

**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).

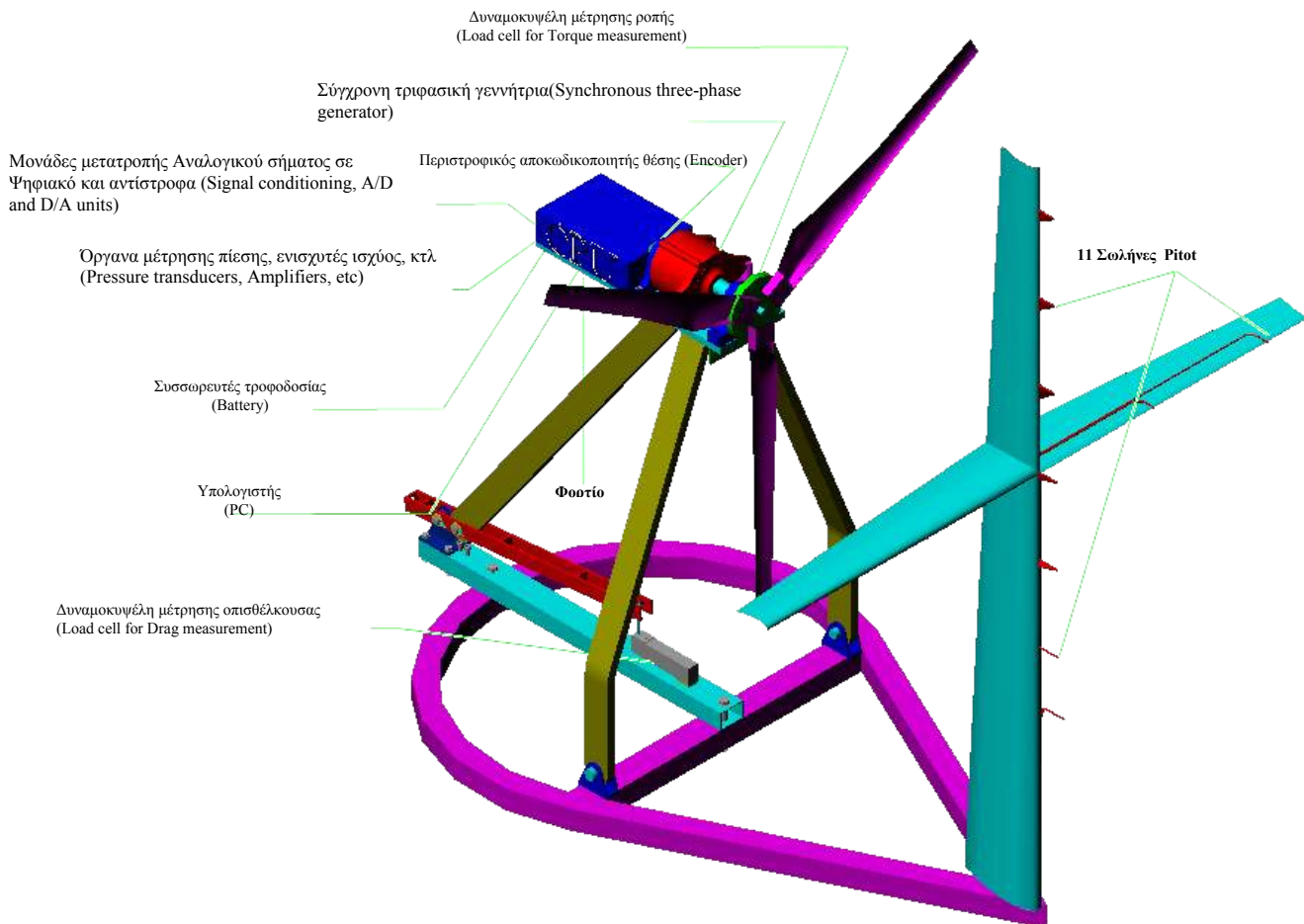
Κατά τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας, η πτερύγωση δεσμεύει ένα ποσοστό της κινητικής ενέργειας του ανέμου (όριο του Betz) και η ενέργεια αυτή μεταφέρεται, μέσω του δρομέα (ρότορα) στη γεννήτρια που χρησιμοποιείται για να δεσμεύει την ενέργεια αυτή. Η ενέργεια που δεσμεύεται, μετατρέπεται μέσω του στρεφόμενου 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:

