

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΡΟΗΣ

✚ Με τον όρο ροή αναφερόμαστε στην ποσότητα υγρού ή αερίου που περνά από μία διατομή στη μονάδα του χρόνου.

✚ Υπάρχουν τρία μεγέθη για να περιγράψουν την ροή:

✚ Ογκομετρικός ρυθμός ροής ή παροχή Q (l/s)

✚ Ρυθμός ροής μάζας (συνδέεται με το Q μέσω ρ)

✚ Ταχύτητα ροής v . Ισχύει: $Q=vS$, όπου S διατομή

✚ Ας εξετάσουμε το βασικό φορμαλισμό που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της κίνησης ρευστών:

✚ Εξίσωση Bernoulli (ασυμπίεστο ρευστό χωρίς τριβές)

$$p + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{σταθερό}$$

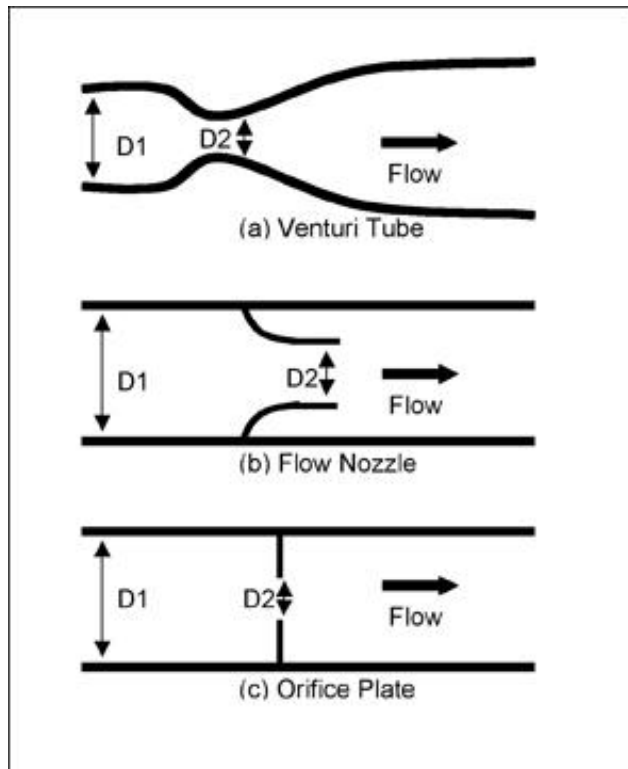
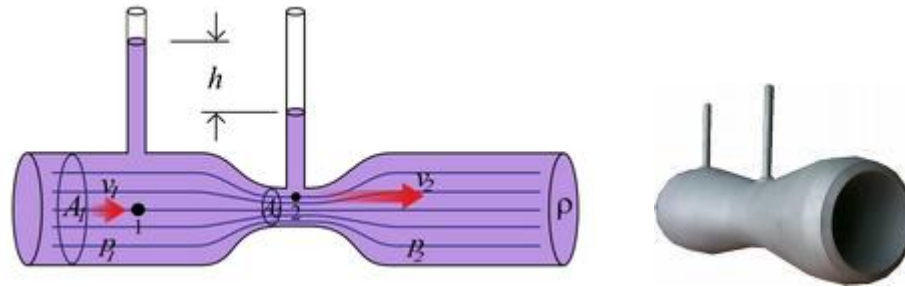
p : στατική πίεση, ρgh : πίεση στάθμης υγρού, $\frac{1}{2}\rho v^2$: πίεση λόγω ροής

- ✦ Εξίσωση συνέχειας (ασυμπίεστο ρευστό, ομοιόμορφη ταχύτητα)

$$S_1 V_1 = S_2 V_2$$

- ✦ Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι σε στένωμα του σωλήνα έχουμε αύξηση της ταχύτητας, ενώ παρουσιάζεται ελάττωση σε διαπλάτυνση. Επίσης, Αύξηση της ταχύτητας έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της στατικής πίεσης.
- ✦ Υπάρχει πληθώρα τύπων αισθητήρων ροής, με κύριους τους:
 - ✦ Τύπου στένωσης (πτώση πίεσης)
 - ✦ Ηλεκτρομαγνητικό (επαγόμενη ΗΕΔ)
 - ✦ Περιστρεφόμενου τμήματος (αριθμός περιστροφών)
 - ✦ Υπερήχων (χρόνος ταξιδιού)
 - ✦ Σωλήνα Pitot (πίεση λόγω ροής)

✚ Αισθητήρας ροής τύπου στένωσης



✚ Στην διαδρομή της ροής δημιουργείται στένωμα το οποίο προκαλεί μία πτώση πίεσης (λόγω της αύξησης της ταχύτητας στη στένωση) που είναι ανάλογη της παροχής. Υπάρχουν τρεις τύποι αισθητήρα ροής τύπου στένωσης, αυτός με διάφραγμα, αυτός με ακροφύσιο και ο σωλήνας Venturi

