

**Σ.Τ.Εφ. - Τμήμα Μηχανολογίας
Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ**

Μάθημα: ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2005
Κώστας Κονταξάκης
Επιστημονικός Συνεργάτης ΤΕΙ Κρήτης**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I.	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ	4
I.1.	ΠΤΕΡΥΓΩΣΕΙΣ	4
I.1.a	Σκοπός του πειράματος	4
I.1.b	Περιγραφή της πειραματικής διάταξης.....	4
I.1.c	Το ηλεκτρονικό μέρος της μετρητικής διάταξης	8
I.1.d	Πειραματική διαδικασία	10
I.1.e	Απαραίτητοι έλεγχοι.....	10
I.1.f	Καθορισμός παραμέτρων	10
I.1.g	Έναρξη, διαδικασία και τέλος αποθήκευσης μέτρησης.....	12
I.1.h	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	13
♦	Συλλογή και επεξεργασία μετρήσεων	13
♦	Μορφή αποθηκευμένων αρχείων μετρήσεων	13
♦	Επεξεργασία μετρήσεων.....	14
♦	Συμπεράσματα.....	14
I.2.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΣΗΡΑΓΚΑ	15
I.2.a	Εισαγωγή	15
I.2.b	Τύποι αεροσηραγγών.....	16
I.2.c	Μετρήσεις σε αεροσήραγκα	18
♦	Μέτρηση αεροδυναμικών φορτίων.....	18
♦	Απεικόνιση των γραμμών ροής γύρω από αντικείμενο	18
I.2.d	Περιγραφή αεροσήραγγας εργαστηρίου.....	19
I.2.e	Μέτρηση ροής	21
I.2.f	Τύρβη.....	22
I.2.g	Ασκήσεις:	23
I.3.	ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	26
I.3.a	Πρόλογος.....	26
I.3.b	Τι είναι ο “ΑΝΕΜΟΣ”	26
I.3.c	Τι περιλαμβάνει	26
I.3.d	Εισαγωγικές έννοιες	27
♦	α) Ανεμολογικά Δεδομένα.....	27
⇒	Συλλογή Δεδομένων	27
⇒	Κατανομή Ταχυτήτων - Καμπύλη Weibull	28
♦	Β) Ανεμογεννήτριες - Καμπύλη Ισχύος.....	29
♦	Γ) Επενδύσεις σε Αιολικά συστήματα.....	30
♦	Δ) Αξιολόγηση Επενδύσεων.....	30
I.3.e	Εισαγωγή Ανεμολογικών Στοιχείων.....	31
I.3.f	Βάση Δεδομένων Α/Γ.....	33
I.3.g	Εργο – Χρηματοοικονομικά	35
♦	Ιδιότητες έργου	36
♦	Υπολογισμοί	36
I.3.h	Παράδειγμα	38
♦	Συντομεύσεις.....	41
I.3.i	Παράρτημα: Μέθοδοι υπολογισμού αποσβέσεων	41
♦	Γραμμική μέθοδος	41
♦	Μέθοδος του σταθερά φθίνοντος υπολοίπου.....	41
♦	Μέθοδος του διπλά φθίνοντος υπολοίπου	41
♦	Σταθερή μέθοδος	42
♦	Φθίνουσα μέθοδος.....	42
I.3.j	Καμπύλη διάρκειας της Weibull:	42
I.3.k	β) Εκθετικός Νόμος (1/7)	44
I.3.l	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ.....	44
I.3.m	Οικονομικές Συναρτήσεις.....	44
♦	Χρηματοροή παρόντος, σε χρηματοροή μέλλοντος υπό συνθήκες πληθωρισμού:	44

♦	Ετήσια δόση Δανείου:	44
I.3.n	ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	45
I.3.o	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ	46
I.3.p	ΤΟΚΟΙ-ΔΑΝΕΙΑ	46
I.3.q	ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ.....	47
I.3.r	ΦΟΡΟΛΟΓΙΑ.....	47
I.3.s	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	47
I.3.t	ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ.....	47
I.3.u	Οικονομικοί δείκτες αξιολόγησης Επενδύσεων	48
♦	ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ (Κ.Π.Α.).....	48
♦	Χρόνος αποπληρωμής (Χ.Α.).....	49
I.3.v	Ανάλυση ευαισθησίας	49
I.4.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ – ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ	
	ΧΑΡΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	51
I.4.a	Υπολογιστικό πρόγραμμα WAsP	51
I.4.b	Εισαγωγή ανεμολογικών μετρήσεων (raw data)	51
I.4.c	Εισαγωγή μορφολογίας εδάφους.....	59
I.4.d	Ο χώρος εργασίας του προγράμματος WasP 6.0.....	64
I.4.e	Υπολογισμός αιολικού δυναμικού περιοχής.....	65
I.4.f	Υπολογισμός παραγωγής ισχύος από μια ανεμογεννήτρια.	73
I.4.g	Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ενέργειας αιολικού πάρκου	76
I.4.h	Χρήσιμες πληροφορίες.....	76

I. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

I.1. ΠΤΕΡΥΓΩΣΕΙΣ

I.1.a Σκοπός του πειράματος

Το πείραμα αποσκοπεί στη δοκιμασία πτερυγώσεων ανεμογεννητριών (Α/Γ). Μέσω της δοκιμασίας αυτής, ο σπουδαστής:

- αποκτά αντίληψη της λειτουργίας ανεμογεννητριών και ειδικότερα των πτερυγώσεων Α/Γ,
- μαθαίνει να «μετράει» ποιοτικά και ποσοτικά την πτερύγωση και
- να εκτιμάει την συμπεριφορά της Α/Γ σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

I.1.b Περιγραφή της πειραματικής διάταξης

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται η πειραματική διάταξη είναι:

- **Η γεννήτρια**
- **Τα όργανα μετρήσεων**
- **Η διάταξη απολαβής και επεξεργασίας των μετρήσεων**
- **Το πλαίσιο στήριξης της διάταξης**

Η **γεννήτρια** είναι μια σύγχρονη τριφασική γεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος ξένης διεγέρσεως. Το κύκλωμα του στάτη είναι τελείως ανεξάρτητο από το κύκλωμα της διέγερσης (επαγωγικό τύμπανο δρομέα). Το κύκλωμα αυτό της διέγερσης τροφοδοτείται από ξεχωριστό βοηθητικό δίκτυο συνεχούς ρεύματος (συστοιχία συσσωρευτών).

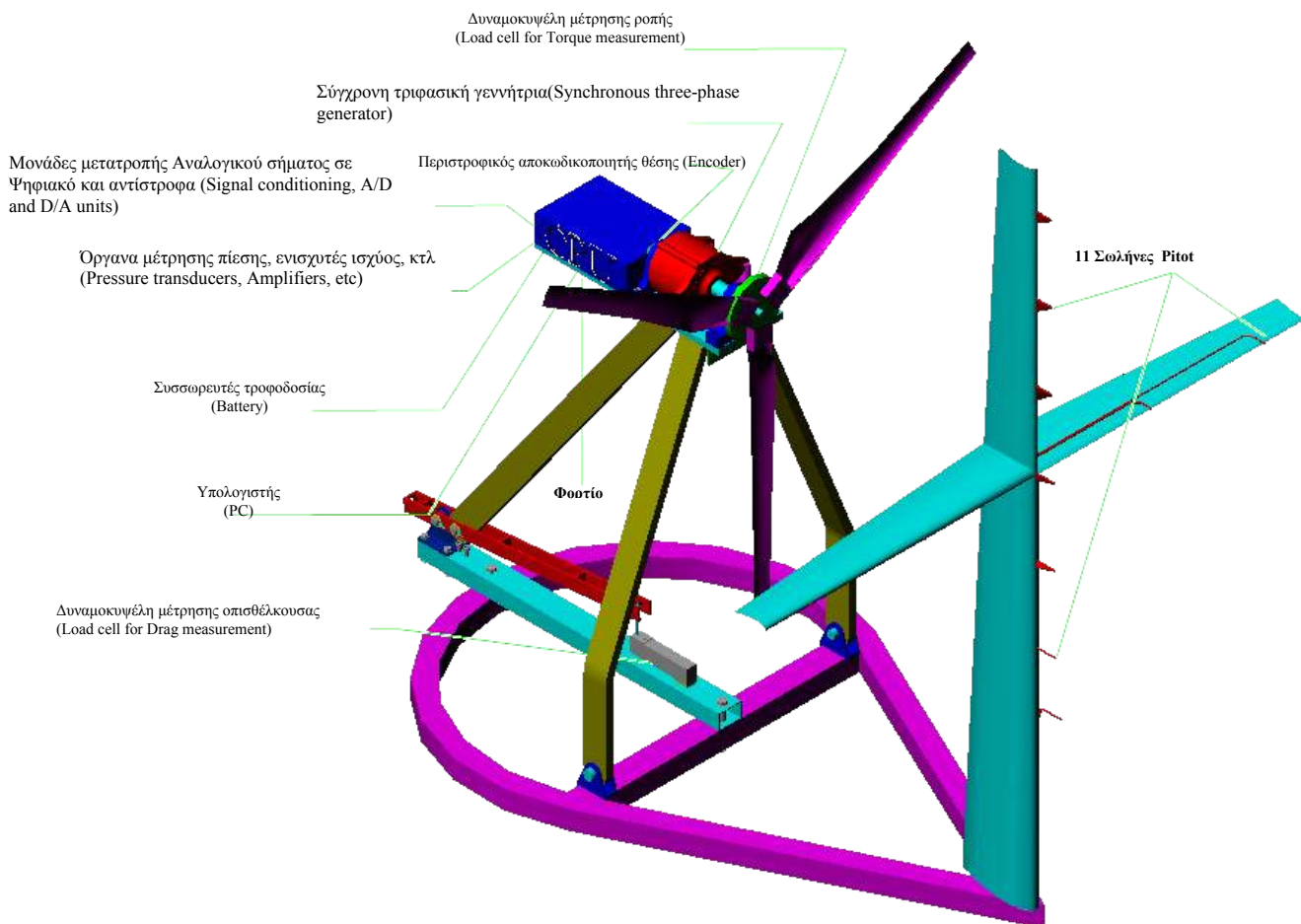
Κατά τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας, η πτερύγωση δεσμεύει ένα ποσοστό της κινητικής ενέργειας του ανέμου (όριο του Betz) και η ενέργεια αυτή μεταφέρεται, μέσω του δρομέα (ρότορα) στη γεννήτρια που χρησιμοποιείται για να δεσμεύει την ενέργεια αυτή. Η ενέργεια που δεσμεύεται, μετατρέπεται μέσω του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του ρότορα, σε ηλεκτρική ενέργεια η οποία καταναλώνεται, οδηγούμενη σε σταθερό φορτίο. Ελέγχοντας την διέγερση ρυθμίζουμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται και κατά συνέπεια την απολαβή ισχύος από την γεννήτρια.

Λειτουργεί δηλαδή η γεννήτρια σαν μια πέδη η οποία παραλαμβάνει όλη την ενέργεια, που δεσμεύει η φτερωτή. Ο λόγος που χρησιμοποιείται η γεννήτρια σαν πέδη είναι ότι μπορούμε, σχετικά εύκολα, να μετρήσουμε την ενέργεια που παραλαμβάνει. Προς τούτο θα μετρήσουμε δύο μεγέθη:

- την μηχανική ροπή, M , που παραλαμβάνει η γεννήτρια καθώς και
- την ταχύτητα περιστροφής, ω , του ρότορα.

Από το γινόμενο αυτών των δύο μεγεθών θα υπολογίσουμε την μηχανική ισχύ, P , που παραλαμβάνει η γεννήτρια:

$$P = M * \omega$$



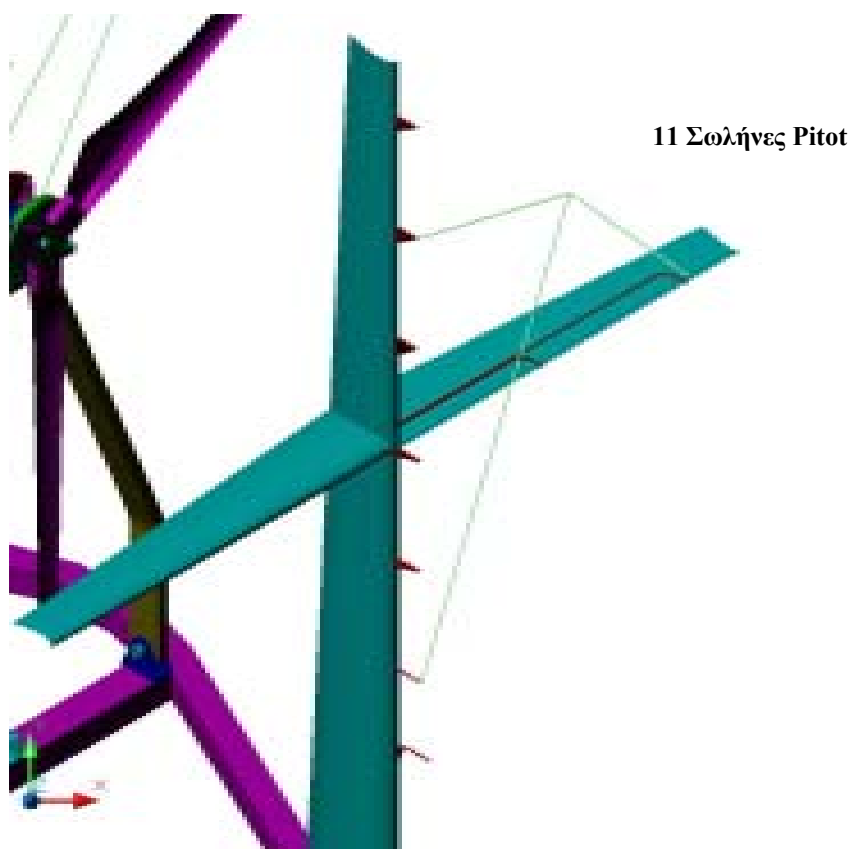
Εικόνα I.1-1. Συναρμολογημένη διάταξη δοκιμαστηρίου Ανεμογεννητριών

Τα όργανα μετρήσεων διακρίνονται σε:
εκείνα που μετρούν πίεση,

εκείνα που μετρούν δυνάμεις και σε ένα αισθητήριο που μετρά τον ρυθμό περιστροφής του δρομέα.

Καθένα από τα πέντε όργανα μέτρησης πίεσης αποτελείται από ένα σωλήνα Pitot, διασυνδεδεμένο με μία διάταξη μετατροπής της πίεσης (καλύτερα της παραμόρφωσης που προκαλείται από μία πίεση) σε ηλεκτρικό σήμα (pressure transducer). Οι μετατροπείς πίεσης σε ηλεκτρικό σήμα είναι του τύπου DRAL 05 της εταιρείας DATA INSTRUMENTS που δέχονται μέγιστη πίεση 1250 Pa και βγάζουν έξοδο 0-5 Volt.

Οι σωλήνες Pitot είναι κατάλληλα διαμορφωμένοι στην άκρη τους, ώστε να επιτυγχάνεται το μικρότερο δυνατό λάθος στις μετρήσεις. Συγκρατούνται πάνω σε δύο δοκούς, από συμμετρική αεροτομή σε σχήμα σταυρού ώστε να ελαχιστοποιείται η διαταραχή της ροής του αέρα που πέφτει πάνω στην πτερύγωση. Οι διατάξεις μετατροπής πίεσης σε ηλεκτρικό σήμα μετράνε διαφορικά την πίεση εξάγοντας από την ολική πίεση ($p + \frac{1}{2}\rho V^2$), την δυναμική πίεση ($\frac{1}{2}\rho V^2$).

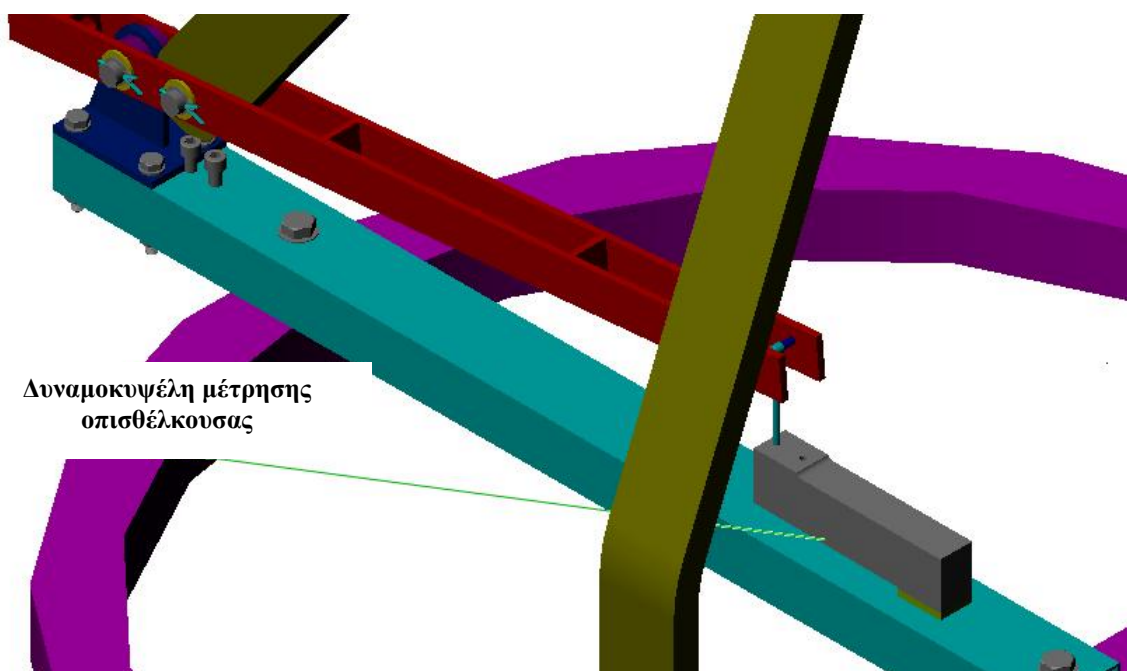


Εικόνα I.1-2. Σωλήνες Pitot για μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου

Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζουμε την ταχύτητα, V , του αέρα σε διάφορα σημεία της πτερύγωσης (συνήθως στο κέντρο και στις άκρες του δίσκου της πτερύγωσης).

Για τις μετρήσεις δύναμης χρησιμοποιούνται δύο δυναμοκυψέλες, όργανα δηλαδή που μετατρέπουν τη μέτρηση δύναμης (ουσιαστικά της παραμόρφωσης που προκαλείται από τη δύναμη) σε ηλεκτρικό σήμα.

Πρόκειται για το μοντέλο 1040 30 kg, της εταιρίας TEDEA – HUNTLEIGH με πιστοποιητικό ελέγχου ποιότητας.



Εικόνα I.1-3. Δυναμοκυψέλη μέτρησης δύναμης

Η κάθε δυναμοκυψέλη συνδέεται με το σημείο εφαρμογής της δύναμης μέσω ενός συστήματος σφαιρικών αρθρώσεων, ώστε να επιτυγχάνεται η απολαβή του συνολικού φορτίου κάθετα πάνω στη δυναμοκυψέλη. Μετά από κάθε δυναμοκυψέλη το σήμα οδηγείται σε ένα ενισχυτή.

Η μία δυναμοκυψέλη χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της μηχανικής ροπής που προσδίδεται από τον δρομέα στη γεννήτρια και γιαυτό συνδέεται (μέσω των κατάλληλων συνδέσμων) στο εξωτερικό περίβλημα της γεννήτριας.

Η δεύτερη δυναμοκυψέλη χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της οπισθέλκουσας δύναμης που εξασκεί η ροή του αέρα πάνω στο δίσκο της πτερύγωσης (στην διεύθυνση κατά μήκος του ρότορα). Η δύναμη αυτή μεταφέρεται από την πτερύγωση στον δρομέα της γεννήτριας (και στη γεννήτρια) και στη συνέχεια στη βάση του αρθρωτού πλαισίου που στηρίζει την όλη διάταξη, μέσω του κεκλιμένου πίσω ποδιού του πλαισίου. Με ένα μοχλό πρώτου είδους (που χρησιμοποιείται για υποδιαίρεση της δύναμης) και ένα κατάλληλο σύστημα συνδέσμων, η οπισθέλκουσα δύναμη μεταφέρεται πάνω στη δεύτερη δυναμοκυψέλη.

Για την **μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής** του ρότορα χρησιμοποιείται ένας αποκωδικοποιητής θέσης/ταχύτητας που μετράει τη συχνότητα περιστροφής και ακολούθως το σήμα (παλμοί/χρονικό διάστημα) μεταφέρεται σε ένα μετατροπέα συχνότητας σε τάση.

Πρόκειται για το μοντέλο ENB 500 3 1 της εταιρείας AUTONICS, με 500 παλμούς ανά περιστροφή.

Όλες οι μετρήσεις σε μορφή ηλεκτρικού σήματος συλλέγονται από ένα μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Η συχνότητα απολαβής των μετρήσεων είναι 23,5 Hz.

I.1.c Το ηλεκτρονικό μέρος της μετρητικής διάταξης

Η ηλεκτρονική μονάδα του συστήματος ελέγχου πτερυγώσεων αποτελείται από:

- α. Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU)
- β. Μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D)
- γ. Μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (D/A)
- δ. Μετατροπέα συχνότητας σε τάση (F/V)
- ε. Δύο ενισχυτές δυναμοκυψέλης (Load Cell Amplifier)
- στ. Ενισχυτή ισχύος (Power Amplifier)
- ζ. Θύρα επικοινωνίας RS232
- η. Πέντε μετατροπείς πίεσης σε ηλεκτρικό σήμα (pressure transducers)
- θ. Δυναμοκυψέλη (Load Cell)
- ι. Αισθητήριο θέσης/ταχύτητας (Shaft encoder)

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU)

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας υλοποιείται από έναν μικροελεκτή. Η μονάδα συλλέγει τα δεδομένα πίεσης, δύναμης, ταχύτητας περιστροφής του δρομέα από τη μονάδα μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, τα οποία μεταβιβάζει στον υπολογιστή, μέσω της θύρας RS232. Η μονάδα επίσης ελέγχει τη τάση διέγερσης της γεννήτριας του συστήματος μέσω της μονάδας μετατροπής ψηφιακού σήματος σε αναλογικό.

Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D)

Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό έχει ακρίβεια 16 ψηφίων και έχει οκτώ εισόδους -10V – +10V.

Μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (D/A)

Η μονάδα έχει ακρίβεια 12 ψηφίων και μέγιστη τάση εξόδου 12V.

Μετατροπέας συχνότητας σε τάση (F/V)

Η μονάδα μετατρέπει τη συχνότητα των παλμών από την έξοδο του αισθητήρα ταχύτητας σε τάση 0-10V.

Ενισχυτές δυναμοκυψέλης (Load Cell Amplifier)

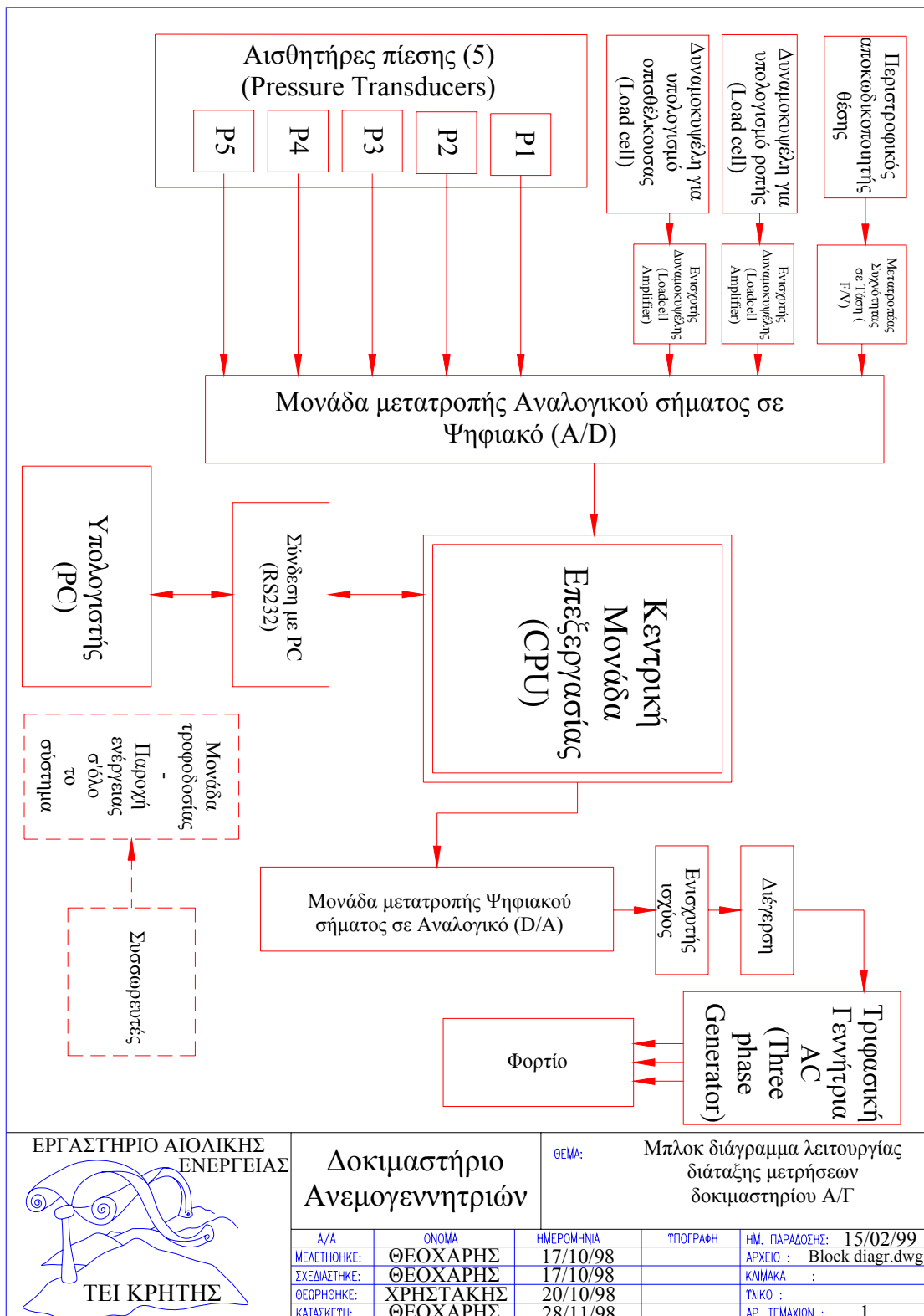
Οι μονάδες παρέχουν έξοδο -10 - +10V με δυνατότητα ρύθμισης της κλίμακας καθώς και του σημείου γύρω από το μηδέν.

Ενισχυτής ισχύος (Power Amplifier)

Ο ενισχυτής παρέχει την απαιτούμενη για τη διέγερση της γεννήτριας ισχύ.

Θύρα επικοινωνίας RS232

Η επικοινωνία με τον υπολογιστή γίνεται μέσω της θύρας RS232 με ταχύτητα 9600 bit/sec.



Εικόνα 1.1-4. Μπλοκ διάγραμμα διάταξης μετρήσεων δοκιμαστηρίου Α/Γ

I.1.d Πειραματική διαδικασία

Για λόγους οικονομίας χρόνου, κόπου αλλά και ασφαλείας όσων παίρνουν μέρος στο πείραμα ή βρίσκονται στον περιβάλλοντα χώρο, πρέπει να τηρούνται πιστά οι παρακάτω διαδικασίες και με τη σειρά που αναφέρονται.

I.1.e Απαραίτητοι έλεγχοι

Πρόκειται για ελέγχους ασφάλειας και λειτουργίας της διάταξης που πρέπει να γίνονται πάντα πριν την έναρξη του πειράματος και με τη βοήθεια ενός υπεύθυνου εκπαιδευτικού.

Έλεγχος τροφοδοσίας: Ελέγχουμε αν η τάση των συσσωρευτών τροφοδοσίας της διέγερσης, της ηλεκτρονικής διάταξης και του υπολογιστή είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια.

Έλεγχος σωλήνων Pitot: Ελέγχουμε αν οι σωλήνες Pitot είναι σωστά συνδεδεμένοι με το κουτί της ηλεκτρονικής διάταξης και αν δίνουν μέτρηση (ξεκινώντας το πρόγραμμα ελέγχουμε αν έχουμε ενδείξεις).

Έλεγχος επικοινωνίας διάταξης με υπολογιστή: Ελέγχουμε αν έχει τοποθετηθεί σωστά το καλώδιο με τις θύρες RS232 (ξεκινώντας το πρόγραμμα ελέγχουμε αν έχουμε ενδείξεις).

Έλεγχος σωστής στήριξης διάταξης στο αυτοκίνητο.

Έλεγχος σωστής στήριξης πτερυγωσης στον δρομέα της γεννήτριας.

I.1.f Καθορισμός παραμέτρων

Αφού έχουν προηγηθεί όλοι οι έλεγχοι ασφαλείας και λειτουργίας του συστήματος, πρέπει να γίνει εκκίνηση του προγράμματος (wind) που βρίσκεται στον κατάλογο wind: στη γραμμή εντολών (dos prompt) **πληκτρολογούμε: cd wind** και για να ξεκινήσει το πρόγραμμα: **wind**.

Ακολουθώς θα πρέπει να καθοριστούν, μέσα στο πρόγραμμα, οι εξής παράμετροι για τη διαδικασία των μετρήσεων:

Όνομα αρχείου

Πρόκειται για το όνομα αρχείου στο οποίο θα αποθηκευτεί η μέτρηση. Για να δηλωθεί το όνομα αρχείου, πρέπει να πληκτρολογήσουμε: **f**, (βλέπε σχήμα Π.4.1) για να αναγραφεί στην οθόνη η προτροπή: enter filename. Εδώ πληκτρολογούμε το όνομα του αρχείου (μικρούς λατινικούς χαρακτήρες), π.χ. test1.dat

Επιλογή μορφής και μεγέθους φορτίου πέδησης

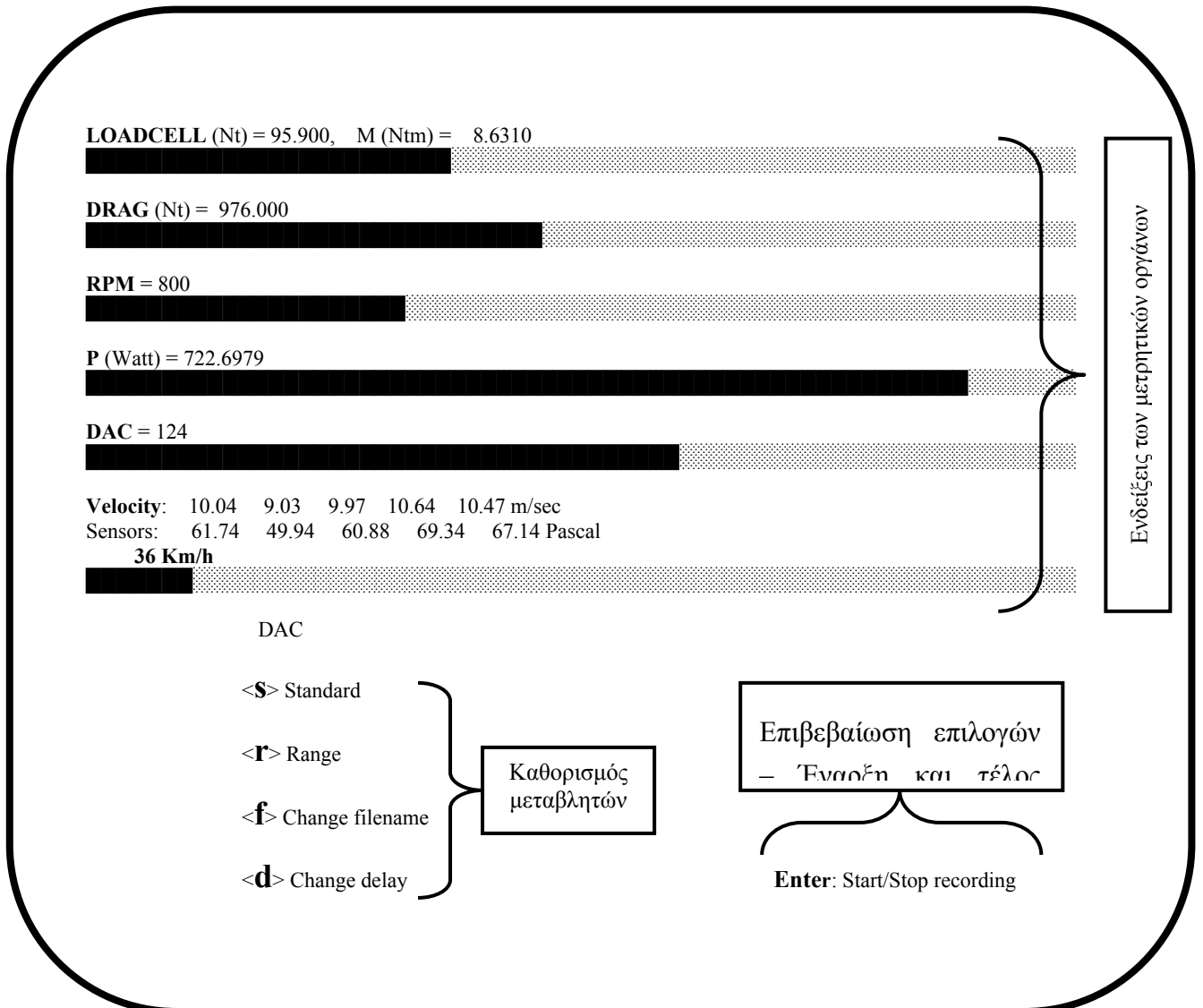
Πρόκειται για τον καθορισμό του φορτίου της διέγερσης.

