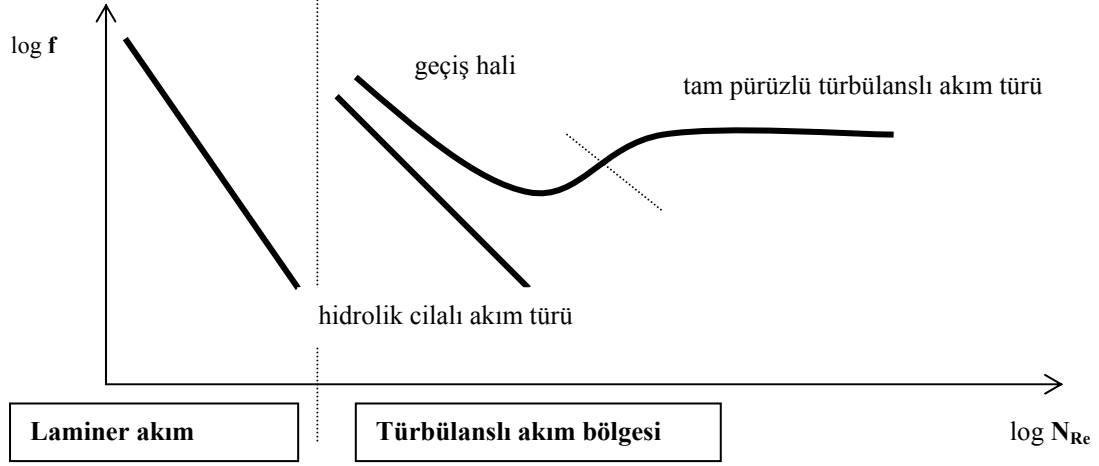


# İ.T.Ü İNŞAAT FAKÜLTESİ-HİDROLİK DERSİ

## BORU İÇERİSİNDEKİ BASINÇLI AKIMLAR - 1

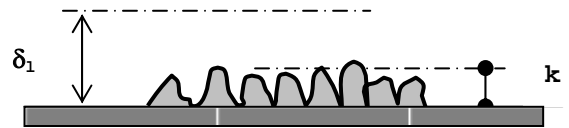
☞  $\left(\frac{k}{D}\right)_i = C_i = \text{sabit}$  için , Nikuradse diyagramını şematik olarak çiziniz. Farklı akım türlerinin bölgelerini gösteriniz ve bu akım türlerinde ‘ f ‘ sürtünme katsayısının hangi büyüklüklerin fonksiyonu olduğunu belirtiniz.



<b>Laminer akım bölgesi</b>	→	$f = \text{fonk} ( N_{Re} )$
<b>Türbülanslı akım bölgesi</b>		
Hidrolik Cilalı	→	$f = \text{fonk} ( N_{Re} )$
Geçiş hali	→	$f = \text{fonk} ( N_{Re} , \frac{k}{D} )$
Tam türbülanslı	→	$f = \text{fonk} ( \frac{k}{D} )$

☞ Viskoz etkilerin çok yoğun olduğu, boru cidarındaki ince tabaka **Viskoz Alt Tabaka** olarak adlandırılır. İçindeki akım laminer karakterdedir.

☺ Boru cidarındaki k pürüzlülük yüksekliği  $\delta_1$  laminer alt tabaka (viskoz alt tabaka) kalınlığından küçük olduğundan, çekirdek bölgesindeki akım bu pürüzlülükleri hissetmez, dolayısı ile cilalı bir yüzey ile temasındaki davranışı gösterir. bu hidrolik cilalı akım durumudur.



☺ Eğer  $k \gg \delta_1$  olursa, akım bu pürüzlülüklerden etkilenir. Bu da hidrolik pürüzlü akım durumudur.



☞ Hidrolik cilalı veya hidrolik pürüzlü olmak bir akım özelliği midir yoksa bir boru özelliği midir ?

$$\delta = 11.6 \frac{\nu}{u_*}$$

kalınlıklarda olacağından, borunun pürüzlülük yüksekliğinden büyük veya küçük olabilir. Bu nedenle , hidrolik cilalı veya hidrolik pürüzlü olmak bir akım özelliğidir.

