

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη λογισμικού για την ανάλυση δεδομένων συσκευών
μέτρησης ανέμου τύπου LIDAR**

(Software development for the analysis of LIDAR wind flow data)

Επιβλέπων: Αναπληρωτής καθηγητής Σπύρος Βουτσινάς

ΦΩΤΙΑΔΗΣ ΜΙΧΑΗΛ - ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2011

Η εργασία αυτή είναι η διπλωματική εργασία του Φωτιάδη Μιχαήλ, προπτυχιακού φοιτητή της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με στόχο την απόκτηση του διπλώματος του Μηχανολόγου Μηχανικού.

Επιβλέπων της εργασίας είναι ο αναπληρωτής καθηγητής κύριος Σπύρος Βουτσινάς, του τομέα Ρευστών. Στην παρουσίαση έδωσαν επίσης το παρόν ως αξιολογητές ο καθηγητής κύριος Δημήτριος Παπαντώνης και ο καθηγητής κύριος Αρθούρος Ζερβός.

Ευχαριστώ πολύ τον κύριο Βουτσινά για την ελευθερία και τις επιλογές που μου έδωσε όσον αφορά την εργασία αυτή, χάρη στα οποία είχα την ευκαιρία να ασχοληθώ με θέματα τα οποία με ενδιαφέρονε άμεσα.

Ευχαριστώ επίσης τον κύριο Φουσσέκη Δημήτρη του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με τον οποίο συνεργάστηκα για την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Με καθοδήγησε καθ' όλη την εξέλιξη της διπλωματικής, μου ανέθετε τα επόμενα βήματα και με βοήθησε καθοριστικά όπου χρειάστηκε είτε με προσωπική βοήθεια είτε με παροχή υλικού το οποίο θα μπορούσε να μου δώσει τις απαντήσεις που χρειαζόμουν.

Παράλληλα είμαι ευγνώμων στο συμφοιτητή και φίλο μου Δημήτρη Παρσινά ο οποίος συνέβαλε σε μεγάλο βαθμό στην ολοκλήρωση της εργασίας. Η στήριξη και η βοήθεια του καθ' όλο τον καιρό που ασχολήθηκα με τη διπλωματική, όσον αφορά τόσο το προγραμματιστικό κομμάτι, όσο και γενικότερα, ήταν καθοριστικές.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου, καθώς και το Νίκο και τη Σοφία, για την αμέριστη στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	8
1.1	Στόχοι της εργασίας.....	9
Κεφάλαιο 2	Η χρήση των συσκευών Doppler Lidar στην αιολική ενέργεια.....	14
2.1	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συσκευών Lidar για την αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού.....	16
2.2	Βασική αρχή λειτουργίας των Lidar.....	20
2.3	ZephIR Lidar (QinetiQ).....	23
2.3.1	Αρχή λειτουργίας.....	24
2.3.2	Μαθηματική περιγραφή.....	28
2.3.3	Προσαρμογές.....	29
2.4	Windcube Lidar (Leosphere).....	30
2.4.1	Αρχή λειτουργίας.....	30
2.4.2	Μαθηματική περιγραφή.....	32
2.5	Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	33
2.5.1	Τεχνικές διαφορές των Lidar ZephIR και Windcube.....	35
2.6	Σύγκριση Lidar και ιστού βάση στατιστικών μετρητικών δεδομένων.....	36
Κεφάλαιο 3	Ο κώδικας για την επεξεργασία των μετρήσεων που αποστέλλουν τα Lidar.....	43
3.1	Εισαγωγή.....	45
3.2	Τα αρχεία των ZephIR και Windcube Lidar.....	46
3.3	Διαδικασία.....	53
3.4	Αποτελέσματα του κώδικα.....	54
Κεφάλαιο 4	Εκτίμηση ετήσιας παραγόμενης ενέργειας αιολικού πάρκου στην περιοχή του Λαυρίου Αττικής.....	60
4.1	Εισαγωγή.....	60
4.2	Το αιολικό πάρκο του ΚΑΠΕ στο Λαύριο Αττικής... ..	62
4.3	Διαδικασία.....	70
4.4	Αποτελέσματα.....	82
4.5	Βελτιστοποίηση των θέσεων των ανεμογεννητριών... ..	88
Κεφάλαιο 5	Παράρτημα.....	92
Κεφάλαιο 6	Βιβλιογραφικές αναφορές – σύνδεσμοι.....	119

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό, πως με το πέρασμα του χρόνου η ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών τρόπων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγαλώνει για αυτό το λόγο τα τελευταία χρόνια παρατηρείται συνεχόμενη ανάπτυξη των εναλλακτικών (ανανεώσιμων) πηγών ενέργειας. Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μία από τις βασικές επενδύσεις του ανθρώπου για ηλεκτροπαραγωγή η οποία θα λαμβάνει χώρα χωρίς την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων.

Για ποιο λόγο αξίζει να ασχοληθούμε με αυτή την μορφή ανανεώσιμης πηγής εν σχέση με τις υπόλοιπες;

Πρώτον οι Α/Γ καταλαμβάνουν σχετικά μικρό χώρο στο έδαφος κάτι που επιτρέπει την εκμετάλλευση της περιοχής και για άλλους σκοπούς πλην του αιολικού πάρκου (πχ αγροτικούς).

Δεύτερον οι Α/Γ είναι δυνατό να εγκαθίστανται σε απομακρυσμένες περιοχές, όπως στην θάλασσα και κορυφογραμμές, καθιστώντας δυνατή τόσο την ηλεκτροπαραγωγή σε περιοχές όπου οι άλλες πηγές δεν είναι δυνατό να προσφέρουν αλλά και την μη επιβάρυνση των αστικών περιοχών με επιπλέον εγκαταστάσεις.

Παρ' όλα αυτά μία από τις κύριες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μηχανικοί που δραστηριοποιούνται στον τομέα αυτό είναι η δυσκολία πρόβλεψης του αιολικού δυναμικού στην περιοχή που τους ενδιαφέρει, καθώς και η σωστή εκτίμηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας που θα αποφέρει ένα μελλοντικό αιολικό πάρκο στην περιοχή αυτή.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί λογισμικά τα οποία μπορούν να μας δώσουν πολύ καλά αποτελέσματα όσον αφορά την ενέργεια που θα παράξει ένα προς εγκατάσταση αιολικό πάρκο. Όμως τα λογισμικά αυτά απαιτούν την παροχή κάποιων εισόδων, οι οποίες καθορίζουν σχεδόν εξ' ολοκλήρου το κατά πόσον τα αποτελέσματα θα είναι εύστοχα ή όχι (οι αποκλίσεις που προκύπτουν εξ' αιτίας του λογισμικού είναι πρακτικά μηδενικές). Έτσι οι μηχανικοί καλούνται να βρουν τρόπους ώστε οι εισοδοί που θα δώσουν στα εν λόγω λογισμικά να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβείς και να προσεγγίζουν καλύτερα την πραγματικότητα.

Συγκεκριμένα αναφέρομαι στα παρακάτω στοιχεία:

- Αποτελεσματικά όργανα μέτρησης και καταγραφής του αιολικού δυναμικού, τα οποία εκτός από ακριβή, να παρουσιάζουν και άλλα πλεονεκτήματα όπως η εύκολη, άμεση εγκατάστασή τους και συντήρησή τους και να συμφέρουν οικονομικά.
- Όσο το δυνατόν καλύτερη αναγωγή του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, από μετρήσεις που καλύπτουν διάστημα πχ δύο η τριών ετών σε διάστημα δέκα τουλάχιστον ετών. Ειδικότερα, χαρακτηρίζεται ως επαρκές για εκτίμηση παραγόμενης ενέργειας αιολικού πάρκου, ένα δείγμα αιολικού δυναμικού το οποίο καλύπτει ένα φάσμα δέκα τουλάχιστον ετών. Συνήθως όμως επειδή ο επενδυτής δεν έχει τη δυνατότητα να περιμένει να περάσει μία τέτοια χρονική

περίοδος για να προχωρήσει στις διαδικασίες που αφορούν την κατασκευή του αιολικού πάρκου, συχνά οι μηχανικοί επιδιώκουν να εξάγουν ασφαλή συμπεράσματα για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής με μετρήσεις 2-4 ετών, με μεθόδους που θα παρουσιαστούν αργότερα. Τις περισσότερες φορές πάντως αυτό απαιτεί διασταύρωση μετρήσεων από 2 τουλάχιστον όργανα ανεμομετρίας, όπου το ένα προυπήρχε και το άλλο εγκαταστάθηκε σχετικά πρόσφατα.

Εδώ έρχονται κατ' αρχήν οι συσκευές Lidar, οι οποίες ανταποκρίνονται σε πολλές από τις παραπάνω απαιτήσεις της αιολικής βιομηχανίας με τρόπους που θα παρουσιαστούν αργότερα. Έπειτα θα γίνει εκτενής αναφορά σε λογισμικά που εκτελούν τις παραπάνω λειτουργίες, τα οποία παράλληλα χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην διπλωματική αυτή. Σε κάθε περίπτωση, σημειώνεται πως τόσο τα Lidar, όσο και τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για τις μελέτες αυτές, παρουσιάζουν αποκλίσεις από την πραγματικότητα, για τις οποίες θα γίνει λόγος αργότερα.

Παρ' όλα αυτά προσεγγίζουν τα πραγματικά δεδομένα σε ποσοστό το οποίο στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων επιβεβαιώνεται στην πορεία και ικανοποιεί τις απαιτήσεις του παραγωγού κάνοντας έτσι κερδοφόρα την αρχική επένδυση. Αυτό βεβαίως σημαίνει πως δεν είναι αυτονόητο πως η κατασκευή ενός αιολικού πάρκου θα είναι προσοδοφόρα. Αν για παράδειγμα η μελέτη που αφορά το αιολικό δυναμικό στην περιοχή δεν είναι ακριβής και έχει σημαντικές αποκλίσεις από την πραγματικότητα, αυτό σημαίνει πως στοιχεία όπως η επιλογή των θέσεων των Α/Γ, η επιλογή των τεχνικών χαρακτηριστικών των Α/Γ, ο αριθμός τους και πολλά άλλα, τα οποία επιλέχθηκαν καθαρά βάση της παραπάνω μελέτης θα είναι λανθασμένα, κάτι που θα οδηγήσει στο να γίνει η όλη επιχείρηση ζημιογόνα.

1.1 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εν λόγω διπλωματική έχει κατά βάση δύο στόχους οι οποίοι συνδέονται άμεσα μεταξύ τους, υπό την έννοια ότι για την εκπλήρωση του δευτέρου απαιτείται η εκπλήρωση του πρώτου.

Ο πρώτος και κύριος στόχος αφορά τη συγγραφή ενός κώδικα, ο οποίος θα επεξεργάζεται αρχεία που στέλνονται από τις δύο συσκευές Lidar που κυριαρχούν αυτή τη στιγμή στην αγορά και θα εκτελεί λειτουργίες που αφορούν την ομαδοποίηση των δεδομένων, την απόρριψη αυτών στις οποίες υπάρχουν σφάλματα λόγω παραγόντων που θα εξεταστούν αργότερα και την δημιουργία διαγραμμάτων από τα οποία ο χρήστης θα έχει μια πλήρη εικόνα για το αιολικό δυναμικό που επικρατεί σε μια περιοχή. Αυτό γίνεται με την κατασκευή 5 διαφορετικών διαγραμμάτων, σύμφωνα με τα οποία ο μηχανικός που ασχολείται με την επεξεργασία των μετρήσεων να κάνει τις απαραίτητες εκτιμήσεις.

Τέλος, ο κώδικας παράγει μητρώα από τα αρχεία αυτά, τα οποία περιέχουν μόνο τις αναγκαίες, για τον μηχανικό που ασχολείται με το αιολικό δυναμικό, μετρήσεις ώστε τα μητρώα αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι σε λογισμικά τα οποία θα τα επεξεργαστούν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων που αφορούν τις επιδόσεις ενός μελλοντικού αιολικού πάρκου. Προφανώς τα μητρώα αυτά, περιέχουν μόνο τις μετρήσεις που έχουν περάσει το αναγκαίο filtering, και έχουν απορριφθεί όσες μετρήσεις για οποιοδήποτε λόγο δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες.

Έγινε προσπάθεια ο κώδικας να είναι όσο το δυνατόν πιο κατανοητός και εύχρηστος για τους μελλοντικούς χρήστες, ακόμα και αν αυτοί δεν σχετίζονται με την επιστήμη των μετρήσεων ούτε και με το προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB.

Ο δεύτερος στόχος αφορά την εκτίμηση της ετήσιας παραγόμενης ενός αιολικού πάρκου, χρησιμοποιώντας μετρήσεις οι οποίες πρώτα έχουν υποστεί ομαδοποίηση και επεξεργασία από τον προαναφερθέντα κώδικα.

Τα παραπάνω υλοποιήθηκαν με τη βοήθεια λογισμικών που θα παρουσιαστούν εκτενώς με όλες τις παραδοχές και απλοποιήσεις που ελήφθησαν για την περάτωση της διπλωματικής εργασίας. Εδώ σημειώνω πως μια πραγματική μελέτη που πραγματοποιείται από επαγγελματίες διαφέρει ως προς τις παραμέτρους που λαμβάνονται υπ' όψιν για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου. Αναφέρομαι πιο συγκεκριμένα σε παραμέτρους όπως οικιστικοί, ακουστικοί περιορισμοί, περιορισμοί λόγω ιστορικών και θρησκευτικών κτιρίων κ.ά. τα οποία δεν ήταν δυνατό να ληφθούν υπ' όψιν στο πλαίσιο της διπλωματικής αυτής.

Παρ' όλα στην περίπτωση της άσκησης αυτής, η εκτίμηση που θα δοθεί για την ετήσια παραγόμενη ενέργεια του πάρκου, θα απέχει ελάχιστα από την πραγματικότητα, καθώς το πάρκο στο οποίο θα γίνει η μελέτη είναι ήδη κατασκευασμένο και εν λειτουργία. Ειδικότερα, η μελέτη θα αφορά την αντικατάσταση τριών ήδη υπάρχοντων ανεμογεννητριών και όχι την τοποθέτηση νέων, συνεπώς οι παραπάνω παράμετροι οι οποίοι στην περίπτωση σχεδιασμού ενός νέου πάρκου θα οδηγούσαν σε μη τόσο ρεαλιστικά αποτελέσματα, στην περίπτωση της άσκησης αυτής οι μελέτες αυτές έχουν ήδη γίνει και οι θέσεις των

ανεμογεννητριών τηρούν τις προδιαγραφές που καθίστανται απαραίτητες από το κράτος.

1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική έχει οργανωθεί ως εξής.

Στο πρώτο κεφάλαιο δίδεται ο σκοπός της άσκησης καθώς και η δομή της και διάρθρωσή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αρχικά γίνεται αναφορά στις συσκευές Lidar. Ο αναγνώστης πληροφορείται για θεωρητικά, τεχνικά και οικονομικά θέματα που αφορούν τα Lidar, την εξέλιξή τους, τους λόγους που πλέον είναι δημοφιλή στη βιομηχανία της αιολικής ενέργειας, ενώ παράλληλα γίνεται και εκτενής και λεπτομερής παρουσίαση δύο συγκεκριμένων μοντέλων Lidar, του Zephir της εταιρείας QinetiQ (Αγγλία) και του Leosphere της εταιρείας Leosphere (Γαλλία), με εκτεταμένη σύγκριση ανάμεσα στα δύο μοντέλα. Επιλέχθηκαν τα δύο αυτά μοντέλα διότι τη σημερινή εποχή κυριαρχούν στις πωλήσεις. Τέλος αναφέρονται τα προβλήματα που παρουσιάζονται στη χρήση των Lidar και τρόποι για την πιθανή, μελλοντική αντιμετώπισή τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο βασικός στόχος της διπλωματικής αυτής, δηλαδή ο κώδικας, ο οποίος λαμβάνει ως είσοδο και επεξεργάζεται αρχεία μετρήσεων των δύο συσκευών Lidar οι οποίες χρησιμοποιούνται σήμερα περισσότερο εν σχέση με τις υπόλοιπες (Zephir & Windcube) και δίνει ως έξοδο διαγράμματα, από τα οποία ο μηχανικός μπορεί να αξιολογήσει με απόλυτη ακρίβεια (βασιζόμενος φυσικά στις μετρήσεις που διαθέτει) το αιολικό δυναμικό της περιοχής που τον ενδιαφέρει.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύεται το πως έφτασα στην επίτευξη του δεύτερου στόχου της διπλωματικής αυτής, δηλαδή την εκτίμηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας ενός υπάρχοντος αιολικού πάρκου στο Λαύριου, το οποίο αποτελεί ιδιοκτησία του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, μετά την αντικατάσταση τριών ανεμογεννητριών με τρεις νέες.

Ακολουθεί το παράρτημα, στο οποίο παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά κομμάτια του κώδικα με σαφή ανάλυση και εξήγηση του τρόπου λειτουργίας του.

Τέλος, η εν λόγω διπλωματική ολοκληρώνεται με την αναφορά των πηγών και συνδέσμων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνησή της.

2.ΟΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ LIDAR ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η αρχή λειτουργίας των συσκευών Lidar – είναι γνωστή εδώ και πολλές δεκαετίες, παρ' όλα αυτά, ευρέως γνωστές γίνανε από το 2005, όταν η βρετανική εταιρεία QinetiQ εισήγαγε το μοντέλο ZephIR Lidar . Έκτοτε η γαλλική εταιρεία LeoSphere εισήγαγε ένα δεύτερο μοντέλο, το Windcube, το οποίο γνώρισε εμπορική επιτυχία , το οποίο διαφέρει σε αρκετά σημεία από το βρετανικό, με τα οποία θα ασχοληθούμε περιληπτικά αργότερα.

Ο βασικός λόγος για τον οποίο οι συσκευές αυτές έχουν αρχίσει και καθιερώνονται στον τομέα του αιολικού δυναμικού τα τελευταία 5 χρόνια και όχι νωρίτερα είναι διότι πολύ απλά, η αξιοποίηση τους, έως τότε, δεν ήταν οικονομικά συμφέρουσα, λόγω του υψηλού κόστους επένδυσης αλλά και της αδυναμίας της τότε τεχνολογίας να μετρήσει ταχύτητες σε ύψη που σχετίζονται με την αιολική ενέργεια.

Εν σχέση με τους ιστούς, τα Lidar φέρουν το πλεονέκτημα της πιο εύκολης αλλά και πιο φθηνής εγκατάστασης, της πιο απλής συντήρησης και της απόλυτης εγγύησης ότι δεν είναι ευάλωτα σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες (κρύο, βροχή, χιόνι, αέρας). Εν αντιθέσει, οι ιστοί συχνά χρειάζονται άμεση συντήρηση λόγω δημιουργίας πάγου στην επιφάνειά τους, άλλα και λόγω σχήματος τους, είναι ευάλωτοι σε καιρικές συνθήκες στις οποίες κυριαρχούν δυνατοί άνεμοι κάτι που καθιστά αναγκαία τη μελέτη για αντοχή σε ταλαντώσεις και μηχανικά και δυναμικά φορτία και τη χρήση πιο ακριβών υλικών.

Επίσης, παρότι τα πλεονεκτήματα των εν λόγω συσκευών, παρατηρούνται και στις συσκευές Sodar , οι συσκευές αυτές έχουν το εξής μειονέκτημα εν σχέση με τις Lidar. Οποιαδήποτε ηχητική παρεμβολή, είτε λόγω εξωτερικών πηγών, είτε λόγω της τοπογραφίας (αντίλαλος) μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία της συσκευής οδηγώντας στην παράδοση μετρήσεων με σημαντική απόκλιση από τις πραγματικές.



Εικόνα 2.0 Το Zephyr Lidar της εταιρείας QinetiQ σε πρόωση.

Η βασική αρχή λειτουργίας των συσκευών αυτών είναι η εξής. Ένας παλμός λέιζερ αποστέλλεται στην ατμόσφαιρα. Σε όλη τη διαδρομή, το φως διασκορπίζεται από αερολύματα, σκόνη, σταγόνες νερού. Συλλέγουμε το φως που επιστρέφει και το κάνουμε να παρεμβαίνει σε ένα οπτικό τοπικό ταλαντωτή. Το οπτικό σήμα ψηφιοποιείται και επεξεργάζεται για να ανακτηθεί η μετατόπιση Doppler που προκαλείται από την κίνηση των αερολυμάτων. Πρόκειται για την απόλυτη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου ακτινικά στο οπτικό πεδίο της συσκευής. Το εύρος της ανάλυσης προέρχεται από τη διάδοση του παλμού έναντι του χρόνου.

2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ LIDAR ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Πλεονεκτήματα των Lidar ως όργανα μέτρησης του αιολικού δυναμικού εν σχέση με τις συμβατικές μεθόδους (ιστοί) :

- Άμεση εγκατάσταση (15 λεπτά)
- Μικρή μάζα και όγκος των συσκευών (λεπτομέρειες δίνονται παρακάτω)
- Αθόρυβη, διακριτική, συμπαγής μονάδα
- Άκρως ευρύ φάσμα (μέχρι 1km για το γαλλικό)
- Σταθερή υψηλή ανάλυση πλήρους φάσματος
- Παρακολούθηση μέσω Ethernet ή GPRS
- Αυτόματο φιλτράρισμα δεδομένων
- Σάρωση υπό κωνική γωνία 30° (ή 15° για το γαλλικό) για ακριβή προσδιορισμό του ανέμου σε σύνθετη τοπογραφία
- δυνατότητα μέτρησης ζητουμένων μεγεθών σε ποικίλα ύψη (έως και 10)
- ευκολία στην μετακίνηση, τοποθέτηση, εγκατάσταση και συντήρησή τους (χρόνος και εργάτες που απαιτούνται είναι πολύ λίγος εν σχέση με τα συμβατικά μέτρα μέτρησης του αιολικού δυναμικού όπως οι ιστοί και τα ανεμόμετρα)



Εικόνα 2.1 Το Zephir Lidar εγκατεστημένο το χειμώνα σε περιοχή σύνθετων χαρακτηριστικών στη Μεγάλη Βρετανία.

Στην εικόνα έχουμε ένα σύστημα της εταιρείας QinetiQ το οποίο τοποθετήθηκε σε περιοχή σύνθετης τοπογραφίας στο Ηνωμένο Βασίλειο. Παρότι ο χειμώνας χαρακτηρίστηκε ως ένας από τους πιο βαρείς τα τελευταία 25 χρόνια το σύστημα δεν επηρεάστηκε ούτε στο ελάχιστο από τις καιρικές συνθήκες.

Το πιο βασικό όμως, είναι πως τα Lidar μας δίνουν στις περισσότερες περιπτώσεις πιο ακριβείς μετρήσεις. Δεδομένου ότι λόγω μηχανικών και δυναμικών δυσκολιών, οι ιστοί έχουν περιορισμούς στο ύψος κατασκευής, και δεδομένου φυσικά και του κόστους, με τους ιστούς χρησιμοποιούμε μοντέλα τα οποία δεν μας δίνουν την ακριβή τιμή της ταχύτητας σε ύψη πάνω από τον ιστό, αλλά μια εκτίμηση βάση εξισώσεων που μας δείχνουν τη μεταβολή της ταχύτητας συναρτήσει του ύψους, με γνωστή την ταχύτητα μέχρι ενός συγκεκριμένου ύψους και κάτω.

Συνοψίζοντας, οι μετρήσεις με τις συσκευές Lidar έχουν σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση πολλών από τις απαιτήσεις της βιομηχανίας αιολικής ενέργειας όπως :

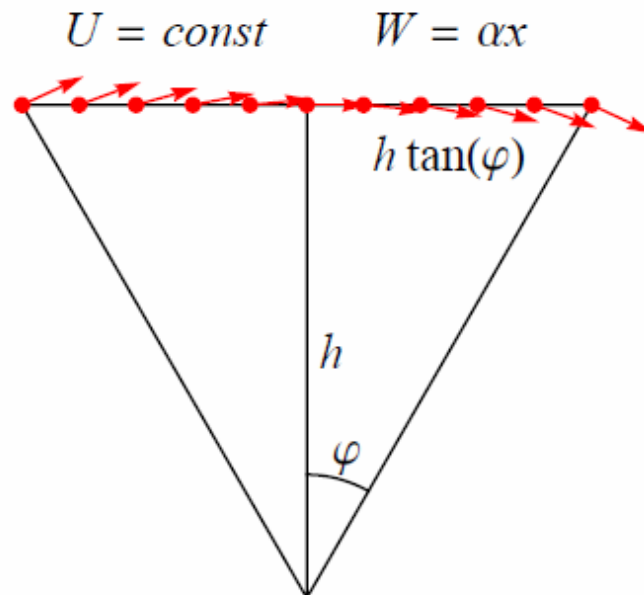
- Ανάγκη για αρχικές έρευνες εύρεσης τοποθεσίας
- Ποσοτικοποίηση δεδομένων πάνω από το ύψος του ιστού
- Χαρακτηρισμός σύνθετων τοπογραφιών
- Επιβεβαίωση χαρακτηριστικών ανέμου
- Micrositing ιστών / ανεμογεννητριών
- Μακροπρόθεσμη αξιολόγηση των φυσικών πόρων
- Προσδιορισμός καθ' ύψος μεταβολής του ανέμου
- Μετρήσεις καμπύλης ισχύος

Επίσης μια εταιρεία που πραγματοποιεί μελέτες σχετικά με το αιολικό δυναμικό περιοχή, λόγω των πλεονεκτημάτων των Lidar, μπορεί εύκολα και οικονομικά να εγγυηθεί στον πελάτη:

- Προσαρμόσιμη περίοδο μετρήσεων
- Απομακρυσμένη παρακολούθηση του συστήματος 24h
- Εγγύηση συνεχούς λειτουργίας
- Προγραμματισμένη πρόσβαση στο σύστημα
- Εκτεταμένες αναφορές

Σε σύνθετες τοπογραφίες παρουσιάζονται σημαντικές αποκλίσεις κάτι το οποίο οφείλεται στο εξής φαινόμενο: Η ροή σε σύνθετες τοπογραφίες δεν είναι πλέον ομογενής κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε αποκλίσεις των μετρήσεων έως και 10%. Το πρόβλημα αυτό ισχύει για οποιαδήποτε άλλη συσκευή βασίζεται στην ίδια αρχή λειτουργίας με το LiDAR- αλλά και για τις συσκευές SoDAR – επίσης.

Το πρόβλημα έγκειται στο ότι σε σύνθετες τοπογραφίες η κατακόρυφη ταχύτητα δεν είναι πλέον σταθερή, αλλά μεταβάλλεται κατά μήκος της περιοχής, παρότι η οριζόντια ταχύτητα μπορεί να ληφθεί σταθερή. Ειδικότερα [3] η κατακόρυφη ταχύτητα σε σύνθετες τοπογραφίες, όπως στην κορυφή ενός λόφου για παράδειγμα, μπορεί να θεωρηθεί ότι μεταβάλλεται γραμμικά με την απόσταση, έχοντας συντελεστή α.



Σχήμα 2.1 Η κωνικού σχήματος δέσμη Laser σε δυσδιάστατη μορφή. [3]

Δεδομένου όμως ότι η οριζόντια ροή δεν είναι ομογενής η ταχύτητα που λαμβάνουμε είναι σύμφωνα με έρευνα [3] :

$$U_{up} = -(U+h*\alpha) * \sin\varphi$$

$$U_{down} = (U+h*\alpha)*\sin\varphi$$

Τελικά,

$$U_{lidar} = \frac{U_{down} - U_{up}}{2 * \sin \varphi} = U + h * \alpha$$

Σύμφωνα με την ίδια έρευνα οι εξισώσεις που μας δίνουν την μετρούμενη από το ταχύτητα στον τρισδιάστατο χώρο και περιγράφουν το διάνυσμά της, με την παραδοχή ότι το πεδίο ταχυτήτων (u, v, w) μεταβάλλεται γραφικά, είναι

$$u_{lidar} = u + h * \frac{dw}{dx}$$

$$v_{lidar} = v + h * \frac{dw}{dy}$$

$$w_{lidar} = w - \frac{1}{2} * \tan^2 \varphi * \frac{dw}{dz}$$

, με l την απόσταση και h το ύψος στο οποίο εστιάζουμε.

Έτσι γίνεται σαφές πως έχουμε σφάλματα στην περίπτωση της σύνθετης τοπογραφίας τα οποία εξαρτώνται από το ύψος h, την απόσταση l και το ήμισυ της γωνίας του κώνου φ . Ειδικότερα παρατηρούμε ότι για μικρές γωνίες το σφάλμα που αφορά την κατακόρυφη συνιστώσα ελαχιστοποιείται, ωστόσο ο μηδενισμός της γωνίας φ φυσικά δεν είναι δυνατός καθώς θα μετρούσαμε την ταχύτητα σε ένα μόνο σημείο. (η περίπτωση αυτή είναι ξεχωριστή λειτουργία των συσκευών την οποία θα αναλύσουμε μετέπειτα)

Επίσης εξίσου σημαντικό είναι πως παρότι το σφάλμα λόγω μη ομογενούς ροής στην κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας ελαχιστοποιείται για πολύ μικρές γωνίες φ , δεν ισχύει το ίδιο για τις οριζόντιες συνιστώσες της ταχύτητας οι οποίες παραμένουν ανεξάρτητες του φ .

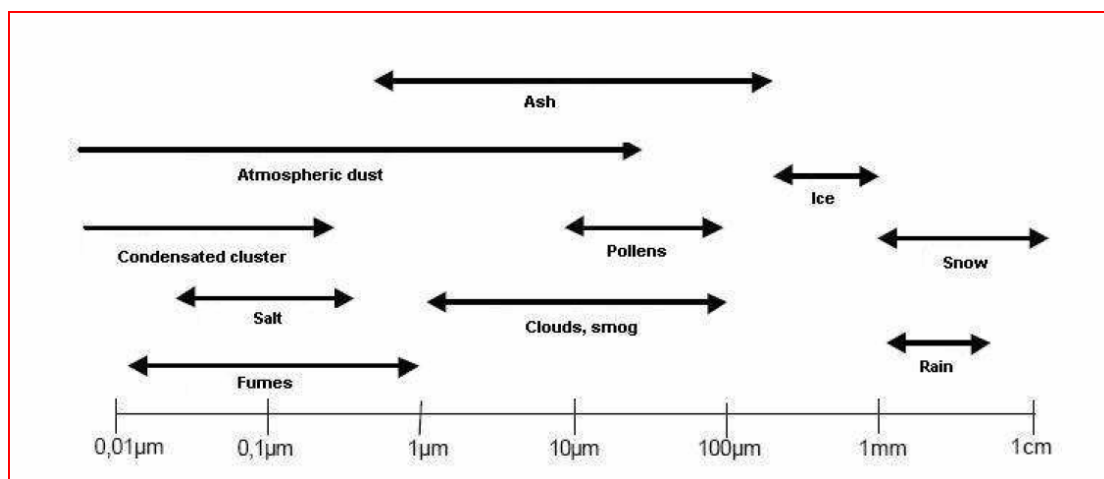
2.2 ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ LIDAR

Θα ξεκινήσω την παρουσίαση του κεφαλαίου αυτού με μια σύντομη αναφορά στο φαινόμενο Doppler, καθώς πάνω σε αυτό βασίζεται η λειτουργία των συσκευών αυτού του είδους. Το φαινόμενο Doppler ανακαλύφθηκε από τον Αυστριακό φυσικό Christian Doppler το 1842 και σχετίζεται με την αλλαγή της συχνότητας ενός κύματος για έναν παρατηρητή, ο οποίος κινείται εν σχέση με την πηγή διάδοσης του κύματος ή μένει ακίνητος εν σχέση με την κινούμενη πηγή. Η συχνότητα του κύματος είναι υψηλότερη όταν ο παρατηρητής πλησιάζει την πηγή, στιγμιαία ίση με την πραγματική κατά την συνάντησή τους και χαμηλότερη κατά την απομάκρυνσή του.

Η αύξηση της συχνότητας εξηγείται ως εξής: Όταν, για παράδειγμα, η πηγή κινείται προς τον παρατηρητή, κάθε διαδοχική κορυφή του κύματος λαμβάνεται από μία θέση η οποία είναι πιο κοντά στον παρατηρητή εν σχέση με την προηγούμενη. Συνεπώς, κάθε κύμα χρειάζεται λιγότερο χρόνο για να φτάσει στον παρατηρητή από το προηγούμενο. Αυτό οδηγεί στην αύξηση της συχνότητας του κύματος, αφού πλέον φτάνει στον παρατηρητή ο ίδιος αριθμός κυμάτων από την πηγή (η πηγή δεν αλλάζει τη συχνότητα εκπομπής του κύματος), αλλά σε λιγότερο χρόνο.

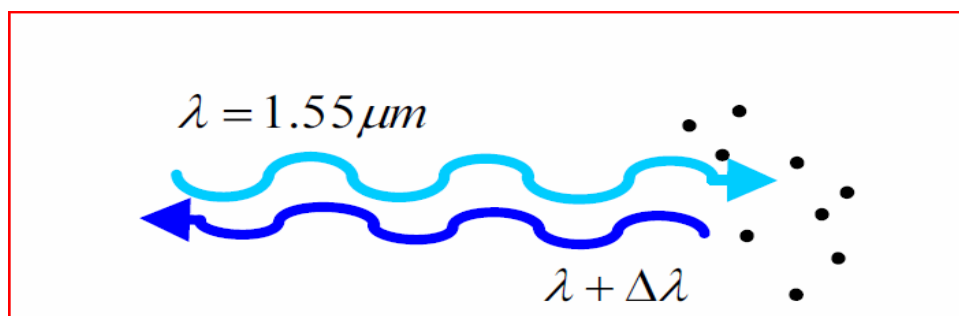
Πάμε τώρα στις συσκευές Lidar. Μία τέτοια συσκευή, εκπέμπει μια δέσμη laser, η οποία χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματός της, υπόκειται σε μεταβολή του μήκους κύματός της, καθώς το η δέσμη προσπίπτει στα διάφορα μόρια και σωματίδια του αέρα και διαδίδεται περαιτέρω.

Τα σωματίδια αυτά αποτελούνται τόσο από φυσικά στοιχεία (σταγονίδια νερού-υγρασία, σκόνη) όσο και από μη φυσικά (σκόνη-μόρια από ανθρώπινες κατασκευές, σκουπίδια, αέρια κ.).



Σχήμα 2.2 Τα σωματίδια στα οποία μπορεί να προσπέσει η δέσμη laser της συσκευής και το μέγεθός τους. [4]

Το Lidar εκπέμπει μια δέσμη laser λοιπόν, σε ένα σημείο εστίασης και μετράει τις ακτίνες που ανακλώνται. Η δέσμη θα προσπέσει πάνω στα σωματίδια και τα περισσότερα από αυτά θα απομακρυνθούν. Συγκρίνοντας λοιπόν εισερχόμενη και την εξερχόμενη ακτίνα laser, υπολογίζεται το μέγεθος της επίδρασης του φαινομένου Doppler στη συχνότητα της ακτίνας και συνεπώς, μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του αέρα, στην προκειμένη περίπτωση, του παρατηρητή. Το Lidar απαιτεί την εντόπιση ενός φωτονίου για κάθε 10^{12} φωτόνια που διαδίδονται ώστε να μπορεί να μετρήσει την ταχύτητα του ανέμου.



Εικόνα 2.2 Η μεταβολή του μήκους κύματος της ακτίνας λόγω του φαινομένου Doppler.[4]

Εδώ, θα γίνει η παρατήρηση ότι στην περίπτωση που δεν υπήρχαν σωματίδια στον αέρα (δηλαδή αν ήμαστε στο κενό) ή η πραγματική ταχύτητα του ανέμου ήταν μηδενική, δεν θα υπήρχε μεταβολή στο μήκος κύματος της ακτίνας. Τέλος, θεωρούμε ότι τα στοιχεία της ατμόσφαιρας έχουν πάντα την ταχύτητα του αέρα, κάτι που δεν μας οδηγεί σε σημαντικές αποκλίσεις, καθώς είναι πολύ μικρά.

Η σχέση μεταξύ της μεταβολής του μήκους κύματος και της πραγματικής ταχύτητας του ανέμου είναι,

$$\Delta\lambda = \frac{2v_{wind}\lambda}{c}$$

, όπου

c είναι η ταχύτητα του φωτός ($3 \cdot 10^8$ m/s).

