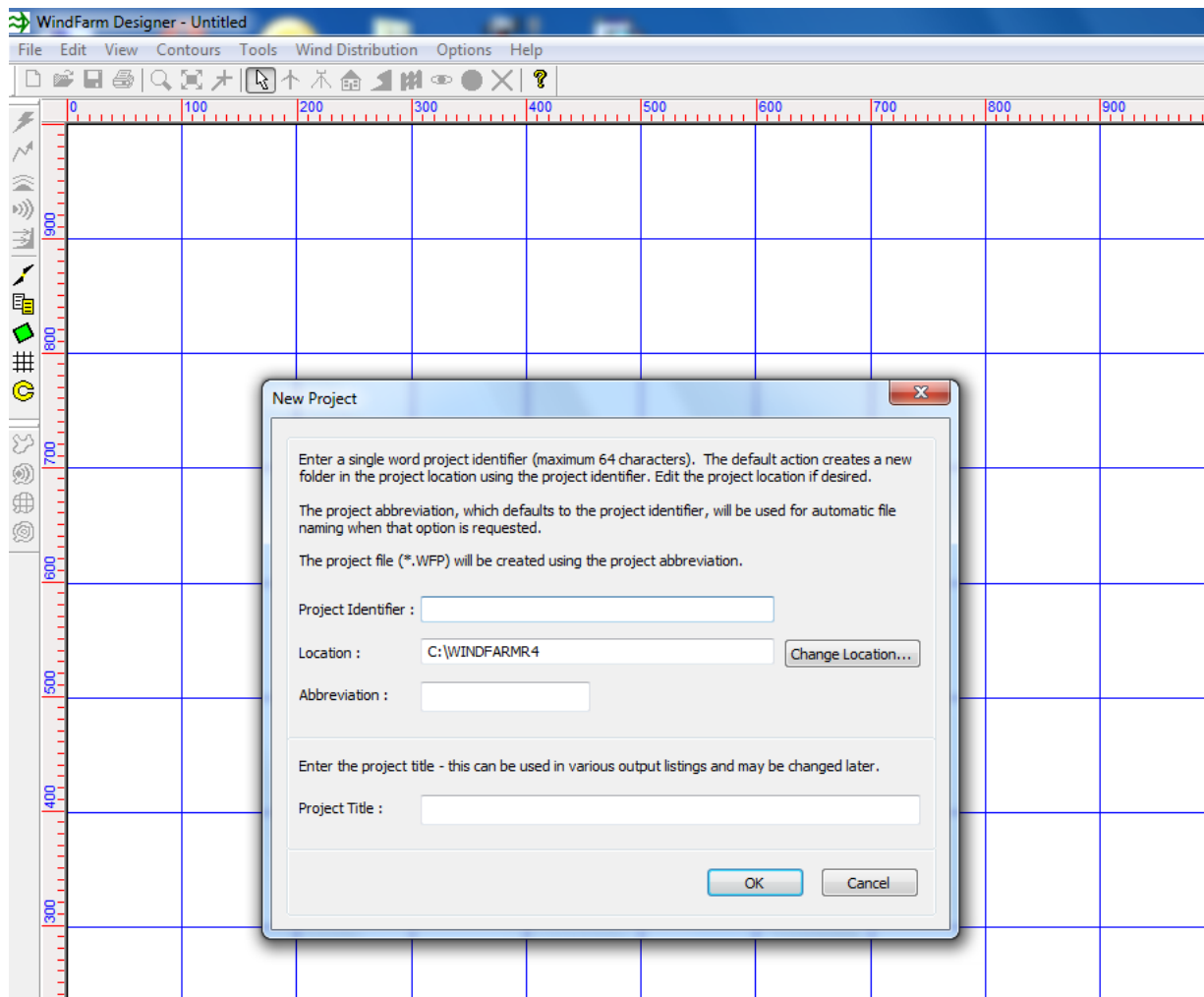
Το windfarm μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για:

- Υπολογισμό ενεργειακής απόδοσης ενός αιολικού πάρκου.
- Την ανάλυση τα δεδομένα των ανεμογεννητριών.
- Την δημιουργία 3D απεικόνισης.
- Τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου για την ανάλυση.
- Τον υπολογισμό του θορύβου.
- Την ανάλυση με το ραντάρ.
- Ο υπολογισμός σκίασης των ανεμογεννητριών.
- Την βελτιστοποίηση διάταξης των ανεμογεννητριών.

4.2 Designer του Windfarm

Αρχικά κάνουμε εκκίνηση το πρόγραμμα από το Start – Search – Windfarm Release 4. Ύστερα θα μας ανοίξει μια οθόνη τυπική του windfarm η οποία είναι το σχεδιαστικό.

Ο σχεδιαστές μας δίνει ένα πλαίσιο για την εκκίνηση ενός αιολικού έργου και μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για να δημιουργήσουμε και να δουλέψουμε το πάρκο μας, στην οθόνη μας εμφανίζεται η κάτοψη της διάταξης του αιολικού πάρκου, σε ένα μέρος του χάρτη. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν δύο κλίμακες στο χάρτη επάνω αριστερά και κατά μήκος της πλευράς, που μας υποδεικνύουν της συντεταγμένες του συστήματος στη περιοχή του χάρτη που θα εξετάσουμε. Ένα ολοκληρωμένο έργο αποτελείται από της συγκεντρωτικές πληροφορίες και συνοδεύεται από έναν φάκελο στο σύστημα με τα αρχεία του υπολογιστή. Κατά την εγκατάσταση του προγράμματος εάν έχουν χρησιμοποιηθεί η προεπιλογές τότε θα γίνει ένα καινούργιο πάρκο ως ένας υποφάκελος στο δίσκο C:\WindFarm4\



Εικόνα 24: Μέσω του προγράμματος WindFarm.

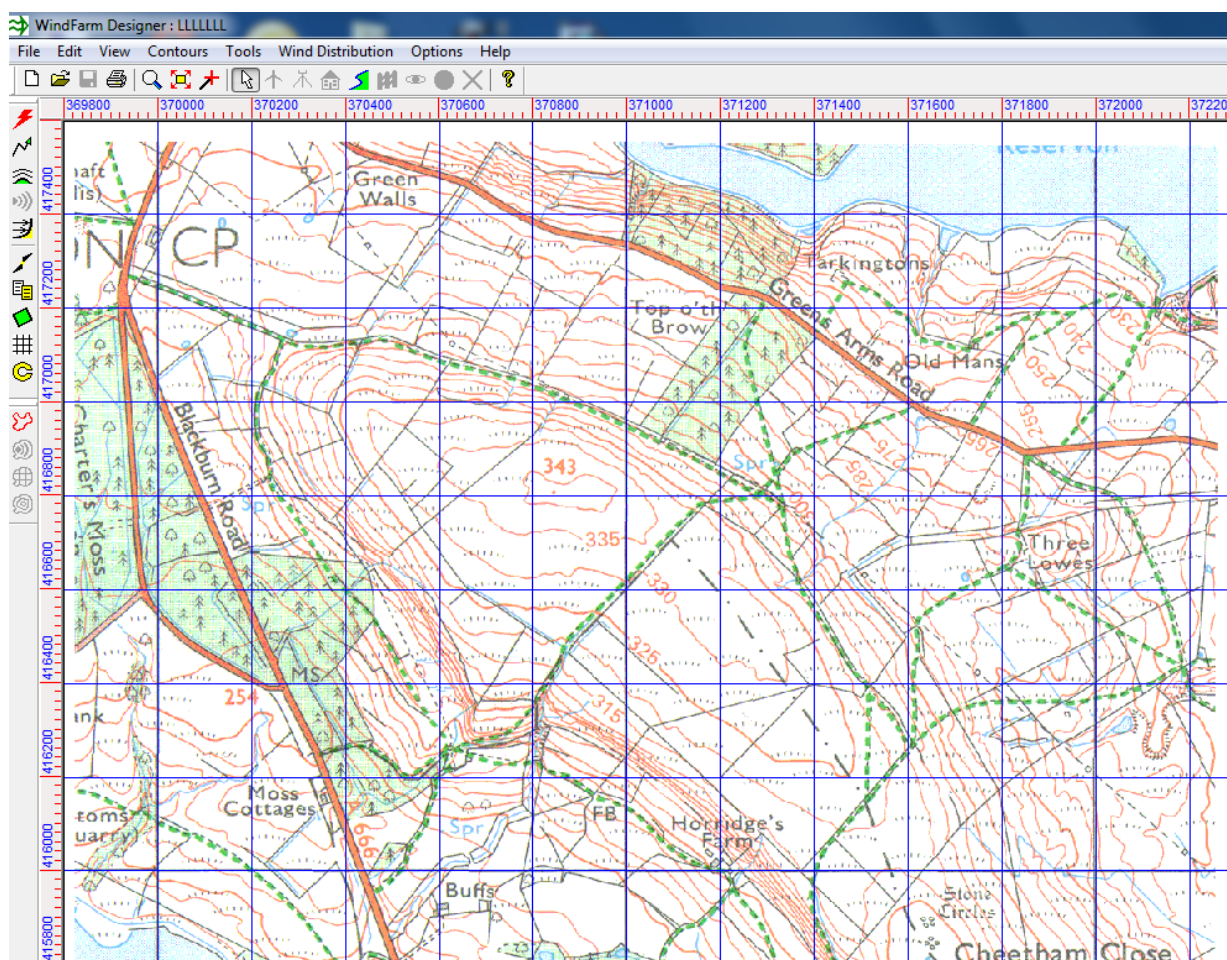
Αρχικά στο πρόγραμμα επιλέγουμε File menu Open project, μετά στη συνέχεια επιλέγουμε το αρχείο του έργου, C:\WindFarmR4\Project\Project.WFP. Ύστερα από αυτό θα μας εμφανιστεί η τοποθεσία του αιολικού πάρκου.

Μετά κλικάρουμε File menu Open Layout και στην συνέχεια επιλέγουμε το Project001.WFL. Από αυτό παρατηρούμε ότι μας εμφανίζεται η διάταξη με τα σπίτια τα ανεμόμετρα και της ανεμογεννήτριες.

Με το που ανοίξει το σχεδιαστικό και η διάταξη, παρατηρούμε ότι έχουν ενεργοποιηθεί διάφορες επιλογές στις γραμμές των εργαλείων τα οποία μας διευκολύνουν στην εξήγηση του προβλήματος.

Από τα δεδομένα που έχουμε όπως η εικόνα στο σχεδιαστικό, τα δεδομένα για το ύψος, τα δεδομένα της τραχύτητας του αιολικού πάρκου στο χάρτη και της περιοχής, αυτά είναι δεδομένα του έργου του αιολικού πάρκου που μπορούν να μελετηθούν στο πρόγραμμα του WindFarm.

Όταν ξεκινήσει η διαδικασία της δημιουργίας του αιολικού πάρκου εμφανίζονται κάποια Layouts που είναι μέσα στο έργο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την γραφική απεικόνιση για να τα περάσουμε και να επεξεργαστούμε κάποια μέρη των στροβίλων, του ανεμόμετρου και των σπιτιών που απεικονίζουν την κάθε διάταξη.

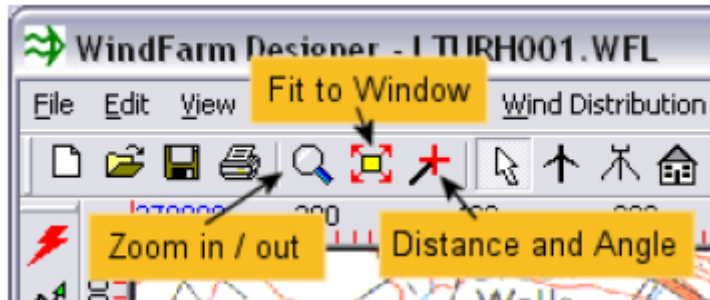


Εικόνα 25: Χάρτης από το πρόγραμμα WindFarm.

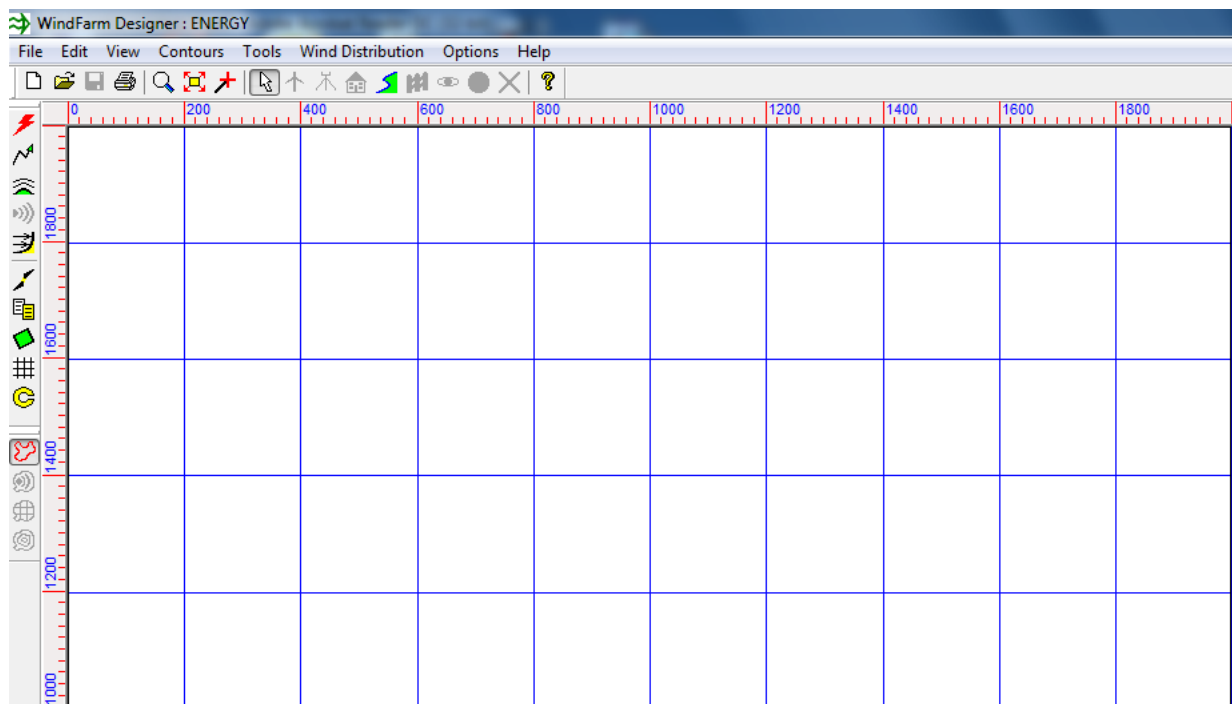
4.2.1. Designer WindFarm toolbar

Στο WindFarm υπάρχουν 3 γραμμές για την σχεδίαση που μπορούν να επιλεγούν .

1. Η πρώτη γραμμή βρίσκεται στο μήκος της κορυφής στην οθόνη του σχεδιαστεί και όπως βλέπουμε υπάρχουν γενικά κουμπιά, όπως τα βασικά κουμπιά για να μπορούμε να κάνουμε επεξεργασία στο έργο μας.

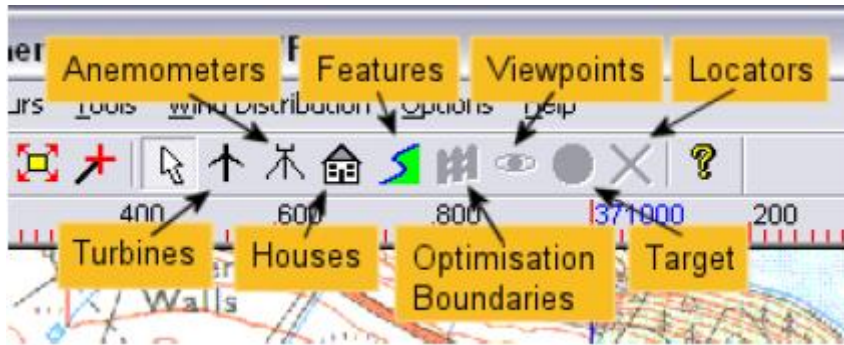


Εικόνα 26: Περιγραφή των εικόνων.



Εικόνα 27: Σχεδιασμός μέσω του προγράμματος WindFarm.

Επίσης στο WindFarm υπάρχει μία ομάδα αντικειμένων για τα οποία για της ανεμογεννήτριες, τα ανεμόμετρα, τα σπίτια, για τα συγκεκριμένα τα δεδομένα και το πακέτο boxes είναι ενεργά. Για να βελτιστοποιήσουμε κάποια όρια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το Optimisation, ενώ για της οπτικές γωνίες το μέρος και οι εντοπιστές χρησιμοποιούνται για γίνεται το Photomontage.

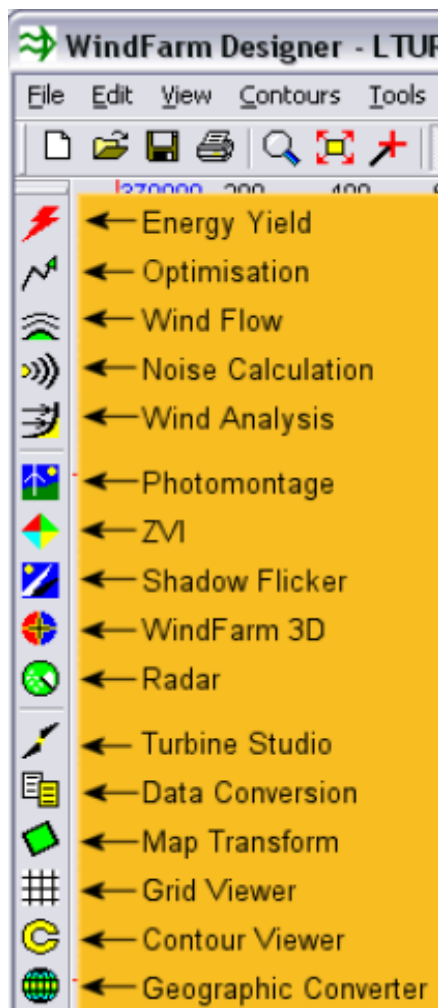


Εικόνα 28: Η περιγραφή των εργαλείων Windfarm.

2. Η δεύτερη γραμμή των εργαλείων όπως φαίνεται τρέχει από την πλευρά του παραθύρου στα αριστερά και υπάρχουν κουμπιά για την χρησιμοποιήσει διάφορων περιπτώσεων. Αυτά τα κουμπιά μας βοηθούν και φαίνονται αντικατοπτρίστηκα τη λειτουργία από το μενού εργαλείων.

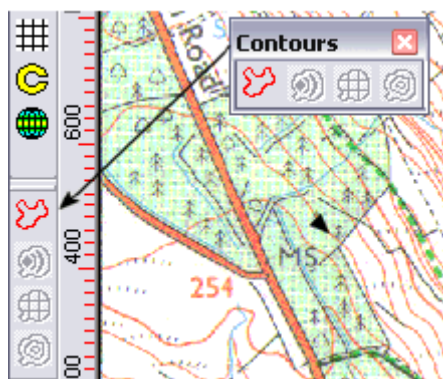
- Η πρώτη ομάδα των πέντε στη κορυφή είναι για τους υπολογισμούς της αιολικής.
- Η ομάδα των πέντε που βρίσκεται στη μέση είναι για την απεικόνιση.
- Και η τελευταία ομάδα είναι για τα βοηθητικά προγράμματα.

(Αν το πρόγραμμα δεν έχει αγοραστεί τότε υπάρχει περίπτωση κάποια κουμπιά να μην είναι ορατά και να μην λειτουργούν).



Εικόνα 29: Περιγραφή των εργαλείων σχεδιασμού.

3. Η γραμμή η τρίτη είναι το περιγραφεί των εικονιδίων που υπάρχουν τα κουμπιά για να μπορούμε να επιλέξουμε την εμφάνιση των περιγραμμάτων για το ύψος, το θόρυβο. Αν για κάποιο λόγο δεν μας βολεύει εκεί που είναι τοποθετημένη μπορούμε με ένα κλικ επάνω της να την (σύρουμε) και να την τοποθετήσουμε σε μία καινούργια θέση.



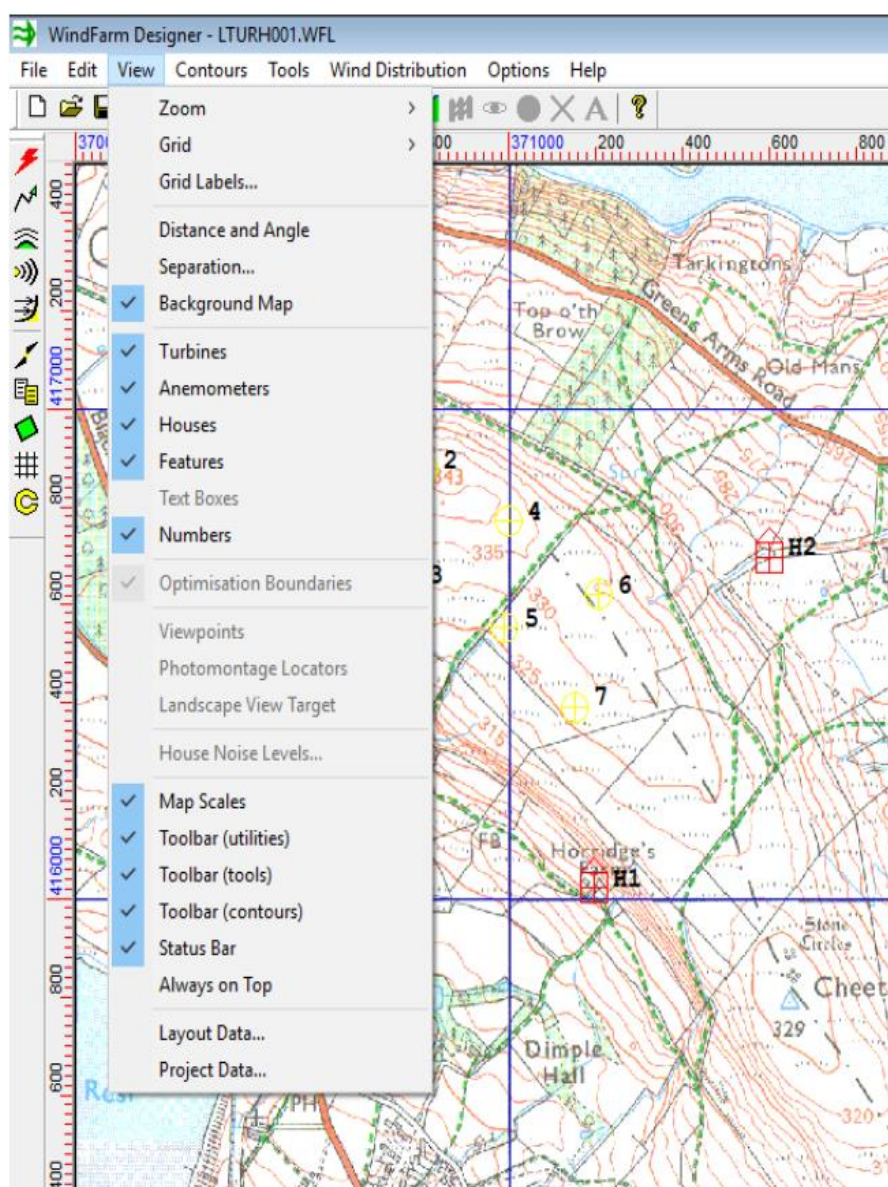
Εικόνα 30: Μετακίνηση θέσης του πλαισίου .

4.2.2. Μεταφορά στην απεικόνιση

Την απεικόνιση μπορούμε να την τροποποιήσουμε με διάφορους τρόπους, ένας από αυτούς είναι πηγαίνοντας στο menu View. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η χρήση του zoom cursor, αλλά πηγαίνοντας από την πρώτη επιλογή και επιλέγοντας το «View / Zoom» πηγαίνοντας στο menu μπορούν να οριστούν συγκεκριμένες κλίμακες.

Μπορεί επίσης να γίνει αλλαγή η εμφάνιση του πλέγματος και των ετικετών του πλέγματος. Κλικάρουμε το «View / Grid Labels» και ύστερα « number in kilometers » από το περίγραμμα διαλόγου. Πατάμε κλικ στο OK και οι αριθμοί θα μούνε στο χάρτη στη κάτω πλευρά.

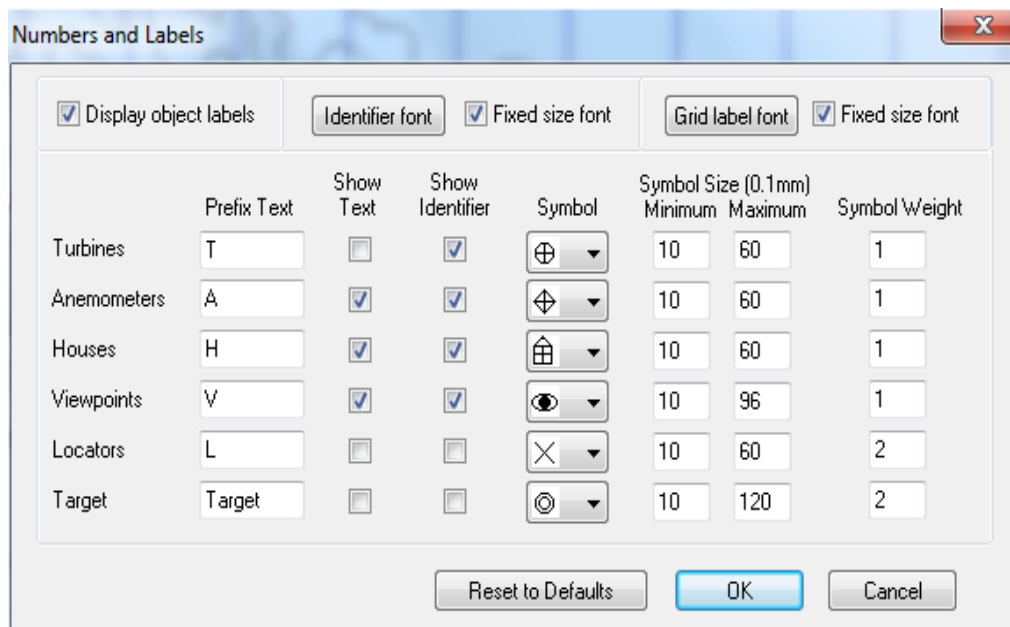
Το συγκεκριμένο μας βοηθάει και θα αποδειχθεί χρήσιμο όταν εξάγουμε μια εικόνα του χάρτη. Η την απεικόνιση της εικόνας, και όλα τα υπόλοιπα σχεδιαστικά μπορούν να εμφανίζονται η και όχι από το Vie menu.



Εικόνα 31: Επίδειξη του Designer.

Έπειτα πηγαίνουμε και επιλέγουμε το Symbols και Labels από το Edit menu.

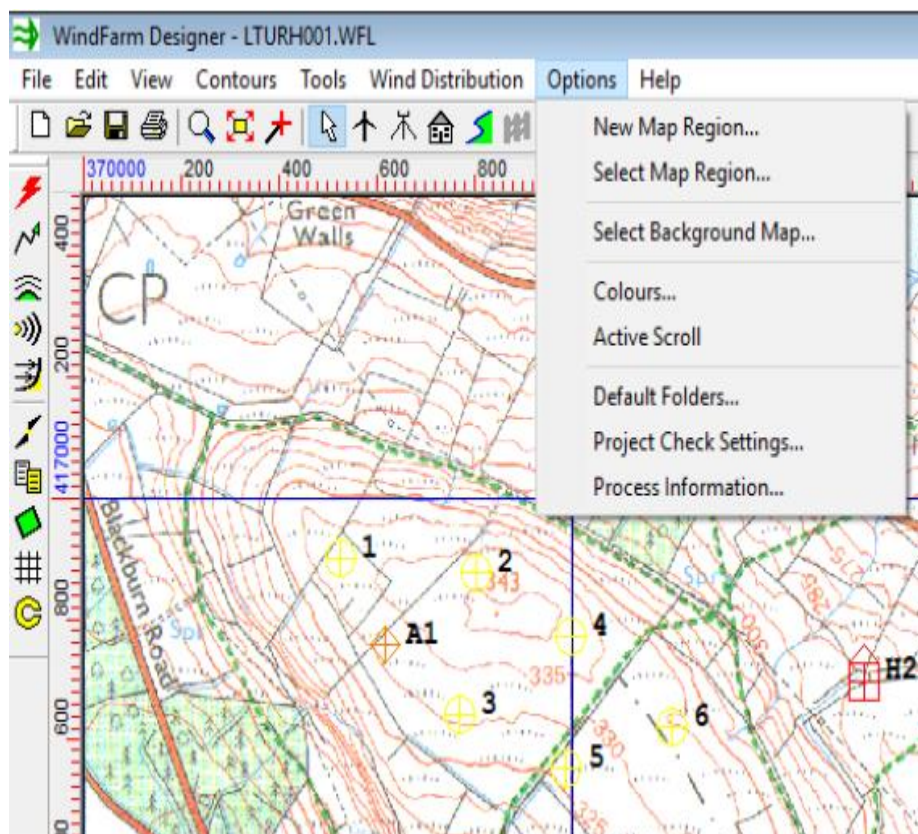
Ύστερα ανοίγει μια σελίδα του προγράμματος που μας αφήνει τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για καθένα ξεχωριστά από τα παρακάτω εικονίδια.



Εικόνα 32: Τα σύμβολα του προγράμματος.

Υπάρχουν αρκετή μέρη για να αλλάξει η εμφάνιση και η λειτουργία του Designer και είναι διαθέσιμο από το Options menu.

Αρχικά μεγεθύνουμε το εικονίδιο του προγράμματος, έτσι ώστε να φαίνονται η γραμμές κύλισης ύστερα επιλέγουμε Active Scroll από το Options menu. Όταν κάνουμε κλικ σε αυτή την λειτουργία και σέρνουμε τον χάρτη εμφανίζεται ένας δρομέας, και το εικονίδιο μπορεί να κινηθεί. Η επιλογή αυτή ως εκτούτου είναι απενεργοποιημένη από προεπιλογή, διότι είναι αργή για μεγάλους χάρτες. Για να την απενεργοποιήσουμε επιλέγουμε Active Scroll.



Εικόνα 33: Επιλογές μέσω του Options.

Πηγαίνοντας και κλικάροντας το Colours από το Options menu, μας αφήνει και μπορούμε να κάνουμε αλλαγές στο χρώμα των συμβόλων. Επιλέγουμε αυτό που επιθυμούμε επάνω στη γραμμή να ανοίξει ο διάλογος επιλογής των χρωμάτων.



Εικόνα 34: Επιλογής χρωμάτων για τους συμβολισμούς.

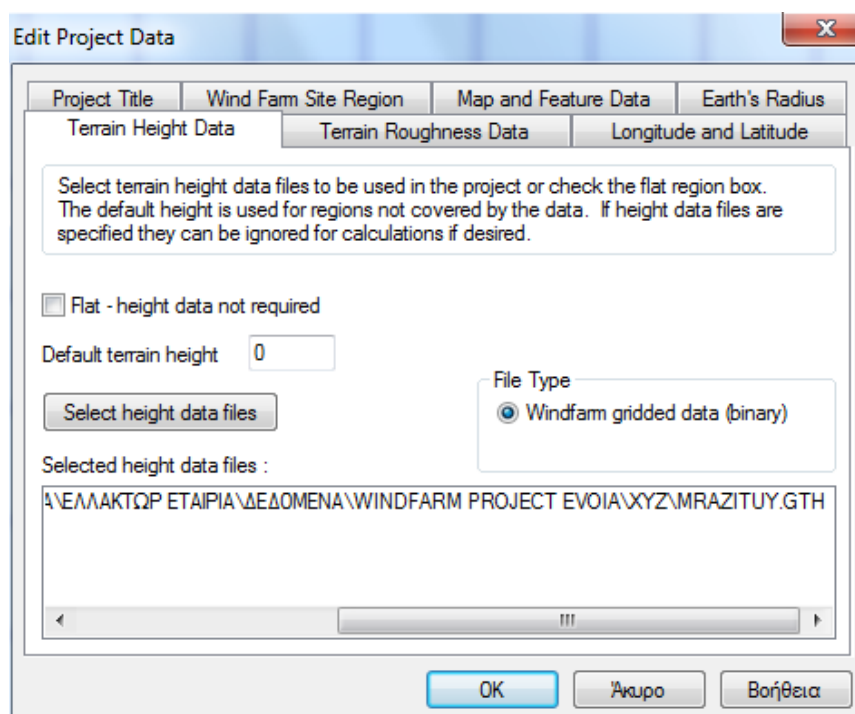
4.3 Τα δεδομένα του WindFarm

Στο πρόγραμμα windfarm αν δεν του εισάγουμε τα κατάλληλα δεδομένα δεν θα κάνει τίποτα. Στο WindFarm υπάρχουν πέντε τύποι βασικών δεδομένων που μπορεί να είναι χρήσιμοι:

- Ανεμολογικά δεδομένα: Ο υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης και η υπό εξέταση του χώρου.
- Δεδομένα ύψους: Απαιτούνται γνωστικά του ύψους για κάθε μέρος που δεν έχει καλό επίπεδο.
- Χάρτης υποβάθρου: Είναι η οπτική διεπαφή μας με το έργο.
- Δεδομένα τραχύτητας: Όταν το τοπίο είναι δεν είναι ομοιόμορφο χρειαζόμαστε την τραχύτητα για τον υπολογισμό της ροής του αέρα.
- Δεδομένα ανεμογεννητριών: Τα δεδομένα ισχύος για την υπολογισμό της ενέργειας, η γεωμετρία των ανεμογεννητριών, πληροφορίες και απεικόνιση για τον υπολογισμό του θορύβου.

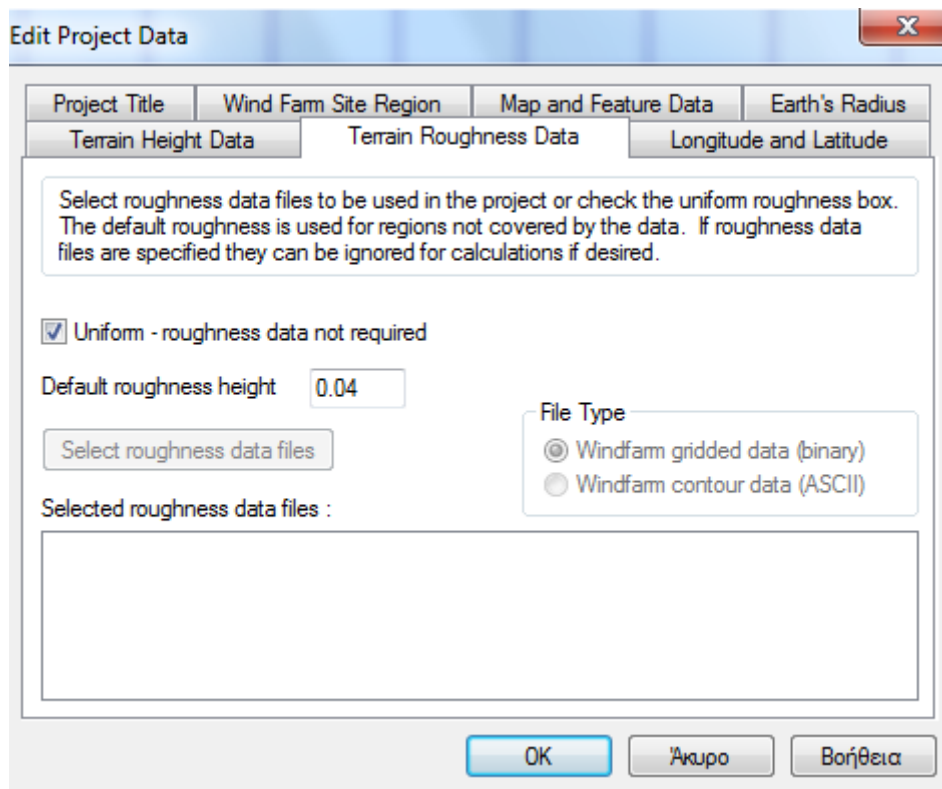
4.3.1 Heigh Data and Roughness Data

Στο σημείο που θα γίνει η μελέτη αν το σημείο δεν επίπεδο, τότε θα πρέπει να μας παρέχονται τα δεδομένα του υψόμετρο ή το ύψος του μέρους θα μας παρέχονται. Ακόμα και αν μας παρέχονται η πληροφορίες θα πρέπει να μετατρέψουμε το αρχείο σε αυτό που το αναγνωρίζει το WindFarm.



Εικόνα 35: Εισαγωγή των Height Data.

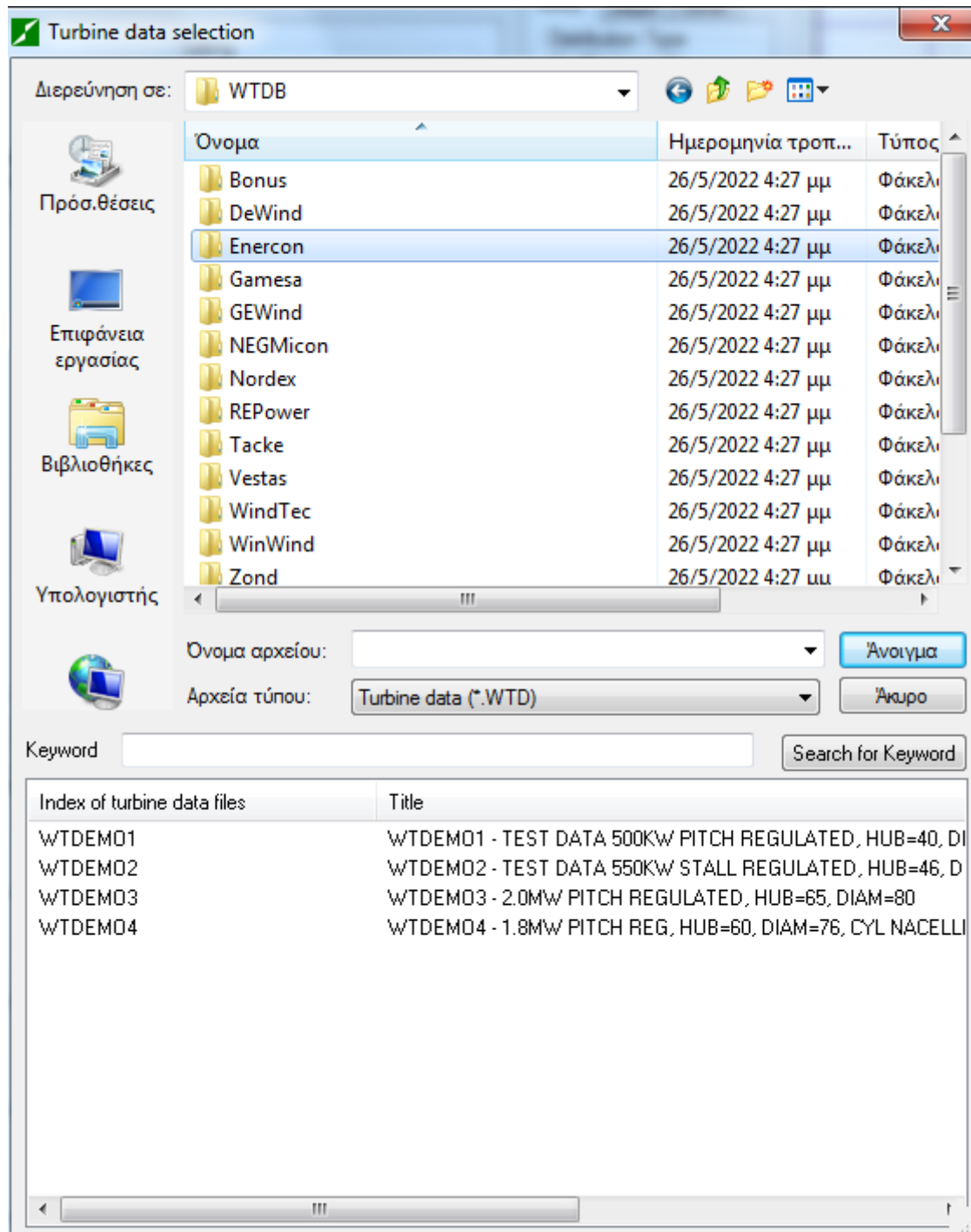
Αν χρειάζεται να υπολογισθεί και η ενεργειακή απόδοση και το τοπίο δεν είναι ομοιόμορφο τότε απαιτούνται και τα δεδομένα της τραχύτητας. Τα χαρακτηριστικά συνήθως τα ψηφιοποιούνται από έναν χάρτη, επειδή συνήθως αυτές η πληροφορίες δεν παρέχονται.



