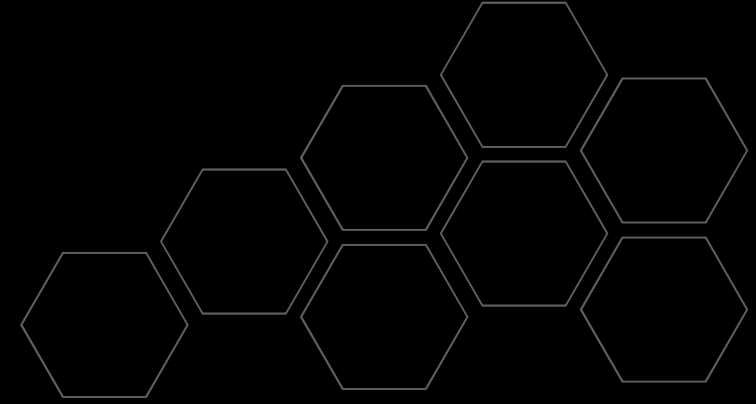
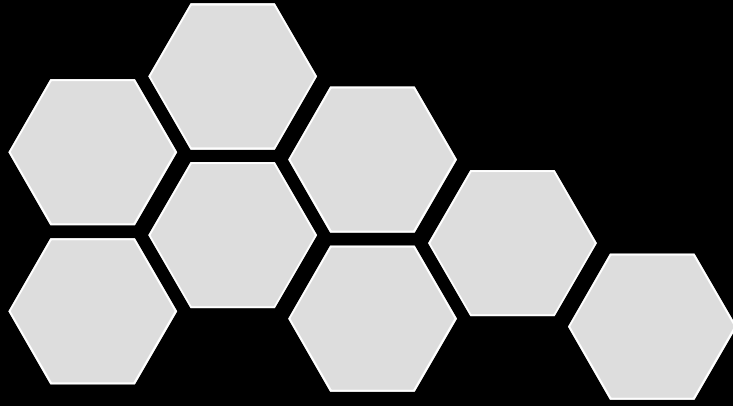
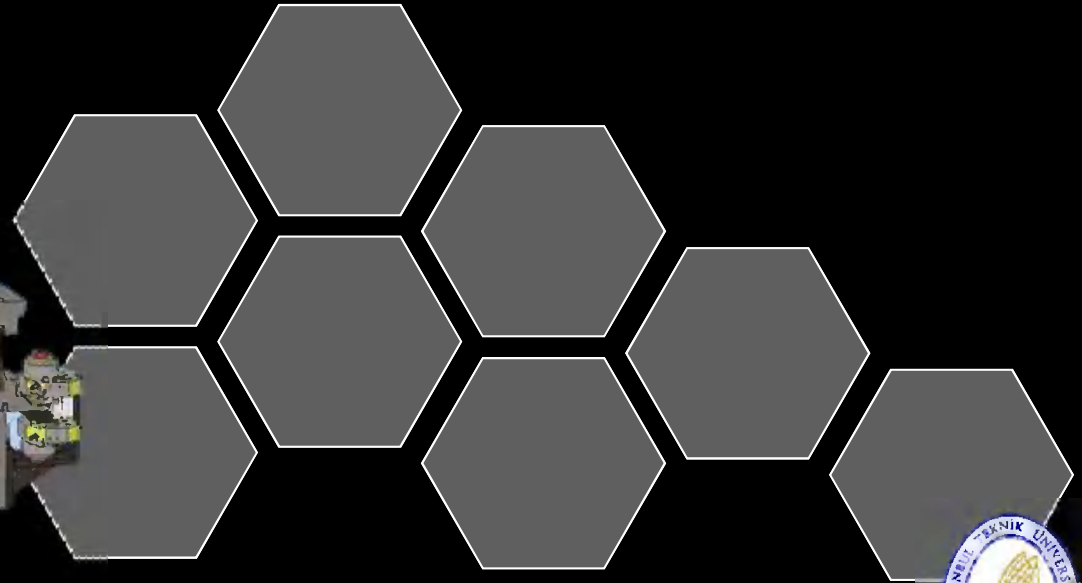
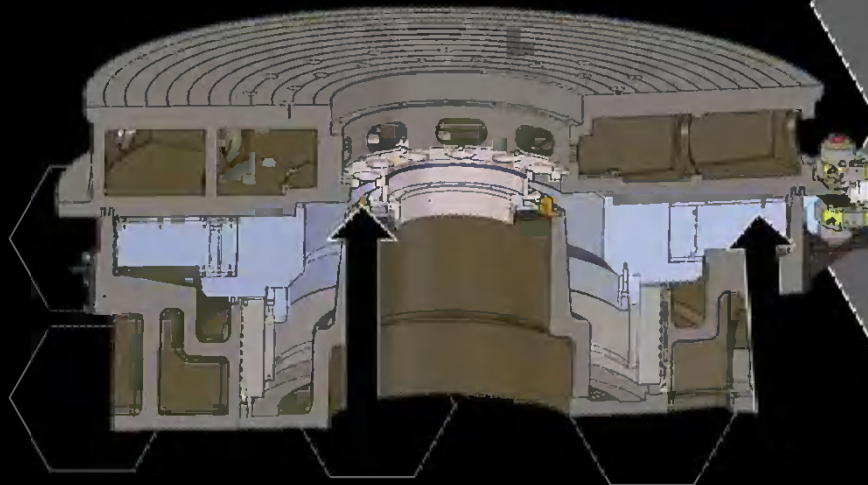
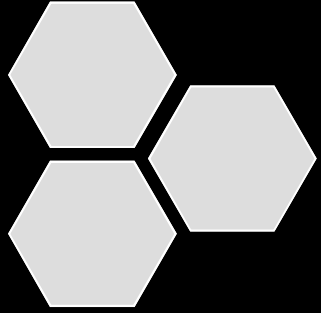




HİDROSTATİK YATAKLAR

Vedat Temiz

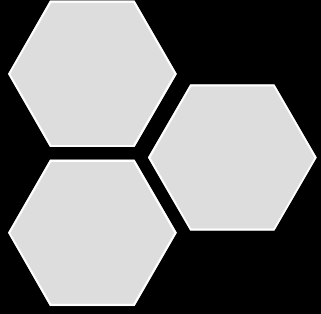




Giriş

- İzafi hareketli yüzeyler arasında, dıştan basınçlandırılmış bir akışkan tarafından oluşturulan film mevcuttur.
- Bu yataklar akışkan sıkıştırılamaz ise **hidrostatik**, sıkıştırılabilir ise **aerostatik** yataklar olarak adlandırılır.
- Bu yatak sistemlerinde her zaman basınçlı akışkanı sağlayacak bir tertibat gereklidir.
- Radyal ve eksenel yükleri karşılayacak yatakların ayrı ayrı tasarlanmaları gerekir.

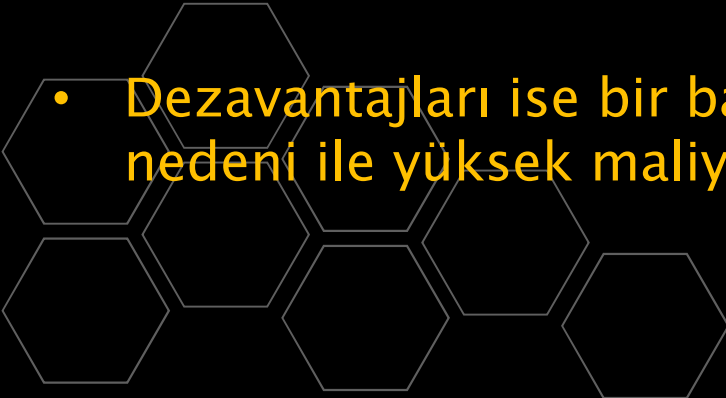




Hidrostatik yataklar-Avantajlar

- 1) Sıfır hızlarda dahi yüzeyler arasında yük taşıyan bir yağ filmi mevcuttur.
- 2) Hidrodinamik yataklara göre çok daha rijittirler. Hassasiyetin önemli olduğu sistemlerde bu durum büyük avantaj sağlar.
- 3) Yağ filmi kalınlığı genellikle büyüktür. Böylece yüzeylerin çok hassas işlenmesi gerekmez.
- 4) Sürekli yağ sirkülasyonu ısınmayı önler.
- 5) Sistem içindeki yağ sürekli olarak filtre edildiği için sisteme toz veya diğer abraziflerin girmesi söz konusu değildir.

