

## Boru sistemindeki kayıplar

### 1 - Linear kayıplar (Düz boru kayıpları)

Uzun, silindirik ve düz her boruda su akımı üzerinde enerji kaybını, hız enerjisi ve boru uzunluğu ile doğru orantılı, boru çapı ters orantılı olarak değişir. Sürtünme faktörü  $f$  boru pürüzlülüğüne ve hız, boru çapına ve viskoziteye bağlıdır.

$$h_{k_{linear}} = f \cdot \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad , \quad Q = A \cdot V = \pi \frac{D^2}{4} \cdot V$$

$$h_{k_{linear}} = f \frac{16}{\pi^2} \frac{Q^2}{D^5 \cdot 2g} = 0.08263 \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5} \text{ (mss)}$$

$$f = f(Re)$$

$$Re = 2320 \rightarrow f = \frac{64}{Re}$$

$$Re > 10^5 \rightarrow f = \frac{0.316}{\sqrt[4]{Re}} \text{ (Blasius denklemi)}$$

$$Re > 10^6 \rightarrow f = 0.0054 + \frac{0.396}{Re^{0.3}} \text{ (Hermann denklemi)}$$

$$Re = 10^5 - 10^8 \rightarrow f = 0.0032 + \frac{0.221}{Re^{0.237}} \text{ (Nikuradze denklemi)}$$

$$Re = \frac{\text{atalet kuvvetleri}}{\text{vizkozite kuvvetleri}}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \begin{array}{l} \text{Akış hızı} \\ \nu \rightarrow \text{Kinetik vizkozite} \end{array}$$

### 2 - Lokal Kayıplar

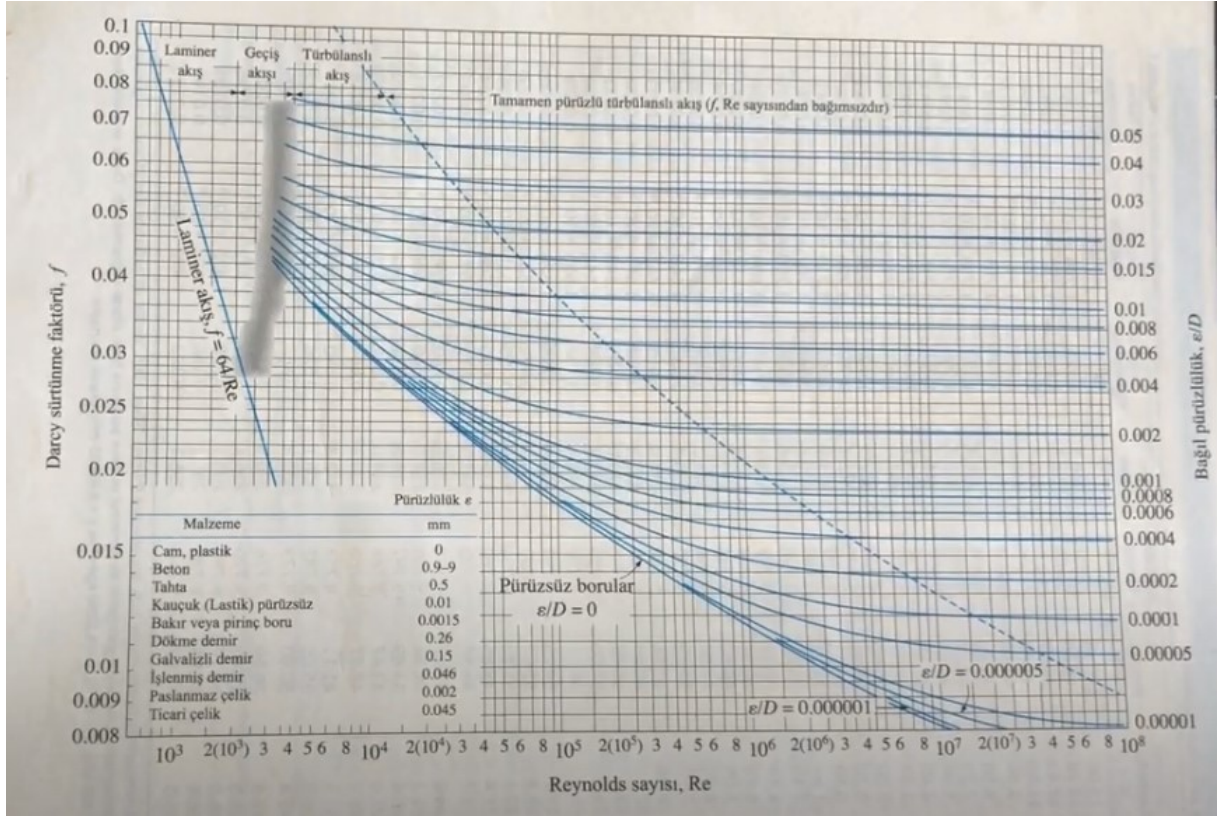
Bu tür kayıplar boru sisteminde, yön değiştirme manşet, ratar, dirsek, vanalar, Gekvalf gibi tüm elemanlardan meydana gelir.

