Άσκηση 6: Μετρητής Ventouri – Λειτουργία & βαθμονόμηση του

Αντικείμενο: ***Εργαστηριακή μελέτη της αρχής λειτουργίας του μετρητή Ventouri, εφαρμογή ισοζυγίου ολικής υδραυλικής ενέργειας και βαθμονόμηση του μετρητή ως παροχόμετρου***

Αντικείμενο

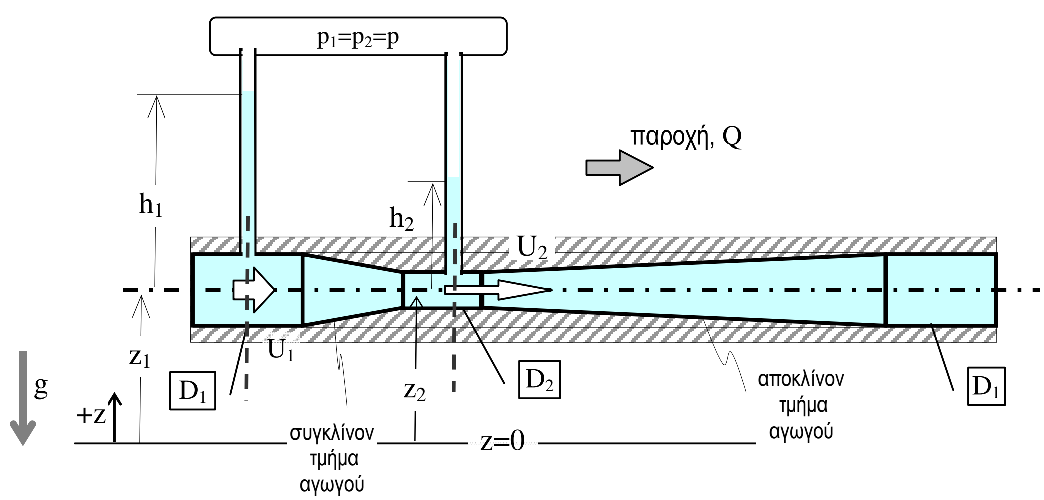
Ο **μετρητής Ventouri** είναι ένας κυλινδρικός αγωγός με ιδιαίτερη διαμόρφωση του εσωτερικού του που παρεμβάλλεται σε έναν αγωγό που επικρατεί ροή με σκοπό τη χρήση του ως **όργανο μέτρησης της ογκομετρικής παροχής** στον αγωγό στον οποίο παρεμβάλλεται (**παροχόμετρο**).

Αντικείμενο της Εργαστηριακής Άσκησης είναι η κατανόηση της αρχής λειτουργίας του μετρητή Ventouri ως οργάνου μέτρησης ογκομετρικής παροχής, καθώς και της διαδικασίας που ακολουθείται για τη βαθμονόμησή του.

Στην περίπτωση **ιδανικής ασυμπίεστης ροής** (υγρό χωρίς ιξώδες) υπάρχει μια απλή σχέση [βλέπε εξίσωση (1)], που συνδέει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού Ventouri με την πυκνότητα του υγρού και την ογκομετρική παροχή, η οποία προκύπτει από κατάλληλη εφαρμογή του ισοζυγίου παροχής ολικής υδραυλικής ενέργειας για συνθήκες ιδανικής ροής. Όμως, **στις πρακτικές εφαρμογές οι ροές δεν μπορούν πάντα να θεωρηθούν ιδανικές** (τα ρευστά έχουν ιξώδες) και λειτουργία του μετρητή Ventouri περιγράφεται από μια πιο σύνθετη σχέση (νομόγραμμα) με την προσθήκη ενός συντελεστή C [εξίσωση (2)]. Για να χρησιμοποιηθεί ένας μετρητής Ventouri ως παροχόμετρο, είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η τιμή C του συγκεκριμένου μετρητή. Αυτό απαιτεί να προηγηθεί μια εργαστηριακή διαδικασία που λέγεται **βαθμονόμηση** («καλιμπράρισμα») του μετρητή.