Για σταθερή διέγερση θα πληκτρολογήσουμε: **S**, (βλέπε σχήμα Π.4.1) και στην προτροπή **DAC=....** θα πληκτρολογήσουμε ένα αριθμό από 0 μέχρι 255 που αντιστοιχεί ανάλογα στο ρεύμα διέγερσης που δίνεται στο τύμπανο του δρομέα, καθορίζοντας έτσι την ισχύ της γεννήτριας (δηλαδή την δυνατότητα πέδησης, όπου 255 σημαίνει τη μέγιστη δυνατότητα). Επιβεβαιώνουμε με **enter**.

Για **ρεύμα διέγερσης σε μορφή ράμπας** θα πληκτρολογήσουμε **R**, οπότε και θα αρχίσει άμεσα η εφαρμογή μιας ομαλά μεταβαλλόμενης διέγερσης από 0 μέχρι 255.

Επιλογή ρυθμού επιβολής φορτίου πέδησης

Στην περίπτωση που εφαρμόζεται **διέγερση μορφής ράμπας**, μπορούμε να εισάγουμε μια **χρονοκαθυστέρηση** στο ρυθμό επιβολής του φορτίου πέδησης (ρεύμα διέγερσης), πληκτρολογώντας: **D**, (βλέπε σχήμα Π.4.1) και θα αναγραφεί στην οθόνη η προτροπή: **enter new delay**. Εδώ θα εισάγουμε ένα αριθμό από 0 μέχρι 100 που αντιστοιχεί ανάλογα στη χρονοκαθυστέρηση που θέλουμε να επιβάλουμε.



Εικόνα I.1-5. Οθόνη του υπολογιστή κατά τη λειτουργία του προγράμματος WIND.

Ενδεικτικά αναφέρεται ο πιο κάτω πίνακας συσχέτισης χρονοκαθυστέρησης (delay) με πραγματικό χρόνο μέτρησης και συχνότητα μετρήσεων (για περίπτωση επιβολής φορτίου με τη μορφή ράμπας):

A/A	DELAY	Χρονική διάρκεια ράμπας (sec)	Συχνότητα μετρήσεων (Hz)	Αριθμός μετρήσεων
1	0	11,3	23,5	265,55
2	10	29,18	23,5	685,73
3	15	37,93	23,5	891,36
4	20	47,03	23,5	1105,21
5	30	64,89	23,5	1524,92
6	40	82,61	23,5	1941,34
7	50	100,44	23,5	2360,34
8	60	118,3	23,5	2780,05
9	70	136,1	23,5	3198,35
10	80	154,0	23,5	3619,00
11	100	189,6	23,5	4455,60

I.1.g Έναρξη, διαδικασία και τέλος αποθήκευσης μέτρησης

Αφού έχουν καθοριστεί όλες οι παράμετροι του πειράματος, επιλέγουμε τις ταχύτητες ανέμου στις οποίες θέλουμε να πάρουμε μετρήσεις: $25 < V < 60$ σε km/h. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι για μια καλή σειρά μετρήσεων που να οδηγεί σε αξιόπιστα συμπεράσματα, θα παίρναμε μετρήσεις σε $V_1=30\text{km/h}$, $V_2=40\text{km/h}$, $V_3=50\text{km/h}$, και για κάθε ταχύτητα θα κάναμε τρεις τουλάχιστον επαναλήψεις.

Ξεκινάμε το αυτοκίνητο και ελέγχουμε αν έχουμε στην οθόνη συνεχώς τις ενδείξεις που να δείχνουν ότι όλα τα όργανα λειτουργούν σωστά και ειδικά αν η ένδειξη της ταχύτητας (σε km/h) προσεγγίζει την ένδειξη του ταχυμέτρου του αυτοκινήτου. Στην περίπτωση που δεν έχουμε καθόλου ενδείξεις ή η ταχύτητα δεν συμφωνεί με το ταχύμετρο, σταματάμε και κάνουμε όλους τους ελέγχους και τη διαδικασία του πειράματος από την αρχή.

Εάν οι ενδείξεις στην οθόνη του υπολογιστή είναι εντάξει και όταν η ταχύτητα του οχήματος σταθεροποιηθεί στην ταχύτητα που επιλέξαμε, αρχίζουμε την διαδικασία αποθήκευσης της μέτρησης, πληκτρολογώντας **enter** (βλέπε σχήμα Π.4.1). Τώρα στην οθόνη πρέπει να αναβοσβήνει η ένδειξη: recording, που επιβεβαιώνει τη διαδικασία αποθήκευσης της μέτρησης. Αν η ισχύς της γεννήτριας που ρυθμίζεται από τη διέγερση που έχουμε επιβάλλει στο σύστημα είναι αρκετή, τότε μετά από ένα χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τον ρυθμό επιβολής του φορτίου πέδησης (παράμετρος: delay), η ταχύτητα περιστροφής της πτερύγωσης θα ελαττώνεται σταδιακά μέχρι να μηδενιστεί. Τότε σταματάμε την αποθήκευση της μέτρησης πληκτρολογώντας **enter** και συνεχίζουμε αν χρειαζόμαστε, για να πάρουμε άλλη μέτρηση. Για κάθε νέα μέτρηση θα ακολουθείται η διαδικασία από τον καθορισμό παραμέτρων και έπειτα.

I.1.h ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

◆ Συλλογή και επεξεργασία μετρήσεων

Μετά το τέλος των μετρήσεων παίρνουμε τα αρχεία που έχουμε αποθηκεύσει στον φορητό υπολογιστή και με μία δισκέτα τα μεταφέρουμε σε ένα υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία.

◆ Μορφή αποθηκευμένων αρχείων μετρήσεων

Τα αρχεία είναι σε μορφή ASCII και ακολουθούν μία διάταξη σε 14 στήλες, ως εξής:

DAC []	Lc*1000 [Nt]	Lc2*1000 [Nt]	N [rpm]	Ω *1000 [r/sec]	λ *1000 []	M*1000 [Nt m]	P [Watt]	Cm*1000 []	Cp*1000 []	S1*1000 (m/sec)	S2*1000 (m/sec)	S3*1000 (m/sec)	S4*1000 (m/sec)	S5*1000 (m/sec)

Για την εύκολη μεταφορά και επεξεργασία των μετρήσεων μερικές μεταβλητές έχουν πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή, όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα. Η ονοματολογία και οι μονάδες των μεταβλητών αναλύονται στον παρακάτω πίνακα:

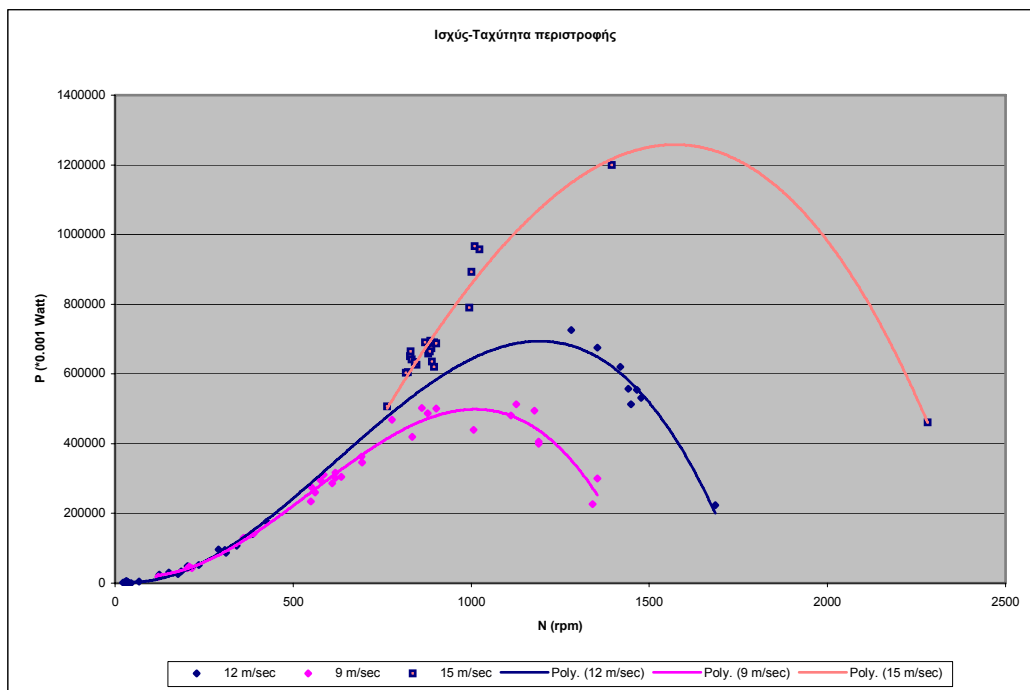
Σύμβολο	Όνομα μεταβλητής	Συντελεστής	Μονάδες
DAC	Αντιπροσωπευτικό της διέγερσης		Αδιάστατο
Lc	Δύναμη στη δυναμοκυψέλη μέτρησης ροπής	x 1000	Nt
Lc2	Δύναμη στη δυναμοκυψέλη μέτρησης οπισθέλκουσας	x 1000	Nt
N	Ταχύτητα περιστροφής δρομέα		RPM
Ω	Ταχύτητα περιστροφής δρομέα	x 1000	rad/sec
λ	Λόγος ταχυτήτων ακροπερυγίου	x 1000	Αδιάστατο
M	Ροπή που προσδίδεται στον δρομέα	x 1000	Nt m
P	Ισχύς που προσδίδεται στη γεννήτρια	x 1000	Watt
Cm	Συντελεστής ροπής	x 1000	Αδιάστατο
Cp	Συντελεστής ισχύος	x 1000	Αδιάστατο
S ₁	Ταχύτητα ανέμου στο Pitot N ^ο 1	x 1000	m/sec
S ₂	Ταχύτητα ανέμου στο Pitot N ^ο 2	x 1000	m/sec
S ₃	Ταχύτητα ανέμου στο Pitot N ^ο 3	x 1000	m/sec
S ₄	Ταχύτητα ανέμου στο Pitot N ^ο 4	x 1000	m/sec
S ₅	Ταχύτητα ανέμου στο Pitot N ^ο 5	x 1000	m/sec

Για αναλυτικότερη περιγραφή των παραπάνω μεταβλητών θα πρέπει να μελετηθούν τα κεφάλαια: I.2.γ, I.2.1, I.4 και I.6.

◆ Επεξεργασία μετρήσεων

Ο σπουδαστής θα καταχωρήσει τις μετρήσεις αντίστοιχα φύλλα εργασίας ενός προγράμματος τύπου Excel και στην συνέχεια θα σχεδιάσει τα παρακάτω διαγράμματα: M-N, P-N, Cm-λ, Cp-λ καθώς και Cf-λ, (όπου Cf είναι ο συντελεστής δύναμης που πρέπει να υπολογιστεί). Η παράμετρος σε όλα αυτά τα διαγράμματα θα είναι η ταχύτητα, V. Καθώς κατά τη διάρκεια του πειράματος η ταχύτητα δεν είναι εύκολο να διατηρηθεί σταθερή, ο σπουδαστής θα πρέπει να εκμεταλλευθεί δυνατότητες φίλτρων, ώστε να υπάρξουν αντιπροσωπευτικά και συγκρίσιμα διαγράμματα και κατά συνέπεια σωστά συμπεράσματα.

Ενδεικτικά φαίνονται παρακάτω τέτοια διαγράμματα από μετρήσεις:



◆ Συμπεράσματα

Ο σπουδαστής θα συγκρίνει τα αποτελέσματα τα οποία έχει ήδη εξάγει, με τα αποτελέσματα υπολογισμού της πτερύγωσης που έχει κάνει πρωτύτερα (Δινηλίδα). Για κάθε ένα από τα διαγράμματα θα αναφερθεί η σύγκριση με τα διαγράμματα των υπολογισμών και θα συμπληρωθεί από τα αναγκαία σχόλια.

1.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΣΗΡΑΓΓΑ

1.2.a Εισαγωγή

Οι *αεροσήραγγες* (wind tunnels) εμφανίστηκαν στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και έγιναν ιδιαίτερα δημοφιλείς το 1903 από τους *αδελφούς Wright*. Η χρήση τους εξαπλώθηκε γρήγορα μιας και έχουν τη δυνατότητα να δέχονται μοντέλα υπό κλίμακα και διαρκή διαθεσιμότητα. Με αυτό τον τρόπο παρέχουν τη δυνατότητα η αεροδυναμική έρευνα να γίνεται προσιτή οικονομικά, ταχύτατη και ακριβής.

Εφόσον στις αεροσήραγγες τοποθετούνται συνήθως μοντέλα με κλίμακα μικρότερη από αυτή των υπό μελέτη αντικειμένων, κρίνεται απαραίτητη η αναφορά στον τρόπο με τον οποίο σχετίζονται τα μοντέλα με τα υπό μελέτη αντικείμενα. Στις αεροσήραγγες χαμηλών ταχυτήτων, όπως αυτή του εργαστηρίου, η συσχέτιση πραγματοποιείται μέσω του *αριθμού Reynolds*, ο οποίος ορίζεται ως :

$$Re = \frac{\rho \times V \times l}{\mu}$$

όπου

ρ : η πυκνότητα του ρευστού (για αέρα 1,225 Kg/m³)

V : η ταχύτητα του ρευστού (m/sec)

l : μία διάσταση αναφοράς (m)

μ : το ιξώδες του ρευστού (για αέρα 18×10^{-5} Kg/m×sec)

Για να θεωρηθεί ένα πείραμα που πραγματοποιείται σε αεροσήραγγα όμοιο με την αεροδυναμική συμπεριφορά του φυσικού αντικείμενου, πρέπει να έχουν τον ίδιο αριθμό Reynolds.



Εικόνα 1.2-1. Κατασκευή μοντέλου για αεροδυναμικές μετρήσεις.



Εικόνα I.2-2. Τελική μορφή μοντέλου.

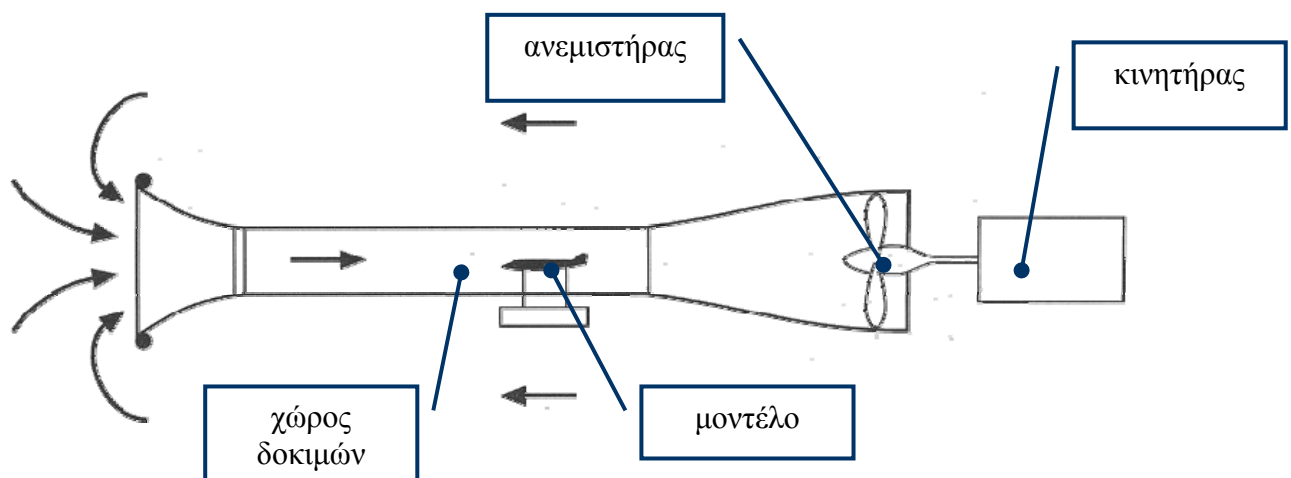
Βασικό ρόλο στη κατασκευή ενός μοντέλου έχει η ακρίβεια με την οποία κατασκευάζεται. Επίσης η επιφάνεια αυτού οφείλει να έχει όσο το δυνατόν πιο λεία υφή για την αποφυγή μεγάλου *οριακού στρώματος*.

I.2.b Τύποι αεροσηραγγών

Οι αεροσήραγγες που συνήθως απαντώνται είναι 2 τύπων με δύο διαφοροποιήσεις του χώρου δοκιμών.

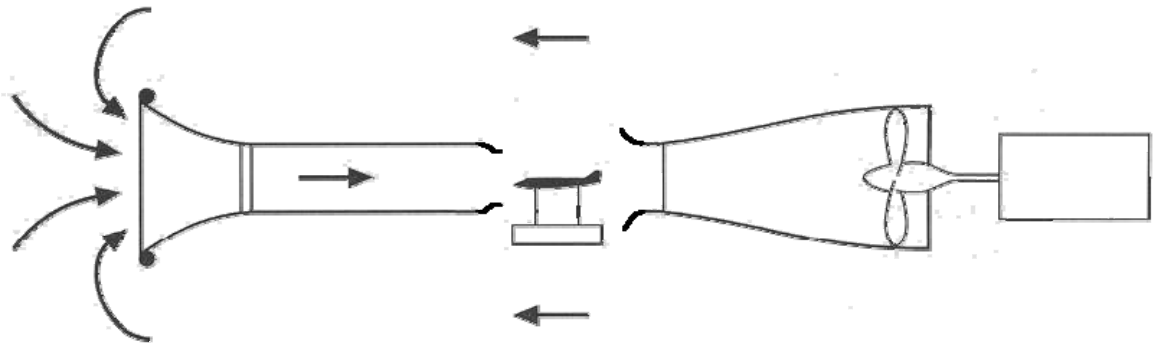
- Η αεροσήραγγα *ανοικτού κυκλώματος* (open circuit) χαρακτηρίζεται από την ευθύγραμμη κίνηση που ο αέρας πραγματοποιεί εντός αυτής και την εισαγωγή του από τον περιβάλλοντα χώρο, όπου και εξέρχεται.

Οι αεροσήραγγες ανοικτού κυκλώματος με κλειστό χώρο δοκιμών ονομάζονται open circuit - closed jet (NPL type)



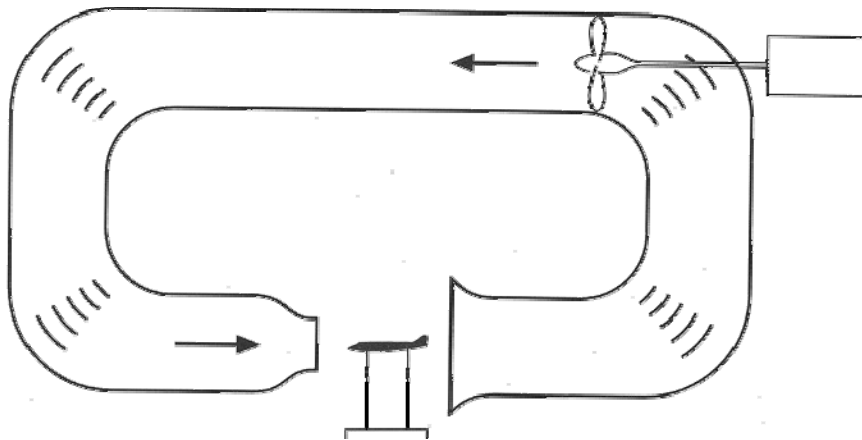
Εικόνα I.2-3. Αεροσήραγγα ανοικτού κυκλώματος με κλειστό χώρο δοκιμών (closed jet - open circuit wind tunnel)

ενώ με ανοικτό χώρο δοκιμών ονομάζονται open circuit - open jet (Eiffel type)



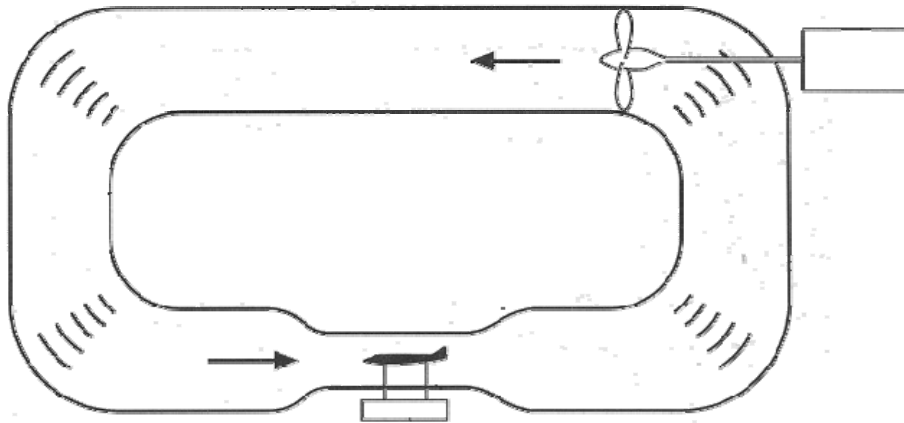
Εικόνα I.2-4. Αεροσήραγγα ανοικτού κυκλώματος με ανοικτό χώρο δοκιμών (open jet - open circuit wind tunnel)

Η αεροσήραγγα *κλειστού κυκλώματος* (closed return), (Prandtl/ Gottingen type), έχει τη μορφή βρόγχου και ο αέρας ακολουθεί μία κλειστή διαδρομή εντός της. Μια αεροσήραγγα κλειστού κυκλώματος μπορεί να έχει ανοικτό χώρο δοκιμών



Εικόνα I.2-5. Αεροσήραγγα κλειστού κυκλώματος με ανοικτό χώρο δοκιμών (open jet - closed type wind tunnel)

ή κλειστό χώρο δοκιμών:



Εικόνα I.2-6. Αεροσήραγγα κλειστού κυκλώματος με κλειστό χώρο δοκιμών (closed jet - closed type wind tunnel)

Οι αεροσήραγγες ανοικτού τύπου έχουν μικρό αρχικό κόστος αλλά μεγάλο λειτουργικό συγκρινόμενες με τις αεροσήραγγες κλειστού κυκλώματος μιας και δεν εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια του αέρα που αποβάλλουν στον περιβάλλοντα χώρο. Είναι πιο θορυβώδεις αλλά δεν έχουν προβλήματα αύξησης της θερμοκρασίας. Τέλος είναι πιο πρακτικές για πραγματοποίηση πειραμάτων με χρήση καπνού για απεικόνιση της ροής εφόσον δεν απαιτούν καθαρισμό.

3. Αεροδυναμικές δοκιμές σε αεροσήραγγες

I.2.c Μετρήσεις σε αεροσήραγκα

Σε αεροσήραγγα μπορούν να πραγματοποιηθούν οι παρακάτω δοκιμές:

◆ Μέτρηση αεροδυναμικών φορτίων.

Η πλέον χρήσιμη εφαρμογή των αεροσηραγγών είναι η μέτρηση των αεροδυναμικών φορτίων που εμφανίζονται σε μία δισδιάστατη ή τρισδιάστατη επιφάνεια. Τα αεροδυναμικά φορτία που εμφανίζονται, δυνάμεις και ροπές, μας δίνουν τη συμπεριφορά της επιφάνειας σε ένα ρεύμα αέρα.

◆ Απεικόνιση των γραμμών ροής γύρω από αντικείμενο.

Το πρόβλημα με την μελέτη αεροδυναμικών φαινομένων είναι η έλλειψη οπτικής επαφής του υπό εξέταση φαινομένου και άρα ελλιπής κατανόησή του. Σε μία αεροσήραγγα με κατάλληλες διατάξεις εμφάνισης των γραμμών ροής (διάταξη παραγωγής καπνού, ίνες κτλ) μπορούμε να έχουμε μία ολοκληρωμένη παρατήρηση του φαινομένου.

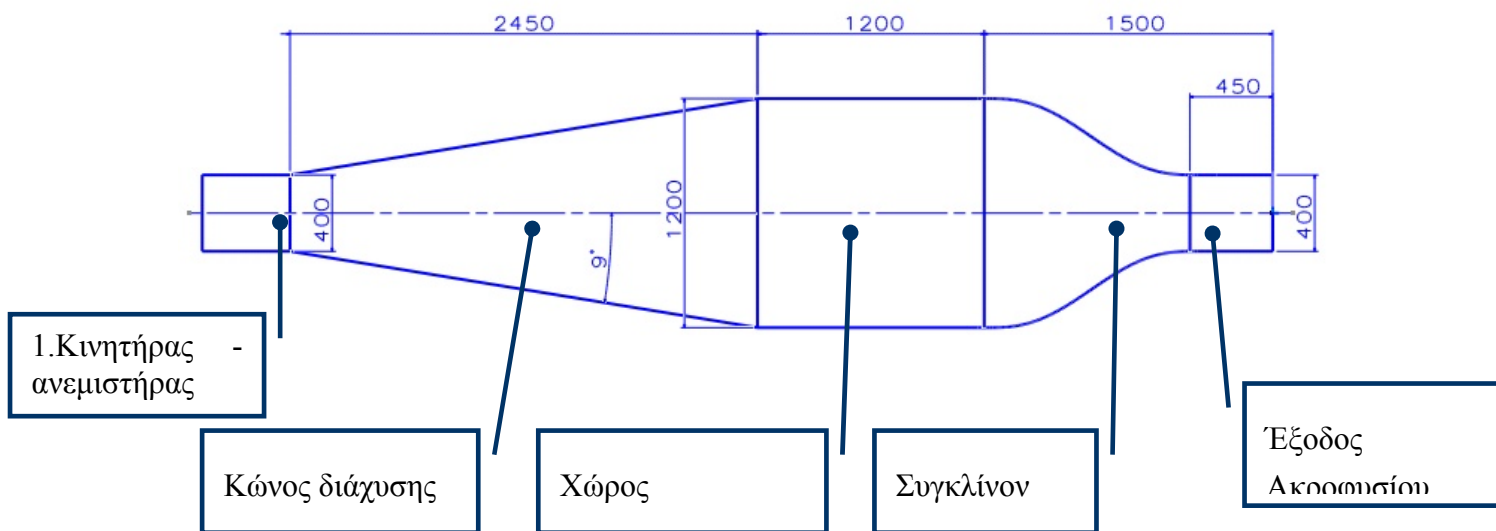


Εικόνα I.2-7. Εμφάνιση γραμμών ροής με χρήση καπνού.

Με τις δύο αυτές δυνατότητες μπορεί ο σχεδιασμός ενός αεροσκάφους, αυτοκινήτου κ.α. να βελτιωθεί. Αεροσήραγγες χρησιμοποιούνται και για τον έλεγχο κτιριακών κατασκευών, γεφυρών κτλ.

I.2.d Περιγραφή αεροσήραγγας εργαστηρίου

Η αεροσήραγγα του εργαστηρίου είναι ανοικτού κυκλώματος με ανοικτό χώρο δοκιμών. Η επιφάνεια του ακροφυσίου είναι 400mm×400mm. Η γεωμετρία της και η διαστάσεις της (σε χιλιοστά) φαίνονται παρακάτω.



Εικόνα I.2-8. Περιγραφή της αεροσήραγγας του εργαστηρίου

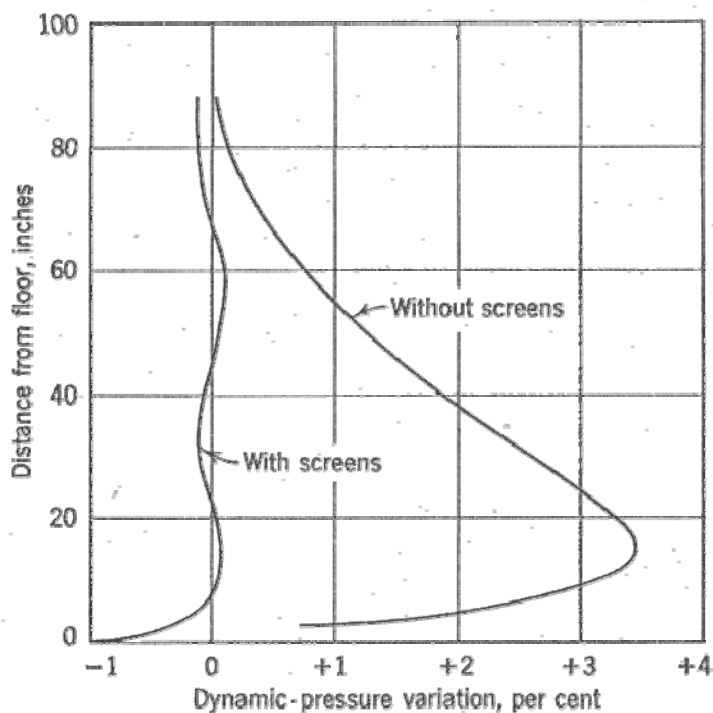
Ο ανεμιστήρας είναι μία φυγόκεντρη αντλία που οδηγείται από ένα τριφασικό κινητήρα 7.5kW, με μέγιστη περιστροφική ταχύτητα 1410rpm. Ο κινητήρας

ελέγχεται μέσω ενός Inverter που μεταβάλλει μέσω της συχνότητας τις στροφές του. Η μέγιστη ταχύτητα εξόδου του αέρα από το ακροφύσιο φτάνει τα 20m/sec.

Στη συνέχεια, χώρα λαμβάνει η διάχυση της ροής με σκοπό την μείωση της ταχύτητας της ροής

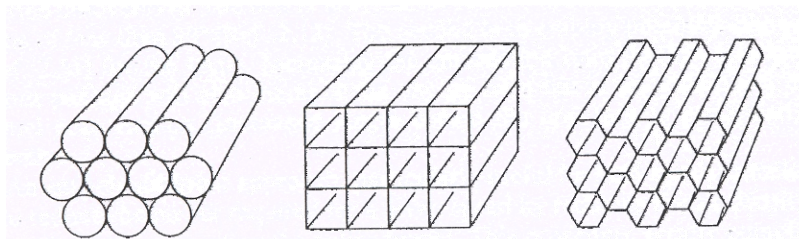
Στο χώρο αποκατάστασης η ροή από στροβιλώδης γίνεται στρωτή. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση σιτών (screens) και κυψελών (honeycombs).

Οι σήτες κυρίως μειώνουν τους αξονικούς στροβιλισμούς. Συγχρόνως παρατηρείται μία μεγάλη πτώση της πίεσης επηρεάζοντας κυρίως τις υψηλές ταχύτητες, επιτυγχάνοντας μια πιο ομοιόμορφη αξονική ταχύτητα.



Εικόνα I.2-9. Μεταβολή του προφίλ ταχύτητας με χρήση ή όχι σήτας

Οι κυψέλες προκαλούν μικρή πτώση πίεσης που προκαλεί μικρή μείωση στην αξονική ταχύτητα. Οι κυψέλες έχουν ένα απαιτούμενο μήκος, μειώνοντας έτσι την απόκλιση της ροής από την επιθυμητή αξονική.



Εικόνα I.2-10. Κυψέλες διαφόρων μορφών

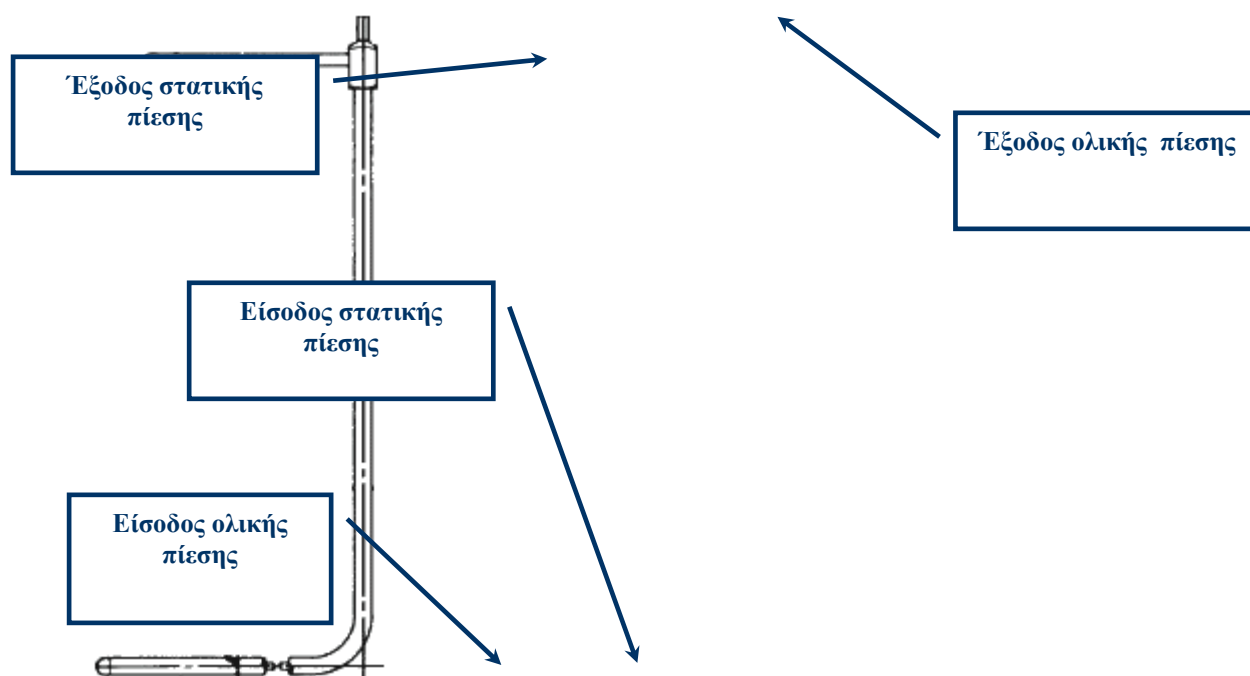
Η αεροσήραγγα του εργαστηρίου έχει δύο σήτες και μία διάταξη κυψελών κυλινδρικής μορφής.