λ είναι το μήκος κύματος της ακτίνας, το οποίο είναι σταθερό και ίσο $1,55 \mu m$.

Με αυτές λοιπόν τις βασικές αρχές, εξηγείται παρακάτω εκτενέστερα το πώς λειτουργούν οι συσκευές αυτές. Εδώ, αξίζει να σημειωθεί το εξής. Τα Lidar, είναι συσκευές συνεχούς κύματος, οι οποίες δεν “γνωρίζουν” το ύψος από το οποίο προέρχεται η ανάκλαση της ακτίνας.

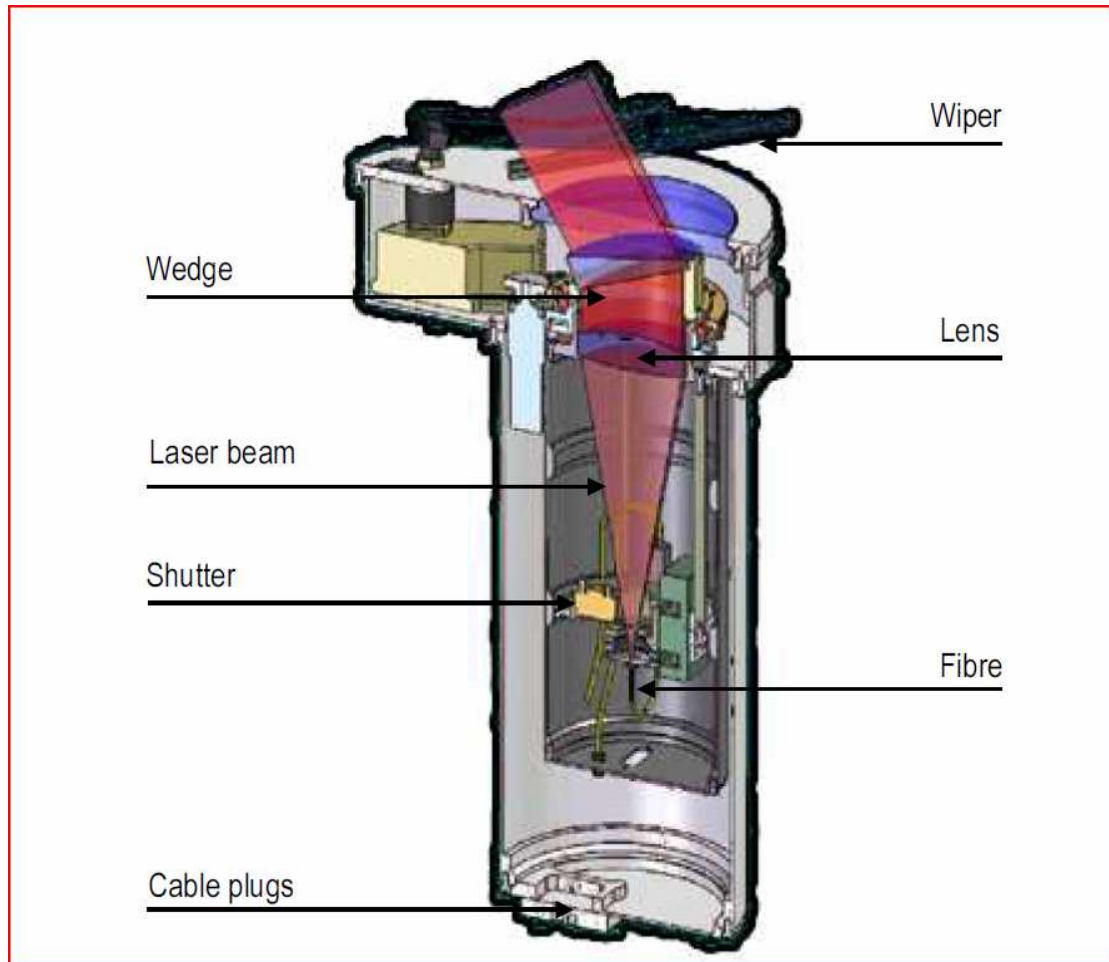
Υποχρεούμαστε λοιπόν να υποθέσουμε ότι η συγκέντρωση των σωματιδίων της ατμόσφαιρας ακολουθεί μία κατακόρυφη κατανομή (ή έστω την προσεγγίζει ικανοποιητικά), όπου η ανακλώμενη ενέργεια προέρχεται κυρίως από τον συγκεντρωμένο αυτό όγκο στον οποίο εστιάζουμε. Παρ’ όλα αυτά η υπόθεση αυτή καταρρέει σε περιπτώσεις χαμηλής νέφωσης (σύννεφα σε ύψος μικρότερο των 1500μ).

Εδώ, λόγω της νέφωσης έχουμε σχετικά πολύ μεγαλύτερη ανακλώμενη ενέργεια στη συσκευή, παρ' ότι το σύννεφο απέχει πολύ από το σημείο εστίασης. Το αποτέλεσμα είναι το εξής. Λαμβάνονται 2 ταχύτητες, η ακτινική του ανέμου και η (συνήθως πολύ μεγαλύτερη) ταχύτητα της κίνησης του σύννεφου. Αν αυτό δεν αντιμετωπιστεί και δεν απορριφθεί η δεύτερη ταχύτητα, θα οδηγήσει σε τεράστιο σφάλμα.

Για το λόγο αυτό τα Lidar που παρουσιάζονται εδώ έχουν έναν αλγόριθμο ελέγχου, ειδικά για τέτοιες περιπτώσεις. Πραγματοποιείται μία επιπλέον μέτρηση 3 δευτερολέπτων στα 300 μέτρα, με σκοπό να εξαλειφθεί η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στην ολική συνιστώσα της μετρούμενης ταχύτητας. Παρ' όλα αυτά υπάρχει το εξής πρόβλημα. Η εφαρμογή ενός τέτοιου αλγορίθμου, παρότι μας βοηθάει να αντιμετωπίσουμε το εν λόγω πρόβλημα, σε ορισμένες περιπτώσεις μειώνει την ακρίβεια των μετρήσεων, όταν δεν υφίσταται το πρόβλημα αυτό, της νέφωσης δηλαδή. Με άλλα λόγια, ο αλγόριθμος αυτός δεν είναι ιδανική λύση στο πρόβλημα της χαμηλής νέφωσης.

Γίνονται μελέτες για την επίλυση του προβλήματος της χαμηλής νέφωσης []. Ειδικότερα τα μετρούμενα ύψη 38μ. και 800μ. εισάχθηκαν για το σκοπό αυτό, με το τελευταίο να αντικαθιστά την μέτρηση στα 300μ. Υπήρξαν βελτιώσεις στην αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου. Για παράδειγμα, ο έλεγχος αυτός πλέον είναι προαιρετικός, με τον να ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται ανάλογα την περίπτωση. Γενικά, ενεργοποιείται μόνο όταν γίνεται η μέτρηση στα 2 προαναφερθέντα ύψη.

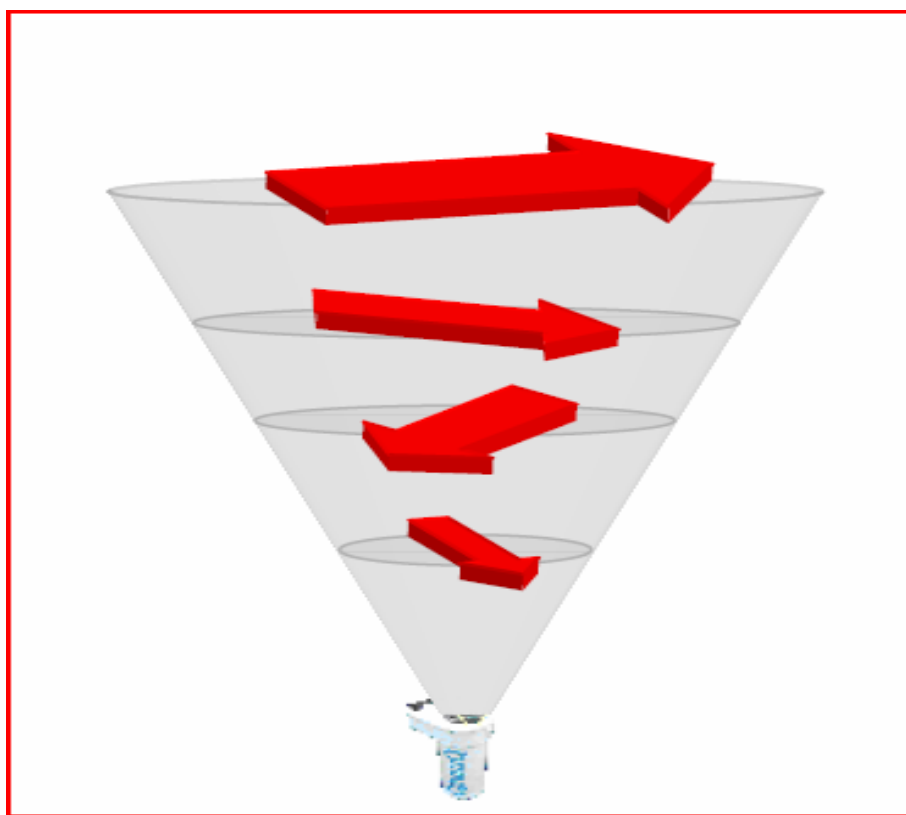
2.3 ZEPHIR LIDAR (QINETIQ)



Εικόνα 2.3 Τα στοιχεία της κεφαλής του Zephyr Lidar[4]

2.3.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η συσκευή εκπέμπει μία δέσμη Laser η οποία εκτελεί μία πλήρη περιστροφή ανά δευτερόλεπτο και μπορεί να εστιάσει στο επιθυμητό ύψος, το οποίο μπορεί να είναι από 10 έως και 180 μέτρα. Η δέσμη αυτή εκπέμπεται υπό γωνία 30 μοιρών ως προς τον κατακόρυφο άξονα με τη χρήση πρίσματος, το οποίο περιστρέφεται με την παραπάνω συχνότητα. Η συσκευή αυτή είναι εκπομπής συνεχούς κύματος, για αυτό το λόγο κάθε στιγμή μπορεί να μετρήσεις την ταχύτητα του αέρα στο συγκεκριμένο ύψος, στο οποίο έχει γίνει η εστίαση. Το μήκος κύματος της δέσμης που εκπέμπεται είναι 1,5 μm .



Σχήμα 2.3 Η κωνική δέσμη που εκπέμπει το Zephir σε τρισδιάστατη μορφή και οι μετρήσεις σε διαφορετικά ύψη.[6]

Σε μία πλήρη περιστροφή μετρούνται ταχύτητες σε 49 σημεία και επειδή απαιτώνται συνήθως τρεις περιστροφές ώστε να γίνει ακριβής εκτιμήση της ταχύτητας, έχουμε συνολικά 147 μετρήσεις ανά 3 δευτερόλεπτα (3 δευτερόλεπτα για κάθε επιθυμητό ύψος) , όπου μας δίνουν την μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου στο σημείο για το ύψος που μας ενδιαφέρει, για το χρονικό διάστημα των 10 λεπτών. Αφού εκτελεστούν αυτές οι 3 περιστροφές, η συσκευή εστιάζει στο επόμενο επιθυμητό ύψος και η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε ύψος. Έχουμε τη δυνατότητα να αλλάζουμε το ύψος στο οποίο εστιάζουμε σε διάστημα ενός δευτερολέπτου.

Εδώ θα γίνει η εξής παρατήρηση. Η συσκευή αυτή, δεν μπορεί να προσδιορίσει την διεύθυνση των ακτινικών μετρούμενων ταχυτήτων. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται αισθητήρας στην κορυφή της συσκευής (για αυτό το λόγο έχει αυτό το μικρό ιστό στη φωτογραφία) χάρη στον οποίο μετράμε τη διεύθυνση του ανέμου.

Γίνεται παράλληλα η υπόθεση, πως η χαμηλότερη μετρούμενη διεύθυνση του ανέμου μένει γενικά σταθερή κατά μήκος της κατακόρυφου του ιστού, συνεπώς με την τελευταία παραδοχή καθίσταται δυνατή η μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου ακριβώς πάνω από τη συσκευή. Με άλλα λόγια ενώ μπορούμε να μετράμε τις ταχύτητες του ανέμου σε διάφορα ύψη, δεν ισχύει το ίδιο για τη διεύθυνση.

Τέλος, μία άλλη περίπτωση στην οποία η συσκευή αποτυγχάνει να δώσει μετρήσεις με μηδενικά σφάλματα, είναι οι περιπτώσεις χαμηλών ταχυτήτων ανέμου. Ειδικότερα, στις χαμηλές ταχύτητες τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε τείνουν να είναι αυξημένα εν σχέση με την πραγματικότητα, κάτι που οφείλεται στο φιλτράρισμα κάποιων συχνοτήτων που πραγματοποιεί η συσκευή με στόχο να αποφευχθεί αλλοίωση των δεδομένων από ένα άλλο φαινόμενο, το RIN (Relative Intensity Noise). Κατά το φιλτράρισμα αυτό, πολλές χαμηλές συχνότητες απορρίπτονται.



Εικόνα 2.5 Το Zephyr Lidar σε πρόοψη. Διακρίνεται το κάλυμμα του πρίσματος στην κεφαλή της συσκευής.

Παράμετροι οι οποίες μπορούν να είναι μεταβλητές ανάλογα των επιθυμιών του χρήστη, είναι κατά κύριο λόγο η συχνότητα περιστροφής του πρίσματος και το ύψος εστίασης.

Η συσκευή δεν προσδιορίζει την φορά της ταχύτητας, παρά μόνο την απόλυτη τιμή της, συνεπώς απαιτείται εσωτερικός ιστός στη συσκευή για τη μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου. Σε περίπτωση που η συσκευή δεν διαθέτει τέτοιο ιστό, απαιτείται συνεργασία της συσκευής με εξωτερικό ιστό, αλλιώς δεν θα μας δώσει πληροφορίες για τη διεύθυνση του ανέμου.

Υπάρχει η δυνατότητα ξεχωριστής καταγραφής των πρωτότυπων δεδομένων, δηλαδή της μέσης τιμής των 147 μετρήσεων ανά 3 δευτερόλεπτα, για πιο ακριβή διαχείριση των δεδομένων, εάν κάποιος δεν επιθυμεί να βασιστεί στη μέση τιμή του δεκαλέπτου των μετρήσεων.

2.3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Κατά την κωνική λειτουργία της συσκευής, η μετρούμενη ακτινική ταχύτητα U_r , συνδέεται με [3] :

τη διεύθυνση του ανέμου Θ ,
την κωνική γωνία σάρωσης θ και
την οριζόντια ταχύτητα U του ανέμου με τη σχέση

$$U_r(\theta) = |A \cos(\Theta - \theta) + B|$$

, όπου

$$U = \frac{A}{\sin \varphi}$$

και

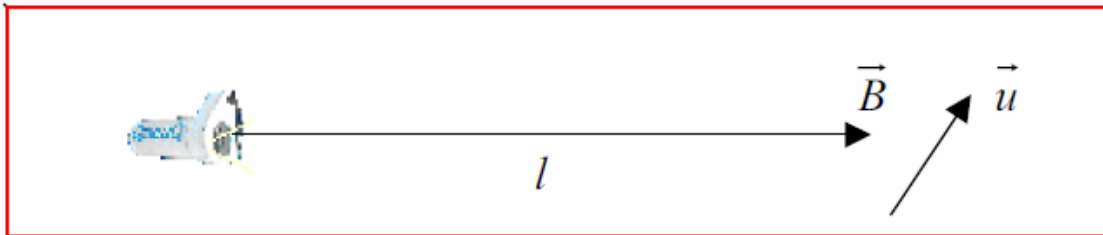
$$w = \frac{B}{\cos \varphi}$$

, με φ το ήμισυ της γωνίας σάρωσης και

, w την κάθετη συνιστώσα της ολικής ταχύτητας ανέμου $U_{ολ}$.

2.3.3 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ

Υπάρχει η δυνατότητα αφαίρεσης του πρίσματος από το μηχανισμό περιστροφής της συσκευής και προσανατολισμού του σε συγκεκριμένη διεύθυνση (staring mode). Η μέθοδος αυτή πρωτοχρησιμοποιήθηκε σε μία έρευνα για τον ορόρου μιας ανεμογεννήτριας, κατά την οποία οι μελετητές τοποθέτησαν το πρίσμα ακριβώς πίσω από το μιάς ανεμογεννήτριας και προσανατολίζοντας το πρίσμα σε διάφορες διευθύνσεις, ώστε να υπολογίσουν τις διάφορες τιμές της ταχύτητας του ανέμου πίσω από την πτερωτή. Παρ' όλα αυτά, με τη μέθοδο αυτή, η διεύθυνση του ανέμου δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί για αυτό απαιτείται ξεχωριστή συσκευή για τις μετρήσεις αυτές.



Εικόνα 2.3.3 Το Zephyr σε λειτουργία Staring Mode. [4]

Άλλες εφαρμογές της μεθόδου αυτής, εκτός από την μελέτη του ορόρου μιας ανεμογεννήτριας, είναι ο συγχρονισμός συσκευών κατά την ταυτόχρονη λειτουργία πολλών Lidar σε μία περιοχή και η μέτρηση της οριζόντιας ταχύτητας του ανέμου.

2.4 WINDCUBE LIDAR (LEOSPHERE)

2.4.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το Windcube Lidar ακολούθησε του βρετανικού στην αγορά και αποτελεί επίσης όργανο μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου κατακόρυφα στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 3.6 Το Windcube Lidar της εταιρείας Leosphere.

Παρ' όλα αυτά διαφέρει στα εξής σημεία. Κατ' αρχάς παρ' ότι εκπέμπεται και εδώ μια δέσμη Laser κωνικού σχήματος τα σημεία τα οποία λαμβάνονται υπόψη ανά μέτρηση είναι 4 και συμμετρικά στη βάση του κώνου, δηλαδή με διαφορά 90. Επίσης, εδώ έχουμε ταυτόχρονη καταμέτρηση της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου σε όλα τα ύψη και όχι διαδοχικές μετρήσεις καθ' ύψος, όπως στο ZephiR . Η καταμέτρηση αυτή γίνεται κάθε ένα δευτερόλεπτο και κάθε 6 δευτερόλεπτα λαμβάνουμε το σύνολο των μετρήσεων, από το οποίο για το συγκεκριμένο διάστημα θα πάρουμε τις μέσες τιμές. Τα υπολειπόμενα 2 δευτερόλεπτα απαιτούνται για τη μετακίνηση του μηχανισμού.

Παράλληλα το Windcube έχει τη δυνατότητα της μεταβολής της γωνίας εκπομπής της δέσμης από 30 μοίρες σε 15, κάτι το οποίο επιτρέπει στο ZephiR να δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα ακόμα και σε σύνθετες τοπογραφίες, κάτι στο οποίο το

Lidar γενικά αποτυγχάνει. Μία άλλη διαφορά τους είναι επίσης ότι το Windcube δεν χρειάζεται ξεχωριστό αισθητήρα για την καταγραφή της διεύθυνσης του ανέμου, ενώ σημαντικό είναι και το ότι Windcube δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα όσον αφορά τις χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Μπορεί δηλαδή να δώσει ακριβείς μετρήσεις ακόμα και σε περιπτώσεις απόλυτης άπνοιας.

Τέλος, το πρόβλημα της χαμηλής νέφωσης δεν υφίσταται στο Windcube, εννοώντας ότι οι επιδράσεις του είναι πολύ μικρότερες, όσον αφορά την ακρίβεια της μετρούμενης ταχύτητας. Αυτό, διότι για να επηρεαστεί η μετρούμενη ακτινική ταχύτητα, θα πρέπει το σύννεφο να βρίσκεται στην περιοχή στην οποία εστιάζουμε για την μέτρηση. Εν αντιθέσει, σύννεφα ύψους περίπου 250 μ. μπορούν να ενισχύσουν την ανάκλαση από αυτά τα ύψη χωρίς να εξαλείψουν την ακτίνα και αυτό ωφελεί το Windcube από την άποψη, ότι μπορεί να φτάσει ύψη στα οποία κατά τα άλλα θα ήταν αδύνατο.

Το staring mode είναι δυνατό και στο Windcube.

2.4.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η μετρούμενη ταχύτητα είναι [3]

$$u^2 = u_1^2 + u_2^2$$

, όπου u_1 και u_2 είναι οι συνιστώσες της οριζόντιας διεύθυνσης του ανέμου, οριζόμενες ως εξής:

$$u_1 = u_r(0) - u_r(\pi)$$

$$u_2 = u_r\left(\frac{\pi}{2}\right) - u_r\left(\frac{3\pi}{2}\right)$$

και

$$w = \frac{u_r(0) + u_r(\pi)}{2 \cos \varphi}$$

ή

$$w = \frac{u_r\left(\frac{\pi}{2}\right) + u_r\left(\frac{3\pi}{2}\right)}{2 \cos \varphi}$$

, όπου οι συμβολισμοί είναι ίδιοι με αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν στην περιγραφή του ZephIR.

2.5 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Δίνω ενδεικτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μοντέλων Windcube που έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο.

	Windcube		Lidars	
	Windcube8	Windcube70	Windcube100s	Windcube200
Εύρος υψών δυνατών μετρήσεων (m)	40-500	100-1500	100-3000	100-6000
Συχνότητα αποστολής μετρήσεων (1/s)	1	10	0,1	10
Αριθμός υψών	10	40	100	100
Εύρος ταχύτητας (m/s)	0-60	0-60	0-30	0-60
Ακρίβεια ταχύτητας (m/s)	0.2	0.3	0.3	0.3
Ακρίβεια διεύθυνσης (deg)	1,5	1.5	-	1.5
Γωνία κωνικής σάρωσης (deg)	0 / 15 / 30	0 / 15 / 30	-	0 / 15 / 30

Πίνακας 2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά 4 μοντέλων του Windcube Lidar

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

- Κατανάλωση ισχύος 370 W είναι η μέγιστη κατανάλωση κατά την ψύξη ή θέρμανσή του
- Συνθήκες λειτουργίας 27 V DC or 100/240 V AC 50-60 Hz

Περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας

- Εύρος δυνατών θερμοκρασιών λειτουργίας -30-40, όπου για θερμοκρασίες μικρότερες των -10 απαιτείται χρήση ειδικού καλύμματος
- Εύρος δυνατών συνθηκών υγρασίας λειτουργίας 0-100

Χαρακτηριστικά της δέσμης

- 1.54 um

Διαστάσεις και μάζα

- Μάζα συσκευής 65 (για τα μοντέλα 8, 70 και 100s) και 90 (για το μοντέλο 200)
- Διαστάσεις συσκευής 800x650x550 mm³ και 1100x650x550 mm³, αντίστοιχα

2.5.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ LIDAR ZEPHIR ΚΑΙ WINDCUBE

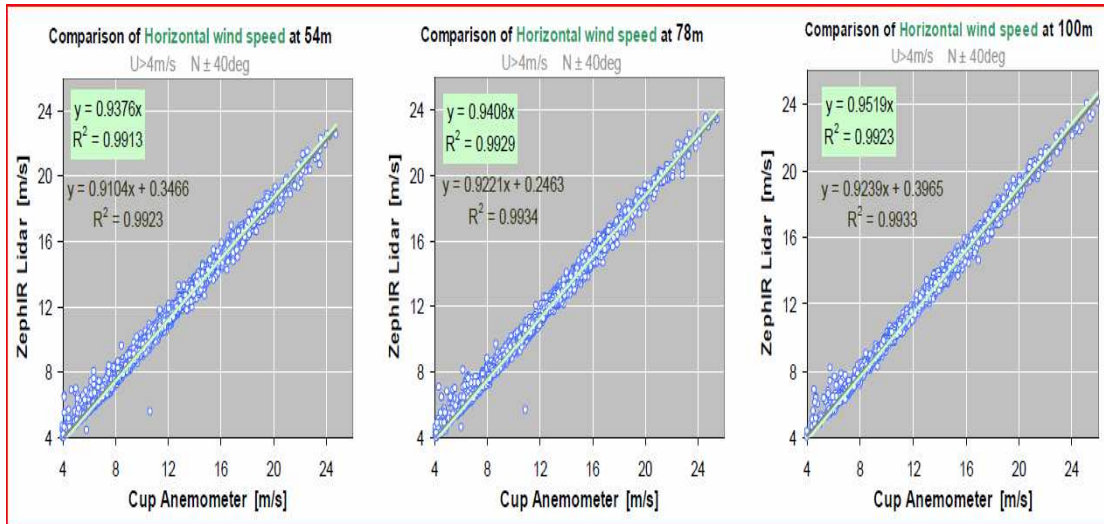
- Το γαλλικό είναι πιο ελαφρύ (55) έναντι του βρετανικού (120) και επίσης λιγότερο ογκώδες (0,7 χ 0,4 χ 0,4) από το βρετανικό (1,7 * 0,5), όπου οι διαστάσεις είναι σε μέτρα.
- Διαφέρουν ταυτόχρονα και ως προς το σχήμα, καθώς το σχήμα του βρετανικού προσεγγίζει των κώνο (κύλινδρο θα λέγαμε, χωρίς τα “πόδια” τα οποία χρησιμεύουν ως βάση και προσαρμόζονται ανάλογα την περίπτωση και το έδαφος), ενώ το γαλλικό έχει προσεγγίζει τον κύβο (ορθογώνιο παραλληλόγραμμο)
- Το Zephir έχει σταθερή γωνία εκπομπής της δέσμης , εν αντιθέσει το Windcube μπορεί να τη μεταβάλλει και στις 15, στην περίπτωση της σύνθετης τοπογραφίας.

2.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ LIDAR ΚΑΙ ΙΣΤΟΥ ΒΑΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

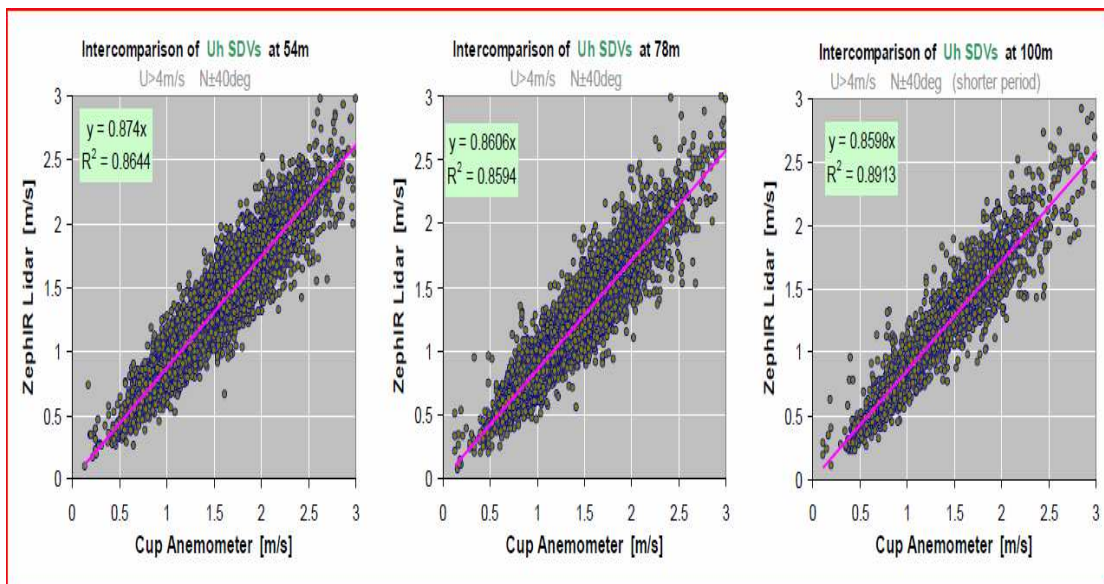
Στο κεφάλαιο αυτό θα δείξουμε, σύμφωνα με έρευνα [7] αλλά και κάποια αποτελέσματα που εξήγαγα με τη βοήθεια του λογισμικού Wind Farmer από τις

μετρήσεις που χρησιμοποίησα στην εργασία, ότι στατιστικά οι μετρήσεις που δίνουν τα Lidar και οι ιστοί απέχουν τόσο λίγο ώστε μπορούμε να είμαστε επαρκώς σίγουροι για την εγκυρότητα των μετρήσεων του Lidar.

Σύμφωνα λοιπόν με έρευνα [7] έχουμε τα παρακάτω διαγράμματα για τη σύγκριση του ZephIR Lidar με εκατοντάμετρο ιστό:

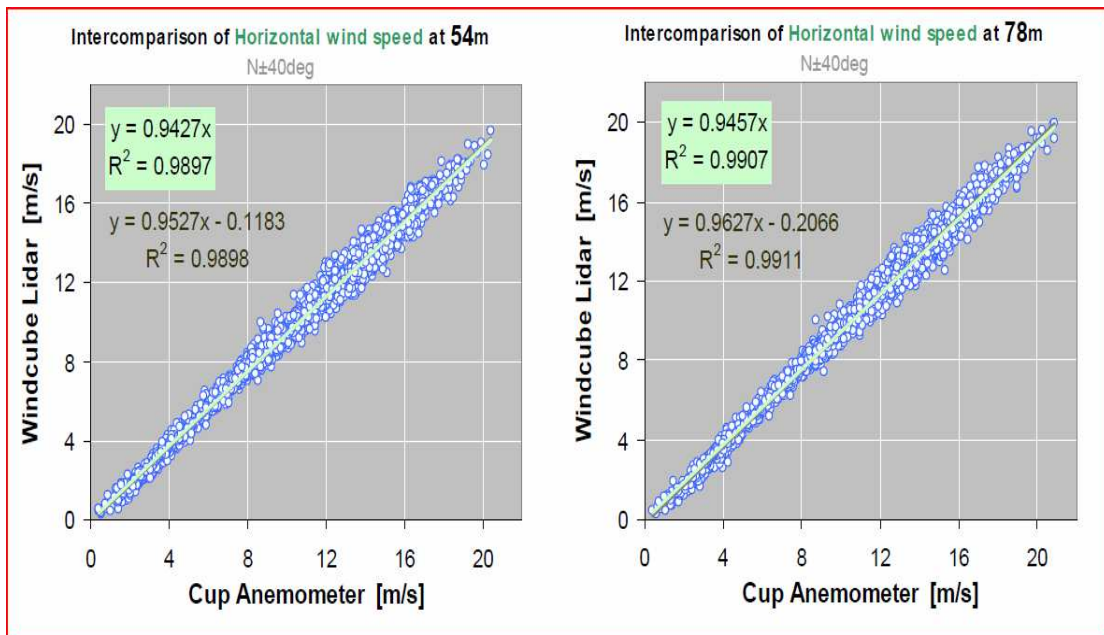


Σχήμα 2.4 ταχύτητα του ανέμου στα 54, 78 και 100 μέτρα.

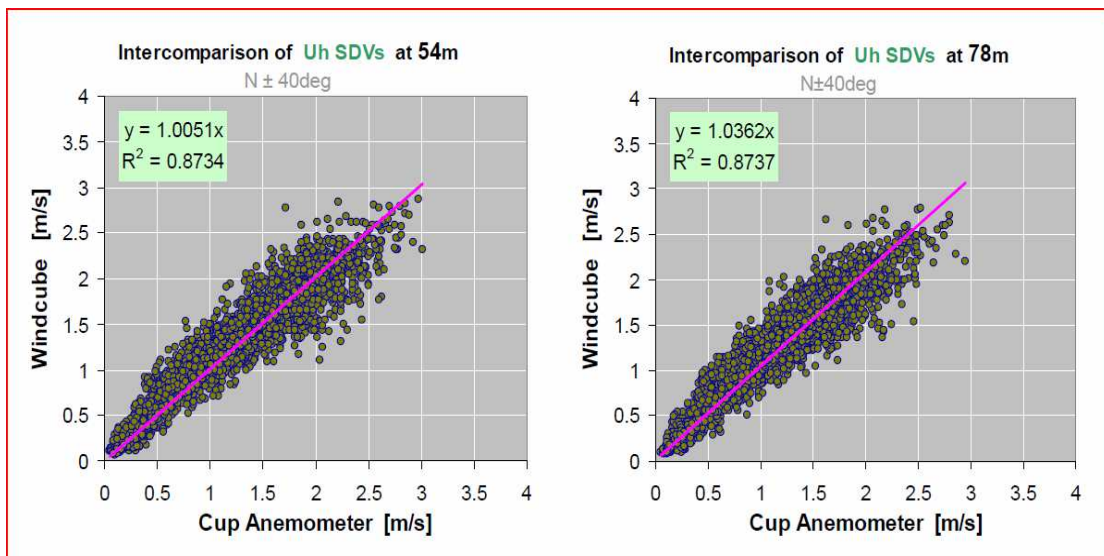


Σχήμα 2.5 τοπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου στα 54,78 και 100 μέτρα.

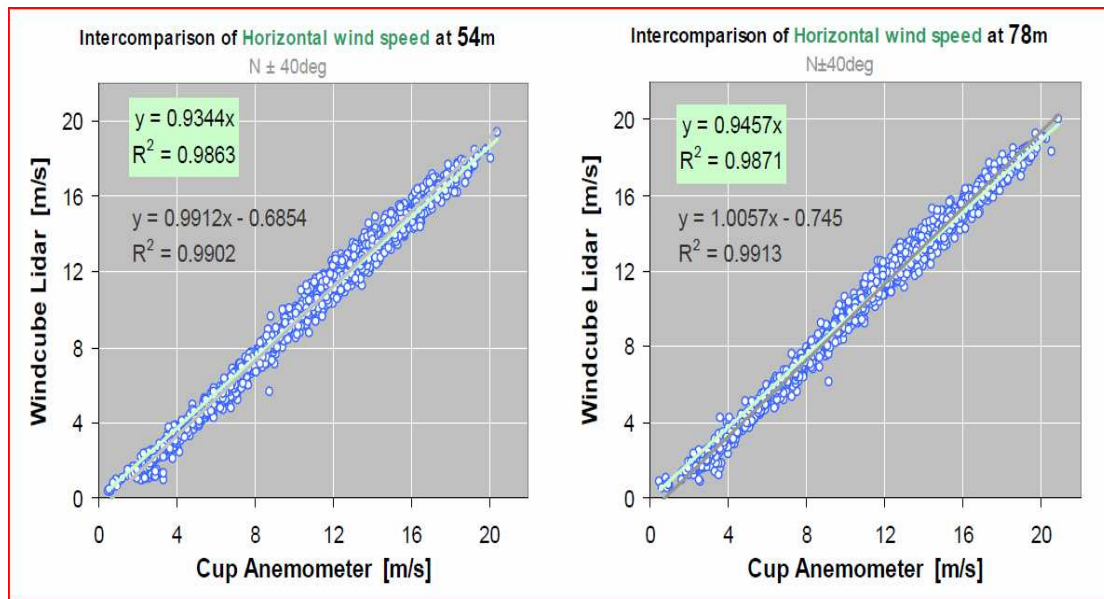
και αντίστοιχα για το Windcube Lidar,



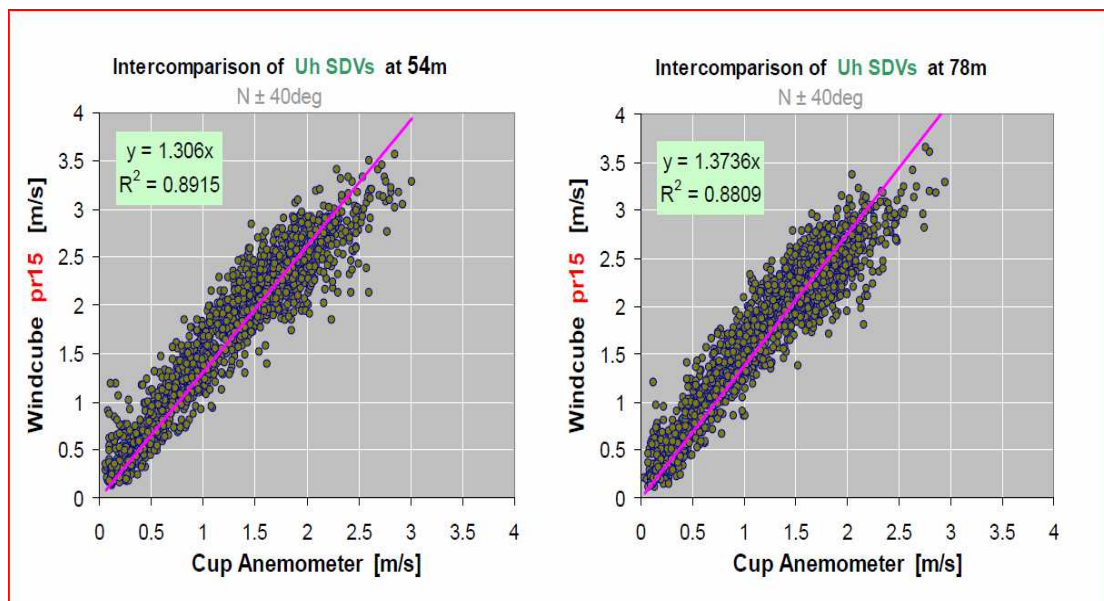
Σχήμα 2.6 ταχύτητα του ανέμου στα 54, 78 και 100 μέτρα.



