

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ
ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΑΥΤΗΣ

Διευθυντής: Διονύσιος-Ελευθ. Π. Μάργαρης, Αναπλ. Καθηγητής

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ

ΡΟΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΚΥΛΙΝΔΡΟ

Περιεχόμενα

Αντικείμενο και σκοπός του πειράματος

Θεωρία

Συντελεστές πίεσης

Συντελεστής αντίστασης C_D

Πειραματική εγκατάσταση, όργανα και υλικά

Πειραματική διαδικασία

Μέτρηση πίεσης στην επιφάνεια του κυλίνδρου

Μέτρηση πίεσης γύρω από τον κύλινδρο

Αποτελέσματα

Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Ερωτήσεις

ΠΑΤΡΑ 2014

ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ II

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΡΟΗ:

ΑΣΚΗΣΗ6^η:

Ροή γύρω από κύλινδρο

Αντικείμενο και σκοπός του πειράματος

Το αντικείμενο του πειράματος είναι η μέτρηση κατανομών πιέσεων στις διευθύνσεις X και Y, τόσο στην επιφάνεια ενός κυλίνδρου όσο και στη γύρω περιοχή του. Από τις μετρήσεις θα υπολογιστούν οι συντελεστές πίεσης C_p , C_{px} , C_{py} , C_{gx} , C_{gy} καθώς και ο συντελεστής αντίστασης C_D σε πραγματική ροή. Ακόμη η σύγκριση των πειραματικών τιμών με τις αντίστοιχες θεωρητικές οδηγεί σε χρήσιμα συμπεράσματα για τη σχέση πραγματικής και ιδεώδους ροής.

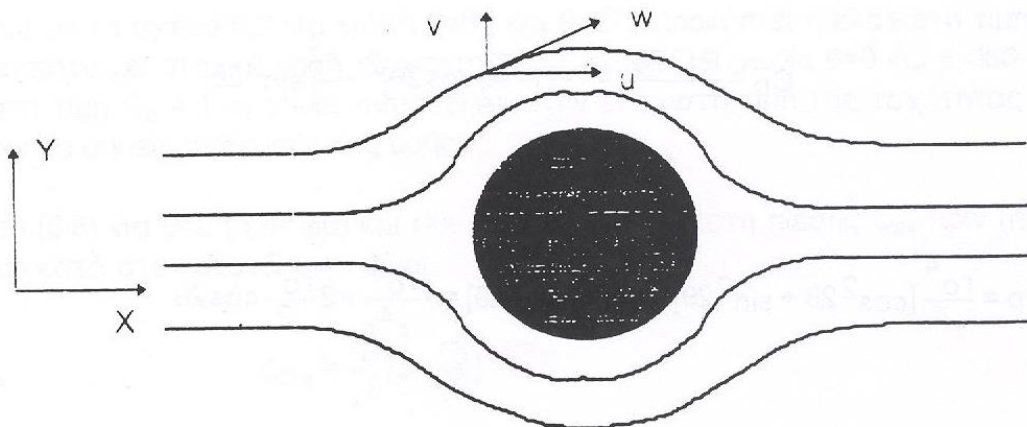
Η διεξαγωγή του πειράματος μπορεί να διαχωριστεί σε δύο υποπειράματα:

1. Μέτρηση κατανομής πίεσης στην επιφάνεια του κυλίνδρου, σε διάφορες γωνίες γύρω από τον κύλινδρο.
2. Μέτρηση κατανομής πίεσης στην περιοχή γύρω από τον κύλινδρο στις διευθύνσεις X και Y.

Θεωρία

Συντελεστές πίεσης

Το ροϊκό πεδίο γύρω από έναν κύλινδρο, για άτριβη ροή, μπορεί να παρασταθεί σύμφωνα με το Σχήμα 6.1, όπου η ροή είναι από αριστερά προς τα δεξιά και ο κύλινδρος θεωρείται ακίνητος.



Σχήμα 6.1: Ροϊκό πεδίο γύρω από κύλινδρο για άτριβη ροή

Εφαρμόζοντας την εξίσωση Bernoulli μεταξύ ενός σημείου (∞) στην άπειρη ροή και ενός τυχαίου σημείου (1) γύρω από τον κύλινδρο (Σχήμα 6.1) προκύπτει:

$$p_{\infty} + \frac{\rho}{2} u_{\infty}^2 = p_1 + \frac{\rho}{2} W_1^2 \quad (6.1)$$

Αντικαθιστώντας την ολική ταχύτητα W (όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1) με την έκφραση:

$$W^2 = u_{\infty}^2 \left[1 - \frac{r_0^2}{r^2} \cos 2\theta \right]^2 + u_{\infty}^2 \frac{r_0^4}{r^4} \sin^2(2\theta) \quad (6.2)$$

Προκύπτει:

$$p_1 - p_{\infty} = \frac{\rho}{2} [u_{\infty}^2 - W_1^2] = \frac{\rho}{2} [u_{\infty}^2 - u_{\infty}^2 \left[1 - \frac{r_0^2}{r^2} \cos 2\theta \right]^2 - u_{\infty}^2 \frac{r_0^4}{r^4} \sin^2(2\theta)] \quad (6.3)$$

ή

$$p_1 - p_{\infty} = \frac{\rho}{2} u_{\infty}^2 \left[1 - \left[1 - \frac{r_0^2}{r^2} \cos 2\theta \right]^2 - \frac{r_0^4}{r^4} \sin^2 2\theta \right] \quad (6.4)$$

Ο συντελεστής πίεσης C_p δίνεται από την έκφραση:

$$C_p = \frac{p_1 - p_{\infty}}{q_{\infty}} \quad (6.5)$$

όπου, $q_{\infty} = \frac{\rho u_{\infty}^2}{2}$, η δυναμική πίεση, p_{∞} η στατική πίεση και u_{∞} η ταχύτητα της άπειρης ροής, και p_1 η μετρούμενη σε κάθε σημείο του κυλίνδρου πίεση.

