

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κύριος στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν να ολοκληρωθεί και να εκσυγχρονιστεί εγχειρίδιο, που θα χρησιμοποιηθεί για εκπαιδευτικούς λόγους, και αφορά την εργαστηριακή άσκηση με τίτλο «μέτρηση της ταχύτητας της ροής σε αεροσήραγγα». Ο εξοπλισμός βρίσκεται στο εργαστήριο της μηχανικής των ρευστών στην Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας.

Η συγκεκριμένη εργαστηριακή άσκηση έχει ως κύριο σκοπό την καλύτερη κατανόηση βασικών φαινομένων της ροής.

Το εγχειρίδιο αυτό περιλαμβάνει τα εξής:

1. Θεωρητική αναφορά στην Μηχανική Ρευστών, στην αεροδυναμική και στην περιγραφή της αεροσήραγγας.
2. Πειραματικό μέρος που περιέχει
 - A. Οδηγίες της πειραματικής ακολουθίας
 - B. Τα είδη διαγραμμάτων που προτείνονται να σχεδιαστούν
 - Γ. Τους απαραίτητους υπολογισμούς για εύρεση της ταχύτητας της ροής.

ABSTRACT

The primary goal of this work is to compete and modernize a booklet that is going to be used, for academic purposes, in a lab exercise titled “measurement of air velocity in a wind tunnel”. The lab equipment is located in the lab of fluid mechanics at the Merchant marine academy Macedonia in Thessaloniki.

This exercise helps students to have a better understanding of basic phenomena in fluid dynamics.

This booklet consists of the following

- a) The theoretical part where there is extensive reference to the theoretical background of Fluid Mechanics and Aerodynamics, and a description of the wind tunnel.
- b) The experimental part which contains
 - 1) Lab measurement protocol
 - 2) Types of graphs that have to be drawn
 - 3) The necessary calculations in order to find the air velocity in the wind tunnel.

1. Εισαγωγή

Σκοπός της *Μηχανικής των Ρευστών* που ονομάζεται και *Δυναμική των Ρευστών*, είναι η έρευνα και η διατύπωση των νόμων της κινηματικής και της δυναμικής των ρευστών σωμάτων, δηλαδή των υγρών, των αερίων και των ατμών. Έτσι, η Μηχανική των Ρευστών μαζί με την Μηχανική των Στερεών (*δυναμική και αντοχή*) αποτελούν τα δύο σκέλη της Μηχανικής.

Η μηχανική των ρευστών ανήκει στις θετικές επιστήμες. Έχει εκτεταμένο θεωρητικό και πειραματικό αντικείμενο και γι' αυτό η συμβολή της στην εξέλιξη της μαθηματικής επιστήμης και των άλλων συγγενών θεωρητικών κλάδων ήταν σημαντική. Εκεί όμως που η σημασία της μηχανικής των ρευστών είναι αποφασιστική είναι η Τεχνική, όπου συναντάμε τις εφαρμογές της σε κάθε βήμα. Οι υπολογισμοί: σωληνώσεων, αεραγωγών, υδραυλικών δικτύων, τα θεαματικά επιτεύγματα της ναυπηγικής και αεροναυπηγικής ακόμα δε και η λειτουργία των στροβιλομηχανών (*στρόβιλοι, αντλίες, στροβιλοσυμπιεστές*) αποτελούν άμεσες εφαρμογές των νόμων της.

1.1 Αεροδυναμική

Η αεροδυναμική, αποτελεί ένα κεφάλαιο εφαρμογών της μηχανικής των ρευστών και ασχολείται με τις μηχανικές ιδιότητες των αερίων. Πρωταρχικό της στόχος αποτελεί η βελτίωση της αεροδυναμικής μορφής κατασκευών του ανθρώπου, οι οποίες κατά την κίνηση τους, δέχονται στην επιφάνεια τους τις δυνάμεις αντιστάσεως του αέρα (*αεροσκάφη, αυτοκίνητα κλπ.*)

Μηχανικές ιδιότητες ρευστών

Τα ρευστά παρουσιάζουν κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες όπως, η συνέχεια της μοριακής δομής τους, η πυκνότητα ρ της μάζας τους, η επίδραση εξωτερικών δυνάμεων πάνω σε αυτά, η πίεση P της κατάστασης τους, η συνεκτικότητα ή ιξώδες, η απόλυτη θερμοκρασία T , η θερμική και ηλεκτρική αγωγή. Αυτές οι ιδιότητες αναλύονται παρακάτω.

Συνεχή μέσα

Είναι γνωστό ότι τα υλικά σώματα, επομένως και τα ρευστά έχουν μοριακή υφή, δηλαδή είναι μέσα ασυνεχή. Όμως, επειδή τα μόρια έχουν πάρα πολύ μικρές διαστάσεις και η φυσική συμπεριφορά τους εμφανίζει στατιστική ομοιομορφία αποδείχθηκε ότι θα μπορούσαμε να τα θεωρήσουμε ως μέσα συνεχή και ισότροπα. Εκφράζουμε την ιδιότητα της συνέχειας μέσα στον χώρο που κατέχει το ρευστό, με τις παραδοχές ότι:

α) κάθε στοιχείο όγκου, με την μαθηματική έννοια του διαφορικού όγκου dV είναι πλήρες μάζας ρευστού που διατηρεί τις αυτές φυσικές ιδιότητες

β) η μεταβολή καθενός από τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν την κατάσταση του ρευστού είτε από θέση σε θέση είτε από χρονική σε χρονική στιγμή, είναι συνεχής συνάρτηση της θέσης και του χρόνου.

Πυκνότητα ρ

Αν ρ η πυκνότητα μάζας του ρευστού στην θέση του στοιχείου όγκου dV η μάζα που περιέχει το στοιχείο αυτό είναι:

$$dm = \rho dV$$

Η διαφορική ποσότητα dm ονομάζεται στοιχείο μάζας ή απλά στοιχείο του ρευστού και εκφράζει την μαθηματική έννοια της συνέχειας της μάζας. Δεν πρέπει λοιπόν το dm να συγχέεται με την έννοια του μορίου της φυσικής, που εκφράζει την ιδιότητα της ασυνέχειας της ύλης. Τέλος, διατυπώνουμε την ιδιότητα του ισότροπου. λέγοντας ότι οι εκδηλώσεις των φυσικών ιδιοτήτων του ρευστού μέσα στο στοιχείο dm δεν εξαρτώνται από τον προσανατολισμό του στοιχείου.

Επίδραση εξωτερικών δυνάμεων

Τα ρευστά, ως υλικά σώματα, βρίσκονται κάτω από την επίδραση εξωτερικών δράσεων π.χ. δυνάμεων βαρύτητας, εμφανίζουν δε εσωτερικές αντιδράσεις μάζας, π.χ. τις δυνάμεις αδράνειας. Κάθε στοιχείο του ρευστού λοιπόν, είτε σε ηρεμία είτε σε κίνηση, βρίσκεται σε εντατική κατάσταση που εξασκείται σ' αυτό από τα γειτονικά του στοιχεία. Λέγοντας ότι το ρευστό βρίσκεται σε κίνηση, εννοούμε γενικά, ότι γειτονικά στοιχεία μέσα στη μάζα του βρίσκονται σε κίνηση μεταξύ τους. Αντιπροσωπευτικές μορφές ρευστών με την παραπάνω ιδιότητα, που μπορούν ταυτόχρονα να θεωρηθούν και ως μέσα συνεχή είναι:

- α) για τα υγρά, το νερό, το οινόπνευμα, η βενζίνη, τα λάδια κλπ. σε κατάσταση όχι κοντά στο σημείο βρασμού ή στο σημείο πήξης τους,
- β) για τα αέρια και τους ατμούς, ο αέρας και τα βιομηχανικά αέρια όχι σε πάρα πολύ μικρές πιέσεις, επίσης ο υδρατμός σε υπέρθερμη κατάσταση.

Πίεση P

Χαρακτηριστικό της εντατικής κατάστασης των ρευστών αποτελεί η πίεση P. Αν θεωρήσουμε ότι στην ελεύθερη επιφάνεια ενός σώματος ασκηθεί κάθετα μία δύναμη F, τότε μπορούμε να ορίσουμε την πίεση P που δέχεται το σώμα ως το μέτρο της δύναμης που ενεργεί κάθετα στη μονάδα της επιφάνειας.

$$P=dF/dE$$

Ιξώδες ν, μ

Το ιξώδες είναι χαρακτηριστική φυσική ιδιότητα των ρευστών και το αίτιο εμφάνισης διατμητικής, εντατικής κατάστασης μέσα στην ρευστή μάζα. Η εκδήλωση της ύπαρξης συνεκτικότητας (ή ιξώδες) μοιάζει με την εμφάνιση της τριβής στην επιφάνεια επαφής δύο στερεών σωμάτων που κινούνται μεταξύ τους. Ουσιαστικά αποτελεί την τριβή μεταξύ των μορίων του ρευστού, όταν αυτό ρέει πάνω σε μία επιφάνεια, γι' αυτό η συνεκτικότητα ονομάζεται και εσωτερική τριβή των ρευστών. Υπάρχουν δυο συντελεστές ιξώδους: Ο συντελεστής κινηματικού ιξώδους που συμβολίζεται με το γράμμα ν.

Ο συντελεστής δυναμικού ιξώδους που συμβολίζεται με το γράμμα μ .

Διατμητική τάση συνεκτικότητας τ

Η θεμελιακή σχέση του Newton για την διατμητική δύναμη που προέρχεται από την συνεκτικότητα στην περίπτωση ρευστού σε παράλληλη κίνηση είναι:

$$\tau = \mu \cdot dc/dy$$

Όπου με τ , συμβολίζουμε την διατμητική τάση συνεκτικότητας που παριστάνει τη δύναμη στη μονάδα της επιφάνειας μεταξύ δύο επιφανειών σε μικρή απόσταση, παραλλήλων μεταξύ τους και με ταχύτητα c , με μ το φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει τη συνεκτικότητα του ρευστού και ονομάζεται δυναμικό ιξώδες, με dc τη διαφορά ταχύτητας μεταξύ δύο επιφανειών, λόγω διαφοράς συνεκτικότητας και με dy την απόσταση μεταξύ τους.

Απόλυτη θερμοκρασία T

Κατά την κινητική θεωρία, η εσωτερική θερμική ενέργεια του αερίου, χαρακτηρίζεται με την απόλυτη θερμοκρασία T του αερίου και είναι ανάλογη της μέσης κινητικής ενέργειας των μορίων του κατά την άτακτη μοριακή τους κίνηση. Θεμελιακή σχέση που συνδέει την πίεση P και την πυκνότητα ρ και την απόλυτη θερμοκρασία T σε κάποια θέση μέσα στην μάζα αερίου είτε σε ηρεμία είτε σε κίνηση, είναι η γνωστή σχέση.

$$P \cdot \rho^{-1} = R \cdot T$$

Όπου R , η παγκόσμια σταθερά των αερίων. Στα λεγόμενα τέλεια αέρια η R διατηρεί σταθερή τιμή που εξαρτάται μόνο από την φύση του αερίου, ανεξάρτητα από την κατάσταση που βρίσκεται.

Θερμική και ηλεκτρική αγωγή

Η θερμική και ηλεκτρική αγωγή οφείλονται στην μοριακή υφή των ρευστών, υγρών ή αερίων, ο μηχανισμός τους όμως διαφέρει ριζικά από τον μηχανισμό των αντίστοιχων ιδιοτήτων των ρευστών. Γιατί, η μεν πρώτη συνδέεται άμεσα με την άδηλη μοριακή κίνηση, η δε δεύτερη, που απαιτεί την εμφάνιση ιόντων, οφείλεται στη μακροσκοπική κίνηση των ιόντων αυτού μέσα στην μάζα του ρευστού.

Πεδίο ροής ρευστών

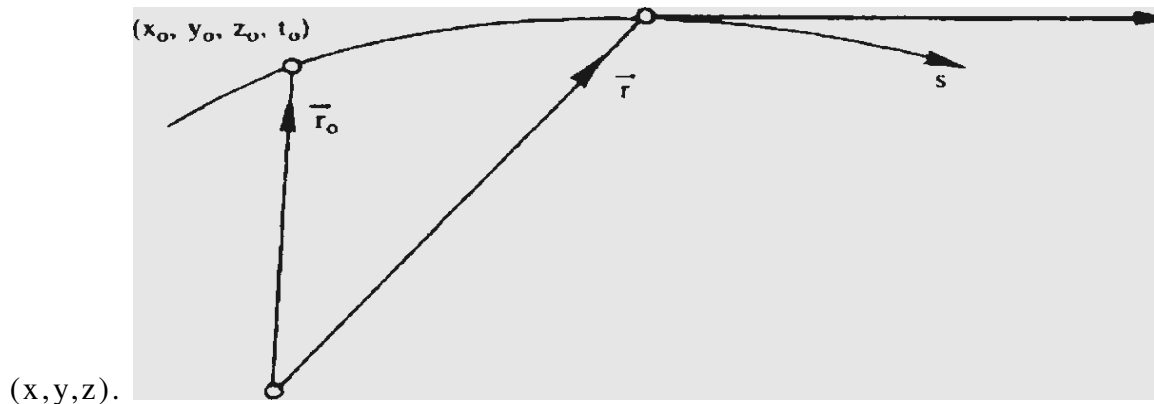
Ο φυσικός χώρος όπου βρίσκεται ρευστό σε κίνηση ονομάζεται πεδίο ροής. Στην κλασική μηχανική των ρευστών, όταν δηλαδή δεν υπάρχουν ηλεκτρικές ή μαγνητικές δράσεις στη μάζα του ρευστού, την κινηματική και την δυναμική του κατάσταση, περιγράφουν τέσσερα μεγέθη: Η ταχύτητα c , η πίεση P , η πυκνότητα ρ και η θερμοκρασία T . Τα μεγέθη αυτά χαρακτηρίζουν τις καταστάσεις των στοιχείων του ρευστού και είναι συνεχείς συναρτήσεις του χώρου και του χρόνου. Για την Μαθηματική απεικόνιση του πεδίου ροής δύο τρόποι αναφέρονται στην βιβλιογραφία: Η απεικόνιση κατά Lagrange και η απεικόνιση κατά Euler.