Πειραματική διάταξη & διαδικασία βαθμονόμησης του μετρητή

Ο μετρητής Ventouri αποτελείται από ένα συγκλίνοντα-αποκλίνοντα κυλινδρικό αγωγό δια μέσου του οποίου ρέει νερό με ογκομετρική παροχή, Q. Η γεωμετρία του μετρητή Ventouri είναι δεδομένη (βλέπε σκαρίφημα Εικόνας 1 & 3).



Εικόνα 1 Βασικά στοιχεία της γεωμετρίας ενός αγωγού Ventouri. Η διάμετρος εισόδου από D_1 μειώνεται σε D_2 και διευρύνεται πάλι σε D_1 στην έξοδο

Στην είσοδο και στη στένωση του Ventouri υπάρχουν δύο μανομετρικοί σωλήνες που συνδέονται σε ένα μικρό πιεστικό δοχείο ώστε να ευρίσκονται στην ίδια πίεση (p_1=p_2=p). Με τους μανομετρικούς σωλήνες (ή με οποιοδήποτε άλλο είδος πιεσόμετρου) μετράμε το μανομετρικό ύψος του νερού στις αντίστοιχες διατομές, h_1 & h_2.

Η ***υδραυλική ανάλυση*** ενός **μετρητή Ventouri** είναι απλή για την **περίπτωση *ιδανικής ροής***, δηλαδή ροής χωρίς απώλειες λόγω τριβών (δηλαδή ροής υγρού με μηδενικό ιξώδες). Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει αναλυτική έκφραση[1] που δίνει την *ογκομετρική παροχή ιδανικής ροής*, Q_{th}, δια μέσου του μετρητή συναρτήσει της διαφοράς των σταθμών στους μανομετρικούς σωλήνες, Δh =(h_1-h_2), και της γεωμετρίας του αγωγού, εμβαδά των διατομών A_1 και A_2,:

$$Q_{th} = \sqrt{\frac{A_1^{\,2} A_2^{\,2}}{A_1^{\,2} - A_2^{\,2}}} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \tag{1}$$

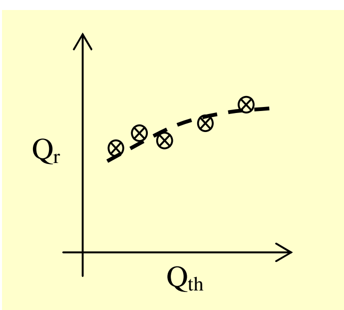
Στις πρακτικές όμως εφαρμογές, όπου κάθε υγρό έχει ιξώδες, η ροή δεν μπορεί να θεωρηθεί ιδανική και η *πραγματική ογκομετρική παροχή*, Q_r, δεν μπορεί να προσδιορισθεί με ακρίβεια από την (1). Η σχέση μεταξύ πραγματικής και ιδανικής ογκομετρικής παροχής προσεγγίζεται από την έκφραση

$$Q_r = CQ_{th} \tag{2}$$

όπου C είναι ένας συντελεστής προσαρμογής. Ο προσδιορισμός του συντελεστή C γίνεται με μια διαδικασία που καλείται *βαθμονόμηση του μετρητή*.

Η **διαδικασία βαμονόμησης** έχει ως εξής:

Τροφοδοτούμε τον μετρητή με γνωστή ογκομετρική παροχή, Q_r, την τιμή της οποία έχουμε μετρήσει με άλλο τρόπο (π.χ. με το ζυγιστικό δοχείο της υδραυλικής τράπεζας). Σημειώνουμε τις ενδείξεις h_1 & h_2 του μετρητή και από αυτές, με την έκφραση (1), προσδιορίζουμε την ογκομετρική παροχή, Q_{th}, που θα αντιστοιχούσε σε ιδανική ροή. Σημειώνουμε τα Q_r και Q_{th} σε ένα διάγραμμα. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για πολλές διαφορετικές ογκομετρικές παροχές, Q_r και έτσι έχουμε πολλά ζεύγη από σημεία (Q_r,Q_{th}) στο διάγραμμα. Χαράσουμε τη βέλτιστη καμπύλη προσαρμογής των σημείων (που περνά με τον καλύτερο τρόπο από τα σημεία – μπορεί να είναι και ευθεία) εφαρμόζοντας μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Η καμπύλη αυτή είναι η *καμπύλη βαθμονόμησης* ή *χαρακτηριστική καμπύλη* του μετρητή και μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της άγνωστης πραγματικής ογκομετρικής παροχής, Q_r, από την ογκομετρική παροχή ιδανικής ροής, Q_{th}, [με βάση την ένδειξη (h_1-h_2) και την έκφραση (4.1)]