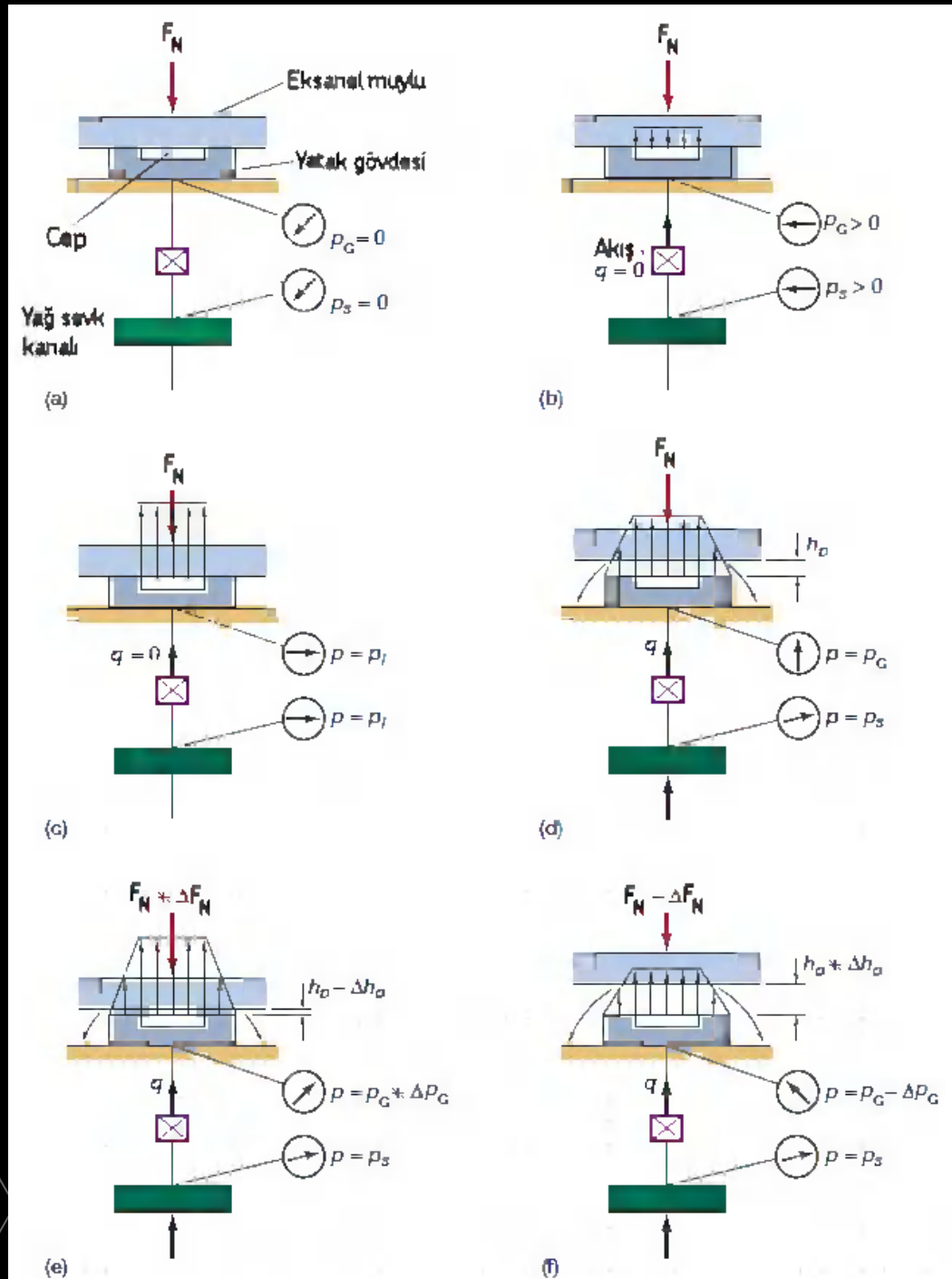
- **Dezavantajları ise bir basınçlı yağ ünitesine gerek olması nedeni ile yüksek maliyet ve tasarım verisi eksikliğidir.**



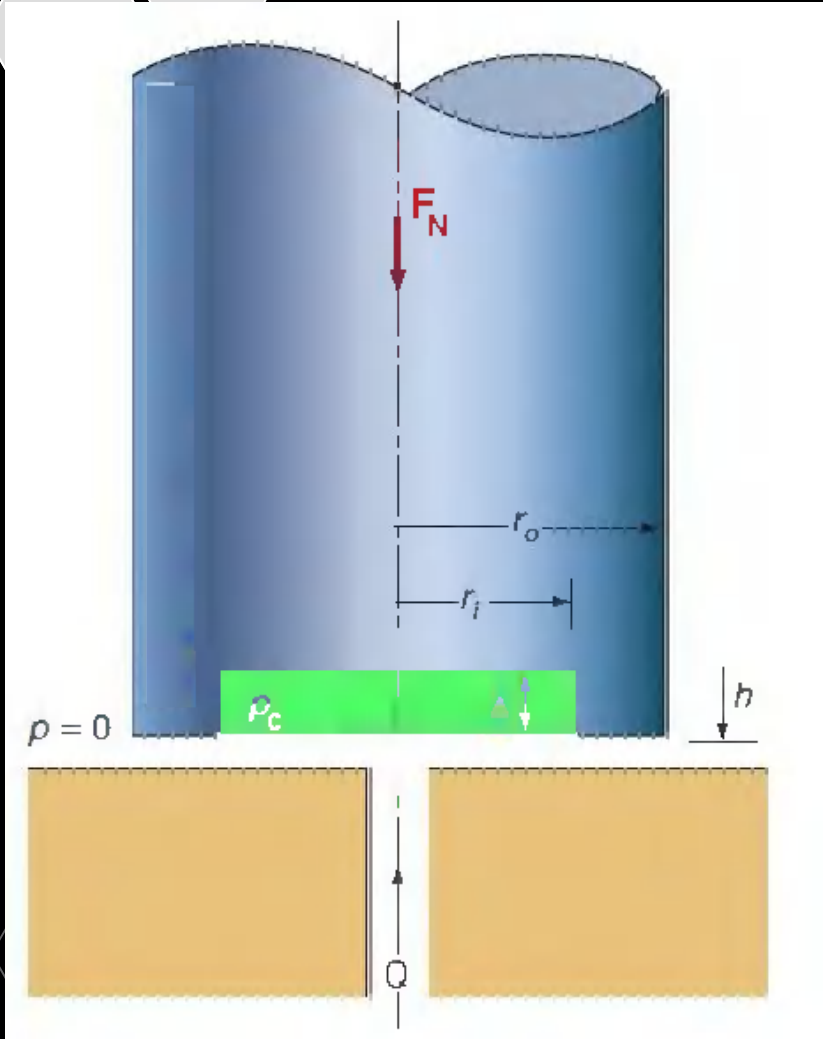


Hidrostatik yataklar

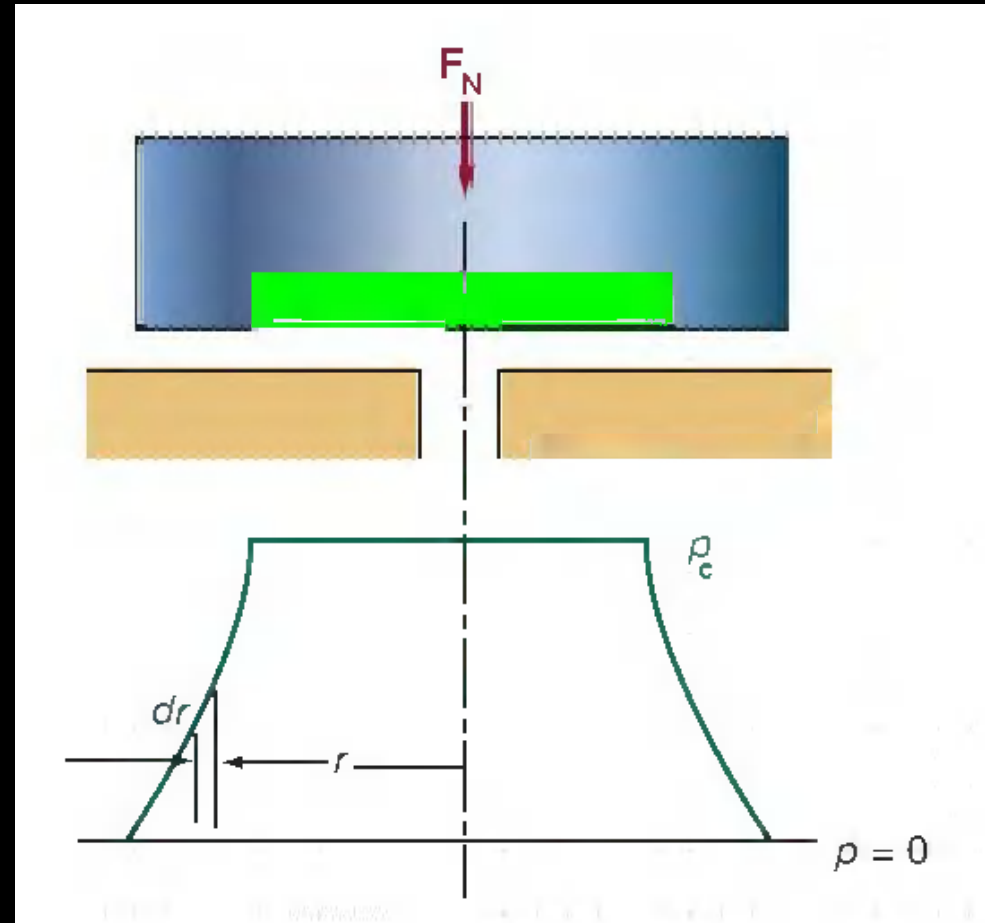
- Pompa kapalı
- Basınç oluşumu
- Basınç x Cep alanı, normal yüke eşit
- Yatak çalışır halde, yağ filmi mevcut
- Artan yükteki durum
- Azalan yükteki durum