$$h_{k_{local}} = k \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$\rightarrow$  eleman kayıp katsayısı

#### Lokal kayıplar

1. Boru giriş ve çıkış
2. Ani genişleme veya daralma
3. Kıvrımlar dirsekler t'ler diğer bağlantı elemanları
4. Vanalar, açıl veya kısmi kapalı
5. Sürekli genişleme veya daralmalar



Yük kaybı bağıntısı  $h_k = f \frac{LV^2}{D \cdot 2 \cdot g}$  kullanılmak üzere dairesel borulardaki tam gelişmiş akışa ait sürtünme faktörü için Moody diyagramı. Türbülanslı akıştaki sürtünme faktörü, diyagram aşağıdaki Colebrook denklemi den elde edilmiştir.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon / d}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

### Pompa Verimleri

Akışkana aktarılan güç özpül apırlık, hacimsel debi ve net pompa basma yüksekliğinin çarpımına eşittir.

$$W_h = \rho g Q H \quad (\text{hidrolik güç})$$

$$Q = \text{hacimsel debi} = A \cdot V$$

$$H = \text{Toplam net yük} \Rightarrow H = \left( \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + z \right)_2 - \left( \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + z \right)_1 + \Sigma h_k.$$

Pompayı çalıştırmak için gerekli güç efektif güç (etkin) ise (milpücü)

$$W_e = \frac{W_h}{\eta_{mil}}$$

$\omega \rightarrow$  milin açısal hızı

$T_{mil} \rightarrow$  mil momenti

$$\text{Pompa verimi} \quad \eta_p = \frac{W_h}{W_e} = \frac{\rho g Q H}{\omega \cdot T_{mil}}$$

Pompa tasarımının amacı  $\eta_p$  mümkün olan en büyük  $Q$  aralığında mümkün olan en büyük değere tutmaktır.

Genel pompa verimi üç bileşenden oluşur.

\* Hacimsel verim

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + Q_L}$$

,  $Q_L \rightarrow$  Çark ve gövde arasındaki boşluklardan kaçan debi

\* Hidrolik verim :

$$\eta_h = 1 - \frac{h_f}{h_s}$$

$h_f \rightarrow$  kayıplar yük formunda

$h_s \rightarrow$  Çarka verilen enerji yük formunda

\* mekanik verim

$$\eta_m = 1 - \frac{W_{lf}}{W_{mil}}$$

$W_{lf} \rightarrow$  yataklarda, salmastralarda ve makinenin içinde yer alan diğer sürtünme kayıpları

