

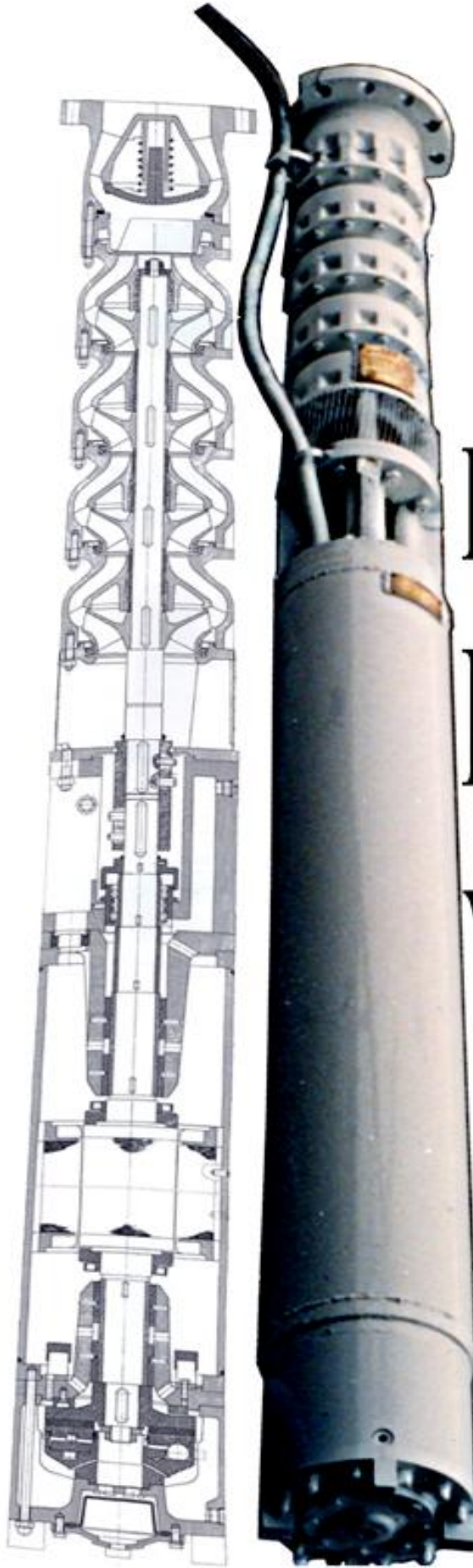


TÜRKİYE TAŞKÖMÜRÜ KURUMU GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

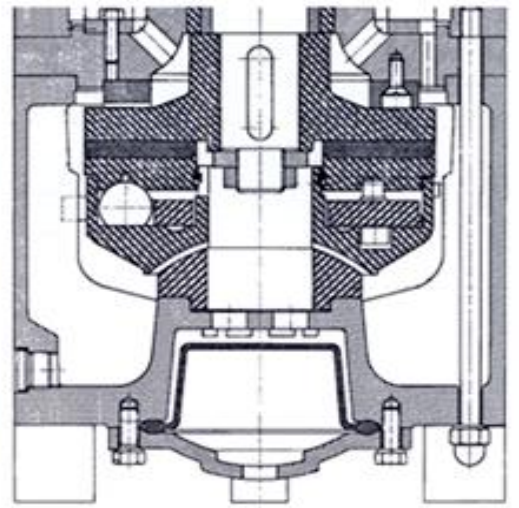
APK DAİRE BAŞKANLIĞI
“Sürdürülebilir Bilgi Paylaşımı III”

EKSENEL KAYMALI YATAKLAR

Tuncer ÖZKAN - Kadir ÇELİK



EKSENEL KAYMALI YATAKLAR



İÇİNDEKİLER

<u>I - KAYMALI YATAKLAR</u>	2
1) Özellikleri ve kullanılması :.....	2
2) Yatakların sınıflandırılması :.....	2
3) Kullanılan kaymalı yataklar için yükleme değerleri :.....	3
4) Eksenel kaymalı yataklar :.....	5
5) Eksenel yatakların konstrüktif büyüklükleri :.....	13
6) Eksenel yatakların hesabı.....	16
7) Kaymalı Yatak Malzemeleri:.....	42
8) Çok tabakalı yataklar:.....	50
<u>II – EKSENEL KAYMALI YATAĞIN PROJELENDİRİLMESİ</u>	53

Proje Konusu :

$$N = 185 \text{ kW}$$

$$U = 550 \text{ V}$$

$$I = 290 \text{ A}$$

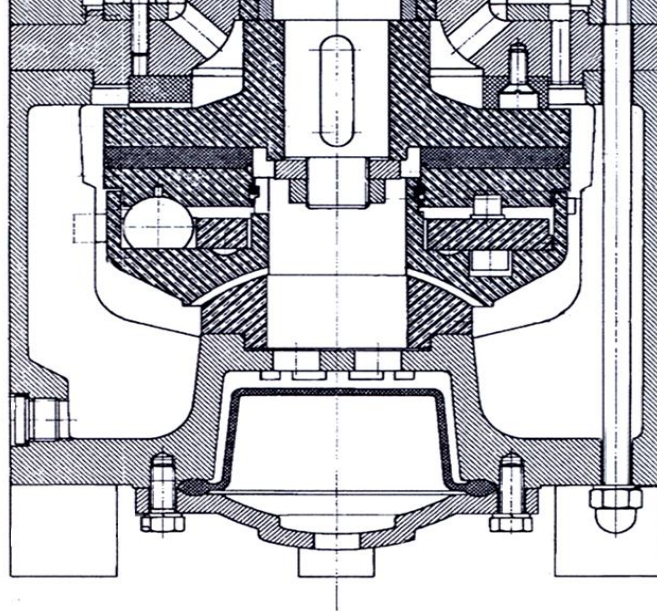
$$n = 2935 \text{ d / d}$$

$$\text{Cos}\varphi = 0,85$$

Karakteristik değerlere haiz bir dalgıç elektrik motoruna (MAZ) ait, segmanlı (Lokmalı veya pabuçlu) aksenal kaymalı yatağın (Şekil 1) hesabı ile elektrik motorunun su içindeki ısınma kontrolü istenmektedir.

Verilenler :

Yükleme kuvveti	: $F = 10570 \text{ N}$ (Hesaplandı)
Devir sayısı	: $n = 2935 \text{ d / d} \cong 48,9 \text{ d / sn}$
Segman (Lokma) konstrüksiyonu	: Oynak segmanlı (Lokmalı)
Yağlama şekli	: Yatak tamamen su içinde
Kinematik viskozite	: $\nu = 0,554 \text{ cSt} = 0,554 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{sn}$ (50° C Su)
Malzeme çifti	: Çelik / Karbonlu Teflon Ç3915 (X12CrNi18 8) / (Polikim K – 35)



Şekil - Oynak segmanlı (lokmalı) aksenal kaymalı yatak konstrüksiyonu (MAZ C-289 nolu resimden alınmıştır)

I - Kaymalı Yataklar

1) Özellikleri ve kullanılması :

Yatakları genel olarak, iki eleman arasındaki bir veya birkaç yönde izafi harekete minimum bir sürtünme ile müsaade eden fakat kuvvet doğrultusundaki harekete engel olmaya çalışan elemanlar olarak tarif edebiliriz. Genellikle yataklar kaymalı ve rulmanlı olmak üzere iki guruba ayrılabilir. Kaymalı yataklarda yüzeyler arasında kayma hareketi, rulmanlarda ise yüzeyler arasında yuvarlanma hareketi vardır. Her ikisinin de kendine has özellikleri olup, hiçbiri tüm istediklerimizi yalnız başına karşılayamaz.