Απεικόνιση κατά Lagrange

Η απεικόνιση κατά Lagrange είναι επέκταση του τρόπου απεικόνισης της κίνησης των υλικών σημείων στην κλασική μηχανική και για την περίπτωση της μηχανικής των ρευστών. Στο σχήμα 1.1 παρακολουθούμε την κίνηση κάποιου στοιχείου του ρευστού καθώς διατρέχει την τροχιά του s από την αρχή της μέτρησης του χρόνου t_0 , όπου το στοιχείο βρισκόταν στη θέση (x_0, y_0, z_0) . Έτσι σε διανυσματική παράσταση, με αρχή το σημείο O , η επιβατική ακτίνα r , πάνω στην τροχιά s , κατά τον χρόνο t θα είναι:

$$r(x,y,z,t) = r_0(s,(t-t_0))$$

δηλαδή το διάνυσμα r εκφράζεται ως συνάρτηση του r_0 στον χρόνο t_0 της τροχιάς s και του χρονικού διαστήματος $t-t_0$, που παρήλθε για να διανύσει το στοιχείο dm το τμήμα της τροχιάς από το (x_0, y_0, z_0) στο



Σχήμα 1.1. Η απεικόνιση κατά Lagrange

Η μέθοδος αυτή κατάλληλη για την απεικόνιση της κίνησης υλικών σημείων ή και στερεών σωμάτων της κλασσικής μηχανικής, απεδείχθη πολύπλοκη και όχι πρόσφορη στην μηχανική των ρευστών. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται μόνο σε ιδιικές περιπτώσεις.

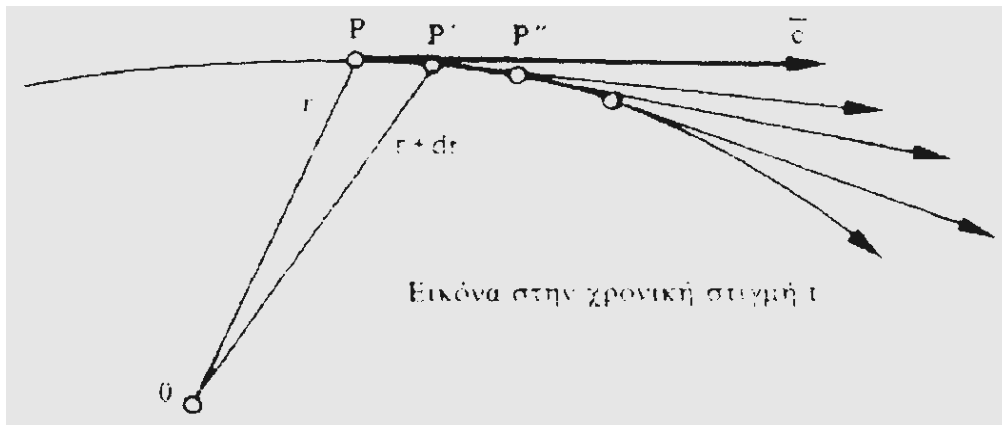
Η απεικόνιση κατά Euler

Κατά την απεικόνιση κατά Euler παρακολουθούμε την κινητική κατάσταση σε κάποια θέση του πεδίου, χωρίς να ενδιαφέρει ποιο στοιχείο του ρευστού κατέχει την θέση αυτή στην οποιαδήποτε χρονική στιγμή t . Τέτοιου είδους παρακολούθηση του φαινομένου της ροής, απαιτεί τον καθορισμό της συνάρτησης του διανύσματος c της ταχύτητας κάθε στοιχείου καθώς, με την πάροδο του χρόνου, το ένα μετά το άλλο στοιχεία του ρευστού διέρχονται από την θέση που εξετάζουμε.

α) Γραμμές ροής: Σύμφωνα με τη σκέψη του Euler το πεδίο ροής παριστάνεται ως πεδίο ταχυτήτων, δηλαδή ως διανυσματικό πεδίο. Το διάνυσμα είναι η ταχύτητα a

$$c = c(x,y,z,t) = c(r,t)$$

με μέτρο και κατεύθυνση που αλλάζουν από χρονική σε χρονική στιγμή και από θέση σε θέση.

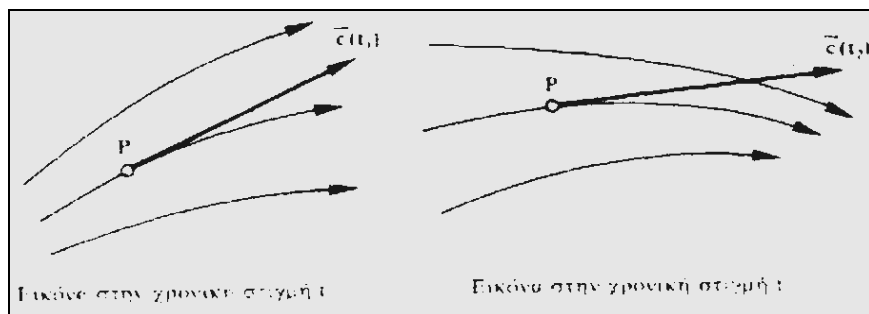


Σχήμα 1.2 Η απεικόνιση κατά Euler (Στιγμιαία εικόνα ροής)

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2 η γραμμή ροής που περνάει από την θέση P, έχει κατά την χρονική στιγμή t την μορφή καμπύλης εφαπτομένης των διανυσμάτων c , c' και c'' , των αντιστοίχων στοιχείων της αλληλουχίας. Το σύνολο των γραμμών ροής δίνει την κινηματική μορφή του πεδίου για κάποια χρονική στιγμή t.

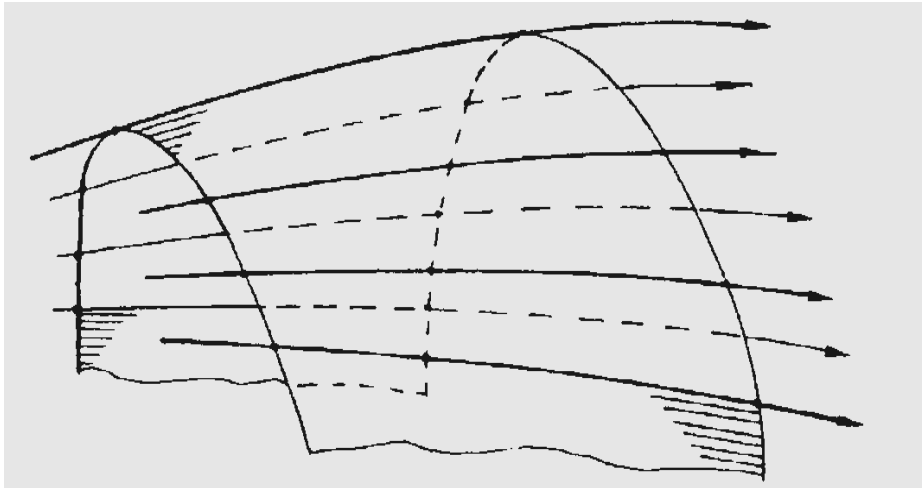
Τα πεδία ροής κατανέμονται σε δύο κατηγορίες, τα μόνιμα και τα μη μόνιμα, ως εξής:

- Μόνιμο πεδίο ροής λέγεται το πεδίο όταν η μορφή των γραμμών ροής παραμένει αναλλοίωτη καθώς ο χρόνος παρέχεται, δηλαδή τα χαρακτηριστικά c , P, ρ , T_a , είναι συναρτήσεις της θέσης (x , y , z) μέσα στο πεδίο και μόνο. Παρενθετικά να προσθέσουμε ότι στην εργαστηριακή άσκηση θα μας απασχολήσει το μόνιμο πεδίο ροής καπνού-αέρα για την μέτρηση της οπισθέλκουσας κυλίνδρου.
- Μη μόνιμο πεδίο ροής λέγεται το πεδίο όταν η μορφή των γραμμών ροής του αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, όπως φαίνεται στο σχήμα 1,3.



Σχήμα 1.3. Εικόνα κατά Euler για μη μόνιμη ροή

β) Επιφάνειες ροής: Ονομάζουμε επιφάνεια ροής κάθε νοητή επιφάνεια του πεδίου που έχει ως γενέτειρες γραμμές ροής (βλέπε σχήμα 4).



Σχήμα 1.4. Μόρφωση επιφάνειας ροής

Σχετικά με τις γραμμές και τις επιφάνειες ροής, χρήσιμα είναι τα παρακάτω πορίσματα:

- **Πόρισμα I:** Οι γραμμές ροής ουδέποτε τέμνονται
- **Πόρισμα II:** Οι επιφάνειες ροής όταν εφάπτονται ή τέμνονται, εφάπτονται ή τέμνονται μόνο κατά μήκος κοινών γραμμών ροής και καθ' όλη τους την έκταση
- **Πόρισμα III:** Σε μόνιμο πεδίο ροής, η εικόνα των γραμμών ροής και των αντιστοιχών επιφανειών ροής που μπορούν να σχηματιστούν από αυτές, παραμένει αναλλοίωτη με την πάροδο του χρόνου.

Αντίσταση του αέρα

Η αντίσταση του αέρα αναπτύσσεται σε ένα σώμα όταν αυτό βρίσκεται σε σχετική κίνηση ως προς τον αέρα ή αντιστρόφως, όταν ο αέρας βρίσκεται σε σχετική κίνηση ως προς το σώμα. Η αντίσταση του αέρα οφείλεται σε διάφορες αιτίες από τις οποίες κυριότερες είναι οι παρακάτω:

- α) Η εσωτερική τριβή του αέρα λόγω της οποίας αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής κατά την επαφόμενη σε κάθε σημείο της επιφάνειας του σώματος. Οι δυνάμεις αυτές αντιτίθεται στην κίνηση του σώματος.

β) Η πίεση του αέρα δημιουργεί δυνάμεις κάθετες προς την επιφάνεια του σώματος. Η ροή όμως του αέρα γύρω από το σώμα, δεν είναι συμμετρική και έτσι σε ορισμένες περιοχές του αέρα, γύρω από το σώμα, γίνονται σημαντικές μεταβολές της ταχύτητας των μορίων του. Στις περιοχές αυτές προκύπτει ελάττωση της πίεσης του αέρα και αντιστρόφως με αποτέλεσμα την εμφάνιση υποπίεσης και υπερπίεσης. Από αυτήν την διαφορά πίεσης προκύπτει μια δύναμη η οποία αντιτίθεται στην κίνηση του σώματος.

Κεφάλαιο2: Αεροσήραγγες

2.1. Σύντομη ιστορική αναδρομή

Η αεροσήραγγα είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των σύγχρονων αεροσκαφών. Στις μέρες μας κανένας αεροναυπηγός δεν θα αφοσιωνόταν στη μελέτη ενός εξελιγμένου αεροσκάφους, σχεδιασμένου να πετάξει, χωρίς να έχουν γίνει μετρήσεις της ανύψωσης του, των ιδιοτήτων της αντίστασης του αέρα και της σταθερότητας του σε μια αεροσήραγγα.

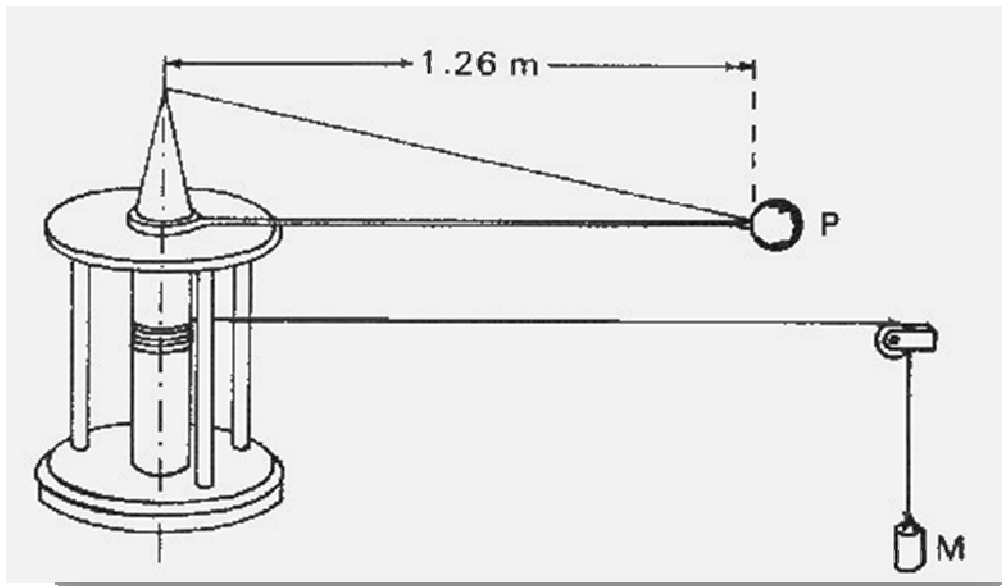
Παλαιότεροι επιστήμονες όπως ο Leonardo Da Vinci και ο Isaac Newton είχαν συνειδητοποιήσει πως χρειαζόταν μία συσκευή που θα παρείχε σταθερή, ελεγχόμενη ροή αέρα. Κατάλαβαν, επίσης, πως μπορούσαν είτε να κινήσουν το ιπτάμενο μοντέλο στον αέρα και στην απαιτούμενη ταχύτητα, είτε να διοχετεύσουν τον αέρα, κατευθείαν επάνω σε ένα σταθερό μοντέλο. Στο ξεκίνημα της αεροναυτικής, έλαβαν χώρα και οι δύο αυτές προσεγγίσεις.

2.1.1 Οι περιστρεφόμενοι βραχίονες

Η απλούστερη και φθηνότερη επινοήση, που επέτρεπε την κίνηση δοκιμίων σε υψηλές ταχύτητες, ήταν ο περιστρεφόμενος βραχίονας, ένα είδος αεροναυτικής φυγοκέντρισης.

Ο πρώτος που κατασκεύασε τον περιστρεφόμενο βραχίονα, ήταν ένας ιδιοφυής άγγλος μαθηματικός, ο **Benjamin Robins (1707-1751)**. Η πρώτη αυτή μηχανή αποτελούταν από έναν βραχίονα μήκους 4ft. Περιστρέφοντας τον με ένα βαρίδι που αναρτούσε από μια τροχαλία, η άκρη του βραχίονα έφτασε ταχύτητες της τάξης μερικών μόνο ποδιών το δευτερόλεπτο.

Ο sir **George Cayley** χρησιμοποιώντας επίσης έναν περιστρεφόμενο βραχίονα, μήκους 5 ποδιών, κατάφερε να επιτύχει ταχύτητες της τάξης από 10 έως 20 πόδια το δευτερόλεπτο.

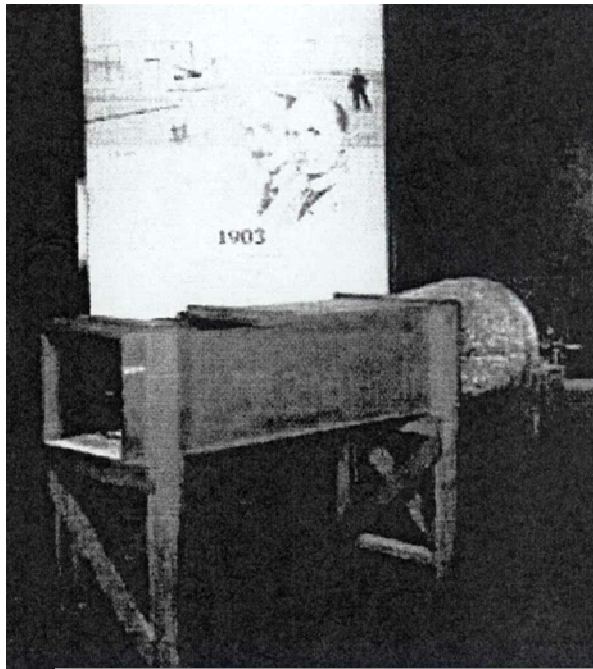


Σχήμα 2.1. Ο περιστρεφόμενος βραχίονας του Caylay (1746).

