

## BÖLÜM 8 – ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER

### Borularda Tam Gelişmiş Akış:

#### 8-30

**Kabuller** 1 akış daimi ve sıkıştırılmaz. 2 giriş etkileri ihmal edilir, bu yüzden akış tam gelişmiş. 3 giriş ve çıkış kayıpları ihmal edilir. 4 laminar akış (doğrulanacak). 5 borunun diğer bileşeni yok. 6 boru kısmının pompa ve türbin gibi elemanı yok.

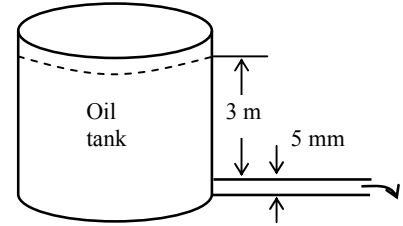
Yağın yoğunluğu ve kinematik viskozitesi,  $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$  and  $\nu = 0.00062 \text{ m}^2/\text{s}$ ,  
Dinamik viskozitesi,  $\mu = \rho\nu = (850 \text{ kg/m}^3)(0.00062 \text{ m}^2/\text{s}) = 0.527 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$

Tankın altındaki basınç,

$$P_{1,\text{gage}} = \rho gh$$

$$= (850 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(3 \text{ m}) \left( \frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2} \right)$$

$$= 25.02 \text{ kN/m}^2$$



Giriş ve çıkıştaki kayıpları ihmal ederek, boru boyunca basınç kayıpları,

$$\Delta P = P_1 - P_2 = P_1 - P_{\text{atm}} = P_{1,\text{gage}} = 25.02 \text{ kN/m}^2 = 25.02 \text{ kPa}$$

Yatay borudaki laminar akış için, hacim debisi,

$$\dot{V}_{\text{horiz}} = \frac{\Delta P \pi D^4}{128 \mu L} = \frac{(25.02 \text{ kN/m}^2) \pi (0.005 \text{ m})^4}{128 (0.527 \text{ kg/m}\cdot\text{s}) (40 \text{ m})} \left( \frac{1000 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2}{1 \text{ kN}} \right) = 1.821 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s} \cong \mathbf{1.82 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}}$$

Ortalama akış hızı ve Reynolds sayısı,

$$V = \frac{\dot{V}}{A_c} = \frac{\dot{V}}{\pi D^2 / 4} = \frac{1.821 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi (0.005 \text{ m})^2 / 4} = 9.27 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{(850 \text{ kg/m}^3)(9.27 \times 10^{-4} \text{ m/s})(0.005 \text{ m})}{0.527 \text{ kg/m}\cdot\text{s}} = 0.0075$$

Bu 2300 den küçüktür. Bu yüzden, akış laminar ve yukardaki analiz uygundur.

#### 8-32

**Kabuller** 1 akış daimi ve sıkıştırılmaz. 2 giriş etkileri ihmal edilir, bu yüzden akış tam gelişmiş. 3 giriş ve çıkış kayıpları ihmal edilir. 4 laminar akış (doğrulanacak). 5 borunun diğer bileşeni yok. 6 boru kısmının pompa ve türbin gibi elemanı yok.

Suyun yoğunluğu ve dinamik viskozitesi,  $\rho = 999.1 \text{ kg/m}^3$  ve  $\mu = 1.138 \times 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$

Paslanmaz çeliğin pürüzlülüğü (roughness), 0.002 mm.

Önce ortalama hız ve Reynolds sayısını hesaplarız:

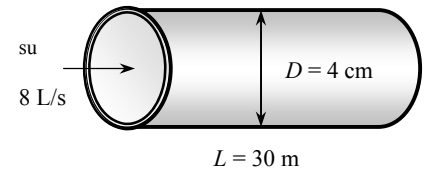
$$V = \frac{\dot{V}}{A_c} = \frac{\dot{V}}{\pi D^2 / 4} = \frac{0.008 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi (0.04 \text{ m})^2 / 4} = 6.366 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{(999.1 \text{ kg/m}^3)(6.366 \text{ m/s})(0.04 \text{ m})}{1.138 \times 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}} = 2.236 \times 10^5$$

Bu sayı 4000 den büyüktür, bu yüzden akış turbulente. Borunun bağlı pürüzlülüğü,

$$\varepsilon / D = \frac{2 \times 10^{-6} \text{ m}}{0.04 \text{ m}} = 5 \times 10^{-5}$$

Sürüklenme katsayısı Moody diyagramından belirlenecek, fakat yanlış okumayı önlemek için biz Colebrook denkleminde hesaplayacağız,



$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{\varepsilon / D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{5 \times 10^{-5}}{3.7} + \frac{2.51}{2.236 \times 10^5 \sqrt{f}} \right)$$

