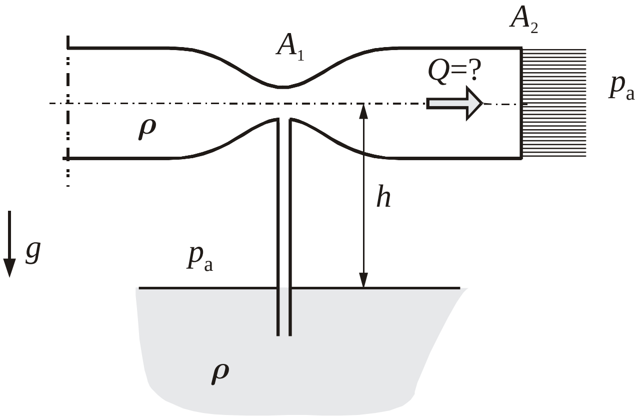
1. Odredite minimalni protok Q u nestlačivom strujanju fluida kod kojeg će ejektor početi usisavati fluid kroz vertikalnu cjevčicu. Zadano je A_2=14 cm^2, A_1=3,5 cm^2, h=0,9 m.



Rješenje:

Da bi ejektor počeo usisavati fluid kroz vetikalnu cjevčicu, tlak p_1 u presjeku A_1 mora biti manji od hidrostatskog tlaka koji vlada pri mirovanju fluida u vertikalnoj cjevčici.

$$p_1 < p_a - \rho g h \qquad \text{(a)}$$

B.J. od presjeka A_1 do presjeka A_2 glasi:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \qquad \text{(b)}$$

J.K. $v_1 A_1 = v_2 A_2 = Q \quad \Rightarrow \quad v_1 = \frac{Q}{A_1} \quad \text{i} \quad v_2 = \frac{Q}{A_2}$ (c)

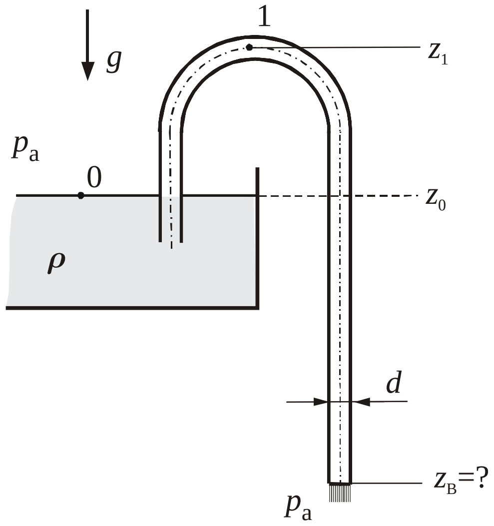
Uvrštavanjem (c) i (a) u (b)

$$\frac{p_a - \rho g h}{\rho g} + \frac{Q^2}{2g A_1^2} \le \frac{p_a}{\rho g} + \frac{Q^2}{2g A_2^2}$$

odakle je:

$$Q \ge \frac{A_1 A_2}{\sqrt{A_2^2 - A_1^2}} \sqrt{2gh} \ge 1,52 \ \text{l/s}$$

2. Odredite visinu z_B kraja B sifona, pri kojoj se u neviskoznom strujanju fluida ostvaruje maksimalni protok Q nestlačivog fluida gustoće ρ=995,6 kg/m^3, tlaka isparavanja p_v =4241 Pa, ako je: p_a =1010 mbar, z_1=34 m, z_0=30,5 m, d=150 mm.



Rješenje:

Spuštanjem izlaznog kraja sifona brzina strujanja se povećava, a tlak u najvišoj točki sifona smanjuje. Pri minimalnom tlaku u najvišoj točki, koji odgovara tlaku isparavanja p_v postiže se maksimalno moguća brzina.