2.1.2. Οι πρώτες αεροσήραγγες

Αυτός που εκτιμάται πως είναι ο πρώτος που σχεδίασε και έθεσε σε λειτουργία αεροσήραγγα είναι ο **Frank H. Wenham**. Ο Wenham είχε δουλέψει με περιστρεφόμενους βραχίονες των οποίων τα ελλιπή αποτελέσματα, τον ώθησαν στην δημιουργία της πρώτης αεροσήραγγας το 1871. Αποτελούνταν από έναν κύριο άξονα, μήκους 12 ποδιών και διατομής 18 τετραγωνικών ιντσών. Ένας ανεμιστήρας, κινούμενος από μια ατμομηχανή, αναρροφούσε αέρα, οδηγώντας τον μέσω του σωλήνα στο δοκίμιο.

Το 1902, οι **Wilbur** και **Orville Wright** (πατέρες του αεροπλάνου), χρειάστηκε να κατασκευάσουν και αυτοί μία αεροσήραγγα. Απαρτιζόταν από ένα σωλήνα τετράγωνης διατομής για την διοχέτευση του αέρα, έναν ανεμιστήρα και έναν ζυγό εκτεθειμένο στη ροή του. Το ένα τμήμα του ζυγού ήταν μία επίπεδη βαθμολογημένη επιφάνεια, το άλλο μία κυρτή επιφάνεια, γερμένη σε ίση αλλά αντίθετη γωνία. Όταν ο αέρας περνούσε από την συσκευή, ο ζυγός κινητού πλαισίου στρεφόταν προς την μία ή προς την άλλη κατεύθυνση, υποδεικνύοντας τις σχετικές δυνάμεις ανύψωσης.



Σχήμα 2.2 Η αεροσήραγγα των αδερφών Wright

2.1.3. Αεροσήραγγες νεότερης εποχής

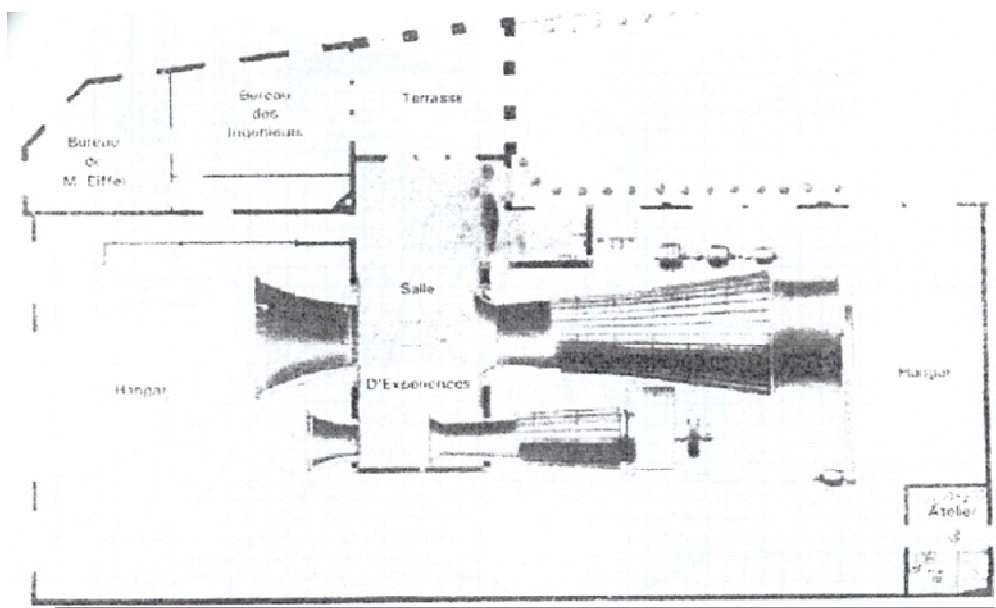
Οι αεροσήραγγες που κατασκευάστηκαν στο διάστημα που μεσολαβεί, από τις δοκιμαστικές πτήσεις των αδερφών Wright μέχρι τον 1^ο παγκόσμιο πόλεμο, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- α) στις αρχικές συσκευές έρευνας, μετρίων διαστάσεων, και
- β) στις μεγάλες σήραγγες κατασκευασμένες για στρατιωτικές επιχειρήσεις.

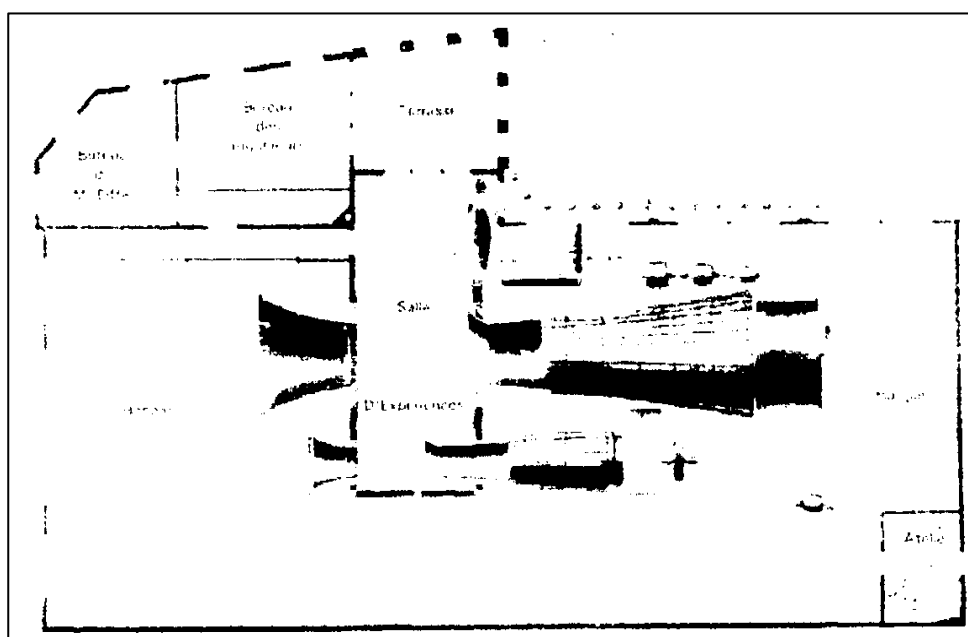
Στη Ρωσία, η πρώτη σημαντική αεροσήραγγα κατασκευάστηκε το 1904 από τον **D. Riabouchinsky**. Στην αεροσήραγγα αυτή, ο θάλαμος εργασίας ήταν μεγάλων διαστάσεων (1,2m διάμετρος) και είχε ένα κυλινδρικό κάλυμμα, για να ευθυγραμμίζει και να απομακρύνει το στροβιλισμό της ροής του αέρα.

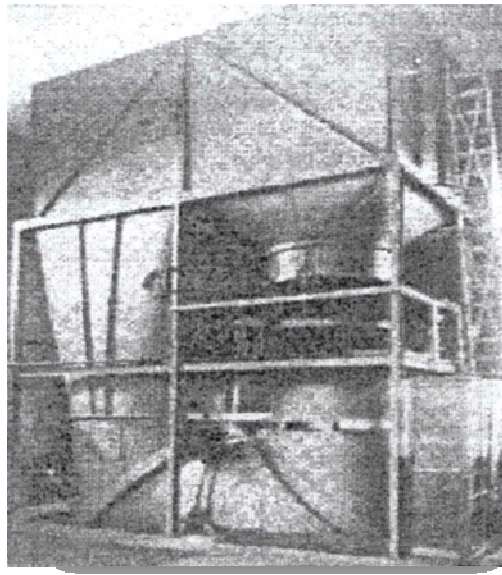
Στη Γαλλία, το 1909 η αεροσήραγγα του **F. Eiffel** είχε διάμετρο 1,5m και ήταν ανοιχτού τύπου. Η επιστρεφόμενη ροή αέρα δεν αντλούνταν από ειδικά τοιχώματα. Ο αέρας προωθούταν από ένα ειδικό ακροφύσιο, μέσα στον θάλαμο εργασίας, με ταχύτητες πάνω από 20m/sec

Στο **Gottingen**, το 1908 ο **L. Prandtl** κατασκεύασε την πρώτη αντίθετα -ελικοειδούς τροχιάς, επιστρεφόμενης ροής αεροσήραγγα. Η υψηλή αποδοτικότητα του σχεδίου αυτού, η ενσωμάτωση των περυγίων στις γωνίες και η χρήση, στρατηγικά τοποθετημένων, προστατευτικών μπλοκ και κυψελών, ώστε να κάνουν τη ροή του αέρα ήρεμη και ομοιογενή, έκαναν την αεροσήραγγα του Prandtl ασυναγώνιστη.



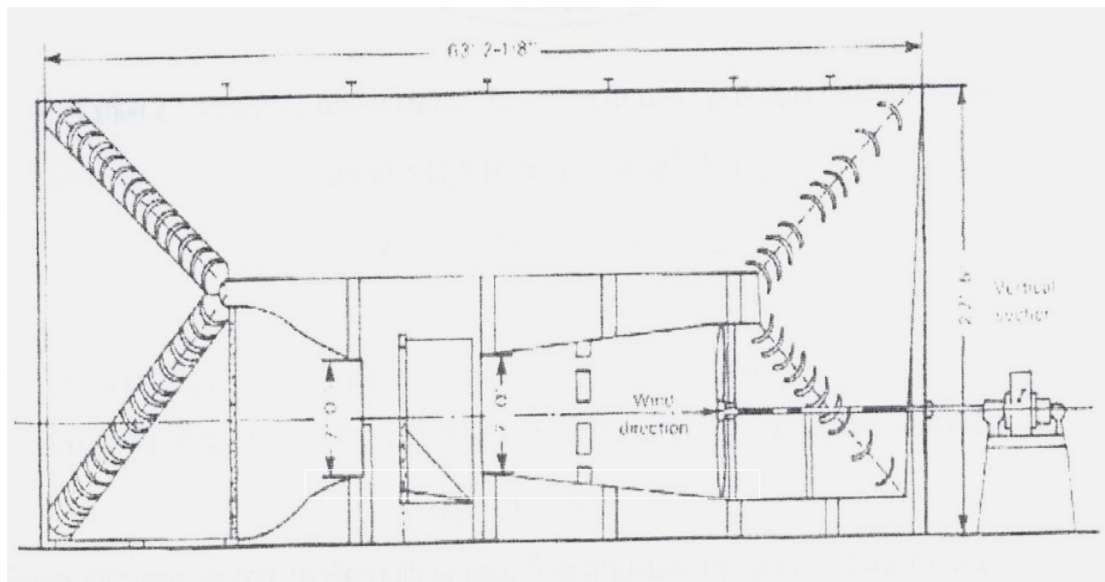
Σχήμα 2.3 Η αεροσήραγγα του Prandtl





Σχήμα 2.4.: Αεροσήραγγα 5X5

Στην Αγγλία, η πρώτη από τις πολλές αεροσήραγγες μεγάλων διαστάσεων, δημιουργήθηκε το 1912. Εσωτερικά ο 7x7 ft. θάλαμος εργασίας επεξεργαζόταν τη ροή του αέρα με ειδικές διατάξεις.



Σχήμα 2.5.: Αεροσήραγγα 7X10 (1930)



Σχήμα 2.6.: Αεροσήραγγα

2.2 Αεροσήραγγες και αεροδυναμικός συντελεστής

Έκφραση της αντίστασης που δέχεται ένα σώμα το οποίο παρουσιάζει σχετική κίνηση με τον αέρα, αποτελεί ο συντελεστής οπισθέλκουσας ή αεροδυναμικός συντελεστής C_{DP} στον οποίο θα αναφερθούμε εκτενέστερα παρακάτω. Για τον υπολογισμό του κάνουμε χρήση μιας ιδιαίτερης συσκευής την *αεροσήραγγα*.

Η αεροσήραγγα είναι μία από τις σπουδαιότερες συσκευές για την πραγματοποίηση εργαστηριακών πειραμάτων στην αεροδυναμική. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην παραγωγή μιας τεχνητής, σταθερής ροής αέρος μέσα στο πεδίο της οποίας τοποθετούνται αντικείμενα διαφόρων γεωμετρικών μορφών. Κατά αυτό τον τρόπο μπορούν να πραγματοποιηθούν έρευνες για την ροή αέρος πάνω σε ποικίλες επιφάνειες. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αεροσήραγγας:

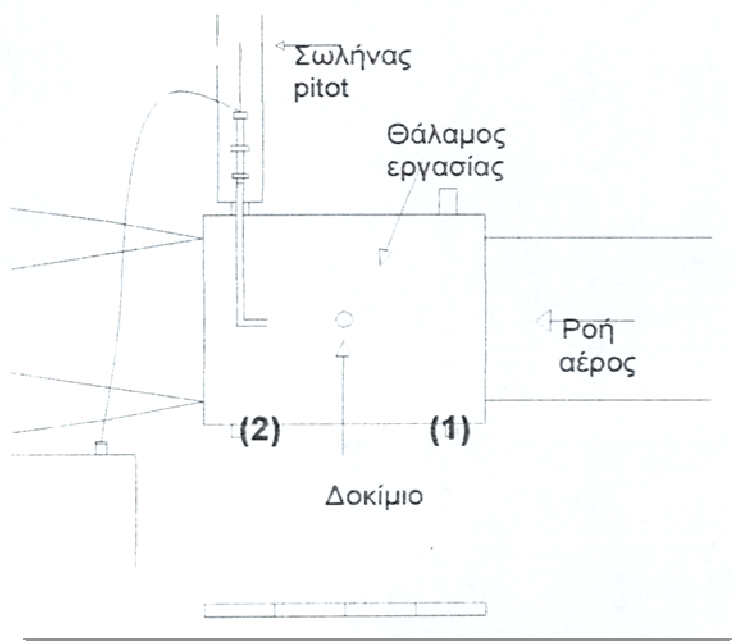
- 1^{ος} Κλειστού τύπου αεροσήραγγα (*closed jet wind-tunnel*)
- 2^{ος} Ανοιχτού τύπου αεροσήραγγα (*open jet wind-tunnel*)
- 3^{ος} Αεροσήραγγα συμπιεσμένου αέρα (*compressed air wind-tunnel*)
- 4^{ος} Αεροσήραγγα ανοιχτής-επανακυκλοφορίας αέρος (*open return flow wind-tunnel*)

5^{ος} Αεροσήραγγα μη-επανακυκλοφορίας αέρος (*non-return flow wind-tunnel*)

Η αεροσήραγγα που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστηριακό πείραμα, είναι τύπου ανοιχτής επανακυκλοφορίας αέρος δηλαδή ο αέρας, αφού περάσει διαμέσου της σήραγγας, δεν εξάγεται από αυτήν αλλά επιστρέφει στο θάλαμο εργασίας για την πραγματοποίηση νέας κυκλοφορίας. Επειδή πρακτικά είναι αδύνατον να πετύχουμε ιδανική ταχύτητα και κατεύθυνση για τον αέρα αλλά και να αποφύγουμε τους στροβιλισμούς αυτού, η ποιότητα των αποτελεσμάτων του πειράματος σχετίζεται άμεσα με το κατά πόσο ο αέρας αγγίζει τις επιθυμητές, ιδανικές συνθήκες μέσα στο θάλαμο εργασίας.