☞ Darcy-Weisbach formülünü yazınız. Herbri terimin anlamını belirtiniz. Bu bağıntıdaki ' f ' sürtünme katsayısının, farklı akım türlerinde, hangi boyutsuz büyüklüklerin fonksiyonu olduğunu yazınız.

$$h_k = \frac{f V^2}{d 2g} L$$

hk : yük kaybı  
f : sürtünme katsayısı  
L : boru boyu  
D : boru çapı

$$\frac{V^2}{2g} : \text{hız yüksekliği}$$

Laminer akımda : f = fonk ( N<sub>Re</sub> )

Türbülanslı akımda :

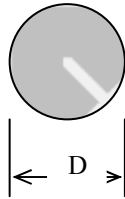
i) Hidrolik cilalı akımda → f = fonk ( N<sub>Re</sub> )

ii) Geçiş bölgesi → f = fonk ( N<sub>Re</sub> ,  $\frac{k}{D}$  )

iii) Tam pürüzlü → f = fonk (  $\frac{k}{D}$  )

☞ Tam pürüzlü, basınçlı, üniform-permanan boru akımında, enerji kaybının, debi ( Q ) ve boru çapı ( D ) ile nasıl değiştiğini gösteriniz.

$$h_k = f \frac{L V^2}{d 2g}$$



$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$Q = V \cdot A$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot Q}{\pi D^2}$$

$$h_k = f \frac{L}{d} \frac{\left( \frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2}{2g} = 8 \cdot f \cdot \frac{L}{\pi^2 g} \cdot \frac{Q^2}{D^5}$$

$$\boxed{h_k \propto \frac{Q^2}{D^5}}$$

**Soru\_1.** Darcy-Weisbach Bağıntısı yardımıyla sürtünme katsayısı (f), ortalama hız (v) ve cidar kayma gerilmesi (  $\tau_o$  ) arasında bir bağıntı elde ediniz.

Çözüm 3.1:

Darcy – Weisbach Bağıntısı : 
$$J = \frac{f V^2}{D 2g}$$

Taban Kayma Gerilmesi : 
$$\tau_o = \gamma \cdot R_H \cdot J$$

$$R_H = \text{Hidrolik Yarıçap} = \frac{\text{Islak Alan}}{\text{Islak Çevre}} = \frac{\pi \frac{D^2}{4}}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

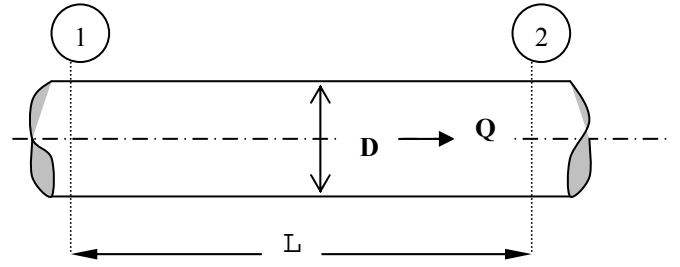
$$D = 4 R_H$$

$$\tau_o = \gamma \cdot (D/4) \cdot J$$

$$\tau_o = \gamma \frac{D}{4} \frac{f V^2}{D 2g} = \rho g \frac{f V^2}{4 2g}$$

$$\tau_o = \frac{\rho f V^2}{8}$$

**Soru 2.** Yatay eksenli bir boru içerisinde yağ akmaktadır. Yağın kinematik viskozitesi  $\nu = 0.00035 \text{ m}^2/\text{s}$ , özgül ağırlığı  $\gamma_{\text{yağ}} = 0.950 \text{ t/m}^3$  olup borunun iki kesiti arası 3 m 'dir. Boru çapı 0.3 m ve borudan geçen akışkanın debisi  $Q = 0.004 \text{ m}^3/\text{s}$  olması durumunda akımın rejimini ve  $p_1 - p_2$  basınç düşmesini hesaplayınız.