Buradan,  $f = 0.01573$ . basınç düşümü, yük düşümü, ve gerekli güç girişi,

$$\Delta P = \Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2} = 0.01573 \frac{30 \text{ m}}{0.04 \text{ m}} \frac{(999.1 \text{ kg/m}^3)(6.366 \text{ m/s})^2}{2} \left( \frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}} \right) \left( \frac{1 \text{ kPa}}{1 \text{ kN/m}^2} \right) = \mathbf{239 \text{ kPa}}$$

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 0.01573 \frac{30 \text{ m}}{0.04 \text{ m}} \frac{(6.366 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} = \mathbf{24.4 \text{ m}}$$

$$\dot{W}_{\text{pump}} = \dot{V} \Delta P = (0.008 \text{ m}^3 / \text{s})(239 \text{ kPa}) \left( \frac{1 \text{ kW}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}} \right) = \mathbf{1.91 \text{ kW}}$$

Bu yüzden, gerekli güç girişi 1.91 kW , borudaki sürüklenme kayıpları için gereklidir.

**Discussion** The friction factor could also be determined easily from the explicit Haaland relation. It would give  $f = 0.0155$ , which is sufficiently close to 0.0157. Also, the friction factor corresponding to  $\varepsilon = 0$  in this case is 0.0153, which indicates that stainless steel pipes in this case can be assumed to be smooth with an error of about 2%. Also, the power input determined is the mechanical power that needs to be imparted to the fluid. The shaft power will be more than this due to pump inefficiency; the electrical power input will be even more due to motor inefficiency.

#### 8-41

Havanın 1 atm ve 35°C deki özellikleri,  $\rho = 1.145 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu = 1.895 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ , ve  $\nu = 1.655 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ . Çelik yüzeylerin pürüzlülüğü,  $\varepsilon = 0.000045 \text{ m}$ .

Hidrolik çap, hacimsel debi, ve Reynolds sayısı,

$$D_h = \frac{4A_c}{p} = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{4(0.15 \text{ m})(0.20 \text{ m})}{2(0.15+0.20) \text{ m}} = 0.1714 \text{ m}$$

$$\dot{V} = VA_c = V(a \times b) = (7 \text{ m/s})(0.15 \times 0.20 \text{ m}^2) = 0.21 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho V D_h}{\mu} = \frac{(1.145 \text{ kg/m}^3)(7 \text{ m/s})(0.1714 \text{ m})}{1.895 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 72,490$$

Bu sayı 4000 den büyüktür, bu nedenle akış turbulente. Borunun bağlı pürüzlülüğü,

$$\varepsilon / D_h = \frac{4.5 \times 10^{-5} \text{ m}}{0.1714 \text{ m}} = 2.625 \times 10^{-4}$$

Sürüklenme katsayısı Moody diyagramından belirlenebilir, hatayı önlemek için Colebrook denklemini kullanılır,

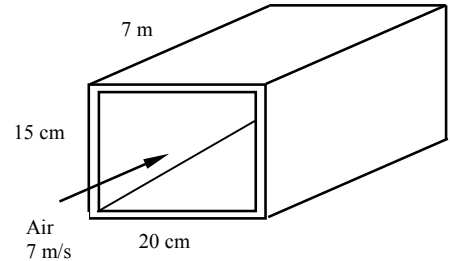
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{\varepsilon / D_h}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{2.625 \times 10^{-4}}{3.7} + \frac{2.51}{72,490 \sqrt{f}} \right)$$

Buradan  $f = 0.02034$ . kanaldaki basınç düşümü ve gerekli pompalama gücü,

$$\Delta P = \Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2} = 0.02034 \frac{7 \text{ m}}{0.1714 \text{ m}} \frac{(1.145 \text{ kg/m}^3)(7 \text{ m/s})^2}{2} \left( \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2} \right) \left( \frac{1 \text{ Pa}}{1 \text{ N/m}^2} \right) = 23.3 \text{ Pa}$$

$$\dot{W}_{\text{pump}} = \dot{V} \Delta P = (0.21 \text{ m}^3/\text{s})(23.3 \text{ Pa}) \left( \frac{1 \text{ W}}{1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}} \right) = \mathbf{4.90 \text{ W}}$$

**Discussion** The friction factor could also be determined easily from the explicit Haaland relation. It would give  $f = 0.02005$ , which is sufficiently close to 0.02034. Also, the power input determined is the mechanical power that needs to be imparted to the fluid. The shaft power will be much more than this due to fan inefficiency; the electrical power input will be even more due to motor inefficiency.



## Yerel Kayıplar

## 8-59

**Kabuller** 1 akış daimi ve sıkıştırılmaz. 2 su deposu atmosfere açık. 3 kinetik enerji düzeltme faktörü etkisi ihmal edilir, böylece  $\alpha = 1$ .

