

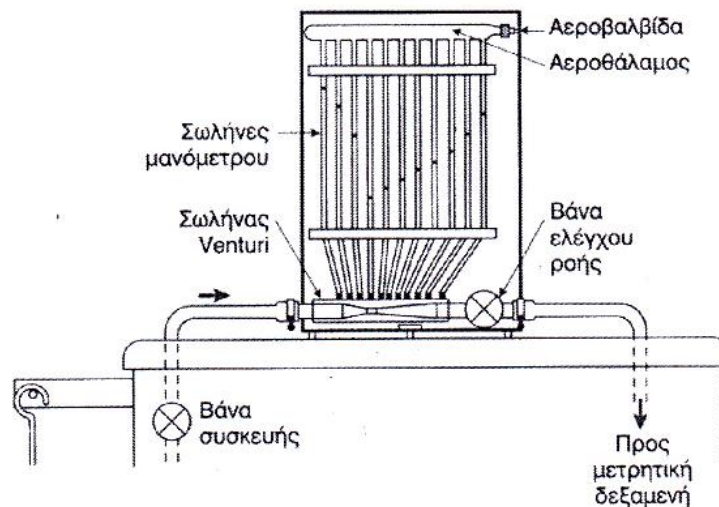
Εργαστηριακή άσκηση: Σωλήνας Venturi

Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η κατανόηση της χρήσης της **συσσκευής Venturi** ως παροχόμετρου και η χάραξη του πιεζομετρικού διαγράμματος με τη χρήση της **εξίσωσης Bernoulli** και της **εξίσωσης της συνέχειας**.

Περιγραφή και χρήση της συσκευής

Ο σωλήνας **Venturi**, είναι ένα όργανο, που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της παροχής ενός υγρού που ρέει σ' έναν κλειστό αγωγό. Συνήθως ο Venturi παρεμβάλλεται στον αγωγό αναγκάζοντας το ρευστό να περάσει μέσα από αυτόν, ώστε να καταγραφεί η στατική πίεση του ρευστού στις διάφορες θέσεις του αγωγού και η διαφορική πίεση μεταξύ των θέσεων.

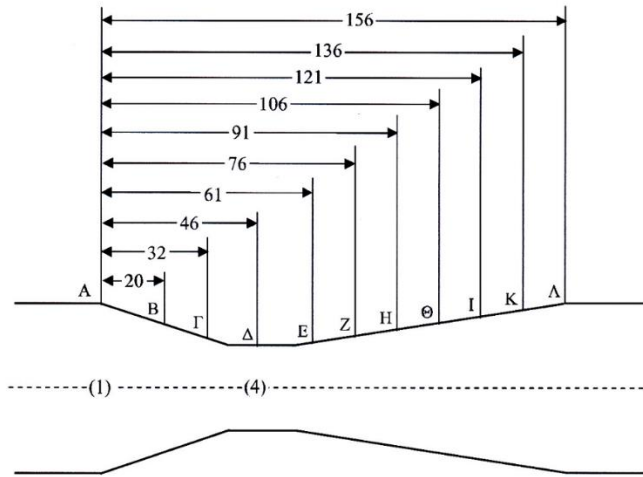


Σχήμα 1. Διάταξη πειραματικής συσκευής σωλήνα Venturi.

Ο σωλήνας Venturi έχει μεταβλητή διατομή. Στα δύο άκρα του έχει διάμετρο ίση με αυτή του κλειστού αγωγού στον οποίο παρεμβάλλεται, έτσι ώστε να μη διαταράσσεται ιδιαίτερα η ροή στον αγωγό. Στο λαιμό του Venturi η διάμετρος είναι μικρότερη (στένωση), έτσι ώστε περνώντας το ρευστό από τον Venturi να αποκτά στο λαιμό μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι στα άκρα του, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η πίεσή του. Όπως προκύπτει από την σχέση Bernoulli, η **διαφορά πίεσης μεταξύ εισόδου και στένωσης εξαρτάται από την παροχή του αγωγού και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παροχής**. Στη συνέχεια, το ρευστό μετά το λαιμό επιβραδύνεται, με ταυτόχρονη αύξηση της πίεσής του, μέχρι να αποκτήσει στην έξοδο του Venturi ταχύτητα ίση με αυτή της εισόδου του.

Ο σωλήνας Venturi έχει έντεκα κατακόρυφους πλαστικούς σωλήνες μικρής διαμέτρου, που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της στατικής πίεσης στις διάφορες θέσεις του.

Επίσης, περιλαμβάνει μια αεροβαλβίδα για τον απεγκλωβισμό του αέρα που παγιδεύεται στα μετρητικά σωληνάκια, μια βαλβίδα ελέγχου της ροής που καθορίζει το μέγεθος της παροχής και μια αντλία η οποία διακινεί το υγρό από την κύρια δεξαμενή στο σωλήνα Venturi και στην συνέχεια στην εσωτερική δεξαμενή για να ζυγισθεί.



Σχήμα 2. Αποστάσεις σε mm των πιεζομετρικών σωλήνων από την είσοδο του Venturi.

