



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

“ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”



"Συγκριτική μελέτη της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, νησιωτικού αιολικού πάρκου (Σύρου) και αιολικού πάρκου στην ηπειρωτική χώρα (Σιδηροκάστρου) με τα αποτελέσματα που δίνει η προσομοίωση του προγράμματος WASP"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΙΡΗΝΗ ΦΩΤΙΟΥ

ΑΘΗΝΑ

2011



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

“ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Γεώργιος Παπαδάκης, Καθηγητής στο Γεωπονικό Παν/μιο Αθηνών (Επιβλέπων)

Θεοχάρης Τσούτσος, Αναπληρωτής καθηγητής στο Πολυτεχνείο Κρήτης

Κωνσταντίνος Αρβανίτης, Επίκουρος καθηγητής στο Γεωπονικό Παν/μιο Αθηνών

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract.....	7
1. Εισαγωγή.....	8
1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	8
1.2 Σκοπός της διατριβής.....	10
2. Αιολική Ενέργεια.....	10
2.1 Δυναμικό αιολικής ενέργειας.....	12
2.2 Συστήματα αιολικής ηλεκτροπαραγωγής	16
2.3 Αιολικά Πάρκα.....	16
2.4 Αιολικές μηχανές-Ανεμογεννήτριες.....	18
2.5 Ενεργειακή παραγωγή των αιολικών συστημάτων.....	20
2.6 Εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής.....	21
2.7 Ρόδο ανέμου.....	24
2.8 Πεδίο ροής ομόρρου ανεμογεννήτριας	24
3. Υπολογιστικό πρόγραμμα Wasp.....	26
3.1 Περιγραφή του προγράμματος.....	26
3.1.1 Ο χώρος εργασίας του Wasp.....	27
3.1.2 Η ιεραρχία καθορίζει την διαμόρφωση του μοντέλου.....	28
3.1.3 Τα μέλη της ιεραρχίας και τα αρχεία τους.....	28
3.1.4 Διαφορετικά μέλη, διαφορετικοί ρόλοι.....	29
3.1.5 Εισαγωγή των μελών.....	29
3.1.6 Διαμόρφωση με τα μέλη της ιεραρχίας.....	32
3.2 Τα εργαλεία του Wasp.....	33
3.2.1 Το πρόγραμμα OWC.....	33
3.2.2 Το εργαλείο του wasp map editor.....	34
3.2.3 Ο υπολογισμός της πυκνότητας του ανέμου.....	35
3.2.4 The tyrbine editor.....	35
3.3 Εφαρμογές-Χρήση του Wasp στην Ελλάδα και στο εξωτερικό.....	37
3.3.1 Εφαρμογές στο εξωτερικό.....	38
3.3.2 Εφαρμογές στην Ελλάδα.....	42
4. Αιολικά Πάρκα Σύρου και Σιδηροκάστρου.....	43
4.1. Περιγραφή του Διασυνδεδεμένου αιολικού πάρκου Σιδηροκάστρου	43
4.1.1. Ο χάρτης της περιοχής του αιολικού πάρκου Σιδηροκάστρου	45
4.1.2. Ο χάρτης του νομού Σερρών, με τη θέση του πάρκου	46
4.1.3. Τοπογραφικό σχέδιο της τοποθεσίας του αιολικού πάρκου	47
4.1.4. Πίνακας με τα δεδομένα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του πάρκου το έτος 2007.....	48

4.2. Περιγραφή του Αυτόνομου Αιολικού πάρκου της νήσου Σύρου	49
4.2.1. Περιορισμοί σε μη διασυνδεδεμένα νησιά, σαν το πάρκο της Σύρου.....	50
4.2.2. Άποψη του αιολικού πάρκου Σύραγγας , της άνω Σύρου , από δορυφόρο	54
4.2.3. Χάρτης της νήσου Σύρος	55
4.2.4 Παραγωγή ενέργειας του αιολικού πάρκου Σύρου	56
5. Εφαρμογή του Wasp – Αποτελέσματα – Συζήτηση	58
5.1 Εφαρμογή του προγράμματος Wasp για το αιολικό πάρκο του Σιδηροκάστρου	58
5.1.1 Η διαδικασία πρόβλεψης.....	58
5.1.2 Άνοιγμα του χώρου εργασίας.....	59
5.1.3 Η δημιουργία του άτλαντα ανέμου.....	63
5.1.4. Η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου.....	66
5.1.5 Η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών.....	66
5.1.6 Πρόβλεψη της παραγωγής του πάρκου.....	70
5.1.7 Υπολογισμός του αιολικού δυναμικού.....	73
5.1.8 Αναλυτικά αποτελέσματα της παραγωγής	79.
5.2 Εφαρμογή του προγράμματος Wasp για το αιολικό πάρκο της Σύρου	83
5.2.1 Η διαδικασία πρόβλεψης.....	83
5.2.2 Άνοιγμα του χώρου εργασίας	83.
5.2.3 Η δημιουργία του άτλαντα ανέμου	84.
5.2.4 Η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου	87.
5.2.5 Η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών	87
5.2.6 Πρόβλεψη της παραγωγής του πάρκου	90
5.2.7 Υπολογισμός του αιολικού δυναμικού	94
5.2.8 Αναλυτικά αποτελέσματα της παραγωγής	99
5.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων για Σιδηρόκαστρο	101
5.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων για Σύρο	103
6. Συμπεράσματα	106
Βιβλιογραφία	107

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους, η βοήθεια των οποίων υπήρξε πολύτιμη για την ολοκλήρωση αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής.

Ειδικότερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα της διατριβής κ. Γεώργιο Παπαδάκη, Καθηγητή του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, και Αντιπρύτανη του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την αμέριστη εμπιστοσύνη και την υποστήριξη του.

Ιδιαίτερως θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τα άλλα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον Αναπληρωτή καθηγητή κ. Θεοχάρη Τσούτσο, του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και τον κ. Κωνσταντίνο Αρβανίτη, Επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών .

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Διαμαντή Σέρασλη, συνεργάτη του ΚΑΠΕ, που με βοήθησε αρχικά με το πρόγραμμα Wasp, όπως και τον κ. Αθανάσιο Δάϊκο, Ηλεκτρολόγο-Μηχανικό, της εταιρείας ITA INTERNATIONAL, για τις ώρες που αφιέρωσε για να μου χορηγήσει τα δεδομένα του αιολικού πάρκου Σύρου, που χρησιμοποίησα στην εργασία και τον κ. Παντελή Κουτσελάκη της εταιρείας Αιολική Σιδηροκάστρου Α.Ε. για τα δεδομένα του αιολικού πάρκου Σιδηροκάστρου. Η συλλογή των στοιχείων αποτέλεσε δομικό ρόλο στην ολοκλήρωση της μελέτης.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Γιώργο Κυριακαράκο, και όλη την ομάδα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, που συντονίζει ο καθηγητής Γιωργος Παπαδάκης, για την βοήθειά τους, σε ότι τους ζητούσα.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ ανήκει στο σύζυγο και τα παιδιά μου, για την υποστήριξη τους όλο αυτό το χρονικό διάστημα, στην απόφαση μου να ξαναγίνω φοιτήτρια μετά από πολλά χρόνια.

Περίληψη

Η διατριβή αναφέρεται στις πηγές ενέργειας γενικά, και ειδικότερα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, διότι στην σύγχρονη εποχή, λόγω της ενεργειακής κρίσης και της περιβαλλοντικής καταστροφής, από τις συμβατικές μορφές ενέργειας, είναι επιτακτική ανάγκη για άμεση εφαρμογή «καθαρών» μορφών ενέργειας, όπως π.χ. η αιολική ενέργεια, και εφαρμογή «καθαρών» εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας, όπως π.χ. τα αιολικά πάρκα.

Για τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση των αιολικών πάρκων έχουν αναπτυχθεί εμπορικά υπολογιστικά προγράμματα, τα οποία έχουν γίνει απαραίτητα, λόγω της πληθώρας των δεδομένων και της ιδιομορφίας του υπολογισμού της ενέργειας του ανέμου σε διαφορετικές τοπογραφίες.

Στην μελέτη αυτή, εφαρμόζεται το υπολογιστικό πρόγραμμα Wasp, που χρησιμοποιείται ευρέως στον ακαδημαϊκό και στον επαγγελματικό χώρο, γιατί δίνει την δυνατότητα να σχεδιαστεί ένα αιολικό πάρκο και να υπολογισθεί η ετήσια παραγωγή ενέργειας του πάρκου.

Συγκεκριμένα μελετώνται δύο περιπτώσεις αιολικών πάρκων στην Ελλάδα, το ένα στο **Σιδηρόκαστρο** και το άλλο στη **Σύρο**. Τα πραγματικά δεδομένα της παραχθείσας ενέργειας μιας συγκεκριμένης χρονιάς (2006), συγκρίνονται με τα αποτελέσματα που δίνει το Wasp, για κάθε μία περίπτωση.

Τα αποτελέσματα της εργασίας, καταδεικνύουν, κατά πόσο, το πρόγραμμα Wasp, υπολογίζει με αξιοπιστία, την ενέργεια που παράγουν τα πάρκα στην νησιωτική (αυτόνομο δίκτυο Σύρου), και στην ηπειρωτική χώρα (διασυνδεδεμένο δίκτυο Σιδηροκάστρου) έτσι ώστε, να ελεγχθεί η χρήση του ως ένα κατάλληλο υπολογιστικό εργαλείο, για τις ανωτέρω εφαρμογές.

Συγκεκριμένα στο 2^ο κεφάλαιο αναφέρονται τα γενικά για την αιολική ενέργεια, και για την ενεργειακή παραγωγή των αιολικών συστημάτων και των πάρκων, και τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής, συνυπολογίζοντας τις απώλειες του ορόρου.

Στο 3^ο κεφάλαιο, περιγράφεται το υπολογιστικό πρόγραμμα του Wasp, και οι χρήσεις του στο εξωτερικό και στην Ελλάδα.

Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα αιολικά πάρκα του Σιδηροκάστρου και της Σύρου και αναφέρεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των πάρκων, με τις ιδιαιτερότητες τους, καθώς το πάρκο του Σιδηροκάστρου είναι διασυνδεδεμένο στο δίκτυο της ΔΕΗ, ενώ το πάρκο της Σύρου είναι αυτόνομο.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή του προγράμματος Wasp, για τα δυο πάρκα, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων και συζήτηση πάνω σε αυτά.

Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα για την χρήση του προγράμματος.

Abstract

This thesis generally refers to energy sources, particularly renewable energy, because in modern times due to the energy crisis and environmental destruction from conventional sources, it is imperative for immediate implementation of clean energy sources such as p . x. wind energy, and application of clean energy production facilities such as wind parks.

For the design and installation of wind farms, have developed commercial computer programs, which have become necessary because of the abundance of data and the specificity of the calculation of wind energy in different topographies.

In this study, has been applied the computer program of Wasp, which is widely used in academia and the workplace, because it gives the opportunity to design a wind farm and to calculate the annual energy production of the park.

We investigated two cases of wind parks in Greece, one in Sidirokastro and the other in Syros. The facts of the energy generated, a particular year (2006), compared with the results given by the Wasp, for each case.

These results demonstrate, whether the program Wasp, calculates reliability, energy-producing farms in the islands (Syros autonomous network) and the mainland (Sidirokastro grid) in order to propose as a suitable computational tool for these applications.

1. Εισαγωγή

Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η εξάντληση των συμβατικών, μη ανανεώσιμων καυσίμων αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης μας. Το θέμα αυτό βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος Παγκόσμιων οργανισμών, Κυβερνήσεων, Ερευνητικών Κέντρων, των ενδιαφερόμενων παραγωγών και χρηστών ενέργειας, αλλά και όλων των ενημερωμένων πολιτών.

Η αναζήτηση της απαραίτητης ενέργειας από τον άνθρωπο, η επάρκεια των αποθηκών/πηγών της, η βέβαιη και ταχεία εξάντληση μερικών από αυτές, οι βέλτιστοι τρόποι εκμετάλλευσης και εξοικονόμησης της, τα οικονομικά, κοινωνικά και ηθικά προβλήματα που δημιουργούνται από την ανισοβαρή, άλλοτε αλόγιστη και άλλοτε ανεπαρκή χρήση της, καθώς και η μεγάλη και αυξανόμενη τα τελευταία χρόνια επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τους μηχανισμούς και τα συστήματα μετατροπής και μεταφοράς της ενέργειας, συνιστούν το «ενεργειακό/περιβαλλοντικό» πρόβλημα, ένα από τα κρισιμότερα σήμερα προβλήματα του ανθρώπου.

1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας για τη θέρμανση χώρων (κατοικιών και γραφείων), τα μέσα μεταφοράς, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων. Με την πρόοδο της οικονομίας και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται ολοένα. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιούμε προέρχεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι το πετρέλαιο η βενζίνη και ο άνθρακας. Πρόκειται για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αργά η γρήγορα θα εξαντληθούν. Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές δημιουργούν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή τους, το γνωστό σε όλους μας, [φαινόμενο του θερμοκηπίου](#).

Από την άλλη πλευρά, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. **Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης**, είναι πηγές ενέργειας που προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή χρήση του 1979 και παγιώθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό

και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς η αξιοποίησή τους δεν το επιβαρύνει, αφού δεν συνοδεύεται από παραγωγή ρύπων ή αερίων που ενισχύουν τον κίνδυνο για κλιματικές αλλαγές. Έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.

Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μια πραγματική εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών.

- Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ, είναι τα εξής:
- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές π.χ. οξείδια θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας),[1].

1.2. Σκοπός της διατριβής

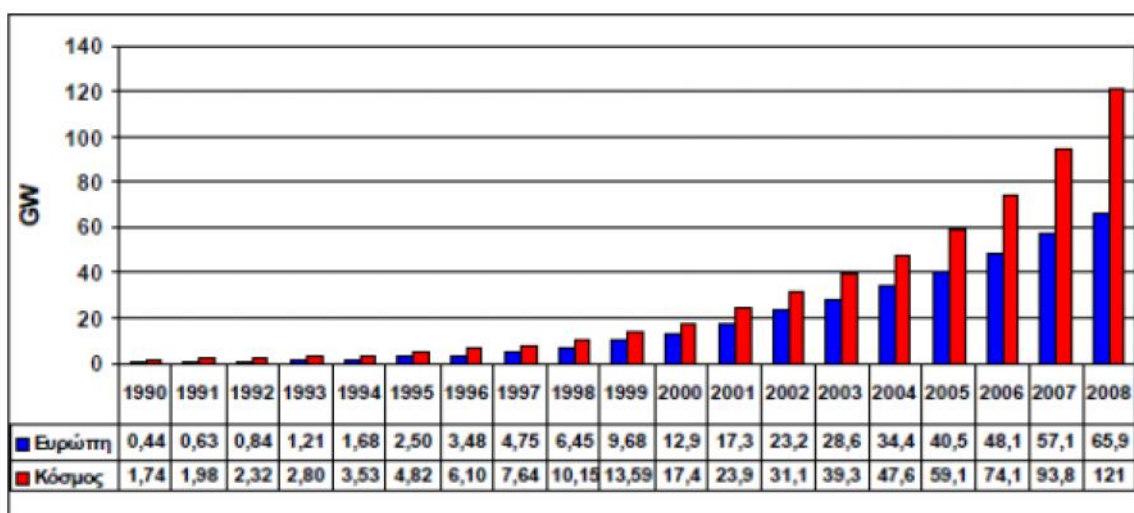
Στην διατριβή αυτή, αφού αναλύεται η μεθοδολογία του εμπορικού προγράμματος Wasp, στη συνέχεια, εφαρμόζεται το πρόγραμμα, για να εκτιμηθεί η ετήσια ενεργειακή παραγωγή του εγκατεστημένου αιολικού πάρκου του **Σιδηροκάστρου**, καθώς και η ετήσια ενεργειακή παραγωγή του αιολικού πάρκου στη νήσο **Σύρος**. Τα αποτελέσματα του προγράμματος συγκρίνονται με τις πραγματικές τιμές παραγωγής, από στοιχεία που δόθηκαν από τις εταιρείες που εκμεταλλεύονται τα πάρκα με σκοπό να εξαχθούν συγκεκριμένα συμπεράσματα, για την αξιοπιστία των δεδομένων του προγράμματος Wasp, όταν εφαρμόζεται σε ένα αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική χώρα και όταν εφαρμόζεται σε νησί, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη τα ποσοστά της απόκλισης, όταν πρόκειται να εγκατασταθεί ένα νέο αιολικό πάρκο, και χρησιμοποιείται το Wasp, για να γίνει η απαιτούμενη πρόβλεψη της παραγωγής.

2. Αιολική Ενέργεια

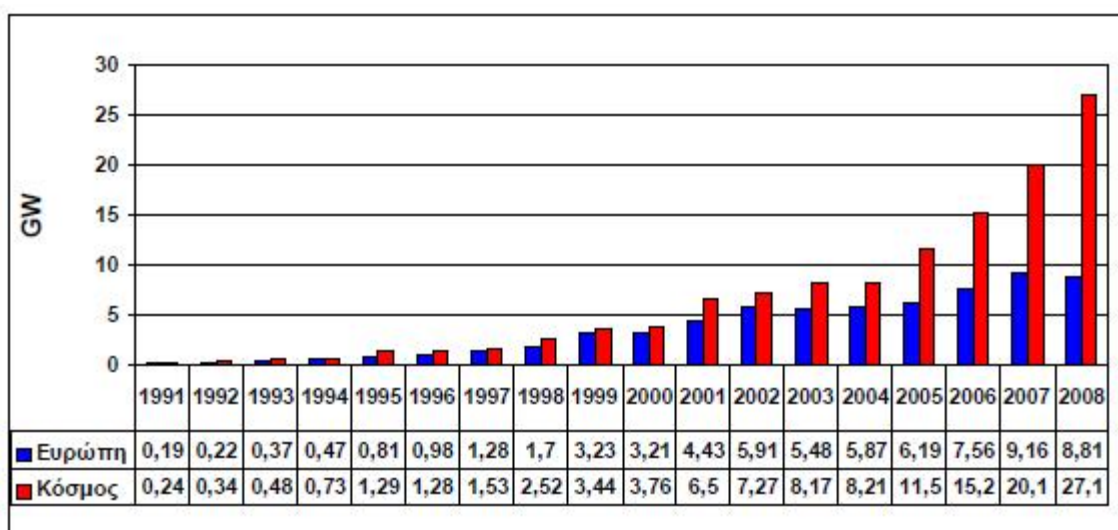
Οι άνεμοι, δηλαδή οι μεγάλες μάζες αέρα που μετακινούνται με ταχύτητα από μία περιοχή σε κάποια άλλη, οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία. Η κινητική ενέργεια των ανέμων είναι τόση που, με βάση τη σημερινή τεχνολογία εκμετάλλευσής της, θα μπορούσε να καλύψει πάνω από δύο φορές τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το 2% της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η ισχύς των ανέμων σε όλη τη γη είναι 3.6×10^9 MW.

Τα μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας είναι η χαμηλή πυκνότητα του, η μεταβαλλόμενη παροχή του φυσικού πόρου και η διακοπτόμενη και μη προβλέψιμη παροχή.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Ο εγκλωβισμός, κατά τον Όμηρο, των ανέμων στον ασκό του Αιόλου δείχνει ακριβώς την ανάγκη των ανθρώπων να διαθέτουν τους ανέμους στον τόπο και χρόνο που οι ίδιοι θα ήθελαν. Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Είναι η εποχή που εξαπλώνονται ραγδαία τα συμβατικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός, ο οποίος φτάνει ως τα πιο απομακρυσμένα σημεία. Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις ΑΠΕ και την αιολική ενέργεια. Στο διάστημα μέχρι σήμερα, σημειώνεται μια αλματώδης ανάπτυξη, όπως φαίνεται στις εικόνες 2.1 και 2.2, κάτι που ενισχύεται και από την επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος. Γίνεται πλέον συνείδηση σε όλο και περισσότερο κόσμο, πως ο άνεμος είναι μια καθαρή ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.



Εικόνα 2.1. Συνολική αιολική εγκατεστημένη ισχύς(1990-2008)



Εικόνα 2.2. Ετήσια αιολική εγκατεστημένη ισχύς (1991-2008),[2].

2.1 Αιολικό Δυναμικό

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής έχει σαν στόχο τον προσδιορισμό της δυνατότητας και γενικά της ποιότητας του ανέμου προκειμένου η ενέργεια του να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη.

Πριν από κάθε μελέτη εφαρμογής αιολικής μηχανής σε ένα τόπο, είναι απαραίτητο να εκτιμηθεί αν το φυσικά διαθέσιμο αιολικό δυναμικό του τόπου είναι ικανοποιητικό. Το φυσικά διαθέσιμο δυναμικό μιας τοποθεσίας χαρακτηρίζεται χονδρικά συνήθως από τη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου (σε m/sec ή σε miles/h). Αυτό όμως μπορεί να διαφέρει μέχρι και 20% από χρόνο σε χρόνο και για το λόγο αυτό, μια πλήρης εικόνα του ανέμου απαιτεί μετρήσεις τριών τουλάχιστον χρόνων. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις χρησιμοποιούνται δεδομένα ενός χρόνου σαν πρώτη εκτίμηση του αιολικού δυναμικού. Για τη μέτρηση του ανέμου και την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές (ανεμογράφους) που μετρούν την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου. Οι μετρήσεις γίνονται ανά 1 sec και αποθηκεύονται σαν μέσες δεκάλεπτες τιμές. Τα μεγέθη που πρέπει να μετρά ένας ανεμογράφος είναι:

- Η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά χρονική περίοδο (10 λεπτά) ή και λιγότερο ανάλογα με την ακρίβεια που απαιτείται.
- Η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου στην περίοδο αυτή.
- Η μέγιστη τιμή της ταχύτητας στην περίοδο (Gust).
- Η διεύθυνση της μέγιστης ταχύτητας.
- Η τυπική απόκλιση της ταχύτητας (Standard Deviation).
- Η τυπική απόκλιση της διεύθυνσης (προαιρετικά).

Οι μετρήσεις αρχικά γίνονται σε ύψος 10 m από το έδαφος όπως συστήνει ο παγκόσμιος μετεωρολογικός οργανισμός (WMO) και καταγράφονται από ειδικό Data Logger που περιέχει κατάλληλο πρόγραμμα συλλογής και αποθήκευσης των μετρήσεων. Στην συνέχεια μεταφέρονται σε υπολογιστή και γίνεται η επεξεργασία τους με κατάλληλα προγράμματα. Αν τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά και προκειμένου να μελετηθεί με ακρίβεια η πιθανή απόδοση μιας αιολικής μηχανής (όπως άλλωστε απαιτείται για την αδειοδότηση του αιολικού πάρκου), οι μετρήσεις επεκτείνονται και σε ύψος 40 m που είναι το συνηθισμένο ύψος του άξονα των μεγάλων μηχανών. Η επιλογή ενός τύπου οργάνου εξαρτάται συνήθως από το κόστος, την ευαισθησία, την ακρίβεια, την αντοχή, την περιοχή τοποθέτησης κλπ. Για μερικές εφαρμογές όπως για τη μέτρηση της έντασης της τύρβης σε μια τοποθεσία, απαιτούνται πολύ συχνές μετρήσεις στην τάξη των 5-10 sec, πράγμα που αυξάνει υπερβολικά το κόστος των οργάνων μέτρησης, [3].

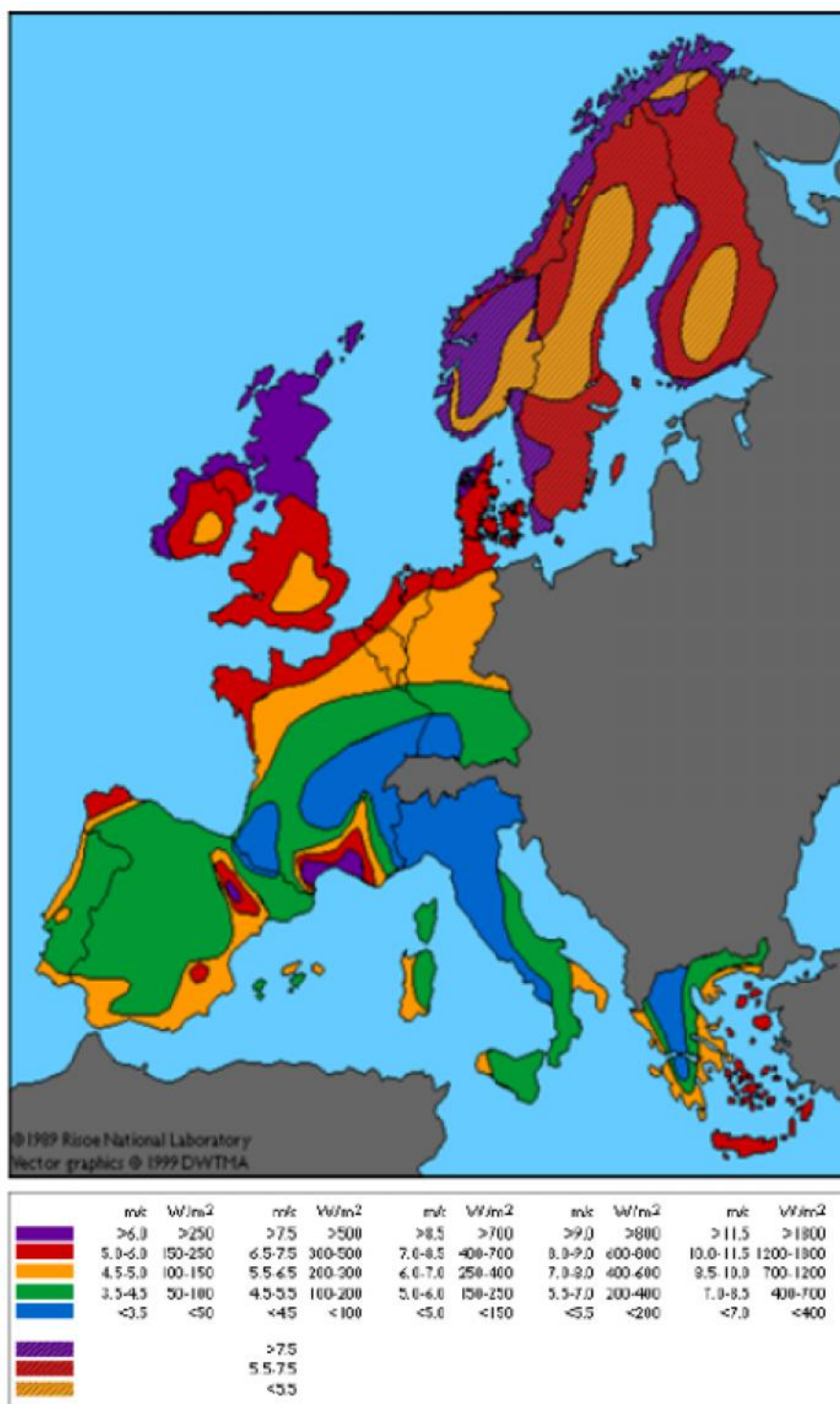
Οι παγκόσμιοι άνεμοι αποτελούν έναν καλό ενεργειακό πόρο και κατανέμονται εξίσου σε μεγάλες περιοχές του πλανήτη. Από εκτιμήσεις για τον πόρο προκύπτει ότι, η παρούσα ζήτηση ενέργειας παγκοσμίως ισοδυναμεί με το 1% περίπου της συνολικής ενέργειας των παγκόσμιων ανέμων. Προκειμένου να αξιολογηθεί αυτός ο πόρος είναι απαραίτητο να παρέχεται κάποια εκτίμηση για την ποσότητά του που είναι προσιτή, λαμβάνοντας υπόψη την τεχνολογία και τους περιορισμούς στη χρήση των γαιών σε κάθε περιοχή.

Το 1981 ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (ΜΜΟ) διεξήγαγε τη μελέτη του παγκόσμιου αιολικού πόρου, μια προκαταρκτική εκτίμηση του οποίου αποδόθηκε ως ένας χάρτης αιολικής ενέργειας σε MWh/m^2 στα 10 m επάνω από το έδαφος, όπου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από το διεθνές δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών. Όμως, οι σταθμοί αυτοί δεν είχαν σχεδιαστεί για αξιολόγηση της αιολικής ενέργειας, οπότε τα στοιχεία τους συμπληρώθηκαν με πληροφορίες για τα ανώτερα στρώματα του αέρα και την τοπογραφία προκειμένου να βοηθηθεί η προεκβολή των δεδομένων.

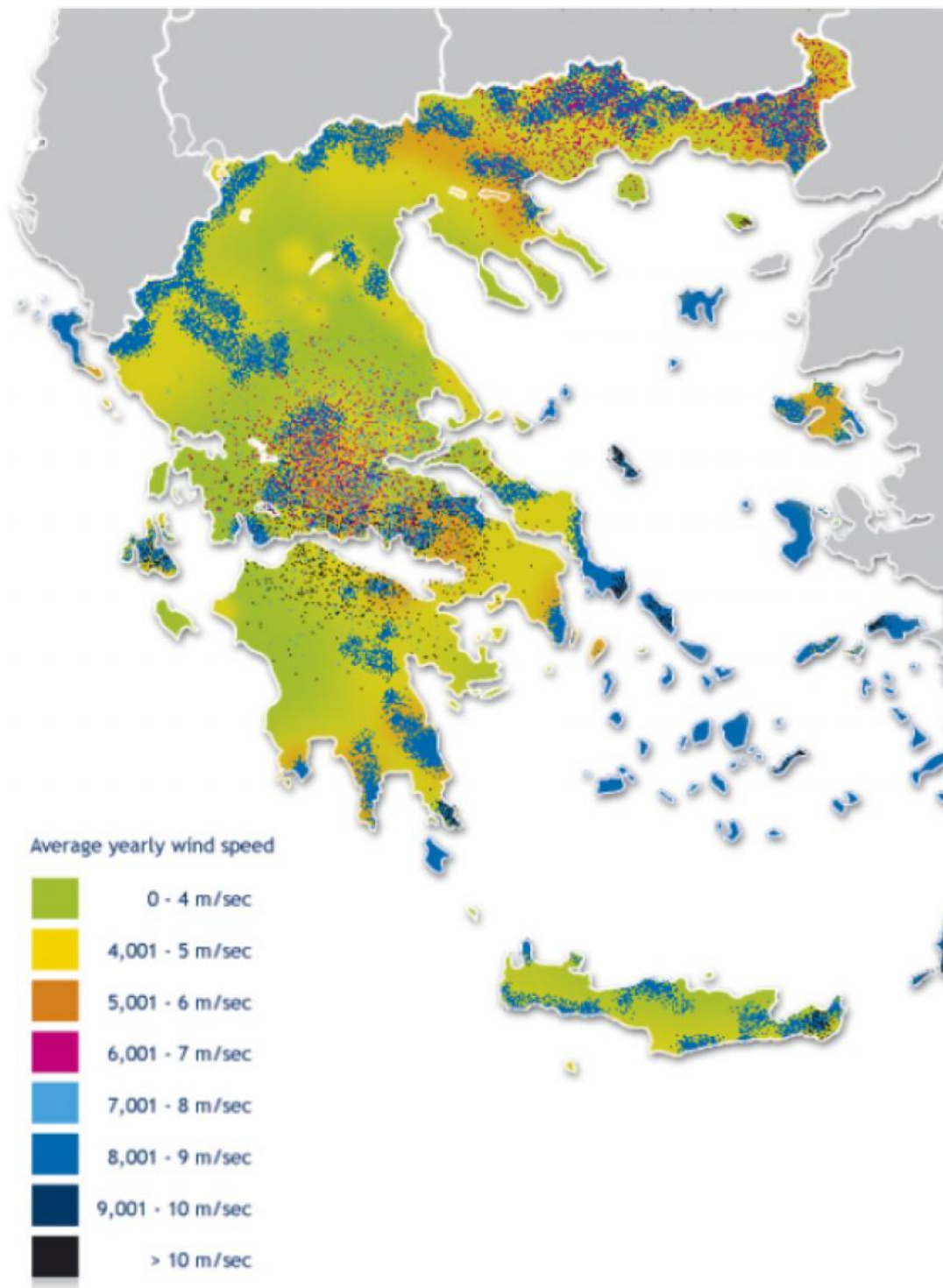
Ο χάρτης δίνει μια γενική εικόνα του παγκόσμιου αιολικού πόρου. Δεν σημειώνονται όλες οι περιοχές με δυναμικό υψηλής ταχύτητας ανέμου, μερικές επειδή καλύπτουν μια πολύ μικρή έκταση, κάποιες επειδή υπάρχουν λίγα δεδομένα γι' αυτές, και άλλες λόγω τοπικών επιδράσεων που δεν έχουν ληφθεί πλήρως υπόψη. Επίσης, στην παρουσίαση των δεδομένων δεν γίνεται καμία θεώρηση των όποιων περιορισμών υφίστανται στη χρήση των γαιών και έτσι δεν παρέχεται εκτίμηση για την προσιτότητα του πόρου. Πολλές χώρες έχουν αναλύσει τον δικό τους αιολικό πόρο, όπως οι ΗΠΑ όπου έχουν διεξαχθεί μελέτες για ολόκληρη τη χώρα και για επιλεγμένες περιοχές.

Ο ευρωπαϊκός αιολικός πόρος έχει εκτιμηθεί στον Ευρωπαϊκό Αιολικό Άτλαντα, βλέπε **Εικόνα 2.1.1**. Για το σύνολο της Ευρώπης έχουν παραχθεί χάρτες που παρουσιάζουν την ταχύτητα (σε m/s) και την πυκνότητα ισχύος του ανέμου (σε MW/m^2) στα 50 m, επάνω από το έδαφος και για διάφορους τύπους ανάγλυφου. Τα αρχικά ανεμολογικά δεδομένα ελήφθησαν από κατάλληλους μετεωρολογικούς σταθμούς με μακροχρόνιες καταγραφές. Στη συνέχεια αυτά διορθώθηκαν ώστε να ληφθεί υπόψη η τοπογραφία, το ανάγλυφο του εδάφους και κάθε προστατευμένη από τον αέρα θέση, πριν από την προεκβολή τους σε άλλες περιοχές.

Η διασπορά των δεδομένων υποδηλώνει, ότι δεν διευκρινίζονται μερικές πεπερασμένες περιοχές με υψηλή ταχύτητα ανέμου. Επίσης, δεν διευκρινίζονται και κάποιες περιοχές χαμηλής ταχύτητας ανέμου, π.χ. προστατευμένες κοιλάδες σε μια περιοχή με υψηλές ταχύτητες ανέμου. Τέλος, δεν γίνεται κάποια κρίση για το προσιτό δυναμικό, και για το λόγο αυτό πολλές ευρωπαϊκές χώρες έχουν διεξάγει τις δικές τους εθνικές ή περιφερειακές έρευνες, όπως και η Ελλάδα, βλέπε **Εικόνα 2.1.2**. Επίσης, πολλές άλλες χώρες αξιολογούν τον αιολικό τους πόρο τελευταία, ειδικά η Ινδία και η Κίνα, οι οποίες έχουν ήδη αναλάβει δεσμεύσεις σχετικά με τη χρήση της αιολικής ενέργειας,[4].