Η μείωση της ταχύτητας λόγω εμποδίων έχει μεγάλη επίδραση στην απαιτούμενη ισχύ εφόσον η ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας. Απαραίτητη κρίνεται λοιπόν η τοποθέτηση των σητών και των κυψελών στο χώρο αποκατάστασης όπου η ταχύτητα έχει τη χαμηλότερη τιμή.

1.2.e Μέτρηση ροής

Ένας από τους βασικούς λόγους που χρησιμοποιούνται οι αεροσήραγγες είναι η ιδανικές συνθήκες αέρα που

Η μέτρηση της ροής της αεροσήραγγας πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός σωλήνα pitot.

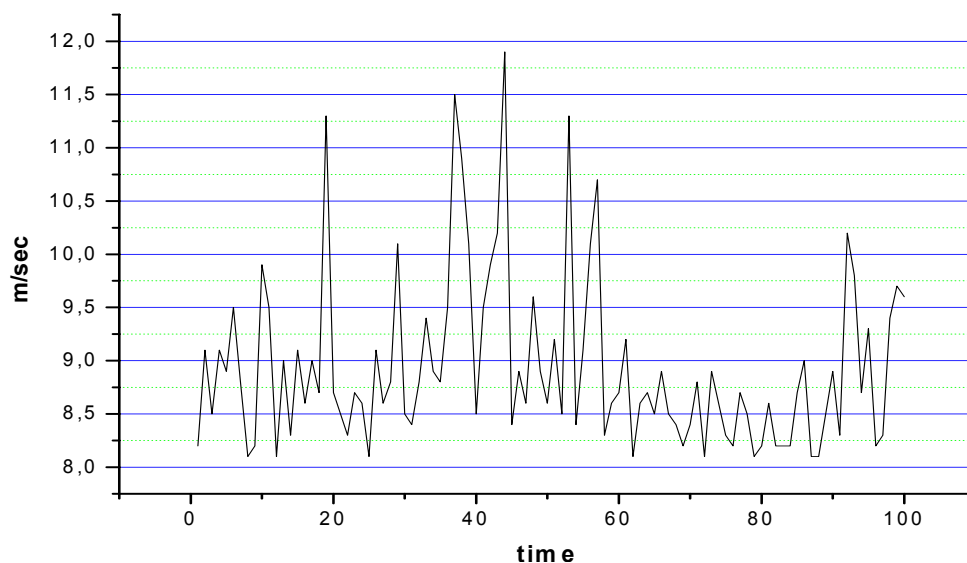


Εικόνα 1.2-11. Περιγραφή σωλήνα pitot

Ο σωλήνας pitot έχει μια εμπρόσθια είσοδο απ' όπου παίρνουμε την ολική πίεση και 8 μικρές εισόδους στην κυλινδρική του επιφάνεια που αποτελούν την είσοδο της στατικής πίεσης. Η δυναμική πίεση αποτελεί τη διαφορά των δύο. Η πίεση μετατρέπεται σε αναλογικό σήμα μέσω ενός pressure transducer. Το σήμα αυτό στη συνέχεια οδηγείται μέσω μίας κάρτας I/O στον υπολογιστή όπου και καταγράφονται οι τιμές της ταχύτητας ανέμου.

I.2.f Τύρβη

Η ταχύτητα ανέμου ορίζεται συνήθως ως η σύνθεση μίας μέσης τιμής ταχύτητας ανέμου σε ορισμένο χρονικό διάστημα και διαφόρων διακυμάνσεων.



Εικόνα I.2-12. Διακύμανση αέρα

Αυτό που είναι εμφανές σε κάθε διακύμανση του ανέμου είναι ότι υπάρχει έλλειψη περιοδικότητας και δεν μπορεί να περιγραφεί με κάποιο αιτιοκρατικό τρόπο.

Συνήθως η τύρβη περιγράφεται μέσω της στατιστικής επιστήμης που είναι σε θέση να αναλύσει τυχαία μεταβαλλόμενα συμβάντα.

Η τύρβη ορίζεται ως το άθροισμα όλων των διακυμάνσεων με συχνότητα μεγαλύτερη αυτής της μέσης τιμής ανέμου στο σταθερό κάθε φορά χρονικό διάστημα. Επομένως αποτελεί την απόκλιση της στιγμιαίας ταχύτητας $U_{(t)}$ από την μέση τιμή της ταχύτητας \bar{U} :

$$u_{(t)} = U_{(t)} - \bar{U}$$

Η μεταβολή της ταχύτητας ανέμου περιγράφεται καλλίτερα με την μεταβολή σ_u^2 :

$$\sigma_u^2 = \overline{u^2} = \frac{1}{T} \times \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} [U_{(t)} - \bar{U}]^2 dt$$

Ένα μέτρο της εμφάνισης ριπών στον άνεμο είναι η ένταση της τύρβης I_u , που ορίζεται ως:

$$I_u = \frac{\sigma_u}{U}$$

και αποτελεί το μέτρο καθορισμού της τύρβης μιας και είναι μέγεθος αδιάστατο.

I.2.g Ασκήσεις:

- Μετρήστε με 8 σημεία σάρωσης δύο επιφάνειες που απέχουν 10cm & 60cm από το ακροφύσιο (καταγραφή στα Φ1.X).
- Σχεδιάστε το προφίλ ταχυτήτων στις οριζόντιες και κατακόρυφες θέσεις εξάγοντας τελικά 4 κατακόρυφα προφίλ και 4 οριζόντια.
- Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

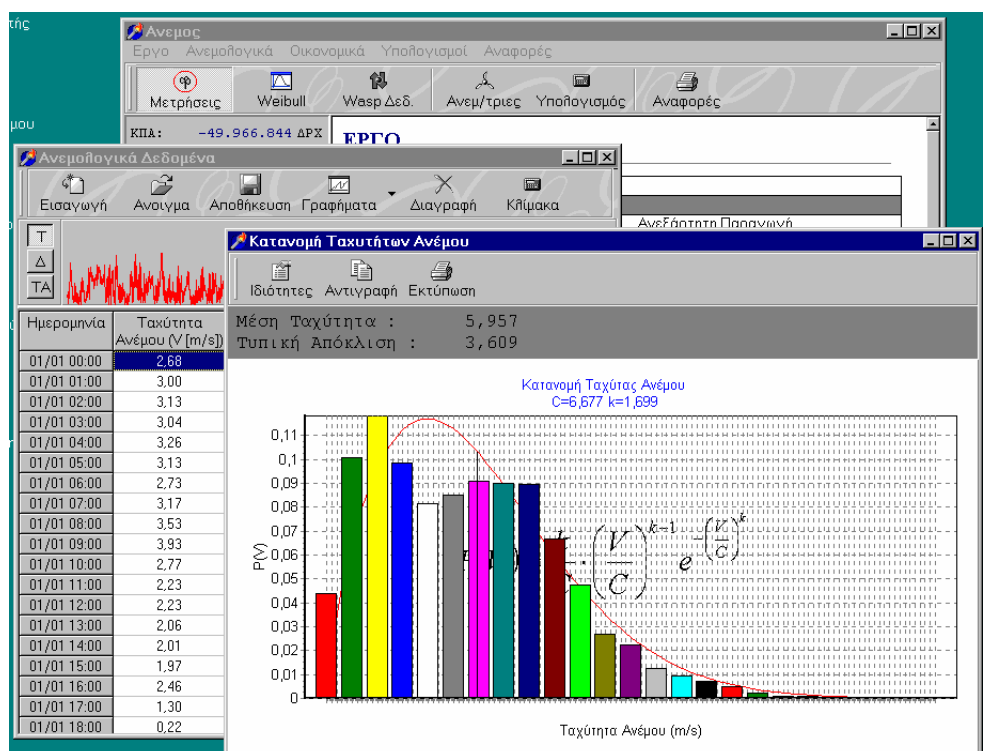
Φ1.1	Εργαστηριακή άσκηση « Αεροσήραγγα»			
f=	Απόσταση από ακροφύσιο = 10cm			
5,5	15,5	25,5	35,5	
-----	-----	-----	-----	
5,15	15,15	25,15	35,15	
-----	-----	-----	-----	
5,25	15,25	25,25	35,25	
-----	-----	-----	-----	
5,35	15,35	25,35	35,35	
-----	-----	-----	-----	

Φ1.2	Εργαστηριακή άσκηση « Αεροσήραγγα»			
f=	Απόσταση από ακροφύσιο = 60cm			
5,5	15,5	25,5	35,5	
-----	-----	-----	-----	
5,15	15,15	25,15	35,15	
-----	-----	-----	-----	
5,25	15,25	25,25	35,25	
-----	-----	-----	-----	
5,35	15,35	25,35	35,35	
-----	-----	-----	-----	

1.3. ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Το λογισμικό τεχνοοικονομικής ανάλυσης επενδύσεων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από αιολική ενέργεια ονομάζεται «ANEMΟΣ» και παρουσιάζεται παρακάτω.

1.3.a Πρόλογος



1.3.b Τι είναι ο “ANEMΟΣ”

Το λογισμικό πακέτο “ANEMΟΣ” είναι ένα εργαλείο υποστήριξης επενδυτικών αποφάσεων σχεδιασμού Α/Γ, μελετών σκοπιμότητας, ανάλυσης ανεμολογικών στοιχείων, καθορισμού Α/Γ, και τεχνοοικονομικής ανάλυσης Αιολικών συστημάτων.

1.3.c Τι περιλαμβάνει ...

- Ανάλυση Ανεμολογικών Στοιχείων
- Βάση Δεδομένων Α/Γ
- Οικονομικό Μοντέλο Αξιολόγησης Αιολικών Επενδύσεων
- Ισχυρό μηχανισμό δημιουργίας - διαχείρισης Αναφορών

I.3.d Εισαγωγικές έννοιες

◆ α) Ανεμολογικά Δεδομένα

⇒ Συλλογή Δεδομένων

Ανεμογράφος λέγεται το όργανο με το οποίο μετρούμε το αιολικό δυναμικό. Αποτελείται από ένα αισθητήριο ταχύτητας και ένα αισθητήριο διεύθυνσης.

Οι ανεμογράφοι μετρούν την ταχύτητα του ανέμου και την οριζόντια διεύθυνσή του σε μικρά χρονικά διαστήματα (συνήθως 1 δευτερόλεπτο) και καταγράφουν στην μνήμη τους την μέση τιμή της ταχύτητας, την επικρατούσα διεύθυνση ανά τακτά χρονικά διαστήματα (συνήθως μία ώρα ή 10 λεπτά) καθώς και την τυπική απόκλιση που αντιστοιχεί στο διάστημα καταγραφής.

Η μνήμη του ανεμογράφου μεταφέρεται σε αρχεία H/Y (συνήθως σε μορφή χαρακτήρων ascii και αυτά τα στοιχεία επεξεργαζόμαστε για τους υπολογισμούς του Αιολικού Δυναμικού μιας περιοχής.

Παρακάτω βλέπουμε την μορφή ενός τέτοιου αρχείου:

```
DL9210 Version 02      Filename = 00730701.N99      Metric
09:58:39  08-09-1999
----- Site Information -----
-----
Site Number      :0073          # of Sensors      :1
Serial Number    :5370          Interval          :60
Model Number     :9210          Chip Socket       :1
Firmware Version :03           Left Socket       (1):8k
chip
Chip ID          :00           Right Socket      (2):NO
CHIP
SPD 1: Scale = 0.381846, Offset = 0.000000, M/S
SPD 2: Scale = 0.381846, Offset = 0.000000, M/S
SPD 3: Scale = 0.381846, Offset = 0.000000, M/S
DIR 1: Scale = 1.406250, Offset = 0.000000, Degrees
DIR 2: Scale = 1.406250, Offset = 0.000000, Degrees
ANLG : Scale = 1.000000, Offset = 0.000000, Counts
----- Start/Stop Information -----
-----
Start Time       :10:46          Stop Time         :10:38
Start Date       :07/01/99 m/d/y   Stop Date         :08/01/99 m/d/y
Start Voltage    :7.5           Stop Voltage      :6.9
----- Gust Information -----
-----
          SPD 1          SPD 2          SPD 3
Speed      : 18 M/S      0 M/S          0 M/S
Direction  : 315 Degrees  0 Degrees      0
Degrees
Time       : 15:00      00:00          00:00
```


Η σχέση που δίνει την κατανομή Weibull είναι:

$$P(V) = \frac{k}{C} \cdot \left(\frac{V}{C}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^k} \quad \text{Εξίσωση 1}$$

όπου:

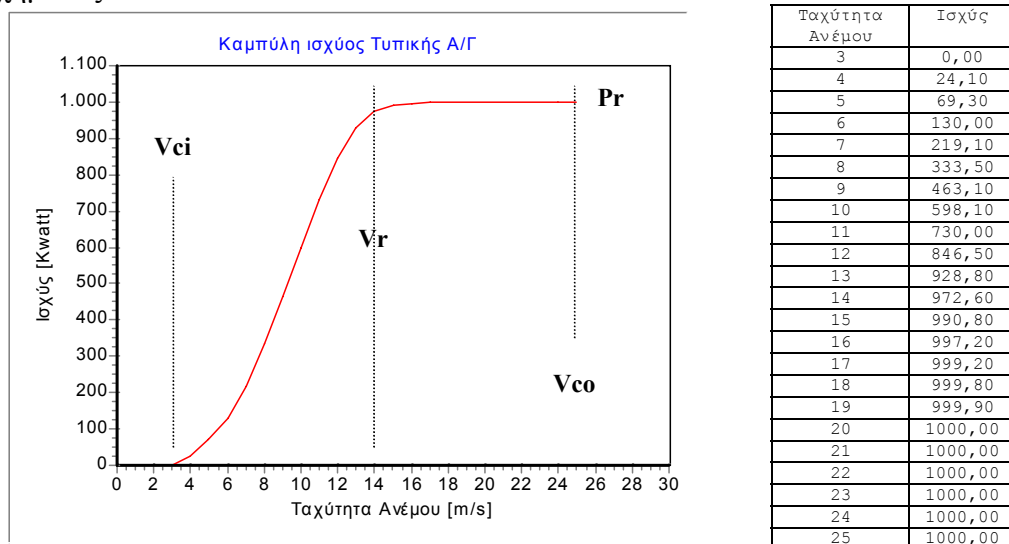
C: Η παράμετρος κλίμακας της κατανομής, σχετίζεται με την μέση τιμή του ανέμου και μετριέται σε m/s

k: Η παράμετρος μορφής της κατανομής, σχετίζεται με την μορφή της κατανομής και είναι καθαρός αριθμός.

◆ **B) Ανεμογεννήτριες - Καμπύλη Ισχύος**

Αντίθετα με όσα νομίζουν πολλοί μια ανεμογεννήτρια όταν γυρνάει δεν παράγει σταθερή ισχύ αλλά η ισχύς που παράγει εξαρτάται από την ένταση του Ανέμου.

Η καμπύλη ισχύος μας δίνει την παραγωγή της ανεμογεννήτριας στην μονάδα του χρόνου σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου. Συνήθως δίνεται από την κατασκευάστρια εταιρεία σε μορφή πίνακα και έχει την μορφή του παρακάτω σχήματος.



Εικόνα I.3-2. Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

Οι παρακάτω αριθμοί χαρακτηρίζουν την καμπύλη ισχύος:

Ταχύτητα Έναρξης (Vci), είναι η ταχύτητα ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει ισχύ. Η τιμή της είναι συνήθως 3-5 m/s (μέτρα το δευτερόλεπτο).

Ονομαστική Ταχύτητα Λειτουργίας (Vr) είναι η ταχύτητα ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια παράγει την ονομαστική της ισχύ, συνήθως 12-15 m/s

Ταχύτητα Αποκοπής (Vco), Είναι η ταχύτητα στην οποία η ανεμογεννήτρια σταματά την λειτουργία της και συνεπώς την παραγωγή ισχύος για λόγους ασφαλείας, συνήθως 20-25 m/s.

Ονομαστική Ισχύς (Pr): Είναι η ισχύς της ανεμογεννήτριας που αναφέρεται από τον κατασκευαστή και συνήθως είναι το υψηλότερο σημείο της καμπύλης ισχύος.

◆ Γ) Επενδύσεις σε Αιολικά συστήματα

Σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία στην Ελλάδα μπορούν να πραγματοποιηθούν δύο ειδών επενδύσεις σε αιολικά συστήματα:

A) Επένδυση **αυτοπαραγωγής** είναι η επένδυση στην οποία η ενέργεια που παράγεται συμψηφίζεται με καθορισμένο τρόπο (βλ. Παράρτημα Νομοθεσία) με την ενέργεια που καταναλώνει ο αυτοπαραγωγός σε άλλα συστήματά του, και σε περίπτωση περίσσειας αυτή τιμάται με συγκεκριμένο τίμημα

B) **Ανεξάρτητη παραγωγή** σ' αυτήν την περίπτωση ο παραγωγός διαθέτει το σύνολο της παραγωγής του στον "Διαχειριστή συστήματος" = Δ.Ε.Η και το τίμημα της ενέργειας καθορίζεται επακριβώς από την κείμενη νομοθεσία.

◆ Δ) Αξιολόγηση Επενδύσεων

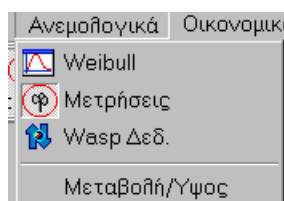
Είναι οι μέθοδοι, που θα μας επιτρέψουν να σταθμίσουμε τα τεχνικά στοιχεία (Ανεμολογικά, καμπύλες ισχύος κτλ) με τα οικονομικά (κόστος επένδυσης, χρηματοδοτήσεις αποσβέσεις κτλ) ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή επιλογή.

Χρησιμοποιούνται τέσσερις οικονομικοί δείκτες για την επιλογή:

- Ο **Χρόνος Αποπληρωμής** είναι ο χρόνος που απαιτείται για να συγκεντρωθούν από τα έσοδα του συστήματος τα κεφάλαια που επενδύθηκαν.
- Η **Καθαρή Παρούσα αξία** είναι σύνολο των εσόδων της επένδυσης ανοιγμένο στην παρούσα χρονική στιγμή.
- Ο **Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης** εκφράζει σε επιτόκιο την ετήσια απόδοση του κεφαλαίου που επενδύθηκε.
- Το **Κόστος Παραγωγής** εκφράζει την έννοια του νεκρού σημείου, δηλ το ελάχιστο τίμημα της ενέργειας ώστε η επένδυση να είναι οικονομικά βιώσιμη.

I.3.e Εισαγωγή Ανεμολογικών Στοιχείων

Ο ΑΜΕΜΟΣ επεξεργάζεται τριών ειδών ανεμολογικά στοιχεία:

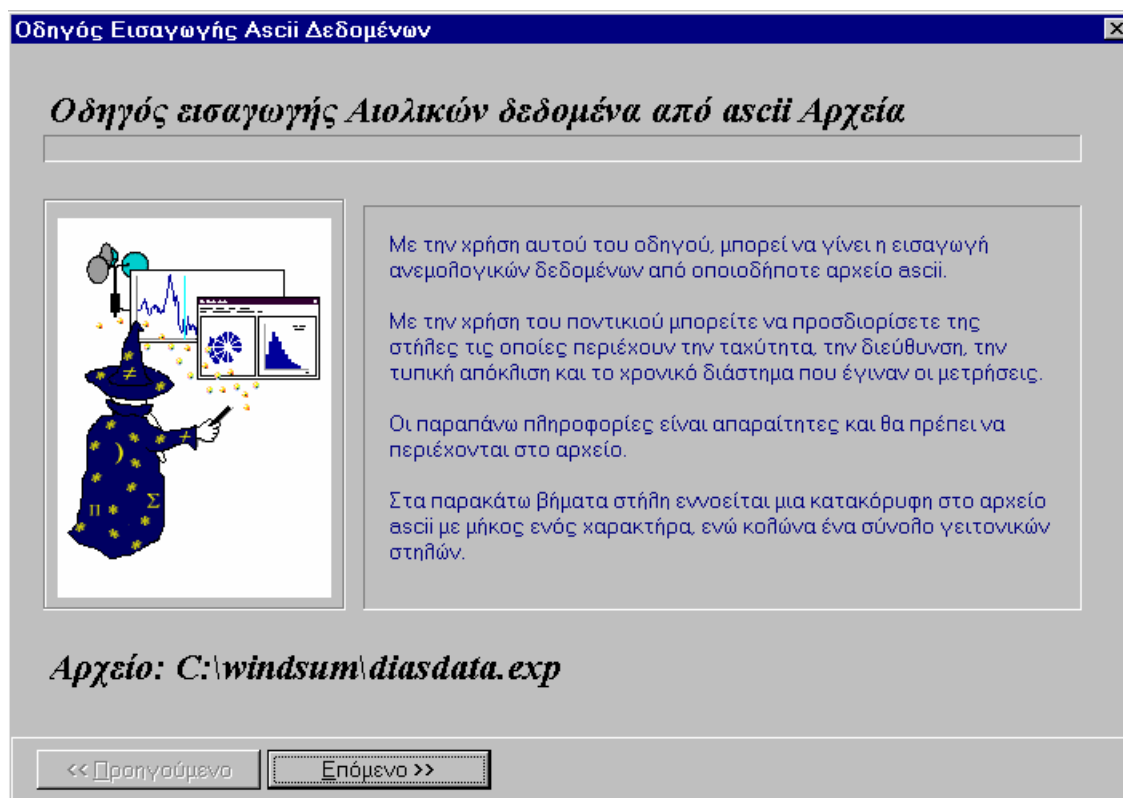


Χρονοσειρά μετρήσεων
Απλή Καμπύλη Weibull και
Δεδομένα επεξεργασμένα από το λογισμικό WasP.

Εικόνα I.3-3

Η επιλογή του είδους των ανεμολογικών στοιχείων γίνεται είτε από την οριζόντια γραμμή εντολών είτε από το μενού επιλογής.

Στην περίπτωση που έχουμε χρονοσειρά μετρήσεων, οι μετρήσεις αυτές έρχονται συνήθως σε αρχεία ascii και η εισαγωγή τους στο πρόγραμμα μπορεί να γίνει με την χρήση του “*Οδηγού εισαγωγής Ascii Αρχείων*” σε έξι (6) βήματα, προσδιορίζοντας σε κάθε βήμα τις στήλες που αντιπροσωπεύουν την ταχύτητα του ανέμου, την διεύθυνση, την τυπική απόκλιση, την ημερομηνία και την ώρα της μέτρησης.



Εικόνα I.3-4. Οδηγός εισαγωγής Ascii Αρχείων.

Στην συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε κάποια πρώτα στατιστικά της χρονοσειράς είτε από την επιλογή “Μετρήσεις” είτε από τις “Εκτυπώσεις/Αναφορές”, και να υπολογίσουμε της παραμέτρους της κατανομής **Weibull**.

Οι μονάδες που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για την ταχύτητα και την τυπική απόκλιση είναι (m/s) για την διεύθυνση (μοίρες).

Για τον σωστό υπολογισμό θα πρέπει οι μετρήσεις να συμπληρώνουν ένα πλήρες έτος (8760 ώρες)

Οι μετρήσεις παρουσιάζονται σε ένα γρήγορο γράφημα στην κορυφή του σχετικού διαλόγου ώστε να είναι εύκολος ο εντοπισμός λανθασμένων μετρήσεων. Η εναλλαγή όσον αφορά το τι παρουσιάζεται στο γράφημα γίνεται με τα κουμπάκια **T** (Ταχύτητα), **Δ** (Διεύθυνση), **TA** (Τυπική απόκλιση) που φαίνονται στο σχήμα.

Μια σημαντική παράμετρος που θα πρέπει να οριστεί γιατί έχει μεγάλη επίδραση στους υπολογισμούς, είναι η μεταβολή της ταχύτητας σε σχέση με την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους. Χρησιμοποιούνται δυο μέθοδοι η μέθοδος της τραχύτητας (λογαριθμικός νόμος) και η μέθοδος του 1/7 (εκθετικός νόμος) βλ. Παράρτημα συνοπτικό τυπολόγιο. Ο ορισμός της μεθόδου που θα ακολουθηθεί και οι παραμέτροι που χρειάζονται ορίζονται στον σχετικό διάλογο.

Μεταβολή / Ύψος

Μεταβολή του Ανέμου με το ύψος

Να μην γίνεται υπολογισμός

Ύψος Ανεμομέτρου (Z1): 10.00 m

Νόμος της τραχύτητας

Συντελεστής Τραχύτητας (Z0): 0.10 m

Νόμος του 1/7

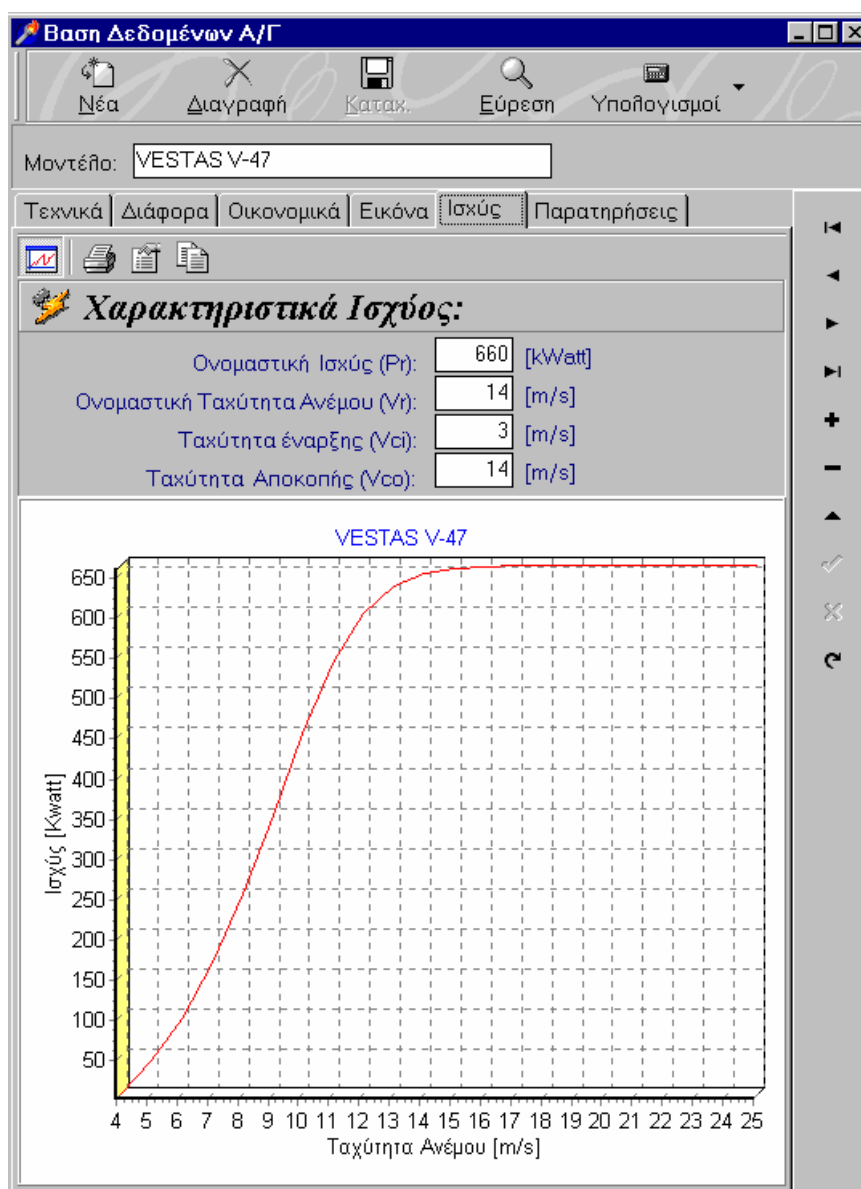
Εκθέτης: 0.17

Ακυρο Εντάξει

Εικόνα I.3-5. Παράμετροι υπολογισμού ταχύτητας.

Εκτός από την χρονοσειρά μετρήσεων το πρόγραμμα μπορεί να επεξεργαστεί μια απλή κατανομή Weibull ή επεξεργασμένα δεδομένα από το λογισμικό WASP. Τα δεδομένα Wasp αφορούν χωροθετημένα αιολικά πάρκα (*.rsf) ή απλή θέση Α/Γ. Σ' αυτήν την περίπτωση είναι προτιμότερο ο υπολογισμός της ταχύτητας του ανέμου να γίνεται στο ύψος της φτερωτής της υπό εξέταση Α/Γ. Στις δύο παραπάνω περιπτώσεις η μόνη στατιστική επεξεργασία στα ανεμολογικά δεδομένα είναι η απεικόνιση της κατανομής Weibull. Επίσης είναι δυνατόν να οριστούν οι απώλειες σε ενέργεια ως ποσοστό επί της παραγωγής, οι οποίες υπολογίζονται είτε από νεώτερες εκδόσεις του WASP είτε από το λογισμικό Park.

1.3.f Βάση Δεδομένων Α/Γ



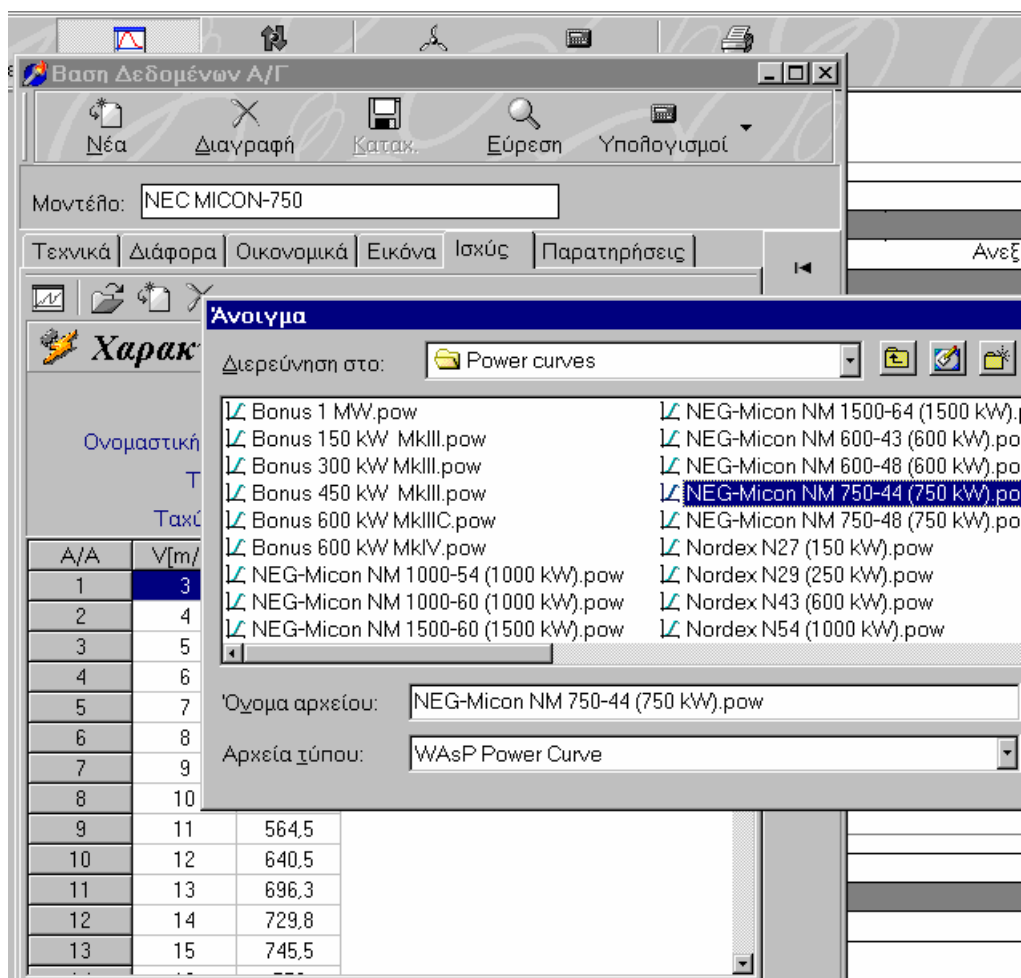
Εικόνα 1.3-6. Βάση δεδομένων Καμπύλων ισχύος Α/Γ

Στην βάση δεδομένων του προγράμματος είναι καταχωρημένες οι συνηθέστερες ανεμογεννήτριες της αγοράς, τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά η καμπύλη ισχύος της κάθε μιας, στοιχεία κόστους μια φωτογραφία και παρατηρήσεις σχετικά με το μοντέλο. Η βάση δεδομένων δεν είναι στατική αλλά μπορεί να εμπλουτιστεί από τον χρήστη του προγράμματος με νέα στοιχεία. Στο διάλογο της βάσης δεδομένων μπορεί να γίνει ένας πρώτος υπολογισμός για την παραγωγή του συγκεκριμένου μοντέλου στα ανεμολογικά στοιχεία που έχουν καταχωρηθεί στο πρόγραμμα.

Με την επιλογή Υπολογισμοί / Δοκιμή Weibull μπορούμε να δούμε πως συμπεριφέρεται το κάθε μοντέλο για διαφορές παραμέτρους της κατανομής.