$$\nu_{\text{yağ}} = 0.00035 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\gamma_{\text{yağ}} = 0.950 \text{ t/m}^3$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$D = 0.3 \text{ m}$$

$$Q = 0.004 \text{ m}^3/\text{s}$$

Akımın rejimi :

$$N_{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{Q}{\frac{\pi 0.3^2}{4}} = 0.057 \text{ m/s}$$

$$N_{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{0.057 \times 0.3}{0.00035} = 48.9 < 2000 \text{ akım laminar}$$

Enerji denklemi :

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \sum h_k \quad V_1 = V_2 \quad ; \quad z_1 = z_2$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \sum h_k = J \cdot L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$N_{Re} < 2000 \text{ akım laminar} \quad \rightarrow \quad f = \frac{64}{N_{Re}} = \frac{64}{48.9} = 1.31$$

$$\sum h_k = 1.31 \frac{3}{0.3} \frac{0.057^2}{19.62} = 0.00217 \text{ m}$$

$$p_1 - p_2 = \Delta p = \gamma \cdot \sum h_k = 0.950 \times 0.00217 = 0.002 \text{ t/m}^2$$

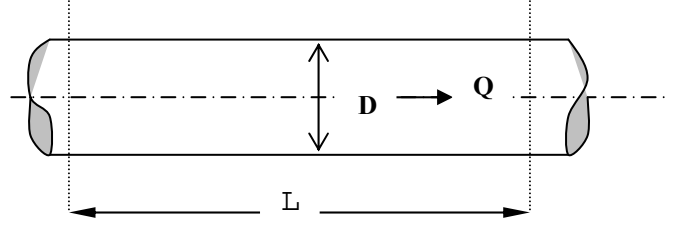
*Hagen Poiseuille Denklemi :*  $p_1 - p_2 = \frac{32\mu V L}{D^2}$  (Yatay ,sabit çaplı boruların laminar akımlarında )

$$\Delta x = L$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{32\mu V L}{D^2} = \frac{32 \times 0.00035 \times \frac{0.950}{9.81} \times 0.0566 \times 3}{0.3^2} = 2.046 \times 10^{-3} \text{ ton/m}^2 \cong 2 \text{ kg/m}^2$$

**Soru\_3.** Yatay eksenli bir boru içerisinde su akmaktadır. Boru çapı  $D=15$  cm ve suyun kinematik viskozitesi  $\nu=1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  'dir. Borunun  $350$  m aralıklı iki kesiti arasındaki basınç farkı  $2 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  ve Darcy-Weisbach katsayısının  $f=0.02$  olması durumuna göre borunun debisini ve akımın rejimini belirleyiniz.

Cevap :



$$D = 0.15 \text{ m}$$

$$\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$L = 350 \text{ m}$$

$$p_1 - p_2 = 2 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$$

$$f = 0.02$$

$$Q = ?$$

$$N_{Re} = ?$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 2 \text{ kg}_f/\text{cm}^2 = 20 \text{ t/m}^2$$

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = 20 \text{ m} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \sum h_k \quad V_1 = V_2 \quad ; \quad z_1 = z_2$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma} = \sum h_k = J.L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \sqrt{\frac{\frac{\Delta p}{\gamma} D \cdot 2g}{f \cdot L}} = \sqrt{\frac{20 \times 0.15 \times 19.662}{0.02 \times 350}} = 2.90 \text{ m/s}$$

$$Q = V \cdot A = 2.90 \pi \frac{0.15^2}{4} = 0.051 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$N_{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{2.90 \times 0.15}{1 \times 10^{-6}} = 435000 > 2000 \text{ Türbülanslı akım}$$

**Soru\_4.**  $D=0.25$  m ,  $\mu=1.20 \times 10^{-4}$  kgf. s/m<sup>2</sup> ,  $\rho = 102$  kgf.s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> ,  $k=3.10^{-4}$  m olan bir borudaki basınçlı akımda akımın ortalama hızının sırayla;

- a)  $V = 0.015$  m/s
- b)  $V = 0.15$  m/s
- c)  $V = 1.5$  m/s
- d)  $V = 15$  m/s

olması halinde, borunun hidrolik bakımdan davranışını belirleyiniz.