Pompanın genel verimi

$$\eta_p = \eta_v \cdot \eta_h \cdot \eta_m \quad \text{formülüne eşit olur.}$$

\* Jeneratör verimi

$$\eta_{\text{jeneratör}} = \frac{\text{Alınan Elektriksel Güç}}{\text{Verilen Mekanik Güç}} = \frac{W_{\text{lekt, çıkan}}}{W_{\text{mil, girer}}}$$

\* Pompa - Motor grubunun verimi

$$\eta_{\text{pompa-motor}} = \eta_{\text{pompa}} \cdot \eta_{\text{motor}} = \frac{W_{\text{pompa, f}}}{W_{\text{lekt, girer}}} = \frac{\Delta E_{\text{mek, atış}}}{W_{\text{lekt, girer}}}$$

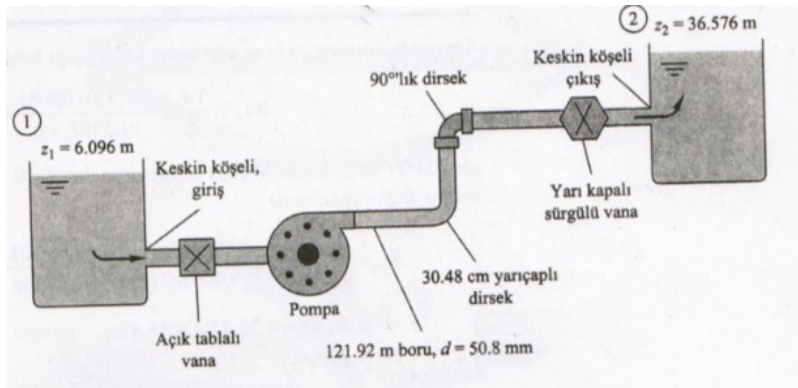
\* Türbin - Jeneratör grubunun verimi

$$\eta_{\text{türbin-jen}} = \eta_{\text{türbin}} \cdot \eta_{\text{jen}} = \frac{W_{\text{lekt, çıkan}}}{W_{\text{türbin, g}} \cdot \eta_{\text{jen}}} = \frac{W_{\text{lekt, çıkan}}}{\Delta E_{\text{mek, atış}}}$$



Örnek:

$\rho=999.8876 \text{ kg/m}^3$ ,  $\nu=1.0219 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  değerlerine sahip su  $5.664 \text{ L/s}$  debisinde şekilde görüldüğü gibi  $121.92 \text{ m}$  uzunluğunda ve  $5.08 \text{ cm}$  çapındaki bir boru içinden geçerek bir depodan diğerine pompalanmaktadır. Sistemdeki yerel kayıplardan bazıları şekil üzerinde gösterilmiştir. Bağlı pürüzlülük  $\epsilon/D=0.001$  dir. Pompanın etkin gücünü bulunuz. Pompa verimini %70 alınız.



Çözüm:

① ve ② kesit arasında daimi akış enerji denklemi yazarsak:

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

$$H_p = (z_2 - z_1) + \sum h_k = (z_2 - z_1) + \frac{V^2}{2g} \left[ \underbrace{f \cdot \frac{L}{D}}_{\text{sürekli}} + \underbrace{\sum K}_{\text{lokal}} \right]$$

Keskin köşeli giriş :  $K_g = 0.5$   
 Açık tablalı vana :  $K_v = 6.9$   
 30.48 cm yarıçaplı dirsek :  $K_d = 0.15$   
 90° dirsek :  $K_a = 0.95$   
 Yarı kapalı sürgülü vana :  $K_v = 2.7$   
 Keskin köşeli çıkış :  $K_v = 0.0$   
 $\sum K = 12.2$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{5.664 \times 10^{-3}}{\frac{\pi}{4} \cdot 0.0508^2} = 2.79 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{2.79 \cdot 0.0508}{1.0219 \times 10^{-6}} = 138695$$