Με αντικατάσταση της σχέσης (6.4) στη σχέση (6.5), ο συντελεστής πίεσης εκφράζεται ως εξής:

$$C_p = \frac{p_1 - p_{\infty}}{q_{\infty}} = 1 - \left[1 - \frac{r_0^2}{r^2} \cos 2\theta \right]^2 - \frac{r_0^4}{r^4} \sin^2 2\theta \quad (6.6)$$

ή

$$C_p = \frac{r_0^4}{r^4} [\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta] + \left[2 \frac{r_0^2}{r^2} \cos 2\theta \right] = -\frac{r_0^4}{r^4} + 2 \frac{r_0^2}{r^2} \cos 2\theta \quad (6.7)$$

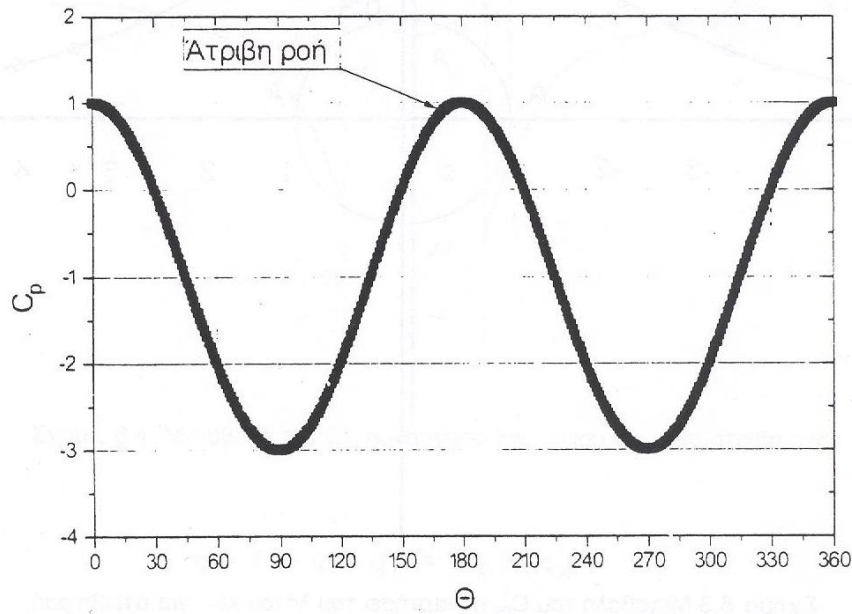
ή

$$C_p = \frac{r_0^2}{r^2} \left[2 \cos 2\theta - \frac{r_0^2}{r^2} \right] \quad (6.8)$$

Η τελευταία σχέση (6.8) για $r = r_0$ δίνει το συντελεστή πίεσης στην επιφάνεια του κυλίνδρου, που είναι:

$$C_p = 2 \cos 2\theta - 1 = 1 - 4 \sin^2 \theta \quad (6.9)$$

Η γραφική παράσταση της σχέσης αυτής φαίνεται στο σχήμα 6.2.



Σχήμα 6.2 Μεταβολή του C_p συναρτήσει της γωνίας προσβολής θ για άτριβη ροή

Σύμφωνα με το Σχήμα 6.2 για γωνία $\theta = 90^\circ$ και $\theta = 270^\circ$ προκύπτει η ελάχιστη τιμή $C_p = -3$, η οποία αντιστοιχεί στην μέγιστη ταχύτητα $W_{0\max} = 2u_\infty$. Για γωνία $\theta = 0^\circ$ και $\theta = 180^\circ$ προκύπτει η μέγιστη τιμή $C_p = 1$, η οποία αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή της ταχύτητας $W_{0\min} = 0$, που είναι το σημείο ανακοπής της ροής.

Η σχέση (6.8) για $\theta = 0^\circ$ (ή $\theta = 180^\circ$) και $r = x$ δίνει το συντελεστή πίεσης C_{px} πριν (ή μετά) τον κύλινδρο κατά τον άξονα X και είναι:

$$C_{px} = \frac{r_0^2}{x^2} \left[2 - \frac{r_0^2}{x^2} \right] \quad (6.10\alpha)$$