2.3 Περιγραφή αεροσήραγγας

Η συσκευή αποτελείται από έναν χώρο εργασίας με γυάλινο περίβλημα δια μέσου του οποίου ρέει ο αέρας προερχόμενος από έναν φυγοκεντρικό ανεμιστήρα. Δοκίμια έρευνας, αποτελούν γυάλινοι κυλινδρικοί ράβδοι που μπορούν να εισαχθούν στον χώρο εργασίας έχοντας τους άξονες τους σε κατάλληλη γωνία σε σχέση με την κατεύθυνση ροής του αέρα.

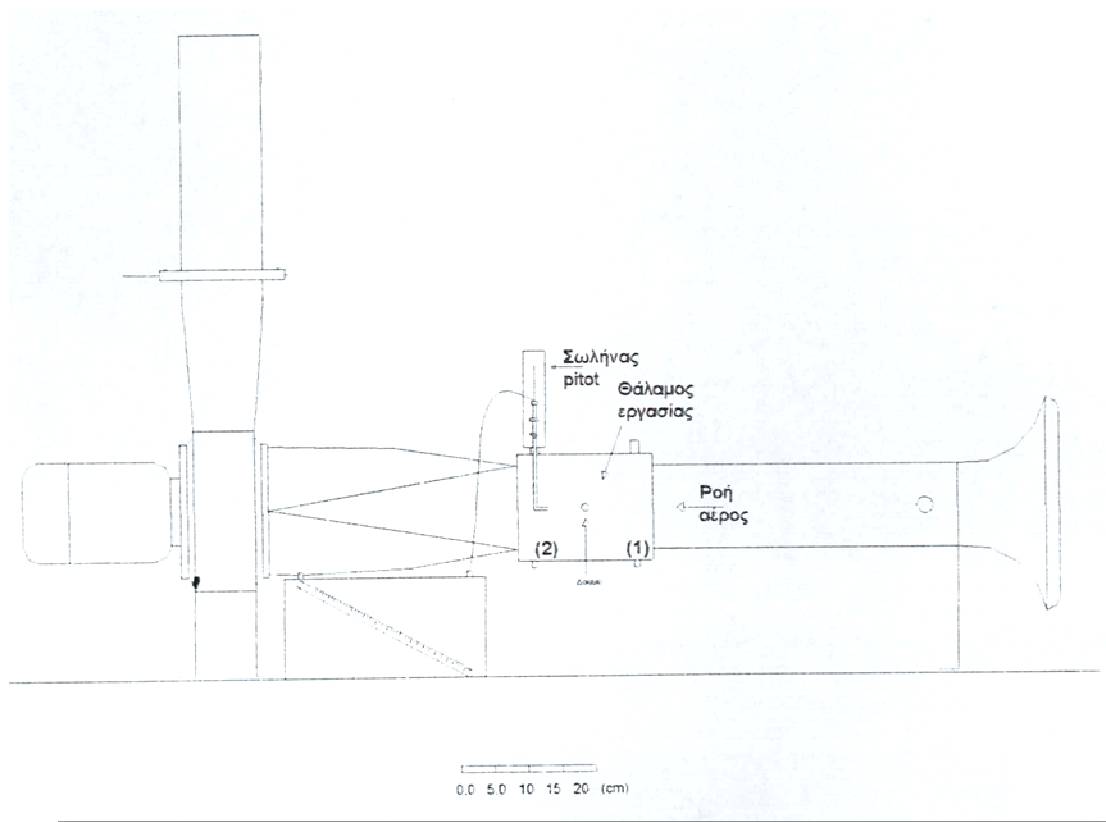


Σχήμα 2.7.: Γυάλινος θάλαμος εργασίας

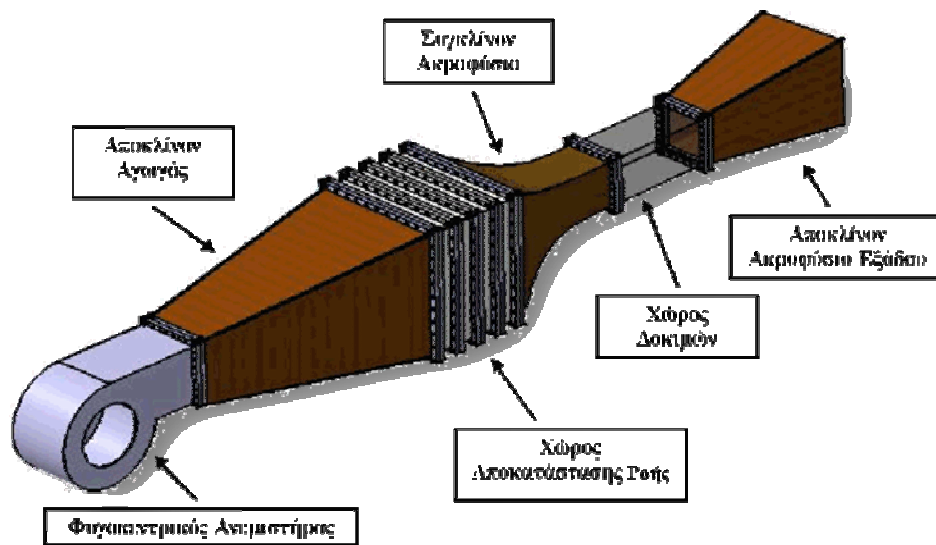
Η αεροσήραγα περιλαμβάνει έναν φυγοκεντρικό ανεμιστήρα, ο οποίος παίρνει κίνηση από ένα ηλεκτρικό μοτέρ και έχει την εισαγωγή αέρας συνδεδεμένη στο χώρο εργασίας.

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- α) Μια κυλινδρική ράβδος διαμέτρου 125mm και μήκους 150mm, κατασκευασμένη από Plexiglas.
- β) Ένα μοντέλο αεροσκάφους μήκους 70mm, πλάτους 50mm και ύψους 3mm.



Σχήμα 2.8: Η αεροσήραγα της Α.Ε.Ν. Μακεδονίας, που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη του πειράματος



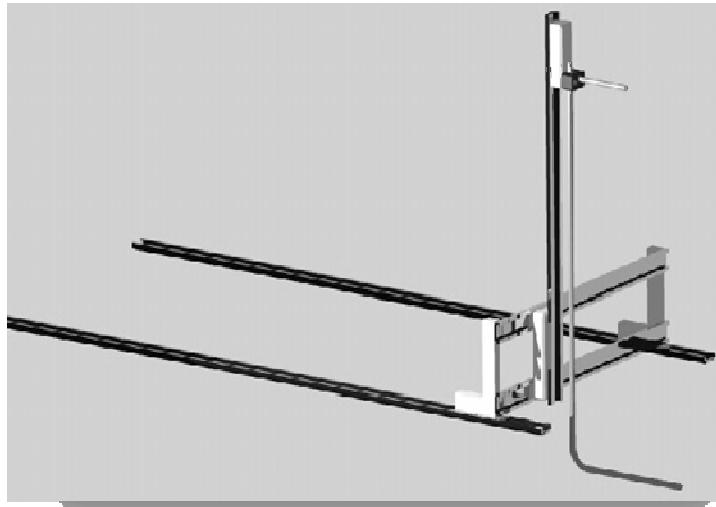
Σχήμα 2.9.: Σχηματική αναπαράσταση αεροσήραγγας παρόμοιου τύπου, που χρησιμοποιείται σε άλλα εργαστήρια

Στην αεροσήραγγα πραγματοποιείται ένας όγκος ερευνητικού έργου το οποίο συμβάλλει αποφασιστικά στην εξέλιξη και την πορεία των υπόλοιπων ερευνητικών αντικειμένων. Οι διατάξεις αυτές είναι:

- διάταξη μέτρησης φορτίων που αναπτύσσονται σε μία αεροτομή
- διάταξη παραγωγής καπνού για την εμφάνιση των γραμμών ροής
- διατάξεις μικρο-ανεμογεννητριών
- ανάγλυφα εδαφών
- διάταξη τοποθέτησης σωλήνα Pitot με 3 βαθμούς ελευθερίας, κ.α.

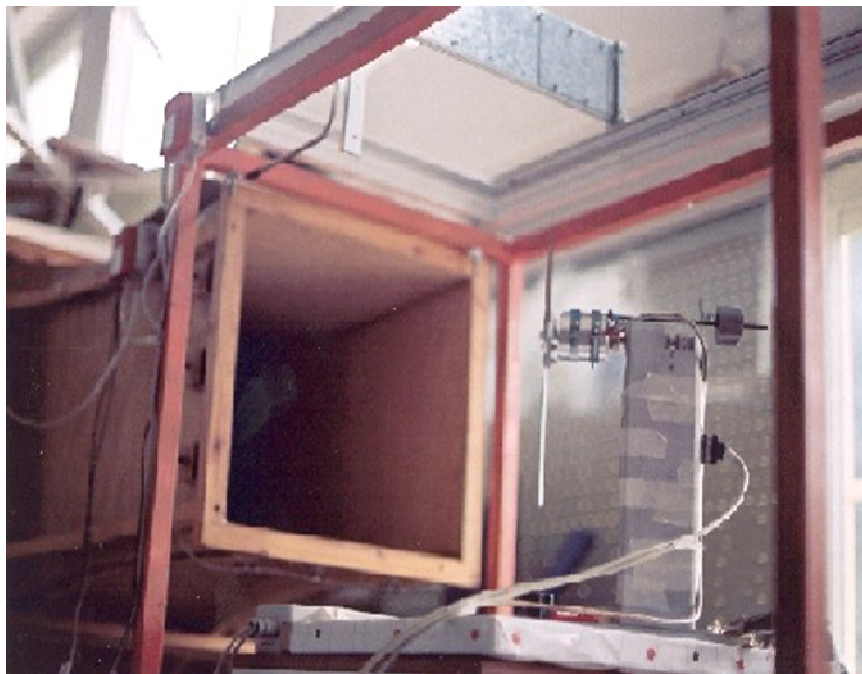
Με τις διατάξεις αυτές καθίσταται εφικτή η πραγματοποίηση ερευνητικού έργου σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον, αυτό της αεροσήραγγας. Τα οφέλη είναι αρκετά και πολύ σημαντικά μιας και έχουμε:

- διαρκή διαθεσιμότητα, η αεροσήραγγα μπορεί να λειτουργήσει ανά πάσα στιγμή και με τις επιθυμητές συνθήκες
- διαρκή καταγραφή των φορτίων που αναπτύσσονται στα αντικείμενα που εισέρχονται στην ροή με κατάλληλα λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί
- διαρκή καταγραφή των φαινομένων που γίνονται αντιληπτά με παρατήρηση σε φωτογραφικό υλικό.

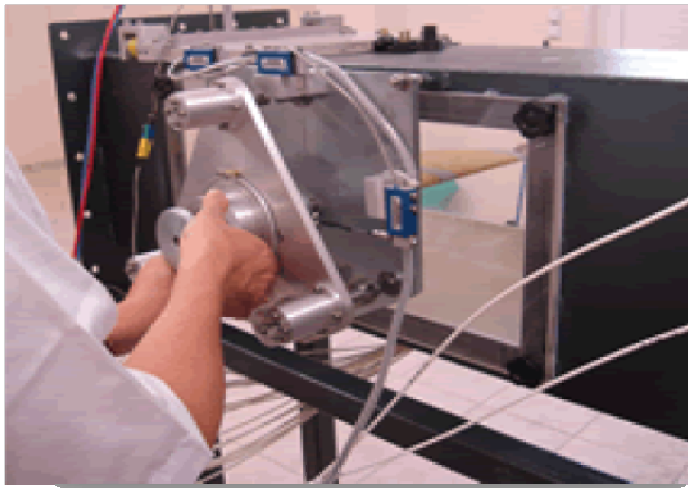


■
Σχήμα 2.10.: Ο σωλήνας Pitot στη βάση του

Αποτέλεσμα είναι ένα ερευνητικό έργο που μπορεί αυτούσιο να δώσει αποτελέσματα καθώς και να αποτελέσει χρήσιμη βοήθεια για την εξέλιξη άλλων τομέων.



