MM406 Hidrolik Makinalar

Dersin Dili	Türkçe
Dersin Düzeyi	Lisans
Bölümü / Programı	MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Öğrenim Türü	Örgün Öğretim
Dersin Türü	Seçmeli
Dersin Amacı	Bu ders kapsamında, öğrencilerin hidrolik makine sistemlerinin tasarımının ve analizi öğrenilmesidir.
Dersin İçeriği	Pompalar; eksenel akışlı ve santrifüj pompalar, Pompaların işletme bilgileri ve tasarım analizi, Su türbinleri, Pelton türbinleri, özel tip tesir ve aksi tesir türbinleri, Francis, Uskur ve Kaplan türbinleri, Türbinlerde yeni gelişmeler, Türbinlerde işletme, Santrifüj pompaların paralel ve seri bağlanmaları, Hidrolik makinalar için uygulamalar.

MM406 Hidrolik Makinalar

Değerlendirme Ölçütleri

Yarıyıl Çalışmaları	Sayısı	Katkı
Ara Sınav	1	% 25
Ödev	0	% 0
Uygulama	0	% 0
Projeler	1	% 25
Pratik	0	% 0
Kısa Sınav	2	% 10
Yarıyıl Sonu Sınavı	1	% 40

MM406 Hidrolik Makinalar

Ders Konuları

Konu
Giriş, güç, düşü ve verim tanımları.
Benzerlik, özgül hız, temel kavramlar.
Pompalar; eksenel akışlı ve santrifüj pompalar.
Pompalar; eksenel akışlı ve santrifüj pompalar.
Pompaların işletme bilgileri ve tasarım analizi.
Su türbinleri, Pelton türbinleri, özel tip tesir ve aksi tesir türbinleri.
Francis, Uskur ve Kaplan türbinleri.
Türbinlerde yeni gelişmeler.
Türbinlerde işletme.
Thoma sayısı, kavitasyon olayı ve reaksiyon makinalarına etkisi.
Tasarım uygulamaları.
Santrifüj pompaların paralel ve seri bağlanmaları.
Hidrolik makinalar için uygulamalar.
Hidrolik makinalar için uygulamalar.

MM406 Hidrolik Makinalar

Ders Kaynakları

Su Makinaları Dersleri, C. Özgür, İ. T. Ü. Yayınları.

Turbomachinery Performance Analysis, R. I. Lewis, John Wiley & Sons Inc. Arnold. 1996.

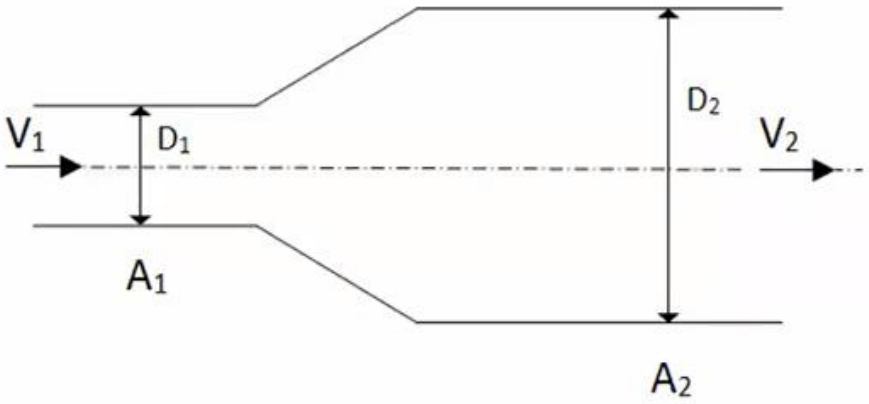
Hidrolik Makinalar ve Uygulamaları, Yaşar Pancar ve Sevil Ergür, Birsen Yayınevi

Uygulamalı Hidrolik Makinalar, İsmail Çallı, Seçkin Yayınevi

BÖLÜM 1
Süreklilik Denklemi, Bernoulli Denklemi ve Kayıplar

Süreklilik Denklemi

Süreklilik Denklemi (Kütlenin Korunumu)



A_1 kesitinden A_2 kesitine, büyüyen dairesel kesit

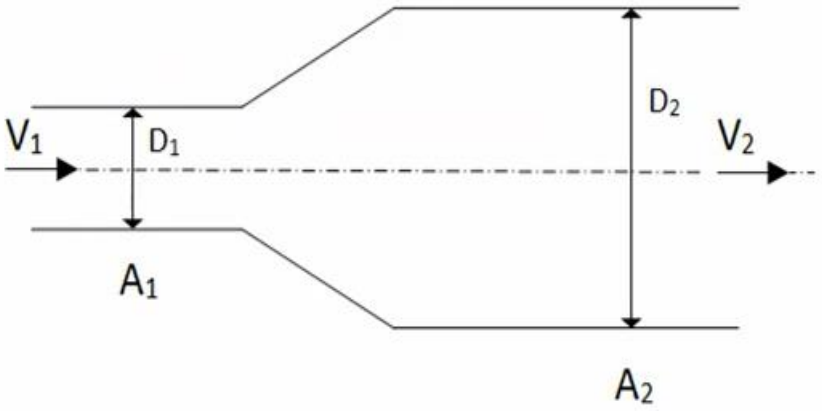
Daimi (sürekli, steady-state) bir akış için;

Kütlesel debi;

$$\dot{m} = \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$ **[kg/s]**

Kütle korunumu ilkesinde, **giren** akışkanın kütlesel debisi ile **çıkan** akışkanın kütlesel debisi birbirine eşittir.

Süreklilik Denklemi (Kütlenin Korunumu)



A_1 kesitinden A_2 kesitine, büyüyen dairesel kesit

Daimi (sürekli, steady-state) ve **sıkıştırılamaz (incompressible)** akış için;

$$\dot{m} = \rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2$$

ρ =sabit

Hacimsel debi;

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

[m³/s]

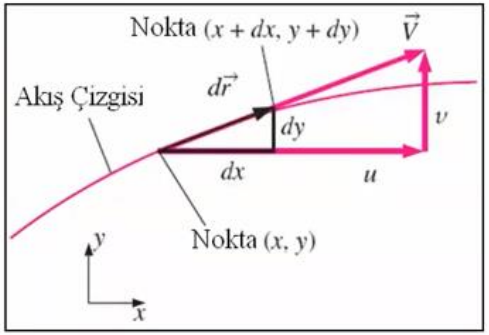
Kütlesel debi ile Hacimsel debi arasındaki bağıntı;

$$\dot{m} = \rho Q$$

Bernoulli Denklemi (Enerji Korunumu)

Bernoulli Denklemi (Enerji Korunumu)

