

## 1.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΣΗΡΑΓΓΑ

### 1.2.a Εισαγωγή

Οι *αεροσήραγγες* (wind tunnels) εμφανίστηκαν στα τέλη του 19<sup>ου</sup> 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

$\rho$ : η πυκνότητα του ρευστού (για αέρα 1,225 Kg/m<sup>3</sup>)

$V$ : η ταχύτητα του ρευστού (m/sec)

$l$ : μία διάσταση αναφοράς (m)

$\mu$ : το ιξώδες του ρευστού (για αέρα  $18 \times 10^{-5}$  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.

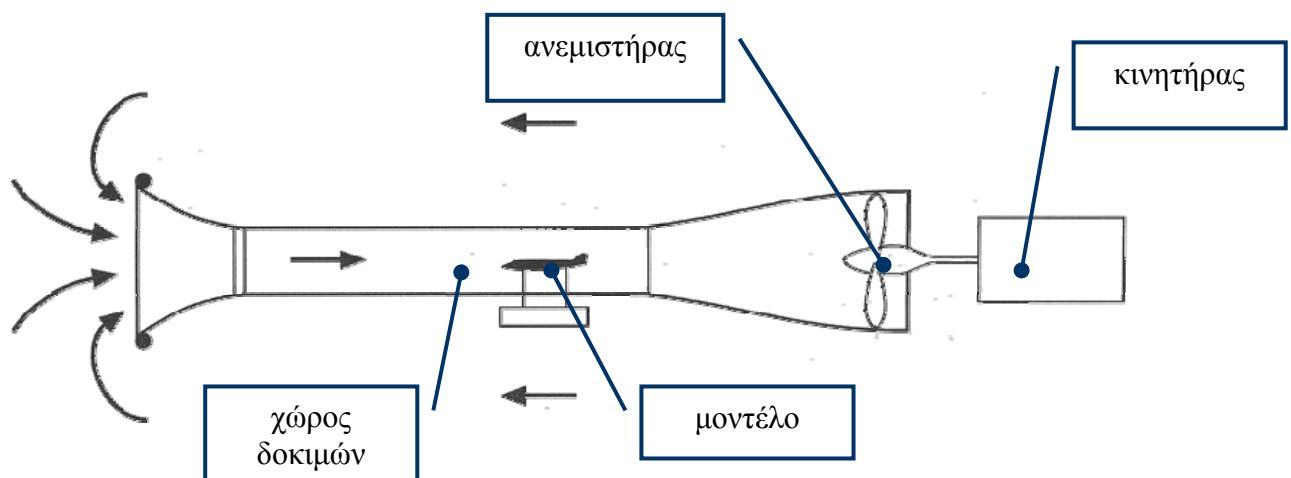
Βασικό ρόλο στη κατασκευή ενός μοντέλου έχει η ακρίβεια με την οποία κατασκευάζεται. Επίσης η επιφάνεια αυτού οφείλει να έχει όσο το δυνατόν πιο λεία υφή για την αποφυγή μεγάλου *οριακού στρώματος*.

### I.2.b Τύποι αεροσηραγγών

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

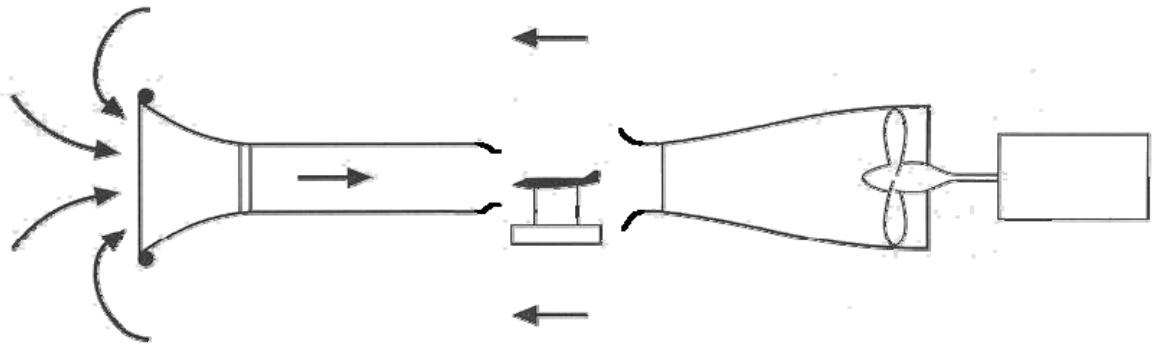
- Η αεροσήραγγα *ανοικτού κυκλώματος* (open circuit) χαρακτηρίζεται από την ευθύγραμμη κίνηση που ο αέρας πραγματοποιεί εντός αυτής και την εισαγωγή του από τον περιβάλλοντα χώρο, όπου και εξέρχεται.

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



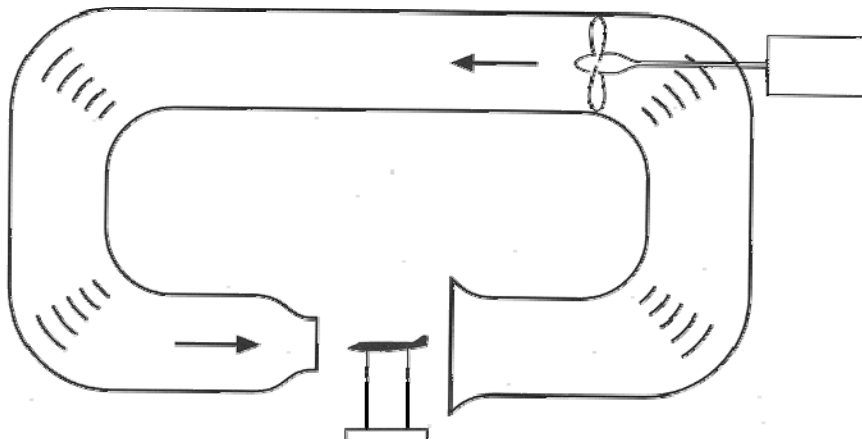
Εικόνα I.2-3. Αεροσήραγγα ανοικτού κυκλώματος με κλειστό χώρο δοκιμών (closed jet - open circuit wind tunnel)

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



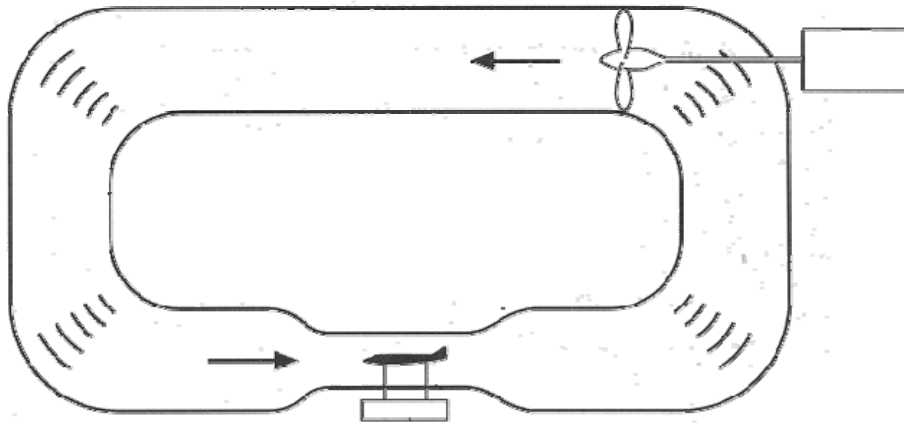
Εικόνα I.2-4. Αεροσήραγγα ανοικτού κυκλώματος με ανοικτό χώρο δοκιμών (open jet - open circuit wind tunnel)

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.

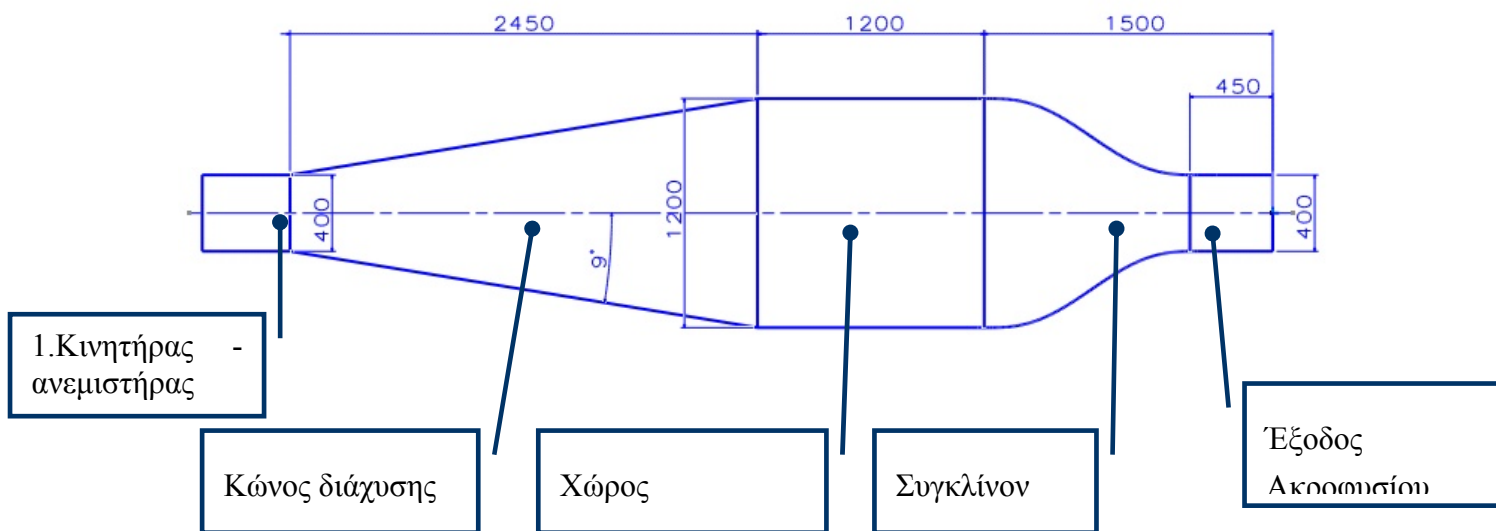


**Εικόνα I.2-7. Εμφάνιση γραμμών ροής με χρήση καπνού.**

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**

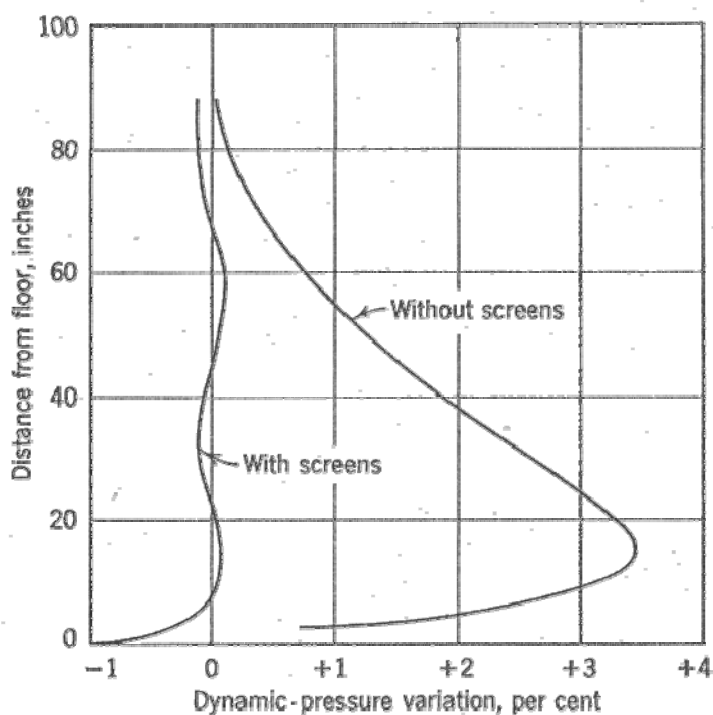
Ο ανεμιστήρας είναι μία φυγόκεντρη αντλία που οδηγείται από ένα τριφασικό κινητήρα 7.5kW, με μέγιστη περιστροφική ταχύτητα 1410rpm. Ο κινητήρας

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

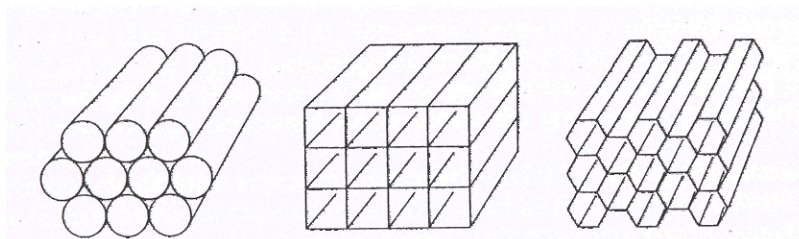
Στο χώρο αποκατάστασης η ροή από στροβιλώδης γίνεται στρωτή. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση σιτών (screens) και κυψελών (honeycombs).

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

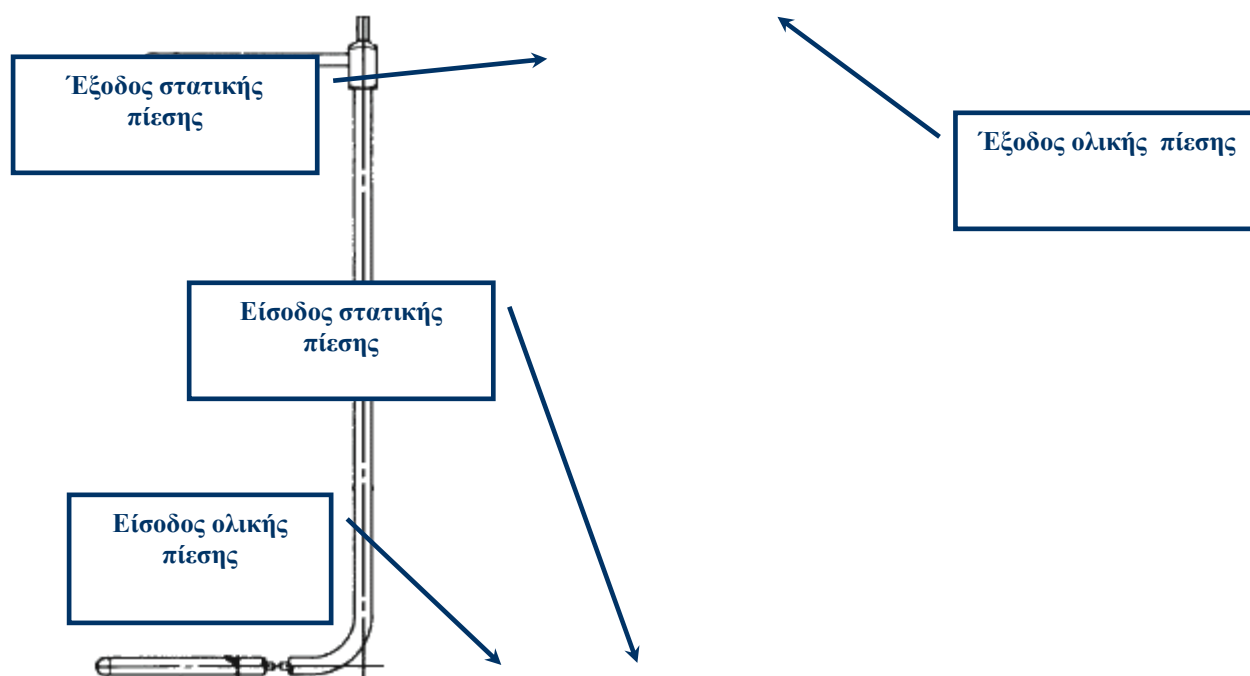
Η αεροσήραγγα του εργαστηρίου έχει δύο σήτες και μία διάταξη κυψελών κυλινδρικής μορφής.

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.

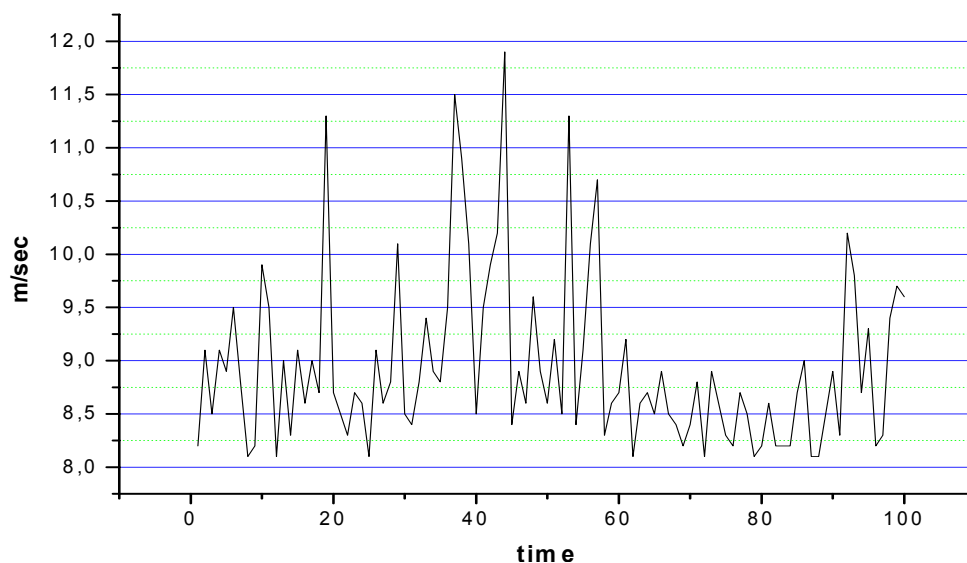


Εικόνα 1.2-11. Περιγραφή σωλήνα pitot

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  $\sigma_u^2$ :

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

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.

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

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