Εικόνα 2.1.1. Αιολικός χάρτης της Δ. Ευρώπης στα 50 μέτρα από το έδαφος,[5].



2/3

Εικόνα 2.1.2. Χάρτης με το αιολικό δυναμικό Από ΔΕΣΜΗΕ,[6].

2.2. Συστήματα αιολικής ηλεκτροπαραγωγής

Τα συστήματα αιολικής ηλεκτροπαραγωγής, έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από τις μεμονωμένες, αυτόνομες εγκαταστάσεις έως τις μεγάλες διατάξεις ανεμογεννητριών, που μπορεί να συνδέονται σε υπάρχον δίκτυο ή να συνδυάζονται με άλλες μη-συνδεδεμένες στο δίκτυο πηγές ενέργειας. Τα συστήματα αιολικής παραγωγής έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών, που μπορεί να ομαδοποιηθεί σε τρεις κλάσεις.

- **Τα αιολικά πάρκα**, δηλ. οι μεγάλες σειρές Α/Γ που συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Από την άποψη του εγκατεστημένου δυναμικού και του οικονομικού αντίκτυπου, την περίοδο αυτή τα αιολικά πάρκα αποτελούν τη μεγαλύτερη κατά πολύ κλάση εφαρμογής των Α/Γ.
- **Ανεμογεννήτριες** που χρησιμοποιούνται για διασυνδεδεμένη, καταναμημένη παραγωγή
- **Υβριδικά συστήματα**, ανεμογεννήτριες που συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας και μπορούν να λειτουργούν χωρίς την ανάγκη ύπαρξης μεγαλύτερου ηλεκτρικού δικτύου.

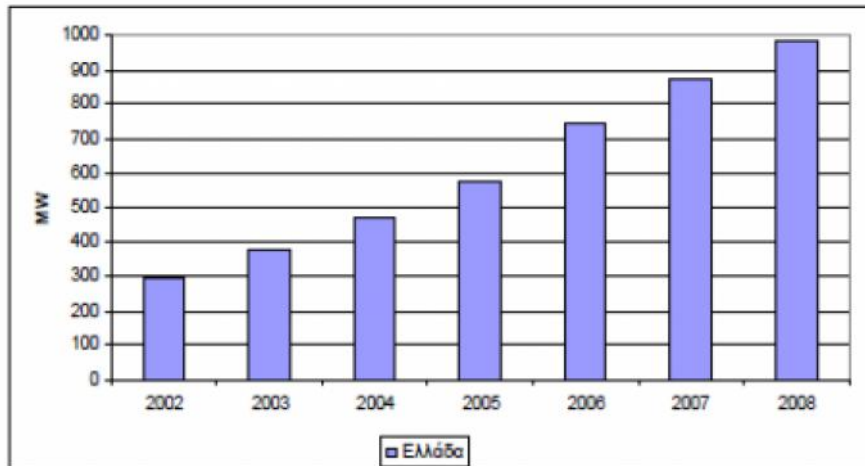
2.3. Αιολικά πάρκα

Τα αιολικά πάρκα αποτελούνται από σειρές Α/Γ, που διασυνδέονται ηλεκτρικά ώστε η ισχύς τους να αποδίδεται στο δίκτυο της εταιρείας ηλεκτρισμού. Από την άποψη της ροής ηλεκτρικής ισχύος, ένα αιολικό πάρκο λειτουργεί παράλληλα με το συμβατικό δυναμικό παραγωγής της εταιρείας ηλεκτρισμού για την κάλυψη των απαιτήσεων σε ισχύ του συνδεδεμένου φορτίου. Οι σειρές μπορεί να αποτελούνται από εκατοντάδες μηχανών με ένα συνδυασμένο δυναμικό ισχύος του αιολικού πάρκου της τάξης των εκατοντάδων MW.

Όπως υπάρχει ένα εύρος μεγεθών των Α/Γ έτσι υπάρχει και ένα εύρος μεγεθών των αιολικών πάρκων. Τα μεγάλα πάρκα της Καλιφόρνιας είναι στο ένα άκρο αυτού του φάσματος, με το άλλο άκρο να αντιστοιχεί σε μια μικρή συστοιχία Α/Γ που εξυπηρετεί μια δημοτική εταιρεία ηλεκτρισμού, ένα συνεταιριστικό αγρόκτημα, ή μια βιομηχανική μονάδα. Στην παρακάτω **Εικόνα 2.3.1.** φαίνεται η ανοδική τάση στην εγκατεστημένη ισχύ των αιολικών πάρκων στην Ελλάδα. Ανεξάρτητα από το μέγεθος, τα βασικά χαρακτηριστικά ενός αιολικού πάρκου είναι ότι:

- 1) οι Α/Γ διασυνδέονται σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο,
- 2) το αιολικό δυναμικό παραγωγής συνήθως αποτελεί εν γένει μικρό ποσοστό του συμβατικού δυναμικού που τροφοδοτεί το φορτίο του ηλεκτρικού συστήματος (χαμηλές τιμές αιολικής διεύθυνσης), και
- 3) οι Α/Γ απαιτούν κάποιου είδους ηλεκτρική υποστήριξη από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Ανάλογα με τις λεπτομέρειες της γεννήτριας και των άλλων ηλεκτρικών τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σε μια Α/Γ, η υποστήριξη μπορεί να κυμαίνεται από μια απλή αναφορά στη συχνότητα (για το συγχρονισμό του αιολικά παραγόμενου ηλεκτρισμού με αυτόν των συμβατικών πηγών) μέχρι την κατανάλωση άεργης ισχύος (απαιτείται για τη λειτουργία των γεννητριών των Α/Γ). Ανεξάρτητα από το μέγεθος του αιολικού πάρκου, χρησιμοποιούνται τυποποιημένες ηλεκτρικές τεχνικές και συνιστώσες (π.χ. μετασχηματιστές και προστατευτικός εξοπλισμός διανομής) για τη σύνδεση των Α/Γ με το δίκτυο. Η Α/Γ αποτελεί τη μόνη μη-τυποποιημένη ηλεκτρική συνιστώσα.



Εικόνα 2.3.1. Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων στην Ελλάδα (2002-2008),[7].

2.4. Ανεμογεννήτριες

Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

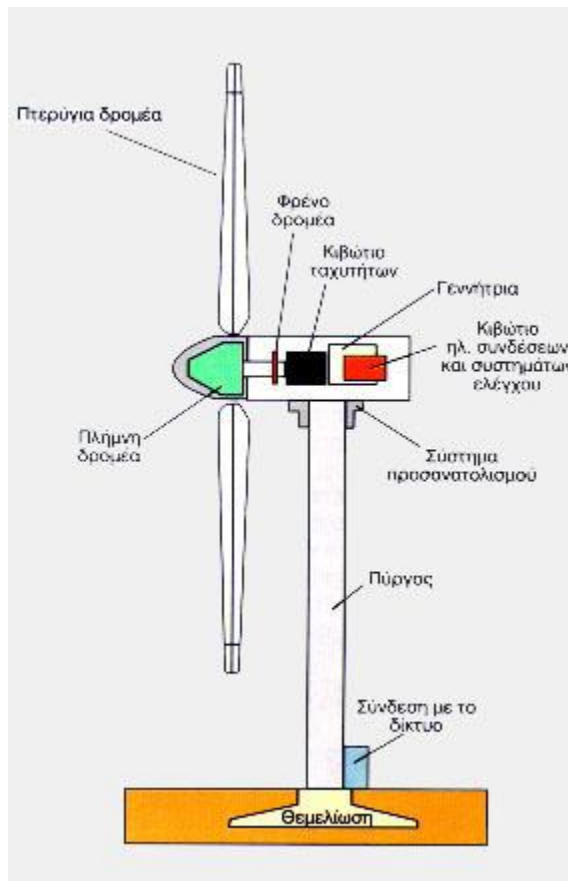
- Οριζοντίου άξονα, των οποίων ο άξονας, είναι συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους
- Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου . Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt.

Οι τυπικές διαστάσεις μιας ανεμογεννήτριας 500 kW είναι: Διάμετρος δρομέα, 40 μέτρα και ύψος 40-50 μέτρα, ενώ αυτής των τριών MW οι διαστάσεις είναι 80 και 80–100 μέτρα αντίστοιχα.

Παρόλο που δεν υφίσταται κανένας καθοριστικός λόγος, εκτός ίσως από την εμφάνιση, στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, με δύο ή τρία πτερύγια. Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη :

- το δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα τους μεταβάλλοντας το βήμα
- το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής
- την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Υπάρχει και το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας
- το σύστημα προσανατολισμού, αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου
- τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα
- τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της.



Εικόνα 2.4.1 Τα μέρη μιας ανεμογεννήτριας

Μια ανεμογεννήτρια έχει τα εξής κύρια μέρη, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2.4.1** :

1. Τον πύργο: Είναι κυλινδρικής μορφής κατασκευασμένος από χάλυβα και συνήθως αποτελείται από δύο η τρία συνδεδεμένα τμήματα. Είναι παρόμοιας κατασκευής με τους πύργους που στηρίζουν τα φώτα σε γήπεδα και εθνικούς δρόμους.
2. Τον θάλαμο που περιέχει τα μηχανικά υποσυστήματα (κύριος άξονας, σύστημα πέδησης, κιβώτιο ταχυτήτων και ηλεκτρογεννήτρια) :
 - Ο κύριος άξονας με το σύστημα πέδησης (φρένα) είναι παρόμοιος με τον άξονα των τροχών ενός αυτοκινήτου με υδραυλικά δισκόφρενα.
 - Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι παρόμοιας κατασκευής με εκείνο του αυτοκινήτου μας με την διαφορά ότι έχει μόνον μια σχέση.
 - Η ηλεκτρογεννήτρια είναι παρόμοια με αυτές που χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη ή με τις γεννήτριες που έχουμε στα εξοχικά μας.

3. Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου ασφαλούς λειτουργίας. Αποτελούνται από ένα ή περισσότερα υποσυστήματα μικροελεγκτών και «φροντίζουν» για την εύρυθμη και ασφαλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας σε όλες τις συνθήκες.
4. Τα περύγια είναι κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά (υαλονήματα και ειδικές ρητίνες), παρόμοια με αυτά που κατασκευάζονται τα ιστιοπλοϊκά σκάφη. Είναι δε σχεδιασμένα για να αντέχουν σε μεγάλες καταπονήσεις.

Ως απαραίτητο εξάρτημα λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας σε αιολικό πάρκο, θα μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε και τον μετασχηματιστή μετατροπής της χαμηλής τάσης της ανεμογεννήτριας σε μέση τάση προκειμένου να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ. Ο μετασχηματιστής είναι συνήθως εγκατεστημένος δίπλα στην ανεμογεννήτρια και δεν διαφέρει κατασκευαστικά από τους μετασχηματιστές που είναι εγκατεστημένοι πάνω στους στύλους της ΔΕΗ και μάλιστα συνήθως λίγα μέτρα από τα σπίτια μας, [8].

2.5. Ενεργειακή παραγωγή των αιολικών συστημάτων.

Κατά τη διάρκεια του έτους, υπάρχουν στιγμές κατά τις οποίες δεν πνέει άνεμος ή πνέει με ταχύτητες κάτω από την ταχύτητα εκκίνησης μιας Α/Γ. Προφανώς, τα αιολικά συστήματα δεν παράγουν ενέργεια καθ' όλες τις 8760 ώρες ενός έτους. Ακόμα και όταν ένα αιολικό σύστημα παράγει ενέργεια, αυτό δεν γίνεται πάντα στην πλήρη ονομαστική του ισχύ. Έτσι απαιτείται ένα μέτρο της ενεργειακής παραγωγικότητας του αιολικού συστήματος όπως είναι ο **συντελεστής δυναμικού**, μια περιγραφική παράμετρος που καθορίζεται και χρησιμοποιείται στην ηλεκτρική βιομηχανία

Ως ενεργειακός λόγος, η παράμετρος αυτή δεν παρέχει καμία πληροφορία για τις φυσικές διεργασίες που συνδέονται με τη μετατροπή της ενέργειας που περιέχεται στον άνεμο σε ηλεκτρική ενέργεια. Απαιτείται, λοιπόν, μία περιγραφή της σχέσης μεταξύ της παραγόμενης ισχύος μιας Α/Γ ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου (**καμπύλη ισχύος**) καθώς και η μεταβολή των ταχυτήτων του ανέμου σε μια δεδομένη χρονική περίοδο (**κατανομή συχνότητας της ταχύτητας του ανέμου**). Οι συναρτήσεις αυτές μαζί, περιγράφουν το συνδυασμό των χαρακτηριστικών της ηλεκτροπαραγωγής από την Α/Γ με αυτά του καθεστώτος του ανέμου στο οποίο λειτουργεί η Α/Γ, και χρησιμοποιούνται για να προβλεφθεί ή να εκτιμηθεί η ενεργειακή της παραγωγή.

Αφού ληφθούν υπόψη οι απώλειες στο σύστημα συλλογής της ηλεκτρικής ενέργειας, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών σ' ένα αιολικό πάρκο, και άλλες απώλειες, μπορούν να αθροιστούν οι παραγωγές των μεμονωμένων Α/Γ, ώστε να διαμορφωθεί μια εκτίμηση για την ενεργειακή παραγωγή του αιολικού πάρκου. Αυτές οι εκτιμήσεις ή προβλέψεις συνηθέστερα γίνονται για ένα ημερολογιακό έτος και είναι γνωστές ως η **«ετήσια ενεργειακή παραγωγή»** της Α/Γ ή του αιολικού πάρκου.

2.6. Εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής.

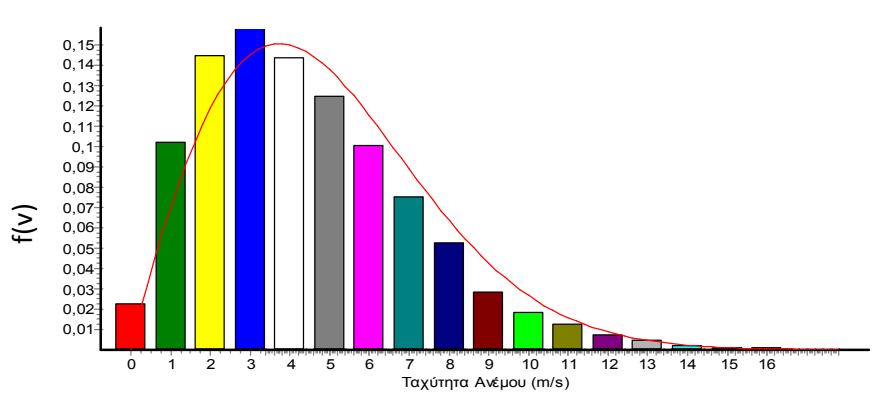
Προκειμένου να γίνει η εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής μιας ανεμογεννήτριας, απαιτείται ο υπολογισμός της ετήσιας κατανομής των ταχυτήτων του αέρα, που προσεγγίζεται με την κατανομή Weibull, και η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας. Η ένταση του αιολικού πόρου περιγράφεται ποσοτικά από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου. Η πιο συχνή στατιστική επεξεργασία που γίνεται στα αρχεία μετρήσεων είναι ο υπολογισμός της κατανομής των ταχυτήτων.

Αν χωρίσουμε το εύρος των ταχυτήτων σε διαστήματα ίσου εύρους (συνήθως 1 m/s, [0..1],[1..2],[n-1..n]) και μετρήσουμε της συχνότητες των παρατηρήσεων σε αυτά τα διαστήματα προκύπτει η κατανομή των ταχυτήτων που φαίνεται σε ράβδους στο γράφημα της **Εικόνας 2.5.1**. Η κατανομή αυτή προσεγγίζεται πολύ καλά με την διπαραμετρική κατανομή Weibull (η λεπτή κόκκινη γραμμή της **Εικόνας 2.5.1**. Στην συνάρτηση της κατανομής Weibull, εξίσωση (1) φαίνονται οι παράμετροι

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

όπου:

- c: Η παράμετρος κλίμακας της κατανομής, σχετίζεται με την μέση τιμή του ανέμου και μετριέται σε m/s
- k: Η παράμετρος μορφής της κατανομής, σχετίζεται με την μορφή της κατανομής και είναι καθαρός αριθμός.
- f(V): η συνάρτηση ως προς την ταχύτητα
- V: η ταχύτητα

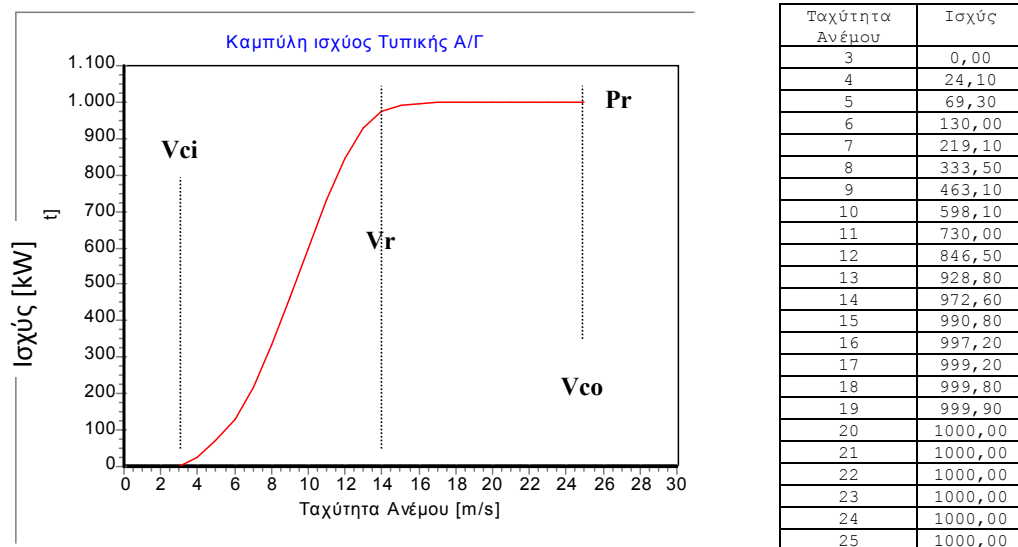


Εικόνα 2.5.1. Η καμπύλη της κατανομή Weibull, [23].

Η μέση ταχύτητα του ανέμου μπορεί να υπολογιστεί όταν δίνονται οι παράμετροι c και k από την εξίσωση (2):

$$\bar{V} = \int_{V=0}^{\infty} V \cdot f(V) dV \quad (2)$$

Όσον αφορά την ανεμογεννήτρια, η καμπύλη ισχύος της, αποτελεί την ποσοτική συσχέτιση μεταξύ της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος και της προσπίπτουσας ταχύτητας του ανέμου. Μια ανεμογεννήτρια όταν γυρνάει δεν παράγει σταθερή ισχύ αλλά η ισχύς που παράγει εξαρτάται από την ένταση του ανέμου. Η καμπύλη ισχύος μας δίνει την παραγωγή της ανεμογεννήτριας στην μονάδα του χρόνου σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου. Συνήθως δίνεται από την κατασκευάστρια εταιρεία σε μορφή πίνακα και έχει την μορφή της παρακάτω **Εικόνα 2.5.2**.



Εικόνα 2.5.2. Η καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας

Οι παρακάτω αριθμοί χαρακτηρίζουν την καμπύλη ισχύος:

- **Ταχύτητα Έναρξης (Vci)**, είναι η ταχύτητα ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει ισχύ. Η τιμή της είναι συνήθως 3-5 m/s (μέτρα το δευτερόλεπτο).
- **Ονομαστική Ταχύτητα Λειτουργίας (Vr)** είναι η ταχύτητα ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια παράγει την ονομαστική της ισχύ, συνήθως 12-15 m/s

- **Ταχύτητα Αποκοπής (V_{co})**, Είναι η ταχύτητα στην οποία η ανεμογεννήτρια σταματά την λειτουργία της και συνεπώς την παραγωγή ισχύος για λόγους ασφαλείας, συνήθως 20-25 m/s.
- **Ονομαστική Ισχύς (P_r)**: Είναι η ισχύς της ανεμογεννήτριας που αναφέρεται από τον κατασκευαστή και συνήθως είναι το υψηλότερο σημείο της καμπύλης ισχύος.

Έτσι, για κάθε ταχύτητα ανέμου εντός των ορίων λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, η παραγόμενη ενέργεια προκύπτει από το γινόμενο του αριθμού των ωρών εμφάνισης της συγκεκριμένης ταχύτητας ετησίως, με την ισχύ που αντιστοιχεί (για δεδομένη καμπύλη ισχύος). Η συνολική ετήσια ενέργεια προκύπτει από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας για όλες τις ταχύτητες που έχουμε λειτουργία.

Η συνάρτηση κατανομής της ταχύτητας του ανέμου $f(V) \cdot \Delta V$ παρέχει τον αριθμό των ωρών ανά έτος που η ταχύτητα του ανέμου κείται μέσα στο διάστημα της ταχύτητας του ανέμου ή ζώνη πλάτους ΔV , μεταξύ των τιμών V και $V + \Delta V$).

Η καμπύλη ισχύος $P(V)$ είναι η συνεχής συνάρτηση που προσδιορίζει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος της ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου.

Οι δύο αυτές συναρτήσεις, δηλ. η κατανομή συχνότητας της ταχύτητας του ανέμου και η καμπύλη ισχύος της Α/Γ, όταν πολλαπλασιαστούν μεταξύ τους και αθροιστούν για όλες τις ταχύτητες του ανέμου (όλες τις τιμές του δείκτη k) παρέχουν μια εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής, εξίσωση (3) :

$$ΕΕΠ = (\text{ώρες/έτος}) \cdot \Delta V \cdot \sum_{k=1}^N (F_k \cdot P_k) = (8760 \text{ ώρες/έτος}) \cdot (0,5 \text{ m/s}) \cdot \sum_{k=1}^N (F_k \cdot P_k) \quad (3)$$

όπου N είναι ο συνολικός αριθμός των ζωνών. Η εξίσωση (3) μπορεί να εφαρμοσθεί για να εκτιμηθεί η ετήσια η ενεργειακή παραγωγή (σε Wh/έτος) η οποία αναμένεται από την Α/Γ με μια συγκεκριμένη καμπύλη ισχύος που λειτουργεί στο καθεστώς ανέμου που περιγράφεται από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγόμενη ενέργεια μιας Α/Γ είναι

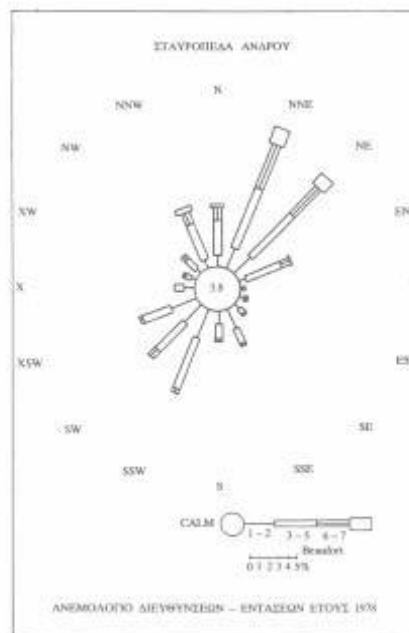
- η διαθεσιμότητα της μηχανής
- οι απώλειες μεταφοράς και
- ο βαθμός απόδοσης του αιολικού πάρκου.

Η διαθεσιμότητα εκφράζει το ποσοστό του χρόνου, που είναι διαθέσιμη η μηχανή για να λειτουργήσει και εκφράζεται με τον Συντελεστή Διαθεσιμότητας (Σ.Δ.).

Ο βαθμός απόδοσης του αιολικού πάρκου, εκφράζει τις απώλειες που έχουμε λόγω αλληλεπίδρασης ανεμογεννητριών σε αιολικά πάρκα, και οφείλεται κατά κύριο λόγο στο έλλειμμα ταχύτητας που παρουσιάζεται στον ομόρροο της ανεμογεννήτριας, [9].

2.7. Ρόδο ανέμου

Το ροδόγραμμα ανέμου μιας περιοχής είναι ένα αρκετά εποπτικό διάγραμμα, που δίνει αμέσως την ένταση του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή και την διάρκεια πνοής του, από κάθε κατεύθυνση. Στο κέντρο εμφανίζεται το ποσοστό της άπνοιας ετησίως.



Σχήμα 2.6.1. Ροδόγραμμα ανέμου[10]

Για να γίνει το ρόδο ανέμου μιας περιοχής είναι απαραίτητο να γίνουν μετρήσεις με μεγάλη χρονική διάρκεια (τουλάχιστον 10 χρόνια) για να θεωρούνται αξιόπιστες,[10].

2.8. Πεδίο ροής ομόρρου ανεμογεννήτριας

Ως ομόρρου μιας ανεμογεννήτριας θεωρούμε την κατάντι σε αυτήν περιοχή της ροής, όπου σε σχέση με την προσπίπτουσα στη μηχανή ροή του ανέμου, παρατηρείται σημαντικό έλλειμμα της ροής. Το έλλειμμα αυτό της ταχύτητας, αντιστοιχεί στην κινητική ενέργεια που απορρόφησε η μηχανή.

Ο σπουδαιότερος παράγοντας που επηρεάζει τη φύση της ροής του ομόρρου, είναι η **ώση**. Αυτή είναι μια δύναμη από το δρομέα στο ρευστό, η οποία προκύπτει λόγω της εξαγωγής ισχύος από τη ροή. Η δύναμη αυτή ενεργεί στη διεύθυνση της ταχύτητας του αδιατάραχτου ρεύματος. Σημαντικοί παράγοντες είναι επίσης η επίδραση του πύργου, η επίδραση του εδάφους, το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, τα επίπεδα τύρβης της ροής του ανέμου και άλλοι, [9].

2.8.α. Βαθμός απόδοσης αιολικού πάρκου

Ο βαθμός απόδοσης αιολικού πάρκου εκφράζει τις απώλειες που έχουμε λόγω της αλληλεπίδρασης λόγω ομόρρου των ανεμογεννητριών ενός αιολικού πάρκου και ορίζεται από

την σχέση:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{n_T} P_i}{n_T \cdot P_W}$$

όπου n_T είναι το συνολικό πλήθος των ανεμογεννητριών του πάρκου,

P_i η ισχύς της i -οστής ανεμογεννήτριας και

P_W η ισχύς που αντιστοιχεί στην ταχύτητα αναφοράς του ανέμου, και εκφράζει την ισχύ που θαπαρήγαγε κάθε ανεμογεννήτρια αν λειτουργούσε μόνη της.

Ο βαθμός απόδοσης αιολικού πάρκου, έτσι όπως ορίστηκε, αναφέρεται σε συγκεκριμένη ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου. Για να υπολογιστεί ο ετήσιος βαθμός απόδοσης του πάρκου, πρέπει να ληφθεί υπόψη η συχνότητα εμφάνισης κάθε ταχύτητας και διεύθυνσης.

Για τον υπολογισμό είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου, αναλυτικά ανεμολογικά δεδομένα, τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών (γεωμετρικά χαρακτηριστικά, καμπύλη ισχύος και συντελεστή ώσης), [9].

3. Υπολογιστικό πρόγραμμα Wasp

Η παρακάτω περιγραφή αποτελεί ελεύθερη μετάφραση από το εγχειρίδιο “**Getting Started with WASP 8**”, [11].

3.1 Περιγραφή του προγράμματος

Το WASP, είναι ένα υπολογιστικό πρόγραμμά που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού περιοχών, οι οποίες είναι υποψήφιες για την εγκατάστασή αιολικών πάρκων. Έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει νομολογικά στοιχεία όπως μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου και ετήσια παραγωγή ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία του εδάφους και τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής καθώς και άλλες σχετικές παραμέτρους που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του ανέμου. Η εισαγωγή των αναγκαίων δεδομένων καθώς και των υπολογισμών των μεγεθών που μας ενδιαφέρουν αναφέρονται παρακάτω.

Ανάλυση ανεμολογικών δεδομένων .

Ένας μετεωρολογικός ιστός χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ένας ανεμολογικός άτλαντας της περιοχής. Αντιπροσωπεύει ένα μέρος συλλογής δεδομένων που βρίσκονται κάπου στο χάρτη. Ένας ιστός (δηλ. τα όργανα του ιστού) συλλέγει δεδομένα μόνο από την θέση που βρίσκεται πάνω στο χάρτη και σχετίζεται με τις ανεμολογικές συνθήκες που παρατηρούνται στο ιστό. Μπορεί όμως να επηρεάζεται και από μια ομάδα εμποδίων, τα οποία βρίσκονται γύρο από το σταθμό αλλά και από την περιγραφή της τραχύτητας της γύρο περιοχής .

Άτλαντας Αέρα.

Ένας ανεμολογικός άτλαντας του WASP περιέχει δεδομένα που περιγράφουν ανεξάρτητα χαρακτηριστικά για τις συνθήκες αέρα της περιοχής.

Το μοντέλο του WASP προσομοιώνει την ανάλυσή των ανεμολογικών δεδομένων που συλλέγονται από τους μετεωρολογικούς ιστούς για να παραχθεί ένας άτλαντας αέρα ο οποίος στη συνέχεια θα υπολογίσει τις συνθήκες ανέμου (και την παραγωγή ενέργειας) για την περιοχή τοποθέτησής των ανεμογεννητριών.

Ένας ανεμολογικός άτλαντας είναι απλά ένα στατικό αρχείο δεδομένων.

Εκτίμηση της αιολική ισχύος.

Το WASP υπολογίζει την συνολική ενεργειακή απόδοση που αναλογεί στη μέση τιμή της ταχύτητας του αέρα. Επιπλέον, το WASP, μπορεί να δώσει μια εκτίμηση της πραγματικής, ετήσιας μέσης ενεργειακής παραγωγής μιας ανεμογεννήτριας, εάν του δοθούν τα χαρακτηριστικά της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας.

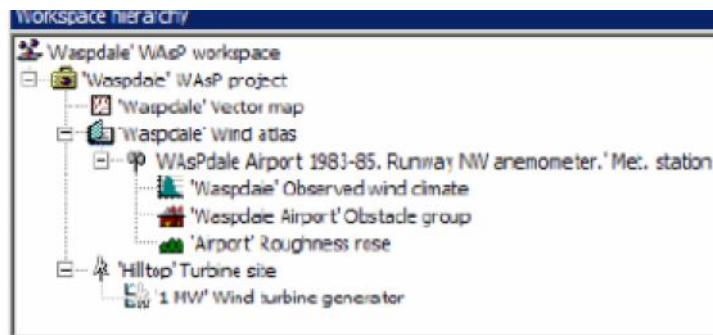
Υπολογισμός της παραγωγής αιολικών πάρκων.

Λαμβάνοντας υπόψη την καμπύλη ισχύος, τον συντελεστή ισχύος(Ct) της ανεμογεννήτριας και την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου, το WASP μπορεί τελικά να υπολογίσει τις απώλειες ορόρου για κάθε ανεμογεννήτρια και με αυτόν τον τρόπο να υπολογίσει την καθαρή ετήσια ενεργειακή παραγωγή κάθε ανεμογεννήτριας αλλά και ολόκληρου του πάρκου, δηλ. η ακαθάριστη παραγωγή μείον τις απώλειες ορόρου.

3.1.1 Ο χώρος εργασίας του WASP

Όταν ένας χώρος εργασίας είναι ανοικτός στο WASP, το περιεχόμενο του χώρου εργασίας οργανώνεται σε μια ιεραρχία. Τα στοιχεία στην ιεραρχία καλούνται μέλη της ιεραρχίας.

Η ιεραρχία αντιπροσωπεύεται οπτικά σε ένα ιεραρχικό δέντρο, παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται στον Windows Explorer. Κάθε μέλος αντιπροσωπεύεται από μια εικόνα και κάποιο κείμενο. Η ρίζα καλεί την ιεραρχία χώρου εργασίας, σε είναι σαφές πλαίσιο(παράδειγμα Εικόνα: 3.1)



Εικόνα 3.1.Η ιεραρχία του χώρου εργασίας

Στην κορυφή της ιεραρχίας είναι η ρίζα χώρου εργασίας. Τα μέλη μπορούν να είναι γονείς ή παιδιά το ένα του άλλο. Δύο μέλη που μοιράζονται τον ίδιο γονέα καλούνται αμφιθαλείς, ή συνομήλικα. Η ρίζα χώρου εργασίας δεν μπορεί να έχει έναν γονέα, αλλά όλα τα άλλα μέλη έχουν πάντα έναν γονέα.

3.1.2 Η ιεραρχία καθορίζει την διαμόρφωση του μοντέλου

Η οργάνωση των μελών στην ιεραρχία διαμορφώνει την ένωση μεταξύ των μελών. Τα μέλη και οι ενώσεις τους αντιπροσωπεύουν μαζί μια περιγραφή της κατάστασης, η οποία διαμορφώνεται. Η εργασία στο WASP γίνεται με την προσθήκη, την απομάκρυνση, την κίνηση και το χειρισμό των μελών της ιεραρχίας για να αλλάξει η διαμορφωμένη κατάσταση.

Η ιεραρχία επιβάλλει τους κανόνες που κυβερνούν τις πιθανές ενώσεις γονέα-παιδιών μεταξύ των διαφορετικών τύπων μελών ιεραρχίας. Μερικοί τύποι μελών δεν μπορούν ποτέ να είναι παιδιά μερικών άλλων τύπων μελών, και μερικοί τύποι μελών δεν μπορούν να έχουν καθόλου παιδιά.

Κατά τη λειτουργία του WASP, όλοι οι σημαντικοί στόχοι της διαμόρφωσης πρέπει να γίνουν σε ένα project και όχι στο χώρο εργασίας. Ένα project είναι ένα περιβάλλον διαμόρφωσης. Η περιοχή του χώρου εργασίας είναι μια περιοχή διαμόρφωσης, ή ένας τρόπος εργασίας διάφορων projects συγχρόνως.

3.1.3 Τα μέλη της ιεραρχίας και τα αρχεία τους

Το WASP χρησιμοποιεί τα αρχεία των μελών για να μπορέσει να εξαγάγει τα αποτελέσματα. Τα περισσότερα μέλη της ιεραρχίας αντιπροσωπεύουν τα αρχεία στοιχείων του WASP στον υπολογιστή. Τα μέλη μπορούν να θεωρηθούν ως αντίγραφα αυτών των αρχείων και σκοπός της ιεραρχίας αυτής είναι να αντιπροσωπεύσει τις σχέσεις διαμόρφωσης μεταξύ των μελών. Η οργάνωση των μελών στην ιεραρχία δεν συσχετίζεται με τη ρύθμιση των αντίστοιχων στοιχείων των αρχείων τους στον υπολογιστή. Τα μέλη μπορούν να είναι:

- εισερχόμενα στην ιεραρχία (π.χ. νέα αρχεία)
- εισερχόμενα στην ιεραρχία από το κάποιο αρχείο
- σωζόμενα ή εξαγόμενα ως αρχεία
- σωζόμενα σε ένα αρχείο με ένα διαφορετικό όνομα
- αφαιρούμενα από την ιεραρχία

Όταν στο WASP εργαζόμαστε με τα μέλη ιεραρχίας, τίποτα δεν γράφεται στο αρχικό περιεχόμενο των αρχείων των μελών μέχρι να οριστούν οι αλλαγές. Αυτό γίνεται επειδή η εργασία στο WASP γίνεται με τα αντίγραφα των αρχείων των στοιχείων, για μερικά μέλη της ιεραρχίας, τα οποία αποθηκεύονται μαζί με όλες τις πληροφορίες στη μνήμη.