Kayıp katsayısı keskin kenarlı giriş için  $K_L = 0.5$ , ve  $K_L = 0$  sürtünmesiz akış için. 1 noktasını su deposu serbest yüzeyi ve 2 noktasında delik çıkışı, ki burasını referans ( $z_2 = 0$ ) alırsak. İki noktada akışkan atmosfere açıktır. Böylece, ( $P_1 = P_2 = P_{\text{atm}}$ ) ve serbest yüzeydeki akışkan hızı sıfırdır ( $V_1 = 0$ ), enerji denklemi bu iki nokta arasında,

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{\text{pump,u}} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{\text{turbine,e}} + h_L \quad \rightarrow \quad H = \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

Yük kaybı  $h_L = K_L \frac{V_2^2}{2g}$ . Yerlerine koyup  $V_2$  için çözüm yapılırsa,

$$H = \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + K_L \frac{V_2^2}{2g} \quad \rightarrow \quad 2gH = V_2^2 (\alpha_2 + K_L) \quad \rightarrow \quad V_2 = \sqrt{\frac{2gH}{\alpha_2 + K_L}} = \sqrt{\frac{2gH}{1 + K_L}}$$

Burada  $\alpha_2 = 1$ . Hacimsel debi,

$$\dot{V} = A_c V_2 = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{1 + K_L}} \quad (1)$$

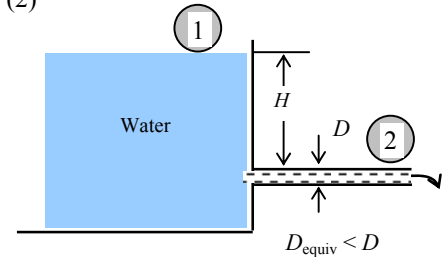
Özel durumda,  $K_L = 0$  (sürtünmesiz akış), hız ilişkisi, Toricelli denklemine indirgenir,  $V_{2,\text{frictionless}} = \sqrt{2gH}$ . Bu durumda,  $D_e$  (eşdeğer çap) çaplı bir delik için hacimsel debi,

$$\dot{V} = A_{c,\text{equiv}} V_{2,\text{frictionless}} = \frac{\pi D_{\text{equiv}}^2}{4} \sqrt{2gH} \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2) eşitlersek,

$$\frac{\pi D_{\text{equiv}}^2}{4} \sqrt{2gH} = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{1 + K_L}}$$

$$D_{\text{equiv}} = \frac{D}{(1 + K_L)^{1/4}} = \frac{D}{(1 + 0.5)^{1/4}} = \mathbf{0.904 D}$$



**Discussion** Note that the effect of frictional losses of a sharp-edged entrance is to reduce the diameter by about 10%. Also, noting that the flow rate is proportional to the square of the diameter, we have  $\dot{V} \propto D_{\text{equiv}}^2 = (0.904D)^2 = 0.82D^2$ . Therefore, the flow rate through a sharp-edged entrance is about 18% less compared to the frictionless entrance case.

## Borulama Sistemleri ve Pompa Seçimi

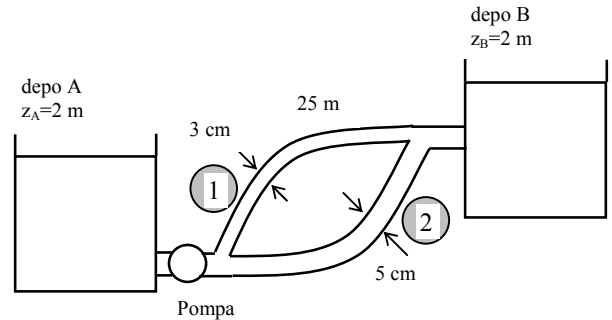
## 8-68

**Kabuller** 1 akış daimi ve sıkıştırılmaz. 2 giriş etkileri ihmal edilir, ve akış tam gelişmiş. 3 su depolarındaki yükseklik sabit kalır. 4 paralel borular dışındaki borulardaki yerel kayıplar ihmal edilir. 5 her iki borudaki akışlar turbulent dir (doğrulanacak).

Suyun yoğunluk ve dinamik viskozitesi ( $20^\circ\text{C}$  sıcaklıkta),

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3 \text{ ve } \mu = 1.002 \times 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}.$$

plastic borular düz ve pürüzlülüğü sıfırdır,  $\varepsilon = 0$ .



Bu problem borulardaki hızlar yada akış debileri binmediğinden direct olarak çözülemez. Bu yüzden, normalde, trial-and-error yaklaşımıyla çözüm yapılır. Fakat, günümüzde denklem çözümleri var, EES bunlardan biridir. Bu yüzden biz denklemleri oluşturup böyle bir çözümden cevapları oluşturacağız.