- Bernoulli denklemi, bir akışkan parçacığının **akım çizgisi** boyunca, **daimi akış** esnasında kinetik ve potansiyel enerjilerinin sabit kaldığını ifade eder.



$$\vec{V} = (u, v)$$

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{\text{akış çizgisi boyunca}} = \frac{v}{u}$$

- Dolayısıyla akış esnasından, akışkanın kinetik ve potansiyel enerjileri akış enerjisine dönüşerek basınç değişimine neden olur.

$$P + \rho\frac{V^2}{2} + \rho g z = sabit$$

Bernoulli denkleminin **basınç gösterimi**

Bernoulli Denklemi (Enerji Korunumu)

$$P + \rho\frac{V^2}{2} + \rho gz = sabit$$

Bernoulli denklemi **basınç gösterimi**

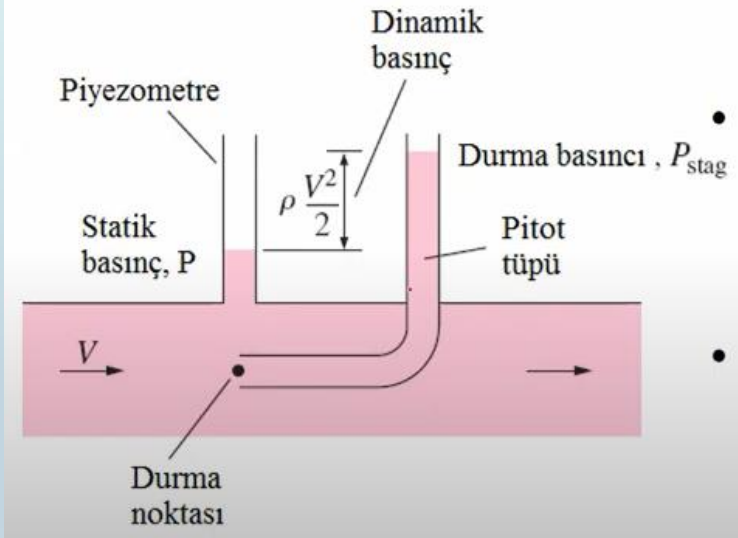
- **P (Statik basınç):** Dinamik basınç hareketleri içermez. Akışkanın **gerçek termodinamik** basıncını ifade eder. Bu basınç termodinamik ve özelik tablolardan kullanılan basınç ile aynıdır.
- **ρV²/2 (Dinamik basınç):** Hareket halindeki bir akışkanın durmaya zorlandığında akışkanda meydana gelen basınç artışını ifade eder.
- **ρgz (Hidrostatik basınç):** Değeri seçilen referans seviyesine bağlı olduğunda gerçek anlamda bir basınç değildir. Akışkan ağırlığını basınç üzerindeki etkisini hesaba katar.

$$P + \rho\frac{V^2}{2} + \rho gz = \text{toplam basınç}$$

Bernoulli Denklemi (Enerji Korunumu)

Pitot tüpü ve Piyezometre tüpü su seviyeleri arasındaki fark, hız yüküne eşittir: $V^2/2g$

$$P + \rho\frac{V^2}{2} + \rho gz = sabit$$



Bernoulli denklemi **basınç gösterimi**

- **Statik basınç prizi** ve **pitot tüpü** beraber kullanıldığında akış hızını ölçmek için kullanılır.
- **Statik basıç prizi** basitçe delik düzlemi akış yönüne paralel olacak şekilde bir çepere açılan küçük bir deliktir.
- **Pitot tüpü,** akan akışkanın basınca etkisini tam algılamak için açık ucu akışa karşı yerleştirilmiş küçük bir borudur ve durma basıncını ölçer.

Bernoulli Denklemi (Enerji Korunumu)

Bernoulli denkleminin kullanılabileceği durumlar:

- Sürtünmeler ihmal edilmelidir.
- Akışkan sıkıştırılamaz olmalıdır.
- Dış kuvvet olarak sadece kütle kuvvetleri etki etmelidir.
- Akış daimi rejimde olmalıdır.

$$P + \rho\frac{V^2}{2} + \rho g z = sabit$$

Bernoulli denklemi **basınç** gösterimi **[Pa]**

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = sabit$$

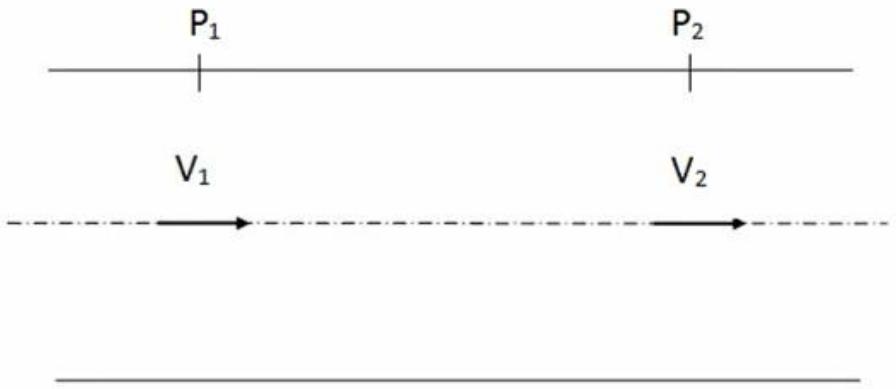
Bernoulli denklemi **birim kütledeki enerji** gösterimi **[m^2/s^2, j/kg]**

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z = sabit$$

Bernoulli denkleminin **uzunluk** gösterimi **[m]**

Bernoulli Denklemi (Enerji Korunumu)

Kayıpsız Bernoulli Denklemi



$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

H_1 H_2

Kayıplı Bernoulli Denklemi

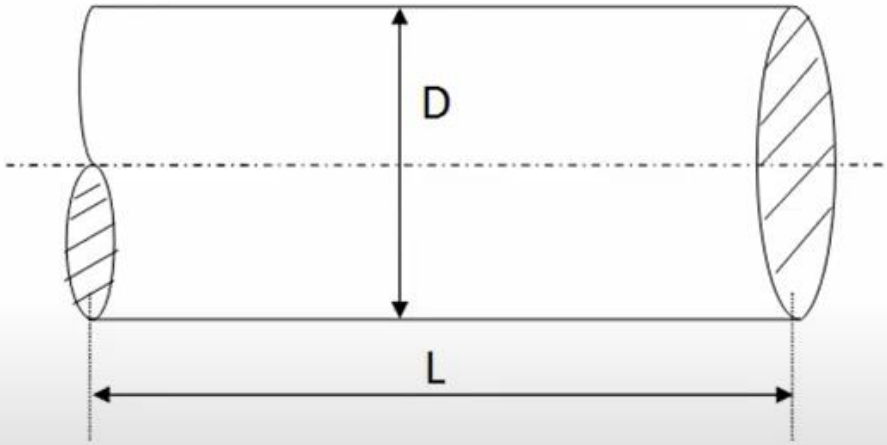
$$H_1 = H_2 + h_{1-2}$$

h_{1-2} : akım çizgisi boyunca (1-2) akışkanın uğradığı **kayıplar**, uzunluk cinsinden