Πίνακας 1. Γεωμετρικά στοιχεία πιεζομετρικών σωλήνων

Πιεζομετρικός Σωλήνας N	Διάμετρος D_n mm	Διατομή A_n cm^2	Απόσταση X_n mm
A(1)	26.00	5.3	0.0
B	23.20	4.2	20
Γ	18.40	2.6	32
Δ(4)	16.00	2.0	46
E	16.80	2.2	61
Z	18.47	2.6	76
H	20.16	3.1	91
Θ	21.84	3.7	106
I	23.53	4.3	121
K	25.24	5.0	136
Λ	26.00	5.3	156

Θεωρητικό μέρος

Για τον υπολογισμό της στατικής πίεσης και της παροχής που διακινεί ο αγωγός Venturi εφαρμόζεται η **εξίσωση της συνέχειας**, σύμφωνα με την οποία, κατά μήκος ενός αγωγού αν δεν υπάρχουν καταβάθρες ύλης, η παροχή διατηρείται σταθερή.

Γενικά, η παροχή Q ενός αγωγού ορίζεται ως ο ρυθμός μεταβολής του όγκου του ρευστού σε μια διατομή του αγωγού:

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

Μπορεί δε να υπολογιστεί και από τις ισοδύναμες σχέσεις (2) και (3):

$$Q = u \cdot A \quad (2)$$

$$Q = \frac{m}{\rho \cdot t} \quad (3)$$

όπου Q η παροχή, u η ταχύτητα του υγρού και A η διατομή του αγωγού.

Για δύο θέσεις (1, n) του αγωγού, έχουμε:

$$Q_1 = Q_n \Rightarrow u_1 A_1 = u_n A_n \Rightarrow u_1 = u_n \frac{A_n}{A_1}$$

Επίσης θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση Bernoulli, η οποία εκφράζει την ανά μονάδα βάρους εξίσωση διατήρησης του ύψους της ενέργειας του υγρού, μεταξύ δύο θέσεων (1, n), στον αγωγό Venturi:

$$h_1 + \frac{U_1^2}{2g} = h_n + \frac{U_n^2}{2g} \quad (2)$$

Μετά από αντικατάσταση η ταχύτητα θα είναι:

$$u_1 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_n)}{1 - \left(\frac{A_n}{A_1}\right)^2}}$$

Αντίστοιχα, για τον υπολογισμό της θεωρητικής παροχής που διαρρέει τον αγωγό Venturi, έχουμε ότι:

$$Q_1 = Q_n = u_n A_n \Rightarrow Q_1 = A_n \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_n)}{1 - \left(\frac{A_n}{A_1}\right)^2}} \quad (3)$$

Συνήθως, χρησιμοποιείται η ένδειξη στη στένωση, όπου στη συγκεκριμένη εργαστηριακή διάταξη αντιστοιχεί για n=4, δηλαδή τη θέση Δ του αγωγού, οπότε και η εξίσωση (3) γράφεται:

$$Q_1 = A_4 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1 - \left(\frac{A_4}{A_1}\right)^2}} \quad (4)$$

Όμως, η πραγματική παροχή Q_{pr} , που διαρρέει τον αγωγό Venturi διαφέρει από τη θεωρητική Q_{th} , κυρίως λόγω των υποθέσεων που συνοδεύουν την απλοποιημένη εξίσωση Bernoulli οι οποίες είναι:

- α) η κατανομή ταχύτητας σε κάθε διατομή Venturi δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από το είδος της ροής (στρωτή ή τυρβώδης),
- β) αγνοούνται οι υδραυλικές απώλειες (μεταφραζόμενες σε πτώση πίεσης) κατά την κίνηση του ρευστού μέσα στον αγωγό Venturi.

Πειραματική διαδικασία

Πριν την έναρξη των μετρήσεων και για τη σωστή λειτουργία της συσκευής πρέπει να γίνουν οι παρακάτω ενέργειες:

1. Ανοίγεται ο διακόπτης παροχής της αντλίας και η βαλβίδα ελέγχου του αγωγού Venturi στο ένα τρίτο (1/3) της διαδρομής τους. Ελέγχετε αν η αεροβαλβίδα του αεροθαλάμου είναι κλειστή.
2. Τίθεται σε λειτουργία η αντλία προκαλώντας τη ροή του νερού μέσα στο σωλήνα.
3. Απομακρύνονται οι φυσαλίδες του αέρα, που συνήθως εγκλωβίζονται στα τοιχώματα των πιεζομετρικών σωλήνων.
4. Κλείνεται η βαλβίδα ελέγχου ροής έτσι ώστε το σύστημα να υπόκειται σε συνεχώς αυξανόμενη πίεση, που προκαλεί ανύψωση του νερού στα σωληνάκια και πιέζει τον αέρα στην κορυφή.