Dairesel cep ve basınç dağılımı



Yatak geometrisi ve parametreler

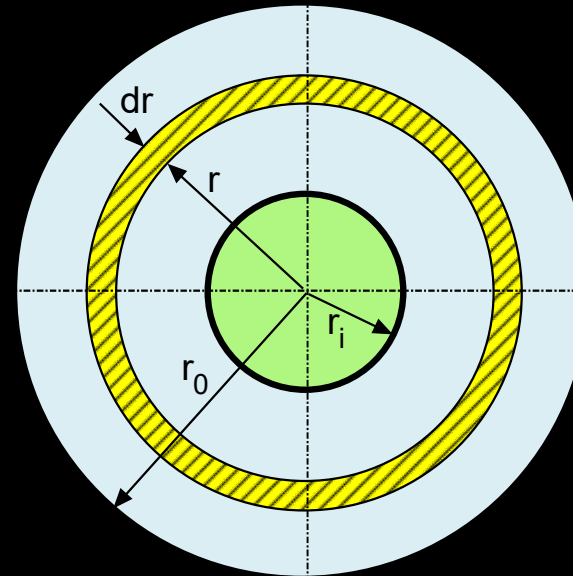
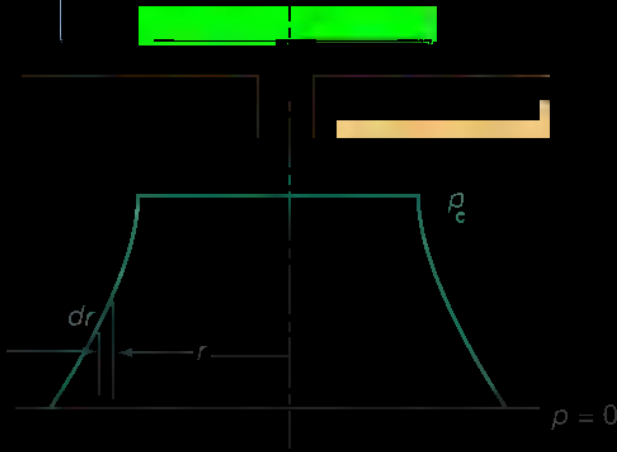


Basınç dağılımı



Dairesel cep ve basınç dağılımı

Şekildeki r yarıçapında, dr kalınlığında ve $d\theta$ uzunluğundaki daire segmenti incelensin



Reynolds Dif. Denklemini gereği

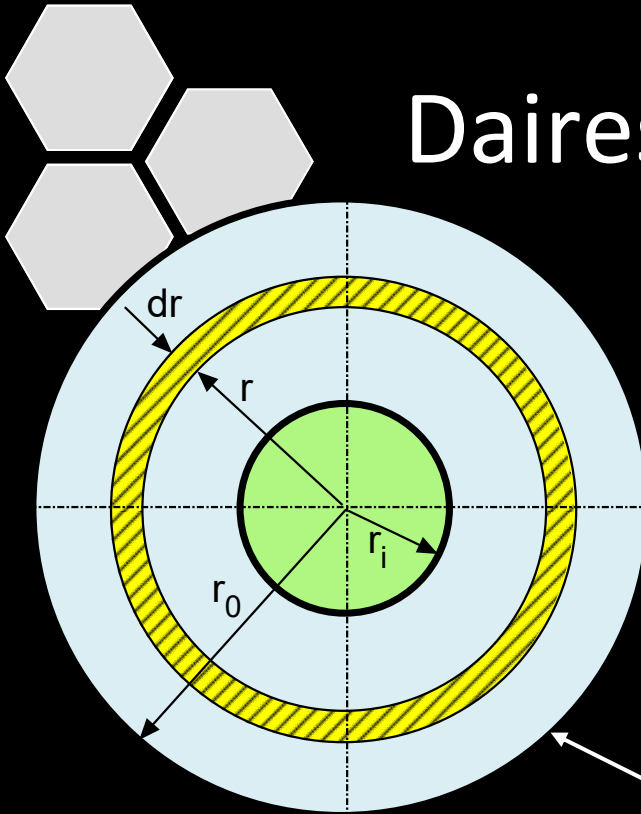
$$\delta q = -\frac{h^3}{12\eta} \cdot \frac{dp}{dr} \cdot r \cdot d\theta$$

- İşareti akış ile basıncın ters yönlü olduğunu gösterir.

Simetriden dolayı radyal debi Q iç çaptan dışa kadar sabittir.

$$Q = -\frac{h^3}{12\eta} \cdot \frac{dp}{dr} \cdot r \cdot 2\pi$$

Dairesel cep ve basınç dağılımı



$$Q = -\frac{h^3}{12\eta} \cdot \frac{dp}{dr} \cdot r \cdot 2\pi$$

Yağ filmi kalınlığı h sabit alınırsa,

$$\frac{h^3}{12\eta} \cdot dp = -Q \int \frac{dr}{r} \quad \text{integrasyonla}$$

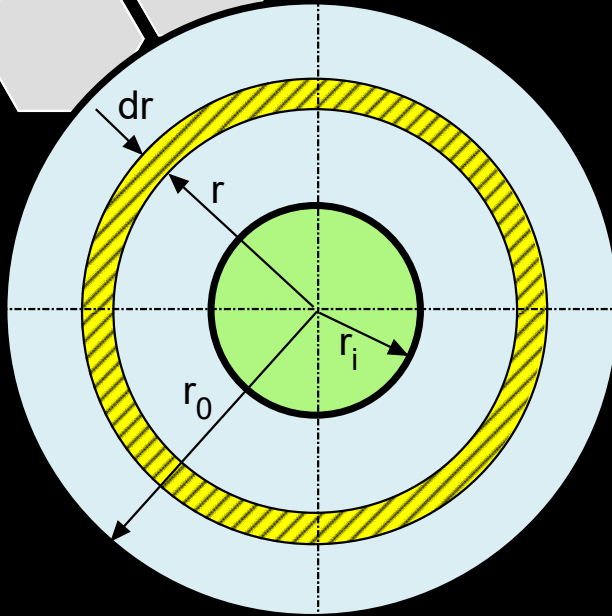
$$\frac{h^3}{12\eta} \cdot dp = -Q \cdot \ln r + C$$

Sınır şartları: $r=r_0$ da $p=0$ $\longrightarrow C=Q \cdot \ln r_0$

$$\frac{\pi \cdot h^3 \cdot p}{6\eta} = Q \cdot \ln \frac{r_0}{r}$$



Dairesel cep ve basınç dağılımı



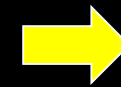
Hesaplarda temel amaç debi, cep basıncı ve taşınacak yük arasındaki ilişkiyi elde etmektir.

İç çaptaki durumda ise $r=r_i$ de $p=p_c$ dir.

$$\frac{\pi \cdot h^3 \cdot p_c}{6\eta} = Q \cdot \ln \frac{r_0}{r_i}$$

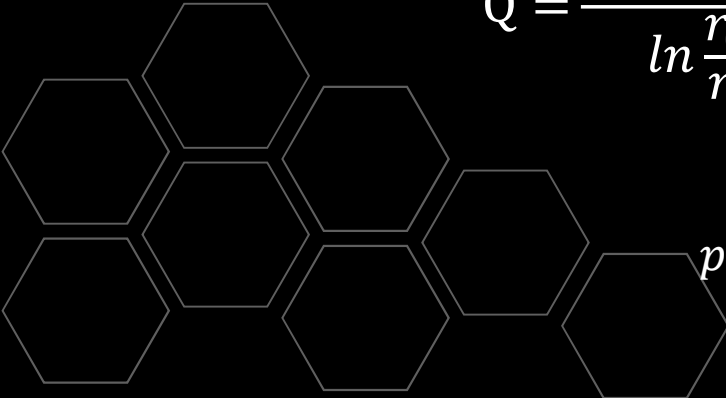
Debiler eşit olduğundan

$$Q = \frac{\frac{\pi \cdot h^3 \cdot p_c}{6\eta}}{\ln \frac{r_0}{r_i}} = \frac{\frac{\pi \cdot h^3 \cdot p}{6\eta}}{\ln \frac{r_0}{r}}$$