Εικόνα 36: Εισαγωγή δεδομένων για την τραχύτητα.

4.3.2 Turbine Data

Τα Turbine Data συνήθως χρησιμοποιούνται για να κατασκευάσουμε και να επεξεργαστούμε στοιχεία ισχύος, θορύβου και γεωμετρίας. Ένα αρχείο δεδομένων ανεμογεννητριών έχει εγκατασταθεί στο φάκελο C:\WindFarmR4\WTB.



Εικόνα 37: Εγκατάσταση κάποιων ανεμογεννητριών.

4.3.3 Wind Data

Τα δεδομένα του αέρα πηγαίνουν σε έναν φάκελο Wind distribution ή στο Wind Rose. Συνήθως αυτό δημιουργείται μετατρέποντας ένα αρχείο καταγραφής του ανέμου η μπορεί να δημιουργηθεί στο Designer επιλέγοντας το πεδίο (Data conversion) ή επιλέγοντας το πεδίο Wind Analysis για να πάρουμε τα χαρακτηριστικά του ανέμου.

The screenshot shows the VCI Formula One Workbook Designer interface. The main window is titled "WIND ROSE DATA". Below the title, there is a button "Re-calculate mean wind speeds" and a note "Edit the data in the shaded cells.".

File Information

Title	SIEMENS
Author	
Comment	

Wind Rose Specification

Vertical Profile Type: Exponential | Hours In Year: 8760

Wind speed position: Centre of bin | Censor Wind Speed for Weibull Fit: 4,00 m/s

Reference Height	40,00	m
Number of Sectors	12	Max 36
Number of Wind Speeds	50	Max 100

The total of the hours in the table is 8760 and it must not be greater than 8760

Mean Wind Speed (m/s): 5,925

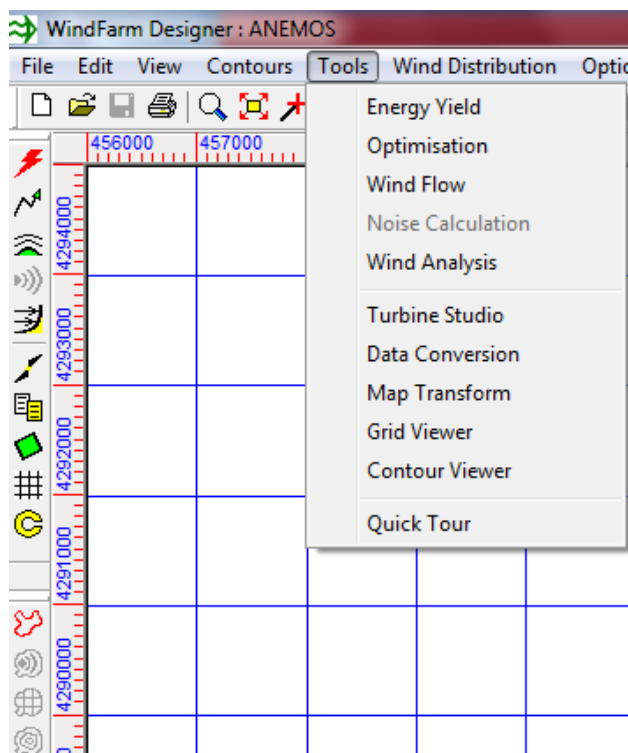
Sector Data Enter sector angles in degrees (from grid north)

Sector Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Sector Start Angle	-15,00	15,00	45,00	75,00	105,00	135,00	165,00	195,00	225,00	255,00	285,00	315,00	
Turbulence (%)	12,22	11,50	26,28	25,84	26,42	12,26	12,76	17,73	19,85	17,75	18,40	16,15	
Exponent	0,0700	0,0700	0,0700	0,0700	0,0700	0,0700	0,0700	0,0700	0,0700	0,0700	0,0700	0,0700	
Frequency (%)	24,46	34,91	0,93	0,54	0,70	11,90	13,62	3,29	1,66	1,50	1,70	4,80	
Mean wind speed (m/s)	5,331	7,205	1,925	1,341	1,694	6,719	6,280	3,877	3,147	2,434	2,445	3,267	
Weibull Scale	5,930	8,111	1,925	1,341	1,694	7,573	6,697	3,877	3,481	2,715	2,701	3,534	
Weibull Shape (nominal)	1,558	1,850	1,000	1,000	1,000	1,916	1,214	1,000	1,482	1,605	1,469	1,293	
Wind Speeds	<< Annual Hours in each Wind Speed / Direction Bin >> >> >> >> >>												
Point	m/s												
1	0,500	27,77	22,28	13,20	16,80	16,80	20,40	33,94	21,94	16,46	19,37	18,86	22,28
2	1,500	172,61	106,79	45,60	23,31	27,77	99,93	154,10	87,59	45,42	45,08	58,62	126,16
3	2,500	291,06	206,21	13,88	6,17	8,74	68,56	159,41	67,36	24,17	28,11	31,20	95,65

Εικόνα 38: Τα αποθηκευμένα δεδομένα του ανέμου.

4.4 Utility Modules

Είναι τα βοηθητικά που αναφέρονται και αποτελείται από τα εξής:



Εικόνα 39: Τα βοηθητικά για τους υπολογισμούς.

4.4.1 Energy yield

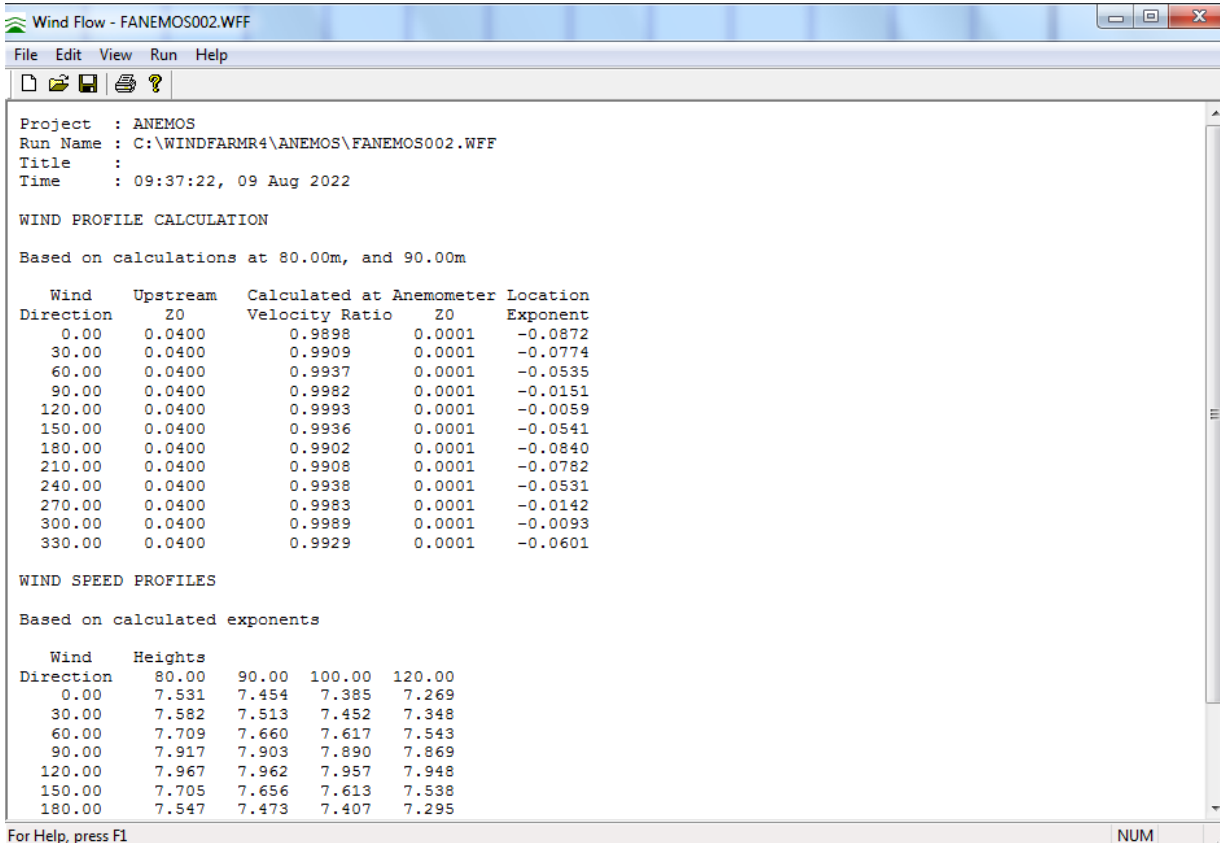
Ο υπολογισμός της ενέργειας του WindFarm ενός πλήρες αιολικού πάρκου για την ετήσια ενεργειακή απόδοση, συμπεριλαμβανομένων των τοπογραφικών χαρακτηριστικών.

Wind Direction	TOTAL ENERGY YIELD			
	Base Yield GWh	Topographic Effects % Change	Wake Losses % Loss	Total Yield GWh
0.00	0.1717	-6.84	0.00	0.1600
30.00	0.4830	-32.68	0.00	0.3252
60.00	0.0006	-71.18	0.00	0.0002
90.00	0.0000	-95.29	0.00	0.0000
120.00	0.0001	-32.23	0.00	0.0001
150.00	0.1515	4.72	0.00	0.1587
180.00	0.1562	-5.42	0.00	0.1478
210.00	0.0170	-21.14	0.00	0.0134
240.00	0.0033	-77.90	0.00	0.0007
270.00	0.0006	-87.98	0.00	0.0001
300.00	0.0010	-23.81	0.00	0.0008
330.00	0.0100	12.07	0.00	0.0112
Total	0.9952	-17.80	0.00	0.8180

Εικόνα 40: Υπολογισμός ενεργειακής απόδοσης.

4.4.2 Wind Flow

Στο WindFarm το πεδίο Wind Flow κάνει υπολογισμούς τη ροή του ανέμου σε ένα αιολικό έργο περιέχοντας τοπογραφικά το ύψος και της αλλαγές στην τραχύτητα.



Wind Flow - FANEMOS002.WFF

File Edit View Run Help

Project : ANEMOS
Run Name : C:\WINDFARMR4\ANEMOS\FANEMOS002.WFF
Title :
Time : 09:37:22, 09 Aug 2022

WIND PROFILE CALCULATION

Based on calculations at 80.00m, and 90.00m

Wind Direction	Upstream Z0	Calculated Velocity Ratio	Anemometer Z0	Location Exponent
0.00	0.0400	0.9898	0.0001	-0.0872
30.00	0.0400	0.9909	0.0001	-0.0774
60.00	0.0400	0.9937	0.0001	-0.0535
90.00	0.0400	0.9982	0.0001	-0.0151
120.00	0.0400	0.9993	0.0001	-0.0059
150.00	0.0400	0.9936	0.0001	-0.0541
180.00	0.0400	0.9902	0.0001	-0.0840
210.00	0.0400	0.9908	0.0001	-0.0782
240.00	0.0400	0.9938	0.0001	-0.0531
270.00	0.0400	0.9983	0.0001	-0.0142
300.00	0.0400	0.9989	0.0001	-0.0093
330.00	0.0400	0.9929	0.0001	-0.0601

WIND SPEED PROFILES

Based on calculated exponents

Wind Direction	80.00	90.00	100.00	120.00
0.00	7.531	7.454	7.385	7.269
30.00	7.582	7.513	7.452	7.348
60.00	7.709	7.660	7.617	7.543
90.00	7.917	7.903	7.890	7.869
120.00	7.967	7.962	7.957	7.948
150.00	7.705	7.656	7.613	7.538
180.00	7.547	7.473	7.407	7.295

For Help, press F1

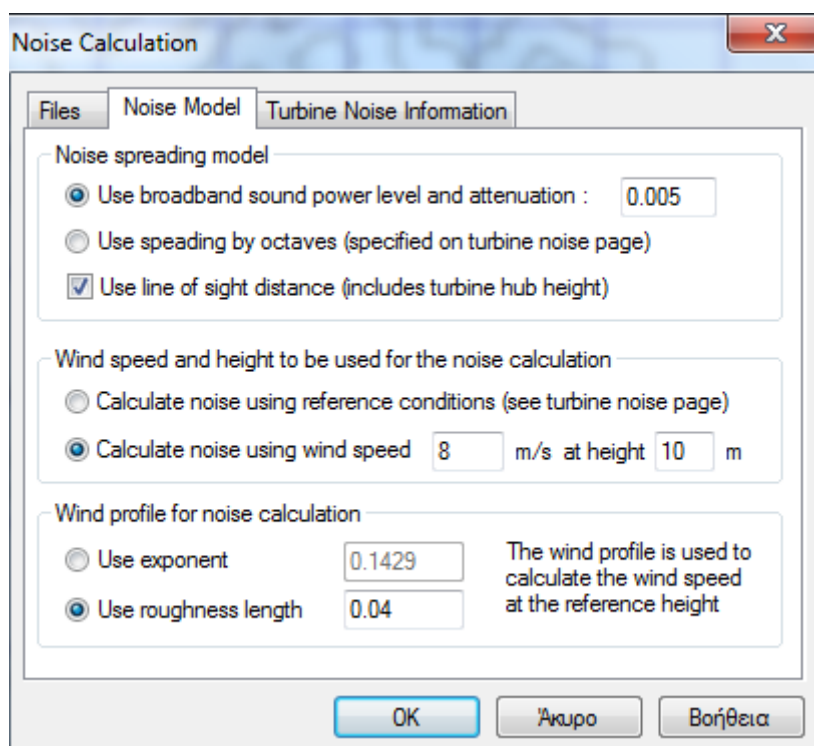
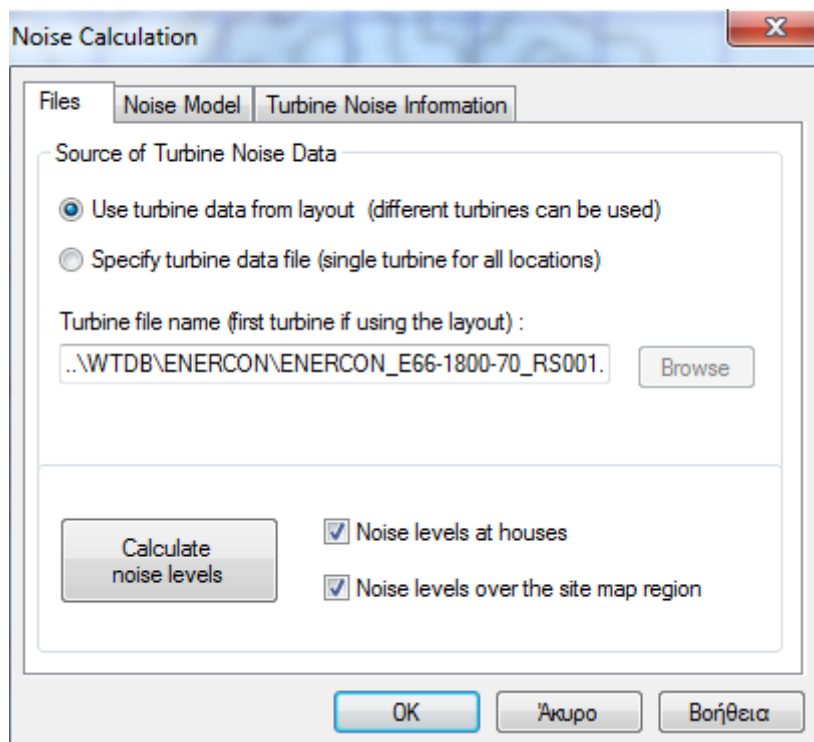
NUM

Εικόνα 41: Υπολογίζοντας την ροή του ανέμου.

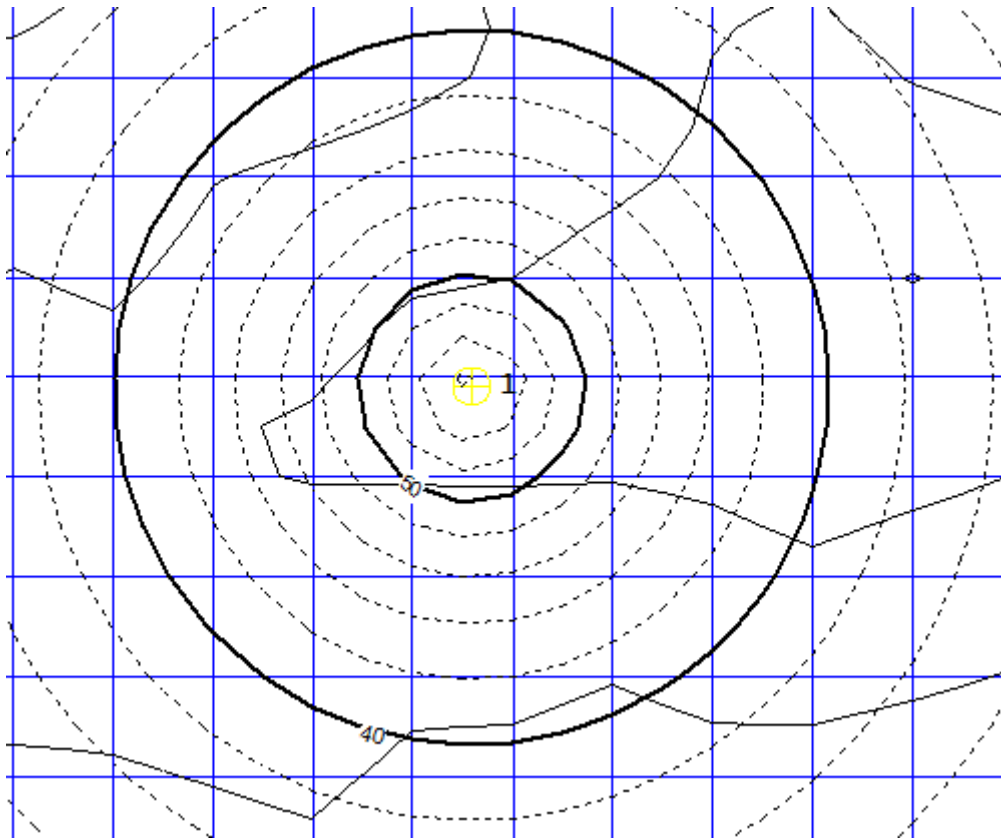
Υπάρχουν κάποιοι κανόνες που δεν επιτρέπουν να υπολογίζει διαχωρισμένη ροή. Αν σε περίπτωση χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να υπάρξει μεγάλη προσοχή σε απότομο έδαφος.

4.4.3 Noise Calculation

Η ενότητα θορύβου του WindFarm μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτελέσουμε υπολογισμούς θορύβου για την ένταση του ήχου των ανεμογεννητριών στη Σχεδίαση. Αν υπάρχουν σπίτια κοντά τότε μπορεί να εμφανισθούν στις τοποθεσίες των σπιτιών. Πρέπει να γίνεται και ο υπολογισμός των θορύβων είναι χρήσιμος και υποχρεωτικός σε όλα τα αιολικά πάρκα ώστε να δοθεί η άδεια.



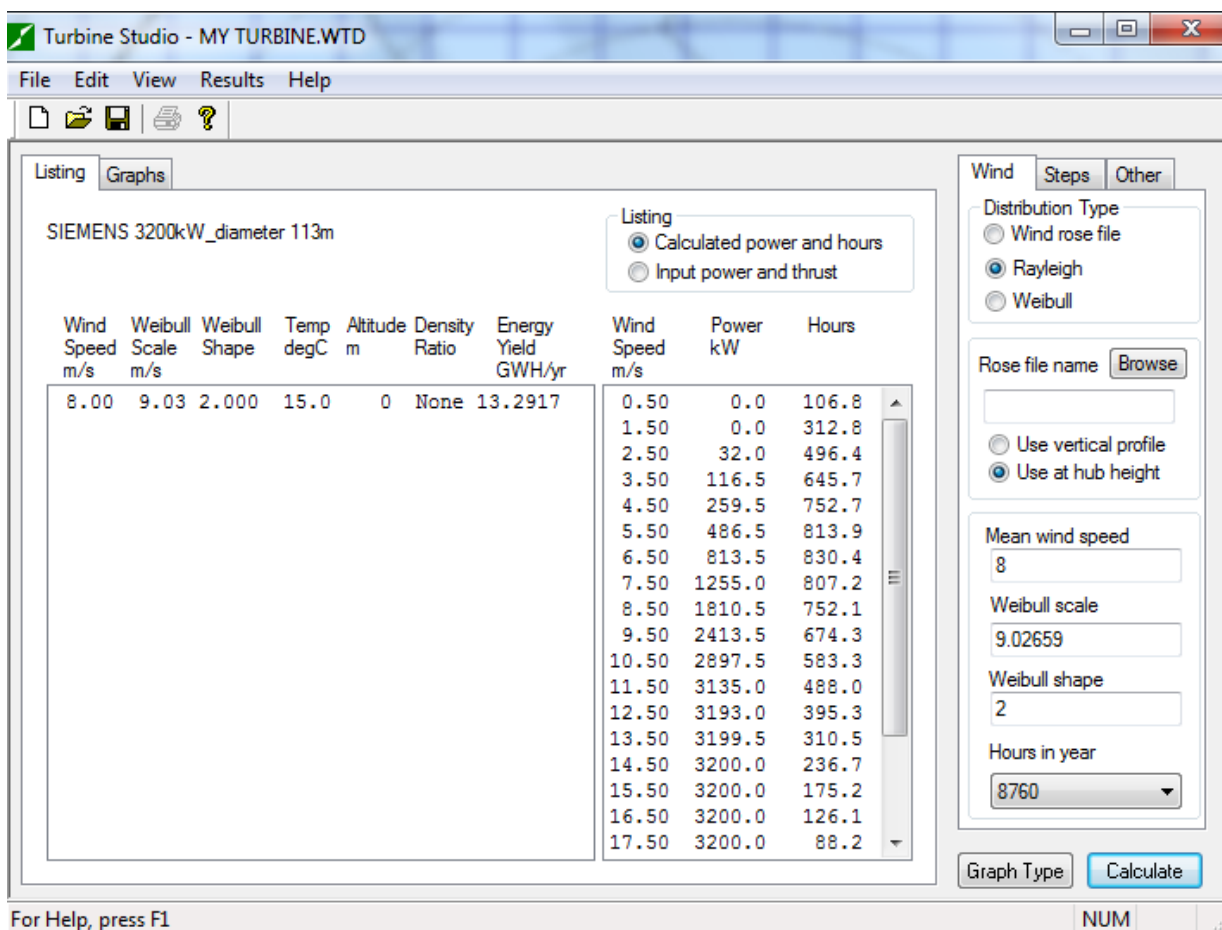
Εικόνα 42: Πληροφορίες θορύβου Ανεμογεννητριών.



Εικόνα 43: Υπολογισμός και απεικόνιση του θορύβου.

4.4.4 Turbine studio

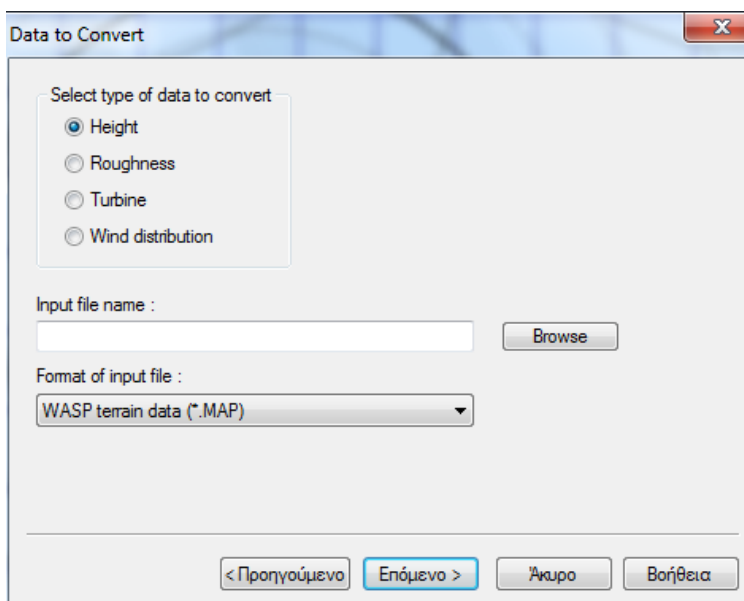
Από την επιλογή Turbine studio μας επιτρέπει την είσοδο να κάνουμε επεξεργασία των δεδομένων ανεμογεννητριών, υπάρχει επίσης η δυνατότητα ανάλυσης μενομένων ανεμογεννητριών χρησιμοποιώντας διαφορετικές διανομές ανέμου.



Εικόνα 44: Πληροφορίες ανεμογεννητριών για τους υπολογισμούς.

4.4.5 Data Conversion

Από την ενότητα υπάρχει δυνατότητα μετατροπής μια σειρά από αρχεία δεδομένων, περιέχοντας το ύψος, τραχύτητα, ανεμογεννητριών και κατανομής ανέμου. Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται στο WindFarm.

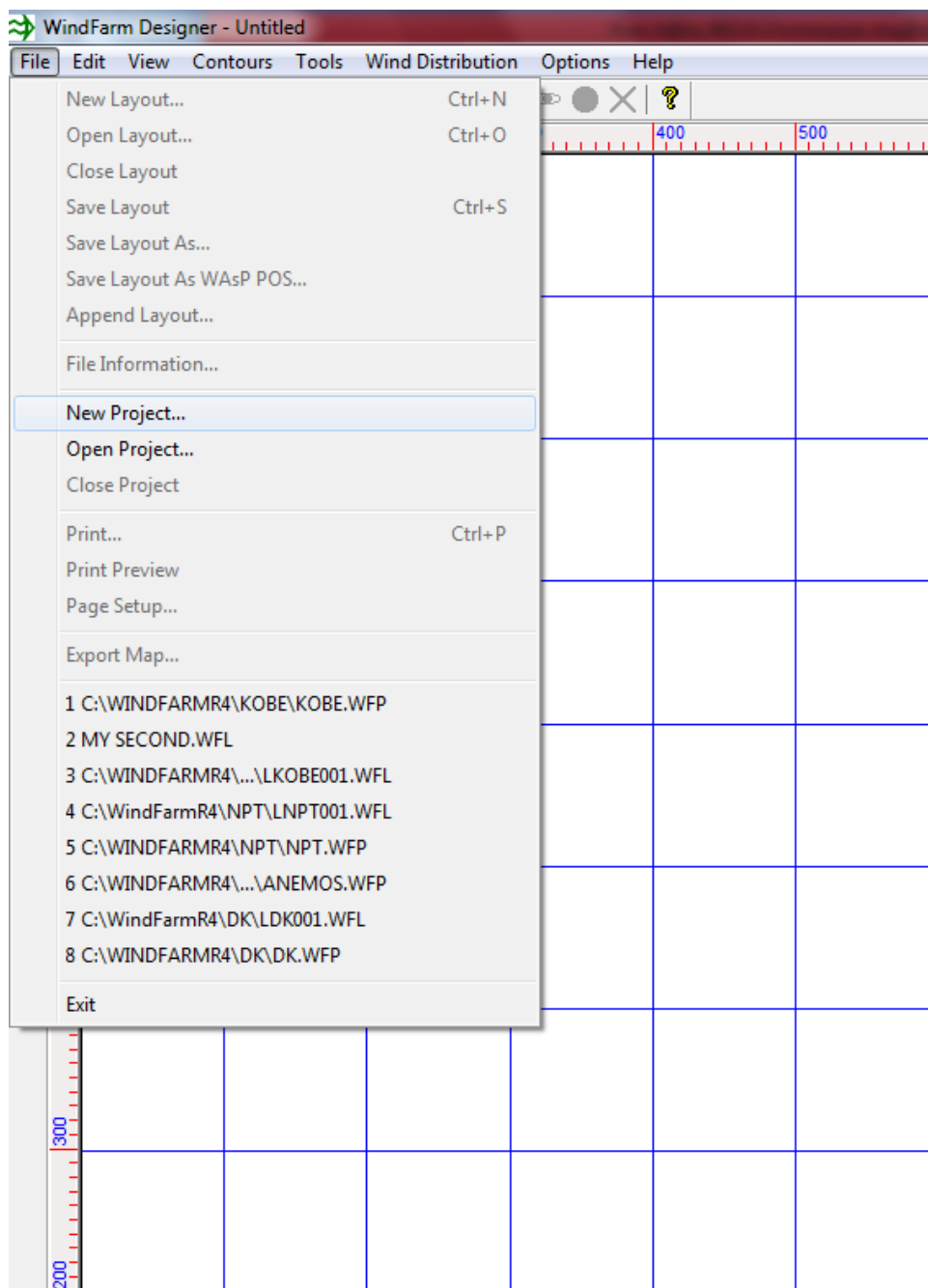


Εικόνα 45: Πίνακας μετατροπής δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Δημιουργία μελέτης εγκατάστασης αιολικού πάρκου

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα μάθουμε την δημιουργία να κάνουμε μια μελέτη εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου εφόσον υπάρχουν στη πλευρά μας τα χρήσιμα στοιχεία όπως τον χάρτη εδάφους, και τα ανεμολογικά δεδομένα.

Αρχικά ξεκινάμε το πρόγραμμα WindFarm από το Start / All programs / WindFarm Release 4. Θα εμφανιστεί ένα παράθυρο εκεί επιλέγουμε New Project.

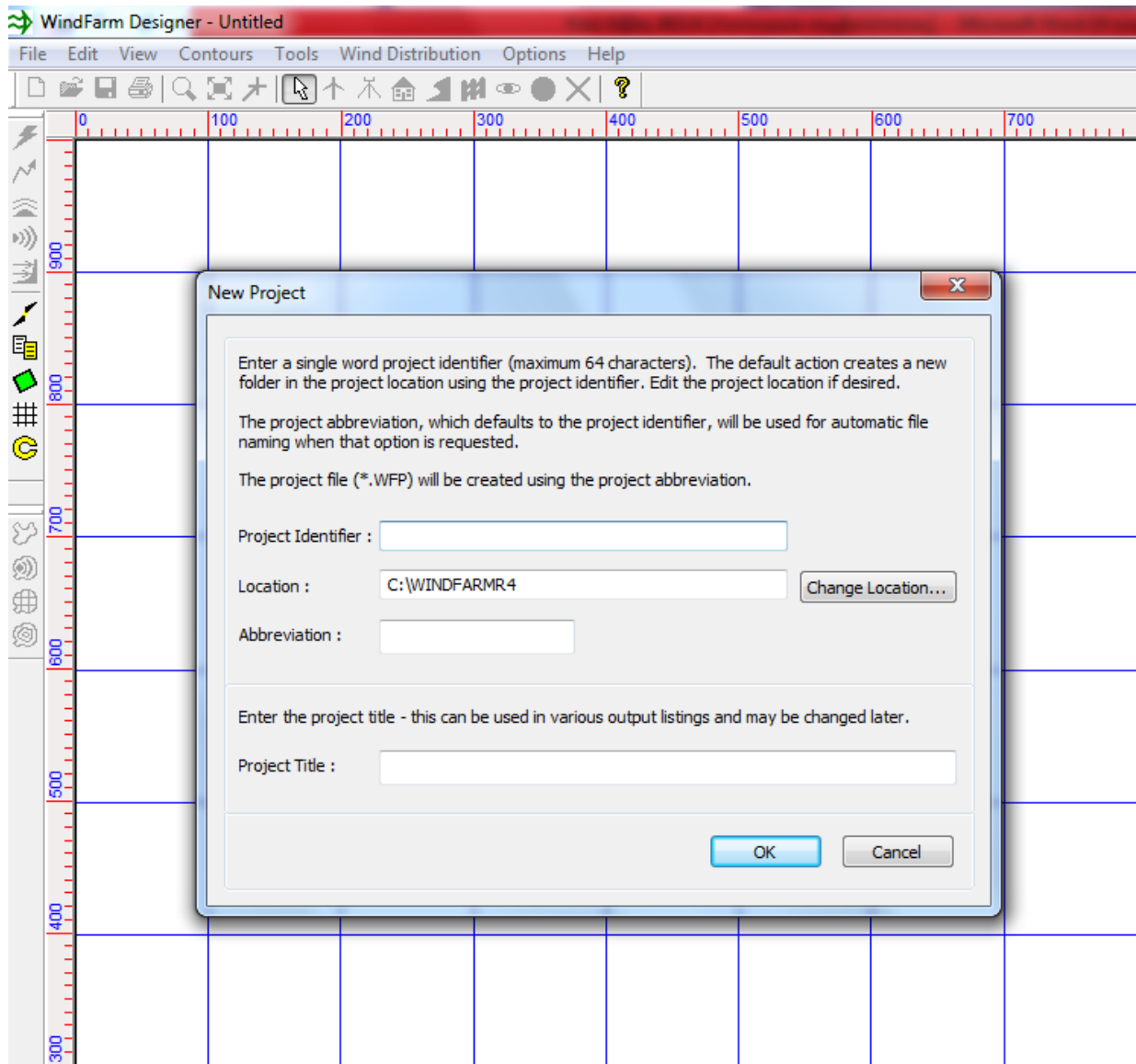


Εικόνα 46: Δημιουργία μελέτης αιολικού πάρκου.

Ύστερα εισάγουμε τα δεδομένα του πάρκου, όπως το αναγνωριστικό του έργου, το τίτλο, και το μέρος αποθήκευσης.

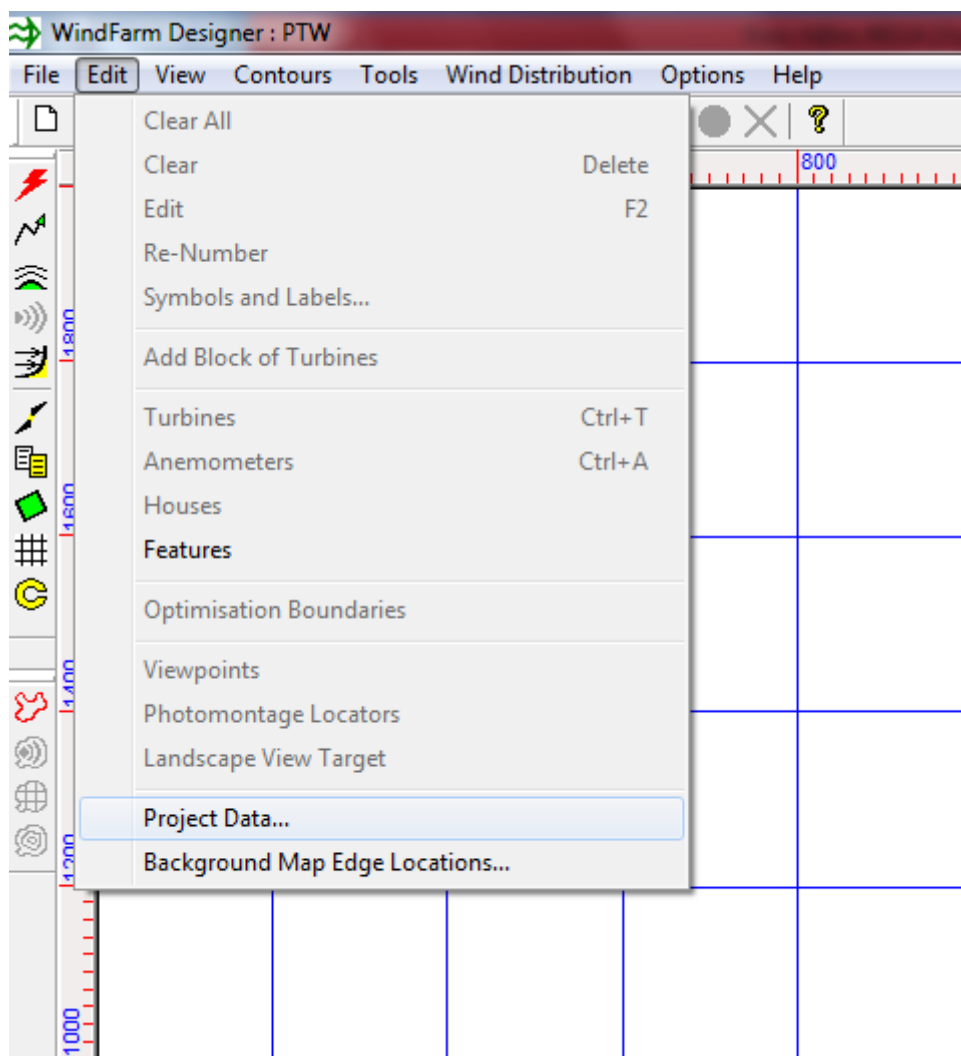
Project Identifier: PTW (Project WindFarm)

Project Title: (ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ)



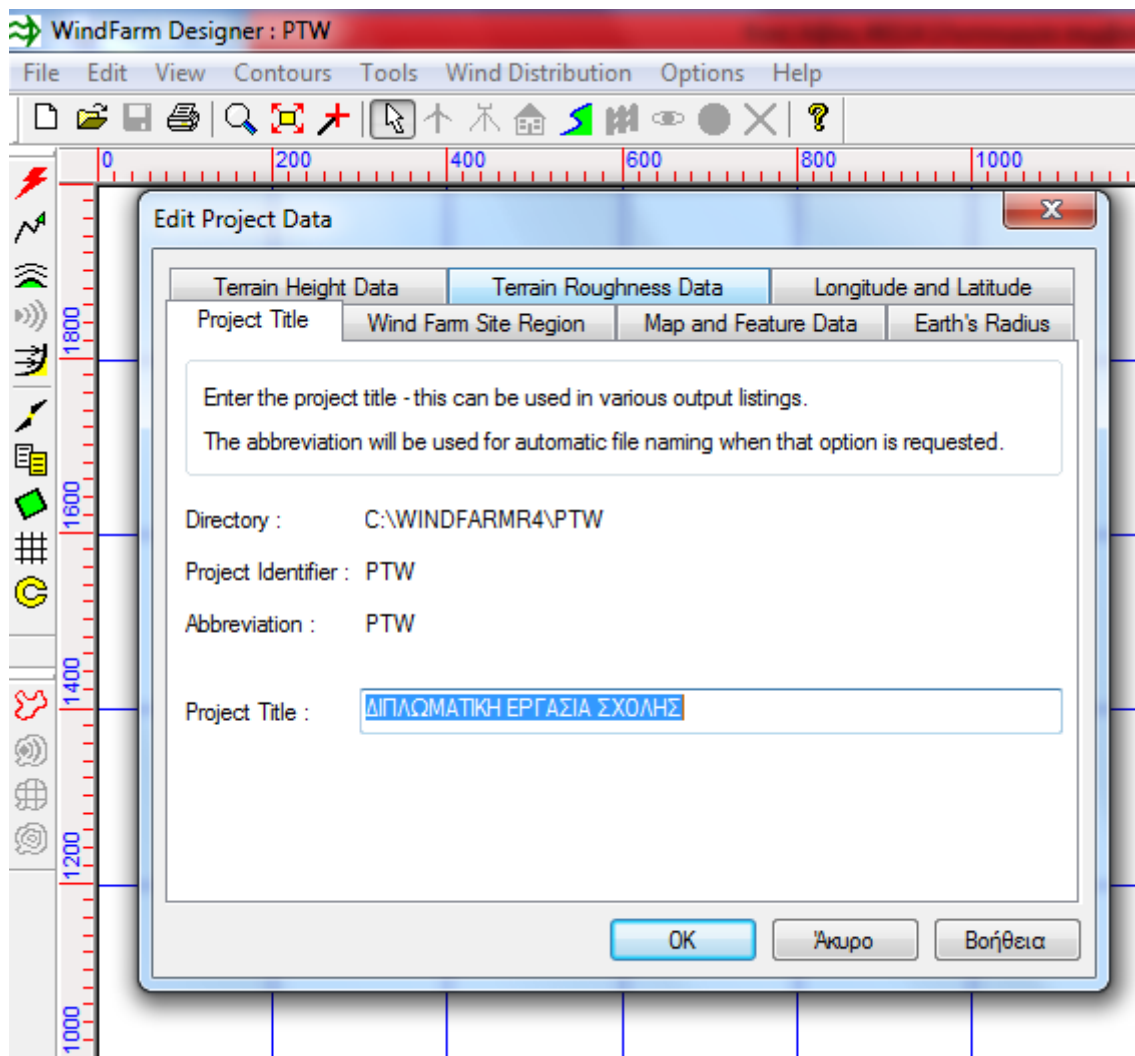
Εικόνα 47: Στοιχεία του Project και η θέση αποθήκευσης.