$\epsilon/d = 0.001$  Moody diyagramı  
 $f = 0.0216$



$$H_p = 36.57 - 6.096 + \frac{2.79^2}{19.62} \left[ 0.0216 \cdot \frac{121.92}{0.0508} + 12.2 \right]$$

$H_p = 55.89 \text{ m}$  pompa yükü

Pompanın suya aktardığı güç ise

$$W_{in} = \rho g Q H_p = 999.8876 \cdot 9.807 \cdot 5.664 \times 10^{-3} \cdot 55.89$$

$$W_{in} = 3104 \text{ W}$$

Pompa verimini %70 kabul edersek

$$W_{mil} = W_{etkin} = \frac{W_{in}}{0.7} = 4434 \text{ W}$$

ÖRNEK: Bir pompa 20°C'deki suyu 1500 L/dak debi ile 270 kPa karşı basınca sahip bir depoya basmaktadır. APE ve ΔKE ihmal edilebilir. Pompayı çalıştıran motor 9 kW efektif güç sağlıyorsa genel verim nedir?

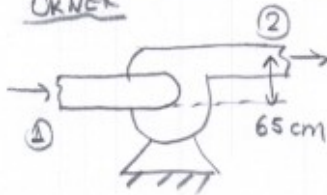
$$W_h = \rho \dot{Q} H = Q \cdot \Delta P$$

$$P = \rho g h$$

$$W_h = \left( \frac{1500 \cdot \frac{L}{\cancel{d}}}{60 \cdot \frac{s}{\cancel{d}}} \right) \left( \frac{1 m^3}{1000 \cancel{L}} \right) \cdot 270 kPa = 6,75 kW$$

$$\eta_p = \frac{W_h}{W_e} = \frac{6,75}{9} = 0,75, \quad \%75$$

ÖRNEK



Şekilde gösterilen bir santrifüj pompa testinde, aşağıdaki veriler alınmıştır.

$$P_1 = 100 \text{ mmHg (vacum)}, \quad P_2 = 500 \text{ mmHg (etkin)}, \quad P_H = 13592 \frac{kg}{m^2}$$

Boru çapları  $D_1 = 12 \text{ cm}$ ,  $D_2 = 5 \text{ cm}$ , akışkan

$\rho = 0,90$  olan hafif yağ, debisi  $11,356 \text{ L/s}$  dir.

a) Pompanın basma yüksekliğini (m), b) Veriminin  $\%75$  olması durumunda mil gücünü bulunuz.

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_1^2} = 1 \text{ m/s} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta \text{ ve } 2 \text{ arasında enerji denklemi!} \\ \text{yararsak ve} \end{array} \right.$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = 5,79 \text{ m/s}$$

$$H = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 - \left( \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 \right) = \frac{66658}{8829} + \frac{5,79^2}{2 \cdot 9,81} + 0,65 - \left[ \frac{-13332}{8829} + \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} + 0 \right]$$

a)  $H = 11,36 \text{ m}$

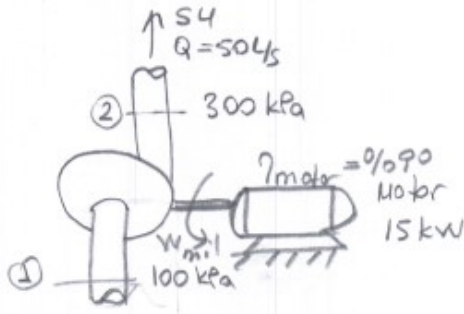
b)  $W_h = \rho g Q H = 1139 \text{ W}$

$$\eta_p = \frac{W_h}{W_{mil}} \rightarrow W_{mil} = \frac{W_h}{\eta_p} = \frac{1139}{0,75} = 1518 \text{ W}$$