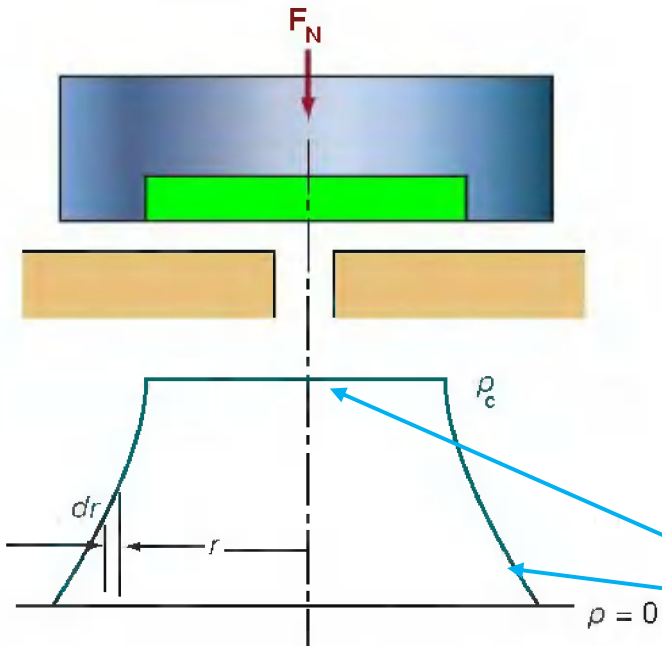


Denklem p ye göre düzenlenirse

$$p = p_c \cdot \frac{\ln \frac{r_0}{r}}{\ln \frac{r_0}{r_i}} \Rightarrow r_0 \geq r \geq r_i$$



Taşıyacak yük



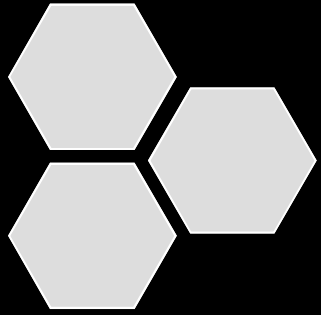
Bu durumda hidrostatik yatak tarafından taşınacak toplam yük

$$F_N = p_c \cdot \pi \cdot r_i^2 + \int_0^{2\pi} \int_{r_i}^{r_0} p \cdot r \cdot d\theta \cdot dr$$

Simetriden dolayı

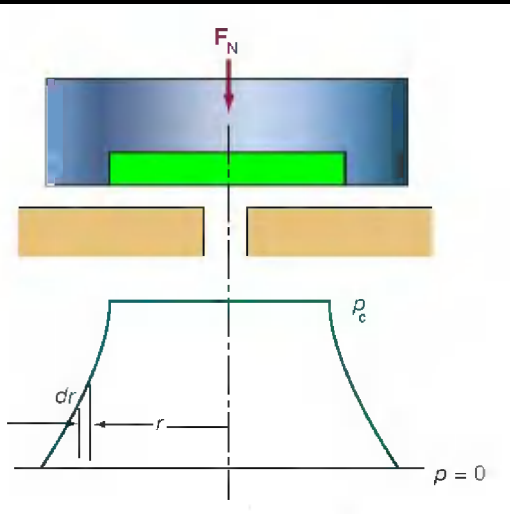
$$F_N = p_c \cdot \pi \cdot r_i^2 + 2 \cdot \pi \cdot \int_{r_i}^{r_0} p \cdot r \cdot dr$$





Debi-Yük ilişkisi

$$F_N = p_c \cdot \pi \cdot r_i^2 + 2 \cdot \pi \cdot \int_{r_i}^{r_0} p \cdot r \cdot dr$$

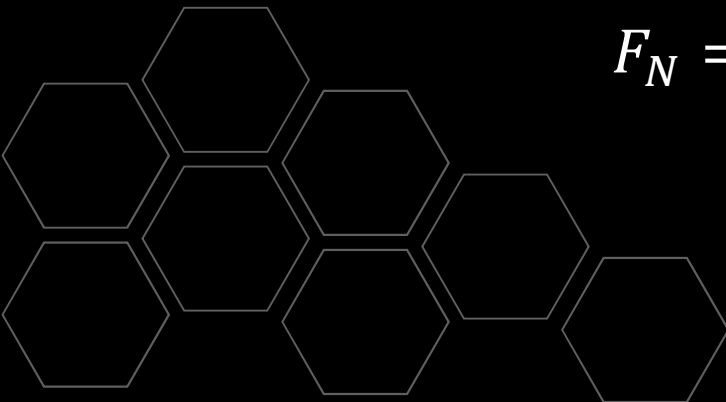


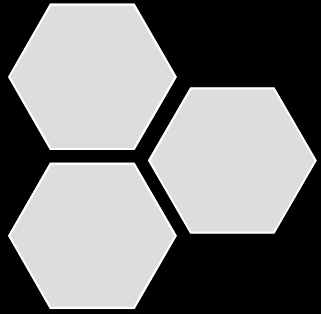
$$p = p_c \cdot \frac{\ln r_0/r}{\ln r_0/r_i}$$



$$F_N = \frac{\pi \cdot p_c}{2} \left[\frac{r_0^2 - r_i^2}{\ln \frac{r_0}{r_i}} \right]$$

Cep basıncına
karşılık gelen yük





Debi-Yük ilişkisi

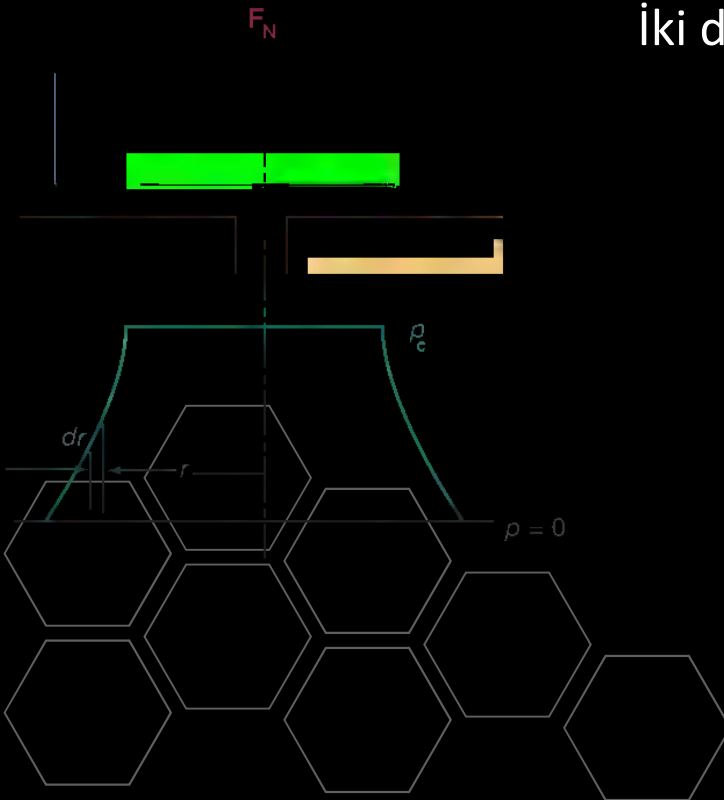
$$Q = \frac{\pi \cdot h^3 \cdot p_c}{6\eta \ln \frac{r_0}{r_i}}$$

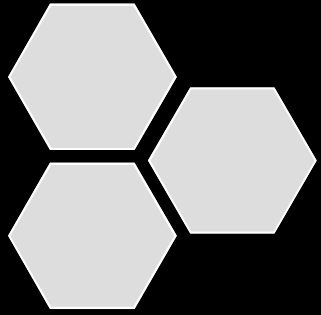
$$F_N = \frac{\pi \cdot p_c}{2} \left[\frac{r_0^2 - r_i^2}{\ln \frac{r_0}{r_i}} \right]$$

İki denklem birlikte düzenlenirse



$$Q = \frac{F_N \cdot h^3}{3 \cdot \eta \cdot (r_0^2 - r_i^2)}$$





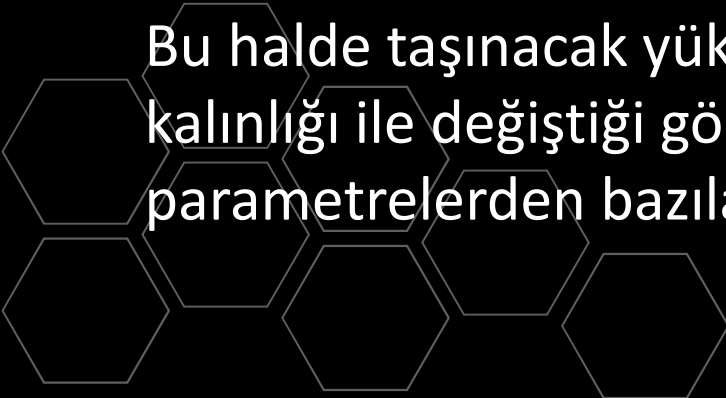
Tasarım Esasları

$$F_N = \frac{\pi \cdot p_c}{2} \left[\frac{r_0^2 - r_i^2}{\ln \frac{r_0}{r_i}} \right]$$

- Denklemden görüldüğü gibi bir hidrostatik yatağın yük taşıma kapasitesi cep basıncı ve cep yarıçapı ile değişmektedir. Bu denklem debiye bağlı yazıldığında

$$F_N = \frac{3 \cdot \eta \cdot r_0^2 \cdot Q}{h^3} \cdot \left[1 - \left\{ \frac{r_i}{r_d} \right\}^2 \right]$$

Bu halde taşınacak yükün viskozite, debi, cep yarıçapı ve yağ filmi kalınlığı ile değiştiği görülür. Bir hidrostatik yatak tasarımı için bu parametrelerden bazılarının sabit olması gerekir.