3.1.4 Διαφορετικά μέλη, διαφορετικοί ρόλοι

Μερικά μέλη συντηρούν τις πληροφορίες για τη ρύθμιση των παιδιών τους. Όταν αυτά τα μέλη ανοίγονται πάλι, ανοίγουν αυτόματα και όλα τα παιδιά τους στο χώρο εργασίας. Η ίδια η ρίζα χώρου εργασίας είναι ένα τέτοιο μέλος, έτσι όταν ανοίγουμε πάλι έναν χώρο εργασίας, όλα τα μέλη που ήταν στο χώρο εργασίας την τελευταία φορά που σώθηκαν θα ανοιχτούν πάλι με όλα την ιεραρχία.

Τα Projects συντηρούν επίσης τις πληροφορίες για τα παιδιά μετά από κάθε υπολογισμό. Όλα τα μέλη είναι κατά ένα μεγάλο μέρος αρμόδια για τα στοιχεία εκμετάλλευσης, και δεν συντηρούν τις πληροφορίες για την οργάνωση της ιεραρχίας. Αυτά τα μέλη της ιεραρχίας έχουν παράθυρα και μπορούν να ανοιχτούν στη δεξιά πλευρά του κύριου παραθύρου, που επιτρέπει στα στοιχεία τους να εμφανιστούν και, σε μερικές περιπτώσεις, να διαχειριστούν.

3.1.5 Εισαγωγή των μελών της ιεραρχίας

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μελών ιεραρχίας, οι οποίοι μπορούν να εμφανιστούν στο χώρο εργασίας, παρακάτω δίνεται μια συνοπτική περιγραφή τους.



Υπάρχει πάντα μια ρίζα σε κάθε χώρο εργασίας. Τοποθετείται στην κορυφή της ιεραρχίας και δεν έχει κανέναν γονέα. Η ρίζα του χώρου εργασίας μπορεί να έχει ως μέλη οποιουδήποτε τύπου παιδιά, αλλά, όταν ένας προηγούμενος σωζόμενος χώρος εργασίας ανοίξει, τότε, όλα τα παιδιά του χώρου εργασίας θα ανοίξουν μαζί της.



Τα Projects χρησιμοποιούνται για να διαχειριστούν τις σχετικές ομάδες των μελών της ιεραρχίας. Τα Projects προσφέρουν διάφορες εκδοχές, οι οποίες θα καθορήσουν εύκολα την εκτέλεση της διαδικασίας που είναι σχετική με όλα τα μέλη του προγράμματος. Τα Projects είναι πάντα παιδιά της ρίζας χώρου εργασίας. Όταν ένα σωζόμενο Project ανοίξει, τότε εμφανίζονται και όλα τα παιδιά του. Τα Project μπορούν να σωθούν και να χρησιμοποιηθούν σε άλλους χώρους εργασίας.

Vector map

Το WASP χρησιμοποιεί χάρτες για να πάρει πληροφορίες για την τοπογραφία και τα χαρακτηριστικά τραχύτητας της περιοχής. Οι χάρτες μπορούν να εμφανιστούν σε διάφορες θέσεις στην ιεραρχία του χώρου εργασίας, αλλά το κάθε project έχει ένα μόνο χάρτη.

Wind atlas (regional wind climate)

Οι άτλαντες αέρα-**wind atlas**- (ή περιφερειακό κλίμα αέρα) είναι κεντρικά μέλη στην ιεραρχία. Ένας άτλαντας αέρα WASP περιέχει τα στοιχεία περιγραφής της περιοχής-ανεξάρτητα από τα χαρακτηριστικά του κλίματος αέρα. Το WASP χρησιμοποιεί την ανάλυση των μετρήσεων του αέρα που συλλέγονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς για να παραγάγουν τους άτλαντες αέρα (και την παραγωγή ισχύος) στη θέση του πάρκου.

Ένας άτλαντας αέρα με τη χρήση μια κλειστής εικόνα βιβλίου είναι απλά ένα στατικό αρχείο στοιχείων. Μια ανοικτή εικόνα βιβλίου χρησιμοποιείται όταν άτλαντας αέρα συνδέεται με έναν μετεωρολογικό σταθμό που θα υπολογίσει εκ νέου τα χαρακτηριστικά του αέρα αλλάζοντας τον άτλαντα.

Met. station

Ένας μετεωρολογικός σταθμός (**met.station**) χρησιμοποιείται για να υπολογίσει έναν άτλαντα αέρα. Αντιπροσωπεύει μια περιοχή συλλογής δεδομένων που βρίσκεται κάπου στο χάρτη. Ένας μετεωρολογικός σταθμός δεν έχει άλλη πληροφορία εκτός από τη θέση και το ύψος του και συνδέεται με το κλίμα αέρα που έχει παρατηρηθεί στο σταθμό. Μπορεί να συνδεθεί και με έναν κατάλογο εμποδίων που μπορεί να τον περιβάλλουν καθώς και με ένα ρόδο τραχύτητας για τη θέση.

Observed wind climate

Μια παρουσίαση των στοιχείων του κλίματος του αέρα που καταγράφηκε από έναν μετεωρολογικό σταθμό ονομάζεται **(παρατηρούμενο κλίμα αέρα-observed wind climate- OWC)**. Αποτελείται από ένα ρόδο ανέμου (ρόδο συχνότητας Διεύθυνσης αέρα) σε διάφορες κατανομές συχνότητας ταχύτητας αέρα - μια για κάθε τομέα.

Turbine site

Μια θέση ανεμογεννήτριας(**turbine site**) χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την παραγωγή ισχύος που θα προέκυπτε από την τοποθέτησή της σε μια θέση στο χάρτη. Μια θέση ανεμογεννήτριας δεν έχει κανένα άλλο στοιχείο εκτός από τη θέση της στο χάρτη και το ύψος πλήμνης . Η θέση μιας ανεμογεννήτριας μπορεί να συνδεθεί με μια λίστα εμποδίων που την περιβάλλουν καθώς επίσης και με μια περιγραφή της τραχύτητας της θέσης.

Wind farm

Με Αιολικό πάρκο (**wind farm**) συμβολίζουμε το σύνολο των ανεμογεννητριών που αποτελούν μια ομάδα μηχανών. Τα αιολικά πάρκα μας βοηθούν να εργαστούμε σε διάφορες περιοχές από κοινού. Εκτός από τις εκτιμήσεις του κλίματος αέρα και της παραγωγής ισχύος του αιολικού πάρκου και των ανεμογεννητριών, τα μέλη του αιολικού πάρκου αποθηκεύουν επίσης πληροφορίες για τις απώλειες ορόρου στο αιολικό πάρκο.

Resource grid

Το πλέγμα του αέρα (**resource grid**) είναι μια χρωματική συλλογή των στοιχείων του αέρα για την περιοχή των ανεμογεννητριών. Εδώ οι περιοχές οροθετούνται σε ένα κανονικό πλέγμα που καλύπτει μια περιοχή. Η επέκταση του πλέγματος και του μεγέθους των κυττάρων που το αποτελούν μπορεί να επιλεγεί για να χαρτογραφήσει το κλίμα του αέρα οπουδήποτε στο χάρτη - και με περισσότερη λεπτομέρεια όπου απαιτείται.

Wind turbine generator

Η καμπύλη ισχύος σαν μέλος των ανεμογεννητριών περιγράφει τον τρόπο που μεταβάλλεται η παραγωγή ισχύος σε μια ανεμογεννήτρια, σε σχέση με την επιτάχυνσή του αέρα. Παράλληλα

δίνει πληροφορίες για τον συντελεστή ισχύος (Ct) της μηχανής. Μπορεί να συνδεθεί με μια ή με πολλές θέσης ανεμογεννητριών ή με αιολικά πάρκα.



Μια ομάδα εμποδίων (**obstacle group**) είναι μια περιγραφή μερικών εμποδίων που μπορούν να συνδέονται με μια ή περισσότερες θέσεις.







Μια εναλλακτική λύση της παροχής των πληροφοριών τραχύτητας σε έναν χάρτη είναι να παρασχεθεί μια θέση με ένα συγκεκριμένο ρόδο, για σαφέστερη περιγραφή. Οι θέσεις των μηχανών και οι μετεωρολογικοί σταθμοί συνδέονται με την περιγραφή της τραχύτητας (ρόδα).

3.1.6 Διαμόρφωση με τα μέλη ιεραρχίας

Η μοντελοποίηση στο WAsP περιλαμβάνει:

- ανάλυση των μετρήσεων του αέρα για να υπολογιστεί το ευρύτερο κλίμα του αέρα (άτλαντας αέρα)
- εφαρμογή των ατλάντων αέρα στις θέσεις των ανεμογεννητριών για να υπολογίσει μια
- εκτίμηση του κλίματος και την ισχύ του αέρα σε αυτές.

Στην ιεραρχία του χώρου εργασίας, αυτές οι εργασίες υπολογισμού εκτελούνται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς () τις θέσεις των μηχανών () τα αιολικά πάρκα () και το πλέγμα της ροής του αέρα ().

3.2 Τα εργαλεία του WAsP

Από το μενού tools χρησιμοποιούμε τα προκαταρκτικά προγράμματα που χρησιμοποιούνται για να ξεκινήσουμε να δουλεύουμε στο WAsP:



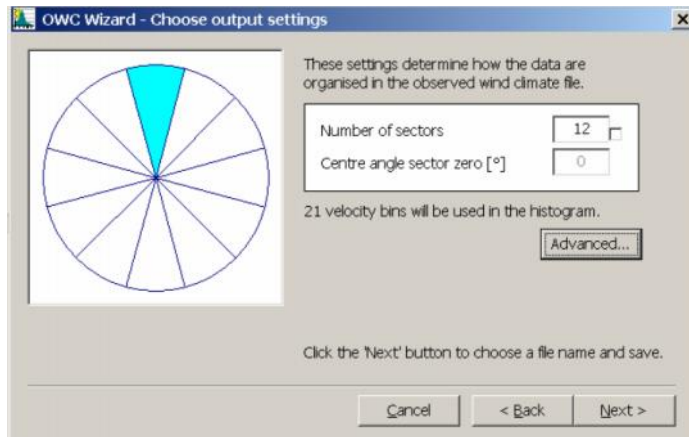
Εικόνα: 3.2.1 Εργαλεία χρήσης του WAsP

Τα παρακάτω εργαλεία είναι διαθέσιμα:

- WAsP OWCWizard
- WAsP MapEditor
- WAsP TurbineEditor.
- WAsP AirDensityCalculator

3.2.1 Το πρόγραμμα WAsP OWC Wizard

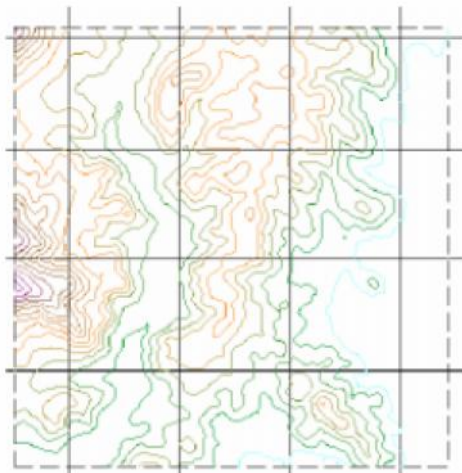
Τα δεδομένα διασποράς (raw data) που προέρχονται από μετρήσεις μπορούν να εισαχθούν στο πρόγραμμά με τη μορφή αρχείων δεδομένων (.dat), αρχείων ή κειμένου (.prn). Η εισαγωγή γίνεται με τη βοήθειά του OWC Wizard (Εικόνα: 3.3.1), ενός προγράμματός ειδικά για αυτό το σκοπό, το οποίο συνοδεύει το WAsP. Το OWC Wizard δημιουργεί έτσι ένα ρόδο ανέμου που αντιστοιχεί στις μετρήσεις. Για την εισαγωγή των raw data πρέπει να γνωρίζουμε το ύψος του ανεμομέτρου από το οποίο προέρχονται οι μετρήσεις και το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της θέσης μέτρησης.



Εικόνα: 3.2.1 : Μορφοποίηση του ρόδου ανέμου που θα χρησιμοποιήσει το WAsP

3.2.2 Το εργαλείο WAsP Map Editor

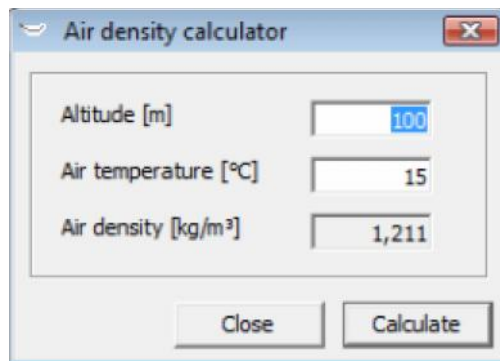
Οι ψηφιακοί χάρτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το WAsP είναι διαφόρων μορφών αρχεία όπως dxf, srf (AutoCAD, Surfer) κ.α. Η μετατροπή αυτών των ψηφιοποιημένων χαρτών, σε αναγνώσιμη από το WAsP μορφή, γίνεται μέσα από το πρόγραμμα WAsP Map Editor και τα αρχεία που δημιουργούνται από αυτό το πρόγραμμα έχουν κατάληξη .map



Εικόνα:3.2.2. Ψηφιοποιημένος χάρτης όπως φαίνεται από το map editor.

3.2.3 Ο υπολογιστής της πυκνότητας του αέρα

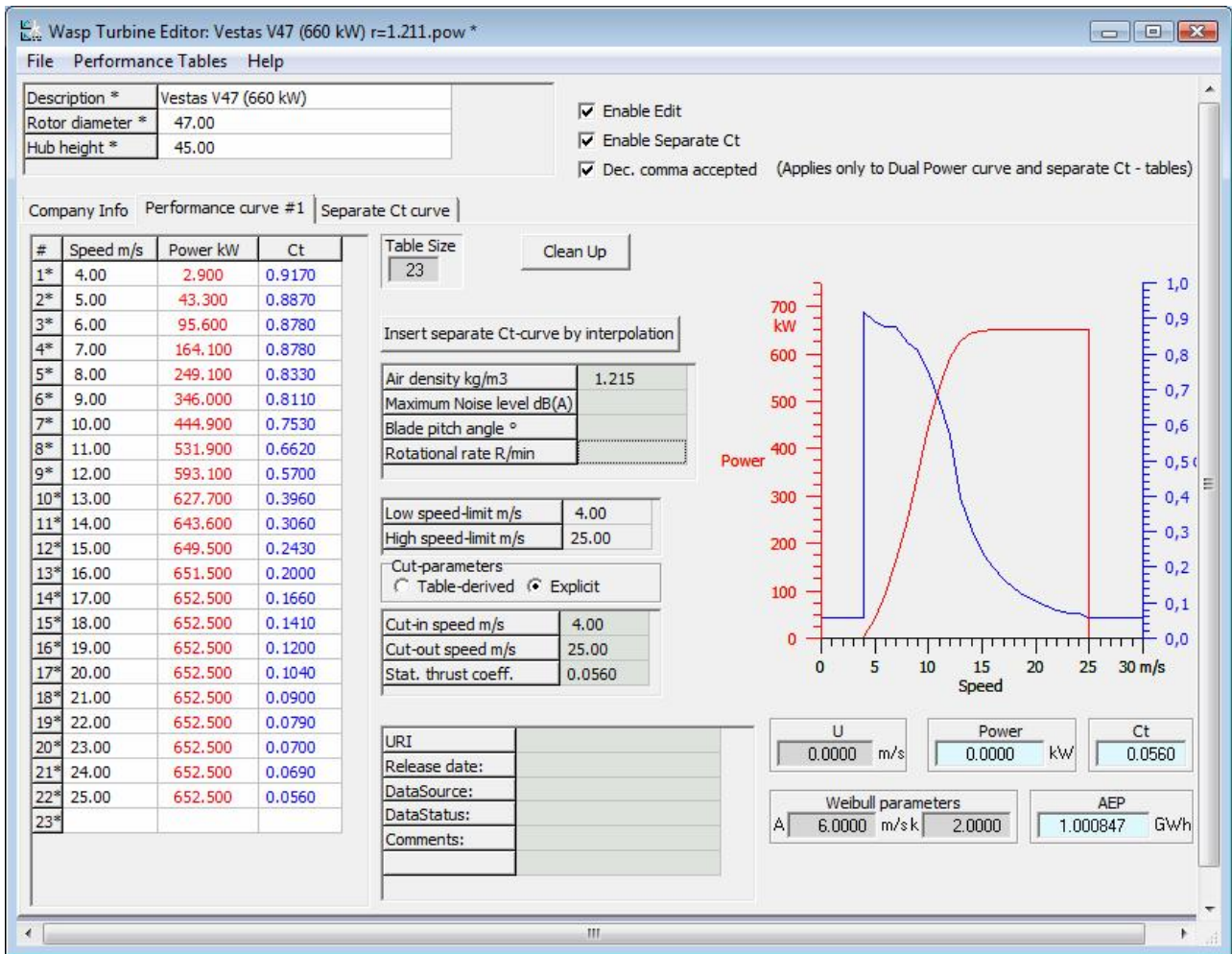
Ο υπολογιστής της πυκνότητας στο WASP υπολογίζει την πυκνότητα του αέρα σε $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ως συνάρτηση του ύψους h και της μέσης θερμοκρασία του αέρα στο ίδιο ύψος. Ένα ποσοστό σφάλματος 6,5 K/km και μια ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνια της θάλασσας 1013,25 hPa έχει ληφθεί υπόψη κατά τον υπολογισμό.



Εικόνα: 3.2.3. Το παράθυρο υπολογισμού της πυκνότητας

3.2.4 The Turbine Editor

Ο Turbine Editor του WASP μας βοηθά να δώσουμε τα σωστά χαρακτηριστικά ισχύος των μηχανών που θα χρησιμοποιηθούν, έτσι ώστε, να μπορέσει το WASP να υπολογίσει την παραγόμενη ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες, αλλά και τις απώλειες ορόρου του πάρκου. Τα στοιχεία ισχύος για κάθε τύπο ανεμογεννήτριας δίνονται από την κατασκευαστή Έτσι συμπληρώνοντας τον πίνακα προκύπτει ή καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας Παράλληλα με την καμπύλη ισχύος πρέπει να συμπληρωθεί και η στήλη της που δίνει το συντελεστή ισχύος C_t για κάθε τιμή της ταχύτητας άνεμου.



Εικόνα: 3.2.4 : Το περιβάλλον εργασίας του turbine editor στο οποίο ορίζουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των ανεμογεννητριών.

3.3 Εφαρμογές-Χρήση του Wasp στην Ελλάδα και στο εξωτερικό

Το μοντέλο WAsP αναπτύχθηκε κυρίως για εφαρμογές στην ενδοχώρα και η λειτουργικότητά του σε περιοχές πέρα από την ακτή είναι αμφισβητήσιμη και αυτό γιατί:

- Η ταχύτητα της επιφάνειας της θάλασσας εξαρτάται από το επίπεδο των κυμάτων και δεν είναι σταθερή, όπως τη θεωρεί το WAsP.
- Η κατάσταση της ατμόσφαιρας επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του ανέμου που έχουν διαπιστωθεί στην περιοχή (προφίλ ανέμου) και σε περιοχές πέρα από την ακτή μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου. Το WAsP χρησιμοποιεί ένα μέσο προφίλ που είναι ανεξάρτητο από την πραγματική θερμική κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή.
- Η ασυνέχεια της ξηράς-θάλασσας δημιουργεί ένα εσωτερικό οριακό στρώμα (IBL- internal boundary layer) που εξαρτάται πάρα πολύ από τη σταθερότητα της ατμόσφαιρας. Το WAsP χρησιμοποιεί και εδώ ένα μέσο οριακό στρώμα, [12].

Γενικά, με την ολοένα και μεγαλύτερη ανάπτυξη των αιολικών εγκαταστάσεων, νέες προκλήσεις έρχονται στο φως. Καλύτερη τοποθέτηση των αιολικών πάρκων σε βραχώδη και κρύα κλίματα καθώς και σε πολύπλοκα εδάφη, καλύτερη πρόβλεψη της ταχύτητας του ανέμου και καλύτερα μοντέλα πρόβλεψης της παραγόμενης και ζητούμενης ισχύος είναι μερικές από τις προκλήσεις αυτές. Η αυξανόμενη δυνατότητα των ηλεκτρονικών υπολογιστών αναμένεται ότι θα βοηθήσει πάρα πολύ στη δημιουργία νέων μοντέλων προβλέψεως σε όλους τους τομείς. Τεχνικές που θα παρέχουν πληροφορίες από διάφορες πηγές (πχ δορυφόροι, μοντέλα κτλ) θα επιτρέψουν την καλύτερη τοποθέτηση αιολικών πάρκων πέρα από την ακτή (offshore) και θα βοηθήσουν στην καλύτερη θεωρητική ανάπτυξη του τομέα αυτού. Η συνεργασία με την μετεωρολογία θα δώσει βελτιωμένη ακρίβεια στις βραχυπρόθεσμες προβλέψεις αιολικής ισχύος. Τέλος, όλα τα επίπεδα καιρού, μέχρι και οι κλιματικές αλλαγές, πρέπει να μελετηθούν ώστε να διαμορφωθεί καλύτερη εικόνα για τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στην τοποθεσία ενός αιολικού πάρκου,[13].

3.3.1 Εφαρμογές στο εξωτερικό

Η μεθοδολογία ανάπτυξης του άτλαντα ανέμου και το πρόγραμμα WASP έχει εφαρμοστεί σε περισσότερες από 110 χώρες και περιοχές σε όλο τον κόσμο, για εθνικές, περιφερειακές και τοπικές μελέτες. Ο κατάλογος των μεγάλων εθνικών και περιφερειακών μελετών – οι οποίες, περιέχουν WASP αρχεία δεδομένων - παρατίθεται κατωτέρω.

Algeria: Hammouche, R. (1991). Atlas Vent de l'Algérie. In French. Office National de la Météorologie, Alger. 150 pp.

Australia : Dear, S.J., M.J. Bell and T.J. Lyons (1990). Western Australian Wind Atlas. Report No. 64, Minerals and Energy Research Institute of Western Australia.

Austria : Dobesch, H. and G. Kury (1997). Wind Atlas for the Central European countries Austria, Croatia, Czech Republic, Hungary, Slovak Republic and Slovenia. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 16, 105 pp. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

Belgium : [European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

Brazil : Barbezier, G.L., E.A. Feitosa and J.S. Rohatgi (1999). Wind Atlas for the Northeast Region of Brazil. WANEB version 1.0. Brazilian Wind Energy Centre.

Croatia : Dobesch, H. and G. Kury (1997). Wind Atlas for the Central European countries Austria, Croatia, Czech Republic, Hungary, Slovak Republic and Slovenia. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 16, 105 pp. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

Czech Republic : Dobesch, H. and G. Kury (1997). Wind Atlas for the Central European countries Austria, Croatia, Czech Republic, Hungary, Slovak Republic and Slovenia. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 16, 105 pp. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

Hosek, J., J. Jez, J. Svoboda and J. Stekl (2004). Comparison of the mean wind speed fields computed by three models over the area of the Czech Republic. DEWI Magazin Nr. 24, 66-71.

Denmark

Petersen, E.L., I. Troen, S. Frandsen and K. Hedegaard (1981). Danish Windatlas. A rational method of wind energy siting. Risø-R-428. Risø National Laboratory, Roskilde. 229 pp.

[European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

Mortensen, N.G., L. Landberg, O. Rathmann, G. Jensen and E.L. Petersen (1999). Wind Atlas Analysis of 24 Danish Stations (1987-96). In preparation for publication as Risø-R-1092(EN). Risø National Laboratory, Roskilde.

Energy and Environmental Data and Risø National Laboratory (1999). [Wind Resource Atlas for Denmark 1999](#).

Egypt

Mortensen, N.G. and Usama Said Said (1996). [Wind Atlas for the Gulf of Suez. Measurements and modeling 1991-95](#). Risø National Laboratory, Roskilde; New and Renewable Energy Authority, Cairo. ISBN 87-550-2143-3. 114 pp.

Mortensen, N.G., U. Said Said, H.P. Frank, L. Georgy, C.B. Hasager, M. Akmal, J.C. Hansen and A. Abdel Salam (2003). [Wind Atlas for the Gulf of Suez. Measurements and Modelling 1991-2001](#). New and Renewable Energy Authority, Cairo, and Risø National Laboratory, Roskilde. ISBN 87-550-3195-1. 196 pp.

Mortensen, N.G., J.C. Hansen, J. Badger, B.H. Jørgensen, C.B. Hasager, L. Georgy Youssef, U. Said Said, A. Abd El-Salam Moussa, M. Akmal Mahmoud, A. El Sayed Yousef, A. Mahmoud Awad, M. Abd-El Raheem Ahmed, M. A.M. Sayed, M. Hussein Korany, M. Abd-El Baky Tarad (2005). [Wind Atlas for Egypt, Measurements and Modelling 1991-2005](#). New and Renewable Energy Authority, Egyptian Meteorological Authority and Risø National Laboratory. ISBN 87-550-3493-4. 258 pp.

Estonia : Rathmann, O. (2003). The UNDP/GEF Baltic Wind Atlas. [Risø-R-1402\(EN\)](#). Risø National Laboratory, Roskilde. 36 pp.

Europe : Troen, I. and E.L. Petersen (1989). [European Wind Atlas](#). ISBN 87-550-1482-8. Risø National Laboratory, Roskilde. 656 pp.

Finland

Tammelin, B. (1991). Suomen Tuuliatlas. Vind Atlas för Finland (Wind Atlas for Finland). In Finnish/Swedish. Finnish Meteorological Institute, Helsinki. 355 pp.

Finnish Meteorological Institute (2010). [Finnish Wind Atlas](#). Finnish Meteorological Institute, Helsinki.

France : [European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

Georgia : Gelovani, M., G. Chikvaidze, V. Eristavi, N. Lobdjanidze, S. Rogava, M. Rishkov, E. Sukhishvili, O. Tusishvili, A. Zedginidze and I. Zedginidze (2004). Wind Energy Atlas of Georgia. Volume I: Regional estimations. Edited by A. Zedginidze; Advisor: L. Horowicz. Karenergo Scientific Wind Energy Center, Tbilisi, 285 pp. ISBN 99928-0-910-8.

Germany

[European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

Traup, S. and B. Kruse (1996). Wind und Wind-energiepotentiale in Deutschland. Winddaten für Windenergienutzer. In German. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main. 445 pp.

Greece : [European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

Greenland : Mortensen, N.G. and L. Landberg (1993). Wind Energy in selected townships of Greenland: Qasigiannqut, Sisimiut and Narsaq. In Danish. Prepared for Nukissiorfiit/Greenland Power Company. [Risø-I-718\(DA\)](#). Risø National Laboratory, Roskilde. 37 pp.

Hungary : Dobesch, H. and G. Kury (1997). Wind Atlas for the Central European countries Austria, Croatia, Czech Republic, Hungary, Slovak Republic and Slovenia. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 16, 105 pp. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

India : Centre for Wind Energy Technology (2010). [Indian Wind Atlas](#). ISBN 978-81-909823-0-6.

Ireland : [European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

Watson, R. and L. Landberg (2002). The Irish Wind Atlas. University College Dublin, Dublin. In preparation.

Italy : [European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

Jordan : Højstrup, J. (1989). Wind Atlas for Jordan. Risø National Laboratory, Ministry of Energy and Mineral Resources, Jordan Electrical Authority, and Jordan Meteorological Department. 86 pp.

Latvia : Rathmann, O. (2003). The UNDP/GEF Baltic Wind Atlas. [Risø-R-1402\(EN\)](#). Risø National Laboratory, Roskilde. 36 pp.

Lithuania : Rathmann, O. (2003). The UNDP/GEF Baltic Wind Atlas. [Risø-R-1402\(EN\)](#). Risø National Laboratory, Roskilde. 36 pp.

Luxembourg : [European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

Mali : Badger, J., S. Larsen, K. Rasmussen, T.T. Nielsen, L.B. Hansen, A. Mariko, I. Togola and Ivan Nygård (Editor) (2008). Renewable energy resources in Mali – preliminary mapping. UNEP Risø Centre, Risø National Laboratory, Technical University of Denmark. 66 pp.

The Netherlands : [European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

Norway : Børresen, J.A. (1987). Wind Atlas for the North Sea and the Norwegian Sea. Norwegian University Press and Norwegian Meteorological Institute, Oslo. 184 pp.

Portugal : [European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

Russia

Rathmann, O. (1998). Wind atlas analysis for 12 meteorological stations on the Kola Peninsula. [Risø-I-1285\(EN\)](#). Risø National Laboratory, Roskilde. 36 pp.

Starkov, A.N., L. Landberg, P.P. Bezroukikh and M.M. Borisenko (2000). [Russian Wind Atlas](#). ISBN 5-7542-0067-6. Russian-Danish Institute for Energy Efficiency, Moscow; Risø National Laboratory, Roskilde. 551 pp.

Slovak Republic : Dobesch, H. and G. Kury (1997). Wind Atlas for the Central European countries Austria, Croatia, Czech Republic, Hungary, Slovak Republic and Slovenia. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 16, 105 pp. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

Slovenia : Dobesch, H. and G. Kury (1997). Wind Atlas for the Central European countries Austria, Croatia, Czech Republic, Hungary, Slovak Republic and Slovenia. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 16, 105 pp. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

South Africa : Diab, R. (1995). Wind Atlas of South Africa. Department of Mineral and Energy Affairs, Pretoria, 136 pp.

Spain : [European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

Sweden

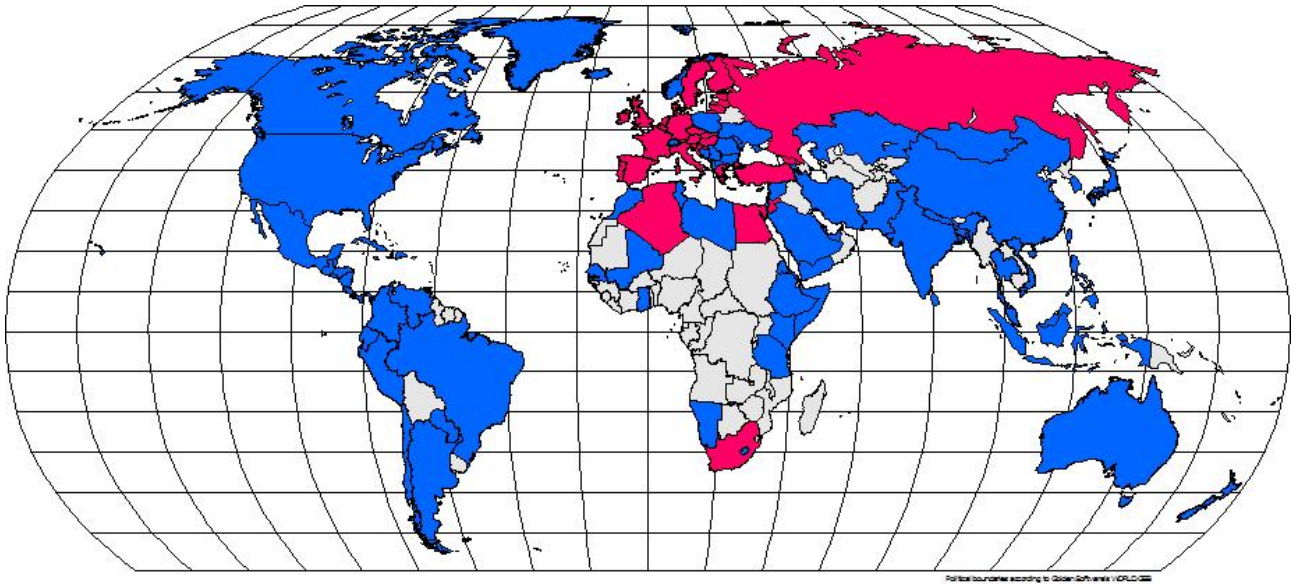
Krieg, R. (1992). Vindatlas för Sverige (Wind Atlas for Sweden). In Swedish. Slutrapport på projekt 506 269-2 på uppdrag av NUTEK. SMHI, Norrköping. 26 pp.

Krieg, R. (1999). Verifiering af beräknad vind-energiproduktion (Verification of estimated wind power productions). In Swedish. SMHI rapport Nr. 28, SMHI, Norrköping. 25 pp + appendices.

Turkey : Dündar, C., M. Canbaz, N. Akgün and G. Ural (2002). [Türkiye Rüzgar Atlası](#) (Turkish Wind Atlas). Turkish State Meteorological Service and General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration. 218 pp. ([Brief description in English and wind resource map](#)).

United Kingdom : [European Wind Atlas](#) (1989), see Europe.

United States of America : Artig, R. (1999). Minnesota Wind Resource Assessment Program. March 1999 report. Minnesota Department of Public Service, St. Paul. 157 pp.



Εικόνα 3.3.α. Παγκόσμιος χάρτης

Προς το παρόν, η μεθοδολογία του Άτλαντα ανέμου - με τη μορφή του προγράμματος WASP - έχει απασχοληθεί σε περίπου 110 χώρες και περιοχές σε όλο τον κόσμο.

Ο παγκόσμιος χάρτης παραπάνω, της **Εικόνας 3.3.α** δείχνει τις χώρες όπου η μεθοδολογία ανάπτυξης του άτλαντα ανέμου, είχε εφαρμοστεί κατά το χρόνο της δημοσίευσης. Εθνικοί άτλαντες ανέμου, υπάρχουν για τις «κόκκινες» χώρες. Έχει υποβληθεί αίτηση για περιφερειακές και τοπικές μελέτες στις «μπλε» χώρες. Καμία πληροφορία δεν ήταν διαθέσιμη για τις χώρες του «γκρι», [14].

3.3.2 Εφαρμογές του προγράμματος Wasp στην Ελλάδα

Το Wasp στην Ελλάδα, χρησιμοποιείται από εμπορικές επιχειρήσεις και εταιρείες, που δραστηριοποιούνται στο χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ιδίως στα αιολικά πάρκα, για έχουν μία πρόβλεψη για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής ή μια εκτίμηση της ενέργειας ενός υποψήφιου για εγκατάσταση αιολικού πάρκου.

Επίσης, χρησιμοποιείται από ερευνητικά κέντρα και ινστιτούτα όπως το ΚΑΠΕ, για ερευνητικές εργασίες, όπως π.χ. η εργασία “Αξιολόγηση του Τεχνικού και Οικονομικού Δυναμικού της Αιολικής Ενέργειας κατά μήκος των ακτών της Μαύρης Θάλασσας της Βουλγαρίας και της Ρουμανίας”, όπου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Wasp για να υπολογισθούν οι δύο παράμετροι της συνάρτησης κατανομής Weibull, δηλαδή η παράμετρος κλίμακας, c και η παράμετρος σχήματος k , [15].

Εφαρμόζετε και από εκπαιδευτικά ιδρύματα, για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, όπως το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών και το Τμήμα Ενεργειακών Πόρων του ΤΕΙ Κρήτης.

