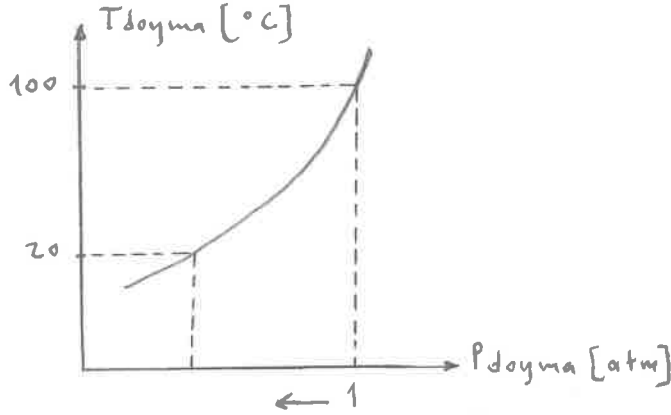


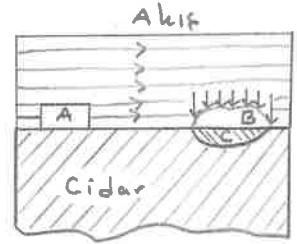
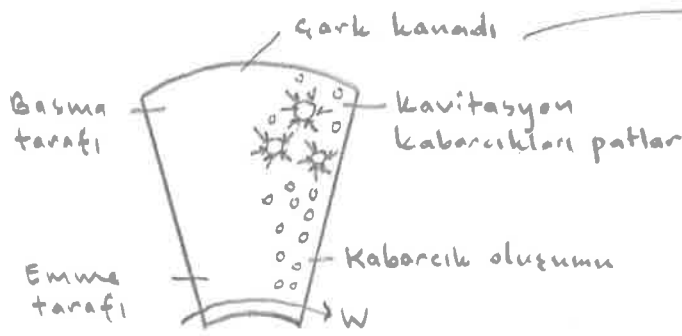
8. POMPALARDA KAVİTASYON

8.1. Genel Bilgiler

Sıvılar pompalanırken pompa içerisindeki yerel basıncın sıvıya ait buhar basıncının (P_v) altına düşmesi olasıdır, (P_v : doyma basıncı, P_{doyma} olarak ta adlandırılır ve doyma sıcaklığının bir fonksiyonu olarak termodinamik tablolarında yer alır.)



$P < P_v$ olduğunda kavitasyon kabarcıkları denen içi buhar dolu kabarcıklar oluşur. Diğer bir deyişle sıvı yerel olarak kaynar ve bu durum tipik olarak basıncın en düşük olduğu dönel çark kanatlarının emme tarafında gerçekleşir.



Kavitasyon olayının meydana gelmesi

Bir çark kanadının emme tarafında oluşan ve patlayan kavitasyon kabarcıkları

→ Kanat paslanmaz çelikten yapılabilir.

→ Kaplama ve ısıtma işlemiyle malzemeler daha dayanıklı hale getirilebilir.

Bu şekilde cidarın ömrü uzatılabilir.

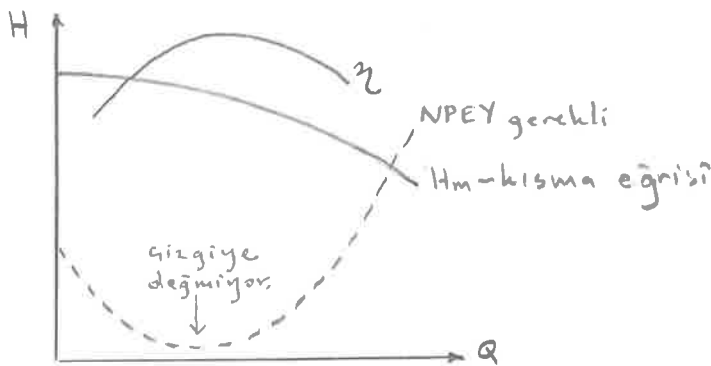
8.2. Pompalarda Emme Yüksekliği

Basınç, en kolay pompa girişinde ölçüldüğünden kavitasyon ölçütü genellikle pompa girişinde belirtilir. Bu amaçla net pozitif emme yükü (NPEY) adı verilen ve pompa girişindeki durma basıncı yükü ile buhar basıncı yükü arasındaki fark olarak tanımlanan bir akış parametresi kullanılır. NPEY açık formda,

$$NPEY = \left[\frac{P}{\gamma} + \frac{C^2}{2g} \right]_{\text{pompa girişi}} - \frac{P_v}{\gamma} \quad (*)$$