$$P = M * \omega$$



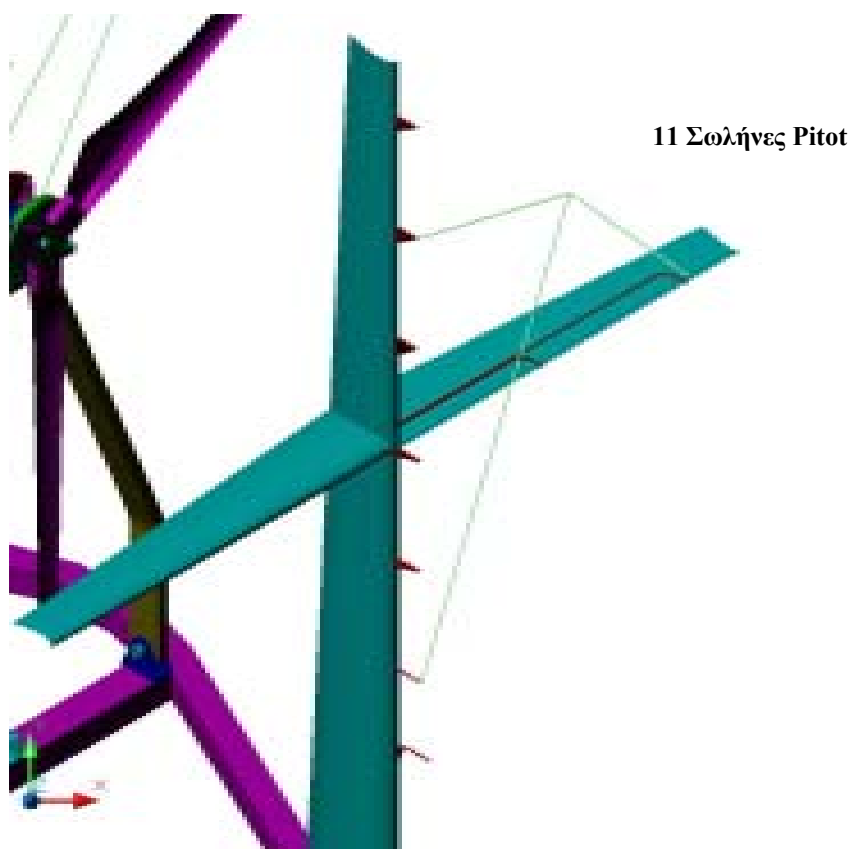
Εικόνα I.1-1. Συναρμολογημένη διάταξη δοκιμαστηρίου Ανεμογεννητριών

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 ($\frac{1}{2}\rho V^2$).