Çözüm :

a) **V=0.015 m/s**

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1.02 \times 10^{-4}}{102} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$N_{Re} = \frac{V.D}{\nu} = \frac{0.015 \times 0.25}{1 \times 10^{-6}} = 3750 > 2000 \quad \text{“ t\u00fcrb\u00fclanslı akım “}$$

Moody bağıntısı :

$$f = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{k}{D} + \frac{10^6}{N_{Re}} \right)^{1/3} \right] = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{3 \times 10^{-4}}{0.25} + \frac{10^6}{3750} \right)^{1/3} \right] = 0.042$$

$$\frac{u_* \cdot k}{\nu} = ?$$

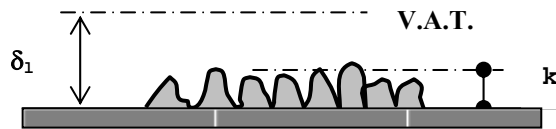
$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} ; \quad \tau_o = \gamma \cdot R \cdot J \quad ; \quad J = \frac{f V^2}{D 2g} = \frac{0.042 \cdot 0.015^2}{0.25 \cdot 19.62} = 1.926 \times 10^{-6}$$

$$\tau_o = \gamma \cdot R \cdot J = \tau_o = \gamma \cdot \frac{D}{4} \cdot J = 1000 \cdot (0.25 / 4) \cdot 1.926 \times 10^{-6} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ kgf/m}^2$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} = \sqrt{\frac{1.2 \times 10^{-4}}{102}} = 1.085 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\frac{u_* \cdot k}{\nu} = \frac{1.085 \times 10^{-3} \cdot 3 \times 10^{-4}}{10^{-6}} = 0.33 < 11.6 \quad \text{“ Hidrolik cilalı t\u00fcrb\u00fclanslı akım ”}$$

$$\delta = 11.6 \frac{\nu}{u_*} = 11.6 \frac{10^{-6}}{1.085 \times 10^{-3}} = 0.011 \text{ m} = 11 \text{ cm} > 3 \times 10^{-4} \text{ m}$$



b) **V=0.15 m/s**

$$N_{Re} = \frac{V.D}{\nu} = \frac{0.15 \times 0.25}{1 \times 10^{-6}} = 37500 > 2000 \quad \text{“ t\u00fcrb\u00fclanslı akım “}$$

Moody bağıntısı :

$$f = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{k}{D} + \frac{10^6}{N_{Re}} \right)^{1/3} \right] = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{3 \times 10^{-4}}{0.25} + \frac{10^6}{37500} \right)^{1/3} \right] = 0.026$$

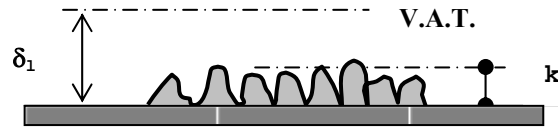
$$J = \frac{f V^2}{D 2g} = \frac{0.026 \cdot 0.15^2}{0.25 \cdot 19.62} = 0.00012$$

$$\tau_o = \gamma \cdot R \cdot J = \tau_o = \gamma \cdot \frac{D}{4} \cdot J = 1000 \cdot (0.25 / 4) \cdot 0.00012 = 0.0075 \text{ kg}_f/\text{m}^2$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} = \sqrt{\frac{0.0075}{102}} = 0.0086$$

$$\frac{u_* \cdot k}{v} = \frac{0.0086 \times 3 \times 10^{-4}}{10^{-6}} = 2.58 < 11.6 \text{ “ Hidrolik cilalı tübülanslı akım ”}$$

$$\delta = 11.6 \frac{v}{u_*} = 11.6 \frac{10^{-6}}{0.0086} = 0.013 \text{ m} = 13 \text{ mm} > 0.3 \text{ mm}$$



c) V=1.5 m/s

$$N_{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{1.5 \times 0.25}{1 \times 10^{-6}} = 375000 > 2000 \text{ “ türbülanslı akım ”}$$