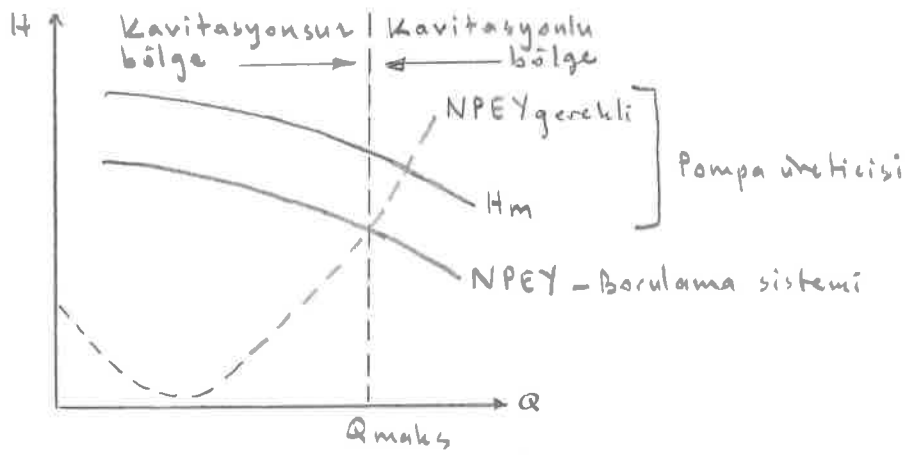
esitliğiyle temsil edilir.

Pompa üreticileri bir pompa test ünitesinde kontrollü bir biçimde hacimsel debiyi ve giriş basıncını değiştirerek pompalarını kavitasyon açısından test ederler. Bu amaçla verilen bir debi ve su sıcaklığında pompa girişindeki basıncı pompa içerisinde herhangi bir yerde kavitasyon oluşuncaya kadar yavaşça düşürürler. NPEY değerleri yukarıdaki denklemden hesaplanarak verilen şart için kaydedilir. Bu işlem farklı debilerde tekrarlanır. Bunun ardından pompa üreticisi gerekli net pozitif emme yükü (NPEY_{gerekli}) adı verilen pompa kavitasyon oluşmaması için gerekli minimum NPEY olarak adlandırılan bir performans parametresi yayımlar. NPEY_{gerekli}'nin ölçülen değeri hacimsel debi ile değişir ve dolayısıyla NPEY_{gerekli} genellikle aynı performans eğrisi üzerinde net yük olarak çizilir. Pompanın çok verimli çalışmadığı debilerde NPEY_{gerekli} genellikle hacimsel debiyle artar.



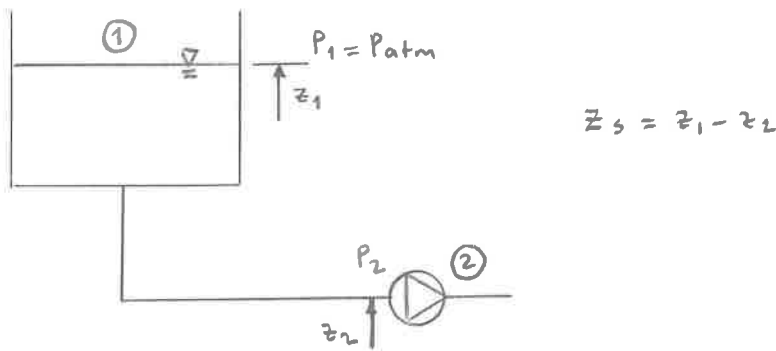
Bir pompanın kavitasyona uğramadığından emin olmak için gerçek veya kullanılabilir NPEY, NPEY_{gerekli}'den daha büyük olmalıdır. NPEY'nin yalnızca debi ile değil, P_v sıcaklığın bir fonksiyonu olduğundan sıvı sıcaklığıyla da değiştiğine dikkat edilmelidir. NPEY ayrıca pompanın serimin türüne de bağlıdır. Zira her bir sıvı için farklı $P_v - T$ eğrileri vardır. Girişin yukarı akımındaki borulama sisteminde oluşan yük kayıpları debi ile arttığından pompa girişindeki durma basıncı yükü debiyle azalır.