✚ Σε ένα αισθητήρα ροής τύπου στένωσης και για υγρά ασυμπίεστα χωρίς τριβές, θα ισχύει η εξίσωση συνέχειας και η εξίσωση Bernoulli. Αν θεωρήσουμε ότι πριν και μετά το στένωμα οι ταχύτητες και οι διατομές ροής είναι v_1 , v_2 , $S_{1\rho}$ και $S_{2\rho}$ αντίστοιχα, τότε αποδεικνύεται ότι ιδανικά:

$$Q_{ιδαν} = \frac{S_{2\rho}}{\sqrt{1 - \left(\frac{S_{2\rho}}{S_{1\rho}}\right)^2}} \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}}$$

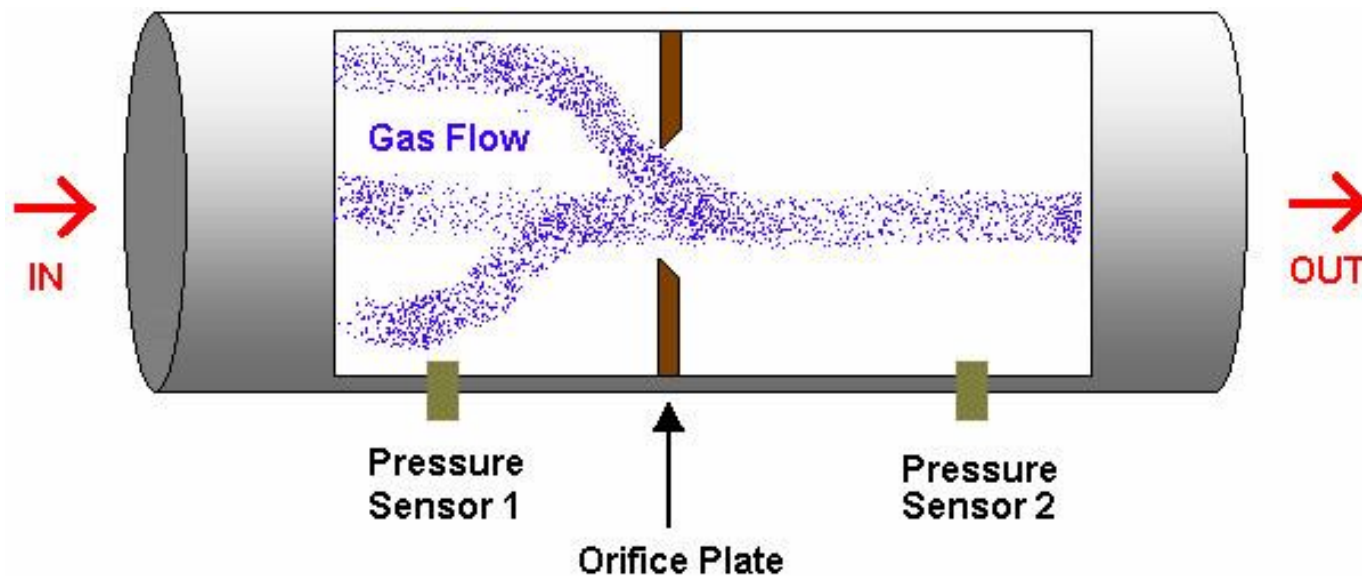
όπου ρ η πυκνότητα του υγρού και p_2 , p_1 οι στατικές πιέσεις πριν και μετά το στένωμα.