Η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας αποτελείται από ζεύγη τιμών (V,P) με πρώτη τιμή την ταχύτητα έναρξης και τελευταία τιμή την ταχύτητα αποκοπής.

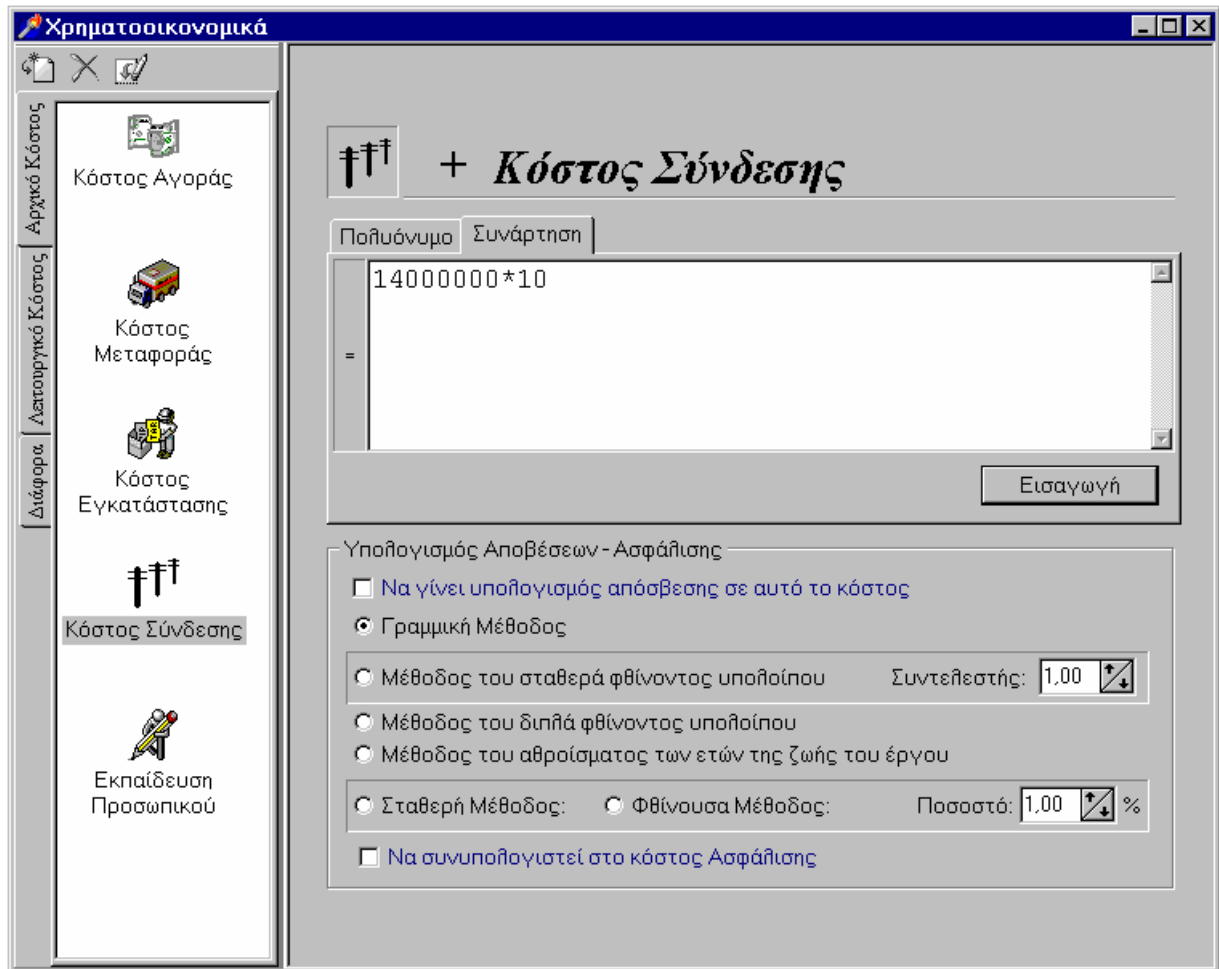
Είναι δυνατόν να γίνει εισαγωγή καμπύλης από τα αντίστοιχα αρχεία του WASP (*.pow), η εισαγωγή γίνεται με την χρήση του κουμπιού εισαγωγής στην καρτέλα "Ισχύς".



Εικόνα Ι.3-7. Εισαγωγή Καμπύλης Ισχύος από το WASP

1.3.g Έργο – Χρηματοοικονομικά

Εκτός από τα τεχνικά στοιχεία του έργου, για τον πλήρη υπολογισμό της οικονομικότητας του έργου θα πρέπει να γίνει εισαγωγή στο πρόγραμμα των κοστολογίων του αιολικού πάρκου, των τιμολογίων πώλησης και αγοράς ενέργειας των ετήσιων μεταβλητών εξόδων - εσόδων (πλην πώλησης ενέργειας) κατά τη λειτουργία του πάρκου και άλλων οικονομικών παραμέτρων (π.χ. συντελεστής φορολογίας, ρυθμός αύξησης τιμήματος ηλεκτρικής ενέργειας κ.τ.λ).



Εικόνα 1.3-8. Αρχικά κόστη επένδυσης.

Όλα τα αρχικά κόστη (ακόμα και το κόστος αγοράς) της επένδυσης εισάγονται στον παραπάνω διάλογο στην καρτέλα “**Αρχικό κόστος**” με την μορφή είτε πολυωνύμου είτε σταθερής τιμής (πολυώνυμο με ένα συντελεστή α0) είτε ως συνάρτηση με γνωστές μεταβλητές:

Τον αριθμό των ανεμογεννητριών (WG).

Την ονομαστική ισχύ ανά Α/Γ (PR).

Την ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας της Α/Γ (VR) ή

Το κόστος αγοράς ανά Α/Γ (buyCost).

Επίσης θα πρέπει μέσω αυτού του διαλόγου να καθοριστεί αν θα γίνεται απόσβεση σ' αυτό το κόστος, την μέθοδο² με την οποία θα υπολογιστεί το προς απόσβεση ποσό και αν αυτό το ποσό θα συμπεριληφθεί στον υπολογισμό του κόστους ασφάλισης. (σημ. το κόστος ασφάλισης συνήθως υπολογίζεται ως ποσοστό επί του συνολικού κόστους).

Με τον ίδιο τρόπο περιγράφονται και το ετήσιο λειτουργικό κόστος του πάρκου στην καρτέλα “**Λειτουργικό κόστος**” ενώ επιπλέον θα πρέπει να οριστεί ο ρυθμός αύξησης του κάθε επιμέρους κόστους, π.χ. είναι λογικό ότι η δαπάνη μισθοδοσίας θα αυξάνεται ετήσια με ρυθμό τουλάχιστον ίσο με τον πληθωρισμό και αυτό θα πρέπει να οριστεί στο πρόγραμμα.

Στην καρτέλα “**Διάφορα**” ορίζονται:

Ο αναμενόμενος ρυθμός αύξησης του τιμήματος της ενέργειας, και ο τρόπος χρηματοδότησης του έργου, αν δηλαδή μέρος του αρχικού κόστους θα προέλθει από δανεισμό με τι επιτόκιο και ποια θα είναι η διάρκεια αποπληρωμής, και αν υπάρξει κρατική επιχορήγηση σε τι ποσοστό επί της αρχικής δαπάνης και αν τα ποσά που θα προέλθουν από την επιχορήγηση θα συνυπολογιστούν στις αποσβέσεις.

◆ **Ιδιότητες έργου**

Στον διάλογο αυτόν ορίζονται το είδος του σχεδιαζόμενου έργου (αυτοπαραγωγή ή ανεξάρτητη παραγωγή), ο επενδυτής το επιτόκιο προεξόφλησης (αναγωγής) του επενδυτή η αναμενόμενη διάρκεια ζωής του αιολικού πάρκου, ο συντελεστής φορολογίας και αναμενόμενοι ετήσιοι συντελεστές:

Διαθεσιμότητας, ορίζεται ως το ποσοστό του χρόνου που το πάρκο είναι διαθέσιμο για παραγωγή ενέργειας (δεν είναι σταματημένο για λόγους συντήρησης ή για άλλους τεχνικούς λόγους).

Απωλειών το ποσοστό της ενέργειας που χάνεται στην γραμμή μεταφοράς από το πάρκο μέχρι της γραμμής μεταφοράς της Δ.Ε.Η. για τον υπολογισμό του υπάρχει ειδική διαδικασία στο μενού υπολογισμός, το οποίο υπολογίζει τις απώλειες σε σχέση με την καμπύλη ισχύος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γραμμής μεταφοράς.

Διείσδυσης το ποσοστό της ενέργειας που μπορεί να απορροφηθεί από την ΔΕΗ για ετήσιως.

◆ **Υπολογισμοί**

Αφού εισάγουμε τα ανεμολογικά στοιχεία ορίσουμε τα κοστολόγια, τα μεταβλητά κόστη, και τις λοιπές παραμέτρους της επένδυσης, όπως αναφέρθηκαν προηγουμένα μπορούμε να κάνουμε τον οικονομικό υπολογισμό δηλαδή να υπολογίσουμε τους οικονομικούς δείκτες.

Ο υπολογισμός γίνεται επιλέγοντας από την βάση δεδομένων ένα μοντέλο, και αν το μοντέλο αυτό διατίθεται με διάφορα ύψη πυλών να οριστεί το ύψος του πυλώνα και τον αριθμό των προς εγκατάσταση Α/Γ.³

² Βλ. Παράρτημα Μέθοδοι υπολογισμού αποσβέσεων.

³ Σε περίπτωση Ανεμολογικών δεδομένων από Πάρκο του WASP ο αριθμός και οι θέσεις των ανεμογεννητριών εμπεριέχονται στο πάρκο.

Μετά τον πρώτο οικονομικό υπολογισμό μπορούμε να δούμε αν η προς εξέταση επένδυση είναι οικονομικά συμφέρουσα, και μια τέτοια επένδυση είναι συμφέρουσα όταν:

Ο χρόνος αποπληρωμής είναι μικρός <7 ετών.

Η Καθαρή παρούσα αξία είναι θετική

Το IRR είναι μεγαλύτερο από ένα μια σίγουρη απόδοση, π.χ. το επιτόκιο των έντοκων ομολόγων του δημοσίου ~ 10%.

Μετά τον πρώτο υπολογισμό γίνεται η ανάλυση ευαισθησίας, για να δούμε πως συμπεριφέρονται οι οικονομικοί δείκτες με την αλλαγή των παραμέτρων της επένδυσης.

	Από	Εως	Βήματα	
<input checked="" type="checkbox"/> Weibull (C)	5,00 m/s	-50	50	10
<input checked="" type="checkbox"/> Αρχικό Κόστος	136.000.000 Δρχ	-50	50	10
<input checked="" type="checkbox"/> Διάρκεια Ζωής	20 Έτη	-50	50	10
<input checked="" type="checkbox"/> Επιτόκιο Αναγωγής	8,00 %	-50	50	10
<input checked="" type="checkbox"/> Διαθεσιμότητα Εξοπλισμού	97,00 %	-50	3	10

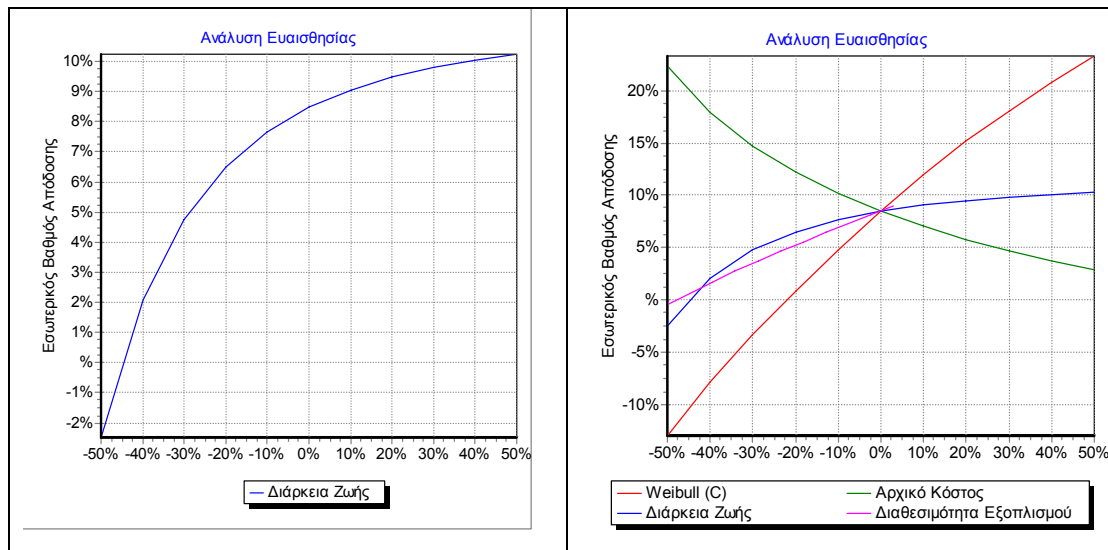
Εικόνα I.3-9. Ανάλυση Ευαισθησίας

Στα πλαίσια ορίζουμε την ελάχιστη και την μέγιστη ποσοστιαία μεταβολή για την κάθε παράμετρο, και τον αριθμό των βημάτων μεταβολής της κάθε παραμέτρου. Για παράδειγμα για την διάρκεια ζωής η μεταβολή από -50% έως 50% σε δέκα βήματα σημαίνει ότι θα υπολογιστούν οι οικονομικοί δείκτες για τις ακόλουθες τιμές

Διάρκεια Ζωής	Διάρκεια Ζωής
-50%	10,00
-40%	12,00
-30%	14,00
-20%	16,00
-10%	18,00
0%	20,00
+10%	22,00
+20%	24,00
+30%	26,00
+40%	28,00
+50%	30,00

Στο παρακάτω γράφημα (αριστερά) φαίνεται η μεταβολή του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR) σε σχέση με την μεταβολή της διάρκειας ζωής, αν τώρα κατά τον

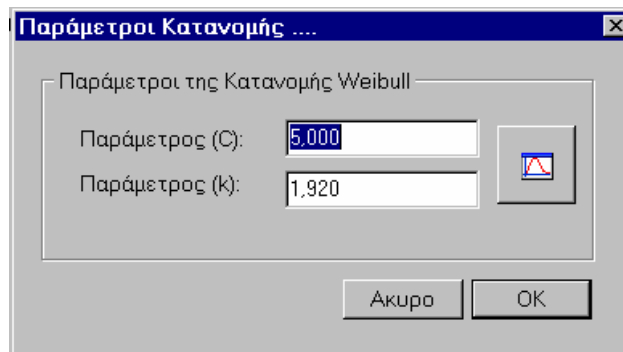
ίδιο τρόπο μεταβάλουμε και τις υπόλοιπες παραμέτρους και τις αποτυπώσουμε στο ίδιο γράφημα θα προκύψει το συνολικό γράφημα της ανάλυσης ευαισθησίας (δεξιά).



Εικόνα Ι.3-10. Μεταβολή του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR)

1.3.h Παράδειγμα

Σε δεδομένη τοποθεσία έχει μετρηθεί η ταχύτητα του ανέμου και βρέθηκαν, κατανομή weibull ($c=7.0$, $k=1.95$) να γίνει οικονομοτεχνική ανάλυση και να επιλεγεί μια ανεμογεννήτρια προς εγκατάσταση. Μέχρι πόσο είναι το μέγιστο κόστος της επένδυσης ώστε η επένδυση να είναι οικονομικά συμφέρουσα.



Σύμφωνα με τα προηγούμενα το πρώτο πράγμα που θα ορίσουμε είναι τα ανεμολογικά στοιχεία. Από το μενού *Ανεμολογικά* δίνουμε την διαταγή *Weibull* και στα πλαίσια συμπληρώνουμε τις παραμέτρους της κατανομής. Με την χρήση του κουμπιού γραφήματος μπορούμε να δούμε το γράφημα της κατανομής και να υπολογίσουμε την μέση τιμή του ανέμου στην οποία αντιστοιχεί στην κατανομή.

Στη συνέχεια θα πρέπει να ορίσουμε την τιμή πώλησης της ενέργειας. Αυτό γίνεται από την διαταγή *Τιμές πώλησης* του μενού *Οικονομικά*. Εδώ μπορούμε να ορίσουμε διαφορετικές τιμές ανάλογα με τις περιόδους του έτους, την ημέρα και την ώρα, τα οποία όμως έχουν εφαρμογή μόνο σε περίπτωση χρονοσειράς μετρήσεων. Ορίζουμε λοιπόν την ίδια τιμή για όλες τις ώρες της ημέρας 23,96 δρχ. όπως ορίζεται στην σχετική νομοθεσία (βλέπε παράρτημα).

Έπειτα θα πρέπει να ορίσουμε τα κοστολόγια τα μεταβλητά κόστη και τις υπόλοιπες οικονομικές παραμέτρους. Εξ ορισμού το πρόγραμμα ορίζει:

Το **Κόστος Αγοράς** ως πολυώνυμο με μεταβλητή το κόστος αγοράς των ανεμογεννητριών που θα επιλεγούν από την βάση Δεδομένων.

Το **Κόστος μεταφοράς**. Ως πρώτη εκτίμηση μπορούμε να δώσουμε το 5% του κόστους αγοράς, ορίζοντας τον τρόπο υπολογισμού ως πολυώνυμο με δύο συντελεστές, στον πρώτο συντελεστή (**a0**) δίνουμε 0 στον δεύτερο (**a1**) 0,05 και σαν μεταβλητή το κόστος αγοράς έτσι το κόστος μεταφοράς θα υπολογίζεται με την σχέση:

$$\text{(Κόστος Μεταφοράς)} = 0,05 \times \text{(Κόστος Αγοράς)} + 0,0$$

Το **Κόστος εγκατάστασης** κατά τον ίδιο τρόπο ως πρώτη εκτίμηση μπορεί να οριστεί στο 10% του κόστους αγοράς

Το **Κόστος σύνδεσης** εξαρτάται από την απόσταση του προς εγκατάσταση πάρκου από τις γραμμές μεταφοράς της ΔΕΗ το είδος της γραμμής που απαιτείται κ.α. Ως πρώτη εκτίμηση μπορούμε να δώσουμε 30% του κόστους αγοράς.

Στην **εκπαίδευση προσωπικού** δίνουμε σταθερό κόστος 5 εκ. δρχ που είναι το κόστος εκπαίδευσης ενός μηχανικού στην χώρα παραγωγής του μοντέλου της Α/Γ.

Εισάγουμε το κοστολόγιο **Έργα πολιτικού μηχανικού**, για τις διανοίξεις δρόμων προσπέλασης πλατείες εγκατάστασης κτλ 20% του κόστους αγοράς. Με την μέθοδο (Drag and drop) μεταφέρουμε αυτό το κοστολόγιο πριν από το κόστος σύνδεσης για να υπάρχει σωστή σειρά εμφάνισης των κοστολογίων.

Και τέλος θα πρέπει να προσθέσουμε μια επιπλέον παράμετρο στον υπολογισμό του κόστους, **τα απρόβλεπτα** ως 10% του κόστους αγοράς.

Για όλα τα κόστη επιλέγουμε δίνουμε “*Να γίνει υπολογισμός απόσβεσης*” και επιλέγουμε την γραμμική μέθοδο απόσβεσης. Επίσης για όλα εκτός των απρόβλεπτων και της εκπαίδευσης προσωπικού δίνουμε “*να συνυπολογιστεί στο κόστος ασφάλισης*”.

Στα λειτουργικά κόστη, με την μέθοδο του πολυωνύμου ορίζουμε τα παρακάτω:

Κόστος Συντήρησης 2% του συνολικού κόστους.

Κόστος Προσωπικού 5.000.000 δρχ. ετησίως

Κόστος Ασφάλισης 1% του προς ασφάλιση κόστους.

Προς ασφάλιση κόστος είναι το σύνολο όσων επιμέρους κοστολογίων έχουν την ένδειξη “*Να συνυπολογιστεί στο κόστος ασφάλισης*”.

Είμαστε έτοιμοι να κάνουμε τον πρώτο υπολογισμό των οικονομικών δεικτών, με την χρήση της διαταγής “**Υπολογισμός**”.

Εκτελούμε και τους υπολογισμούς ανάλυση ευαισθησίας, κόστος παραγωγής και στην συνέχεια τυπώνουμε με την διαταγή αναφορές τυπώνουμε την **Αναφορά Έργου** στην οποία φαίνονται όλα οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό.

Για να τυπώσουμε τα γραφήματα ανάλυσης ευαισθησίας με μεγαλύτερη ευκρίνεια. Από τις αναφορές / οικονομικά επιλέγουμε ανάλυση ευαισθησία και στον διάλογο

Εκτύπωση διαμορφώνουμε τις επιλογές της εκτύπωσης. Για να εντοπίσουμε το μέγιστο κόστος ώστε να είναι οικονομικά συμφέρουσα η επένδυση παρατηρούμε σε ποιο σημείο η καθαρή παρούσα αξία γίνεται μηδενική.

Ερωτήσεις-Ασκήσεις

Στον κατάλογο παραδείγματα, υπάρχει χρονοσειρά μετρήσεων με το όνομα sample.dat να γίνει οικονομοτεχνική ανάλυση όπως στο παράδειγμα. Να εξεταστεί η περίπτωση αυτοπαραγωγής αν οι ανάγκες του επενδυτή είναι σε καθημερινή βάση (πλην Σαββάτου και Κυριακής) 2000 KW.

Να γίνει εισαγωγή στην βάση δεδομένων της παρακάτω ανεμογεννήτριας και να υπολογιστεί η απόδοση (capacity factor) σε σχέση με την μέση τιμή του ανέμου (στο ύψος του πυλώνα).

Nordex N43 (600 kW)

3.0	2.0
4.0	17.0
5.0	45.0
6.0	72.0
7.0	124.0
8.0	196.0
9.0	277.0
10.0	364.0
11.0	444.0
12.0	533.0
13.0	584.0
14.0	618.0
15.0	619.0
16.0	618.0
17.0	619.0
18.0	620.0
19.0	610.0
20.0	594.0
21.0	592.0
22.0	590.0
23.0	580.0
24.0	575.0
25.0	570.0

Power curve supplied by:
Nordex Balcke-Dórr GmbH
Svindbaek
DK-7323 Give, Denmark
Phone +45 75 73 44 00
Fax +45 75 73 41 47
Email nordex@nordex.dk

Αν στο παράδειγμα η μέθοδος υπολογισμού αποσβέσεων γίνει μέθοδος του διπλά φθίνοντος υπολοίπου παρατηρούμε αύξηση της καθαρής παρούσας αξίας και του IRR γιατί συμβαίνει αυτό; Εφαρμόστε διαφορετικές μεθόδους απόσβεσης για κάθε κοστολόγιο και παρατηρήστε της μεταβολές. Εξηγήστε τον πίνακα υπολογισμού αποσβέσεων.

Μετά από νέα εκτίμηση το κόστος συντήρησης του αιολικού πάρκου στο παράδειγμα είναι 4.000.000 δρχ ετησίως αυξανόμενο 2% ετησίως, πως επηρεάζει η μεταβολή αυτή τους οικονομικούς δείκτες.

Στο φάκελο παραδείγματα υπάρχει ένα χωροθετημένο αιολικό πάρκο (sample.rsf) να υπολογιστούν οι αποδόσεις του αν οι απώλειες από τις αλληλεπιδράσεις των ανεμογεννητριών είναι όπως στον παρακάτω πίνακα

C1	1,7%
C2	2,7%
C3	3,4%
C4	3,0%
C5	2,0%
C6	4,2%
C7	7,4%
C8	9,3%
C9	8,0%

Να υπολογιστούν οι αποδόσεις του πάρκου αν για λόγους ασφαλείας η Α/Γ σταματά να λειτουργεί στα 18 m/s.

◆ **Συντομεύσεις**

A/Γ	Ανεμογεννήτρια
Vci	Ταχύτητα έναρξης Λειτουργίας Α/Γ
Vco	Ταχύτητα αποκοπής Λειτουργίας Α/Γ
Vr	Ονομαστική Ταχύτητα Λειτουργίας Α/Γ
Pr	Ονομαστική Ισχύς Α/Γ
ΚΠΑ	Καθαρή παρούσα Αξία
IRR	Εσωτερικός βαθμός Απόδοσης
ΧΑΠ	Χρόνος Αποπληρωμής
ΚΠΑΡ	Κόστος Παραγωγής

1.3.i Παράρτημα: Μέθοδοι υπολογισμού αποσβέσεων

◆ **Γραμμική μέθοδος**

Με την γραμμική μέθοδος το κόστος του παγίου κατανέμεται σε όλη την διάρκεια της ζωής του έργου. Το ποσό της ετήσιας απόσβεσης είναι:

$$\frac{\text{Κόστος}}{\text{(Διάρκεια Ζωής του έργου)}}$$

◆ **Μέθοδος του σταθερά φθίνοντος υπολοίπου**

Η μέθοδος του σταθερά φθίνοντος υπολοίπου υπολογίζει την απόσβεση με επιταχυνόμενο ρυθμό. Η απόσβεση είναι μεγαλύτερη κατά την πρώτη περίοδο και μειώνεται στις επόμενες περιόδους. Η μέθοδος χρησιμοποιεί τον εξής τύπο για τον υπολογισμό της απόσβεσης σε μια χρονική περίοδο:

$$\frac{\text{Κόστος} - (\text{συνολική απόσβεση προηγούμενων περιόδων}) * \text{Συντελεστής}}{\text{(Διάρκεια Ζωής του έργου)}}$$

◆ **Μέθοδος του διπλά φθίνοντος υπολοίπου**

Είναι η ίδια ακριβώς μέθοδος με την παραπάνω με τον συντελεστή να έχει την τιμή 2. Μέθοδος του αθροίσματος της σειράς ζωής του έργου

Αποδίδει την απόσβεση παγίου σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, βάσει του χρόνου ζωής του. Είναι επίσης επιταχυνόμενη μέθοδος και ο τύπος υπολογισμού της ετήσιας απόσβεσης είναι:

$$\frac{\text{Κόστος} * (\text{Διάρκεια Ζωής} - \text{Περίοδος} + 1) * 2}{(\text{Διάρκεια Ζωής}) * (\text{Διάρκεια Ζωής} + 1)}$$

◆ **Σταθερή μέθοδος**

Με την μέθοδο αυτή ένα σταθερό ποσοστό αποσβένεται κάθε χρόνο μέχρι την πλήρη απόσβεση του παγίου.

◆ **Φθίνουσα μέθοδος**

Και πάλι η ετήσια απόσβεση υπολογίζεται με ποσοστό με την διαφορά, ότι υπολογίζεται επί του αναπόσβεστου υπολοίπου, έτσι και αυτή η μέθοδος είναι επιταχυνόμενη. Όταν το αναπόσβεστο ποσό γίνει λιγότερο από το 10% του αρχικού το ποσό αυτό μπορεί να αποσβεστεί εξ' ολοκλήρου.

Παράρτημα: Συνοπτικό Τυπολόγιο

Ανεμολογικά δεδομένα

I.3.j Καμπύλη διάρκειας της Weibull:

$$P(U \geq V) = e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^k} \quad (1)$$

Οπου:

C : Η παράμετρος Κλίμακας

k: Η παράμετρος Μορφής

Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας

$$P(V) = \frac{k}{C} \cdot \left(\frac{V}{C}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^k} \quad (2)$$

Μέση τιμή:

$$V_m = C \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (3)$$

Διασπορά:

$$\sigma^2 = C^2 \cdot \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^2 \right\} \quad (4)$$

Οπου:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} \cdot e^{-t} \cdot dt \quad \text{η συνάρτηση Γάμα}$$

Υπολογισμός των k,C της κατανομής Weibull

Από την καμπύλη διάρκειας της κατανομής Weibull

$$P(U \geq V) = e^{-\left(\frac{V}{C}\right)^k} \quad (5)$$

Λογαριθμίζοντας παίρνουμε:

$$\text{Ln}(P) = -\left(\frac{V}{C}\right)^k \quad (6)$$

και αν ξαναλογαριθμήσουμε:

$$\text{Ln}(-\text{Ln}(P)) = \text{Ln}\left(\frac{V}{C}\right)^k = k \cdot (\text{Ln}(V) - \text{Ln}(C)) = k \cdot \text{Ln}(V) - k \cdot \text{Ln}(C) \quad (7)$$

Θέτοντας:

$$Y = \text{Ln}(-\text{Ln}(P)) \quad (8)$$

$$X = \text{Ln}(V) \quad (9)$$

$$B = -k \cdot \text{Ln}(C) \quad (10)$$

Η εξίσωση (7) γίνεται :

$$Y = k \cdot X + B \quad (8)$$

Αν σχηματίσουμε από τα δεδομένα ένα πίνακα της μορφής

V_i	$P(U \geq V_i)$
1	94,74%
2	86,18%
3	74,93%
4	63,14%
5	52,72%
...	...

Από την σχέση (7) μπορούμε με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων να υπολογίσουμε τα k, B και έπειτα το C από την σχέση (10):

$$C = e^{\left(\frac{-B}{k}\right)} \quad (11)$$

Μεταβολή της τραχύτητας του ανέμου με το ύψος:

α) Λογαριθμικός νόμος

$$V_z = V_H \cdot \frac{\text{Ln}\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\text{Ln}\left(\frac{H}{z_0}\right)} \quad (12)$$

I.3.k β) Εκθετικός Νόμος (1/7)

$$V_z = V_H \cdot \left(\frac{z}{H}\right)^\alpha \quad (13)$$

Οπου:

H: Το ύψος του ανεμογράφου (m)

z: Το ύψος στο οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα (m)

z₀ Η τραχύτητα του εδάφους (m)

V_H Η ταχύτητα σε ύψος (H) (m/s)

V_z Η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος (z) (m/s)

I.3.l Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ

$$E = \sum_{t=1}^N F(V) \cdot \Delta t \quad (14)$$

Οπου:

F(V): Η συνάρτηση που περιγράφει την Καμπύλη ισχύος της Α/Γ (V σε m/s και F(V) σε Kwatt).

N: Ο αριθμός των μετρήσεων στο έτος. (8760 για ωριαίες μετρήσεις)

Δt Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο μετρήσεων (Ωρες)

I.3.m Οικονομικές Συναρτήσεις

♦ Χρηματοροή παρόντος, σε χρηματοροή μέλλοντος υπό συνθήκες πληθωρισμού:

$$K_T = K_0 \cdot (1 + e)^T \quad (15)$$

Οπου:

K₀: Η τωρινή αξία της χρηματοροής

K_T: Η μελλοντική αξία της χρηματοροής

e: Πληθωρισμός

T: Η χρονική απόσταση από το παρόν (έτη)

♦ Ετήσια δόση Δανείου:

$$a = \frac{K \cdot i}{1 - \frac{1}{(1+i)^N}} \quad (16)$$

Οπου:

K: Το δανειζόμενο κεφάλαιο

i: Επιτόκιο χορηγήσεων

N: Ο αριθμός των δόσεων

Ο τόκος που εμπεριέχεται στην (t) δόση είναι:

$$T = a - \frac{a}{(1+i)^{N-t+1}} \quad (17)$$

Καθαρή παρούσα αξία επένδυσης:

$$\text{ΚΠΑ} = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (18)$$

Οπου:

C_t : Η αναμενόμενη καθαρή ταμειακή ροή που θα γίνει στο χρόνο (t)

i: Το επιτόκιο προεξόφλησης

N: Η διάρκεια ζωής της επένδυσης.

I_0 : Το αρχικό κόστος της επένδυσης.

Ο εσωτερικός ρυθμός απόδοσης (EPA ή IRR) είναι το επιτόκιο εκείνο, που μηδενίζει την παρούσα αξία της επένδυσης δηλ :

$$\sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+IRR)^t} = I_0 \quad (19)$$

I.3.n ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Το αρχικό κόστος επένδυσης I_0 ενός αιολικού πάρκου αποτελείται από το κόστος αγοράς των αιολικών μηχανών και το κόστος εγκατάστασης του.

Το αρχικό κόστος μπορεί να αναλυθεί ως εξής:

1.	Μετεωρολογικός Ιστός	Περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του Ιστού στην θέση του Πάρκου
2.	Αγορά Α/Π	Το κόστος αγοράς των μηχανών, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους των πύργων ή του κόστους κατασκευής τους εφόσον δεν αγοραστούν από την εταιρεία παραγωγής των Α/Γ
3.	Μεταφορά και Ασφάλιστρα	Μεταφορά των Α/Γ από την εταιρεία παραγωγής στην θέση εγκατάστασης του Αιολικού Πάρκου
4.	Συναρμολόγηση και Εγκατάσταση	Όλα τα έξοδα (γερανοί, εργατικά μεταφορικά γερανών) που απαιτούνται για την ανέγερση του Αιολικού Πάρκου

5.	Μετρητικές Διατάξεις	Καλωδιώσεις και Software για την παρακολούθηση της λειτουργίας του πάρκου.
6.	Ειδικός Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός	Επιπλέον εξοπλισμός για κάθε ανεμογεννήτρια. Μετασχηματιστές, γειώσεις, Αντικεραυνική προστασία, σύστημα διόρθωσης συν(φ) κτλ.
7.	Έργα Πολιτικού Μηχανικού	Εκσκαφές, επιχώσεις, διαμόρφωση πλατειών για την εγκατάσταση των Α/Γ, διάνοιξη δρόμων, κτίριο ελέγχου, έπιπλα - γραφεία κτλ.
8.	Γενικός Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός	Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που απαιτείται για όλο το πάρκο
9.	Σύνδεση με το Δίκτυο	Γραμμή μεταφοράς ενέργειας και κόστος υποσταθμού.
10.	Μελέτες & Αδειες	Όλες οι μελέτες, οι άδειες και τα παράβολα που απαιτούνται μέχρι και την άδεια λειτουργίας του πάρκου.
11.	Εκπαίδευση Προσωπικού	Το κόστος εκπαίδευσης του προσωπικού που θα αναλάβει την συντήρηση και την επίβλεψη του Αιολικού πάρκου
12.	Απρόβλεπτα	Υπολογίζονται σε 5% όλων των παραπάνω για τυχόν δαπάνες που θα προκύψουν στην πορεία εκτέλεσης του έργου

I.3.ο ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ

Οι σημαντικότερες λειτουργικές δαπάνες ενός αιολικού πάρκου είναι οι παρακάτω:

Δαπάνες συντήρησης, ανταλλακτικά - Έξοδα τακτικού Service

Δαπάνες Ασφάλισης.