Σχήμα 2.7 τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου στα 54,78 και 100 μέτρα.



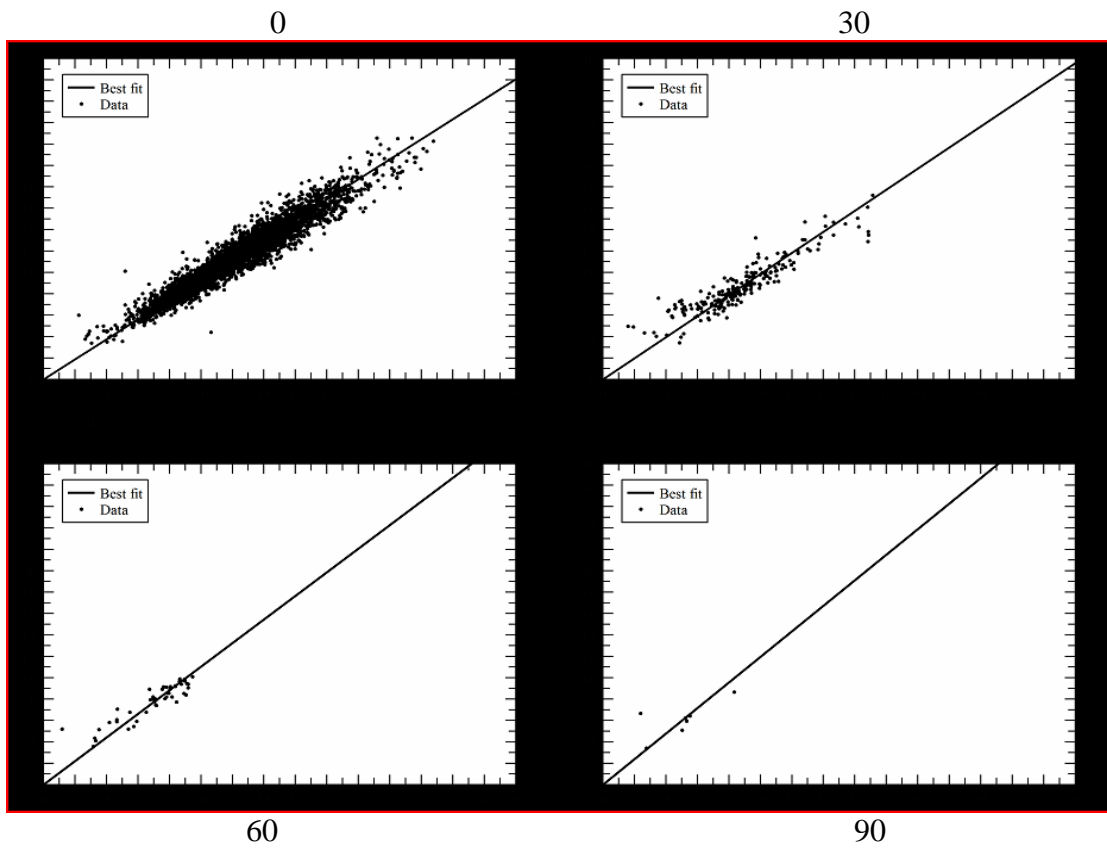
Σχήμα 2.8 ταχύτητα ανέμου στα 54 και 78 μέτρα υπό γωνία πρίσματος 15 μοιρών.



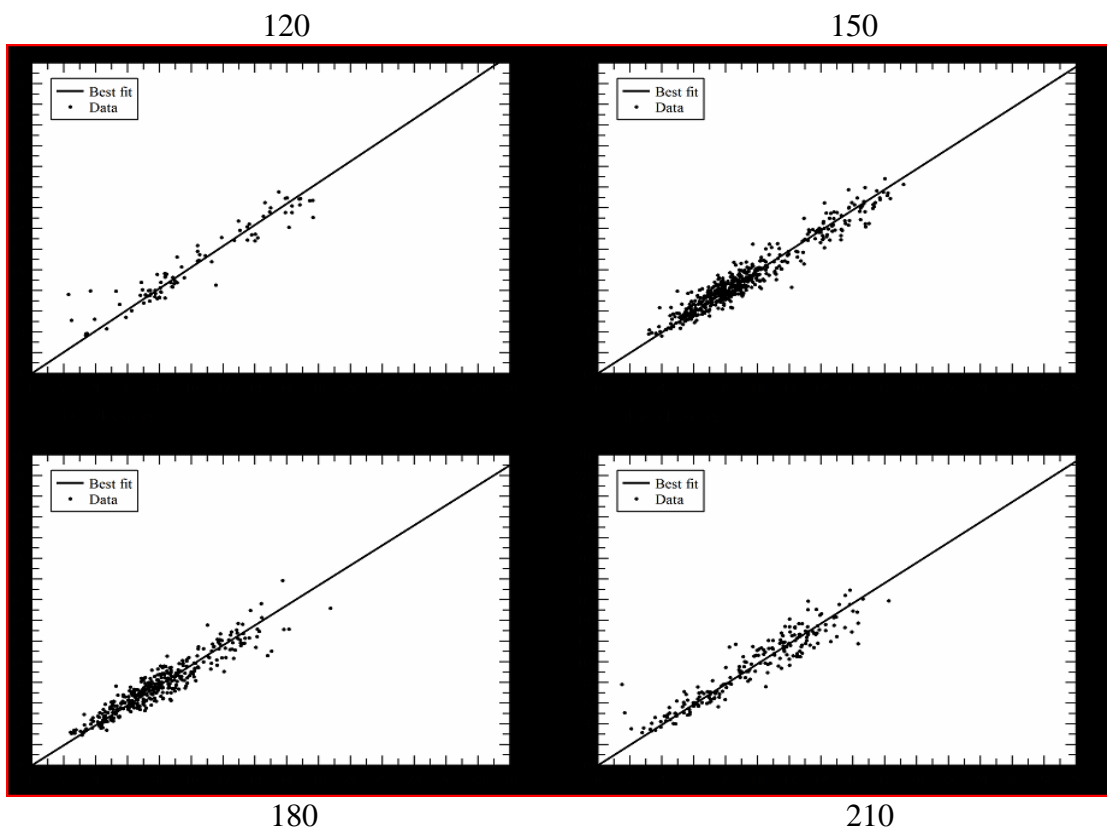
Σχήμα 2.9 τυπική απόκλιση ταχύτητας ανέμου στα 54 και 78 μέτρα υπό γωνία πρίσματος 15 μοιρών.

Όσον αφορά τις δικές μας μετρήσεις, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο PCA (Principal Component Analysis), το λογισμικό μας έδωσε τα παρακάτω διαγράμματα για το Lidar και τον 100μ. ιστό στο Λαύριο.

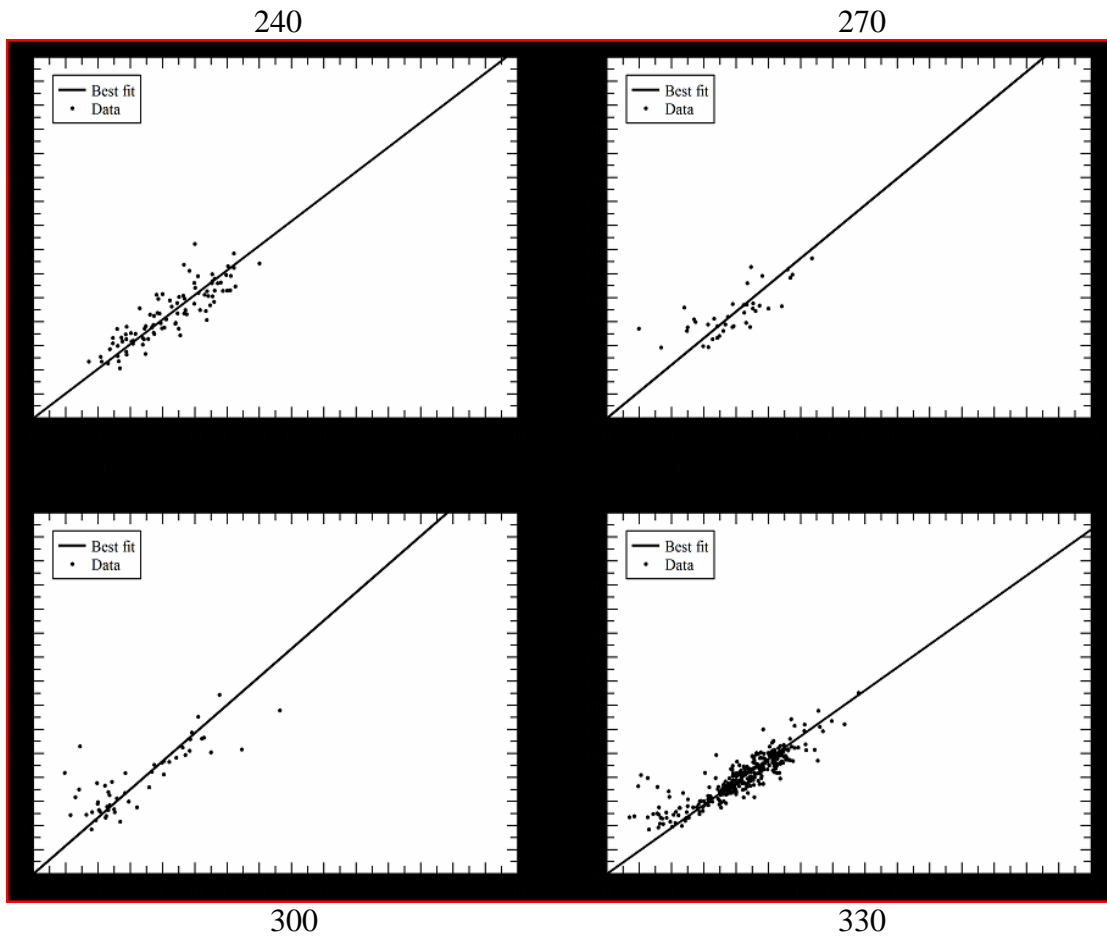
Σε όλα τα παρακάτω σχήματα ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στον ιστό των 100 μέτρων και ο κάθετος στο Lidar, τα οποία βρίσκονται στο Λαύριο.



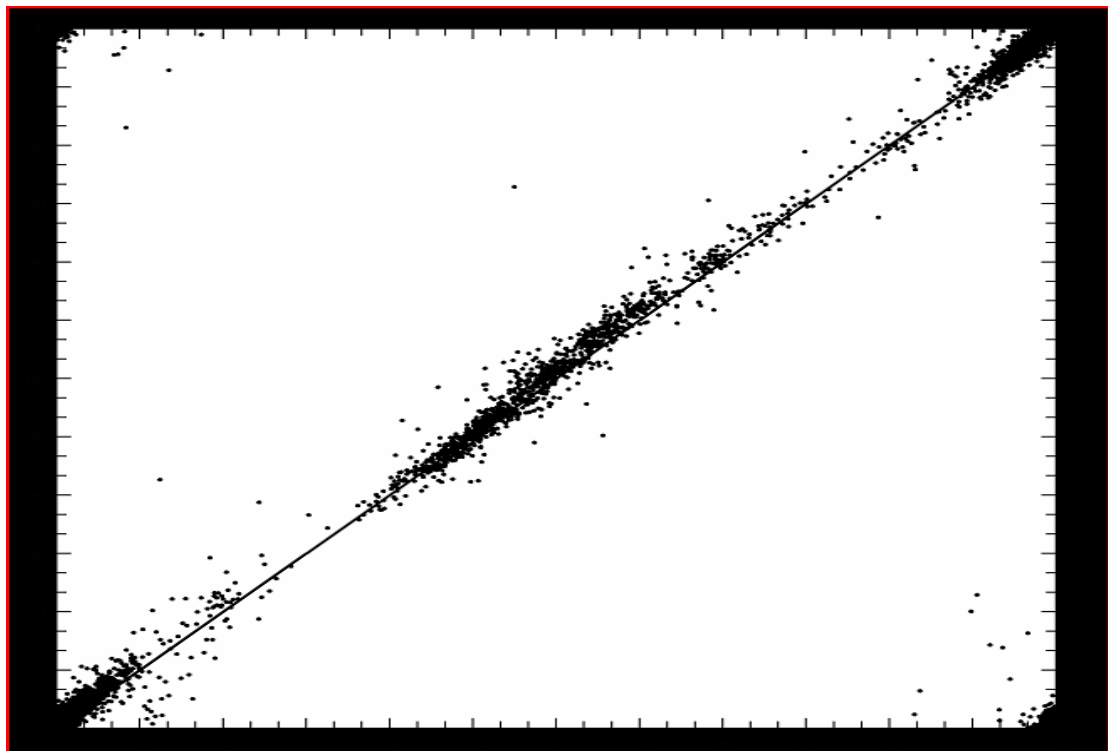
Σχήμα 2.10 ταχύτητα ανέμων στο διάστημα 0-90 μοιρών



Σχήμα 2.11 ταχύτητα ανέμων στο διάστημα 120-210 μοιρών



Σχήμα 2.12 ταχύτητα ανέμου στο διάστημα 240-330 μοιρών



Σχήμα 2.13 διεύθυνση ανέμου

Τα αποτελέσματα όσων αφορά τη στατιστική ανάλυση της σύγκρισης και εν σχέση με τον αριθμό των μετρήσεων, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Διεύθυνση	Συντελεστής ταχύτητας	R ²	Αριθμός μετρήσεων
0	0.9356	0.9622	3914
30	0.9857	0.9202	231
60	1.1037	0.9105	48
90	1.1948	0.6971	7
120	1.0251	0.953	86
150	0.9881	0.9634	515
180	0.9667	0.9414	373
210	0.9793	0.9408	212
240	1.0248	0.869	96
270	1.1079	0.7449	39
300	1.1706	0.8144	51
330	0.9542	0.876	332
Ολικά μεγέθη	0.947	0.96	5904

Πίνακας 3.1 Αποτελέσματα σύγκρισης του 100μ ιστού και του Lidar με τη χρήση του Wind Farmer.

Το συμπέρασμα είναι πως αναλύοντας η έρευνα [7] έδειξε πως τα Lidar δίδουν σαφέστερα μετρήσεις υψηλής ποιότητας. Σύμφωνα με την έρευνα [7] τα Lidar δίδουν κατά μέσο όρο απόκλιση ~6% από τους ιστούς και τα Sonic (δεν παρατίθενται στην συγκεκριμένη εργασία η μελέτη και τα διαγράμματα που έγινε στην έρευνα [7] για τα Sonic). Ακόμη, βλέποντας τα διαγράμματα παρατηρούμε συσχέτιση μεγαλύτερη του 98%, δηλαδή εξαιρετική.

Από τη δική μου σύγκριση (παρότι δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη λόγω του μικρού σχετικά όγκου δεδομένων που είχα στα χέρια μου) φαίνεται επίσης ότι τα δύο όργανα αποκλίνουν ελάχιστα με συσχέτιση κοντά στο 96 %.

Το ερώτημα δεν είναι το αν τα Lidar είναι αξιόπιστα (στο οποίο η απάντηση είναι ναι) αλλά το κατά πόσον οι ιστοί και τα ανεμόμετρα πρέπει να είναι τα όργανα αναφοράς για την αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού σε μια περιοχή, δηλαδή δεν αποκλείεται εν τέλει τα Lidar να δίνουν όχι μόνο μετρήσεις με ελάχιστη απόκλιση από την πραγματικότητα, αλλά με μικρότερη απόκλιση από τις αντίστοιχες των ιστών.

3. Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ LIDAR

Στην εν λόγω διπλωματική παρουσιάζεται κώδικας γραμμένος στο προγραμματιστικό περιβάλλον του MATLAB , ο οποίος πραγματοποιεί τα εξής

- Διάβασμα και εισαγωγή των δεδομένων και μετρήσεων που αποστέλλουν οι συσκευές
- Επεξεργασία των μετρήσεων και κατασκευή όλων των απαραίτητων διαγραμμάτων βάση των οποίων μπορούμε ως πιθανοί κατασκευαστές αιολικού πάρκου, να κάνουμε μία εκτίμηση τόσο για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής, άλλα και της παραγόμενης από το πάρκο ετήσιας ενέργειας.

Ο λόγος που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού είναι διότι, είναι κοινώς αποδεκτό πως η εν λόγω γλώσσα προγραμματισμού, είναι πολύ εύχρηστη για τους μηχανικούς που ασχολούνται/θέλουν να ασχοληθούν με τον τομέα αυτό, των μετρήσεων, της εισαγωγής τους και της επεξεργασίας τους δηλαδή, τόσο διότι χάρη στα εργαλεία που προσφέρει είναι δυνατό η συγγραφή του εκάστοτε κώδικα να γίνει σε πολύ συντομότερο χρονικό διάστημα από ότι σε άλλες γλώσσες (Fortran, C), όσο και διότι το interface γενικότερα του MATLAB είναι πολύ πιο φιλικό σε κάποιον ο οποίος θα λάβει τα αποτελέσματα και θα θελήσει να εξάγει συμπεράσματα από αυτά.

Αξίζει να σημειώσουμε πάντως, πως η MATLAB για εφαρμογές τύπου Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής (CFD), όπου λαμβάνουν χώρα δηλαδή τεράστιοι και συνεχόμενοι αριθμοί επαναλήψεων, δεν συνίσταται διότι ο χρόνος που θα σωθεί από την γρήγορη συγγραφή του κώδικα, θα χαθεί από την αργή εκτέλεση του προγράμματος, καθώς η MATLAB λειτουργεί με μεταφραστή που σημαίνει ότι λαμβάνει χώρα ένα παραπάνω ενδιάμεσο βήμα κάθε φορά κατά το τρέξιμο του προγράμματος (σε τέτοιες περιπτώσεις προτιμώνται γλώσσες που επικοινωνούν πιο 'άμεσα' με τον υπολογιστή όπως η .

Παρόλα αυτά σε εφαρμογές όπως αυτή που ασχολούμαστε τώρα, η διαφορά στον χρόνο εκτέλεσης είναι αμελητέα.

Στόχοι του εν λόγω κώδικα ήταν ο μελλοντικός χρήστης να μπορεί:

- να τον χρησιμοποιήσει χωρίς περαιτέρω γνώση του λογισμικού
- να λαμβάνει όλα τα απαραίτητα διαγράμματα για την αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής
- να χρησιμοποιήσει τον κώδικα για τα αρχεία τόσο του ZephiR όσο και του Windcube

- να επιλέγει το χρονικό διάστημα το οποίο τον ενδιαφέρει από το σύνολο των μετρήσεων (εβδομάδα, μήνας, σύνολο των μετρήσεων)

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα αφορούσε κατά κύριο λόγο το διάβασμα των δεδομένων τα οποία λαμβάναμε από τις συσκευές. Στην περίπτωση του γαλλικού ήταν αρχεία .sta , ενώ στην περίπτωση του βρετανικού ήταν αρχεία .csv. Τα αρχεία είχαν κάποιες διαφορές όσων αφορά τη μορφολογία τους, δηλαδή είχαν άλλη δομή, έδιναν διαφορετικές επιπλέον πληροφορίες πέρα από τις βασικές κοινές (ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου), παρόλα αυτά το πρόβλημα και στις 2 περιπτώσεις ήταν το εξής: Παρότι στο λογισμικό - ήταν δυνατή η αυτόματη εισαγωγή των δεδομένων των αρχείων και ο διαχωρισμός τους σε πίνακες για περαιτέρω επεξεργασία γινόταν αυτόματα, δεν ίσχυε το ίδιο όταν επιχειρούσε κάποιος την εισαγωγή των δεδομένων .

Η ερώτηση ‘τότε γιατί δεν χρησιμοποιούμε το excel για την κατασκευή των ζητούμενων διαγραμμάτων και τελικά την επεξεργασία των μετρήσεων’ έχει μία μάλλον προφανή απάντηση, ότι ο όγκος των δεδομένων, ο αριθμός των αρχείων, το είδος και η πολυπλοκότητα της κατασκευής των διαγραμμάτων και οι περιορισμοί (filtering) που χρησιμοποιούνται σχεδόν εξ’ ολοκλήρου κατά την δημιουργία των διαγραμμάτων καθιστούν το excel ως εργαλείο στο οποίο είναι αδύνατο να επιτευχθεί ο προαναφερθέντας στόχος.

3.2 ΤΑ ΑΡΧΕΙΑ ΤΩΝ ZEPHIR LIDAR ΚΑΙ WINDCUBE LIDAR

Μία μορφή του αρχείου που αποστέλλεται από το Windcube Lidar φαίνεται στην εικόνα 3.1, ενώ μία μορφή του αρχείου του Zephir Lidar, φαίνεται στην εικόνα 3.4.

Στο πρώτο μέρος του αρχείου είναι οι πληροφορίες για τη συσκευή, το αρχείο που αποστέλλεται, φυσικές σταθερές, το project, και άλλα τεχνικά στοιχεία.

```
HeaderLength=55
Version=2.1.58
ID System=WLS7-0015
ID Client=GRES
Localisation=CLIENT3
GPS Localisation=Not Available
Comments=KORIFI
Measurements informations :
*****
ScanAngle (°)=27.73
NumberOfAveragedShots=10000
RollAngle (°)=0.00
HeadingAngle (°)=0.00
Altitudes (m)= 40 60 80 100 120 140 160 180 200
PitchAngle (°)=0.00
CNRThreshold=-22
WiperCNRThreshold=-19.0
WiperAltitude (m)=100.0
WiperDuration (ms)=1000.0
Wavelength (nm)=1543.00
Angle BetweenTwoPositions (°)=90
DirectionOffset (°)=0.000
Algorithm Parameters :
*****
Algorithm=MLE
MAOFrequency (Hz)=49800000.000
CutOffFrequency (Hz)=90000000.000
WindowLength (s)=0.000000E+0
IndexRange=97
PathLaserPulse=C:\Documents and Settings\user\Desktop\Calibration\AcqirisRun_2008-07-22T17-46-13\pulse_laser.sig
NumberOfSamples_LaserPulse=74
BeginIndex_LaserPulse=0
BeginIndex_NoiseReference=0
NumberOfNoiseWindowsByProfile=1
VrThreshold (m/s)=1.700
SigmaFreqThreshold (m/s)=0.750
Acquisition Parameters :
*****
SamplingInterval=4.000000E-9
NumberOfSamples=1024
VerticalCoupling=AC, 50 Ohm
Offset=0.000
FullScale=0.200
NumberOfSegments=100
TriggerSource=External
TriggerCoupling=DC
TriggerSlope=Positive
TriggerLevel1=3000
TriggerLevel2=0
DelayLine=6.000000E-7
AbsoluteInitialPosition (°)=111330
RelativeInitialPosition (°)=90
InitialDate/Time=19/03/2010 02:01:00.76
Gain=32.797000
InitialLD1 (mA)=IC1=290
InitialLD2 (mA)=IC2=1400
```

Εικόνα 3.1 Πρώτο μέρος του αρχείου του Windcube (θεωρητικές πληροφορίες)

Το δεύτερο μέρος του αρχείου περιέχει τον πίνακα με τις μετρήσεις. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα δίδονται πολλές πληροφορίες, από τις οποίες όμως εμείς όσον αφορά τη συγκεκριμένη εργασία κρατάμε πολύ λίγες και συγκεκριμένα στήλες.

Αυτό είναι το πρώτο μισό του πίνακα.

Date	WiperCount	Tm	Vhm1	dVh1	VhMax1	VhMin1	Azim1	um1	du1	vm1	dv1	wm1	dwl
19/03/2010	02:10:00	0	14.20	3.72	0.29	4.30	2.81	322.7	2.949	0.305			
19/03/2010	02:20:00	0	14.20	4.29	0.36	5.49	3.33	324.0	3.435	0.525			
19/03/2010	02:30:03	0	14.10	4.38	0.33	5.38	3.45	325.1	3.561	0.424			
19/03/2010	02:40:00	0	14.20	4.88	0.38	5.83	3.53	327.2	4.083	0.440			
19/03/2010	02:50:00	0	14.20	4.66	0.44	6.08	3.40	325.8	3.823	0.522			
19/03/2010	03:00:00	0	14.00	5.47	0.51	7.25	3.71	323.5	4.361	0.579			
19/03/2010	03:10:00	0	14.00	5.26	0.60	6.55	3.33	319.1	3.943	0.764			
19/03/2010	03:20:00	0	14.00	5.57	0.73	8.67	3.60	315.3	3.901	0.811			
19/03/2010	03:30:01	0	13.90	6.15	0.58	7.71	4.24	313.4	4.180	0.732			
19/03/2010	03:40:00	0	13.90	6.99	0.91	10.06	5.19	315.7	4.941	1.079			
19/03/2010	03:50:00	0	13.80	7.02	1.04	11.70	4.49	313.4	4.678	1.405			
19/03/2010	04:00:01	0	13.80	7.29	1.05	10.48	3.57	324.2	5.803	1.291			
19/03/2010	04:10:00	0	13.70	7.39	0.86	10.25	5.05	316.8	5.293	1.124			
19/03/2010	04:20:00	0	13.50	8.47	0.85	11.57	5.28	312.1	5.621	1.135			
19/03/2010	04:30:00	0	13.40	8.26	0.78	10.31	5.04	317.9	6.081	0.884			
19/03/2010	04:40:00	0	13.50	6.46	0.70	8.36	4.14	322.3	5.015	0.916			
19/03/2010	04:50:00	0	13.40	5.68	0.42	7.07	4.19	321.4	4.422	0.495			
19/03/2010	05:00:00	0	13.50	5.89	0.59	8.09	4.11	314.6	4.101	0.652			
19/03/2010	05:10:00	0	13.50	6.48	0.76	8.69	4.33	314.2	4.441	0.924			
19/03/2010	05:20:00	0	13.50	6.64	0.76	9.05	4.37	313.2	4.470	0.994			
19/03/2010	05:30:00	0	13.60	6.29	0.79	8.60	3.72	312.8	4.219	0.865			
19/03/2010	05:40:00	0	13.50	7.02	0.55	9.15	5.16	314.8	4.934	0.505			
19/03/2010	05:50:00	0	13.60	6.84	0.66	9.01	4.03	316.9	4.946	0.818			
19/03/2010	06:00:00	0	13.60	6.61	0.86	8.74	3.64	318.3	4.874	0.990			
19/03/2010	06:10:00	0	13.70	6.51	0.99	9.09	3.85	322.8	5.120	1.017			
19/03/2010	06:20:00	0	13.70	5.92	0.56	7.31	4.23	329.4	5.057	0.594			
19/03/2010	06:30:00	0	13.70	5.47	0.67	7.23	2.76	327.8	4.586	0.813			
19/03/2010	06:40:00	0	13.70	5.49	0.58	7.00	3.93	321.3	4.238	0.643			
19/03/2010	06:50:00	0	13.80	5.68	0.48	8.34	4.30	322.2	4.452	0.556			
19/03/2010	07:00:00	0	14.00	5.11	0.50	6.39	3.78	320.4	3.903	0.608			
19/03/2010	07:10:00	0	14.10	4.72	0.43	5.74	2.91	316.5	3.398	0.516			
19/03/2010	07:20:00	0	14.50	4.79	0.51	6.37	3.31	320.6	3.642	0.736			
19/03/2010	07:30:00	0	14.90	5.12	0.39	6.29	3.90	322.1	4.030	0.414			
19/03/2010	07:40:00	0	15.30	4.43	0.73	6.40	2.20	328.2	3.688	0.775			
19/03/2010	07:50:00	0	15.80	4.35	0.36	5.47	3.35	337.6	4.004	0.382			
19/03/2010	08:00:00	0	16.30	3.48	0.41	4.97	2.39	339.6	3.252	0.382			
19/03/2010	08:10:00	0	16.80	3.29	0.47	4.93	1.99	329.6	2.795	0.525			
19/03/2010	08:20:00	0	17.30	3.59	0.78	6.23	1.83	323.3	2.776	0.723			

Εικόνα 3.2 Πρώτο κομμάτι με τις μετρήσεις του Windcube

Και για τις ίδιες χρονικές στιγμές ακολουθεί το δεύτερο μισό του πίνακα,

CNRm	dCNR	CNRmax	CNRmin	sigmaFreqm	dsigmaFreq	Avail.1	Vhm2	dVh2	Vh1	
-2.245	0.317	-0.347	0.099	-13.24	0.35	-12.55	-14.39	1.421	0.187	100.00
-2.497	0.491	-0.264	0.155	-12.88	0.41	-12.06	-14.15	1.457	0.167	100.00
-2.482	0.511	-0.287	0.198	-12.90	0.39	-12.14	-14.07	1.415	0.168	100.00
-2.635	0.365	-0.471	0.165	-12.71	0.37	-11.86	-13.82	1.398	0.168	100.00
-2.600	0.514	-0.393	0.222	-12.58	0.38	-11.93	-13.86	1.419	0.149	100.00
-3.231	0.595	-0.512	0.194	-12.63	0.44	-11.73	-14.21	1.436	0.151	100.00
-3.421	0.483	-0.581	0.198	-12.87	0.48	-11.87	-14.27	1.452	0.162	100.00
-3.865	0.853	-0.303	0.325	-13.16	0.40	-12.42	-14.34	1.465	0.189	100.00
-4.420	0.770	-0.531	0.313	-13.33	0.42	-12.42	-14.47	1.461	0.189	100.00
-4.823	0.911	-0.544	0.433	-13.14	0.41	-11.99	-14.35	1.441	0.188	100.00
-4.940	1.468	-0.702	0.699	-12.34	0.55	-11.21	-13.90	1.468	0.177	100.00
-4.181	1.179	-0.770	0.449	-11.26	0.61	-9.78	-12.63	1.448	0.151	100.00
-4.968	1.165	-0.538	0.422	-10.53	0.43	-9.53	-11.66	1.446	0.138	100.00
-6.212	0.972	-0.445	0.504	-10.76	0.43	-9.90	-11.99	1.417	0.135	100.00
-5.503	0.916	-0.044	0.447	-10.83	0.44	-10.10	-12.18	1.410	0.148	100.00
-3.881	1.098	-0.787	0.397	-11.41	0.50	-10.37	-12.87	1.418	0.150	100.00
-3.527	0.512	-0.277	0.306	-11.95	0.68	-10.72	-14.35	1.443	0.148	100.00
-4.156	0.735	-0.315	0.301	-13.20	0.60	-11.68	-15.09	1.481	0.186	100.00
-4.566	1.084	-0.238	0.386	-13.92	0.43	-12.94	-15.25	1.468	0.200	100.00
-4.753	1.055	-0.182	0.346	-13.84	0.43	-12.83	-14.95	1.505	0.207	100.00
-4.564	0.912	-0.250	0.404	-13.98	0.44	-13.09	-15.16	1.524	0.229	100.00
-4.969	0.545	-0.109	0.211	-13.99	0.47	-12.93	-15.37	1.522	0.224	100.00
-4.628	0.815	-0.020	0.434	-14.30	0.39	-13.43	-15.52	1.503	0.218	100.00
-4.342	0.946	-0.382	0.435	-14.44	0.41	-13.72	-15.75	1.478	0.230	100.00
-3.888	0.995	-0.420	0.364	-14.41	0.41	-13.52	-15.60	1.464	0.236	100.00
-2.992	0.688	-0.495	0.262	-14.18	0.42	-13.14	-15.46	1.435	0.207	100.00
-2.891	0.557	-0.425	0.343	-13.90	0.42	-13.04	-15.21	1.460	0.193	100.00
-3.398	0.761	-0.165	0.343	-13.90	0.42	-13.05	-15.20	1.476	0.218	100.00
-3.456	0.628	-0.286	0.278	-13.68	0.42	-12.77	-15.30	1.476	0.192	100.00
-3.231	0.590	-0.315	0.214	-13.70	0.42	-12.97	-14.84	1.482	0.205	100.00
-3.221	0.535	-0.159	0.268	-13.62	0.40	-12.69	-14.91	1.483	0.207	100.00
-2.990	0.655	-0.095	0.234	-13.39	0.38	-12.56	-14.62	1.473	0.200	100.00
-3.134	0.405	-0.184	0.200	-13.21	0.36	-12.46	-14.34	1.466	0.187	100.00
-2.286	0.851	-0.284	0.326	-13.07	0.37	-12.32	-14.27	1.430	0.183	100.00
-1.651	0.397	-0.595	0.170	-12.61	0.35	-11.76	-13.74	1.380	0.162	100.00
-1.207	0.369	-0.482	0.171	-12.47	0.35	-11.74	-13.62	1.375	0.152	100.00
-1.641	0.505	-0.347	0.237	-11.97	0.36	-11.07	-13.11	1.401	0.156	100.00
-2.069	0.990	-0.236	0.410	-12.05	0.53	-11.04	-14.16	1.463	0.150	100.00

Εικόνα 3.3 Δεύτερο κομμάτι μετρήσεων αρχείου Windcube

Εδώ σχολιάζω τα εξής.

Στήλη 1: ημερομηνία μέτρησης

Στήλη 2 ώρα μέτρησης

Στήλες 3,4,6-8,10-22 πληροφορίες για τις συνιστώσες της ταχύτητας και της διεύθυνσης, για τη θερμοκρασία, την εγκυρότητα και τη συχνότητα των μετρήσεων.

Στήλη 5 ταχύτητα του αέρα

Στήλη 9 διεύθυνση του αέρα

Από τις παραπάνω στήλες, αυτές που χρειάζονται να αποθηκευθούν για περαιτέρω επεξεργασία είναι οι στήλες 2,5,9 (ημερομηνίες, ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου) καθώς και οι στήλες με τις μεταβλητές CNRm και dsigmaFreq. Οι δύο τελευταίες ελέγχονται κάθε φορά και ανάλογα την τιμή της κρατάμε η απορρίπτουμε μία μέτρηση.

Αξιοσημείωτο είναι πως για το Windcube έχουμε 4 διαφορετικές εκδόσεις του αρχείου, ενώ για το Zephyr δύο. Ειδικότερα στην πρώτη περίπτωση έχουμε τις εκδόσεις 1.0.0, 2.0.1, 2.1.58 και 2.1.60 ενώ στην δεύτερη έχουμε τις εκδόσεις 1.0.0 και 2.0.1. Ο κώδικας μπορεί και διαβάζει όλες τις εκδόσεις και των δύο περιπτώσεων

χωρίς περαιτέρω ενασχόληση του χρήστη, αρκεί μόνο τα αρχεία να έχουν μία γραμμή της μορφής 'Version = myversion', ώστε ο κώδικας να επιλέξει την κατάλληλη υπορουτίνα που θα αντιστοιχεί σε κάθε έκδοση, καθώς οι εκδόσεις αυτές διαφέρουν μεταξύ τους και όσων αφορά τις πληροφορίες που δίνουν για τη συσκευή και το project, αλλά και όσων αφορά τη μορφή του πίνακα που περιέχει τις απαραίτητες μετρήσεις.

Όσον αφορά το Zephyr τώρα, έχουμε τα αρχεία .csv, τα οποία έχουν την παρακάτω δομή.