Εικόνα 2.1.: Ο θάλαμος δοκιμών της αεροσήραγγας



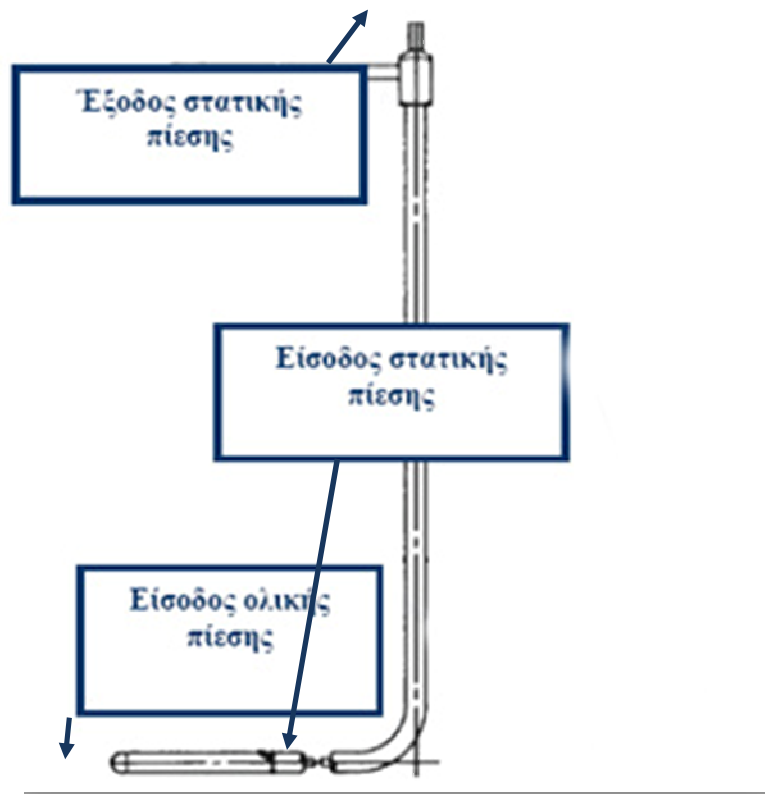
Εικόνα 2.2.: Η αεροσήραγγα σε λειτουργία

2.4 Περιγραφή λειτουργίας

Η εν λόγω αεροσήραγγα του εργαστηριακού πειράματος είναι τύπου ανοιχτής επανακυκλοφορίας αέρος, με αποτέλεσμα το ρευστό να ακολουθεί μια συγκεκριμένη πορεία μέσα στην διάταξη. Συγκεκριμένα ο αέρας, ωθούμενος από τον φυγοκεντρικό ανεμιστήρα, εισέρχεται στη διάταξη και περνώντας, δια μέσου του χώρου εργασίας, διασταυρώνεται με το δοκίμιο του πειράματος το οποίο είναι κυλινδρικής διατομής, με λεία επιφάνεια. Η επανακυκλοφορία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός οδηγητικού προφύσιου που οδηγεί το ρευστό στην εισαγωγή αέρος. Το οδηγητικό προφύσιο, φέρει κυψελωτή διάταξη, η οποία δεν επιτρέπει την μεταφορά δίνης από τον ανεμιστήρα πίσω στον χώρο εργασίας. Ο ανεμιστήρας τροφοδοτεί τον χώρο εργασίας με αέρα, μέσω βαλβίδας ρύθμισης ροής, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ρύθμιση της ταχύτητας του αέρος. Για να είναι δυνατή η πραγματοποίηση της έρευνας πάνω στην ροή του αέρα, η αεροσήραγγα φέρει δεκαοχτώ κυκλικές υποδοχές εγκάρσιας τοποθέτησης κυλινδρικών δοκιμίων, τοποθετημένες κατά τρόπο ώστε τα κέντρα τους να απέχουν απόσταση 2,5cm. Τέλος ο χώρος εργασίας φέρει υποδοχές για την τοποθέτηση σωλήνων pitot για τον υπολογισμό της πίεσης του αέρα κατά την ροή του.

2.4.1 Πιεζομετρικός σωλήνας pitot

Όπως ήδη προαναφέρθηκε στη θεωρία, ο pitot είναι ένας πιεζομετρικός σωλήνας ολικής πίεσεως. Έχει σχήμα ανεστραμμένου κεφαλαίου Γ που τοποθετείται στο σημείο μέτρησης στο ρευστό, με το ανοιχτό του στόμιο να βλέπει μετωπικά την ροή και το άλλο άκρο του συνδεδεμένο με το ανοιχτό άκρο μανομέτρου υγρού.



Σχήμα 2.13.: Σωλήνας Pitot

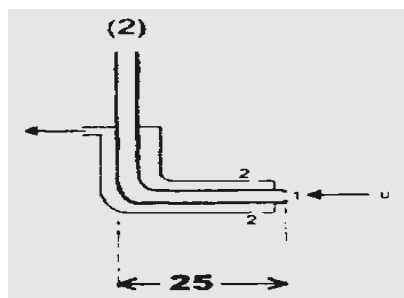
Σε ένα δεύτερο σκέλος του μανομέτρου, συνδέεται το σωληνάκι της στατικής πίεσης του ρευστού στα τοιχώματα της σήραγγας, από θέση που βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το ανοιχτό στόμιο σωλήνα μεταφοράς πίεσης.

Πίσω από κάθε σώμα, το οποίο παρουσιάζει σχετική κίνηση με τον αέρα, σχηματίζεται ένα απόρευμα. Η ολική αντίσταση πάνω στο σώμα παρουσιάζεται ως απώλεια κινήσεως και αντίστοιχα αύξηση της ενέργειας του απορεύματος. Η απώλεια κινήσεως παρουσιάζεται ως μείωση της μέσης ταχύτητας της ροής, ενώ η αύξηση της ενέργειας αποτελεί ουσιαστικά την αύξηση της στροβιλώδους κίνησης του απορεύματος. Το μέγεθος και η ένταση του απορεύματος, αποτελούν ένδειξη του μεγέθους της αντίστασης που ασκείται πάνω στο σώμα κατά την κίνηση του.

Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούμε pitot - σωλήνα για την μέτρηση των πιέσεων του αέρα, πριν και μετά το σώμα-κύλινδρο, με χρήση της μεθόδου Jones σε αεροσήραγγα. Από τα αποτελέσματα σχηματίζουμε τα πηλίκια u_i/u_∞ , για τις διάφορες τιμές ύψους του σωλήνα-pitot. Οι ενδείξεις των πηλίκων u_i/u_∞ δείχνουν ακριβώς την πτώση της ταχύτητας στην περιοχή του απορεύματος και αντίστοιχα μία αύξηση αυτής, καθώς απομακρυνόμαστε από την περιοχή αυτή. Από τα δεδομένα σχηματίζουμε τους παράγοντες $2 u_i/u_\infty (1 - u_i/u_\infty)$ και y/d . τους οποίους τοποθετούμε στον κατακόρυφο και οριζόντιο άξονα για τον σχηματισμό διαγράμματος.

2.4.2 Σωλήνας Prandtl

Στο σχήμα 3.8. φαίνεται ένας άλλος σωλήνας, ο σωλήνας Prandtl, ο οποίος χρησιμοποιείται για την μέτρηση της δυναμικής πίεσεως της ροής του αέρα, που είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της ταχύτητας U .



Σχήμα 2.14.: Σωλήνας Prandtl

Συγκεκριμένα :

$$P_1 = P_{ολ} \quad (A) \quad \text{και} \quad P_2 = P_{στ} \quad (B)$$

Από τις σχέσεις (A) και (B) προκύπτει ότι:

$$U_\infty^2 = 2(P_{ολ} - P_{στ})/\rho$$

3. Πειραματικό μέρος

3.1. Υλικά και Μέθοδοι

Για τη λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε η αεροσήραγγα της Α.Ε.Ν. Οι μετρήσεις έγιναν με τον θάλαμο της αεροσήραγγας κενό. Χρησιμοποιήθηκε σωλήνας Pitot και μανόμετρο για τη λήψη των μετρήσεων.

Ο εξοπλισμός των εργαστηρίων της σχολής φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία:



Αεροσήραγγα σχολής ΑΕΝ

3.2. Πειραματικές μετρήσεις

Οι μετρήσεις λήφθηκαν με τον σωλήνα Pitot να τοποθετείται εντός της θυρίδας της αεροσήραγγας με θέσεις των 10mm, δηλαδή 10mm, 20mm, 30mm, 40mm, 50mm, 60mm, όπου και λαμβάνονταν μετρήσεις με κλίση του μανομέτρου 45° και ανοίγματος του flap στις παρακάτω θέσεις 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% και 100%. Για τις θέσεις του flap (10% 20% και 30%) οι ενδείξεις του μανομέτρου ήταν μηδενικές.

Οι παρακάτω μετρήσεις (u) καταγράφηκαν και καταχωρήθηκαν σε πίνακα της εφαρμογής MS Excel και ακολούθησαν οι πίνακες υπολογισμού των αναγκαίων παραμέτρων για τον τελικό υπολογισμό του u. Οι πίνακες αυτοί ακολουθούν παρακάτω μαζί με την επεξήγηση κάθε όρου και συντελεστή που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας.

Στα **αέρια** που βρίσκονται μακριά από το σημείο υγροποίησης, η πυκνότητα, αλλά και η μεταβολή της σε συνάρτηση με την θερμοκρασία και την πίεση, προκύπτει από την καταστατική εξίσωση των αέριων παρακάτω ο τύπος:

$$p \cdot V = n \cdot R_w \cdot T = m/m_r \cdot R_w \cdot T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p = \rho \cdot R \cdot T \quad \Rightarrow \rho = p / R \cdot T \Rightarrow$$

$$\rho = 101300 / 287 \cdot 293 = \underline{1,20464735} \text{ kg/m}^3$$

ρ=	1,20464735	Kg/m3
P=	101300	Pa
R=	287	J/KgK
T=	293	K

3.3. Πίνακες δεδομένων

Πίνακας 3.1: Οι πρωτογενείς μετρήσεις

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0	0	0	2,95	7,33	13,35	19,36	25,00	29,94	33,05
10	0	0	0	2,95	7,37	14,08	19,44	27,11	31,84	32,90
20	0	0	0	2,97	7,31	13,25	20,33	25,26	29,00	34,63
30	0	0	0	2,91	7,13	12,63	18,61	29,86	31,80	32,50
40	0	0	0	2,67	7,11	12,35	19,25	24,65	29,04	31,85
50	0	0	0	2,48	6,58	11,62	18,40	23,52	27,27	32,72
60	0	0	0	0,86	1,76	4,13	7,22	10,36	11,92	13,77

Πίνακας 3.1,1: Οι πρωτογενείς μετρήσεις σε cm

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0	0	0	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03
10	0	0	0	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03
20	0	0	0	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03
30	0	0	0	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03
40	0	0	0	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
50	0	0	0	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
60	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01

Πίνακας 3.2: Ο υπολογισμός του Δh

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	0	0	0	0,002	0,005	0,009	0,014	0,018	0,021	0,023
20	0	0	0	0,002	0,005	0,010	0,014	0,019	0,023	0,023
30	0	0	0	0,002	0,005	0,009	0,014	0,018	0,021	0,024
40	0	0	0	0,002	0,005	0,009	0,013	0,021	0,022	0,023
50	0	0	0	0,002	0,005	0,009	0,014	0,017	0,021	0,023
60	0	0	0	0,002	0,005	0,008	0,013	0,017	0,019	0,023

Ο υπολογισμός του Δh πραγματοποιείται από τον παρακάτω τύπο:

$$\Delta h = \chi * \eta_{μα}$$

X = ο κάθε αριθμός από τον πίνακα 3.1,1

ημα = είναι η γωνία κλίσης του μανόμετρου. (στην αεροσήραγγα της σχολής είναι 45° το ημ45° μετά από τον υπολογισμό του καταλήγει: 0.707106781)

Πίνακας 3.3: Ο υπολογισμός του Δρ

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	0	0	0	20,4	50,8	92,4	134,1	173,1	207,3	228,8
20	0	0	0	20,4	51,0	97,5	134,6	187,7	220,5	227,8
30	0	0	0	20,6	50,6	91,7	140,8	174,9	200,8	239,8
40	0	0	0	20,1	49,4	87,5	128,9	206,8	220,2	225,0
50	0	0	0	18,5	49,2	85,5	133,3	170,7	201,1	220,5
60	0	0	0	17,2	45,6	80,5	127,4	162,9	188,8	226,6

Ο υπολογισμός του Δρ πραγματοποιείται από τον παρακάτω τύπο:

$$\Delta p = \rho_{\mu\alpha\nu} * g * \Delta h$$

Όπου $\rho_{\mu\alpha\nu}$ είναι η πυκνότητα του υγρού του μανόμετρου που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ΝΕΡΟ, την πυκνότητα του νερού την πήραμε από το βιβλίο της σχολής (πίνακας 1.2.4 πυκνότητα καθαρού νερού σελ 35) και η πυκνότητα του μανομέτρου είναι 998,204 kg/m³.

Όπου g είναι η σταθερά της επιτάχυνση της βαρύτητας και ισούται πάντοτε με: 9,81

Όπου Δh είναι η κατακόρυφη μετατόπιση του υγρού του μανομέτρου .
εάν το μανόμετρο είναι κεκλιμένο τότε καταλήγουμε στον τύπο: $\Delta h = \chi * \eta\mu\alpha^\circ$

Πίνακας 3.4: Ο τελικός υπολογισμός του u

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	0	0	0	5,3	8,7	11,6	14,5	16,4	17,7	19,4
20	0	0	0	5,5	9,0	12,3	14,9	17,7	18,5	19,5
30	0	0	0	5,8	9,2	12,7	15,3	18,5	19,1	20,0
40	0	0	0	5,8	9,1	12,0	15,0	17,0	18,3	19,4
50	0	0	0	5,5	9,0	11,9	14,9	16,8	18,3	19,3
60	0	0	0	5,3	8,7	11,6	14,5	16,4	17,7	19,3

Ο υπολογισμός του u πραγματοποιείται από τον παρακάτω τύπο:

$$u = \sqrt{\frac{2 * \Delta p}{\rho}}$$

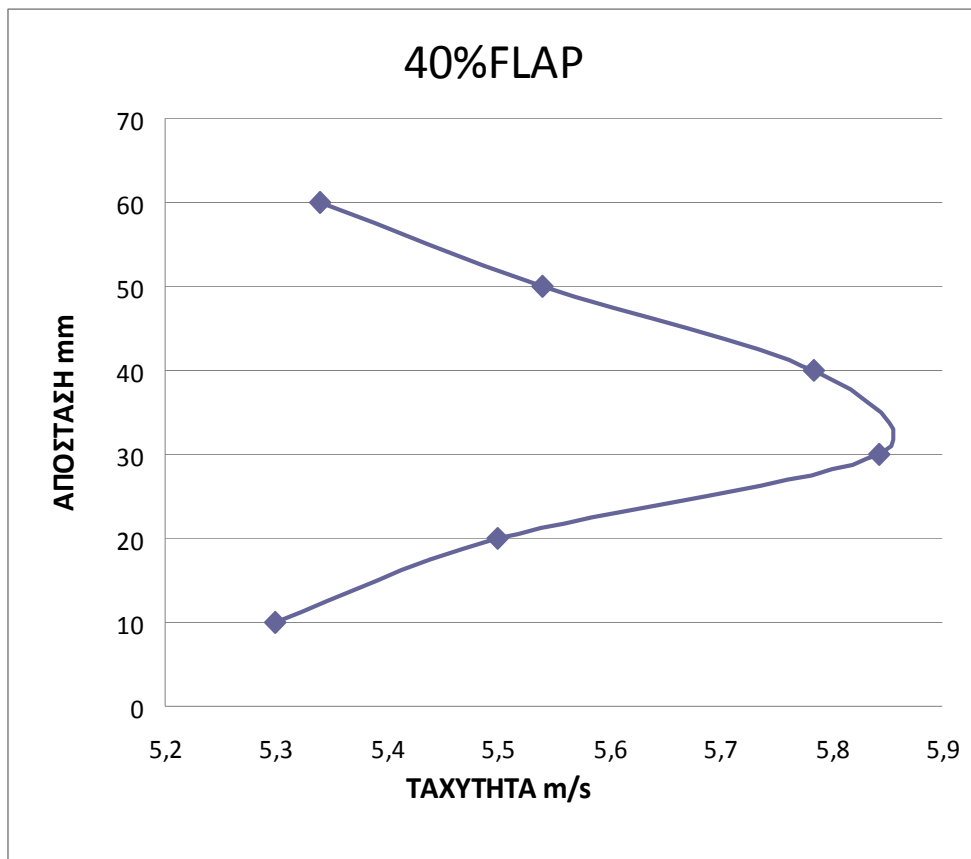
Δp : είναι η διαφορά πίεσης

ρ : είναι η πυκνότητα

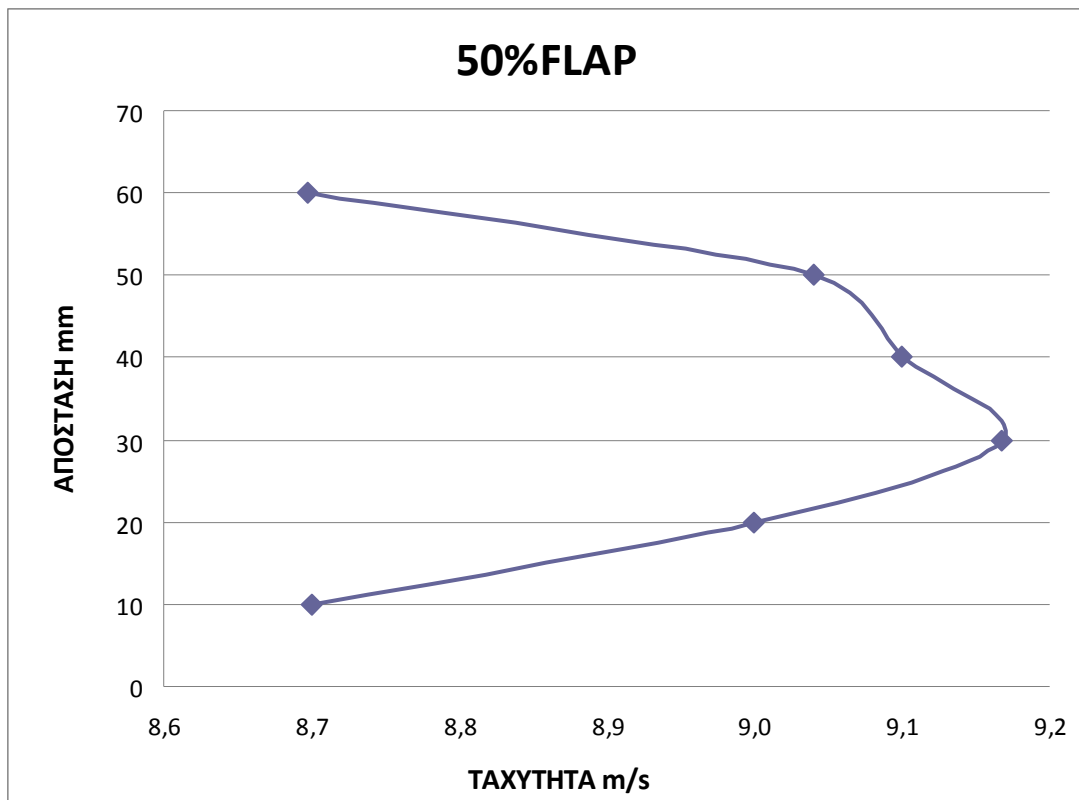
3.4. Ανάλυση πειραματικών δεδομένων

Τα δεδομένα από τον τελικό υπολογισμό του u μελετήθηκαν και με τη χρήση της εφαρμογής MS Excel δημιουργήθηκαν τα σχετικά διαγράμματα. Όπως θα παρατηρήσει ο αναγνώστης δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη τα στοιχεία από τις θέσεις του flap 10%, 20% και 30%, δεδομένου ότι σε αυτές τις θέσεις δεν υπήρχαν ενδείξεις που να μπορούν να καταγραφούν. Τα διαγράμματα ακολουθούν:

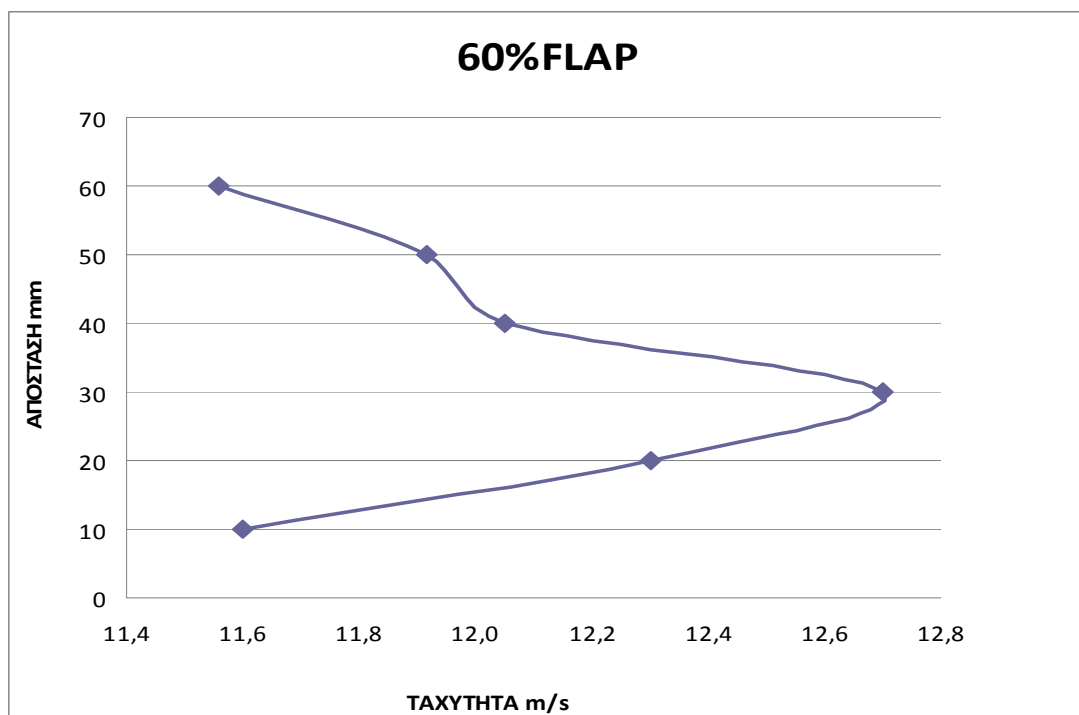
3.4.1. Ανάλυση κατά θέση του flap 40%



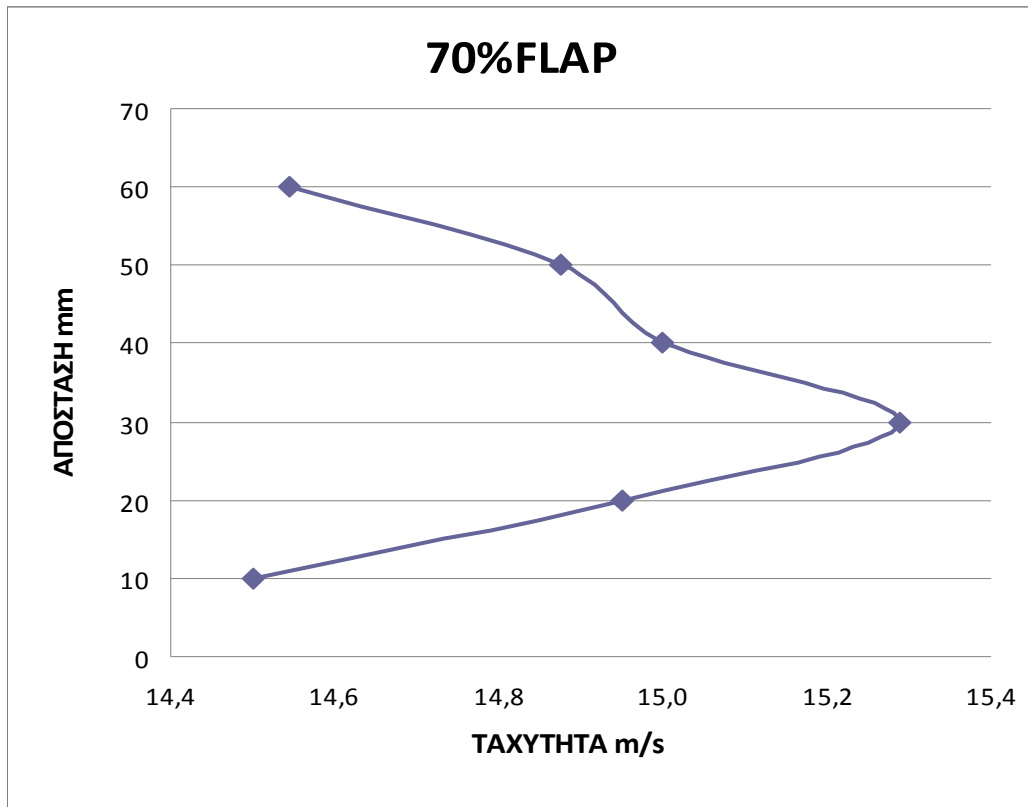
Διάγραμμα 3.1 θέση flap 40% (πίνακας 3.4, στήλη «40%»)



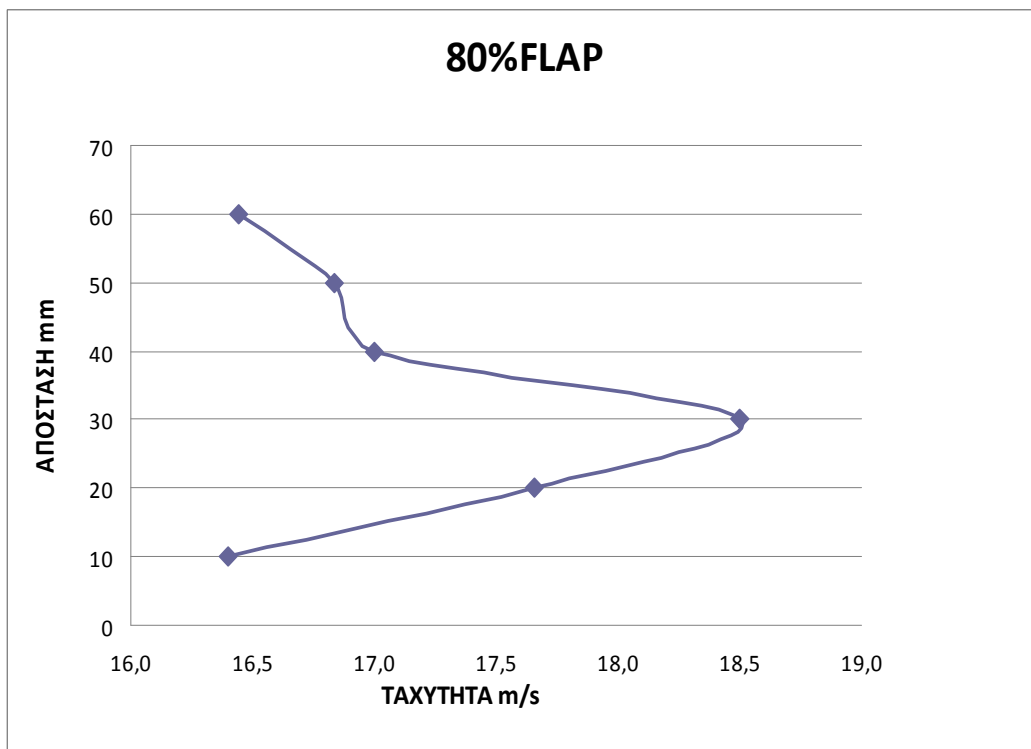
Διάγραμμα 3.2: θέση flap 50% (πίνακας 3.4, στήλη «50%»)



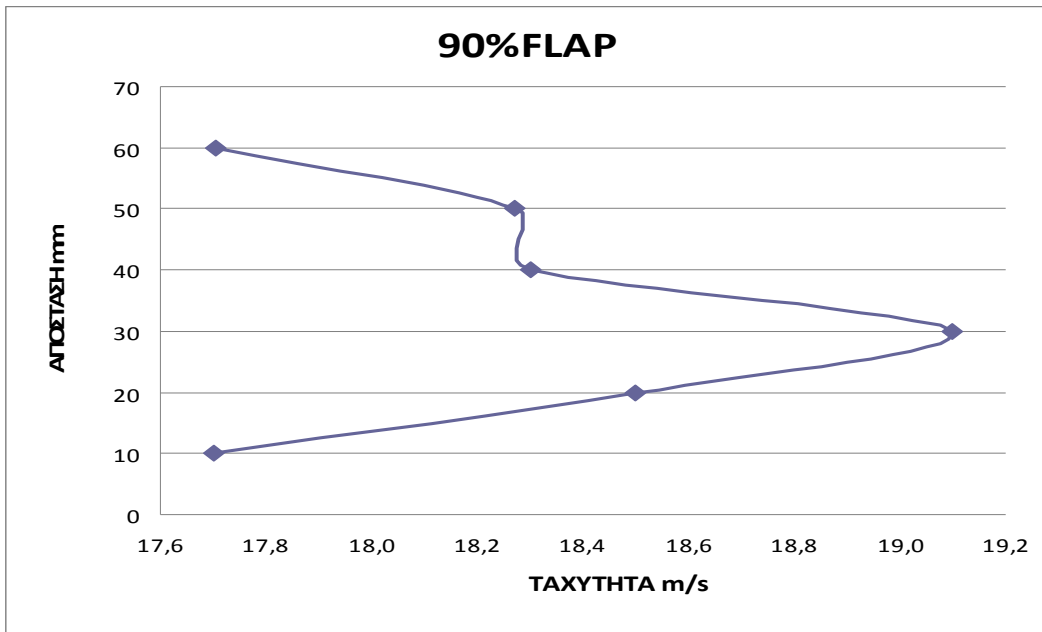
Διάγραμμα 3.3: θέση flap 60% (πίνακας 3.4, στήλη «60%»)



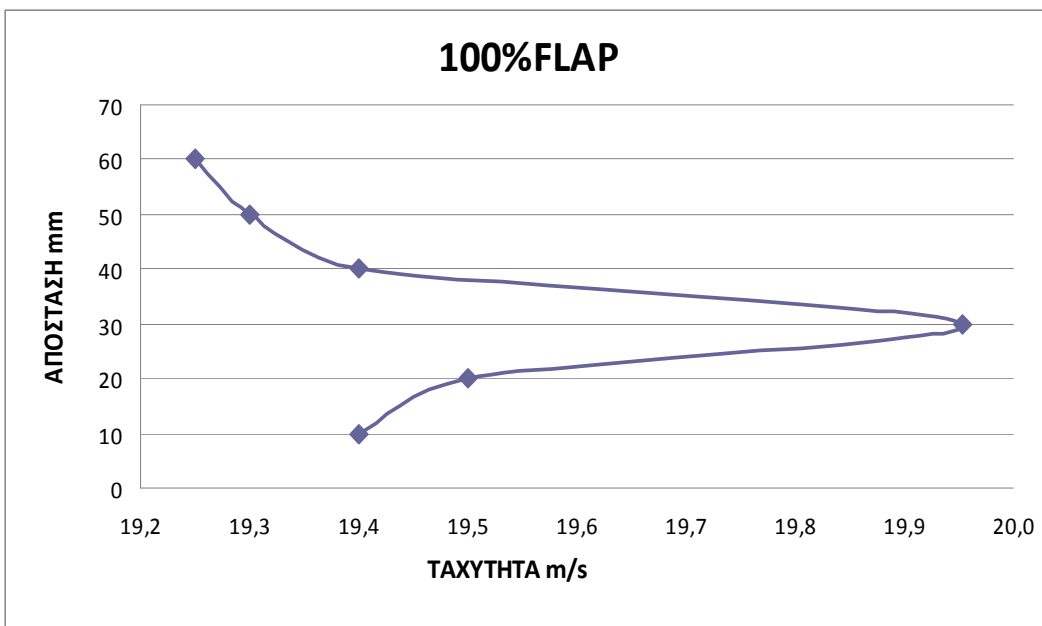
Διάγραμμα 3.4: θέση flap 70% (πίνακας 3.4, στήλη «70%»)