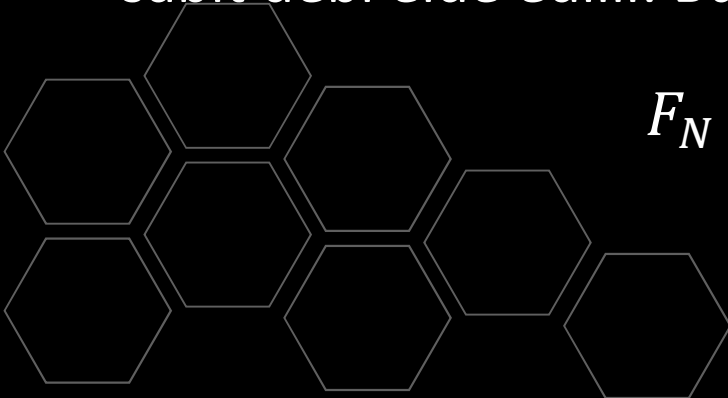
Tasarım Esasları

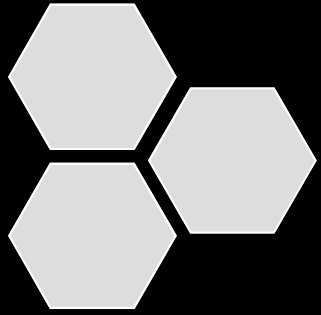
- Viskozite ve cep yarıçapı sabit olan büyüklüklerdir. Buna göre bir düzenleme yapılırsa

$$F_N \propto \frac{Q}{h^3}$$

- İlk olarak hidrostatik yataktaki debi sabit olsun. Bunu sağlamak için hacimsel bir pompa kullanılabilir. Bu pompa sabit devir sayılı ve yeterli güçte bir motorla tahrik edilirse sabit debi elde edilir. Bu durumda;

$$F_N \cdot h^3 = \text{sabit}$$

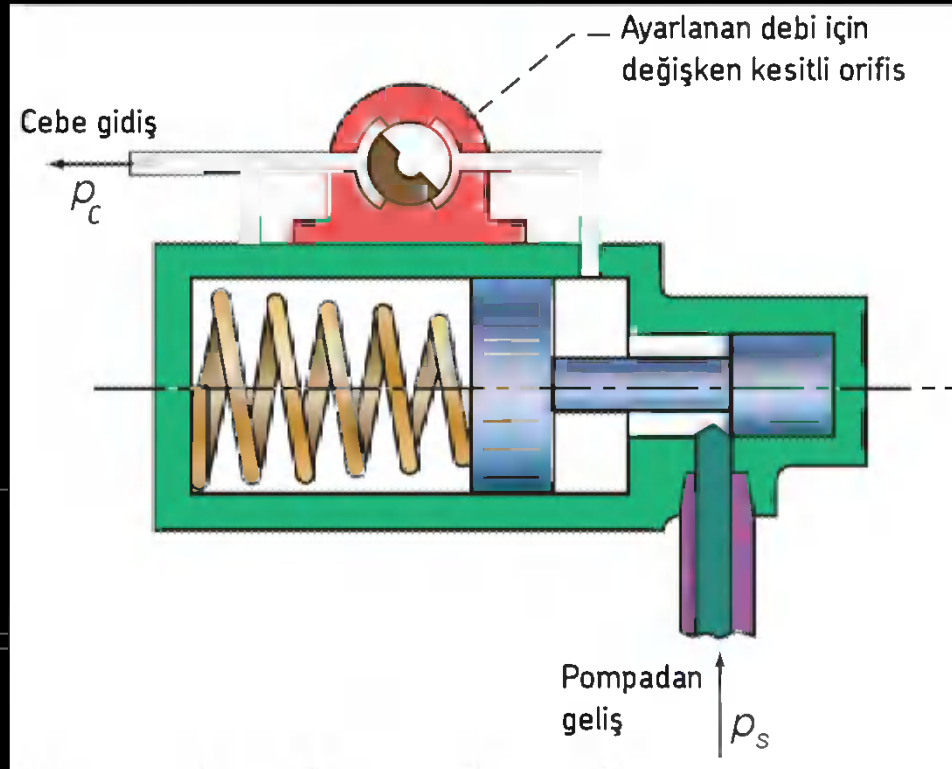




Tasarım Esasları

$$F_N \cdot h^3 = \text{sabit}$$

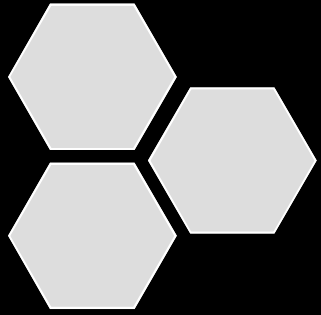
- Hacimsel pompa yerine bir akış kontrol valfi de kullanmak mümkündür. Bu valfin, akışın kendi tarafından kontrol edilebilen bir deliği (orifis) vardır. Böylece, cep basıncından bağımsız olarak debi sabit kalır.



Aynı yatakta birden fazla cep varsa, o sayıda valf gerekir.

Sabit debi halinde, **yükte bir artış** meydana gelirse, bu **cep basıncındaki artış** ve buna **karşılık film kalınlığında bir düşüş** ile karşılanır.





Tasarım Esasları (sabit kesitli orifis)

- Orifis tipi kompensatörlerin en temel avantajı, çok kompakt olmaları ve orifis plakasını değiştirmenin kolay olmasıdır. Bunun yanında, orifisin kendi yağ içindeki abrazif parçacıklardan dolayı erozyona maruz kalır, bu da akış karakteristiğini değiştirir.
- Yarıçapı a olan bir orifisteki debi

$$Q = \frac{\pi \cdot a^2}{2} \cdot \left(\frac{\Delta p}{2 \cdot \rho} \right)^{1/2} \cdot C_d$$

Çıkış katsayısı

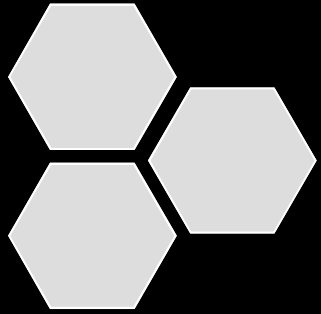
Akışkanın yoğunluğu

Bu debi cepteki debiye eşitlenirse

$$Q = \frac{\pi \cdot a^2}{2} \cdot \left(\frac{\Delta p}{2 \cdot \rho} \right)^{1/2} \cdot C_d = \frac{F_N \cdot h^3}{3 \cdot \eta \cdot (r_0^2 - r_i^2)}$$

Buradaki parametrelerin hesabı gerekir.
DİKKAT: Viskozite sadeleşmez.





Tasarım Esasları

- Bunun yanı sıra cep basıncı ile debi ters orantılı olacak şekilde bir valf de tasarlamak mümkündür. Bu durumda

$$\frac{F_N}{Q} = \text{sabit}$$

Yani, ***h*** film kalınlığı yük ile değişmeyecektir. **Yatak rijittir.**

Yine benzer şekilde, artan yük ile ***h*** film kalınlığının da artacağı bir valf tasarlamak da mümkündür. Bu şekilde artan yükün yapının diğer elemanlarında yarattığı şekil değişimleri telafi edilmiş olur.





Tasarım Esasları

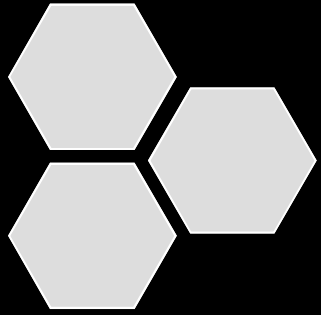
Bir diğer kompensatör tipi ise **kapiler boru**dur. Kapiler boruda amaç sevk basıncının sabit olmasıdır. Kapiler boru, basınçlı yağ kaynağı ile cep arasına yerleştirilir ve yağ bu borudan geçerek cebe ulaşır.