Zephyr Data v3						
Reference	Time and date	Timestamp	Air temper	Air pressure	Humidity (%)	
47407	2/10/2010 7:00	348390000	17	992.125		93.813
47603	2/10/2010 7:10	348390600	17	992.313		93.813
47785	2/10/2010 7:20	348391200	16.625	992.25		94.25
47974	2/10/2010 7:30	348391800	17.188	992.25		95.438
48163	2/10/2010 7:40	348392400	17.813	992.375		92.5
48352	2/10/2010 7:50	348393000	18.25	992.438		89.438
48541	2/10/2010 8:00	348393600	17.813	992.625		90.688
48730	2/10/2010 8:10	348394200	17.625	992.563		91.125
48919	2/10/2010 8:20	348394800	17.625	992.625		91
49101	2/10/2010 8:30	348395400	17.813	992.875		89.25
49297	2/10/2010 8:40	348396000	18.25	993.063		88.563
49479	2/10/2010 8:50	348396600	19.438	993.25		82.625
49668	2/10/2010 9:00	348397200	19.438	993.5		83.125
49864	2/10/2010 9:10	348397800	19.25	993.625		84.688
50046	2/10/2010 9:20	348398400	19.688	993.625		84.75
50193	2/10/2010 9:30	348399000	19.875	993.688		85.25
50403	2/10/2010 9:40	348399600	20.063	993.813		84.25
50613	2/10/2010 9:50	348400200	20.5	993.75		81.875
50795	2/10/2010 10:00	348400800	20.25	993.938		80.75
51005	2/10/2010 10:10	348401400	22.063	993.875		73.938
51194	2/10/2010 10:20	348402000	23.063	993.75		69.125
51383	2/10/2010 10:30	348402600	22.5	993.813		68.563
51572	2/10/2010 10:40	348403200	23.688	993.813		66.125
51761	2/10/2010 10:50	348403800	22.875	993.875		67.5
51943	2/10/2010 11:00	348404400	21.063	993.625		76.625
52125	2/10/2010 11:10	348405000	18.625	993.5		95.813
52293	2/10/2010 11:20	348405600	15.813	993.563		100
52461	2/10/2010 11:30	348406200	15.375	994		100
52636	2/10/2010 11:40	348406800	15.813	994.25		100
52811	2/10/2010 11:50	348407400	15.813	994.125		100
52986	2/10/2010 12:00	348408000	16	994.063		100
53175	2/10/2010 12:10	348408600	16.375	993.938		100
53357	2/10/2010 12:20	348409200	16.375	994		100
53539	2/10/2010 12:30	348409800	16.625	994.063		100
53735	2/10/2010 12:40	348410400	16.375	993.875		100
53924	2/10/2010 12:50	348411000	17.438	993.938		100
54106	2/10/2010 13:00	348411600	17.625	994.063		100
54302	2/10/2010 13:10	348412200	17.813	993.813		100

Εικόνα 3.4 Πρώτες στήλες αρχείου Zephyr

Οι πρώτες στήλες όπως φαίνεται περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του μετρούμενου αέρα καθώς και την ημερομηνία και ώρα που λαμβάνουν χώρα οι μετρήσεις. Ακολουθούν κάποιες στήλες που αφορούν τη συσκευή.

Optics pod temperature (C)	Electronics pod temperature (C)	Battery pod temperature (C)
30.642	34.686	43.931
30.064	34.108	43.931
30.642	34.686	43.931
30.642	34.108	43.931
30.642	34.686	43.931
30.064	34.686	44.508
31.219	35.264	44.508
31.219	35.264	43.931
30.642	35.264	43.931
31.219	34.686	43.931
31.219	33.531	44.508
31.219	32.953	43.353
31.797	32.953	44.508
31.797	33.531	43.353
33.531	33.531	43.353
32.375	33.531	45.086
32.375	34.686	44.508
32.375	34.686	44.508
31.797	35.264	44.508
32.953	34.108	45.086
33.531	33.531	45.086
34.108	33.531	45.086
34.686	33.531	45.664
35.264	34.686	45.664
35.264	34.108	46.242
35.264	34.108	46.242
34.686	34.686	46.819
34.108	35.264	46.242
32.953	34.686	45.664
32.375	34.686	45.086
31.797	34.686	45.086
31.797	34.108	45.086
31.219	33.531	45.664
31.797	32.953	45.664
31.219	32.953	44.508
30.642	32.953	43.931
31.219	32.375	44.508
31.797	32.953	43.931

Εικόνα 3.5 Πληροφορίες του αρχείου σχετικά με τη συσκευή

Οι στήλες αυτές αφορούν πιο συγκεκριμένα τις θερμοκρασίες των στοιχείων τα οποία λειτουργούν τη στιγμή που γίνεται η μέτρηση.

Έπειτα είναι ο στήλες που αφορούν κάποιες επιπλέον πληροφορίες σχετικές με τις μετρήσεις και τη συσκευή

Unit ID	MET wind speed 2m (m/s)	ZephIR bearing (degrees)	MET direction 2m (degrees)	Status Flags	Battery (v)	GPS data	Raining
5	2.813	0	146.003	Green	26.58	0	0
5	2.75	0	162.003	Green	26.682	0	0
5	2.375	0	160.003	Green	26.719	0	0
5	1.875	0	149.003	Green	26.697	0	0
5	1.938	0	146.003	Green	26.668	0	0
5	2.375	0	166.003	Green	26.702	0	0
5	2.75	0	156.003	Green	26.699	0	0
5	2.813	0	147.003	Green	26.738	0	0
5	3.25	0	147.003	Green_(Shutter)	26.657	0	0
5	3.563	0	146.003	Green	26.571	0	0
5	2.5	0	150.003	Green	26.551	0	0
5	2.438	0	165.003	Green	26.608	0	0
5	2.125	0	169.003	Green	26.678	0	0
5	2.938	0	152.003	Green	26.755	0	0
5	1.938	0	178.003	Green	26.646	0	1
5	1.313	0	206.004	Green	26.701	0	0
5	0.063	0	194.004	Green	26.608	0	0
5	0.625	0	242.004	Green	26.724	0	0
5	1.125	0	64.001	Green	26.629	0	0
5	1.375	0	63.001	Green	26.579	0	0
5	2	0	226.004	Green	26.385	0	0
5	2.063	0	215.004	Green	26.538	0	0
5	3.688	0	258.005	Green	26.474	0	0
5	3.125	0	277.005	Green	26.696	0	0
5	5.25	0	280.005	Green	26.691	0	0
5	5.063	0	268.005	Green	26.601	0	1
5	5.438	0	232.004	Green	26.673	0	1
5	2.688	0	268.005	Green	26.704	0	1
5	3	0	287.005	Green	26.578	0	1
5	3.188	0	288.005	Green	26.718	0	1
5	2.188	0	304.006	Green	26.652	0	1
5	2	0	314.006	Green	26.759	0	0
5	2.688	0	299.005	Green	26.808	0	1
5	1.688	0	271.005	Green	26.802	0	0
5	2.438	0	270.005	Green	26.731	0	0
5	2.125	0	267.005	Green	26.718	0	0
5	2.125	0	265.005	Green	26.706	0	0
5	2.25	0	257.005	Green	26.606	0	0

Εικόνα 3.6 Στοιχεία για τις μετρήσεις και τη συσκευή

Και τέλος είναι οι στήλες με τις πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα και τη διεύθυνση του αέρα, καθώς και κάποιες άλλες σταθερές βάση των οποίων κρίνουμε μια μέτρηση ως απορριπτέα ή αποδεκτή.

Εδώ είναι το πρώτο κομμάτι,

Height 20m (m)	Points in fit 20m	Horizontal wind speed 20m (m/s)	Vertical wind speed 20m (m/s)	Spatial variation 20m	Wind direction 20m (degrees)	Standard Deviation 20m
20	123	3.851	-0.078	0.019	284.192	0.286
20	119	3.802	-0.075	0.02	286.838	0.209
20	105	3.037	-0.092	0.051	283.822	0.433
20	106	2.345	-0.149	0.037	279.744	0.106
20	105	2.326	-0.095	0.048	298.116	0.263
20	117	3.13	-0.053	0.066	293.163	0.272
20	111	3.216	-0.057	0.042	293.009	0.279
20	105	3.262	-0.073	0.044	281.971	0.255
20	105	3.368	-0.044	0.045	289.255	0.252
20	85	2.807	-0.028	0.049	287.521	0.329
20	94	2.977	0.004	0.066	294.734	0.249
20	104	2.931	-0.099	0.068	297.933	0.294
20	97	2.824	-0.065	0.071	294.775	0.489
20	90	2.398	-0.018	0.078	294.825	0.496
20	58	1.954	-0.12	0.132	345.049	0.502
20	62	1.805	-0.08	0.091	313.725	0.312
20	68	1.722	-0.01	0.101	20.192	0.509
20	68	1.993	-0.073	0.087	268.721	0.261
20	55	2.157	-0.029	0.117	222.344	0.334
20	74	2.775	0.053	0.134	307.449	0.474
20	94	3.112	-0.036	0.11	35.858	0.57
20	83	3.079	0.063	0.108	73.815	0.606
20	103	3.486	0.147	0.094	52.991	0.743
20	125	5.712	0.271	0.057	43.479	1.213
20	132	8.324	0.257	0.076	48.598	1.15
20	147	10.006	-0.33	0.111	24.54	1.002
20	150	8.324	-1.477	0.162	34.691	2.202
20	149	5.835	-0.576	0.177	49.635	0.816
20	149	6.664	-0.296	0.197	4.619	0.509
20	147	5.422	-0.526	0.171	59.702	0.632
20	136	4.406	-0.13	0.202	108.979	0.386
20	129	4.25	-0.13	0.14	77.965	0.392
20	121	3.853	-0.134	0.165	63.509	0.616
20	105	3.172	-0.108	0.077	49.666	0.415
20	106	3.113	-0.002	0.063	34.012	0.286
20	99	2.796	0.035	0.117	28.369	0.388
20	89	2.482	0.088	0.053	34	0.278
20	74	2.237	0.01	0.058	23.632	0.23

Εικόνα 3.7 Πρώτο κομμάτι μετρήσεων του Zephyr

και εδώ το δεύτερο,

Minimum wind speed 20m (m/s)	Maximum gust 20m (m/s)	Packets in average 20m	Scaling 20m	TI 20m	CS 20m	Backscatter 20m
3.398	4.413	13	42.34	0.093	0.832	0.088
3.339	4.285	28	69.047	0.069	0.808	0.084
2.399	3.867	26	142.015	0.178	0.849	0.053
2.119	2.675	27	62.888	0.056	0.381	0.06
1.846	2.81	27	41.11	0.141	0	0.068
2.637	3.676	27	94.319	0.109	0	0.088
2.821	3.779	27	112.397	0.109	0.789	0.069
2.718	3.803	27	128.738	0.098	0.667	0.059
2.862	3.817	27	202.262	0.093	0.562	0.052
2.123	3.294	26	329.025	0.146	0.526	0.035
2.577	3.601	28	266.115	0.104	0.58	0.037
2.459	3.606	26	126.701	0.125	0.442	0.053
1.87	3.721	27	145.109	0.217	0.322	0.051
1.372	3.321	28	118.495	0.258	0	0.041
0.462	2.838	23	301.357	0.321	0.156	0.017
1.3	2.495	19	227.07	0.216	0.098	0.018
0.466	2.31	14	61.564	0.37	0	0.03
1.504	2.47	19	112.269	0.163	0	0.033
1.587	2.812	17	887.2	0.194	0	0.018
2.07	3.823	19	165.858	0.214	0.785	0.026
2.354	4.883	26	97.727	0.229	0	0.044
2.074	4.66	22	163.669	0.246	0.584	0.031
2.348	4.881	26	119.458	0.266	0	0.04
3.185	8.089	27	136.38	0.265	0	0.056
6.647	10.7	26	260.176	0.173	0.797	0.057
7.641	11.714	26	136.486	0.125	0.815	0.103
5.31	12.118	24	68.782	0.331	0	0.211
4.723	8.207	24	103.654	0.175	0	0.108
5.841	7.63	25	88.863	0.096	0	0.113
4.188	6.466	25	124.653	0.146	0	0.082
3.578	5.184	25	156.372	0.11	0	0.056
3.636	4.955	27	126.856	0.115	0	0.051
2.553	4.751	26	128.988	0.2	0	0.045
2.336	4.495	26	91.564	0.164	0	0.037
2.647	3.756	28	73.389	0.115	0	0.039
2.141	3.843	27	94.731	0.174	0	0.034
2.024	2.982	25	84.78	0.14	0	0.026
1.697	2.618	24	88.987	0.129	0	0.019

Εικόνα 3.8 Υπόλοιπο κομμάτι μετρήσεων του Zephyr

3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η διαδικασία που ακολούθησα όσον αφορά τη συγγραφή, την οργάνωση και την εκτέλεση του κώδικα είναι η εξής:

Εκτέλεση των παρακάτω βημάτων με τη σειρά που δίνονται,

- 1) Διάβασμα των αρχείων γραμμή – γραμμή
- 2) Κατασκευή πινάκων με τα στοιχεία των γραμμών του αρχείου
- 3) Κατασκευή πίνακα με όλες τις στήλες του αρχείου (ουσιαστικά ο πίνακας που μας ενδιαφέρει πρωτίστως)
- 4) Διαχωρισμός του τελευταίου πίνακα ανάλογα με τη στήλη (ταχύτητα – διεύθυνση αέρα κτλ)
- 5) Κατασκευή αντίστοιχου πίνακα με τις ημερομηνίες και ώρες της κάθε μέτρησης
- 6) Filtering των μετρήσεων σύμφωνα με δεδομένους περιορισμούς
- 7) Κατασκευή των διαγραμμάτων

Όσον αφορά το φιλτράρισμα των μετρήσεων, χρησιμοποιήσαμε τις παρακάτω συνθήκες, σύμφωνα με τις οποίες, αν δεν ικανοποιούνται, η μέτρηση απορρίπτεται και δεν λαμβάνεται υπόψιν,

ZephIR:
Points in Fit > 100
Packets in average > 20

Windcube:
CNRm > -20
 $-0.6 < dSigmaFreq < 0.6$

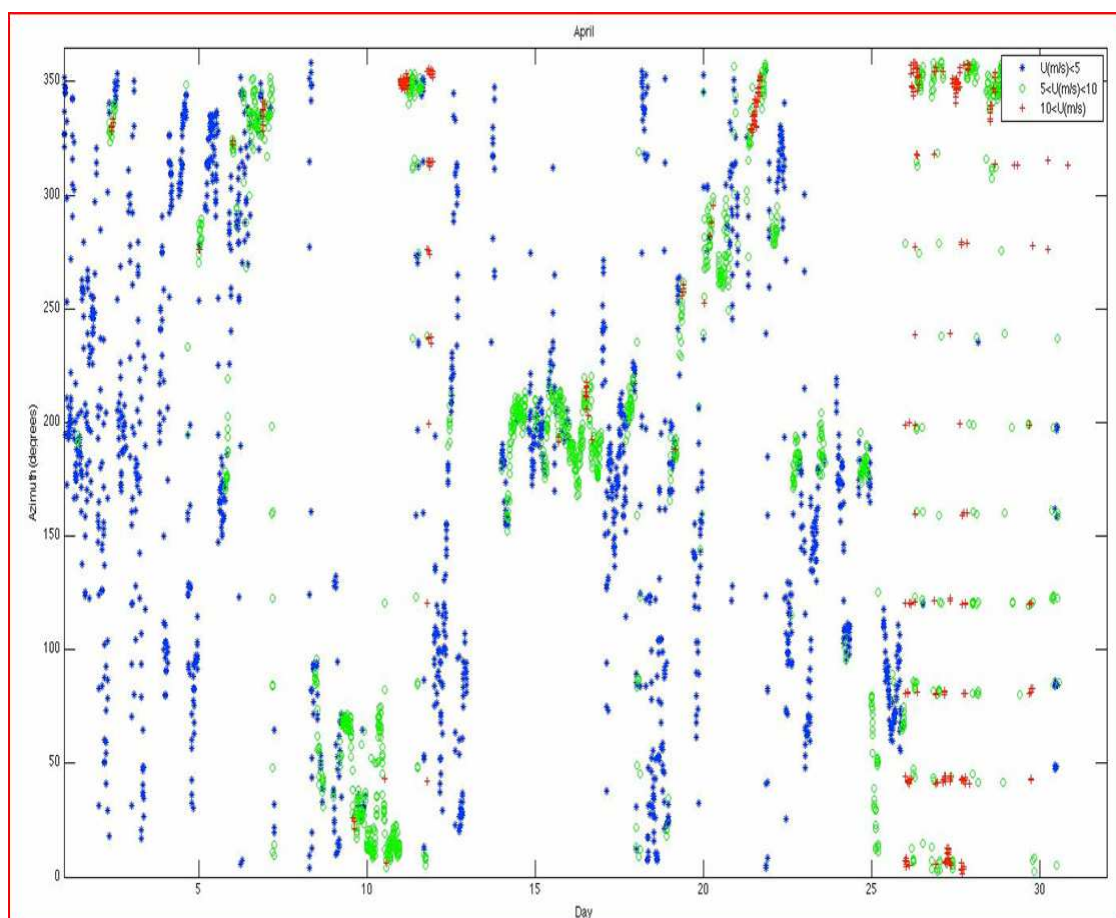
Οι παραπάνω δείκτες είναι στήλες που περιέχονται στο αρχείο με της μετρήσεις που στέλνει η συσκευή και είναι ξεχωριστές για κάθε 10λεπτο.

3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ

Ο κώδικας δέχεται ως είσοδο ένα σύνολο αρχείων που έχει δημιουργήσει το εκάστοτε και επιστρέφει ως έξοδο μια σειρά από διαγράμματα. Τα διαγράμματα αυτά είναι:

α) Διάγραμμα Κατεύθυνσης – Χρόνου, με παράμετρο την ταχύτητα του ανέμου.

Το διάγραμμα αυτό μας πληροφορεί για την κατεύθυνση και την ταχύτητα του αέρα για μία υποπερίοδο του συνολικού χρονικού διαστήματος που θέλουμε να εξετάσουμε, πχ μία μέρα ενός μήνα.



Σχήμα 3.1 Γράφημα Κατεύθυνσης - Χρόνου

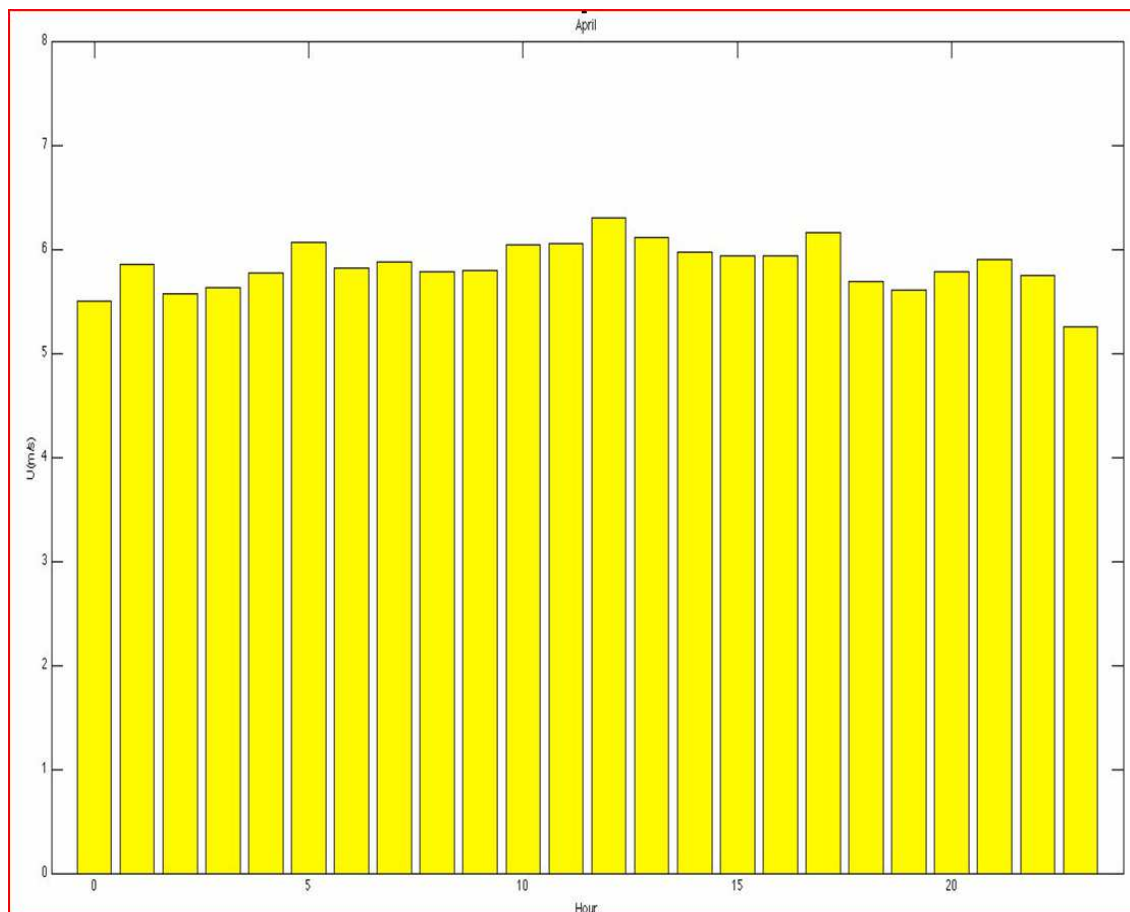
Στο εν λόγω διάγραμμα, βλέπουμε ότι στις 25 του μηνός, φύσαγε κατά κύριο λόγο άνεμος ταχύτητας 5 έως 10 m/s και διεύθυνσης 175-200 μοιρών, με αραιή εμφάνιση αέρα κατεύθυνσης 45-100 μοιρών.

Παράλληλα γίνεται αντιληπτό, πως ανέμους μεγάλης ταχύτητας είχαμε κυρίως στις μέρες 12-14, 23 και 25-27 του μηνός, ενώ συσχετίζεται και η κατεύθυνση με τις ταχύτητες αυτές, καθώς κατά κύριο λόγο οι υψηλές ταχύτητες συνδυάζονται σύμφωνα με το διάγραμμα, με ανέμους διεύθυνσης 350-50 μοιρών, δηλαδή οι πιο δυνατοί άνεμοι ήταν βόρειοι. Γενικά με το διάγραμμα αυτό, έχουμε μία πλήρη

εποπτεία όσων αφορά τόσο την κατανομή της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου για μία χρονική περίοδο που επιθυμούμε, καθώς και το πως αυτές κλιμακώνονται στις επιμέρους υποπεριόδους. Τέλος, μας δίνονται στοιχεία για το πως συνδέονται αυτά τα 2 χαρακτηριστικά του ανέμου, βάση των μετρήσεων.

β) Διάγραμμα Ταχύτητας – Ωρας ημέρας

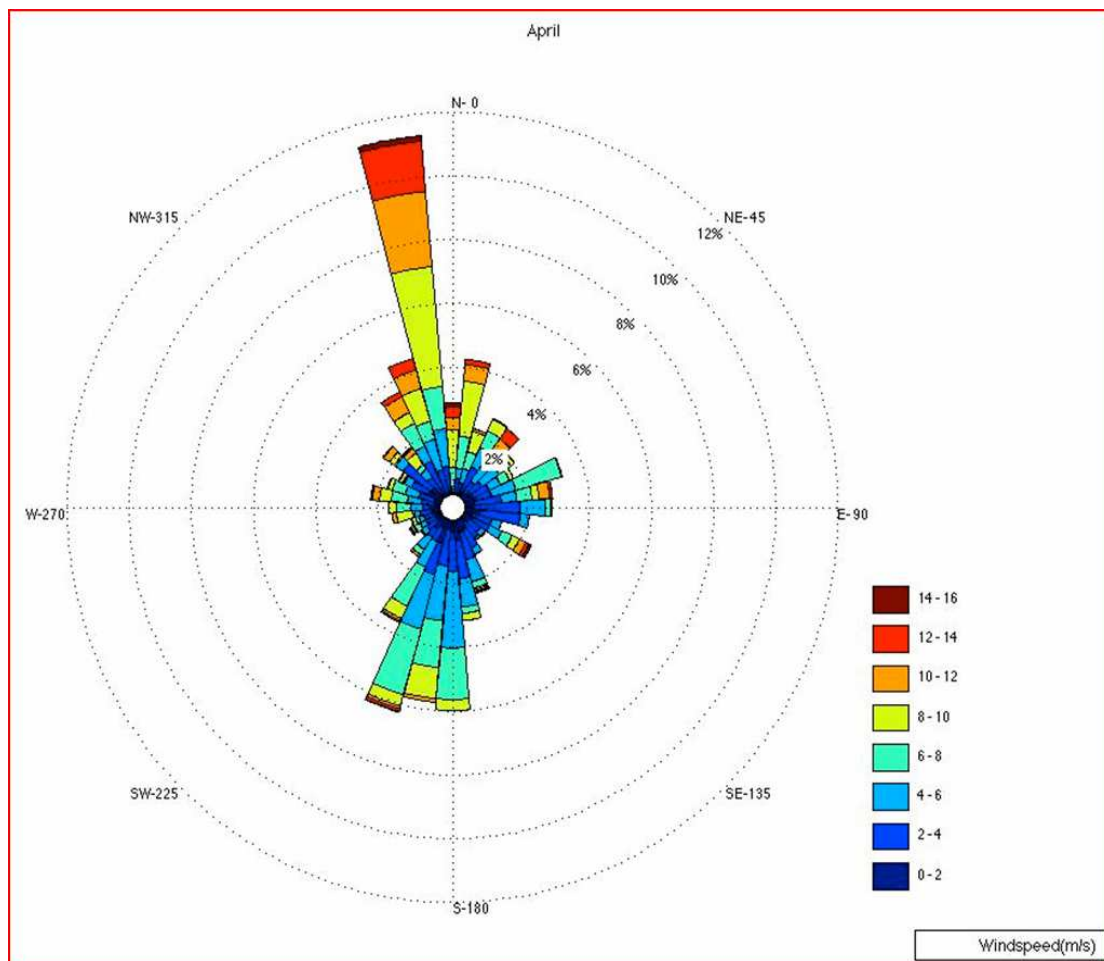
Το διάγραμμα αυτό είναι διάγραμμα Ταχύτητας - Χρόνου και εδώ αποκτούμε πληροφορίες για το πως κλιμακώνεται η ταχύτητα του ανέμου καθ' όλες τις ώρες της ημέρας, για μία περίοδο που επιθυμούμε. Στο διάγραμμα αυτό, οι πιο χρήσιμες πληροφορίες που αποκομίζουμε είναι πως, για το μήνα που μας ενδιαφέρει, οι πιο υψηλές κατά μέσο όρο ταχύτητες εμφανίζονται περίπου στις 12:00 το μεσημέρι, και είναι μέτρου λίγο παραπάνω από 6 m/s (~ 6.2), ενώ οι πιο χαμηλές εμφανίζονται ένα 12ωρο αργότερα, δηλαδή κατά τις 00:00, και είναι μέτρου ~ 5.2 m/s.



Σχήμα 3.2 Γράφημα Ταχύτητας - Ωρας ημέρας

γ) Ρόδο ανέμου

Το διάγραμμα αυτό είναι το ρόδο ανέμου. Μας πληροφορεί σχετικά με τη συχνότητα εμφάνισης μιας ταχύτητας ανέμου σε μία περιοχή και για μία ορισμένη χρονική περίοδο, ενώ παράλληλα μας πληροφορεί και για το ποια διεύθυνση του ανέμου παρατηρείται συχνότερα.



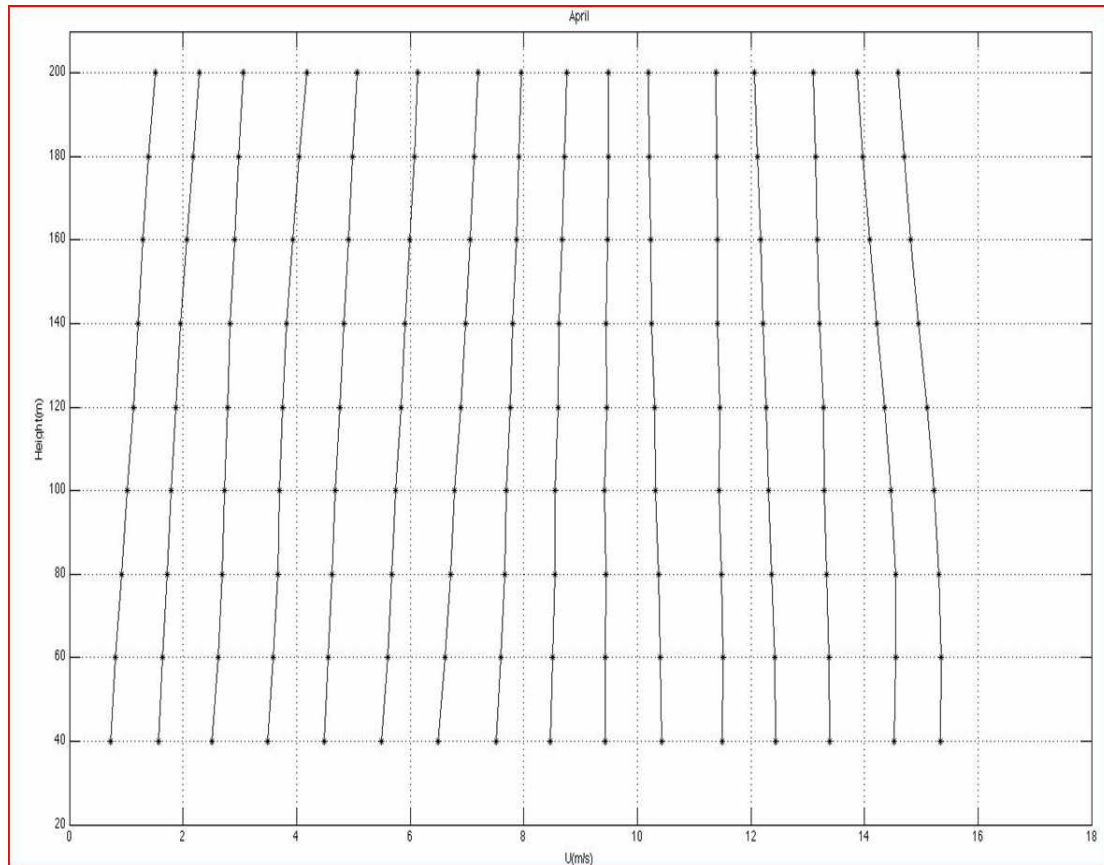
Σχήμα 3.3 Γράφημα ρόδου ανέμου

Ειδικότερα, στο διάγραμμα που παρουσιάζεται, βλέπουμε ότι η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου, εν σχέση με τις άλλες είναι των ~350 μοιρών. Παράλληλα πληροφορούμαστε πως στη διεύθυνση αυτή παρατηρούνται άνεμοι ταχύτητας 8-12 m/s, με το διάστημα 10-12 m/s, να είναι ελαφρώς επικρατέστερο.

Τέλος, παρατηρούμε πως η προαναφερθείσα επικρατούσα διεύθυνση αποτελεί το ~13% των συνολικών μετρήσεων.

δ) Διάγραμμα Ύψους – Ταχύτητας

Εδώ έχουμε ένα γράφημα Ύψους – Ταχύτητας το οποίο μας δείχνει πως μεταβάλλεται η ταχύτητα του ανέμου, την ίδια χρονική στιγμή, για διαφορετικά ύψη. Τη διαδικασία την κάνουμε για διαστήματα εύρους 1 m/s, και παίρνουμε κάθε φορά τη μέση τιμή των μετρήσεων που έχουμε για το ύψος αυτό.

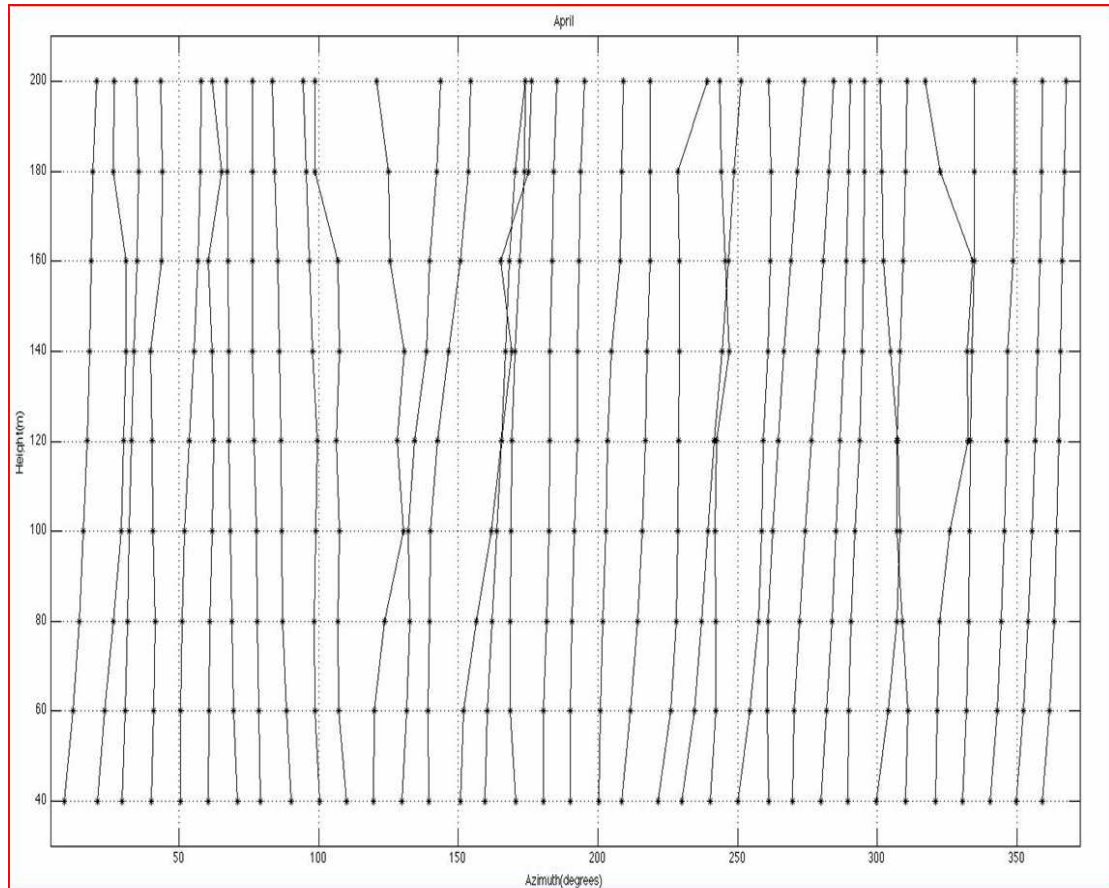


Σχήμα 3.4 Γράφημα Ύψους - Ταχύτητας

Έτσι, στο διάγραμμα που δίνεται, παρατηρεί κάποιος το κατά πόσο η κατανομή της ταχύτητας του αέρα καθ' ύψος για την ίδια χρονική στιγμή, εξαρτάται και από την αρχική ταχύτητα, στο χαμηλότερο ύψος. Πιο συγκεκριμένα, το γράφημα δείχνει πως ταχύτητες στα 40 μέτρα εύρους 0-10 m/s, η ταχύτητα αυξάνει καθ' ύψος, ενώ στο διαστήματα 11-16 m/s, η ταχύτητα του αέρα μειώνεται καθ' ύψος (έως τα 200 μέτρα, που είναι το μέγιστο ύψος του συγκεκριμένου γραφήματος, καθώς αφορά το ZepHiR Lidar. Το εύρος 10-11 m/s, αποτελεί θα λέγαμε το σημείο καμπής της κατανομής του αέρα καθ' ύψος, καθώς είναι το εύρος του οποίου η καμπύλη προσεγγίζει καλύτερα την ευθεία, δηλαδή η ταχύτητα του αέρα μένει σταθερή καθ' ύψος εν σχέση με τα υπόλοιπα διαστήματα. Πριν από το εύρος αυτό, η ταχύτητα του αέρα αυξάνει καθ' ύψος, ενώ μετά από αυτό μειώνεται.

ε) Διάγραμμα Ύψους – Διεύθυνσης

Το γράφημα αυτό είναι αντίστοιχο του δ) και μας πληροφορεί για το πως μεταβάλλεται η διεύθυνση του ανέμου, την ίδια χρονική στιγμή, για διαφορετικά ύψη. Ισχύουν τα ίδια με το διάγραμμα δ), και εδώ το αντίστοιχο εύρος του κάθε διαστήματος είναι 10 μοίρες.