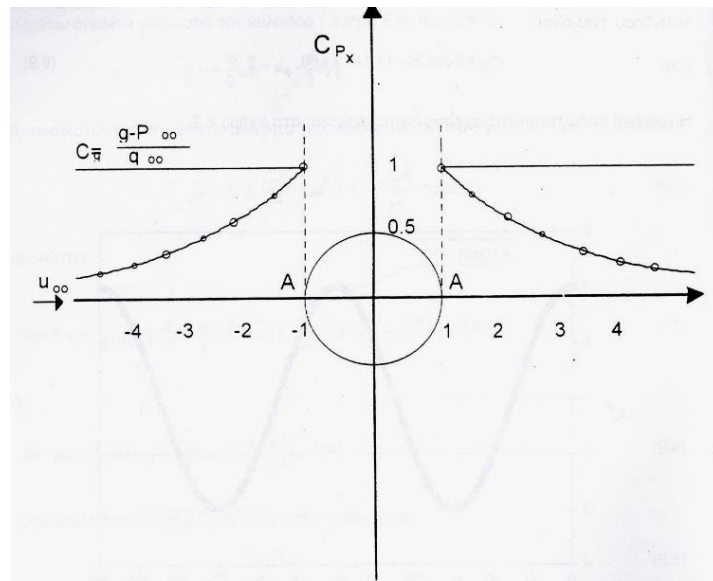
Στο Σχήμα 6.3 δίνεται η μεταβολή του συντελεστή πίεσης C_{px} με το λόγο x/r_0 για άτριβη ροή.

Η μέγιστη τιμή του C_{px} είναι στην τιμή του $x = r_0$ όπου είναι $C_{px} = 1$ (Α: σημείο ανακοπής).

Στην πραγματική ροή (δηλ. ροή με τριβή) ο συντελεστής C_{px} δίνεται από τη σχέση

$$C_{px} = \frac{p_x - p_\infty}{q_\infty} \quad (6.10\beta)$$

όπου p_x η στατική πίεση εμπρός και πίσω από τον κύλινδρο κατά μήκος του άξονα X .



Σχήμα 6.3: Μεταβολή του C_{px} συναρτήσει του λόγου x/r_0 για άτριβη ροή

Από τη σχέση (6.8) για $\theta = 90^\circ$ (ή $\theta = 270^\circ$) και $r = y$ προκύπτει ο συντελεστής πίεσης C_{py} πάνω (ή κάτω) από τον κύλινδρο κατά τη διεύθυνση του άξονα y και είναι:

$$C_{py} = -\frac{r_0^2}{y^2} \left[2 + \frac{r_0^2}{y^2} \right] \quad (6.11\alpha)$$

Η μεταβολή αυτή δίνεται στο Σχήμα 6.4 για άτριβη ροή.

Κατά παρόμοιο τρόπο με τον C_{px} και ο συντελεστής C_{py} για πραγματική ροή δίνεται από τη σχέση

$$C_{py} = \frac{p_y - p_\infty}{q_\infty} \quad (6.11b)$$

όπου p_y στατική πίεση πάνω και κάτω από τον κύλινδρο κατά μήκος του άξονα Y .

Με τον ίδιο συλλογισμό που ορίστηκε ο συντελεστής στατικής πίεσης, ορίζεται και ο συντελεστής ολικής πίεσης C_g ως,

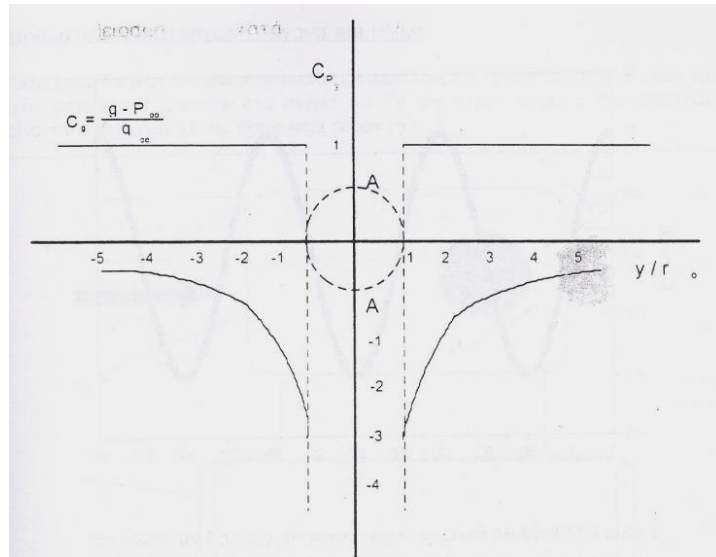
$$C_g = \frac{g - p_\infty}{q_\infty} \quad (6.12)$$

Με

$$g = p + q = g_\infty = p_\infty + q_\infty \quad (6.13)$$

προκύπτει

$$C_g = \frac{g - p_\infty}{q_\infty} = \frac{p_\infty + q_\infty - p_\infty}{q_\infty} = \frac{q_\infty}{q_\infty} = 1 \quad (6.14\alpha)$$



Σχήμα 6.4: Μεταβολή του C_{py} συναρτήσει του λόγου y/r_0 για άτριβη ροή

Η γραφική παράσταση του συντελεστή C_g δείχνεται επίσης στα Σχήματα 6.3 και 6.4 για άτριβη ροή.

Όπως εύλογα προκύπτει από τα προηγούμενα, για πραγματική ροή ο συντελεστής C_g δίνεται από τις σχέσεις

$$C_{gx} = \frac{g_x - p_\infty}{q_\infty} \quad \text{και} \quad C_{gy} = \frac{g_y - p_\infty}{q_\infty} \quad (6.14\beta)$$

όπου g_x και g_y η μετρούμενη ολική πίεση κατά μήκος του άξονα X και Y αντίστοιχα. Επειδή όπως προκύπτει από τη σχέση (6.14α) η τιμή του C_g είναι σταθερή και ίση με 1, συμπεραίνεται ότι η απόκλιση των πειραματικών τιμών από την τιμή αυτή εξαρτάται από την ακρίβεια των οργάνων και την προσοχή του πειραματιστή.