5. Από την αεροβαλβίδα αφήνεται να φύγει τόσος αέρας όσος χρειάζεται για να φθάσει η κοινή στάθμη στα σωληνάκια στο μέσο της κλίμακας του μανομέτρου.
6. Ανοίγονται πλήρως ο διακόπτης της αντλίας και η βαλβίδα ελέγχου ροής. Στη θέση αυτή έχουμε τη μέγιστη παροχή του αγωγού και καταγράφεται και η μέγιστη διαφορά πίεσης (μεταξύ εισόδου και στένωσης), η οποία πρέπει να είναι περίπου 240 mm. Παράλληλα, καταγράφονται οι ενδείξεις των πιεζομετρικών σωλήνων της συσκευής.
7. Ακολουθούν μετρήσεις για ενδιάμεσες παροχές του αγωγού, οι οποίες λαμβάνονται κλείνοντας σταδιακά τη βαλβίδα ελέγχου της ροής. Στην πρώτη μέτρηση (μέγιστη παροχή) και κατά τη μέτρηση της ενδιάμεσης παροχής, καταγράφονται οι ενδείξεις και των 11 μανομέτρων νερού της πειραματικής διάταξης.

Για την μέτρηση της παροχής συλλέγεται μια ποσότητα νερού που συγκεντρώνεται στη δεξαμενή (μάζα $m = 7,5 \text{ kg}$) και με ένα χρονόμετρο μετριέται ο χρόνος συλλογής. Παράλληλα σημειώνουμε τη διαφορά στατικής πίεσης μεταξύ της εισόδου και της στένωσης.

Επεξεργασία Αποτελεσμάτων

1. Συμπληρώνουμε κατάλληλα τον Πίνακα 2 και χαράζουμε το πιεζομετρικό διάγραμμα του αγωγού Venturi $\left(\frac{A_1}{A_n}\right)^2 - 1 = f(x)$, που δείχνει την επίδραση της γεωμετρίας του αγωγού στην πτώση πίεσης κατά μήκος του αγωγού.
 2. Συμπληρώνουμε κατάλληλα τον Πίνακα 3 και χαράζουμε στο ίδιο σύστημα αξόνων τη γραφική παράσταση της ποσότητας $\sqrt{h_1 - h_n} = f(Q)$, τόσο για τη θεωρητική παροχή (Q_θ) όσο και για την πραγματική παροχή (Q_π).
- α. Να καταγραφούν στον Πίνακα 2, οι τιμές της στατικής πίεσης κατά μήκος του αγωγού για την μέγιστη παροχή Q_{\max} και μια ενδιάμεση παροχή Q_x .
- Στη συνέχεια στο ΙΔΙΟ διάγραμμα να σχεδιαστούν για σύγκριση, τα διαγράμματα $h_n, \frac{v_n^2}{2g}$ ως προς X (όπου X είναι η απόσταση κάθε πιεζομετρικού σωλήνα από την είσοδο του Venturi) για παροχή Q_{\max} του πίνακα 1. Να χαραχθούν αντίστοιχα σε ίδιο διάγραμμα και για Q_x .
- β. Να σχεδιαστεί το διάγραμμα της θεωρητικής κατανομής της πίεσης $\frac{h_1 - h_n}{u_1^2 / 2g} = \left(\frac{A_1}{A_n}\right)^2 - 1$ ως προς X του πίνακα 1.
- γ. Να σχεδιαστούν τα διαγράμματα ΔH_n ως προς X για Q_{\max} και Q_x (πίνακας 3).
- δ. Να γίνει αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 2. Υπολογισμός Θεωρητικής Κατανομής της Πίεσης κατά μήκος τους αγωγού Venturi

Πιεζομετρ. Σωλήνας N	Διάμετρος D _n Mm	$\frac{D_1}{D_n}$	$\left(\frac{A_1}{A_n}\right)^2 = \left(\frac{D_1}{D_n}\right)^4$	$\left(\frac{A_1}{A_n}\right)^2 - 1$
A(1)	26,00			
B	23,20			
Γ	18,40			
Δ(4)	16,00			
E	16,80			
Z	18,47			
H	20,16			
Θ	21,84			
I	23,53			
K	25,24			
Λ	26,00			

Πίνακας 3. Μετρήσεις της πραγματικής κατανομής πίεσης για δύο διαφορετικές παροχές, Q_{max} και Q_{min}

Αριθμός Πιεζομ. Σωλήνα	m (kg) = t (sec) =				m (kg) = t (sec) =			
	ρ = (kg/m ³)				ρ = (kg/m ³)			
	V= m/ρ = (m ³)				V= m/ρ = (m ³)			
	Q _{max} = V/t = (m ³ /s)				Q _{min} = V/t = (m ³ /s)			
	D ₁ = 0.026 m				D ₁ = 0.026 m			
	A ₁ = πD ₁ ² / 4= (m ²)				A ₁ = πD ₁ ² / 4= (m ²)			
	u ₁ = Q _{max} / A ₁ = (m/s)				u ₁ = Q _{min} / A ₁ = (m/s)			
N	A _n = πD _n ² / 4 (m ²)	h _n (m)	h ₁ -h _n (m)	$\frac{h_1-h_n}{\frac{u_1^2}{2g}}$ (m)	h _n (m)	h ₁ -h _n (m)	$\frac{h_1-h_n}{\frac{u_1^2}{2g}}$ (m)	
A(1)								
B								
Γ								
Δ(4)								
E								
Z								
H								
Θ								
I								
K								
Λ								