Pompadan akışkana sağlanan yük,

$$\dot{W}_{\text{elect, in}} = \frac{\rho \dot{V} g h_{\text{pump, u}}}{\eta_{\text{pump-motor}}} \rightarrow 7000 \text{ W} = \frac{(998 \text{ kg/m}^3) \dot{V} (9.81 \text{ m/s}^2) h_{\text{pump, u}}}{0.68} \quad (1)$$

A ve B noktalarını iki depodaki serbest yüzeylerde seçeriz. Atmosfere açık, bu yüzden  $P_A = P_B = P_{\text{atm}}$  ve akış hızları sıfırdır, ( $V_A = V_B = 0$ ), bu iki nokta arasındaki bir control hacmi için enerji denklemi,

$$\frac{P_A}{\rho g} + \alpha_A \frac{V_A^2}{2g} + z_A + h_{\text{pump, u}} = \frac{P_B}{\rho g} + \alpha_B \frac{V_B^2}{2g} + z_B + h_{\text{turbine, e}} + h_L \rightarrow h_{\text{pump, u}} = (z_B - z_A) + h_L$$

yada

$$h_{\text{pump, u}} = (9 - 2) + h_L \quad (2)$$

burada

$$h_L = h_{L,1} = h_{L,2} \quad (3) (4)$$

3-cm lik boruyu 1 ve 5-cm lik boruyu 2 ile gösteririz. Ortalama hız, Reynolds sayısı, sürtünme katsayısı, ve her borudaki yük kayıpları,

$$V_1 = \frac{\dot{V}_1}{A_{c,1}} = \frac{\dot{V}_1}{\pi D_1^2 / 4} \rightarrow V_1 = \frac{\dot{V}_1}{\pi (0.03 \text{ m})^2 / 4} \quad (5)$$

$$V_2 = \frac{\dot{V}_2}{A_{c,2}} = \frac{\dot{V}_2}{\pi D_2^2 / 4} \rightarrow V_2 = \frac{\dot{V}_2}{\pi (0.05 \text{ m})^2 / 4} \quad (6)$$

$$\text{Re}_1 = \frac{\rho V_1 D_1}{\mu} \rightarrow \text{Re}_1 = \frac{(998 \text{ kg/m}^3) V_1 (0.03 \text{ m})}{1.002 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} \quad (7)$$

$$\text{Re}_2 = \frac{\rho V_2 D_2}{\mu} \rightarrow \text{Re}_2 = \frac{(998 \text{ kg/m}^3) V_2 (0.05 \text{ m})}{1.002 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} \quad (8)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_1}} = -2.0 \log \left( \frac{\varepsilon / D_1}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re}_1 \sqrt{f_1}} \right) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f_1}} = -2.0 \log \left( 0 + \frac{2.51}{\text{Re}_1 \sqrt{f_1}} \right) \quad (9)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_2}} = -2.0 \log \left( \frac{\varepsilon / D_2}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re}_2 \sqrt{f_2}} \right) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f_2}} = -2.0 \log \left( 0 + \frac{2.51}{\text{Re}_2 \sqrt{f_2}} \right) \quad (10)$$

$$h_{L,1} = f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} \rightarrow h_{L,1} = f_1 \frac{25 \text{ m}}{0.03 \text{ m}} \frac{V_1^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \quad (11)$$

$$h_{L,2} = f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} \rightarrow h_{L,2} = f_2 \frac{25 \text{ m}}{0.05 \text{ m}} \frac{V_2^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \quad (12)$$

$$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 \quad (13)$$

Bu 13 denklemlilik ve 13 bilinmeyenli bir sistemdir, ve bunların çözüm sonuçları,

$$\dot{V} = 0.0183 \text{ m}^3/\text{s}, \quad \dot{V}_1 = 0.0037 \text{ m}^3/\text{s}, \quad \dot{V}_2 = 0.0146 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$V_1 = 5.30 \text{ m/s}, \quad V_2 = 7.42 \text{ m/s}, \quad h_L = h_{L,1} = h_{L,2} = 19.5 \text{ m}, \quad h_{\text{pump, u}} = 26.5 \text{ m}$$

$$\text{Re}_1 = 158,300, \quad \text{Re}_2 = 369,700, \quad f_1 = 0.0164, \quad f_2 = 0.0139$$

Burada  $\text{Re} > 4000$  her iki boru için, böylece turbulent akış varsayımı doğrulanmış olur.

## 8-73

**Kabuller** 1 akış daimi ve sıkıştırılmaz. 2 giriş etkileri ihmal edilir, ve böylece akış tam olarak gelişmiş (doğrulanacak). 3 silindirik depodaki sürtünme kayıpları ihmal edilir, çünkü deponun çapı çok geniş ve yağın hızı çok düşüktür.

Yağın yoğunluğu ve viskozitesi (20°C sıcaklıkta)  $\rho = 888.1 \text{ kg/m}^3$  ve  $\mu = 0.8374 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ .

1 noktasını silindirik depodaki yağın serbest yüzeyi, ve 2 noktasını ise funnel boru çıkışında referans olarak ( $z_2=0$ ) alırsak. Her iki noktadaki akışkan atmosphere açık, (ve böylece  $P_1 = P_2 = P_{\text{atm}}$ ) ve yüzeydeki akışkan hızı ihmal edilir, ( $V_1 \cong 0$ ). Sürtünmesiz akışın ideal durumu için, Bernoulli denkleminde çıkış hızı belirlenecek,

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad \rightarrow \quad V_2 = V_{2,\text{max}} = \sqrt{2gz_1}$$

Yerlerine konursa,

$$V_{2,\text{max}} = \sqrt{2gz_1} = \sqrt{2(9.81 \text{ m/s}^2)(0.40 \text{ m})} = 2.801 \text{ m/s}$$

Bu sürtünmesiz durum için akış hızıdır, ve böylece bu maximum akış hızıdır. Maximum akış debisi ve Reynolds sayısı,

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{max}} &= V_{2,\text{max}} A_2 = V_{2,\text{max}} (\pi D_2^2 / 4) \\ &= (2.801 \text{ m/s}) [\pi (0.01 \text{ m})^2 / 4] = 2.20 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{(888.1 \text{ kg/m}^3)(2.801 \text{ m/s})(0.01 \text{ m})}{0.8374 \text{ kg/m}\cdot\text{s}} = 29.71$$

Bu 2300 den azdır, bu yüzden akış laminardır.

Bu durumda, giriş uzunluğu,

$$L_h = 0.05 \text{ Re } D = 0.05 \times 29.71 \times (0.01 \text{ m}) = 0.015 \text{ m}$$

Bu borunun uzunluğu 0.25 m den çok düşüktür. Bu yüzden giriş etkileri ihmal edilir.

Borudaki akış laminar, ve tam gelişmiş kabul edilir, akış debisi uygun denklemden elde edilir.

$\theta = -90^\circ$  çünkü akış dikey yönde aşağı doğrudur,

$$\dot{V} = \frac{(\Delta P - \rho g L \sin \theta) \pi D^4}{128 \mu L}$$

Burada  $\Delta P = P_{\text{pipe inlet}} - P_{\text{pipe exit}} = (P_{\text{atm}} + \rho g h_{\text{cylinder}}) - P_{\text{atm}} = \rho g h_{\text{cylinder}}$  boru boyunca olan basınç farkıdır,  $L = h_{\text{pipe}}$ , ve  $\sin \theta = \sin(-90^\circ) = -1$ . Yerlerine konarak, akış debisi,

$$\dot{V} = \frac{\rho g (h_{\text{cylinder}} + h_{\text{pipe}}) \pi D^4}{128 \mu L} = \frac{(888.1 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(0.15 + 0.25 \text{ m}) \pi (0.01 \text{ m})^4}{128 (0.8374 \text{ kg/m}\cdot\text{s})(0.25 \text{ m})} = 4.09 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Huni etkinliği,

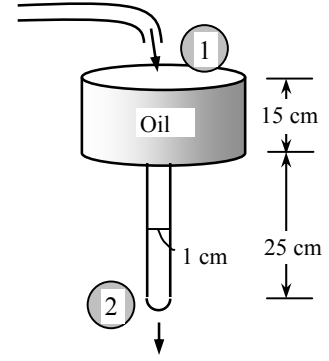
$$\text{Eff} = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_{\text{max}}} = \frac{4.09 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}}{2.20 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}} = 0.0186 \quad \text{or} \quad \mathbf{1.86\%}$$

**Discussion** Note that the flow is driven by gravity alone, and the actual flow rate is a small fraction of the flow rate that would have occurred if the flow were frictionless.

## 8-80

1 akış daimi ve sıkıştırılmaz. 2 giriş etkileri ihmal edilir, ve akış tam olarak gelişmiş. 3 akış turbulent ve tablo halinde verilen kayıp katsayıları kullanılabilir (doğrulanacak). 4 yakıt yağı düzeyi sabit kalır. 5 depo atmosphere açık.

Yakıt yağının yoğunluk ve dinamik viskozitesi,  $\rho = 920 \text{ kg/m}^3$  ve  $\mu = 0.045 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ . kayıp katsayısı  $K_L = 0.12$  azıcık yuvarlatılmış giriş için, ve  $K_L = 0.3$ ,  $90^\circ$  düzgün eğme için (flanged). Plastic boru düzgün ve  $\varepsilon = 0$ . Çıkıştaki kinetik enerji düzeltme faktörü,  $\alpha = 1.05$ .