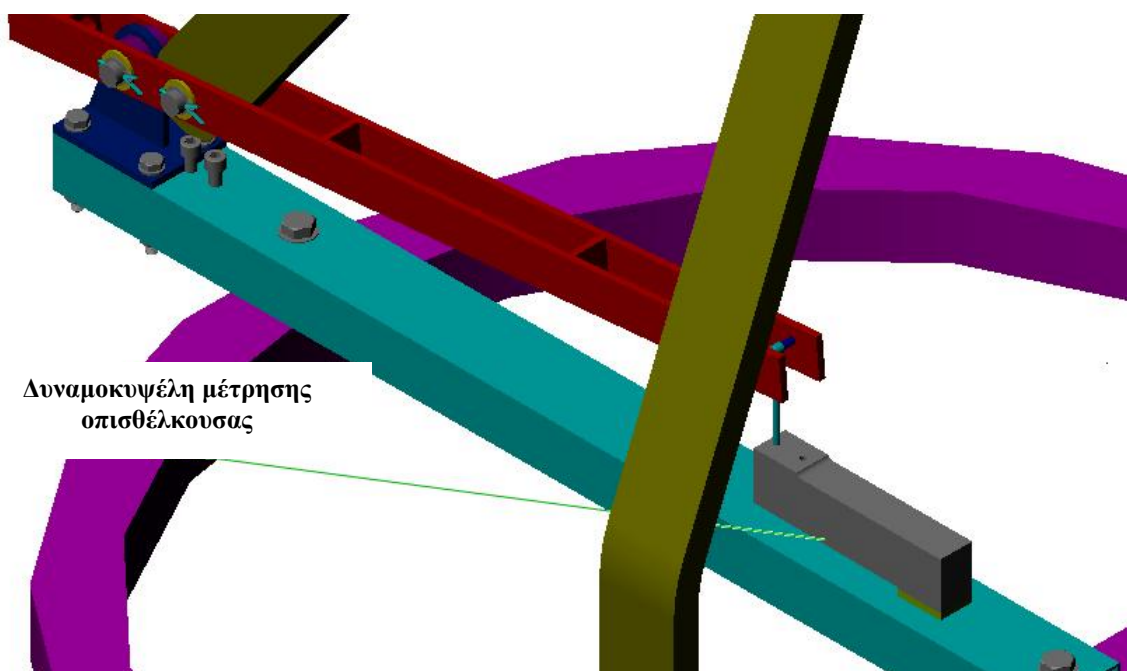


Εικόνα I.1-2. Σωλήνες Pitot για μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου

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)

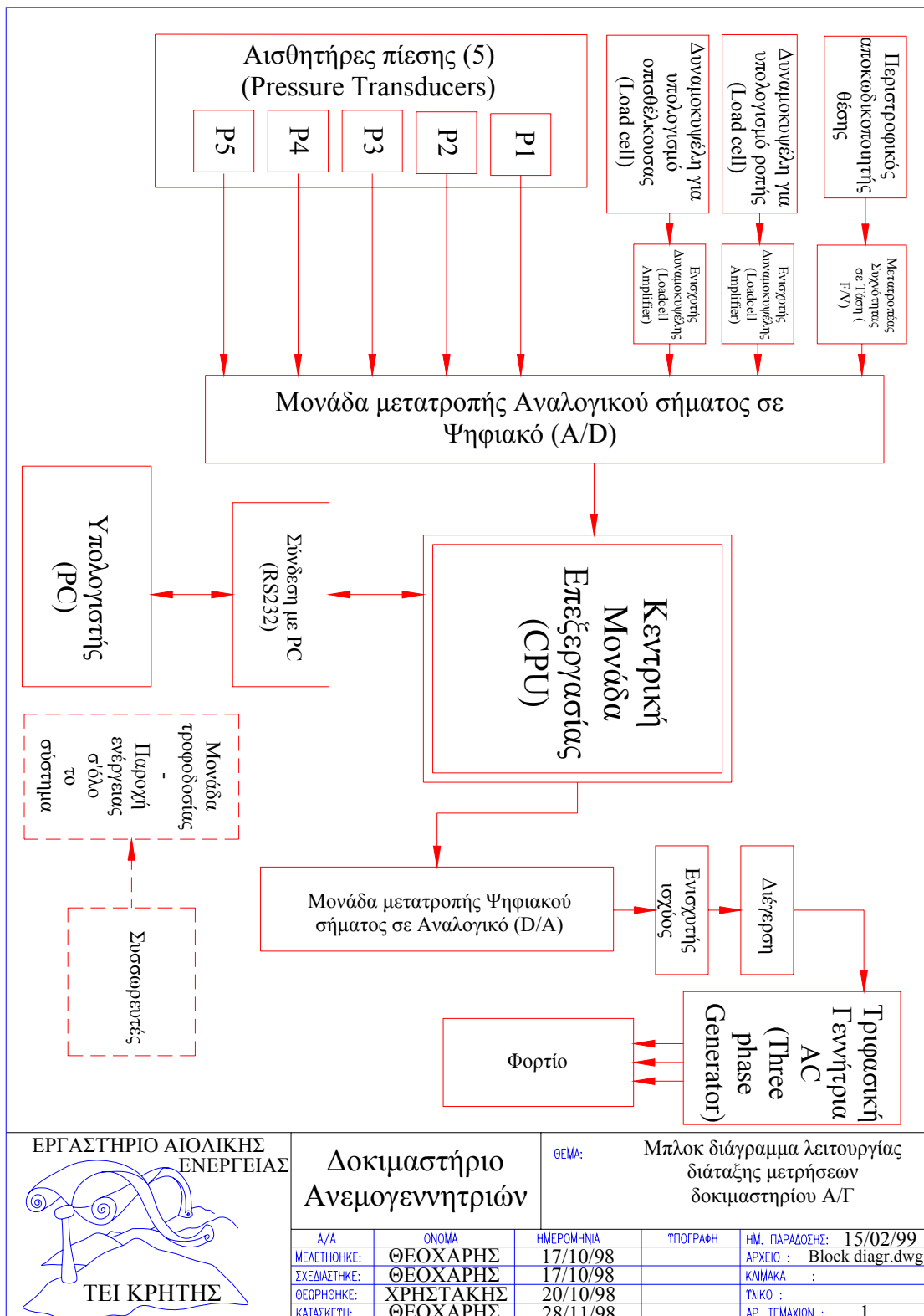
Οι μονάδες παρέχουν έξοδο -10 - +10V με δυνατότητα ρύθμισης της κλίμακας καθώς και του σημείου γύρω από το μηδέν.