Moody bağıntısı :

$$f = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{k}{D} + \frac{10^6}{N_{Re}} \right)^{1/3} \right] = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{3 \times 10^{-4}}{0.25} + \frac{10^6}{375000} \right)^{1/3} \right] = 0.022$$

$$J = \frac{f V^2}{D 2g} = \frac{0.022 \cdot 1.5^2}{0.25 \cdot 19.62} = 0.0067$$

$$\tau_o = \gamma \cdot R \cdot J = \tau_o = \gamma \cdot \frac{D}{4} \cdot J = 1000 \cdot (0.25 / 4) \cdot 0.0067 = 0.4188 \text{ kg}_f/\text{m}^2$$

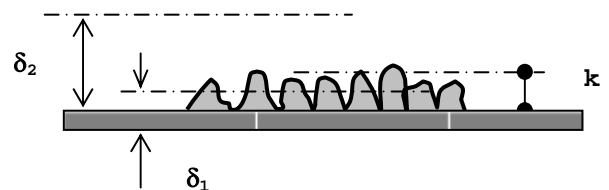
$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} = \sqrt{\frac{0.4188}{102}} = 0.064 \text{ m/s}$$

$$\frac{u_* \cdot k}{v} = \frac{0.064 \times 3 \times 10^{-4}}{10^{-6}} = 19.20 > 11.6$$

< 70 “ Geçiş hali türbülanslı akım ”

$$\delta_1 = 11.6 \frac{v}{u_*} = 11.6 \frac{10^{-6}}{0.064} = 0.18 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 70 \frac{v}{u_*} = 70 \frac{10^{-6}}{0.064} = 1.1 \text{ mm} > 0.3 \text{ mm}$$



d) V=15 m/s

$$N_{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{15 \times 0.25}{1 \times 10^{-6}} = 3750000 > 2000 \quad \text{“ t\u00fcrb\u00fclanslı akım “}$$

Moody bağıntısı :

$$f = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{k}{D} + \frac{10^6}{N_{Re}} \right)^{1/3} \right] = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{3 \times 10^{-4}}{0.25} + \frac{10^6}{3750000} \right)^{1/3} \right] = 0.021$$

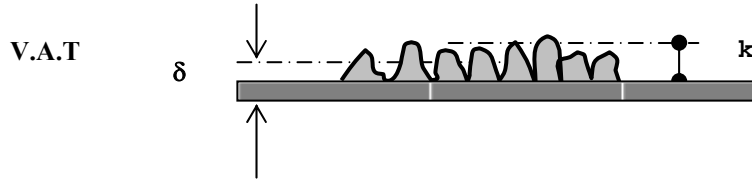
$$J = \frac{f V^2}{D 2g} = \frac{0.021 \cdot 15^2}{0.25 \cdot 19.62} = 0.9633$$

$$\tau_o = \gamma \cdot R \cdot J = \tau_o = \gamma \cdot \frac{D}{4} \cdot J = 1000 \cdot (0.25 / 4) \cdot 0.9633 = 60.21 \text{ kg}_f/\text{m}^2$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} = \sqrt{\frac{60.21}{102}} = 0.768 \text{ m/s}$$