Εργαστηριακή διάταξη

Ένας από τους μετρητές Ventouri που διαθέτει το Εργαστήριο Υδραυλικής φαίνεται στην Εικόνα 2. Κατά μήκος μιας γενέτειρας του κυλινδρικού αγωγού υπάρχει μια σειρά οπών στις οποίες συνδέονται μανόμετρα στήλης νερού. Τα άνω άκρα όλων των μανομετρικών σωλήνων καταλήγουν σε ένα γυάλινο αεροστεγή θάλαμο (κολεκτέρ), που περιέχει αέρα, η πίεση του οποίου ελέγχεται με μια βαλβίδα. Η είσοδος του μετρητή Ventouri φαίνεται στα αριστερά. Στο άλλο άκρο, στην έξοδο του μετρητή, συνδέεται μια στραγγαλιστική βάνα (τύπου σύρτη) για τη ρύθμιση της παροχής. Οι μανομετρικοί σωλήνες στερεώνονται σε ένα πάνελ μαζί με μετρητικούς κανόνες (η Εικόνα 2 είναι υψηλής ευκρίνειας και όλες οι λεπτομέρειες είναι διακριτές με μεγέθυνση). Στην Εικόνα 3 φαίνονται οι διαστάσεις του μετρητή (κατανομή διαμέτρων.

[1] Η σχετική ανάλυση επισυνάπτεται ως Παράρτημα και μπορείτε να τη βρείτε και ως άσκηση στο e-class Υδραυλική Ι (Θ

Διαδικασία βαθμονόμησης του μετρητή Ventouri

Το τεχνικό μέρος της διαδικασίας βαθμονόμησης έχει ως εξής:

1) Τοποθετούμε το μετρητή στην υδραυλική τράπεζα (Υ/Τ) και τον οριζοντιώνουμε (με αλφάδι).

2) Συνδέουμε το μετρητή στην αντλία της Υ/Τ και με κάποιο σωλήνα που συνδέουμε στην έξοδο – μετά τη βάνα- διοχετεύουμε την εκροή του στο ζυγιστικό δοχείο της Υ/Τ

3) Θέτουμε σε λειτουργία την Υ/Τ και δίνουμε τη μέγιστη παροχή με τη βοήθεια της ρυθμιστικής βαλβίδας της αντλίας.

4) Κλείνουμε τελείως τη βαλβίδα ελέγχου του μετρητή, οπότε διακόπτεται η ροή και ισοσταθμίζονται οι ελεύθερες επιφάνειες του νερού στους μανομετρικούς σωλήνες προς τη μεριά του κλειστού θαλάμου. Με τη βοήθεια της βαλβίδας αέρα εξισορροπούμε τις στάθμες των μανομετρικών σωλήνων στο μέσο περίπου των μετρητικών κανόνων.

5) Ανοίγουμε λίγο τη βαλβίδα ελέγχου του μετρητή ώστε να αποκατασταθεί μια μικρή σχετικά παροχή νερού. Μόλις σταθεροποιηθεί η κατάσταση μετράμε με τη βοήθεια των μετρητικών κανόνων τα ύψη των σταθμών στους μανομετρικούς σωλήνες (Α-Κ) και σημειώνουμε τα μεγέθη στις αντίστοιχες θέσεις του Πίνακα 4.1. Στη συνέχεια, μετράμε τους χρόνους διαδοχικής πλήρωσης της λεκάνης ζύγισης της Υ/Τ με το νερό που εκρέει από το μετρητή (με μάζες νερού 6kg, 12kg, 18kg, & 24kg), και σημειώνουμε τις τιμές σε αντίστοιχες θέσεις του Πίνακα 1, προκειμένου να εκτιμήσουμε με άμεσο τρόπο την πραγματική παροχή δια μέσου του μετρητή.