Böylelikle şekilde gösterildiği gibi NPEY, hacimsel debiyle azalır.



Gerçekleşen NPEY eğrisiyle, NPEY gerekli'nin kesiştiği debi belirtilerek kaviteasyona uğramaksızın pompa tarafından basılabilecek maksimum hacimsel debi belirlenir. Emme borusunun konumuna bağlı olarak gerçekleşen NPEY farklı düzenlemeler gerektirir.

A. Pompa Depodan Aşağıda



Serbest sıvı yüzeyi ile pompa girişi arasında enerjinin korunumu prensibi uygulanırsa;

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2g} + z_2 + h_k(1-2)$$

↑ Pompa girişindeki basınç yükü

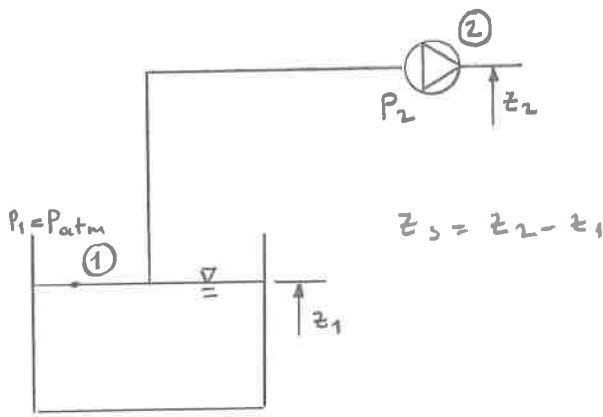
$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_{atm}}{\gamma} + \underbrace{(z_1 - z_2)}_{z_s} - \frac{C_2^2}{2g} - h_k(1-2) \geq \frac{P_v}{\gamma} \quad \text{olmalı}$$

$$\rightarrow NPEY = \left[\frac{P_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2g} \right] - \frac{P_v}{\gamma} \geq NPEY_{gerekli}$$

$$NPEY = \frac{P_{atm} - P_v}{\gamma} + z_s - h_k(1-2) \geq NPEY_{gerekli}$$

elde edilir. Mevcut düzenleme için kaviteasyon ihtimali düşüktür. Kaviteasyon oluşmaması için debi azaltılabilir, yerel kayıp katsayıları daha düşük bağlam elemanları kullanılabilir, sürekli kayıp katsayısı daha düşük borular kullanılabilir, aap büyütülebilir veya kot farkı (z_s) artırılabilir.

B, Pompa Depodan Yukarıda



Mevcut düzenlemede kavitasyon ihtimali fazladır. Benzer şekilde ① ve ② istasyonları arasında enerjinin korunumu prensibi uygulanırsa;