Yukarıdakine benzer bir kapiler kısıcıda akış miktarı (debi, Poiseuille formülü):

$$Q = \frac{\pi \cdot a^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot L} \rightarrow p_s - p_c$$





Tasarım Esasları (kapiler kısıcı)

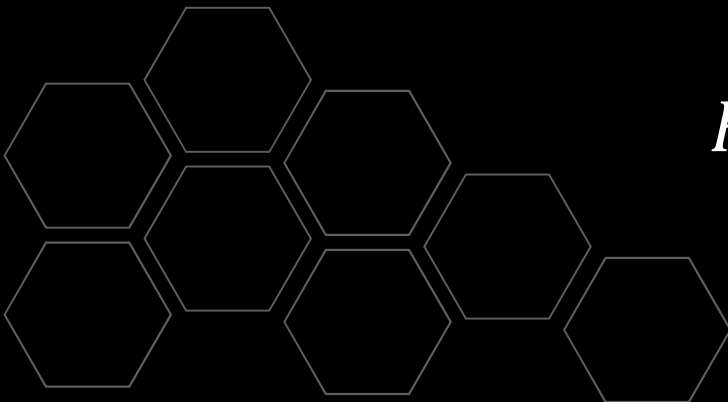
$$Q = \frac{\pi \cdot a^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot L}$$

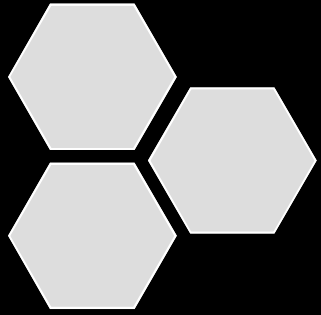
- Sistemde viskozitenin sabit olduğu varsayılırsa, p_s sevk basıncı olmak üzere $\Delta p = p_s - p_c$ yazılabilir.

$$Q = \frac{\pi \cdot a^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot L} = \frac{F_N \cdot h^3}{3 \cdot \eta \cdot (r_o^2 - r_i^2)}$$

Boyutsal büyüklükler bir sabite atanırsa $k = \frac{3 \cdot \pi \cdot a^4 \cdot (r_o^2 - r_i^2)}{8 \cdot L}$

$$F_N \cdot h^3 = k \cdot \Delta p$$





Tasarım Esasları (kapiler kısıcı)

$$Q = \frac{\pi \cdot a^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot L} = \frac{F_N \cdot h^3}{3 \cdot \eta \cdot (r_0^2 - r_i^2)}$$

- Yukarıdaki denklemde F_N yerine yandaki değeri konursa,

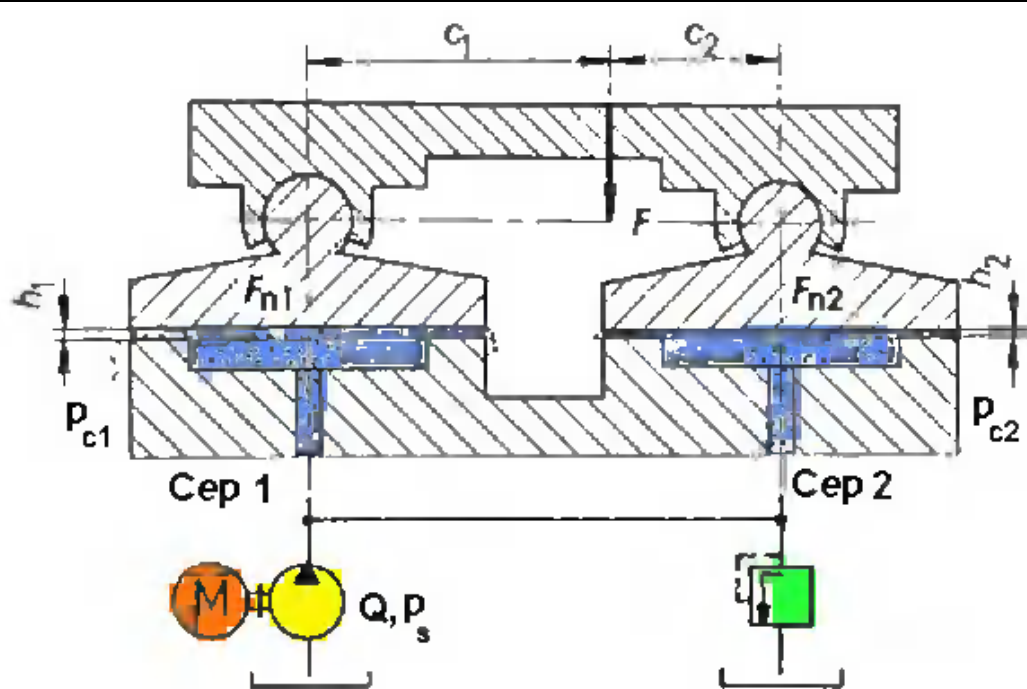
$$F_N = \frac{\pi \cdot p_c}{2} \left[\frac{r_0^2 - r_i^2}{\ln \frac{r_0}{r_i}} \right]$$

$$\frac{\Delta p}{p_c} = \frac{4 \cdot L \cdot h^3}{3 \cdot a^4 \cdot \ln \frac{r_0}{r_i}}$$

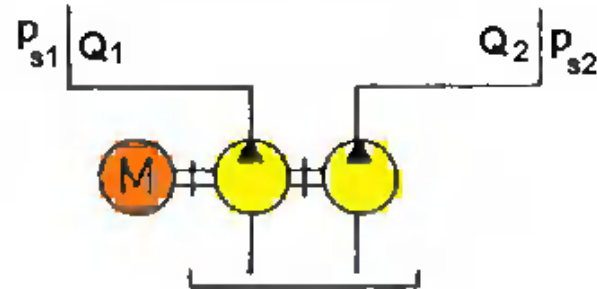
Genelde $\Delta p/p_c \approx 2$ alınır. Bu durumda cep basıncı, sevk basıncının 1/3 ü kadar olur.



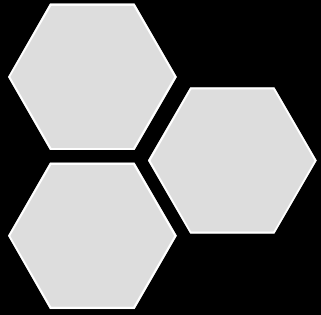
Ceplerin basınçlandırılması



Tek pompa ile tabrik



Her cebin ayrı pompa ile basınçlandırılması



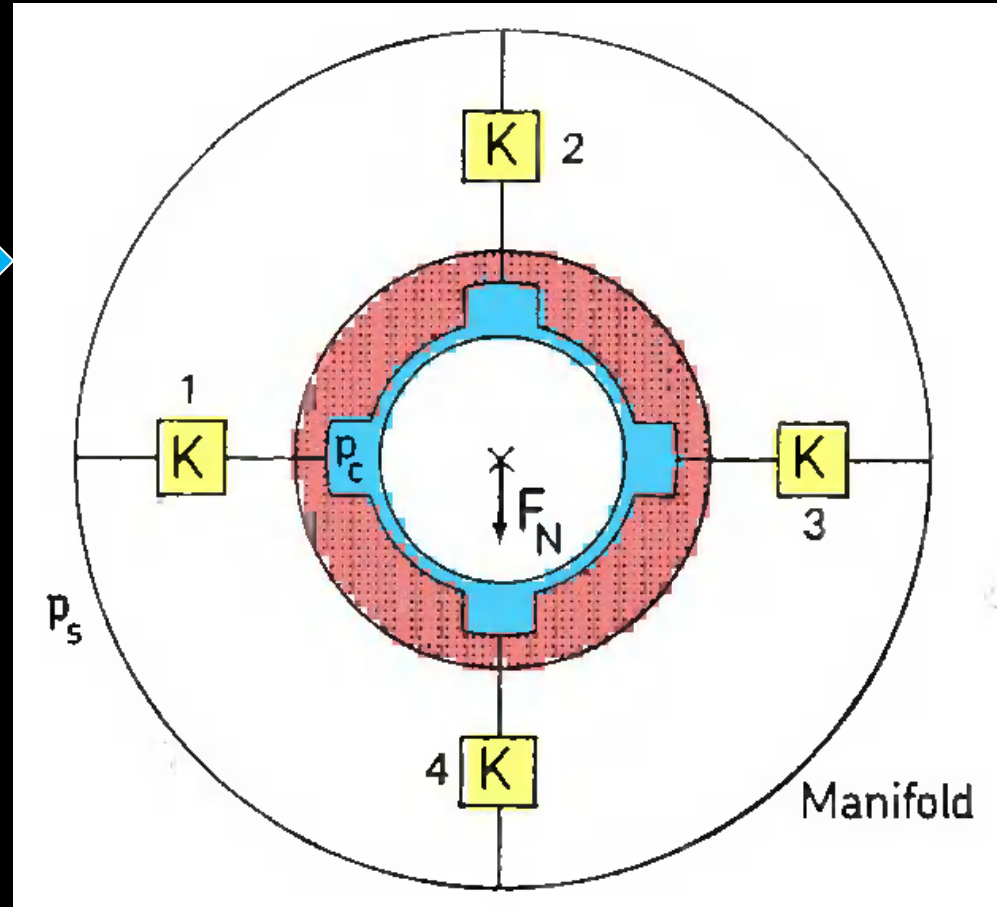
Örnek: Hidrostatik radyal yatak

4 cebi ve 4 kompensatörü
olan radyal yatak



Her bir cepteki basınç sırası ile
 p_{c1} , p_{c2} , p_{c3} ve p_{c4} olsun.
Manifold (sevk) basıncı p_s dir.

Her bir cebe ait
kompensatörler de sırasıyla K_1 ,
 K_2 , K_3 ve K_4 olsun.