4. Αιολικά πάρκα του Σιδηροκάστρου και της Σύρου

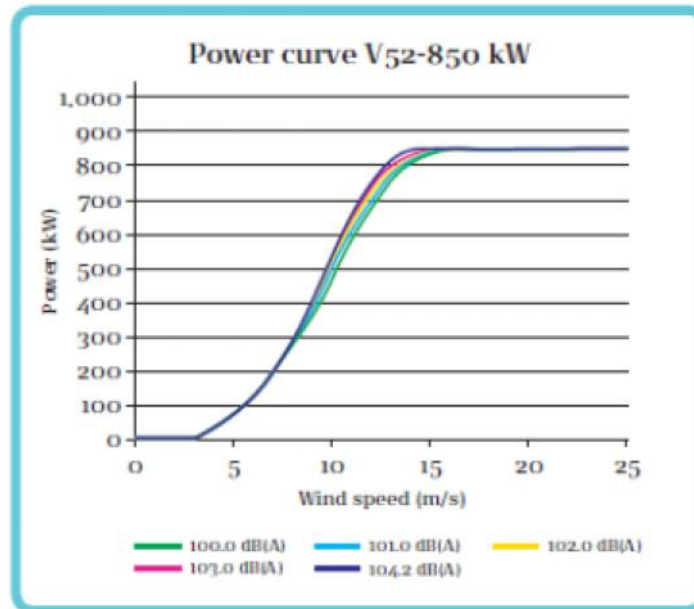
Στην εργασία, επιλέχθηκε να μελετήσουμε το αιολικό πάρκο του **Σιδηροκάστρου**, ως ένα πάρκο της ηπειρωτικής χώρας, που είναι διασυνδεδεμένο με κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, που αυτό έχει σαν αποτέλεσμα όλη η παραγωγή να διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ, και το αιολικό πάρκο της νήσου **Σύρου**, που είναι διασυνδεδεμένο στο τοπικό δίκτυο του νησιού, που δεν είναι συνδεδεμένο με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας. Στην περίπτωση αυτή, μόνο μέχρι το 30%, περίπου, της παραγωγής του αιολικού πάρκου, επιτρέπεται να διοχετευτεί στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο, για να μην επηρεάζει την σταθερότητα του τοπικού δικτύου, όπως εξηγείται παρακάτω.

4.1. Περιγραφή του αιολικού πάρκου Σιδηροκάστρου

Το αιολικό πάρκο του Σιδηροκάστρου, είναι το πρώτο Αιολικό Πάρκο (Α/Π) που κατασκευάστηκε στη Μακεδονία και άρχισε να λειτουργεί μέσα στον Δεκέμβρη του 2005. Η εταιρία η οποία κατασκεύασε και λειτούργησε το Α/Π Σιδηροκάστρου είναι η Αιολική Σιδηροκάστρου ΑΕ που ανήκε αρχικά, κατά 80% στον Όμιλο Μυτιληναίου και κατά 20% στην εταιρία ΙΤΑ ΑΕ. Το έργο αυτό είναι ενταγμένο στο Γ' ΚΠΣ και το συνολικό κόστος κατασκευής ανέρχεται στο ύψος των 17 εκ. Η άδεια εγκατάστασης δόθηκε από την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας τον Νοέμβριου του 2003. Το Α/Π Σιδηροκάστρου έχει συνολική ισχύ 17 MW και αποτελείται από είκοσι ανεμογεννήτριες τύπου **Vestas 52-850 kW**. Κάθε μια από αυτές τις ανεμογεννήτριες έχει μέγιστη ισχύ 850 kW. Ο πύργος της ανεμογεννήτριας έχει ύψος 44 μέτρα και στην κορυφή του βρίσκεται τοποθετημένη η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Η γεννήτρια αυτή κινείται, μέσω ενός άξονα, από τρία πτερύγια που βρίσκονται τοποθετημένα στην κορυφή του πύργου. Η διάμετρος της πτερωτής που σχηματίζουν τα πτερύγια είναι 52 μέτρα. Έτσι το ανώτατο σημείο στο οποίο φτάνει το άκρο ενός πτερυγίου είναι $45+26=71\text{m}$. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στο Α/Π Σιδηροκάστρου μεταφέρεται μέσω δυο γραμμών μέσης τάσης στον υποσταθμό της ΔΕΗ

στο Καμαρωτό. Υπολογίζεται ότι η ενέργεια που παράγεται κάθε χρόνο από αυτό το αιολικό πάρκο θα αντιστοιχεί στην ετήσια κατανάλωση περίπου 11000 νοικοκυριών, [16].

Τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών Vestas 52-850 kW, είναι: Ο δρομέας καλύπτει επιφάνεια 2,124 m², έχει 3 πτερύγια, η γεννήτρια είναι ασύγχρονη, 850 kW ονομαστικής ισχύος, Το βάρος της ατράκτου είναι 22 t, του δρομέα 10 t, και του πύργου 45t, [17].



Εικόνα 4.1.1 Η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας Vestas 52-850 kW

Το σημερινό ιδιοκτησιακό καθεστώς του αιολικού πάρκου είναι: Μυτιληναίος Αιολική Ενεργειακή Ελλάδος Α.Ε. (99%), Endesa Hellas ανώνυμη Εταιρεία Παραγωγής και Εμπορίας Ηλεκτρικής Ενέργειας, (1%), [18].

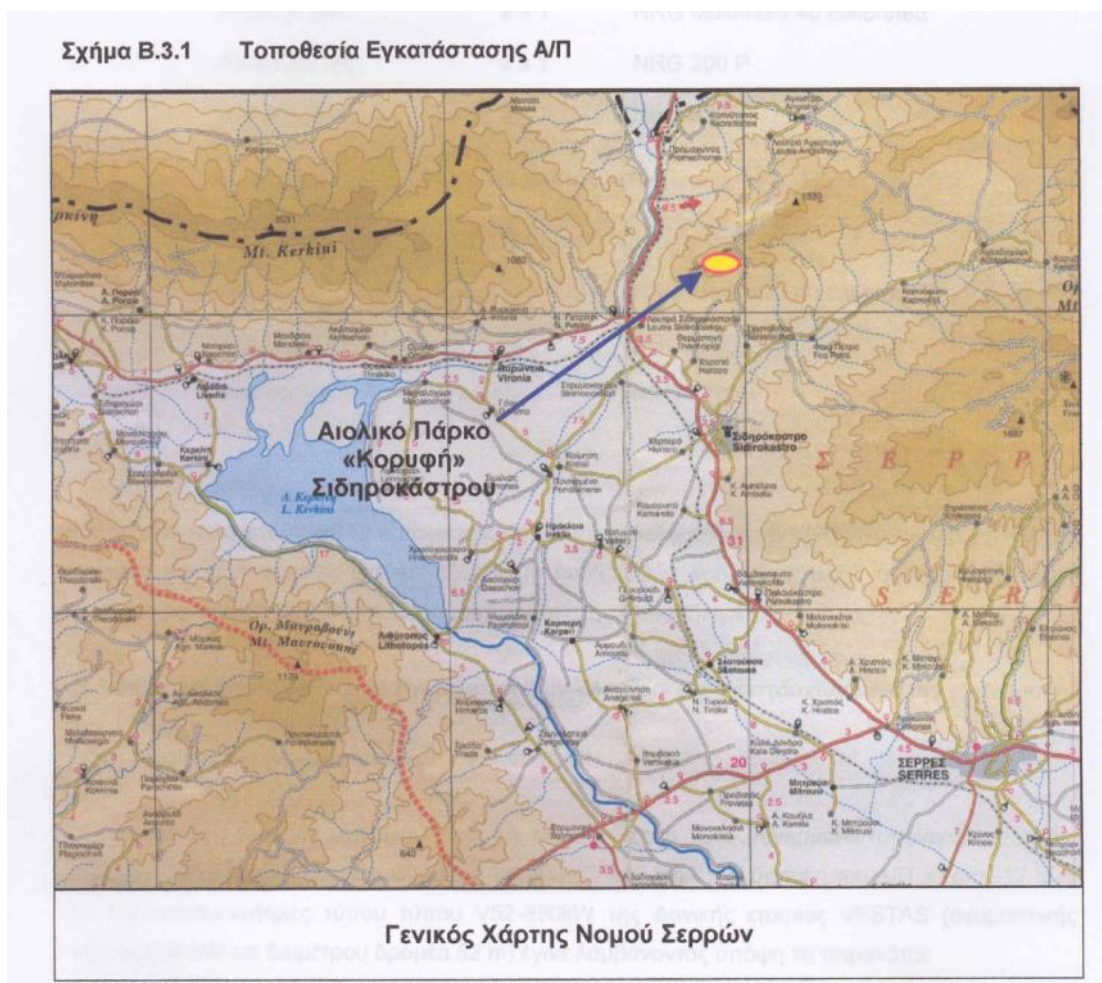
4.1.1. Ο χάρτης της περιοχής του αιολικού πάρκου Σιδηροκάστρου

ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΧΑΡΤΗ ΓΥΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ 1:50,000 «Ν.ΠΕΤΡΙΤΣΙΟΝ»



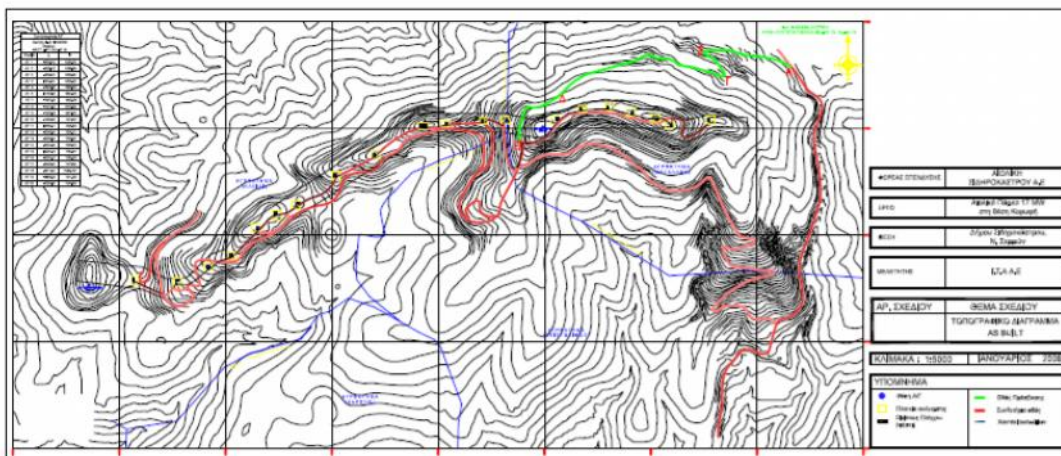
Εικόνα 4.1.1. Απόσπασμα χάρτη του νομού Σερρών από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού,[19].
ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΗ ΣΙΔΗΡΟΚΑΣΤΡΟΥ ΑΕ,[20].

4.1.2. ο Χάρτης του νομού Σερρών με τη θέση του πάρκου



Εικόνα 4.1.2. Γεωφυσικός χάρτης του νομού Σερρών

4.1.3. Τοπογραφικό σχέδιο της τοποθεσίας του αιολικού πάρκου



ΦΟΡΕΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	ΑΙΟΛΙΚΗ ΣΙΔΗΡΟΚΑΣΤΡΟΥ Α.Ε
ΕΡΓΟ	Αιολικό Πάρκο 17 MW στη θέση Κορυφή
ΘΕΣΗ	Δήμου Σιδηροκάστρου, Ν. Σερρών
ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ	Ι.Τ.Α Α.Ε
ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ	ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ AS BUILT
ΚΛΙΜΑΚΑ : 1:5000	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2006
ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
● Θέση Α/Γ	— Οδός Πρόσβασης
□ Πλατεια αντίρρησης	— Συνδετήρια οδός
■ Οικόπεδος Ελέγχου (κάρσις)	— Χαντάκι καλωδίων

Εικόνα 4.1.3 Τοπογραφικό Σχέδιο της τοποθεσίας εγκατάστασης του αιολικού πάρκου, [20].

ΑΙΟΛΙΚΗ ΣΙΔΗΡΟΚΑΣΤΡΟΥ Α.Ε.

PRODUCTION

W/T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	WF
December 2007	233737	234957	235292	222586	226463	213700	192716	70116	199595	190576	169820	157702	156961	182506	150805	185208	185172	189052	192674	191782	3781420
November 2007	164542	169730	172559	171312	147968	139164	139602	142910	156979	157297	194272	182485	179387	219159	209027	178119	217459	221861	214925	213339	3592096
October 2007	100421	104254	106091	104932	105793	99537	87451	93332	100602	99802	97792	89622	87115	111452	105462	108629	109751	109933	114625	110813	2047409
September 2007	176625	182079	185452	185047	187804	168829	155046	165335	172549	174497	165364	152651	157460	178590	185974	180715	186504	201138	201600	196011	3559270
August 2007	117073	120626	122250	120416	121802	114571	95892	103114	110391	113492	112456	108541	109897	134043	138295	140918	143823	142598	143144	137751	2451093
July 2007	101894	97766	100574	102013	105627	102401	89797	104188	111528	114771	128975	119551	116102	125525	129147	135579	133859	131954	130033	121027	2302311
June 2007	84493	84394	85469	84094	84421	77582	64353	70341	75845	80008	79954	63440	74933	91645	93868	103392	102339	101098	103958	94057	1699684
May 2007	120397	119606	121598	112890	119006	110431	92887	101111	110202	114142	113368	103356	102850	134802	137054	144661	141762	136394	144601	136593	2417711
April 2007	112930	109175	111161	110194	115259	109887	96245	106729	115733	123901	123406	116203	110350	132929	136050	143554	142090	140942	141121	131857	2429716
March 2007	116010	111731	105980	114270	122090	116876	102981	115742	127941	137173	146720	128123	113353	156684	157181	163797	159802	157485	157226	147644	2658809
February 2007	139917	145223	141579	155849	119427	160376	143793	155962	169450	177925	175050	164342	156852	170955	173980	178897	176389	173383	171293	162179	3212621
January 2007	245342	250854	255380	250454	265629	244351	224174	233595	172470	243206	237691	235145	193251	271907	223161	234960	273764	273608	273690	261182	4873814
SUM:	1713381	1730395	1743385	1744057	1721289	1657705	1484937	1462475	1623285	1726790	1744868	1621161	1558311	1910197	1840004	1898429	1972714	1979446	1988890	1904235	35025954
																					35025954

AVERAGE WIND SPEED

W/T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	WF	WT-1
December 2007	7,744798	8,334843	8,052679	8,293967	7,7301502	7,996996	7,574468	7,2437929	7,60437	6,906627	6,565763	6,7300881	6,57144	7,283681	7,158061	7,360561	7,49219	7,358067	7,61231	7,21802	7,44159332	7,7448
November 2007	7,035457	7,529352	7,365135	7,801387	7,0122272	7,432177	7,11688	7,1869936	7,57311	7,04413	7,340171	7,5159767	7,29719	8,188087	7,805046	8,260266	8,48592	8,185252	8,34743	7,93663	7,62294012	7,03546
October 2007	4,912574	5,162526	5,076549	5,465448	4,9943889	5,126574	4,848842	5,0343246	5,24501	4,96837	4,971691	4,9048819	4,53433	5,382202	5,090827	5,379051	5,3328	5,001362	5,09573	4,98793	5,0757703	4,91257
September 2007	7,103008	7,131489	7,173046	7,56841	7,0579697	7,139953	6,847035	6,979748	7,24213	6,883801	6,851771	6,5642013	6,51901	7,526836	7,4176	7,550839	7,66731	7,429745	7,37849	7,25262	7,16425098	7,10301
August 2007	5,566779	5,742764	5,863575	6,213172	5,6515672	5,713956	5,906496	5,5766129	5,74363	5,563486	5,648634	5,1660842	5,31597	5,52612	5,986873	5,858938	5,84207	5,881228	5,84039	5,84523	5,70267333	5,56678
July 2007	5,531736	5,609358	5,791159	6,215376	5,6164804	5,667969	5,623567	5,7806467	6,00202	5,876019	6,120835	5,5699955	5,65378	5,650635	6,11044	6,031798	6,02338	6,074194	5,97308	5,85074	5,83866038	5,53174
June 2007	5,376465	5,507526	5,576418	6,010739	5,3843537	5,396623	5,290007	5,3782313	5,47919	5,297326	5,393597	4,8377292	5,04943	5,19677	5,527853	5,400023	5,39977	5,485881	5,46825	5,42728	5,39417301	5,37647
May 2007	5,87869	6,006776	6,008864	6,337676	6,8564057	5,943123	5,721153	5,8934709	6,14222	5,861858	5,972306	5,3984294	5,48396	5,83287	6,220435	6,065404	6,01282	6,133849	6,19076	6,07727	6,01682432	5,87869
April 2007	5,793634	5,928396	5,888566	6,351574	5,8241667	5,956607	5,823264	6,0201389	6,26734	6,059486	6,143895	5,616767	5,65516	5,880208	6,25957	6,135246	6,14538	6,201597	6,24745	6,13803	6,54467248	6,12275
March 2007	6,122752	6,275169	6,213359	6,773669	6,3069229	6,41857	6,274719	6,5444594	6,99238	6,699236	6,827208	6,0458219	6,05747	6,468362	6,898989	6,761506	6,74047	6,84125	6,87082	6,76032	6,54467248	6,12275
February 2007	6,463005	6,751538	6,629882	7,232564	6,6410955	7,045064	6,877431	7,0448413	7,48214	7,204464	7,186834	6,7750434	6,73001	6,771602	7,211601	7,244479	7,07347	7,103453	7,12153	6,87938	6,97347125	6,463
January 2007	8,290227	8,813168	8,686554	9,131347	8,7153474	8,764717	8,525271	8,5552093	8,27033	8,21438	8,04104	7,9159672	8,01643	8,387506	8,515959	8,787711	8,89966	9,002759	9,17362	8,81007	8,57222825	8,29023
SUM:	68,07433	70,45806	70,27311	75,10136	69,060915	70,60533	68,38196	69,994677	72,4394	69,67256	70,49798	66,310898	66,3127	70,8112	73,04519	73,47525	73,623	73,34057	73,7076	71,9655	6,524931	6,3183
AVERAGE:	6,31826	6,566075	6,527149	6,949611	6,3992555	6,550194	6,329703	6,4365391	6,67031	6,381515	6,421979	6,0867488	6,07368	6,507907	6,683604	6,736318	6,7596	6,724886	6,77685	6,59863	6,524931	6,3183

Εικόνα 4.1.4. Πίνακας της ετήσιας ηλεκτρικής παραγωγής ανά ανεμογεννήτρια (WT) και ανά του συνόλου του πάρκου (WF)

Στο πάνω μέρος της Εικόνας 4.1.4, φαίνεται η ηλεκτρική παραγωγή, ανά μήνα, για τις 20 ανεμογεννήτριες (WT), από τις οποίες αποτελείται το αιολικό πάρκο, ενώ στην τελευταία στήλη (κίτρινη), είναι η συγκεντρωτική παραγωγή για όλο το πάρκο (WF) ανά μήνα, στην τελευταία σειρά είναι η ετήσια παραγωγή για κάθε ανεμογεννήτρια και για το πάρκο (μπλε).

Στο κάτω μέρος της Εικόνας 4.1.4 φαίνεται η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου, σε κάθε ανεμογεννήτρια, και σε όλο το πάρκο, για κάθε μήνα και για όλο το έτος συνολικά.

Όπως φαίνεται από τα ανωτέρω δεδομένα, της Αιολικής Σιδηροκάστρου Α.Ε. η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κατά το έτος 2007, ανέρχεται σε 3502594 kWh η 35,03 GWh , που διοχετεύτηκε εξ ολοκλήρου στο δίκτυο της ΔΕΗ, καθώς το πάρκο του Σιδηροκάστρου βρίσκεται στην ηπειρωτική χώρα που είναι διασυνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ.

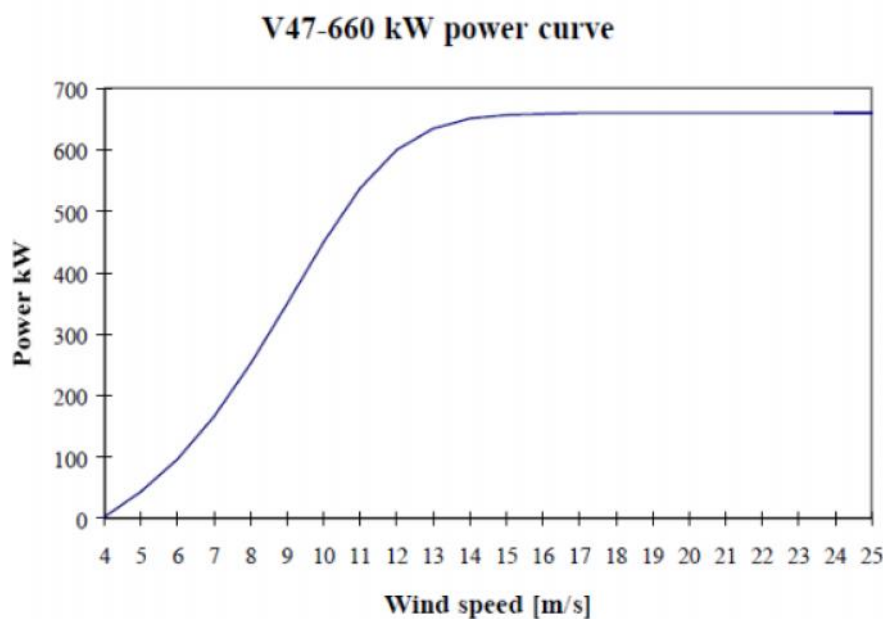
4.2 Περιγραφή του αιολικού πάρκου της Σύρου

Το αιολικό πάρκο λειτουργεί στην τοποθεσία Σύραγγας της Άνω Σύρου από το 2002, αποτελείται από 4 Ανεμογεννήτριες Vestas V47 συνολικής ισχύος 2,64 MW , 660 W η κάθε μία.

Τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών Vestas V47-660 kW του αιολικού πάρκου φαίνονται στην **εικόνα 4.2.1** και **4.2.2**.

ROTOR		
	V47-660 kW	V47-660/200 kW
Diameter:	47 m	47 m
Area swept:	1,735 m ²	1,735 m ²
Revolution speed:	28.5	26/20
Number of blades:	3	3
Power regulation:	Pitch/OptiSlip®	Pitch/OptiSlip®
Air brake:	Feathered	Feathered
TOWER		
Hub height (approx.) :	40-45-50-55 m	40-45-50-55-60-65 m
OPERATIONAL DATA		
Cut-in wind speed:	4 m/s	3.5 m/s
Nominal wind speed (660 kW):	15 m/s	16 m/s
Stop wind speed:	25 m/s	25 m/s
GENERATOR		
Large generator:	Asynchronous with OptiSlip®	Asynchronous with OptiSlip®
Nominal output:	660 kW	660 kW
Operational data:	50 Hz 690 V 1,515-1,650 rpm	50 Hz 690 V 1,515-1,650 rpm
Small generator:		Asynchronous
Nominal output:		200 kW
Operational data:		50 Hz 690 V 1,500-1,516 rpm
GEARBOX		
Type:	Planet /parallel axes	Planet /parallel axes
CONTROL		
Type:	Microprocessor-based control of all turbine functions with the option of remote monitoring. OptiSlip® output regulation and OptiTip® pitch regulation of the blades.	

Εικόνα 4.2.1 Τα χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας Vestas V47-660 kW



Εικόνα 4.2.2. Η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας Vestas V47-660 kW

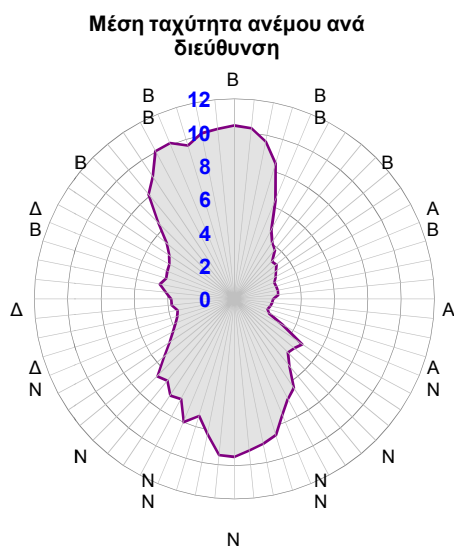
4.2.1. Περιορισμοί σε μη διασυνδεδεμένα νησιά, σαν το πάρκο της Σύρου.

Κατά τα πρώτα χρόνια ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα, δημιουργήθηκε έντονο ενδιαφέρον για επενδύσεις στα μη διασυνδεδεμένα νησιά και ιδιαίτερα στην Κρήτη, λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού και της υψηλότερης -σε σχέση με το διασυνδεδεμένο σύστημα- τιμής πώλησης της παραγόμενης ενέργειας.

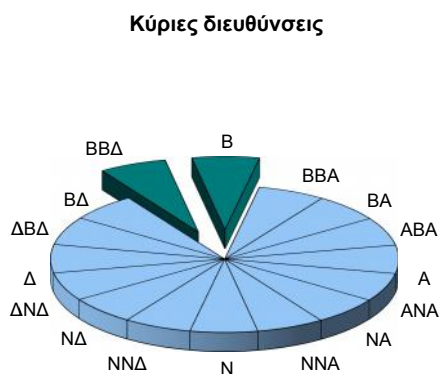
Ωστόσο, λόγω της έλλειψης διασύνδεσης με την κυρίως Ελλάδα, καθορίστηκε με την ΥΑ 8295/95, ως μέγιστο όριο εγκατεστημένης ισχύος (όριο διείδυσης) για κάθε μη διασυνδεδεμένο νησί, το ποσοστό του 30% της μέγιστης μέσης ωριαίας ζήτησης ισχύος του προηγούμενου έτους. Η ίδια Υπουργική Απόφαση έδινε το δικαίωμα στον διαχειριστή του συστήματος να απορρίπτει ισχύ παραγόμενη από τα αιολικά πάρκα τις ώρες χαμηλής ζήτησης, εξασφαλίζοντας ωστόσο έναν ελάχιστο συγκεκριμένο αριθμό ωρών λειτουργίας για τα αιολικά πάρκα (6000 Συμβατικές Ανηγμένες Ώρες Λειτουργίας).

Μετά την κατάργηση της ΥΑ 8295/95, η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) όρισε νέα Διαδικασία - μεθοδολογία για τον προσδιορισμό της επιτρεπόμενης μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος στα μη - διασυνδεδεμένα νησιά και την χορήγηση των αδειών παραγωγής των μονάδων ΑΠΕ στα νησιά. Σύμφωνα λοιπόν με τους νέους κανόνες, το περιθώριο νέας ισχύος ΑΠΕ που μπορεί να εγκατασταθεί και το αντίστοιχο όριο απορρόφησης θα καθορίζονται ανά νησί και θα αναθεωρούνται ανά διετία. Σύμφωνα με αυτά θα προκηρύσσεται προθεσμία υποβολής αιτήσεων αδειών παραγωγής. Το περιθώριο της νέας ισχύος και το όριο απορρόφησης θα υπολογίζονται, έτσι ώστε να διασφαλίζουν έναν ελάχιστο συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας (Capacity Factor) της τάξεως του 27,5%, λαμβάνοντας υπόψη την εξέλιξη των φορτίων, τους υπάρχοντες

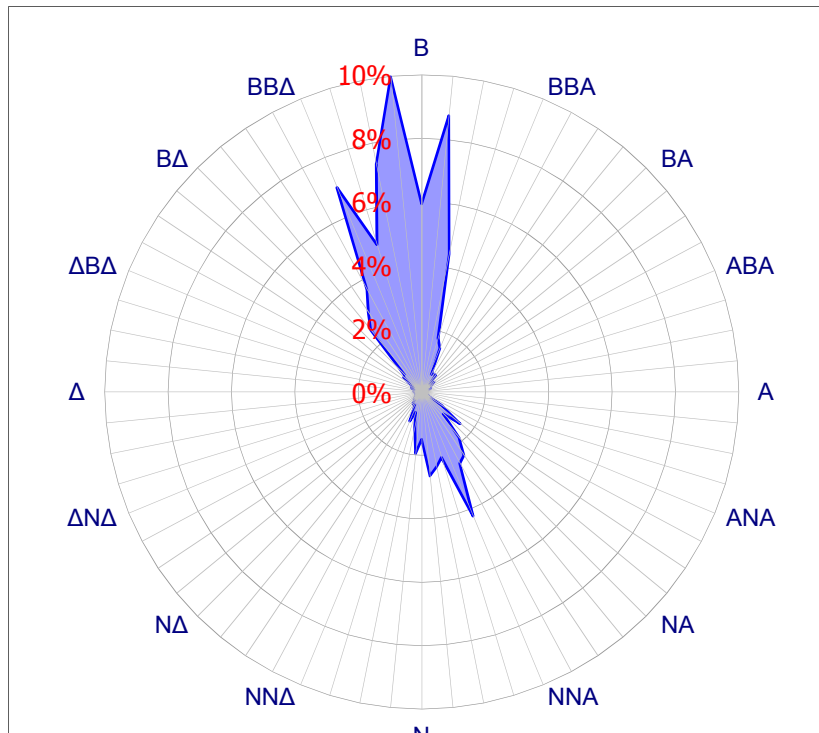
συμβατικούς σταθμούς και μονάδες ΑΠΕ παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τα ανεμολογικά δεδομένα του νησιού. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εν λόγω διαδικασία εφαρμόστηκε για πρώτη φορά την Άνοιξη του 2003,[9]. Τα Χαρακτηριστικά του ανέμου στην περιοχή του αιολικού πάρκου της Σύρου, φαίνονται στις εικόνες 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5, για την χρονιά 2006,[11].



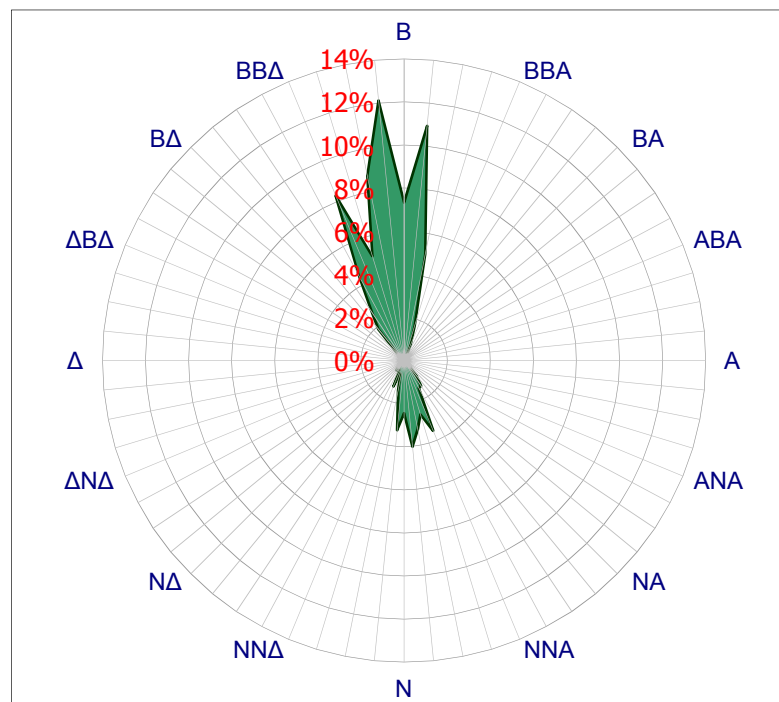
Εικόνα 4.2.1 Ροδόγραμμα της μέσης ταχύτητας του ανέμου ανά διεύθυνση(2006)



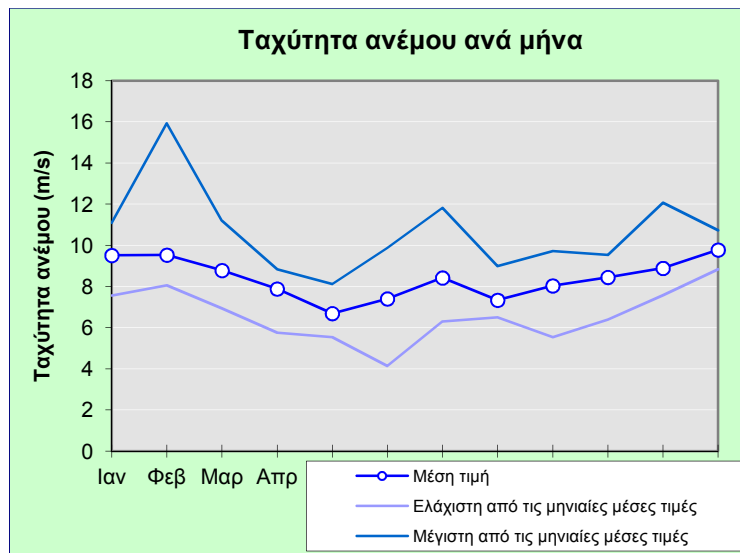
Εικόνα 4.2.2 Ροδόγραμμα με τις κύριες διευθύνσεις του ανέμου(2006)



Εικόνα 4.2.3 Ροδόγραμμα ανέμου ως προς τον Χρόνο (2006)



Εικόνα 4.2.4 Ροδόγραμμα ανέμου ως προς την Ενέργεια (2006)



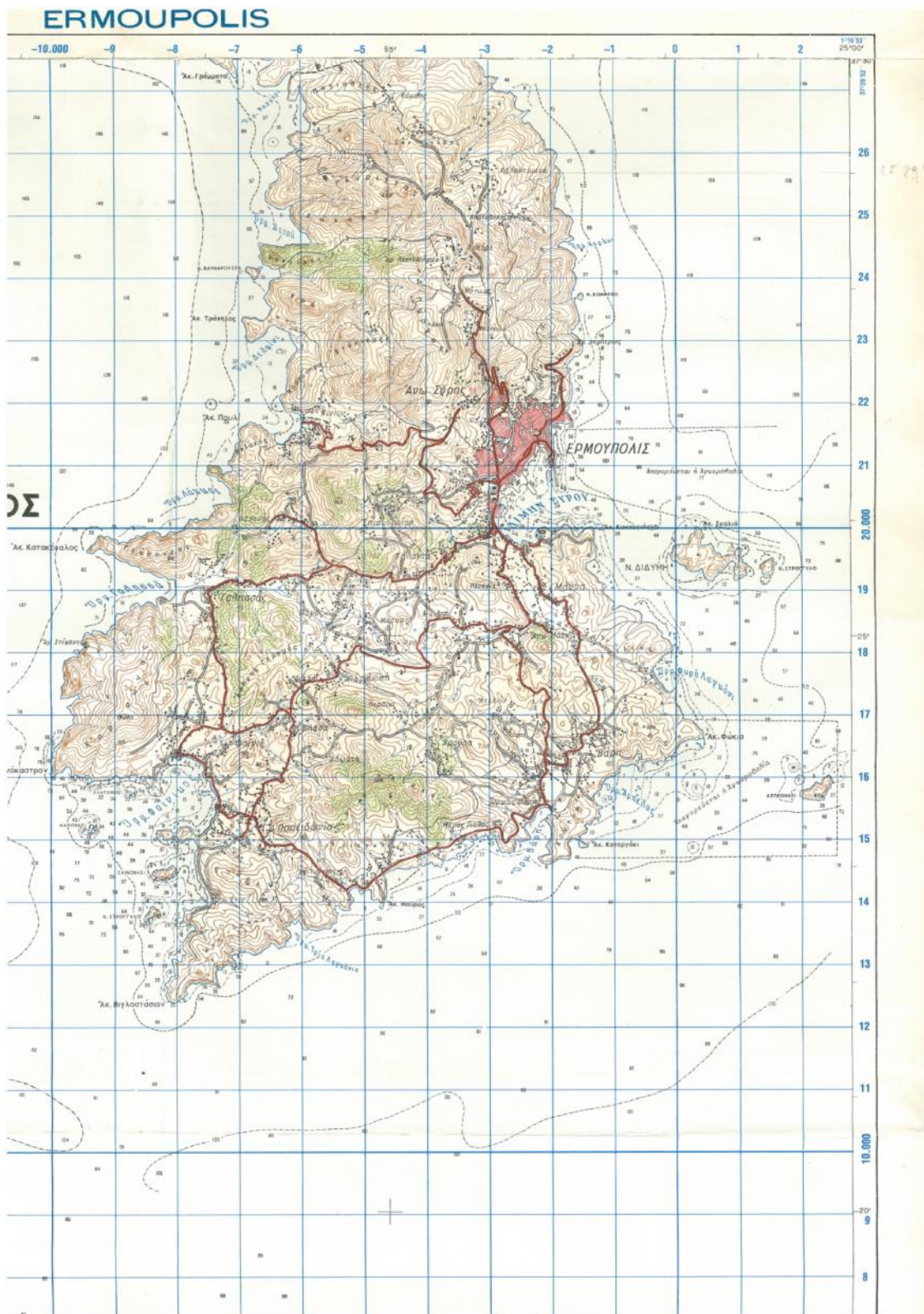
Εικόνα 4.2.5 Η μεταβολή της ταχύτητας ανά μήνα (2006)

4.2.2 Άποψη του αιολικού πάρκου του Συραγγα της άνω Σύρου από δορυφόρο



Εικόνα 4.2.7 Δορυφορική εικόνα του αιολικού πάρκου της Σύρου

4.2.3 Χάρτης της νήσου Σύρος



Εικόνα 4.2.8 Ο χάρτης της Σύρου

4.2.4. Παραγωγή ενέργειας του αιολικού πάρκου Σύρου

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου της Άνω Σύρου, σύμφωνα με τα δεδομένα της ιδιοκτήτριας εταιρείας **ΙΤΑ Α.Ε.,[21]** φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

ΑΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΤΟΥΣ 2006 ΓΙΑ ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ "ΣΥΡΙΓΓΑΣ" ΝΗΣΟΥ ΣΥΡΟΥ		Μέχρι Δεκ 06	
Παραχθείσα ενέργεια (πωλήθηκε στη ΔΕΗ)	8025,000	kWh	81,66%
Απώλειες λόγω προβλημάτων Α/Γ (σπασμένο περύγιο Νο 3)	227,359	kWh	2,31%
Απώλειες από chock sensor errors	70,539	kWh	0,72%
Απώλειες από διάφορα σφάλματα Α/Γ (negative power, hyd pumping κλπ)	471,207	kWh	4,79%
Απώλειες Α/Γ Νο 2 λόγω νοτιάδων	466,384	kWh	4,75%
ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ (ΠΑΡΑΓΩΓΗ Α/Π ΧΩΡΙΣ ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ)	9260,490	kWh	94,23%
Απώλειες λόγω διαχείρισης φορτίου ΔΕΗ	567,225	kWh	5,77%
ΣΥΝΟΛΟ Ε ΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2006	9827,715	kWh	100%

Εικόνα 4.2.9 Πίνακας της ηλεκτρικής παραγωγής του 2006

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΝΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ					
	Α/Γ 1	Α/Γ 2	Α/Γ 3	Α/Γ 4	Σύνολα
Απώλειες λόγω προβλημάτων Α/Γ (σπασμένο πτερύγιο Νο 2, κεραυνός Νο 4, Μ/Σ Νο 2)	11,169	0	0	216,191	227,359
Απώλειες από chock sensor errors	22,119	0	41,794	6,625	70,539
Απώλειες από διάφορα σφάλματα Α/Γ (negative power, hyd rumping κλπ)	107,073	141,413	129,530	93,191	471,207
Απώλειες Α/Γ Νο 2 λόγω νοτιάδων	0	466,384	0	0	466,384
ΣΥΝΟΛΟ	140,362	607,798	171,324	316,006	1235,490

Εικόνα 4.2.10 Πίνακας των ενεργειακών απωλειών του αιολικού πάρκου για το 2006

Η συνολική παραγωγή ενέργειας του αιολικού πάρκου Σύρου, για το έτος 2006 , για το οποίο έχουμε δεδομένα είναι **9827,715 kWh**

Παρατηρούμε, ότι στην περίπτωση του νησιωτικού πάρκου της Σύρου, το οποίο δεν είναι διασυνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ, αλλά πωλείται στο αυτόνομο τοπικό δίκτυο της ΔΕΗ, η οποία όπως δείχνουν τα ανωτέρω στοιχεία, απορρόφησε για το 2006 το **81,66%** της παραχθείσης ηλεκτρικής ενέργειας του πάρκου.