Akışkan taneciğini P noktasından C noktasına V2 /2g değeri kadar yükselttiğimizde C noktasının konumu akışın enerji çizgisini belirler. İdeal akış şartlarında, diğer bir deyişle sürtünmesiz ortamda, C noktasının konumu sabit olup enerji çizgisi yatay durumdadır. Gerçek akış şartlarında, sürtünmenin sebep olduğu enerji kaybı nedeniyle, akışkan içinde ve akış istikametinde farklı iki nokta arasındaki enerji çizgisi azalan bir eğilim gösterir. Bu durumda iki noktadaki enerji çizgisi arasındaki seviye farkı yük kaybı (h) olarak tanımlanır.

Kayıplar

- **Sürekli Yük Kayıpları**: Akış kesici veya akış yön değiştirmediği halde boru şebekeleri boyunca mevcut olabilecek hidrolik devre elemanlarından dolayı çıkan kayıplardır.



$$h \sim \frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

$$h = \lambda \frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

λ: Universal yük katsayısı,
sürekli yük katsayısı
Sürtünme faktörü

Kayıplar

- **Sürekli Yük Kayıpları**:

$$h = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

λ: Universal yük katsayısı,
Sürekli yük katsayısı
Sürtünme faktörü

λ' nin bulunuşu

a) **Yarı ampirik formüller**

- **Türbülanslı Akışlar**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}}\right)$$

k : Pürüzlülük [m], [μm]
Re : Reynolds sayısı

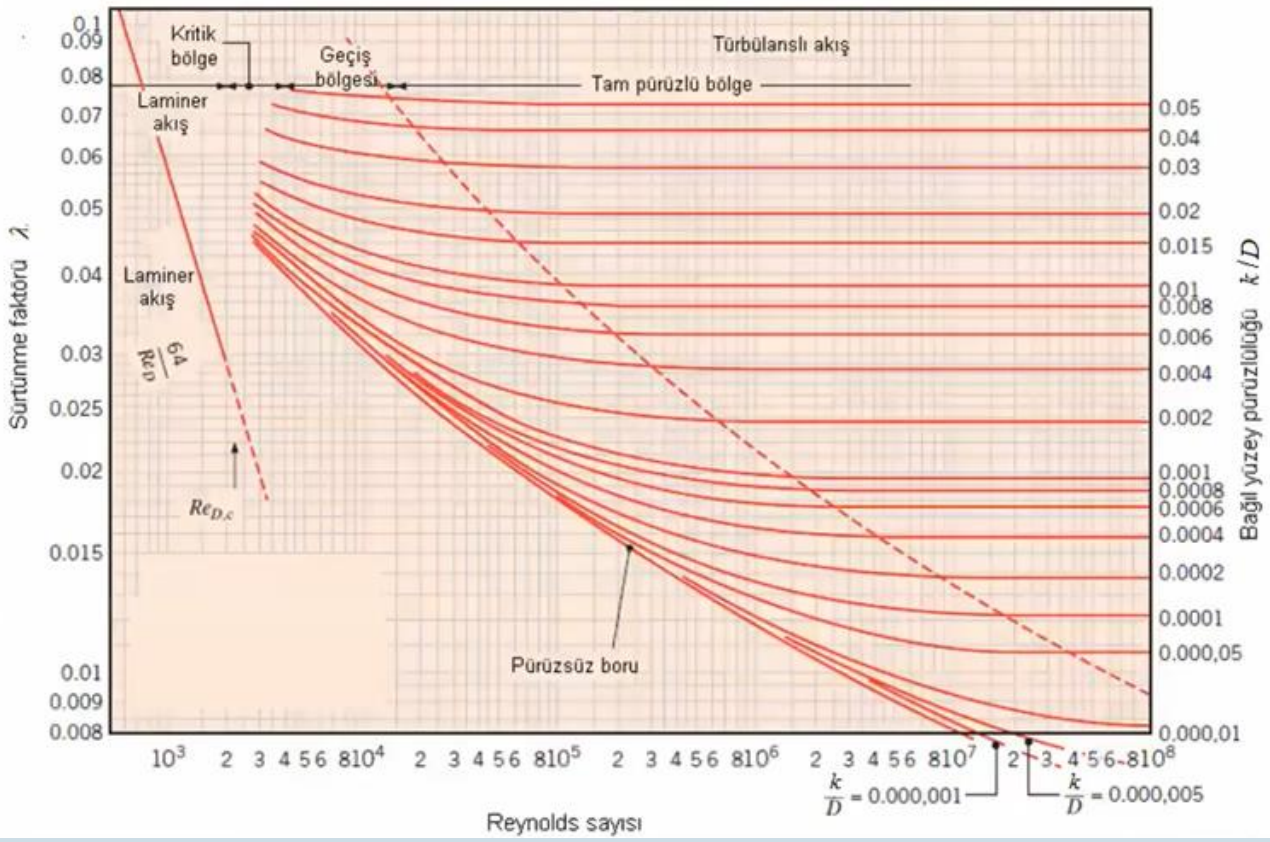
- **Laminer Akışlar**

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

Kayıplar

λ' nin bulunuşu

a) Moddy Diyagramından



$$\lambda = \lambda(\mathrm{Re})$$

Bağıl Pürüzlülük

$$\varepsilon = \frac{k}{D}$$

Kayıplar

λ' nin bulunuşu

Reynolds sayısı;

$$\mathrm{Re} = \frac{VD_h}{\upsilon} = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

D_h	:	Hidrolik çap [m]
ν	:	Kinematik viskozite [m^2/s]
μ	:	Dinamik viskozite [kg/ms]

Hidrolik çap;

$$D_h = \frac{4 \times \text{Islak Kesit alanı}}{\text{Islak çevre}}$$

Borular için;

- Laminer akış : $\mathrm{Re} < 2300$
- Geçiş Bölgesi : $2300 < \mathrm{Re} < 4000$
- Türbülanslı akış : $4000 < \mathrm{Re}$

Kayıplar

Boru veya kanalın genişlediği veya akımın doğrultu değiştirdiği (bükülmüş boru vb.) yerlerde hızın büyüklüğünün ve doğrultusunun değişmesi nedeniyle enerji kayıpları meydana gelir. Bunlar yersel (lokal, yerel) enerji (yük) kayıplarıdır.