4) Επαναλαμβάνουμε την προηγούμενη διαδικασία (5) για διαφορετικά ανοίγματα της βαλβίδας ελέγχου (σταδιακές αυξήσεις της παροχής του νερού διαμέσου του μετρητή).

Ζητούμενα

Αφού γίνει υδραυλική ανάλυση του μετρητή Ventouri του Εργαστηρίου Υδραυλικής για την περίπτωση ιδανικής ροής, να βαθμονομηθεί ο μετρητής με τη βοήθεια γνωστών ογκομετρικών παροχών.

Δεδομένα

- Η γεωμετρία του μετρητή Ventouri της εργαστηριακής άσκησης δίνεται στην Εικόνα 3.
- Πυκνότητα του νερού, ρ=1000kg/m^3 / Κινηματικό ιξώδες νερού, $\nu=1{,}3\text{x}10^{-6}$ m^2/s
- Οι μετρήσεις της κατανομής των υψών πίεσης στους μανομετρικούς σωλήνες για τις διαφορετικές ογκομετρικές παροχές νερού διαμέσου του μετρητή Ventouri (5 ομάδες μετρήσεων, μία ομάδα για κάθε ογκομετρική παροχή - Πίνακας 1).
- Οι τιμές της πραγματικής ογκομετρικής παροχής (Q_j, j=1,5), προσδιορίζονται από τους χρόνους πλήρωσης, Δt, γνωστών όγκων νερού, $\Delta V=\Delta m/\Delta t_i$ στο δοχείο ζύγισης /ογκομέτρησης της υδραυλικής τράπεζας (Πίνακας 2).

Οδηγίες εκπόνησης της άσκησης

Μέρος Α

- Σε ένα **διάγραμμα** καταγράψτε τα υψόμετρα των σταθμών του νερού στους μανομετρικούς σωλήνες κατά μήκος του μετρητή (h_i-h_{11}) για τις 5 διαφορετικές παροχές, όπως έχουν καταγραφεί στον Πίνακα 1.
- Σε ένα άλλο **διάγραμμα**, με βάση την κατανομή των διαμέτρων, D(x), κατά μήκος, x, του μετρητή Ventouri, σχεδιάστε τις **ανηγμένες πιεζομετρικές πιέσεις** $[(A_2/A_1)^2-(A_2/A_n)^2]$ (n=1,…,11) για την **περίπτωση της ιδανικής ροής** διαμέσου του Ventouri, οπότε θα προκύψει η '**ιδανική καμπύλη' του μετρητή**, η οποία είναι **ανεξάρτητη της ογκομετρικής παροχής**.

Στη συνέχεια, <u>για κάθε μία</u> από τις 5 ρυθμίσεις (Q_{rj}, j=1,5) <u>σταθερής ογκομετρικής παροχής νερού</u>, μετρούνται τα χρονικά διαστήματα, Δt_{ji}, μεταξύ 4 διαδοχικών συσσωρεύσεων μαζών Δm=6 kg νερού οι οποίες παροχετεύονται μέσω του μετρητή Ventouri στο δοχείο ζύγισης της Υ/Τ. Κάθε μέση πραγματική ογκομετρική παροχή, Q_{rj} (j=1,5), υπολογίζεται ως η μέση τιμή των μετρήσεων των στιγμιαίων ογκομετρικών παροχών $Q_{rj} = \frac{1}{4\rho}\sum_{i=1}^{4}\frac{\Delta m}{\Delta t_{ji}}$ από τα στοιχεία του Πίνακα 2.

Σε κάθε σταθερή μέση τιμή της πραγματικής ογκομετρικής παροχής, Q_{rj} (j=1,5), αντιστοιχεί μια κατανομή πιεζομετρικών πιέσεων.