Το κόστος ασφάλισης καθορίζεται από τις ασφαλιστικές εταιρίες και διαφέρει από εγκατάσταση σε εγκατάσταση και τους όρους του ασφαλιστηρίου. Μια πρώτη εκτίμηση του κόστους ασφάλισης είναι της τάξης 1% του κόστους της εγκατάσταση που επιδέχεται ασφάλιση (Μετεωρολογικός ιστός, Αγορά Α/Π, Μετρητικές διατάξεις, Ειδικός Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός, Έργα Πολιτικού Μηχανικού, Γενικός Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός και σύνδεση με το δίκτυο).

Δαπάνες μισθοδοσίας εργαζομένων.

Κόστος μισθοδοσίας ειδικευμένου προσωπικό (1-2 άτομα) που θα επιβλέπει την ομαλή λειτουργία της Α/Γ.

Διάφορες δαπάνες (Δημοτικά τέλη, δαπάνες καλλωπισμού χώρων, δεντροφύτευσης κτλ).

I.3.ρ ΤΟΚΟΙ-ΔΑΝΕΙΑ

Στην περίπτωση που μέρος της αρχικής δαπάνης προέρχεται από δανειοδότηση και οι τόκοι των δανείων υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση:

$$T = a - \frac{a}{(1+i)^N} \quad \text{Σχέση A}$$

Οπου: T: τόκος
i: το επιτόκιο χορηγήσεων.

N: η περίοδος της δόσης
 a: η δόση του δανείου και δίνεται από την σχέση :

$$a = \frac{K * i}{1 - \frac{1}{(1+i)^t}} \quad \text{Σχέση Β}$$

Όπου: K: το δανειζόμενο κεφάλαιο
 t: διάρκεια δανεισμού.

Οι τόκοι των δανείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί το ποσό της ετήσιας επιδότησης επιτοκίου για τα τέσσερα πρώτα χρόνια όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

I.3.q ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ

Με τις αποσβέσεις κατανέμεται το κόστος του πάγιου περιουσιακού στοιχείου σε όλα τα χρόνια της ωφέλιμης ζωής του. Οι αποσβέσεις είναι ένα έξοδο που δεν συνεπάγεται την πληρωμή μετρητών, αλλά που όμως, επηρεάζει την ροή μετρητών, επειδή μεταβάλουν το φορολογητέο ποσό.

Για τον υπολογισμό των αποσβέσεων χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι απόσβεσης και συντελεστές (βλ. Πίνακας Υπολογισμού Αποσβέσεων) ανάλογα με το προς απόσβεση κόστος σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.

Επειδή ενδεχομένως μέρος του κόστους να προέρχεται από επιδότηση το κόστος που αναλογεί στην επιδότηση μπορεί να αποσβένεται ή να μην αποσβένεται.

I.3.r ΦΟΡΟΛΟΓΙΑ

Η φορολογία υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{Φορολογία} &= \text{Συντελεστής φορολογίας} * \text{Κέρδοι Προ Φόρων} \\ &\text{Και} \\ \text{Κέρδη προ Φόρων} &= \text{Κέρδη προ αποσβέσεων Τόκων και Φόρων} \\ &\quad - \text{Αποσβέσεις} \\ &\quad - \text{Τόκοι} \end{aligned}$$

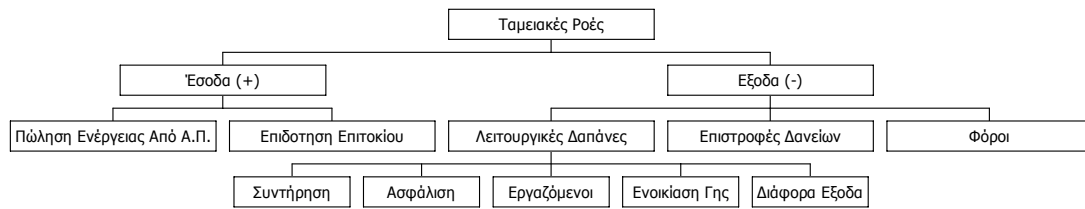
I.3.s ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Στην περίπτωση του Αιολικού πάρκου η διάρκεια της οικονομικής ζωής της επένδυσης καθορίζεται από τη διάρκεια της τεχνικής ζωής των Α/Γ , η οποία προσδιορίζεται στα 20 χρόνια.

I.3.t ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ

$$\begin{aligned} \text{Καθαρή ροή μετρητών} &= \text{Εισροή μετρητών} - \text{Εκροή μετρητών} \\ \text{Κέρδη προ Φόρων} &= \text{Έσοδα του έργου} - \text{Έξοδα εκτός αποσβέσεων} \end{aligned}$$

Ο υπολογισμός των καθαρών ταμειακών ροών έχει γίνει όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



I.3.υ Οικονομικοί δείκτες αξιολόγησης Επενδύσεων

Η οικονομική αξιολόγηση υποψηφίων έργων στον ενεργειακό τομέα επιτυγχάνεται, με τη σύγκριση του βαθμού μακροπρόθεσμης οικονομικής βιωσιμότητας κάθε εναλλακτικής λύσης, και γίνεται με οικονομικούς δείκτες ή κριτήρια.

Επειδή όπως αναφέρθηκε προηγούμενα η επένδυση θα χρηματοδοτηθεί και με επιδότηση οι οικονομικοί δείκτες που ακολουθούν, εκφράζουν την αποδοτικότητα των ιδίων κεφαλαίων της επένδυσης.

Οι δείκτες αυτοί προσδιορίζουν την οικονομικότητα μιας επένδυσης σε σχέση με τον επενδυτή και είναι:

◆ ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ (Κ.Π.Α.)

Η έννοια της Κ.Π.Α. είναι απλή: συγκρίνεται η παρούσα αξία των προβλεπόμενων καθαρών ταμειακών ροών που δίνει ένα επενδυτικό έργο με την αρχική του δαπάνη και η σύγκριση αυτή πραγματοποιείται στο χρόνο μηδέν.

Η Κ.Π.Α. δίνεται από την σχέση:

$$Κ.Π.Α. = \sum_{t=1}^N \frac{T_t}{(1+i)^t} - (I_0 - Y.A.) \quad \text{Σχέση C}$$

Όπου:

- T_t : Καθαρή ταμειακή εισροή της επένδυσης για τη χρονική περίοδο t .
- N : ο συνολικός αριθμός περιόδων της επένδυσης.
- i : το κατάλληλο επιτόκιο προεξόφλησης
- I_0 : το συνολικό κόστος επένδυσης ανοιγμένο στο χρόνο αναφοράς.
- $Y.A.$: Υπολειμματική αξία της επένδυσης.⁴

Παρατηρείται ότι είναι δυνατό να υπολογιστεί η παρούσα αξία ενός επενδυτικού έργου σε οποιαδήποτε περίοδο. Η εκτίμηση της παρούσας αξίας από την περίοδο 0 είναι δυνατόν να γίνει στην περίοδο t πολλαπλασιάζοντας την παρούσα αξία με το συντελεστή προεξόφλησης $(1+i)^{-t}$. Αυτή η παρατήρηση είναι σπουδαία διότι δείχνει ότι η χρησιμοποίηση της Κ.Π.Α. προϋποθέτει ότι οι καθαρές ταμειακές ροές του επενδυτικού έργου μπορούν να είναι αποδόσιμες ή να επανεπενδυθούν με το επιλεγμένο επιτόκιο προεξόφλησης.

Με βάση αυτό το κριτήριο, μία επένδυση κρίνεται συμφέρουσα όταν η συνολική καθαρή παρούσα αξία της είναι μεγαλύτερη από το μηδέν και ανάμεσα σε δύο επενδύσεις επιλέγεται φυσικά αυτή που έχει την μεγαλύτερη ΚΠΑ.

Η μέθοδος της Κ.Π.Α. έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- α) Λαμβάνει υπόψη την διαχρονική αξία του χρήματος.
- β) Το παρόν θεωρείται σαν χρόνος αναφοράς και υπολογισμού της παρούσας αξίας.
- γ) Υποθέτει την επανεπένδυση του αρχικού κεφαλαίου.

⁴ Στα Αιολικά πάρκου στο τέλος της οικονομικής ζωής της επένδυσης η υπολειμματική της αξία (Y.A.) θα είναι ίση με την αξία του οικοπέδου, σε περίπτωση αγοράς του.

δ) Η απόφαση που λαμβάνεται δεν επηρεάζεται από το ποσό της επένδυσης ή τη διάρκεια του χρόνου.

Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την Κ.Π.Α. μιας επένδυσης είναι το επιτόκιο προεξόφλησης.

Συνηθισμένο επιτόκιο προεξόφλησης είναι η απόδοση των ομολόγων του δημοσίου ~10%.

Εσωτερικός Ρυθμός(Βαθμός) Απόδοσης (IRR.)

Ο εσωτερικός ρυθμός απόδοσης μίας επένδυσης είναι το επιτόκιο εκείνο που εξισώνει την παρούσα αξία των αναμενόμενων καθαρών ταμειακών εισροών από την επένδυση με το επενδεδυμένο κεφάλαιο. Αν δηλαδή

$$\frac{T_1}{(1+i_o)^1} + \frac{T_2}{(1+i_o)^2} + \dots + \frac{T_N}{(1+i_o)^N} = I_0 \quad \text{Σχέση D}$$

Η σημασία του εσωτερικού ρυθμού απόδοσης, όταν πρόκειται να ληφθεί μια απόφαση επένδυσης είναι απλή:

α)Όταν ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης i_o είναι μεγαλύτερος από το επιλεγμένο επιτόκιο προεξόφλησης i του επενδυτή ($i_o > i$), η Κ.Π.Α. του επενδυτικού έργου είναι θετική και το έργο είναι αποδεκτό.

β)Όταν αντίθετα ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης i_o είναι μικρότερος από το επιλεγμένο επιτόκιο προεξόφλησης i του επενδυτή ($i_o < i$), η Κ.Π.Α. του επενδυτικού έργου είναι αρνητική και το έργο απορρίπτεται..

◆ Χρόνος αποπληρωμής (X.A.)

Η έννοια του χρόνου αποπληρωμής είναι ανάλογη με την έννοια του νεκρού σημείου. Ενώ το νεκρό σημείο ορίζεται ως το σημείο της χρήσης πέρα από το οποίο η επιχείρηση πραγματοποιεί κέρδη, ο χρόνος αποπληρωμής ορίζεται σαν ο αναγκαίος χρόνος κατά τον οποίον το άθροισμα των ταμειακών ροών ενός επενδυτικού έργου ισούται με την αρχική δαπάνη.

Το κριτήριο X.A. δεν είναι κριτήριο αποδοτικότητας, αλλά είναι ένα κριτήριο ρευστότητας. Η μέθοδος υπολογισμού του αγνοεί τον παράγοντα χρόνο.

I.3.v Ανάλυση ευαισθησίας

Πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι οι μεταβολές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την επένδυση επηρεάζουν σημαντικά την οικονομικότητα της επένδυσης, για το λόγο αυτό, λύσεις υπολογίζονται πίνακες και διαγράμματα ανάλυσης ευαισθησίας.

Ένα διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας παρουσιάζει πόσο μεταβάλλεται η οικονομικότητα της επένδυσης (οι οικονομικοί δείκτες) με τη μεταβολή μιας παραμέτρου.

Στα διαγράμματα των αιολικών πάρκων στον κάθετο άξονα απεικονίζεται η Κ.Π.Α, ο χρόνος αποπληρωμής και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης και στον οριζόντιο η μεταβολή των 5 κυριότερων παραμέτρων :

Ταχύτητα του ανέμου (Παράμετρος C της κατανομής Weibull)

Διάρκεια ζωής του έργου

Διαθεσιμότητα Εξοπλισμού

Αρχικό κόστος επένδυσης.

Επιτόκιο Αναγωγής

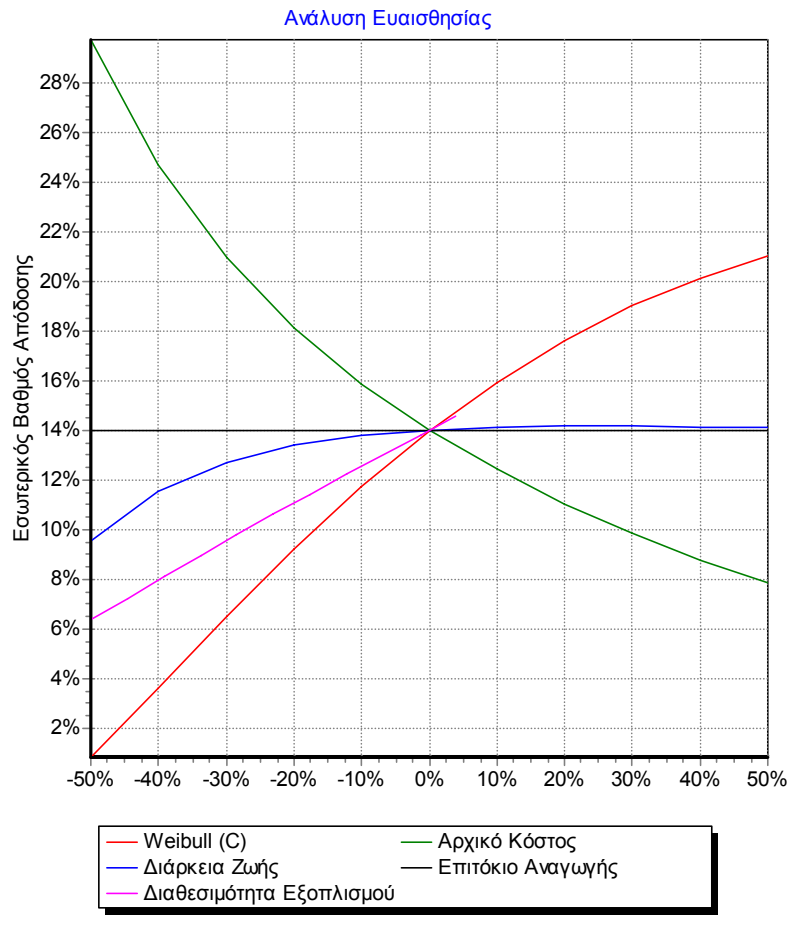
Το σημείο τομής όλων των καμπυλών απεικονίζει της αρχικές τιμές των παραμέτρων

Από τη μορφή των διαγραμμάτων αυτών μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα :

Πόσο αντέχει το σύστημα στην μεταβολή μιας παραμέτρου

Ποιες είναι οι σημαντικότερες για την οικονομικότητα της επένδυσης παράμετροι

Καθορίζονται τα όρια ανοχής σε μεταβολή μιας παραμέτρου



Εικόνα I.3-11. Μορφή Διαγράμματος Ανάλυσης Ευαισθησίας.

Ι.4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ – ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.

Ι.4.a Υπολογιστικό πρόγραμμα WAsP

Το υπολογιστικό πρόγραμμα WAsP 6.0 αναπτύχθηκε για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού περιοχών, οι οποίες είναι υποψήφιες για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει ανεμολογικά στοιχεία όπως μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου και ετήσια παραγωγή ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία του εδάφους και τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής καθώς και άλλες σχετικές παραμέτρους που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του ανέμου. Η εισαγωγή των αναγκαίων δεδομένων καθώς και των υπολογισμών των μεγεθών που μας ενδιαφέρουν αναφέρονται επιγραμματικά παρακάτω.

Ι.4.b Εισαγωγή ανεμολογικών μετρήσεων (raw data)

Τα ανεμολογικά δεδομένα (raw data) που προέρχονται από μετρήσεις μπορούν να εισαχθούν στο πρόγραμμα με τη μορφή αρχείων δεδομένων (.dat), αρχείων κειμένου (.txt) ή σαν αρχεία μορφοποιημένου κειμένου (.prt). Η εισαγωγή γίνεται με την βοήθεια του OWC Wizard (Σχήμα α,β), ενός προγράμματος ειδικά για αυτό το σκοπό, το οποίο συνοδεύει το WasP 6.0. Το OWC Wizard δημιουργεί έτσι μια ροζέτα ανέμου που αντιστοιχεί στις μετρήσεις. Για την εισαγωγή των raw data πρέπει να γνωρίζουμε το ύψος του ανεμογράφου από τον οποίο προέρχονται και το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του. Η διαδικασία έχει ως εξής :

Καθορισμός ύψους ιστού ανεμογράφου, γεωγραφικού πλάτους και μήκους του και περιγραφή της περιοχής (προαιρετικό) (Σχήμα 1)

Εισαγωγή των raw data με την επιλογή Add. (Σχήμα 2, 2α, 2β, 2γ)

Καθορισμός των raw data για την σωστή ανάγνωσή τους από το πρόγραμμα. (καθορισμός της στήλης δεδομένων που αντιστοιχούν στην ταχύτητα του ανέμου κ.τ.λ.) (Σχήμα 3)

Το πρόγραμμα δίνει μια μικρή αναφορά για τα δεδομένα και στη συνέχεια ζητάει τυχόν προσαρμογές που πρέπει να γίνουν στα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου και της διεύθυνσης. (Ζητούνται δύο συντελεστές που καθορίζουν τυχόν αυξομειώσεις ή αποκλίσεις των μεγεθών αυτών από τα δεδομένα) (Σχήματα 4 και 5)

Καθορισμός μέγιστης ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου (Σχήμα 6)

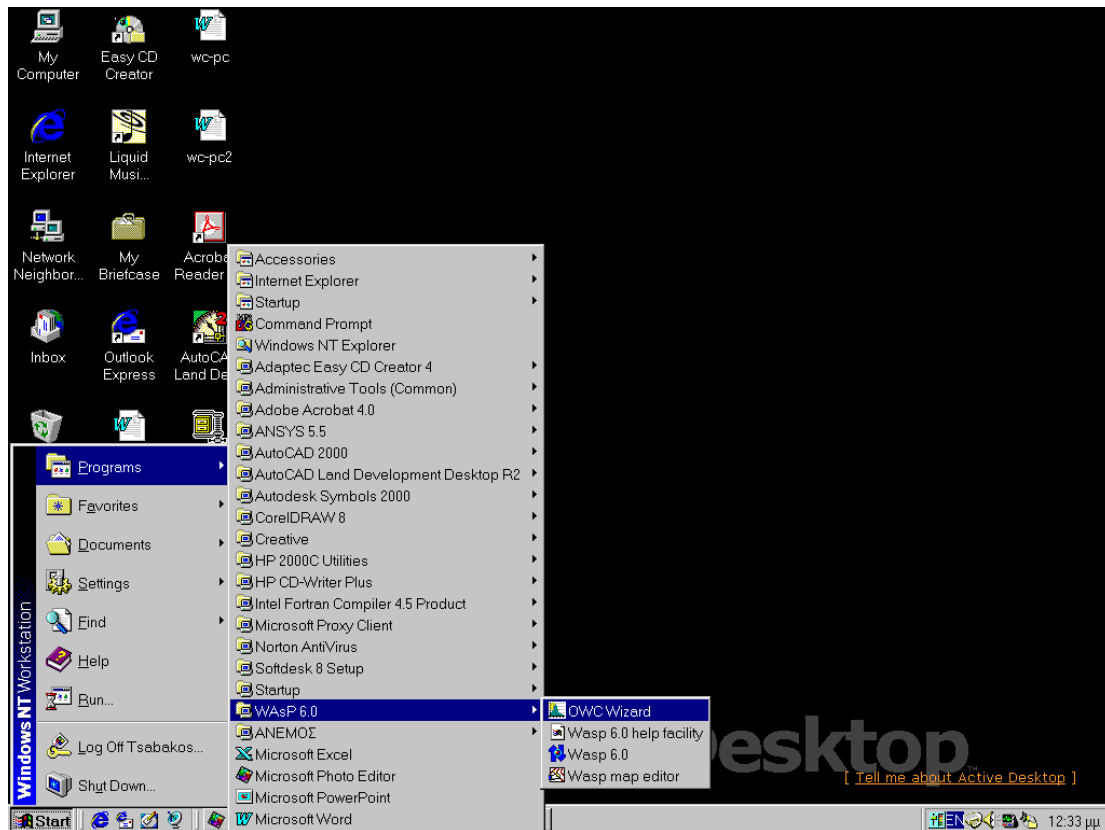
Σύντομη περιγραφή των δεδομένων από το πρόγραμμα (Σχήμα 7)

Επιλογή για την εισαγωγή επόμενου αρχείου raw data (Σχήμα 8)

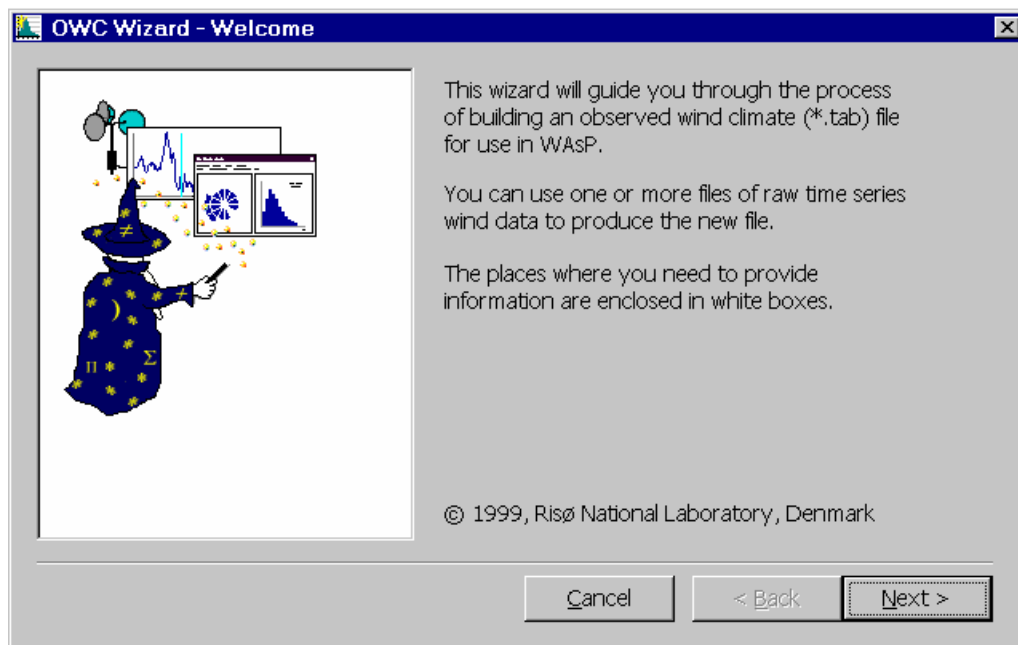
Καθορισμός αριθμού τομέων (sectors) ροζέτας ανέμου και γωνίας διεύθυνσης πρώτου sector (Σχήμα 9)

Αποθήκευση αρχείου ροζέτας. (Σχήμα 10)

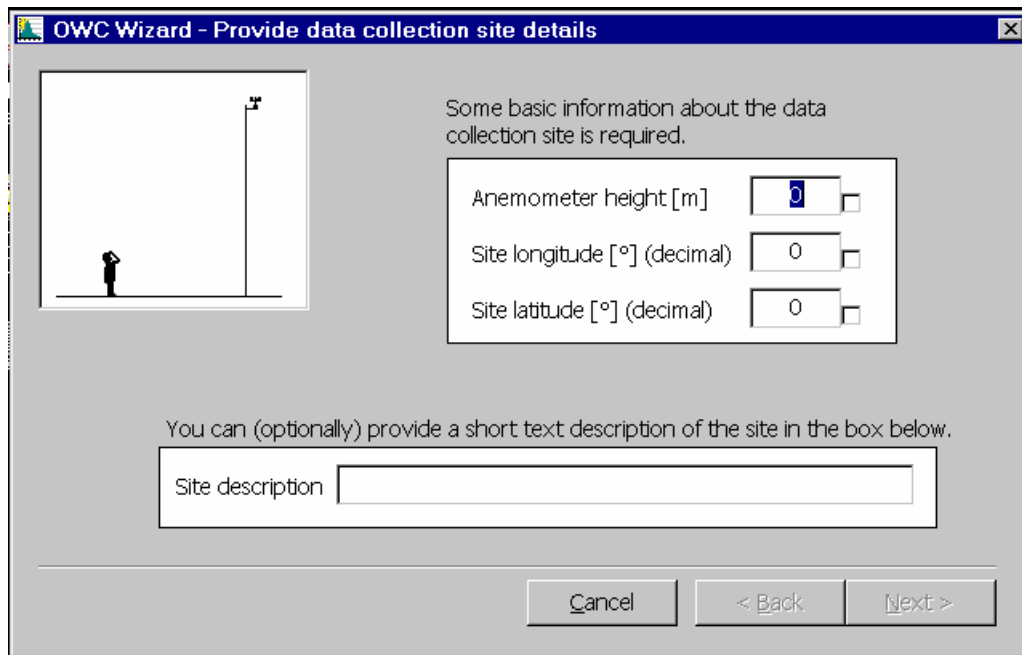
Η μετάβαση από την αρχή προς το τέλος της διαδικασίας και αντίστροφα γίνεται με τα ' κουμπιά ' NEXT και BACK που βρίσκονται στη κάτω δεξιά άκρη του 'παράθυρου' που εμφανίζει το πρόγραμμα.



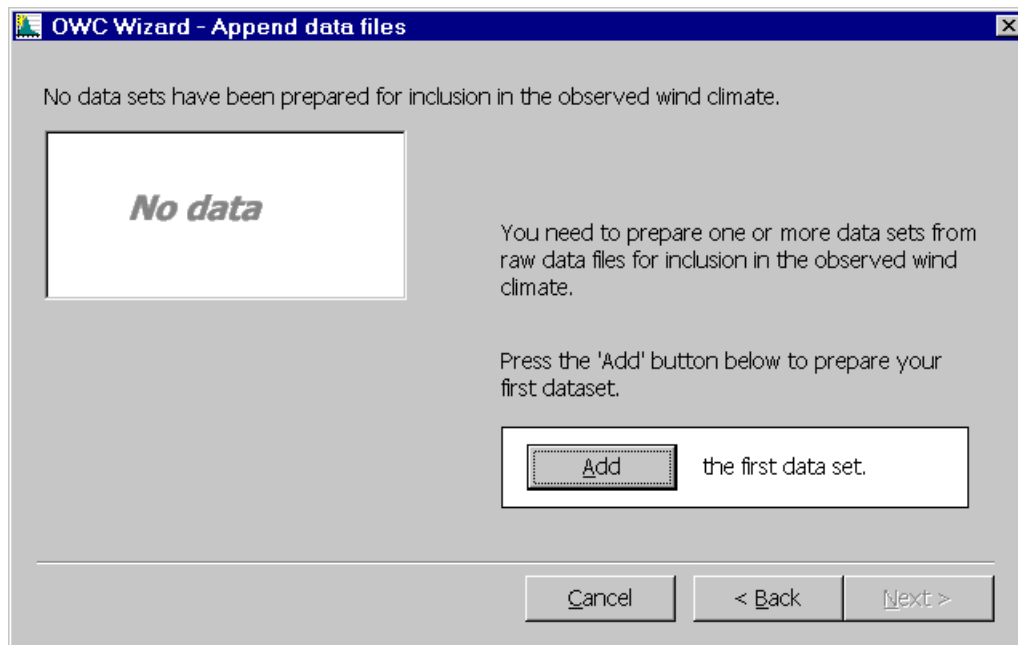
Σχήμα α. Το πρόγραμμα OWC που συνοδεύει το WasP 6.0 βρίσκεται στο μενού εκκίνησης.



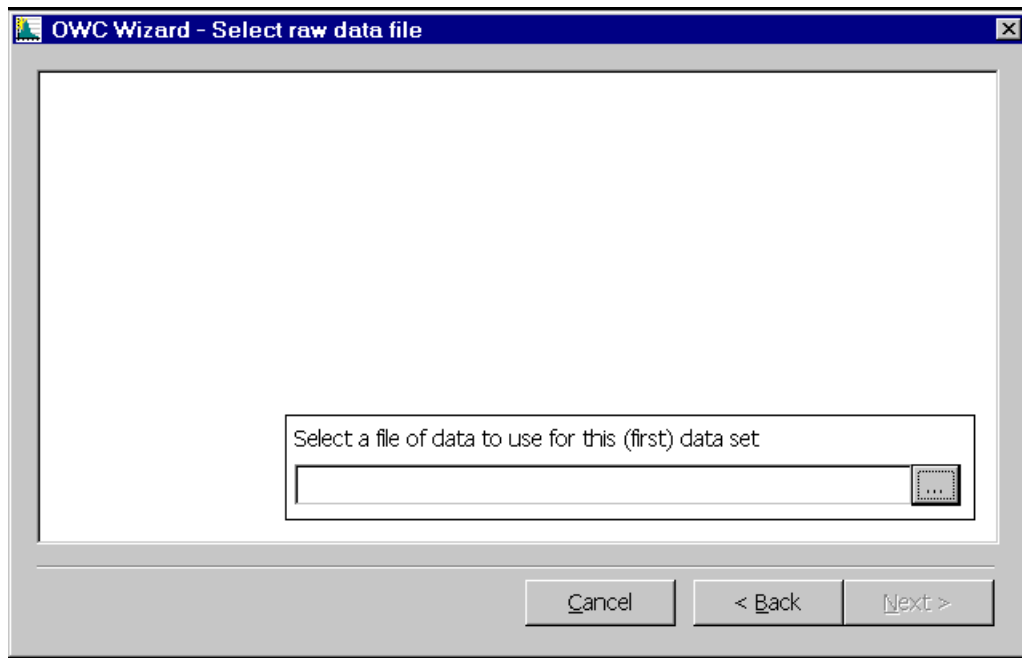
Σχήμα β. Το κουτί διαλόγου που εμφανίζεται με την εκκίνηση του OWC.



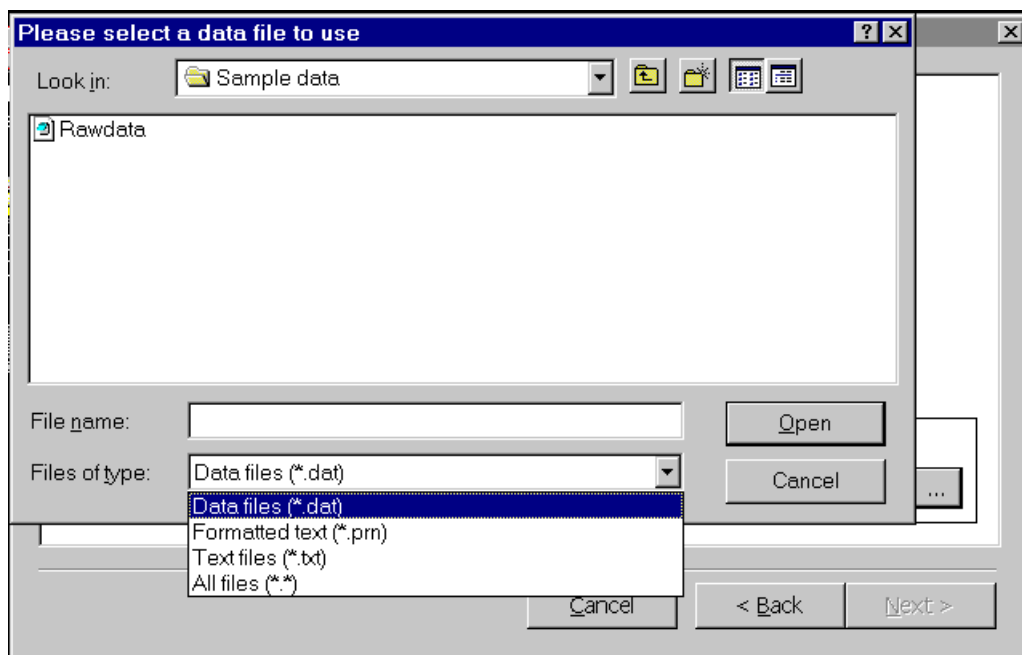
Σχήμα 1. Εισαγωγή ύψους ανεμογράφου και γεωγραφικού πλάτους και μήκους του. Η εισαγωγή περιγραφής του site του ανεμογράφου είναι προαιρετική.