Σχήμα 3.5 Γράφημα Ύψους - Διεύθυνσης

Όσον αφορά το δοσμένο γράφημα, γίνεται κατανοητό ότι η κατεύθυνση του μένει εν γένει σταθερή καθ' ύψος, με εξαίρεση συγκεκριμένες μετρήσεις οι οποίες επηρεάζουν το συνολικό αποτέλεσμα. Τα διαστήματα που παρατηρούνται απότομες αυξομειώσεις στο εν λόγω διάγραμμα είναι των 110-120 μοιρών και κυρίως των 320-330 μοιρών, όπου στο τελευταίο παρατηρούνται αρκετά έντονες μεταβολές, χωρίς όμως καμία να ξεφεύγει πάνω από ~20 μοίρες σε σχέση με την αρχική μέση τιμή που πάρθηκε για το χαμηλότερο ύψος (εδώ, τα 40 μέτρα).

4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ ΛΑΥΡΙΟ ΑΤΤΙΚΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πάρκο αυτό, όπως προαναφέρθηκε, δραστηριοποιείται το ΚΑΠΕ και έχει αυτή τη στιγμή σε λειτουργία 3 ανεμογεννήτριες.

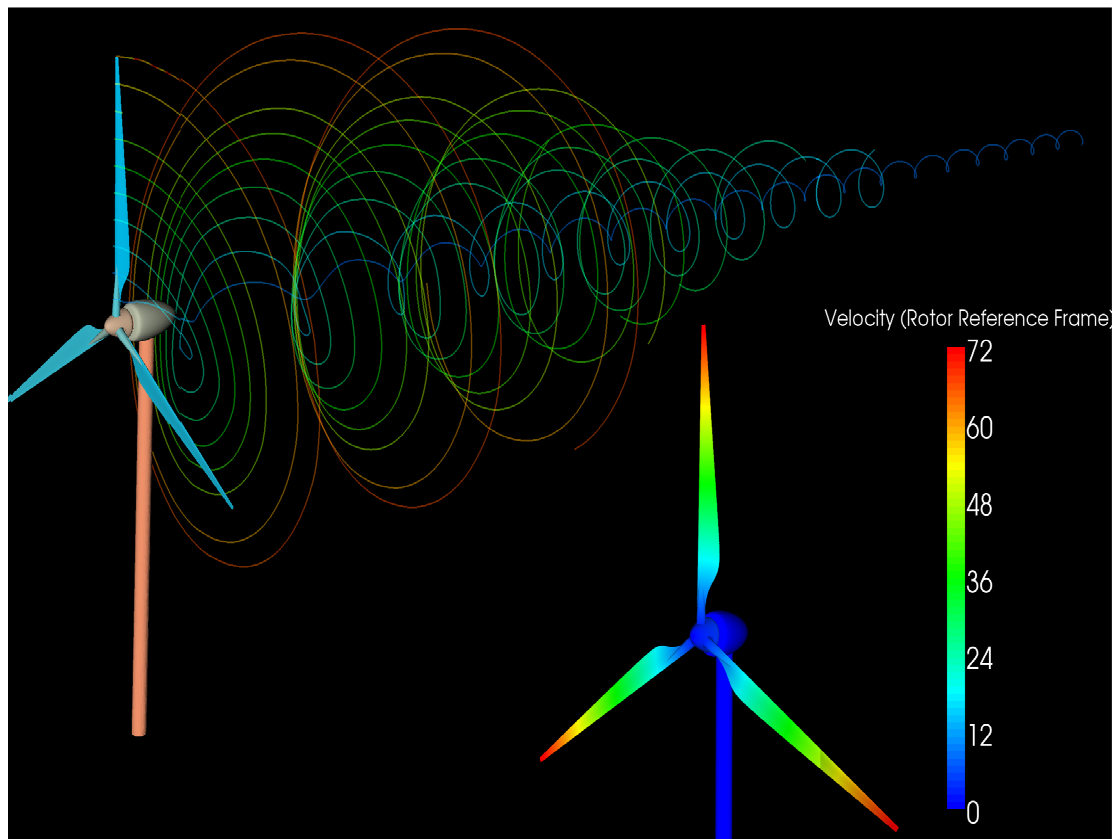
Δεύτερος στόχος της παρούσας διπλωματικής λοιπόν, πέρα από την ανάπτυξη του προαναφερθέντα κώδικα, ήταν με χρήση του κώδικα του Κεφαλαίου 3, να γίνει επεξεργασία των μετρήσεων τόσο από την LiDAR συσκευή η οποία έχει εγκατασταθεί στην περιοχή αυτή όσο και από τις μετρήσεις που δίνει ένας 100 μ. ιστός στην ίδια περιοχή να κάνει μια εκτίμηση για την ετήσια παραγόμενη ενέργεια που θα δίνει το πάρκο αυτό.

Τα βήματα τα οποία ακολούθησα για την εκτίμηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας του πάρκου στο Λαύριο είναι :

- 1) Συλλογή επαρκούς αριθμού μετρήσεων στην περιοχή που μας ενδιαφέρει (ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου κατά κύριο λόγο), όπου με το επίθετο "επαρκείς" χαρακτηρίζουμε τις μετρήσεις που έχουν διάρκεια τουλάχιστον 10 ετών.
- 2) Επεξεργασία των μετρήσεων (διαγραφή λανθασμένων μετρήσεων, κατασκευή των απαραίτητων διαγραμμάτων για εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, επεξεργασία των αυθεντικών αρχείων που στέλνουν τα όργανα σε αρχεία τα οποία είναι εύκολα στη χρήση και στην εισαγωγή σε διάφορα άλλα λογισμικά)
- 3) Διασταύρωση μετρήσεων από δικά μας όργανα με τυχόν άλλα όργανα που προυπήρχαν στην περιοχή (πχ μετεωρολογικά) για ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων από τις πραγματικές.
- 4) Δημιουργία ή λήψη αρχείου το οποίο περιέχει την τρισδιάστατη τοπογραφία της περιοχής σε ψηφιακή μορφή(map, dtm, bmp κτλ).
- 5) Δημιουργία αρχείου που βάση των μετρήσεων μας εμπεριέχει τις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου βάση της τοπογραφίας, με σχετικό λογισμικό (εδώ χρησιμοποιήθηκε το WaSP, το οποίο και δίνει αρχεία .wrg)
- 6) Εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων στο πρόγραμμα που εδώ χρησιμοποιήθηκε (Wind Farmer) .

- 7) Καταγραφή και εισαγωγή στο παραπάνω λογισμικό των υπάρχοντων περιορισμών (χωροταξικοί, ηχητικοί, οπτικοί, απόστασης μεταξύ των Α/Γ κτλ)
- 8) Δοκιμαστική τοποθέτηση Α/Γ.
- 9) Εκτέλεση βελτιστοποίησης όσων αφορά την τοποθέτηση των Α/Γ , για εύρεση των θέσεων οι οποίες βελτιστοποιούν την παραγόμενη ενέργεια από το πάρκο, ενώ παράλληλα τηρούν και τους περιορισμούς του βήματος 7. Οι τελικές θέσεις υπολογίζονται βάση πολλών παραγόντων, όπως του αιολικού δυναμικού που επικρατεί σε κάθε θέση άλλα και της αντίστοιχης διεύθυνσης του ανέμου, των απωλειών λόγω ομόρρου που έχουμε σε κάθε περίπτωση και για της θέση κάθε Α/Γ κ.ά.

Στο παρακάτω σχήμα έχουμε τη συνηθισμένη μορφή ενός ομόρρου που δημιουργεί μια ανεμογεννήτρια και ενδεικτικά, το προφίλ της ταχύτητας πίσω από τη μηχανή.



Σχήμα 4.1 Επιρροή του ομόρρου της μηχανής στο πεδίο ταχύτητων του αέρα πίσω από την ανεμογεννήτρια.

Από το σχήμα 4.1 βλέπουμε ότι οι μικρότερες ταχύτητες παρουσιάζονται στην ευθεία του ρότορα (τείνουν να είναι μηδενικές) καθώς και σε μικρές αποστάσεις από αυτόν ανεξαρτήτως ύψους, ενώ η ταχύτητα εξομαλύνεται όσο απομακρυνόμαστε από τον ρότορα τόσο καθ' ύψος όσο και κατά μήκος.

4.2 ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΤΟΥ ΚΑΠΕ ΣΤΟ ΛΑΥΡΙΟ ΑΤΤΙΚΗΣ

Το επιδεικτικό Αιολικό Πάρκο του ΚΑΠΕ ισχύος 3,01MW βρίσκεται στην περιοχή της Λαυρεωτικής στην Αττική και αποτελείται από πέντε Α/Γ, εκ των οποίων οι τρεις αγοράστηκαν από το εξωτερικό (NEG-Micon 750kW, Enercon E-40 500kW και Vestas V47/660kW) και οι δύο είναι ελληνικής προέλευσης (ΑΟΑ 500kW και ΑΟΑ 600kW, κατασκευής ΠΥΡΚΑΛ) . Το Α/Π χρηματοδοτήθηκε από το Β'ΚΠΣ στα πλαίσια του ΕΠΕ-3.3. Σε πλήρη λειτουργία αναμένεται να παράγει 7.9GWh/έτος.

Εδώ έχουμε το πάρκο σε πρόοψη.



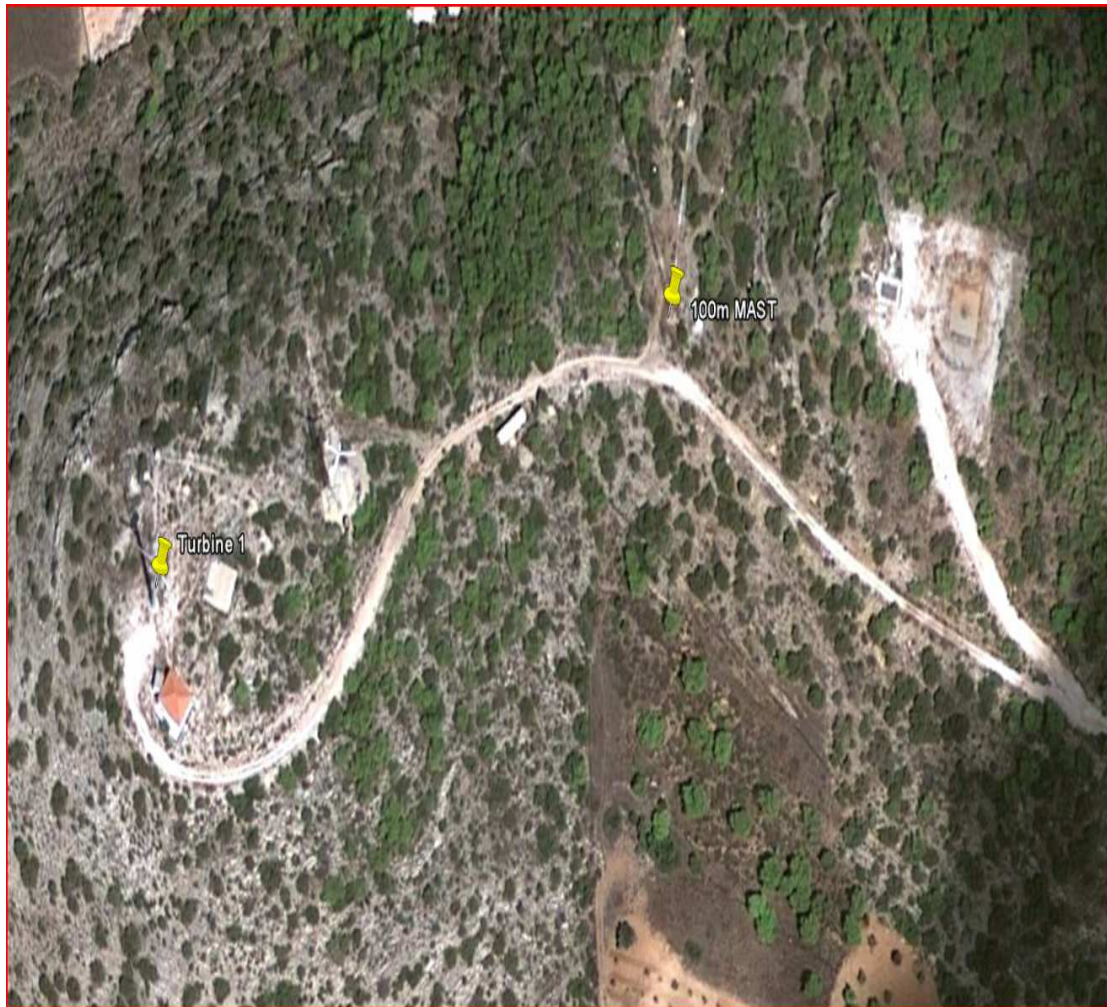
Εικόνα 4.1 Το πάρκο σε φωτογραφία (πλάγια όψη)

Ακολουθούν κάποιες φωτογραφίες με τις οποίες γίνεται κατανοητή η διάταξη και η τοποθεσία του πάρκου.



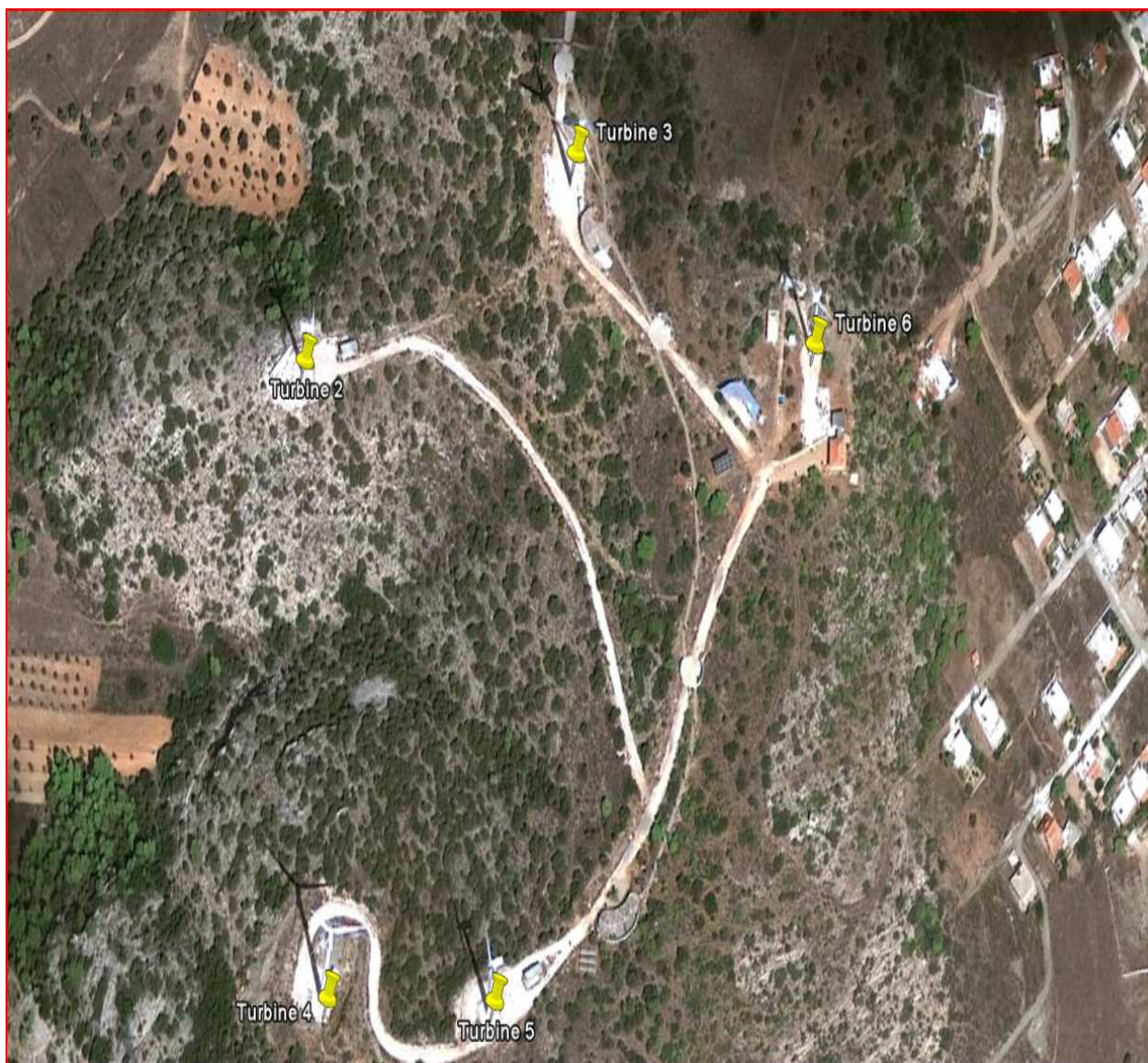
Εικόνα 4.2 Το πάρκο σε κάτοψη με σημειωμένες τις θέσεις των μηχανών και των μετρητικών οργάνων.

Εδώ έχουμε μια εικόνα του ιστού και της μίας εκ των μηχανών.



Εικόνα 4.3 Κομμάτι του πάρκου σε κάτοψη (μεγέθυνση)

Και εδώ φαίνονται οι υπόλοιπες πέντε μηχανές.



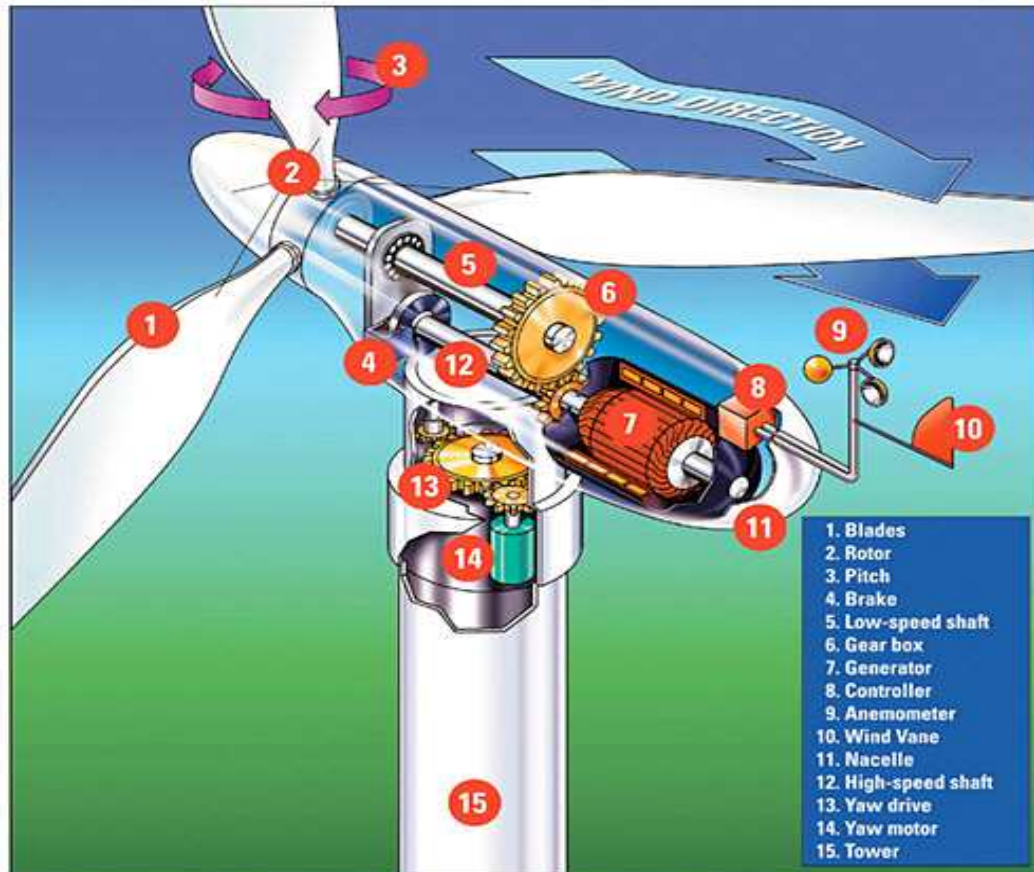
Εικόνα 4.4 Το υπόλοιπο (νότιο) κομμάτι του πάρκου, επίσης σε μεγέθυνση.

Βασικός στόχος του πάρκου είναι η αξιολόγηση ανεμογεννητριών με διαφορετικές αρχές λειτουργίας, σε συνθήκες σύνθετης τοπογραφίας, που είναι οι κατ' εξοχήν χώροι εγκατάστασης αιολικών πάρκων στην χώρα μας. Συγκεκριμένα υπάρχουν οι εξής τύποι ανεμογεννητριών:

- α) με έλεγχο ισχύος λόγω αεροδυναμικής αποκόλλησης (stall) ή λόγω μεταβλητής γωνίας πτερυγίου (pitch),
- β) με σταθερές ή μεταβαλλόμενες στροφές δρομέα
- γ) με σύγχρονες ή ασύγχρονες ηλεκτρογεννήτριες.

Επίσης, το γεγονός ότι το πάρκο βρίσκεται εντός της Αττικής, αποτελεί μία πρώτης τάξης ευκαιρία για την επίδειξη σε ένα μεγάλο μέρος του ελληνικού πληθυσμού, της τεχνολογίας των μηχανών, της αιολικής ενέργειας και των ΑΠΕ γενικότερα.

Ενδεικτικά παρουσιάζουμε τη βασική δομή μιας ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 4.2 Η βασική δομή μιας ανεμογεννήτριας

Ακολουθεί τώρα μια σύντομα παρουσίαση των μηχανών του πάρκου, δηλαδή των τεχνικών χαρακτηριστικών τους.

Η αρίθμηση αντιστοιχεί σε αυτή των φωτογραφιών του πάρκου, που δόθηκαν προηγουμένως.

MHXANH 1

Enercon E40-500

Διάμετρος (m) : 40
Εμβαδό σάρωσης (m²) : 1275
Ταχύτητα Περιστροφής (rpm) : 18-38
Αριθμός πτερυγίων : 3
Μήκος Πτερυγίων (m) : 19
Ύψος πύργου (m) : 44
Ονομαστική ισχύς (kW) : 500

Ταχύτητα ανέμου έναρξης λειτουργίας (m/s) : 2.5
Ταχύτητα ανέμου διακοπής λειτουργίας (m/s) : 25
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου (m/s) : 12

MHXANH 2

VESTAS V47-660

Διάμετρος (m) : 47
Εμβαδό σάρωσης (m²) : 1735
Ταχύτητα Περιστροφής (rpm) : 28.5
Αριθμός πτερυγίων : 3
Μήκος Πτερυγίων (m) : 22
Ύψος πύργου (m) : 45
Ονομαστική ισχύς (kW) : 660
Ταχύτητα ανέμου έναρξης λειτουργίας (m/s) : 4
Ταχύτητα ανέμου διακοπής λειτουργίας (m/s) : 25
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου (m/s) : 15

MHXANH 3

NEG MICON NM750/48

Διάμετρος (m) : 48,2
Εμβαδό σάρωσης (m²) : 1824
Ταχύτητα Περιστροφής (rpm) : 14/22
Αριθμός πτερυγίων : 3
Μήκος Πτερυγίων (m) : 22
Ύψος πύργου (m) : 45
Ονομαστική ισχύς (kW) : 750
Ταχύτητα ανέμου έναρξης λειτουργίας (m/s) : 4
Ταχύτητα ανέμου διακοπής λειτουργίας (m/s) : 25
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου (m/s) : 16

MHXANH 4

InterWind OA500

Διάμετρος (m) : 39,83
Εμβαδό σάρωσης (m²) : 1246
Ταχύτητα Περιστροφής (rpm) : 29
Αριθμός πτερυγίων : 3
Μήκος Πτερυγίων (m) : 19
Ύψος πύργου (m) : 38
Ονομαστική ισχύς (kW) : 500
Ταχύτητα ανέμου έναρξης λειτουργίας (m/s) : 4
Ταχύτητα ανέμου διακοπής λειτουργίας (m/s) : 25
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου (m/s) : 14.5

MHXANH 5

Interwind OA600

Διάμετρος (m) : 40.58
Εμβαδό σάρωσης (m²) : 1293
Ταχύτητα Περιστροφής (rpm) : 29
Αριθμός πτερυγίων : 3
Μήκος Πτερυγίων (m) : 19
Ύψος πύργου (m) : 38
Ονομαστική ισχύς (kW) : 670
Ταχύτητα ανέμου έναρξης λειτουργίας (m/s) : 4
Ταχύτητα ανέμου διακοπής λειτουργίας (m/s) : 25
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου (m/s) : 14,5

Εδώ σημειώνουμε πως οι δύο τελευταίες ανεμογεννήτριες, αναπτύχθηκαν και κατασκευάστηκαν στην Ελλάδα, από την εταιρεία ΠΥΡΚΑΛ, υπό την καθοδήγηση και επίβλεψη του καθηγητή Αθανασιάδη Ν. για το μηχανικό μέρος και του Δρ. Μιχαηλίδη Κ. για το ηλεκτρολογικό μέρος.

4.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1) Αρχείο με την τοπογραφία

Χρησιμοποιήσαμε αρχεία τύπου .map και .dtm.

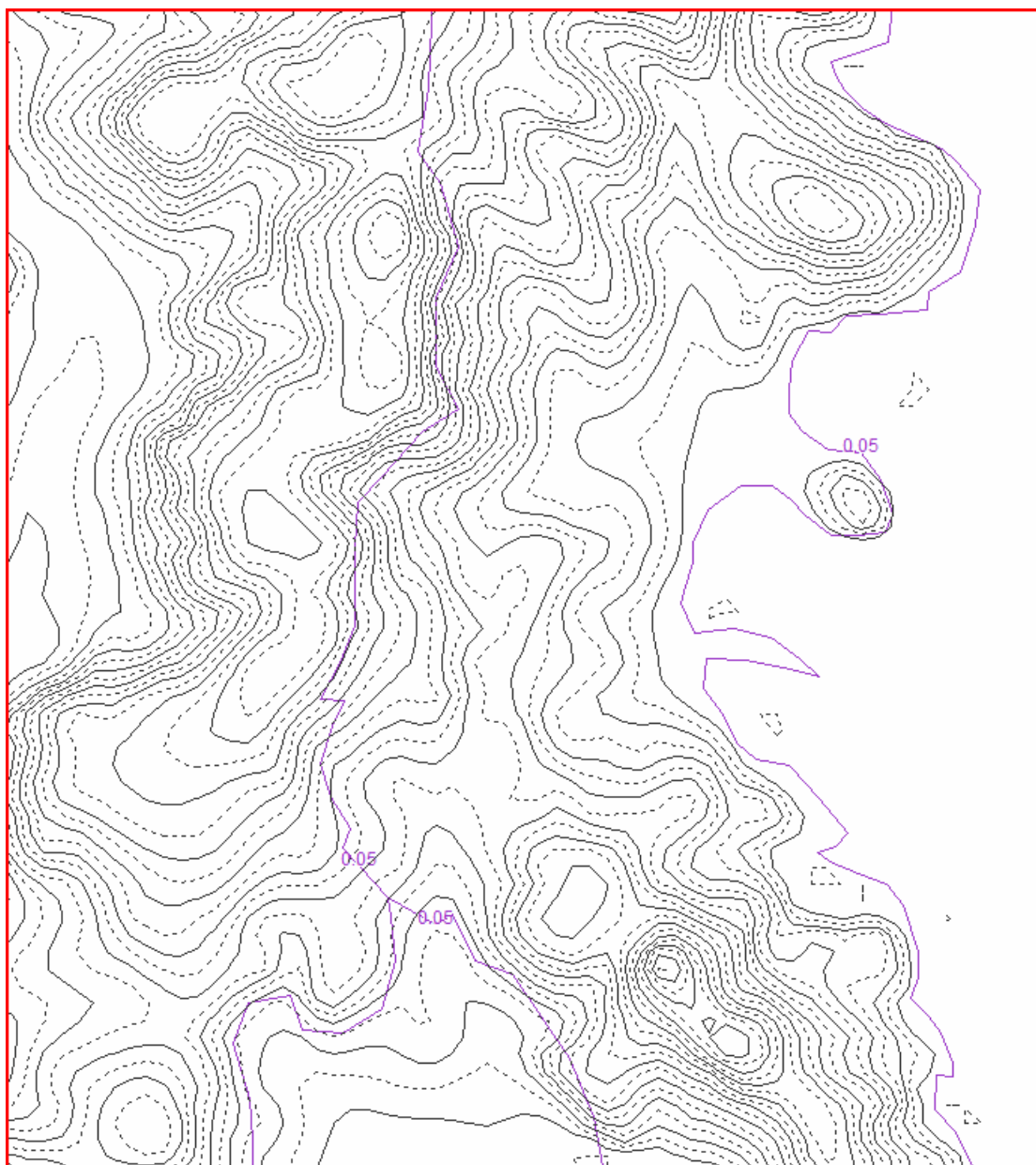
Το αρχείο .map είναι ανάλυσης 5 μέτρων, είναι σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ και εμπεριέχει τις συντεταγμένες x,y,z της περιοχής του Λαυρίου καθώς και πληροφορίες για την τραχύτητα του εδάφους.

Είναι της παρακάτω μορφής,

```
+Surfer: GRD->SG SAGA:SG->5m->WASP map | HGRS87 (GGRS'87 datum) | WME
v.9.0.0.252
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
1.000000 0.000000 1.000000 0.000000
1.000000 0.000000
0.0 4
505599.9 4177140.0 505600.0 4177180.0 505640.0 4177180.0
505654.6 4177140.0
0.0 3
505720.0 4177172.5 505760.0 4177158.3 505790.2 4177140.0
0.0 8
505720.0 4177172.5 505681.8 4177180.0 505720.0 4177194.0
505760.0 4177180.0 505800.0 4177180.0 505803.1 4177180.0
505840.0 4177140.0 505843.8 4177140.0
0.0 19
506104.1 4177140.0 506081.8 4177180.0 506101.7 4177220.0
506080.0 4177259.0 506120.0 4177260.0 506160.0 4177260.0
506160.0 4177235.5 506149.6 4177220.0 506121.8 4177180.0
506160.0 4177178.0 506162.2 4177180.0 506200.0 4177204.0
506201.3 4177220.0 506240.0 4177220.0 506280.0 4177220.0
506280.0 4177180.0 506320.0 4177140.0 506360.1 4177140.0
506389.8 4177140.0
0.0 5
506268.3 4177140.0 506260.6 4177180.0 506240.0 4177149.3
506280.0 4177144.8 506318.4 4177140.0
0.0 4
506400.0 4177140.0 506440.0 4177140.0 506480.0 4177140.0
506520.0 4177140.0
0.0 3
506201.1 4177180.0 506240.0 4177204.5 506201.1 4177180.0
0.0 3
```

Εικόνα 4.5 Το αρχείο .map με την τοπογραφία και την τραχύτητα του εδάφους (x, y, z, r)

Το αρχείο αυτό το χρησιμοποιήσαμε ως είσοδο τόσο στο Wind Farmer, όσο και στο Wasp. Ενδεικτικά δείχνουμε πως απεικονίζεται στο Wind Farmer.



Εικόνα 4.6 Απεικόνιση του αρχείου .map

Οι μωβ γραμμές απεικονίζουν τις περιοχές ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους (πληροφορίες για την τραχύτητα έχουμε χάρη στο .dtm αρχείο, το οποίο εξηγείται αργότερα).

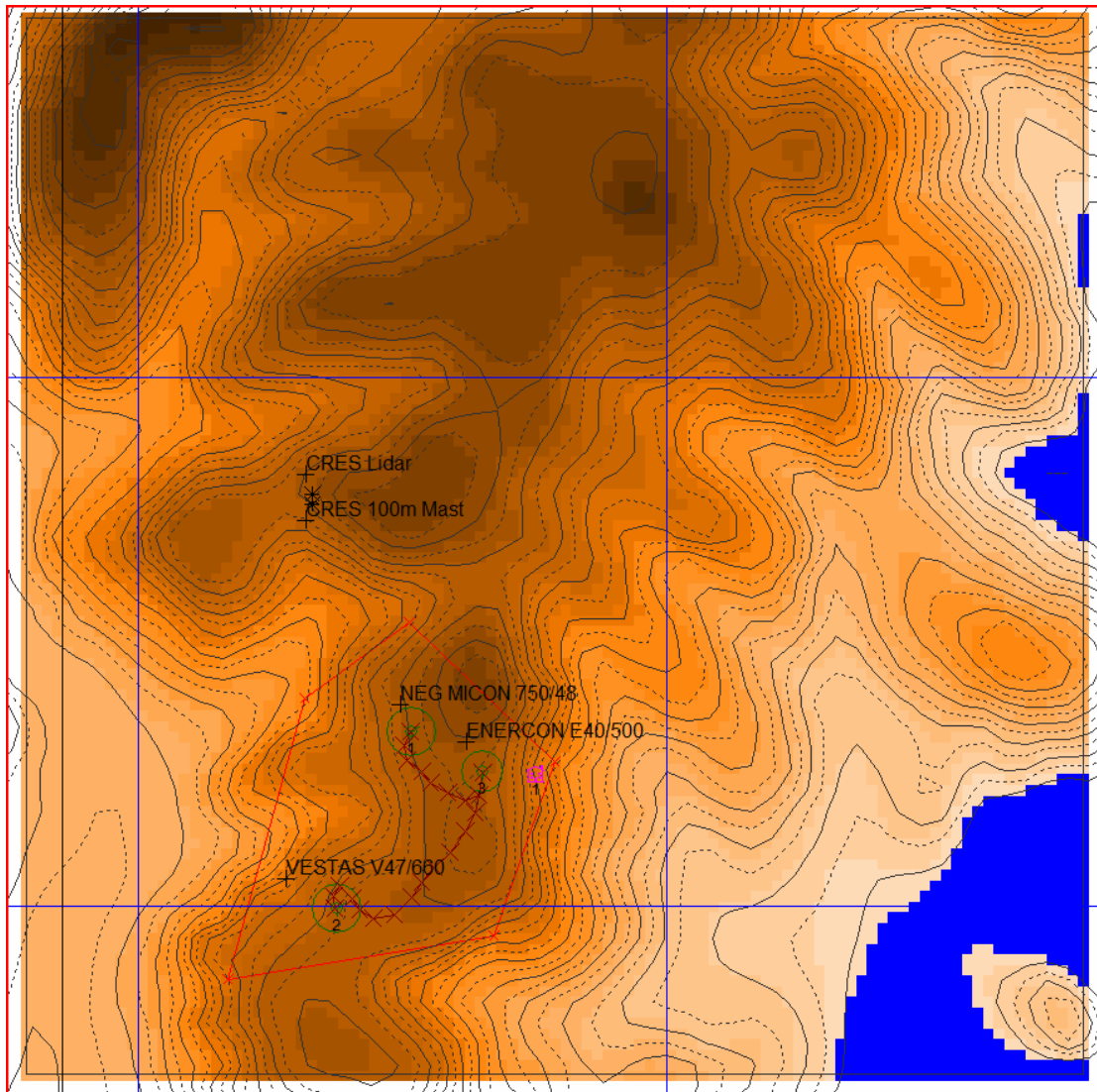
Το αρχείο .dtm (digital terrain model) μας βοηθά να απεικονίσουμε το πώς μεταβάλλεται το ύψος της περιοχής σε κάθε σημείο. Είναι της μορφής

Grid created from netCDF files						
x	y	z	roughness			
	101	101	1	101	1	101
504790.0	4178680.0	30.74	0.05819			
504790.0	4178700.0	31.26	0.05533			
504790.0	4178720.0	31.64	0.05517			
504790.0	4178740.0	31.89	0.05533			
504790.0	4178760.0	32.00	0.05533			
504790.0	4178780.0	32.00	0.05533			
504790.0	4178800.0	31.92	0.05533			
504790.0	4178820.0	31.79	0.05533			
504790.0	4178840.0	31.66	0.05541			
504790.0	4178860.0	31.54	0.05506			
504790.0	4178880.0	31.48	0.05427			
504790.0	4178900.0	31.53	0.05356			
504790.0	4178920.0	31.69	0.05284			
504790.0	4178940.0	31.99	0.05213			
504790.0	4178960.0	32.41	0.05142			
504790.0	4178980.0	32.91	0.05063			
504790.0	4179000.0	33.47	0.05000			
504790.0	4179020.0	34.02	0.05063			
504790.0	4179040.0	34.54	0.05142			
504790.0	4179060.0	34.98	0.05213			
504790.0	4179080.0	35.37	0.05284			
504790.0	4179100.0	35.67	0.05356			
504790.0	4179120.0	35.87	0.05427			
504790.0	4179140.0	35.99	0.05506			
504790.0	4179160.0	36.01	0.05541			
504790.0	4179180.0	36.02	0.05533			
504790.0	4179200.0	36.06	0.05533			
504790.0	4179220.0	36.24	0.05533			
504790.0	4179240.0	36.58	0.05533			
504790.0	4179260.0	37.01	0.05533			
504790.0	4179280.0	37.35	0.05533			
504790.0	4179300.0	37.44	0.05533			
504790.0	4179320.0	37.28	0.05533			
504790.0	4179340.0	36.55	0.05533			
504790.0	4179360.0	35.45	0.05533			
504790.0	4179380.0	34.36	0.05533			
504790.0	4179400.0	33.48	0.05533			
504790.0	4179420.0	32.97	0.05533			
504790.0	4179440.0	32.60	0.05541			
504790.0	4179460.0	32.58	0.05506			
504790.0	4179480.0	32.98	0.05427			
504790.0	4179500.0	33.56	0.05356			
504790.0	4179520.0	34.17	0.05284			
504790.0	4179540.0	34.83	0.05213			
504790.0	4179560.0	35.72	0.05142			
504790.0	4179580.0	36.83	0.05057			
504790.0	4179600.0	38.15	0.05000			
504790.0	4179620.0	39.69	0.05164			
504790.0	4179640.0	40.97	0.05356			
504790.0	4179660.0	41.97	0.05533			
504790.0	4179680.0	42.93	0.05711			
504790.0	4179700.0	43.86	0.05889			
504790.0	4179720.0	44.51	0.06067			
504790.0	4179740.0	44.31	0.06222			
504790.0	4179760.0	43.62	0.06502			
504790.0	4179780.0	42.91	0.06907			
504790.0	4179800.0	42.30	0.07289			
504790.0	4179820.0	41.81	0.07671			
504790.0	4179840.0	41.39	0.08053			

Εικόνα 4.7 Το αρχείο .dtm περιέχοντας επίσης την τραχύτητα (x, y, z, r).