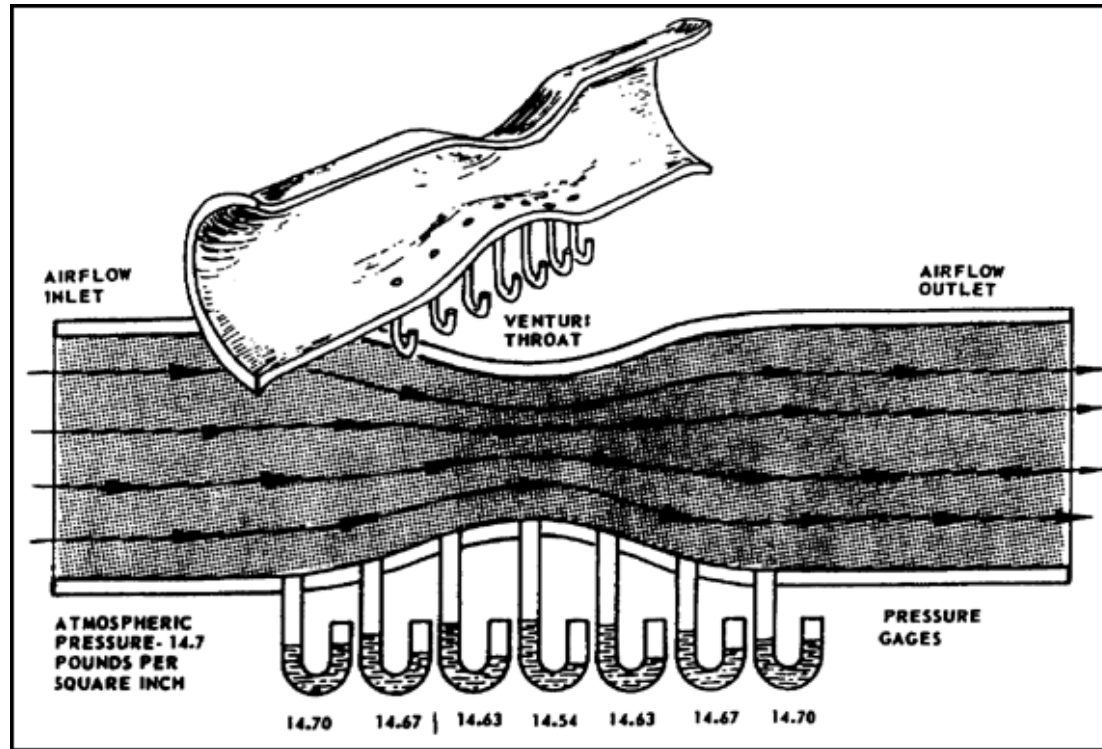
✚ Οι διατομές ροής δεν έχουν απλή γεωμετρική σημασία καθώς επηρεάζονται από την ακριβή κατασκευή του αισθητήρα, το είδος του υγρού και τυχόν υπάρχουσες τριβές.

✚ Πρακτικά, η πραγματική ροή δίνεται από μία εξίσωση:

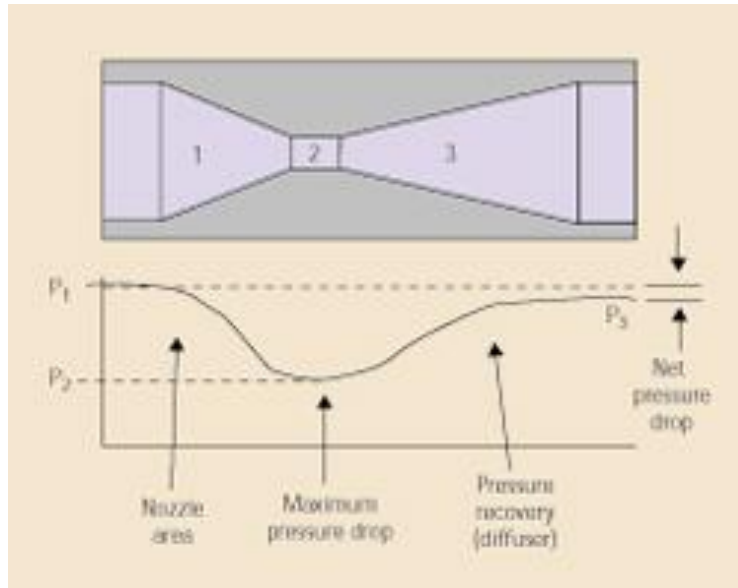
$$Q_{\text{πραγ}} = C \times Q_{\text{ιδαν}}$$

όπου C ο συντελεστής εκροής που είναι μικρότερος της μονάδας και υπολογίζεται εμπειρικά.





✚ Οι αισθητήρες ροής τύπου στένωσης με ακροφύσιο και Venturi εμφανίζουν μεγαλύτερο συντελεστή εκροής αλλά και μικρότερη απώλεια πίεσης από αυτόν με διάφραγμα.



✚ Η μεταβολή της πίεσης σε ένα αισθητήρα τύπου στένωσης φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Μακριά από την στένωση η πίεση είναι μέγιστη p_1 , ακριβώς στη θέση της στένωσης ελάχιστη, αλλά μετά την στένωση υπάρχει μία μόνιμη πτώση πίεσης.

✚ Παράδειγμα: Σε μετρητή ροής με στένωση ισχύει $S_{1\rho}=2S_{2\rho}=50 \text{ cm}^2$, $\rho=1 \text{ gr/cm}^3$, $p_1=2.5 \text{ Atm}$, $p_2=1.8 \text{ Atm}$ και $C=0.6$. Να βρεθεί η ιδανική και η πραγματική ροή.