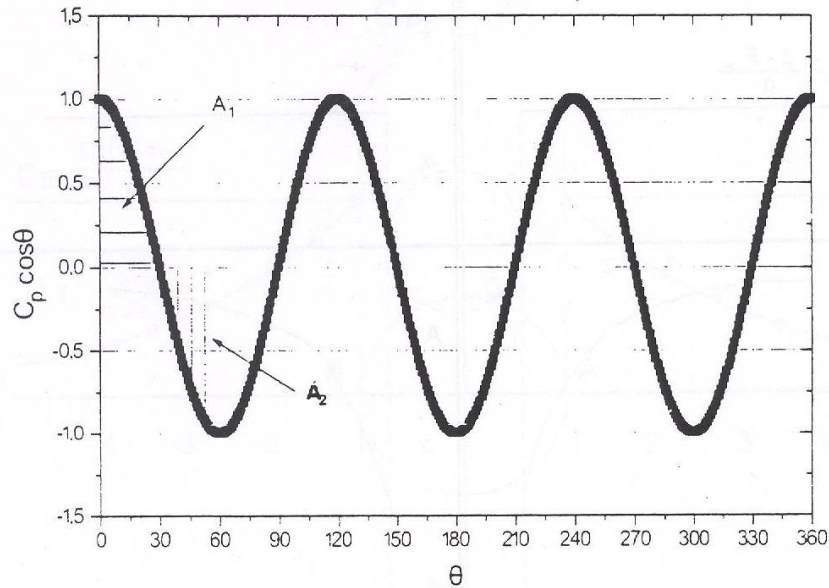
Συντελεστής αντίστασης C_D

Για τον κύλινδρο, ο συντελεστής αντίστασης C_D δίνεται από την έκφραση:

$$C_D = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p \cos\theta \, d\theta \quad (6.15)$$

Στο Σχήμα 6.5 φαίνεται η γραφική παράσταση του $[C_p \cos\theta]$ συναρτήσει της γωνίας θ .

Ο συντελεστής αντίστασης, σύμφωνα με την σχέση (6.15) υπολογίζεται και γραφικά σαν άθροισμα των εμβαδών των στοιχειωδών παραλληλογράμμων (Σχήμα 6.5). Δηλαδή: $C_D = 6A1 - 6A2$ όπου A1: τα θετικά εμβαδά και A2: τα αρνητικά εμβαδά.



Σχήμα 6.5: Μεταβολή του $C_p \cos \theta$ συναρτήσει της γωνίας θ για ιδεώδη ροή.

Όπως φαίνεται στην ιδεώδη ροή ο συντελεστής αντίστασης είναι μηδέν.

Η αντίσταση που παρουσιάζει ο κύλινδρος δίνεται από την έκφραση:

$$D_p = C_D L d q_\infty \quad (6.16)$$

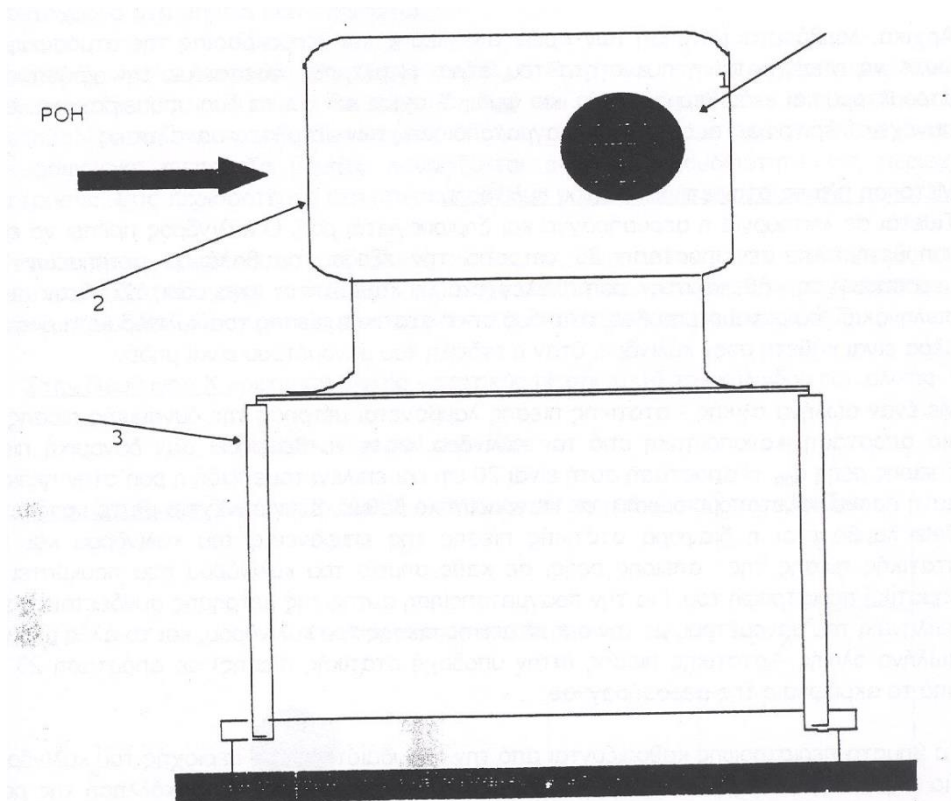
όπου L το μήκος του κυλίνδρου, d η διάμετρος του κυλίνδρου και q_∞ η δυναμική πίεση της απέραντης ροής.