Η διαφορά του με το προηγούμενο είναι ότι με αυτό μπορούμε να απεικονίσουμε με τη βοήθεια λεζάντας και colourmap τις ισουψείς καμπύλες της περιοχής, καθώς και να γίνει τρισδιάστατη απεικόνιση του πάρκου από το λογισμικό.

Στην προκειμένη περίπτωση έγινε μετατροπή του αρχείου σε .txt για πιο εύκολη εισαγωγή του στο Wind Farmer. Απεικονίζεται ως εξής,



Σχήμα 4.3 Η περιοχή του αρχείου .map η οποία υποστηρίζεται και από το αρχείο .dtm

1	0.0	3.0
2	3.0	7.5
3	7.5	15.0
4	15.0	22.5
5	22.5	30.0
6	30.0	37.5
7	37.5	45.0
8	45.0	52.5
9	52.5	60.0
10	60.0	67.5
11	67.5	75.0
12	75.0	82.5
13	82.5	90.0
14	90.0	97.5
15	97.5	105.0
16	105.0	112.5
17	112.5	120.0
18	120.0	127.5
19	127.5	135.0
20	135.0	142.5
21	142.5	150.0

Λεζάντα του σχήματος 4.3 σε μέτρα (m)

2) Αρχείο με το αιολικό δυναμικό (.txt)

Χρησιμοποιήσαμε τα αρχεία που παρήγαγε ο κώδικας που αναφέρεται στο Κεφάλαιο 3. Στη διάθεσή μου είχα στη διάθεσή μου μετρήσεις τόσο από ιστό, όσο και από Lidar. Η διαδικασία για τη διασταύρωση των παραπάνω μετρήσεων θα παρουσιαστεί αναλυτικά αργότερα. Τα αρχεία αυτά ήταν της μορφής, πρώτα για τις μετρήσεις του ιστού,

U54 [m/s]	Dir1 [deg]	Ustdv54 [m/s]	Ugust54 [m/s]	Time	Date
8.2245	162.9032	0.7906	10.2000	14:20	16/09/2008
7.6452	156.9633	0.9492	9.8056	14:30	16/09/2008
7.9250	156.3206	1.0042	10.1940	14:40	16/09/2008
7.8831	167.0745	0.8579	9.9080	14:50	16/09/2008
7.5385	169.9635	0.9311	10.2030	15:00	16/09/2008
7.5662	170.4467	0.8790	9.7033	15:10	16/09/2008
6.9095	168.6344	0.9238	9.0258	15:20	16/09/2008
7.1086	172.4170	0.9361	9.7063	15:30	16/09/2008
7.6823	166.9225	0.6781	9.9200	15:40	16/09/2008
6.8155	169.5578	0.7498	8.9265	15:50	16/09/2008
6.9823	173.5425	0.7053	8.9235	16:00	16/09/2008
6.5353	169.0642	1.0816	8.8151	16:10	16/09/2008
6.9663	171.2677	0.8911	9.8026	16:20	16/09/2008
6.1376	166.7686	0.7068	8.5290	16:30	16/09/2008
5.7047	168.8094	0.7124	8.0323	17:00	16/09/2008
5.5903	176.0336	0.5723	7.0989	17:50	16/09/2008
6.0774	202.6553	0.7414	8.0383	19:20	16/09/2008
5.9538	206.5648	0.7404	8.3243	20:30	16/09/2008
6.1768	212.7296	0.8433	8.3183	20:50	16/09/2008
6.2277	203.0168	0.8497	8.6194	21:00	16/09/2008
6.2204	249.5705	1.5080	10.6938	13:00	17/09/2008
6.1110	275.1974	2.0409	11.2930	14:30	17/09/2008
8.3935	309.2847	2.6208	12.7713	17:20	17/09/2008
5.6786	286.8798	1.0980	10.2030	17:30	17/09/2008
7.1575	301.5977	2.1130	11.7807	17:40	17/09/2008
5.6595	297.6326	1.1721	9.1222	17:50	17/09/2008
5.8896	303.9686	1.3306	9.7063	18:00	17/09/2008
6.2773	324.9621	1.3381	8.9265	18:10	17/09/2008
5.8186	318.0819	1.4433	9.4263	18:20	17/09/2008
5.2563	303.0007	1.0979	8.2340	18:30	17/09/2008
8.1873	305.3397	1.8120	11.8921	19:10	17/09/2008
7.2407	354.6553	0.9604	9.7093	01:30	18/09/2008
8.7432	344.7093	0.5976	10.6908	02:00	18/09/2008
7.4808	348.0222	1.0126	9.9110	02:40	18/09/2008
8.0052	345.9834	0.7320	10.1037	02:50	18/09/2008
8.0231	350.6599	0.9520	11.0972	03:00	18/09/2008
8.6399	351.9966	1.2819	11.1033	03:10	18/09/2008
8.6481	352.6237	1.2219	11.7837	03:20	18/09/2008
8.1006	351.1180	1.3977	11.8861	03:30	18/09/2008
8.4894	352.8687	1.7503	12.4792	03:40	18/09/2008
10.1610	354.0560	1.2118	13.7468	03:50	18/09/2008
9.5764	350.1787	1.2386	13.0663	04:00	18/09/2008
9.6468	347.1795	1.1610	12.6719	04:10	18/09/2008
10.0883	346.8019	1.0301	12.6809	04:20	18/09/2008
10.5589	348.8262	1.6733	15.8333	04:30	18/09/2008
10.4327	350.9233	1.3417	13.5631	04:40	18/09/2008
10.3168	353.5472	1.4799	13.9665	04:50	18/09/2008
9.8148	353.2460	1.4423	13.5721	05:00	18/09/2008
8.7514	351.9950	1.3377	11.8861	05:10	18/09/2008
9.8533	351.4573	1.3108	13.7618	05:20	18/09/2008
9.1006	350.3661	1.1388	11.9945	05:30	18/09/2008
8.8422	349.0444	1.0416	11.7928	05:40	18/09/2008
7.7476	351.6071	0.9326	10.3054	05:50	18/09/2008
7.6310	351.7262	1.4199	10.8985	06:00	18/09/2008
7.2874	351.4561	0.8653	9.4232	06:10	18/09/2008
7.6512	351.5897	1.1316	10.5071	06:20	18/09/2008
8.6841	347.5560	1.0952	11.2960	06:30	18/09/2008
8.2768	350.1530	0.9778	10.4108	06:40	18/09/2008

Εικόνα 4.8 Το αρχείο με τις μετρήσεις του ιστού

Και δεύτερον για τις μετρήσεις από το Lidar,

U54 [m/s]	U78 [m/s]	U100 [m/s]	U120 [m/s]	Dif 54 [deg]	Dif 120 [deg]
7.7623	8.1735	8.2303	8.0801	165.7013	162.0544
7.6884	7.8542	7.8555	7.8143	158.6364	156.4763
7.5997	7.9550	8.0691	8.0088	154.4180	163.1502
7.5924	7.7441	7.8577	7.6808	170.4332	169.9923
7.1846	7.1550	7.1727	7.0891	174.3237	176.4910
7.5792	7.0246	7.0362	7.1088	178.3109	177.7912
6.8397	6.9098	6.6669	6.6692	175.4173	176.7230
6.8374	6.9168	6.8534	6.8772	174.0787	176.1322
7.2278	7.6634	7.5827	7.5143	168.8755	172.8637
6.4957	6.4640	6.7011	6.7694	176.8931	175.3889
6.8158	6.7041	6.6554	6.7719	181.6782	182.4697
6.4130	6.6144	6.5839	6.6311	175.7461	175.3466
6.8154	6.6447	6.7688	6.7482	172.9464	180.3465
5.9448	6.0445	6.2751	6.3577	167.6142	170.8096
5.7181	5.6275	5.6244	5.6885	174.0493	173.9610
5.3283	5.5066	5.7023	5.7953	180.8284	185.7217
6.2422	6.6678	6.9011	7.1496	210.9440	211.7739
5.9128	6.2916	6.6208	6.8937	214.1347	216.5533
6.1427	6.9079	7.2883	7.4994	219.8891	223.2078
6.0257	6.2926	6.6691	6.9062	209.1709	216.5678
7.1048	7.2031	7.3004	7.2565	256.0245	251.5365
8.2866	8.3235	8.5433	8.6132	275.4799	272.2167
9.1401	9.1955	9.3243	9.4215	308.0900	304.3234
9.3090	9.4343	9.6035	9.6859	287.6705	286.1639
8.3674	8.7361	8.8852	8.7951	301.7649	299.4568
7.2055	7.8556	8.3594	8.5438	299.8181	298.4157
6.7170	7.0659	7.3086	7.5379	303.9047	292.3689
6.0215	6.3493	6.5103	6.5179	318.0292	319.5720
5.7282	6.0623	6.0796	6.1389	313.7675	309.3268
6.0759	6.4802	7.0014	7.3103	303.5987	301.6790
8.9098	9.4063	9.7692	9.9738	304.7970	303.7203
6.5355	7.0782	7.3399	7.5681	356.3532	356.7772
7.9673	8.2441	8.3681	8.4745	343.8769	344.9452
6.9432	7.4272	7.5998	7.8355	350.1206	351.2817
7.3666	7.7447	8.0043	8.1322	344.9775	349.0731
7.8246	8.3648	8.7551	8.9897	352.5235	354.3932
8.3817	8.6795	9.0085	9.2729	353.4093	354.9648
8.0039	8.5399	8.9752	9.3568	354.6572	355.1067
7.5671	8.0198	8.2875	8.5954	356.1180	354.8441
8.0431	8.6675	9.2316	9.4595	354.9928	357.5249
9.4753	9.7861	10.0748	10.3451	357.5159	357.4947
9.0999	9.4441	9.7304	9.8046	350.9043	352.0648
8.9984	9.5267	9.8038	9.8990	349.4272	349.9192
9.1279	9.3581	9.8893	10.2686	348.8659	350.0916
9.8444	10.0729	10.3451	10.6355	351.6498	352.2202
9.4830	9.8918	10.1750	10.4831	353.9255	351.8104
9.5890	9.8647	10.0521	10.3488	355.1955	354.0940
9.4287	9.7045	9.8711	10.0662	356.6907	356.4405
8.0497	8.4664	8.8137	9.1068	353.6098	355.1403
9.1378	9.5069	9.6865	9.8669	352.2388	352.7585
8.3929	8.7688	9.2227	9.4400	355.1283	354.0907
8.3598	8.5999	8.8256	9.1713	350.4572	352.0764
7.2228	7.4850	7.8892	8.2227	354.5987	356.6887
7.0604	7.5457	8.0082	8.2431	356.4349	358.1995
6.8735	7.3486	7.6071	7.8570	355.4192	355.7514
7.0059	7.6274	8.1755	8.5509	353.0181	355.3392
8.0554	8.7207	9.1625	9.4570	349.6433	353.2537
7.8569	8.3137	8.6825	9.0228	354.4942	354.5676
7.9773	8.3168	8.8427	9.2129	349.5739	352.4752
9.0447	9.2906	9.3958	9.6501	356.9023	355.5471
7.9800	8.2163	8.5229	8.7700	352.8050	354.4339
7.8665	8.2740	8.6902	8.9064	352.6574	355.9922
8.3132	8.4203	8.7358	9.0010	355.8358	357.2852
7.8130	7.8769	8.2004	8.4954	358.5768	1.7165
7.6520	8.1787	8.5198	8.6629	359.2803	358.7764
8.0616	8.1386	8.3285	8.5886	0.1771	358.6596

Εικόνα 4.9 Το αρχείο με τις μετρήσεις του Lidar

Παρατηρούμε πως οι μετρήσεις του Lidar περιέχουν πληροφορίες για παραπάνω ύψη, παρόλα αυτά εμείς κρατήσαμε μόνο των 54m. Θα μπορούσαμε παρ' αυτά να ελένξουμε την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων του Wasp για διαφορετικά ύψη, συγκρίνοντάς τα με τις μετρήσεις που έχουμε από το Lidar.

Χρησιμοποιώντας τα δύο αυτά αρχεία ως εισόδους κατασκευάστηκε το αρχείο .tab το οποίο περιέχει τις πληροφορίες για το ρόδο ανέμου στην περιοχή αυτή.

Με τη μέθοδο MCP (Measure Correlate Predict) το λογισμικό ανάγει τις μετρήσεις μας οι οποίες καλύπτουν διάστημα τριών ετών σε διάστημα δέκα ετών χρησιμοποιώντας πληροφορίες και από τα δύο μετρητικά όργανα κάνοντας δηλαδή διασταύρωση των μετρήσεων. Η διασταύρωση αυτή γίνεται με τη μέθοδο PCA (principal component analysis) . Μια άλλη μέθοδος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι αυτή των ελαχίστων τετραγώνων.

Το αρχείο που δίνει ως έξοδο το Wind Farmer είναι της μορφής,

505329.91	4179781.75	54.00										
12	1	0										
0.5	34.435	8.167	3.471	4.256	2.601	4.915	10.011	9.199	3.710	5.812	5.097	8.331
1.5	0.3	2.5	7.8	2.0	14.8	7.9	6.7	5.6	5.3	2.2	2.1	2.1
2.5	8.5	35.7	80.9	35.8	103.8	72.4	30.6	60.7	105.4	66.4	60.2	35.4
3.5	28.2	75.4	142.8	89.3	191.7	99.6	70.2	110.8	144.3	130.6	176.0	123.5
4.5	37.8	94.8	236.5	230.7	333.9	111.5	114.8	127.5	115.2	94.7	170.4	148.9
5.5	50.6	115.3	300.2	282.6	234.7	164.9	131.7	133.8	109.8	107.5	132.5	158.8
6.5	77.3	158.1	154.0	202.9	63.2	156.8	140.2	108.5	118.3	115.4	114.8	178.8
7.5	91.5	112.2	38.6	130.4	18.4	128.2	139.2	91.8	120.8	99.8	91.0	115.0
8.5	108.2	106.0	17.3	14.6	6.3	82.0	105.8	77.3	96.4	99.0	87.0	85.0
9.5	113.5	84.4	10.2	2.2	11.2	58.6	67.3	52.2	61.4	83.1	55.3	59.7
10.5	105.2	71.9	6.0	2.1	7.3	35.8	49.2	57.5	39.9	57.8	44.4	32.8
11.5	89.3	58.2	2.9	3.5	2.2	22.2	41.2	46.5	32.7	49.4	28.3	21.9
12.5	75.6	37.9	0.3	1.7	2.1	14.4	33.9	34.8	19.2	30.0	19.9	13.0
13.5	55.9	29.2	1.4	2.3	1.2	8.7	24.3	26.9	13.2	31.5	7.3	8.7
14.5	48.5	9.9	0.7	0.0	1.0	8.7	20.0	29.8	6.3	17.5	7.3	6.7
15.5	38.2	4.6	0.3	0.0	2.0	8.0	11.8	16.5	4.9	8.8	2.4	3.3
16.5	26.1	1.7	0.0	0.0	1.8	6.3	6.6	12.2	1.4	1.7	0.8	4.0
17.5	20.6	1.3	0.0	0.0	1.4	7.5	4.2	5.6	3.4	2.4	0.2	1.6
18.5	13.6	0.8	0.0	0.0	2.1	5.2	1.2	1.3	1.2	1.5	0.0	0.3
19.5	6.7	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.1	0.7	0.9	0.2	0.2	0.4
20.5	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2
21.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
23.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
32.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
33.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
34.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
35.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
36.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
38.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
39.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
41.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
42.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
43.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
44.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
46.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
48.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
49.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Εικόνα 4.10 Το αρχείο .tab το οποίο στην ουσία έχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την κατασκευή του ρόδου ανέμου.

, όπου:

Η 1^η γραμμή του αρχείου είναι οι συντεταγμένες του ιστού (εδώ σε ΕΓΣΑ) και το ύψος στο οποίο έχουν γίνει οι μετρήσεις

Η 2^η γραμμή είναι ο αριθμός των διαστημάτων που χωρίζεται ο τριγωνομετρικός κύκλος (12 χ 30 = 360 μοίρες)

Η 3^η γραμμή αναφέρει την συνολική πιθανότητα εμφάνισης μιας διεύθυνσης ανέμου ξεκινώντας από το διάστημα 0-30 μοιρών (34.435%) και καταλήγοντας στο 330-360 μοιρών (8.331%).

Μετά ξεκινάει η πιθανότητα εμφάνισης μιας διεύθυνσης ανέμου σε συγκεκριμένα διαστήματα ταχυτήτων. Για παράδειγμα από τον πίνακα που ακολουθεί στο αρχείο παίρνουμε την πληροφορία ότι διευθύνσεις ανέμου 30-60 μοιρών εμφανίζονται πιο συχνά σε ταχύτητες αέρα κοντά στα 5.5 m/s με συχνότητα 158.1 τοις χιλίοις (15.8 %), καθώς και ότι διευθύνσεις ανέμου 300-330 μοιρών

εμφανίζονται πιο συχνά σε ταχύτητες ανέμου που προσεγγίζουν τα 3.5 m/s με συχνότητα 176 τοις χιλίοις (17.6 %).

Παράλληλα για τις χρονικές περιόδους που έχουμε ταυτόχρονες μετρήσεις μπορούμε να κάνουμε σύγκριση των δύο μετρητικών συστημάτων, την οποία και παρουσιάζουμε στο κεφάλαιο 2.

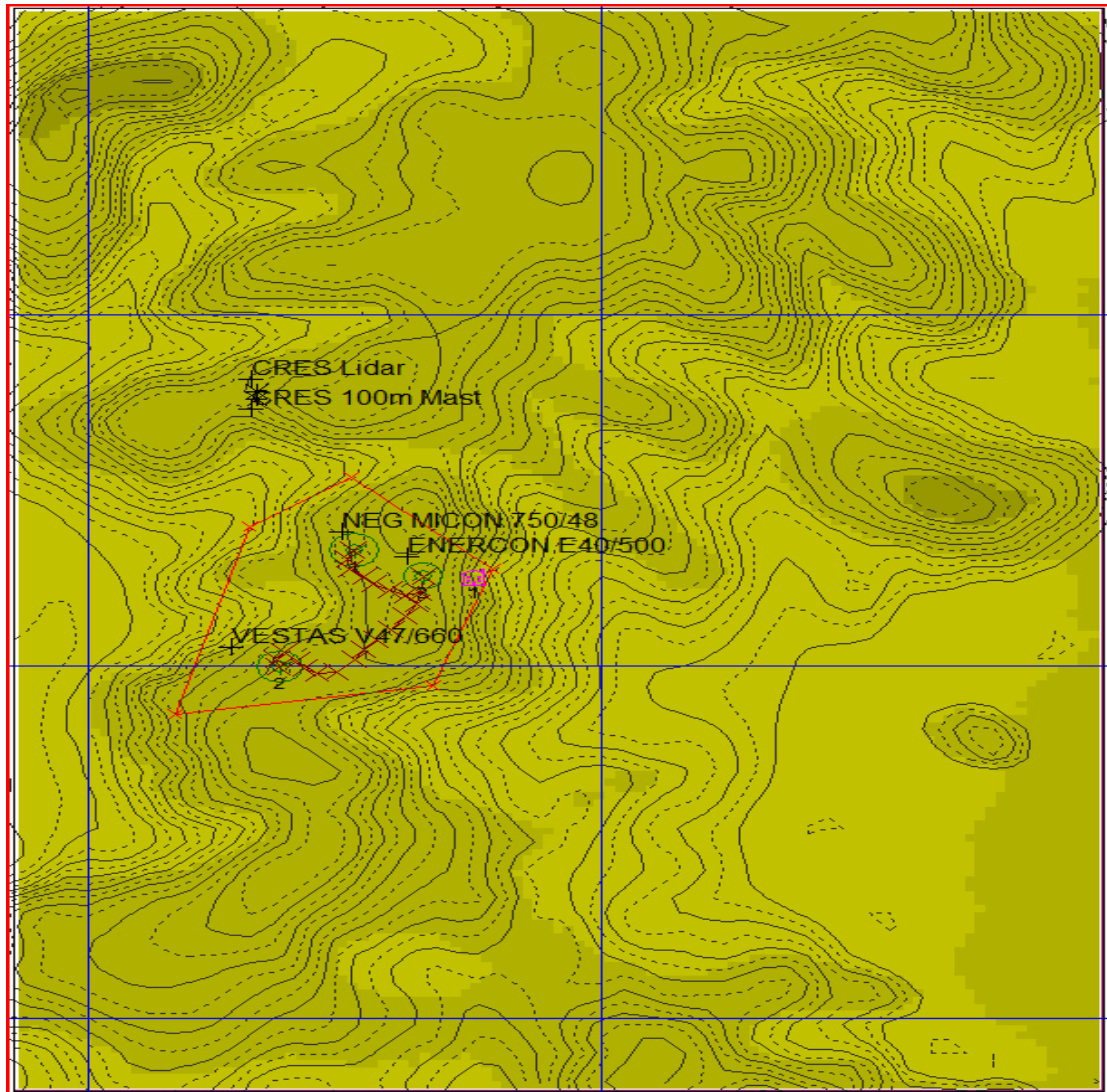
3) Αρχείο με την κατανομή του αιολικού δυναμικού σε όλη την περιοχή που μας ενδιαφέρει (.wrg)

Χρησιμοποίησα το λογισμικό *WaSP*, το οποίο ως είσοδο δέχεται ένα αρχείο με την τοπογραφία & ένα αρχείο με το αιολικό δυναμικό που επικρατεί σε ένα σημείο του χάρτη, και δίνει ως έξοδο αρχείο με το αιολικό δυναμικό σε όλη την έκταση της περιοχής.

Το αρχείο αυτό .wrg (wind resource grid) μας δίνει το αιολικό δυναμικό σε ένα επιθυμητό ύψος σε όλη την έκταση του χάρτη. Δεδομένου ότι οι συντεταγμένες των ανεμογεννητριών ήταν συγκεκριμένες, ένα τέτοιο αρχείο δεν ήταν απαραίτητο και χρειαζόταν απλά πληροφορίες για το αιολικό δυναμικό που επικρατεί στις θέσεις των ανεμογεννητριών και για το ανάλογο ύψος. Παρ' όλα αυτά χωρίς αυτό το αρχείο δεν θα ήταν δυνατό να εφαρμοστεί η διαδικασία βελτιστοποίησης από το πρόγραμμα την οποία και τρέξαμε ώστε θεωρητικά να δούμε ποιες είναι οι βέλτιστες θέσεις των ανεμογεννητριών στην περιοχή.

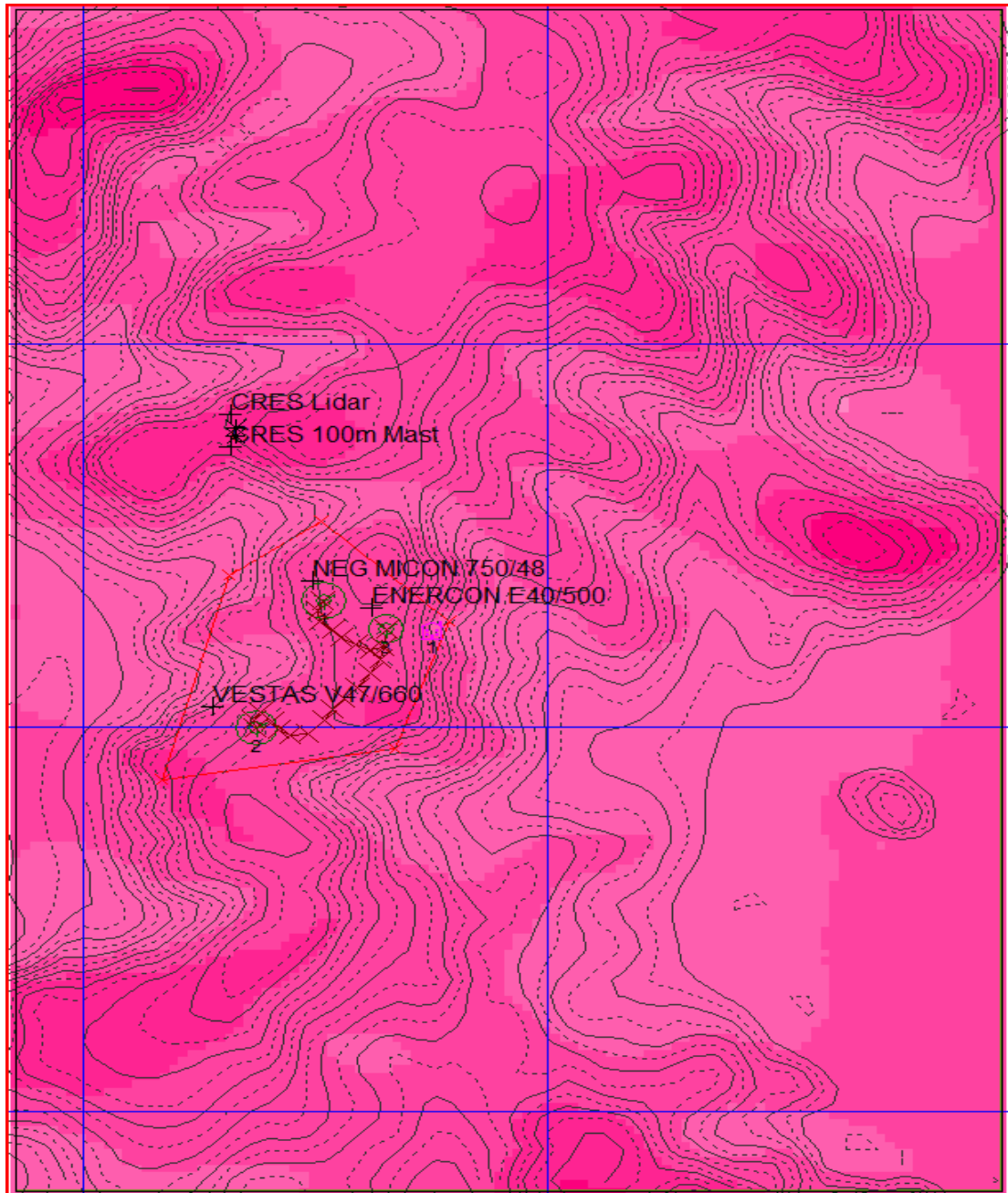
Για να δημιουργηθεί αυτό το αρχείο πρέπει να δώσουμε ως είσοδο στο *Wasp* το αρχείο με το ρόδο ανέμου .tab της περιοχής που μας ενδιαφέρει, το οποίο αποτελεί παράλληλα και έξοδο του λογισμικού *Wind Farmer*.

Ορίζοντας τις παραμέτρους ανάλογα με τις απαιτήσεις μας (επιλογή υποπεριοχών για δημιουργία του αρχείου για εξοικονόμηση χώρου στον υπολογιστή και χρόνου λόγω λιγότερων πράξεων, καθώς και ανάλυσης του πλέγματος). Στην προκειμένη περίπτωση η ανάλυση του πλέγματος είναι 20 μέτρα και η περιοχή που επιλέξαμε αφορά το αιολικό πάρκο καθώς και την γύρω περιοχή, ώστε να υπάρχει δυνατότητα εκτέλεσης βελτιστοποίησης των θέσεων των ανεμογεννητριών σε γειτονικές θέσεις.



Σχήμα 4.4 Το πεδίο ταχυτήτων στο πάρκο και τη γύρω περιοχή σε ύψος 50μ από το έδαφος

Wind Speed (m/s)		
Selected colour		<input type="text"/>
Band	Lower	Upper
1	0.00	1.00
2	1.00	2.00
3	2.00	3.00
4	3.00	4.00
5	4.00	5.00
6	5.00	6.00
7	6.00	7.00
8	7.00	8.00
9	8.00	9.00
10	9.00	10.00
11	10.00	11.00
12	11.00	12.00
13	12.00	50.00



Σχήμα 4.5 Η αιολική ενέργεια στο πάρκο και τη γύρω περιοχή σε ύψος 50μ από το έδαφος.

Wind Energy (W/m^2)		
Selected colour 		
Band	Lower	Upper
1	0.00	100.00
2	100.00	200.00
3	200.00	300.00
4	300.00	400.00
5	400.00	500.00
6	500.00	750.00
7	750.00	1000.00
8	1000.00	2000.00

4) Συντεταγμένες των Α/Γ στην περιοχή.

Οι συντεταγμένες δόθηκαν από το ΚΑΠΕ. Βασιζόμενος σε αυτές τις τοποθέτησα στο Wind Farmer.

Συγκεκριμένα έχουμε,

Συντεταγμένες		
Ανεμογεννήτρια	GPS	ΕΓΣΑ
NEG MICON 750/48	37°45' 49.87" B / 24°3' 51.63" A	505518.3 / 4179328.8
ENERCON E40/500	37°45' 47.36" B / 24°3' 45.08" A	505652.9 / 4179253.7
VESTAS V47/660	37°45' 39.06" B / 24°3' 45.79" A	505375.6 / 4178998.6

Πίνακας 4.1 Οι συντεταγμένες των εν ενεργεία μηχανών σε GPS και ΕΓΣΑ.

5) Τεχνικά χαρακτηριστικά Α/Γ.

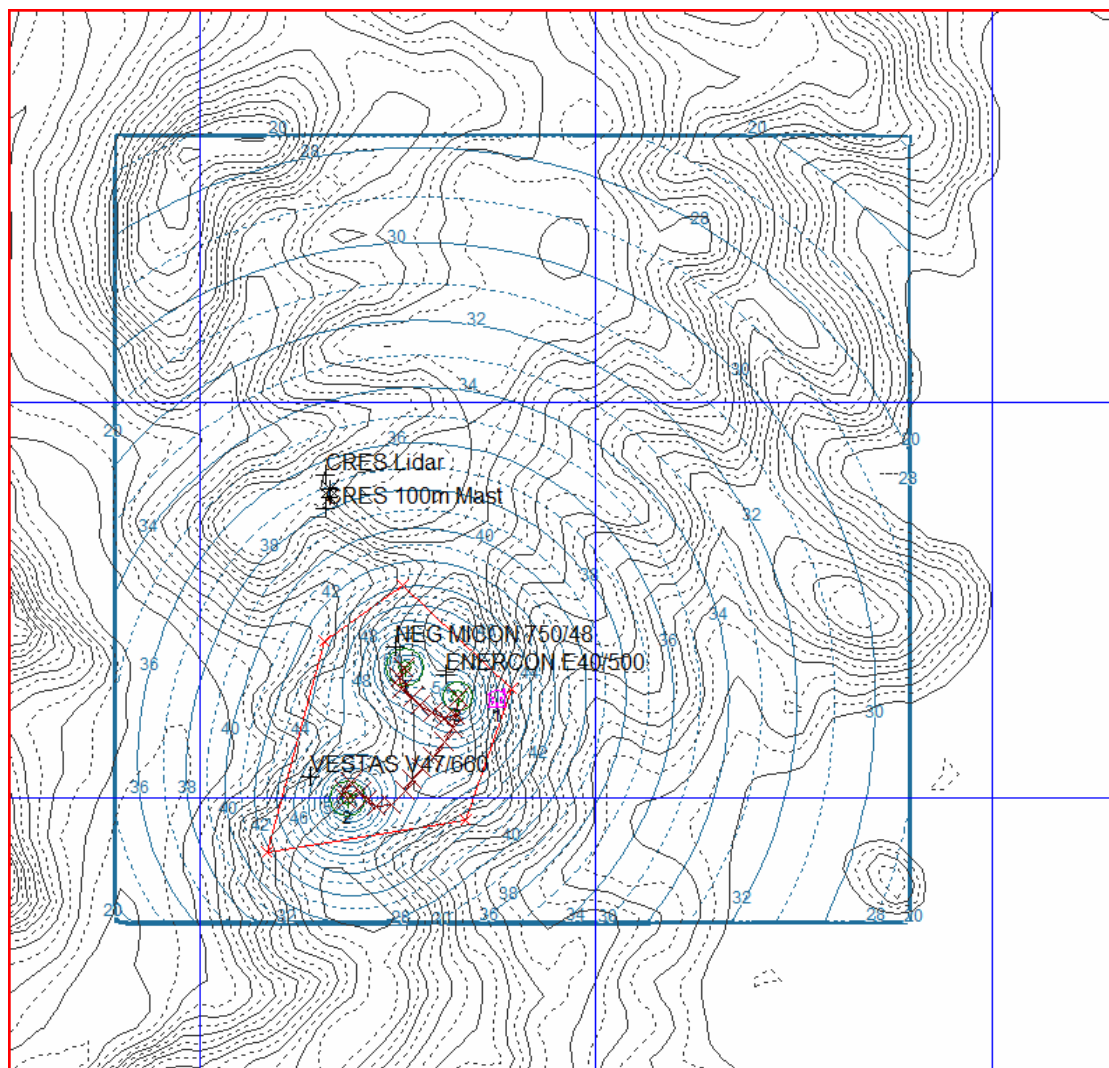
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά (κατασκευάστρια εταιρεία, διαστάσεις, καμπύλη ισχύος κά) δόθηκαν από το ΚΑΠΕ και έχουν ήδη παρουσιαστεί.

4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Εκτός της ενεργειακής μελέτης που ακολουθεί στο τέλος του κεφαλαίου, υπολογίσθηκαν και κάποια επιπλέον χρήσιμα στοιχεία για το πάρκο, τα οποία σε μία πραγματική μελέτη είναι απαραίτητα και πρέπει να γίνει έλεγχος και έγκριση τους προτού χορηγηθούν οι άδειες για την κατασκευή και λειτουργία του πάρκου.

Οι υπολογισμοί γίνανε με ανάλυση 10 μέτρων, ενώ η ανάλυση για τη σκίαση των μηχανών έγινε σε απόσταση 400 μέτρων από τον πύργο κάθε ανεμογεννήτριας.