Kaymalı yatakların taşıma yüzeylerinin büyük olması, titreşimi, vuruntuyu ve sesi azaltmasını sağlar. Kaymalı yatak, sarsıntıya, toz girmesine (gresle yağlanırsa) karşı daha az hassastır, daha küçük yatak boşluğuna ve diğer taraftan daha büyük bir geçme toleransına izin verir. Yapısı ve imalatı basittir. Tek veya iki parçalı olabilir. Buna karşılık yağ tabakası (filmi) ancak bir kayma hareketi sonunda teşekkül ettiğinden, özellikle başlangıç sürtünmesi oldukça yüksektir. Rulmanlı yataklardan çok daha geniş olması, alışması için zamana ihtiyaç göstermesi ve mil yüzeyinin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Buna göre kaymalı yatakların tercih nedenleri:

- a) Daha sessiz çalışması önemli ise,
- b) Daha yüksek devir sayılarında,
- c) Kuvvetli sarsıntı ve titreşimlerde (Çalışan makinaların yanında duran yedek makinalarda),
- d) Eğer kaymalı yataklar yeterli ise ve dezavantajları önemli değilse,
- e) Yatağın parçalı olması gerekiyorsa, veya dış çapın küçük olması isteniyorsa.

2) Yatakların sınıflandırılması :

- Kuvvet yönüne göre : Radyal yatak (Enine yatak, taşıyıcı yatak) radyal kuvvetler için .
Eksenel yatak (Boylama yatak, dip veya taban yatağı) eksenel kuvvetler için.
- Kullanılışına göre : Mekanizma kutusu, motor, transmisyon, türbin, hadde makinası, takım tezgahı yatakları gibi.
- Şekline göre : Geçme yatak, kapalı yatak, ayaklı yatak, asma yatak, oynak yatak, hazır yatak gibi.
- Malzemesine göre : Beyaz metal, bronz, kızıl döküm, hafif metal, sinter metal, plastik ve karışık malzemeli yatak gibi.
- Yağlama şekline göre : Gres, yağ, su, ve hava yağlamalı yatak.
Bilezikli, basınçlı ve basınçsız, hidrostatik veya aerostatik (gazostatik) yağlamalı yatak.

3)Kullanılan kaymalı yataklar için yükleme değerleri :

Cetvel 1'e bakınız

Cetvel – Makina imalatında kullanılan kaymalı yataklar için yükleme değerleri.
St-Çelik; *GG*-Kır veya pik döküm(DIN 1691); *WM*- Beyaz metal (DIN 1703);
Bl-Bz – Kurşun bronz (DIN 1716); *Bz* ve *Rg* – Bronz ve kızıl döküm
(DIN 1705); *KH* – Sentetik reçine – plastik (DIN 7703); sert-sertleştirilmiş.

Yatağın kullanıldığı yer	Nr.	En Büyük Değerler		Malzeme yatak/mil	$\beta = b/d$	
		\bar{p} [N / cm ²]	u [m / sn]			
Transmisyonlar	1	20	3,5	GG/St	1...2	
	2	80	1,5	GG/St	1...2	
	3	50	6	WM/St	1...2	
	4	150	2	WM/St	1...2	
	◆ Sürekli çalışma	5	60	0,5	KH/St50	1...2
			200	0,15	KH/St50	1...2
	◆ Aralıklı çalışma	7	60	1	KH/St50	1...2
			400	0,15	KH/St50	1...2
Kaldırma Makinaları						
◆ Dişli kriko	9	4000	-	Bz/St70	0,8...1,8	
◆ Vinç kolu-dönme noktası	10	1500	-	GBz20/St70	0,8...1,8	
◆ Tekerlek,makara,tambur	11	600	-	GG21/St50	0,8...1,8	
◆ Tekerlek,makara,tambur	12	1200	-	Rg8/St50	0,8...1,8	
◆ Tekerlek,makara,tambur	13	$\bar{p} \cdot u = 100$		KH/St50	0,8...1,8	
◆ Tekerlek,makara,tambur	14	$\bar{p} \cdot u = 250$		KH/St _{sert}	0,8...1,8	
◆ Takım Tezgahları	15	20...50	-	WM,Rg,Bz,GG/St	1,2...2	
◆ Konkasörler,kırıcılar, değirmenler						
◆ Değerler sürekli çalışma içindir.Aralıklı çalışmada 2,5 · \bar{p} ye kadar alınır.	16	80	1	GG/St	1...2	
		80	3	WM5/St	1...2	
		100	2	WM10/St	1...2	
		150	10	WM10/St	1...2	
		800	1	GBz10,Bl-Bz/St	1...2	
		200	1	KH/St	1...2	
◆ Presler, en yüksek basınç	22	10000	-	Bl-Bz/St	1...2	
Hadde makinaları	23	5000	50	Caro- Bz /St _{sert} *	0,5...1,2	
		2500	50	KH/St _{sert}	0,5...1,2	

Elektrik ve su makinaları					
◆ n<1500,durma zamanı<8	24	120	10	WM10/St50	0,8...1,5
◆ n<1500,durma zamanı>8	25	70	10	WM10/St50	-
◆ n>1500,durma zamanı<8	26	50	14	WM10/St50	-
◆ n>1500,durma	27	-	-	WM80/St50	-
Turbo makinalar					
◆ Michell-eksenel yatağı	28	300	60	WM,KH,St	-
◆ Buhar türbinleri	29	80	60	WM/St	0,8...1,25
◆ Buhar türbinleri	30	150	60	Bl-Bz/St	0,8...1,25
◆ Diğer turbo makinalar	31	150	-	Bl-Bz/St	1,5...2
Pistonlu buhar makinaları, kompresörler, pompalar					
◆ Kroshed ve piston pernoları	32	1200	-	WM,Bl-	-
◆ Ana mil,biyel yatağı	33	900	2,5	WM,Bl-	1
◆ Ana mil,mil yatağı	34	350	3,3	WM,Bl-	1,4
◆ Krank,biyel yatağı	35	750	3,5	WM,Bl-	0,85
◆ Krank, mil yatağı	36	450	3,5	WM,Bl-	1
◆ Dış yatak (Volan)	37	250	3,0	WM/St	-
◆ Kumanda milleri	38	150	-	WM/St	1
◆ Kroshed kızıağı	39	40	-	WM/St	-
◆ Kroshed kızıağı	40	30	-	GG/St	-
Lokomotifler					
◆ Biyel ve kroshed	41	1500	-	WM,Bz/St	0,5...0,6
◆ Kroshed kızıağı	42	100	-	Rg/St	-
Otomobil ve uçak motorları					
◆ Alçak devirli,biyel	43	1200	-	WM/St	0,5...0,6
◆ Alçak devirli, krank mili	44	800	-	Bl-Bz/St	0,5...0,6
◆ Yüksek	$\left. \begin{array}{l} 1,7 \cdot \bar{p} \\ 2,3 \cdot \bar{p} \end{array} \right\} \text{alçak devirli}$			Bl-Bz/St _{sert}	-
◆ Uçak				Bl-Bz/St _{sert}	-
Diesel Motorları					
◆ Dört zamanlı, ana yatak	45	550...1300	-	-	0,45...0,9
◆ Dört zamanlı, biyel yatağı	46	1250...2500	-	-	0,5...0,8
◆ İki zamanlı, ana yatak	47	500...900	-	-	0,6...0,75
◆ İki zamanlı, biyel yatağı	48	1000...1500	-	-	0,55...0,6
Ağır makinalar (ziraat ve gemi için)					
◆ Alçak devirli, biyel	49	1500	-	WM,Bl-	0,65...0,8
◆ Alçak devirli, krank mili	50	900	-	-	0,7...0,9
◆ Alçak devirli, piston pernosu (b/d bütün dayanma	51	2400	-	-	1,6...1,7