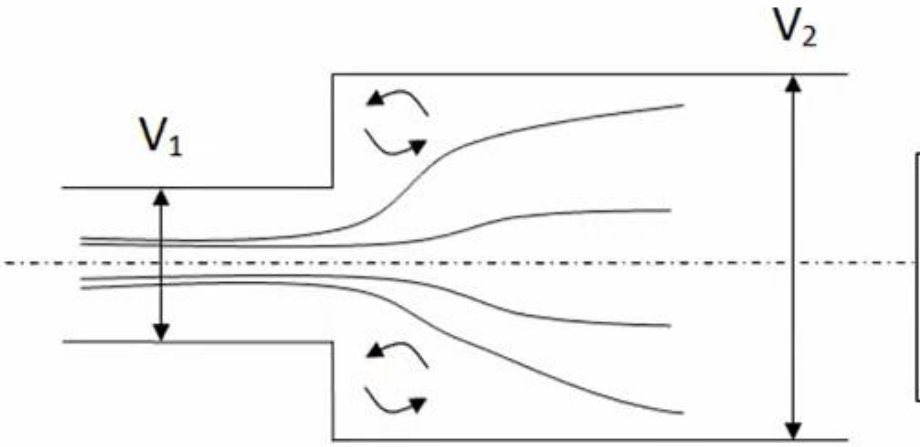
- **Yersel Kayıpları**: Dirsek, vana, t-parçası gibi elemanlarda oluşan kayıplar

$$h = k\frac{V^2}{2g}$$

k: Yersel kayıp katsayısı

Kayıplar

- **Özel Kayıplar**
  1. **Ani Genişleme**



$$h = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

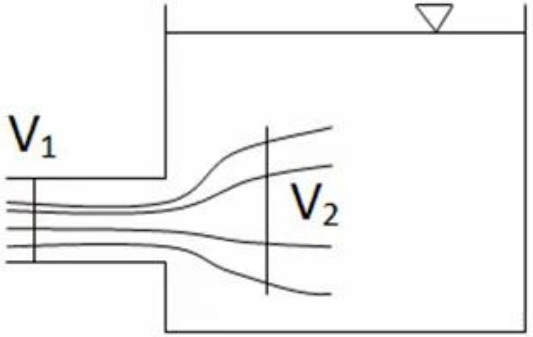
$$Q_1 = Q_2$$

$$\frac{\pi D_1^2}{4} V_1 = \frac{\pi D_2^2}{4} V_2 \Rightarrow V_1 = \frac{D_2^2}{D_1^2} V_2$$

$$h = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \frac{\left(\frac{D_2^2}{D_1^2} V_2 - V_2\right)^2}{2g} = \frac{\left(V_2\left(\frac{D_2^2}{D_1^2} - 1\right)\right)^2}{2g} \Rightarrow h = \left(\frac{D_2^2}{D_1^2} - 1\right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$$

- **Özel Kayıplar**

  2. **Depo Girişi**

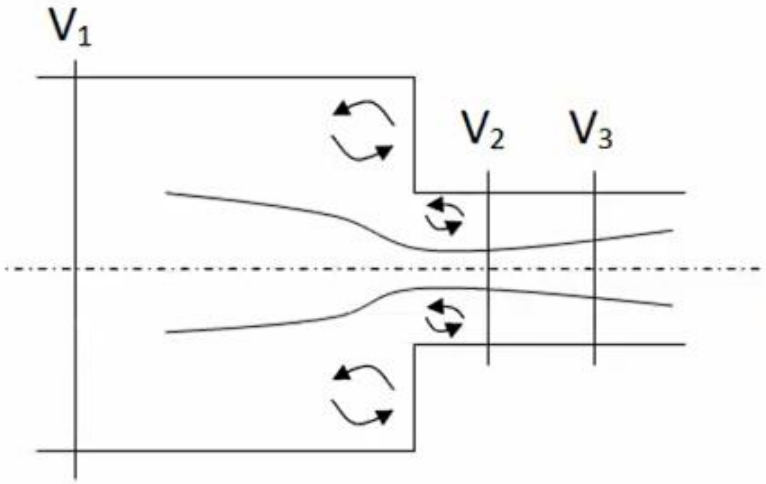


$$h = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \rightarrow \boxed{V_1 \gg V_2} \rightarrow h = \frac{V_1^2}{2g}$$

Kayıplar

- **Özel Kayıplar**

  3. Ani Daralma



4 yerde girdap oluşumu var

$$\mu = \frac{A_2}{A_3}$$

μ: Ani daralma katsayısı

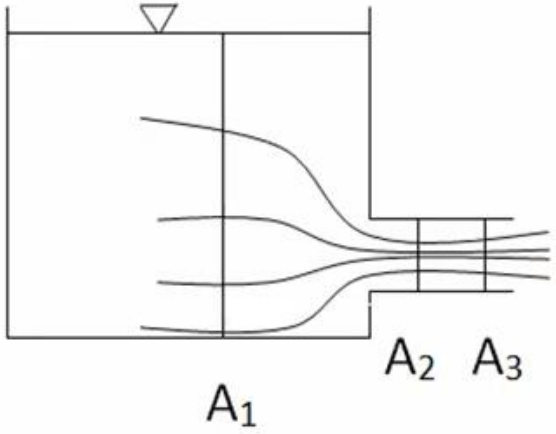
μ, Dar boru ile ilgili katsayısıdır

$$h = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 \frac{V_3^2}{2g}$$

$\frac{A_3}{A_1}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
μ	0.624	0.632	0.649	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892	1

- **Özel Kayıplar**

4. Depo Çıkışı



$$A_1 > A_3 \rightarrow \frac{A_3}{A_1} \cong 0$$

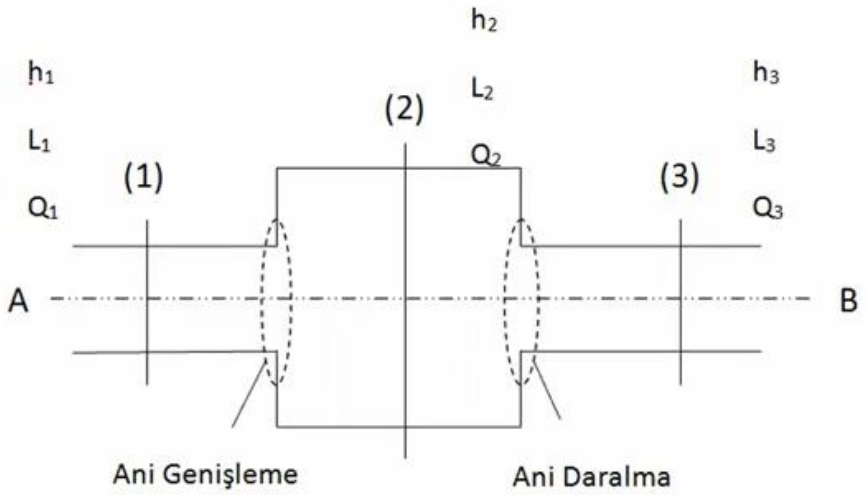
Depo çıkışı için, μ tahmini olarak **0.6** alınır,

$$h = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 \frac{V_3^2}{2g} = \left(\frac{1}{0.6} - 1\right)^2 \frac{V_3^2}{2g} \Rightarrow h \cong 0.5 \frac{V_3^2}{2g}$$