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.



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Δοκιμαστήριο Ανεμογεννητριών

ΘΕΜΑ: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας διάταξης μετρήσεων δοκιμαστηρίου Α/Γ

Α/Α	ΟΝΟΜΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ	ΗΜ. ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ: 15/02/99
ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΕ:	ΘΕΟΧΑΡΗΣ	17/10/98		ΑΡΧΕΙΟ : Block diagr.dwg
ΣΧΕΔΙΑΣΤΗΚΕ:	ΘΕΟΧΑΡΗΣ	17/10/98		ΚΛΙΜΑΚΑ :
ΘΕΩΡΗΘΗΚΕ:	ΧΡΗΣΤΑΚΗΣ	20/10/98		ΤΥΠΟΣ :
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ:	ΘΕΟΧΑΡΗΣ	28/11/98		ΑΡ. ΤΕΜΑΧΙΩΝ : 1

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 πτερύγωσης 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

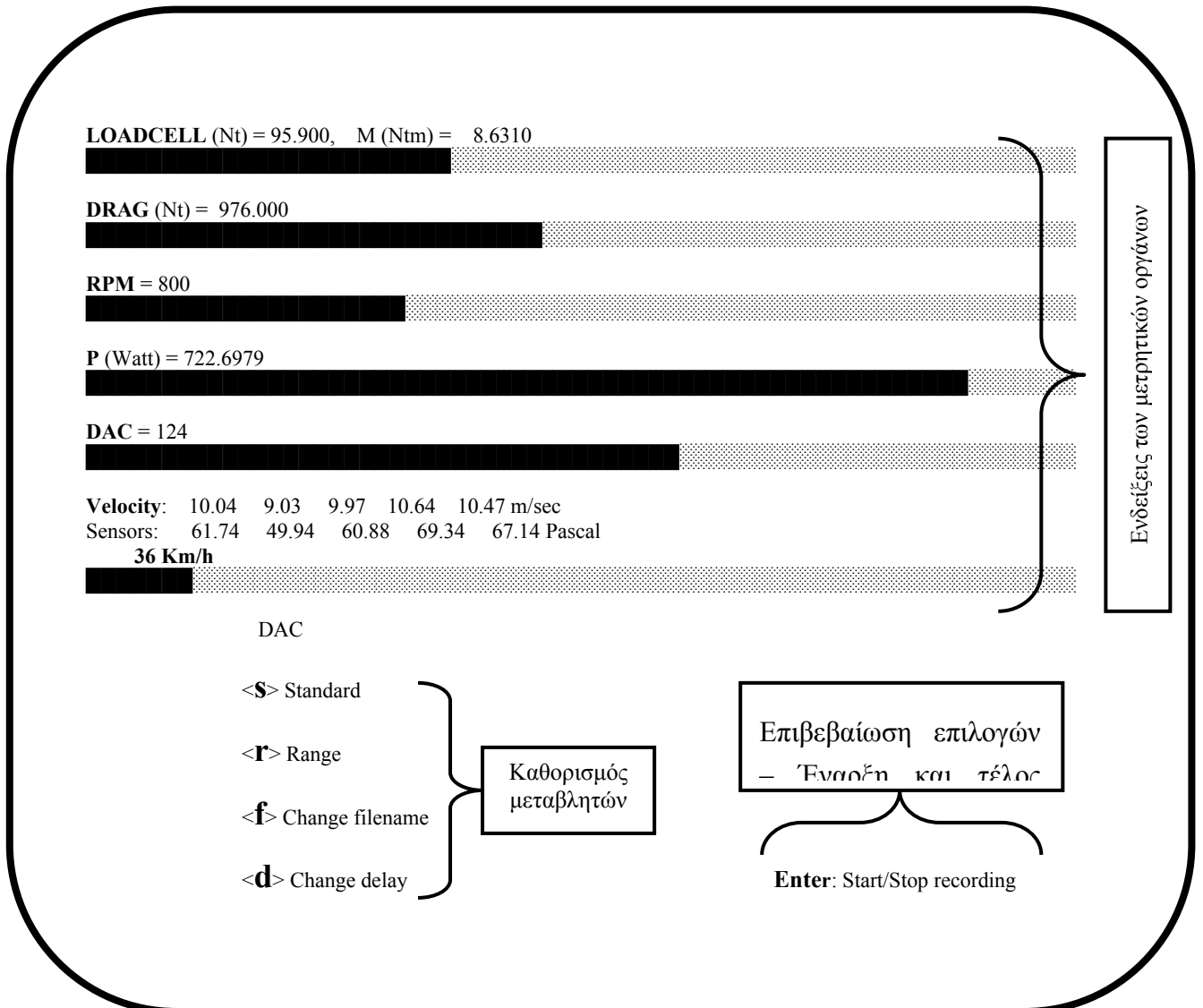
Πρόκειται για τον καθορισμό του φορτίου της διέγερσης.