Πηγαίνουμε στη στήλη των και κλικάρουμε το Edit και Project Data για να ανοίξουμε το παράθυρο το οποίο μας εμφανίζει τα στοιχεία του αιολικού πάρκου.



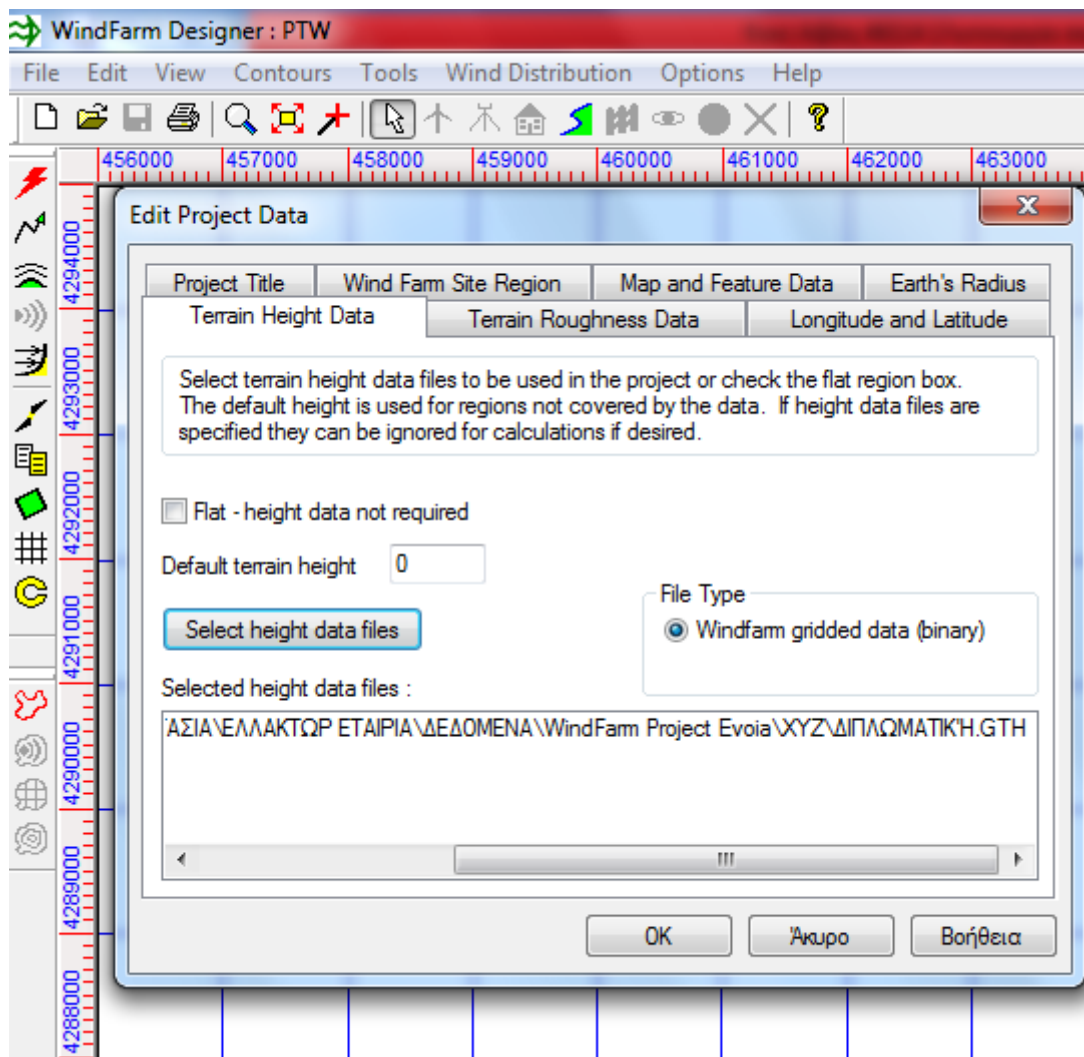
Εικόνα 48: Παράθυρο διαλόγου που περιέχει τα δεδομένα μελέτης μας.

Στο Project Title αν θέλουμε ονομάσουμε διαφορετικά την μελέτη μας αν χρειαστεί.



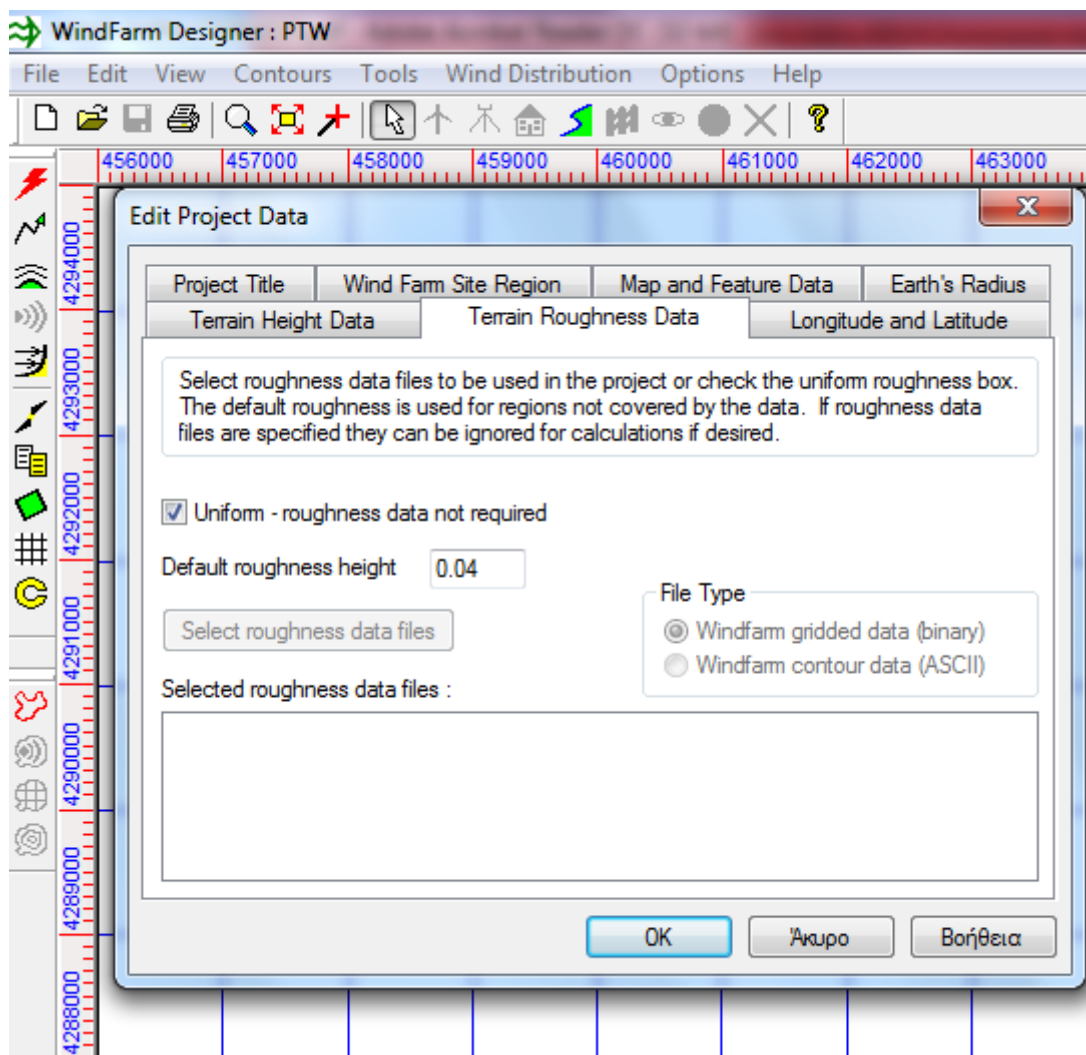
Εικόνα 49: Παράθυρο μετονομασίας της μελέτης μας.

Στην μελέτη μας υπάρχουν δύο σημαντικά αρχεία το πρώτο είναι το Height Data το οποίο έχει τις ισοϋψείς καμπύλες του εδάφους που μελετούμε και δεύτερο είναι ο φάκελος Roughness Data το οποίο έχει μέσα την τραχύτητα του εδάφους που εξετάζουμε. Από κάποια γεωγραφική υπηρεσία μπορούν να μας δοθούν τα δεδομένα του ύψους. Πηγαίνουμε στο Terrain Height Data ξεκlikάρουμε το Flat – height data not required και επιλέγουμε στο Select Height Data Files, επιλέγουμε το φάκελο μας και τον εισάγουμε.



Εικόνα 50: Αρχείο μετατροπής δεδομένων του Height Data.

Συνήθως τα αρχεία τραχύτητας του μέρους δεν μας δίνονται για αυτό κρατάμε το επιλεγμένο στο παράθυρο Terrain Roughness Data.



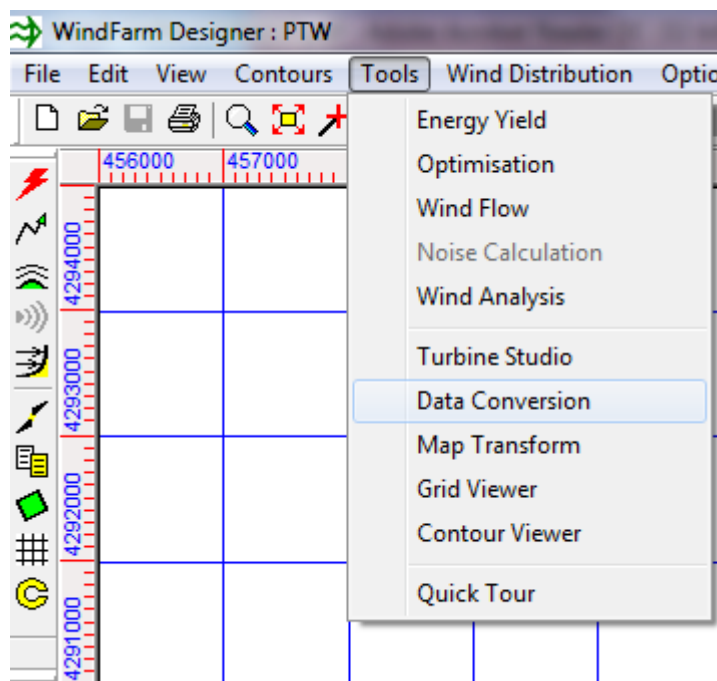
Εικόνα 51: Παράθυρο της τραχύτητας του εδάφους.

Ένα χρήσιμο μέρος του αιολικού πάρκου μας, είναι ο φάκελος με τα ανεμολογικά δεδομένα της κατασκευής. Η μετρήσεις αυτές διεξήχθησαν για ενός έτους στο σημείο επιλογής εγκατάστασης, με την χρήση των κατάλληλων οργάνων, τα δεδομένα που πάρθηκαν είναι στη μορφή την παρακάτω. Στη αρχή και στη δεύτερη στήλη υπάρχει η ταχύτητα και το direction. Ενώ στη τρίτη και την τέταρτη στήλη έχουμε το usdv (Standar deviation) και το ugust. Ενώ στην πέμπτη και την έκτη στήλη έχουμε το uhub93 και το WTE. Και στην προτελευταία και την τελευταία στήλη έχουμε το χρόνο και την ημερομηνία της μέτρησης.

u[m/s]	Dir [deg]	usdv [m/s]	ugust [m/s]	uhub93[m/s]	WTE [kwh]	Time
9.1600	26.9000	1.2460	12.3000	9.4092	374.6913	00:00:00
6.8800	20.1000	1.1930	9.8000	7.1417	167.3609	00:10:00
10.0600	27.7000	1.4680	13.0000	10.2925	457.4902	00:20:00
10.0300	31.8000	1.0450	12.5000	10.2625	455.6727	00:30:00
9.9800	27.7000	0.9390	12.2000	10.2130	452.6716	00:40:00
9.1200	23.8000	0.8780	11.4000	9.3699	370.8518	00:50:00
9.1700	19.1000	0.9490	11.2000	9.4191	375.6509	01:00:00
8.1200	22.7000	1.3580	10.9000	8.3809	272.8279	01:10:00
9.3200	37.5000	1.6540	13.4000	9.5666	390.0341	01:20:00
11.3200	26.9000	1.3130	14.6000	11.5481	519.3725	01:30:00
10.3000	24.4000	1.1840	13.7000	10.5322	472.0204	01:40:00
9.0500	28.5000	0.9810	11.7000	9.3010	364.1295	01:50:00
9.4200	25.1000	1.3320	13.5000	9.6648	399.6119	02:00:00
8.3200	20.4000	0.7420	9.9000	8.5795	292.5804	02:10:00
8.0700	17.7000	0.8250	10.6000	8.3312	267.8840	02:20:00
7.0900	11.1000	0.9550	9.9000	7.3526	184.6558	02:30:00
6.4800	22.2000	1.3350	10.7000	6.7388	142.2806	02:40:00
8.8500	41.8000	1.7160	14.7000	9.1038	344.7456	02:50:00
12.0800	33.3000	1.4360	17.1000	12.3019	531.2836	03:00:00
13.2800	30.4000	1.4610	16.2000	13.4867	533.2033	03:10:00
12.9500	30.4000	1.3350	16.5000	13.1616	532.9688	03:20:00
13.6500	30.3000	1.3200	17.5000	13.8507	533.2628	03:30:00
13.3900	30.2000	1.6290	17.7000	13.5950	533.2210	03:40:00
13.2100	30.1000	1.5310	17.6000	13.4178	533.1921	03:50:00
13.1900	28.4000	1.5240	16.7000	13.3981	533.1888	04:00:00
14.9900	26.7000	1.4500	18.6000	15.1636	533.3334	04:10:00
13.1700	25.6000	1.3580	17.3000	13.3784	533.1856	04:20:00
13.9400	28.1000	1.0450	16.6000	14.1355	533.3093	04:30:00
11.9700	26.8000	1.8560	15.8000	12.1930	530.3289	04:40:00
12.2600	30.6000	1.5630	16.1000	12.4801	531.6328	04:50:00
13.1000	29.6000	1.7330	17.0000	13.3094	533.1744	05:00:00

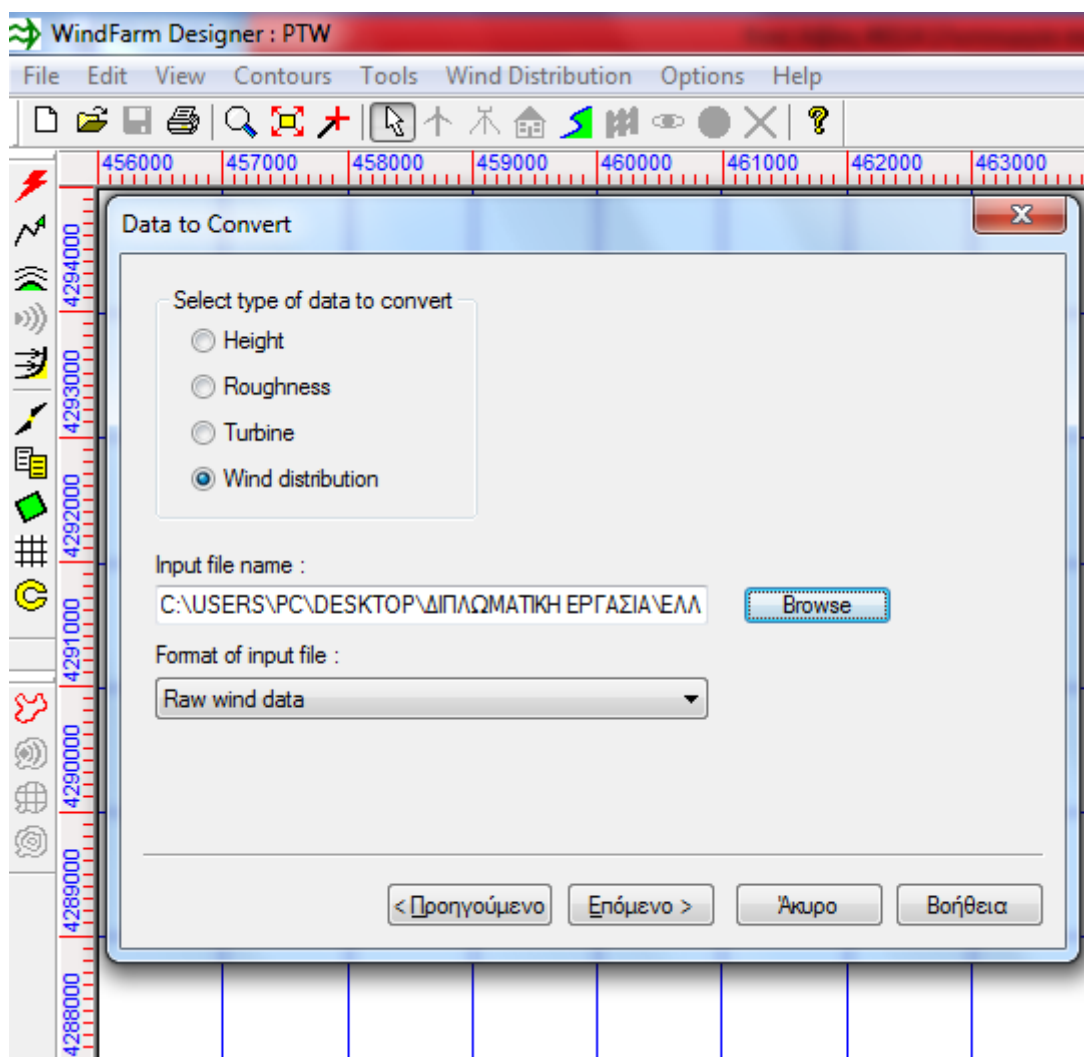
Εικόνα 52: Ανεμολογικά δεδομένα της μελέτης μας.

Πηγαίνοντας στα Tools και Data Conversion μπορούμε να μετατρέψουμε τα ανεμολογικά δεδομένα.



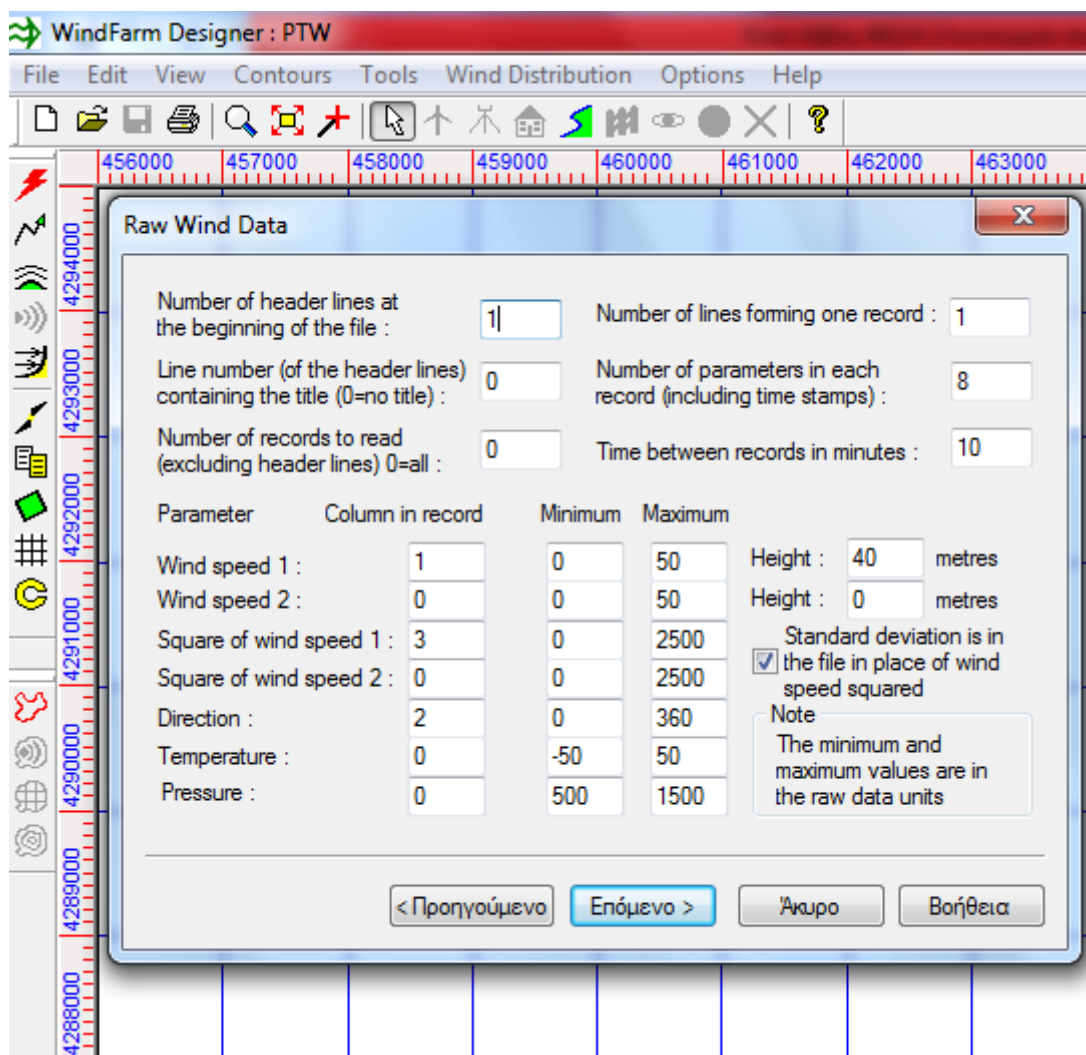
Εικόνα 53: Γραμμή εργαλείων για την μετατροπή δεδομένων.

Μετά επιλέγουμε το Wind distribution, και ψάχνουμε το φάκελο με τα ανεμολογικά δεδομένα.



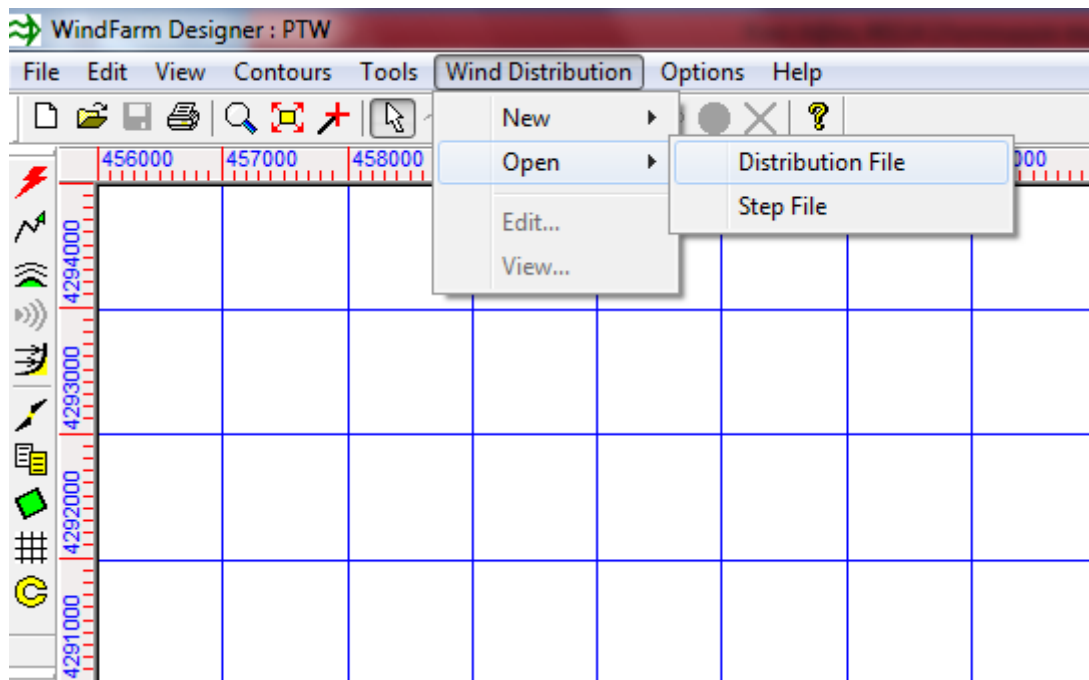
Εικόνα 54: Μετατροπή ανεμολογικών δεδομένων.

Ύστερα εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται. Λόγω του ότι το windfarm δεν υπάρχει η δυνατότητα να γνωρίζει αυτόματα που βρίσκονται τα δεδομένα μας και επομένως θα πρέπει να τα συμπληρώσουμε οπότε στο Number of parameters: τον αριθμό 8 για το λόγο επειδή έχουμε 8 στήλες στα ανεμολογικά δεδομένα. Σε αυτή την θέση μας εξηγεί πόσους παραμέτρους έχουμε στο αρχείο μας μαζί με το Time. Number of header: στο αρχείο μας έχουμε μία στήλη που είναι το header ας πούμε ο τίτλος οπότε του λέμε την πρώτη μας την γραμμή την αγνοούμε γιατί μας έχει λόγια να μας εξηγήσει τι είναι η κάθε στήλη. Wind Speed 1: Του λέμε ότι στη στήλη 1 είναι το ανεμόμετρο που μας δίνετε ότι είναι στα 40 (μέτρα). Direction: Είναι η 2 στήλη. Sdv: (Standard deviation) είναι η 3 στήλη το κλικάρουμε για να μας υπολογίσει αυτόματα το Standard deviation. Μετά την ολοκλήρωση πατάμε επόμενο, μετά αποθηκεύουμε το αρχείο στον επιθυμητό φάκελο, και τέλος πατάμε μετατροπή.



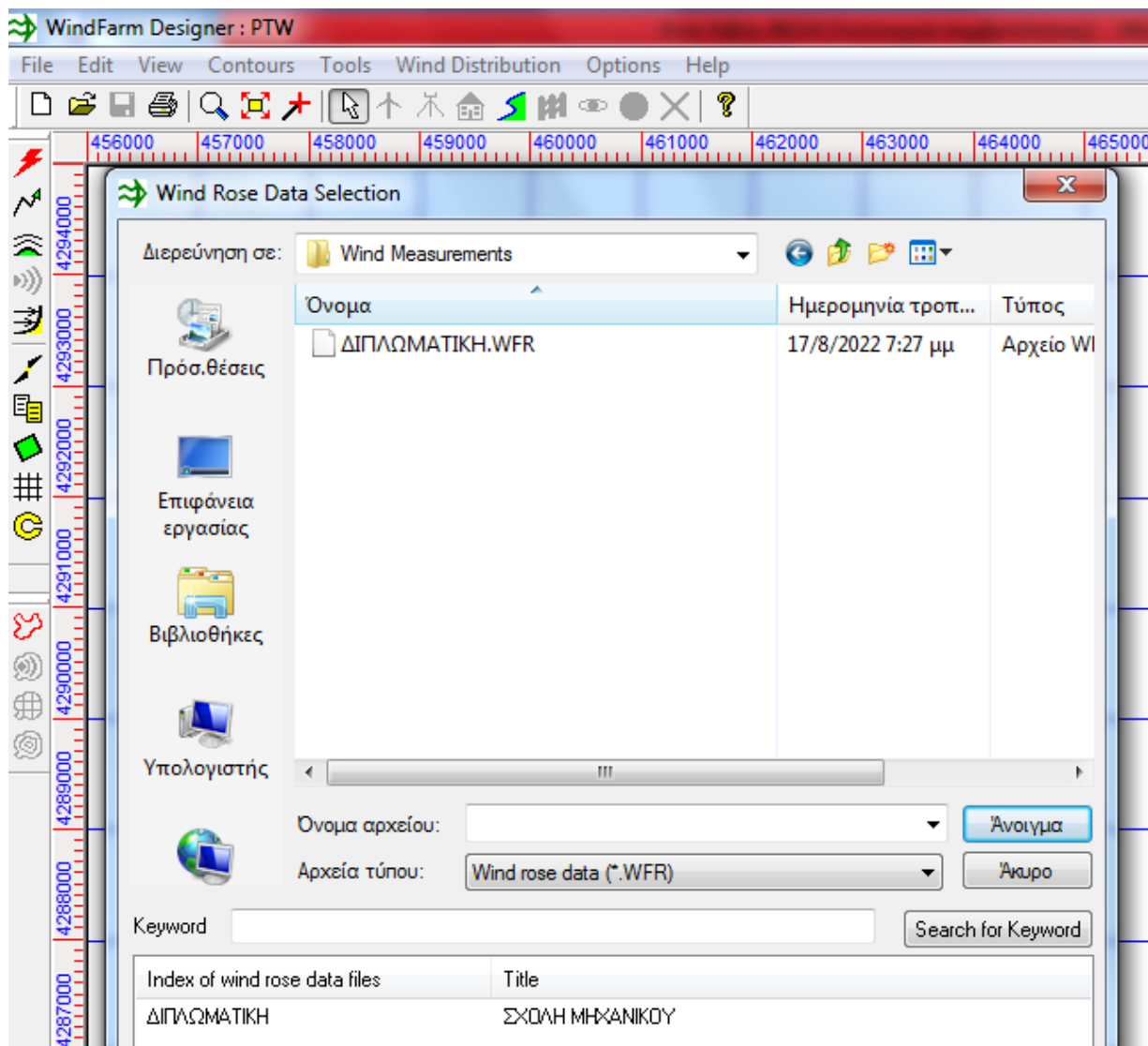
Εικόνα 55: Εισαγωγή δεδομένων στην επιθυμητή στήλη.

Από την γραμμή των εργαλείων πηγαίνοντας στο Wind distribution και επιλέγοντας το Open, Distribution File ανοίγει το παρακάτω παράθυρο.



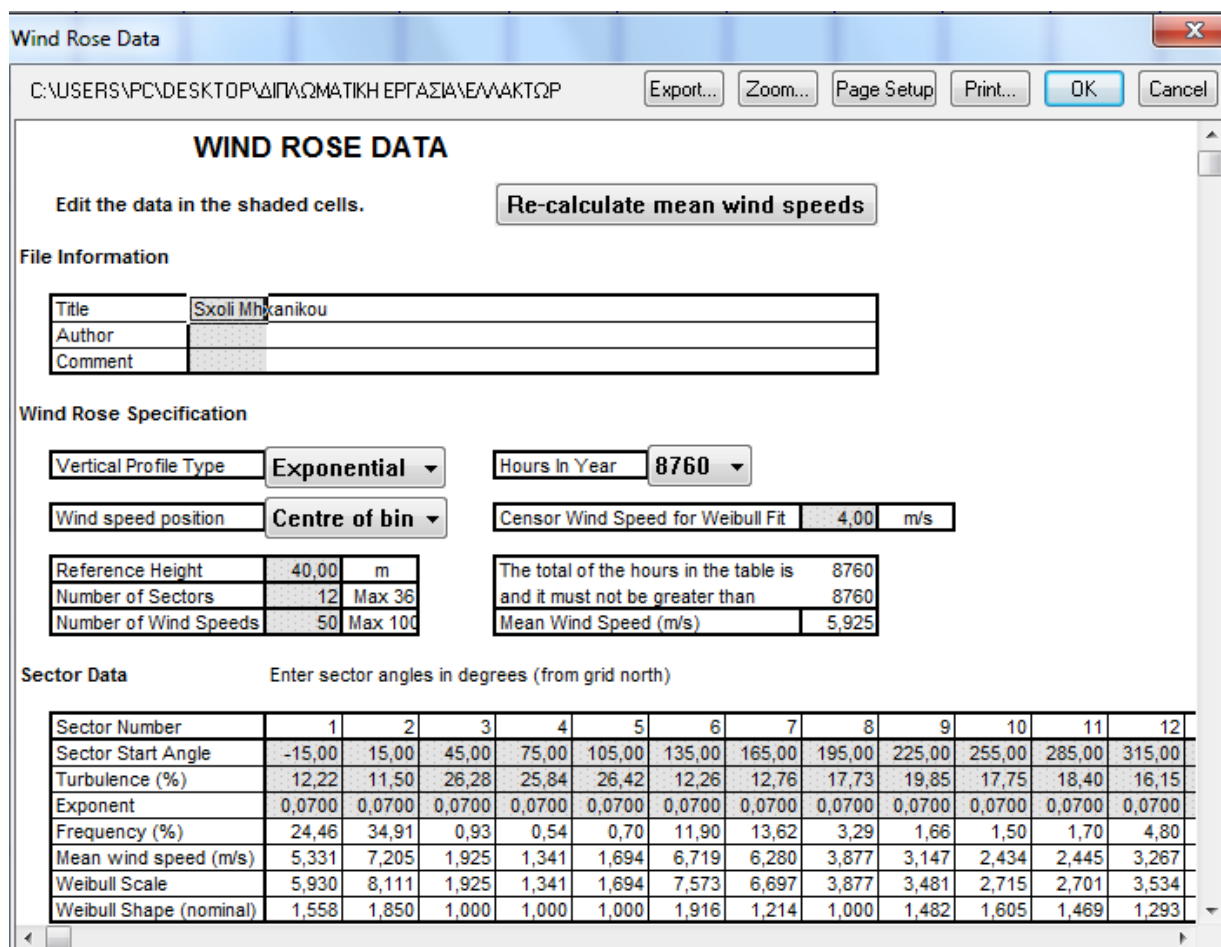
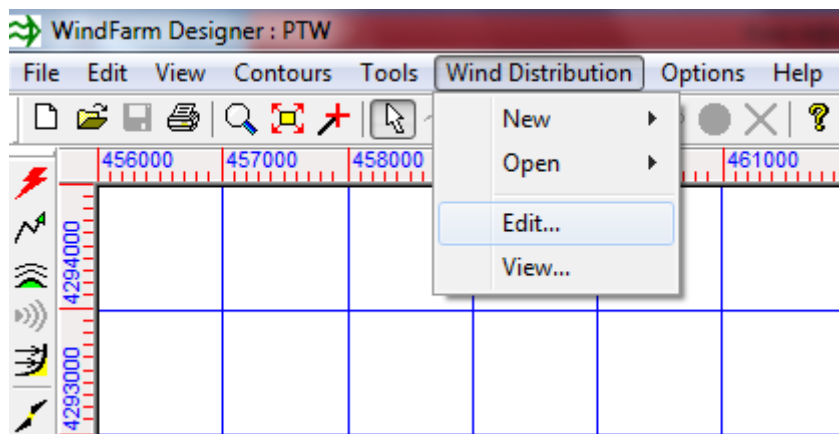
Εικόνα 56: Ανοίγοντας τα ανεμολογικά δεδομένα μετά της μετατροπής.

Ανοίγουμε τα ανεμολογικά δεδομένα που μετατρέψαμε.



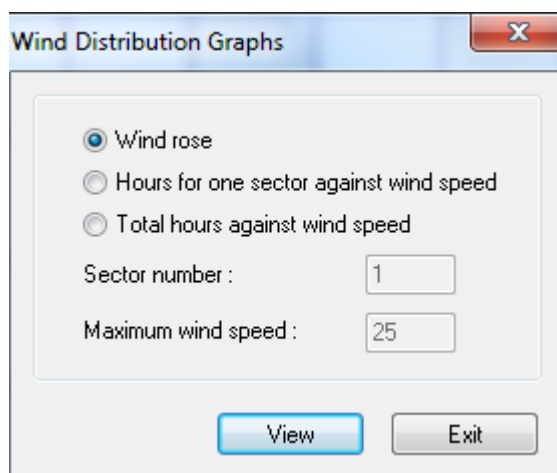
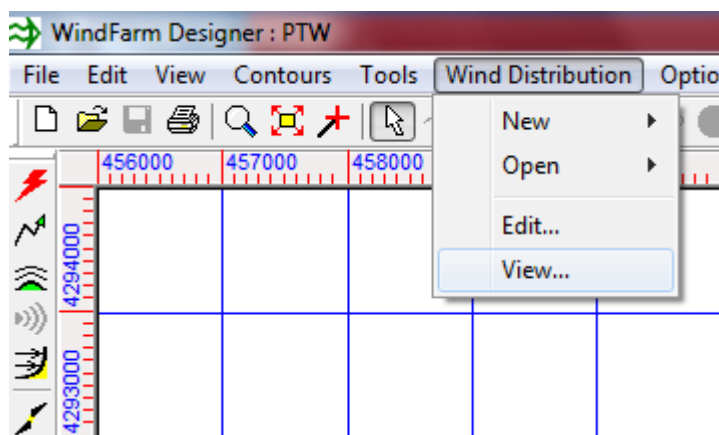
Εικόνα 57: Μετά μετατροπής ανεμολογικών δεδομένων.