Από το σύνολο της παραγωγής, το **5,77%** χάθηκε λόγω της διαχείρισης του φορτίου από την ΔΕΗ, η οποία σταματά την παραγωγή για να διατηρήσει τη σταθερότητα της τάσης του τοπικού δικτύου.

Ένα ποσοστό **12,57%** οφείλεται σε προβλήματα των ανεμογεννητριών, όπως σπασμένα πτερύγια, σφάλματα στο σύστημα πέδησης (chock sensor errors), και τα ιδιαίτερα προβλήματα της ανεμογεννήτριας Νο 2, που λόγω της τοποθεσίας της, παρουσίαζε προβλήματα με τους νοτιάδες.

5. 1. Εφαρμογή του προγράμματος Wasp, στο αιολικό πάρκο Σιδηροκάστρου.

Παρακάτω περιγράφεται συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε με σκοπό να προβλεφθεί η παραγωγή ενέργειας στη διάρκεια του έτους 2007 από το αιολικό πάρκο του Σιδηροκάστρου, με σκοπό τα αποτελέσματα να συγκριθούν με την πραγματική παραγωγή που έδωσε το Πάρκο κατά τη διάρκεια του ίδιου ημερολογιακού έτους.

Τα δεδομένα μέτρησης του ανέμου ελήφθησαν από τα όργανα του μετεωρολογικού ιστού, που υπάρχει πλησίον του πάρκου σε μικρή σχετικά απόσταση από τις ανεμογεννήτριες

Τα δεδομένα που διαθέτουμε είναι σε ψηφιακή μορφή και θα μας βοηθήσουν στην ολοκλήρωση της διαδικασίας είναι:

- Ένας ψηφιακός χάρτης υψομέτρου και τραχύτητας της περιοχής.
- Ένα αρχείο που περιέχει τις μετρήσεις αέρα της περιοχής.
- Τα αρχεία που περιγράφουν τις καμπύλες ισχύος των μηχανών.

5.1.1. Η διαδικασία πρόβλεψης της παραγωγής ενέργειας του πάρκου

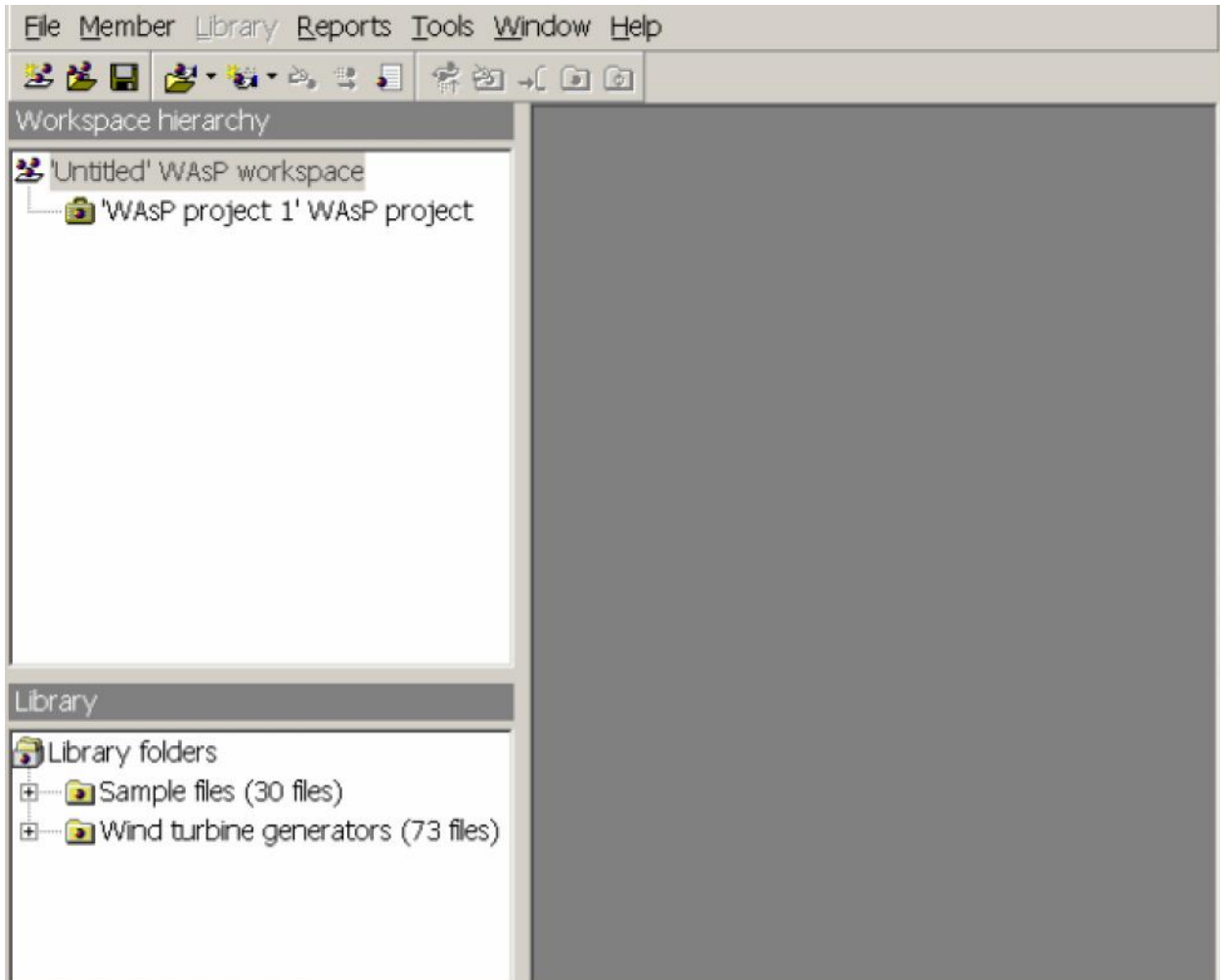
Αυτό που χρειαζόμαστε είναι να βρεθεί ένας τρόπος να αναλυθεί το κλίμα του ανέμου που καταγράφεται στο μετεωρολογικό σταθμό, και να χρησιμοποιηθεί για να προβλεφθεί το κλίμα ανέμου στη θέση των μηχανών. Αυτό είναι που κάνει το WAsP .

Χρησιμοποιώντας το WAsP, μπορούμε να αναλύσουμε τα καταγεγραμμένα στοιχεία του ανέμου, της περιοχής για να εμφανισθούν ως ανεξάρτητα χαρακτηριστικά του τοπικού κλίματος αέρα. Αυτή η περιοχή-(ανεξάρτητος χαρακτηρισμός του τοπικού κλίματος αέρα) καλείται **άτλαντας ανέμου (wind atlas)** ή **περιφερειακό κλίμα ανέμου**. Μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσετε το WAsP για να εφαρμόσουμε τα αποτελέσματα μιας ευρύτερης περιοχής, στα στοιχεία άτλαντα αέρα για μια συγκεκριμένη περιοχή, ερμηνεύοντας το τοπικό κλίμα ανέμου.

Η παροχή μιας πρόβλεψης στην περίπτωση μας επομένως, είναι μια διπλή διαδικασία. Κατ' αρχάς, τα στοιχεία από το μετεωρολογικό σταθμό πρέπει να αναλυθούν για να παράγουν έναν άτλαντα ανέμου, και έπειτα ο άτλαντας ανέμου που θα προκύψει πρέπει να εφαρμοστεί στην περιοχή των ανεμογεννητριών για να υπολογίσει την ετήσια παραγωγή ενέργειας του πάρκου.

5.1.2. Άνοιγμα του χώρου εργασίας (workspace) του WASP

Όταν ανοίγουμε για πρώτη φορά ένα το WASP, παρουσιάζεται ένα κενό παράθυρό (Εικόνα:5.1.2)



Εικόνα:5.1.2.Το περιβάλλον εργασίας του WASP

Το περιβάλλον εργασίας του WASP χωρίζεται σε τρεις περιοχές

- Στην περιοχή εισαγωγής των εικονιδίων που περιγράφουν τη διαδικασία υπολογισμού (αριστερά πάνω στην οθόνη)
- Στην περιοχή όπου βρίσκονται οι βιβλιοθήκες του προγράμματός (κάτω αριστερά)
- Στην περιοχή όπου δίνονται τα αποτελέσματά των υπολογισμών (δεξιά πλευρά της οθόνης)

Σε γενικές γραμμές το WASP λειτουργεί, δημιουργώντας χώρους εργασίας (Workspaces) οι οποίοι αποτελούνται από υποκατηγορίες υπολογισμών που ονομάζονται Project. Κάθε Project αποτελείται από μια σειρά δεδομένων και υπολογισμών. Η γενική αρχή για οποιονδήποτε υπολογισμό στο WASP είναι ότι χρειάζονται δύο βασικά δεδομένα:

- Η μορφολογία του εδάφους
- Οι μετρήσεις ανέμου

Η ρίζα του χώρου εργασίας

Πάντα υπάρχει μια μόνο ρίζα σε κάθε χώρο εργασίας. Βρίσκεται στην κορυφή της ιεραρχίας και δεν έχει «γονέα». Το workspace root μπορεί να έχει οποιουδήποτε τύπου μέλη σαν «παιδιά». Όταν ανοίγεται ένα σωσμένο workspace, ανοίγουν και όλα τα «παιδιά» του χώρου εργασίας.

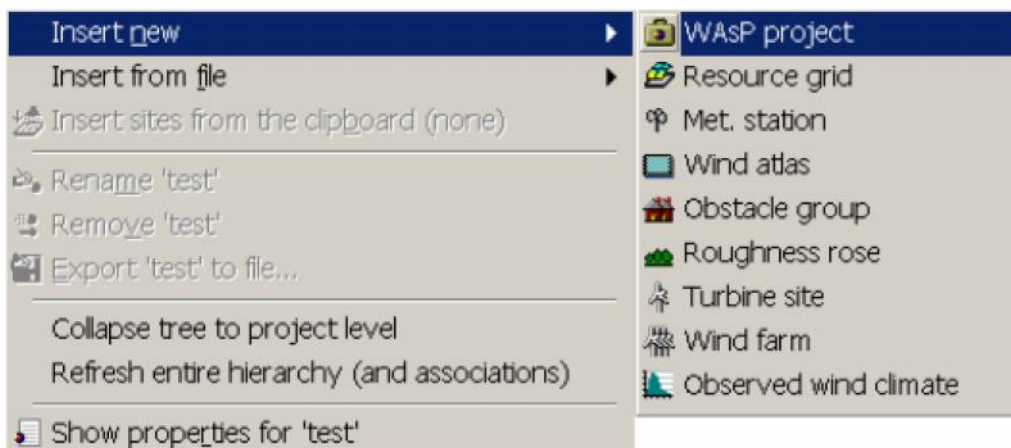
Αυτός ο χώρος εργασίας περιέχει περαιτέρω ένα 'Untitled' πρόγραμμα.

Για να εργαστούμε στο WASP, πρέπει να προσθέσουμε τα νέα στοιχεία στο χώρο εργασίας. Αυτά τα στοιχεία τακτοποιούνται σε μια ιεραρχία .

Για να παρεμβάλουμε ένα τμήμα στην ιεραρχία, κάνουμε τα εξής:

- Με το δεξί κουμπί του ποντικιού στην εικόνα του χώρου εργασίας.
- Εμφανίζονται κάποιες επιλογές
- Επιλέγουμε το Insert new

Εμφανίζονται οι επιλογές. Επιλέγουμε το Project:



Εικόνα:5.1.3 Επιλέγουμε το Project

Project

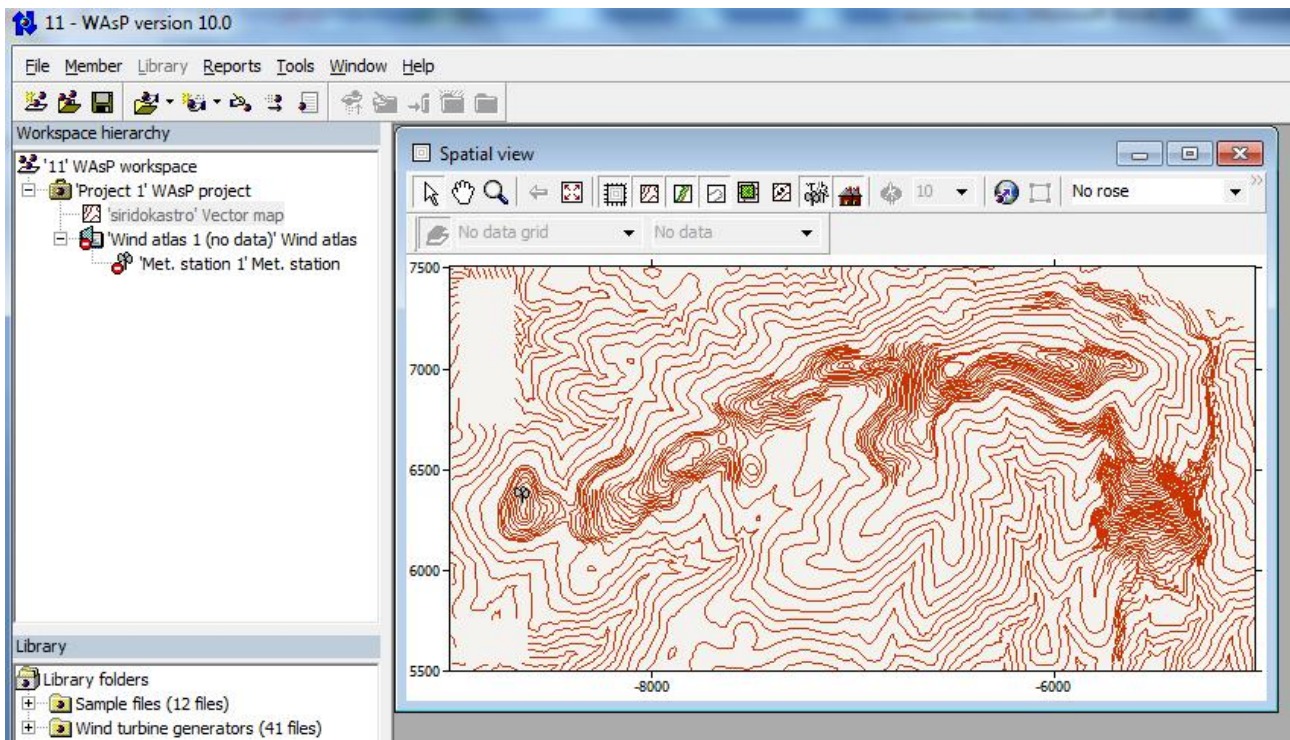
Το project το χρησιμοποιούμε για να διαχειριστούμε τις σχετικές ομάδες των μελών της ιεραρχίας. Το project είναι πάντα «παιδί» του workspace root.

Κάθε τμήμα της ιεραρχίας έχει μενού που μπορεί να επιλέγει με δεξί κλικ. Οι επιλογές που γίνονται με δεξί κλικ των περισσότερων τμημάτων περιλαμβάνουν τα δευτερεύοντα μενού εισαγωγής.

Ο Χάρτης

Το WAsP θα χρησιμοποιήσει το χάρτη για να πάρει πληροφορίες σχετικά με το γήινο ανάγλυφο και τα χαρακτηριστικά τραχύτητας της περιοχής. Ο χάρτης μπορεί να εμφανιστεί σε πολλά σημεία στην ιεραρχία του χώρου εργασίας, αλλά τυπικά το πρόγραμμά θα έχει έναν χάρτη.

Για να δούμε το χάρτη: Επιλέγουμε το View από το μενού δεξιού κλικ της εικόνας χαρτών.



Εικόνα: 5.1.4 Το παράθυρό του χάρτη του Σιδηροκάστρου, εμφανίζεται στη δεξιά πλευρά του κύριου παραθύρου, με τον μετεωρολογικό ιστό του.



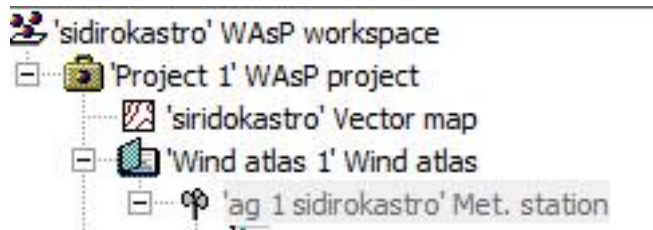
Εικόνα:5.1.5.Ο χάρτης και το project είναι και τα δύο «παιδιά» της ρίζας του χώρου εργασίας.

Ο Άτλαντας Ανέμου

Ο ανεμολογικός άτλαντας είναι από τα κεντρικά τμήματά της ιεραρχίας. Ο άτλαντας του WAsP θα μας παρέχει δεδομένα που περιγράφουν τα ανεξάρτητα χαρακτηριστικά για τις συνθήκες αέρα της περιοχής. Το μοντέλο του WAsP προσομοιώνει την ανάλυσή των ανεμολογικών δεδομένων που συλλέγονται από το μετεωρολογικό ιστό για να παραχθεί ο άτλαντας ανέμου ο οποίος στη συνέχεια θα υπολογίσει τις συνθήκες ανέμου (και την παραγωγή ενέργειας) στη θέση των ανεμογεννητριών.

5.1.3 Η Δημιουργία του άτλαντα ανέμου

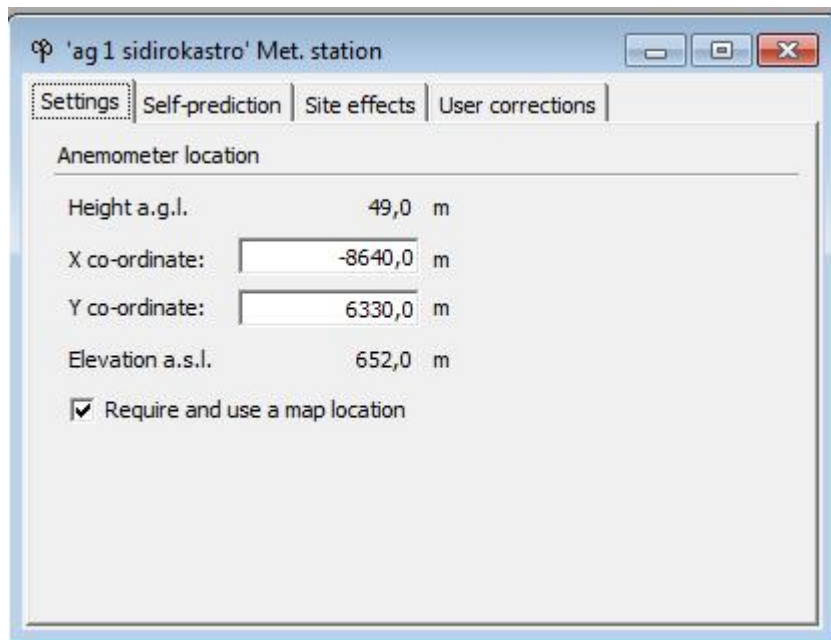
Ο ανεμολογικός άτλαντας θα παραχθεί από τα στοιχεία του μετεωρολογικού ιστού για αυτό και παρεμβάλλουμε τον ιστό ως «παιδί» του ανεμολογικού άτλαντα.



Εικόνα 5.1.6 Ο χώρος εργασίας θα έχει αυτή τη μορφή

Για να καθορίσουμε τη θέση του ιστού στο χάρτη:

Με διπλό κλικ πάνω στο σταθμό εμφανίζεται το παράθυρο, που μας επιτρέπει να ορίσουμε τη θέση του στο χάρτη.

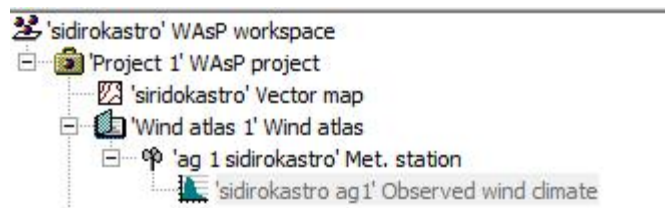


Εικόνα 5.1.7 Όταν εμφανιστεί το πλαίσιο διαλόγου ορίζουμε τις συντεταγμένες του

5.1.3.α. Η Προσθήκη των παρατηρήσεων ανέμου

Πρέπει τώρα να παρεμβάλουμε τα στοιχεία του ανέμου στην ιεραρχία.

Επιλέγουμε το μετεωρολογικό σταθμό και εισάγουμε το ένθετο χρήσης από το αρχείο, για να το παρεμβάλουμε σαν μέλος του ιστού. Το αρχείο του κλίματος, το αρχείο εμποδίων του ιστού, καθώς και ένα αρχείο που σχετίζεται με την τραχύτητα της περιοχής, παρεμβάλλονται ως μέλη της ιεραρχίας και ο χώρος εργασίας πρέπει τώρα να μοιάζει με αυτό:

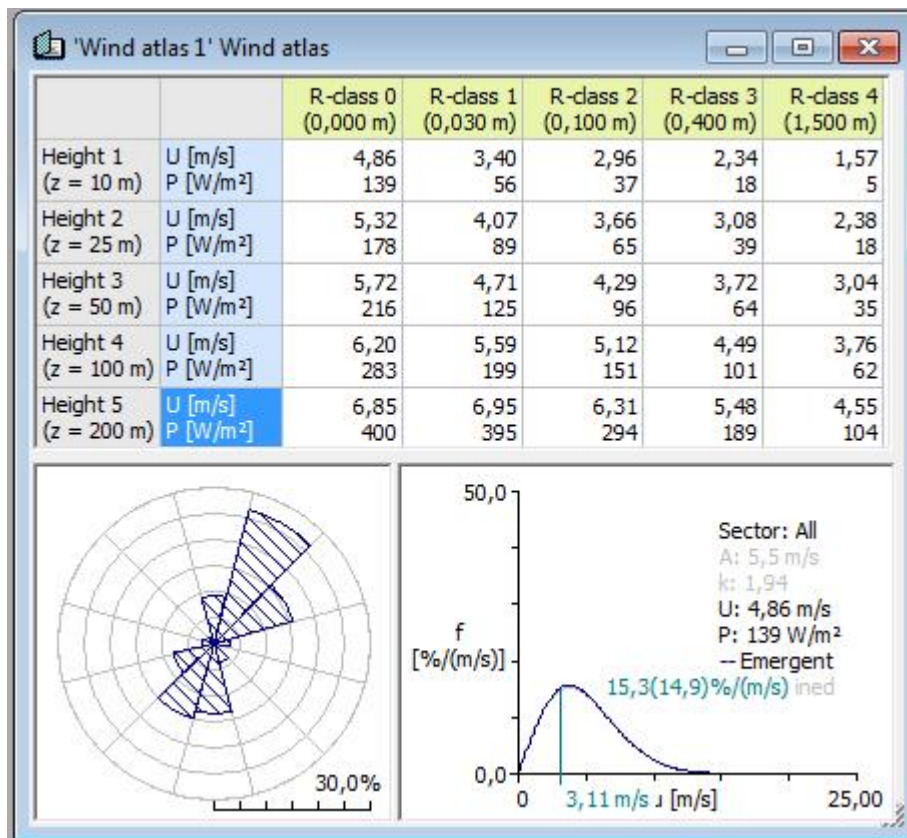


Εικόνα: 5.1.8. Η ιεραρχία του μετεωρολογικού ιστού

5.1.3.β Ο υπολογισμός του άτλαντα

Το WAsP είναι τώρα είναι έτοιμο να αναπαράγει τον ανεμολογικό άτλαντα της περιοχής. Από τις επιλογές δεξιού κλικ του μετεωρολογικού ιστού, επιλέγουμε την εντολή calculate atlas. Όταν τελειώσει ο υπολογισμός, το μικρό δαχτυλίδι που περιβάλλει το εικονίδιο του μετεωρολογικού ιστού θα φύγει. Αυτό δείχνει ότι οι υπολογισμοί για τον μετεωρολογικό ιστό είναι ενημερωμένοι.

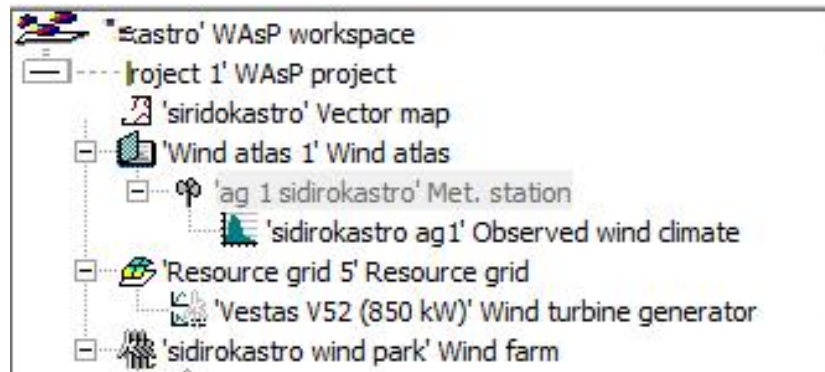
Για να δούμε τα αποτελέσματα του υπολογισμού, επιλέγουμε την εντολή View από τις επιλογές δεξιού κλικ του ανεμολογικού άτλαντα.



Εικόνα: 5.1.8 Ο ανεμολογικός άτλαντας εμφανίζεται ως ανεξάρτητος χαρακτηρισμός του κλίματος για την περιοχή και περιλαμβάνει τιμές ταχύτητας ανέμου και ισχύος για διαφορετικά ύψη και μήκη τραχύτητας

5.1.4. Η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου

Για να τοποθετήσουμε τις ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στο πάρκο, πρέπει να προσθέσουμε ένα αιολικό πάρκο, ως μέλος της ιεραρχίας στο χώρο εργασίας.



Εικόνα 5.1.9. Η μορφή που παίρνει ο χώρος εργασίας, όταν παρεμβάλλουμε ένα αιολικό πάρκο ως παιδί του προγράμματος.

Το WASP τώρα απαιτεί:

- Να ορίσουμε τις θέσεις των ανεμογεννητριών του πάρκου στο χάρτη.
- Περιγραφή των χαρακτηριστικών των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιούνται.
- Να ορίσουμε τα χαρακτηριστικά τραχύτητας της περιοχής.

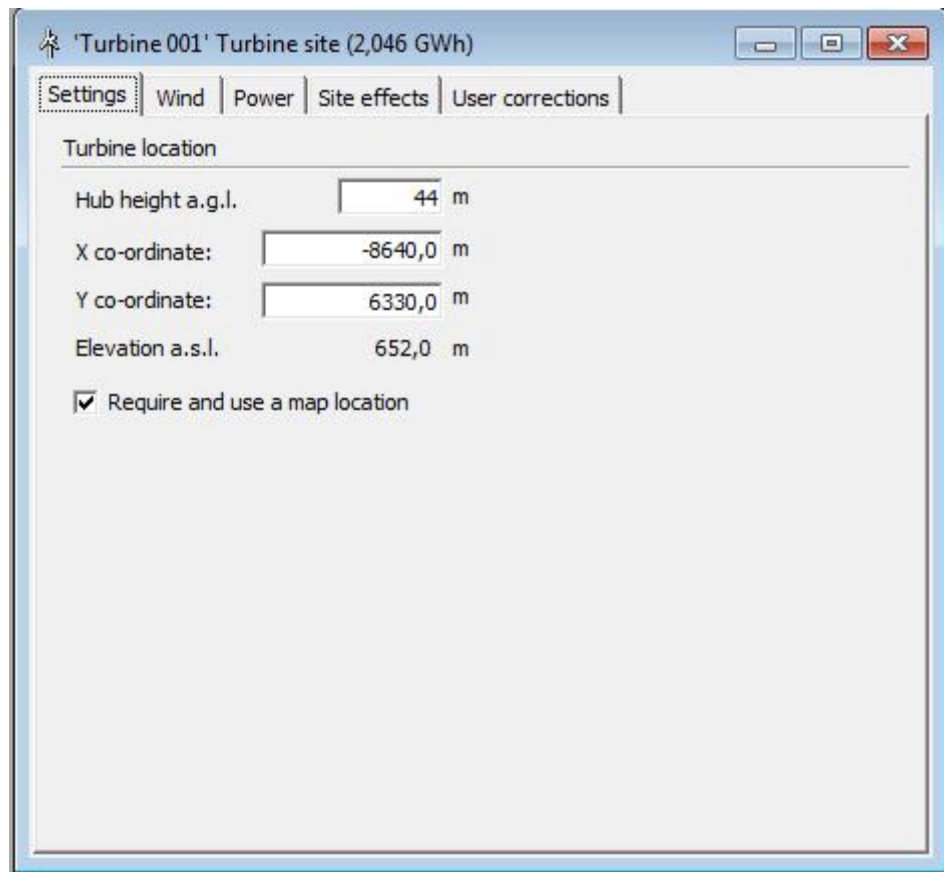
Δεν υπάρχει ακόμα κανένα εμπόδιο κοντά, έτσι δεν υπάρχει καμία ανάγκη να προστεθεί ένας κατάλογος εμποδίων σε αυτό το αιολικό πάρκο.

5.1.5. Εγκατάσταση ανεμογεννητριών

Αρχικά κάνουμε δεξί κλικ στο μέλος της ιεραρχίας, «αιολικό πάρκο» και επιλέγουμε insert new _ turbine site.