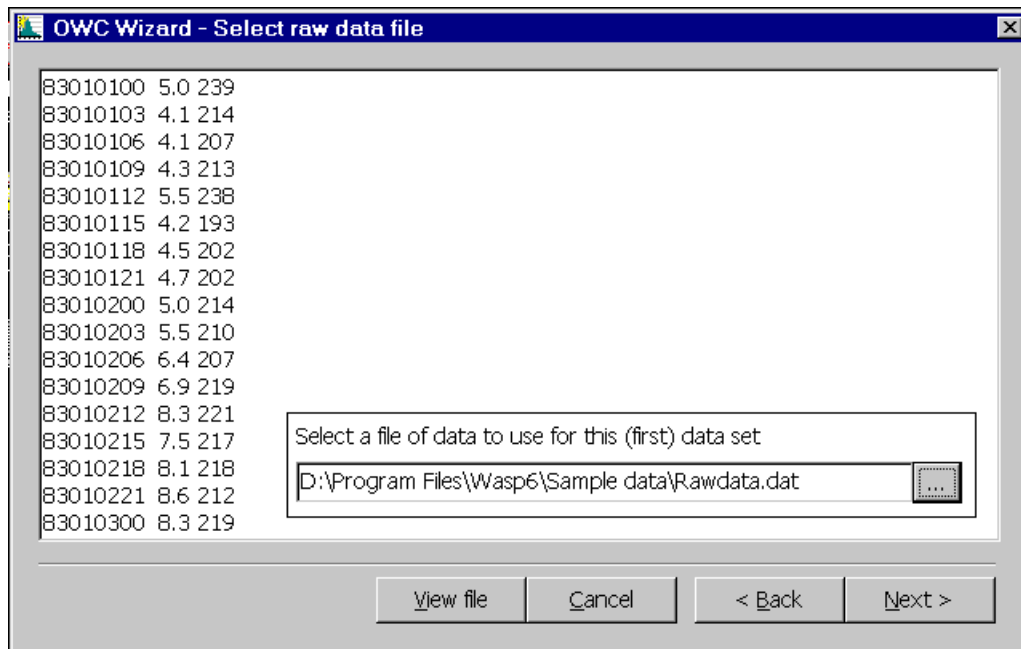
Σχήμα 2. Πιέζοντας την επιλογή Add μπορούμε να εισάγουμε το πρώτο αρχείο ανεμολογικών μετρήσεων (raw data).



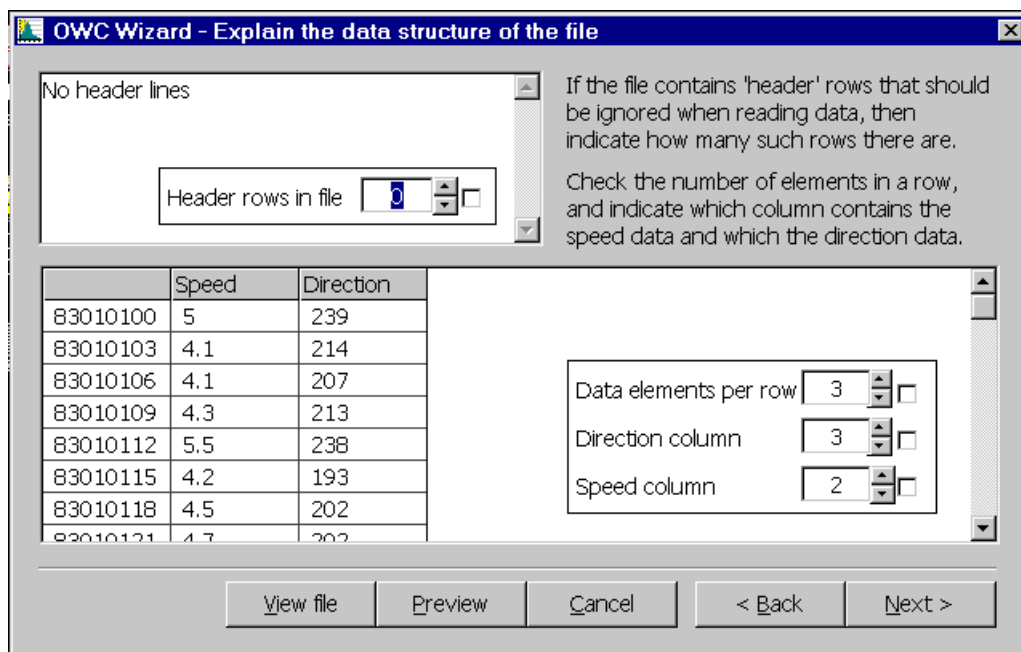
Σχήμα 2α. Εισαγωγή του αρχείου. Η επιλογή (...) δίνει το παρακάτω κουτί διαλόγου (Σχήμα 2β)



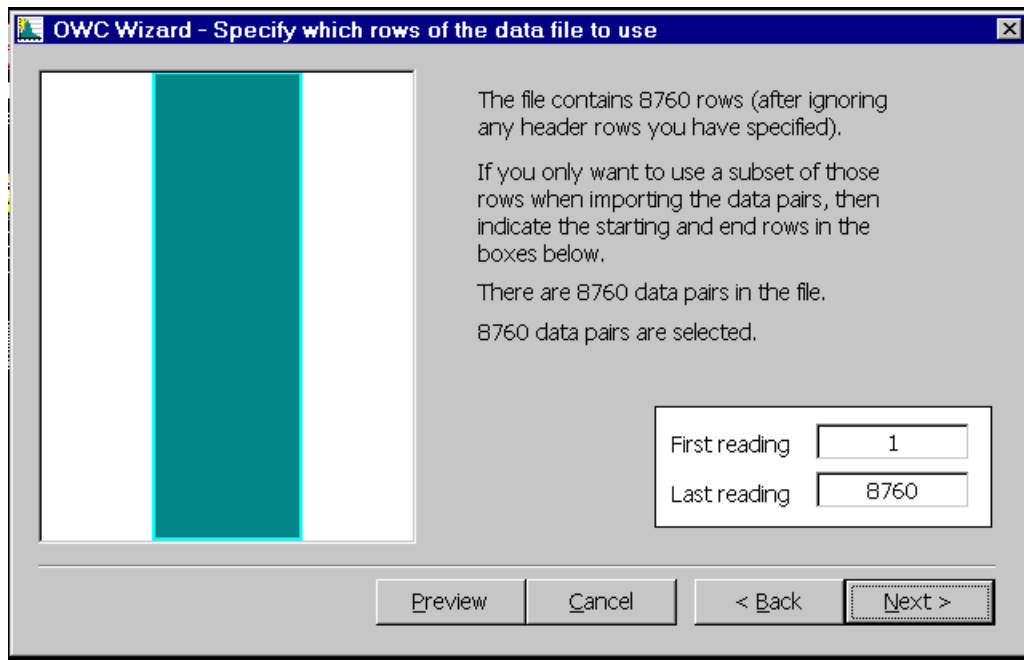
Σχήμα 2β. Επιλογή ειδους αρχείου.



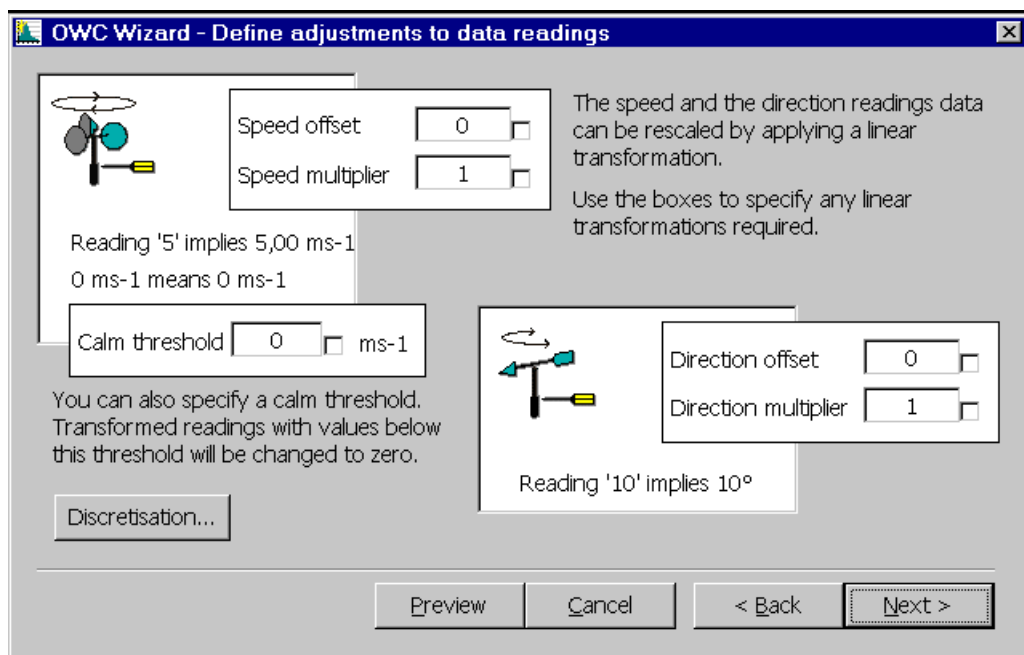
Σχήμα 2γ. Το αρχείο έχει επιλεγεί και μπορούμε να δούμε τις στήλες των δεδομένων. Η δεύτερη στήλη περιέχει τιμές ταχύτητας ανέμου και η τρίτη διεύθυνσης ανέμου (σε μοίρες). Οι στήλες σε αυτό το αρχείο χωρίζονται με κενό.



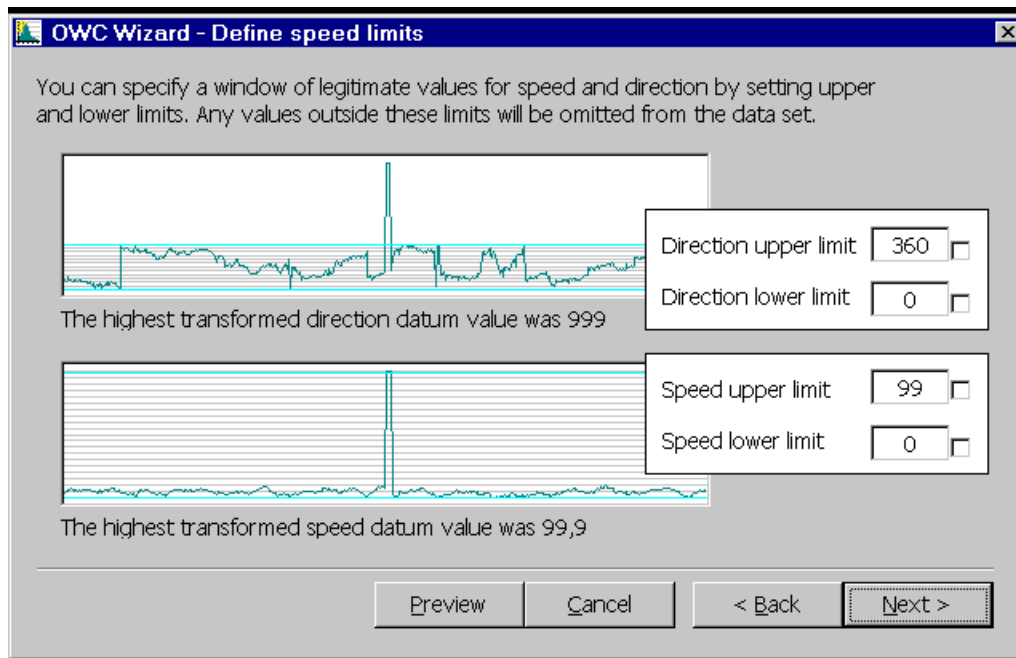
Σχήμα 3. Διαχωρισμός στηλών δεδομένων. Header rows in the : Ορίζουμε τυχόν γραμμές που δεν περιέχουν δεδομένα αλλά άλλες πληροφορίες. Έπειτα καθορίζουμε αριθμό στηλών και τη ταυτότητα των δεδομένων. (Direction και Speed).



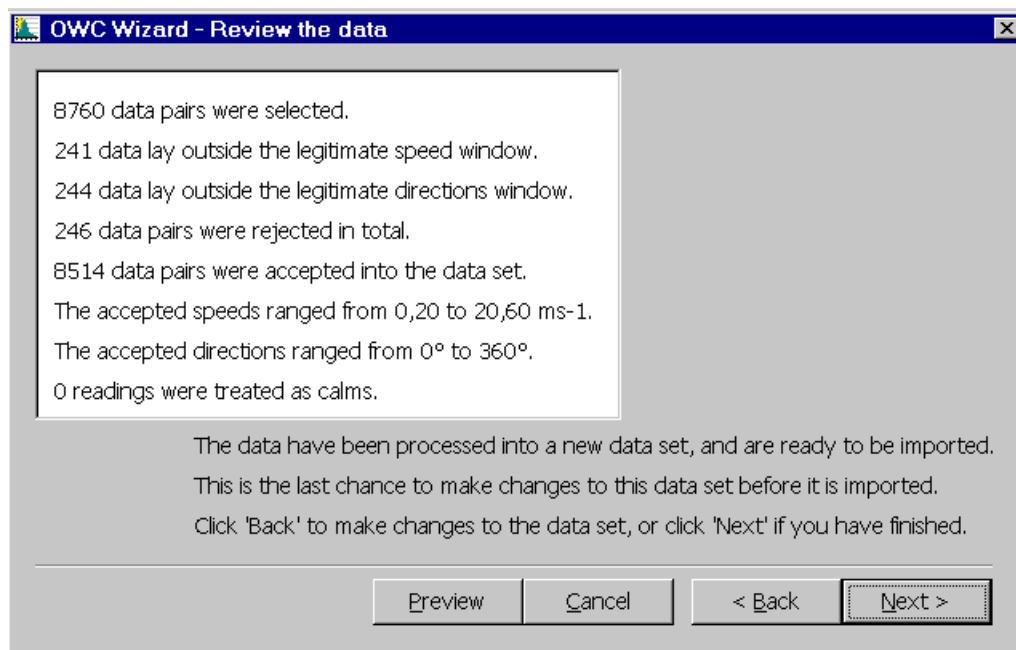
Σχήμα 4. Αναφορά του OWC για το αρχείο. Μπορούμε να επιλέξουμε το εύρος των δεδομένων που θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα (δηλ. τον αριθμό στηλών)



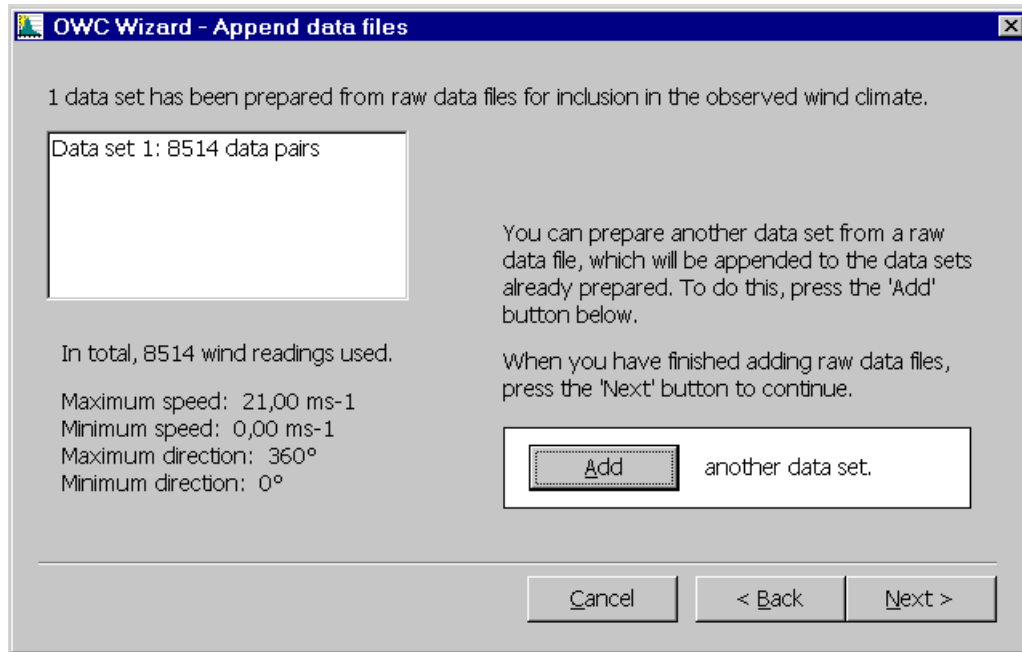
Σχήμα 5. Εισαγωγή τυχόν αποκλίσεων από τις τιμές του αρχείου (για την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου). Επίσης είναι μπορούμε να δώσουμε την τιμή 0 σε τιμές ταχύτητας για τις οποίες θεωρούμε ότι έχουμε άπνοια (Επιλογή Calm threshold). Τέλος με την επιλογή Discretisation δηλώνουμε τυχόν διακριτοποίηση των δεδομένων του αρχείου (δηλ. χωρισμό τους σε bin).



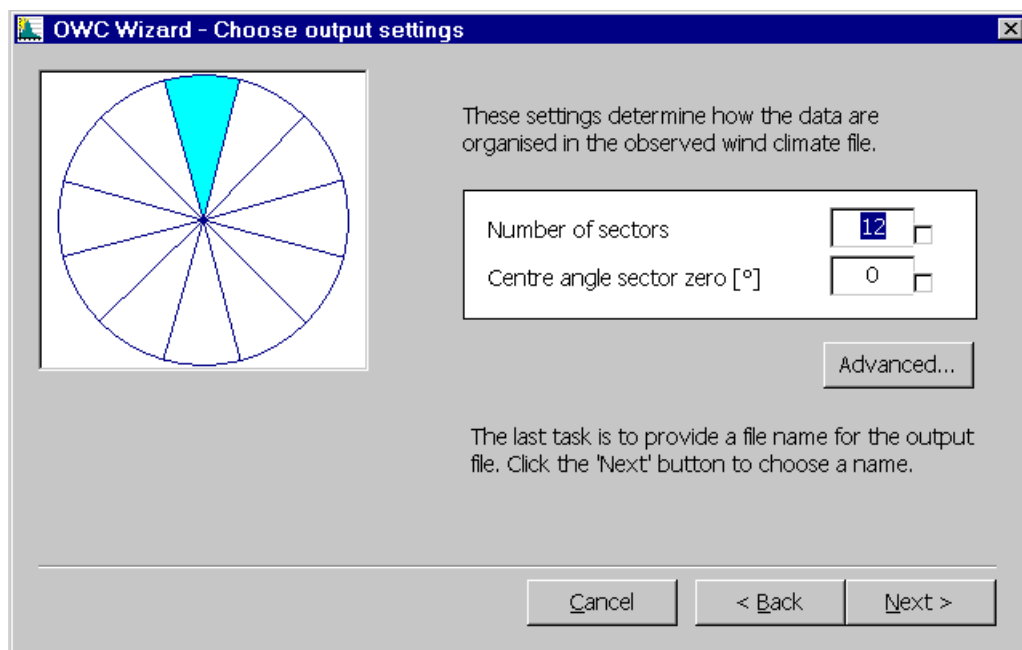
Σχήμα 6. Ορισμός μέγιστη και ελάχιστης τιμής για τα δεδομένα ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου.



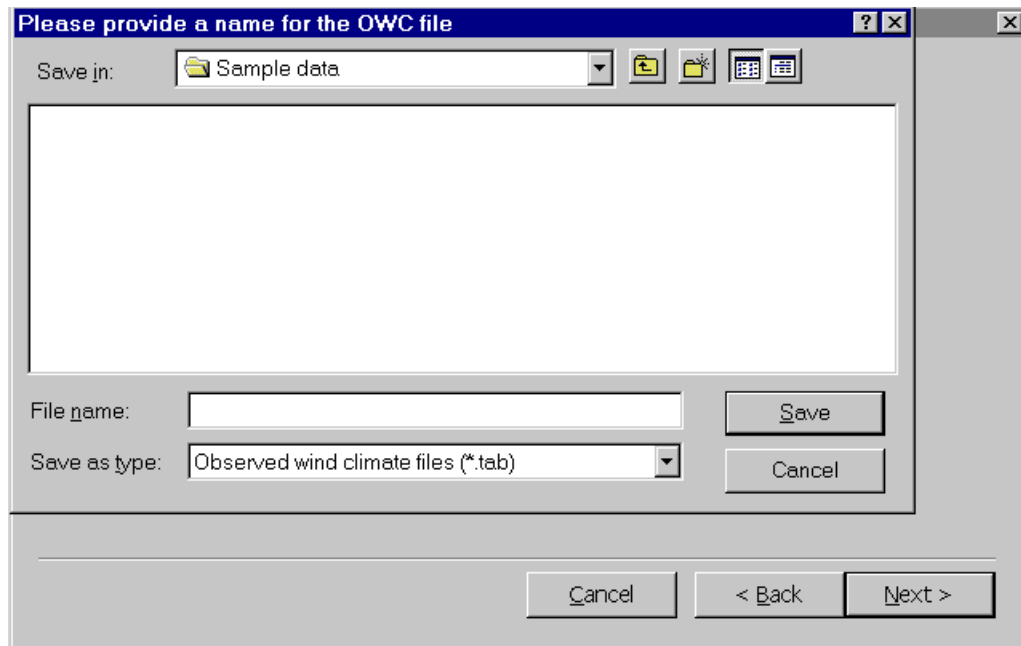
Σχήμα 7. Αναφορά για το αρχείο δεδομένων.



Σχήμα 8. Μπορούμε να εισάγουμε και κάποιο άλλο αρχείο δεδομένων εφόσον υπάρχει. Διαφορετικά επιλέγουμε Next.



Σχήμα 9. Μορφοποίηση της ροζέτας ανέμου που θα χρησιμοποιήσει το WasP 6.0. Επιλέγουμε αριθμό τομέων διεύθυνσης ανέμου (sectors) και από ποια γωνία θα αρχίσει να μετράει ο πρώτος τομέας. Η επιλογή advanced επιτρέπει το καθορισμό των bin της ταχύτητας.



Σχήμα 10. Αποθήκευση της ροζέτας ανέμου και τέλος της διαδικασίας εισαγωγής δεδομένων.

I.4.c Εισαγωγή μορφολογίας εδάφους

Το WasP για να υπολογίσει την επίδραση της μορφολογίας του εδάφους χρησιμοποιεί ψηφιοποιημένους χάρτες. Οι χάρτες αυτοί μπορούν να είναι διάφορων μορφών αρχεία όπως αρχεία .dxf (του Autocad) κ.α. Η μετατροπή αυτών των ψηφιοποιημένων χαρτών σε αναγνώσιμη από το WasP μορφή, γίνεται μέσα από το πρόγραμμα WasP Map Editor (Σχήματα 11, 12 και 13). Τα αρχεία που δημιουργούνται από αυτό το πρόγραμμα έχουν κατάληξη .map. Μέσω του map editor μπορούμε να κάνουμε αλλαγές στον χάρτη και να ορίσουμε χαρακτηριστικά τα οποία είναι απαραίτητα για τους περαιτέρω υπολογισμούς. Ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η τραχύτητα του εδάφους. Ο ορισμός της τραχύτητας του εδάφους γίνεται μέσω των ισουψών και η διαδικασία έχει ως εξής :

Από το μενού File εισάγουμε τον χάρτη επιλέγοντας Open.

Όταν γίνει η εισαγωγή του χάρτη ο map editor εμφανίζει κάποιες πληροφορίες στα πλαίσια που φαίνονται στο σχήμα 12. Οι πληροφορίες αυτές είναι χρήσιμες για τον έλεγχο της ορθότητας του χάρτη.

Για να δούμε τον χάρτη επιλέγουμε Map Image από το μενού Show.

Το παράθυρο του ψηφιοποιημένου χάρτη που εμφανίζεται διαθέτει ένα μενού επιλογών από όπου μεταξύ άλλων μπορούμε να κάνουμε zoom σε σημεία που μας ενδιαφέρουν. Για να κάνουμε zoom επιλέγουμε την κλίμακα από το μενού zoom control και κάνουμε αριστερό κλικ στο σημείο που μας ενδιαφέρει (Σχήματα 14, 15).

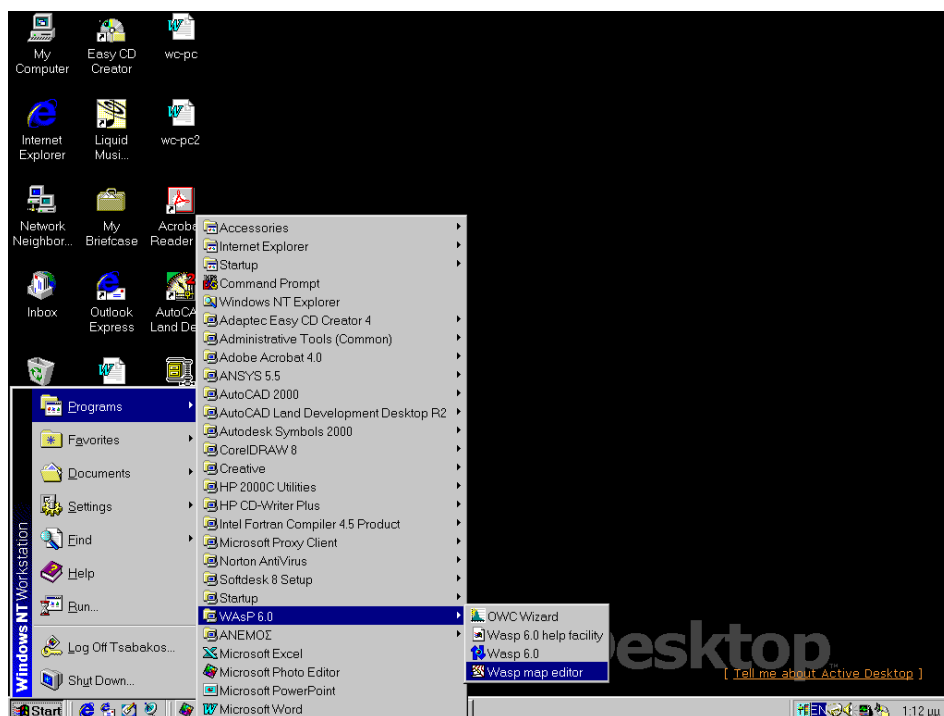
Ο ορισμός της τραχύτητας του εδάφους γίνεται κάνοντας δεξιά κλικ σε κάποια από τις ισουψείς οπότε εμφανίζεται το μενού Line edit options (Σχήμα 16).

Επιλέγουμε property change οπότε εμφανίζεται το μενού contour property change (Σχήμα 16).

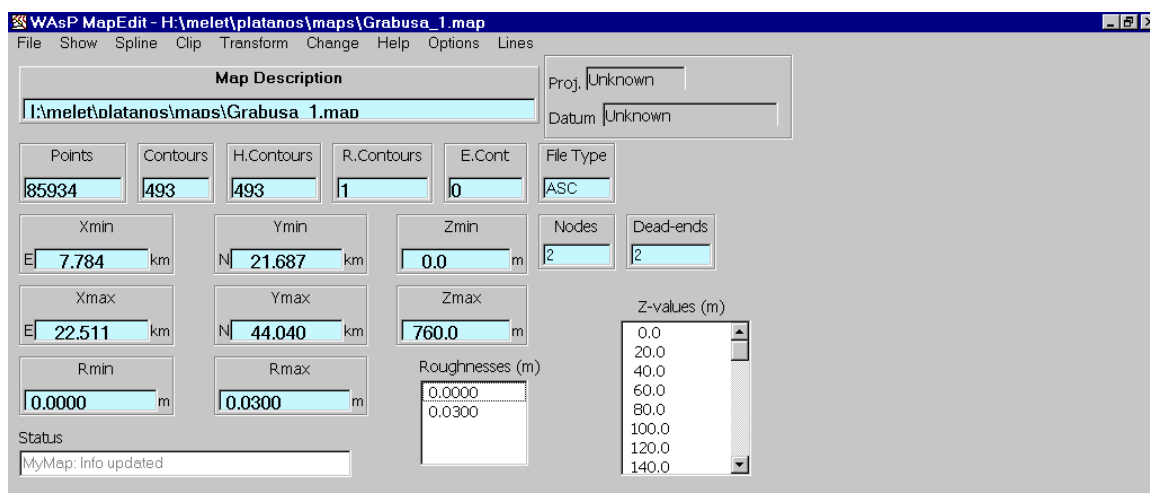
Για να καθορίσουμε την τραχύτητα τσεκάρουμε την επιλογή roughness. Το πρόγραμμα μας ζητάει δύο τιμές τραχύτητας δεξιά και αριστερά της ισουψούς που

επιλέξαμε. Ο λόγος που δίνουμε δύο τιμές είναι ότι μπορεί να χρειαστεί να ξεχωρίσουμε τα γεωγραφικά όρια της περιοχής (π.χ. την στεριά από την θάλασσα) στα οποία οι τιμές της τραχύτητας διαφέρουν. Εάν θέλουμε να δώσουμε την ίδια τιμή τραχύτητας σε όλη την περιοχή τότε δίνουμε την τιμή αυτή δεξιά και αριστερά της ισοψύχους (Σχήμα 17, 18, 19).

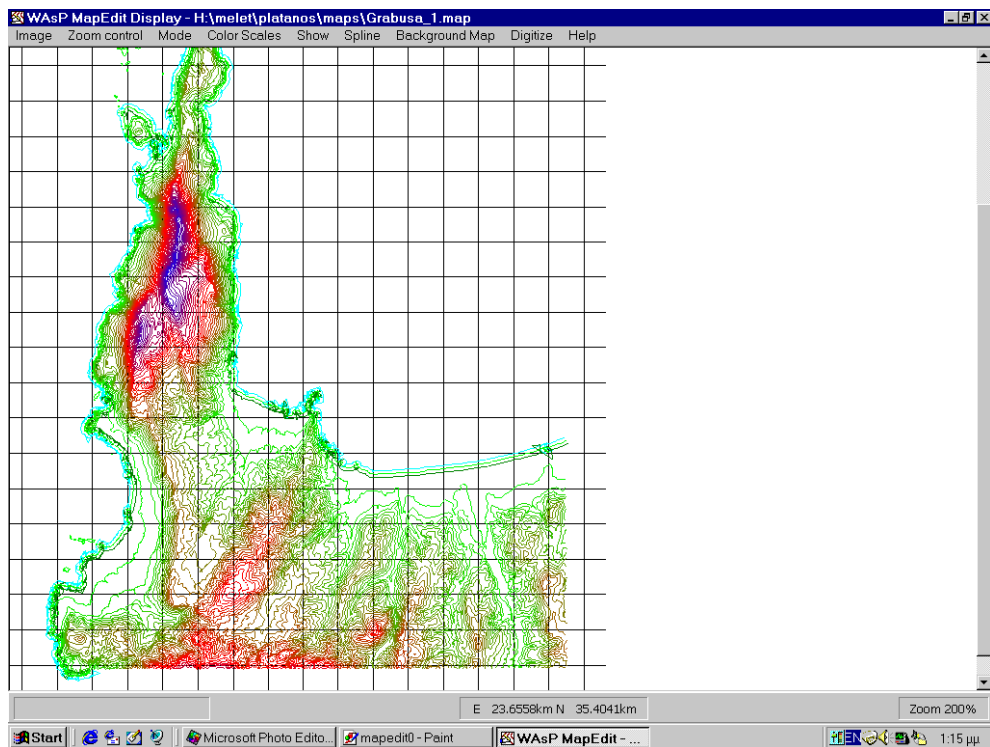
Αφού οριστεί η τραχύτητα 'σώζουμε' το αρχείο του χάρτη αλλιώς οι αλλαγές θα χαθούν.



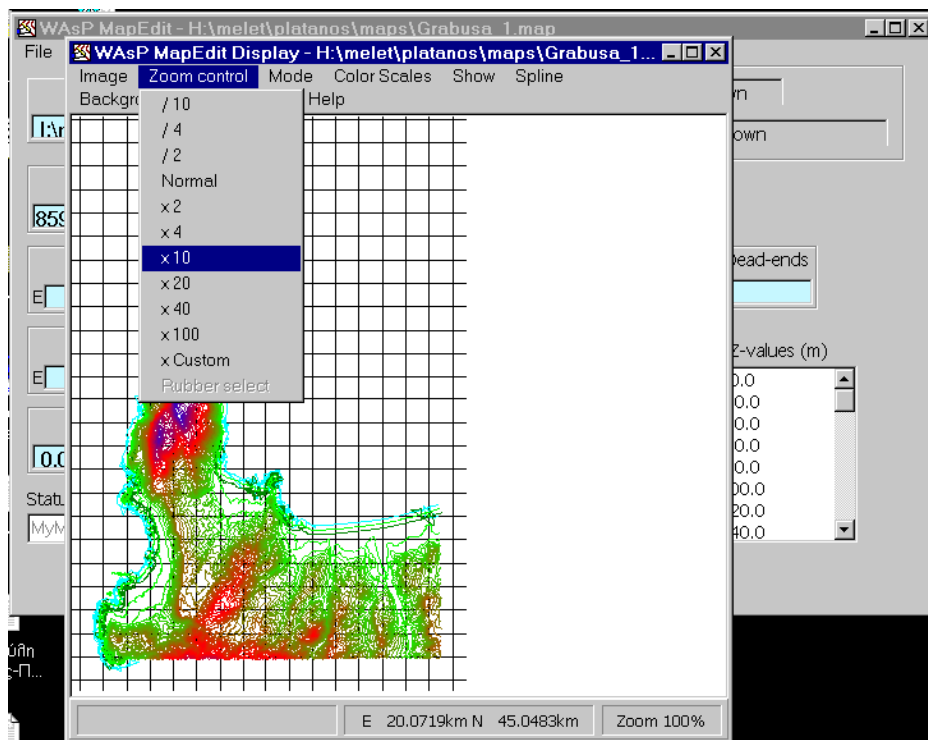
Σχήμα 11. Επιλογή του WasP map editor από το μενού έναρξης.