$\frac{A_3}{A_1}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
μ	0.624	0.632	0.649	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892	1

Seri ve Paralel Borularda Kayıplar

- **Seri ve Paralel Bağlı Borularda Kayıplar**
  1. **Seri Bağlı Borular**



$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

$$\sum h_{A-B} = h_1 + h_2 + h_3 + h_{AB(yersel)}$$

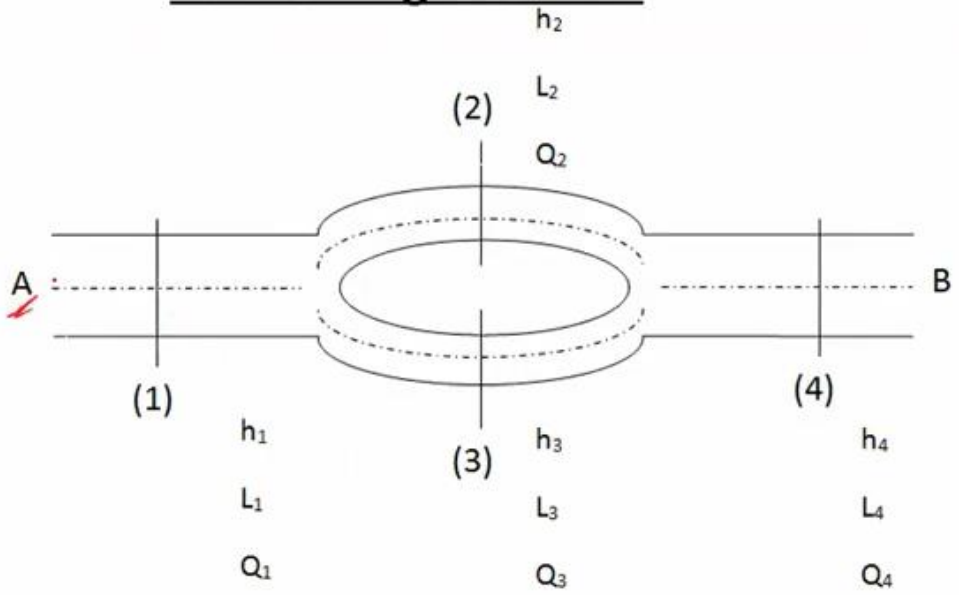
Sürekli yük kayıpları

$$\sum h_{A-B} = \lambda_1 \frac{L_1}{D_1}\frac{V_1^2}{2g} + \lambda_2 \frac{L_2}{D_2}\frac{V_2^2}{2g} + \lambda_3 \frac{L_3}{D_3}\frac{V_3^2}{2g} + \left(\frac{D_2^2}{D_1^2} - 1\right)^2 \frac{V_2^2}{2g} + \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 \frac{V_3^2}{2g}$$

Seri ve Paralel Borularda Kayıplar

- **Seri ve Paralel Bağlı Borularda Kayıplar**

2. Paralel Bağlı Borular



$$Q_1 = Q_2 + Q_3 = Q_4$$

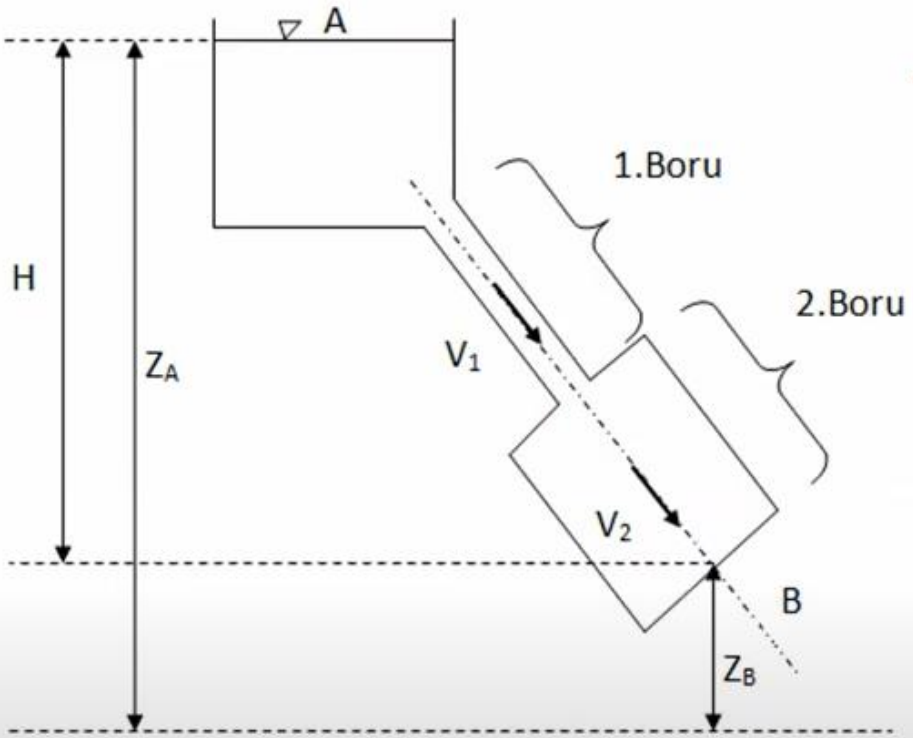
$\sum h_{A-B}$' yı hesaplarken yersel kayıplar ihmal edilsin.

$$\sum h_{A-B} = h_1 + h_2 + h_4$$

$$\sum h_{A-B} = h_1 + h_3 + h_4$$

Çünkü, Bernoulli denklemi bir çizgi üzerinde uygulandığı için birini kullanırız.