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2g} + z_2 + h_k(1-2)$$

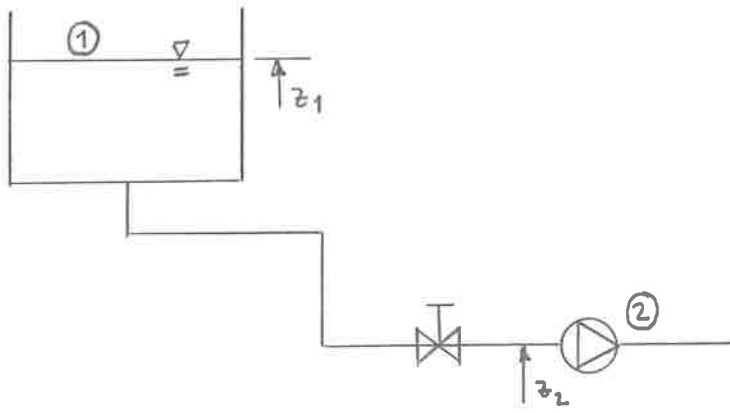
$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_{atm}}{\gamma} + \underbrace{(z_1 - z_2)}_{-z_s} - \frac{C_2^2}{2g} - h_k(1-2) \geq \frac{P_v}{\gamma} \text{ olmalı}$$

$$NPEY = \frac{P_{atm} - P_v}{\gamma} - z_s - h_k(1-2) \geq NPEY_{gerekli}$$

elde edilir. Kavitasyon oluşmaması için kot farkı azaltılabilir, kayıpları azaltıcı tedbirler alınabilir, debi azaltılabilir, çap büyütülebilir.

ÖRNEK 8.1. 229 mm çark çapına sahip Taca Model 4013 F1 serisi merkezkaç pompa, su yüzeyi pompa su girişinin merkezinden 1,22 m yukarıda bulunan bir depodan 25°C sıcaklığındaki suyu pompalamak için kullanılmaktadır. Pompadan depoya kadar olan 3,2 m boyundaki borulama sistemi, 101,6 mm iç çapa ve 0,51 mm ortalama iç pürüzlülük yüksekliğine sahip dökme demir borudan oluşmaktadır. Borulama sisteminde yer alan bağlantı elemanlarına ait kayıp katsayıları $k_{giris} = 0,5$, $k_{dmsk} = 0,3$ ve $k_{vana} = 6$ şeklindedir. Buna göre kavitasyonsuz olarak pompalanabilecek maksimum debiyi hesaplayınız. Maksimum debinin kavitasyona izin vermeden nasıl arttırılacağını irdelleyiniz.

$$\begin{aligned} T = 25^\circ\text{C}'\text{daki su için } \rho &= 997 \text{ kg/m}^3 \\ \mu &= 8,91 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s} \\ P_v &= 3,169 \text{ kPa} \\ P_{atm} &= 101,3 \text{ kPa} \end{aligned}$$



① ve ② nolu istasyonlar arasında enerjinin korunumu prensibi uygulanırsa;

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2g} + z_2 + h_k(1-2)$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_{atm}}{\gamma} + (z_1 - z_2) - \frac{C_2^2}{2g} - h_k(1-2)$$

$$NPEY = \frac{P_{atm} - P_v}{\gamma} + (z_1 - z_2) - h_k(1-2)$$

$$\text{Yük kaybı } h_k(1-2) = \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum k \right) \frac{C_2^2}{2g} \quad \left[\begin{array}{l} \sum k = k_{gir} + 3k_{dir} + k_{vana} \\ \sum k = 0,5 + 3 \times 0,3 + 6 = 7,4 \end{array} \right]$$

Keyfi bir hacimsel debi değeri, pompa üreticisinin yayınlamış olduğu NPEY gerekliliği - Q eğrisi esas alınarak $Q = 25,23 \text{ lt/s}$ olarak seçilmiştir.

$$C_2 = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} = 3,112 \text{ m/s}, \quad Re = \frac{\rho C_2 D}{\mu} = 3,538 \times 10^5 \quad \left. \begin{array}{l} \text{Moody} \\ \text{diyagramından} \\ \lambda = f = 0,0306 \\ \text{okunur,} \end{array} \right\}$$