Διάγραμμα 3.5: θέση flap 80% (πίνακας 3.4, στήλη «80%»)

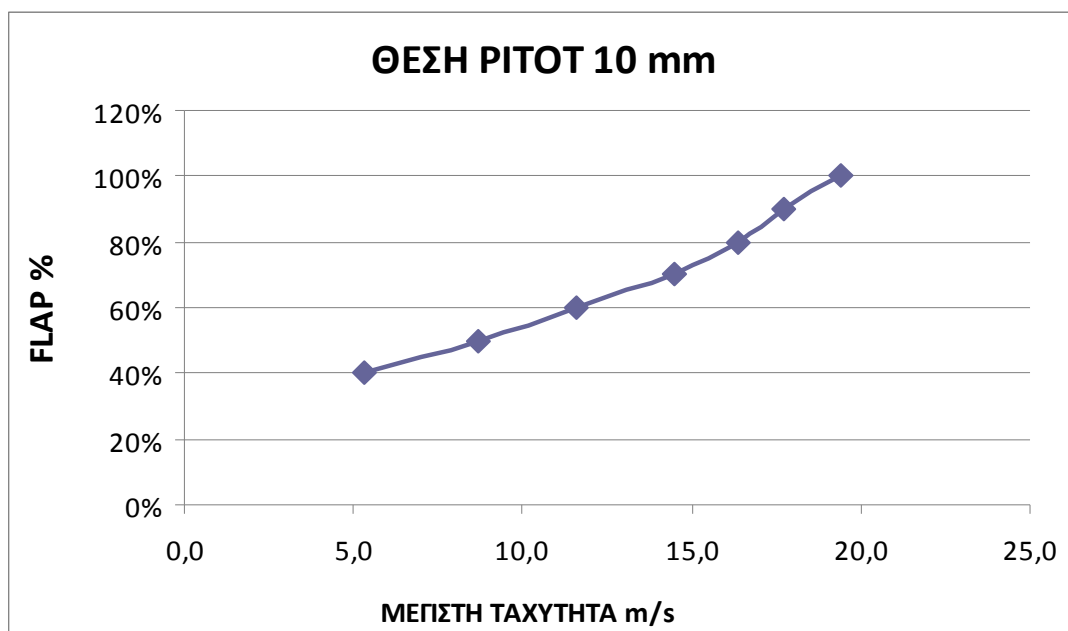


Διάγραμμα 3.6 θέση flap 90% (πίνακας 3.4, στήλη «90%»)

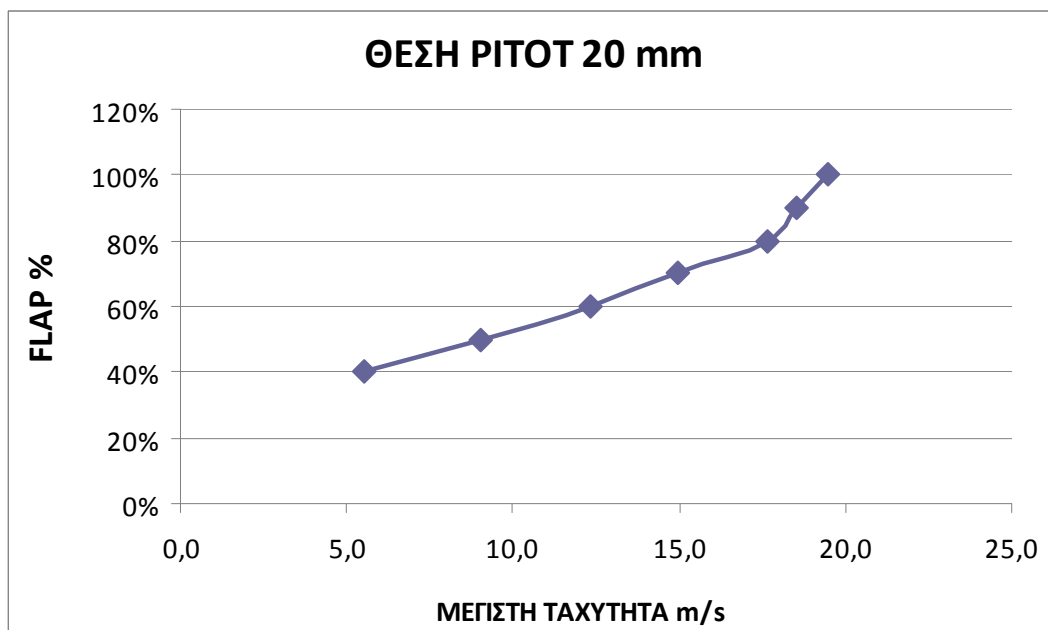


Διάγραμμα 3.7: θέση flap 100% (πίνακας 3.4, στήλη «100%»)

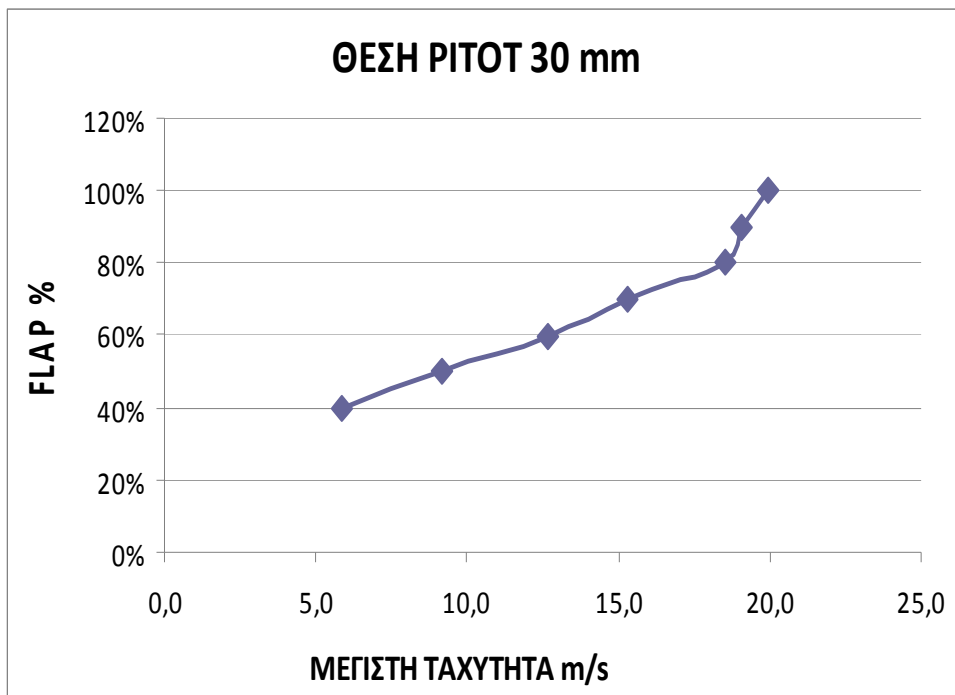
3.4.2. Ανάλυση κατά θέση σωλήνα Pitot



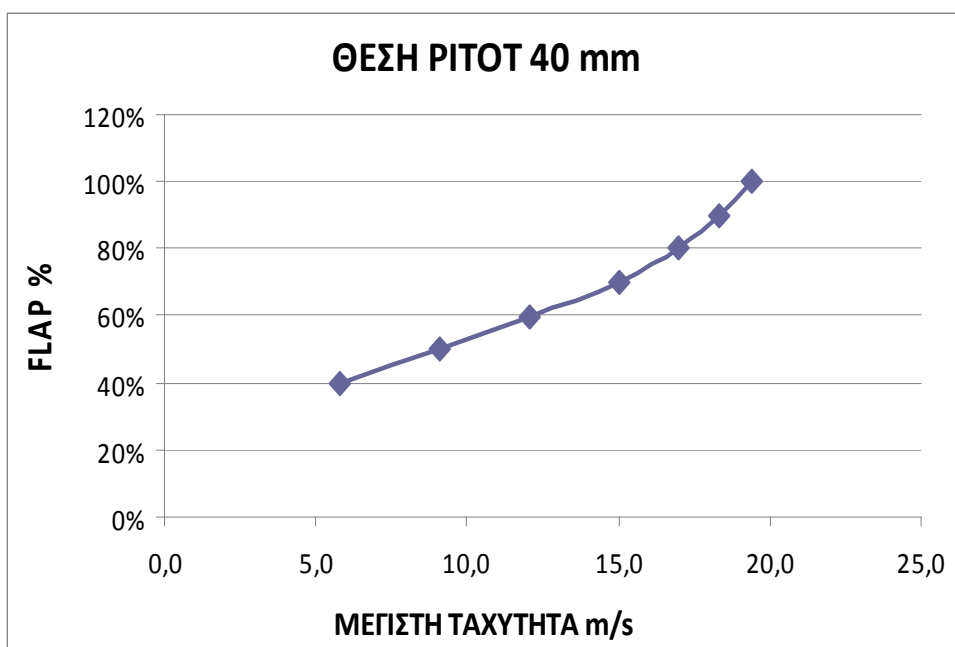
Διάγραμμα 3.9: Απόσταση 10mm (πίνακας 3.4, γραμμή «10»)



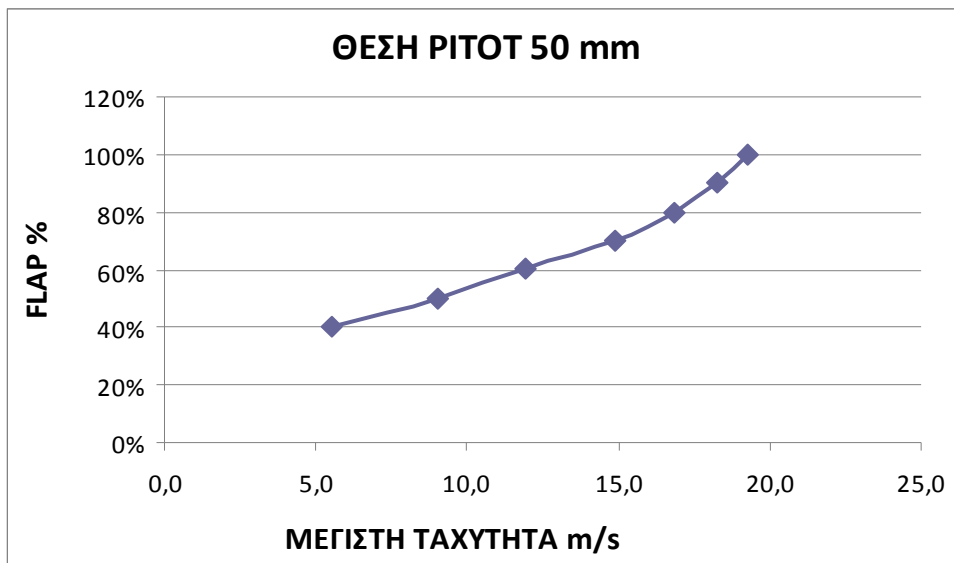
Διάγραμμα 3.10: Απόσταση 20mm (πίνακας 3.4, γραμμή «20»)



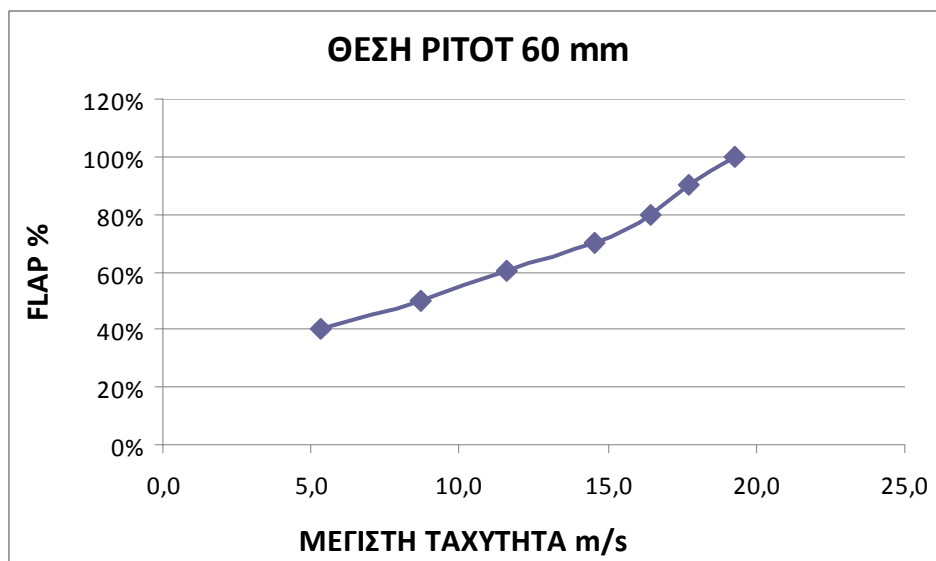
Διάγραμμα 3.11: Απόσταση 30mm (πίνακας 3.4, γραμμή «30»)



Διάγραμμα 3.12: Απόσταση 40mm (πίνακας 3.4, γραμμή «40»)



Διάγραμμα 3.13: Απόσταση 50mm (πίνακας 3.4, γραμμή «50»)



Διάγραμμα 3.14: Απόσταση 60mm (πίνακας 3.4, γραμμή «60»)

3.5. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω παρατηρούμε τα εξής:

A. Ανάλυση κατά θέση του flap

1. Μέγιστη ταχύτητα στο κέντρο του σωλήνα και όσο πάμε προς τα τοιχώματα του σωλήνα μικραίνει.
2. Παρατηρούμε κάποιες αποκλίσεις στα διαγράμματα 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, αλλά αυτές αποδίδονται στην παλαιότητα της εγκατάστασης και του μανομέτρου, καθώς και στο στροβιλισμό που δημιουργείται από την πεπαλαιωμένη εγκατάσταση αλλά και σε πειραματικά σφάλματα του χρήστη.

B. Ανάλυση κατά θέση του pitot

Όσο μεγαλύτερο το άνοιγμα του flap τόσο αυξάνεται η ταχύτητα ανεξάρτητα με την θέση του pitot. Οι ταχύτητες υπολογίστηκαν ως η ελάχιστη ταχύτητα σε m/s είναι 5,3 m/s σε km/h είναι 19.08 km/h ενώ η μέγιστη ταχύτητα σε m/s είναι 19.3 m/s ενώ σε km/h είναι 69.48 km/h.

4. Συμπεράσματα

Η παλαιότητα του συστήματος της αεροσήραγγας και του λοιπού εξοπλισμού δυσκόλεψε τις μετρήσεις και το πείραμα εν γένει. Παρ' όλα αυτά οι μετρήσεις που αποτυπώθηκαν μας δίνουν μια αρκετά σαφή εικόνα του φαινομένου. Δηλαδή είδαμε το παραβολικό προφίλ ταχύτητας που θα περιμέναμε για το εύρος ταχυτήτων που αναπτύχθηκαν στην αεροσηραγγα.

Από τις παρατηρήσεις μας προκύπτει ότι οι τελικές τιμές του u , που ήταν και το ζητούμενο στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε, αυξάνονται γραμμικά με τη γραμμική αύξηση της βύθισης του σωλήνα Pitot.

Τα αποτελέσματα δεν είναι απόλυτα και δεν είναι δυνατόν να στοιχειοθετήσουν επίσημη απόρροια έρευνας, δεδομένου ότι για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο θα έπρεπε να υπήρχε συμπληρωματικός εξοπλισμός ακριβείας, έτσι ώστε να μπορέσουμε να λάβουμε πολύ περισσότερες μετρήσεις, καθώς και γεννήτρια καπνού για να αποτυπωθούν οι στροβιλισμοί και τα απορεύματα που δημιουργούνται.

Παράλληλα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μοντέλο στη θυρίδα της αεροσήραγγας και να ληφθούν συγκριτικά αποτελέσματα, έτσι ώστε να διαπιστωθούν οι διαφορές με την αεροσήραγγα κενή και με τη χρήση του μοντέλου.

Στην εισαγωγή της αεροσηραγγας ο αέρας έρχεται με πίεση, κατά την μεταφορά του θα υποστεί κάποια τριβή και μείωση ταχύτητας του αέρα στα τοιχώματα της αεροσηραγγας. Για αυτό το λόγο στις γραφικές παραστάσεις στο ξεκίνημα τους και στο τελείωμά τους δεν υπάρχουν ενδείξεις.

Βιβλιογραφία

1. Αθανασιάδης Ν. Α., *Μηχανική Ρευστών*, Αθήνα, 1989
2. Γαλάνης Γ., *Μελέτη οπισθέλκουσας σε κύλινδρο με λεία και τυρβώδη επιφάνεια*
3. Κορωνάκης Μ., *Ρευστομηχανική II*, Αθήνα, 1987
4. Τζορμπατζίδης Α., *Aerodynamics laboratory (Σημειώσεις)*, 1977
5. Antonia R.A., Satyaprakash B.R. and Hussain A.K.M.F., *Statistics of fine-scale velocity in turbulent plane and circular jets*, J. Fluid Mech. vol. 119, pp. 55-89 (1982)
6. Antonia R.A., Zhu A. and Kim, J., *On the measurement of lateral velocity derivatives in turbulent flows*, Exp. Fluids 15, 65 – 69 (1993)
7. Jackson R. and Zurich S. J., *Theoretical aerodynamic characteristics of bodies in a free - molecule flow field*, N.A.C.A, Washington, 1951
8. Konstandinidis E. and Bouris D. (2008), *The effect of nonharmonic forcing on bluffbody aerodynamics at a low Reynolds number*, 6th International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics and Applications (BBAA VI), Milano, ITALY, July 20-24, 2008
9. Petridou M. and Bouris D. (2006), *Experimental and Numerical Study of the Effect of Openings on the Surface Pressure Distribution of a Hollow Cube*, WSEAS Transactions on Fluid Mechanics, Vol. 1, Iss. 6, pp. 655. ISSN 1790-5087

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	3
1. Εισαγωγή.....	4
1.1 Αεροδυναμική.....	4
Μηχανικές ιδιότητες ρευστών	4
Συνεχή μέσα	5
Πυκνότητα ρ	5
Επίδραση εξωτερικών δυνάμεων	6
Πίεση P	6
Ιξώδες ν , μ	6
Διατμητική τάση συνεκτικότητας τ	7
Απόλυτη θερμοκρασία T	7
Θερμική και ηλεκτρική αγωγή	7
Πεδίο ροής ρευστών	8
Απεικόνιση κατά Lagrange	8
Η απεικόνιση κατά Euler	9
Αντίσταση του αέρα.....	11
Κεφάλαιο2: Αεροσήραγγες	14
2.1. Σύντομη ιστορική αναδρομή	14
2.1.1 Οι περιστρεφόμενοι βραχίονες.....	14
2.1.2. Οι πρώτες αεροσήραγγες	15
2.1.3. Αεροσήραγγες νεότερης εποχής.....	16
2.2 Αεροσήραγγες και αεροδυναμικός συντελεστής.....	19
2.3 Περιγραφή αεροσήραγγας.....	20
2.4 Περιγραφή λειτουργίας	24
2.4.1 Πιεζομετρικός σωλήνας pitot.....	25
2.4.2 Σωλήνας Prandtl.....	26
3. Πειραματικό μέρος	27
3.1. Υλικά και Μέθοδοι.....	27

3.2. Πειραματικές μετρήσεις	28
3.3. Πίνακες δεδομένων.....	29
3.4. Ανάλυση πειραματικών δεδομένων	32
3.4.1. Ανάλυση κατά θέση του flap 40%.....	32
3.4.2. Ανάλυση κατά θέση σωλήνα Pitot.....	36
3.5. Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	39
4. Συμπεράσματα	41
Βιβλιογραφία.....	43
Περιεχόμενα	45
Πίνακες	46
Σχήματα	46
Διαγράμματα.....	47
Εικόνες.....	48

Πίνακες

Πίνακας 3.1: Οι πρωτογενείς μετρήσεις.....	29
Πίνακας 3.2: Ο υπολογισμός του Δh	29
Πίνακας 3.2: Ο υπολογισμός του Δp	30
Πίνακας 3.3: Ο τελικός υπολογισμός του u	30

Σχήματα

Σχήμα 1.1. Η απεικόνιση κατά Lagrange	8
Σχήμα 1.2 Η απεικόνιση κατά Euler (Στιγμαία εικόνα ροής)	9
Σχήμα 1.3. Εικόνα κατά Euler για μη μόνιμη ροή	10
Σχήμα 1.4. Μόρφωση επιφάνειας ροής.....	11
Σχήμα 2.1. Ο περιστρεφόμενος βραχίονας του Caylay (1746).	15
Σχήμα 2.2 Η αεροσήραγγα των αδερφών Wright	16
Σχήμα 2.3 Η αεροσήραγγα του Prandtl	17
Σχήμα 2.4.: Αεροσήραγγα 5X5	18
Σχήμα 2.5.: Αεροσήραγγα 7X10 (1930).....	18
Σχήμα 2.6.: Αεροσήραγγα	19

Σχήμα 2.7.: Γυάλινος θάλαμος εργασίας	20
Σχήμα 2.8: Η αεροσήραγγα της Α.Ε.Ν. Μακεδονίας, που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη του πειράματος	21
Σχήμα 2.9.: Σχηματική αναπαράσταση αεροσήραγγας παρόμοιου τύπου, που χρησιμοποιείται σε άλλα εργαστήρια	22
Σχήμα 2.10.: Ο σωλήνας Pitot στη βάση του	23
Σχήμα 2.13.: Σωλήνας Pitot.....	25
Σχήμα 2.14.: Σωλήνας Prandtl.....	26

Διαγράμματα

Σχήμα 1.1. Η απεικόνιση κατά Lagrange	8
Σχήμα 1.2 Η απεικόνιση κατά Euler (Στιγμαία εικόνα ροής)	9
Σχήμα 1.3. Εικόνα κατά Euler για μη μόνιμη ροή	10
Σχήμα 1.4. Μόρφωση επιφάνειας ροής	11
Σχήμα 2.1. Ο περιστρεφόμενος βραχίονας του Caylay (1746).	15
Σχήμα 2.2 Η αεροσήραγγα των αδερφών Wright	16
Σχήμα 2.3 Η αεροσήραγγα του Prandtl	17
Σχήμα 2.4.: Αεροσήραγγα 5X5	18
Σχήμα 2.5.: Αεροσήραγγα 7X10 (1930).....	18
Σχήμα 2.6.: Αεροσήραγγα	19
Σχήμα 2.7.: Γυάλινος θάλαμος εργασίας	20
Σχήμα 2.8: Η αεροσήραγγα της Α.Ε.Ν. Μακεδονίας, που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη του πειράματος	21
Σχήμα 2.9.: Σχηματική αναπαράσταση αεροσήραγγας παρόμοιου τύπου, που χρησιμοποιείται σε άλλα εργαστήρια	22
Σχήμα 2.10.: Ο σωλήνας Pitot στη βάση του	23
Εικόνα 2.1.: Ο θάλαμος δοκιμών της αεροσήραγγας	23
Εικόνα 2.2.: Η αεροσήραγγα σε λειτουργία	24
Σχήμα 2.13.: Σωλήνας Pitot.....	25
Σχήμα 2.14.: Σωλήνας Prandtl.....	26
Αεροσήραγγα σχολής ΑΕΝ.....	27
Πίνακας 3.1: Οι πρωτογενείς μετρήσεις.....	29

Πίνακας 3.2: Ο υπολογισμός του Δh	29
Πίνακας 3.2: Ο υπολογισμός του Δp	30
Πίνακας 3.3: Ο τελικός υπολογισμός του u	30
Διάγραμμα 3.1: Κλίση 40% (πίνακας 3.4, στήλη «40%»)	32
Διάγραμμα 3.2: Κλίση 50% (πίνακας 3.4, στήλη «50%»)	33
Διάγραμμα 3.3: Κλίση 60% (πίνακας 3.4, στήλη «60%»)	33
Διάγραμμα 3.4: Κλίση 70% (πίνακας 3.4, στήλη «70%»)	34
Διάγραμμα 3.5: Κλίση 80% (πίνακας 3.4, στήλη «80%»)	34
Διάγραμμα 3.6: Κλίση 90% (πίνακας 3.4, στήλη «90%»)	35
Διάγραμμα 3.7: Κλίση 100% (πίνακας 3.4, στήλη «100%»)	35
Διάγραμμα 3.9: Απόσταση 10cm (πίνακας 3.4, γραμμή «10»).....	36
Διάγραμμα 3.10: Απόσταση 20cm (πίνακας 3.4, γραμμή «20»).....	36
Διάγραμμα 3.11: Απόσταση 30cm (πίνακας 3.4, γραμμή «30»).....	37
Διάγραμμα 3.12: Απόσταση 40cm (πίνακας 3.4, γραμμή «40»).....	37
Διάγραμμα 3.13: Απόσταση 50cm (πίνακας 3.4, γραμμή «50»).....	38
Διάγραμμα 3.14: Απόσταση 60cm (πίνακας 3.4, γραμμή «60»).....	38

Εικόνες

Σχήμα 1.1. Η απεικόνιση κατά Lagrange.....	8
Σχήμα 1.2 Η απεικόνιση κατά Euler (Στιγμιαία εικόνα ροής)	9
Σχήμα 1.3. Εικόνα κατά Euler για μη μόνιμη ροή.....	10
Σχήμα 1.4. Μόρφωση επιφάνειας ροής	11
Σχήμα 2.1. Ο περιστρεφόμενος βραχίονας του Caylay (1746).	15
Σχήμα 2.2 Η αεροσήραγγα των αδερφών Wright.....	16
Σχήμα 2.3 Η αεροσήραγγα του Prandtl	17
Σχήμα 2.4.: Αεροσήραγγα 5X5	18
Σχήμα 2.5.: Αεροσήραγγα 7X10 (1930).....	18
Σχήμα 2.6.: Αεροσήραγγα	19
Σχήμα 2.7.:.....Γυάλινος θάλαμος εργασίας	20
Σχήμα 2.8:..... Η αεροσήραγγα της Α.Ε.Ν. Μακεδονίας, που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη του πειράματος.....	21

Σχήμα 2.9.:... Σχηματική αναπαράσταση αεροσήραγγας παρόμοιου τύπου, που χρησιμοποιείται σε άλλα εργαστήρια.....	22
Σχήμα 2.10.:..... Ο σωλήνας Pitot στη βάση του	23
Εικόνα 2.1.:..... Ο θάλαμος δοκιμών της αεροσήραγγας	23
Εικόνα 2.2.:..... Η αεροσήραγγα σε λειτουργία	24
Σχήμα 2.13.:..... Σωλήνας Pitot	25
Σχήμα 2.14.:..... Σωλήνας Prandtl	26
Αεροσήραγγα σχολής AEN	27
Πίνακας 3.1: Οι πρωτογενείς μετρήσεις	29
Πίνακας 3.1,1: Οι πρωτογενείς μετρήσεις σε cm	29
Πίνακας 3.2: Ο υπολογισμός του Δh	29
Πίνακας 3.4: Ο τελικός υπολογισμός του u	31
Διάγραμμα 3.1 θέση flap 40% (πίνακας 3.4, στήλη «40%»).....	32
Διάγραμμα 3.2: θέση flap 50% (πίνακας 3.4, στήλη «50%»).....	33
Διάγραμμα 3.3: θέση flap 60% (πίνακας 3.4, στήλη «60%»).....	33
Διάγραμμα 3.4: θέση flap 70% (πίνακας 3.4, στήλη «70%»).....	34
Διάγραμμα 3.5: θέση flap 80% (πίνακας 3.4, στήλη «80%»).....	34
Διάγραμμα 3.6 θέση flap 90% (πίνακας 3.4, στήλη «90%»).....	35
Διάγραμμα 3.7: θέση flap 100% (πίνακας 3.4, στήλη «100%»).....	35
Διάγραμμα 3.9: Απόσταση 10mm (πίνακας 3.4, γραμμή «10»).....	36
Διάγραμμα 3.10: Απόσταση 20mm (πίνακας 3.4, γραμμή «20»).....	36
Διάγραμμα 3.11: Απόσταση 30mm (πίνακας 3.4, γραμμή «30»).....	37
Διάγραμμα 3.12: Απόσταση 40mm (πίνακας 3.4, γραμμή «40»).....	37
Διάγραμμα 3.13: Απόσταση 50mm (πίνακας 3.4, γραμμή «50»).....	38
Διάγραμμα 3.14: Απόσταση 60mm (πίνακας 3.4, γραμμή «60»).....	38
Παράρτημα	45

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΟΔΗΓΟΣ ΕΚΜΑΘΗΣΗΣ

ΑΕΡΟΣΥΡΑΓΓΑΣ

ΤΗΣ Α.Ε.Ν

&

ΦΥΛΛΟ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

EXCEL