◆ Yüksek devirli: 1,5 · \bar{p} alçak devir.				-	-
Mafsallar	52	1500	-	St_{sert}/St_{sert}	-
	53	300	-	GG/St	-
	54	900	-	Rg,Bz/ St_{sert}	-
	55	500	-	Rg,Bz/St	-
◆ Aerostatik yağlamalı yatak	56	350	-	-	-
◆ Aerodinamik yağlamalı	57	60	-	-	-
◆ Hidrostatik yağlamalı yatak	58	400	20	St/St	0,8

* Carobronze – Kalay bronzu $CuSn8$ (DIN17662)

\bar{p} – ortalama yüzey basıncı

u – çevre hızı

4) Aksenal kaymalı yataklar :

Bir yataktan genel olarak aşağıdaki özelliklere sahip olması istenir ;

- ◆ Sürtünme ve buna bağlı sürtünme kayıplarının az olması,
- ◆ Geometrik şeklin korunması için aşınmaların minimum olması,
- ◆ Sıcaklığın emniyet sınırları içinde kalması.

Sürtünme (sürtme), birbirine göre izafi harekette bulunana cisimlerin temas yüzeylerinin birbirine karşı gösterdikleri dirençtir şeklinde tarif edilebilir ve birbirinden tamamen farklı üç cins sürtünme ardır:

Kuru sürtünme

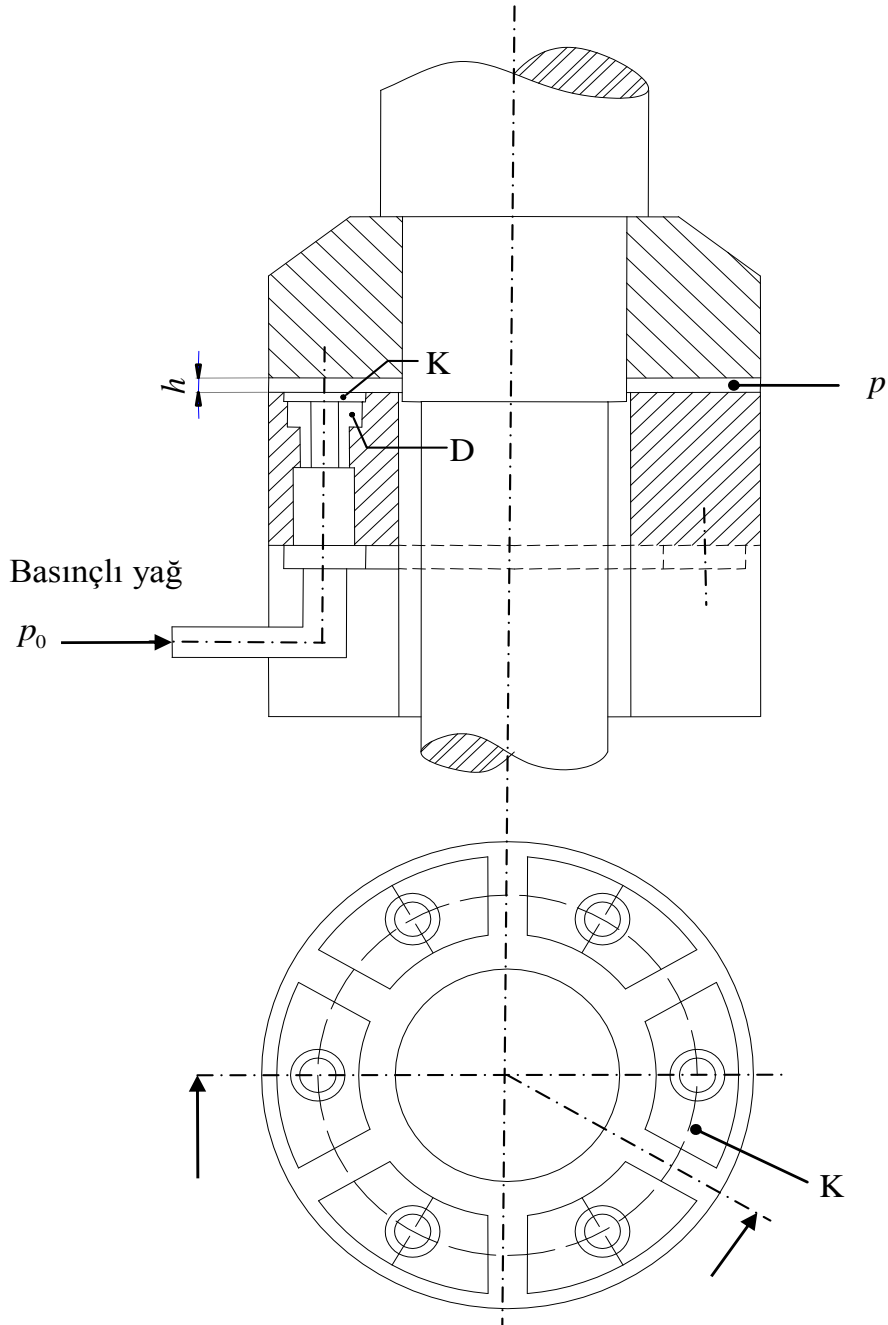
Sıvı sürtünme (Yüzme sürtünmesi)

Yarı sıvı sürtünme (karma, karışık veya sınır sürtünme)

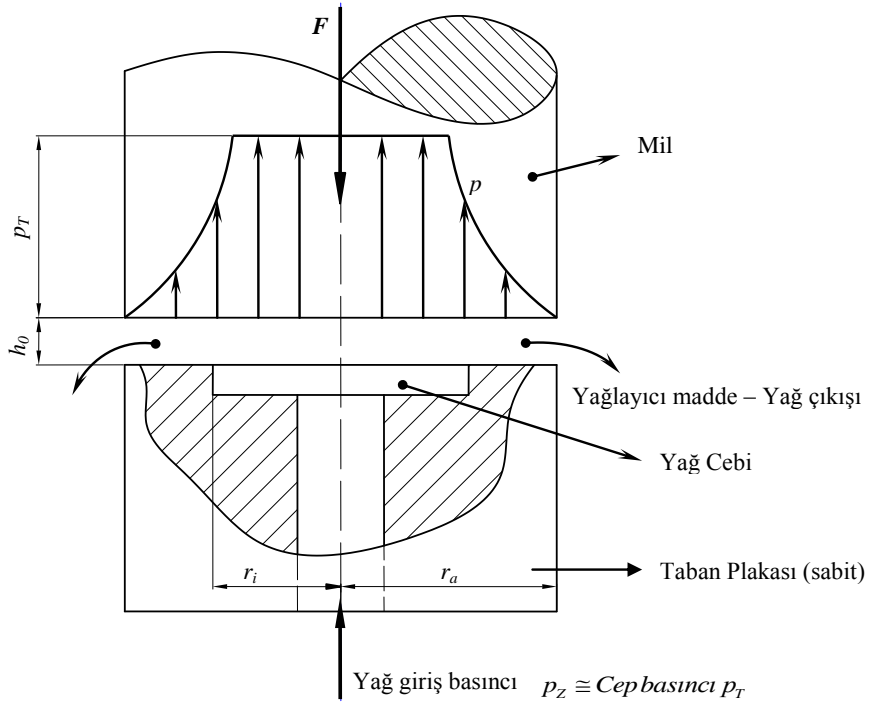
Eğer yüzeyler yağlayıcı madde tarafından tamamen ayrılmış ve yüzeyler arasındaki temas önlenmişse bu hale “sıvı sürtünme” hali, sıvı sürtünme ile kuru sürtünme arasında ise kısmen yüzeysel temasında bulunduğu geniş bir bölge vardır ki bu bölgeye de “yarı sıvı sürtünme” bölgesi denir.