- Στο προηγούμενο διαγραμμα σχεδιάστε και τα προφίλ από τις **πραγματικές ανηγμένες πιεζομετρικές πιέσεις** $\frac{h_n - h_1}{U_2^2/2g}$, (n=1,…,11), οπότε θα προκύψουν οι ανηγμένες πραγματικές καμπύλες του μετρητή (αντιστοιχεί μία καμπύλη σε κάθε μία σταθερή ογκομετρική παροχή, Q_{r1}, Q_{r2}, Q_{r3}, Q_{r4}, Q_{r5}). Η τιμή της U_2, μπορεί να εκτιμηθεί από την έκφραση για ιδανική ροή $U_2 = \frac{Q_{th}}{A_2} = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1-(A_2/A_1)^2}} = \sqrt{\frac{1}{1-(A_2/A_1)^2}}\sqrt{2g(h_1-h_2)}$.
- Από το ίδιο διάγραμμα συγκρίνατε την καμπύλη κατανομής της ανηγμένης πιεζομετρικής πίεσης για ιδανική ροή με τις καμπύλες κατανομής των ανηγμένων πραγματικών πιέσων για τις διάφορες ογκομετρικές παροχές και καταγράψτε τα συμπεράσματά σας.

Μέρος Β

Για να προσδιορισθεί ο συντελεστής προσαρμογής του μετρητή ως συνάρτηση του Q, C(Q), επικεντρωνόμαστε στις ανηγμένες πιεζομετρικές πιέσεις $\frac{h_2 - h_1}{U_2^2/2g}$ του μανομετρικού σωλήνα D-2 που αντιστοιχεί στη μικρότερη διάμετρο (στη στένωση) του Ventouri.

Ο συντελεστής προσαρμογής C, ορίζεται ως

$$\boxed{Q_r = CQ_{th} \quad \Leftrightarrow \quad C(Q_{th}) = \frac{Q_r}{Q_{th}}} \tag{3}$$

όπου

Q_r είναι η πραγματική ογκομετρική παροχή (τη μετρήσαμε με τρόπο ανεξάρτητο του μετρητή Ventouri), και

Q_{th} είναι η ογκομετρική παροχή στην περίπτωση ιδανικής ροής, η οποία δίνεται από την έκφραση (1), οπότε, αντικαθιστώντας τις αριθμητικές τιμές $A_1 = 5{,}31\times10^{-4}\,m^2$, και $A_2 = 2{,}01\times10^{-4}\,m^2$

του υπό εξέταση μετρητή και g=9,81 m/s^2, προκύπτει (για το συγκεκριμένο μετρητή της εργαστηριακής άσκησης)

$$Q_{th} = 9{,}618 \times 10^{-4} \frac{m^{5/2}}{s} \sqrt{(h_1 - h_2)} \qquad (4)$$

Ο συντελεστής προσαρμογής του συγκεκριμένου μετρητή Ventouri δίνεται από 5 ζεύγη (Q_r, Q_{th}), όπου αντιστοιχεί ένα ζεύγος για κάθε μία από τις 5 διαφορετικές ογκομετρικές παροχές του Πίνακα 4.1.

- Σχεδιάστε σε διαγράμματα τις σχέσεις $Q_r(Q_{th})$ και $C(Q_{th})$ και καταγράψτε τα συμπεράσματά σας.

Για οποιαδήποτε απορία έχετε, διευκρινήσεις θα δοθούν στο επόμενο εργαστήριο ή στείλτε σχετικό email στο marval@teiath.gr και θα σας απαντήσω.

Επειδή υπάρχουν αρκετοί επαναλαμβανόμενοι υπολογισμοί και απαιτείται ο σχεδιασμός διαγραμμάτων, συστήνεται ανεπιφύλακτα –αλλά δεν είναι υποχρεωτική- η χρήση προγράμματος Excel.