### ÖRNEK

Bir su dağıtım şebekesinin pompası %90 verime sahip 15kW'lık elektrik motoru ile çalışmaktadır. Pompa debisi 50 L/s olarak verilmektedir. Pompanın giriş ve çıkış kapları aynıdır. Pompa boyunca yükseklik farkı ihmal edilebilir. Pompanın giriş ve çıkışındaki mutlak basınçlar sırasıyla 100 kPa ve 300 kPa olarak bildirilmiştir. göre a) Pompanın verimini bulunuz.

b) Pompa içerisinden geçen mekanik verimsizlikten dolayı suyun sıcaklığında meydana gelen artışı belirleyiniz.



a) Pompa verimi

$$\eta_p = \frac{W_{fh}}{W_{mil}}$$

① ve ② arasında enerji denklemini yazarsak

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + \cancel{z_1} + H_p = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + \cancel{z_2} + \cancel{z h_k} \quad \begin{matrix} \uparrow \text{hnel} \\ \uparrow \text{yok} \end{matrix}$$

Göpler eşit

$$\rho = \rho \cdot g$$

$$H_p = \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) = \frac{(300 - 100) \frac{\text{kPa}}{\text{m}^2}}{(1000) \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 20,38 \text{ m}$$

$$W_h = \rho g Q H_p = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 50 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 20,38 \text{ m}$$

$$W_h = 10000 \text{ W} = 10 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{motor}} = \frac{W_{\text{mil}}}{W_{\text{motor}}} \rightarrow W_{\text{mil}} = \eta_{\text{motor}} \cdot W_{\text{motor}}$$

$$W_{\text{mil}} = 0,90 \cdot 15 \text{ kW} = 13,5 \text{ kW}$$

$$a) \quad \eta_p = \frac{W_h}{W_{\text{mil}}} = \frac{10 \text{ kW}}{13,5 \text{ kW}} = 0,74 \text{ (\%74)}$$

b) Kayıp olan ve ısıya dönüşen enerji

$$W_{\text{kayıp}} = W_{\text{mil}} - W_h = 13,5 - 10 = 3,5 \text{ kW}$$

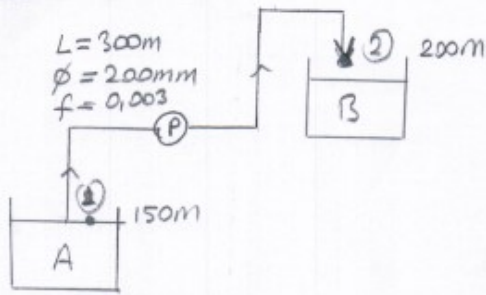
$$W_{\text{kayıp}} = \dot{m}(u_2 - u_1) = \dot{m} c \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{3,5 \text{ kW}}{50 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} = 0,017 ^\circ\text{C}$$

Su pompadan geçerken ısınmaktadır.



ÖRNEK:



pompa A tankından B

tankına bağlı yopunludur

$\eta = 0.87$  olan yağ basmaktadır.

$Q = 0.244 \text{ m}^3/\text{s}$  pompa verimi

pompa gücünü bulunuz.  
(Yerel kayıplar ihmal)

$$Q = V \cdot A \quad V = \frac{Q}{A} = \frac{0.244}{\frac{\pi}{4} 0.2^2} = 7.77 \text{ m/s}$$

① ile ② arasında enerji denklemini yazarsak

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

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

$$P_1 = P_2 = P_{at} \quad , \quad V_1 = 0$$

$$150 + H_p = \frac{7.77^2}{19.62} + 200 + 0.003 \cdot \frac{300}{0.2} \cdot \frac{7.77^2}{19.62}$$

$$H_p = 66.92 \text{ m}$$

$$W_{\text{mit}} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_p}{\eta_p} = \frac{0.87 \cdot 9810 \cdot 0.244 \cdot 66.92}{0.78}$$

$$W_{\text{mit}} = 178664.9 \text{ W} = 178.66 \text{ kW} \quad (\text{Pompanın gücü})$$