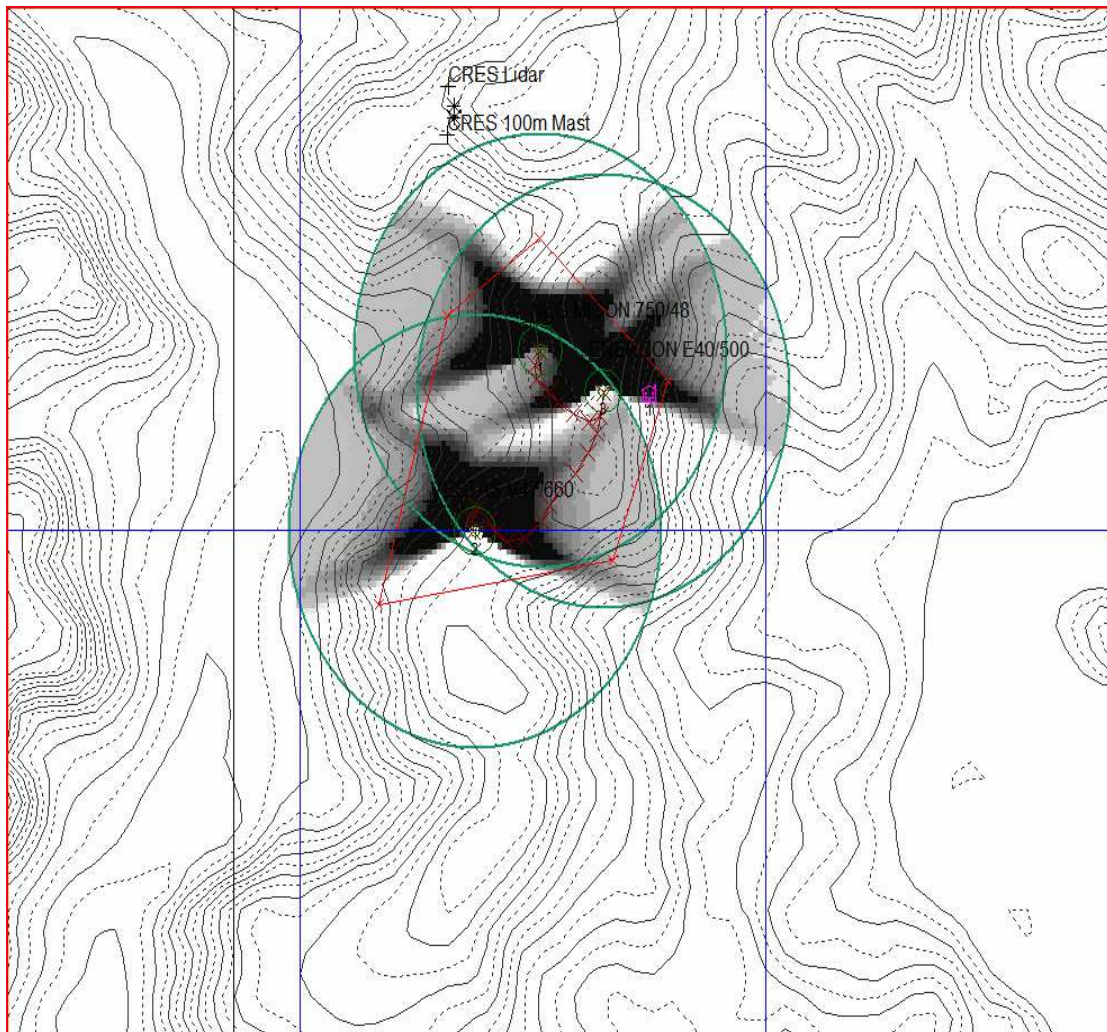
Καταρχάς έχουμε μία εκτίμηση για την ηχορύπανση που προκαλεί το πάρκο στη γύρω περιοχή,



Σχήμα 4.6 Η ηχορύπανση που προκαλείται από το πάρκο.

Όπου οι γραμμές μας υποδεικνύουν το θόρυβο σε dB(A)

Έπειτα έχουμε μια εικόνα για τη σκίαση που προκαλούν οι μηχανές στη γύρω περιοχή,



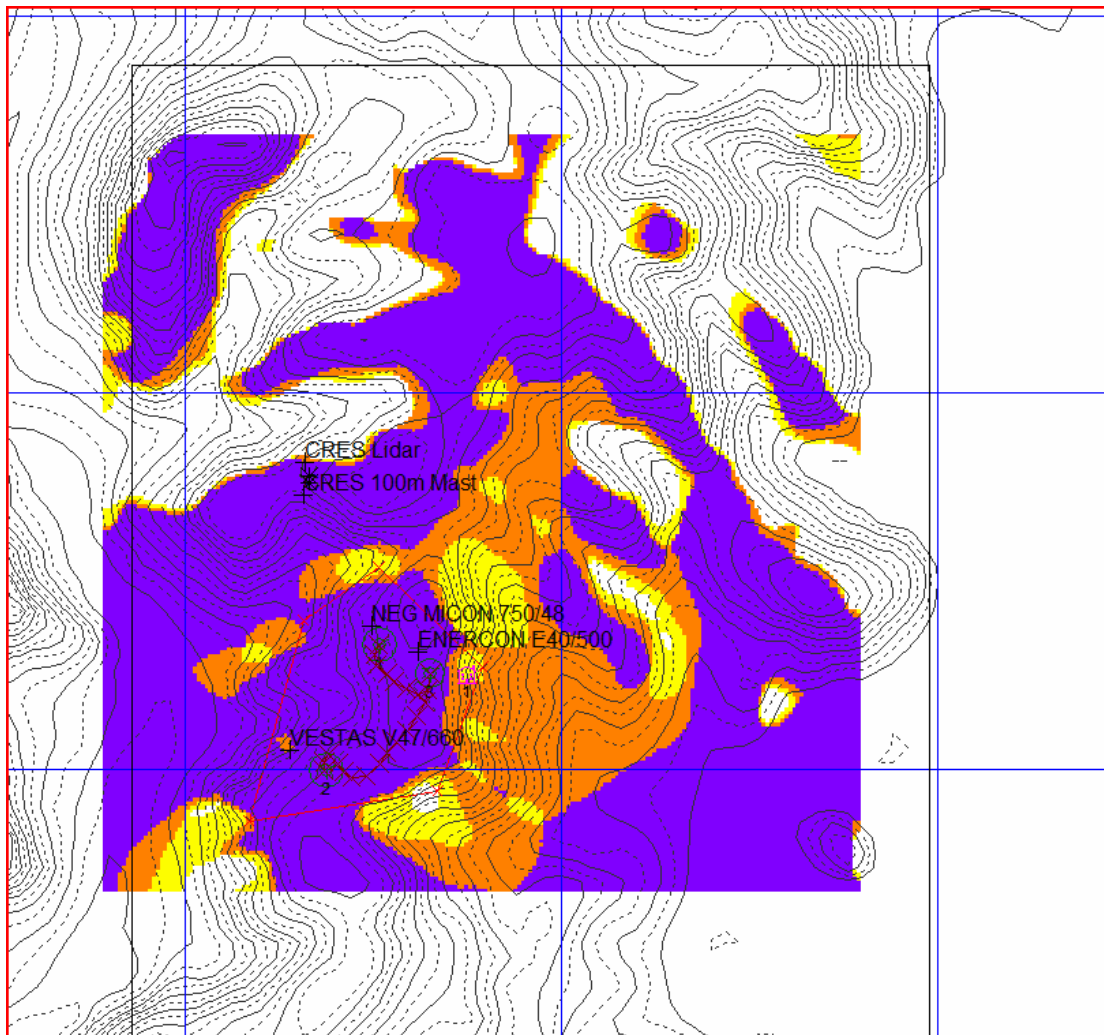
Σχήμα 4.7 Η σκίαση που προκαλεί το πάρκο στην περιοχή.

Shadow Map (h/yr)

Selected colour

Band	Lower	Upper
1	1	1
2	2	10
3	11	20
4	21	30
5	31	40
6	41	50
7	51	60
8	61	70
9	71	80
10	81	90
11	91	100
12	101	10000

και τέλος έχουμε τις περιοχές οπτικής όχλησης λόγω του πάρκου,



Σχήμα 4.8 Η οπτική όχληση που προκαλείται από το πάρκο.

Hubs visible		
Selected colour		
Band	Lower	Upper
1	0	0
2	1	1
3	2	2
4	3	3

Τέλος, παρατίθενται τα κύρια αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη του πάρκου.

Ενεργειακή μελέτη για το πάρκο		
<i>Διαθέσιμη ετήσια παραγωγή ενέργειας</i>	4.4	GWh/yr
<i>Συντελεστής τοπογραφίας</i>	100	%
<i>Συντελεστής ομόρρου</i>	98.32	%
<i>Συντελεστής ηλεκτρικών στοιχείων</i>	99	%
<i>Συντελεστής διαθεσιμότητας</i>	99	%
<i>Άλλοι συντελεστές</i>	99	%
<i>Απώλειες πτερυγίου λόγο πάγου</i>	99	%
<i>Απώλειες ηλεκτρικού σταθμού</i>	99	%
<i>Ετήσια εκτιμώμενη καθαρή παραγωγή ενέργειας</i>	4.1	GWh/yr
<i>Capacity factor</i>	24.4	%

Βασικές επιλογές μελέτης		
<i>Επίδραση τοπογραφίας</i>	Ναι	
<i>Επίδραση ομόρρου</i>	Ναι	
<i>Μέγιστη ταχύτητα ομόρρου που λαμβάνεται υπ' όψιν</i>	70	m/s
<i>Αριθμός διαστημάτων χωρισμού του 360 κύκλου</i>	72	
<i>Ελάχιστη απόσταση A/Γ</i>	2	διάμετρος

Ιστορική αβεβαιότητα				
<i>Ετήσια μεταβλητότητα ταχύτητας ανέμου</i>	6	%		
<i>Περίοδος</i>	1	έτη		
		[%]	Ευαισθησία καθαρής παραγωγής [%]	Αβεβαιότητα καθαρής παραγωγής [%]
<i>Ιστορική μεταβλητότητα ταχύτητας ανέμου</i>	6		198	11.9
<i>Μέτρηση ανέμου</i>	2		198	4
<i>Τοπογραφία</i>	4		-8.5E- 140000000000	-3.4E- 1500000000000
<i>Απώλειες ομόρρου</i>	15		1.68	0.252
<i>Συσχέτιση μεθόδων ανεμομετρίας</i>	0		198	0
<i>Καμπύλη ισχύος</i>	4		100	4
<i>Κάθετη συνιστώσα ανέμου</i>	0		100	0
<i>Οριζόντια συνιστώσα ανέμου</i>	0		100	0
<i>Ολική ιστορική αβεβαιότητα [%]</i>				13.1

Αβεβαιότητα της βασικής εκτίμησης	Χρονικό διάστημα		
<i>Αβεβαιότητα για μελλοντική περίοδο</i>	1 [year]	10 [years]	20 [years]
<i>Μεταβλητότητα ταχύτητας ανέμου [%]</i>	6	1.9	1.34
<i>Ευαισθησία [%]</i>	198	198	198
<i>Μελλοντική αβεβαιότητα [%]</i>	11.9	3.8	2.66
<i>Ιστορική αβεβαιότητα [%]</i>	13.1	13.1	13.1
<i>Ολική αβεβαιότητα [%]</i>	17.7	13.7	13.4
<i>Επίπεδα υπέρβασης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας</i>			
<i>Επίπεδο</i>	1 [year]	10 [years]	20 [years]
<i>P50 [GWh]</i>	4.1	4.1	4.1
<i>P75 [GWh]</i>	3.6	3.7	3.7
<i>P80 [GWh]</i>	3.5	3.6	3.6
<i>P84 [GWh]</i>	3.4	3.5	3.5
<i>P90 [GWh]</i>	3.16	3.4	3.4

Αριθμός μηχανών	3	MW
Ονομαστική ολική ισχύς	1.91	

<i>A/Γ</i>	<i>Τίτλος</i>	<i>Πλήρη στοιχεία</i>	<i>Ύψος πύργου (m)</i>	<i>Διάμετρος (m)</i>	<i>Ισχύς (kW)</i>
1	NEG-MICON 750/48	NEG-Micon 750/48 (750 kW)	50	48.2	750
2	VESTAS V47/660	Vestas V47 (660 kW)	45	47	660
3	ENERCON E40/500	Enercon E40/500	50	40.3	500

<i>A/Γ</i>	<i>Ανατολικά (ΕΓΣΑ) (m)</i>	<i>Βόρεια (ΕΓΣΑ) (m)</i>	<i>Υψόμετρο βάσης (m)</i>	<i>Κοντινότερη A/Γ ID</i>	<i>Απόσταση από την κοντινότερη A/Γ (m)</i>
1	505518.3	4179328.8	107	3	154.1
2	505375.6	4178995.6	100	1	362.5
3	505652.9	4179253.7	107	1	154.1

A/Γ	Μέση ελεύθερη ταχύτητα ανέμου (m/s)	Ambient Turbulence Intensity at 15 m/s (%)	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s)	Ονομαστική παραγωγή (MWh/yr)	Ολική παραγωγή (MWh/yr)	Καθαρή παραγωγή (MWh/yr)
1	6.34	10	6.29	1653	1653	1551
2	6.29	10	6.24	1560	1560	1463
3	6.33	10	6.23	1162	1162	1077

A/Γ	Capacity Factor (%)	Συντελεστής τοπογραφίας (%)	Συντελεστής ομόρρου (%)	Διαθέσιμη παραγωγή (MWh/yr)	Διαθέσιμη μέση ταχύτητα ανέμου (m/s)
1	23.59	99	98.67	1457	6.15
2	25.28	99	98.57	1378	6.1
3	24.57	99	97.49	1012	6.14

Επίπεδα ηχορύπανσης		
Πυκνότητα αέρα αναφοράς	1.225	kg/m ³
Υψόμετρο αναφοράς	0	m
Πτώση πυκνότητας ανά km υψομετρικής διαφοράς	-0.113	(kg/m ³)/km
Μηχανή 3	Enercon E40/500	
Ηχορύπανση (LWA ref)	97.1	dB(A)
Μηχανή 1	NEG-Micon 750/48 (750 kW)	
Ηχορύπανση (LWA ref)	97.1	dB(A)
Μηχανή 2	Vestas V47 (660 kW)	
Ηχορύπανση (LWA ref)	97.1	dB(A)

4.5 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΘΕΣΕΩΝ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Το τελευταίο κομμάτι της εργασίας αφορούσε την εύρεση των βέλτιστων θέσεων των ανεμογεννητριών στο πάρκο, στις οποίες οι μηχανές θα παράγαγαν το μέγιστο δυνατό ετήσιο έργο. Η διαδικασία αυτή της βελτιστοποίησης έγινε στο λογισμικό Wind Farmer.

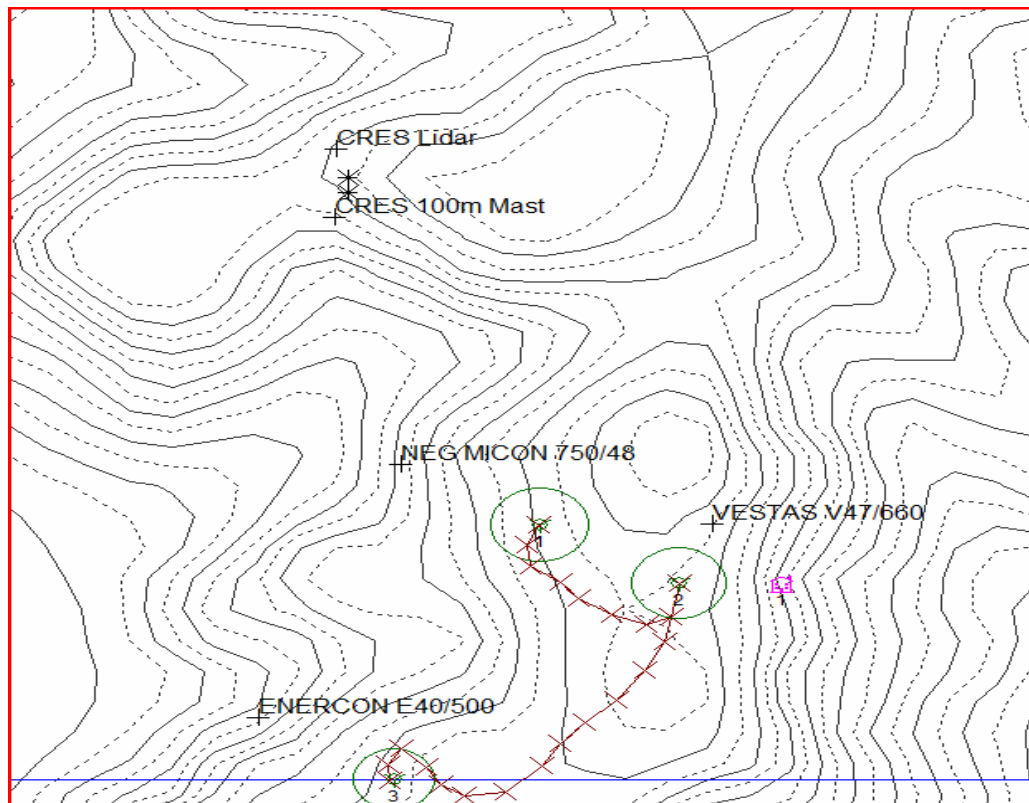
Προφανώς δεν λήφθηκε υπ' όψιν ολόκληρος ο χάρτης αλλά η περιοχή που βρίσκεται εντός 1000 μέτρων από κάθε μηχανή. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή λοιπόν έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Οι νέες θέσεις των ανεμογεννητριών είναι:

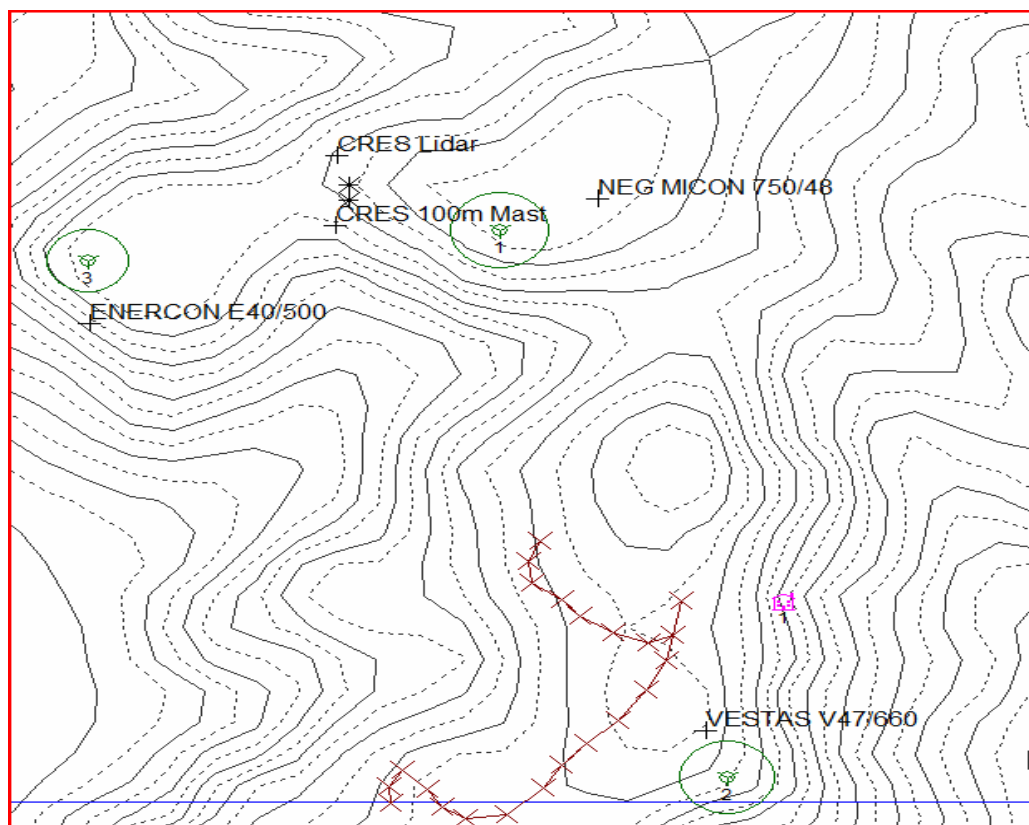
	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ	
Ανεμογεννήτρια	GPS φ / λ	ΕΓΣΑ
NEG MICON 750/48	37.767397 / 24.0638756	505477 / 4179722
ENERCON E40/500	37.7611585 / 24.0663793	505698 / 4179030
VESTAS V47/660	37.7670569 / 24.0593451	505078 / 4179684

Πίνακας 5.2 Οι νέες, βελτιστοποιημένες θέσεις των Α/Γ

Στο περιβάλλον του Wind Farmer η διαφορά φαίνεται ως εξής σε σχέση με τις παλιές:



Εικόνα 4.12 Οι πραγματικές θέσεις των μηχανών.



Εικόνα 4.13 Οι θέσεις των μηχανών μετά τη βελτιστοποίηση του λογισμικού

Οι θέσεις αυτές βελτιστοποιούν αισθητά την απόδοση του πάρκου. Πραγματοποιήθηκαν 5052 επαναλήψεις με δοκιμές στις θέσεις των μηχανών, όπου και διαπιστώθηκε ότι για τα όρια που έθεσα, η μέγιστη δυνατή ετήσια παραγόμενη ενέργεια από το πάρκο είχε υπολογιστεί για τις παραπάνω νέες θέσεις των ανεμογεννητριών.

Τα αποτελέσματα που έχουμε είναι εν σχέση με τις παλαιές θέσεις :

Παλαιές θέσεις			Νέες θέσεις		
Διαθέσιμη ετήσια παραγωγή ενέργειας	4.4	GWh/yr	Διαθέσιμη ετήσια παραγωγή ενέργειας	5	GWh/yr
Συντελεστής ομόρρου	98.32	%	Συντελεστής ομόρρου	99.56	%
Ετήσια εκτιμώμενη καθαρή παραγωγή ενέργειας	4.1	GWh/yr	Ετήσια εκτιμώμενη καθαρή παραγωγή ενέργειας	4.7	GWh/yr
Capacity factor	24.4	%	Capacity factor	28.2	%

Πίνακας 5.3 Αποτελέσματα για τα πάρκο για τις παλαιές και τις νέες θέσεις

Οι διαφορές είναι εμφανέστατες. Ο capacity factor έχει αυξηθεί κατά 15.5 % ποσοστιαία (απόλυτα αυξήθηκε κατά 3.8 %). Επόμενο είναι λοιπόν να έχει αυξηθεί και η ετήσια παραγωγή και συγκεκριμένα κατά 14.6 % (600 MWh). Τέλος και ο συντελεστής απωλειών λόγω ομόρρου έχει πιο συμφέρουσα τιμή καθώς οι απώλειες μειώθηκαν από 1.68 % σε 0.44 %.

Είναι σαφές ότι έχουμε καλύτερα αποτελέσματα. Παρ' όλα αυτά οι θέσεις αυτές είναι καθαρά υποθετικές καθώς δεν γνωρίζω πολλά στοιχεία τα οποία πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για τοποθέτηση μηχανών στα σημεία αυτά, όπως η μορφολογία του εδάφους, κατά πόσον είναι δεκτή η οπτική και η ακουστική όχληση που προκαλεί και άλλα.

5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

5.1 Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ LIDAR

Εδώ θα παρουσιαστούν τα βασικά κομμάτια του κώδικα, τα τμήματα, οι υπορουτίνες του και ο τρόπος λειτουργίας του. Ολόκληρος ο κώδικας βρίσκεται στο cd που παραδόθηκε με την εργασία.

Master code (*final*)

Εδώ είναι ο βασικός κώδικας *final* που καλείται στον οποίο δίνουμε τις εισόδους (διεύθυνση του φακέλου που περιέχει τα αρχεία με τις μετρήσεις και είδος μετρήσεων)

```
% Path of folder which contains the master code.
cd /mypath/files

Type_of_files = input('Give the type of files, type 1 for .sta files or 2 for .csv
files: ');

tofl = Type_of_files;

if tofl==1

    % Path of folder which contains the functions for .sta
    files.
    cd /mypath/myfunctions/sta
    run finall
elseif tofl ==2

    % Path of folder which contains the functions for .csv
    files.
    cd /mypath/myfunctions/csv
    run final2
else
    error('Type only 1 for sta files or 2 for csv files
    nothing else!')
end
```

Συνάρτηση για τα Lidar .sta files (*Zephir*)

Η συνάρτηση zephir δέχεται ως είσοδο ένα φάκελο με αρχεία και επιστρέφει ως έξοδο (με τη βοήθεια άλλων υποπρογραμμάτων που θα δούμε παρακάτω) τα ζητούμενα διαγράμματα, βάση των οποίων θα αξιολογήσουμε το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής. Η συγκεκριμένη είναι αυτή τρέχει όταν ο κώδικας διαβάσει αρχεία .sta, δηλαδή αρχεία που στάλθηκαν από το Zephir Lidar. Σε άλλη περίπτωση καλείται αντίστοιχη συνάρτηση (θα τη δούμε μετά) για τα .csv αρχεία, δηλαδή τις μετρήσεις που αποστέλλει το Windcube.

```
%initialization of basic matrices which are going to be used
bigtable = [];
TSDay = [];
TSMonth = [];
TSYear = [];
TSHour = [];
TSMminute = [];
TSSecond = [];

%kind of files used
FolderName = 'sta';

% GETTING DATA FROM THE FOLDER WITH THE FILES      %
Content = dir;

%%%          COUNTING FILES          %%%
filenumber = size(Content);
filenumber = filenumber(1,1);

%%%%%%%%          FILE LOOP          %%%%%%%%%
entries = 0;

for i = 1:1:filenumber
    FileName = Content(i,1).name;
    if (strfind(FileName, '.sta')~=0)

[bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMminute, entries, Version, Altitudes] =
test(FileName, bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMminute, entries);

        end
    end

%%%%%%%%          ISOLATING VARIABLES          %%%%%%%%%
size_bt=size(bigtable);
rows_bt=size_bt(1);
size_alt = size(Altitudes);
size_alt = size_alt(2);
dcol = 19;
cCNrm = 13;
cdsigmaFreq = 18;

% Data Filtering
k = 0;
for i=1:rows_bt
    c = 0;
    for j=1:size_alt
        if (bigtable(i, cCNrm+dcol*(j-1))<-20 || bigtable(i, cdsigmaFreq+dcol*(j-1))<-
0.6 || bigtable(i, cdsigmaFreq+dcol*(j-1))>0.6);
            c = 1;
        end
    end

    if c==0
        k=k+1;
        bigtable1(k,:) = bigtable(i,:);
        TSDay1(k) = TSDay(i);
        TSMonth1(k) = TSMonth(i);
        TSYear1(k) = TSYear(i);
        TSMminute1(k) = TSMminute(i);
    end
end

bigtable = bigtable1;
TSDay = TSDay1;
TSMonth = TSMonth1;
TSYear = TSYear1;
TSMminute = TSMminute1;
Percntg = k/rows_bt;
rows_bt = k;
size_bt=size(bigtable);
```

```

%%%      DATE & TIME MATRIX      %%%
DaT = zeros(rows_bt,5);
for i=1:rows_bt
    DaT(i,1) = TYear(i);
    DaT(i,2) = TMonth(i);
    DaT(i,3) = TDay(i);
    DaT(i,4) = THour(i);
    DaT(i,5) = TMinute(i);
end

DateAndTime=datestr(DaT);

%%%%%%%%% VARIABLE MATCHING      %%%%%%%%%%

% Matrices Preallocations
Vhm = zeros(rows_bt, size_alt); % Vhorizontal
dVh = zeros(rows_bt, size_alt); % SDV Vhoriz
VhMax = zeros(rows_bt, size_alt); % Vh max
Azim = zeros(rows_bt, size_alt); % Azim
wm = zeros(rows_bt, size_alt); % Z-wind
dw = zeros(rows_bt, size_alt); % SDV Z-wind
CNRm = zeros(rows_bt, size_alt); % CNR
CNRmin = zeros(rows_bt, size_alt); % CNR min
Dopp_Spect_Broad = zeros(rows_bt, size_alt);
Avail = zeros(rows_bt, size_alt);
um = zeros(rows_bt, size_alt); % u
du = zeros(rows_bt, size_alt); % du
vm = zeros(rows_bt, size_alt); % v
dv = zeros(rows_bt, size_alt); % dv
dCNR = zeros(rows_bt, size_alt); % SDV CNR
CNRmax = zeros(rows_bt, size_alt);
VhMin = zeros(rows_bt, size_alt);
sigmaFreqm = zeros(rows_bt, size_alt);
dsigmaFreq = zeros(rows_bt, size_alt);

if (strcmp(Version, '2.1.58')==1 || strcmp(Version, '2.1.60')==1 || strcmp(Version,
'2.0.1')==1) %Checking the file version

    Tm = bigtable(:,1);
    cVhm = 2;
    cAzim = 6;
    c = 0;

    for j=1:9;

        for i=1:rows_bt;

            Vhm(i,j) = bigtable(i,cVhm+c*dcol);% Vhorizont
            dVh(i,j) = bigtable(i,3+c*dcol); % SDV Vhoriz
            VhMax(i,j) = bigtable(i,4+c*dcol); % Vh max
            VhMin(i,j) = bigtable(i,5+c*dcol);
            Azim(i,j) = bigtable(i,cAzim+c*dcol); % Azim
            um(i,j) = bigtable(i,7+c*dcol); % u
            du(i,j) = bigtable(i,8+c*dcol); % du
            vm(i,j) = bigtable(i,9+c*dcol); % v
            dv(i,j) = bigtable(i,10+c*dcol); % dv
            wm(i,j) = bigtable(i,11+c*dcol); % w
            dw(i,j) = bigtable(i,12+c*dcol); % dw
            CNRm(i,j) = bigtable(i,13+c*dcol);%CNR>-20 filt
            dCNR(i,j) = bigtable(i,14+c*dcol); % SDV CNR
            CNRmax(i,j) = bigtable(i,15+c*dcol);
            CNRmin(i,j) = bigtable(i,16+c*dcol);
            sigmaFreqm(i,j) = bigtable(i,17+c*dcol);
            dsigmaFreq(i,j) = bigtable(i,18+c*dcol);
            Avail(i,j) = bigtable(i,19+c*dcol); % Availab

        end

        c=c+1;
    end

else

    Int_Temp = bigtable(:,1);
    Ext_Temp = bigtable(:,2);
    Pressure = bigtable(:,3);
    Rel_Humidity = bigtable(:,4);
    Wipercount = bigtable(:,5);
    dcol = 11;

```

```

cVhm = 6;
cAzim = 9;
c = 0;
for j=1:12

    for i=1:rows_bt;

        Vhm(i,j) = bigtable(i,cVhm+c*dcol); % Vhoriz
        dVh(i,j) = bigtable(i,7+c*dcol); % SDV Vhoriz
        VhMax(i,j) = bigtable(i,8+c*dcol); % Vh max
        Azim(i,j) = bigtable(i,cAzim+c*dcol); % Azim
        wm(i,j) = bigtable(i,10+c*dcol); % Z-wind
        dw(i,j) = bigtable(i,11+c*dcol); % SDV Z-wind
        CNRm(i,j) = bigtable(i,12+c*dcol); % CNR
        CNRmin(i,j) = bigtable(i,13+c*dcol); % CNR min
        Dopp_Spect_Broad(i,j) = bigtable(i,14+c*dcol);
        Avail(i,j) = bigtable(i,15+c*dcol); % Avail

    end

    c = c+1;

end
end

```

%SPLITTING THE 'bigtable' MATRIX DEPENDING ON THE MONTH

```

entries_month = zeros(1,12);
for i=1:12
    entries_month(i)=0;
end

January=[];
February=[];
March=[];
April=[];
May=[];
June=[];
July=[];
August=[];
September=[];
October=[];
November=[];
December=[];

for i=1:rows_bt

    if TSMonth(i) > 11

        entries_month(12) = entries_month(12)+1;
        December(entries_month(12),:)=bigtable(i,:);

    elseif TSMonth(i) < 2
        entries_month(1) = entries_month(1)+1;
        January(entries_month(1),:)=bigtable(i,:);

    elseif TSMonth(i) < 3
        entries_month(2) = entries_month(2)+1;
        February(entries_month(2),:)=bigtable(i,:);

    elseif TSMonth(i) < 4
        entries_month(3) = entries_month(3)+1;
        March(entries_month(3),:)=bigtable(i,:);

    elseif TSMonth(i) < 5
        entries_month(4) = entries_month(4)+1;
        April(entries_month(4),:)=bigtable(i,:);

    elseif TSMonth(i) < 6
        entries_month(5) = entries_month(5)+1;
        May(entries_month(5),:)=bigtable(i,:);

    elseif TSMonth(i) < 7
        entries_month(6) = entries_month(6)+1;
        June(entries_month(6),:)=bigtable(i,:);

    elseif TSMonth(i) < 8

```

```

        entries_month(7) = entries_month(7)+1;
        July(entries_month(7),:)=bigtable(i,:);

    elseif TSMonth(i) < 9

        entries_month(8) = entries_month(8)+1;
        August(entries_month(8),:)= bigtable(i,:);

    elseif TSMonth(i) < 10

        entries_month(9) = entries_month(9)+1;
        September(entries_month(9),:)=bigtable(i,:);

    elseif TSMonth(i) < 11

        entries_month(10) = entries_month(10)+1;
        October(entries_month(10),:)=bigtable(i,:);

    else

        entries_month(11) = entries_month(11)+1;
        November(entries_month(11),:) = bigtable(i,:);
    end
end
ccc=0;
for i=1:12

    if entries_month(i)>0
        ccc=ccc+1;
        MonthsInTheFiles(ccc)=i;
    end
end

%PLOTS
size_MitF = size(MonthsInTheFiles);

for i=1:size_MitF(2);

diags_month(Altitudes, size_alt, cVhm, cAzim, size_bt, MonthsInTheFiles, dcol, DaT,
January, February, March, April, May, June, July, August, September, October,
November, December);
end

    diags_all(Vhm, Azim, Altitudes, size_alt, size_bt, TSHour, TSDay, TSMinute)
    Percentage_of_total_measurements = 100*Percntg

```

Plots (*plots*)

Η συνάρτηση *plots* δέχεται ως είσοδο κάποια μητρώα που έχουν κατασκευαστεί από την προηγούμενη συνάρτηση *zephir/windcube* και κατασκευάζει τα ζητούμενα διαγράμματα, ώστε να τα δώσει ως έξοδο στη συνάρτηση *zephir/windcube*, ανάλογα την περίπτωση, και με τη σειρά της να τα δώσει για εμφάνιση στην οθόνη.

```

function diags_month(Altitudes, size_alt, cVhm, cAzim, size_bt, MonthsInTheFiles,
dcol, DaT, January, February, March, April, May, June, July, August, September,
October, November, December)

```

```

results1 = MonthsInTheFiles ;
disp(' Months in the .sta files')
disp(results1)

```

```

cmonth = input('Give the month number to get its respective plots(must be included in
the list above):');

```

```

if cmonth == 1
    Month = January;
    mtitle = 'January';
elseif cmonth == 2
    Month = February;
    mtitle = 'February';
elseif cmonth == 3
    Month = March;
    mtitle = 'March';
elseif cmonth == 4
    Month = April;
    mtitle = 'April';
elseif cmonth == 5
    Month = May;
    mtitle = 'May';

```



```

elseif cmonth == 6
    Month = June;
    mtitle = 'June';
elseif cmonth == 7
    Month = July;
    mtitle = 'July';
elseif cmonth == 8
    Month = August;
    mtitle = 'August';
elseif cmonth == 9
    Month = September;
    mtitle = 'September';
elseif cmonth == 10
    Month = October;
    mtitle = 'October';
elseif cmonth == 11
    Month = November;
    mtitle = 'November';
elseif cmonth == 12
    Month = December;
    mtitle = 'December';
end

size_month=size(Month);
rows_month=size_month(1);
entries_month=rows_month;
c = 0;

Vhm0 = zeros(entries_month,size_alt); %-----> Vhm Month
Azim0 = zeros(entries_month,size_alt);%-----> Azim Month
for j=1:size_alt;

    for i=1:entries_month;
        Vhm0(i,j) = Month(i,cVhm+c*dcol);%-----> Vhm Month
        Azim0(i,j) = Month(i,cAzim+c*dcol);%--> Azim Month
    end
    c=c+1;
end

Vhm_month = Vhm0;
Azim_month = Azim0;

%%% Azimuth - Time %%%

% Day & Hour Arrays (X Axis)
c = 0;
Hour_month = zeros(rows_month,1);
Day_month = zeros(rows_month,1);
for i=1:size_bt(1);

    if DaT(i,2)==cmonth
        c=c+1;
        Hour_month(c)=DaT(i,4);
        Day_month(c)=DaT(i,3)+Hour_month(c)/24;

    end

end

end

% Vhm-split heights-mean (Vhm_avg)
% Azim-split heights-mean (Azim_avg)
k = 1;
l = 1;
Tempk = zeros(1, 9);
Templ = zeros(1, 9);
Vhmavg = zeros(1, rows_month);
Azimavg = zeros(1,rows_month);

for i=1:rows_month

    for j=1:size_alt

        if Vhm_month(i,j)>0%-> Extracting the '0'='NaN' Vhm
            Tempk(k) = Vhm_month(i,j);
            k = k+1;
        end

        if Azim_month(i,j)>=0%-> Extracting the '0'='NaN' Azim
            Templ(l) = Azim_month(i,j);
            l = l+1;
        end

    end

end