ΠΡΟΣΟΧΗ - Κάθε εργασία θα παραδοθεί στο Εργαστήριο και αφού σφραγισθεί θα επιστραφεί. Κάθε σφραγισμένη εργασία θα φυλαχθεί σε φάκελο μέχρι το τέλος του εξαμήνου οπότε και θα την υποβληθεί μαζί με το τεστ του Εργαστηρίου. Το Εξώφυλλο της εργασίας υπάρχει στα Έγγραφα (https://eclass.teiath.gr/modules/document/file.php/PEY134/Hydraulics_I_Lab_CoverPage.doc)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Υπολογισμός ογκομετρικής παροχής ιδανικής ροής, Q_{th}, σε αγωγό Ventouri

Διατύπωση ισοζυγίου ενέργειας σε φλέβα ροής (Bernoulli)

Το ισοζύγιο συνολικής υδραυλικής ενέργειας[2] α.μ.β. νερού (με αναφορά στο σκαρίφημα της Εικόνας 1) μεταξύ των δύο διατομών 1 & 2, με εμβαδό A_1 & A_2 αντίστοιχα, γράφεται

$$H_1 + \Delta H_{1\to 2} = H_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + C_1 \frac{U_1^2}{2g} + \Delta H_{1\to 2} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + C_2 \frac{U_2^2}{2g}$$

Επειδή όμως έχουμε:

(α) οριζόντιο αγωγό, $z_1=z_2$, και

(β) έχουμε θεωρήσει **ιδανική ροή (χωρίς ιξώδες)**, δεν υπάρχουν ενεργειακές απώλειες λόγω τριβών, $H_{L,1\text{-}2}=0$ και η η κατανομή της ταχύτητας θα είναι ομοιόμορφη, επομένως $C_1=C_2=1$.

(γ) επιπλέον δεν υπάρχουν αντλίες ή υδροστρόβιλοι που να προθέτουν ή αφαιρούν ενέργεια από τον όγκο ελέγχου (μεταξύ των διατομών 1 & 2) οπότε $H_A=H_T$-=0

Από όλα τα προηγούμενα $\Delta H_{1\text{-}2}=H_A-H_T-H_{L,1\text{-}2}=0$ κι έτσι η προηγούμενη εξίσωση γίνεται

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{U_2^2}{2g} \quad \Rightarrow \quad \frac{p_1 + \gamma h_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = \frac{p_2 + \gamma h_1}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} \quad \Rightarrow$$

και επειδή υπάρχει εξισορρόπηση πίεσεων στο θάλαμο υπερπίεσης (κολεκτέρ) που καταλήγουν τα μανομετρικά σωληνάκια, $p_1=p_2$, η προηγούμενη σχέση καταλήγει στην απλή μορφή

$$h_1 + \frac{U_1^2}{2g} = h_2 + \frac{U_2^2}{2g} \quad \Rightarrow \quad (h_1 - h_2) = \frac{U_1^2}{2g}\left(\frac{U_2^2}{U_1^2} - 1\right) \quad \Rightarrow \quad 2g(h_1 - h_2) = U_1^2\left(\frac{U_2^2}{U_1^2} - 1\right),$$

και επειδή -από το νόμο της συνέχειας- ισχύει $Q = U_1 A_1 = U_2 A_2 \quad \Rightarrow \quad \dfrac{U_2}{U_1} = \dfrac{A_1}{A_2}$, τότε

$$2g(h_1 - h_2) = U_1^2\left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1\right) \quad \Rightarrow \quad 2g(h_1 - h_2) = U_1^2 A_1^2\left(\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2}\right) \quad \Rightarrow \quad 2g(h_1 - h_2) = Q_{th}^2\left(\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2}\right)$$

Έτσι η **θεωρητική ογκομετρική παροχή** για την **περίπτωση ιδανικής ροής σε σωλήνα Ventouri** προκύπτει ως εξής:

$$\boxed{\begin{aligned} Q_{th} &= A_2 \sqrt{\frac{1}{1-(A_2/A_1)^2}}\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \qquad \text{είτε} \\ &= A_1 \sqrt{\frac{1}{(A_1/A_2)^2 - 1}}\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \end{aligned}}$$

[2] βλέπε και "conservation_energy.pdf" από Έκπαιδευτικό υλικό/Σημειώσεις-τυπολόγια του e-class της Υδραυλικής Ι