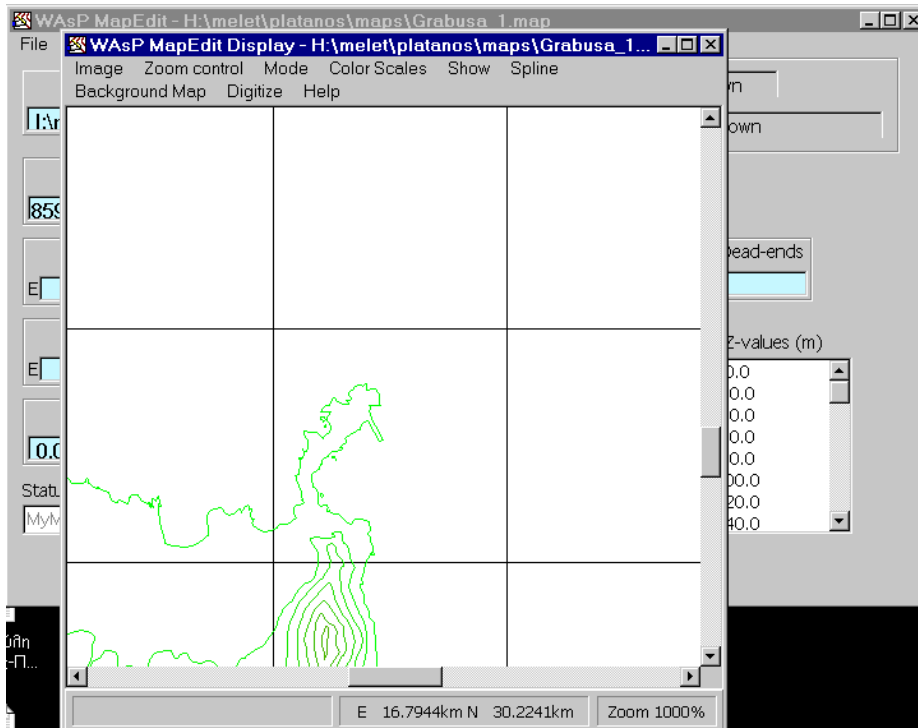
Σχήμα 12. Το WasP map editor.



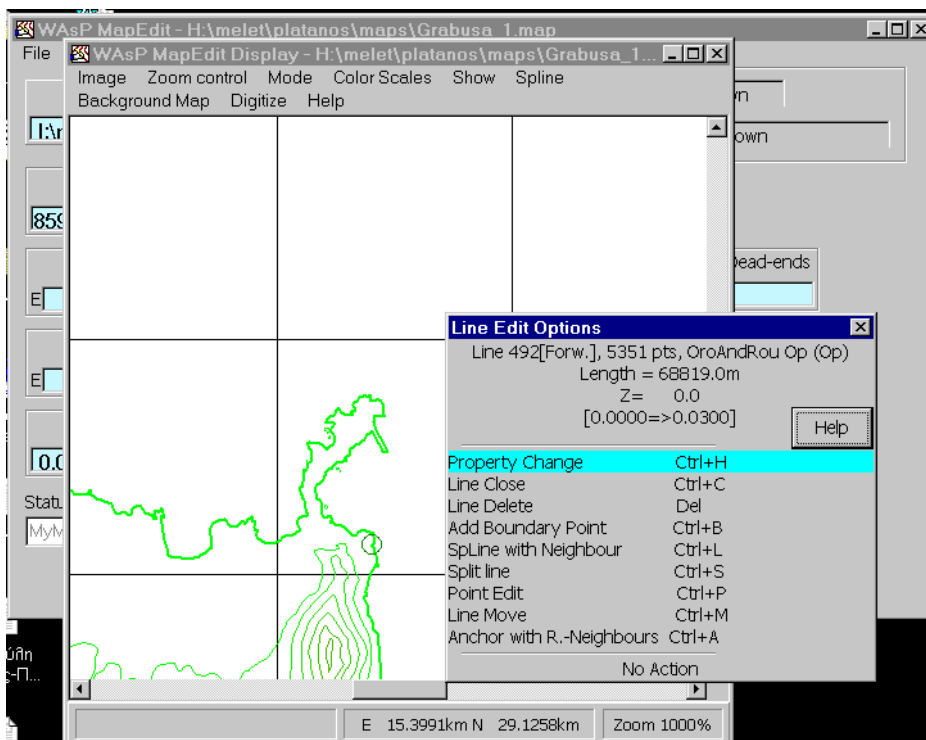
Σχήμα 13. Ψηφιοποιημένος χάρτης όπως φαίνεται από τον map editor.



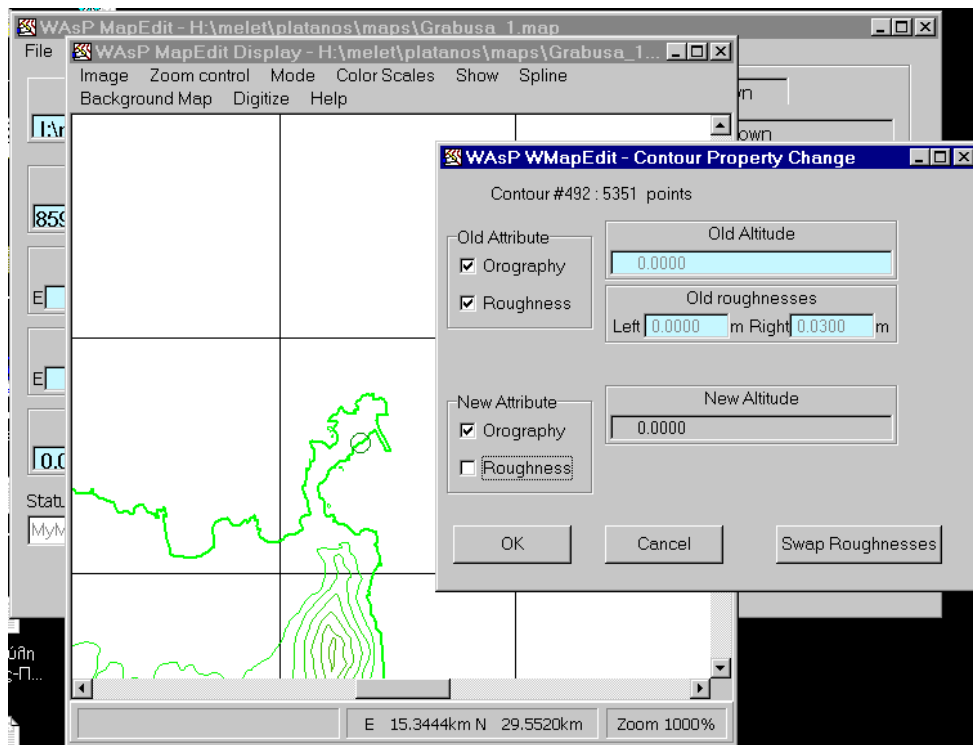
Σχήμα 14. Επιλογή κλίμακας από το μενού zoom control.



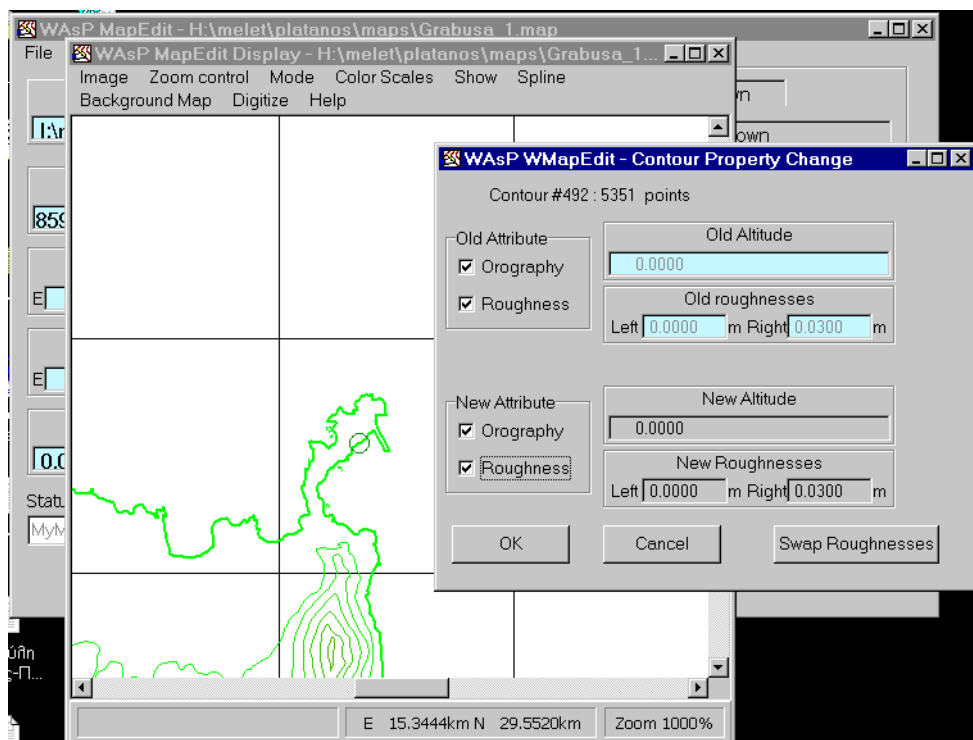
Σχήμα 15. Μεγενθυμένος χάρτης.



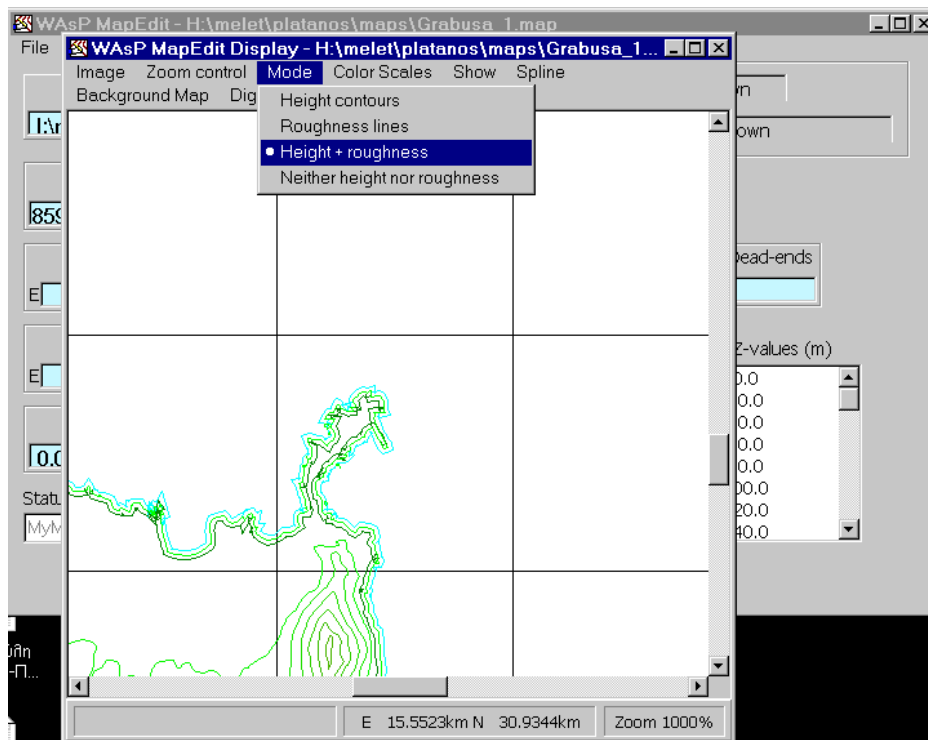
Σχήμα 16. Το μενού Line edit options. Η ισοϋψής που επιλέχθηκε σημειώνεται με κύκλο.



Σχήμα 17. Το μενού Contour change property. Για την εισαγωγή των τιμών τραχύτητας τσεκάρουμε την επιλογή roughness στο τελευταίο κουτί.



Σχήμα 18. Εισαγωγή τιμών τραχύτητας.



Σχήμα 19. Η απόδοση της ισουψούς, μέσω της οποίας έχει καθοριστεί η τραχύτητα, στον χάρτη. Για να μπορέσουμε να δούμε την τραχύτητα επιλέγουμε από το μενού Mode το Height – roughness.

I.4.d Ο χώρος εργασίας του προγράμματος WasP 6.0.

Το περιβάλλον εργασίας του WasP χωρίζεται σε τρεις περιοχές (Σχήμα 20):

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

Σε γενικές γραμμές το WasP λειτουργεί δημιουργώντας χώρους εργασίας (Workspaces) οι οποίοι αποτελούνται από υποκατηγορίες υπολογισμών που ονομάζονται Projects. Κάθε Project αποτελείται από μια σειρά δεδομένων και υπολογισμών ανάλογα την επιθυμητή εργασία. Γενικά ακολουθείται μια ιεραρχία εισαγωγής δεδομένων και υπολογισμών. Κάθε μέρος υπολογισμού ή εισαγωγής δεδομένων μπορεί να ανήκει σε συγκεκριμένη ομάδα και μπορεί να εισαχθεί μόνο ιεραρχικά. Π.χ. ένα Project ανήκει σε ένα Workspace αλλά δεν μπορεί να ανήκει σε ένα άλλο Project. Για την διευκόλυνση του χρήστη η δημιουργία μιας σειράς υπολογισμών γίνεται με μια σειρά εικονιδίων που αντιπροσωπεύουν το είδος το υπολογισμού ή των δεδομένων που εισάγονται. Κάνοντας δεξί κλικ σε κάθε εικονίδιο μπορεί να δει τις επιλογές που έχει. Επίσης τα εικονίδια δίνονται με τέτοιο τρόπο στην οθόνη ώστε να φαίνεται η σειρά των υπολογισμών.

Η γενική αρχή για τον οποιονδήποτε υπολογισμό στο WasP είναι ότι χρειάζονται δύο βασικά δεδομένα : η μορφολογία του εδάφους και οι μετρήσεις ανέμου.

I.4.e Υπολογισμός αιολικού δυναμικού περιοχής.

Για την δημιουργία ενός νέου Workspace επιλέγουμε από το μενού File, New Workspace. Όταν δημιουργούμε ένα νέο Workspace το WasP δημιουργεί αυτόματα ένα Project (Σχήμα 20). Μπορούμε ανάλογα με τις ανάγκες μας να δημιουργήσουμε ένα ή περισσότερα Project. Όπως αναφέραμε η εισαγωγή εικονιδίων υπολογισμών ή δεδομένων σε κάποιο μέλος της διαδικασίας υπολογισμού γίνεται από το μενού που εμφανίζεται κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο του (Σχήμα 21). Μπορούμε να εισάγουμε νέα μέλη ή μέλη που έχουμε αποθηκεύσει από παλιότερους υπολογισμούς. Η διαδικασία για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής έχει σε γενικές γραμμές τα εξής βήματα :

Εισάγουμε τον χάρτη της περιοχής. Ο χάρτης της περιοχής μπορεί να εισαχθεί είτε στο Project είτε στο Workspace. Σε περίπτωση που έχουμε πολλά Projects τότε εισάγοντας τον χάρτη στο Workspace τον καθιστούμε κοινό για όλα τα Projects. Κάνοντας αριστερό διπλό κλικ στο εικονίδιο του χάρτη μπορούμε να τον δούμε (Σχήματα 22α, β, γ, δ).

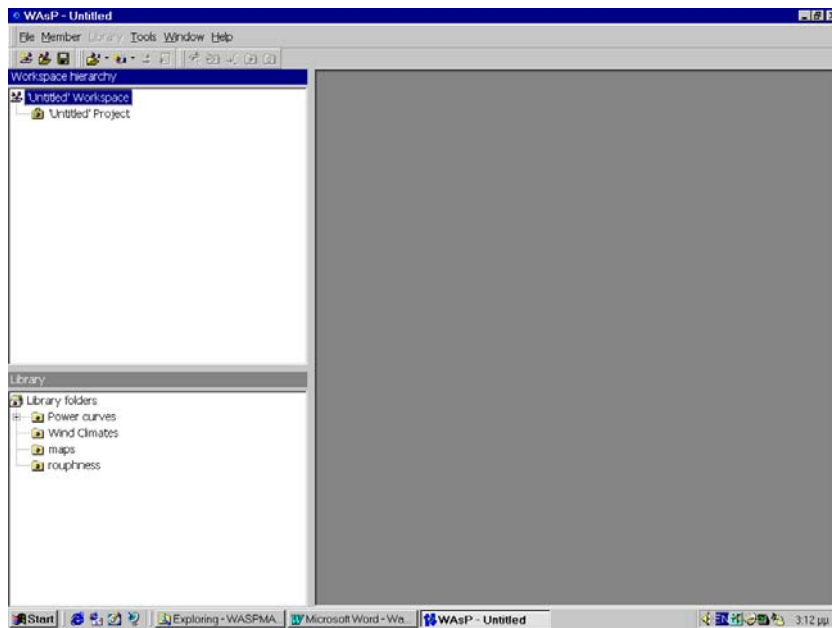
Εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων (μετρήσεων). Για τους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν το WasP δημιουργεί ένα 'αιολικό άτλαντα' δηλαδή μια ροζέτα ανέμου που χαρακτηρίζει όλη την περιοχή λαμβάνοντας υπόψη την μορφολογία του εδάφους, την τραχύτητα και άλλους παράγοντες. Για τον υπολογισμό του αιολικού άτλαντα (Wind atlas) χρειάζεται να προσδιορίσουμε την θέση του ανεμογράφου (Met. Station) και να δώσουμε τις μετρήσεις με τη μορφή του αρχείου που δημιουργούμε μέσω του OWC. (Observed wind climate). Τα αποτελέσματα του υπολογισμού του Wind Atlas μπορούμε να τα δούμε κάνοντας διπλό κλικ στο αντίστοιχο εικονίδιο. Η σειρά είναι η εξής :

- Α. Εισαγωγή στο Project νέου Wind atlas (Σχήμα 23).
- Β. Εισαγωγή Met. Station στο Wind atlas για τον καθορισμό της θέσης του ανεμογράφου. Ο καθορισμός της θέσης του ανεμογράφου γίνεται κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του Met. Station οπότε στο εικονίδιο που εμφανίζεται δίνουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες. (Σχήματα 24α, β).
- Γ. Εισαγωγή του Observed wind climate στο Met. Station για την εισαγωγή των ανεμολογικών μετρήσεων. (Σχήμα 25).

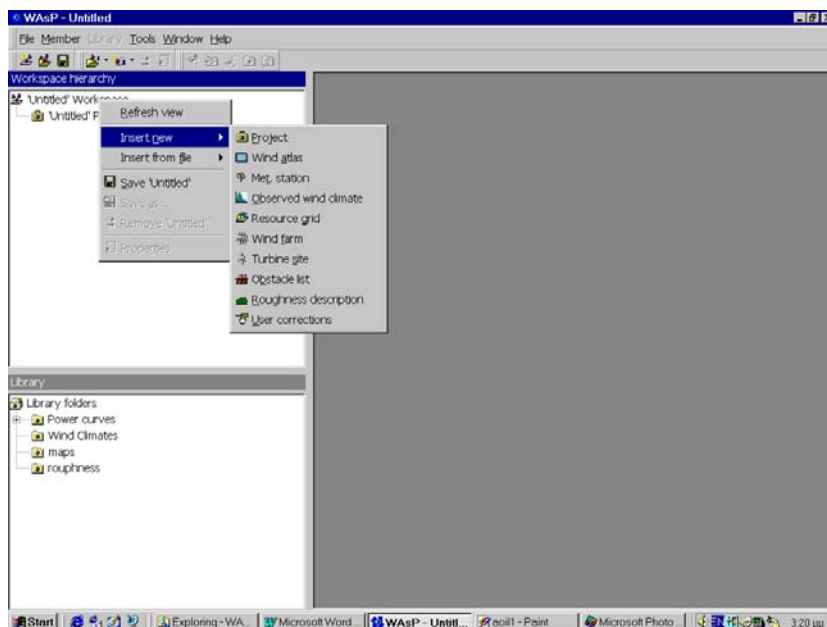
Εισαγωγή υπολογισμού του αιολικού δυναμικού. Για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού πρέπει να οριστεί η περιοχή ενδιαφέροντος, το ύψος από το έδαφος όπου θέλουμε να γνωρίζουμε το αιολικό δυναμικό και η ακρίβεια των υπολογισμών. Το WasP δημιουργεί ένα πλέγμα πάνω από την περιοχή υπολογισμού όπου αποδίδει τα διάφορα μεγέθη, όπως η ταχύτητα του ανέμου, με χρωματική κλίμακα. Ο βαθμός διακριτοποίησης της περιοχής υπολογισμού είναι ανάλογος της ακρίβειας της χρωματικής απόδοσης. Για να εισάγουμε στο WasP τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού επιλέγουμε Resource Grid με δεξί κλικ στο Project. (Σχήμα 26). Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται επιλέγοντας configure grid setup από το μενού του grid. (Σχήμα 27). Συμπληρώνουμε το πίνακα που εμφανίζεται δίνοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες x και y (min, max) του πλέγματος, την ανάλυση του πλέγματος και το ύψος από το έδαφος. (Σχήμα 28). Η ανάλυση πρέπει να συμφωνεί με τις διαστάσεις του πλέγματος.

Τα μέρη εκείνα του Workspace που δεν έχουν υπολογιστεί έχουν τα εικονιδιά τους σημειωμένα με ένα κόκκινο κύκλο. Ο κάθε υπολογισμός γίνεται επιλέγοντας calculate από το μενού του αντίστοιχου εικονιδίου. Μετά τον υπολογισμό μπορούμε να δούμε το αιολικό δυναμικό είτε πάνω στο χάρτη (επιλέγοντας την αντίστοιχη

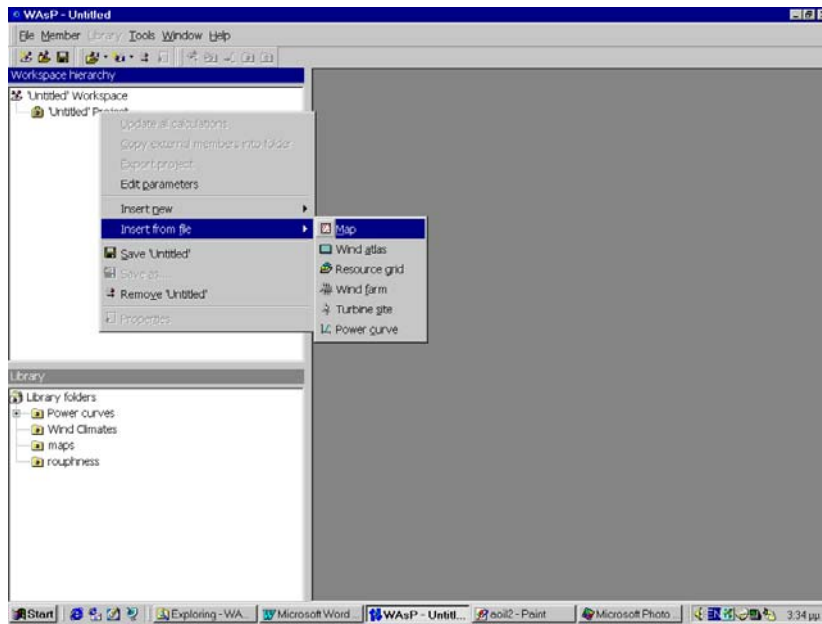
εντολή από το μενού του resource grid), είτε μεμονωμένα κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του resource grid. (Σχήμα 29).



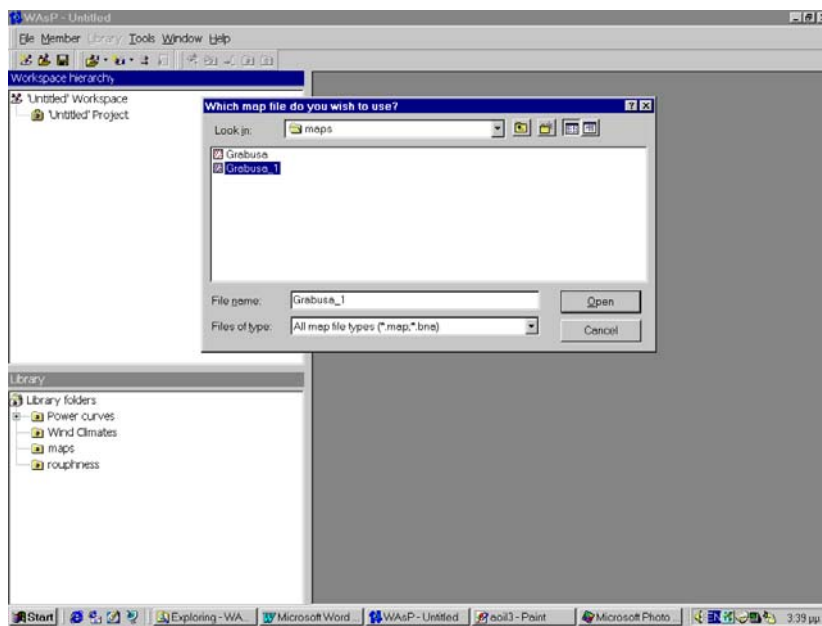
Σχήμα 20. Το περιβάλλον εργασίας του WasP.



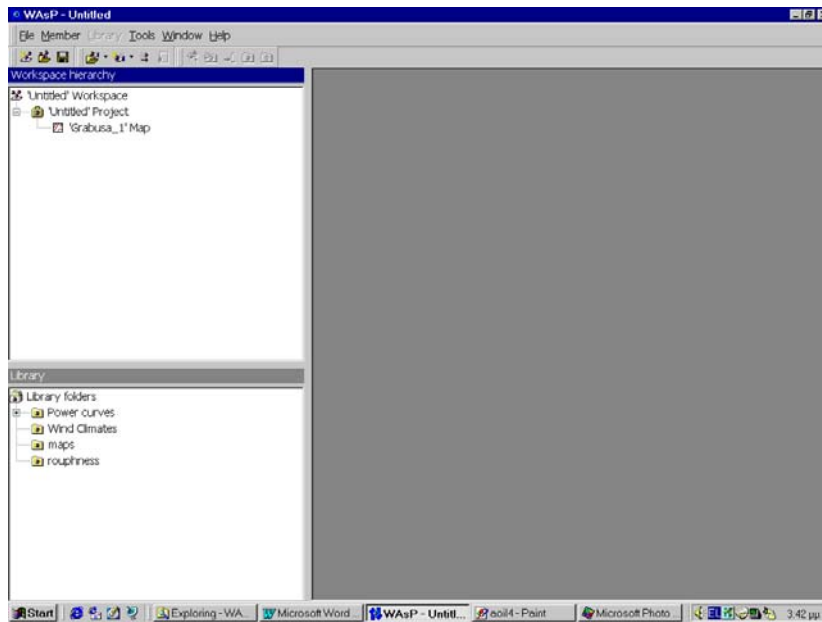
Σχήμα 21. Το μενού που εμφανίζεται κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο του Workspace.



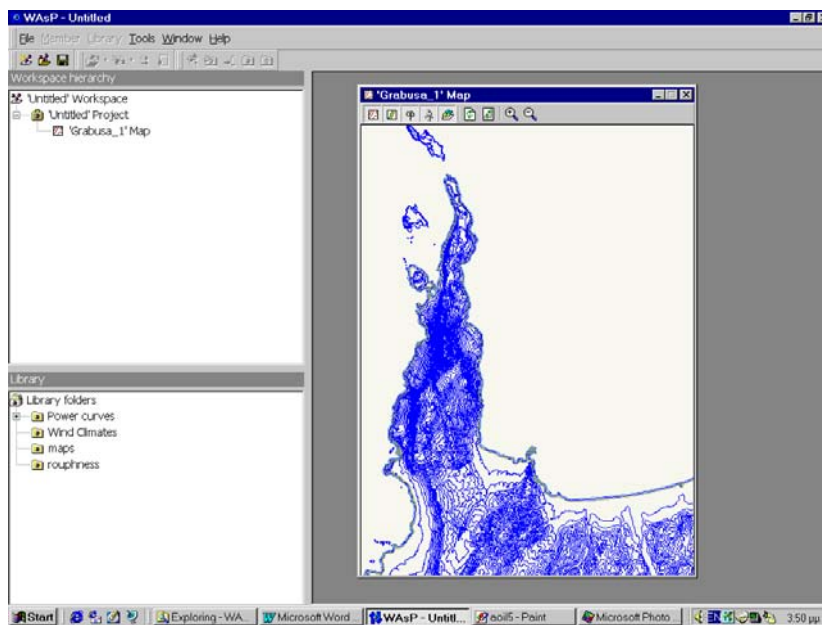
Σχήμα 22α. Εισαγωγή χάρτη στο Project.



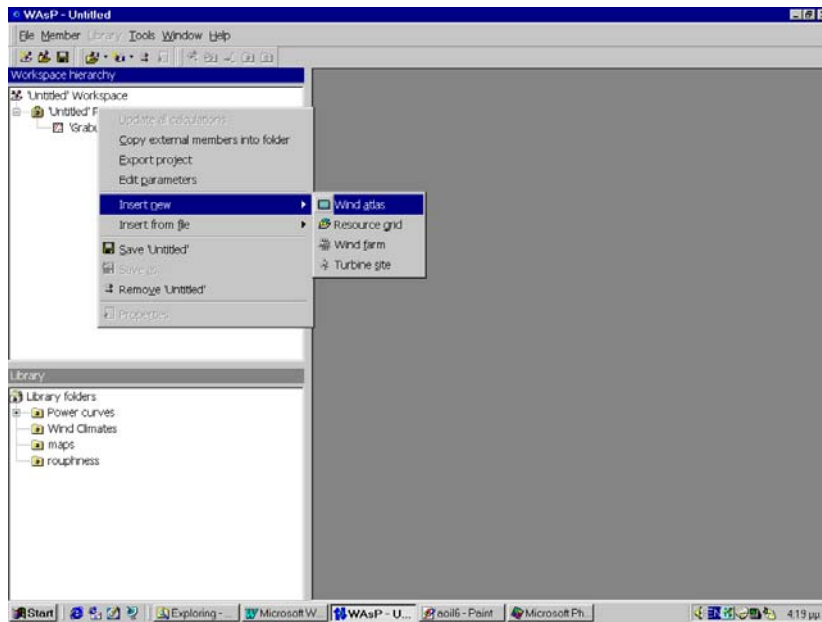
Σχήμα 22β. Επιλογή του αρχείου.



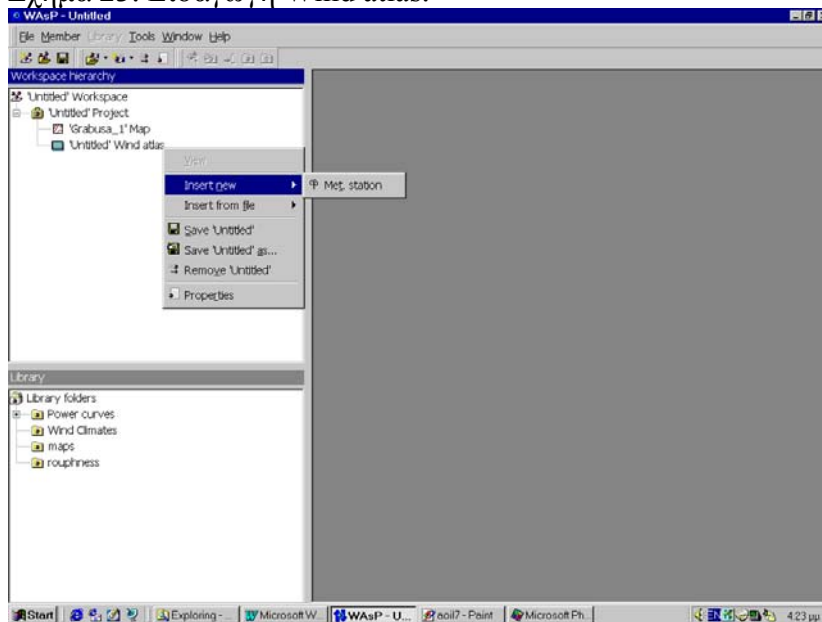
Σχήμα 22γ. Το εικονίδιο του χάρτη δηλώνει ότι το αρχείο φορτώθηκε και ιεραρχικά ανήκει στο Project.



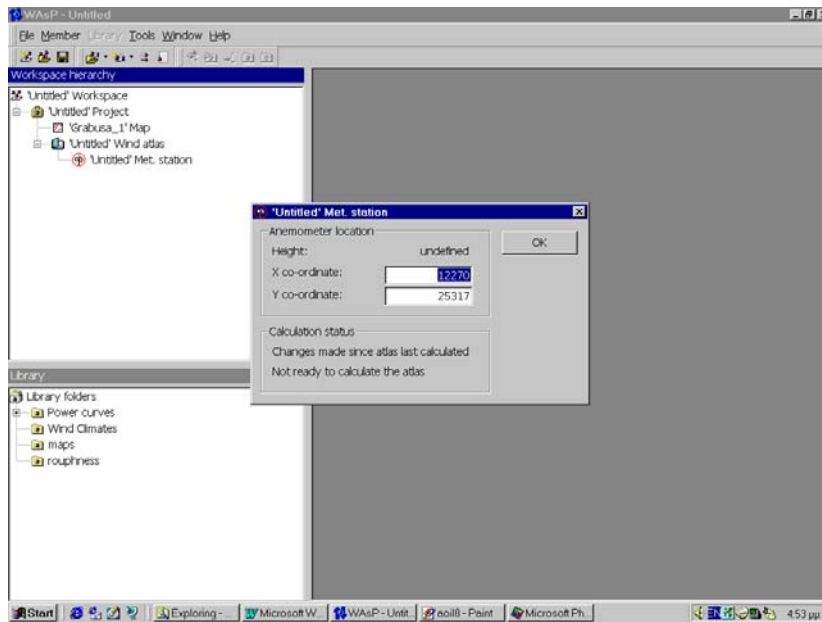
Σχέδιο 22δ. Μπορούμε να δούμε τον χάρτη κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιό του.