```

```

    if k==1
        Vhmagv(i) = 0;
    end

    if l==1
        Azimavg(i) = 0;
    end

    Vhmagv(i) = mean(Tempk);
    k = 1;
    Tempk = [];
    Azimavg(i) = mean(Temp1);
    l = 1;
    Temp1 = [];
end

% Creating the 3 necessary Vhm(m/s) subdiv (0-5,5-10,10+)
Azim_below_5=[];
Azim_below_10=[];
Azim_over_10=[];
Days_below_5=[];
Days_below_10=[];
Days_over_10=[];
k=0;
l=0;
m=0;
for i=1:rows_month

    if Vhmagv(i)<5          %-----> V(m/s)<5
        k=k+1;
        Azim_below_5(k)=Azimavg(i);
        Days_below_5(k)=Day_month(i);
    elseif Vhmagv(i)<10    %-----> 5<V(m/s)<10
        l=l+1;
        Azim_below_10(l)=Azimavg(i);
        Days_below_10(l)=Day_month(i);
    else                   %-----> V(m/s)>10
        m=m+1;
        Azim_over_10(m)=Azimavg(i);
        Days_over_10(m)=Day_month(i);
    end
end

% Vhm - Hour
% Vhm-split hours (Vhm_avg_h)

for i=1:24;
    l(i)=0;
end

k = 0;
for i=1:24
    m = 0;

    for j=1:rows_month

        if Hour_month(j)==i-1
            l(i)=l(i)+1;
            Vhm_avg_h(l(i),i) = Vhmagv(j);
            m = 1;
        end

    end

    if m == 1
        k = k+1;
        t(k) = i-1;
    end
end

size_hour = size(t);
size_hour = size_hour(2);

% Vhm-split hours-mean (Vhm_avg_h_mean) (Y Axis)

```

```

size_vhmavgh=size(Vhm_avg_h);
max_size_vhmavgh=size_vhmavgh(1);

i=1;
for j=1:size_hour

    while (i<max_size_vhmavgh+1 && Vhm_avg_h(i,j)>0 )
        Temp(i)=Vhm_avg_h(i,j);
        i=i+1;
    end

    DIURNAL_YAXIS(j)=mean(Temp);
    i=1;
    Temp=[];

end

% Hours Array (X Axis)
DIURNAL_XAXIS = t;

Vhmmax_diurnal = round(max(DIURNAL_YAXIS));

% wind rose

% Azim in 36 subdivisions (Azim_sort)
Azim_sort = zeros(1,9);
for i=1:36
    Azim_sort(i)=0;%----> in case we have 0 measurements
end

q=0:10:350;
for i=1:36;
    l(i)=0;
end

for i=1:36

    for j=1:rows_month

        if i<2 %----> in case 355<Azim<0

            if Azimavg(j)<q(i)+5 || Azimavg(j)>354.9999

                l(i)=l(i)+1;
                Azim_sort(l(i),i)=Azimavg(j);
                Vhm_sort(l(i),i)=Vhmavg(j);

            end

            elseif Azimavg(j)>q(i)-5.0001 && Azimavg(j)<q(i)+5.0000

                l(i)=l(i)+1;
                Azim_sort(l(i),i)=Azimavg(j);
                Vhm_sort(l(i),i)=Vhmavg(j);

            end

        end
    end
end

size_azimsort=size(Azim_sort);
max_size_azimsort=size_azimsort(1);

% Azimuth Intensity (Intens)
l=0;
Intens = zeros(1,36);
for i=1:36

    for j=1:max_size_azimsort

        if Azim_sort(j,i)>0
            l=l+1;
        end

    end

    Intens(i)=l;
    l=0;

end

```

```

% Windrose subdivisions (355-5,5-15 etc) (Subdiv)
Subdiv=0:10:350;

% Subdiv. Intensities(function wind_rose(D) ) (WR_D)
WR_D = zeros(1,rows_month);

entries=1;
for i=1:36

    for j=1:Intens(i)
        WR_D(entries)=Subdiv(i);
        WR_D(entries)=WR_D(entries)+180;%Wind to Meteo
        entries=entries+1;
    end

end

% Subdiv. Windspeed(m/s) (function wind_rose(V) ) (WR_V)
WR_V = zeros(1,rows_month);

cc1=0;
for i=1:36

    for j=1:Intens(i)
        cc1=cc1+1;
        WR_V(cc1)=Vhm_sort(j,i);
    end

end

%      Height - Windspeed

Vhmsort=sortrows(Vhm_month);
Maxwind=max(Vhm_month);
Maxwind=max(Maxwind);
Maxwind=round(Maxwind);

% Vhm-split wind speed at 40m-split heights (Vhm_wsub)
cdiv=1;          %---> subdiv. counter
cr=1;           %---> Vm4sort rows counter
i=0;           %---> Vhm_wsub rows counter
c3=1;          %---> dimension 3 = wind speed subdiv. (0-1, 1-2 etc.)
while cdiv<Maxwind+1

    while (cr<rows_month+1 && Vhmsort(cr,1)<cdiv && Vhmsort(cr,1)>0)

        i=i+1;
        Vhm_wsub(i,:,c3)=Vhmsort(cr,:);
        cr=cr+1;

    end

    if i>0
        c3=c3+1;
    end

    i=0;
    cdiv=cdiv+1;

end

size_new=size(Vhm_wsub);
sizei=size_new(1);
sizek=size_new(3);

% Calculating the rows of each wind-speed subdiv (sz).
sz = zeros(1, sizek);
c=0;
for k=1:sizek

    for i=1:sizei

        if Vhm_wsub(i,1,k)>0
            c=c+1;
        end

    end

    sz(k)=c;
    c=0;

end

```

```

% Vhm-split wind speed at 40m-split heights-mean (Vhm_wsub_mean) (X Axis)
for k=1:sizek

    i=1;

    for j=1:size_alt

        while i<sz(k)+1
            Temp(i,j,k)=Vhm_wsub(i,j,k);
            i=i+1;
        end

        HW_XAXIS(k,j)=mean(Temp(:,j,k));
        i=1;

    end

    Temp=[];
end

% Heights Array (Y Axis)
HW_YAXIS=Altitudes;

%           Heights - Azimuth

% Heights Array (Y Axis)
HA_YAXIS = Altitudes;

% Azimuth Subdivisions array (X Axis)
Azimsort = sortrows(Azim_month);
c = 0;
c_lsub = 0;           % index 1st division (355-5)
for i=1:rows_month   % loop for 0-5
    c_lsub = 1;

    if Azimsort(i,1)<5.0000
        c=c+1;
    end

end

a1=c;
c=0;
for i=1:rows_month   %loop for 355-360
    c_lsub = 1;

    if Azimsort(i,1)>354.9999
        c=c+1;
    end

end

a2=c;

Sub1 = zeros(a1+a2,size_alt);
size_1st_div = a1+a2;
for j=1:size_alt
    cc=0;
    cc1 = 0;
    cc2 = 0;

    while cc<size_1st_div
        cc = cc+1;

        if cc1<a1
            cc1=cc1+1;
            Sub1(cc,j) = Azimsort(cc1,j);
        else
            cc2=cc2+1;
            Sub1(cc,j) = Azimsort((rows_month-a2)+cc2,j);
        end

        if Sub1(cc,j)<180.0000
            Sub1(cc,j) = Sub1(cc,j)+360;
        end

    end

end

end

```

```

q = 10:10:350;
k = 0;
cc = 0;
ccc = 0;
c = a1+1;
for i=1:35          %loop for the rest subdivisions

    while Azimsort(c,1)<q(i)+5.0000
        ccc = 1;
        cc = cc+1;
        Temp(cc,:) = Azimsort(c,:);
        c = c+1;
    end

    size_temp = size(Temp);
    size_Temp = size_temp(1);
    for ii=1:size_temp
        meas_40 = Temp(ii,1);

        for j=1:size_alt
            dazim = meas_40-Temp(ii,j);

            if abs(dazim)>=180

                if meas_40>Temp(ii,j)

                    if i<18
                        Temp(ii,1) = Temp(ii,1)-360;
                    else
                        Temp(ii,j) = Temp(ii,j)+360;
                    end

                else

                    if i<=18
                        Temp(ii,j) = Temp(ii,j)-360;
                    end

                end

            end

        end

    end

    if ccc == 1
        k = k+1;
        meansub(k,:) = mean(Temp(:, :));
    end

    Temp = [];
    cc = 0;
    ccc = 0;
    c1 = 0;
end

ind_sub1 = 1;
xaxis_5 = [-10 380];
if c_1sub == 1

    for j=1:size_alt
        meansub1(j) = mean(Sub1(:,j));%mean-array 1st subdiv
    end

    if meansub1(1)>=360.0000
        ind_sub1 = 0;
        xaxis_5 = [-20 400];

        for j=1:size_alt
            meansub1(j)= meansub1(j)-360;
        end

    end

    if ind_sub1 == 1
        meansub(k+1,:) = meansub1;
    else
        meansub(1,:) = meansub1(1,:);

        for j=2:k+1
            meansub(j,:) = meansub(j-1,:);
        end

    end

end

HA_XAXIS = meansub;

```

```

max_meansub = max(max(meansub));
min_meansub = min(min(meansub));

%PLOTS

% Azimuth - Time
figure(1)
plot(Days_below_5,Azim_below_5,'*b', Days_below_10,Azim_below_10,'og',
Days_over_10,Azim_over_10,'+r')
legend('U(m/s)<5', '5<U(m/s)<10', '10<U(m/s)')
xlabel('Day')
ylabel('Azimuth(degrees)')
axis([1 32 0 365])
title(mtitle);

%Vhm - hour
figure(2)
bar(DIURNAL_XAXIS, DIURNAL_YAXIS, 'y')
xlabel('Hour')
ylabel('U(m/s)')
axis([-1 24 0 Vhmmax_diurnal+2])
title(mtitle);

%Windrose
figure(3)
wr(WR_D,WR_V)
leg = legend('Windspeed(m/s)');
set(leg,'Location','SouthEast')
title(mtitle);

%Height-Windspeed
figure(4)
plot(HW_XAXIS,HW_YAXIS,'-*k')
xlabel('U(m/s)')
ylabel('Height(m)')
axis([0 18 20 210])
grid
title(mtitle);

% Height - Azimuth
figure(5)
plot(HA_XAXIS,HA_YAXIS,'-*k')
xlabel('Azimuth(degrees)')
ylabel('Height(m)')
axis([min_meansub-5 max_meansub+5 30 210]);
grid
title(mtitle);

```

Windrose function (*windrose*)

Η συνάρτηση *windrose* είναι μία συνάρτηση που δέχεται ως είσοδο 2 συχνότητες εμφάνισης, μία ταχύτητας και μία διεύθυνσης ανέμου και δίνει ως έξοδο το διάγραμμα ροδόγραμμα.

Το ρόδο ανέμου έχει ιδιαιτερότητες ως γράφημα κυρίως γιατί απαιτούνται περισσότερες διαδικασίες για να κατασκευαστεί και παρουσιαστεί σωστά, σε αντίθεση με άλλα γραφήματα τα οποία κατασκευάζονται εύκολα με τη χρήση λίγων εντολών. Το συγκεκριμένο γράφημα όμως λόγω του σχήματος, των πληροφοριών, των χρώματων και άλλων στοιχείων που απαιτείται απαιτεί ξεχωριστή συνάρτηση, η οποία και ακολουθεί.

Σημειώνεται εδώ, πως η συνάρτηση αυτή βασίζεται σε ένα βαθμό σε μία υπάρχουσα συνάρτηση που βρέθηκε στο σελίδα υποστήριξης της Mathworks, παρ' όλα αυτά χρειάστηκαν αρκετές τροποποιήσεις εκ μέρους μου ώστε να η έξοδος της να ταιριάζει στις απαιτήσεις που υπήρχαν. Πιο πριν δηλαδή, η έξοδος ήταν ένα γράφημα που με μια πρώτη ματιά είχε αρκετές ομοιότητες με την τωρινή έξοδο της συνάρτησης, το

ροδόγραμμα δηλαδή, παρ' όλα αυτά εξυπηρετούσε διαφορετικούς σκοπούς και σε καμία περίπτωση δεν ήταν σχετική με τα δεδομένα της αιολικής ενέργειας.

```
function varargout = wr(D,F,varargin)
%WIND_ROSE Wind rose of direction and intensity

handles=[];

% varargin options:
dtype='meteo';
nAngles=36;
ri=1/30;
quad=1;
legType=2;
percBg='w';
titStr='';
legStr='';
cmap=jet;
colors=[];
Ag=[]; % intensity subdivs.
ci=[]; % percentage circles
lineColors='k';
borderColor='none';
onAxes=false;
iflip=0;
inorm=0;
parent=0;
IncHiLow=1; % include values higher and lower than the limits of Ag.

vin=varargin;
for i=1:length(vin)
    if isequal(vin{i},'dtype')
        dtype=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'n')
        nAngles=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'ri')
        ri=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'quad')
        quad=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'legtype')
        legType=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'percBg')
        percBg=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'labtitle')
        titStr=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'lablegend')
        legStr=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'cmap')
        cmap=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'colors')
        colors=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'di')
        Ag=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'ci')
        ci=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'lcolor')
        lineColors=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'bcolor')
        borderColor=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'ax')
        ax=vin{i+1};
        try
            onAxes=ax(1);
            onAxesX=ax(2);
            onAxesY=ax(3);
            onAxesR=ax(4);
        catch
            disp(':: cannot place wind rose on axes, bad argument for ax')
            return
        end
    elseif isequal(vin{i},'iflip')
        iflip=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'inorm')
        inorm=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'parent')
        parent=vin{i+1};
    elseif isequal(vin{i},'incout')
        IncHiLow=vin{i+1};
    end
end

% other options:
% size of the full rectangle:
rs=1.2;
rl=1.7;
```



```

% directions conversion:
if isequal(dtype,'meteo')
    D=mod(-90-D,360);
end

% angles subdivisions:
D=mod(D,360);
Ay=linspace(0,360,nAngles+1)-0.5*360/nAngles;

% calc instensity subdivisions:
if isempty(Ag)
    % gen Ag:
    f=figure('visible','off');
    plot(F); axis tight;
    yl=get(gca,'ytick');
    close(f)
    dyl=diff(yl); dyl=dyl(1);
    if min(F)<yl(1), yl=[yl(1)-dyl yl]; end
    if max(F)>yl(end), yl=[yl yl(end)+dyl]; end
    Ag=yl;
end

for i=1:length(Ay)-1
    if i==1
        I=find( (D>=Ay(i) & D<Ay(i+1)) | D>=Ay(end));
    else
        I=find(D>=Ay(i) & D<Ay(i+1));
    end
    b=F(I);

    for j=1:length(Ag)-1
        if j==length(Ag)-1
            J=find(b>=Ag(j) & b<=Ag(j+1)); % include data with last Agg
        else
            J=find(b>=Ag(j) & b<Ag(j+1));
        end
        E(i,j)=length(J);
    end

    if IncHiLow
        E(i,1)=length(find(b<Ag(2)));
        E(i,end)=length(find(b>=Ag(end-1)));
    end
end
b=sum(E,2)/length(D)*100;

% normalize data:
if inorm
    n=sum(E,2);
    for i=1:length(n)
        E(i,:)=E(i,+)/n(i);
    end
    b=100*ones(size(b));
end

% check if has values higher or lower than the Ag limits
hasH=length(find(F>Ag(end)));
hasL=length(find(F<Ag(1)));

% calc number of percentage circles to draw:
if isempty(ci)
    if inorm
        ci=[25 50 75];
        g=120;
        ncircles=3;
    else
        dcircles=[1 2 3 4 5 6 8 10 12 15 20 25 30 50];
        ncircles=5;
        d=abs(1./(dcircles/max(b))-ncircles);
        i=find(d==min(d));
        d=dcircles(i(1));
        if d*ncircles<max(b)
            ncircles=ncircles+1;
        end
        ci=[1:ncircles]*d;
        g=ncircles*d;
    end
else
    ncircles=length(ci);
    g=max(max(ci),max(b));
end

% plot axes, percentage circles and percent. data:
if parent
    wrAx=parent;

```

```

    set(wrAx,'units','normalized');
else
    wrAx=axes('units','normalized');
end
ri=g*ri;
handles(end+1)=fill([-rs*g rl*g rl*g -rs*g],[-rs*g -rs*g rs*g rs*g],'w',...
    'EdgeColor',borderColor);
if onAxes
    set(handles(end),'facecolor','none')
end
hold on
handles(end+1)=plot([-g-ri -ri nan ri g+ri nan 0 0 nan 0 0],...
    [0 0 nan 0 0 nan -g-ri -ri nan ri g+ri],':','color',lineColors);
t0=[0:360]*pi/180;
labs=[];
Ang=[1/4 3/4 5/4 7/4]*pi;
Valign={'top' 'top' 'bottom' 'bottom'};
Halign={'right' 'left' 'left' 'right'};
for i=1:ncircles
    x=(ci(i)+ri)*cos(t0);
    y=(ci(i)+ri)*sin(t0);

    circles(i)=plot(x,y,':','color',lineColors);
    handles(end+1)=circles(i);

labs(i)=text((ci(i)+ri)*cos(Ang(quad)),(ci(i)+ri)*sin(Ang(quad)),[num2str(ci(i)),'%'],
    ...
    'VerticalAlignment',Valign{quad},'HorizontalAlignment',Halign{quad},...
    'BackgroundColor',percBg,'FontSize',8);
end
handles=[handles labs];

% calc colors:
if isempty(colors)
    cor={};
    for j=1:length(Ag)-1
        cor{j}=caxcolor(Ag(j),[Ag(1) Ag(end-1)],cmap);
    end
else
    cor=colors;
end

% fill data:
n=sum(E,2);
if iflip, E=fliplr(E); end
for i=1:length(Ay)-1
    if n(i)
        t=linspace(Ay(i),Ay(i+1),20)*pi/180;
        r1=ri;
        for j=1:length(Ag)-1
            r2=E(i,j)/n(i) *b(i) +r1;

            x=[r1*cos(t(1)) r2*cos(t) r1*cos(fliplr(t))];
            y=[r1*sin(t(1)) r2*sin(t) r1*sin(fliplr(t))];

            if iflip, jcor=length(Ag)-1-j+1;
            else, jcor=j;
            end

            if E(i,j)>0, handles(end+1)=fill(x,y,cor{jcor}); end
            r1=r2;
        end
    end
end
axis equal
axis off

ch=get(wrAx,'children');
if inorm
    % only bring circles up in inorm case.
    for i=1:length(circles)
        ch(ch==circles(i))=[]; ch=[circles(i); ch];
    end
end
for i=1:length(labs)
    ch(ch==labs(i))=[]; ch=[labs(i); ch];
end
set(wrAx,'children',ch);

% N S E W labels:
Anglef=45*pi/180;
bg='none';
args={'BackgroundColor',bg,'FontSize',8};
h(1)=text(-g-ri, 0,'W-270', 'VerticalAlignment','top',
    'HorizontalAlignment','right', args{:});

```

```

h(2)=text( g+ri, 0,'E- 90', 'VerticalAlignment','top',
'HorizontalAlignment','left',args{:});
h(3)=text( 0,-g-ri,'S-180', 'VerticalAlignment','top', 'HorizontalAlignment','left',
args{:});
h(4)=text( 0, g+ri,'N- 0', 'VerticalAlignment','bottom',
'HorizontalAlignment','left', args{:});
h(5)=text(-(g+ri)*cos(Anglef), (g+ri)*sin(Anglef),'NW-315',
'VerticalAlignment','bottom', 'HorizontalAlignment','right', args{:});
h(6)=text( (g+ri)*cos(Anglef), -(g+ri)*sin(Anglef),'SE-135',
'VerticalAlignment','top', 'HorizontalAlignment','left',args{:});
h(7)=text( -(g+ri)*cos(Anglef),-(g+ri)*sin(Anglef),'SW-
225', 'VerticalAlignment','top', 'HorizontalAlignment','right', args{:});
h(8)=text( (g+ri)*cos(Anglef), (g+ri)*sin(Anglef),'NE-
45', 'VerticalAlignment','bottom', 'HorizontalAlignment','left', args{:});
handles=[handles h];

% scale legend:
L=(g*rl-g-ri)/7;
h=(g+ri)/10;
dy=h/3;

x0=g+ri+(g*rl-g-ri)/7;
x1=x0+L;
y0=-g-ri;

if legType==1 % continuous.
for j=1:length(Ag)-1
lab=num2str(Ag(j));
if j==1 & hasL & IncHiLow
lab='';
end
y1=y0+h;
handles(end+1)=fill([x0 x1 x1 x0],[y0 y0 y1 y1],cor{j});
handles(end+1)=text(x1+L/4,y0,lab,'VerticalAlignment','middle','fontsize',8);
y0=y1;
end
if ~ (hasH & IncHiLow)

handles(end+1)=text(x1+L/4,y0,num2str(Ag(end)),'VerticalAlignment','middle','fontsize'
,8);
end
elseif legType==2 % separated boxes.
for j=1:length(Ag)-1
lab=[num2str(Ag(j)) ' - ' num2str(Ag(j+1))];
if j==1 & hasL & IncHiLow
lab=['<',num2str(Ag(2))];
end
if j==length(Ag)-1 & hasH & IncHiLow
lab=['>=',num2str(Ag(j))];
end
y1=y0+h;
handles(end+1)=fill([x0 x1 x1 x0],[y0+dy y0+dy y1 y1],cor{j});

handles(end+1)=text(x1+L/4,(y0+dy+y1)/2,lab,'VerticalAlignment','middle','fontsize',8)
;
y0=y1;
end

end

% title and legend label:
x=mean([-g*rs,g*rl]);
y=mean([g+ri,g*rs]);
handles(end+1)=text(x,y,titStr,'HorizontalAlignment','center');

x=x0;
y=y1+dy;
handles(end+1)=text(x,y,legStr,'HorizontalAlignment','left','VerticalAlignment','botto
m');

if onAxes
place_wr(onAxes,wrAx,onAxesX,onAxesY,onAxesR);
end

if nargout>=1
varargout{1}=handles;
end
if nargout>=2
varargout{2}=E;
end

function place_wr(ax,ax2,x,y,width)
if nargin < 5
width=1/5;
end
uax=get(ax,'units');
pax=get(ax,'position');

```

```

set(ax, 'units', uax)
axXlim=get(ax, 'xlim');
axYlim=get(ax, 'ylim');

x_ax2=pax(1)+pax(3)*(x-axXlim(1))/diff(axXlim);
y_ax2=pax(2)+pax(4)*(y-axYlim(1))/diff(axYlim);

pax2=get(ax2, 'position');
width=pax(3)*width;
height=pax2(4)*width/pax2(3);
pax2=[x_ax2 y_ax2 width height];

if 1
    % place at centre of the wr, not the bottom left corner:
    ax2Xlim=get(ax2, 'xlim');
    ax2Ylim=get(ax2, 'ylim');
    dx=(0-ax2Xlim(1))/diff(ax2Xlim)*pax2(3);
    dy=(0-ax2Ylim(1))/diff(ax2Ylim)*pax2(4);
    x_ax2=x_ax2-dx;
    y_ax2=y_ax2-dy;
    pax2=[x_ax2 y_ax2 width height];
end
set(ax2, 'position', pax2)

```

```

function cor = caxcolor(val,cax,cmap)

if nargin < 3
    cmap = get(gcf, 'colormap');
end
if nargin < 2
    cax = caxis;
end

n=size(cmap,1);
i= (val-cax(1))/diff(cax) * (n-1) +1;
a=i-floor(i);
i=floor(i);

i=min(i,n);
i=max(i,1);

if i==n
    cor=cmap(n,:);
elseif i==1
    cor=cmap(1,:);
else
    cor=cmap(i,:)*(1-a) + cmap(i+1,:)*a;
end

```

Συναρτήσεις για την εκάστοτε έκδοση του αρχείου

Συνάρτηση *version*

Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως είσοδο ένα αρχείο μετρήσεων και αφού διαβάσει την έκδοσή του, καλεί την ανάλογη αντίστοιχη συνάρτηση η οποία θα το επεξεργαστεί. Εδώ έχουμε τη συνάρτηση *version* για τα αρχεία του Zephir. Μπορεί κάποιος να παρατηρήσει από τον κώδικα ότι υπάρχουν 4 διαφορετικές εκδόσεις του αρχείου, 1.0.0, 2.0.1, 2.1.58, και 2.1.60.

```
function [bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMMinute, entries, Version, Altitudes] =  
test(file, bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMMinute, entries);  
  
%open file  
fid = fopen(file);  
  
%read header line by line  
% Line 1  
tline = fgetl(fid);  
HeaderLength = str2double(getvalue(tline,0));  
  
% Line 2  
tline = fgetl(fid);  
Version = getvalue(tline,0);  
  
if (strcmp(Version, '2.1.58')==1 || strcmp(Version, '2.1.60')==1)  
    [bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMMinute, entries, Altitudes] =  
test2158_2160(fid, file, entries, bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMMinute);  
elseif strcmp(Version, '2.0.1')==1  
    [bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMMinute, entries, Altitudes] = test201(fid,  
file, entries, bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMMinute);  
else  
    [bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMMinute, entries, Altitudes] = test100(fid,  
file, entries, bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMMinute);  
end
```

Συνάρτηση *version_2158_2160*

Η συνάρτηση `version_2158_2160` αφορά τις εκδόσεις 2.1.58 και 2.1.60 που είναι και οι πιο συνηθισμένες των αρχείων `.sta` του Zephir Lidar. Καλείται από τη συνάρτηση `version` και δέχεται ως είσοδο ένα αρχείο και επιστρέφει ως έξοδο τα μητρώα που μας ενδιαφέρει να κρατήσουμε από αυτό το αρχείο, μετρήσεις (ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου και ημερομηνίες και ώρες).

Η συνάρτηση αυτή καλείται κάθε φορά για κάθε διαφορετικό αρχείο μετρήσεων και με κάθε επανάληψη “κολλάει” τα μητρώα που “τραβάει” από το κάθε αρχείο στο συνολικό μητρώο που περιέχει τις μετρήσεις από τα προηγούμενα αρχεία.

Υπάρχουν αντίστοιχες συναρτήσεις για κάθε έκδοση αρχείου μετρήσεων από τα δύο Lidar. Παρ’ όλα αυτά οι εκδόσεις 2.1.58 και 2.1.60 δεν διαφέρουν όσων αφορά τον τρόπο που περιέχουν τα μητρώα με τις μετρήσεις και τις λοιπές πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν, για αυτό και μπορούμε και να τις καλύψουμε ταυτόχρονα με μία συνάρτηση. Δεν ισχύει το ίδιο όμως και για τις υπόλοιπες συναρτήσεις.

```
function [bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMminute, entries, Altitudes] =
test2158_2160(fid, file, entries, bigtable, TSDay, TSMonth, TSYear, TSHour, TSMminute)

start_pos = entries+1;

% Line 3
tline = fgetl(fid);
IDSystem = getvalue(tline,0);

% Line 4
tline = fgetl(fid);
IDClient = getvalue(tline,0);

% Line 5
tline = fgetl(fid);
Localisation = getvalue(tline,0);

% Line 6
tline = fgetl(fid);
GPSLocalisation = getvalue(tline,0);

% Line 7
tline = fgetl(fid);
Comments = getvalue(tline,0);

% Line 8    SKIP
fgetl(fid);

% Line 9    SKIP
fgetl(fid);

% Line 10
tline = fgetl(fid);
ScanAngle = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 11
tline = fgetl(fid);
NumberOfAveragedShots = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 12
tline = fgetl(fid);
RollAngle = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 13
tline = fgetl(fid);
HeadingAngle = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 14
fgetl(fid);
Altitudes = dlmread(file, '\t', [13 1 13 9]);

% Line 15
tline = fgetl(fid);
PitchAngle = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 16
tline = fgetl(fid);
```

```

CNRThreshold = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 17
tline = fgetl(fid);
WiperCNRThreshold = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 18
tline = fgetl(fid);
WiperAltitude = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 19
tline = fgetl(fid);
WiperDuration = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 20
tline = fgetl(fid);
Wavelength = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 21
tline = fgetl(fid);
AngleBetweenTwoPos = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 22
tline = fgetl(fid);
DirectionOffset = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 23  SKIP
fgetl(fid);

% Line 24  SKIP
fgetl(fid);

% Line 25
tline = fgetl(fid);
Algorithm = getvalue(tline,0);

% Line 26
tline = fgetl(fid);
MAOFrequency = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 27
tline = fgetl(fid);
CutOffFrequency = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 28
tline = fgetl(fid);
WindowLength = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 29
tline = fgetl(fid);
IndexRange0 = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 30
tline = fgetl(fid);
PathLaserPulse = getvalue(tline,0);

% Line 31
tline = fgetl(fid);
NumberOfSamplesLaserPulse = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 32
tline = fgetl(fid);
BeginIndexLaserPulse = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 33
tline = fgetl(fid);
BeginIndexNoiseReference = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 34
tline = fgetl(fid);
NumberOfNoiseWindows = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 35
tline = fgetl(fid);
VrThreshold = str2double(getvalue(tline,1));

% Line 36
tline = fgetl(fid);
SigmaFreqThreshold = str2double(getvalue(tline,1));

% Line 37  SKIP
fgetl(fid);

% Line 38  SKIP
fgetl(fid);

% Line 39

```

```

tline = fgetl(fid);
SamplingInterval = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 40
tline = fgetl(fid);
NumberOfSamples = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 41
tline = fgetl(fid);
VerticalCoupling = getvalue(tline,0);

% Line 42
tline = fgetl(fid);
Offset = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 43
tline = fgetl(fid);
FullScale = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 44
tline = fgetl(fid);
NumberOfSegments = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 45
tline = fgetl(fid);
TriggerSource = getvalue(tline,0);

% Line 46
tline = fgetl(fid);
TriggerCoupling = getvalue(tline,0);

% Line 47
tline = fgetl(fid);
TriggerSlope = getvalue(tline,0);

% Line 48
tline = fgetl(fid);
TriggerLevel1 = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 49
tline = fgetl(fid);
TriggerLevel2 = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 50
tline = fgetl(fid);
DelayLine = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 51
tline = fgetl(fid);
AbsoluteInitialPosition = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 52
tline = fgetl(fid);
RelativeInitialPosition = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 53
tline = fgetl(fid);
InitialDateTime = getvalue(tline,0);

% Line 54
tline = fgetl(fid);
Gain = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 55
tline = fgetl(fid);
InitialLD1 = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 56
tline = fgetl(fid);
InitialLD2 = str2double(getvalue(tline,0));

% Line 57  SKIP
fgetl(fid);

%table data : getting timestamps

j = 1;
n = start_pos;

while(~feof(fid))

    tline = fgetl(fid);

    TSDay(n) = str2double(substr(tline,1,2));

```



```

    TSMonth(n) = str2double(substr(tline,4,2));
    TYear(n) = str2double(substr(tline,7,4));
    TSHour(n) = str2double(substr(tline,12,2));
    TSMinute(n) = str2double(substr(tline,15,2));

    j = j+1;
    n = n+1;

end

%closing file
fclose(fid);

%table data : getting data
if j>1

    current_table = dlmread(file,'\t',[57 2 (57+j-2) 173]);
    bigtable((start_pos(1,1):(start_pos(1,1)+j-2)),1:172) = current_table;
    entries = entries + (j-2);

end

```

Η συνάρτηση *getvalue*

Η συνάρτηση *getvalue* είναι μια βοηθητική συνάρτηση που έγραψα και η λειτουργία της, είναι να αφού ο κώδικας έχει διαβάσει μια γραμμή ενός αρχείου (προσοχή, γραμμή όχι κελί από μητρώο) να παίρνει ένα κομμάτι της γραμμής αυτής και να το αποθηκεύει σε μία μεταβλητή που ορίζεται από εμάς. Το κομμάτι της γραμμής που θα αποθηκευτεί ορίζεται πάλι από εμάς δίνοντας ένα χαρακτήρα, ο οποίος θα αποτελέσει το 'stop' για το διάβασμα της γραμμής. Η συνάρτηση αυτή θα δεσμεύσει δύο τιμές, μία πριν τον χαρακτήρα και μία μετά και θα τις αποθηκεύσει.

Η συνάρτηση αυτή, δέχεται με άλλα λόγια ως είσοδο μία γραμμή ενός αρχείου και ένα χαρακτήρα που θα τον χρησιμοποιήσει ως "χαρακτήρα-stop" και δίνει ως έξοδο δύο μεταβλητές, μία λεκτική και μία (συνήθως και αν υπάρχει) αριθμητική.

Για παράδειγμα, αν η συνάρτηση κληθεί για τη γραμμή του αρχείου 'Version = 2.1.60', θα δεχθεί ως είσοδο τη γραμμή αυτή και το χαρακτήρα '=' ο οποίος πρέπει να δοθεί από το χρήστη και θα δώσει ως έξοδο μία μεταβλητή με όνομα *Version* και τιμή 2.1.60, στην προκειμένη περίπτωση δηλαδή η μεταβλητή έχει αριθμητική. Αν όμως η γραμμή είναι 'Number of Samples = 120000 θα έχουμε ως

έξοδο τη μεταβλητή NumOfSamples με τιμή 120000, δηλαδή αριθμητική. Το όνομα της μεταβλητής 'NumOfSamples' δόθηκε στην προκειμένη από εμάς, διότι σε περίπτωση που το όνομα της μεταβλητής που μας ενδιαφέρει έχει κενά (κάτι που δεν συνέβη στο προηγούμενο παράδειγμα που ήταν μόνο η λέξη Version), πρέπει να οριστεί από εμάς ένα όνομα για την μεταβλητή που θέλουμε να διαβαστεί.

```
function value = getvalue(str,extraoffset)

tsize = size(str);
delimiter_position = strfind(str,'=');
vsize = size(delimiter_position);

varvalue = substr(str,(delimiter_position(1,vsize(1,2))+1+extraoffset),tsize(1,2));

value = varvalue;
end
```

Η συνάρτηση *substring*

```
function outstr= substr(str, offset, len)

% Check number of input arguments.
error(nargchk(2, 3, nargin));

n= length(str);

% Calculate starting index of substring:

if offset < 0
    lb= offset + n + 1;% offset from end of string
    lb= max(lb, 1);
elseif offset == 0
    lb= 1;
else
    lb= offset;
end

% Calculate ending index of substring:

if nargin == 2           % substr(str, offset)
    ub= n;
else                    % substr(str, offset, len)
    if len >= 0
        ub = lb + len - 1;
    else
        ub = n + len;
    end
    ub= min(ub, n);
end
```

```
% Extract substring:  
outstr= str(lb : ub);
```

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ, Γ. Μπεργελές, Εκδόσεις Συμμεών, 2005
2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, Αρθούρος Ζερβός, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2010
3. Complex Terrain and Wind Lidars, Ferhat Bingol, Riso-PhD, Αύγουστος 2009
4. Adapting a Doppler laser anemometer to wind energy, Ferhat Bingol, Riso-MSc, Μάρτιος 2005
5. Testing and comparison of lidars for profile and turbulence measurements in wind energy, Michael Courtney, Rozenn Wagner and Petter Lindelöw, 2008
6. Windscanner: 3-D wind and turbulence measurements from three steerable doppler lidars, P Lindelöw, M Courtney, R Parmentier and J P Cariou, 2008

7. Investigating wind flow properties in complex terrain using 3 Lidars and a Meteorological Mast, Dimitri Foussekis, 2009
8. Wind shear proportional errors in the horizontal wind speed sensed by focused, range gated, P Lindelöw, M Courtney, R Parmentier and J P Cariou, 2008
9. www.leopshere.com
10. www.qinetiq.com