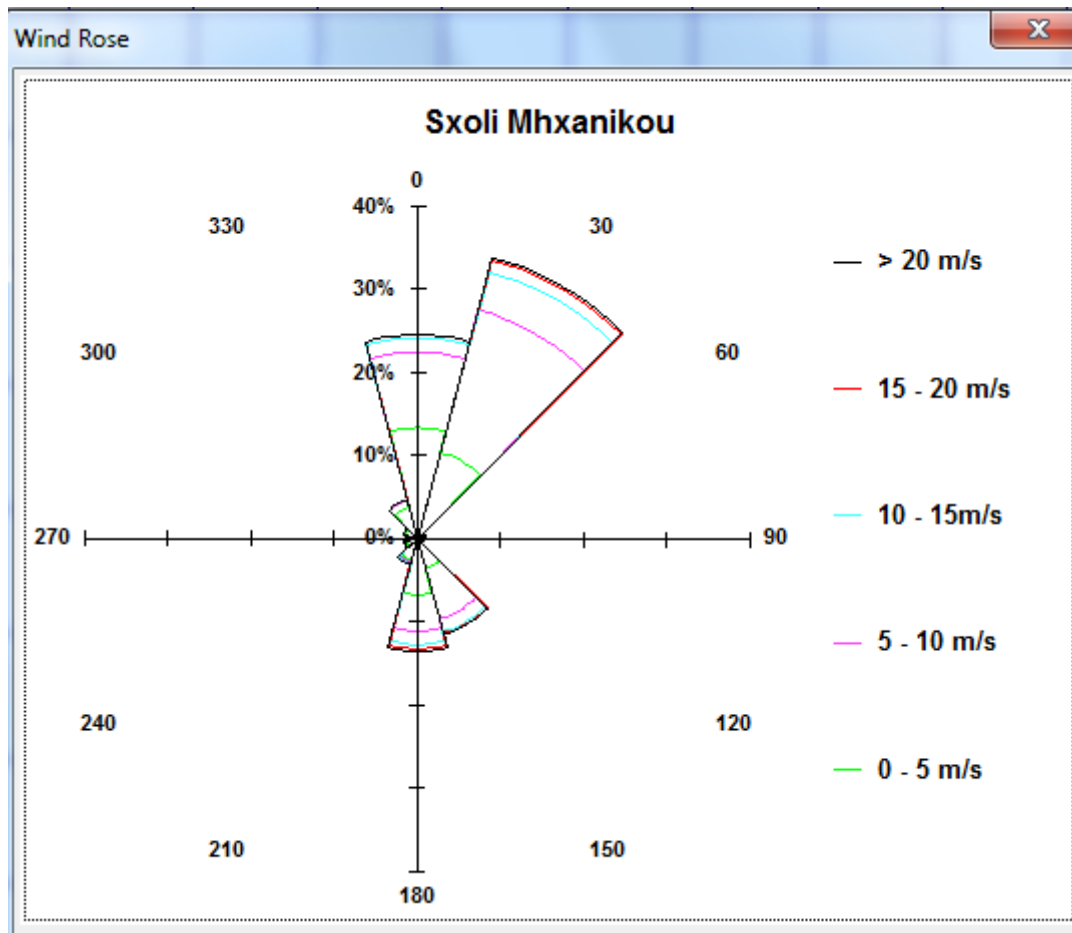
Πηγαίνοντας στο Wind distribution και επιλέγοντας το Edit μας αφήνει να ανοίξουμε και να δουλέψουμε το αρχείο που έχουμε δημιουργήσει.



Εικόνα 58: Αρχείο κατανομή ταχυτήτων του ανέμου.

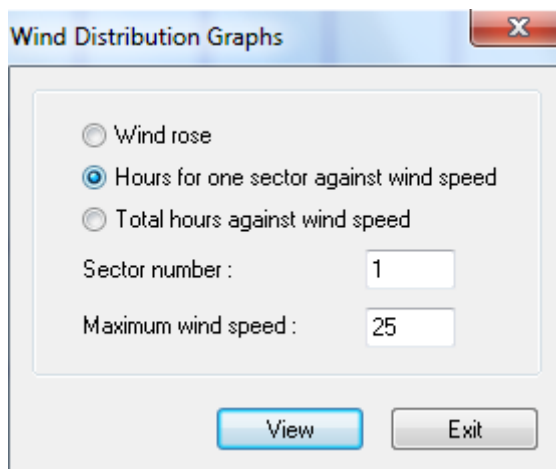
Πηγαίνοντας στο Wind distribution και View, ύστερα επιλέγοντας και κλικάροντας την επιλογή Wind rose μπορούμε να επιλέξουμε και να δούμε το αντίστοιχο ροδόγραμμα.





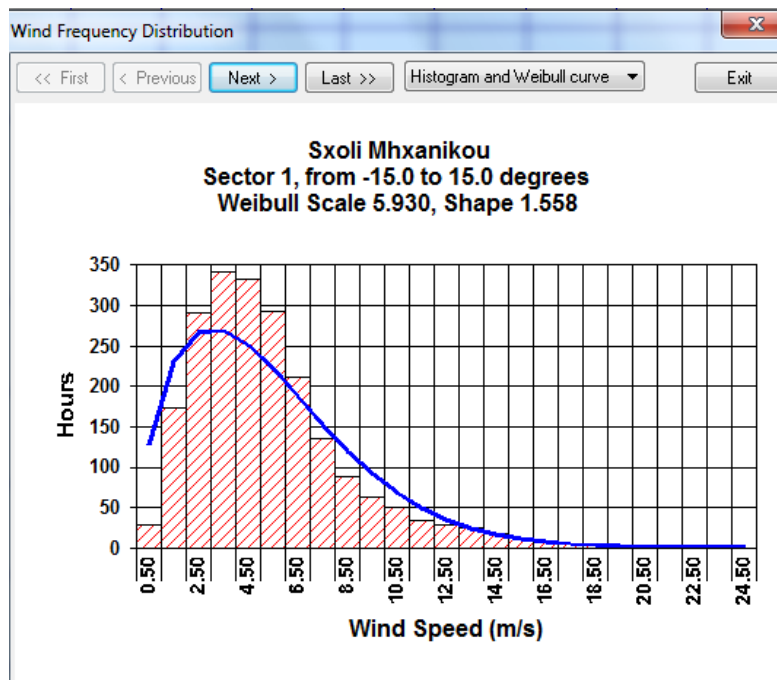
Εικόνα 59: Απεικονίζοντας το ροδόγραμμα.

Επίσης επιλέγοντας της αντίστοιχες ώρες ανά διεύθυνση και την ταχύτητα ανέμου μπορούμε να δούμε της καμπύλες Weibull και τα ιστογράμματα.

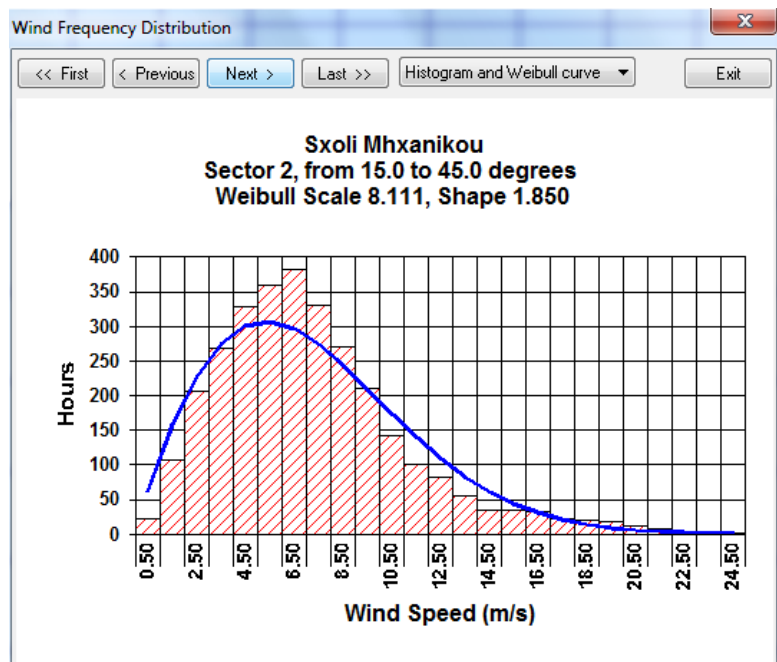


Εικόνα 60: Ανοίγοντας τα ιστογράμματα και της καμπύλες Weibull.

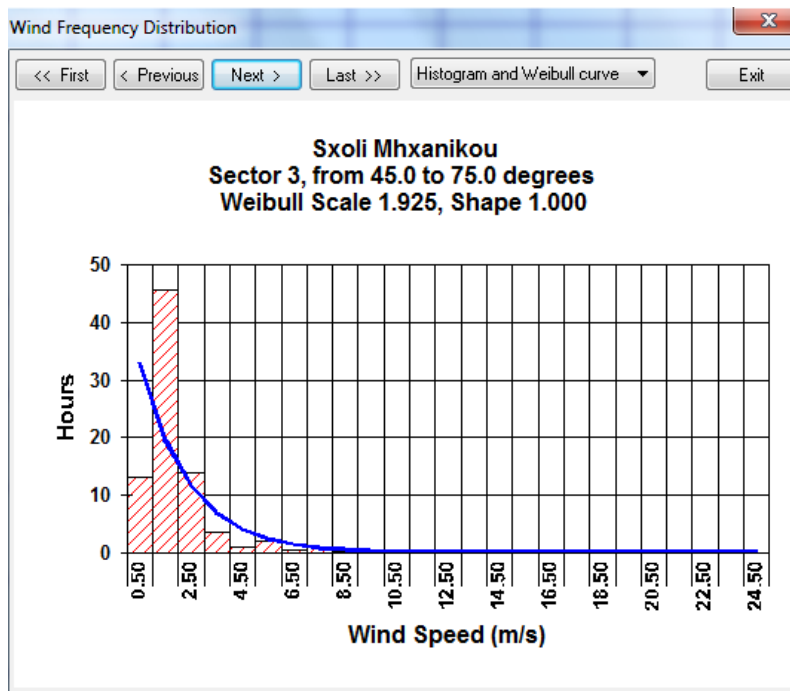
Την διεύθυνση του ανέμου στη μελέτη μας την έχουμε χωρίσει σε 12 γραφικές. Παρακάτω απεικονίζονται η γραφικές παραστάσεις ανά διεύθυνση του ανέμου.



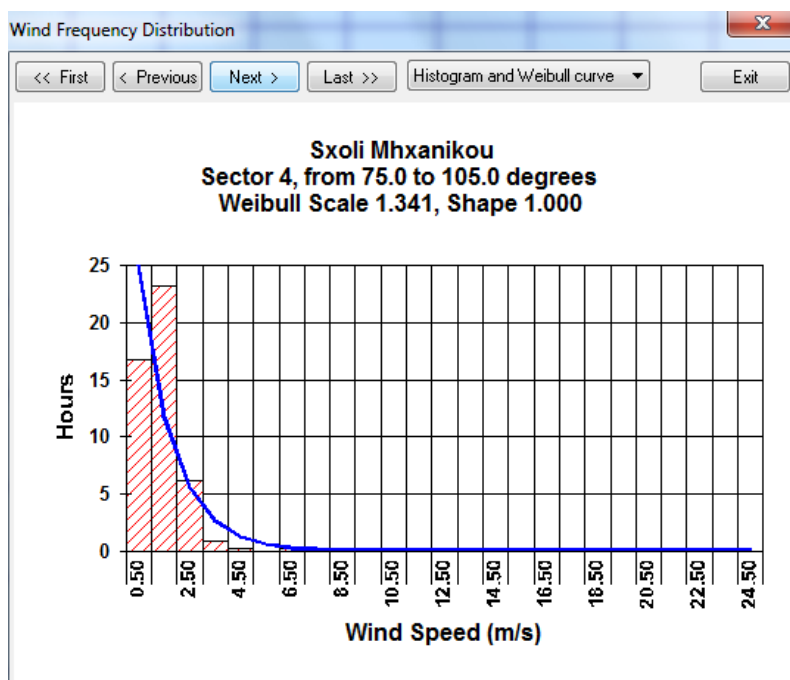
Εικόνα 61: Πρώτη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.



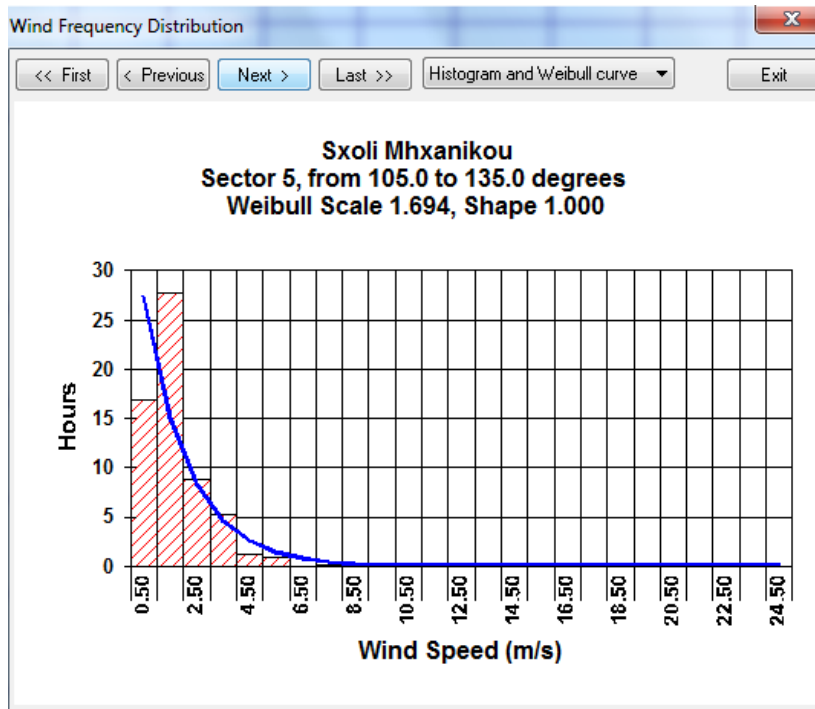
Εικόνα 62: Δεύτερη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.



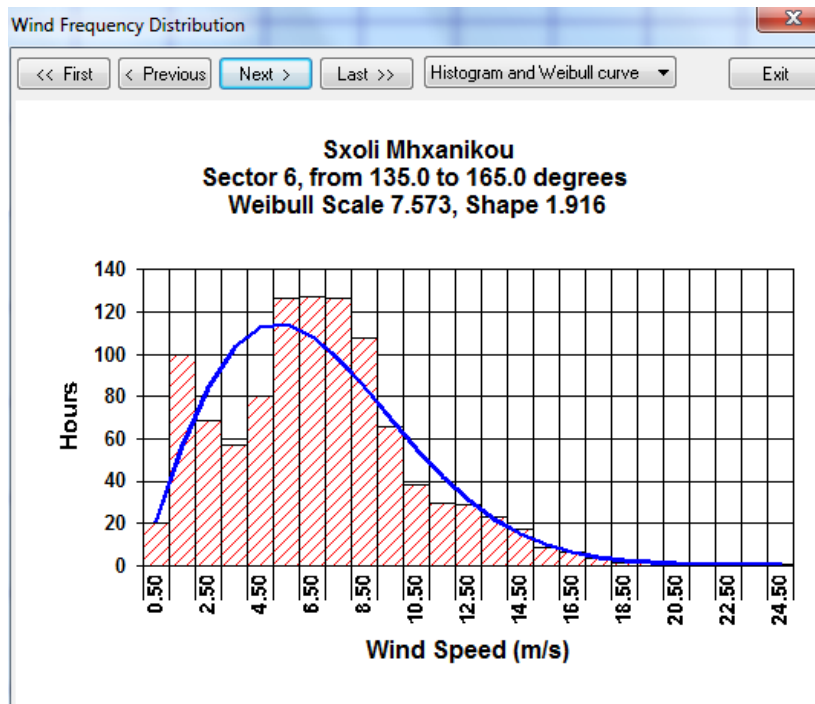
Εικόνα 63: Τρίτη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.



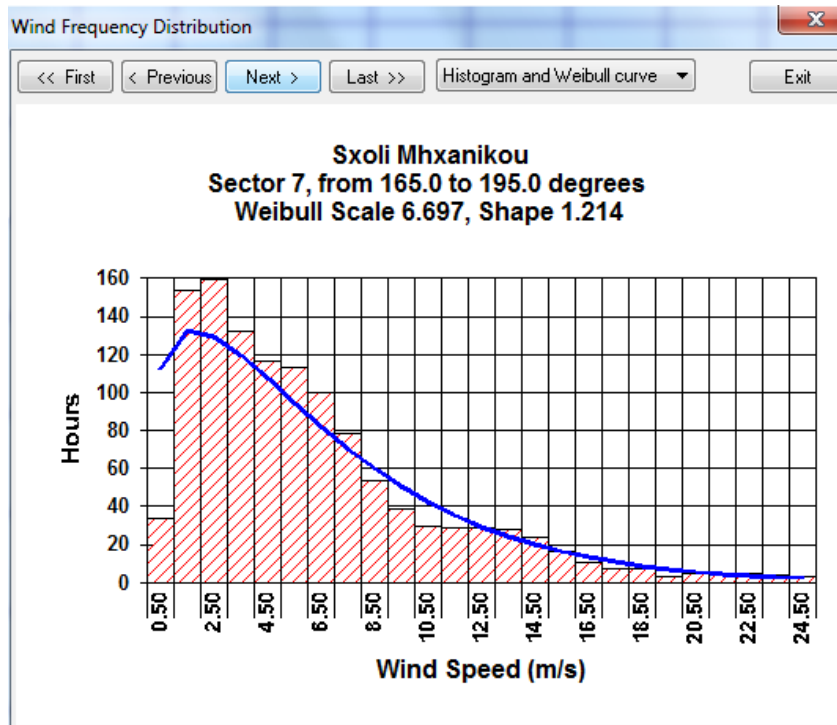
Εικόνα 64: Τέταρτη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.



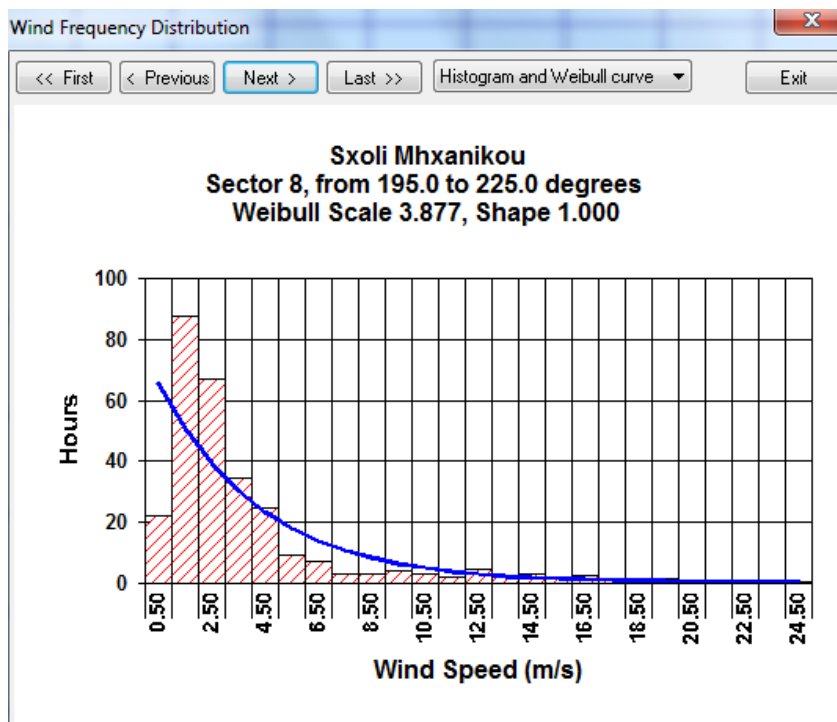
Εικόνα 65: Πέμπτη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.



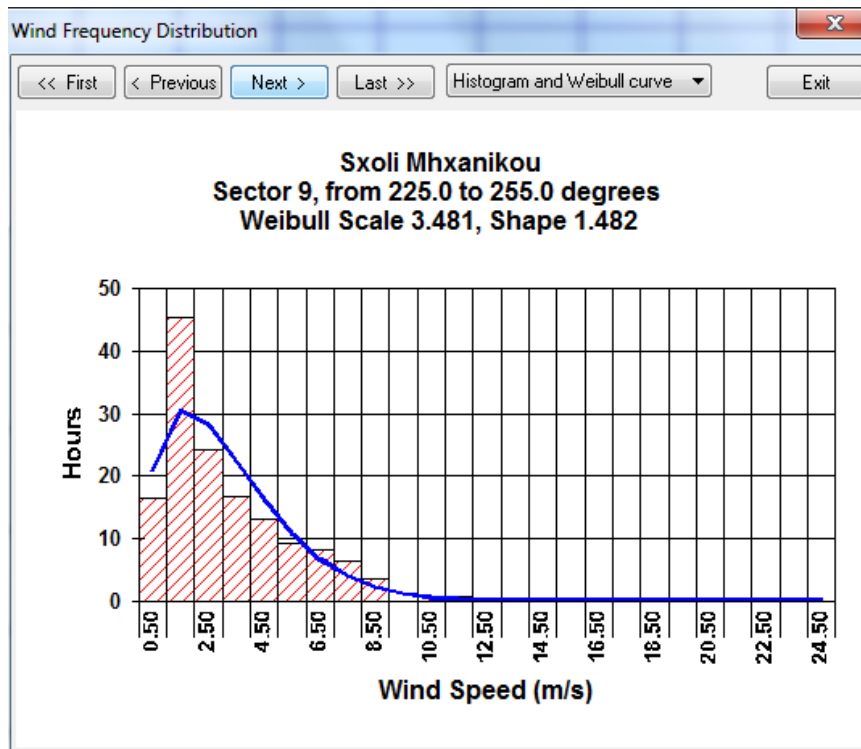
Εικόνα 66: Έκτη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.



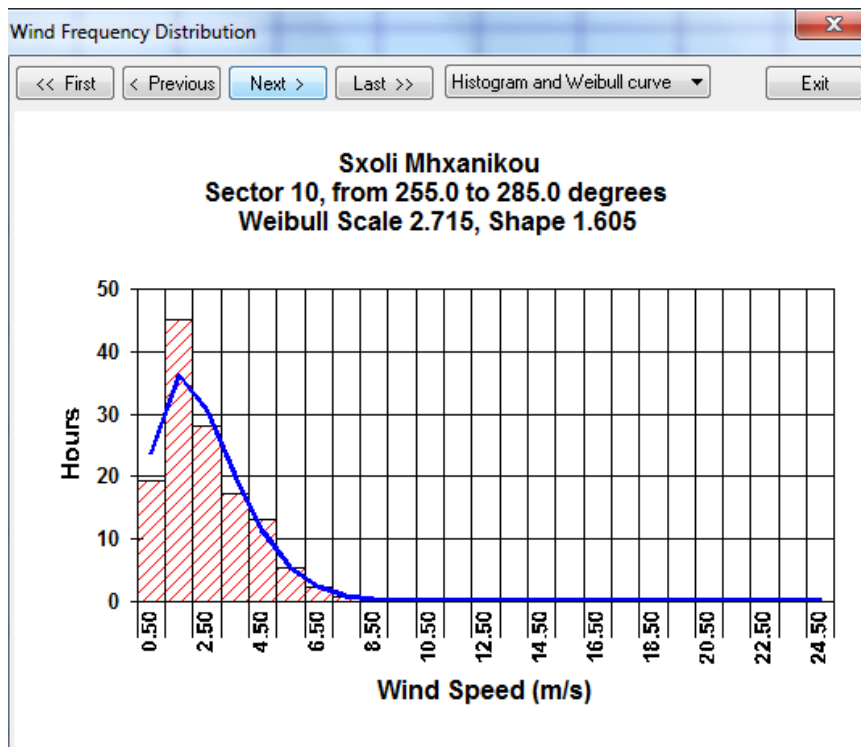
Εικόνα 67: Έβδομη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.



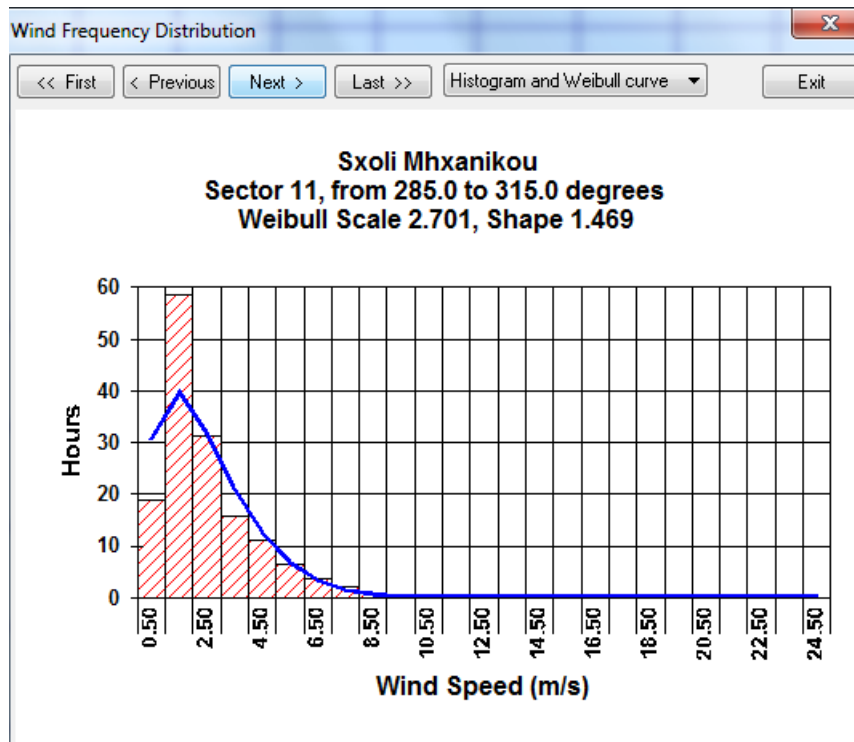
Εικόνα 68: Όγδοη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.



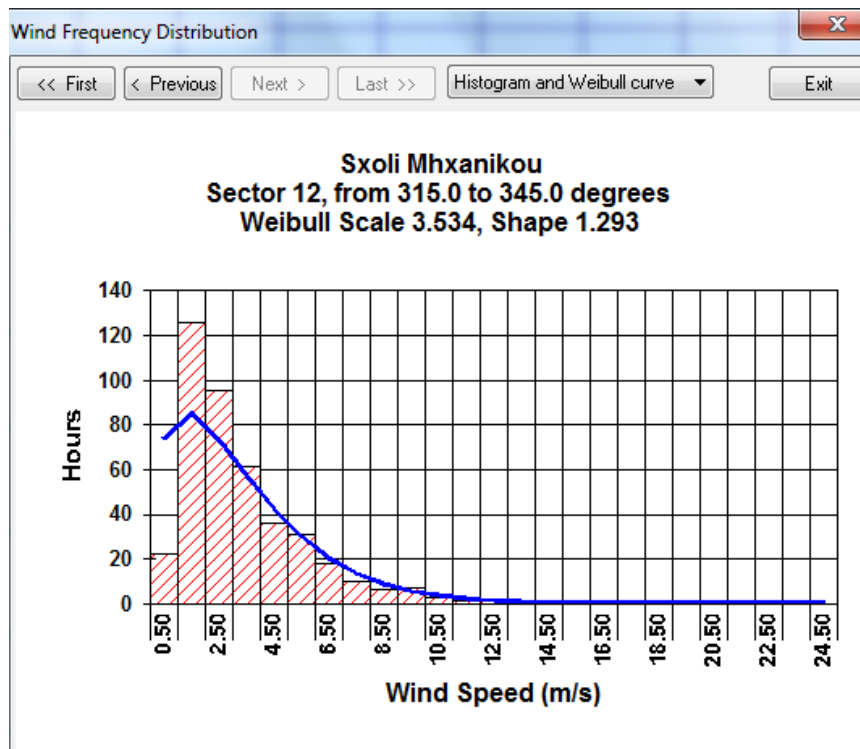
Εικόνα 69: Ένατη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.



Εικόνα 70: Δέκατη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.

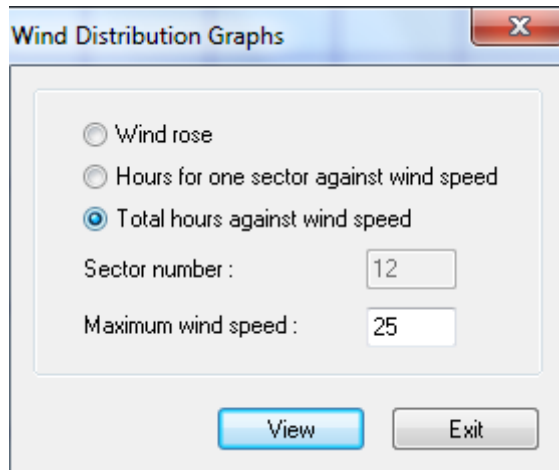


Εικόνα 71: Ενδέκατη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.

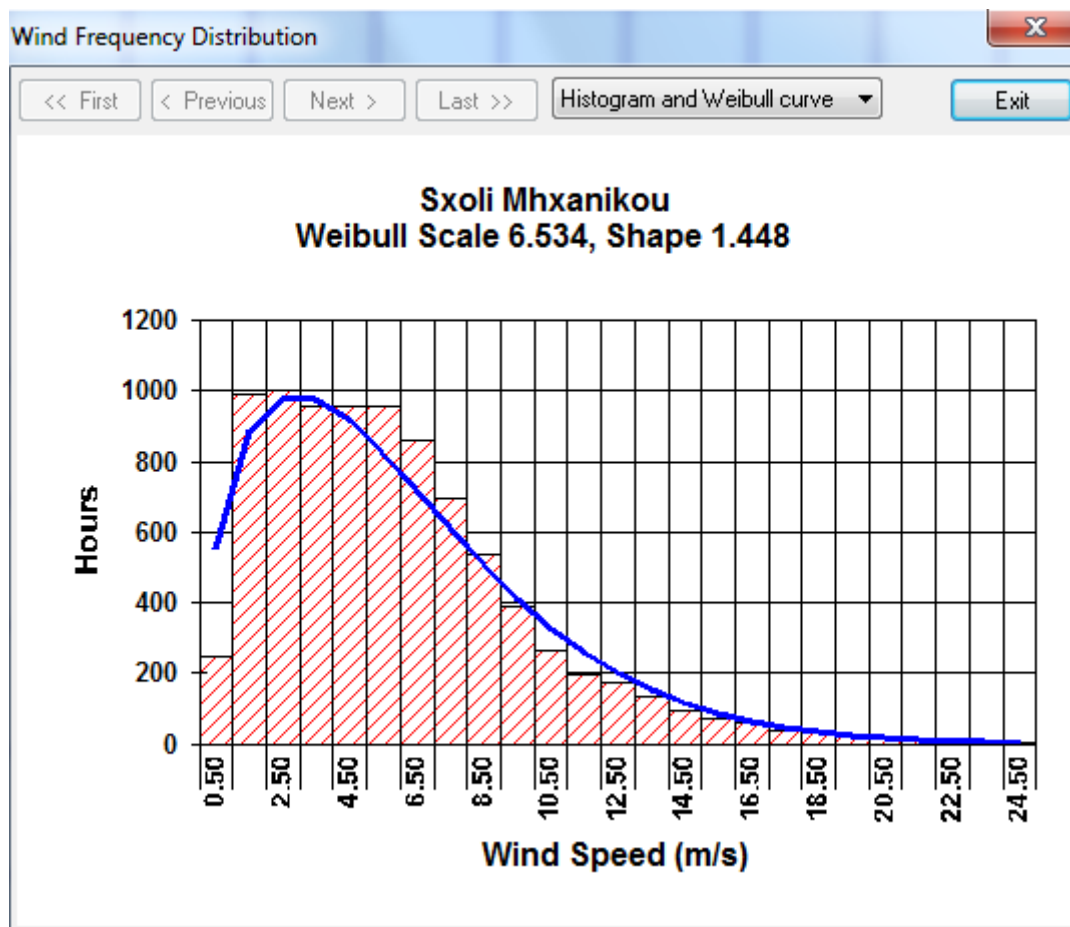


Εικόνα 72: Δωδέκατη παρουσίαση του διαγράμματος Weibull ανά διεύθυνση του ανέμου.

Επίσης κλικάροντας το σύνολο των ωρών ανά ταχύτητα ανέμου μας εμφανίζει και φαίνεται το ιστόγραμμα και την καμπύλη Weibull.



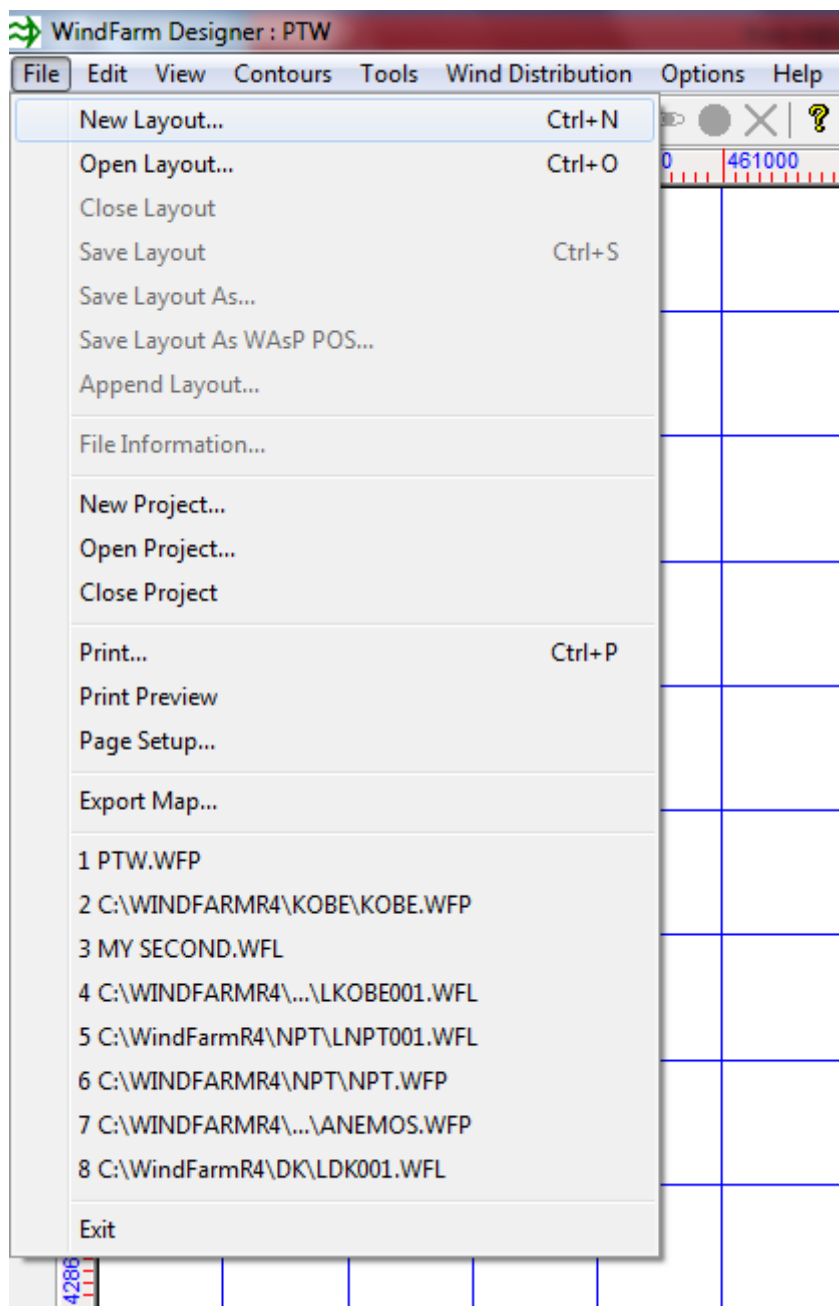
Εικόνα 73: Επιλέγοντας το σύνολο των ωρών.



Εικόνα 74: Απεικονίζοντας το ιστόγραμμα και η καμπύλη Weibull.

Μπορούμε να δημιουργήσουμε στο Windfarm, να επεξεργαστούμε να αποθηκεύσουμε διαφορετικές διατάξεις ανεμογεννητριών που εξετάζουμε.

Πηγαίνουμε στην στήλη των εργαλείων επιλέγουμε File και ύστερα New Layout.



Εικόνα 75: Δημιουργώντας ένα καινούργιο Layout.

Ύστερα εμφανίζεται το εικονίδιο, στο οποίο εισάγουμε τα στοιχεία της διάταξης. Layout file name: ΔΤ.WFL

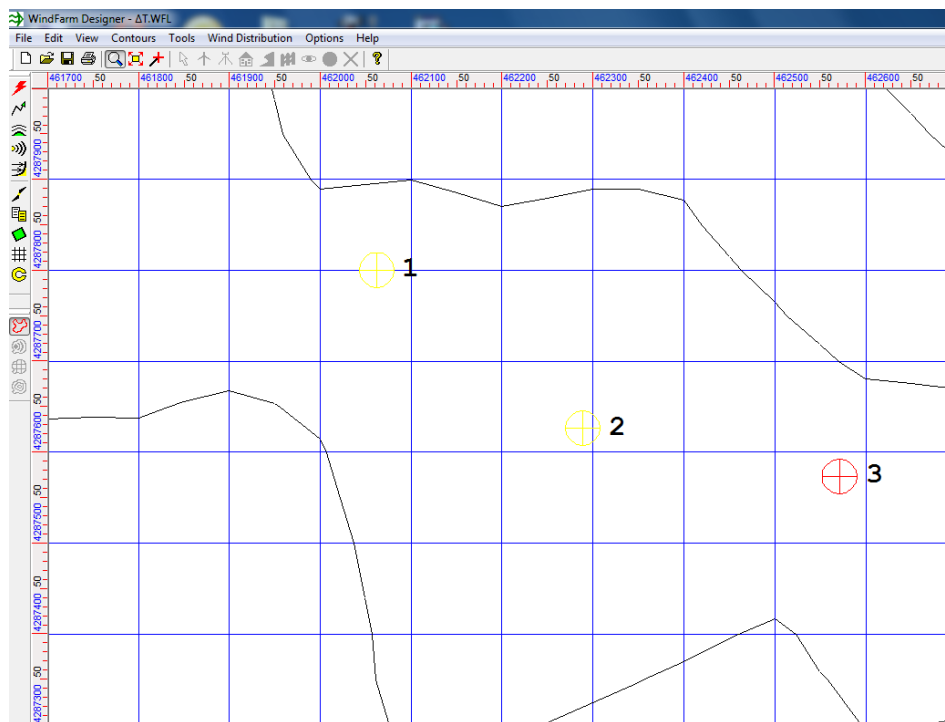
Εικόνα 76: Καταχωρώντας το όνομα της διάταξης.

Μετά εφόσον επιλέξουμε το OK μας πηγαίνει στην οθόνη σχεδιασμού. Επιλέγουμε το σχέδιο με τις ανεμογεννήτριες και μετά πατώντας διπλό αριστερό κλικ στην οθόνη σχεδιασμού επιλέγουμε το μέρος εγκατάστασης.

Στο παρακάτω παράθυρο αναφέρονται τα δεδομένα για της 9 μηχανές στην πραγματική τους τοποθέτηση. Βάσει της παρακάτω τιμές τοποθετήθηκαν η ανεμογεννήτριες και στην μελέτη του αιολικού μας πάρκου.

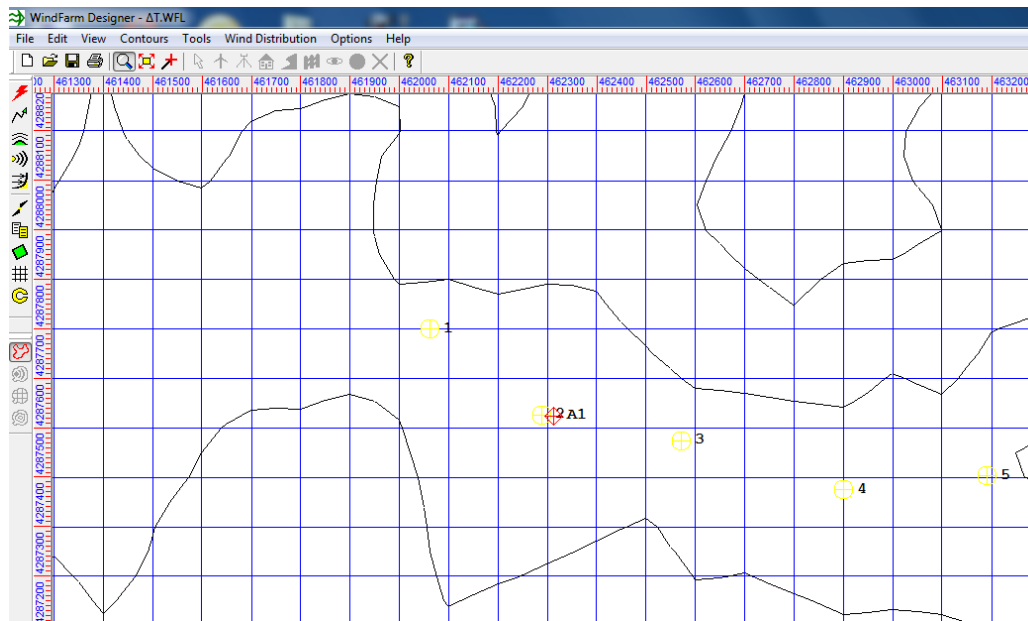
Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή
A1	462062	4287800	
A2	462289	4287626	
A3	462572	4287574	
A4	462900	4287475	
A5	463191	4287503	

Εικόνα 77: Η 5 μηχανές στο σημείο τοποθέτησης στη πραγματικότητα.



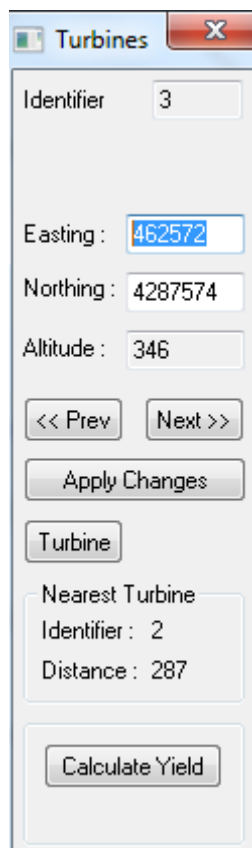
Εικόνα 78: Σημείο τοποθέτησης ανεμογεννητριών.

Και αφού τελειώσουμε την τοποθέτηση ανεμογεννητριών, επιλέγουμε το αντίστοιχο κουμπί του ανεμόμετρου και το τοποθετούμε στο χάρτη στο επιθυμητό σημείο της μελέτης. Θα πρέπει να είναι τοποθετημένο ακριβώς στην ίδια θέση με εκείνη που ήταν τοποθετημένο στην πραγματικότητα.



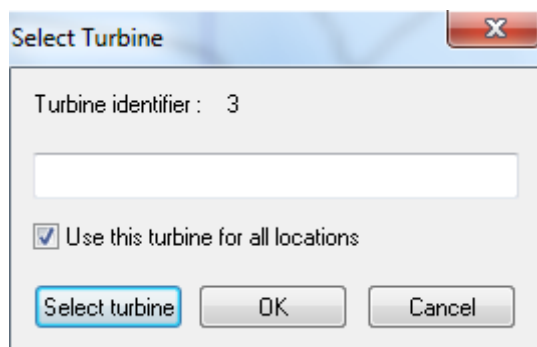
Εικόνα 79: Τοποθέτηση ανεμόμετρου στο σωστό σημείο.

Πηγαίνοντας πάλι και πατώντας στο εικονίδιο με την ανεμογεννήτρια και πατώντας αριστερό κλικ πάνω σε μία από της τοποθετημένες ανεμογεννήτριες εμφανίζεται στο πλάι το παράθυρο που φαίνεται.



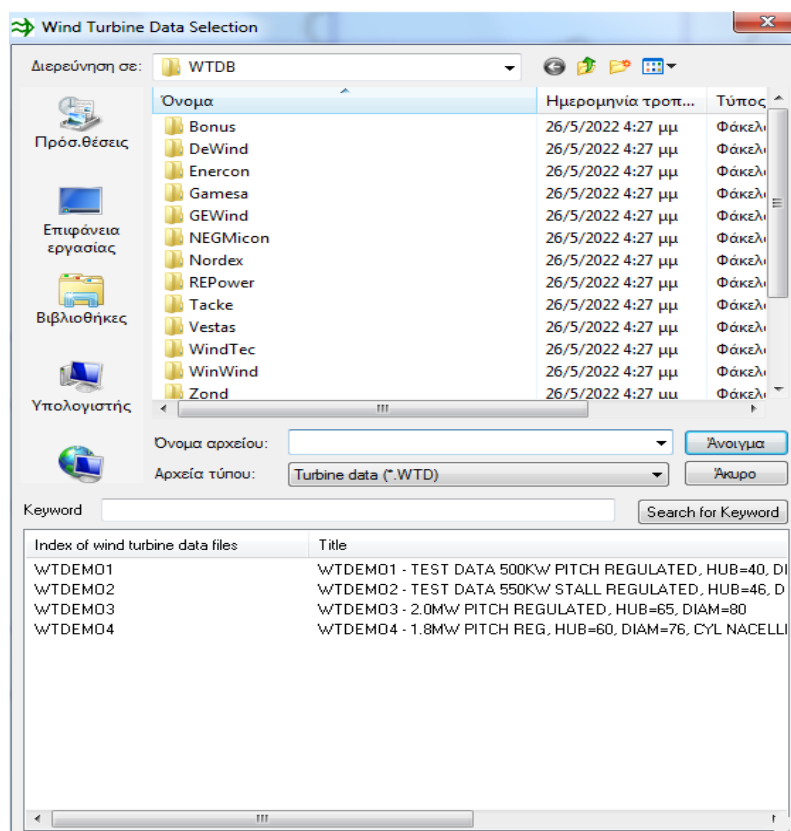
Εικόνα 80: Παράθυρο διαλόγου ανεμογεννήτριας.

Πατώντας το σημείο επιλογής Turbine εμφανίζεται το παράθυρο στο οποίο μπορούμε να επιλέξουμε το μοντέλο ανεμογεννήτριας που επιθυμούμε.

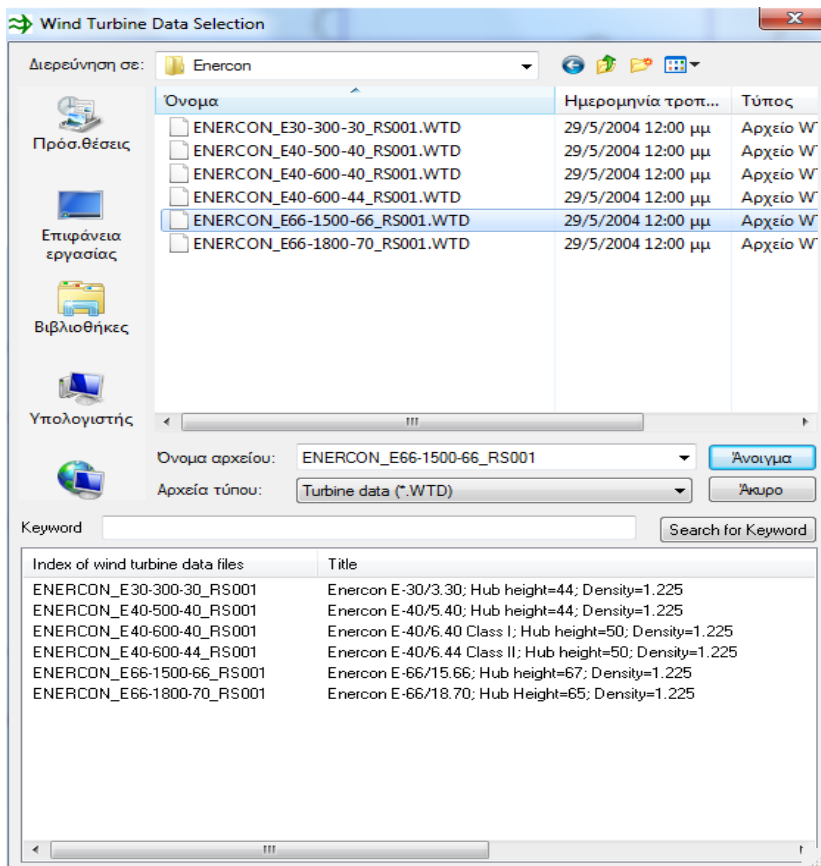


Εικόνα 81: Επιλέγοντας την ανεμογεννήτρια.

Καθώς γίνεται η εγκατάσταση του windfarm υπάρχει ένας φάκελος οποίος έχει μία πληθώρα από διάφορες ανεμογεννήτριες διάφορων εταιριών. Αν επιθυμούμε μπορούμε αν επιλέξουμε από αυτές η πηγαίνοντας στην επιλογής Tools / Turbine studio μπορούμε να εισάγουμε την δικιά μας ανεμογεννήτρια το μοντέλο που θέλουμε.

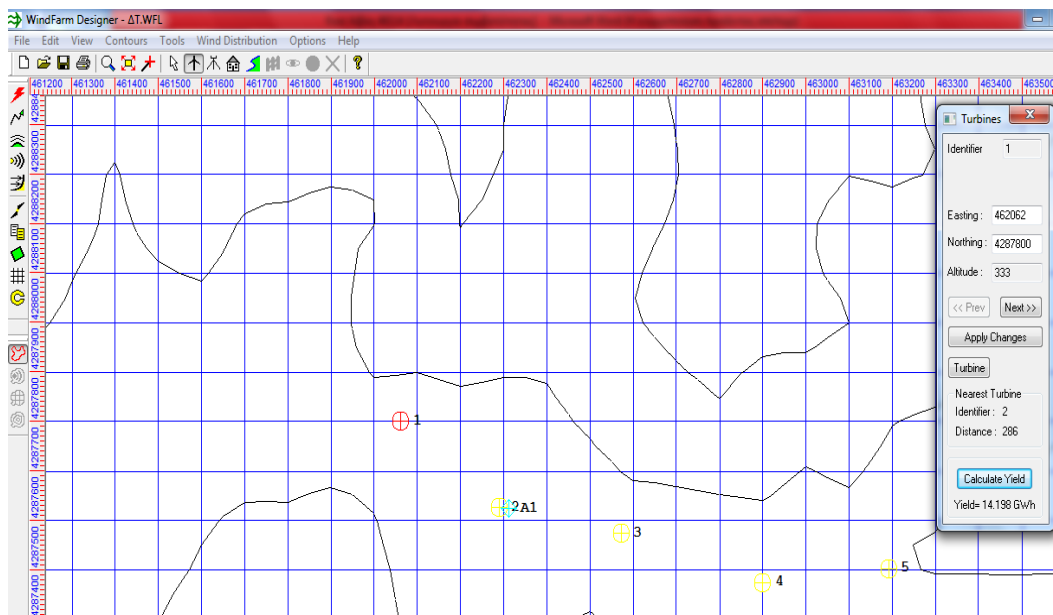


Εικόνα 82: Επιλέγοντας τον τύπο της ανεμογεννήτριας.



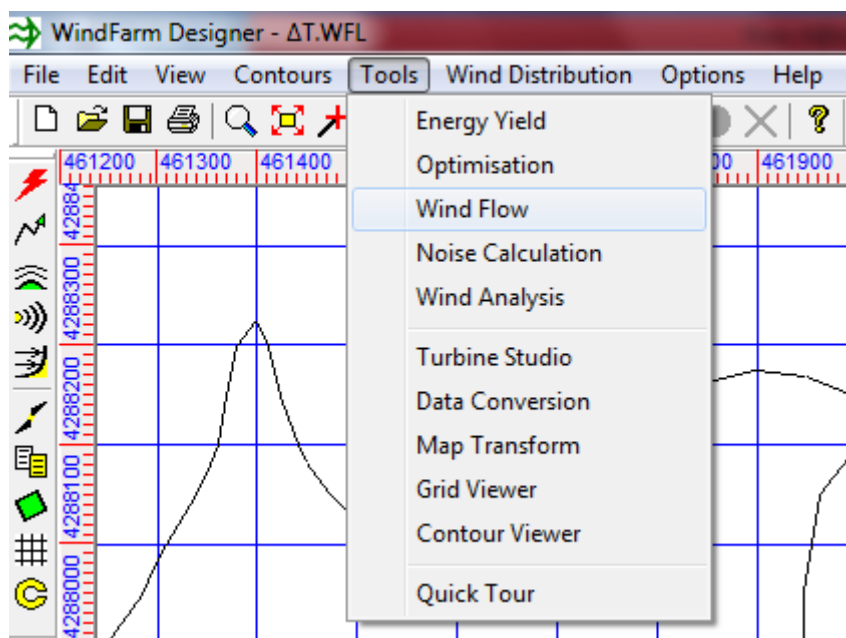
Εικόνα 83: Επιλέγοντας την μάρκα της ανεμογεννήτριας.

Αφού τελειώσουμε την επιλογή των ανεμογεννητριών κάνουμε στα γρήγορα έναν υπολογισμό της παραγόμενης ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας επιλέγοντας δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο και ύστερα επιλέγουμε το Calculate Yield.



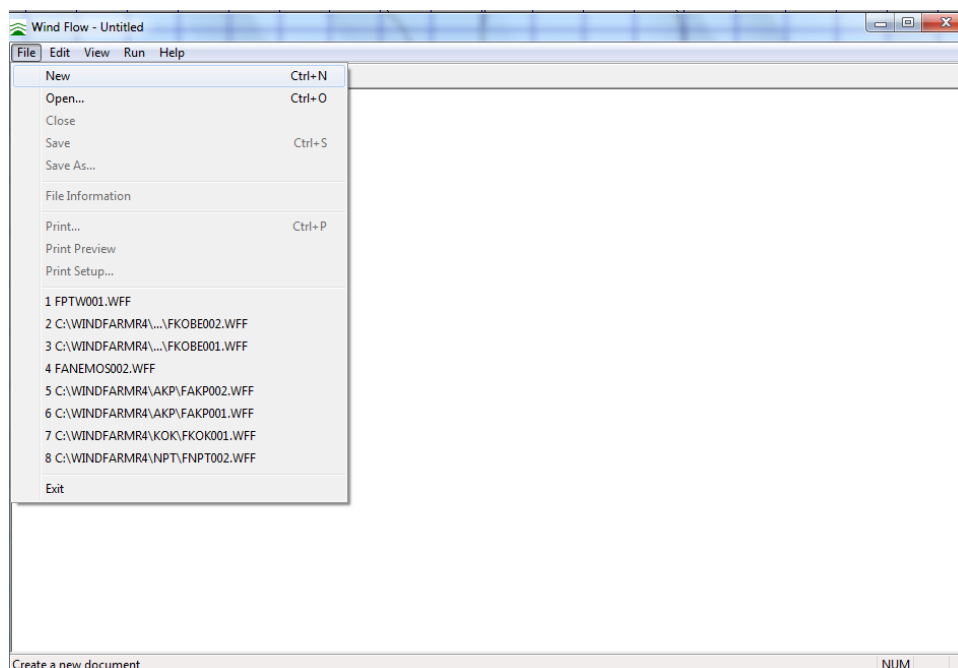
Εικόνα 84: Έχοντας υπολογίσει την ετήσια ηλεκτρική ενέργεια.

Μπορούμε να κάνουμε βελτιστοποίηση στη τοποθέτηση των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου για να μας δοθεί καλύτερη ετήσια παραγόμενη ενέργεια θα πρέπει να γίνει υπολογισμός στη ροή του αέρα. Επιλέγοντας Tools / Wind Flow ανοίγει το παρακάτω παράθυρο.

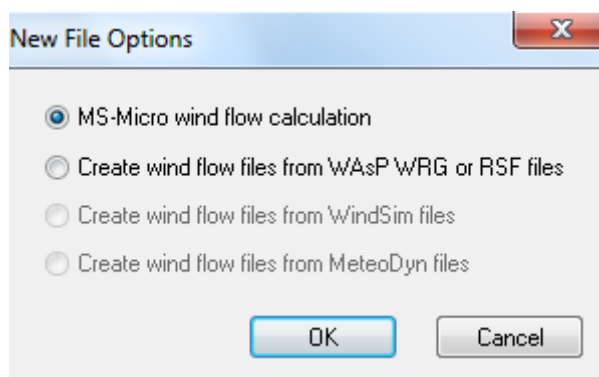


Εικόνα 85: Επιλέγοντας τα Wind Flow για τον υπολογισμό του αέρα.

Για να δημιουργήσουμε ένα καινούργιο επιλέγουμε File και μετά New.

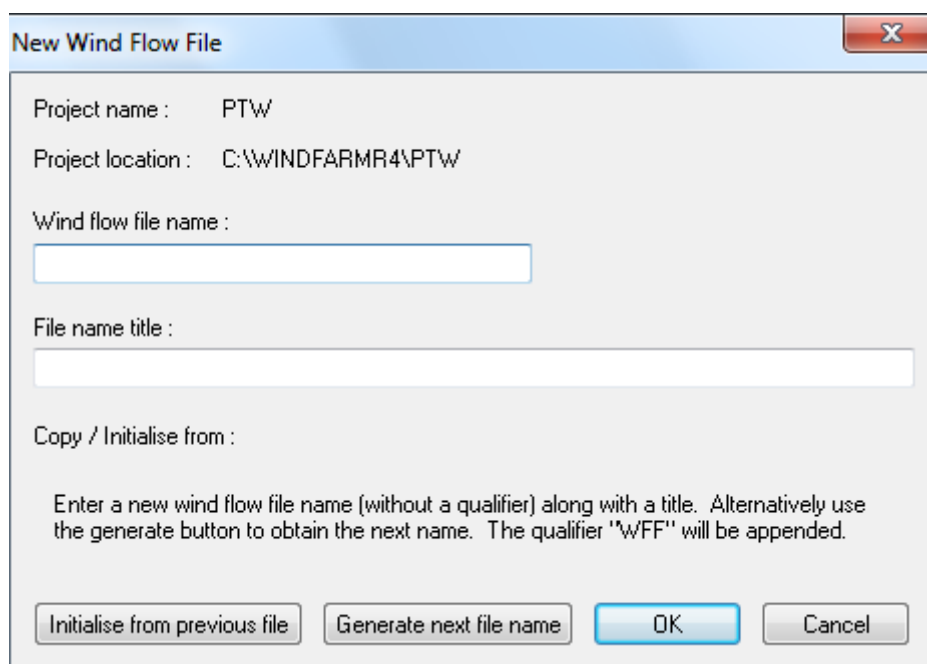


Εικόνα 86: Φτιάχνοντας καινούργιο παράθυρο της ροής του αέρα.



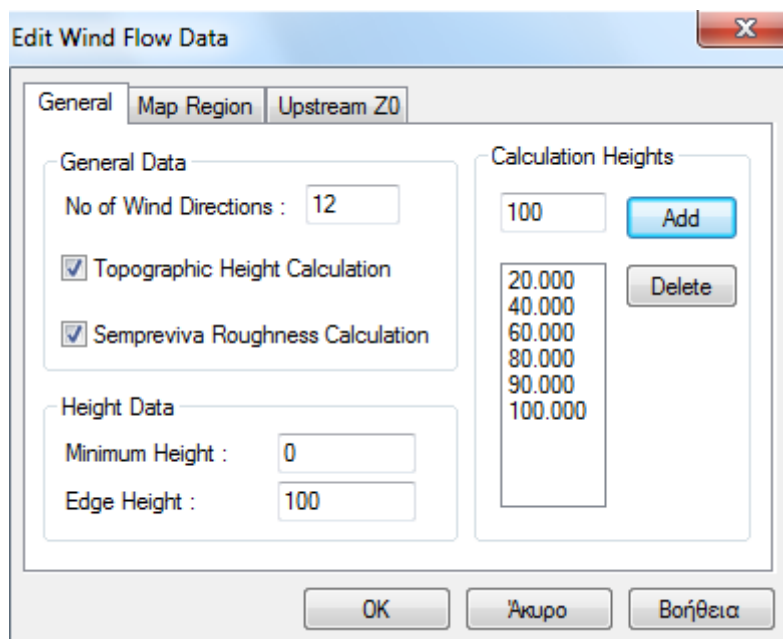
Εικόνα 87: Επιλέγοντας τον τρόπο υπολογισμού.

Δίνοντας ονομασία στο καινούργιο αρχείο για τους επόμενους υπολογισμούς, Wind flow file name: FPTW002.WFF



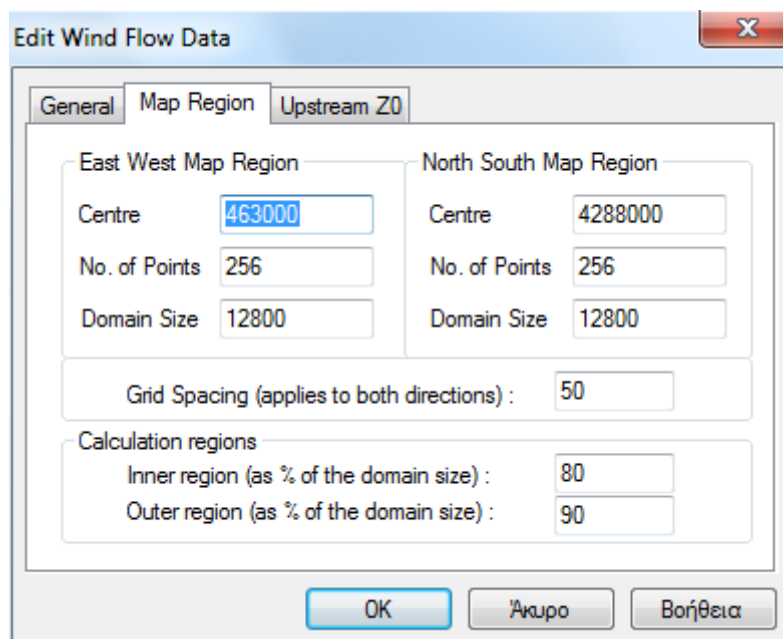
Εικόνα 88: Ονομάζουμε το νέο αρχείο.

Για να γίνει ο υπολογισμός όπως επιθυμούμε θα πρέπει αν επιλέξουμε το πλήθος του ανέμου, των διευθύνσεων και τα ύψη.



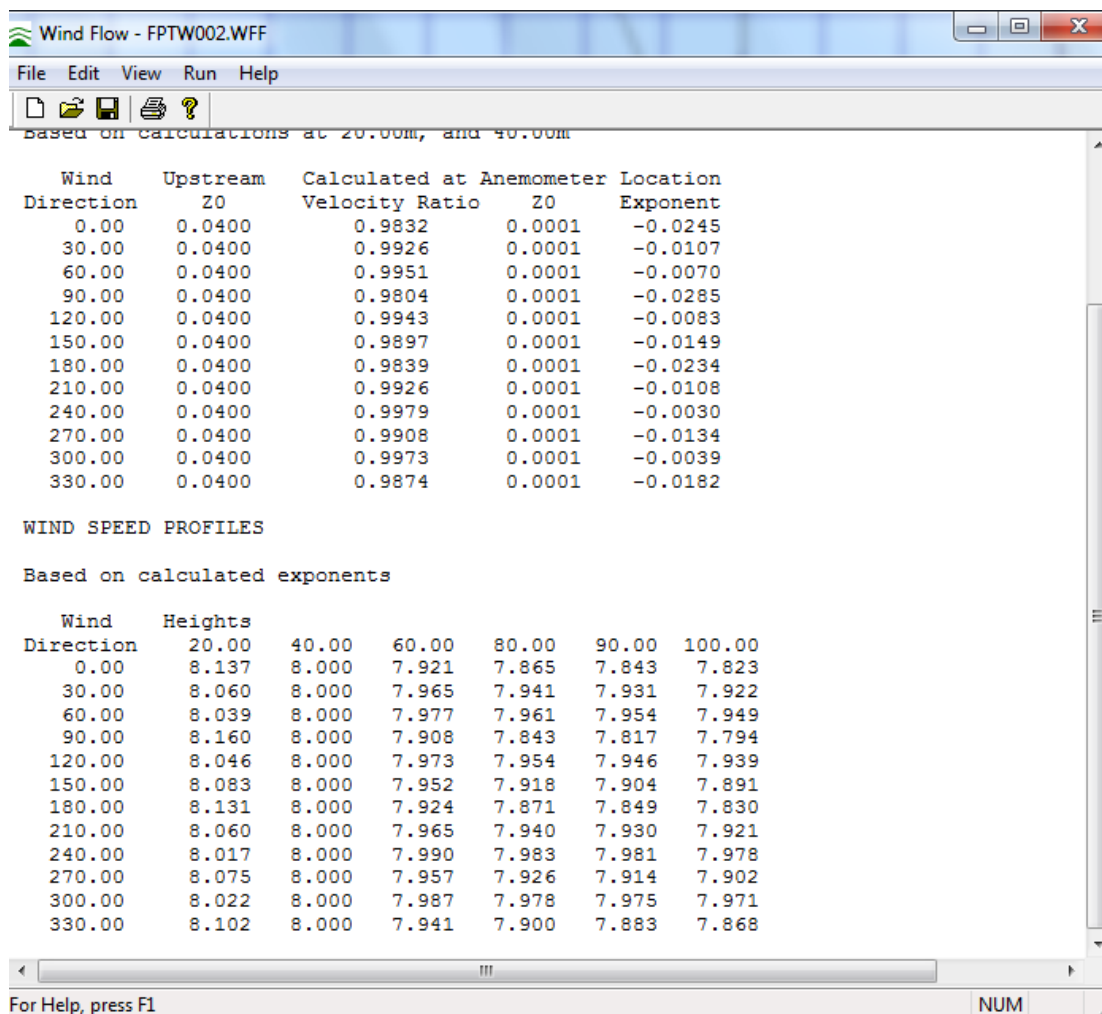
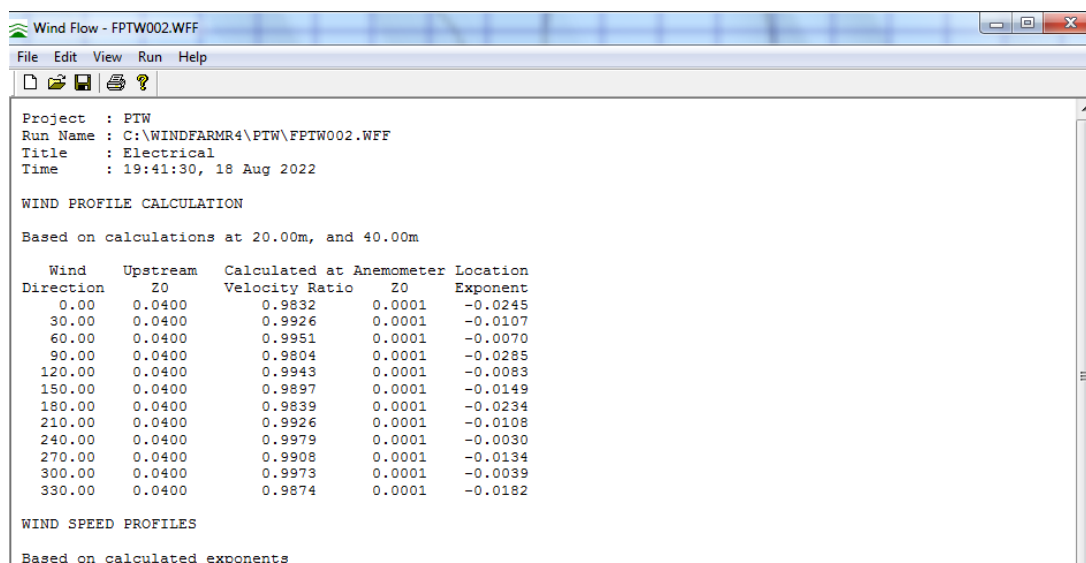
Εικόνα 89: Επιλέγουμε το πλήθος των διευθύνσεων.

Τελειώνοντας από το General επιλέγουμε το Map Region και βάζουμε τα νούμερα τοποθέτησης στο χάρτη, εκεί που επιθυμούμε να γίνουν οι υπολογισμοί.



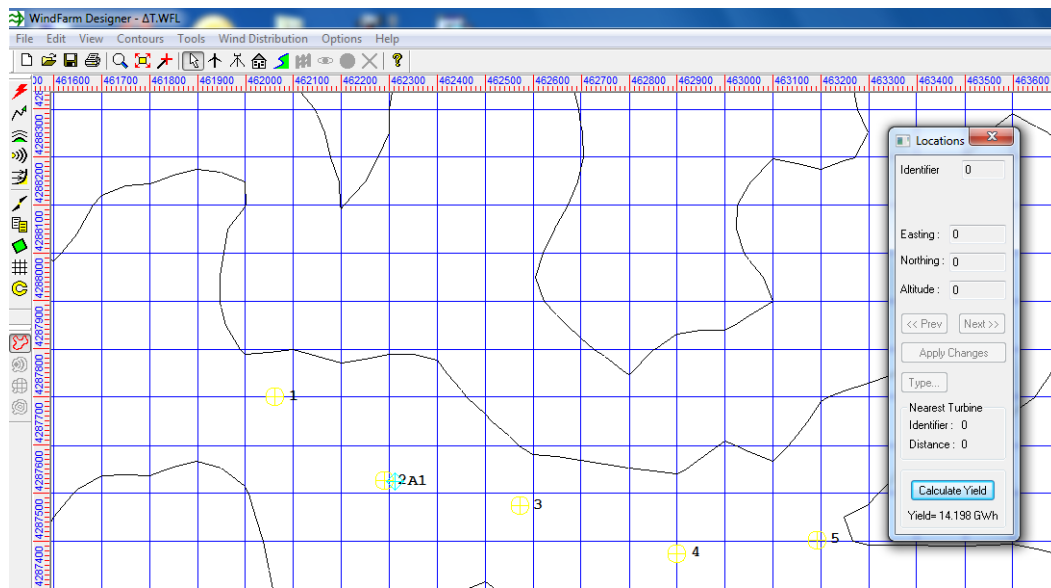
Εικόνα 90: Θέτουμε τα όρια έκτασης του χάρτη.

Μετά πατάμε OK και παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα που φαίνονται.



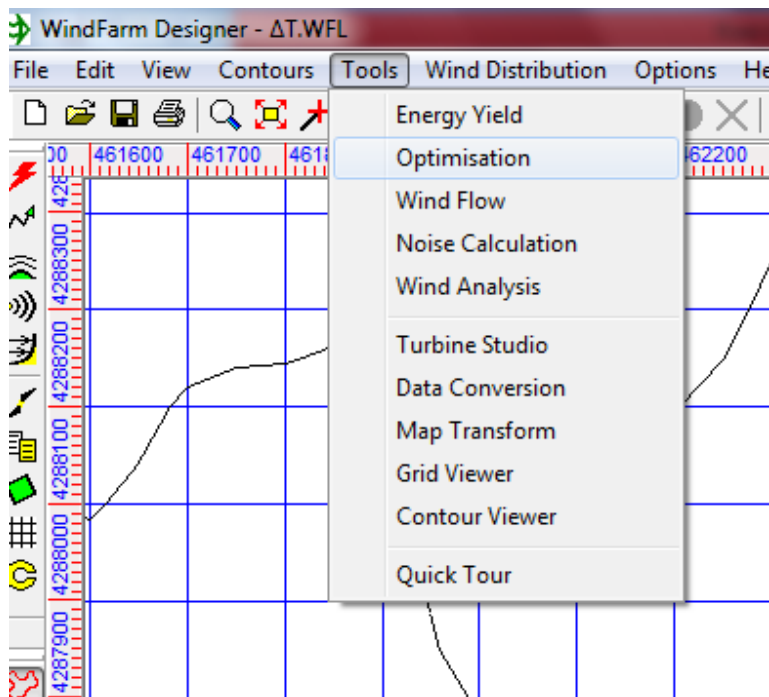
Εικόνα 91: Παίρνοντας τους υπολογισμούς από την ροή αέρα.

Ύστερα θα παρουσιάσουμε την παραγόμενη ετήσια ενέργεια του αιολικού πάρκου μας πριν και μετά την βελτιστοποίηση. Πριν την βελτιστοποίηση η παραγόμενη ενέργεια είναι 14.198 GWh.



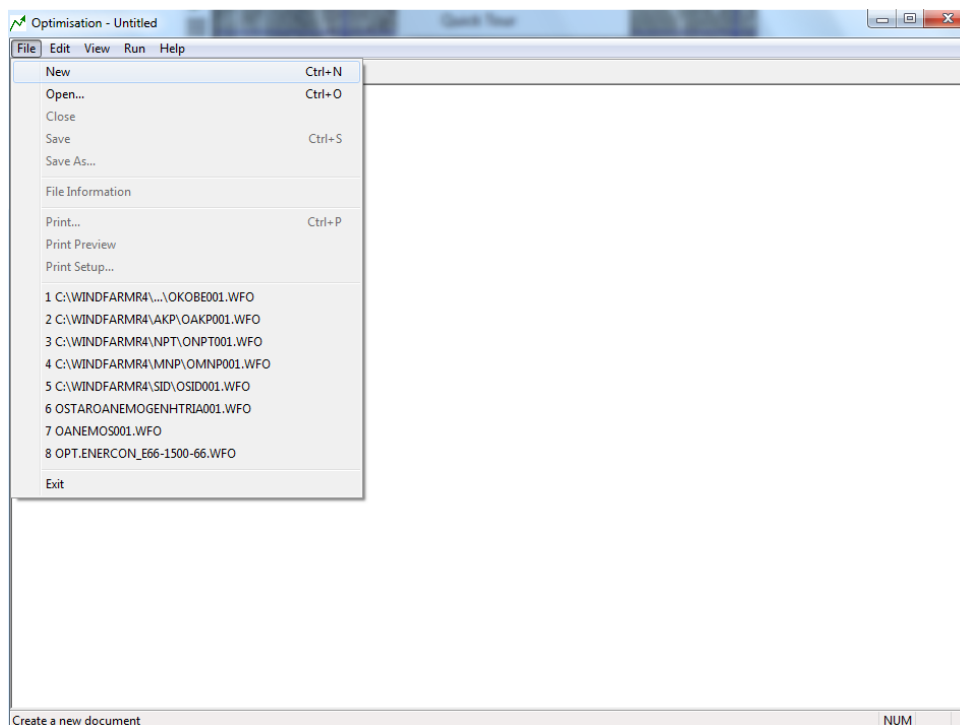
Εικόνα 92: Η παραγόμενη ενέργεια πριν την βελτιστοποίηση.

Στην γραμμή εργαλείων πηγαίνουμε και βρίσκουμε την βελτιστοποίηση από τα Tools και μετά Optimisation.



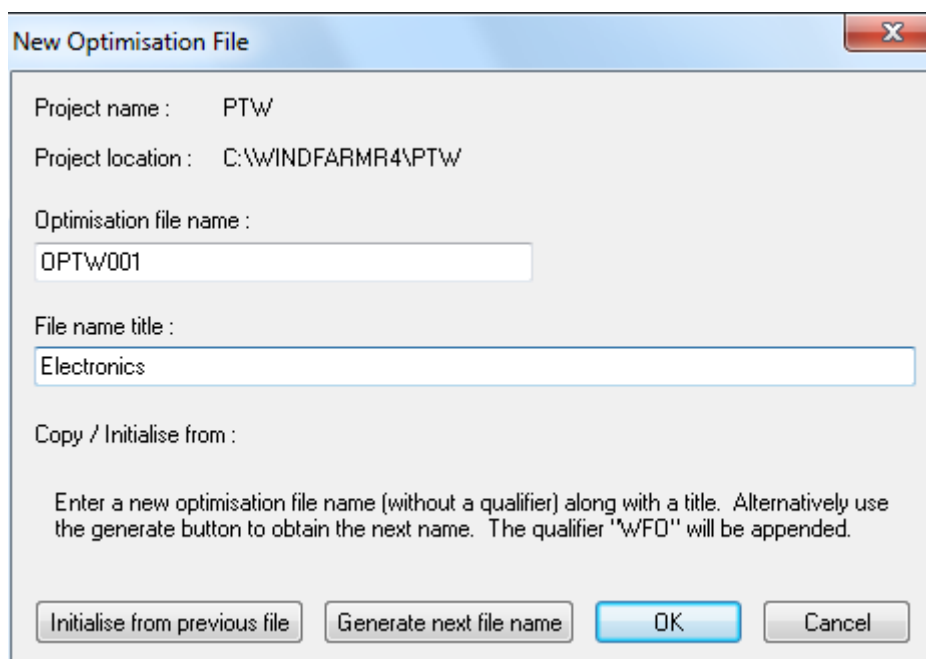
Εικόνα 93: Παράθυρο βελτιστοποιήσεις.

Ύστερα δημιουργούμε ένα νέο αρχείο.



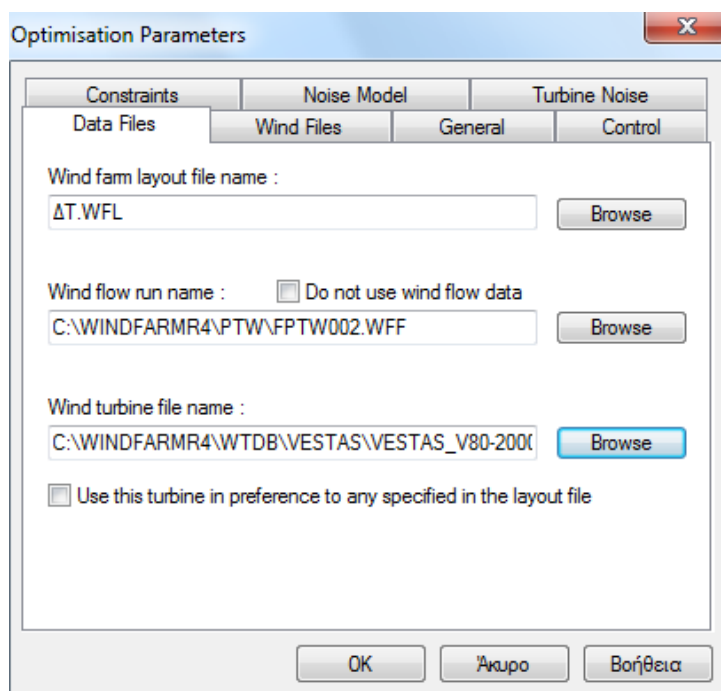
Εικόνα 94: Δημιουργώντας το νέο αρχείο.

Δίνουμε ονομασία στο νέο αρχείο. Optimisation file name: OPTW001



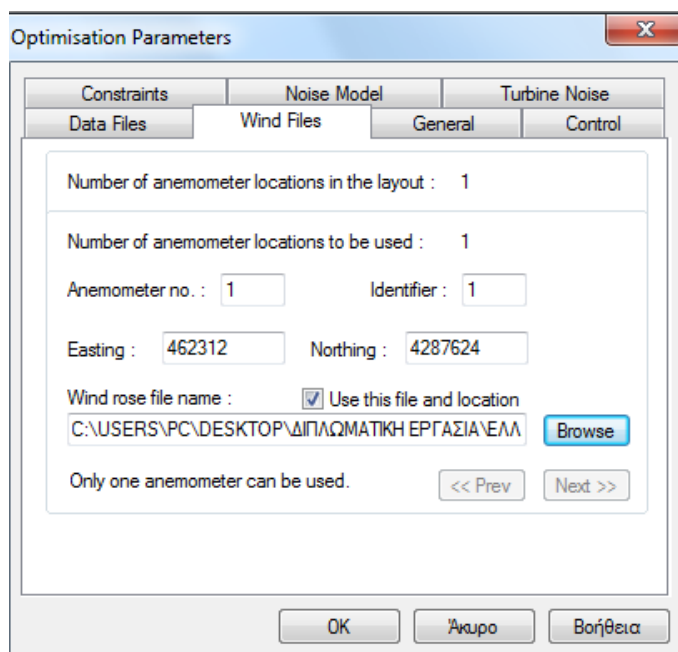
Εικόνα 95: Δίνοντας ονομασία στο νέο παράθυρο.

Εκεί που θέλουμε να γίνει η βελτιστοποίηση θα επιλέξουμε το αρχείο διάταξης ανεμογεννητριών, το αρχείο με τα δεδομένα της ανεμογεννήτριας και το αρχείο ροής του αέρα.



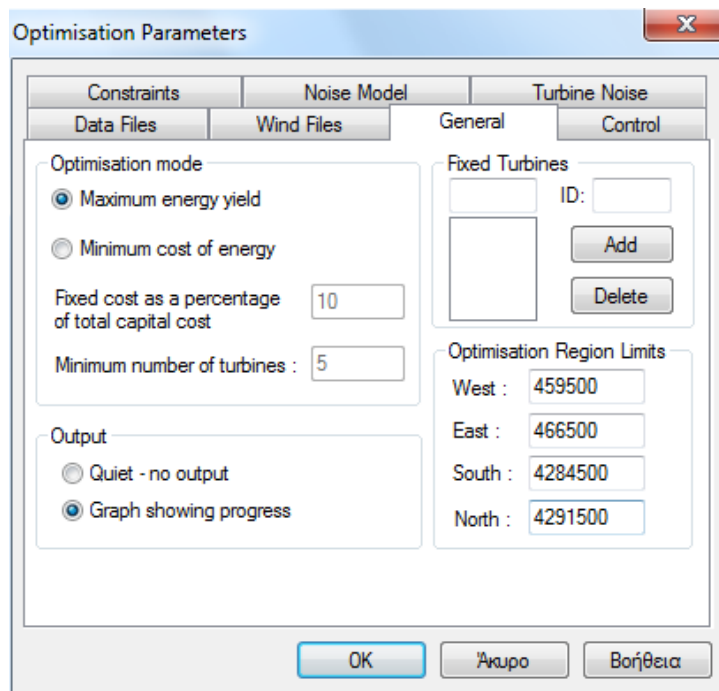
Εικόνα 96: Συμπληρώνοντας τα απαραίτητα στοιχεία.

Μετά πηγαίνουμε στο Wind files στο πεδίο Wind rose File Name θα τοποθετήσουμε τα μέρη διανομής για της ταχύτητες.



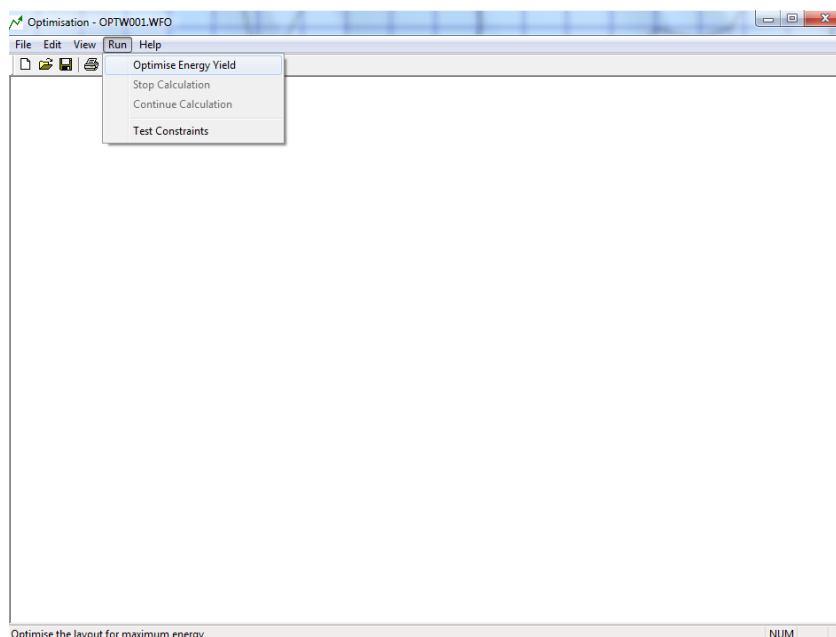
Εικόνα 97: Προσθέτοντας το αρχείο διανομής ταχυτήτων του ανέμου.

Και τέλος θα επιλέξουμε τον τρόπο βελτιστοποίησης, τα όρια περιοχής βελτιστοποίησης την μέγιστη ενεργειακή απόδοση και το ελάχιστο κόστος ενέργειας.

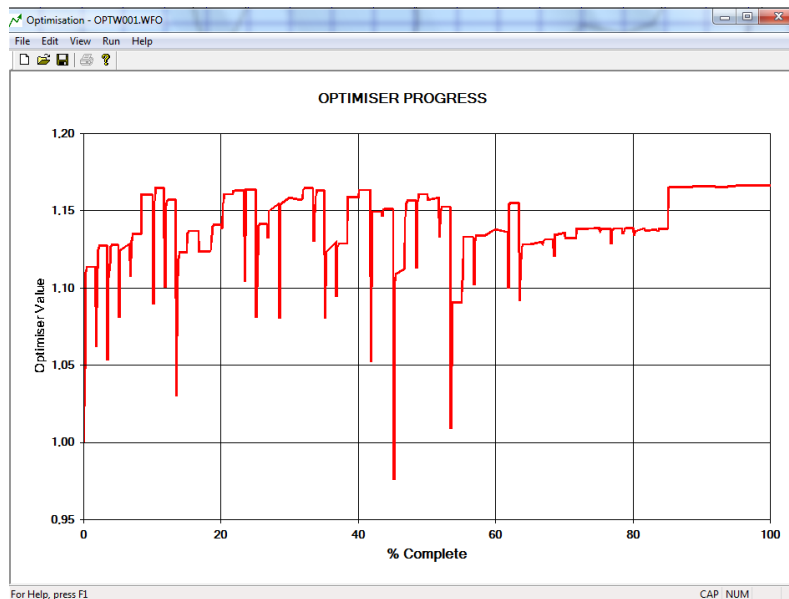


Εικόνα 98: Τρόπος βελτιστοποίησης μέγιστη ενεργειακή απόδοση.

Τέλος τρέχουμε αυτά που έχουμε επιλέξει και το windafirm αυτόματα κάνει της πράξεις που χρειάζονται. Μόλις τελειώσει το πρόγραμμα θα πρέπει να επιλέξουμε ένα μέρος αποθήκευσης της νέας θέσης του αιολικού πάρκου.

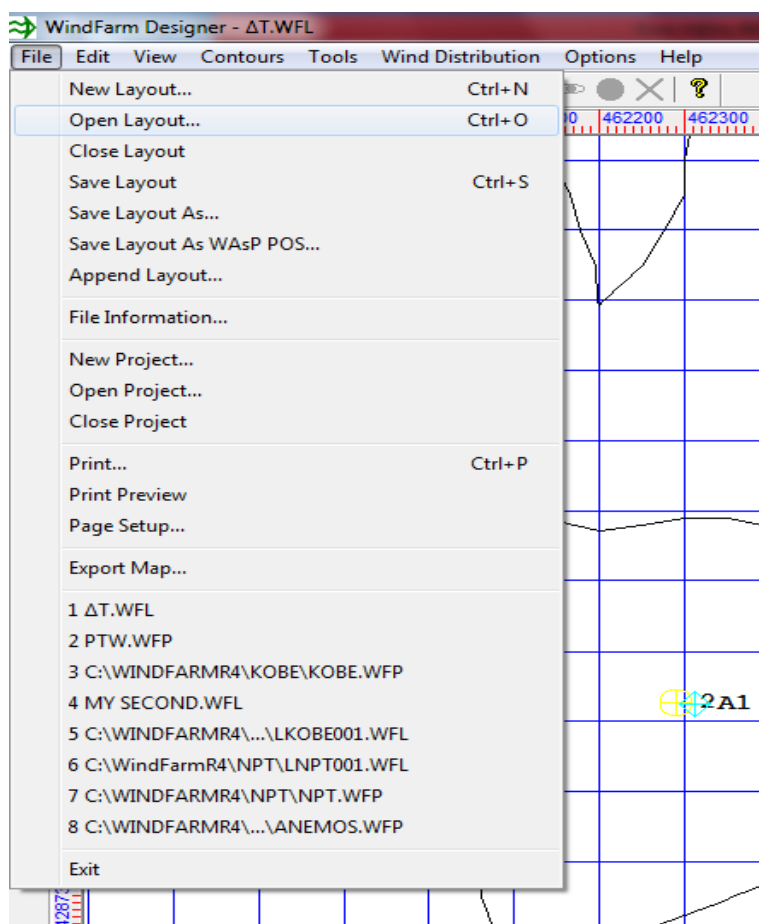


Εικόνα 99: Τρέχοντας το πρόγραμμα για τους υπολογισμούς.

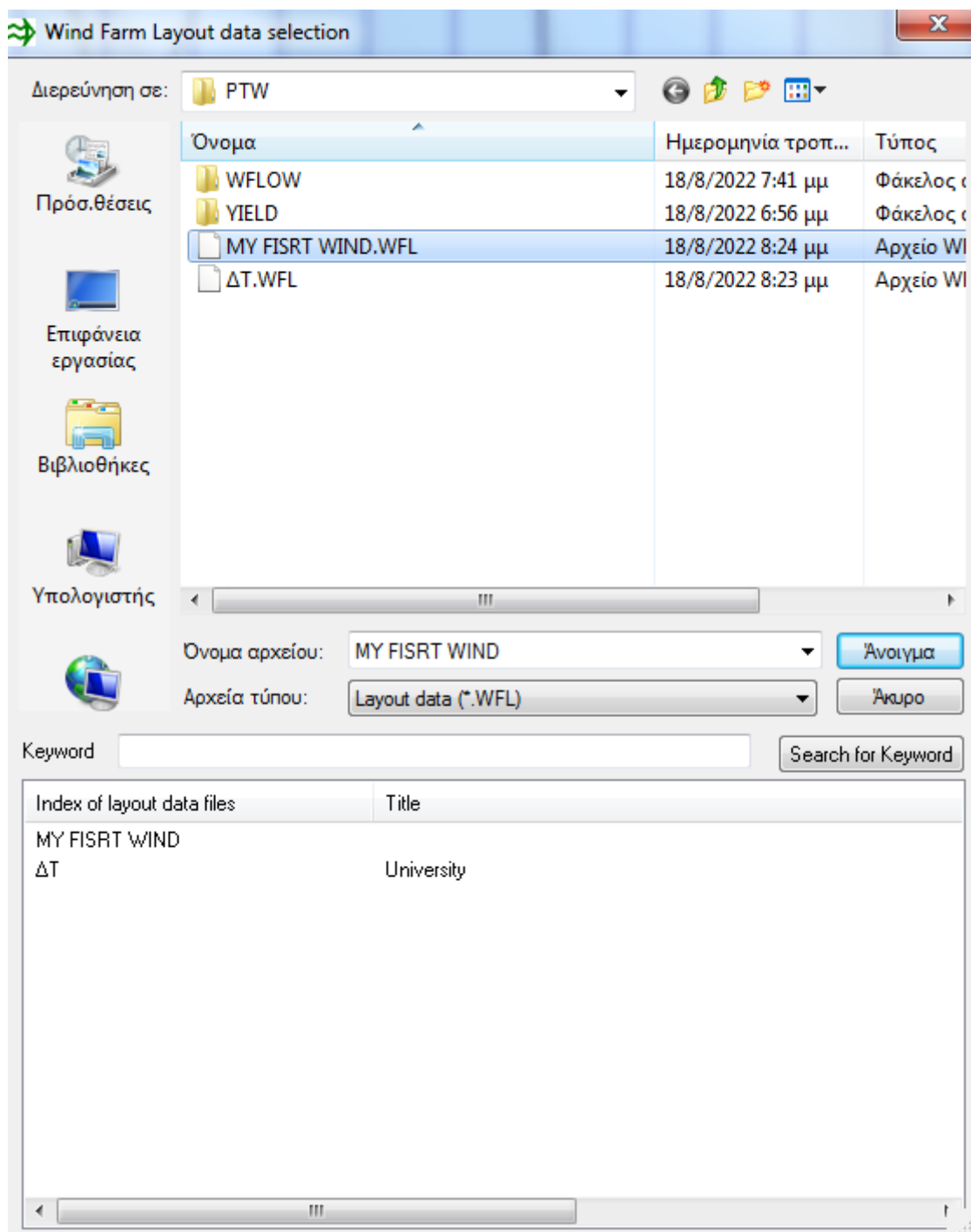


Εικόνα 100: Τα αποτελέσματα με τους αυτόματους υπολογισμούς του προγράμματος.

Επιλέγουμε File και ανοίγουμε την νέα θέση μας από το File / Open layout.



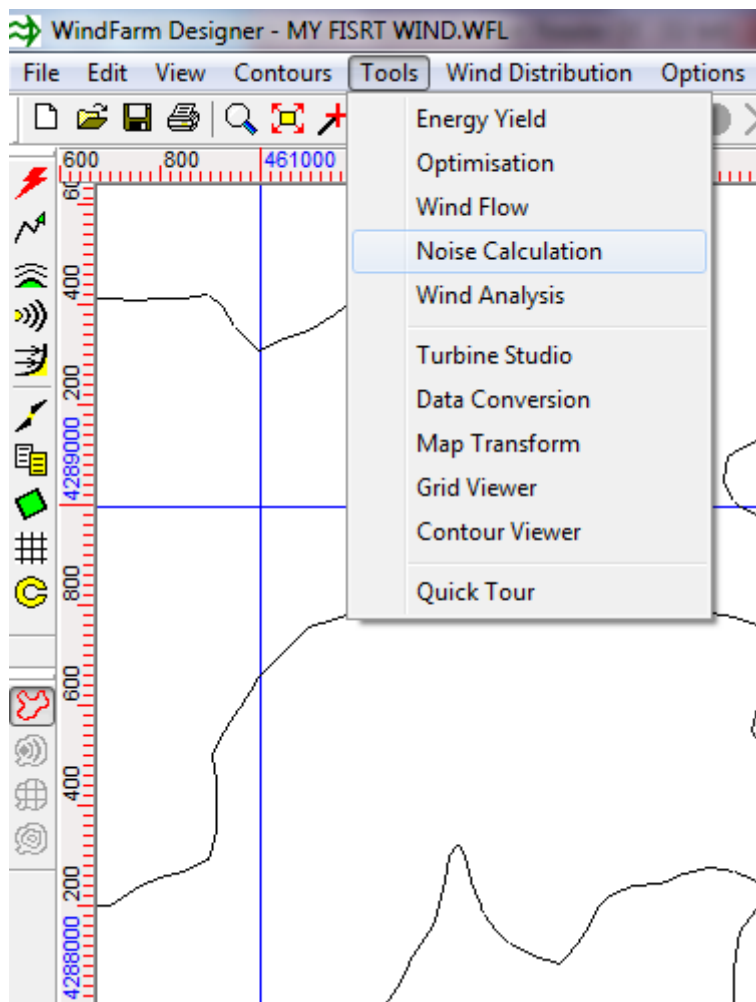
Εικόνα 101: Ανοίγοντας ένα νέο παράθυρο.



Εικόνα 102: Ανοίγοντας και επιλέγοντας την νέα διάταξη μας.

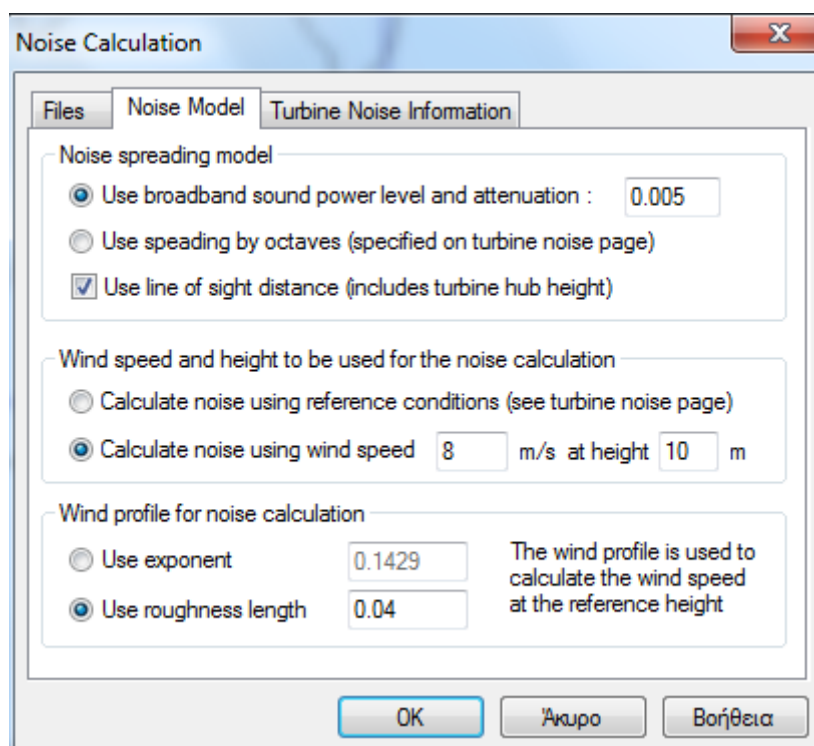
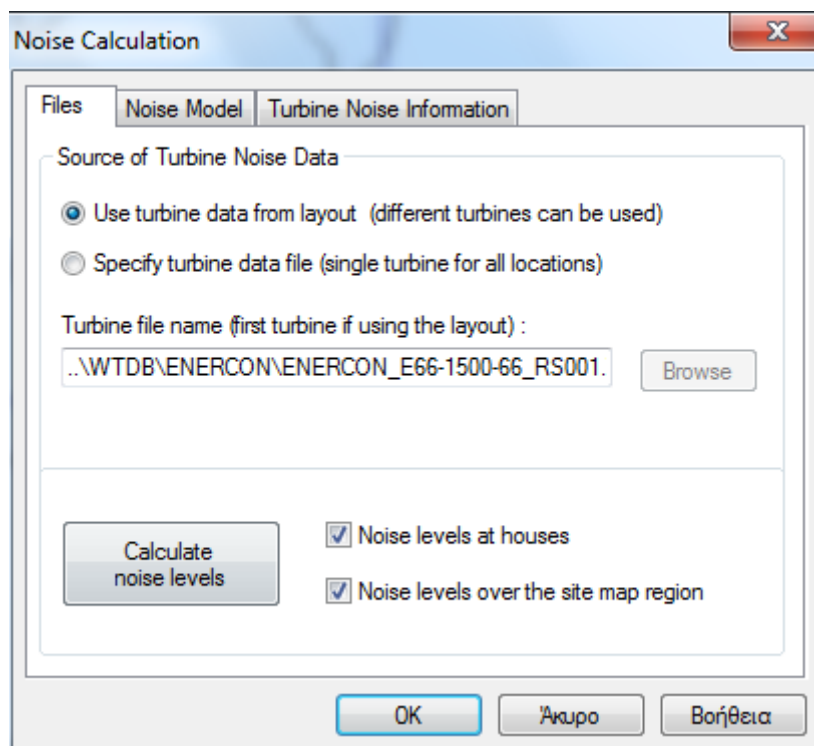
Μπορούμε να υπολογίσουμε την καινούργια παραγωγή ενέργειας ετήσιας του αιολικού πάρκου. Επιλέγοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο και επιλέγοντας με το κουμπί Calculate Yield υπολογίζει την ετήσια ενέργεια η οποία είναι 15.602 GWh. Η διαφορά μας από την αρχική διάταξη είναι περίπου 0.240 GWh ή 240 MWh.

Υπάρχει η δυνατότητα στο Wind farm να υπολογίσουμε και να υπολογίσουμε τα επίπεδα της παραγόμενης έντασης του θορύβου που παράγουν η ανεμογεννήτριες καθώς λειτουργούν. Επιλέγουμε Tools από την γραμμή εργαλείων και μετά Noise calculation και ανοίγει το παρακάτω παράθυρο.



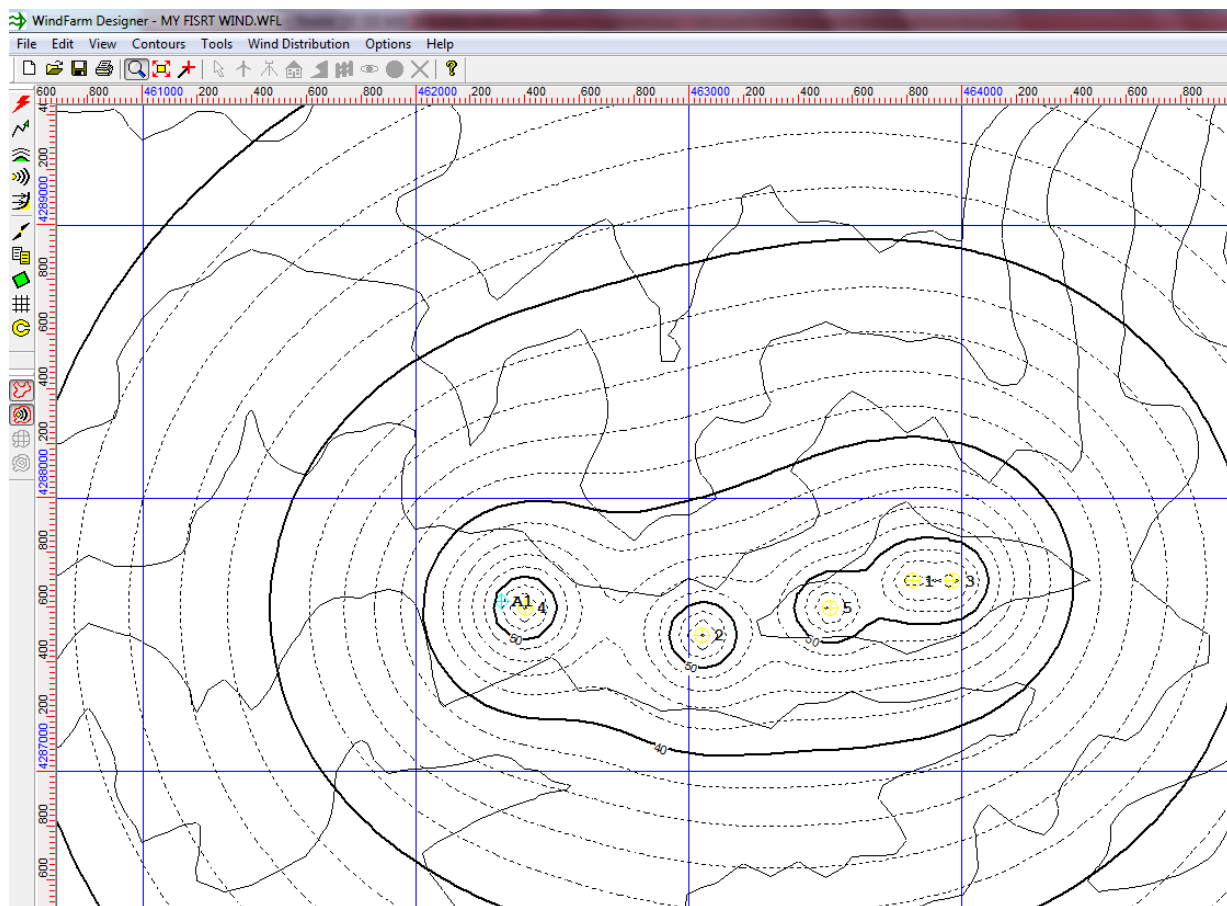
Εικόνα 103: Υπολογίζοντας τον θόρυβο των ανεμογεννητριών.

Ανοίγει η παρακάτω καρτέλα και κλικάρουμε της επιλογές μας, τέλος κάνουμε κλικ στο Calculate noise levels.



Εικόνα 104: Συμπληρώνοντας τα δεδομένα για τον υπολογισμό του θορύβου.

Παρακάτω στην εικόνα παρατηρούμε ότι φαίνονται η καμπύλες εντάσεως του παραγόμενου ήχου των ανεμογεννητριών αυτή την στιγμή είναι ενεργοποιημένες πατώντας στο κατάλληλο κουμπί μπορούμε αν της απενεργοποιήσουμε.



Εικόνα 105: Καμπύλες εντάσεως θορύβου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Η μελέτη μας

Στη μελέτης μας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για την μελέτη αιολικού πάρκου από την εταιρία (ΕΛΛΑΚΤΩΡ) στην συνέχεια αναγράφεται το υψόμετρο, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, τα ανεμολογικά δεδομένα και τα δεδομένα των ανεμογεννητριών που επιλέγηκαν για να γίνει η πραγματοποίηση της μελέτης. Βάση αυτά τα δεδομένα στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκαν αναλυτικός όλα και πάρθηκαν τα αποτελέσματα που αναφέρονται.

6.1.2 Δεδομένα μελέτης

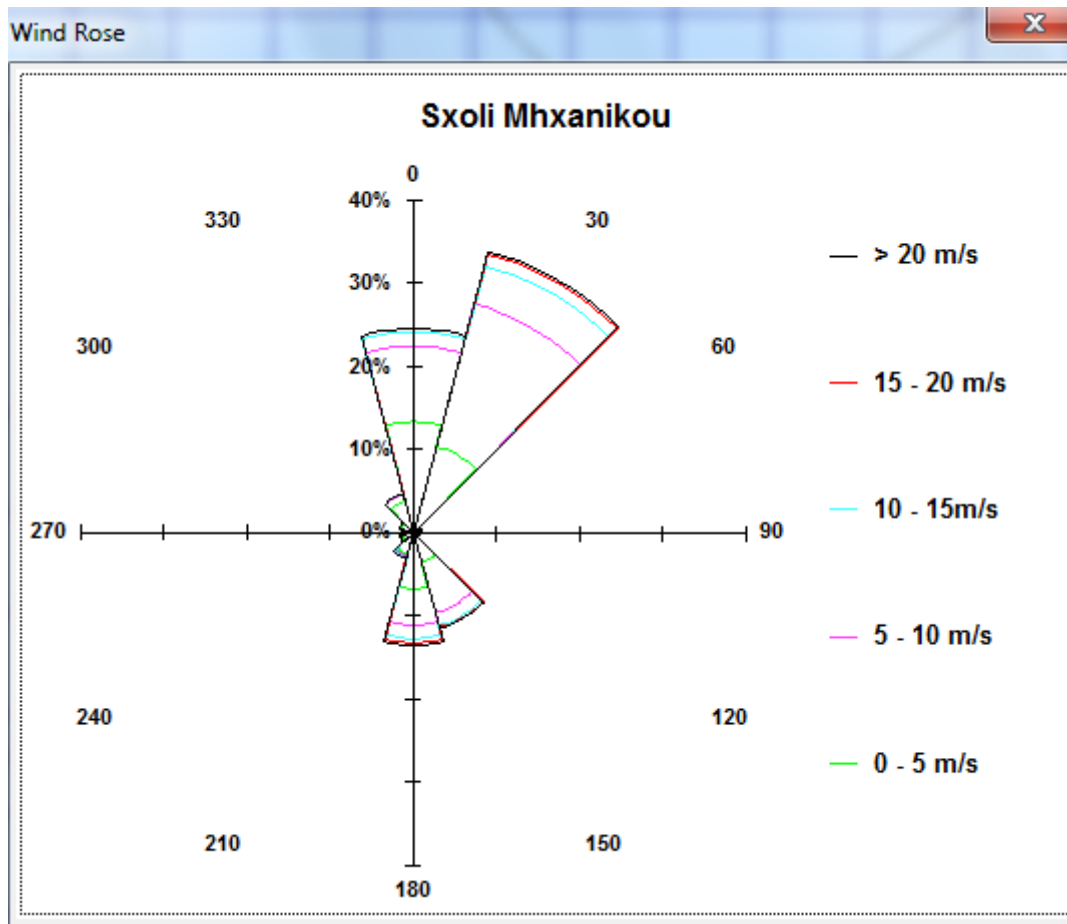
Τα ανεμολογικά δεδομένα όπου χρησιμοποιήθηκαν μας δόθηκαν από την εταιρία (ΕΛΛΑΚΤΩΡ). Να αναφέρουμε ότι το μέρος που επιλέχθηκε είναι η περιοχή Εύβοια επιλέχθηκε λιγάκι βορειότερα έτσι ώστε να υπάρχει καλύτερο γεωγραφικό ανάγλυφο. Ο ιστός τοποθέτησης βρισκόταν στα 415 μέτρα, το ύψος του στα 40 μέτρα.

Στο πρόγραμμα Windfarm έγινε μία ανάλυση και πάρθηκαν τα παρακάτω αποτελέσματα με τους πίνακες που φαίνονται αναφέρουν το μέρος των διευθύνσεων, τους συντελεστές K και C για κάθε διεύθυνση του ανέμου, τις μέσες ταχύτητες. Επίσης παρακάτω φαίνεται και το αντίστοιχο ροδόγραμμα τον συνολικών ωρών.

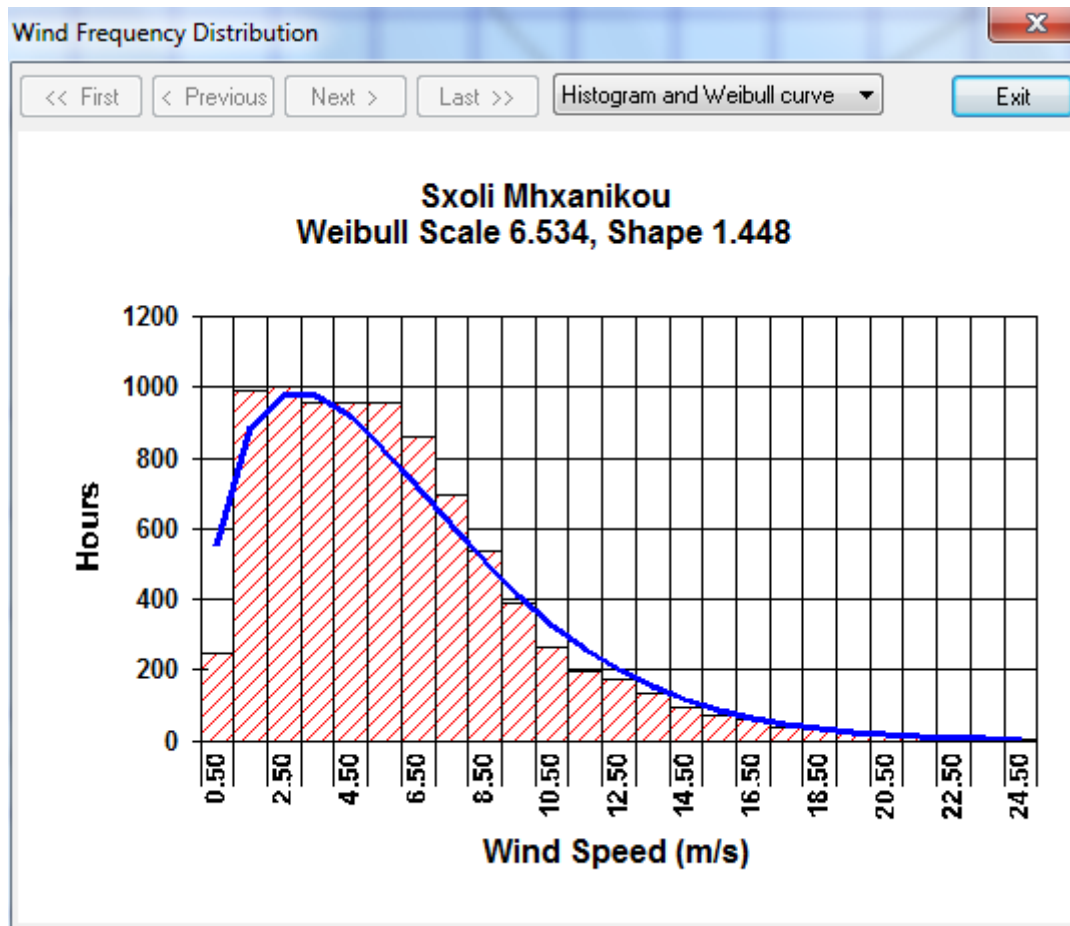
Height reference (m)	40
Sector of numbers	12
Wind speed mean (m/s)	5.926

Number sector	1	2	3	4	5	6	7	8
Frequency (%)	24.46	34.91	0.93	0.54	0.70	11.90	13.62	3.29
Mean wind speed (m/s)	5.331	7.205	1.925	1.341	1.694	6.719	6.280	3.877
Weibull scale	5.930	8.111	1.925	1.341	1.694	7.573	6.697	3.877
Weibull shape	1.558	1.850	1.000	1.000	1.000	1.916	1.214	1.000

Sector number	9	10	11	12
Frequency (%)	1.66	1.50	1.70	4.80
Mean wind speed (m/s)	3.147	2.434	2.445	3.267
Weibull scale	3.481	2.715	2.701	3.534
Weibull shape	1.482	1.605	1.469	1.293



Εικόνα 106: Απεικόνιση του Windrose.



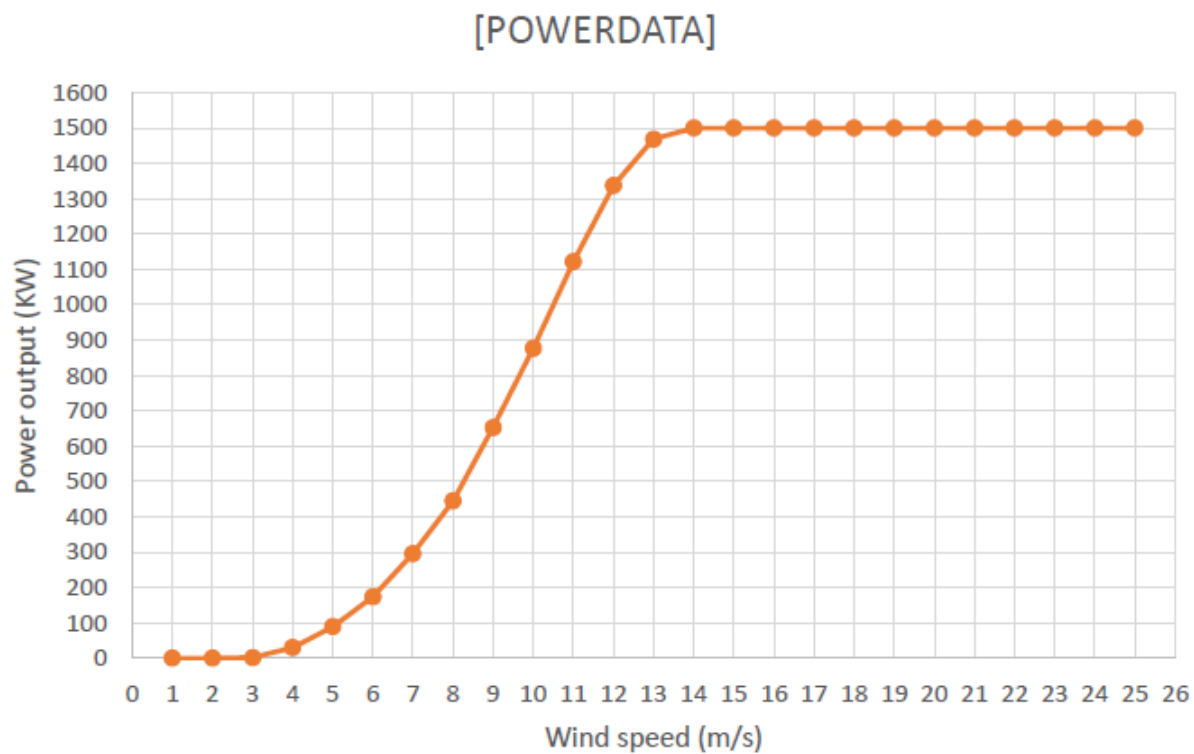
Εικόνα 107: Το σκαρίφημα του Weibull scale.

Τα δεδομένα των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιήθηκαν ακολουθούν προς τα κάτω:



Εικόνα 108: Enercon E66 1500kW.

TURBINEDATA
Manufacturer = Enercon
Model = E66 – 1500 – 66
No of Blades = 3
Swept Area (m ²) = 3421.194
Hub Height (m) = 67.000
Diameter (m) = 66.000
RPM = 20.300
Cut in wind speed (m/s) = 2.00
Cut out wind speed (m/s) = 25.00
Norminal Rated power (kW) = 1500.00
Norminal Rated speed (m/s) = 14.00

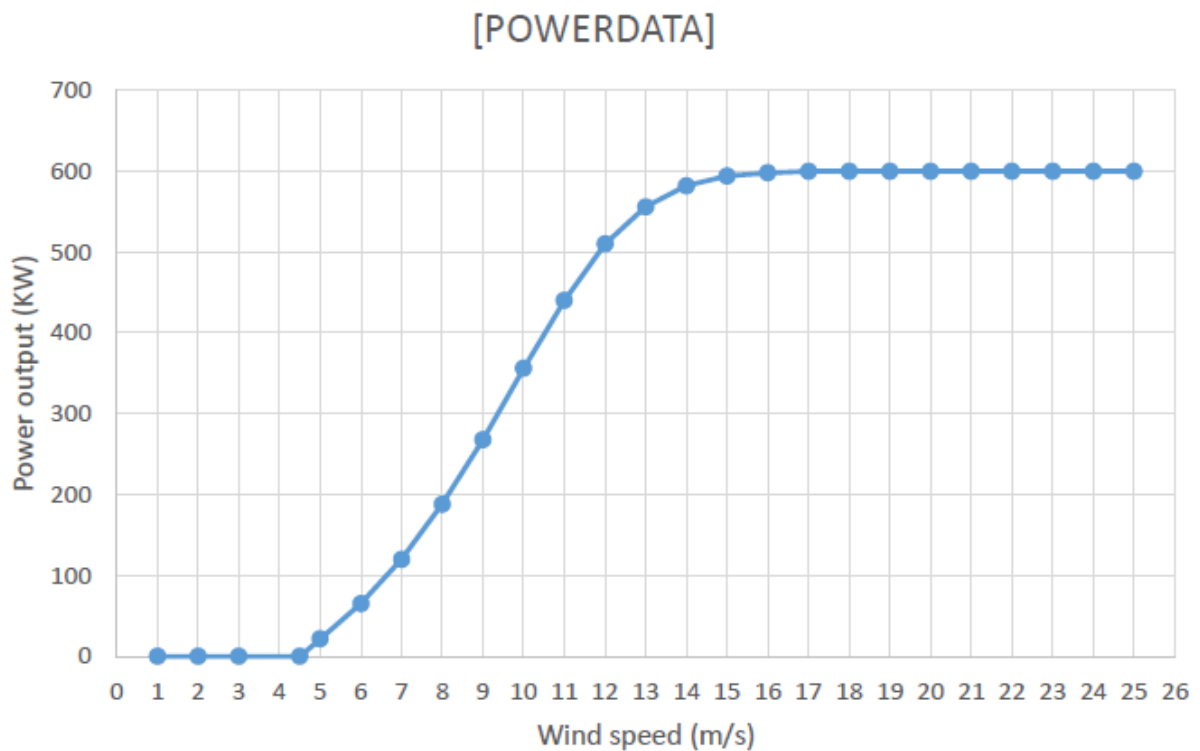


Εικόνα 109: Γραφική παράσταση Powerdata.



Εικόνα 110: Vestas V42 – 600kW.

TURBINEDATA	
Manufacturer =	Vestas
Model =	V42 - 600
No of Blades =	3
Swept Area (m ²) =	1385.442
Hub Height (m) =	40.000
Diameter (m) =	42.000
RPM =	30.000
Cut in wind speed (m/s) =	4.50
Cut out wind speed (m/s) =	25.00
Norminal Rated power (kW) =	600.00
Norminal Rated speed (m/s) =	15.00



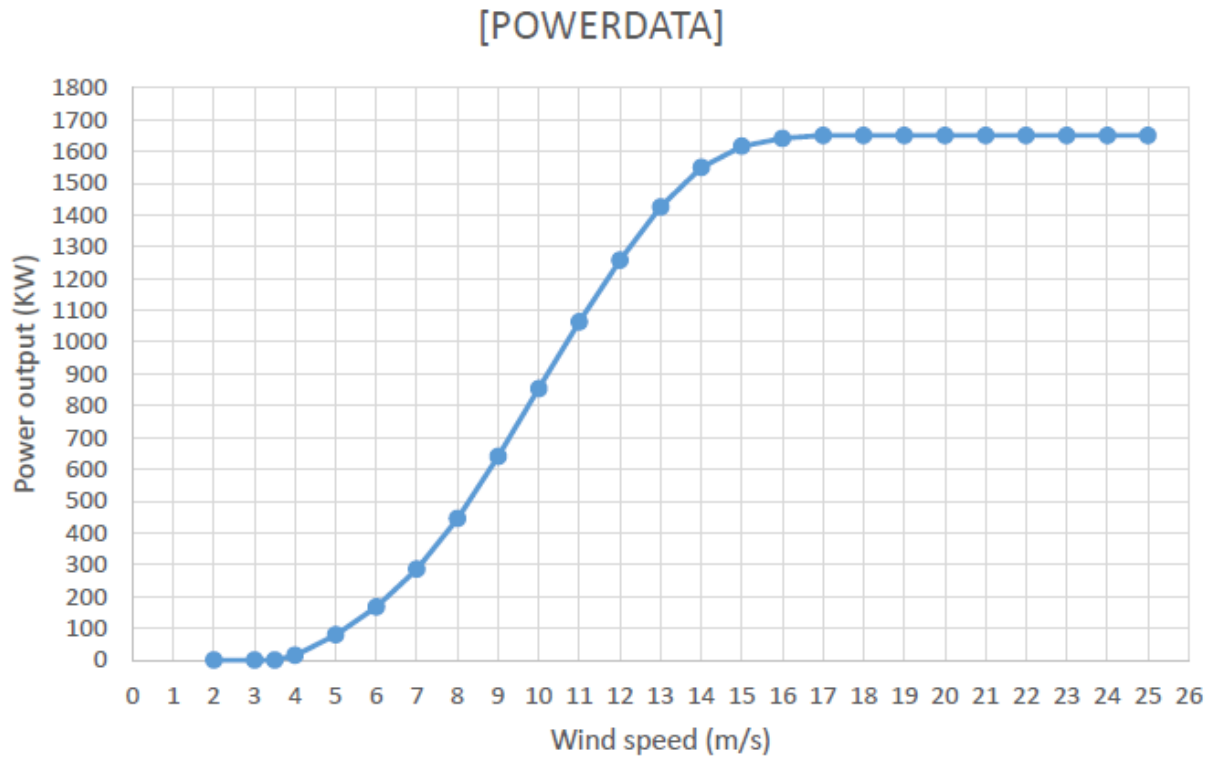
Εικόνα 111: Γραφική παράσταση Powerdata.



Εικόνα 112: Vestas V66 – 1650 kW.

TURBINEDATA
Manufacturer = Vestas
Model = V42 - 600
No of Blades = 3
Swept Area (m ²) = 1385.442
Hub Height (m) = 40.000
Diameter (m) = 42.000
RPM = 30.000
Cut in wind speed (m/s) = 4.50
Cut out wind speed (m/s) = 25.00
Norminal Rated power (kW) = 600.00

Norminal Rated speed (m/s) = 15.00



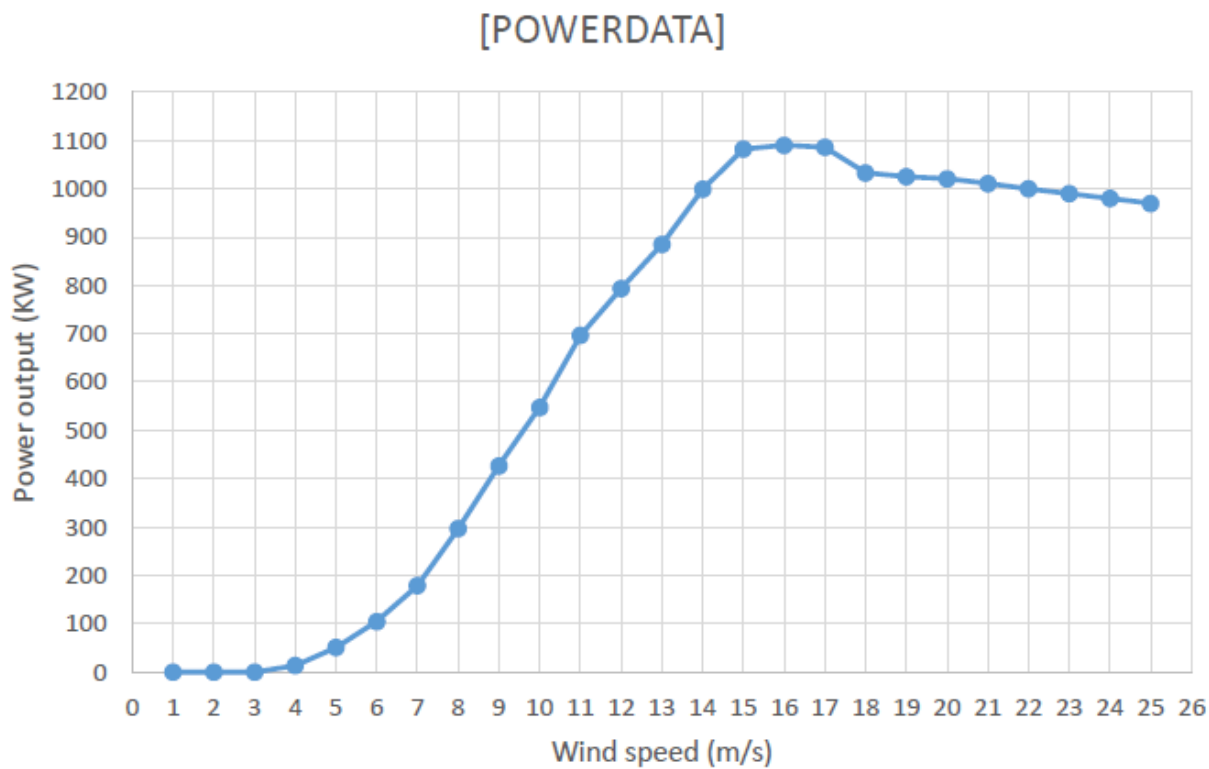
Εικόνα 113: Γραφική παράσταση Powerdata.



Εικόνα 114: Nordex N54 – 1000kW.

TURBINEDATA
Manufacturer = Nordex
Model = N54 - 1000
No of Blades = 3
Swept Area (m ²) = 2290.221
Hub Height (m) = 50.000
Diameter (m) = 54.000
RPM = 22.000
Cut in wind speed (m/s) = 3.00
Cut out wind speed (m/s) = 25.00
Norminal Rated power (kW) = 1000.00

Norminal Rated speed (m/s) = 14.00



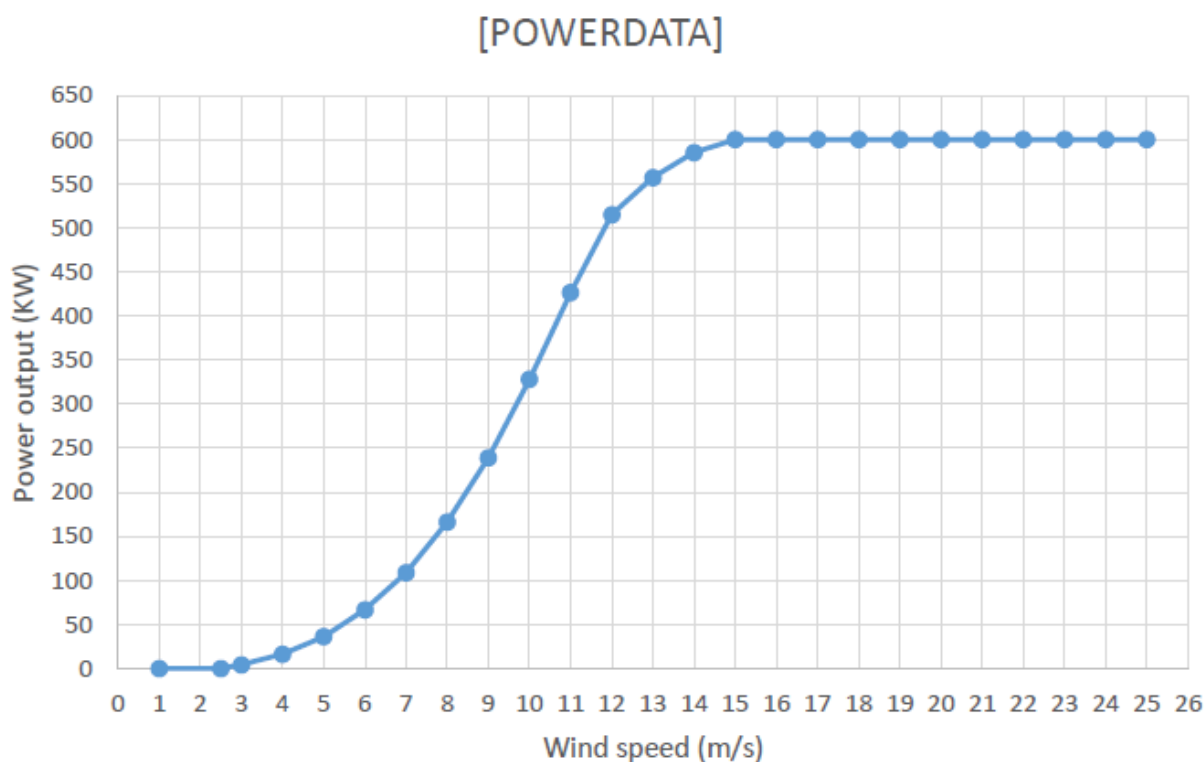
Εικόνα 115: Γραφική παράσταση Powerdata.



Εικόνα 116: Enercon E40 – 600- 40kW.

TURBINEDATA
Manufacturer = Enercon
Model = E40-600-40
No of Blades = 3
Swept Area (m ²) = 1275.557
Hub Height (m) = 50.000

Diameter (m) = 40.300
RPM = 34.000
Cut in wind speed (m/s) = 2.50
Cut out wind speed (m/s) = 25.00
Norminal Rated power (kW) = 600.00
Norminal Rated speed (m/s) = 13.00



Εικόνα 117: Γραφική παράσταση Power data.

6.2.2 Υπολογισμοί μελέτης

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ακολουθώντας τα μέρη για να βρεθεί η καλύτερη θέση τοποθέτησης των ανεμογεννητριών ώστε να υπάρχει η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική παραγωγή ενέργειας ακολουθούν τα αποτελέσματα. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος αριθμός ανεμογεννητριών τοποθετημένες στην ίδια ακριβώς θέση.

6.3.2 Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

Στη παρακάτω εικόνα είναι το συνολικό γράφημα για την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τα μοντέλα των ανεμογεννητριών.

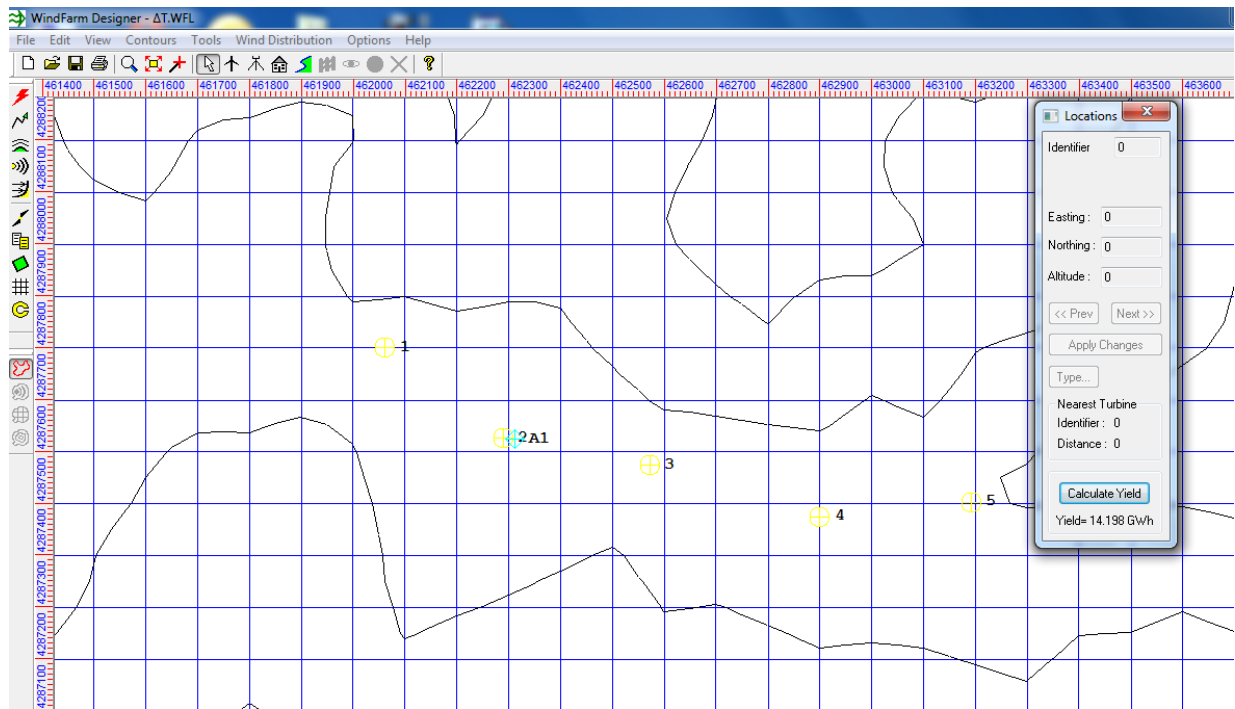


Εικόνα 118: Υπολογισμός ετήσια ηλεκτρικής ενέργειας.

Μάρκα ανεμογεννήτριας: ENERCON – E66 – 1500kW.

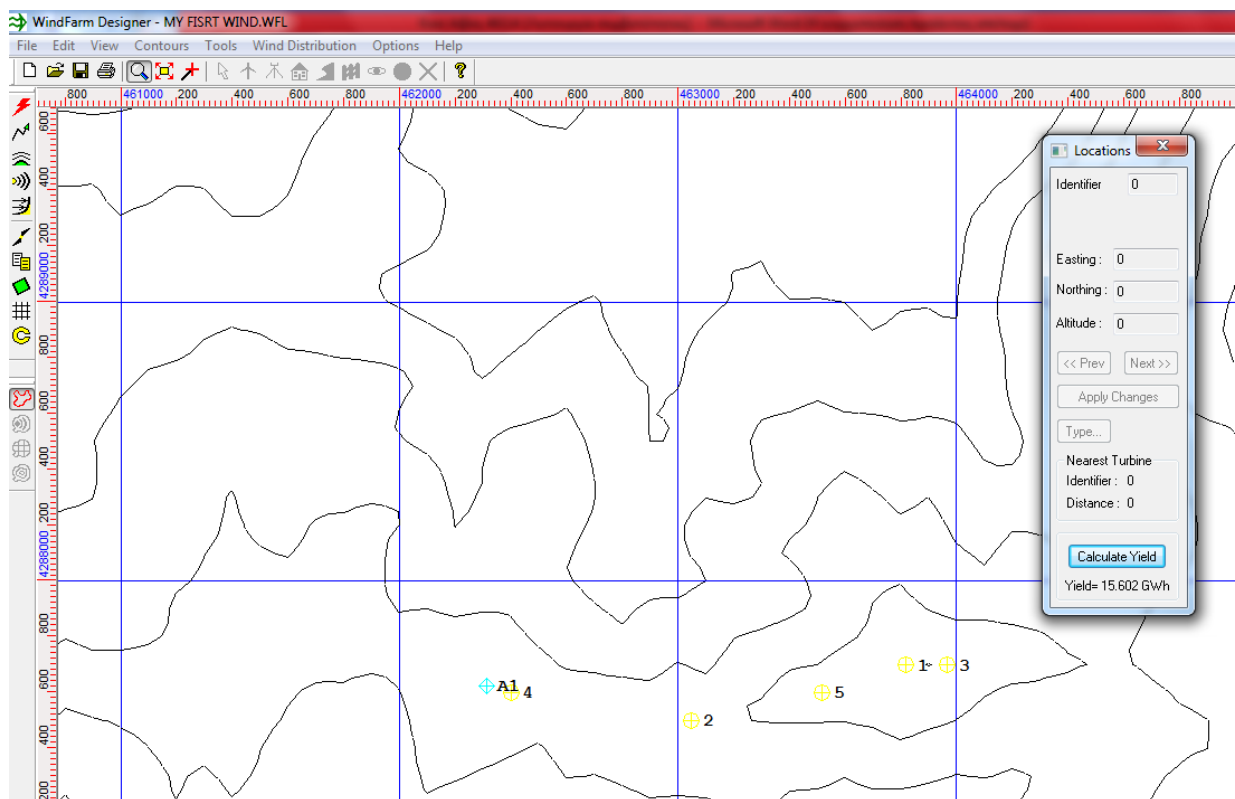
Σύνολο ανεμογεννητριών: 5

Ηλεκτρική ενέργεια πριν την παραγωγή: 14.198 GWh (πριν την βελτιστοποίηση)



Εικόνα 119.

Ηλεκτρική ενέργεια μετά την παραγωγή: 15.602 GWh (μετά την βελτιστοποίηση)

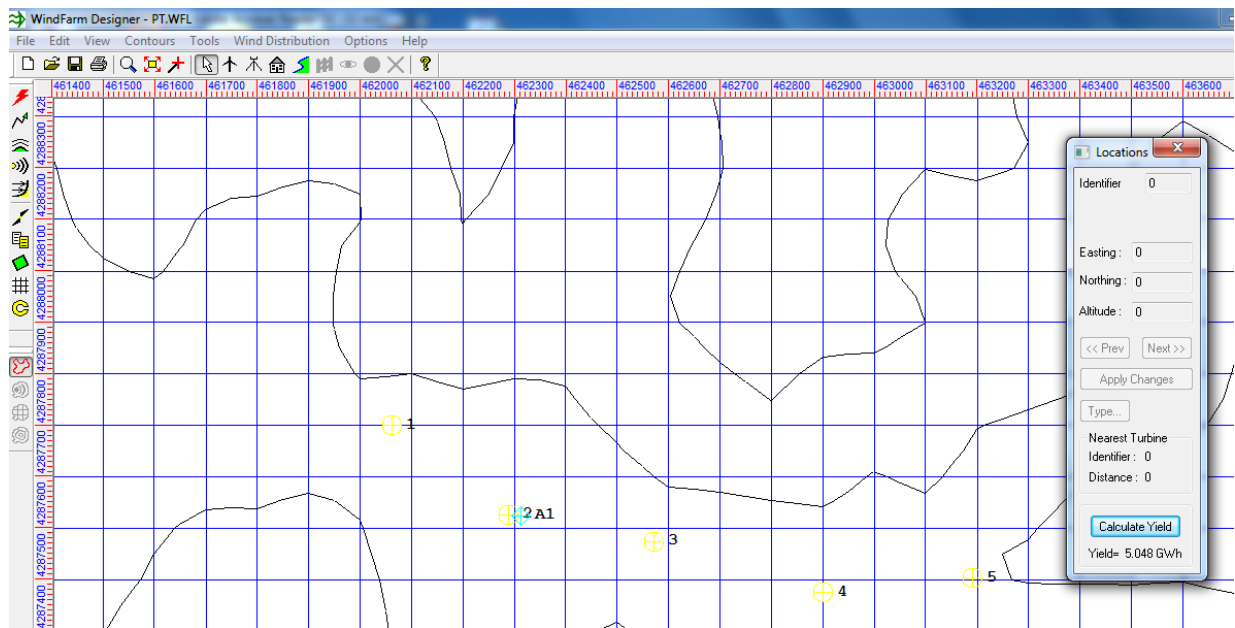


Εικόνα 120.

Μάρκα ανεμογεννήτριας: VESTAS V42 – 600kW.

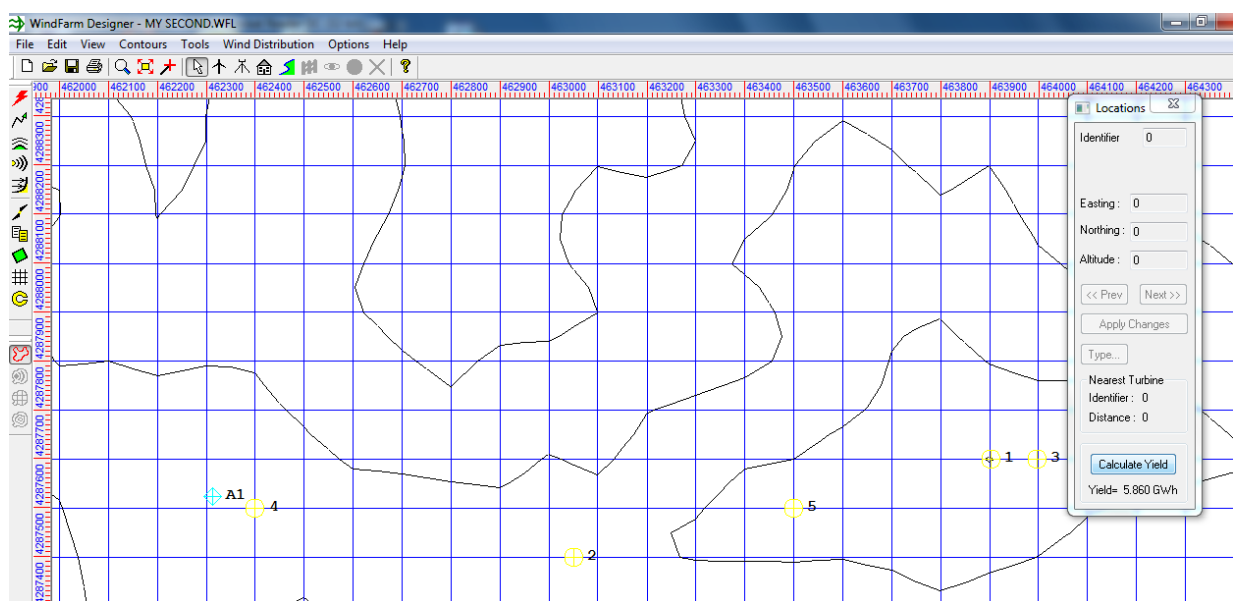
Σύνολο ανεμογεννητριών: 5

Ηλεκτρική ενέργεια πριν την παραγωγή: 5.048 GWh (Πριν την βελτιστοποίηση)



Εικόνα 121.

Ηλεκτρική ενέργεια μετά την παραγωγή: 5.860 GWh (μετά την βελτιστοποίηση)

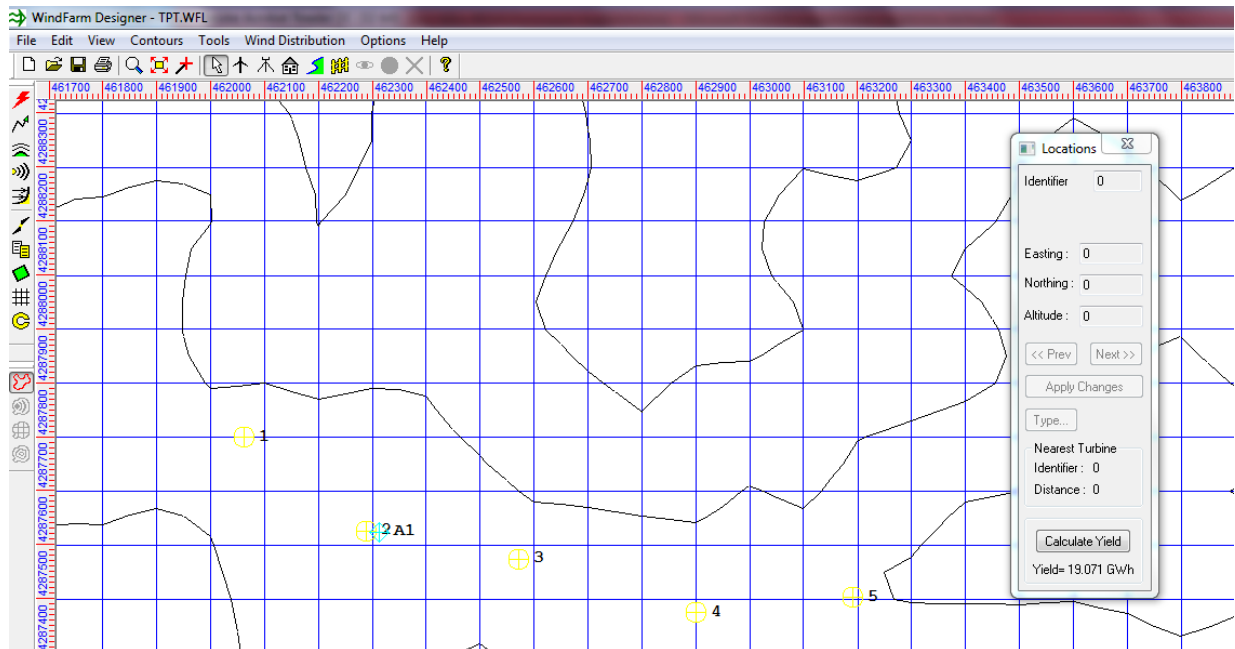


Εικόνα 122.

Μάρκα ανεμογεννήτριας: VESTAS V66 – 1650kW.

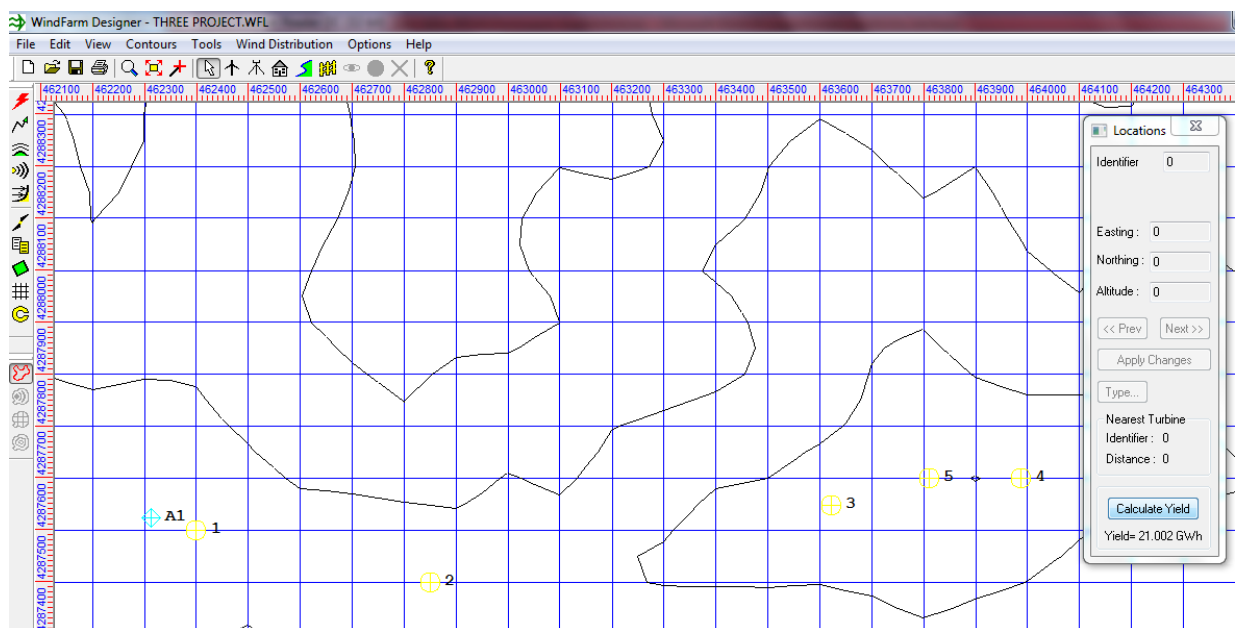
Σύνολο ανεμογεννητριών: 5

Ηλεκτρική ενέργεια πριν την παραγωγή: 19.071 GWh (Πριν την βελτιστοποίηση)



Εικόνα 123.

Ηλεκτρική ενέργεια μετά την παραγωγή: 21.002 GWh (μετά την βελτιστοποίηση)

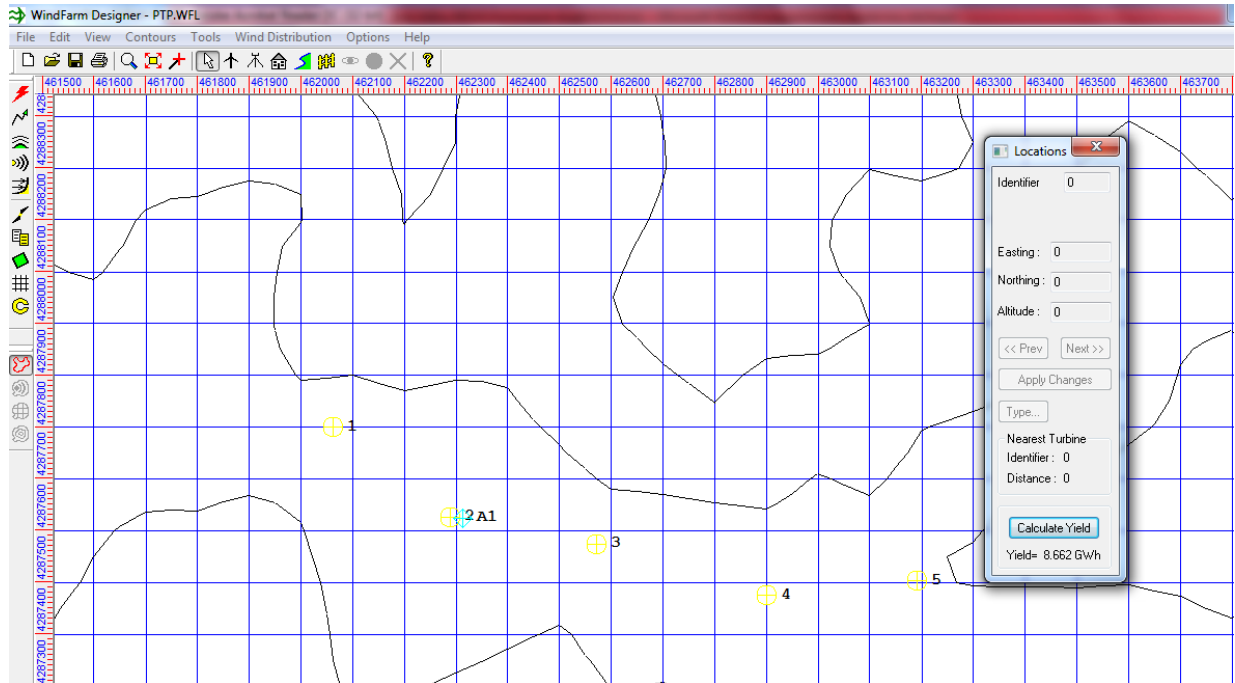


Εικόνα 124.

Μάρκα ανεμογεννήτριας: Nordex N54 -1000kW.

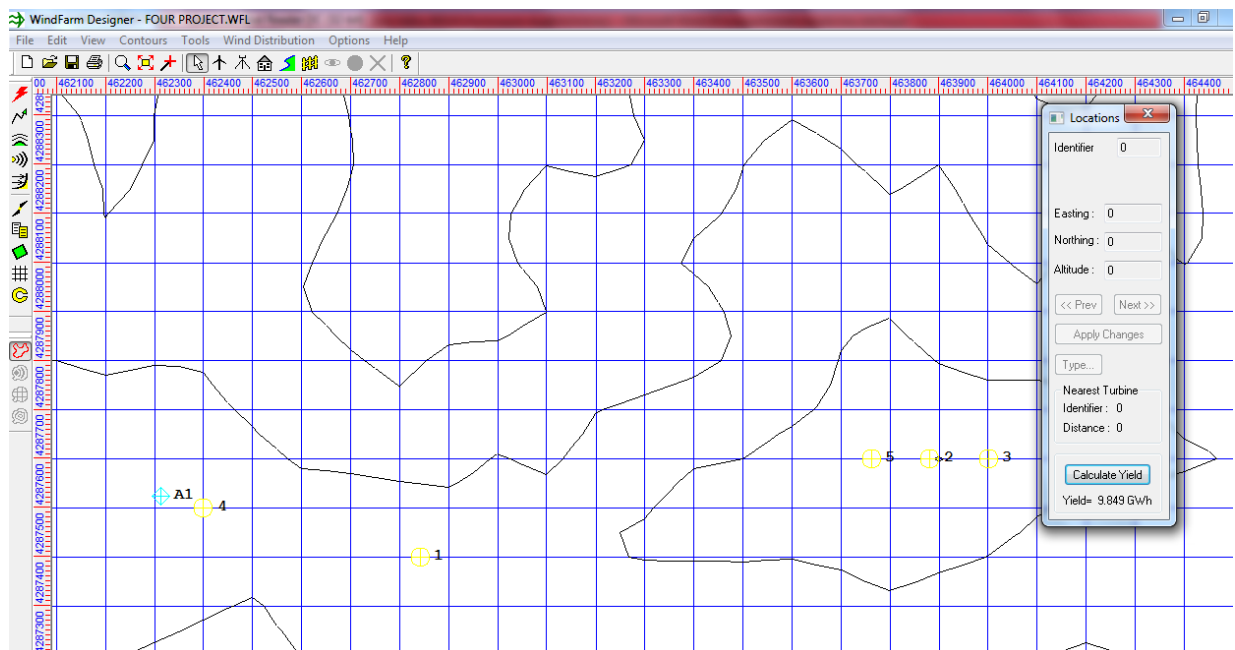
Σύνολο ανεμογεννητριών: 5

Ηλεκτρική ενέργεια πριν την παραγωγή: 8.662 GWh (Πριν την βελτιστοποίηση)



Εικόνα 125.

Ηλεκτρική ενέργεια μετά την παραγωγή: 9.849 GWh (μετά την βελτιστοποίηση)

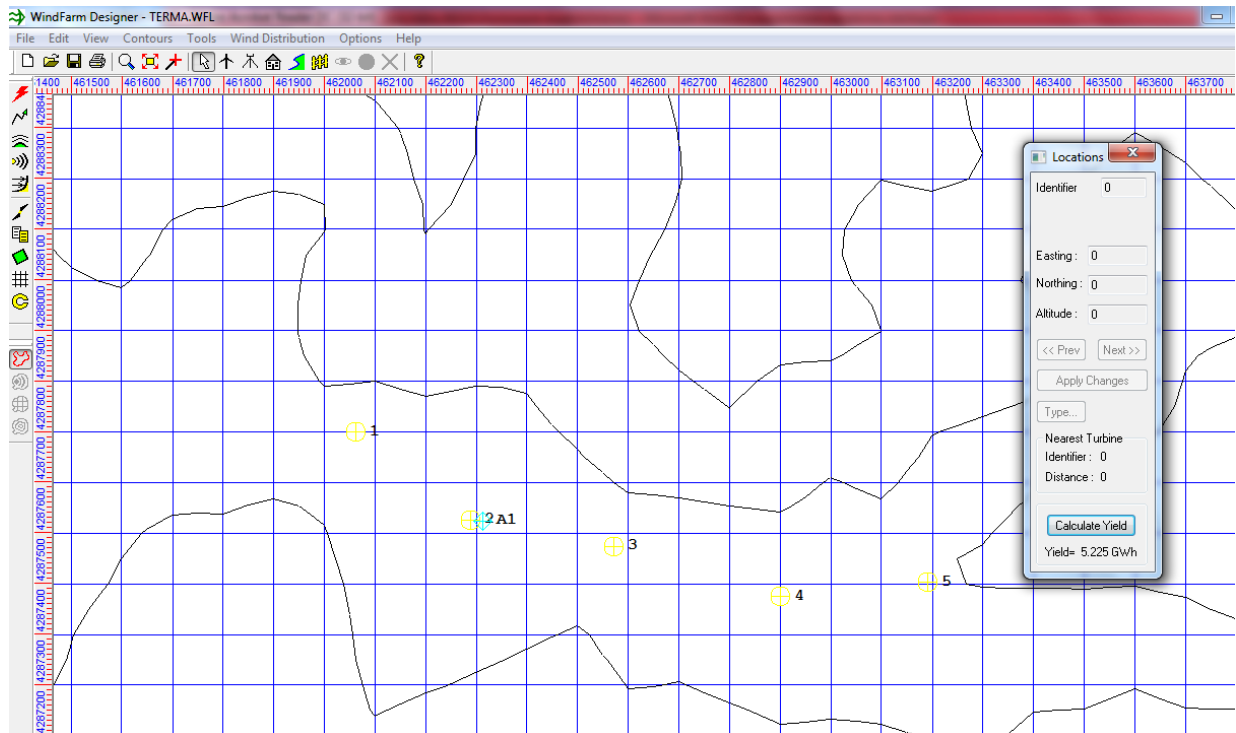


Εικόνα 126.