Kayma yüzeyleri arasındaki yağ tabakası (yağ filmi), hidrodinamik (bilezikli, pompalı v.s.yağlayıcılar.) veya hidrostatik (yağ, dışarıdanyüksek basınçla yatağın içine iletilir) yağlama ile elde edilebilir.

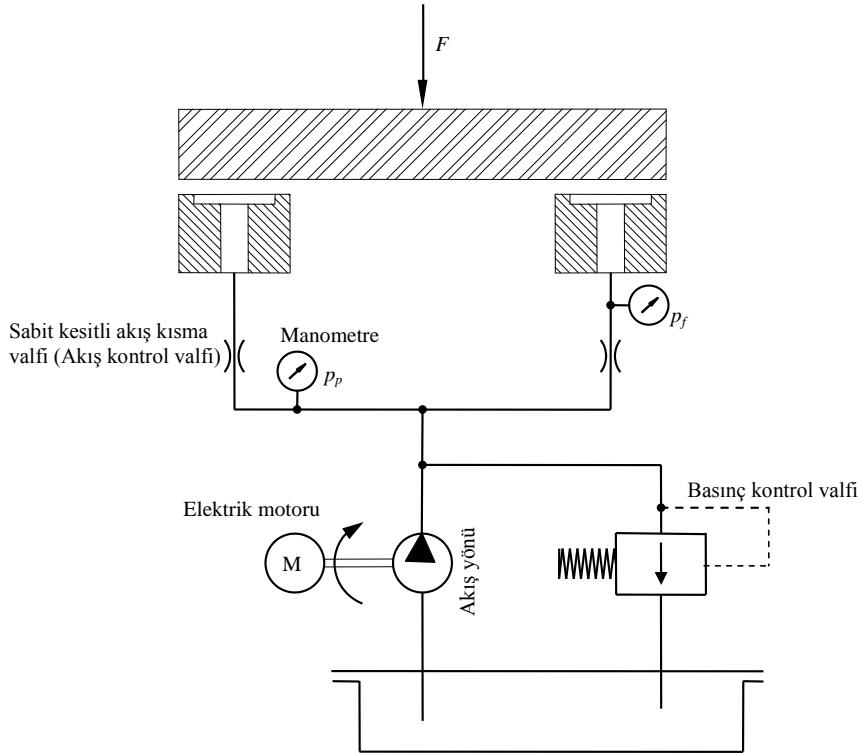
Bilgi için, hidrostatik aksenal yataklar ile ilgili; basit bir konstrüksiyon Şekil 2, basınç dağılımı Şekil 3 ve yağlama şeması da Şekil 4 te verilmiştir.



Şekil Hidrostatik yağlamalı ve basınç odalı (cepli) aksenel yatak (Karl-Heinz Decker)
K – Yağ cebi (basınç odası)
D – Kısmi valfi (regülatör)
h – Yağ tabakası kalınlığı (yüksekliği)



Şekil Şematik olarak, paralel yüzeyli hidrostatik aksenal yatakta basınç dağılımı (Roloff/Matek)

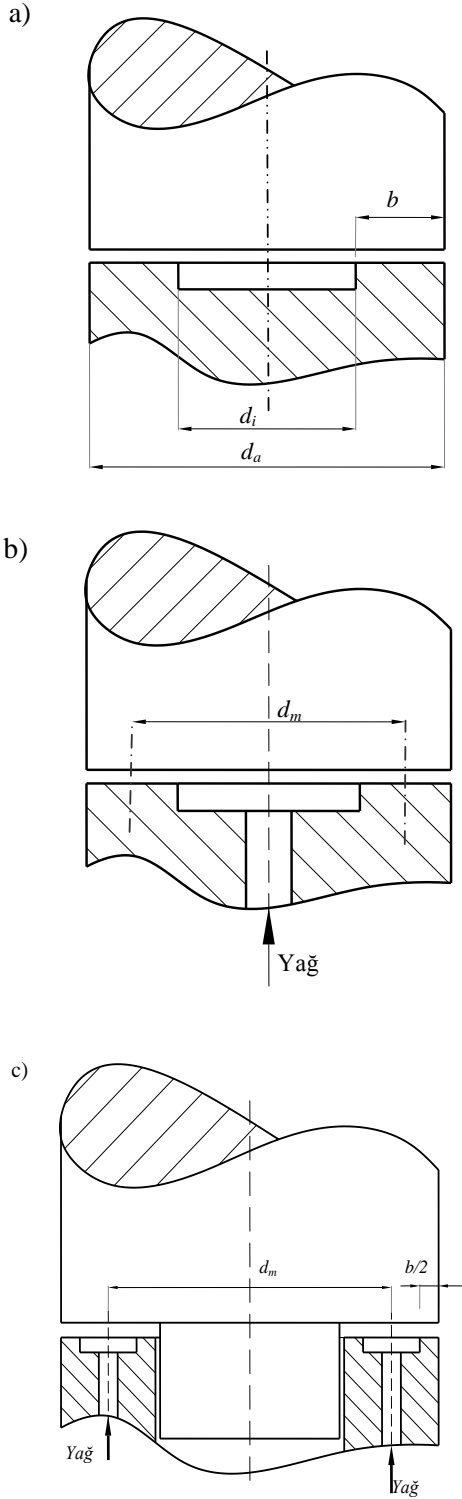


Şekil - Hidrostatik yatakta yağlama şeması. Bir pompalı ve her bir cep önünde vanalı (ayarlanan dirençli) model.