Iz Bernoullijeve jednadžbe od točke 1 do točke B slijedi:

$$\frac{p_v}{\rho g}+\frac{v_{\max}^2}{2g}+z_1=\frac{p_a}{\rho g}+\frac{v_{\max}^2}{2g}+z_B$$

odakle je:

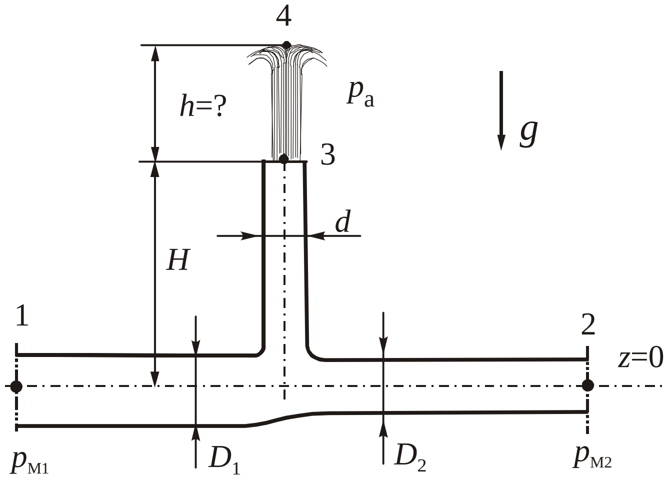
$$z_B=z_1-\frac{p_a-p_v}{\rho g}=24{,}1\,\mathrm{m}$$

Iz B.J. od 0 do B slijedi:

$$z_0=\frac{v^2}{2g}+z_B \quad\Rightarrow\quad v=\sqrt{2g\left(z_0-z_B\right)}=11{,}2\ \mathrm{m/s}$$

$$Q=v\cdot\frac{d^2\pi}{4}=\frac{d^2\pi}{4}\cdot\sqrt{2g\left(z_0-z_B\right)}\quad=198\ \mathrm{l/s}$$

3. Odredite visinu h koju će dosegnuti mlaz vode (ρ=1000 kg/m^3) na izlazu iz račvaste cijevi, prema slici, ako su manometarski tlakovi $p_{M1}= p_{M2}$=2,68 bar. Zadano je: D_1=200 mm, D_2=150 mm, d=100 mm, H=8 m.



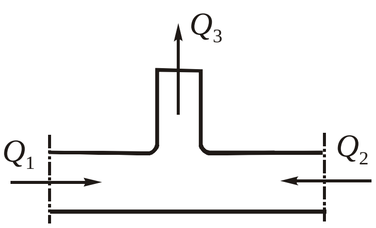
Rješenje:

Budući je cijev horizontalna, a u presjecima 1 i 2 vlada pretlak može se zaključiti da će voda strujati od oba presjeka prema izlazu, te se može postaviti Bernoullijeva jednadžba od 1 do 3 i od 2 do 3. U izlaznom presjeku 3, pretlak je jednak nuli, a brzina jednaka v_3 pa vrijedi:

B.J. 1-3 $$\frac{p_{M1}}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}=\frac{v_3^2}{2g}+H \qquad (1)$$

B.J. 2-3 $$\frac{p_{M2}}{\rho g}+\frac{v_2^2}{2g}=\frac{v_3^2}{2g}+H \qquad (2)$$

Gornje jednadžba imaju jednake desne strane, a budući su jednaki pretlaci $p_{M1}= p_{M2}$ zaključuje se da je $v_1= v_2$.



Iz jednadžbe kontinuiteta slijedi

$$Q_1+Q_2=Q_3 \qquad (3)$$

ili $$v_1\cdot\frac{D_1^2\pi}{4}+v_2\cdot\frac{D_2^2\pi}{4}=v_3\cdot\frac{d^2\pi}{4}$$

odakle je $$v_3=v_1\cdot\frac{D_1^2+D_2^2}{d^2} \qquad (4)$$

Uvrštavanjem (4) u (1) slijedi:

$$\frac{p_{\mathrm{M1}}}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}=\underbrace{\frac{v_1^2}{2g}\cdot\frac{\left(D_1^2+D_2^2\right)^2}{d^4}}_{\frac{v_3^2}{2g}}+H$$