Μάρκα ανεμογεννήτριας: ENERCON E40 – 600 -40kW.

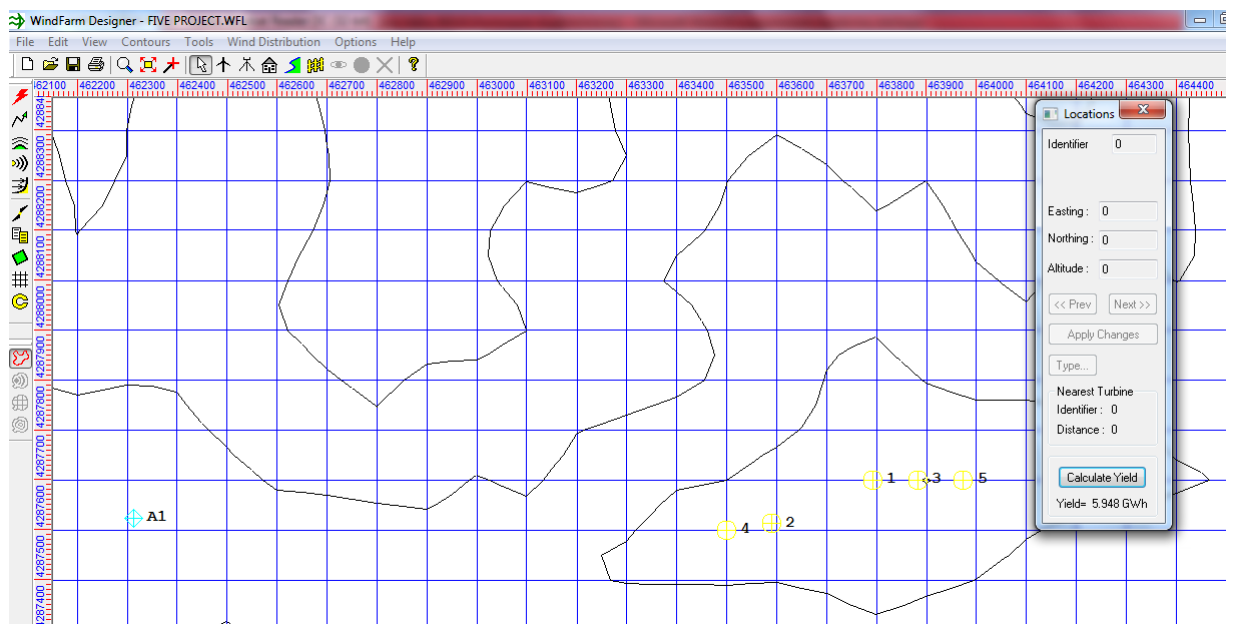
Σύνολο ανεμογεννητριών: 5

Ηλεκτρική ενέργεια πριν την παραγωγή: 5.225GWh (Πριν την βελτιστοποίηση)



Εικόνα 127.

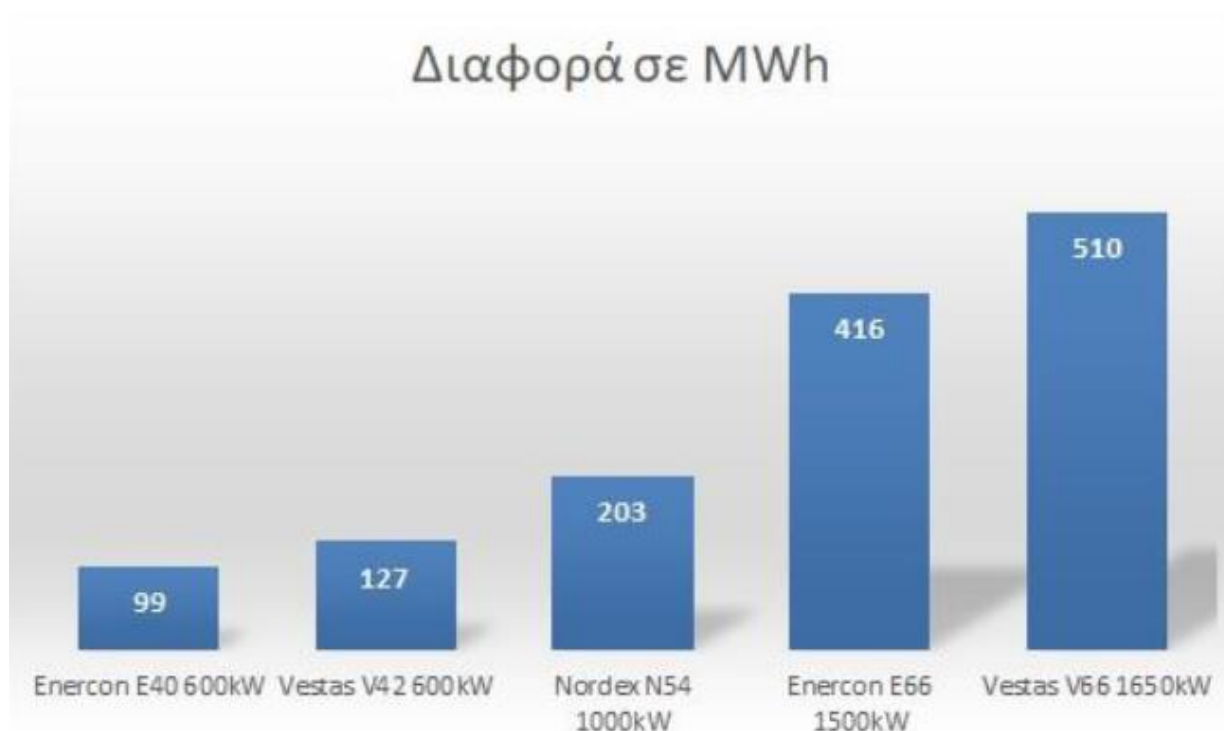
Ηλεκτρική ενέργεια μετά την παραγωγή: 5.948 GWh (μετά την βελτιστοποίηση)



Εικόνα 128.

Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι η βέλτιστη διάταξη παραμένει ίδια, με τον αριθμό των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιήθηκε, για την τοποθέτηση στα σημεία τους, ενώ και τα όρια της επιφάνειας χωροθέτησης ήταν παρόμοια με όλες της σχέσης. Το διαφορετικό ύψος των ανεμογεννητριών δημιουργεί το ανομοιόμορφο ανάγλυφο του εδάφους, της ροής του αέρα, το διαφορετικό ύψος των ανεμογεννητριών και της διαφορετικής ονομαστικής ταχύτητας των ανεμογεννητριών.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διαφορά σε MWh από την καλύτερη θέση στις παραπάνω θέσεις των ανεμογεννητριών. Όπως φαίνεται είναι μεγαλύτερο το κέρδος σε MWh από το πρόγραμμα.



Εικόνα 129. Διαφορά σε MWh ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας.

Υπολογισμός του capacity factor:

1) Ανεμογεννήτρια: Enercon – E66 -1.500kW

Πριν την βελτιστοποίηση: $14.198.000 / (5 \cdot 1.500 \cdot 365 \cdot 24) = 21,6\%$

Μετά την βελτιστοποίηση: $15.602.000 / (5 \cdot 1.500 \cdot 365 \cdot 24) = 23,7\%$

2) Ανεμογεννήτρια: Vestas V42 – 600kW

Πριν την βελτιστοποίηση: $50.480.00 / (5 \cdot 600 \cdot 365 \cdot 24) = 19.2\%$

Μετά την βελτιστοποίηση: $58.600.00 / (5 \cdot 600 \cdot 365 \cdot 24) = 22.2\%$

3) Ανεμογεννήτρια: Vestas V66 – 1.650kW

Πριν την βελτιστοποίηση: $190.710.00 / (5 \cdot 1.650 \cdot 365 \cdot 24) = 26.3\%$

Μετά την βελτιστοποίηση: $210.020.00 / (5 \cdot 1.650 \cdot 365 \cdot 24) = 29.0\%$

4) Ανεμογεννήτρια: Nordex N54 – 1.000kW

Πριν την βελτιστοποίηση: $86.620.00 / (5 \cdot 1.000 \cdot 365 \cdot 24) = 19.7\%$

Μετά την βελτιστοποίηση: $98.490.00 / (5 \cdot 1.000 \cdot 365 \cdot 24) = 22.4\%$

5) Ανεμογεννήτρια: Enercon E40 – 600kW

Πριν την βελτιστοποίηση: $52.250.00 / (5 \cdot 600 \cdot 365 \cdot 24) = 19.8\%$

Μετά την βελτιστοποίηση: $59.480.00 / (5 \cdot 600 \cdot 365 \cdot 24) = 22.6\%$

Όπου:

Ο αριθμητής είναι: το τι παρήχθη

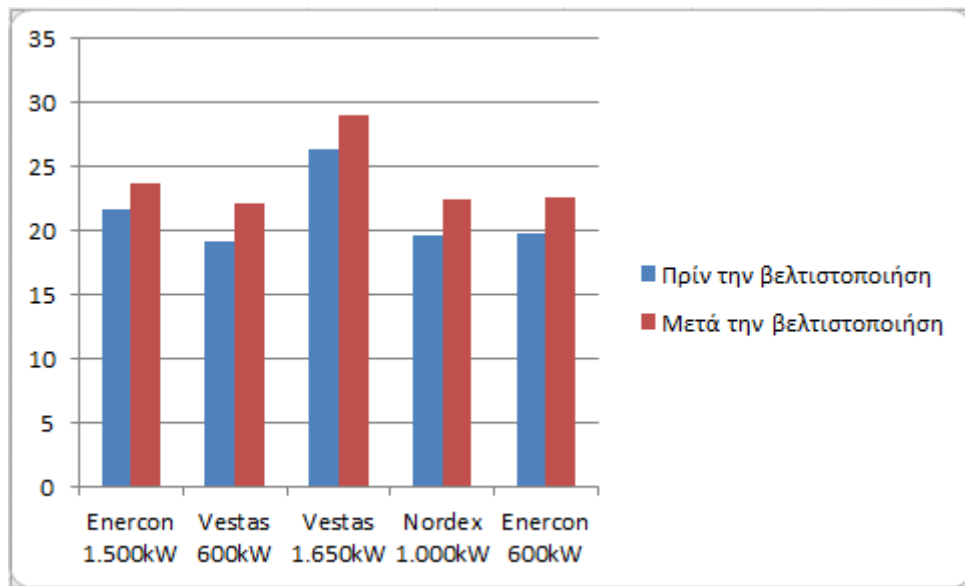
Ο παρανομαστής είναι: 1) οι συνολικές ανεμογεννήτριες δηλαδή το (5)

2) ο δεύτερος αριθμός δηλώνει τα kW της ανεμογεννήτριας

3) ο τρίτος αριθμός δηλώνει της μέρες της χρονιάς δηλαδή (365)

4) και ο τέταρτος αριθμός δηλώνει της ώρες δηλαδή (24)

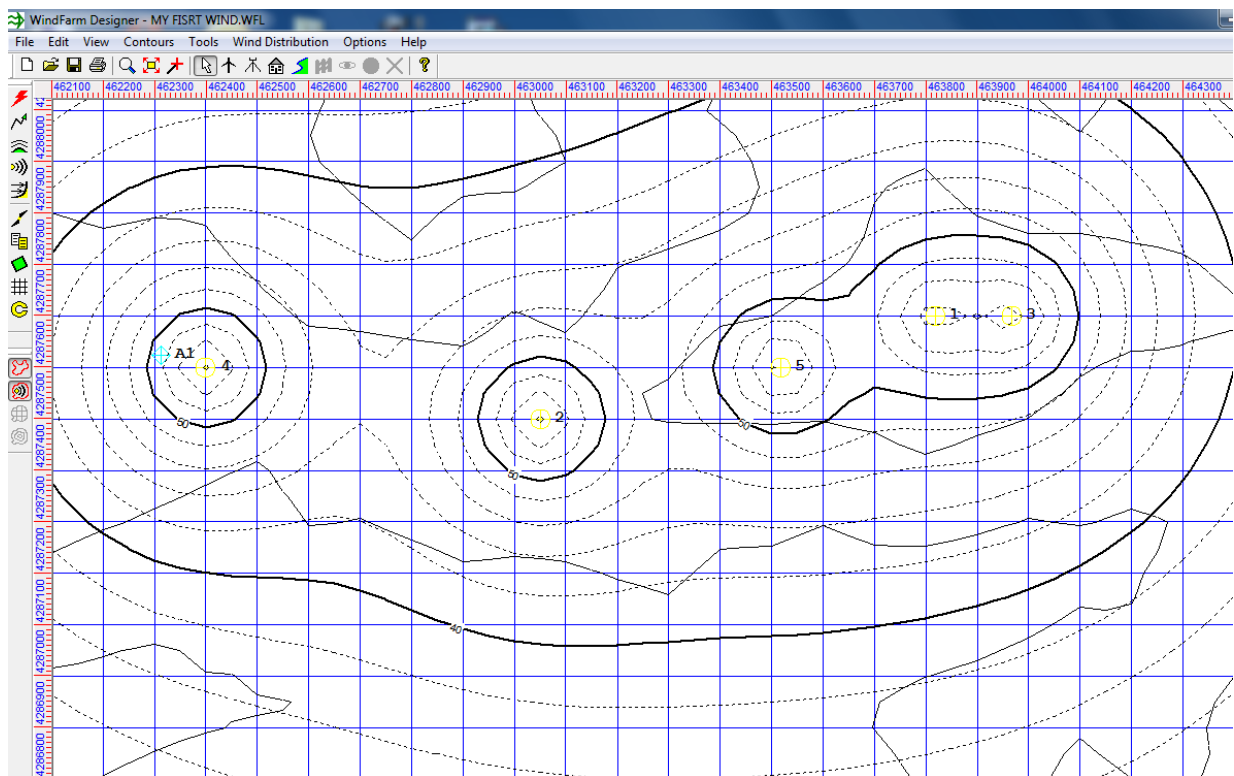
Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν τα παραπάνω αποτελέσματα του capacity factor. Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 130. Διάγραμμα αποτελεσμάτων του capacity factor.

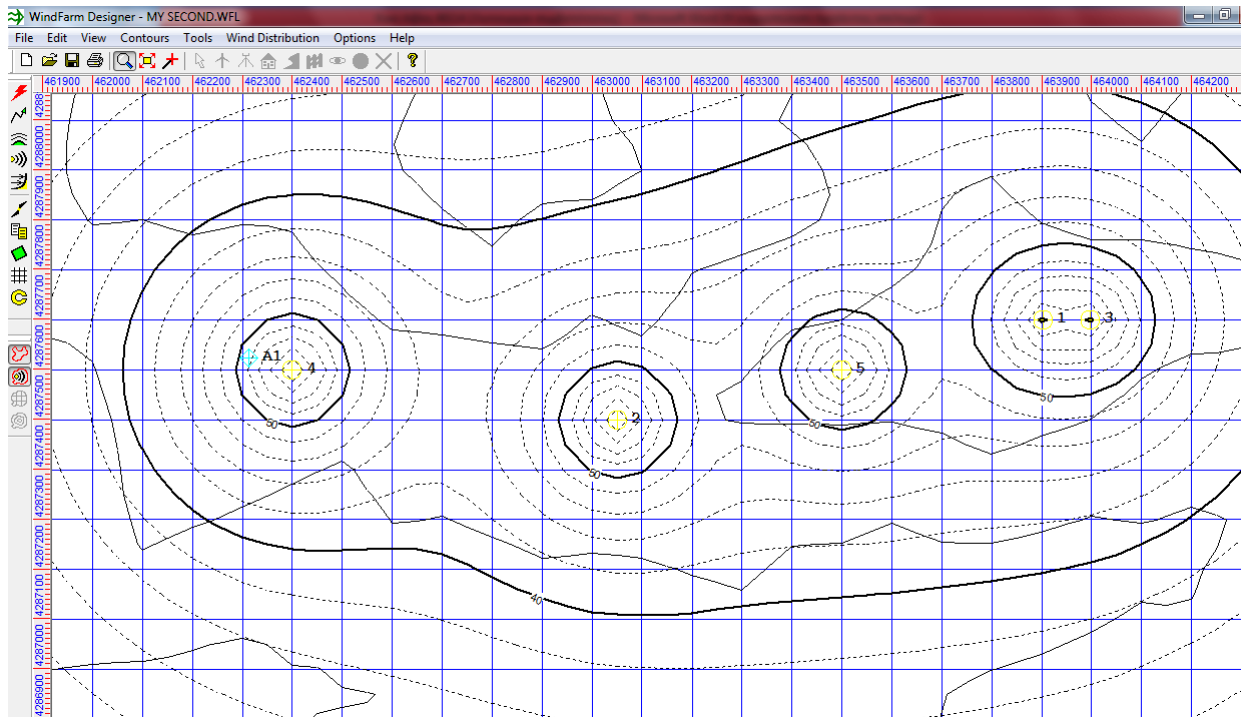
6.4.2 Θόρυβος λειτουργίας των ανεμογεννητριών

Ανεμογεννήτρια: Enercon – E66 – 1500 – 66kW.



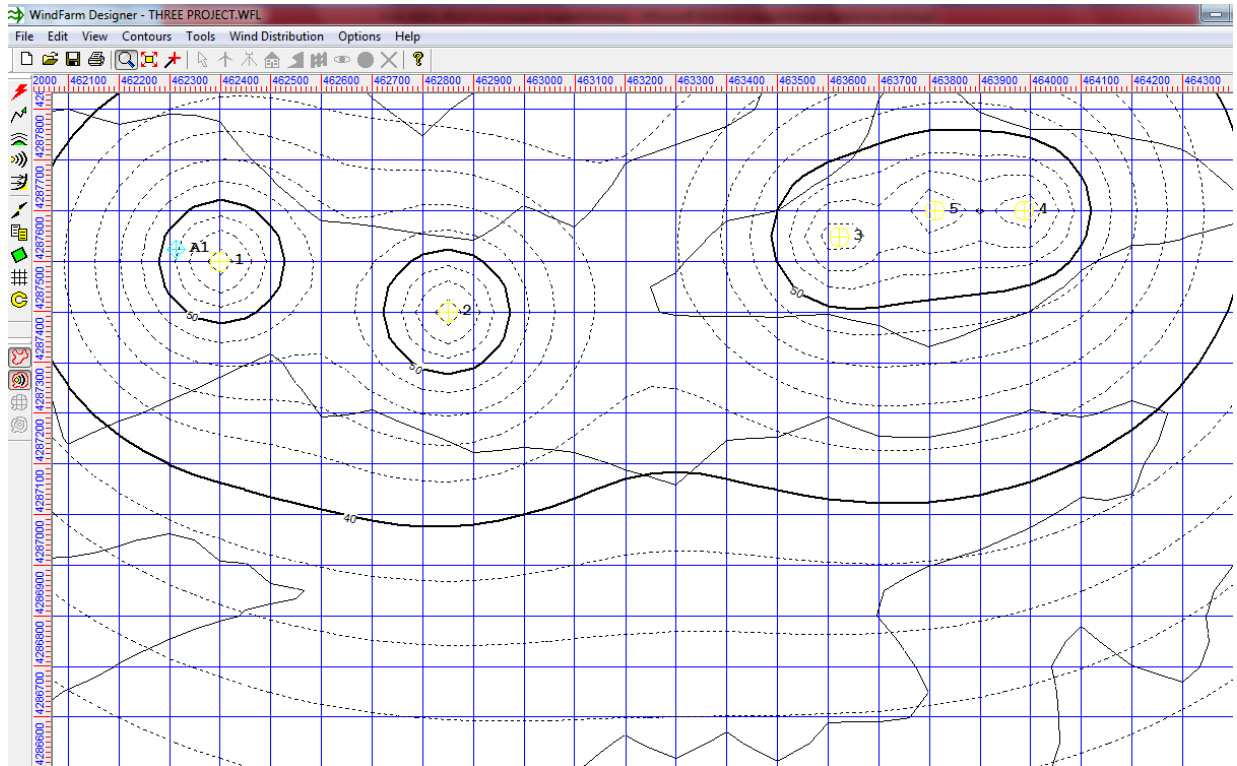
Εικόνα 131.

Ανεμογεννήτρια: Vestas V42 – 600kW.



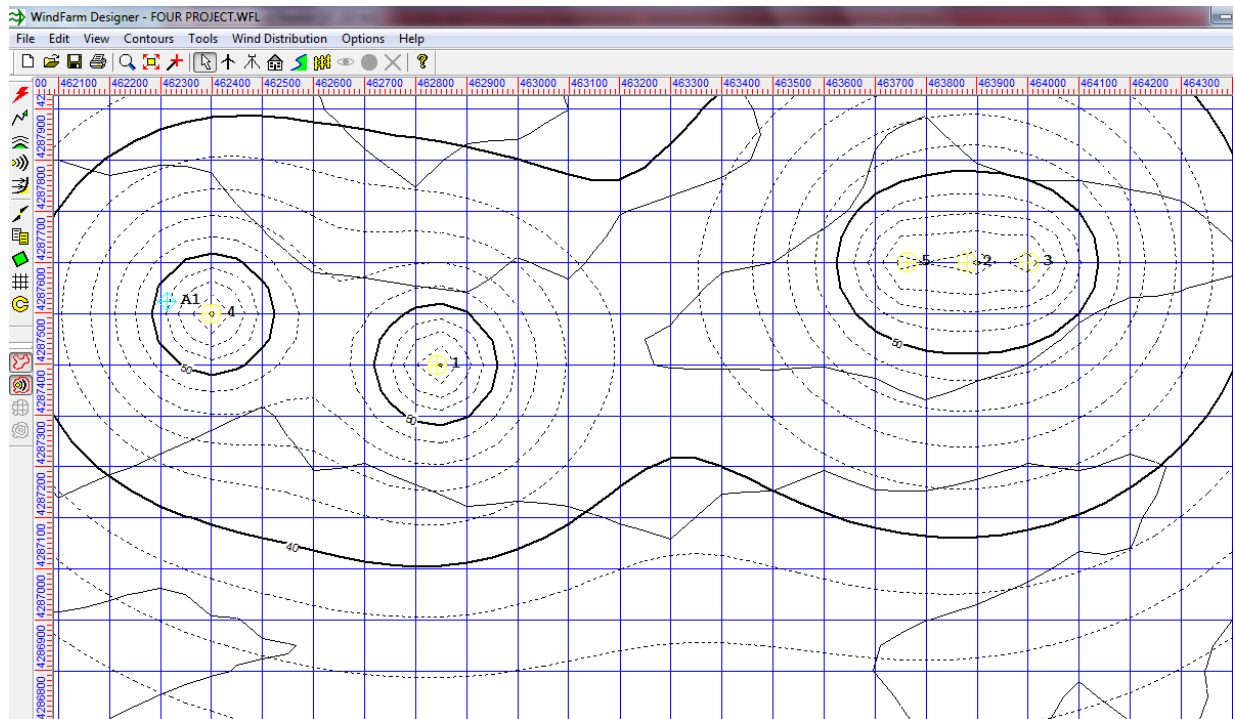
Εικόνα 132.

Ανεμογεννήτρια: Vestas V66 – 1500kW.



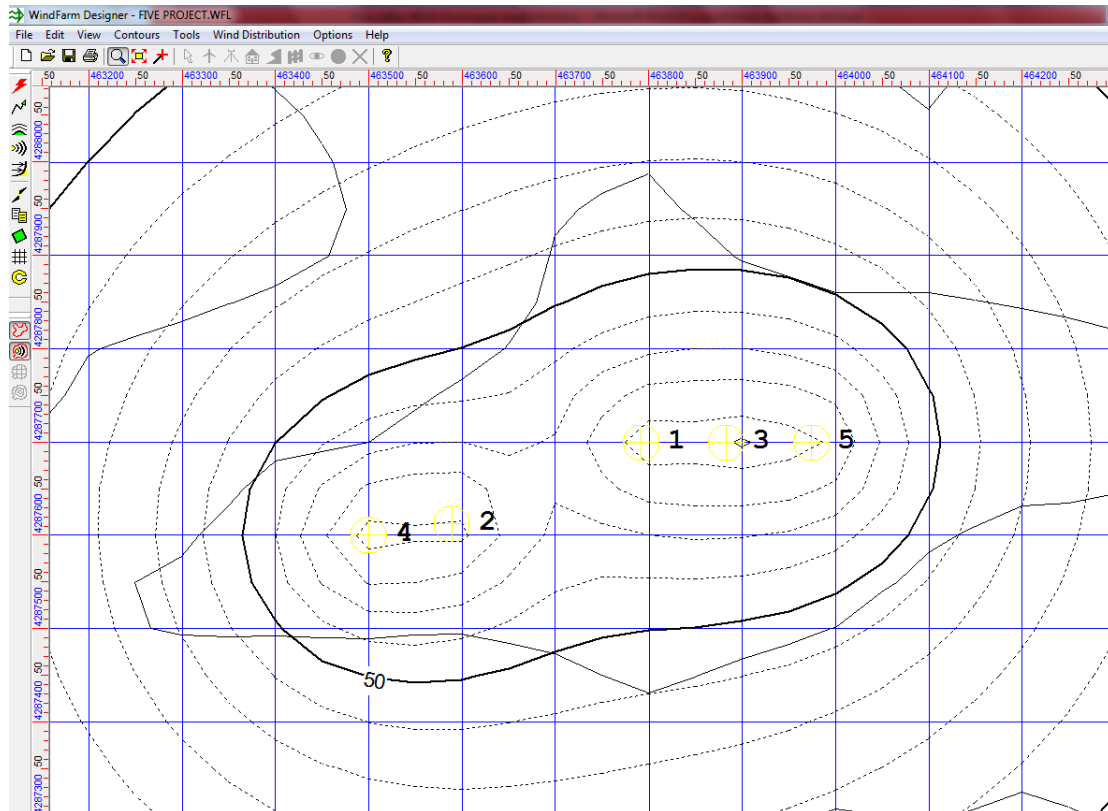
Εικόνα 133.

Ανεμογεννήτρια: Nordex N45 – 1000kW.



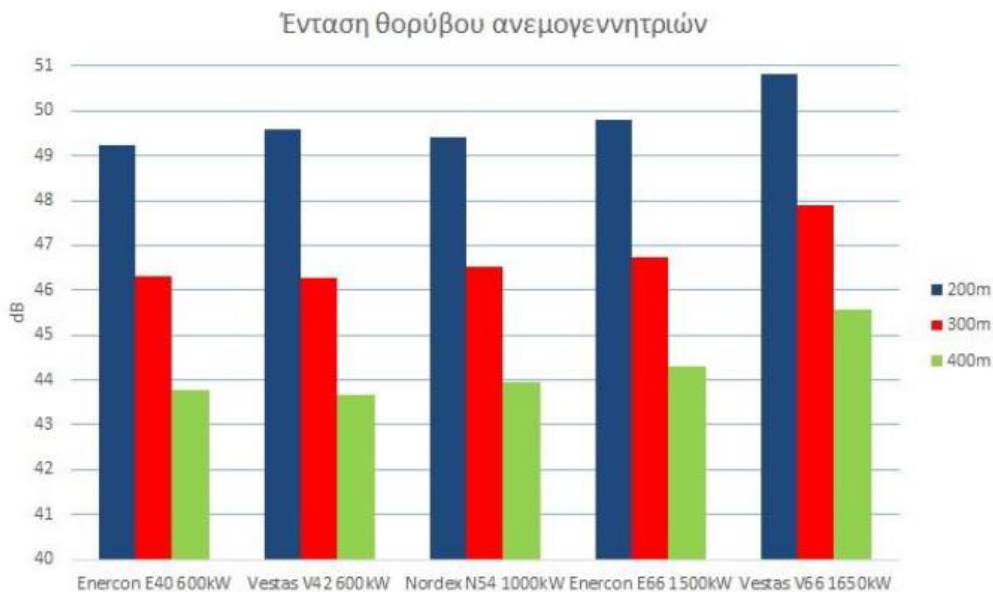
Εικόνα 134.

Ανεμογεννήτρια: Enercon E40 – 600kW.



Εικόνα 135.

Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται ο θόρυβος των ανεμογεννητριών από την μέγιστη ένταση του θορύβου.



Εικόνα 136.

Θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι η καινούργιες ανεμογεννήτριες είναι μηχανές αρκετά ήσυχες αν της συγκρίνουμε με την ισχύ τους γενικά γίνονται όλο και περισσότερο η βελτιώσεις από τους κατασκευαστές είναι σχεδόν πολύ αθόρυβες. Με εξαρχής σχεδίαση η μηχανικοί θόρυβοι έχουν ελαχιστοποιηθεί.

Τα αιολικά πάρκα τοποθετούνται τυπικά σε αγροτικές περιοχές η απομακρυσμένες περιοχές με χαμηλό επίπεδο περιβάλλοντος θορύβου και με χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα. Γνωρίζουμε ότι ο θόρυβος που δημιουργείται από τον αέρα είναι πολύ για να τον πούμε ως θόρυβος που βγαίνει από τα αιολικά πάρκα ακόμα για τα λίγα άτομα που κατοικούν στη περιοχή εκείνη δίπλα στο αιολικό πάρκο.

Ο άνεμος της ταχύτητας όταν είναι μικρότερος από 8m/s (κάτω από 4 Beaufort) τότε ο θόρυβος που παράγουν η ανεμογεννήτριες είναι διακριτός. Ο θόρυβος που δημιουργείται από τον ίδιο τον άνεμο είναι αρκετά δυνατός και καλύπτει των θόρυβο από την εκπομπή των ανεμογεννητριών.

Όταν η απόσταση είναι στα 400 μέτρα τότε ο θόρυβος ταξιδεύει περίπου σε 44 dB(A) με 45 dB(A), αυτό είναι για τα επίπεδα τα συνήθη θορύβου μέσα στις κατοικίες, ενώ στα 600 με 700 μέτρα ο θόρυβος έρχεται στα 40 dB (A), όπου καλύπτει εντελώς από τον θόρυβο που δημιουργεί ο άνεμος.

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η θέσεις εγκαταστάσεις των αιολικών πάρκων θα πρέπει να είναι σε (ορεινά μέρη και μακριά από κατοίκους).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο τη μελέτη ενός αιολικού έργου με σκοπό την διερεύνηση της βέλτιστης λύσης από πλευράς απόδοσης όσον αφορά την επιλογή της καταλληλότερης Α/Γ.

Στη μελέτη αυτή προσπαθήσαμε να αναδειχθούν και τρόποι βελτιστοποίησης μέσω του προγράμματος προσομοίωσης. Χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα WindFarm για χωροθέτηση αιολικών πάρκων για μελέτη και τοποθέτηση αιολικού πάρκου μεγάλης, μικρής ισχύος. Αναλύθηκε η λειτουργία του και αναδείχθηκε η χρησιμότητα του. Πέραν των ενεργειακών χαρακτηριστικών που υπολογίζει, το windfarm κάνει και μελέτη υπολογισμού του θορύβου λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Όλα αυτά τα στοιχεία είναι εξαιρετικά σημαντικά για μια εταιρεία που επιχειρεί να ζητήσει τραπεζική δανειοδότηση για την υλοποίηση του έργου.

Κατ' αρχήν, για την ορθή εκτέλεση του προγράμματος έπρεπε να αναζητηθούν και να βρεθούν αναλυτικά ετήσια ανεμολογικά στοιχεία, στοιχεία θερμοκρασίας, κλπ. Η συλλογή των στοιχείων έγινε κατόπιν μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν από ιδιωτική εταιρεία και που μας παρείχε για τους σκοπούς της διπλωματικής.

Στο πρόγραμμα προχωρήσαμε στη δημιουργία των ανεμολογικών δεδομένων για να βρεθούν η μεταβλητές C και K του ροδογράμματος της υπό εξέταση περιοχής. Δημιουργήθηκαν πολλές διαφορετικές διατάξεις ανεμογεννητριών, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και πέντε διαφορετικοί τύποι, ώστε να μελετηθεί η απόδοσή τους στο συγκεκριμένο μέρος που επιλέχθηκε.

Στο πρόγραμμα επίσης κάναμε και την απαραίτητη εισαγωγή των μορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Για πέντε διαφορετικούς τύπους Ανεμογεννητριών έγινε η ενεργειακή προσομοίωση και μετά η βελτιστοποίηση της χωροθέτησής τους.

Η σύγκριση των capacity factor για τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν έδειξε πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Βάση του capacity factor ο τύπος της ανεμογεννήτριας που θα επιλέγαμε στη περίπτωση αυτού του σημείου χωροθέτησης θα ήταν η Vestas 1.650kW διότι ανεξάρτητα από την ισχύ της έχει το καλύτερο αποτέλεσμα σε σχέση με όλες της υπόλοιπες ανεμογεννήτριες.

Προφανώς, στην πράξη η συνολική ισχύς προς εγκατάσταση εξαρτάται από την Άδεια Παραγωγής που έχει λάβει κάποιος από τη ΡΑΕ και φυσικά την Άδεια Εγκατάστασης του έργου. Στην περίπτωση όμως αυτής της Διπλωματικής, σκοπός δεν ήταν να κάνουμε μια μελέτη εφαρμογής για κάποιο μέρος αλλά να διερευνήσουμε

Πάντως, η ενδεδειγμένη μελέτη του κάθε μέρους εγκατάστασης ενός συστήματος Α/Γ κάνοντας επεξεργασία των σχετικών ανεμολογικών και περιβαλλοντικών δεδομένων και εγκατάστασης είναι απολύτως απαραίτητη, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες επιλογής άλλου τύπου Α/Γ και όχι η βέλτιστη, γεγονός που θα έχει σοβαρή επίπτωση στα αναμενόμενα κέρδη και συνεπώς στην απόδοση της Α/Γ και τον αναμενόμενο χρόνο αποπληρωμής της επένδυσης, γεγονός θεμελιώδους σημασίας.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- Bilgili, M., Yasar, A., & Simsek, E. (2011). Offshore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart. *Renewable and sustainable energy reviews*, 905-910, 15(2).
- Esteban, M., Diez, J., Lopez, J., & Negro, V. (2011). Why offshore wind energy? *Renewable Energy*, 444-450, 36(2).
- Hau, E. (2006). *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. Springer.
- Hrafinkelsson, B., Oddsson, G., & Unnthorsson, R. (2016). Method for Estimating Annual Energy Production Using Monte Carlo Wind Speed Simulation. *Energies*, 9(4), σ 286. doi: 10.3390/en9040286.
- Sagbansua, L., & Balo, F. (2017, August). Decision making model development in increasing wind farm energy efficiency. *Renewable Energy*, σσ. pp 354-362, Vol 109.
- van Kuik, G., Peinke, j., Nijssen, R., Lekou, D., Mann, j., Sorensen, J., . . . Skytte, K. (2016). Long-term research challenges in wind energy – a research agenda by the European Academy of Wind Energy. *Wind Energy Science*, 1-39, doi:10.5194/wes-1-1-2016.
- Wind Europe. (2019). *Wind energy in Europe in 2019*. windeurope.org.
- Αργυρός, Ν. (2011). *Οικονομική μελέτη και αξιολόγηση κατασκευής αιολικών πάρκων στην ελληνική επικράτεια*. Αθήνα: Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.
- Γελεγένης, Ι., & Αξαόπουλος, Π. (2005). *Πηγές ενέργειας, συμβατικές και ανανεώσιμες*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική.
- ΕΛΕΤΑΕΝ. (2021, Νοέμβριο 22). *Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας*. Ανάκτηση από <https://eletaen.gr/>
- Κανελλόπουλος, Δ. (2008). *Αιολική ενέργεια: Σχεδιάζοντας στις αυλές των ανέμων*. Αθήνα: Ίων.
- Καραγιάννης, Φ., Αργυρίου, Α., & Μπαλάρας, Κ. (2006). *Συμβατικές και ήπιες μορφές ενέργειας*. Αθήνα: Σέλκα - 4Μ ΕΠΕ.

- Λειβαδάρας, Ν. (2016). *Χωροθέτηση θαλάσσιων αιολικών πάρκων στην περιοχή των Κυκλάδων*. Αθήνα: Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη".
- Λύτρα, Ι. (2021). *Μελέτη αιολικού δυναμικού και απόδοσης ενός αιολικού πάρκου*. Βόλος: Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών.
- Μακρίδης, Ι. (2013). *Αξιολόγηση παραμέτρων απόδοσης αιολικού πάρκου*. Καβάλα: Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Α.Μ.Θ., Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών.
- Μηλαράς, Σ. (2008). *Αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα*. Αθήνα: Δ.Π.Μ.Σ.: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο & Πανεπιστήμιο Πειραιά, Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων.
- Μηλιώνης, Α.-Γ. (2014). *Ανάλυση και διαχείριση ρίσκου σε έργα ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ*. Χανιά: Πτυχιακή Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ.
- Μπαιρακτάρης, Κ. (2018). *Μελέτη αιολικού πάρκου ισχύος 2.4MW*. Αθήνα: Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών.
- Μπαρμπαρήγου, Μ. (2011). *Οικονομοτεχνική μελέτη αιολικού πάρκου στη Δυτική Κρήτη με χρήση των λογισμικών WASP και RETScreen*. Χανιά: Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.
- Μπιζιώνης, Δ., & Μπιζιώνης, Β. (2015). *Ηλιακή και αιολική ενέργεια: Θεωρία και εφαρμογές*. Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.
- Νικολαΐδης, Α. (2018). *Σχεδιασμός, ανάπτυξη και διαχείριση χερσαίου αιολικού πάρκου: η περίπτωση της Ικαρίας*. Θεσσαλονίκη: Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης.
- Παπαδάκης, Ν. (2012). *Οικονομοτεχνική ανάλυση αιολικού πάρκου σε διασυνδεδεμένα και αυτόνομα συστήματα*. Χανιά: Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος.

- Σαραφόπουλος, Ν. (2017). *Ενεργειακή, οικονομική και περιβαλλοντική ανάλυση αιολικού πάρκου με χρήση του προγράμματος RETScreen*. Μυτιλήνη: Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος.
- Στεργιόπουλος, Χ. (2021). *Μελέτη χωροθέτησης διασυνδεδεμένου αιολικού πάρκου με χρήση του λογισμικού WindFarm*. Αθήνα: Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών .
- ΥΠΕΝ. (2021, Δεκέμβριος 4). *Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας*. Ανάκτηση από <http://mapsportal.ypen.gr/>: http://mapsportal.ypen.gr/layers/rae_status:Aiolikos_h80
- Χριστάκης, Ι., & Αθανασόπουλος, Ι. (2016). *Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα και οικονομική αξιολόγηση*. Αθήνα: Πτυχιακή Εργασία, Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Τεχνολογικού Τομέα, ΤΕΙ Πειραιά.