$$p_f - \text{Ceb basıncı}, \quad p_p - \text{pompa basıncı}.$$

▪ **Düz levhalı veya halkalı eksenel yataklar (şekil 5)**

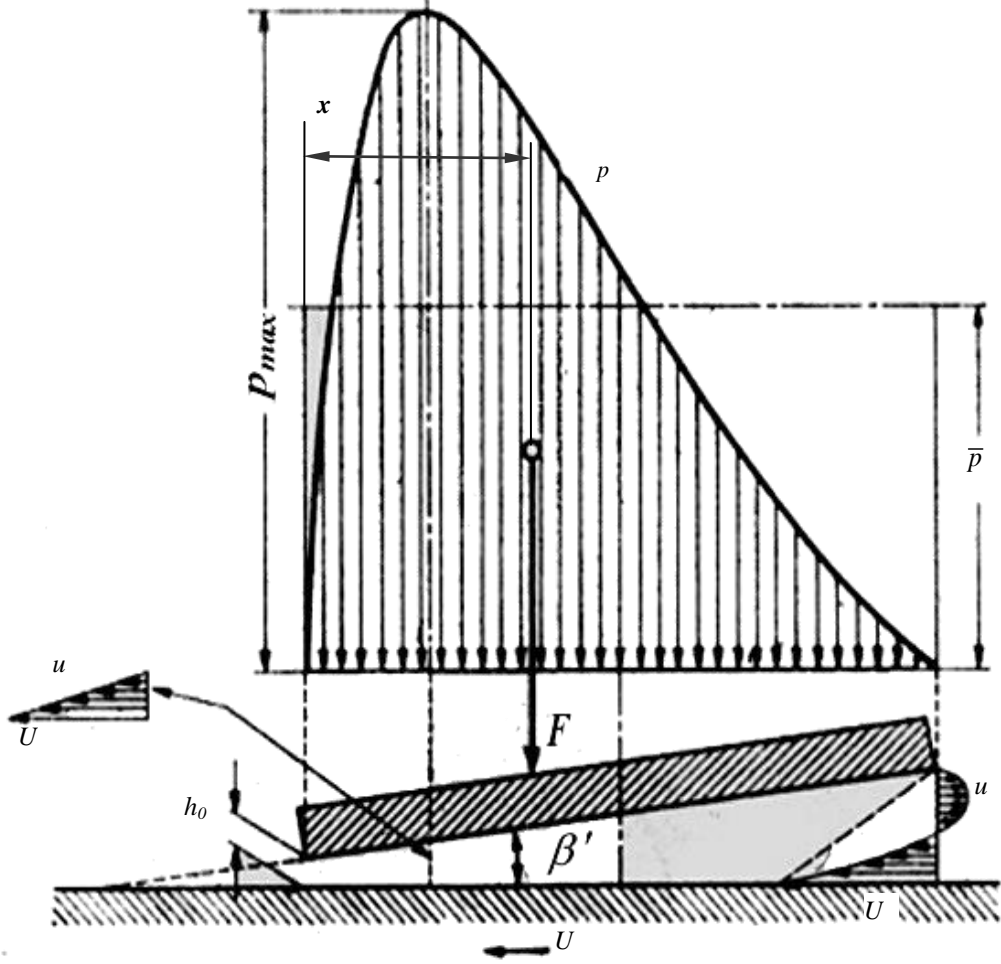
Kayma yüzeylerinin kendilerini yağ basıncına göre ayarlayamadıkları için çok küçük yükler ($\bar{p} = 30 \dots 80 \text{ N/cm}^2$) ve hızlar ($u = 5 \dots 10 \text{ m/sn}$) için kullanılır veya yüksek basınçlı yağ ile (yağ pompası) büyük yükler için kullanılır hale getirilebilirler (Şekil 2)



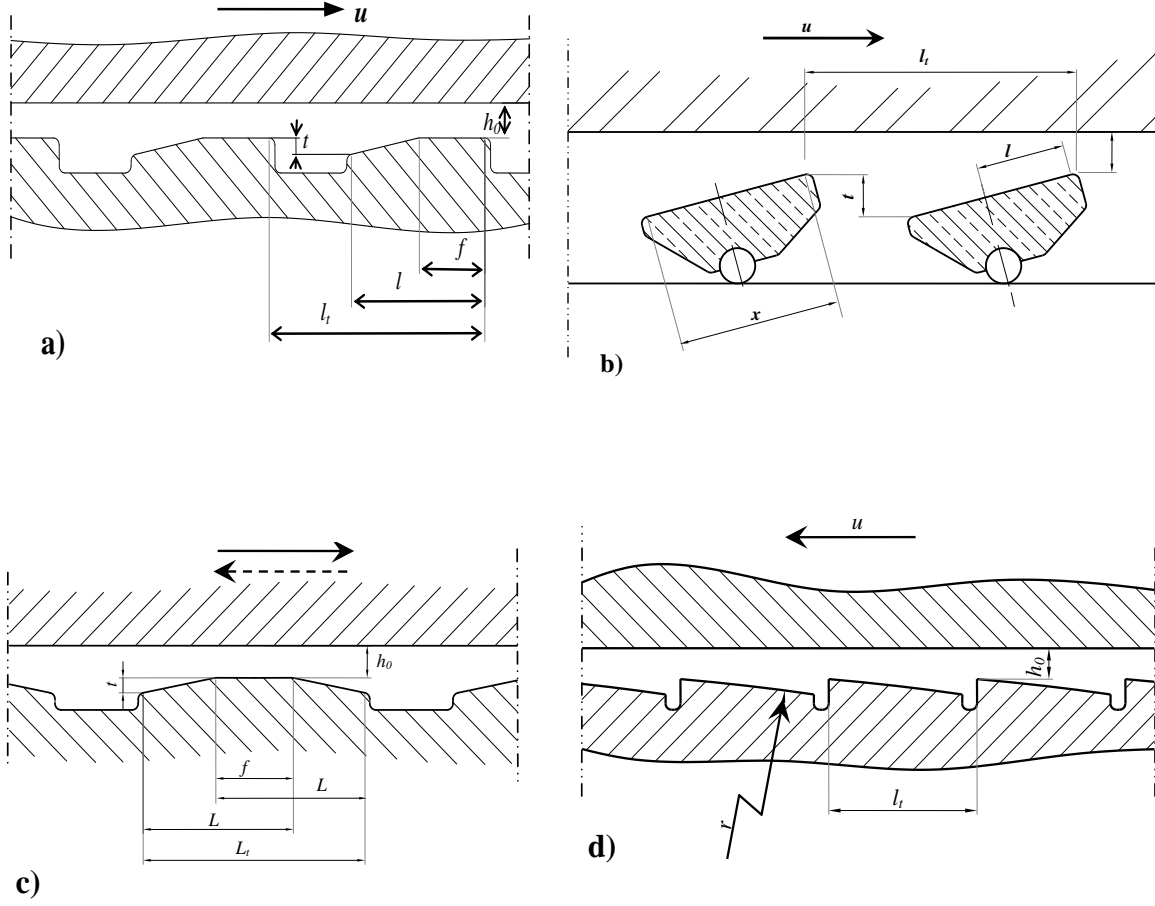
Şekil - Düz levhalı veya halkalı yataklar.

▪ **Lokmalı (segmanlı) aksenal yataklar;**

Eksenel yataklarda, kalınlığı hareket yönünde azalan her yağ filmi, yük taşıyabilen bir yağ tabakasının oluşması için elverişlidir. Dolayısıyla, düz kayma yüzeylerinde yağlama kanalı elde etmek için kayma yüzeyleri bir tarafa eğik yapılır. (Tek parçalı segmanlı yataklar) veya birkaç oynak yüzeyden (Oynak segmanlı yataklar) oluşturulur (Şekil 6,7)



Şekil - β' eğimli düz levhanın yağ tabakasında, u hızı ve p yağ basıncı dağılışı (KLEMENCİC'e göre)



Şekil – Aksenal yataklarda, çeşitli kayma kanalları (Yağ filmi şekilleri):

- a)** Tek parçalı (sabit) işlenmiş kama yüzeyli ($L \cong 0,8 \cdot L_t$ ve $f \cong 0,25 \cdot L$),
- b)** Oynak segmanlı ($L \cong 0,8 \cdot L_t$ ve $x \cong 0,42 \cdot L$),
- c)** Her iki yönde çalışabilen tek parçalı (sabit) işlenmiş kama yüzeyli ($L \cong 0,5 \cdot L_t$),
- d)** Bombelenmiş (yuvarlatılmış) kayma yüzeyli.