Από τη σχέση (6.16) γίνεται αντιληπτό ότι στην ιδεώδη ροή ο κύλινδρος παρουσιάζει μηδενική αντίσταση, αφού ο συντελεστής αντίστασης είναι μηδέν.

Πειραματική εγκατάσταση, όργανα και υλικά

Η πειραματική εγκατάσταση στην οποία πραγματοποιείται το πείραμα αποτελείται από μία υποηχητική αεροσήραγγα στην έξοδο της οποίας τοποθετείται σε κατάλληλη βάση στήριξης ένας κυκλικός κύλινδρος. Τα τμήματα που απαιτούνται για τη στήριξη του κυλίνδρου φαίνονται στο Σχήμα 6.6 και εξηγούνται παρακάτω.

1. Ο κύλινδρος διαμέτρου 12 cm, στον οποίο έχουν κατασκευαστεί δύο οπές για τη μέτρηση της πίεσης.
2. Οι δύο πλευρικές πλάκες, κατασκευασμένες από Plexiglas, με κατάλληλα διαμορφωμένα χείλη προσροής και απορροής για την επίτευξη ομοιόμορφης και χωρίς αποκολλήσεις ροής.
3. Η βάση στήριξης του κυλίνδρου



Σχήμα 6.6: Πειραματική εγκατάσταση

Η υποηχητική αεροσήραγγα δημιουργεί την προσπίπτουσα στον κύλινδρο ροή.

Η σκοπιμότητα της διάνοιξης δύο οπών, εκτός της χρησιμότητάς τους για τη μέτρηση πίεσης, βοηθούν στην τοποθέτηση του κυλίνδρου κάθετα στη ροή. Η ροή προσπίπτει κάθετα στον κύλινδρο όταν οι πιέσεις στις δύο οπές είναι ίσες μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι αν συνδέσουμε τα δύο σωληνάκια του διαφορικού μανομέτρου στις οπές αυτές, η ένδειξη του μανομέτρου θα είναι μηδέν.

Πειραματική διαδικασία

Το πείραμα διεξάγεται στην εγκατάσταση του Σχήματος 6.6. Για τη διεξαγωγή του πειράματος ακολουθείται η εξής διαδικασία.

Αρχικά, λαμβάνεται μέτρηση των τιμών της πίεσης και θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, ώστε να υπολογιστεί η πυκνότητα του αέρα. Η μέτρηση γίνεται με τη χρήση ενός βαρομέτρου και ενός θερμομέτρου και φυσικά ισχύει και για τα δύο υποπείραματα που ακολουθούν. Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος πραγματοποίησης των μετρήσεων αναλυτικά.

Μέτρηση πίεσης στην επιφάνεια του κυλίνδρου

Τίθεται σε λειτουργία η αεροσήραγγα και δημιουργείται ροή. Ο κύλινδρος πρέπει να είναι τοποθετημένος σε απόσταση 30 cm από την έξοδο του θαλάμου μετρήσεων της αεροσήραγγας κάθετα στην ροή. Ελέγχεται η καθετότητα της ροής, συνδέοντας τα σωληνάκια του μανομέτρου στις δύο οπές στατικής πίεσης του κυλίνδρου. Η ροή του αέρα είναι κάθετη στον κύλινδρο, όταν η ένδειξη του μανόμετρου είναι μηδέν.

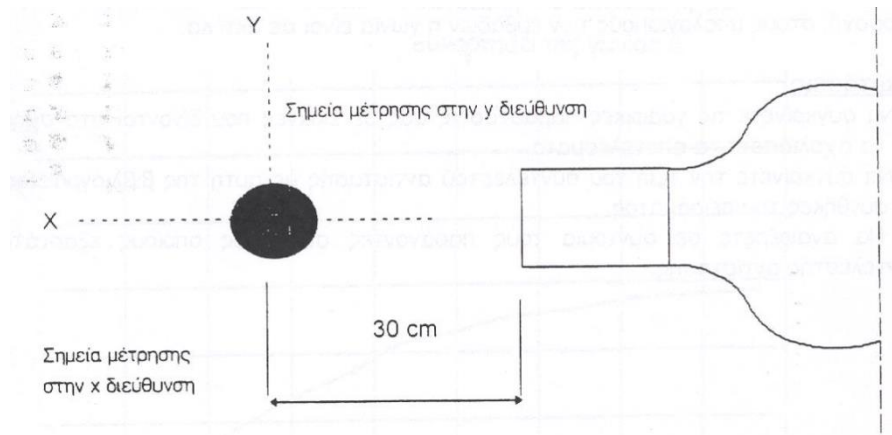
Με έναν σωλήνα ολικής-στατικής πίεσης λαμβάνεται μέτρηση της δυναμικής πίεσης σε μια απόσταση ικανοποιητική μπροστά από τον κύλινδρο, ώστε να θεωρηθεί σαν δυναμική πίεση άπειρης ροής p_∞ . Η απόσταση αυτή είναι 20 cm και επιλέγεται επειδή η ροή στην περιοχή αυτή παρουσιάζεται ομοιόμορφη σε ικανοποιητικό βαθμό. Στην συνέχεια με το μανόμετρο λαμβάνεται η διαφορά στατικής πίεσης της επιφάνειας του κυλίνδρου και της στατικής πίεσης της άπειρης ροής, σε κάθε σημείο του κυλίνδρου που προκύπτει με βηματική περιστροφή του. Δηλαδή περιστρέφουμε τον κύλινδρο κατά συγκεκριμένο βήμα κάθε φορά ούτως ώστε η οπή να σχηματίζει συγκεκριμένη γωνία με την αρχική της θέση. Για την πραγματοποίηση αυτής της μέτρησης συνδέεται το ένα σωληνάκι του μανομέτρου με την οπή στατικής πίεσης του κυλίνδρου, και το άλλο με έναν σωλήνα ολικής-στατικής πίεσης (στην υποδοχή στατικής πίεσης) σε απόσταση 20 cm μπροστά από τον κύλινδρο.