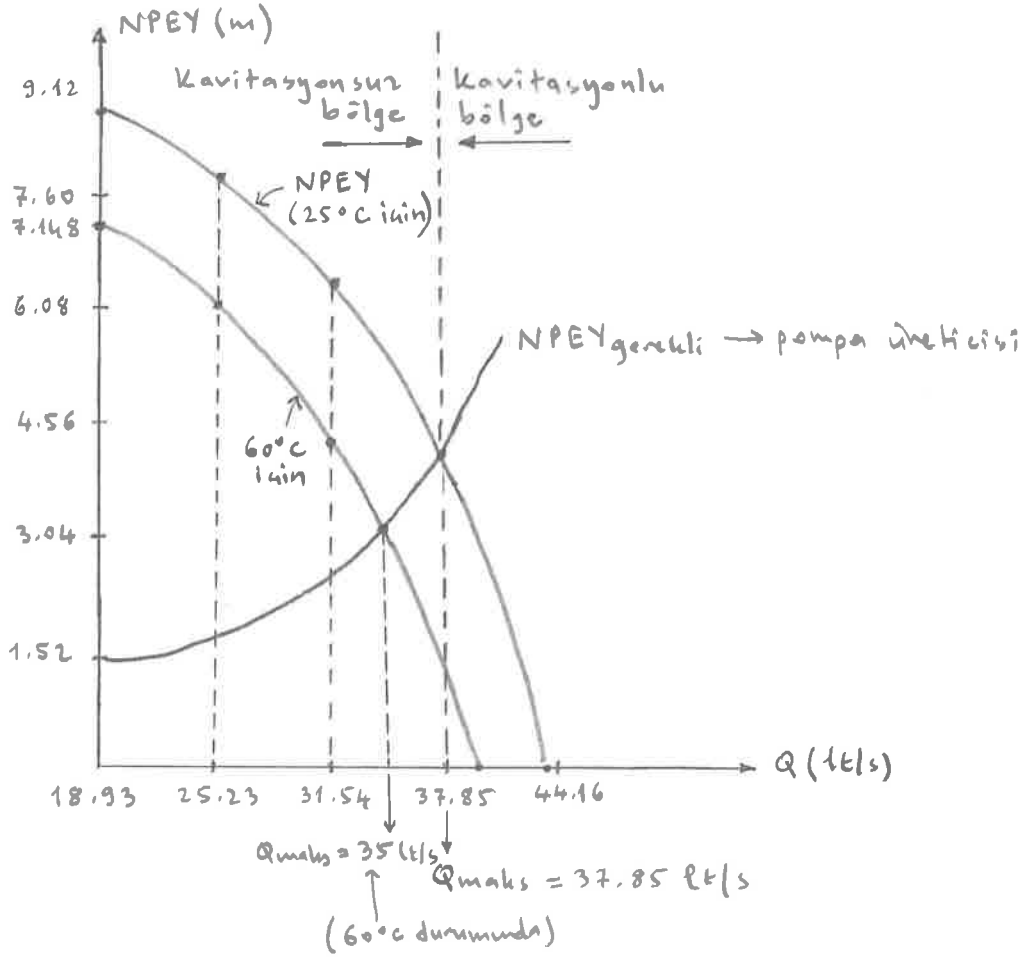
$$E/D = 0,005$$

Bu debi için;

$$NPEY = \frac{101300 - 3169}{997 \times 9,81} + 1,22 - \left(0,0306 \cdot \frac{3,2}{0,1016} + 7,4 \right) \cdot \frac{3,112^2}{2 \times 9,81}$$

$$NPEY = 7,148 \text{ m}$$

Yukarıdaki işlem, farklı debiler için tekrarlanarak NPEY - Q eğrisi oluşturulabilir.



Pompa üreticisi tarafından sağlanan NPEY gerekli eğrisi, gerçekleştiren NPEY eğrisi ile kesiştirilerek kavitasyonsuz durum için maksimum çalışma debisi belirlenir. 25°C için bu debi 37.85 lt/s, 60°C için ise 35 lt/s'dir. Bu durum, 60°C'daki akışkanın doyma sıcaklığına daha yakın olmasının bir sonucudur. Maksimum debinin artırılması için daha düşük kayıp katsayısına sahip bağlantı elemanları kullanılabilir, dirsek sayısı azaltılabilir veya boru çapı büyütülebilir. Pompa giriş çaplarının çıkış çaplarına göre daha büyük olmasının nedeni budur.