- L - Segmanın d_m çapı üzerindeki uzunluğu
- L_t - Adım veya hatve
- h_0 - En ince yağ filmi kalınlığı
- t - Kama derinliği
- x - Destek ağırlık merkezi ile kenar arasındaki mesafe
- f - Düz kayma yüzeyi boyutu veya ara yüzey uzunluğu
- r - Bombe yarıçapı

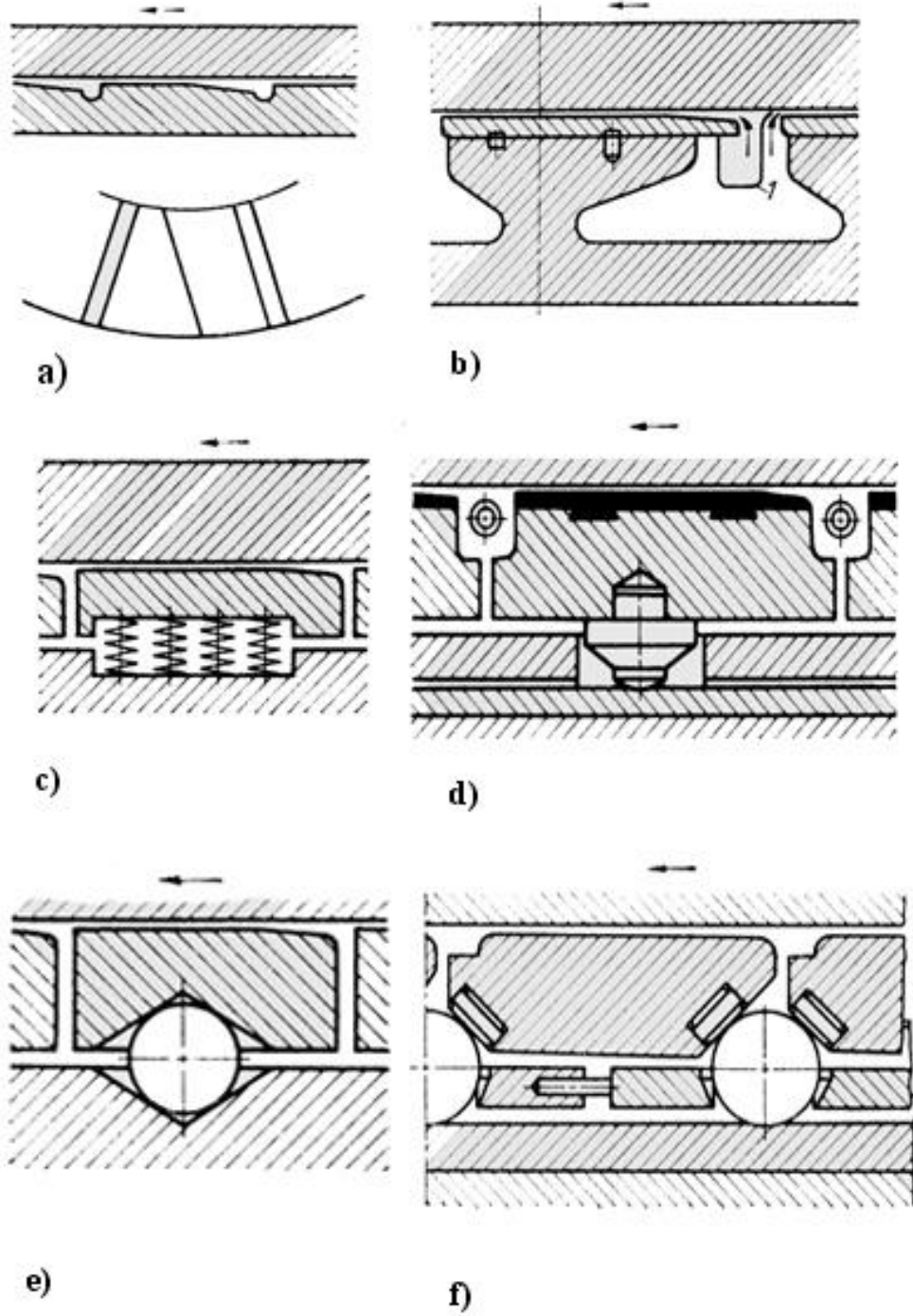
Her yük ve devir için en iyi çözüm, oynak segmanlı yataklardır (Şekil 7b). Bu yataklar kendi yağ basınçlarını kendileri meydana getirirler ve sürtünme katsayıları küçüktür. Tek parçalı segmanlı yataklarda, segmanlar belirli bir eğimle işlenmiş (şekil 7) olup, yağ basıncı oynak segmanlı yataklarda olduğu gibi oluşmasına rağmen, bu basınç daha azdır.

Konstrüktör film şekillerini seçerken bunun imalinin basit olup olmadığını da göz önüne almak zorundadır. Bu son faktör, çok defa en ağır basandır.

Konstrüksiyonlarda, segmanların uygun açığı kendi kendine ayarlamasından başka, yükün bütün segmanlara eşit şekilde dağılmasına ve yükün segmanlara dik gelmesine gayret edilir. Şekil 8, basınç dağılımı için çeşitli çözümleri göstermektedir. Burada segmanların yüzeyleri bombeleşmiş, yağlı veya plastik (yumuşak demir, metal, fiber gibi. Kayma yüzeyinin elastik deformasyonu sonunda meydana gelen yağ filmleri de vardır.) parçalar konmuş veya bütün bir levha uygun bir tarzda şekillendirilmiştir (şekil 8).

Segmanların yüzeyleri gerektiğinde beyaz metal veya plastik kaplanmış olup dönme yönündeki kenarları yuvarlatılmış veya pah verilmiştir. Segmanların sağa sola kaymaları da gerekirse konstrüktif düzenlemelerle önlenmelidirler.

Yağlama, düşey millerde dalma yağlama veya basınçlı yağlama şeklinde ve daima içten dışa doğru yapılır.



Şekil – Eksenel yataklarda çeşitli segman konstrüksiyonları :

- a) Radyal kanallı plakalar,
- b) Eğilme yayı ve mantar şeklindeki taşıma parçalı plakalar (Ateliers de Chamilles)
- c) Birçok helisel yay üzerine oturtulmuş oynak segman (Gen.Electr.Comp.),
- d) Yumuşak demir disk üzerine oturtulmuş bir mesnede bağlı oynak segman (Escher Wyss)
- e) Bilya üzerine oturtulmuş oynak segman (Niemann),
- f) Aralarına mesnet bilyaları konmuş segmanlar (BBC)

5) Eksenal yatakların konstrüktif büyüklükleri :

- a) Ortalama yüzey basıncı \bar{p}
Segmanlı yataklarda ortalama yüzey basıncı,

$$\bar{p} = \frac{F}{z \cdot b \cdot L} \quad \frac{\bar{p}}{N/cm^2} \left| \frac{F}{N} \right| \frac{b}{cm} \left| \frac{L}{cm} \right. \quad (1)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

- ◆ Beyaz metal yataklar için,

$$\bar{p} = 100 \dots 400 N/cm^2 \quad (2)$$

- ◆ Bronz yataklar için,

$$\bar{p} = 100 \dots 800 N/cm^2 \quad (3)$$

- ◆ Teflon (polytetrafluoräthylen) yataklar için,

Yoğunluğu	:	2,2 kg / dm ³
Kopma mukavemeti	:	10...20 N / mm ² (20° C de)
Eğilme mukavemeti	:	11 N / mm ² *
Basma mukavemeti	:	7...12 N / mm ² **
Darbe sünekliği	:	8,6 daNcm / cm ²
Kopma uzaması	:	250...400 (%)
E-Modülü	:	350 N / mm ² ***
Bilya baskı sertliği (60sn.)	:	120 kg / cm ² ****
Max. kullanma sıcaklığı	:	~ 200° C

* : 120 mm. Açıklıkta 15 mm çökme (sehim)

** : Würfel den, (1 cm³)

*** : Gevrek plastik malzemelerde şekil değiştirme (deformasyon) modülü : Uzama – 4 saat çekme.

**** : Bilya çapı : 0,5mm ,Yük:490 N, Yükleme süresi : 60 saniye

değerleri alınabilir.