Θα ισχύει:

$$S_{1\rho}=50 \times 10^{-4} \text{ m}^2, S_{2\rho}=25 \times 10^{-4} \text{ m}^2, \rho=10^3 \text{ kgr/m}^3,$$

$$p_1=2.45 \times 10^5 \text{ Pa}, p_2=1.766 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$Q_{\text{ιδαν}} = \frac{S_{2\rho}}{\sqrt{1 - \left(\frac{S_{2\rho}}{S_{1\rho}} \right)^2}} \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}} =$$

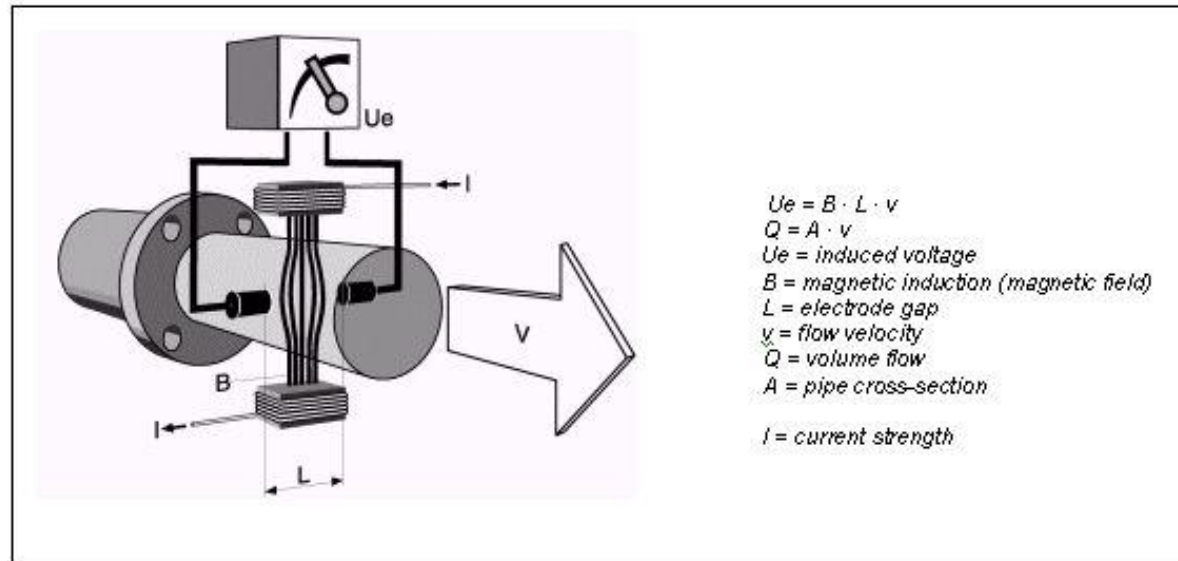
Επομένως:

$$= \frac{25 \times 10^{-4}}{\sqrt{1 - \left(\frac{25 \times 10^{-4}}{50 \times 10^{-4}} \right)^2}} \sqrt{\frac{2(2.45 \times 10^5 - 1.766 \times 10^5)}{10^3}} = 33,76 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{πραγ}} = 0.6 \times 33.76 = 20.26 \text{ l/s}$$

- ✚ Επειδή ο αισθητήρας ροής τύπου στένωσης προκαλεί πτώση πίεσης, η μέτρηση της ροής απαιτεί τη χρήση ενός αισθητήρα διαφορικής πίεσης.
- ✚ Τα μειονεκτήματα του αισθητήρα ροής τύπου στένωσης είναι η απώλεια πίεσης, η μικρή περιοχή μέτρησης, τα σφάλματα που δημιουργούνται λόγω εναπόθεσης/διάβρωσης αλλά και η απαίτηση ηλεκτρονικών για την τετραγωνική ρίζα.
- ✚ Τα πλεονεκτήματα τους είναι το μικρό κόστος, η απουσία κινούμενων τμημάτων και η χρήση σε πολλά είδη.