Τα βήματα περιστροφής καθορίζονται από την σπουδαιότητα της περιοχής του κυλίνδρου. Για παράδειγμα, αναφέρεται η περιοχή των 80° που παρατηρείται αποκόλληση της ροής και απαιτείται πύκνωση των σημείων μέτρησης. Στις περιοχές που δεν παρατηρείται αντίστροφη βαθμίδα πίεσης (δηλ. αποκόλληση της ροής) το βήμα περιστροφής λαμβάνεται 10° - 20° ενώ στις περιοχές αποκόλλησης 5° . Αφού ολοκληρωθούν οι μετρήσεις από 0° ως 360° είναι δυνατός ο υπολογισμός του συντελεστή στατικής πίεσης C_p .

Μέτρηση πίεσης γύρω από τον κύλινδρο

Η μέτρηση της πίεσης στις διευθύνσεις X (πριν και μετά τον κύλινδρο) και Y (πάνω από τον κύλινδρο) επιτυγχάνεται με μετατόπιση του σωλήνα Prandtl προς την επιθυμητή κατεύθυνση με την βοήθεια της διάταξης μετατόπισης. Η διαφορά $p - p_\infty$ λαμβάνεται έμμεσα διότι δεν υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης δύο μετρητικών σωληνίων πίεσης ταυτόχρονα στα σημεία που απαιτείται.

Υπολογίζονται οι διαφορές $(p - p_{\text{ατμ}})$ και $(p_\infty - p_{\text{ατμ}})$ και στην συνέχεια αφαιρούνται. Σαν αποτέλεσμα προκύπτει η διαφορά $(p - p_\infty)$ που είναι η ζητούμενη. Η πίεση p είναι η μεταβαλλόμενη πίεση στις διευθύνσεις X ή Y (όπου μετράμε) και η $p_{\text{ατμ}}$ είναι η ατμοσφαιρική πίεση. Τα βήματα καθορίζονται από την σπουδαιότητα της περιοχής μέτρησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις το βήμα είναι 3 cm (η μισή ακτίνα).



Σχήμα 6.7: Σημεία μέτρησης της πίεσης

Στην περίπτωση μέτρησης της ολικής πίεσης, η μόνη αλλαγή που επιβάλλεται στην μετρητική διάταξη είναι η σύνδεση της οπής ολικής πίεσης του σωλήνα Prandtl με το μανόμετρο. Πιο συγκεκριμένα λαμβάνονται οι εξής μετρήσεις (Σχήμα 6.7):

- I. Στην διεύθυνση X, μέτρηση ολικής- στατικής πίεσης μετά τον κύλινδρο και, ολικής πίεσης πριν τον κύλινδρο.
- II. Στην διεύθυνση Y, μέτρηση ολικής- στατικής πίεσης πάνω από τον κύλινδρο.

Αποτελέσματα

Οι μετρήσεις αναγράφονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Αρχικά, υπολογίζεται η πυκνότητα του αέρα από την καταστατική εξίσωση

$$\rho = p / RT$$

όπου p η πίεση σε [Pa], R η ειδική σταθερά του αέρα σε [J/ kgK], T η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin, και στη συνέχεια το δυναμικό ιξώδες από τη σχέση:

$$\mu = \mu_0 (T / 273)^{0.8}$$

με μ_0 την τιμή του ιξώδους για 0 °C. Κατόπιν υπολογίζεται ο αριθμός Reynolds, $Re = \rho u d / \mu$, ο οποίος καθορίζει τις ροϊκές συνθήκες για τις οποίες θα αναζητηθεί ο συντελεστής αντίστασης του κυλίνδρου από τη σχετική βιβλιογραφία και θα συγκριθεί με την πειραματική τιμή (βλ. ερώτηση 2 παρακάτω).