F - Yükeme kuvveti (yatak kuvveti, aksel yatak yükü)

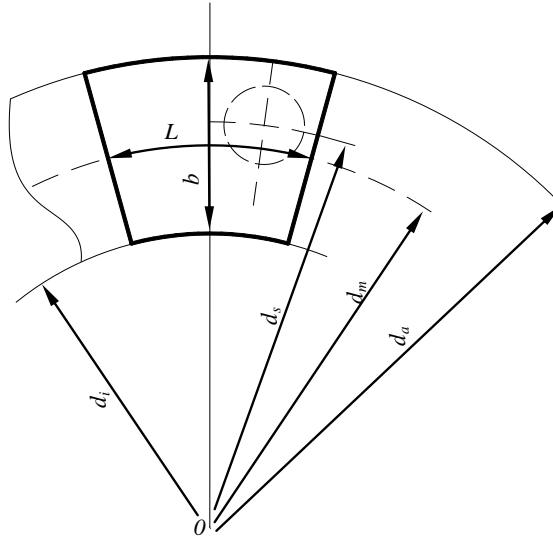
z - Segman sayısı, yatak büyüklüğüne göre;

$$z = 4 \dots 12 \quad (4)$$

seçilir.

L - Ortalama segman uzunluğu (d_m ortalama çapa karşılık gelen segmanın uzunluğu)

b - Yatak genişliği (taşıyıcı yatak genişliği; yatak halka genişliği)



Şekil – Konstrüktif boyutlar

b) L/b oranı;

$$\blacklozenge \frac{L}{b} \cong 1,0 \quad (5)$$

için; taşıma kabiliyeti maksimum, sürtünme katsayısı minimumdur.

$$\blacklozenge \frac{L}{b} \cong 0,7 \dots 1,2 \quad (6)$$

En çok kullanılanlardır. Yüksek devirli yataklar için küçük değerler alınır.

c) Ortalama segman uzunluğu L ;

$$\begin{aligned} \bar{p} &= \frac{F}{z \cdot b \cdot L} & (Eşitlik 1) \quad L &= \frac{F}{\bar{p} \cdot z \cdot b} \quad \rightarrow \quad L^2 = \frac{F \cdot L}{\bar{p} \cdot z \cdot b} = \frac{F \cdot (L/b)}{\bar{p} \cdot z} \\ L &= \sqrt{\frac{F \cdot (L/b)}{\bar{p} \cdot z}} & \frac{L}{m} & \left| \frac{F}{N} \right| \frac{\bar{p}}{N/m^2} \end{aligned} \quad (7)$$

elde edilir.

d) Doluluk derecesi (φ');

Segmanlar arasındaki boşluğu belirten faktördür. Ekseriya;

$$\varphi' \cong 0,8 \quad (8)$$

Her iki yönde çalışan yataklar için de,

$$\varphi' \cong 0,5 \quad (9)$$

seçilir ve,

$$\varphi' = \frac{L}{L_t} \quad (10)$$

oranı ile tariflenir.

L_t - Adım veya hatve (Ortalama çapa karşılık gelen. Şekil 7)

e) Ortalama yatak çapı d_m ;

L_t adımı;

$$L_t = \frac{\pi \cdot d_m}{z} \quad (11)$$

dolayısıyla,

$$\varphi' = \frac{L}{L_t} = \frac{z \cdot L}{\pi \cdot d_m} \cong 0,8$$

$$d_m = \frac{z \cdot L}{\pi \cdot 0,8} \quad (12)$$

bulunur.

f) Yatak dış çapı d_a ;

$$d_a = d_m + b \quad (\text{Şekil 9}) \quad (13)$$

g) Yatak iç çapı d_i ;

$$d_i = d_m - b \quad (\text{Şekil 9}) \quad (14)$$

6) Eksenel yatakların hesabı

a) Taşıma sayısı ve ya taşıma faktörü (Eksenel yataklar için) $S_{O_{ax}}$;

$S_{O_{ax}}$, yük denkleminde hesaplanabilir veya ε ve L/b ye bağlı olarak Şekil 10 dan alınabilir.

$$S_{O_{ax}} = \frac{\bar{p} \cdot h_0^2}{\eta \cdot u \cdot b} \quad \frac{\bar{p}}{N/mm^2} \left| \frac{h_0}{m} \right| \frac{\eta}{N \cdot s/m^2} \left| \frac{u}{m/s} \right| \frac{b}{m} \quad (15)$$

h_0 - En küçük (minimum) yağ tabakası (film) kalınlığı (işletme devir sayısında)

η - Dinamik viskozite (işletme sıcaklığında)

Su için, sıcaklığa bağlı olarak; yoğunluk, dinamik viskozite ve kinematik viskozite değerleri Cetvel 2 de verilmiştir.

Cetvel Su için karakteristik değerler, 0,981 bar da
(Dubbel "Taschenbuch für den Maschinenbau")

t [°C]	0	10	20	30	40	50	60	80	100
ρ [kg/m ³]	1000,3	999,3	997,3	995,4	992,4	990,5	980,7	971,8	957,1
$10^6 \cdot \eta$ [Pas]	1790,5	1309,1	1001,3	797,3	653,0	547,7	464,8	354,7	282,4
$10^6 \cdot \nu$ [m ² /s]	1,79	1,31	1,004	0,801	0,658	0,553	0,474	0,365	0,295

ν - Kinematik viskozite

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad \frac{\nu}{m^2/s} \left| \frac{\eta}{N \cdot s/m^2} \right| \frac{\rho}{kg/m^3} \quad (16)$$

(Pa · s)

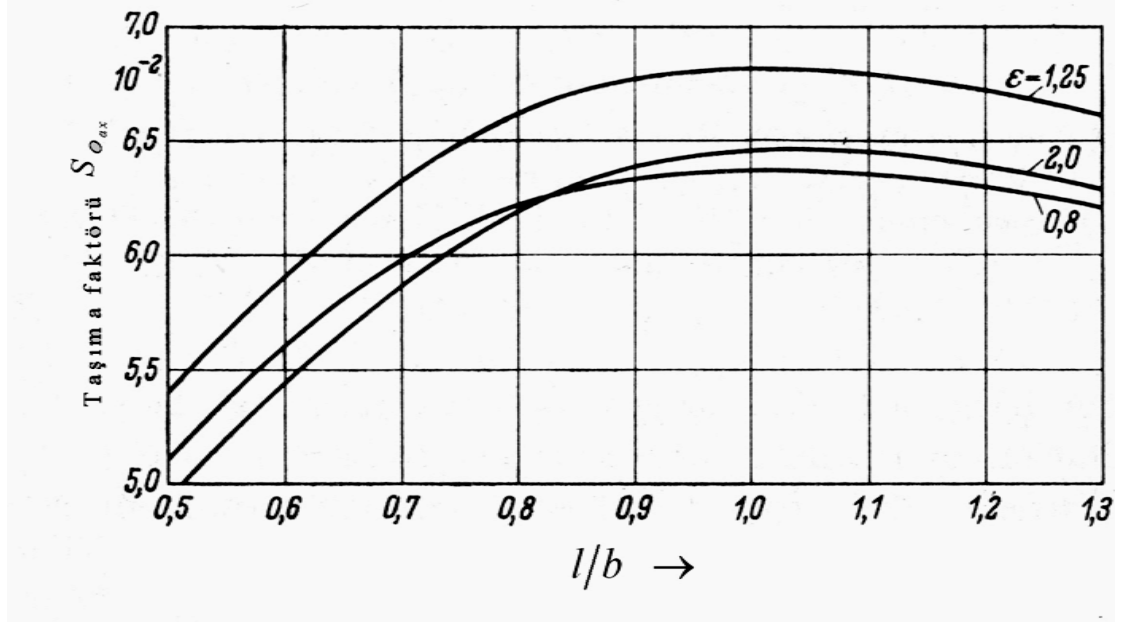
SI – Uluslar arası birim sisteminde (m,kg,N,kW,K)

$$\underbrace{1Pas}_{\text{Paskal saniye}} = 1Ns/m^2 = 10 Poise = 10^3 Zentipoise = 10^3 cP$$

$$1 mm^2/s = 1 \cdot 10^{-6} m^2/s = 1 Zentistokes = 1 cSt$$

$$1 \frac{N}{m^2} = 1 Pa (Paskal) , 10^5 Pa = 1 bar$$

Ayrıca, suyun sıcaklığa bağlı olarak kinematik viskozitesi Şekil 11 deki diyagramdan da okunabilir.