✚ Αισθητήρας ροής ηλεκτρομαγνητικού τύπου

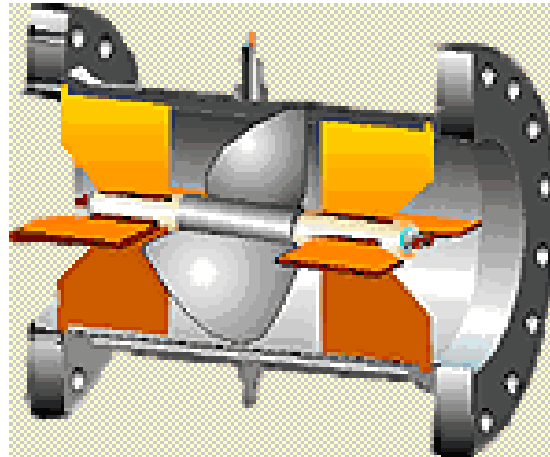


✚ Όταν το ρευστό έχει κάποια αγωγιμότητα, τότε ο αγωγός μπορεί να συγκριθεί με ένα αγωγό ρεύματος (κίνηση φορτίων). Αν βάλουμε ένα μαγνητικό πεδίο B , μέσω ενός ηλεκτρομαγνήτη, κάθετο στη ροή, τότε θα έχουμε την επαγωγή ΗΕΔ E ίσης με: $E=BLv$, όπου v η ταχύτητα ροής και L η διάμετρος του σωλήνα. Η τάση αυτή θα είναι κάθετη και στη ροή αλλά και στο μαγνητικό πεδίο.

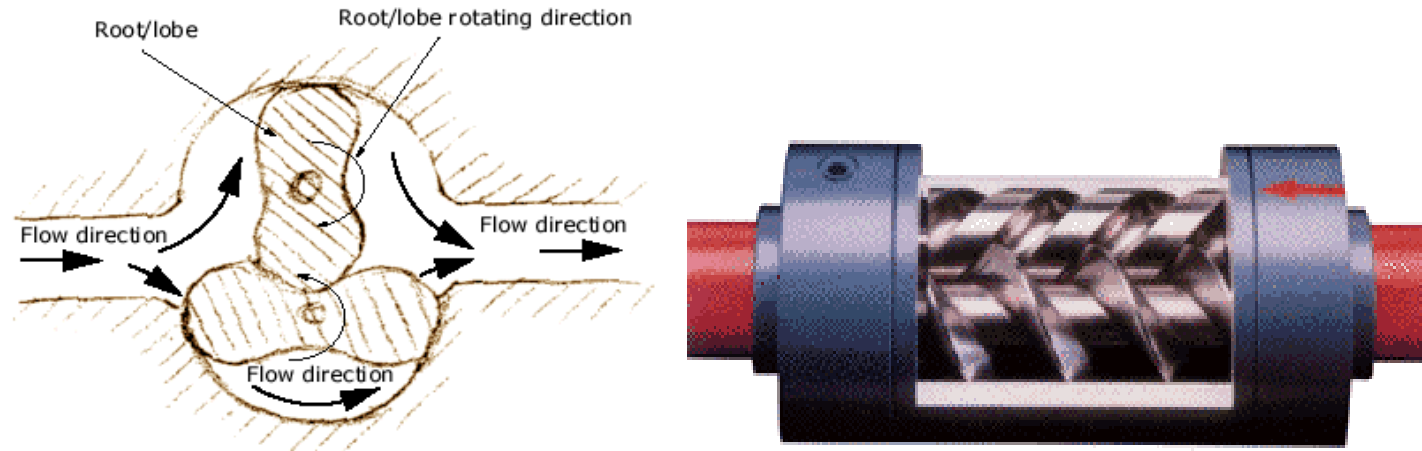
- ✚ Αν βάλουμε ηλεκτρόδια κάθετα στη ροή και στο μαγνητικό πεδίο θα μετράμε την τάση E .
- ✚ Συνήθως χρησιμοποιείται ηλεκτρομαγνήτης αν και ο αισθητήρας λειτουργεί και με σταθερό μαγνήτη. Η τιμή της E είναι μικρή, γεγονός που εισάγει ανακρίβειες. Όμως, ο αισθητήρας αυτός δεν επηρεάζει τη ροή και την πίεση, δίνει απ' ευθείας ηλεκτρική έξοδο ανάλογη της ροής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και σε συμπυκνωμένα υγρά (τσιμέντο, υγρό μέταλλο κλπ). Το μειονέκτημα του είναι η απαίτηση αγωγιμότητας στα υγρά.



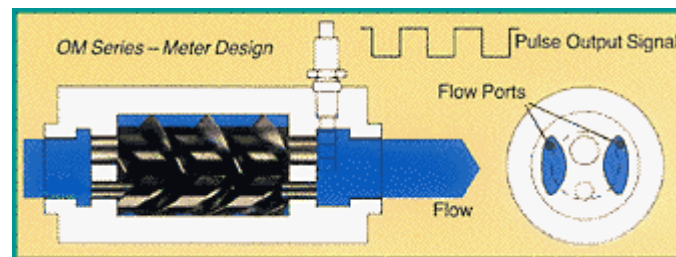
✚ Αισθητήρας ροής με περιστρεφόμενο τμήμα.