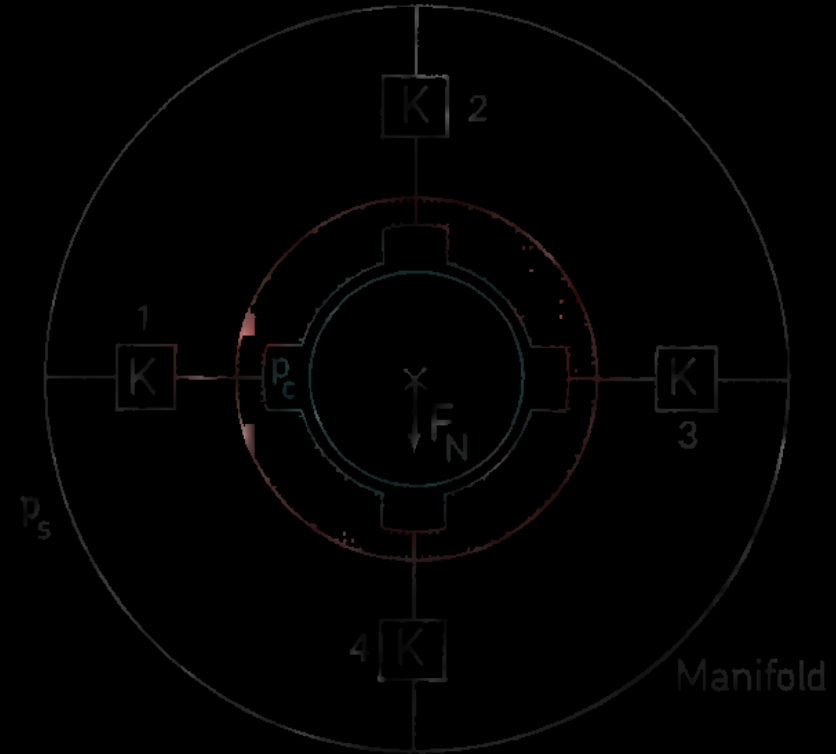
Örnek: Hidrostatik radyal yatak

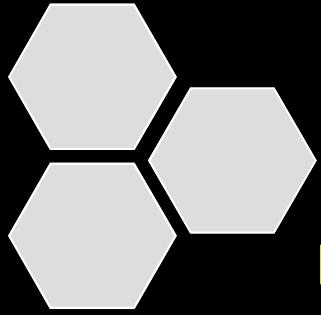
HAL 1

İlk etapta mile bir radyal kuvvet gelmesin, yani $F_N=0$ olsun.

Bu durumda bütün ceplerdeki basınç eşit olur ve sistem dengede kalır.

Yatağın bütün çevresi boyunca yağ filmi kalınlığı üniform olur.





Örnek: Hidrostatik radyal yatak

HAL 2

Cep 4' e doğru bir F_N kuvveti uygulansın.

Bu durumda muylu cep 2 den cep 4 e doğru kayar. Cep 4 civarında h film kalınlığı azalır ve buradaki debi:

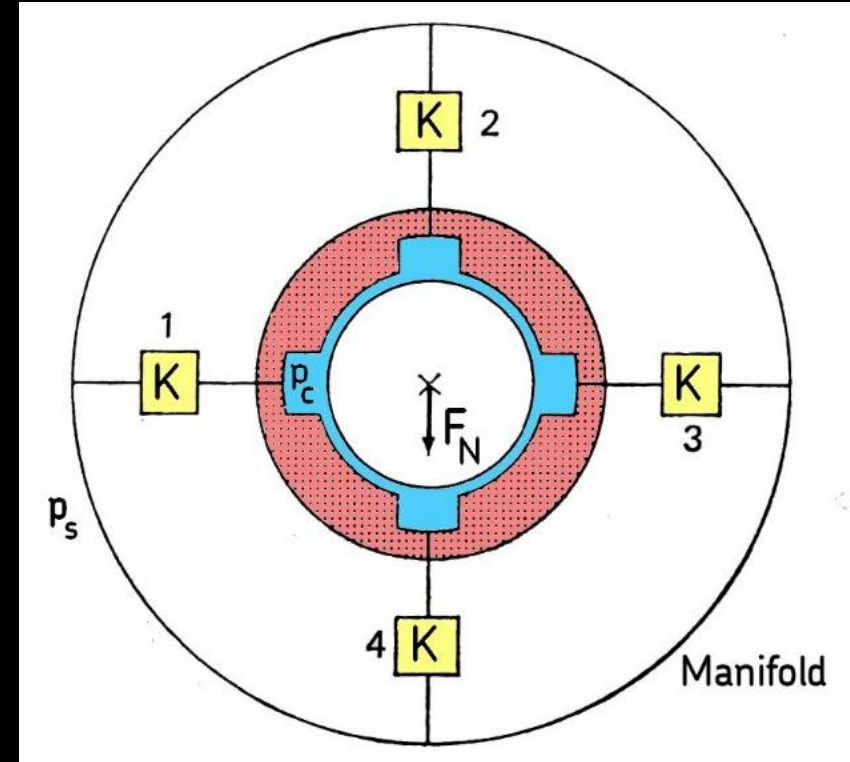
$$Q_4 = \frac{k_4}{\eta} (F_N \cdot h^3)_4$$

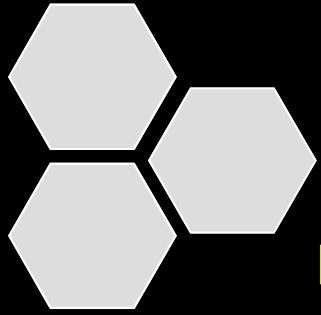
Burada k_4 cep geometrisine bağlı bir sabittir.

Eğer K_4 kompensatörü sabit debi tipinde ise (valf veya pompa), h_4 azaldığında aynı miktar yağ debisi için cep basıncı artmalıdır.

$$Q = F_N \cdot h^3 \text{ ayrıca } F_N \propto p_c, Q \propto F_N \cdot h^3 \quad \rightarrow \quad F_N \propto \frac{1}{h^3}$$

Yük artışını karşılamak için, yükün artış miktarının küpüyle ters orantılı olarak yağ filmi kalınlığı azalacaktır.





Örnek: Hidrostatik radyal yatak

HAL 2

Cep 4' e doğru bir F_N kuvveti uygulansın.

Bu durumda muylu cep 2 den cep 4 e doğru kayar. Cep 4 civarında h film kalınlığı azalır ve buradaki debi:

$$Q_4 = \frac{k_4}{\eta} (F_N \cdot h^3)_4$$

Burada k_4 cep geometrisine bağlı bir sabittir.

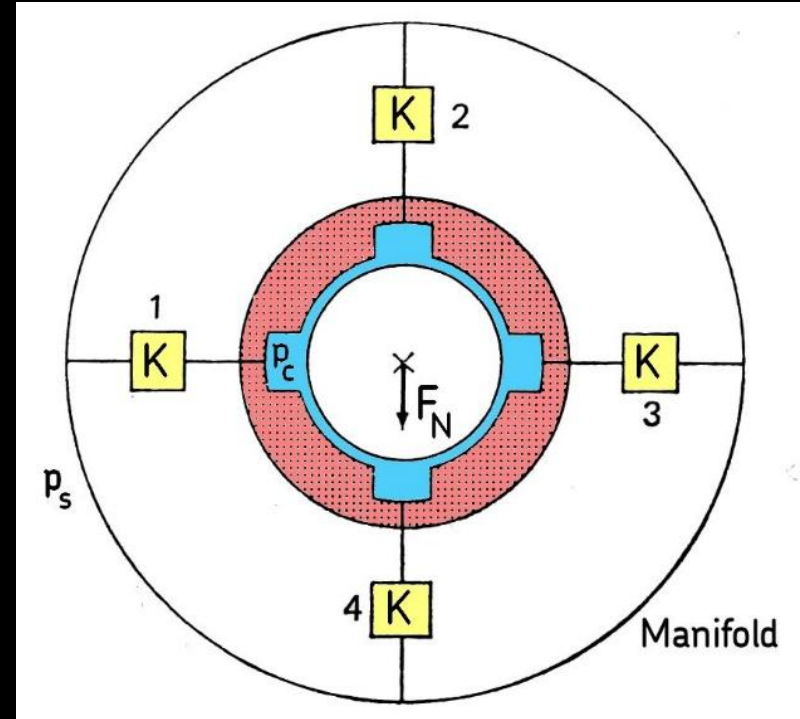
Eğer K_4 kompensatörü kapiler boru ise, h_4 azaldığında aynı zamanda yağ debisi de azalır.