Depodaki yağın serbest yüzeyini 1 noktası, ve tankerdeki hortumun çıkış noktasını 2 noktası olarak seçeriz. İki noktadaki akışkan atmosfere açıktır, (ve böylece  $P_1 = P_2 = P_{atm}$ ) ve 1 noktasındaki akışkan hızı sıfırdır ( $V_1 = 0$ ). Deponun serbest yüzeyini referans olarak alırız, ( $z_1 = 0$ ). İki nokta arasındaki bir control hacmi için enerji denklemi,

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{pump, u} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{turbine, e} + h_L \rightarrow h_{pump, u} = \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L$$

burada

$$h_L = h_{L, total} = h_{L, major} + h_{L, minor} = \left( f \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \frac{V_2^2}{2g}$$

Burada borulama sisteminin çapı sabittir. Hacimsel debi tankerin 30 dakika içinde dolmasından belirlenir,

$$\dot{V} = \frac{V_{tanker}}{\Delta t} = \frac{18 \text{ m}^3}{(30 \times 60 \text{ s})} = 0.01 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bu durumda borudaki ortalama hız ve Reynolds sayısı,

$$V_2 = \frac{\dot{V}}{A_c} = \frac{\dot{V}}{\pi D^2 / 4} = \frac{0.01 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi (0.05 \text{ m})^2 / 4} = 5.093 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho V_2 D}{\mu} = \frac{(920 \text{ kg/m}^3)(5.093 \text{ m/s})(0.05 \text{ m})}{0.045 \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 5206$$

Bu değer 4000 den fazladır, böylece akış turbulent. Sürtünme katsayısı Moody diyagramından elde edilir, fakat hatayı önlemek için, Colebrook denkleminde elde ederiz,

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{\varepsilon / D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( 0 + \frac{2.51}{5206 \sqrt{f}} \right)$$

Buradan  $f = 0.0370$ . Kayıp katsayısının toplamı,

$$\sum K_L = K_{L, entrance} + 2K_{L, bend} = 0.12 + 2 \times 0.3 = 0.72$$

Toplam yük kaybı, faydalı pompa yükü, ve gerekli pompalama gücü,

$$h_L = \left( f \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \frac{V_2^2}{2g} = \left( (0.0370) \frac{20 \text{ m}}{0.05 \text{ m}} + 0.72 \right) \frac{(5.093 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} = 20.5 \text{ m}$$

$$h_{pump, u} = \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L = 1.05 \frac{(5.093 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} + 5 \text{ m} + 20.5 \text{ m} = 26.9 \text{ m}$$

$$\dot{W}_{pump} = \frac{\dot{V} \rho g h_{pump, u}}{\eta_{pump}} = \frac{(0.01 \text{ m}^3/\text{s})(920 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(26.9 \text{ m})}{0.82} \left( \frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2} \right) \left( \frac{1 \text{ kW}}{1 \text{ kN} \cdot \text{m/s}} \right) = \mathbf{2.96 \text{ kW}}$$

**Discussion** Note that the minor losses in this case are negligible ( $0.72/15.52 = 0.046$  or about 5% of total losses). Also, the friction factor could be determined easily from the Haaland relation (it gives 0.0372).

### 8-82

**kabuller** 1 akış daimi ve sıkıştırılmaz. 2 giriş etkileri ihmal edilir, ve böylece akış tam olarak gelişmiş. 3 yerel kayıplar ihmal edilir. 4 akış tamamen turbulent ve böylece sürtünme faktörü Reynolds sayısından bağımsızdır (doğrulanacak).

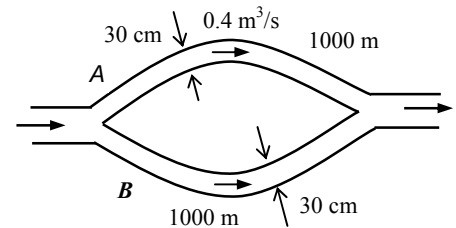
Suyun yoğunluk ve dinamik viskozitesi ( $15^\circ\text{C}$  sıcaklıkta),  $\rho = 999.1 \text{ kg/m}^3$  ve  $\mu = 1.138 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ . Dökme demir borunun pürüzlüğü,  $\varepsilon = 0.00026 \text{ m}$ .

A borusundaki ortalama hız,

$$V_A = \frac{\dot{V}}{A_c} = \frac{\dot{V}}{\pi D^2 / 4} = \frac{0.4 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi (0.30 \text{ m})^2 / 4} = 5.659 \text{ m/s}$$

Bir borulama sisteminde, iki boru paralel, her borunun yük kaybı aynı olmalıdır. Yerel kayıplar ihmal edildiğinde, borudaki yük kaybı,

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$



Bunu her iki boru için yazıp, birbirine eşitlersek, ve  $D_A = D_B$  (verilen) ve  $f_A = f_B$  (doğrulanacak),

$$f_A \frac{L_A}{D_A} \frac{V_A^2}{2g} = f_B \frac{L_B}{D_B} \frac{V_B^2}{2g} \rightarrow V_B = V_A \sqrt{\frac{L_A}{L_B}} = (5.659 \text{ m/s}) \sqrt{\frac{1000 \text{ m}}{3000 \text{ m}}} = 3.267 \text{ m/s}$$

B borusundaki akış debisi,

$$\dot{V}_B = A_c V_B = [\pi D^2 / 4] V_B = [\pi (0.30 \text{ m})^2 / 4] (3.267 \text{ m/s}) = \mathbf{0.231 \text{ m}^3/\text{s}}$$

İspatla : Akışın tamamen turbulent ve böylece sürtünme faktörü Reynolds sayısından bağımsızdır.