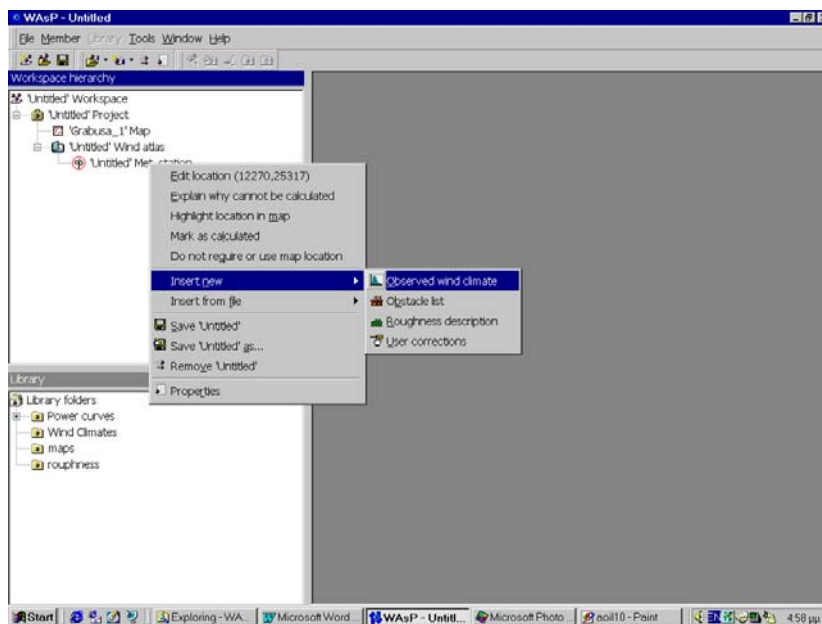
Σχήμα 23. Εισαγωγή Wind atlas.



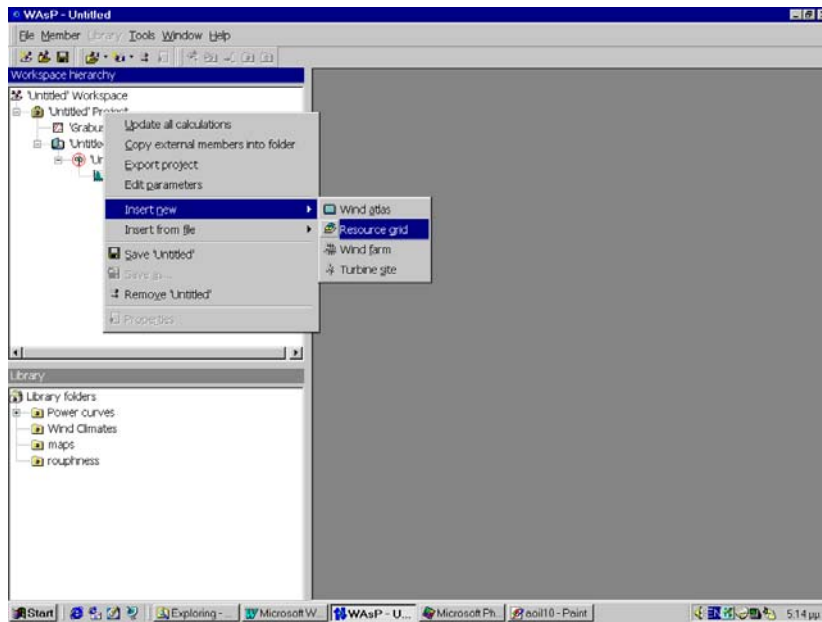
Σχήμα 24α. Εισαγωγή του Met. Station.



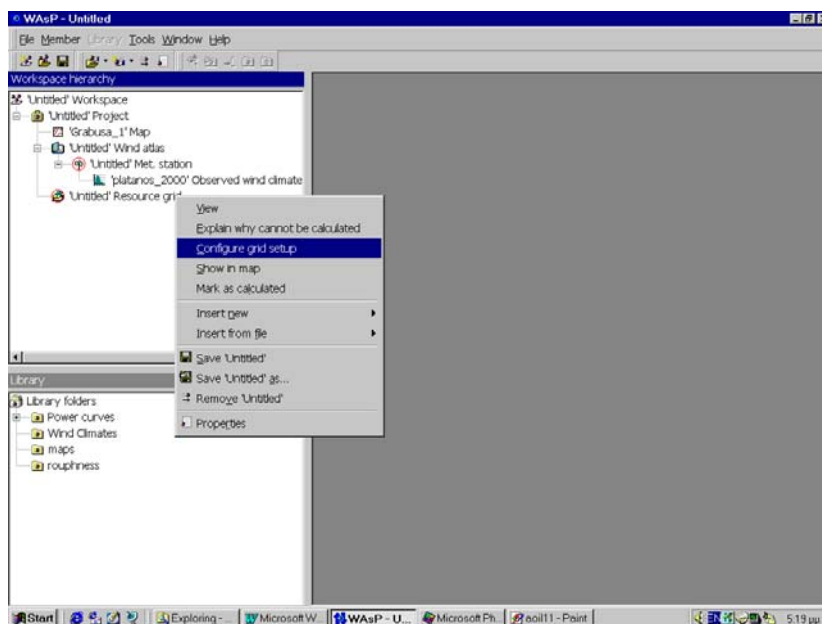
Σχήμα 24β. Εισαγωγή συντεταγμένων ανεμογράφου.



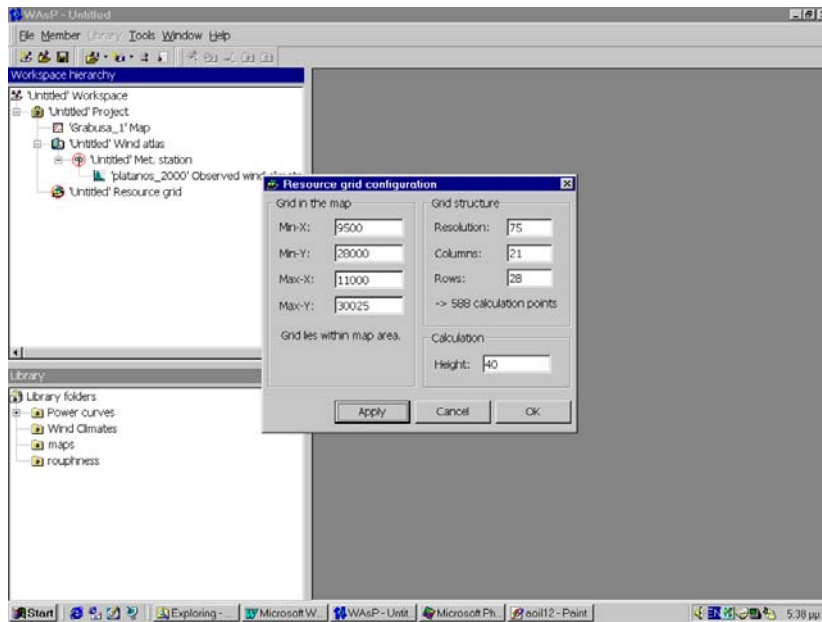
Σχήμα 25. Εισαγωγή observed wind climate (ροζέτα μετρήσεων) στο Met. Station.



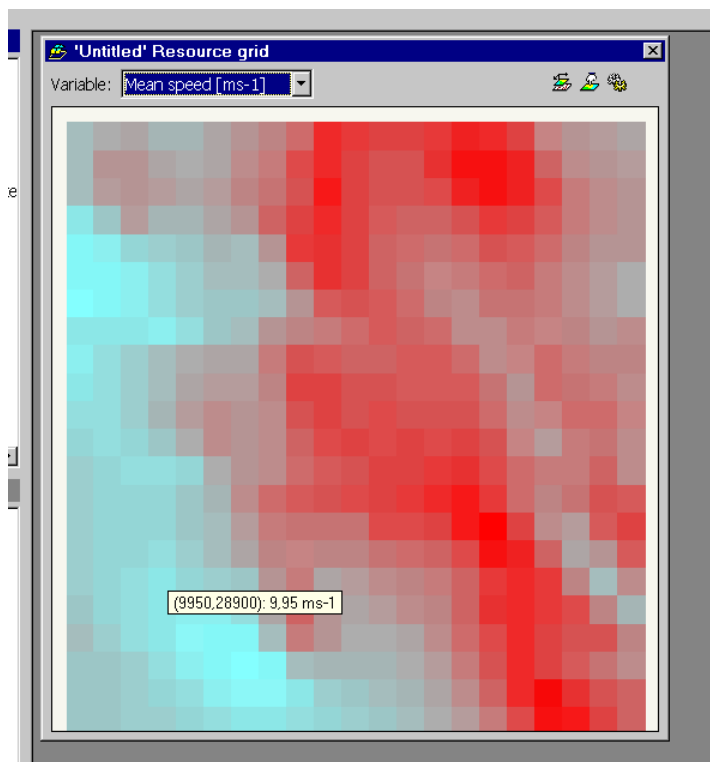
Σχήμα 26. Εισαγωγή Resource Grid στο Project.



Σχήμα 27.



Σχήμα 28. Ορισμός των παραμέτρων του Resource Grid.



Σχήμα 29. Η απόδοση του αιολικού δυναμικού σε χρωματική κλίμακα με ελάχιστη τιμή το γαλάζιο και μέγιστη το κόκκινο. Αφήνοντας το κέρσορα σε κάποιο σημείο μπορούμε να δούμε την τιμή της ταχύτητας του ανέμου στις αντίστοιχες συντεταγμένες. Μπορούμε να δούμε και την μεταβολή άλλων μεγεθών όπως της ενέργειας του ανέμου κτλ.

1.4.f Υπολογισμός παραγωγής ισχύος από μια ανεμογεννήτρια.

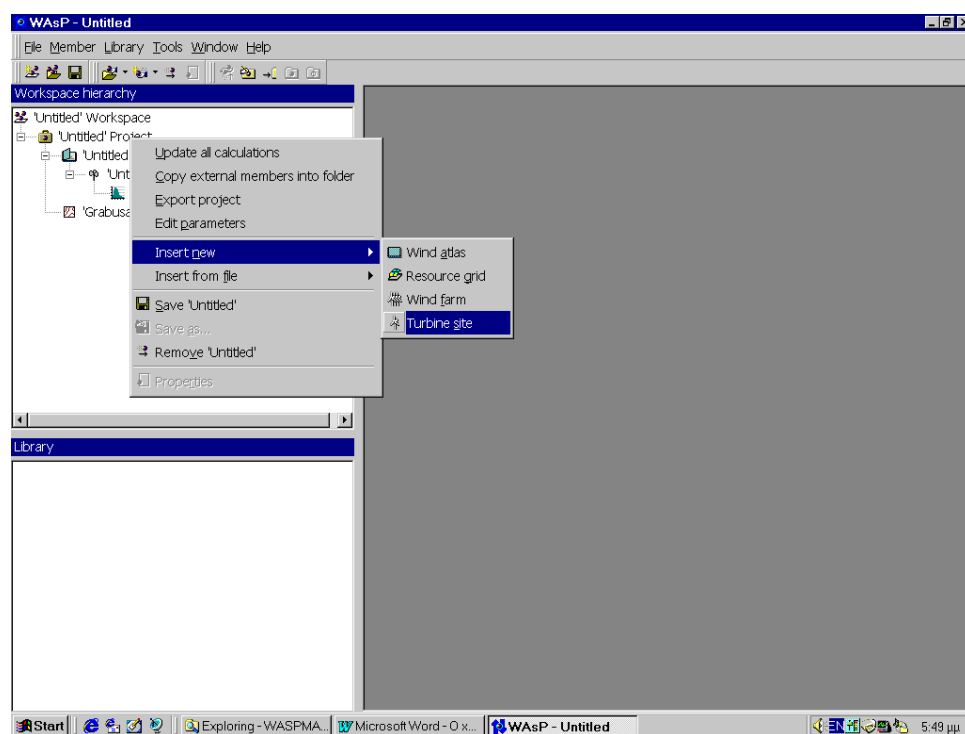
Υπολογισμός ανεμολογικών συνθηκών σε ένα site.

Η διαδικασία του υπολογισμού της μέσης ετήσιας παραγωγής ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια γίνεται αφού προσδιοριστεί η θέση και ο τύπος της ανεμογεννήτριας (ουσιαστικά η καμπύλη ισχύος της). Το WasP διαθέτει βιβλιοθήκες όπου είναι αποθηκευμένες οι καμπύλες ισχύος γνωστών ανεμογεννητριών. Επίσης είναι εύκολη η δημιουργία καινούργιων αρχείων καμπύλων ισχύος από τον χρήστη. Η διαδικασία υπολογισμού είναι η εξής :

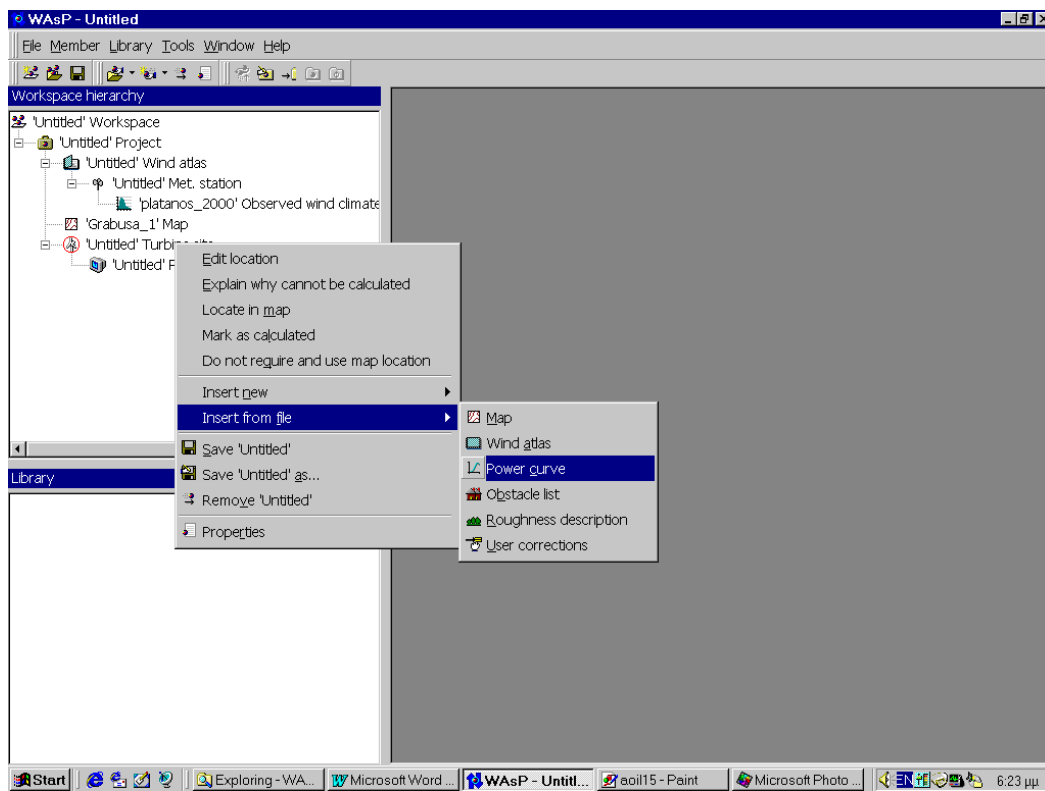
Εφόσον έχουν εισαχθεί στο Project ο χάρτης και τα ανεμολογικά δεδομένα (Wind atlas), εισάγουμε την θέση της ανεμογεννήτριας επιλέγοντας από το μενού του Project το Turbine site. (Σχήμα 30). Το εικονίδιο της ανεμογεννήτριας συνοδεύεται από το εικονίδιο Predicted Wind Climate το οποίο δίνει τα αποτελέσματα των υπολογισμών. (Σχήματα 31α, 31β)

Εισάγουμε την καμπύλη ισχύος από το μενού του Turbine site. (Σχήματα 31α, 31β) Προσδιορίζουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες του site (διπλό κλικ στο Turbine site. Σχήμα 32).

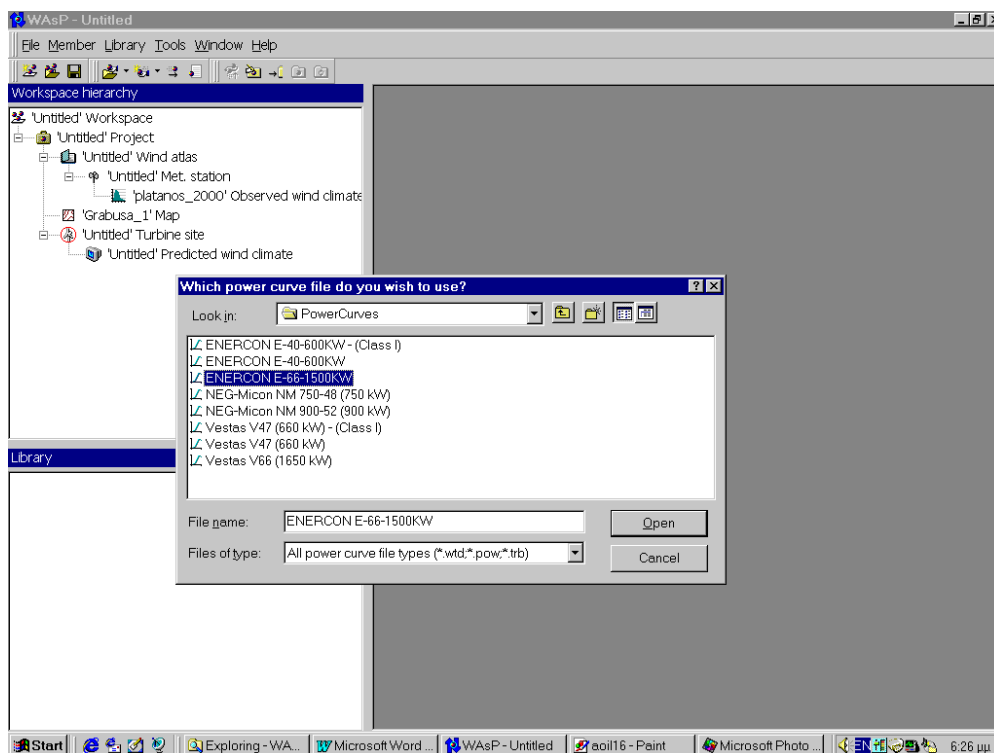
Όταν ο υπολογισμός του Turbine site γίνει χωρίς να εισαχθεί κάποια καμπύλη ισχύος τότε δεν μπορεί να γίνει υπολογισμός παραγωγής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να προσδιορίσουμε και το ύψος στο οποίο θέλουμε να γίνουν οι υπολογισμοί. Στην περίπτωση που εισαχθεί καμπύλη ισχύος το ύψος υπολογισμού ορίζεται αυτόματα σε αυτό της πλήμνης της ανεμογεννήτριας. (μπορεί όμως να αλλάξει εάν το επιθυμούμε). Αφού γίνει ο υπολογισμός μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του Predicted Wind climate (Σχήμα 33).



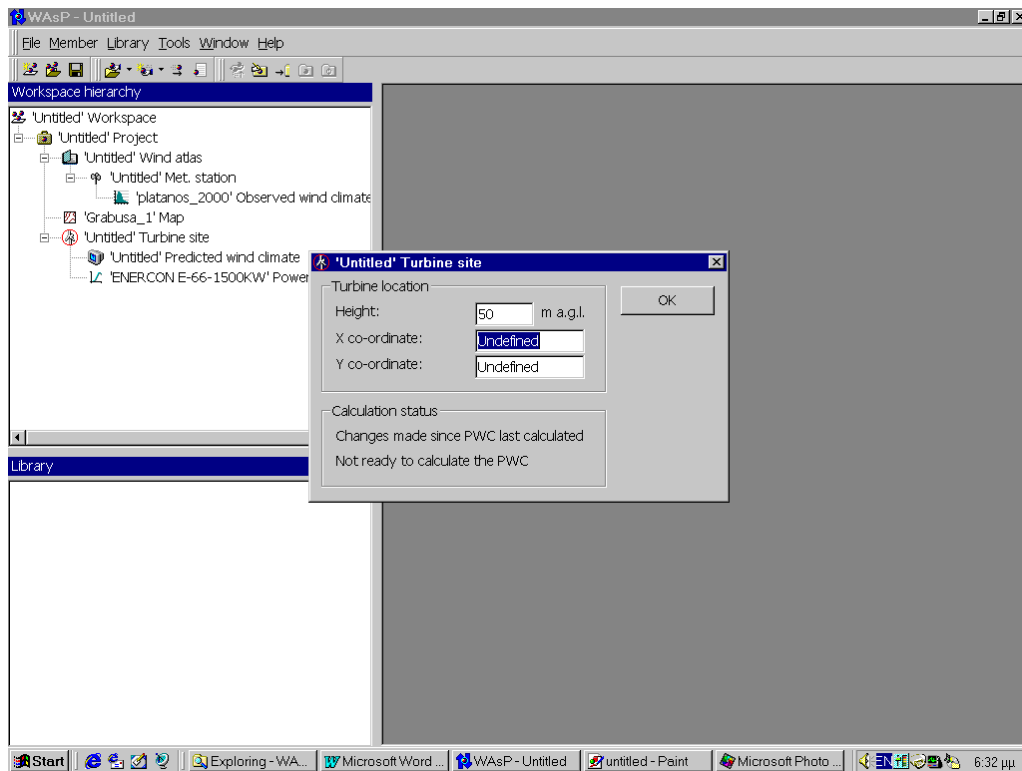
Σχήμα 30.



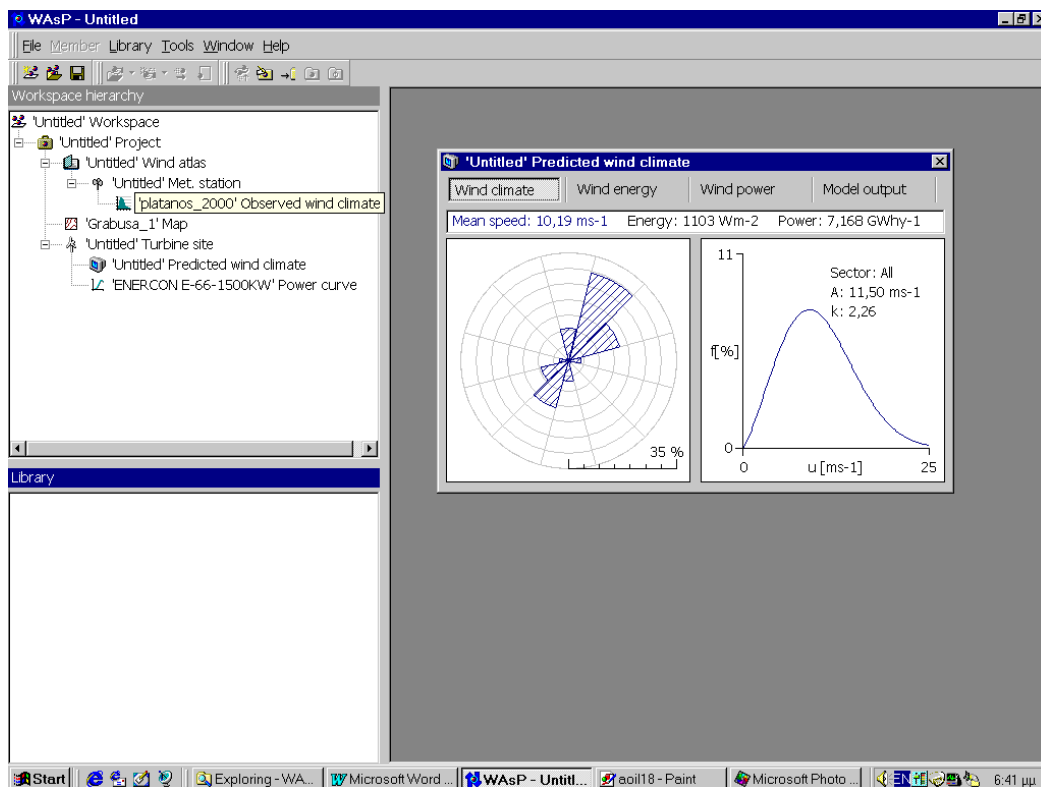
Σχήμα 31α.



Σχήμα 31β.



Σχήμα 32.



Σχήμα 33.

I.4.g Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ενέργειας αιολικού πάρκου.

- Για τον υπολογισμό παραγωγής ενέργειας αιολικού πάρκου εισάγουμε στο Project το μέλος Wind Farm.(Σχήμα 34)

Εισάγουμε την καμπύλη ισχύος των μηχανών από τις οποίες αποτελείται το αιολικό πάρκο.

Κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο του Wind Farm εμφανίζεται ένας κατάλογος όπου θα πρέπει να οριστεί η θέση και το όνομα κάθε ανεμογεννήτριας. (Σχήμα 35). Σε αυτόν τον κατάλογο δίνονται και τα αποτελέσματα των υπολογισμών (Σχήμα 36).

Η εισαγωγή του ονόματος και της θέσης κάθε ανεμογεννήτριας στον παραπάνω κατάλογο γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο της ανεμογεννήτριας που υπάρχει στην πάνω δεξιά γωνία του. Η κατάργηση μιας θέσης γίνεται με το εικονίδιο ακριβώς δίπλα. Για δώσουμε τις συντεταγμένες κάνουμε κλικ στο ανάλογο πλαίσιο και Πατάμε ENTER.

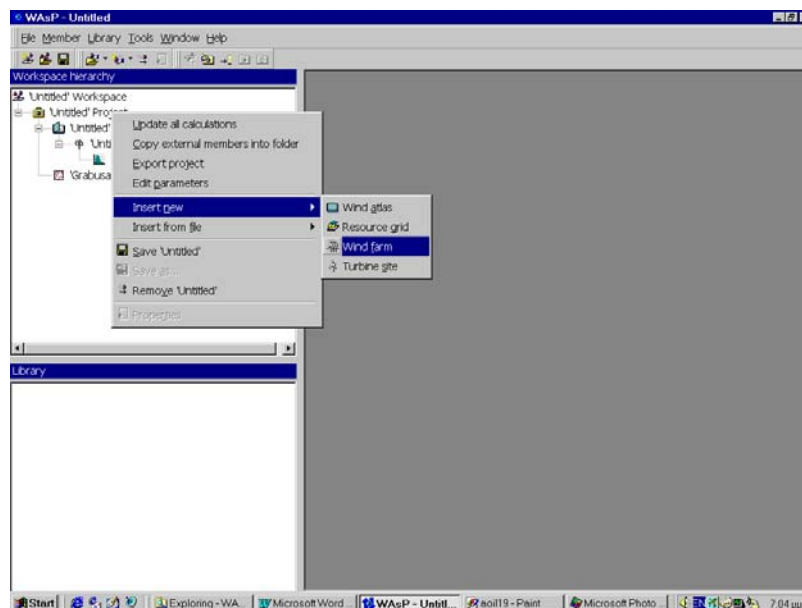
I.4.h Χρήσιμες πληροφορίες.

Τα αποτελέσματα σε κάθε πίνακα μπορούν να μεταφερθούν σε κείμενο του Word ή του Excel κάνοντας κλικ πάνω τους και μετά Copy – Paste.

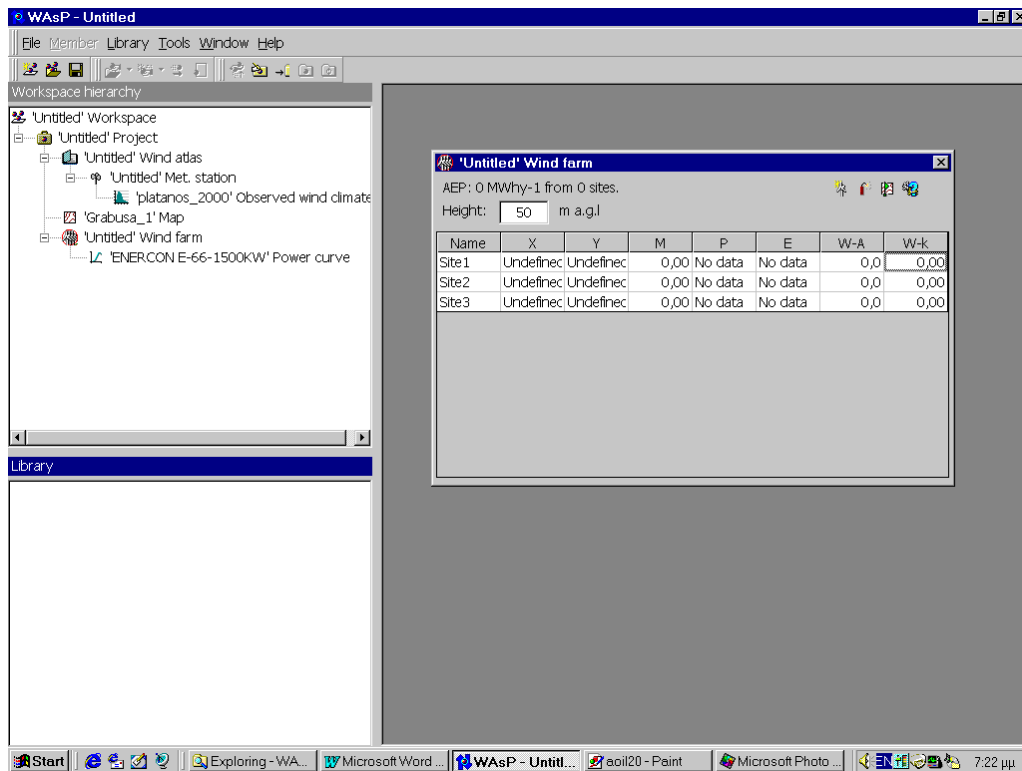
Όταν αποθηκεύουμε την εργασία το WasP δημιουργεί ένα directory. Οι υπολογισμοί και τα δεδομένα αποθηκεύονται σε συγκεκριμένες θέσεις του directory και τυχόν μεταφορά των αρχείων μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα όταν χρειαστεί να τα ‘ξαναφορτώσουμε’.

Οποιοσδήποτε χάρτης μπορεί να διορθωθεί μέσω του map editor και μέσα από το περιβάλλον του WasP χωρίς να χρειαστεί να βγούμε από το πρόγραμμα.

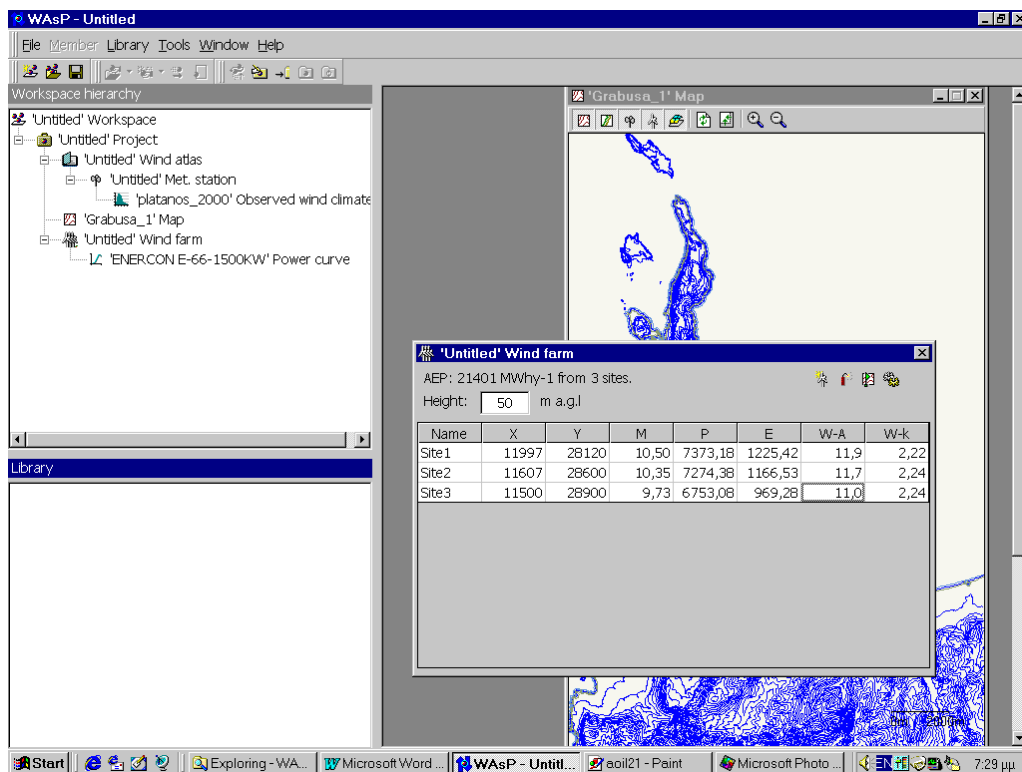
Τα ανεμολογικά δεδομένα μπορούν να εισαχθούν μέσω Wind atlas που έχει ήδη υπολογιστεί χωρίς να χρειάζεται καινούργιος υπολογισμός του από Met. Station και Observed Wind Climate δεδομένα.



Σχήμα 34.



Σχήμα 35.



Σχήμα 36.