SORU-1



$$Q = 3lt/s$$

$$D_1 = 5cm$$
$$L_1 = 1500cm$$
$$\lambda_1 = 0.02$$

$$D_2 = 8cm$$
$$L_2 = 2500cm$$
$$\lambda_2 = 0.03$$

$$H = ?$$

A-B arasında Bernoulli denklemi yazılırsa:

$$\frac{P_A}{\rho g} + z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + z_B + \frac{V_B^2}{2g} + \sum h_{A-B}$$

Varsayımlar:

P_A=0 ve $P_B = 0$ (atmosphere açık olduğu için etkin basınç sıfırdır.)

$V_A = 0$ (boru dışında geniş yüzey olduğu için su hareketinin olmadığı varsayılıyor.)

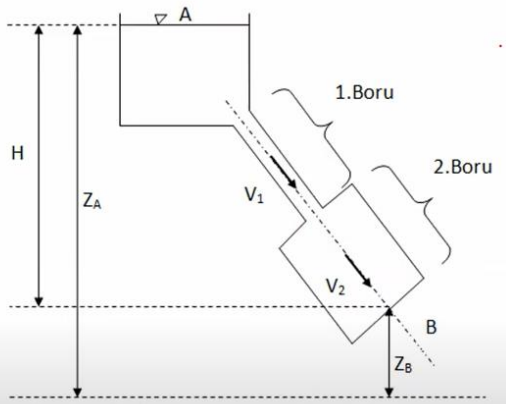
O halde yeni denklem aşağıdaki gibi elde edilir.

$$z_A = z_B + \frac{V_B^2}{2g} + \sum h_{A-B}$$

Düzenleme yapılırsa:

$$z_A - z_B = H = \frac{V_B^2}{2g} + \sum h_{A-B} \text{ olur.}$$

SORU-1



$Q = 3 lt/s$

$D_1 = 5cm$
$L_1 = 1500cm$
$\lambda_1 = 0.02$

$D_2 = 8cm$
$L_2 = 2500cm$
$\lambda_2 = 0.03$

$H = ?$

$V_B = V_2$ hızını bulmak için hacimsel debiden yararlanılacaktır.

$$Q = V_B A_c$$

$$Q = 3\frac{lt}{s} = 3\frac{dm^3}{s} = 3x10^{-3}\frac{m^3}{s} = \frac{\pi D_2^2}{4} x V_B$$

$$3x10^{-3}\frac{m^3}{s} = \frac{\pi(8x10^{-2}\ m)^2}{4} x V_B \Longrightarrow V_B = 0.597\ m/s$$

Aynı şekilde $V_1 = 1.528\frac{m}{s}(boru\ içindeki\ hız)$ hızını da bulabiliriz.

Kayıplar aşağıdaki gibi hesaplanır:

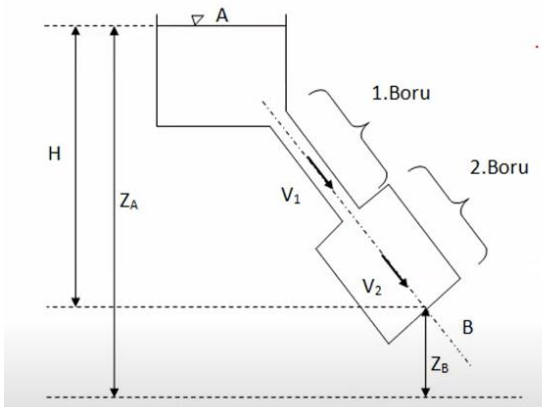
İki farklı kayıp vardır.

Yerel kayıplar,

- Depo çıkışı kaybı (A ile 1. boru arasında)
- Ani genişleme kaybı (1. boru ile 2. boru arasında)

Sürekli kayıplar,

SORU-1



$Q = 3lt/s$

$D_1 = 5cm$
$L_1 = 1500cm$
$\lambda_1 = 0.02$

$D_2 = 8cm$
$L_2 = 2500cm$
$\lambda_2 = 0.03$

$H = ?$

$$\sum h_{A-B} = Sürekli\ kayıplar + Yerel\ kayıplar$$

$$\sum h_{A-B} = \lambda_1 \frac{L_1}{D_1}\frac{V_1^2}{2g} + \lambda_2 \frac{L_2}{D_2}\frac{V_2^2}{2g} + 0.5\frac{V_1^2}{2g} + \left(\frac{D_2^2}{D_1^2} - 1\right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\sum h_{A-B} = 0.02\frac{15\ m}{5x10^{-2}\ m}\frac{(1.528\ m/s)^2}{2x9.81 m/s^2} + 0.03\frac{25\ m}{8x10^{-2}\ m}\frac{(0.597\ m/s)^2}{2x9.81 m/s^2} + 0.5\frac{(0.597\ m/s)^2}{2x9.81 m/s^2} + \left[\left(\frac{(8x10^{-2}\ m)^2}{(5x10^{-2}\ m)^2} - 1\right)^2 \frac{(0.597\ m/s)^2}{2x9.81 m/s^2}\right]$$

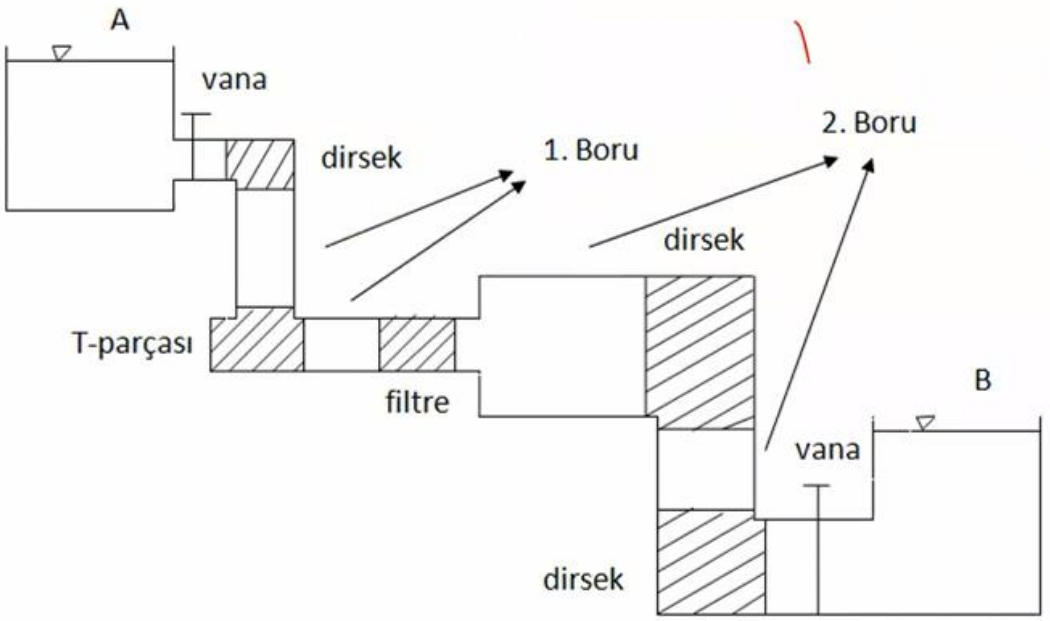
$$\sum h_{A-B} = 0.9006\ m$$

$$z_A - z_B = H = \frac{V_B^2}{2g} + \sum h_{A-B}$$

$$H = \frac{(0.597\ m/s)^2}{2x9.81 m/s^2} + 0.9006\ m = 0.9187\ m$$

ÖDEV-1

$Q = 12 lt/s$



$k_{vana} = 0.53$

$k_{dirsek} = 0.62$

$k_{T-parçası} = 0.44$

$k_{filtre} = 0.58$

$D_1 = 10cm$

$L_1 = 1600cm$

$\lambda_1 = 0.025$

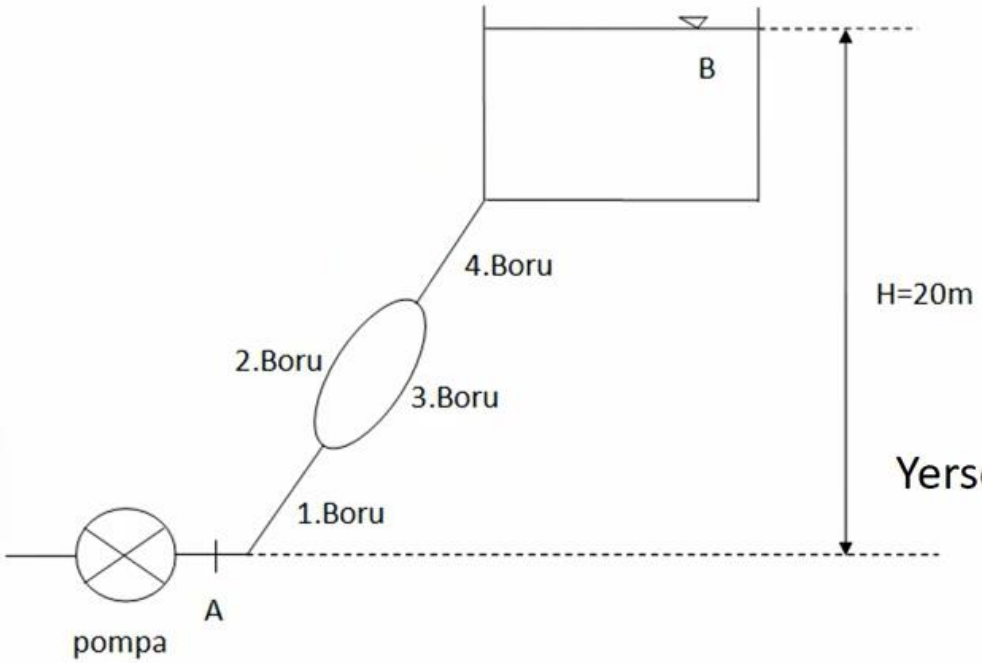
$D_2 = 16cm$

$L_2 = 1200cm$

$\lambda_2 = 0.03$

Depolardaki su seviyeleri arasındaki farkı bulun?

SORU-2



$$Q = 50 lt/s$$
$$D_1 = D_4 = 400mm$$
$$D_2 = D_3 = 200mm$$

$$L_1 = 500m$$
$$L_2 = L_3 = 200m$$
$$L_4 = 400m$$

Yersel kayıplar ihmal edilecek.

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 0.03$$

Şekildeki depo pompa ile basılmaktadır.

(a) Paralel borulardaki kayıpları

(b) A noktası basıncını bulunuz.

(a) 2. boru ve 3. boru birbirine parallel olduğu için yük kayıpları eşittir.

$h_2 = h_3$

Debi eşitlikleri aşağıdaki gibidir.

$Q = Q_1 = Q_2 + Q_3 = Q_4$

Boru çapları aynı olduğundan 2. ve 3. borulardaki hacimsel debiler ikiye bölünür.

$$Q_2 = V_2 A_{2c}\ ,\ 25x10^{-3}\frac{m^3}{s} = \frac{\pi(200x10^{-3}\ m)^2}{4} x V_2 \Longrightarrow V_2 = 0.795\ m/s$$

$$h_2 = \lambda_2 \frac{L_2}{D_2}\frac{V_2^2}{2g} = 0.03\frac{200\ m}{200x10^{-3}\ m}\frac{(0.795\ m/s)^2}{2x9.81 m/s^2} \Longrightarrow h_2 = 0.9663\ m = h_3$$

(b) A-B arasında Bernoulli denklemi yazılırsa;

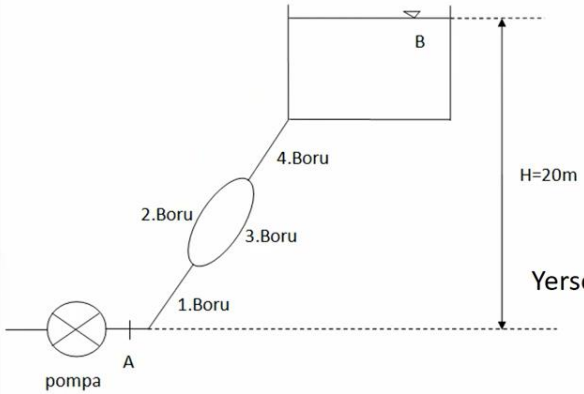
$$\frac{P_A}{\rho g} + z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + z_B + \frac{V_B^2}{2g} + \sum h_{A-B}$$

Varsayımlar:
$P_B = 0$
$V_B = 0$
$V_A = V_1$ alabiliriz.

O halde yeni Bernoulli denklemi aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{P_A}{\rho g} + z_A + \frac{V_1^2}{2g} = z_B + \sum h_{A-B}$$

SORU-2



$Q = 50 lt/s$
$D_1 = D_4 = 400mm$
$D_2 = D_3 = 200mm$

$L_1 = 500m$
$L_2 = L_3 = 200m$
$L_4 = 400m$

Yersel kayıplar ihmal edilecek.