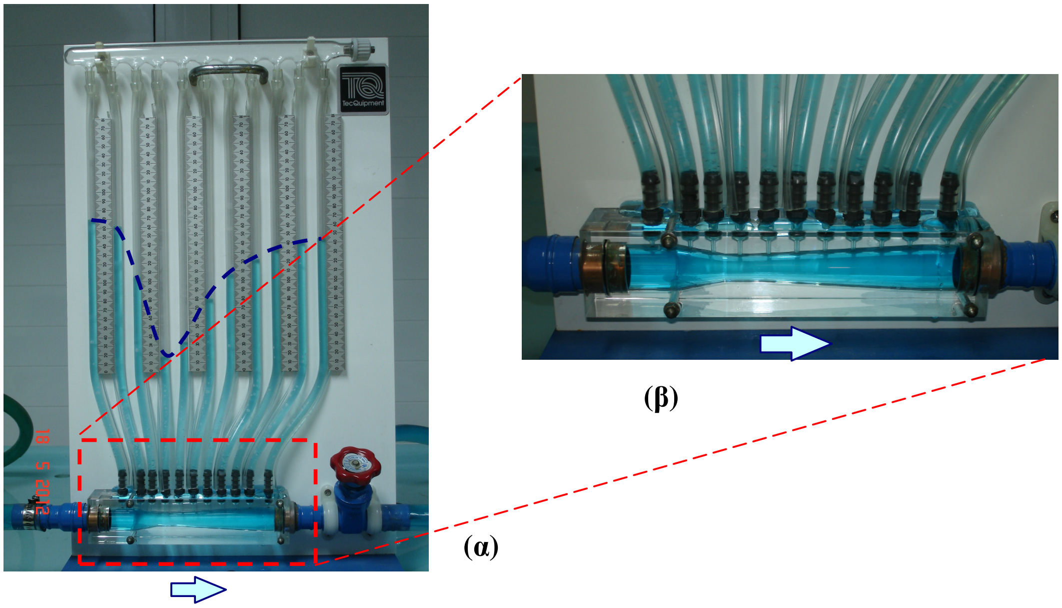
Φύλλο Καταγραφής Μετρήσεων

Πίνακας 1 Μετρήσεις της κατανομής των υψών πίεσης στους 11 μανομετρικούς σωλήνες κατά μήκος του μετρητή Ventouri, για διαφορετικές παροχές. Οι πραγματικές παροχές, Q_{rj} (j=1,5), εκτιμώνται από μετρήσεις με τη βοήθεια της υδραυλικής τράπεζας και με βάση τα στοιχεία που καταγράφονται στον Πίνακα 2 (βλέπε σχετικές οδηγίες). Οι θεωρητικές παροχές για συνθήκες ιδανικής ροής, Q_{thj} (j=1,5), υπολογίζονται με τη βοήθεια της έκφρασης (1) από μετρήσεις των μανομετρικών υψών στους μανομετρικούς σωλήνες A(1) & D(2) (με σκούρο χρώμα).

Μετρήσεις ---> .	**j**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Μανομετρικοί σωλήνες		**Στάθμες μανομετρικών σωλήνων (mm)**				
A- 1	$\mathbf{h_1}$					
B	h_3					
C	h_4					
D – 2	$\mathbf{h_2}$					
E	h_5					
F	h_6					
G	h_7					
H	h_8					
I	h_9					
J	h_{10}					
K	h_{11}					
Υπολογισμός (σε $\mathbf{m^3/s}$) των ογκομετρικών παροχών ιδανικής ροής, Q_{thj}, βάσει μετρήσεων $(h_1\text{-}h_2)_j$						
$Q_{th}=\sqrt{\dfrac{A_1^2A_2^2}{A_1^2-A_2^2}}\sqrt{2g(h_1-h_2)}$		$\mathbf{Q_{th1}}$	$\mathbf{Q_{th2}}$	$\mathbf{Q_{th3}}$	$\mathbf{Q_{th4}}$	$\mathbf{Q_{th5}}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 Εργαστηριακές μετρήσεις των χρόνων πλήρωσης του ζυγιστικού δοχείου της υδραυλικής τράπεζας που παρέχει νερό στο μετρητή. Με αυτές γίνεται ο προσδιορισμός (η μέτρηση) της πραγματικής παροχής όγκου νερού, Q_r, που περνά μέσα από το μετρητή, προκειμένου να γίνει η βαθμονόμησή του.