B borusundaki hız daha azdır. Bu yüzden, eğer B borusundaki akış tamamen turbulent ise, A borusundaki akışta tamamen turbulent dir. Boru B deki Reynolds sayısı,

$$\text{Re}_B = \frac{\rho V_B D}{\mu} = \frac{(999.1 \text{ kg/m}^3)(3.267 \text{ m/s})(0.30 \text{ m})}{1.138 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 0.860 \times 10^6$$

Bu 4000 den fazladır, bu yüzden akış turbulent dir. Borunun bağıl pürüzlüğü,

$$\varepsilon / D = \frac{0.00026 \text{ m}}{0.30 \text{ m}} = 0.00087$$

Moody's diyagramından, bir bağıl pürüzlük 0.00087 için, akış Reynolds sayısı  $10^6$  den büyük olunca tamamen turbulent dir. Bu yüzden, her iki borudaki akış tamamen turbulent, ve böylece her iki borudaki sürtünme faktörünün aynı oluşu doğrudur.

**Discussion** Note that the flow rate in pipe B is less than the flow rate in pipe A because of the larger losses due to the larger length.

## Debi ve hız ölçümleri

### 8-98

**Kabuller** 1 akış daimi ve sıkıştırılmaz. 2 akış lülesinin çıkış katsayısı,  $C_d = 0.96$ .

Amonyak için,  $\rho = 624.6 \text{ kg/m}^3$  ve  $\mu = 1.697 \times 10^{-4} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

çap oranı ve lüle kesit alanı,

$$\beta = d / D = 1.5 / 3 = 0.50$$

$$A_0 = \pi d^2 / 4 = \pi (0.015 \text{ m})^2 / 4 = 1.767 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Burada  $\Delta P = 4 \text{ kPa} = 4000 \text{ N/m}^2$ , akış debisi

$$\begin{aligned} \dot{V} &= A_0 C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \\ &= (1.767 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(0.96) \sqrt{\frac{2 \times 4000 \text{ N/m}^2}{(624.6 \text{ kg/m}^3)((1 - 0.50^4))} \left( \frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{1 \text{ N}} \right)} \\ &= \mathbf{0.627 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}} \end{aligned}$$

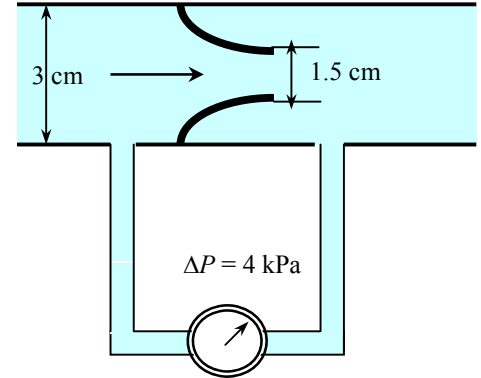
Buna eşdeğer, 0.627 L/s. borudaki ortalama akış hızı,

$$V = \frac{\dot{V}}{A_c} = \frac{\dot{V}}{\pi D^2 / 4} = \frac{0.627 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi (0.03 \text{ m})^2 / 4} = \mathbf{0.887 \text{ m/s}}$$

Borudaki akışın Reynolds sayısı,

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{(624.6 \text{ kg/m}^3)(0.887 \text{ m/s})(0.03 \text{ m})}{1.697 \times 10^{-4} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 9.79 \times 10^4$$

$\beta$  ve Re değerlerini orifis çıkış katsayısı bağıntısında yerine koyarsak,



$$C_d = 0.9975 - \frac{6.53\beta^{0.5}}{\text{Re}^{0.5}} = 0.9975 - \frac{6.53(0.50)^{0.5}}{(9.79 \times 10^4)^{0.5}} = 0.983$$

Bu değer farzedilen 0.96 değerinden yaklaşık 2% farklıdır. Yenilenmiş  $C_d$  değerinden, akış debisi 0.642 L/s olur, bu original değerden 2.4% farklıdır.