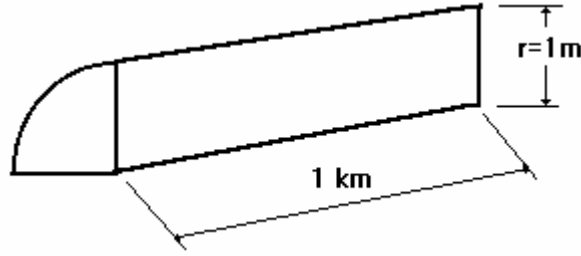
$$\frac{u_* \cdot k}{\nu} = \frac{0.768 \times 3 \times 10^{-4}}{10^{-6}} = 230.4 > 70 \quad \text{“ Tam p\u00fcr\u00fclz\u00fc t\u00fcrb\u00fclanslı akım “}$$

$$\delta = 70 \frac{\nu}{u_*} = 70 \frac{10^{-6}}{0.768} = 0.09 \text{ mm} > 0.3 \text{ mm}$$





**Soru 5.** Şekildeki 1/4 silindir şeklindeki yatay eksenli basınçlı hava tüneline;  $V=5.0$  m/s,  $k=0.5$  mm 'dir. Hava için  $\mu=1.85 \times 10^{-6}$  kg<sub>r</sub>.s / m<sup>2</sup>,  $\nu = 1.5 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s,  $\rho = 0.123$  kg<sub>r</sub>.s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>,  $\gamma = 1.21$  kg<sub>r</sub>/ m<sup>3</sup> olduğuna göre, bu tünelin 1 km 'lik kısmı için basınç düşmesini hesaplayınız.



Çözüm 5.

$$P_1 - P_2 = ?$$

$$R_H = \frac{A}{U} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\frac{\pi D}{4} + D} = \frac{\pi \frac{D^2}{4}}{\frac{\pi D}{4} + D} = 0.22$$

Enerji denklemi :

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \sum h_k \quad V_1 = V_2 \quad ; \quad z_1 = z_2$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma} = \sum h_k = J.L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

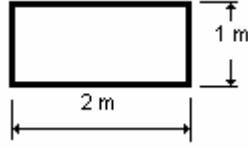
$$N_{Re} = \frac{V.D}{\nu} = \frac{V.4R_H}{\nu} = \frac{5 \times 4 \times 0.22}{1.5 \times 10^{-5}} = 293333 > 2000 \quad \text{“türbülanslı akım”}$$

$$f = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{k}{4R_H} + \frac{10^6}{N_{Re}} \right)^{1/3} \right] = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{0.5 \times 10^{-3}}{4 \times 0.22} + \frac{10^6}{293333} \right)^{1/3} \right] = 0.0190$$

$$\sum h_k = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 0.019 \frac{1000}{4 \times 0.22} \frac{5^2}{19.62} = 27.50 \text{ m} = \frac{\Delta p}{\gamma}$$

$$\Delta p = 27.50 \times 1.21 \times 10^{-3} = 33.28 \times 10^{-3} \text{ t/m}^2 = 33.28 \text{ kg}_r/\text{m}^2$$

**Soru\_6.** Şekilde dikdörtgen kesitte gözlenen basınçlı akımın debisi  $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. (f) sürtünme katsayısı 0.02 olduğuna göre enerji çizgisinin eğimini belirleyiniz.



Çözüm :

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$dA = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr$$

a)

$$Q = \int_0^r 0.2(1 - 100r^2) dA = \int_0^{0.1} 0.2(1 - 100r^2)(2\pi r dr)$$

$$Q = 2\pi \int_0^{0.1} (0.2r - 20r^3) dr = 2\pi \left[ 0.2 \frac{r^2}{2} \Big|_0^{0.1} - 20 \frac{r^4}{4} \Big|_0^{0.1} \right] = 0.00314 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.00314}{\pi \cdot 0.1^2} = 0.10 \text{ m/s}$$

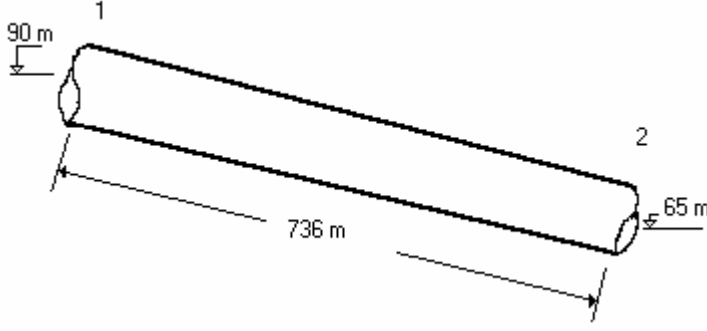
b)