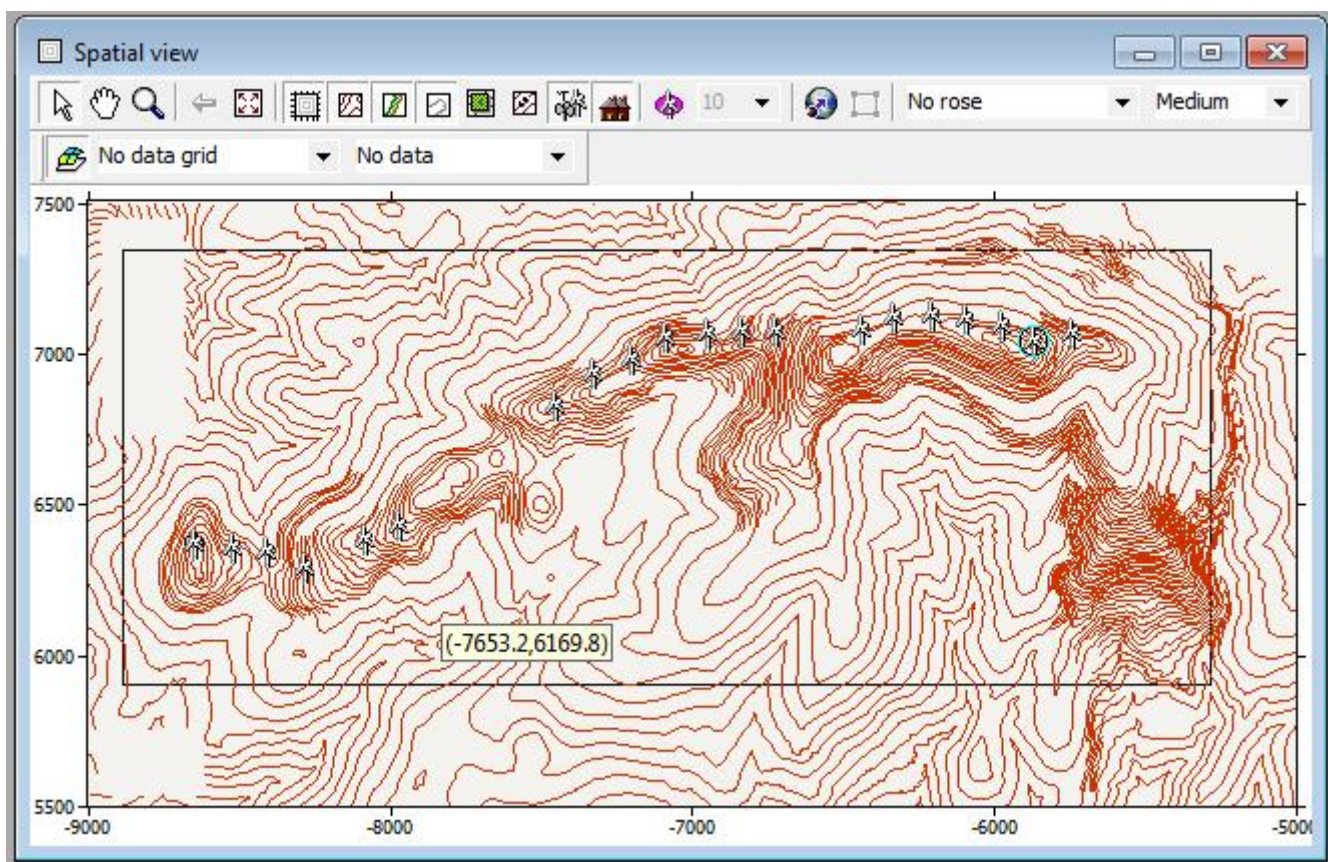
Προσθέτουμε τις ανεμογεννήτριες με τον ακόλουθο τρόπο:

Επιλέγουμε την περιοχή των ανεμογεννητριών με τον αριστερό-κλικ (ένα μικρό δαχτυλίδι εμφανίζεται γύρω από το εικονίδιο). Έχουμε δημιουργήσει τώρα μια νέα περιοχή ανεμογεννητριών στο πάρκο. Προσθέτουμε τις είκοσι ανεμογεννήτριες και τις οριοθετούμε σύμφωνα με τις γνωστές συντεταγμένες όπως περιγράψαμε και παραπάνω.

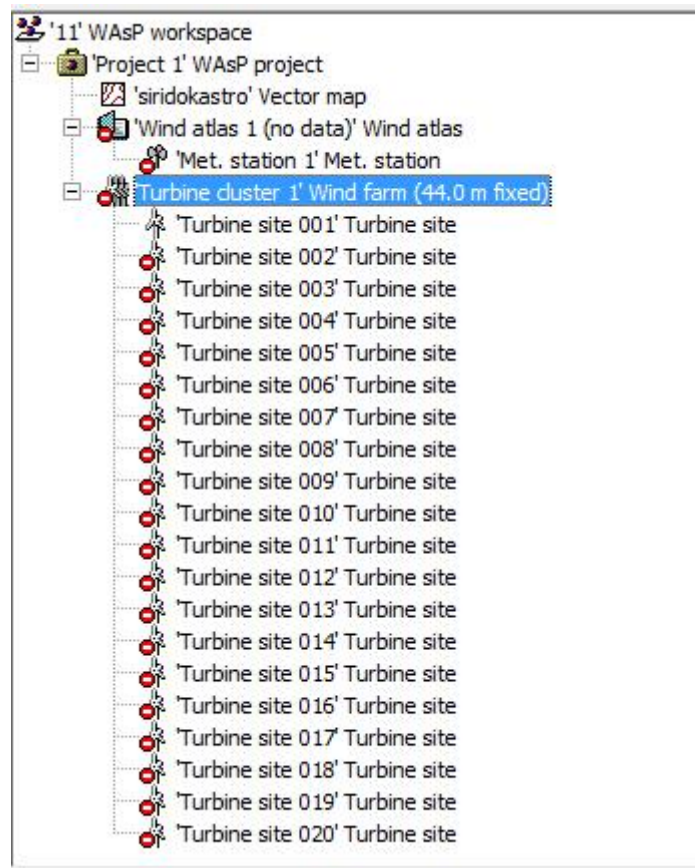


Εικόνα: 5.1.10 Δίνουμε το ύψος της πλήμνης και τις συντεταγμένες της κάθε ανεμογεννήτριας.

Έτσι το πάρκο στο χάρτη μας θα πάρει αυτή τη μορφή:



Εικόνα: 5.1.11. Οι θέσεις των ανεμογεννητριών και του ιστού

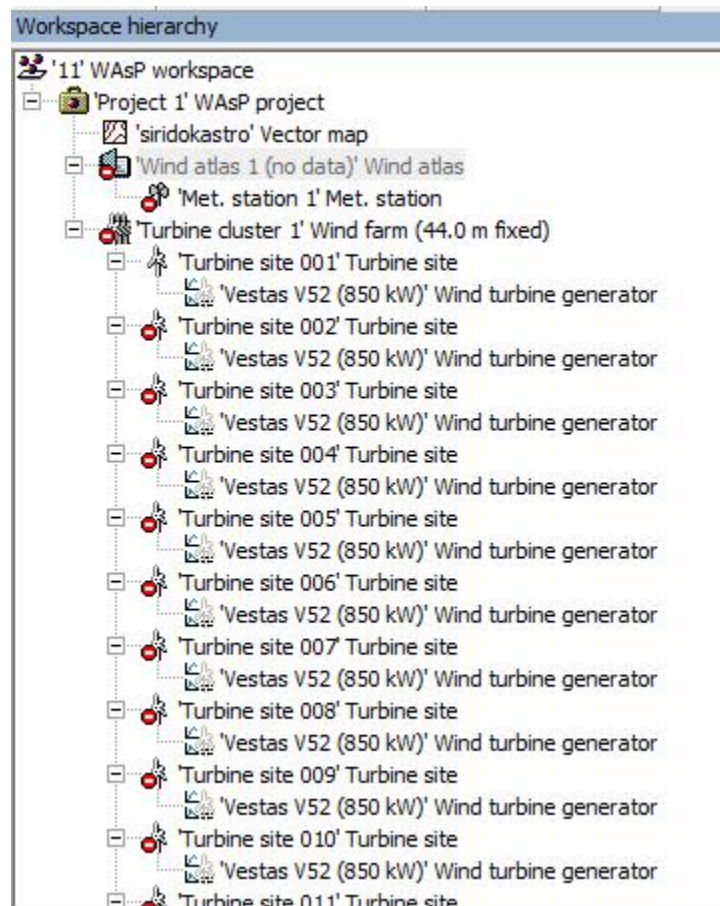


Εικόνα: 5.1.12. Η ιεραρχία τώρα θα πάρει αυτή τη μορφή

5.1.5.α Ο Προσδιορισμός αιολικών μηχανών

Για να υπολογίσουμε πόση ενέργεια θα παραχθεί από το αιολικό πάρκο, το WAsP θα πρέπει να γνωρίζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μηχανών. Για να παρασχεθούν αυτές οι πληροφορίες στο WAsP δημιουργούμε για κάθε μέλος της ιεραρχίας, την καμπύλη ισχύος της κάθε μηχανής αλλά και τα χαρακτηριστικά της τραχύτητας για κάθε θέση.

Από το μενού δεξιού κλικ της περιοχής των ανεμογεννητριών, επιλέγουμε insert from file και μετά wind turbine generation όπου εμφανίζεται η λίστα με τις καμπύλες ισχύος των μηχανών που έχουμε δημιουργήσει.



Εικόνα: 5.1.13 Η ιεραρχία πάρει αυτή τη μορφή

5.1.6. Πρόβλεψη της παραγωγής του αιολικού πάρκου

Το WAsP είναι τώρα έτοιμο να προβλέψει την παραγωγή ενέργειας του αιολικού πάρκου. Από τις επιλογές δεξιού κλικ του αιολικού πάρκου, επιλέγουμε τον υπολογισμό όλων των στοιχείων καθώς και τις απώλειες ορόρου για το αιολικό πάρκο. Έτσι, τα μικρά κίτρινα σημάδια στις εικόνες περιοχών στροβίλων και αιολικών πάρκων εξαφανίζεται μόλις εκτελείται ο υπολογισμός.

Στη συνέχεια ανοίγουμε το παράθυρο που εμφανίζονται τα αποτελέσματα για το σύνολο των πάρκου.

The screenshot shows the 'Statistics' tab of a software window titled 'sidirokastro wind park' Wind farm (41,286 GWh Net). The window has tabs for 'Settings', 'Site list', 'Statistics', and 'WF Power curve'. The 'Statistics' tab contains a table with the following data:

Variable	Total	Mean	Min	Max
Total gross AEP [GWh]	42,190	2,109	1,490	2,904
Total net AEP [GWh]	41,286	2,064	1,441	2,895
Proportional wake loss [%]	2,14	-	0,24	9,09
Mean speed [m/s]	-	6,61	5,63	7,88
Power density [W/m2]	-	379	228	605
RIX	-	-	8,7	12,1

A 'Calculate' button is located at the bottom right of the window.

Εικόνα: 5.1.14. Η προσληφθείσα παραγωγή ενέργειάς του αιολικού πάρκου είναι 41,286 GWh.

The screenshot shows the 'Site list' tab of the same software window. The 'Site list' tab contains a table with the following data:

Site ID	X [m]	Y [m]	El [m]	Rx	DR	Ht	U	Grs	Net	Wk
Turbine 0C	-8640,0	6330,0	652,0	10,3	0,0	44,0	6,51	2,059	2,046	0,64
Turbine 0C	-8515,0	6315,0	634,0	8,7	-1,5	44,0	6,31	1,936	1,924	0,65
Turbine 0C	-8400,0	6300,0	624,0	8,8	-1,5	44,0	5,87	1,662	1,649	0,83
Turbine 0	-8280,0	6252,0	650,0	9,6	-0,7	44,0	5,63	1,490	1,441	3,3
Turbine 0C	-8075,0	6340,0	683,0	9,8	-0,4	44,0	5,76	1,566	1,484	5,2
Turbine 0C	-7965,0	6390,0	700,0	10,6	0,3	44,0	5,83	1,606	1,567	2,44
Turbine 0C	-7450,0	6790,0	740,0	9,3	-1,0	44,0	5,86	1,635	1,486	9,09
Turbine 0C	-7320,0	6890,0	760,0	9,6	-0,7	44,0	6,19	1,843	1,734	5,95
Turbine 0C	-7195,0	6940,0	763,0	10,1	-0,2	44,0	6,03	1,742	1,612	7,5
Turbine 0:	-7080,0	7012,0	784,0	10,0	-0,3	44,0	6,66	2,148	2,105	2,0
Turbine 0	-6945,0	7025,0	786,0	9,5	-0,8	44,0	6,46	2,020	1,988	1,55
Turbine 0:	-6830,0	7035,0	808,0	9,4	-0,9	44,0	6,34	1,942	1,920	1,13

A 'Calculate' button is located at the bottom right of the window.

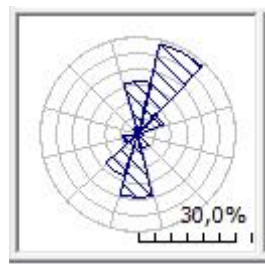
Εικόνα: 5.1.15. Λεπτομερέστερη ανάλυση των αποτελεσμάτων για κάθε ανεμογεννήτρια εμφανίζεται από το παράθυρο διαλόγου της κάθε μηχανής

'Turbine 001' Turbine site (2,046 GWh)

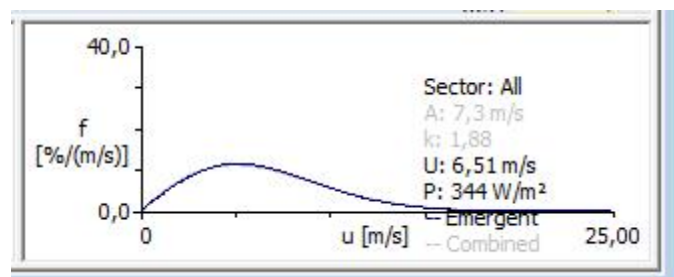
Settings | **Wind** | Power | Site effects | User corrections

Sector	Wind climate					Power
	#	angle [°]	freq. [%]	W-A [m/s]	Weibull-k	U [m/s]
1	0	16,6	9,8	2,09	8,72	7
2	30	28,4	8,6	2,61	7,61	4
3	60	8,3	8,1	2,58	7,15	3
4	90	0,6	3,0	1,17	2,80	
5	120	1,3	3,9	1,48	3,52	
6	150	4,8	5,2	1,82	4,63	1
7	180	19,2	6,2	2,01	5,49	1
8	210	13,2	5,5	2,23	4,84	1
9	240	4,5	4,6	1,99	4,06	
10	270	0,7	2,4	1,36	2,21	
11	300	0,6	2,4	1,08	2,28	
12	330	1,9	7,2	1,38	6,55	5
All (emergent)					6.51	

Εικόνα: 5.1.16. Πίνακας χαρακτηριστικών ανέμου στη θέση της Α/Γ 1 (Vestas V52)



Εικόνα: 5.1.17. Ρόδο ανέμου στη θέση της Α/Γ 1 (Vestas V52)



Εικόνα: 5.1.18. Κατανομή weibull των ταχυτήτων αέρα στη θέση της 1 (Vestas V52)

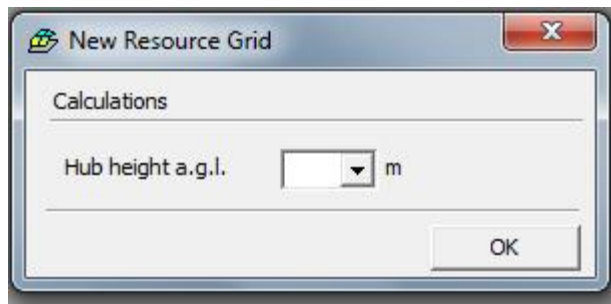
5.1.7. Υπολογισμός του αιολικού δυναμικού

Για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού θα ορίσουμε την περιοχή ενδιαφέροντος, το ύψος από το έδαφος όπου θέλουμε να γνωρίζουμε το αιολικό δυναμικό και την ακρίβεια των υπολογισμών. Το WAsP δημιουργεί ένα πλέγμα πάνω από την περιοχή υπολογισμού όπου αποδίδει τα διάφορα μεγέθη, όπως η ταχύτητά του ανέμου, η ισχύς με κατανομές Weibull κλπ, με χρωματική κλίμακα. Ο βαθμός διαφοροποίησης της περιοχής υπολογισμού είναι ανάλογός της ακρίβειας της χρωματικής απόδοσης. Η ανάλυσή πρέπει να συμφωνεί με τις διαστάσεις του πλέγματός.

Τα μέρη του Workspace που δεν έχουν υπολογιστεί, έχουν τα εικονίδια τους με ένα κόκκινό κύκλο. Ο κάθε υπολογισμός γίνεται επιλέγοντας calculate από το μενού του αντίστοιχού εικονιδίου. Μετά τον υπολογισμό μπορούμε να δούμε το αιολικό δυναμικό, είτε πάνω στο χάρτη (επιλέγοντας την αντίστοιχη εντολή από το μενού του resource grid), είτε μεμονωμένα κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του resource grid.

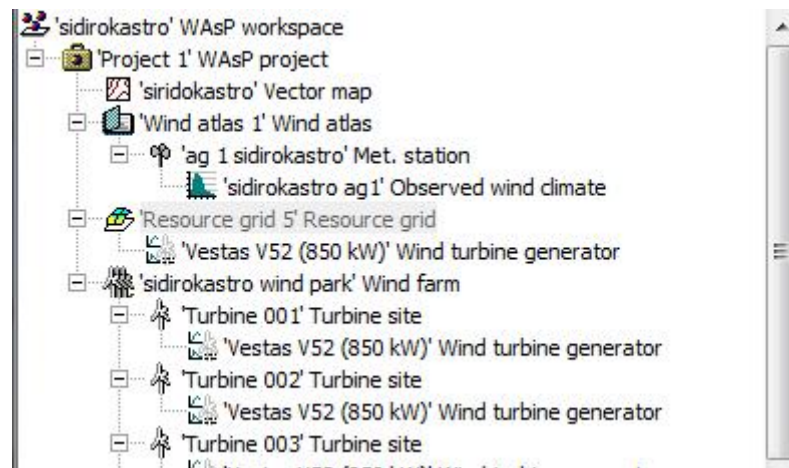
Δημιουργία πλέγματός ροής αέρα:

Για να δημιουργήσουμε έναν χάρτη ροής αέρα της ευρύτερης περιοχής, πρέπει να προσθέσουμε ένα μέλος ιεραρχίας πλέγματος ροής αέρα στο χώρο εργασίας.



Εικόνα: 5.1.19 Το παράθυρο πλέγματος ροής εμφανίζεται για το ύψος πλήμνης

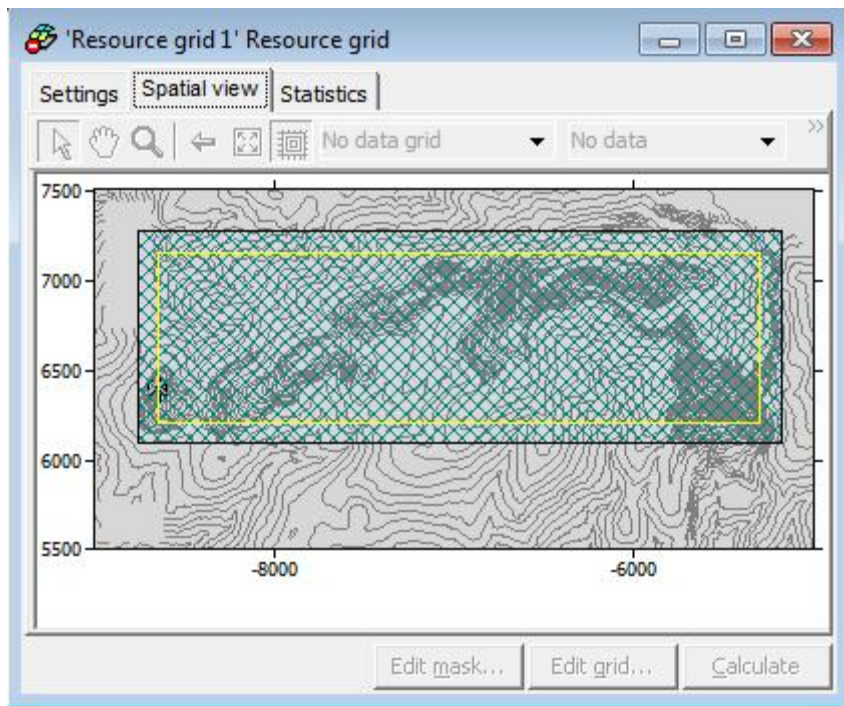
Παρεμβάλουμε το πλέγμα της ροής του αέρα ως παιδί του προγράμματος.



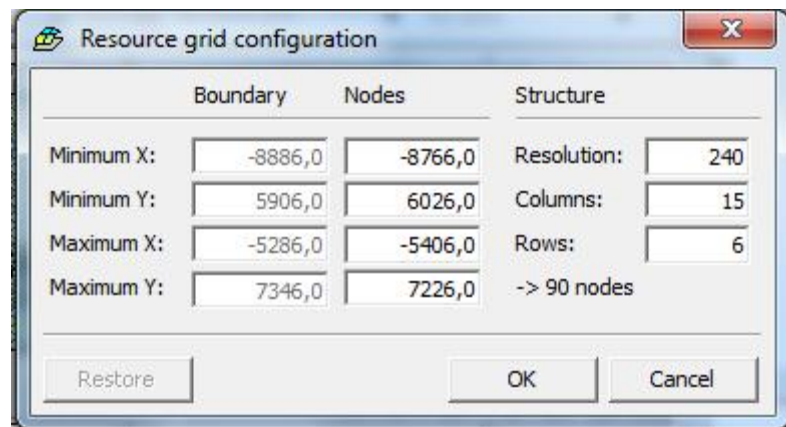
Εικόνα: 5.1.20. Ο χώρος εργασίας θα πάρει αυτή τη μορφή

Επισημαίνεται ότι και τα μέλη της ιεραρχίας δηλαδή ο ανεμολογικός άτλαντας, οι ανεμογεννήτριες και ο χάρτης υποβάθρου αντιπροσωπεύουν μια κοινή περιοχή.

Αυτό που χρειάζεται τώρα είναι να ορίσουμε τη θέση αλλά και τη δομή του πλέγματος πάνω στο χάρτη. Αρχικά με αριστερό κλικ στο μέλος ιεραρχίας πλέγματος ροής αέρα επιλέγουμε show και στη συνέχεια “spatial view”. Μπορούμε να μεγιστοποιήσουμε η να μικραίνουμε το παράθυρο. Συνήθως «μεγιστοποιούμε» την εικόνα στην πάνω δεξιά γωνία του παραθύρου. Έπειτα, πατάμε Edit και βλέπουμε την εικόνα οργάνωσης πλέγματος αέρα.



Εικόνα: 5.1.21. Το παράθυρο διαμόρφωσης πλέγματος της ροής του αέρα ανοίγει και ένα πλέγμα προεπιλογής παρουσιάζεται στο χάρτη και στο παράθυρο διαμόρφωσης



Εικόνα: 5.1.22. Οριοθετούμε το πλέγμα ανάλογα με τις απαιτήσεις

Εάν το σχεδιάγραμμα και η δομή προεπιλογής, καλύπτει την περιοχή ενδιαφέροντος τότε πατάμε απλά **OK** και το πλέγμα αέρα είναι έτοιμο να υπολογιστεί.

Εντούτοις, σε αντίθετη περίπτωση, που δεν καλύπτει την περιοχή ενδιαφέροντος που επιθυμούμε, το πλέγμα των πόρων για να καλύψει το λόφο που είναι εγκατεστημένο το αιολικό πάρκο καθώς επίσης και τη θέση που είναι εγκατεστημένος ο ιστός. Υπάρχουν τρεις τρόποι να αλλαχτεί το σχεδιάγραμμα του πλέγματος των πόρων:

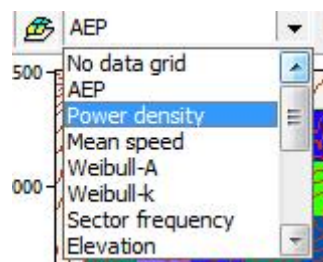
1) Πατώντας το ποντίκι μέσα στο πλέγμα που βρίσκεται πάνω στο χάρτη και μετακινώντας το στη θέση που επιθυμούμε

2) Ή εισάγοντας τις νέες τιμές για τα σημεία και τους κόμβους πλέγματος:

3) Ή εισάγοντας τα όρια των συντεταγμένων της περιοχής που μας ενδιαφέρει.

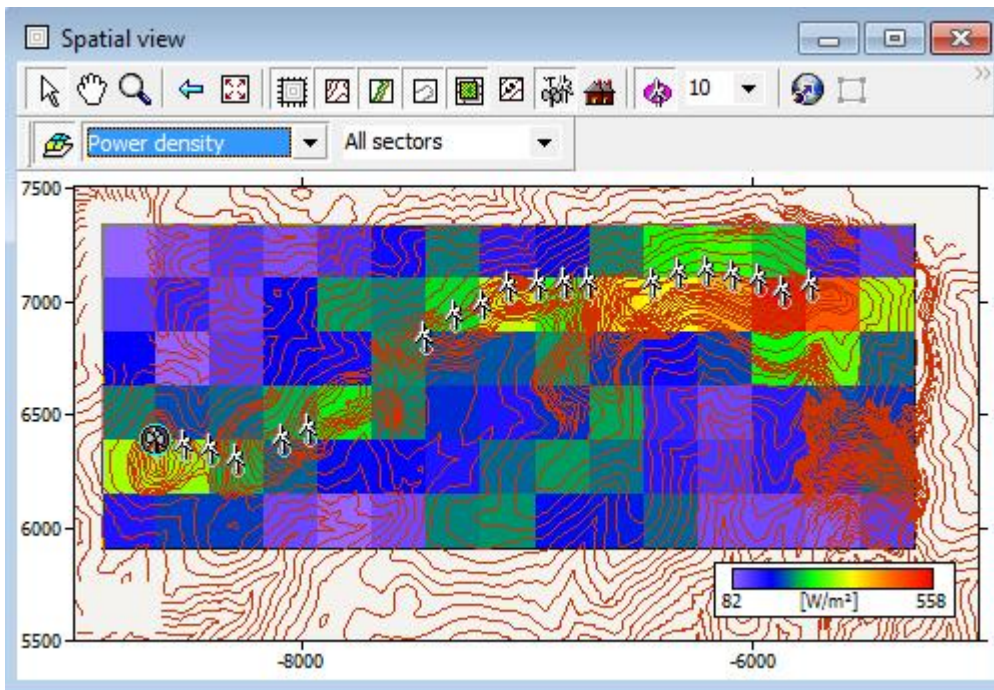
Το WAsP είναι τώρα έτοιμο να προβλέψει την ροή του αέρα πάνω από την επιλεγμένη περιοχή. Από τις επιλογές δεξιού-κλικ του πλέγματος των πόρων, κάνουμε όλους τους επιλεγμένους υπολογισμούς πλέγματος.

Ανοίγουμε το παράθυρο πλέγματος αέρα για να δούμε τα αποτελέσματα. Με αριστερό κλικ στο πλέγμα αέρα, επιλέγουμε παρουσίαση(show) και κάνουμε κλικ στη χωρική ετικέτα:



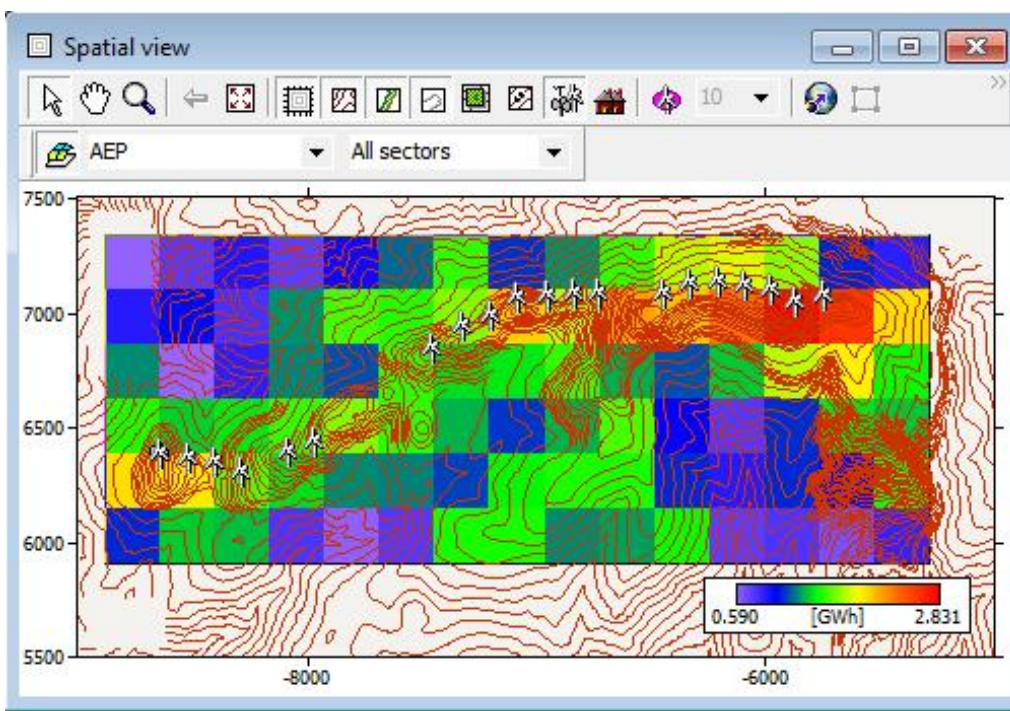
Εικόνα: 5.1.23. Χρησιμοποιούμε τις μεταβλητές επιλογών για να επιλέξουμε ποια μεταβλητή θα εμφανιστεί, π.χ. ενεργειακή πυκνότητα (W/m)

Το παράθυρο πλέγματος της ενεργειακής πυκνότητας του αέρα φαίνεται τώρα στην παρακάτω εικόνα 5.1.24.(με ένα διάστημα πλέγματος 240 m):



Εικόνα:5.1.24. Η απόδοσή της ενεργειακής πυκνότητας, (αιολικό δυναμικό) σε χρωματική κλίμακά με ελάχιστη τιμή το μπλε και μέγιστη το κόκκινο

Μπορούμε να δούμε επίσης και τη μεταβολή άλλων μεγεθών όπως η ενέργεια του ανέμου



Εικόνα: 5.1.25. Η απόδοση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής, σε χρωματική κλίμακα

The screenshot shows a software window titled "'Resource grid 5' Resource grid" with three tabs: "Settings", "Spatial view", and "Statistics". The "Statistics" tab is active, displaying a table with four columns: "Sector [°]", "Variable", "Mean", and "Min". The table lists various variables such as Weibull-A, Weibull-k, Mean speed, Power density, Elevation, RIX, Delta-RIX, AEP, Sector frequency, and Obstacles speed, along with their respective mean and minimum values.

Sector [°]	Variable	Mean	Min
All	Weibull-A	6,1 m/s	4,5 m/s
All	Weibull-k	1,94	1,85
All	Mean speed	5,43 m/s	4,04 m/s
All	Power density	204 W/m ²	82 W/m ²
All	Elevation	694,0 m	423,8 m
All	RIX	10,3%	5,3%
All	Delta-RIX	0,0%	-4,9%
All	AEP	1,366 GW	589,665 MW
000	Sector frequency	13,9%	8,7%
000	Weibull-A	8,0 m/s	5,5 m/s
000	Weibull-k	2,13	2,03
000	Mean speed	7,09 m/s	4,88 m/s
000	Power density	417 W/m ²	128 W/m ²
000	Meso roughness	0,03 m	0,03 m
000	Obstacles speed	0,00%	0,00%

At the bottom of the window, there are three buttons: "Edit mask...", "Edit grid...", and "Calculate".

Εικόνα:5.1.26. Μερικές απλές στατιστικές του πλέγματος του αέρα εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των υπολογισμών

5.1.8. Αναλυτικά αποτελέσματα της παραγωγής από το Wasp

Εφαρμόζοντας το πρόγραμμα Wasp, όπως δείξαμε ανωτέρω, εισαγάγαμε τα ανεμολογικά δεδομένα από τον μετεωρολογικό ιστό, που βρίσκεται στην περιοχή του πάρκου του Σιδηροκάστρου, για τη χρονιά 2007, τα στοιχεία της τοπογραφίας και τις καμπύλες ισχύος των ανεμογεννητριών, και πήραμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα της Εικόνας 5.1.27

Η συνολική προβλεπόμενη παραγωγή είναι **41,286 GWh** για το έτος 2007.

'sidirokastro wind park' wind farm

Produced on 6/4/2011 at 11:55:36 πμ by licenced user: AUA LAB using WAsP version: 10.00.0156.

Summary results

Parameter	Total	Average	Minimum	Maximum
Net AEP [GWh]	41,286	2,064	1,441	2,895
Gross AEP [GWh]	42,190	2,109	1,490	2,904
Wake loss [%]	2,14	-	-	-

Site results

Site	Location	Turbine	Elevation	Height	Net AEP	Wake loss
	[m]		[m a.s.l.]	[m a.g.l.]	[GWh]	[%]
Turbine 001	(-8640, 6330)	Vestas V52 (850 kW)	652	44	2,046	0,64

Turbine 002	(-8515, 6315)	Vestas V52 (850 kW)	634	44	1,924	0,65
Turbine 003	(-8400, 6300)	Vestas V52 (850 kW)	624	44	1,649	0,83
Turbine 004	(-8280, 6252)	Vestas V52 (850 kW)	650	44	1,441	3,3
Turbine 005	(-8075, 6340)	Vestas V52 (850 kW)	683	44	1,484	5,2
Turbine 006	(-7965, 6390)	Vestas V52 (850 kW)	700	44	1,567	2,44
Turbine 007	(-7450, 6790)	Vestas V52 (850 kW)	740	44	1,486	9,09
Turbine 008	(-7320, 6890)	Vestas V52 (850 kW)	760	44	1,734	5,95
Turbine 009	(-7195, 6940)	Vestas V52 (850 kW)	763	44	1,612	7,5
Turbine 010	(-7080, 7012)	Vestas V52 (850 kW)	784	44	2,105	2,0
Turbine 011	(-6945, 7025)	Vestas V52 (850 kW)	786	44	1,988	1,55
Turbine 012	(-6830, 7035)	Vestas V52 (850 kW)	808	44	1,920	1,13
Turbine 013	(-6718, 7035)	Vestas V52 (850 kW)	825	44	1,983	0,33
Turbine 014	(-6435, 7037)	Vestas V52 (850 kW)	881	44	2,255	3,79
Turbine 015	(-6325, 7080)	Vestas V52 (850 kW)	880	44	2,399	1,38

Turbine 016	(-6202, 7087)	Vestas V52 (850 kW)	881	44	2,658	0,41
Turbine 017	(-6085,0, 7072,5)	Vestas V52 (850 kW)	888	44	2,812	0,24
Turbine 018	(-5970, 7050)	Vestas V52 (850 kW)	896	44	2,895	0,29
Turbine 019	(-5862,5, 7000,0)	Vestas V52 (850 kW)	887	44	2,755	1,62
Turbine 020	(-5735, 7025)	Vestas V52 (850 kW)	857	44	2,573	0,34

Turbine 019	(-5862.5,700 0.0)	Vestas V52 (850 kW)	887	44	2.755	1.62
Turbine 020	(-5735, 7025)	Vestas V52 (850 kW)	857	44	2.573	0.34

Εικόνα 5.1.27 Πίνακας με τα αποτελέσματα με τα συνολικά, και αναλυτικά για κάθε ανεμογεννήτρια

Στον πρώτο από τους ανωτέρω πίνακες στην **Εικόνα 5.1.27**, με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι η καθαρή ετήσια παραγωγή ενέργειας του πάρκου (Net AEP) σε GWh, ήταν **41,286** που προέρχεται αν από την ακαθάριστη ετήσια παραγωγή ενέργειας (Gross AEP), που ήταν **42,190** GWh, αφαιρεθούν οι απώλειες του ομόρου, που είναι το **2,14%** της ακαθάριστης παραγωγής.

Στον δεύτερο πίνακα στην **Εικόνα 5.1.27** βλέπουμε την καθαρή παραγωγή ενέργειας και τις απώλειες ομόρου, από κάθε ανεμογεννήτρια, καθώς και τις συντεταγμένες της θέσης, το υψόμετρο και το ύψος, κάθε μηχανής.

Παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες απώλειες ομορου, παρατηρούνται στις μηχανές 4, 5, 6, 7, 8, 9, που υποθέτουμε ότι οι θέσεις εγκατάστασης τους, και οι αποστάσεις μεταξύ τους, προκαλεί αυτά τα αποτελέσματα.

5.2. Εφαρμογή του προγράμματος Wasp στο αιολικό πάρκο της Σύρου

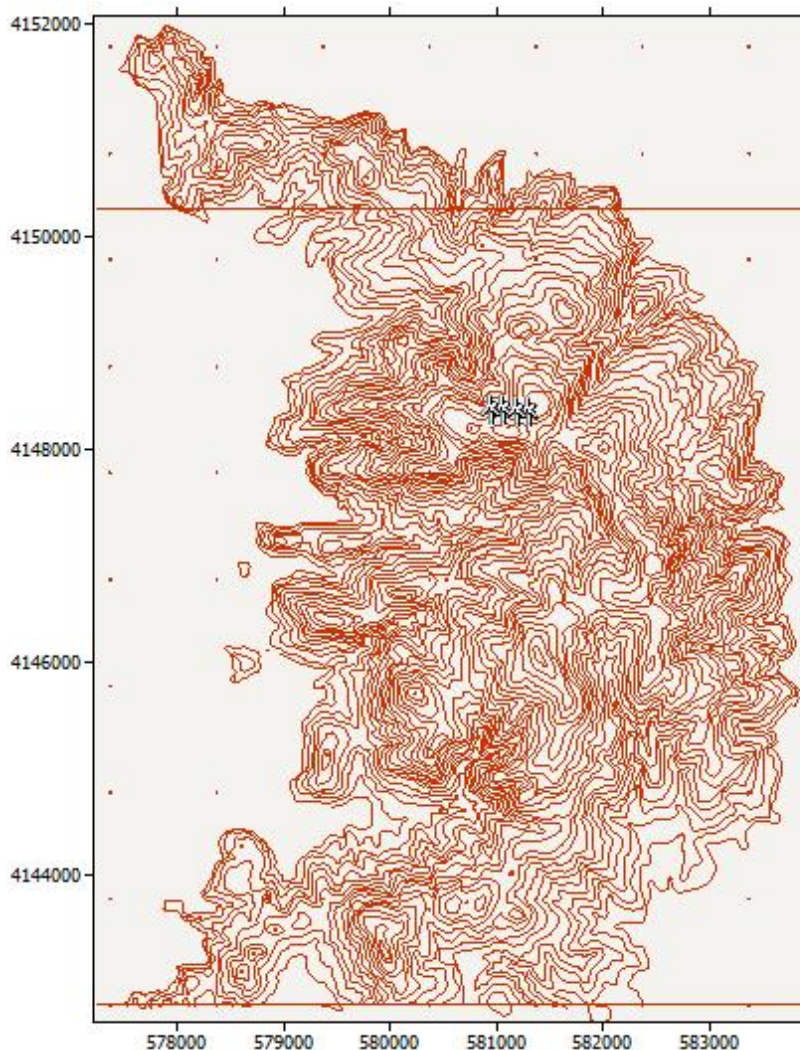
Παρακάτω περιγράφεται συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε με σκοπό να προβλεφθεί η παραγωγή ενέργειας στη διάρκεια του έτους 2006 από το αιολικό πάρκο του Σύρου, με σκοπό τα αποτελέσματα να συγκριθούν με την πραγματική παραγωγή που έδωσε το πάρκο κατά τη διάρκεια του ίδιου ημερολογιακού έτους.

5.2.1. Η διαδικασία πρόβλεψης της παραγωγής ενέργειας του πάρκου

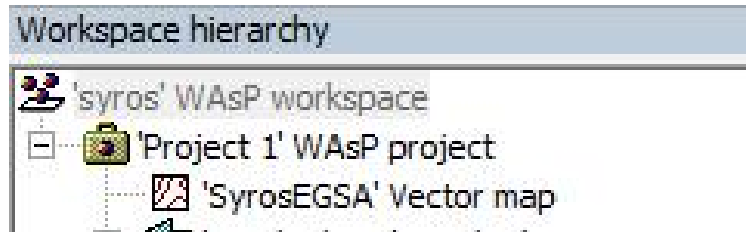
5.2.2. Άνοιγμα του χώρου εργασίας (workspace) του WASP

Όταν ανοίγουμε για πρώτη φορά το WASP, παρουσιάζεται ένα κενό παράθυρο (Εικόνα:5.2.1)

Ο Χάρτης



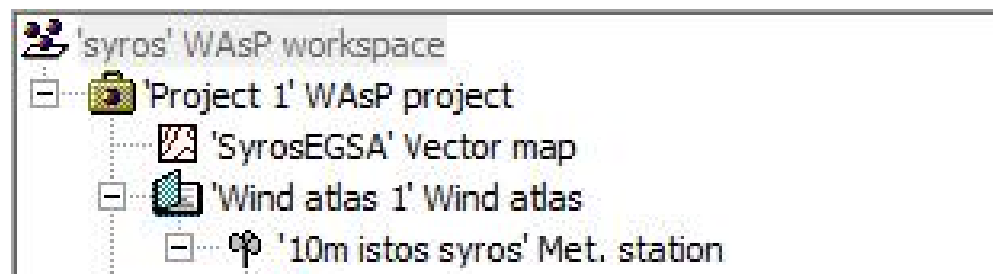
Εικόνα 5.2.1 Ο χάρτης της τοποθεσίας του αιολικού πάρκου Σύρου, από το Wasp .



Εικόνα 5.2.2. Ο χώρος εργασίας, με τον χάρτη και το project σαν «παιδιά» της ρίζας του χώρου εργασίας.

5.2.3 Η Δημιουργία του άτλαντα ανέμου

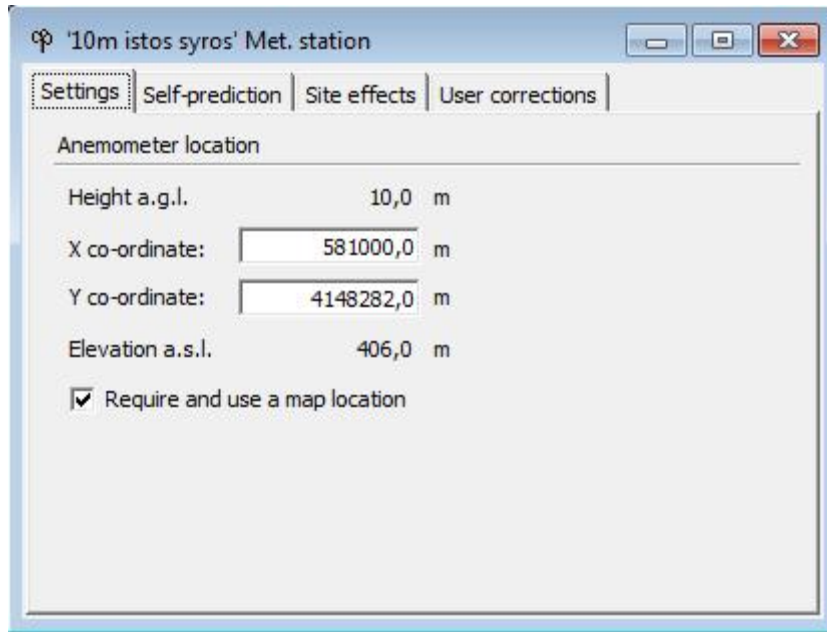
Ο ανεμολογικός άτλαντας θα παραχθεί από τα στοιχεία του μετεωρολογικού ιστού γ' αυτό και παρεμβάλλουμε τον ιστό ως «παιδί» του ανεμολογικού άτλαντα.



Εικόνα 5.2.3. Ο χώρος εργασίας θα έχει αυτή τη μορφή

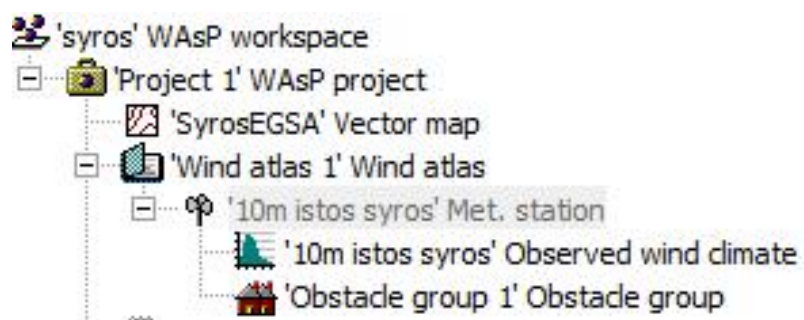
Για να καθορίσουμε τη θέση του ιστού στο χάρτη:

Με διπλό κλικ πάνω στο σταθμό εμφανίζεται το παράθυρο διάλογου, που μας επιτρέπει να ορίσουμε τις θέση του στο χάρτη.



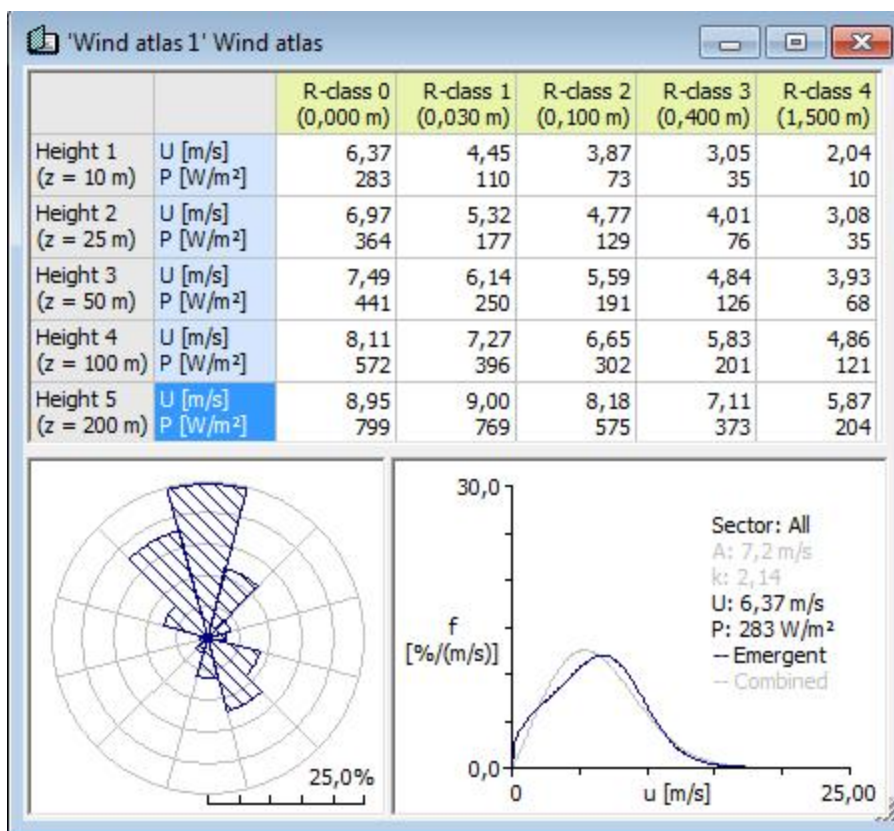
Εικόνα 5.2.4. Όταν εμφανιστεί το πλαίσιο διαλόγου ορίζουμε τις συντεταγμένες του

5.2.3.α Η Προσθήκη των παρατηρήσεων ανέμου



Εικόνα: 5.2.5. Η ιεραρχία του μετεωρολογικού ιστού

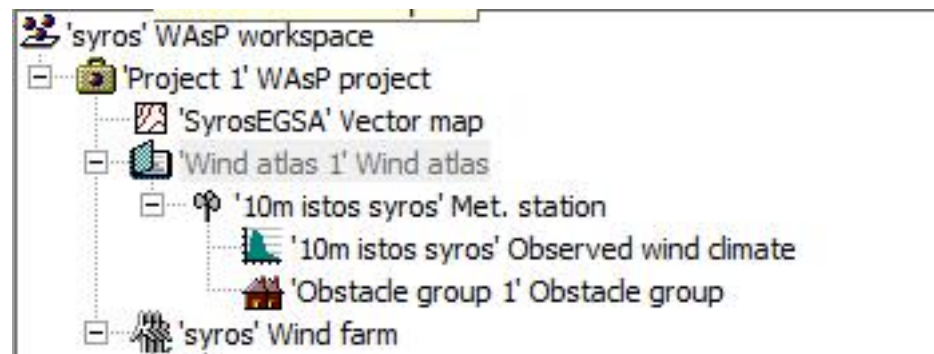
5.2.3.β Ο υπολογισμός του άτλαντα



Εικόνα: 5.2.6. Ο ανεμολογικός άτλαντας εμφανίζεται ως ανεξάρτητος χαρακτηρισμός του κλίματός για την περιοχή και περιλαμβάνει τιμές της ταχύτητας και της ισχύος για διαφορετικά ύψη και μήκη τραχύτητας.

5.2.4. Η Εγκατάσταση του Αιολικού πάρκου

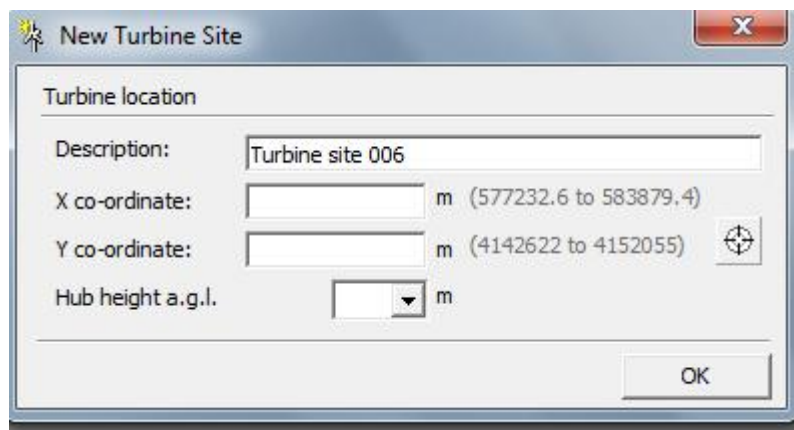
Για να τοποθετήσουμε τις ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στο πάρκο, πρέπει να προσθέσουμε ένα αιολικό πάρκο, ως μέλος της ιεραρχίας στο χώρο εργασίας.



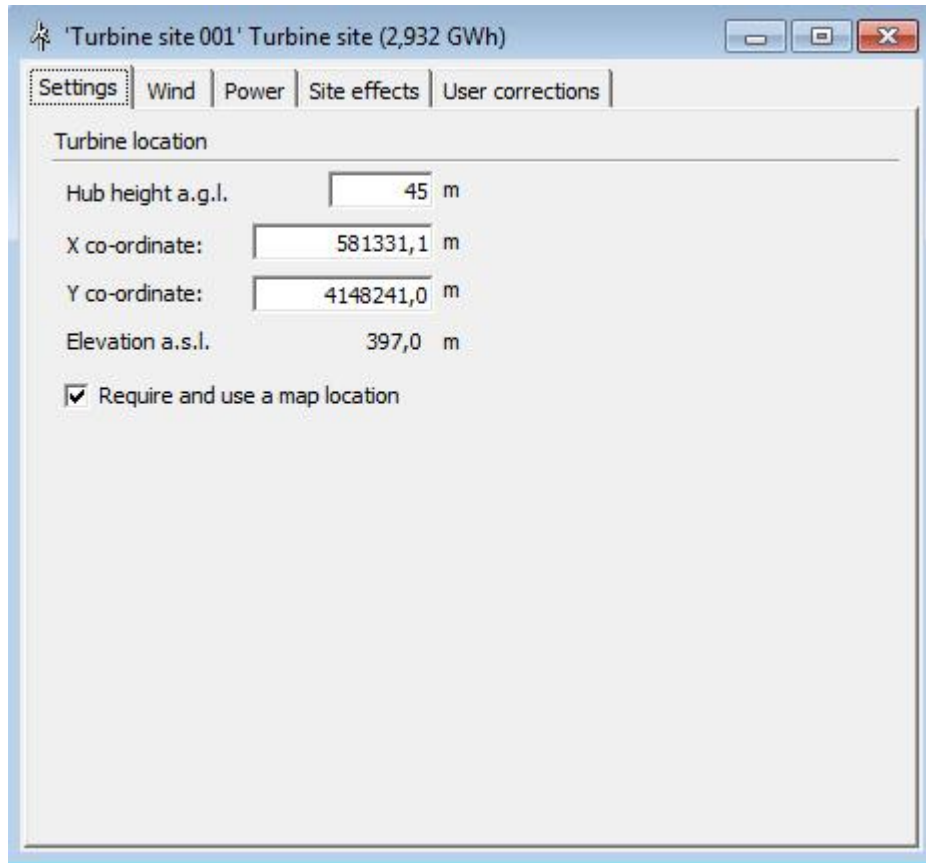
Εικόνα 5.2.7. Η μορφή που παίρνει ο χώρος εργασίας, όταν παρεμβάλλουμε ένα αιολικό πάρκο ως παιδί του προγράμματος

5.2.5. Εγκατάσταση ανεμογεννητριών

Αρχικά κάνουμε δεξί κλικ στο μέλος της ιεραρχίας «αιολικό πάρκο» και επιλέγουμε insert new _ turbine site.

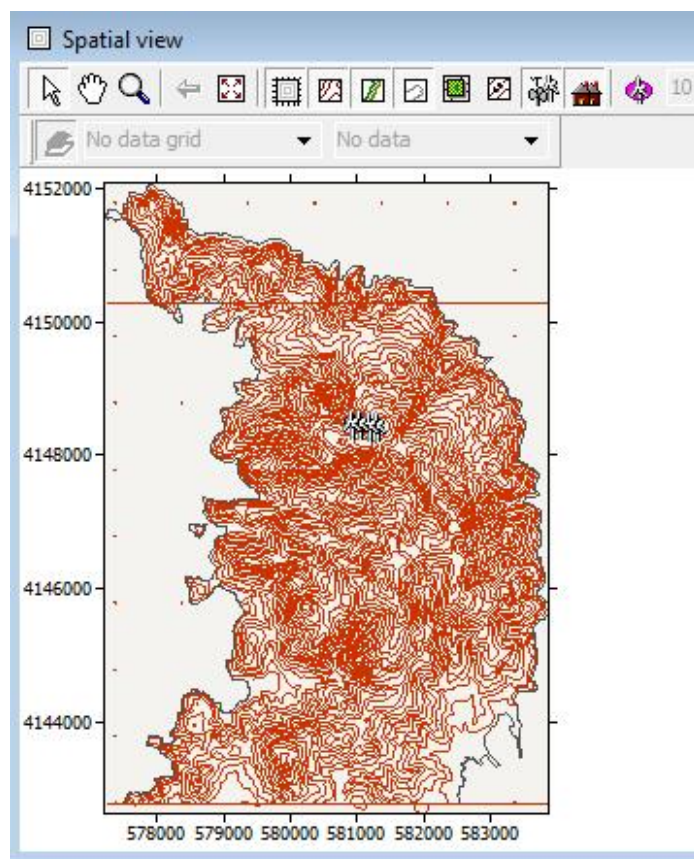


Εικόνα 5.2.8 Το παράθυρο με το οποίο εισάγουμε τις ανεμογεννήτριες

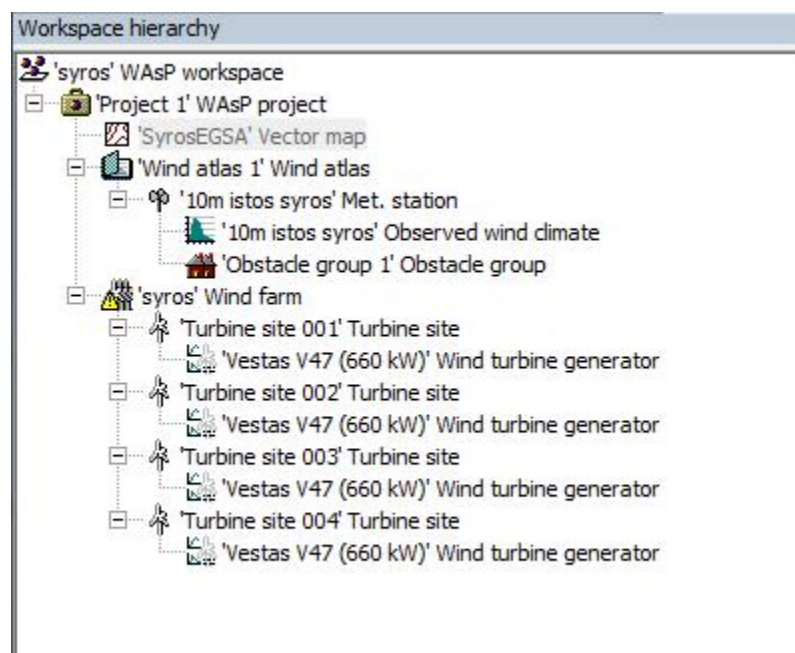


Εικόνα: 5.2.9 Δίνουμε το ύψος της πλήμνης και τις συντεταγμένες της κάθε ανεμογεννήτριας

Έτσι το πάρκο στο χάρτη μας θα πάρει αυτή τη μορφή:



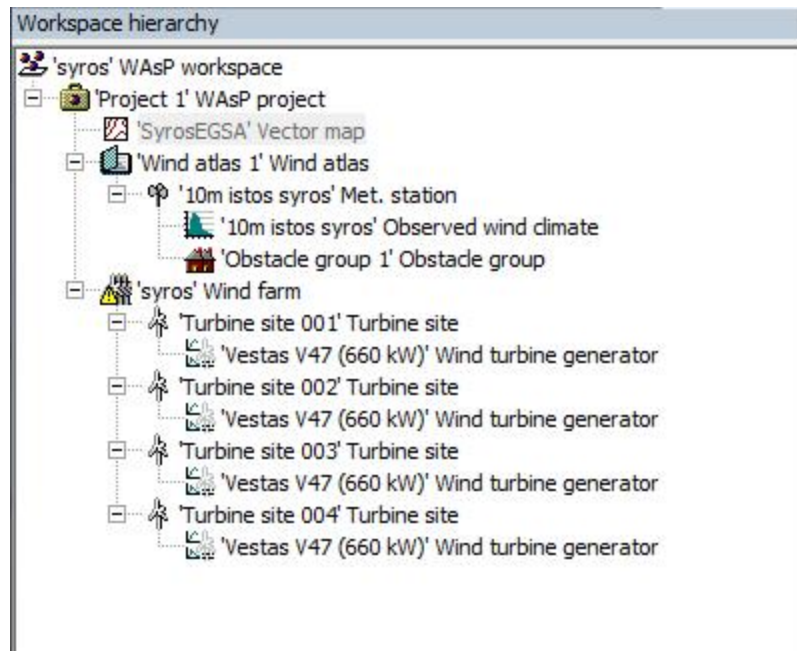
Εικόνα:5.2.10. Οι θέσεις των ανεμογεννητριών και του ιστού



Εικόνα: 5.2.11. Η ιεραρχία τώρα θα πάρει αυτή τη μορφή

5.2.5.α. Ο Προσδιορισμός αιολικών μηχανών

Για να υπολογίσουμε πόση ενέργειά θα παραχθεί από το αιολικό πάρκο το WAsP θα πρέπει να γνωρίζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μηχανών. Για να παρασχεθούν αυτές οι πληροφορίες στο WAsP δημιουργούμε για κάθε μέλος της ιεραρχίας, την καμπύλη ισχύος της κάθε μηχανής αλλά και τα χαρακτηριστικά της τραχύτητας για κάθε θέση.



Εικόνα: 5.2.12. Η ιεραρχία πάρει αυτή τη μορφή

5.2.6. Πρόβλεψη της παραγωγής του αιολικού πάρκου

Το WAsP είναι τώρα έτοιμο να προβλέψει την παραγωγή ενέργειας του αιολικού πάρκου. Από τις επιλογές δεξιού κλικ του αιολικού πάρκου, επιλέγουμε τον υπολογισμό όλων των στοιχείων καθώς και τις απώλειες ορόρου για το αιολικό πάρκο. Έτσι, τα μικρά κίτρινα σημάδια στις εικόνες περιοχών στροβίλων και αιολικών πάρκων εξαφανίζεται μόλις εκτελείται ο υπολογισμός.

Στη συνέχεια ανοίγουμε το παράθυρο που εμφανίζονται τα αποτελέσματα για το σύνολο των πάρκου.

Variable	Total	Mean	Min	Max
Total gross AEP [GWh]	12,608	3,152	2,951	3,278
Total net AEP [GWh]	12,487	3,122	2,932	3,265
Proportional wake loss [%]	0,96	-	0,39	1,53
Mean speed [m/s]	-	9,54	9,03	9,89
Power density [W/m ²]	-	962	810	1075
RIX	-	-	21,1	23,9

Εικόνα: 5.2.13. Η προσληφθείσα παραγωγή ενέργειας του αιολικού πάρκου είναι 12,487 GWh

Τα αποτελέσματα δείχνουν, ότι απώλειες του ομόρου είναι σχετικά μικρές, όπως διαβάζουμε στην εικόνα 5.2.13, η proportional wake loss είναι 0,96% δεδομένου ότι οι ανεμογεννήτριες βρίσκονται σε αρκετή απόστασή μεταξύ τους.

Περισσότερες λεπτομέρειες είναι διαθέσιμες στον πίνακα παραγωγής για κάθε θέση. Η ακριβής θέση κάθε μηχανής, το υψόμετρο της θέσης, το ύψος πηλημών, η ακαθάριστη και καθαρή παραγωγή ενέργειας και οι απώλειες ομόρου.

'syros' Wind farm (12,487 GWh Net)

Settings | Site list | Statistics | WF Power curve

Site ID	Site x [m]	Site y [m]	El [m]	Rx	DR	Ht	U	Grs	Net	Wk
Turbine sit	581331,1	4148241,0	397,0	21,1	-2,7	45,0	9,03	2,951	2,932	0,65
Turbine sit	581208,5	4148242,0	403,0	21,7	-2,1	45,0	9,50	3,144	3,096	1,53
Turbine sit	581083,8	4148270,0	409,0	23,7	0,0	45,0	9,74	3,235	3,194	1,27
Turbine sit	580968,6	4148270,0	406,0	23,9	0,1	45,0	9,89	3,278	3,265	0,39

Calculate

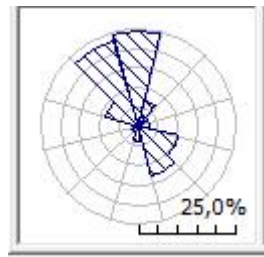
Εικόνα: 5.2.14. Λεπτομερέστερη ανάλυση των αποτελεσμάτων για κάθε ανεμογεννήτρια εμφανίζεται από το παράθυρο διαλόγου της κάθε μηχανής

'Turbine site 001' Turbine site (2,932 GWh)

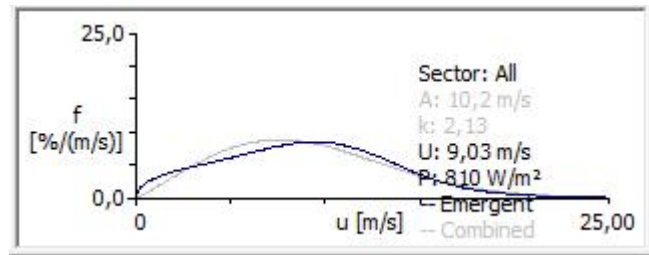
Settings | Wind | Power | Site effects | User corrections

Sector	Wind climate						Power
	#	angle [°]	freq. [%]	W-A [m/s]	Weibull-k	U [m/s]	P [W/m ²]
1	0	24,1	11,0	3,56	9,92	7	
2	30	6,8	9,5	2,53	8,46	5	
3	60	2,6	3,6	1,57	3,21		
4	90	2,7	3,7	1,31	3,43		
5	120	10,6	7,4	1,53	6,68	4	
6	150	12,9	8,2	1,67	7,31	5	
7	180	4,0	11,2	1,85	9,99	12	
8	210	1,7	8,5	1,40	7,72	8	
9	240	1,0	5,1	1,06	4,94	3	
10	270	1,3	6,1	1,58	5,48	2	
11	300	9,2	13,3	2,64	11,81	15	
12	330	22,9	12,1	3,22	10,84	10	
All (emergent)						9,03	8

Εικόνα: 5.2.15. Πίνακας χαρακτηριστικών ανέμου στη θέση της Α/Γ 1(Vestas V47)



Εικόνα: 5.2.16. Ρόδο ανέμου στη θέση της Α/Γ 1 (Vestas V47)

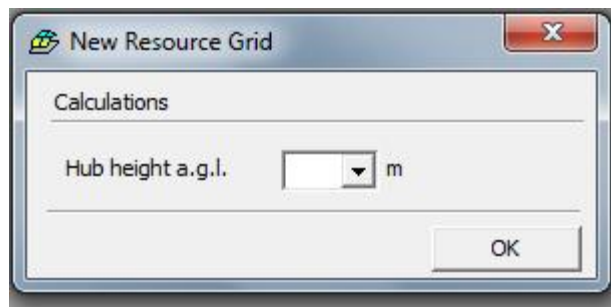


Εικόνα: 5.2.17. Κατανομή weibull των ταχυτήτων αέρα στη θέση της Α/Γ 1 (Vestas V47)

5.2.7. Υπολογισμός του αιολικού δυναμικού

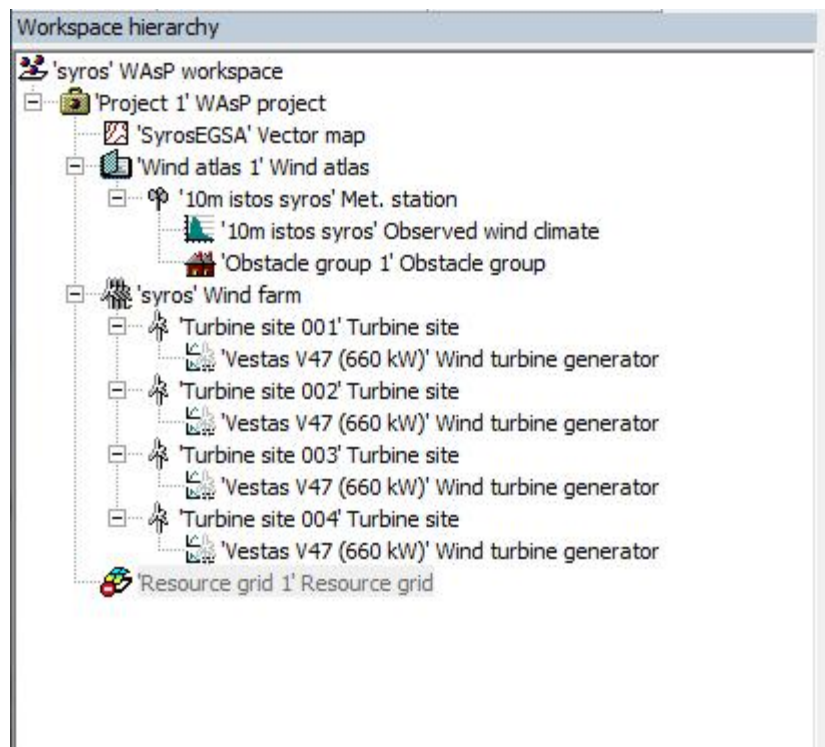
Δημιουργία πλέγματος ροής αέρα:

Για να δημιουργήσουμε έναν πλεγμα ροής αέρα της ευρύτερης περιοχής, πρέπει να προσθέσουμε ένα μέλος ιεραρχίας πλέγματος ροής αέρα στο χώρο εργασίας.



Εικόνα: 5.2.18. Το παράθυρο πλέγματος ροής εμφανίζεται για το ύψος πλήμνης

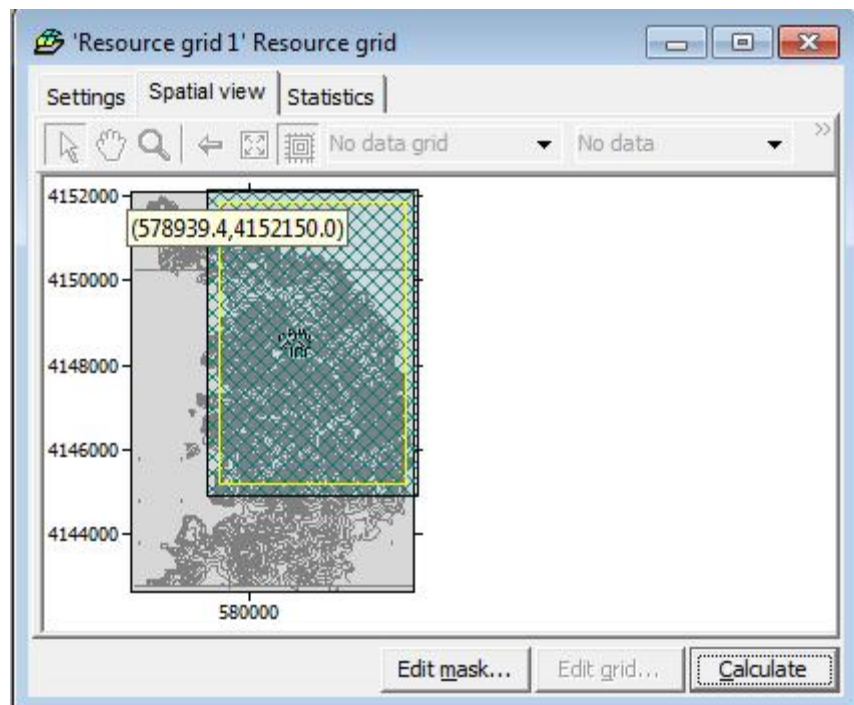
Παρεμβάλουμε το πλέγμα της ροής του αέρα ως παιδί του προγράμματος.



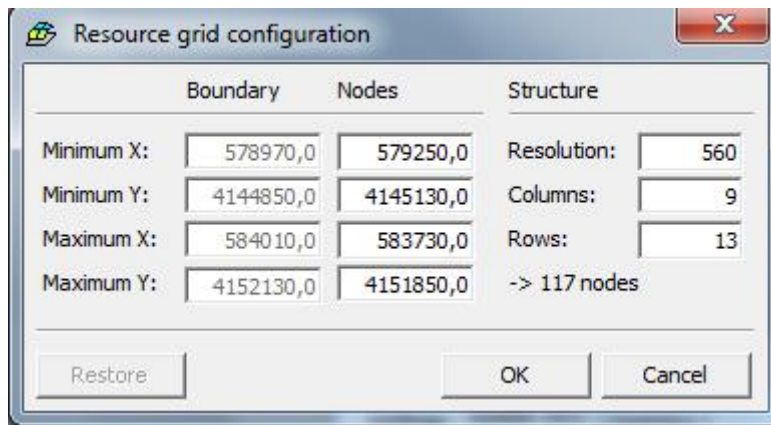
Εικόνα: 5.2.19. Ο χώρος εργασίας θα πάρει αυτή τη μορφή

Επισημαίνεται ότι και τα μέλη της ιεραρχίας δηλαδή ο ανεμολογικός άτλαντας, οι ανεμογεννήτριες και ο χάρτης υποβάθρου αντιπροσωπεύουν μια κοινή περιοχή.