ili

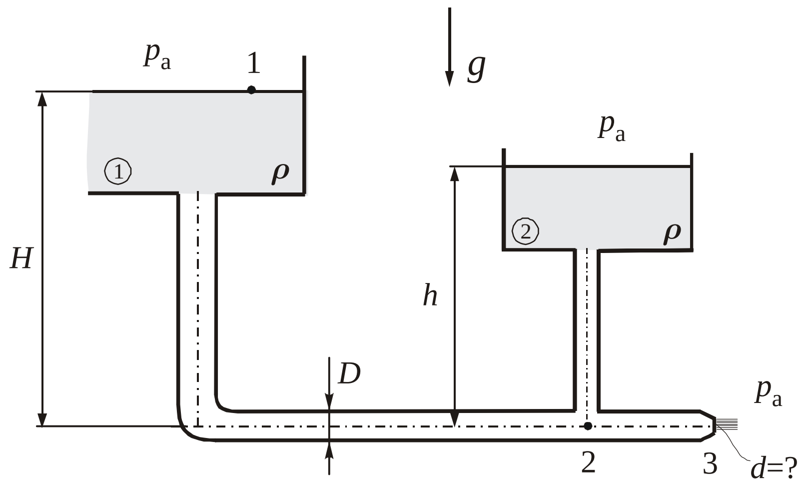
$$v_1=\sqrt{\frac{\frac{2}{\rho}p_{\mathrm{M1}}-2gH}{\frac{\left(D_1^2+D_2^2\right)^2}{d^4}-1}}=3{,}16\ \mathrm{m/s}$$

$$v_3=19{,}7\ \mathrm{m/s}$$

Iz B.J. od 3 do 4

$$\frac{v_3^2}{2g}=h\quad\Rightarrow\quad h=19{,}8\ \mathrm{m}$$

4. Odredite promjer d mlaznice u sustavu prema slici uz uvjet da fluid u priključnoj cijevi spremnika **2** miruje. Pretpostavite neviskozno strujanje.
Zadano je H=3,4 m, h=2,6 m, D=100 mm.



Rješenje:

Ako fluid u priključnoj cijevi u spremniku 2 miruje. Znači da u točki 2 vlada hidrostatski tlak $p_2 = p_a + \rho g h$ ili $p_{M2} = \rho g h$

B.J. 1-3 $$H = \frac{v_3^2}{2g} \quad \Rightarrow \quad v_3 = \sqrt{2gH}$$

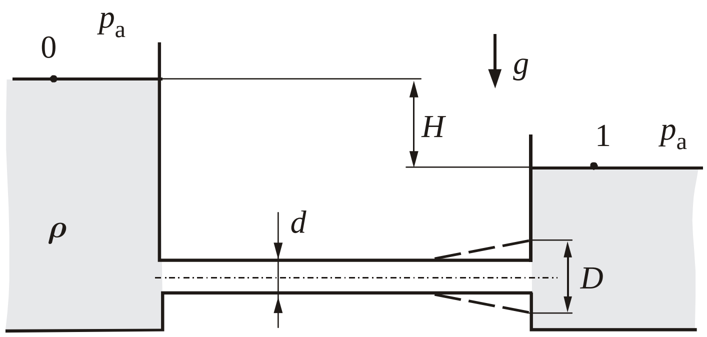
B.J. 1-2 $$H = \frac{v_2^2}{2g} + \underbrace{\frac{p_{M2}}{\rho g}}_{h} \quad \Rightarrow \quad v_2 = \sqrt{2g(H-h)}$$

$$v_2 \cdot \frac{D_1^2 \pi}{4} = v_3 \cdot \frac{d^2 \pi}{4} \quad \Rightarrow \quad d = D\sqrt{\frac{v_2}{v_3}}$$

$$d = D\sqrt[4]{\frac{H-h}{H}} = 69,7 \text{ mm}$$

U slučaju $d <$ 69,7 mm protok Q bi bio manji, brzina v_2 manja, a tlak p_2 veći, te bi došlo do strujanja u spremnik 2.
U slučaju $d >$ 69,7 mm fluid bi istjecao iz spremnika 2.

5. Voda neviskozno struji između dva velika spremnika u kojima je razlika visina razina *H*, kroz cijev promjera *d*. Odredite postotno povećanje protoka *Q* ako se na cijev ugradi difuzor izlaznog promjera *D*=2*d*.



Rješenje:

B.J. 0-1 $$\frac{p_a}{\rho g}+H=\frac{p_a}{\rho g}+\frac{v^2}{2g}$$

$$v=\sqrt{2gH}$$

Ova Bernoulijjeva jednadžba vrijedi i za cijev konstantnog promjera *d* i za cijev s difuzorom promjera *D*, a *v* je brzina utjecanja u spremnik.

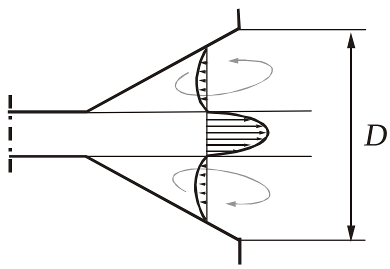
Stoga će u prvom slučaju protok biti $Q_0=v\cdot\frac{d^2\pi}{4}$, a u drugom slučaju $Q=v\cdot\frac{D^2\pi}{4}$, odakle je

$\frac{Q}{Q_0}=\frac{D^2}{d^2}=4$ što znači da bi se protok povećao četiri puta.

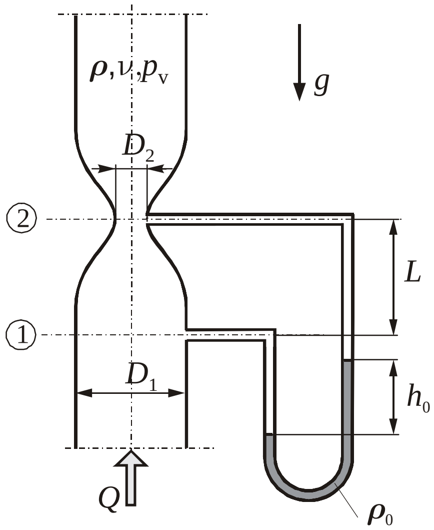
Komentar: Iz gornjeg slijedi da bi se povećanjem promjera *D* mogao dobiti po volji veliki protok, što u stvarnosti nije slučaj.

1) Povećanjem protoka *Q* povećava se brzina u cijevi promjera *d*, viskozni gubici postaju značajni što smanjuje brzinu i protok.

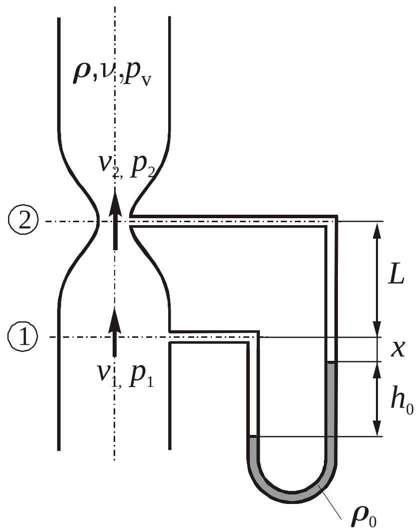
2) Kod velike razlike promjera *D* i *d* dolazi do odvajanja strujanja od stijenke difuzora, te je izlazna brzina *v* veća od prosječne brzine koja bi bila za slučaj jednolikog profila brzine po presjeku što dovodi do većih gubitaka, odnosno smanjenje protoka *Q*.



6. Odredite protok vode mjeren Venturijevom cijevi, prema slici. Uzmite u obzir i koeficijent korekcije brzine. Pri kojem bi protoku, za isti smjer strujanja i apsolutni tlak p_1=1,96 bar nastupila kavitacija u presjeku 2. Zadano je: ρ=998,2 kg/m^3, p_v =2337 Pa, ρ_0=13546kg/m^3, h_0=360 mm, L=0,75 m, D_1=300 mm, D_2=150 mm, kinematička viskoznost vode ν =1,004·10^{-6} m^2/s.



Rješenje:



J.K. $$Q = v_1 \cdot \frac{D_1^2\pi}{4} = v_2 \cdot \frac{D_2^2\pi}{4} \qquad (1)$$

B.J. 1-2 $$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{8Q_{id}^2}{gD_1^4\pi^2} = L + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{8Q_{id}^2}{gD_2^4\pi^2} \qquad (2)$$

J.M. $$p_1 + \rho g\left(x + h_0\right) - \rho_0 g h_0 - \rho g\left(x + L\right) = p_2 \qquad (3)$$

Iz (3) $$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} - L = h_0\left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right) \qquad (4)$$

Iz (2) $$Q_{id} = \frac{\pi}{4}\frac{D_1^2 D_2^2}{\sqrt{D_1^4 - D_2^4}}\sqrt{2g\left(\frac{p_1 - p_2}{\rho g} - L\right)} \qquad (5)$$

$$Q_{id} = \frac{\pi}{4}\frac{D_1^2 D_2^2}{\sqrt{D_1^4 - D_2^4}}\sqrt{2gh_0\left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)} = 171{,}9 \;\; \mathrm{l/s}$$

Stvarni protok $Q = C_\mathrm{d} \cdot Q_\mathrm{id}$

gdje je $\mathrm{C_d}$ –koeficijent protoka

$C_\mathrm{d} = C_\mathrm{c} \cdot C_\mathrm{v}$

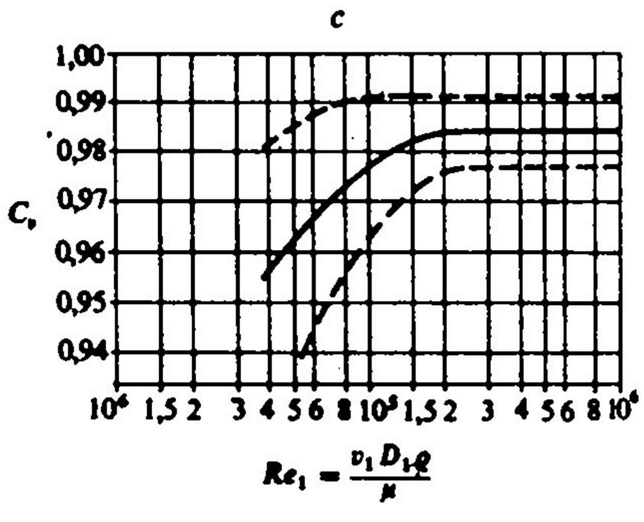
C_v –koeficijent brzine
$\mathrm{C_c}$ –koeficijent kontrakcije

$$Re_1 = \frac{v_{1\mathrm{id}} \cdot D_1}{\nu} = \frac{4Q_\mathrm{id}}{\pi \cdot D_1 \cdot \nu} = 7,27 \cdot 10^5 > 10^5$$

pa je prema dijagramu u Tehničkoj enciklopediji broj 8 str. 148, $C_\mathrm{v} = 0,984$

Za Venturijevu cijev, $C_\mathrm{C} = 1$ pa je koeficijent protoka $C_\mathrm{d} = C_\mathrm{C} \cdot C_\mathrm{v} = 0,984$

$$Q = 0,984\, Q_\mathrm{id} = 0,1692 \ \ \mathrm{m^3/s}$$



Kavitacijski protok uz p_1=1,96 bar i $p_2 = p_\mathrm{v}$ =2337 Pa i C_d=0,984 je prema (5)

$$Q_\mathrm{kav} = 0,984 \frac{\pi}{4} \frac{0,3^2 \cdot 0,15^2}{\sqrt{0,3^4 - 0,15^4}} \sqrt{2g\left(\frac{1,96 \cdot 10^5 - 2337}{998,2\,g} - 0,75\right)}$$

$$Q_\mathrm{kav} = 0,347 \ \ \mathrm{m^3/s}$$