**8-102**

**Kabuller** 1 akış daimi ve sıkıştırılmaz. 2 orifis çıkış katsayısı,  $C_d = 0.61$ .

Suyun yoğunluk ve dinamik viskozitesi,  $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$  ve  $\mu = 1.002 \times 10^{-4} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ .

orifisin kesit alanı ve çap oranı,

$$\beta = d / D = 30 / 50 = 0.60$$

$$A_0 = \pi d^2 / 4 = \pi (0.30 \text{ m})^2 / 4 = 0.07069 \text{ m}^2$$

Basınç dürümü,  $\Delta P = P_1 - P_2$ , akış debisi,

$$\dot{V} = A_0 C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

Yerine koyarsak,

$$0.25 \text{ m}^3 / \text{s} = (0.07069 \text{ m}^2)(0.61) \sqrt{\frac{2\Delta P}{(998 \text{ kg/m}^3)(1 - 0.60^4)}}$$

$$\Delta P = 14,600 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = \mathbf{14.6 \text{ kPa}}$$

Bunun karşılık geldiği su kolumu,

$$h_w = \frac{\Delta P}{\rho_w g} = \frac{14,600 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{(998 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)} = 1.49 \text{ m}$$

Orifis için, yüzde basınç (yada yük) kaybı Fig. 8-59 da verilmiştir,  $\beta = 0.6$  ve 64%. Bu yüzden,

$$h_L = (\text{Permanent loss fraction})(\text{Total head loss}) = 0.64(1.49 \text{ m}) = \mathbf{0.95 \text{ m H}_2\text{O}}$$

İki ölçüm kısımları arasındaki yük kaybı enerji denkleminde hesaplanabilir.

Çünkü,  $z_1 = z_2$ , enerji denkleminin yük formu,

$$h_L \approx \frac{P_1 - P_2}{\rho_f g} - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = h_w - \frac{[(D/d)^4 - 1]V_1^2}{2g} = 1.49 \text{ m} - \frac{[(50/30)^4 - 1](1.27 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} = \mathbf{0.940 \text{ m H}_2\text{O}}$$

burada  $V_1 = \frac{\dot{V}}{A_c} = \frac{\dot{V}}{\pi D^2 / 4} = \frac{0.250 \text{ m}^3 / \text{s}}{\pi (0.50 \text{ m})^2 / 4} = 1.27 \text{ m/s}$

bu yük kaybı, yaklaşık bir sonuç olmasına rağmen, yukarıda bulunan tam çözümden daha azdır, çünkü geri dönülmez kayıpları hesaba almaz.

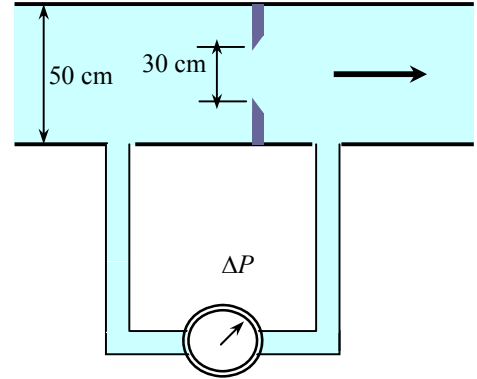
**Tartışma:** borudaki akışın Reynolds sayısı,

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{(998 \text{ kg/m}^3)(1.27 \text{ m/s})(0.50 \text{ m})}{1.002 \times 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}} = 6.32 \times 10^5$$

$\beta$  ve  $\text{Re}$  değerlerini orifis çıkış katsayısında yerine konursa,

$$C_d = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8 + \frac{91.71\beta^{2.5}}{\text{Re}^{0.75}}$$

$C_d = 0.605$  bulunur, bu tahmini bulunan 0.61 değerine çok yakındır.





## 8-105

Havanın yoğunluğu,  $\rho_{\text{air}} = 1.204 \text{ kg/m}^3$ . Suyun yoğunluğu,  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ . Venturi metrenin çıkış katsayısı,

$C_d = 0.98$ .

Çap oranı ve boğaz alanı,

$$\beta = d / D = 6 / 15 = 0.40$$

$$A_0 = \pi d^2 / 4 = \pi (0.06 \text{ m})^2 / 4 = 0.002827 \text{ m}^2$$

Venturimetredeki basınç düşümü,

$$\Delta P = P_1 - P_2 = (\rho_w - \rho_f)gh$$

Akış debisi,

$$\dot{V} = A_o C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} = A_o C_d \sqrt{\frac{2(\rho_w - \rho_f)gh}{\rho_f(1 - \beta^4)}} = A_o C_d \sqrt{\frac{2(\rho_w / \rho_{\text{air}} - 1)gh}{1 - \beta^4}}$$

Yerlerine koyup ve  $h = 0.40 \text{ m}$  kullanarak, maximum hacim debisi,

$$\dot{V} = (0.002827 \text{ m}^2)(0.98) \sqrt{\frac{2(1000/1.204 - 1)(9.81 \text{ m/s}^2)(0.40 \text{ m})}{1 - 0.40^4}} = 0.2265 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Böylece bu venturimetrenin maximum kütle debisi,

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = (1.204 \text{ kg/m}^3)(0.2265 \text{ m}^3/\text{s}) = \mathbf{0.273 \text{ kg/s}}$$

Kanaldaki ortalama akış hızı,

$$V = \frac{\dot{V}}{A_c} = \frac{\dot{V}}{\pi D^2 / 4} = \frac{0.2265 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi (0.15 \text{ m})^2 / 4} = 12.8 \text{ m/s}$$