✚ Στους αισθητήρες αυτούς ένα περιστρεφόμενο τμήμα επιτρέπει την μέτρηση είτε της ποσότητας του υγρού που μετακινείται (αισθητήρες θετικής μετατόπισης) είτε την ταχύτητα ροής. Στην πρώτη περίπτωση ανήκουν οι αισθητήρες περιστρεφόμενων λοβών και ελικοειδούς κοχλίας.



✚ Κάθε λοβός παγιδεύει συγκεκριμένη ποσότητα υγρού σε κάποιο τμήμα της περιστροφής. Άρα σε μία πλήρη περιστροφή των λοβών, έχει προχωρήσει προς τα μπρος συγκεκριμένη ποσότητα υγρού. Αντίστοιχα αποτελέσματα έχει μία πλήρη περιστροφή του κοχλία.

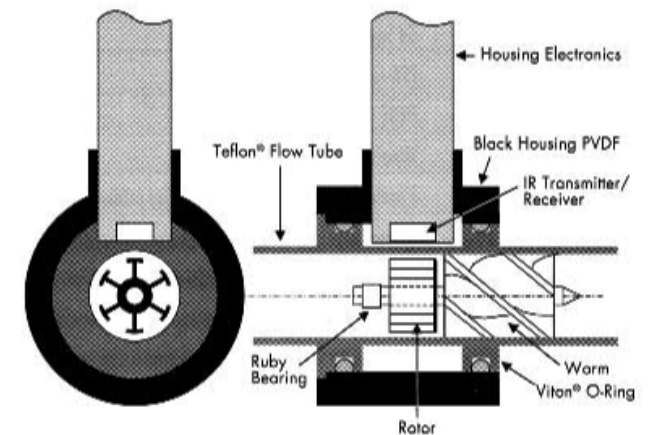


✚ Για την λειτουργία του αισθητήρα αυτού απαιτείται η καταμέτρηση των περιστροφών. Η περιστροφή μπορεί να παρακολουθείται από αισθητήρα γωνιακής μετατόπισης τύπου μαγνητικών παλμών.

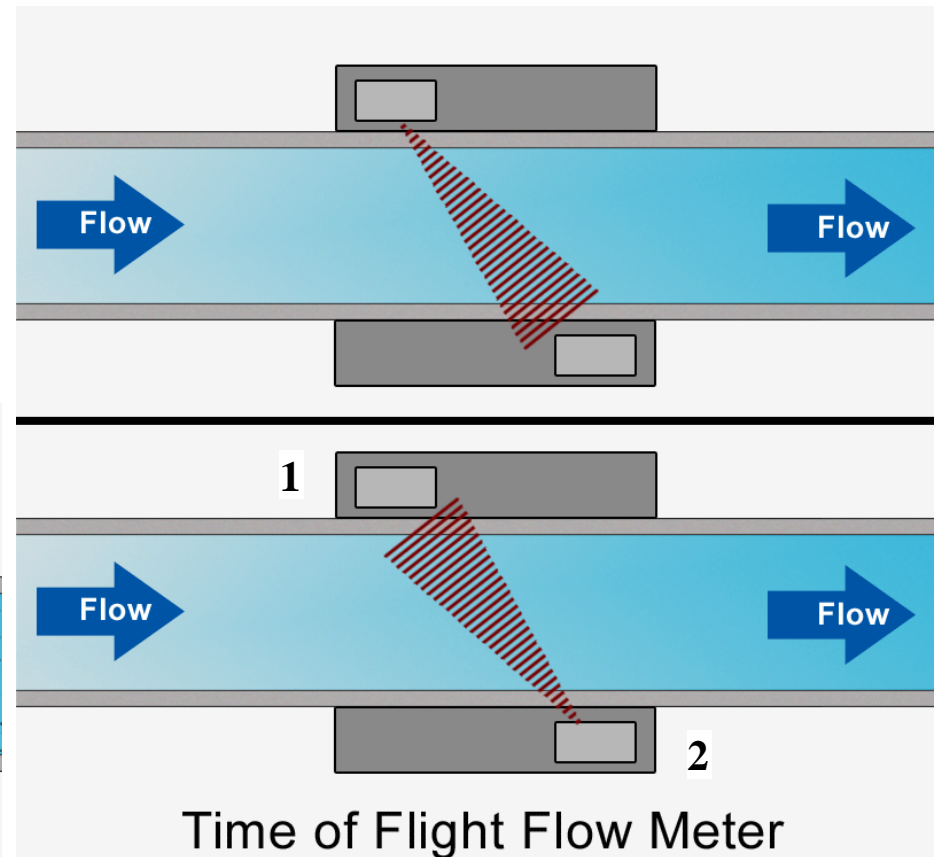
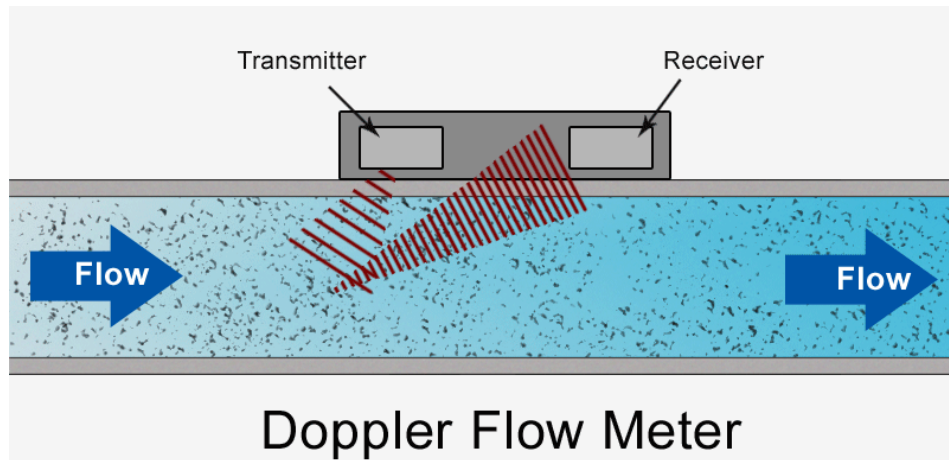
✚ Οι αισθητήρες ροής με περιστρεφόμενο τμήμα θετικής μετατόπισης έχουν σχετικά καλή ακρίβεια, προκαλούν όμως πτώση πίεσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν αντλίες.

✚ Οι αισθητήρες ταχύτητας ροής με περιστρεφόμενο τμήμα περιέχουν ένα στρόβιλο (έλικα), η οποία περιστρέφεται λόγω της ροής. Η ταχύτητα περιστροφής είναι απ' ευθείας ανάλογη της ταχύτητας ροής. Η ταχύτητα περιστροφής μετριέται με αισθητήρα γωνιακής μετατόπισης τύπου μαγνητικών παλμών.

✚ Έχουν υψηλό κόστος και προκαλούν πτώση πίεση.



✚ Οι αισθητήρες ροής με υπέρηχους βασίζονται είτε στην μετατόπιση Doppler που υφίσταται ένα κύμα σκεδαζόμενο από τα μόρια του υγρού που ρέει, είτε στον διαφορετικό χρόνο πτήσης ενός ηχητικού κύματος αν κινείται προς ή αντίθετα από την διεύθυνση ροής.

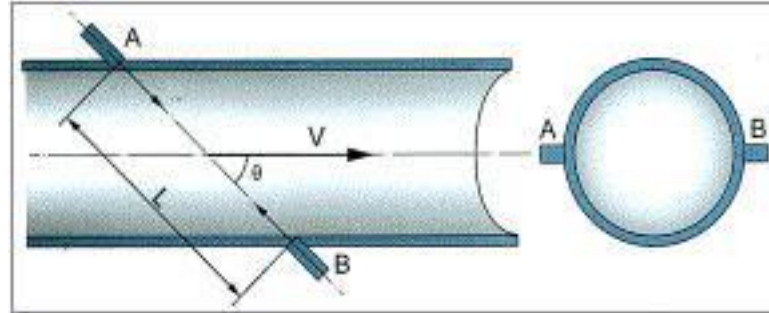


Ισχύει: $f_2 - f_1 = f_1 \frac{v}{u} (\sin\theta_2 - \sin\theta_1)$

όπου f_2, f_1 η συχνότητα πριν και μετά την σκέδαση, v η ταχύτητα ροής, u η ταχύτητα του κύματος και θ_2, θ_1 η γωνίες πρόσπτωσης και ανάκλασης του κύματος.

✚ Οι αισθητήρες ροής με υπέρηχους που βασίζονται στο φαινόμενο Doppler απαιτούν για την λειτουργίας τους σκεδαστές, οι οποίοι μπορεί να είναι απλές φουσκάλες.

Έχουμε δύο πομπούς και δύο δέκτες υπερήχων. Ο χρόνος που απαιτείται για το κύμα να πάει από το 1 στο 2 (T_{12}) είναι διαφορετικός από το χρόνο που απαιτείται για την διαδρομή από το 2 στο 1 (T_{21}). Μάλιστα, το κύμα που έχει συνιστώσα ταχύτητας αντίθετη στη φορά ροής χρειάζεται μεγαλύτερο χρόνο να φτάσει στον πομπό.



✚ Θα ισχύει:

$$T_{12} = \frac{d}{\eta \mu \theta (u - v \sigma \nu \theta)}$$

$$T_{21} = \frac{d}{\eta \mu \theta (u + v \sigma \nu \theta)}$$

Όπου u η ταχύτητα του ήχου, d η διάμετρος του σωλήνα και θ η γωνία μεταξύ της ροής και της ευθείας που συνδέει τους δύο πομπούς/δέκτες. Αν $u \gg v \sigma \nu \theta$ και S η επιφάνεια της διατομής του σωλήνα, τότε θα έχουμε:

$$\Delta T = T_{21} - T_{12} = \frac{2d\sigma\varphi\theta}{u^2} v = \frac{2d\sigma\varphi\theta}{Su^2} Q$$

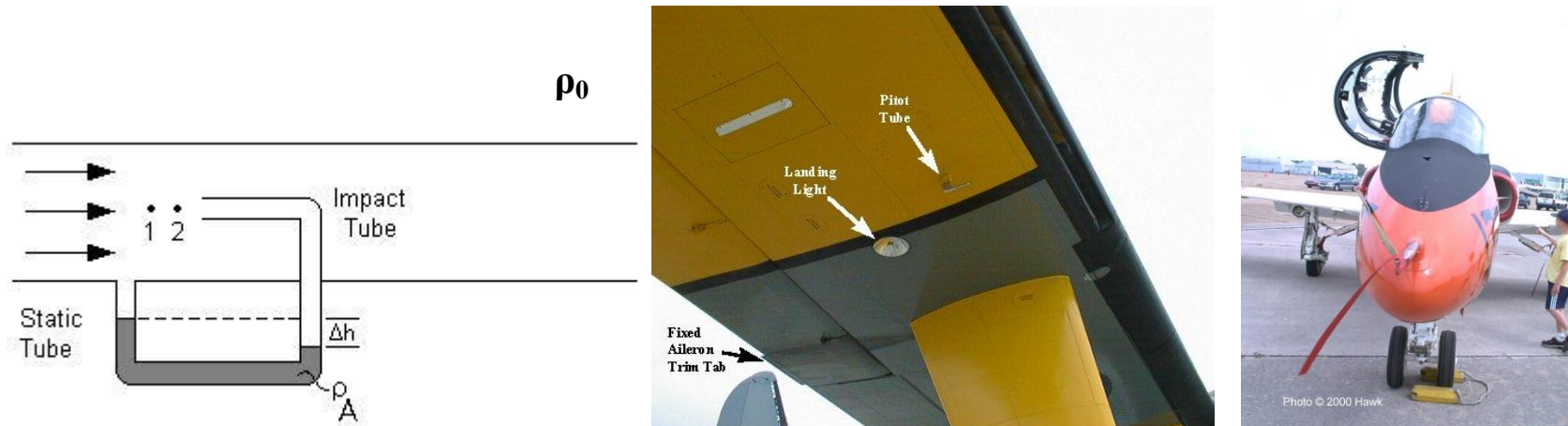
Για παράδειγμα, αν $u=1500$ m/s, $d=10$ cm, $\theta=20^\circ$, $T_{12}=192.433$ s και $T_{21}=195.409$ s να βρεθεί το v .

Ισχύει:

$$\Delta T = \frac{2d\sigma\phi\theta}{u^2} v \Rightarrow v = \frac{\Delta T u^2}{2d\sigma\phi\theta} = \frac{0.976 \times 10^{-6} (1500)^2}{2 \times 0.1 \times \sigma\phi 20^\circ} = 4 \text{ m/s}$$



✚ Η λειτουργία του αισθητήρα ροής τύπου σωλήνα Pitot βασίζεται στην διαφορά μεταξύ ολικής και στατικής πίεσης μέσα στη ροή.



✚ Στο σημείο 1, η πίεση είναι μόνο στατική, ενώ στο σημείο 2 είναι στατική

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g \Delta h = (1/2) \rho_0 v^2$$

και λόγω ροής. Άρα θα ισχύει:

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}}$$

✚ Ο αισθητήρας ροής τύπου σωλήνα Pitot χρησιμοποιείται και για υγρά και για αέρια.

✚ Για την μέτρηση της ροής σε αέρια χρησιμοποιείται και το ανεμόμετρο θερμού αέρα. Η βασική ιδέα για την λειτουργία του είναι η πτώση της θερμοκρασία που προκαλεί η ροή αερίου σε ένα θερμαινόμενο νήμα.

✚ Το ανεμόμετρο θερμού αέρα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με γέφυρα Wheatstone. Αρχικά, η γέφυρα είναι σε ισορροπία με το νήμα θερμό. Αν υπάρξει ροή αερίου, η θερμοκρασία του νήματος θα πέσει και η γέφυρα θα βρεθεί εκτός ισορροπίας. Η πτώση της θερμοκρασίας, άρα και η τάση στην έξοδο της γέφυρας θα είναι ανάλογες της ταχύτητας ροής.