$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 0.03$

Şekildeki depo pompa ile basılmaktadır.
(a) Paralel borulardaki kayıpları
(b) A noktası basıncını bulunuz.

$$\frac{P_A}{\rho g} = z_B - z_A - \frac{V_1^2}{2g} + \sum h_{A-B}$$

$$\frac{P_A}{\rho g} = H - \frac{V_1^2}{2g} + (h_1 + h_2 = h_3 + h_4)$$

Debilerden hızları bulalım.

$$Q = V_1 A_{1c}\ ,\ 50x10^{-3}\frac{m^3}{s} = \frac{\pi(400x10^{-3}\ m)^2}{4} x V_1 \Longrightarrow V_1 = 0.397\ m/s$$

$$Q = V_4 A_{4c}\ ,\ 50x10^{-3}\frac{m^3}{s} = \frac{\pi(400x10^{-3}\ m)^2}{4} x V_4 \Longrightarrow V_4 = 0.397\ m/s$$

Kayıplar;

$$h_1 = \lambda_1 \frac{L_1}{D_1}\frac{V_1^2}{2g} = 0.03\frac{500\ m}{400x10^{-3}\ m}\frac{(0.397\ m/s)^2}{2x9.81 m/s^2} = 0.3012\ m$$

$$h_2 = \lambda_2 \frac{L_2}{D_2}\frac{V_2^2}{2g} = 0.03\frac{200\ m}{200x10^{-3}\ m}\frac{(0.795\ m/s)^2}{2x9.81 m/s^2} = 0.9663\ m$$

$$h_4 = \lambda_4 \frac{L_4}{D_4}\frac{V_4^2}{2g} = 0.03\frac{400\ m}{400x10^{-3}\ m}\frac{(0.397\ m/s)^2}{2x9.81 m/s^2} = 0.2409\ m$$

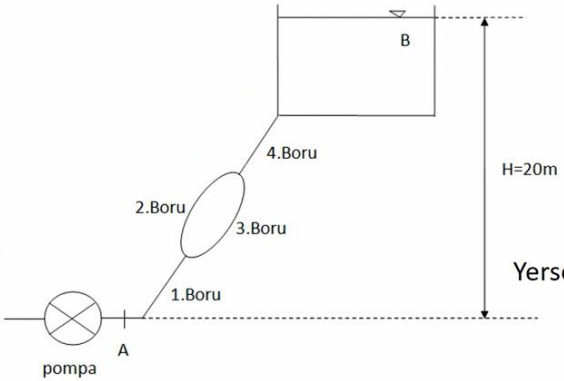
P_A basıncını bulmak için;

$$\frac{P_A}{\rho g} = H - \frac{V_1^2}{2g} + (h_1 + h_2 = h_3 + h_4)$$

$$\frac{P_A}{1000\frac{m^3}{s}x9.81\ m/s^2} = 20\ m - \frac{(0.397\ m/s)^2}{2x9.81 m/s^2} + (0.3012\ m + 0.9663\ m + 0.2409\ m)$$

$$P_A = 210918.6\ Pa$$

SORU-2



$Q = 50 lt/s$
$D_1 = D_4 = 400mm$
$D_2 = D_3 = 200mm$

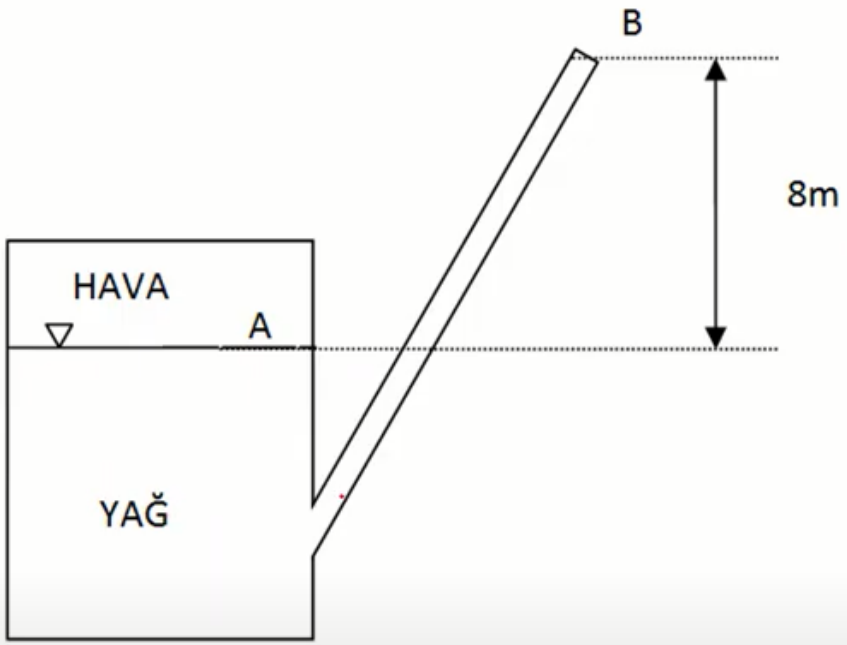
$L_1 = 500m$
$L_2 = L_3 = 200m$
$L_4 = 400m$

Yersel kayıplar ihmal edilecek.

$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 0.03$

Şekildeki depo pompa ile basılmaktadır.
(a) Paralel borulardaki kayıpları
(b) A noktası basıncını bulunuz.

SORU-3



$$L = 200m$$
$$D = 100mm$$
$$\lambda = 0.0235$$
$$Q = 0.014 m^3/s$$
$$\rho_{yağ} = 850 kg/m^3$$
$$\upsilon_{yağ} = 2.11 \times 10^{-6} m^2/s$$

Şekildeki sistemde yağ A noktasından B noktasına taşınıyor.

(a) Akış hızını

(b) Akış karakteristiğini

(c) A noktası basıncını bulunuz.

a) $Q = \frac{\pi D^2}{4} V \Rightarrow 0{,}014\ m^3/s = \frac{\pi (0{,}1\ m)^2}{4} V$

$V = 1{,}782\ m/s$

b) $Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} = \frac{1{,}787\ 0{,}1\ m}{2{,}11 \times 10^{-6}\ m^2/s} = 84691{,}9$

Türbülans

D atmosfere açılım.

c) $\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B + \sum h_{A-B}$

$\sum h_{A-B} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 0{,}0235 \frac{200\ m}{0{,}1\ m} \frac{(1{,}782\ m/s)^2}{2\ 9{,}81\ m/s^2} = 7{,}607\ m$

$\frac{P_A}{\rho g} = z_B - z_A - \frac{V_B^2}{2g} - \sum h_{A-B}$

$\frac{P_A}{\rho g} = 8\ m + \frac{(1{,}782\ m/s)^2}{2\ 9{,}81\ m/s^2} + 7{,}607\ m = 15{,}765\ m$

$P_A = 15{,}765\ \rho_{yag}\ 9{,}81\ m/s^2 = 131481{,}46\ P_G$

$\rho_{yag} = 850\ kg/m^3$

Any questions???