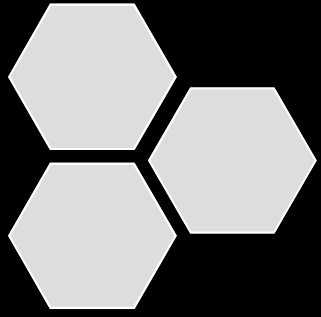
$$Q = \frac{\pi \cdot a^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot L}$$



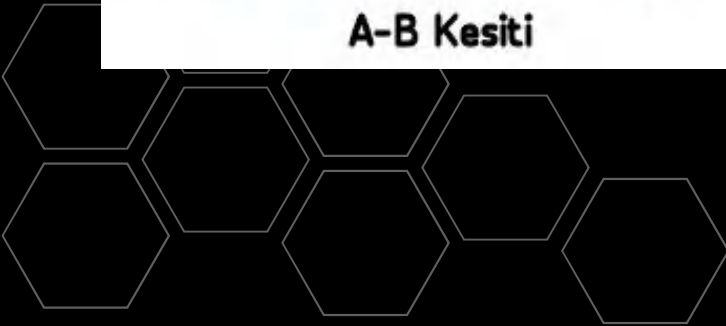
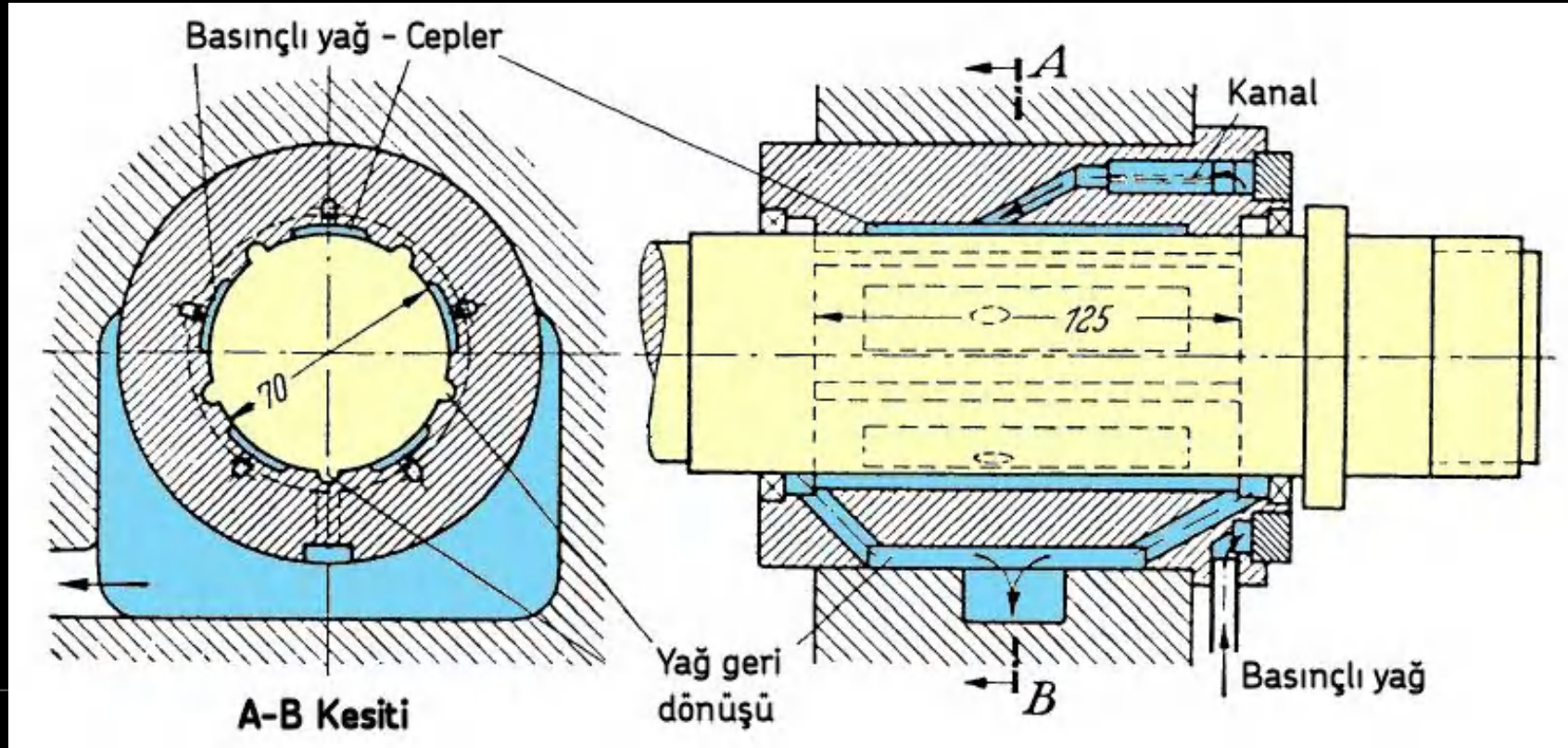
Eğer $Q \downarrow \Delta p \downarrow$

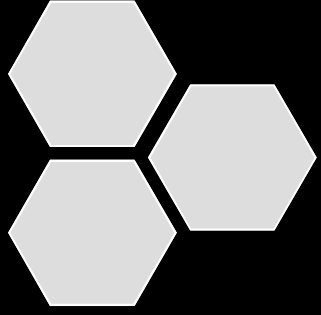
Verilen bir sevk basıncı için h_4 ün azalması ile cep basıncı artacaktır ($p_c = p_s - \Delta p$).
Cep basıncındaki artış yük artışını karşılayacaktır.



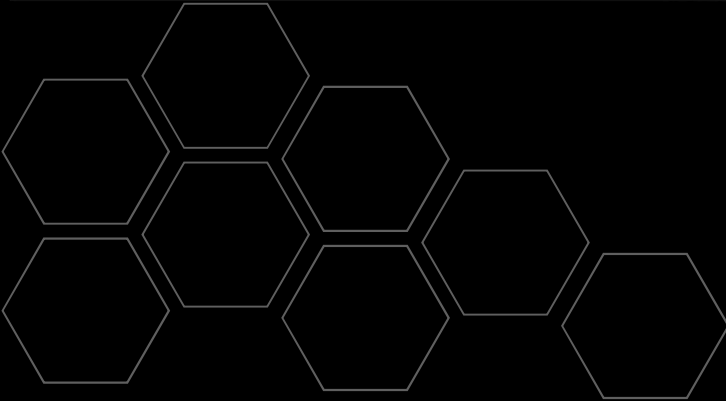
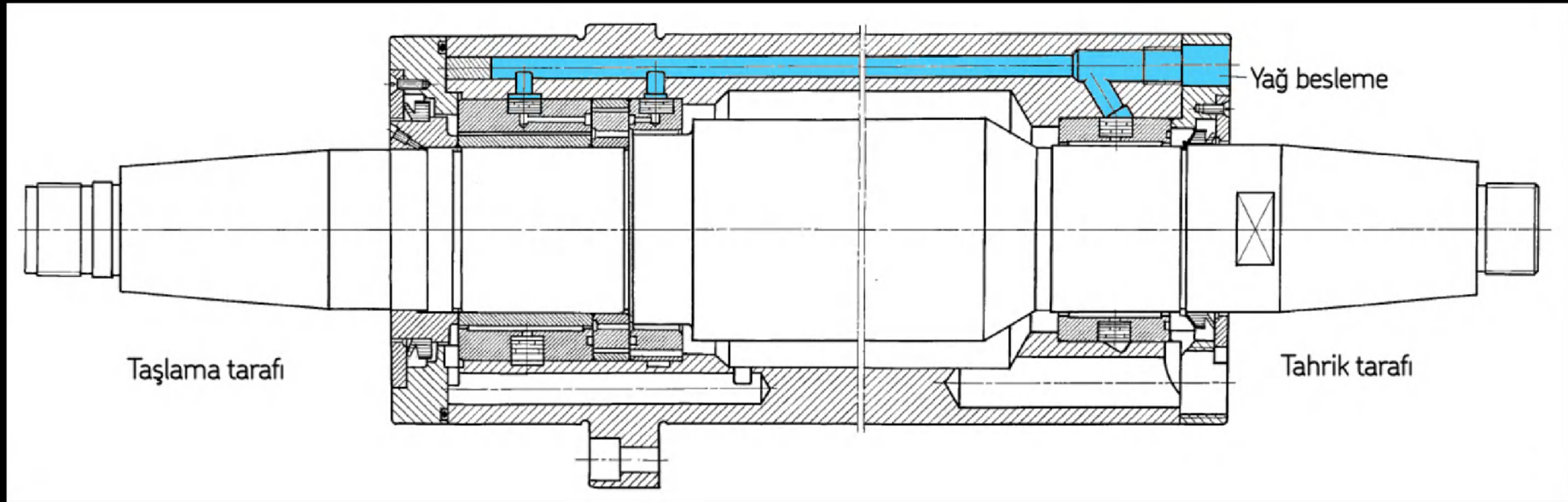


Bir hidrostatik radyal yatak konstrüksiyonu



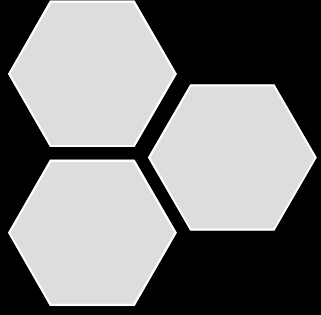


Bir taşlama milinin yataklanması



Bir tornanın hidrostatik olarak yataklanmış tablası





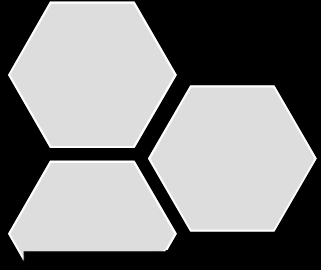
Eksenel Kaymalı yatak konstrüksiyonları



Eksenel hava yatağı konstrüksiyonları

Hidrostatik yatak prensibinin uygulaması





Hidrostatik yatak prensibinin uygulaması