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:

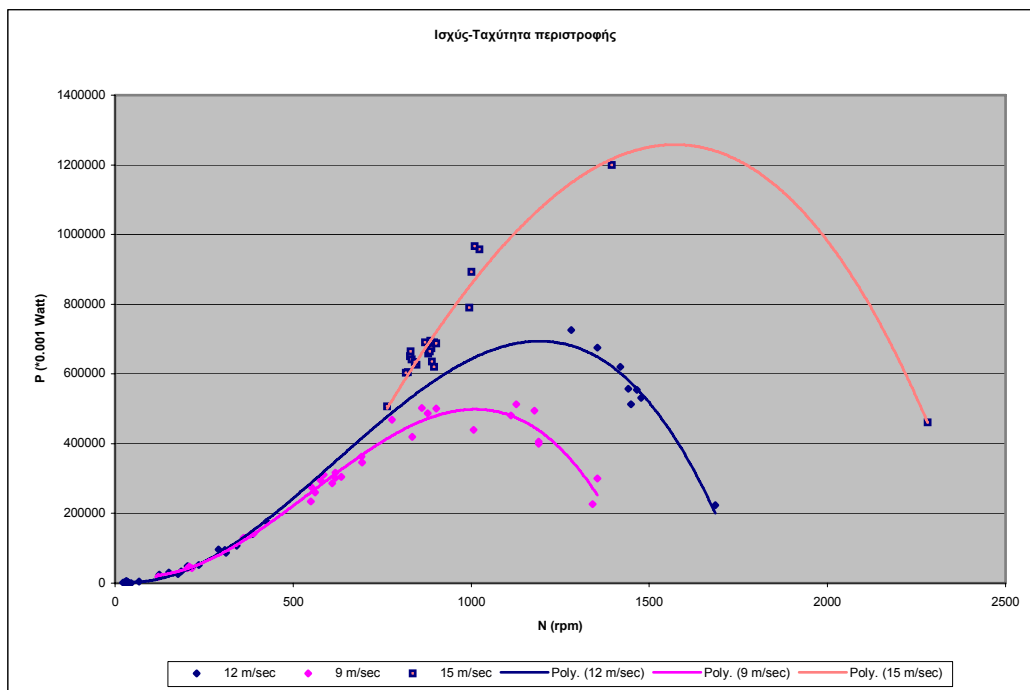
Σύμβολο	Όνομα μεταβλητής	Συντελεστής	Μονάδες
DAC	Αντιπροσωπευτικό της διέγερσης		Αδιάστατο
Lc	Δύναμη στη δυναμοκυψέλη μέτρησης ροπής	x 1000	Nt
Lc2	Δύναμη στη δυναμοκυψέλη μέτρησης οπισθέλκουσας	x 1000	Nt
N	Ταχύτητα περιστροφής δρομέα		RPM
Ω	Ταχύτητα περιστροφής δρομέα	x 1000	rad/sec
λ	Λόγος ταχυτήτων 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.