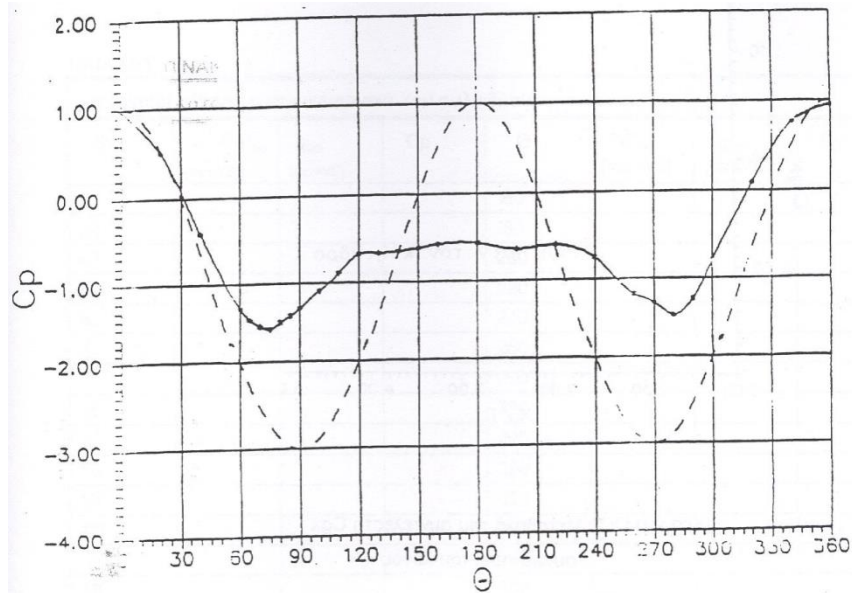
Οι πειραματικές μετρήσεις χρησιμοποιούνται για την εύρεση των ακολούθων ζητούμενων:

1. Εύρεση για κάθε βήμα του συντελεστή πίεσης C_p , στην επιφάνεια του κυλίνδρου, αναγραφή στον αντίστοιχο πίνακα μετρήσεων (Πίνακας 6.1) και κατασκευή του αντίστοιχου διαγράμματος $C_p = C_p(\theta)$.
2. Εύρεση του συντελεστή πίεσης C_{px} , κατά την X- διεύθυνση (μετά τον κύλινδρο), αναγραφή στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 6.2) και κατασκευή του αντίστοιχου διαγράμματος. Όμοια διαδικασία ακολουθείται και για την εύρεση του C_{py} (διδεύθυνση -Y πάνω από τον κύλινδρο, Πίνακας 6.3).
3. Εύρεση των συντελεστών C_g , πριν και μετά τον κύλινδρο, στη διεύθυνση X (C_{gx}), Πίνακες 6.4, 6.5, και πάνω από τον κύλινδρο, στην διεύθυνση Y (C_{gy}), Πίνακας 6.6
4. Εύρεση του συντελεστή αντίστασης C_D , με την γραφική μέθοδο (Πίνακας 6.7). Προσοχή, στους υπολογισμούς των εμβαδών η γωνία είναι σε ακτίνια.

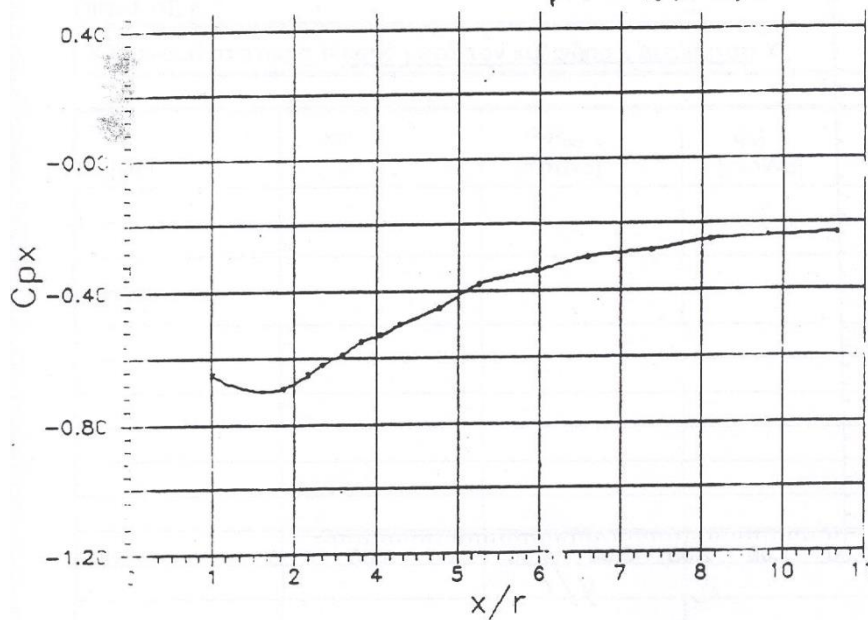
Ερωτήσεις

1. Να συγκρίνετε τις γραφικές παραστάσεις σας με εκείνες που δίνονται στα σχήματα και να σχολιάσετε τα αποτελέσματα.
2. Να συγκρίνετε την τιμή του συντελεστή αντίστασης με αυτή της βιβλιογραφίας για τις συνθήκες του πειράματος.
3. Να αναφέρετε εν συντομία τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται ο συντελεστής αντίστασης.