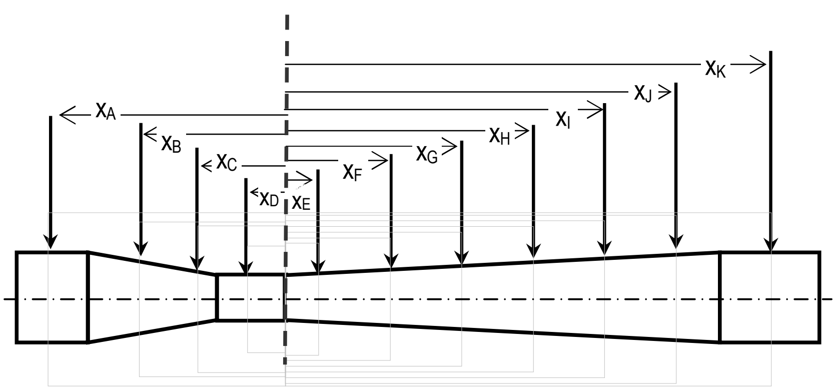
i	Μάζες πλήρωσης δοχείου ζύγισης, Δm_i	Χρόνοι πλήρωσης δοχείου Υ/Τ, Δt_{ji} (s)				
		j= 1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	6 kg					
2	6 kg					
3	6 kg					
4	6 kg					
Υπολογισμός (σε $\mathbf{m^3/s}$) των πραγματικών ογκομετρικών παροχών (Q_{r1}-Q_{r5}) βάσει μετρήσεων Δt_{ji}						
$Q_{rj}=\dfrac{1}{4\rho}\sum_{i=1}^{4}\dfrac{\Delta m_i}{\Delta t_{ji}}$		$\mathbf{Q_{r1}}$	$\mathbf{Q_{r2}}$	$\mathbf{Q_{r3}}$	$\mathbf{Q_{r4}}$	$\mathbf{Q_{r5}}$



Εικόνα 2 Γενική όψη της **συσκευής μετρητή Ventouri** (α) και λεπτομέρεια που δείχνει τη διαμόρφωση του αγωγού, και ειδικά το συγκλίνον-αποκλίνον τμήμα του, αλλά και τους μανομετρικούς σωλήνες με τους οποίους μετριέται η πίεση κατά μήκος του αγωγού (β). Οι μανομετρικοί σωλήνες καταλήγουν σε κοινό θάλαμο πίεσης (κολλεκτέρ) στο πάνω μέρος της συσκευής. Το σώμα του αγωγού είναι κατασκευασμένο από διαφανές plexiglass. Το νερό που παρέχεται διαμέσου του αγωγού έχει χρωματισθεί γαλάζιο. Έτσι είναι ευδιάκριτα τόσο η γεωμετρία του αγωγού (β) όσο και η κατανομή της μανομετρικής πίεσης κατά μήκος του αγωγού (διακεκομένη καμπύλη που ενώνει τις στάθμες στους μανομετρικούς σωλήνες) (α).

Σημ. Οι φωτογραφίες είναι υψηλής ευκρίνειας και με μεγέθυνση μπορείτε να δείτε όλες τις λεπτομέρειες.

Γεωμετρία του Αγωγού Ventouri (της εργαστηριακής άσκησης)



Εικόνα 3 Σκαρίφημα με τις κρίσιμες διαστάσεις του αγωγού Ventouri της εργαστηριακής άσκησης

Μανομετρικοί σωλήνες	Θέση μανομ. σωλήνα, (mm)	Διάμετρος αγωγού (mm)
A- 1	**x_A=54**	**26,0**
B	x_B=34	23,20
C	x_C=22	18,40
D – 2	**x_D=8**	**16,00**
E	x_E=7	16,80
F	x_F=22	18,47
G	x_G=37	20,16
H	x_H=52	21,84
I	x_J=67	23,53
J	x_I=82	25,24
K	x_K=102	26,00