Αυτό που χρειάζεται τώρα είναι να ορίσουμε τη θέση αλλά και τη δομή του πλέγματος πάνω στο χάρτη. Αρχικά με αριστερό κλικ στο μέλος ιεραρχίας πλέγματος ροής αέρα επιλέγουμε show και στη συνέχεια "spatial view". Μπορούμε να μεγιστοποιήσουμε ή να μικραίνουμε το παράθυρο. Συνήθως «μεγιστοποιούμε» την εικόνα στην πάνω δεξιά γωνία του παραθύρου. Έπειτα, πατάμε Edit και βλέπουμε την εικόνα οργάνωσης πλέγματος αέρα.



Εικόνα: 5.2.20. Το παράθυρο διαμόρφωσης πλέγματος της ροής του αέρα ανοίγει και ένα πλέγμα προεπιλογής παρουσιάζεται στο χάρτη και στο παράθυρο διαμόρφωσης

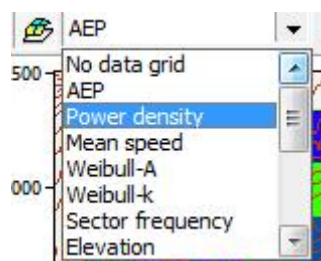


Εικόνα: 5.2.21. Οριοθετούμε το πλέγμα ανάλογα με τις απαιτήσεις

Εάν το σχεδιάγραμμα και η δομή προεπιλογής, καλύπτει την περιοχή ενδιαφέροντος τότε πατάμε απλά **OK** και το πλέγμα αέρα είναι έτοιμο να υπολογιστεί.

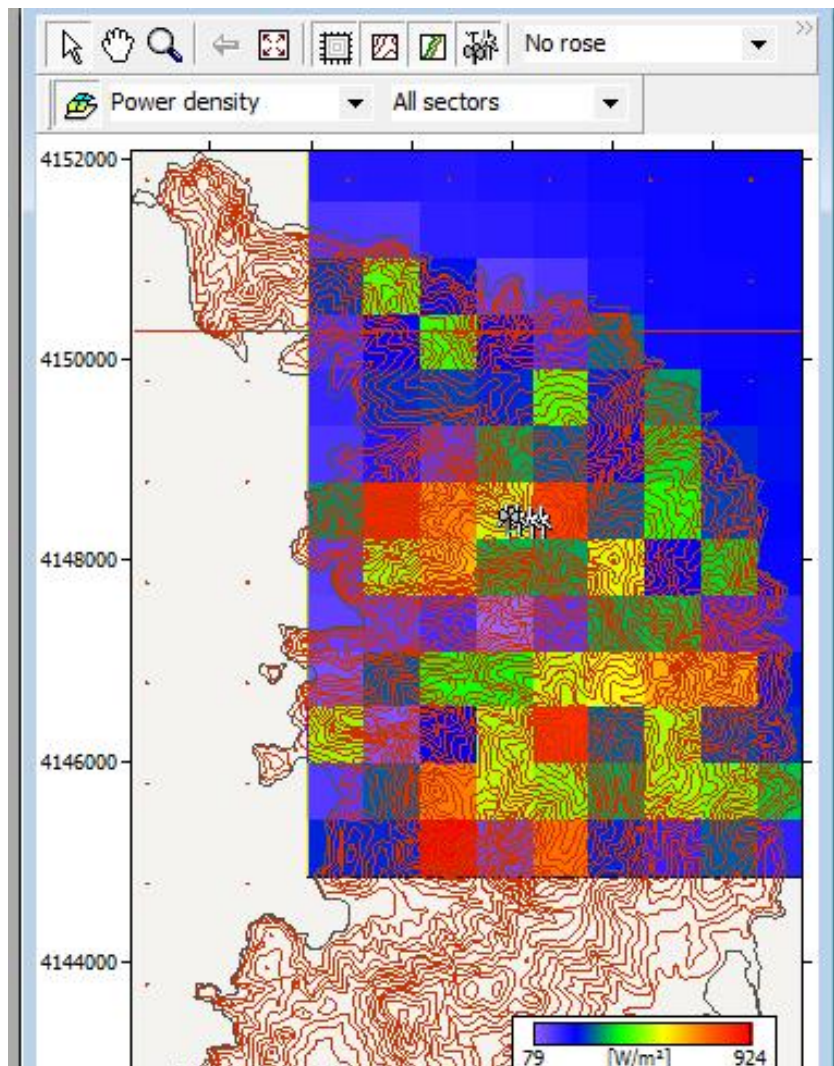
Το WAsP είναι τώρα έτοιμο να προβλέψει την ροή του αέρα πάνω από την επιλεγμένη περιοχή. Από τις επιλογές δεξιού-κλικ του πλέγματος των πόρων, κάνουμε όλους τους επιλεγμένους υπολογισμούς πλέγματος.

Ανοίγουμε το παράθυρο πλέγματος αέρα για να δούμε τα αποτελέσματα. Με αριστερό κλικ στο πλέγμα αέρα, επιλέγουμε παρουσίαση(show) και κάνουμε κλικ στη χωρική ετικέτα:



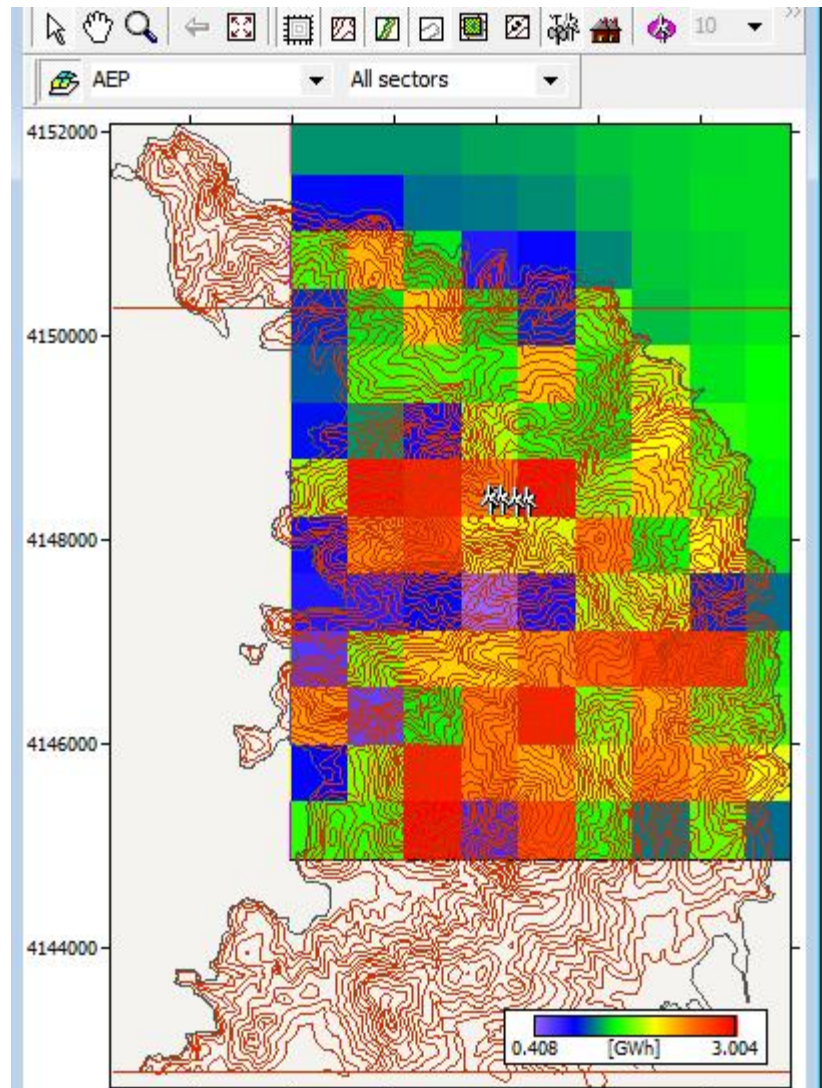
Εικόνα: 5.2.22. Χρησιμοποιούμε τις μεταβλητές επιλογών για να επιλέξουμε ποια μεταβλητή θα εμφανιστεί, π.χ. ενεργειακή πυκνότητα (W/m)

Το παράθυρο πλέγματος της ενεργειακής πυκνότητας του αέρα φαίνεται τώρα στην παρακάτω εικόνα (με ένα διάστημα πλέγματος 240m):



Εικόνα:5.2.23. Η απόδοσή της ενεργειακής πυκνότητας, (αιολικό δυναμικό), σε χρωματική κλίμακά με ελάχιστη τιμή το μπλε και μέγιστη το κόκκινο.

Μπορούμε να δούμε επίσης και τη μεταβολή άλλων μεγεθών όπως η ενέργεια του ανέμου



Εικόνα: 5.2.24. Η απόδοση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής, σε χρωματική κλίμακα

Sector [°]	Variable	Mean	Min
All	Weibull-A	7,2 m/s	4,3 m/s
All	Weibull-k	2,08	1,69
All	Mean speed	6,42 m/s	3,85 m/s
All	Power density	324 W/m ²	79 W/m ²
All	Elevation	130,6 m	1,3 m
All	RIX	15,9%	1,4%
All	Delta-RIX	-7,9%	-22,4%
All	AEP	1,607 GW	407,804 MW
000	Sector frequency	23,7%	14,0%
000	Weibull-A	7,9 m/s	3,5 m/s
000	Weibull-k	3,53	2,61
000	Mean speed	7,07 m/s	3,14 m/s
000	Power density	314 W/m ²	24 W/m ²
000	Meso roughness	0,03 m	0,03 m
000	Obstacles speed	0,00%	0,00%

Εικόνα:5.2.25. Μερικές απλές στατιστικές του πλέγματος του αέρα, όπως εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των υπολογισμών

5.2.8. Αποτελέσματα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το Wasp

Εφαρμόζοντας το πρόγραμμα Wasp, όπως δείξαμε ανωτέρω, εισαγάγαμε τα ανεμολογικά δεδομένα από τον μετεωρολογικό ιστό, που βρίσκεται στην περιοχή του πάρκου της Σύρου, για τη χρονιά 2006, τα στοιχεία της τοπογραφίας και τις καμπύλες ισχύος των ανεμογεννητριών, και πήραμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα στην **Εικόνα 5.2.26**

Η συνολική προβλεπόμενη παραγωγή είναι 12,487 GWh για το έτος 2006.

'syros' wind farm

Produced on 6/4/2011 at 12:28:05 μμ by licenced user: AUA LAB using WAsP version: 10.00.0156.

Summary results

Parameter	Total	Average	Minimum	Maximum
Net AEP [GWh]	12,487	3,122	2,932	3,265
Gross AEP [GWh]	12,608	3,152	2,951	3,278
Wake loss [%]	0,96	-	-	-

Site results

Site	Location [m]	Turbine	Elevation [m a.s.l.]	Height [m a.g.l.]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
Turbine site 001	(581331,1, 4148241,0)	Vestas V47 (660 kW)	397	45	2,932	0,65
Turbine site 002	(581208,5, 4148242,0)	Vestas V47 (660 kW)	403	45	3,096	1,53
Turbine site 003	(581083,8, 4148270,0)	Vestas V47 (660 kW)	409	45	3,194	1,27
Turbine site 004	(580968,6, 4148270,0)	Vestas V47 (660 kW)	406	45	3,265	0,39

Site wind climates

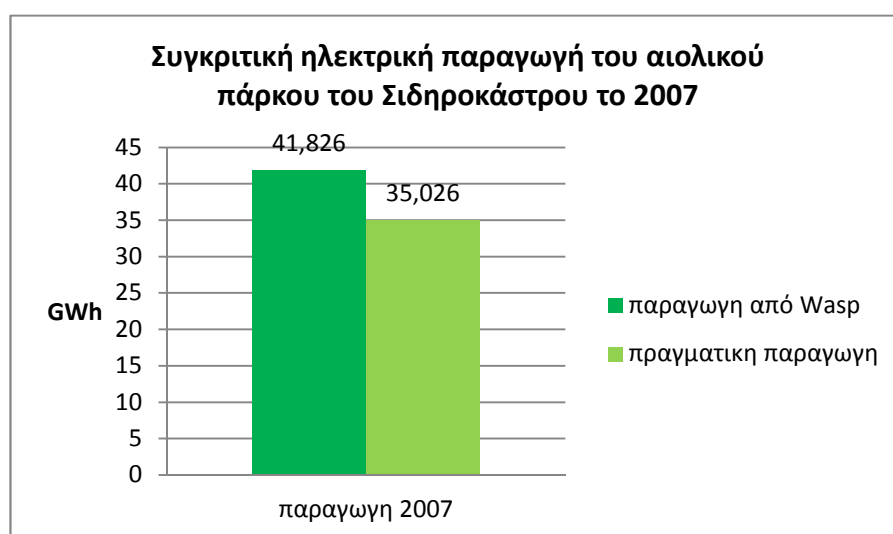
Site	Location [m]	Height [m a.g.l.]	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m ²]	RIX [%]	dRIX [%]
Turbine site 001	(581331,1, 4148241,0)	45	10,2	2,13	9,03	810	21,1	-2,7
Turbine site	(581208,5, 4148270,0)	45	10,7	2,13	9,50	944	21,7	-2,1

002	4148242,0)								
Turbine site 003	(581083,8, 4148270,0)	45	11,0	2,13	9,74	1020	23,7	0,0	
Turbine site 004	(580968,6, 4148270,0)	45	11,2	2,11	9,89	1075	23,9	0,1	

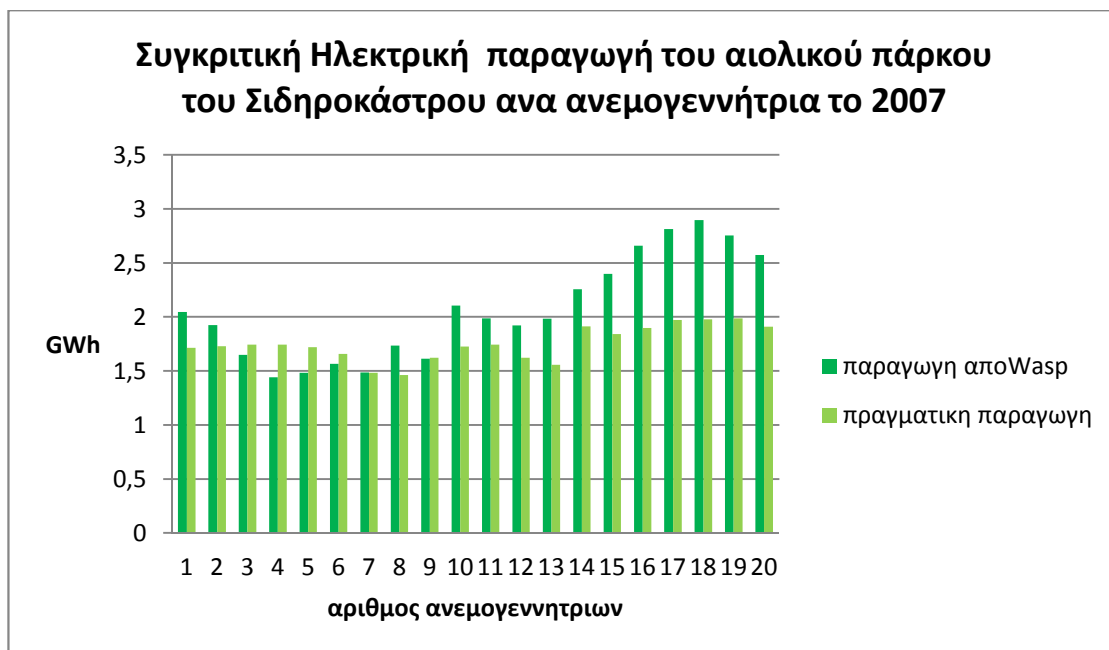
Εικόνα 5.2.26. Η συνολική παραγωγή, και η παραγωγή ανά ανεμογεννήτρια από το Wasp

5.3. Σύγκριση των αποτελεσμάτων για το αιολικό πάρκο Σιδηροκάστρου

Συγκρίνοντας την παραγωγή του αιολικού πάρκου του Σιδηροκάστρου, για το έτος 2007, με βάση τα δεδομένα από τη εταιρεία **ΑΙΟΛΙΚΗ ΣΙΔΗΡΟΚΑΣΤΡΟΥ Α.Ε.** που ήταν **35,026 GWh**, με τα αποτελέσματα που έδωσε το πρόγραμμα Wasp, που είναι **41,286 GWh** βλέπουμε ότι το Wasp δίνει υψηλότερες τιμές, από τις πραγματικές.

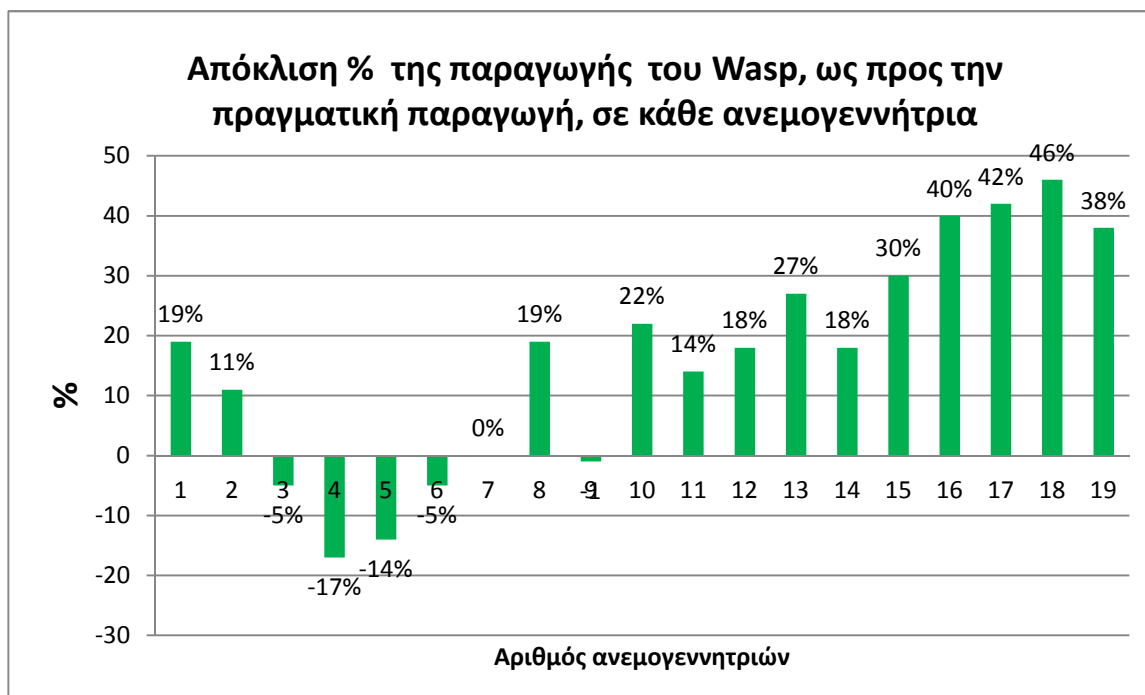


Εικόνα 5.3.1 Η Πραγματική παραγωγή και η παραγωγή από το Wasp



Εικόνα 5.3.2 Η Πραγματική παραγωγή και η παραγωγή από το Wasp ανά Α/Γ

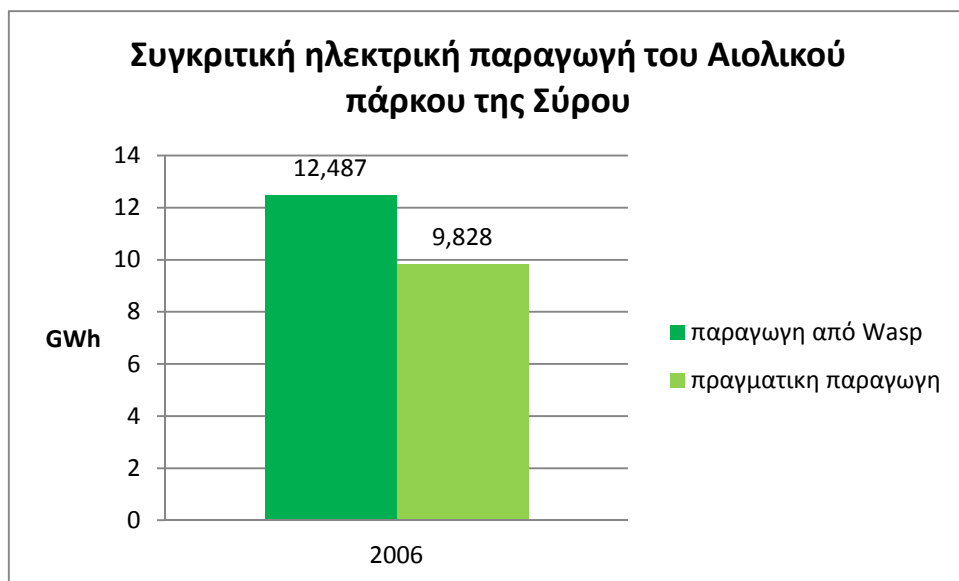
Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της πραγματικής παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου του Σιδηροκάστρου και της ηλεκτρικής ενέργειας που δίνει το πρόγραμμα Wasp, βλέπουμε ότι υπάρχει υπερεκτίμηση της τάξης του **19,4%**, στην συνολική παραγωγή, ενώ κυμαίνεται η απόκλιση για κάθε ανεμογεννήτρια από -17% έως 46%, η απόκλιση δε μεγαλώνει σε εκείνες τις μηχανές που είναι πιο απομακρυσμένες από τον μετεωρολογικό ιστό.



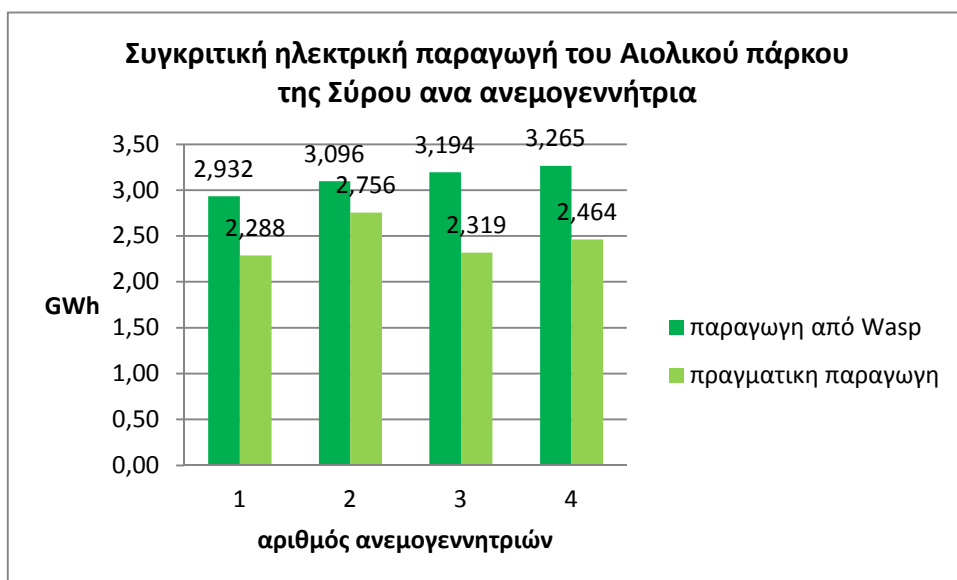
Εικόνα 5.3.3. Η απόκλιση του Wasp σε κάθε ανεμογεννήτρια

5.4. Σύγκριση των αποτελεσμάτων για το αιολικό πάρκο Σύρου.

Συγκρίνοντας την παραγωγή του αιολικού πάρκου της Σύρου, για το έτος **2006**, με βάση τα δεδομένα από τη **εταιρεία ΙΤΑ** που ήταν **9,828 GWh**, με τα αποτελέσματα που έδωσε το πρόγραμμα Wasp, που είναι **12,487 GWh** βλέπουμε ότι το Wasp δίνει υψηλότερες τιμές, από τις πραγματικές.



Εικόνα 5.4.1 Η Πραγματική παραγωγή και η παραγωγή από το Wasp



Εικόνα 5.4.2 Η Πραγματική Παραγωγή και η Παραγωγή από το Wasp σε για τις 4 Α/Γ

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της πραγματικής παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, του αιολικού πάρκου της Σύρου και τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής ενέργειας που δίνει το πρόγραμμα Wasp, βλέπουμε ότι υπάρχει υπερεκτίμηση της τάξης του **27%**, όπως φαίνεται στην **εικόνα 5.4.1** για το σύνολο της παραγωγής, η υπερεκτίμηση δε σε κάθε ανεμογεννήτρια κυμαίνεται από **12%** έως **38%**, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 5.4.3**



Εικόνα 5.4.3. Η απόκλιση του Wasp για κάθε ανεμογεννήτρια

Από την εφαρμογή του προγράμματος του **Wasp**, στα δύο αιολικά πάρκα του ηπειρωτικού Σιδηροκάστρου, και του νησιωτικού της Σύρου, προκύπτει ότι :

- Η προβλεπόμενη παραγωγή για το Σιδηρόκαστρο παρουσιάζεται αυξημένη κατά **19%**, της πραγματικής.
- Η προβλεπόμενη παραγωγή για την Σύρο παρουσιάζεται αυξημένη κατά **27%**, της πραγματικής.

Συμπεραίνουμε ότι το εμπορικό μοντέλο του **Wasp**, υπερεκτιμά και στις δύο περιπτώσεις την ενεργειακή παραγωγή, σε αρκετά μεγάλο ποσοστό, και περισσότερο στο νησιωτικό αιολικό πάρκο. Η αβεβαιότητα στον υπολογισμό της ενεργειακής παραγωγής, εισάγεται κυρίως από τον υπολογισμό της μεταβολής της ταχύτητας του αέρα, λόγω της τοπογραφίας και στην επίδρασή του ομόρρου μεταξύ των ανεμογεννητριών.

Οι αποκλίσεις από την πραγματική κατάστασή οφείλονται στο γεγονός ότι γενικά τα μοντέλα ομόρρου του μοντέλου, δεν προσαρμόζονται στην ενδεχόμενη αλλαγή ροής του ανέμου, λόγω της τοπογραφίας, πίσω από τις μηχανές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ότι ουσιαστικά σε

πραγματικές τοπογραφίες, υπάρχει αβεβαιότητα ως προς το εάν οι γειτονικές μηχανές λειτουργούν στις συνθήκες που προβλέπονται από τα θεωρητικά μοντέλα ανάπτυξης ομίχρας.

Η πολυπλοκότητα της τοπογραφίας, ανεβάζει τις απαιτήσεις εκτίμησης του αεροδυναμικού, έτσι η χρήση περισσότερων του ενός μοντέλου, θα συμβάλει στη μείωση των αβεβαιοτήτων. Κάνοντας επαρκή χρήση περισσότερων του ενός μοντέλων, θα πρέπει να υιοθετούμε πάντα την πλέον συντηρητική λύση. Η υιοθέτηση ενιαίου ρόδου για κάθε θέση των μηχανών, που χρησιμοποιούν τα επαγγελματικά μοντέλα, οδηγεί σε σφάλματα για την εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου, άρα και σε σφάλματα στην εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής.

Η μείωση της αβεβαιότητας επιτυγχάνεται με την επιλογή κατάλληλης θέσης εγκατάστασης και ύψους του μετεωρολογικού ιστού ενώ απαιτείται η εγκατάστασή περισσότερων του ενός μετεωρολογικού ιστού σε μεγάλα αεροδυναμικά πάρκα. www.wasp.dk

Τα παραπάνω συμπεράσματα για την υπερεκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής του **Wasp**, συμφωνούν με άλλες μελέτες, που έχουν γίνει, ειδικότερα από ερευνητές του **Risoe National Laboratory** της Δανίας, που αναφέρουν ότι, τα λάθη πρόβλεψης του WASP μπορεί να είναι σημαντικά, εάν το τοπικό κλίμα και το έδαφος βρίσκονται εκτός του κανονικού λειτουργικού φακέλου της, δηλαδή των προτεινόμενων συνθηκών εφαρμογής. Το Πρόγραμμα (**Wasp**), δίνει μάλλον, ακριβείς κλιματολογικές προβλέψεις σε χαμηλούς, ομαλούς λόφους μικρών έως μέτριων διαστάσεων με αρκετά ήπιες κλίσεις για την εξασφάλιση των επισυναπτομένων ροών. (Ένα υψηλό επίπεδο συσχέτισης μεταξύ των ταχυτήτων του ανέμου στο τόπο αναφοράς και στον εκτιμώμενο τόπο αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση, αλλά όχι αποκλειστική προϋπόθεση για την ακριβή πρόβλεψη. Η αξία της συσχέτισης δεν υποδεικνύει το σημείο ή το μέγεθος του σφάλματος πρόβλεψης.) Το σφάλμα και η κατά προσέγγιση πρόβλεψη του σφάλματος, που οφείλεται στην ορογραφία, είναι ανάλογη με τη διαφορά στην τραχύτητα μεταξύ του εκτιμώμενου τόπου και του τόπου αναφοράς.

Μια σημαντική κατηγορία σφαλμάτων είναι εκείνες που συνδέονται με το έδαφος γύρω από δύο τοποθεσίες. Τέτοια λάθη επηρεάζονται

- από τους εκτεταμένους διαχωρισμούς της ροής,
- από τον βαθμό της στροφής σε κάθε τομέα
- και το μέγεθος του χάρτη

Το ρόδο της κατεύθυνσης συχνά χωρίζεται σε 12 ισόποσες τομείς κατεύθυνσης. Απότομες, πλάγιες κορυφογραμμές επηρεάζουν την κατεύθυνση της ροής του ανέμου και μπορεί να προκαλέσουν την αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου στην τοποθεσία της πρόβλεψης, έτσι ώστε να πέσει σε παρακείμενο τομέα κατεύθυνσης, από εκείνο που φαίνεται στο χώρο αναφοράς,[22].

Τελικά, προτείνεται, κατά την εφαρμογή του **WASP**, να υπολογίζεται απόκλιση της τάξης 20% έως 30% και να συνδυάζεται και άλλο υπολογιστικό μοντέλο.

5.5. Συμπεράσματα


Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του προγράμματος του **WAsP** , στο αιολικό πάρκο του Σιδηροκάστρου και στο αιολικό πάρκο της Σύρου, είναι ότι

- το πρόγραμμα παρουσιάζει αρκετά μεγάλες αποκλίσεις της εκτιμώμενης ετήσιας ενεργειακής παραγωγής, σε σχέση με την πραγματική παραγωγή, που δείχνουν τα πραγματικά στοιχεία, τα οποία δόθηκαν από τις εταιρείες που διαχειρίζονται τα ανωτέρω αιολικά πάρκα.
- Οι αποκλίσεις είναι της τάξης του +19% για το πάρκο του Σιδηροκάστρου, και +27% για το πάρκο της Σύρου. Τα αποτελέσματα αυτά δικαιολογούνται, από το γεγονός ότι το πρόγραμμα κατασκευάσθηκε για να εφαρμόζεται σε χαμηλούς, ομαλούς λόφους, σύμφωνα με τον λειτουργικό φάκελο του.
- Οι αποκλίσεις είναι θετικές, δηλαδή το πρόγραμμα κάνει σχεδόν πάντα υπερεκτίμηση της παραγωγής στις χωροταξικές συνθήκες των αιολικών πάρκων της Ελλάδας, όπως καταδεικνύουν προσομοιώσεις του προγράμματος και για άλλα πάρκα της χώρας από ερευνητικές εργασίες αλλά και από χρήσεις του από εμπορικές εταιρείες

Έτσι προτείνεται όταν εφαρμόζεται αναγκαστικά, σε διαφορετικές τοπογραφίες,

- να συνυπολογίζονται υψηλά ποσοστά υπερεκτίμησης της ενεργειακής παραγωγής, προκειμένου να είναι αξιόπιστη η πρόβλεψη εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου,
- να εφαρμόζονται παράλληλα και άλλα προγράμματα ώστε να συγκρίνονται τα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. ΚΑΠΕ (www.cres.gr)
- [2] "Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα: Παρούσα κατάσταση, κίνητρα, εμπόδια και προοπτικές." Γ. Λ. Γληνού, Ν. Χρισταντώνης, Κ. Κουλούρης Ομάδα Α.Π.Ε. , Παρουσίαση στο Συνεδριο του Οικονομικού Παν/μιου Αθηνών ,9/02/2009, Ερέτρια
- [3] Ι. Μηναδάκης ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας ΤΕΙ Κρήτης Ιούλιος 2009, www.wel.teicrete.gr
- [4] Οδηγός τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, ΚΑΠΕ, Αύγουστος 2001)
- [5] Riso National Laboratory 1989
- [6] **Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε.**, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ,(www.desmie.gr)
- [7] **ΕΛΕΤΑΕΝ**, ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ,(www.eletaen.gr)
- [8] *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων : "Μύθος και πραγματικότητα"* Ε. Μπινόπουλος, Π. Χαβιαρόπουλος Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)
- [9] Κάραλης Γεώργιος. Σημειώσεις Αιολικής Ενέργειας, Ακαδημία Ενέργειας 2009 -2010)
- [10] "Ανεμοκινητήρες" Γώργιος Μπεργελές, Εκδόσεις Συμεών, 1995)
- [11] " Getting Started with WASP 8", Niels G. Mortensen, Dunean N. Heathfield, Lisbeth Myllerup, Lars Landberg and Ole Rathmann , 2008
- [12] "*Offshore wind resource assessment with WASP and MM5: Comparative Study for the German Bight*". Barbara Jimenez, Francesco Durante, Bernhard Lange, Torsten Kreutzer, Jens Tambke. Wind Energy Chichester 2007. Wiley Interscience, 13/12/2006.)
- [13] "*European wind energy at the dawn of 21st century*" (European Commission.). Community Research. <http://europa.eu.int>. Belgium. 2005.)
- [14] "*European Wind Atlas*". ISBN 87-550-1482-8. Risø National Laboratory, Roskilde. 656 pp. www.windatlas.dk, Troen, I. and E.L. Petersen (1989).
- [15] "Assessment of the Technical & economical Potential of Wind Energy along the Black Sea Coast of Bulgaria & Romania) An OPET International Action", ΚΑΠΕ August 2002 .

[16]“Το αιολικό Πάρκο Σιδηροκάστρου” άρθρο στην μηνιαία εφημερίδα “Ψίθυροι της Σιντικής” Δεκέμβρης 2005 Γιώργος Στάμτσης, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Διδάκτωρ Πανεπιστημίου Ντούισμπουργκ-Έσσεν

[17] Vestas Wind Systems A/S, www.vestas.com

[18] Ανακοίνωση της ΡΑΕ, 15 Μαΐου 2007

[19] Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού(web.gys.gr)

[20] Αιολική Σιδηροκάστρου Α.Ε.

[21] ΙΤΑ Α.Ε (www.itagroup.gr)

[22] “ Exploring the limits of WAsP. The Wind Atlas Analysis and Application Program.” (Bowen, A.J. and Mortensen, N.G. Ris0 National Laboratory, Denmark (1996).

[23] Ο 'Άνεμος' είναι ένα λογισμικό πακέτο που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Αιολικής Ενεργείας από τον Φασουλά Βασίλη. www.wel.teicrete.gr 20 Ιουλ. 2009