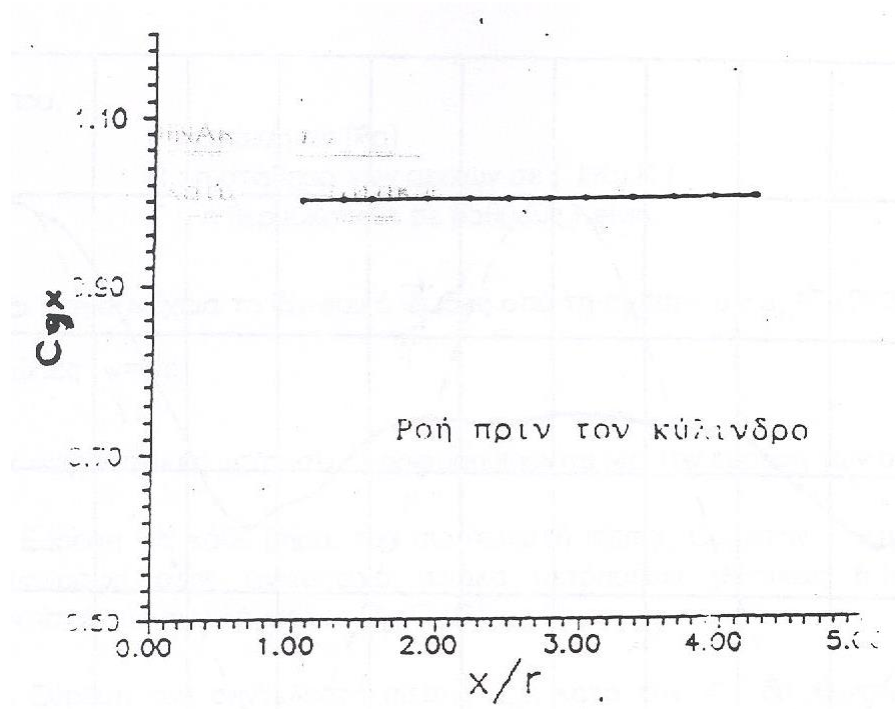
Στις επόμενες σελίδες δίνονται ορισμένα διαγράμματα, τα οποία θα πρέπει να αναπαραχθούν κατά το γράψιμο της έκθεσης, με τη βοήθεια των θεωρητικών σχέσεων και των αντίστοιχων πειραματικών αποτελεσμάτων.



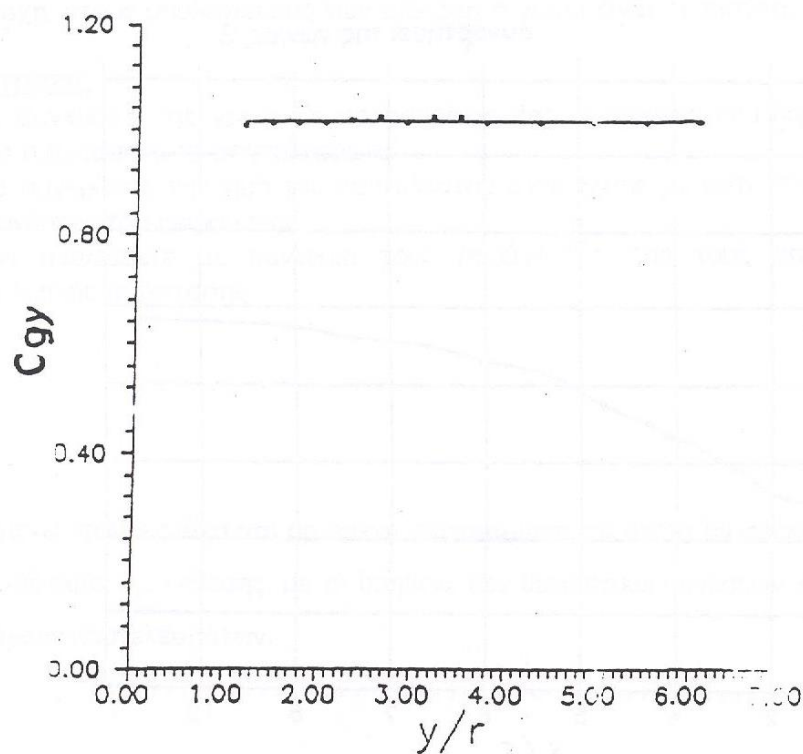
Διάγραμμα 1. Μεταβολή του συντελεστή C_p συναρτήσει της γωνίας θ



Διάγραμμα 2. Μεταβολή του συντελεστή C_{px} συναρτήσει του λόγου x/r



Διάγραμμα 3. Μεταβολή του συντελεστή C_{gx} συναρτήσει του λόγου x/r



Διάγραμμα 4: Μεταβολή του συντελεστή C_{gy} συναρτήσει του λόγου y/r

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4

| ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΠΡΙΝ ΤΟΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟ – ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ | | | | |
|--|-----|----------|-------------------|-------|
| x (cm) | x/r | Ρολ (Pa) | q_{∞} (Pa) | C_g |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5

| ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟ – ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ | | | | |
|--|-----|----------|-------------------|-------|
| x (cm) | x/r | Ρολ (Pa) | q_{∞} (Pa) | C_g |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6

| ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟ – ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ | | | | |
|--|-----|----------|-------------------|-------|
| y (cm) | y/r | Ρολ (Pa) | q_{∞} (Pa) | C_g |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.7

| ϕ | $\cos\phi$ | C_p | $C_p \cos\phi$ |
|--------|------------|-------|----------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |