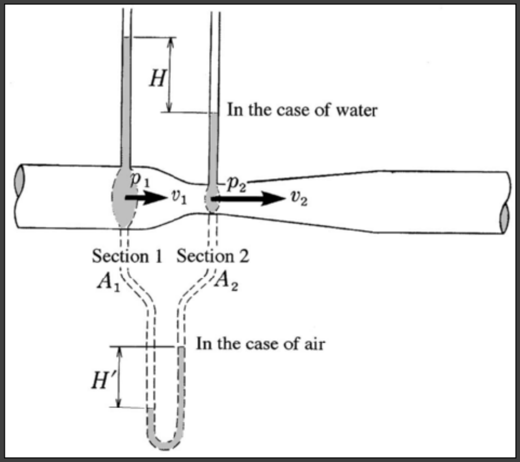
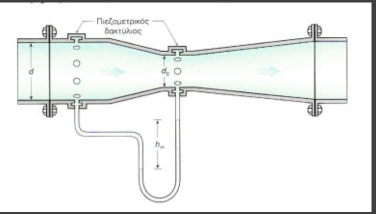
Οργανα μέτρησης παροχής

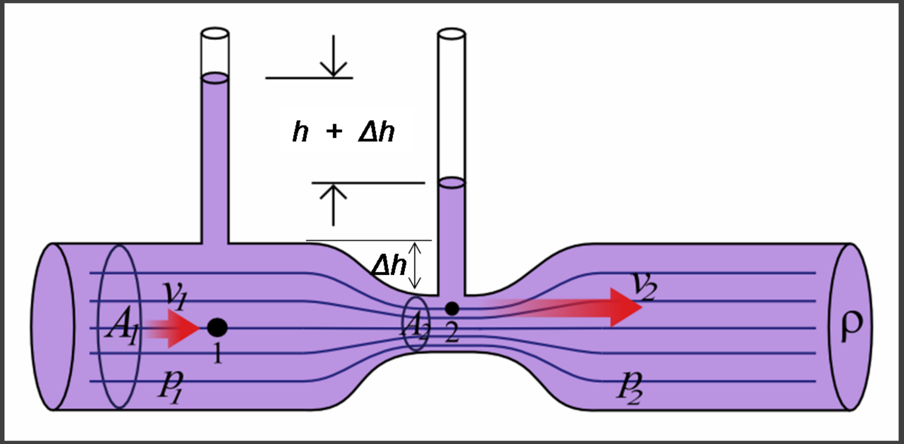
- Σωλήνας Venturi
- Σωλήνας Pitot
- Οπές, στόμια
- Υπερχειλιστές, υδροφράγματα
- Ακροφύσια
- Πλωτηρόμετρα
- Μετρητές ροής τύπου Parshall

Venturi tube

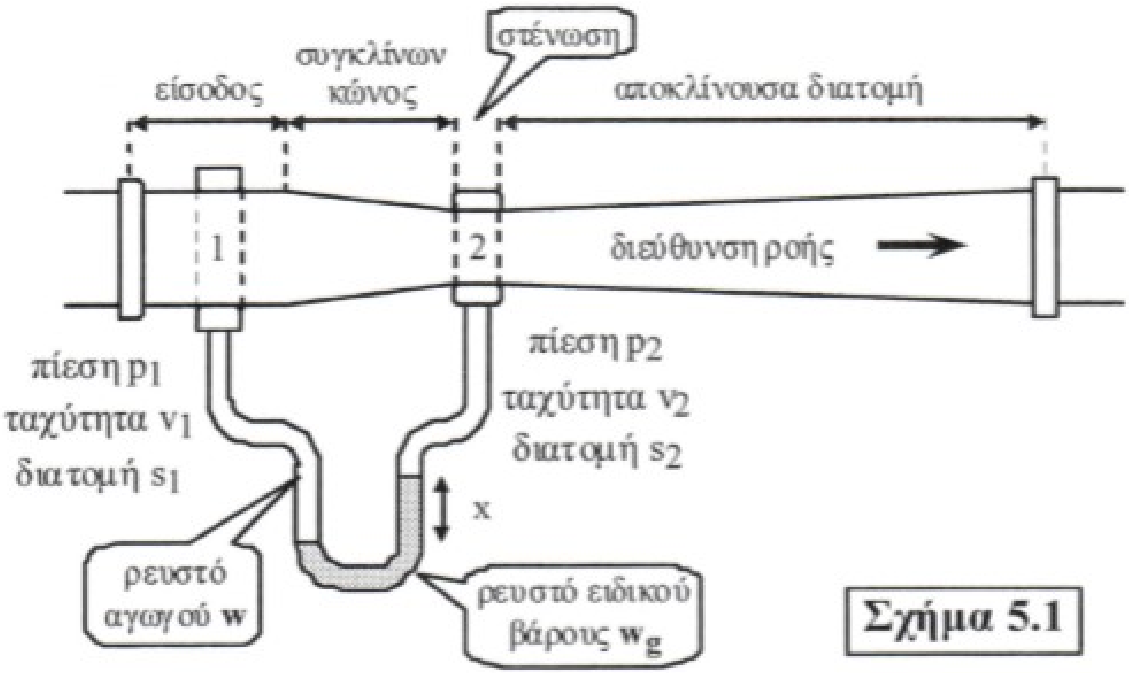
- Εξίσωση Bernoulli
- Οργανο μέτρησης της παροχής
- Απώλειες: αγνοούνται αρχικά, και λαμβάνονται υπόψη με ειδικούς συντελεστές πειραματικά
- Τμήματα: συγκλίνον, στένωση, αποκλίνον
- Μετρήσεις πίεσης στην είσοδο και στη στένωση







Venturi tube



Σχήμα 5.1

$$z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^{\,2}}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^{\,2}}{2g}$$

Από την ισορροπία των πιέσεων στις δύο πλευρές του U- tube:

$$\frac{p_1 - p_2}{w} = x\left(\frac{w_g}{w} - 1\right)$$

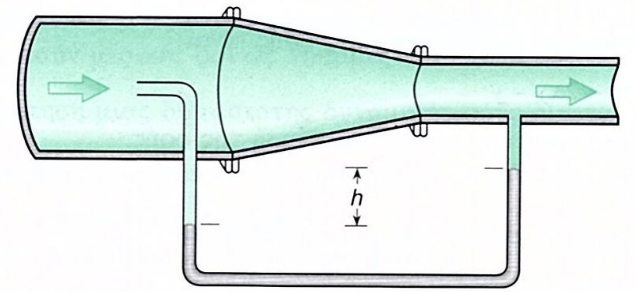
$$Q = s_1 \sqrt{\frac{2gx\left(\frac{w_g}{w} - 1\right)}{\left(\frac{s_1}{s_2}\right)^2 - 1}}$$

Πραγματική παροχή = θεωρητική * Cd (Cd<1) λόγω των απωλειών

Ασκηση

Αέρας πυκνότητας 1.2 kg/m^3 διέρχεται από συσκευή Venturi με σταθερή ογκομετρική παροχή 6 m^3/min. Οι διάμετροι των αγωγών πριν και μετά τη συστολή είναι 10 και 5 cm αντίστοιχα. Το υγρό του μανομέτρου είναι λάδι πυκνότητας 800 kg/m^3. Να βρεθεί η ένδειξη x του μανομέτρου της συσκευής.

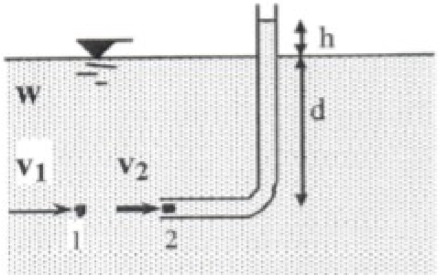
$$Q = s_1 \sqrt{\frac{2gx\left(\frac{w_g}{w} - 1\right)}{\left(\frac{s_1}{s_2}\right)^2 - 1}}$$



$$\left.\begin{aligned} &\left(\frac{s_1}{s_2}\right)^2 = 16 \\ &\left(\frac{w_g}{w}\right) = 666.67 \\ &s_1 = 0.007854\text{m}^2 \end{aligned}\right\} \quad x = 0.186 \text{ m}$$

Σωλήνας Pitot

Μέτρηση ταχύτητας σε σημείο ροής του ρευστού. Το ρευστό ανέρχεται μέχρι η στήλη στον σωλήνα να ισορροπήσει την ολική πίεση στο άνοιγμα



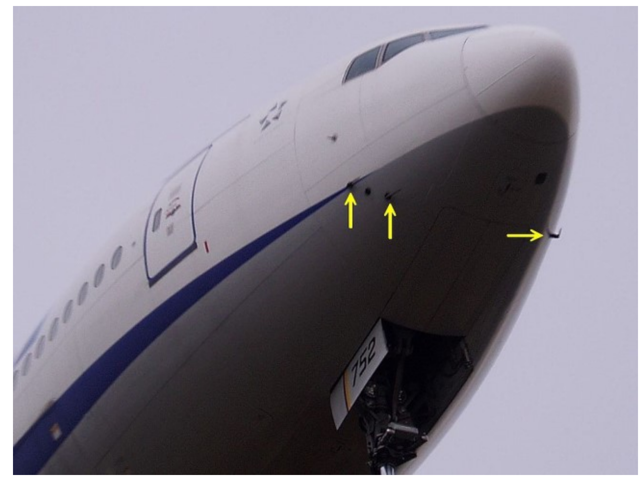
Έτσι από την εξίσωση Bernoulli έχουμε :

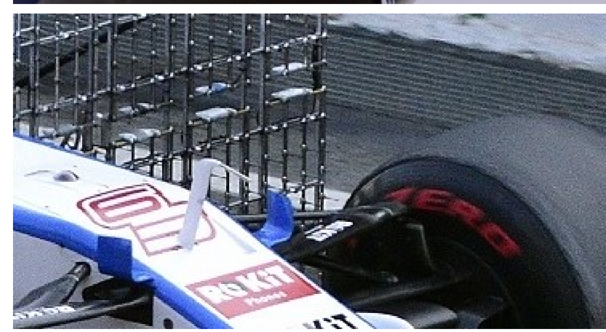
$$z_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g}.$$

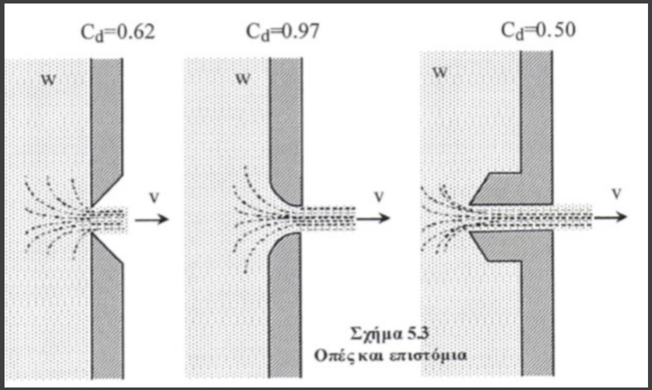
Αλλά $z_1 = z_2$, $v_2 = 0$, $p_1/w = d$ και $p_2/w = h + d.$

Επομένως

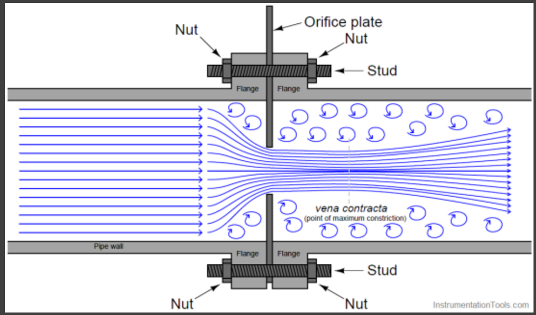
$$\frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_2}{w} \Rightarrow d + \frac{v_1^2}{2g} = d + h \Rightarrow \boxed{v_1 = \sqrt{2gh}.}$$

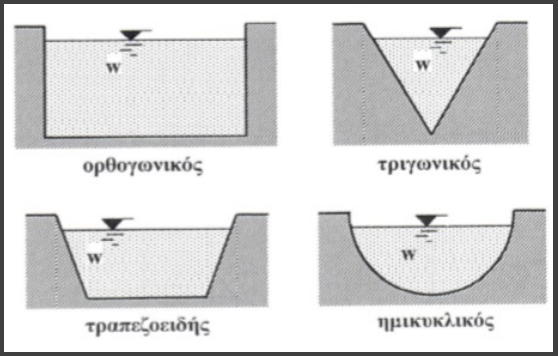






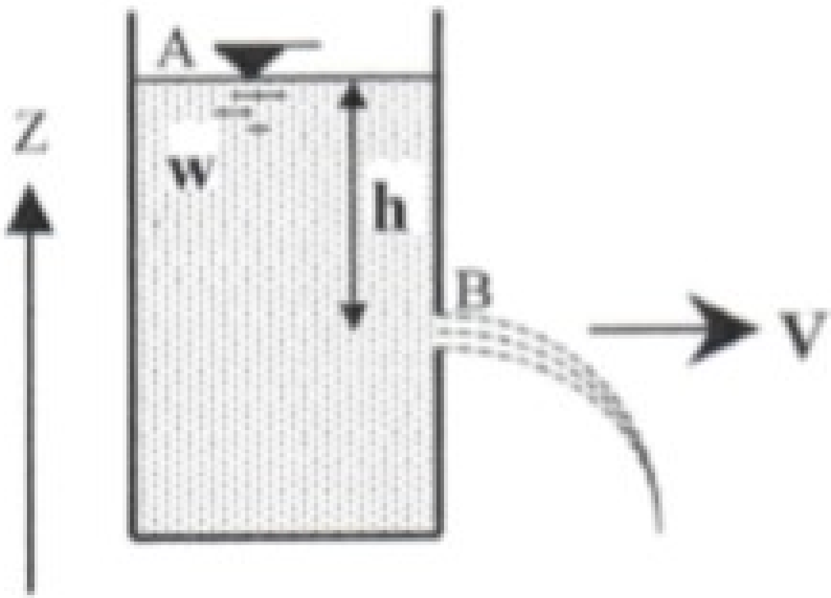
Σχήμα 5.3
Οπές και επιστόμια





Οπές, στόμια, επιστόμια και εκχειλιστές

Παροχή οπής σε δεξαμενή



$$z_A + \frac{p_A}{w} + \frac{v_A^2}{2g} = z_B + \frac{p_B}{w} + \frac{v_B^2}{2g}.$$

$$\mathbf{v = \sqrt{2g.h}}$$

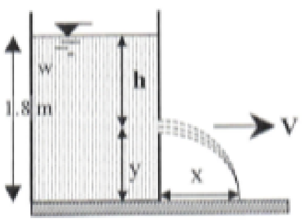
$$Q_{\pi\rho\alpha\gamma\mu} = C_d . Q_{\theta\varepsilon\omega\rho} = C_d . \frac{\pi . D^2}{4} \sqrt{2g.h}$$

άσκηση

Δεξαμενή ύψους 1.8 m βρίσκεται πάνω στο έδαφος γεμάτη νερό. Στην κατακόρυφη πλευρά της δεξαμενής υπάρχει οπή σε βάθος h κάτω από την στάθμη του νερού. Να υπολογιστεί το h, ώστε ο πίδακας του νερού να πέφτει στο έδαφος στη μέγιστη απόσταση από τη δεξαμενή.

Λύση.

Η κίνηση των υλικών σημείων του πίδακα μπορεί να θεωρηθεί σαν οριζόντια βολή. Επομένως μετά από χρόνο t ένα υλικό σημείο θα έχει διαγράψει διάστημα



οριζόντια απόσταση $x = v.t,$ (A)

κατακόρυφη απόσταση $y = \frac{1}{2} g.t^2,$ (B)

όπου η ταχύτητα $v = \sqrt{2gh}$.

Απαλείφοντας τον χρόνο t από τις εξισώσεις (A) και (B) έχουμε :

$$x = \sqrt{\frac{2v^2.y}{g}}$$

και για $y = 1.8$ - h και $v = \sqrt{2gh}$

$$x = \sqrt{\frac{4g.h.(1.8-h)}{g}} = 2\sqrt{h.(1.8-h)}.$$

Επομένως το x γίνεται μέγιστο όταν το **h(1.8 - h)** γίνει μέγιστο ή

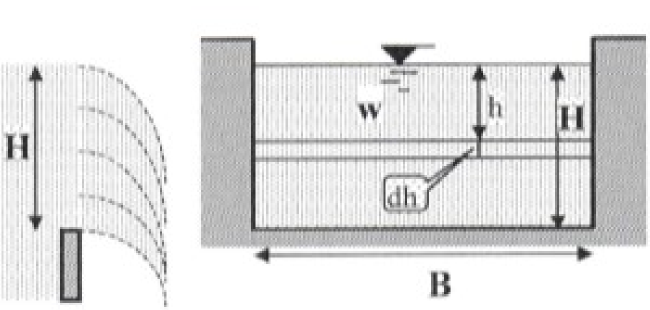
$$\frac{d[h.(1.8-h)]}{dh} = 1.8 - 2h = 0 \Rightarrow \mathbf{h = 0.9\ m.}$$

… και γενικότερα, για οποιοδήποτε ύψος δεξαμενής h_0, το μέγιστο βεληνεκές θα ήταν σε $y=h_0/2$

Θεωρητική παροχή ορθογωνικού υπερχειλιστή

Η ταχύτητα του νερού μπορεί να θεωρηθεί σταθερή σε κάθε σημείο μίας στοιχειώδους επιφάνειας πάχους dh, παράλληλης προς την ελεύθερη επιφάνεια του ρευστού και σε βάθος h.

$$v = \sqrt{2gh}\,.$$



Το εμβαδόν της στοιχειώδους επιφάνειας είναι

$$dS = B.dh.$$

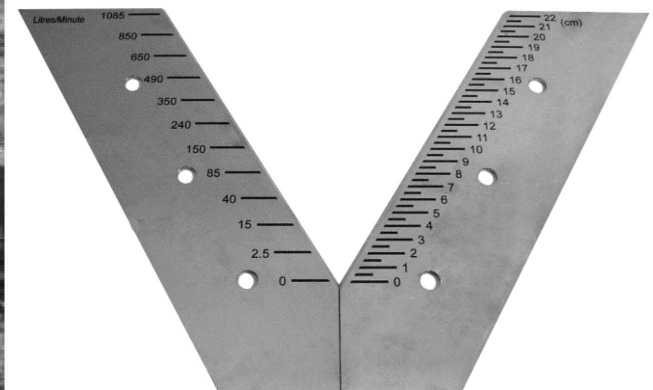
Επομένως η παροχή του νερού που περνά από τη στοιχειώδη αυτή επιφάνεια είναι :

$$dQ = v.dS = \sqrt{2g.h}.B.dh = B\sqrt{2g}.h^{1/2}.dh.$$

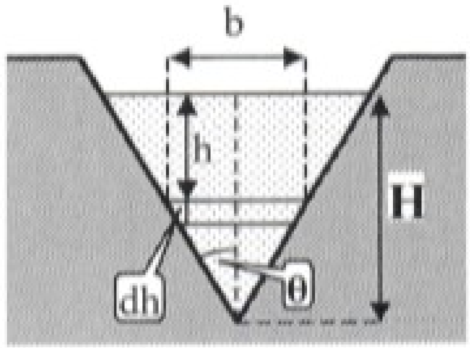
Η συνολική λοιπόν θεωρητική παροχή του εκχειλιστή είναι :

$$Q_{\theta\epsilon\omega\rho} = B.\sqrt{2g}.\int_0^H h^{1/2}\,dh = \frac{2}{3}B.\sqrt{2g}.H^{3/2}. \qquad (5.5)$$

Φωτογραφία τριγωνικού εκχειλιστή



Παροχή τριγωνικού εκχειλιστή



Όπως και στην προηγούμενη άσκηση έχουμε :

$$v = \sqrt{2g.h}\,.$$

Το εμβαδόν της στοιχειώδους επιφάνειας

$$dS = b.dh = 2(H - h).\tan\theta.dh$$

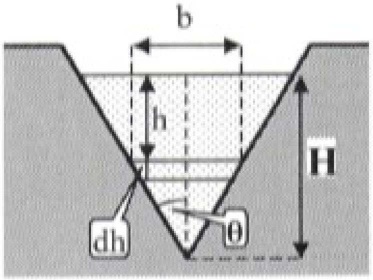
Επομένως η παροχή του νερού που διέρχεται από τη στοιχειώδη αυτή επιφάνεια είναι :

$$dQ = v.dS = \sqrt{2g.h}.2(H - h).\tan\theta\,.dh = 2\sqrt{2g}.\tan\theta(H.h^{1/2} - h^{3/2}).dh\,.$$

Ολοκληρώνοντας από h = 0 μέχρι h = H έχουμε τη συνολική θεωρητική παροχή του εκχειλιστή

$$Q = 2\sqrt{2g}.\tan\theta\,.\int_0^H (H.h^{1/2} - h^{3/2}).dh = \frac{8}{15}.\sqrt{2g}.\tan\theta.H^{5/2}\,. \qquad (5.6)$$

Ασκηση: Νερό ρέει σε ανοικτό κανάλι. Διέρχεται διαδοχικά από τριγωνικό υπερχειλιστή γωνίας 60°, με ύψος 0.5 m, και στη συνέχεια, σε μεγάλη απόσταση κατάντη, από ορθογωνικό υπερχειλιστή πλάτους 1.5 m. Ποιο είναι το ύψος με το οποίο διέρχεται από τον δεύτερο? Να θεωρηθεί ότι οι σχετικοί συντελεστές είναι 1.



Παροχή από τον τριγωνικό εκχειλιστή:

$$Q = 2\sqrt{2g}.\tan\theta\,.\int_0^H (H.h^{1/2} - h^{3/2}).dh = \frac{8}{15}.\sqrt{2g}.\tan\theta.H^{5/2}\,.$$

Q=	2.362372	*	1.732047269	*		0.17678	=	0.7233	m3/s		
	(8/15)*sqrt(19.62)		tan(60*3.14159/180)			H^(5/2)					
H^(3/2)=	1.084986	/	6.644170377		=	0.1633		άρα	H=	0.2988	m
	(3/2) Q		Bsqrt(19.62)								

Ύψος στον ορθογωνικό εκχειλιστή από την παροχή:

$$Q_{\theta\varepsilon\omega\rho} = B.\sqrt{2g}.\int_0^H h^{1/2}\,dh = \frac{2}{3}B.\sqrt{2g}.H^{3/2}\,.$$

Ασκηση: Νερό ρέει σε ανοικτό κανάλι, και διέρχεται διαδοχικά από τριγωνικό υπερχειλιστή γωνίας 2θ = 90^o, με ύψος 30cm πάνω από την ραχιαία πλευρά του υπερχειλιστή. Ο συντελεστής του εκχειλιστή είναι C_d=0.7. Να υπολογιστεί η ογκομετρική παροχή του νερού, καθώς και το σφάλμα μέτρησής της, εάν το σφάλμα μέτρησης της γωνίας είναι Δθ = +/-1ο και το σφάλμα μέτρησης του βάθους της ροής είναι ΔΗ = +/-0.5cm.

$$Q = C_d \frac{8}{15}\sqrt{2g}\tan\theta * H^{5/2} = 0.7 * \frac{8}{15}\sqrt{19.62}\tan(45^o) * 0.3^{5/2} = 0.0815\, {m^3}/{s} = 81.5\, {l}/{s}$$

Το μέγιστο πιθανό σφάλμα είναι: $\max[\Delta \mathrm{f}(x_1, x_2, \dots, x_n)] = \sum_{1}^{n}\left|\frac{\partial f}{\partial x_i}\Delta x_i\right|$

Για διευκόλυνση των υπολογισμών μπορούμε να αντικαταστήσουμε τις σταθερές τιμές με: $C = C_d \frac{8}{15}\sqrt{2g}$=1.654

Οπότε είναι: $Q = C_d \frac{8}{15}\sqrt{2g}\tan\theta * H^{5/2} = C\tan\theta * H^{5/2}$

Οι μερικές παράγωγοι που θα χρειαστούν στον προσδιορισμό του μέγιστου σφάλματος:

$$\frac{\partial Q}{\partial \theta} = CH^{5/2}\frac{d\tan\theta}{d\theta} = CH^{5/2}\frac{1}{cos^2\theta} = 1.654 * 0.3^{5/2} * \frac{1}{cos^2 45} = 0.16303$$

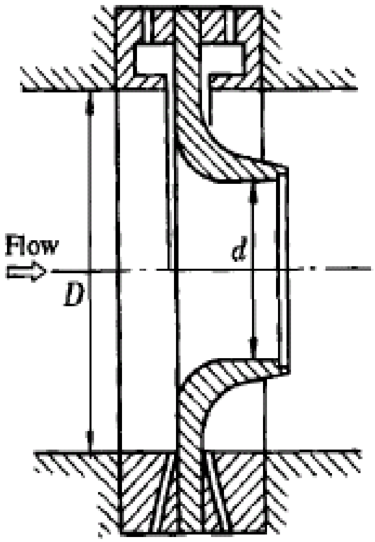
$$\frac{\partial Q}{\partial H} = C\tan\theta\frac{d\mathrm{H}^{5/2}}{d\mathrm{H}} = C\tan\theta\left(\frac{5}{2}\mathrm{H}^{3/2}\right) = 1.654 * 1 * \frac{5}{2} = 0.16432$$

Οπότε το σφάλμα:

$$\Delta \mathrm{Q} = \frac{\partial Q}{\partial \theta}\Delta\theta + \frac{\partial Q}{\partial \mathrm{H}}\Delta \mathrm{H} = 0.16303 * 1 * \frac{\pi}{180} + 0.16432 * 0.005 = 0.003667\, {m^3}/{s} = 3.67\, {l}/{s}$$

(όπου το Δθ=1^o έχει μετατραπεί σε ακτίνια, διότι αυτή είναι η μονάδα των γωνιών στους αλγεβρικούς υπολογισμούς)

Ακροφύσια ροής - πλωτηρόμετρα



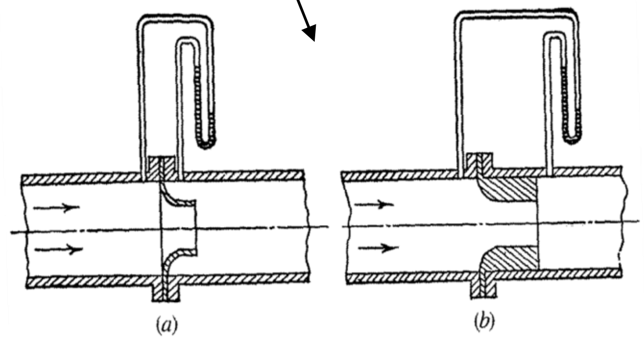
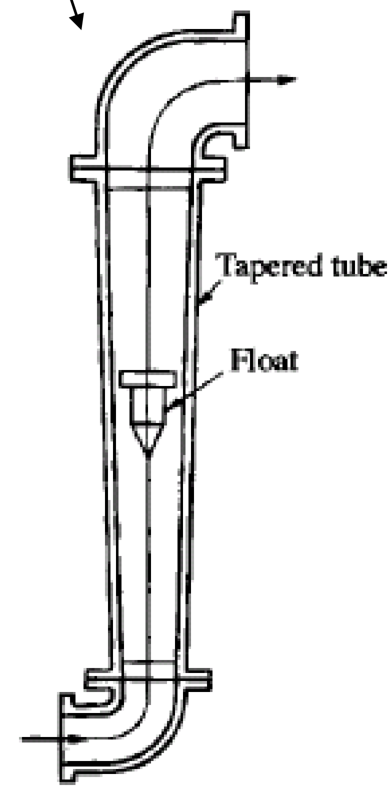


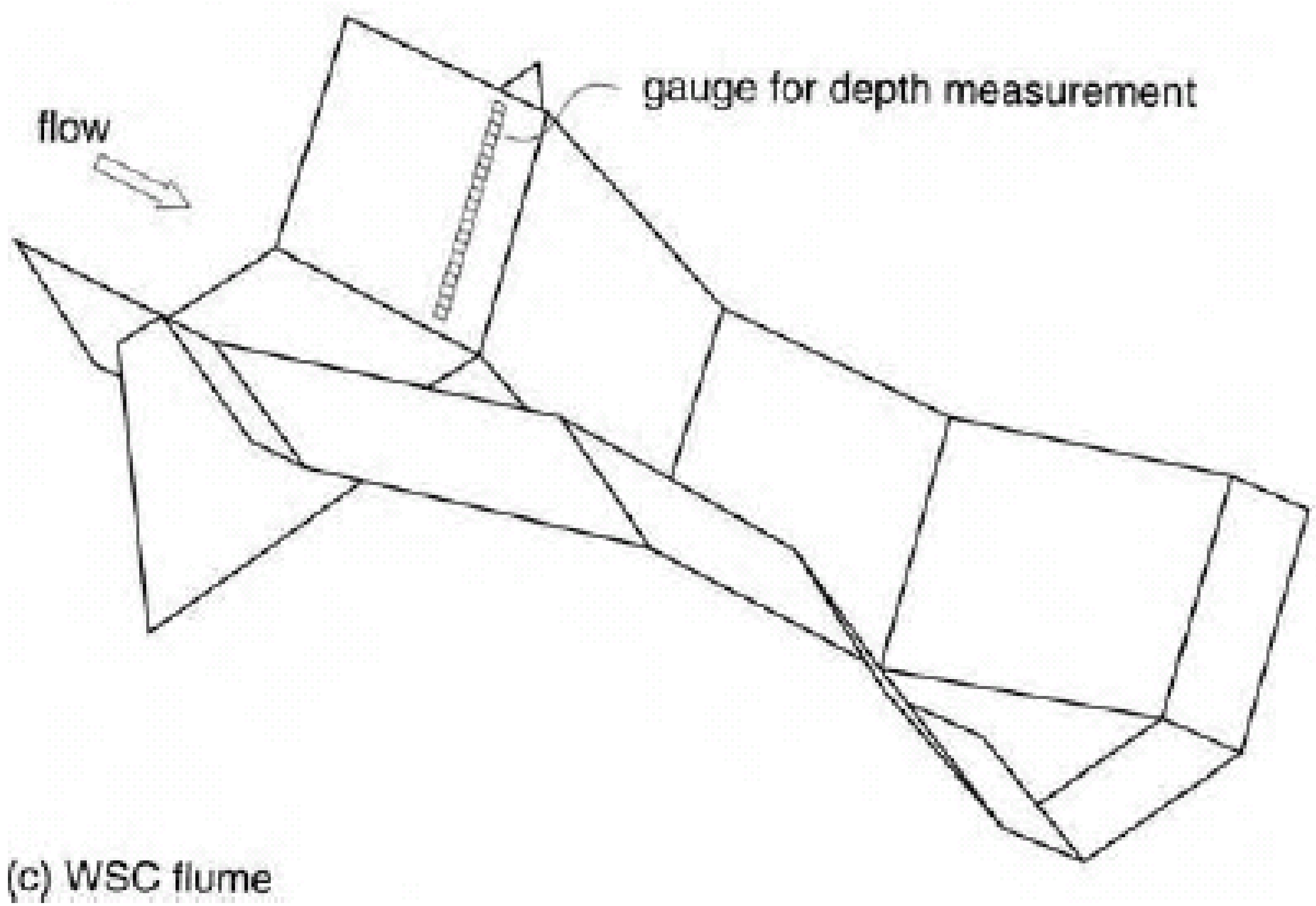
FIGURE 12.8 Flow nozzles. (*a*) Spun type. (*b*) Thick-plate type.



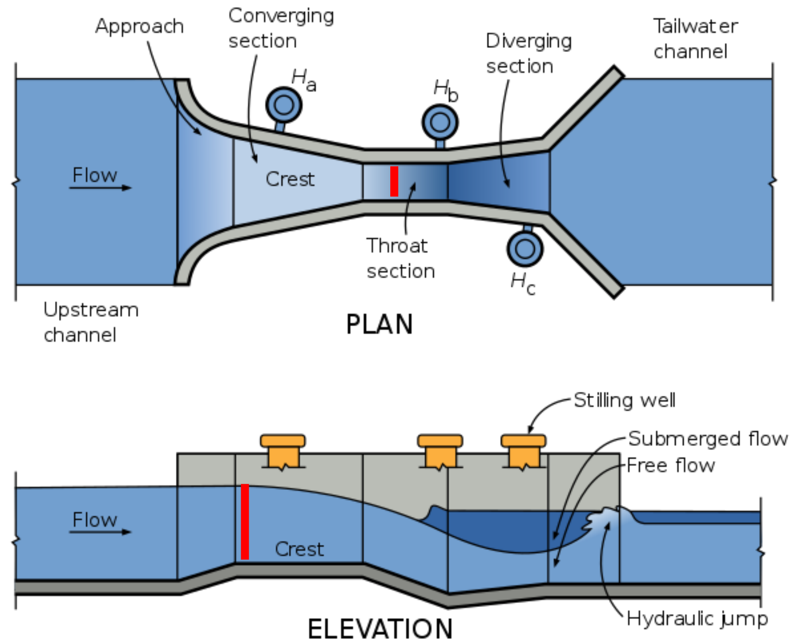
Τα ακροφύσια ροής είναι μετρητές παροχής που η λειτουργία τους βασίζεται στην ίδια αρχή με τους μετρητές τύπου Venturi. Το ακροφύσιο είναι λιγότερο δαπανηρό έχει όμως μεγάλες ολικές απώλειες.

$$Q=C.A_2\sqrt{\frac{2\ (P_1-P_2)}{p}}$$

Παράδειγμα μετρητή ροής: Washington state flume



Μετρητής ροής Parshall



<u>Πλεονεκτήματα:</u>
Ακρίβεια ακόμα και με μικρό φορτίο
Μικρή επιρροή της ταχύτητας προσπέλασης
Ακρίβεια και όταν ο μετρητής είναι βυθισμένος
Απουσία φερτών λόγω μεγάλης ταχύτητας

$$Q = 0{,}372W(3{,}281H_a)^{1{,}57W^{0.026}}$$