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

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{6}{2 \times 1} = 3 \text{ m/s}$$

$$R_H = \frac{A}{U} = \frac{2 \times 1}{2(2+1)} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3} \text{ m} \quad \rightarrow \quad J = \frac{0.02}{4 \frac{1}{3}} \frac{3^2}{19.62} = 0.00688$$

**Soru 8.** Şekildeki sabit çaplı borunun 2 kesitinden atmosfere su verilmektedir. 1 noktasındaki rölatif basınç  $p=2.0 \text{ kg}_f / \text{cm}^2$  ve  $f = 0.04$  ise,  $Q$  debisinin  $0.76 \text{ m}^3 / \text{s}$  olması için boru çapı ne olmalıdır?



Çözüm :

$$p_1 = 2 \text{ kg}_f / \text{cm}^2 = 20 \text{ ton/m}^2$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \Sigma h_k$$

$$= 0$$

$D_1 = D_2$  ve  $V_1 = V_2$  ; (2) kesitinde atmosfere açılıyor .  $p_2$

$$20 + 90 = 65 + \Sigma h_k$$

$$\Sigma h_k = 45 \text{ m}$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

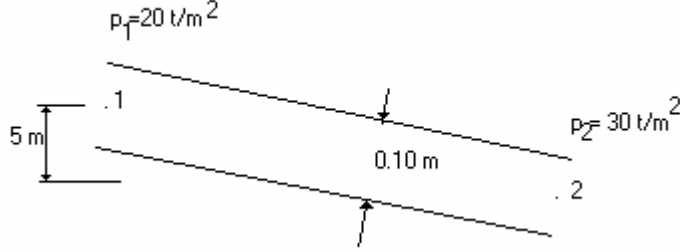
$$h_k = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{D} \left( \frac{16 Q^2}{\pi^2 D^4} \right) = \frac{8 f Q^2 L}{\pi^2 D^5 g}$$

$$D = \left( \frac{8 f Q^2 L}{\pi^2 g h_k} \right)^{1/5} = 0.5 \text{ m}$$

**Soru\_9.** Şekilde gösterilen verilerin doğrultusunda, boru boyunca bir akım meydana gelmektedir.

- Akımın yönünü bulunuz.
- (2) kesitinde enerji yüksekliği 34 m iken akımın debisini ve enerji kaybını bulunuz.
- Akımın rejimini belirleyiniz.

$$\mu = 103 \cdot 10^{-6} \text{ kgf} \cdot \text{s/m}^2, \gamma = 0.9 \text{ t/m}^3$$



Çözüm :

$$\begin{aligned} \text{a) } H_1 &= \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V^2}{2g} + \frac{20}{0.9} + 5 = 27.22 + \frac{V^2}{2g} \\ H_2 &= \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 = \frac{V^2}{2g} + \frac{30}{0.9} + 0 = 33.33 + \frac{V^2}{2g} \quad D=\text{sabit} : V_1=V_2 \end{aligned}$$

$H_2 > H_1$  akımın yönü 2 kesitinden 1 kesitine doğru

b)  $H_2 = 34 \text{ m}$  için

$$H_2 = \frac{V^2}{2g} + 33.33 = 34 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \frac{V^2}{2g} = 0.67 \text{ m} \quad \rightarrow \quad V = 3.63 \text{ m/s}$$

$$Q = V \cdot A = 3.63 \times (\pi / 4) \times 0.10^2 = 0.0285 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_k = 33.33 - 27.11 = H_B - H_A = 0.62 \text{ m}$$

c)

$$N_{Re} = \frac{V \cdot D}{\mu} = \frac{3.63 \times 0.10}{103 \times 10^{-6}} = 323328 > 2000 \quad \text{Akım türbülanslı}$$