Şekil - ε ve L/b ye bağlı olarak taşıma faktörü S_{ox} değerleri (Drescher'e göre)

Şekil 10 incelendiğinde ; $\varepsilon = 1,25$ ve $L/b = 1,0$ için, taşıma faktörü S_{ox} in maksimum olduğu görülür.

- Tek parçalı işlenmiş kama yüzeyli aksinel yataklarda (Şekil 7a);

$$\varepsilon = 1,25 \dots 1,60 \quad (17)$$

- Oynak segmanlı yataklarda (Şekil 7b), genellikle ;

$$\varepsilon = 1,25 \quad (18)$$

alınır.

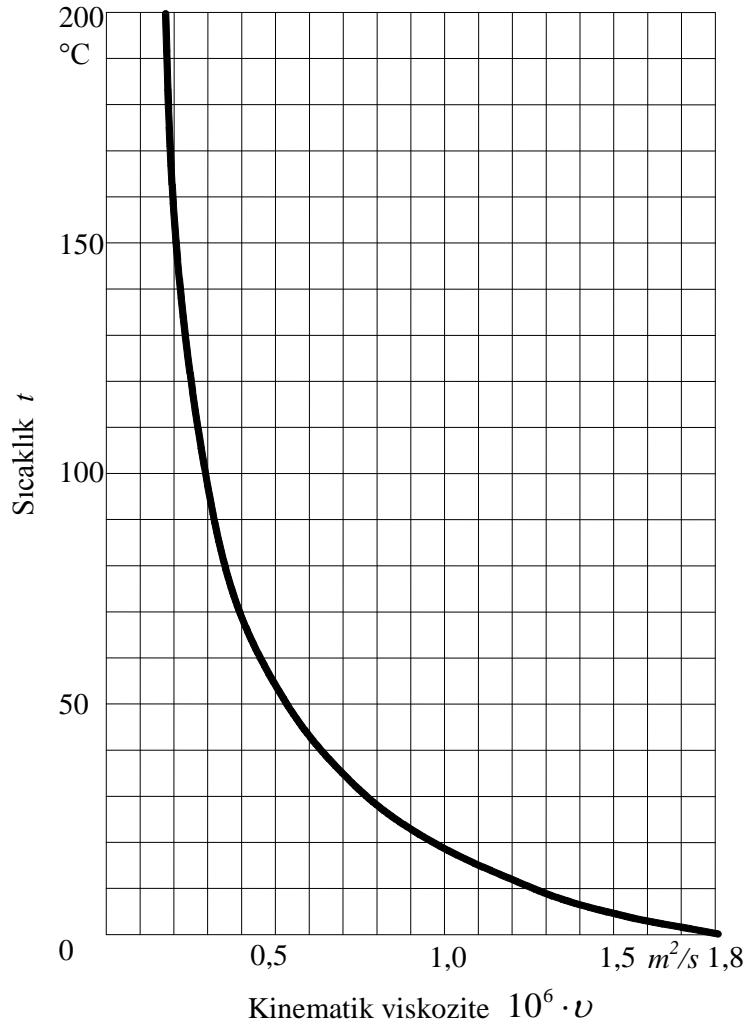
ε - Yağ kaması – boyutlar oranı (Kama yüzeyli kayma kanalında (Şekil 7)

$$\varepsilon = \frac{t}{h_0} \quad (19)$$

t - Kama derinliği (Kayma yüzeyleri arasında oluşan kama şeklindeki yağ kanalında), yağ kaması derinliği veya segman eğim yüksekliği (segmanın eğim yüksekliği) Şekil 7

u – ortalama çevre hızı

$$u = \pi \cdot d_m \cdot n / 60 \quad \frac{u}{m/sn} \left| \frac{d_m}{m} \right| \frac{n}{d/dak} \quad (20)$$



Şekil – Suyun, sıcaklığa bağlı olarak kinematik viskozitesi (Technisches Handbuch “PUMPEN”)

b) Oynak segmanlı yataklarda;

◆ Destek ağırlık merkezi (S) ile kenar arasındaki mesafe x (şekil 12),

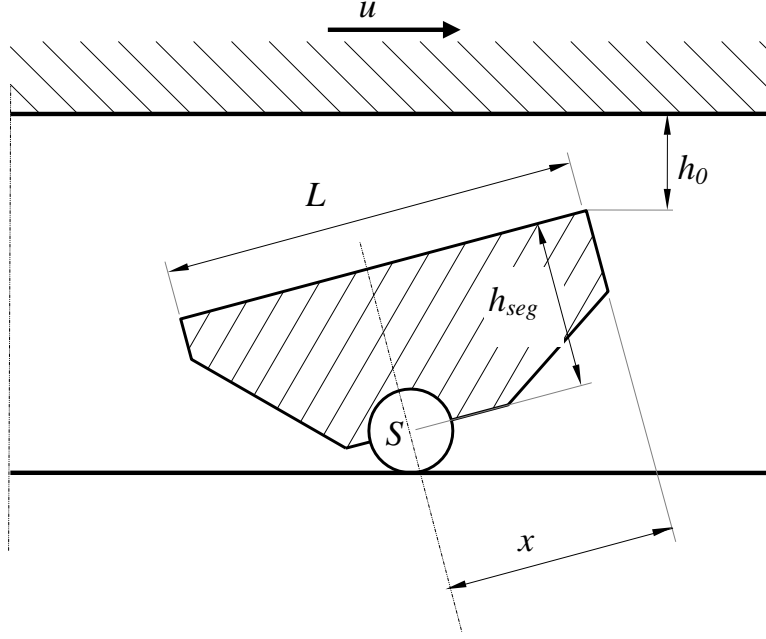
x , hidrodinamik kuvvet bileşeninin etkidiği noktadır. Dolayısıyla bu noktada segman desteklenmelidir.

$$x = 0,42 \cdot \frac{L \cdot d_s}{d_m} \cong 0,42 \cdot L \quad (21)$$

veya,

$$x = (d_a - d_s) / 2 \quad (22)$$

bağıntıları kullanılabilir.



Şekil – Oynak segman

- ◆ Destek ağırlık merkezi (S), çapı d_s (şekil 9),

$$d_s = \sqrt{0,5 \cdot (d_a^2 + d_i^2)} \quad (23)$$

dır.

- ◆ Segman kalınlığı h_{seg} (şekil 12)

Destekleme noktasında segman kalınlığı için kabul edilebilir değerler,

$$h_{seg} = 0,25 \cdot \sqrt{b^2 + l^2} \quad (24)$$

eşitliğinden bulunabilir.

- c) Sürtünme gücü P_R ,

Kayma yüzeyleri arasında meydana gelen sürtünme işi ısıya çevrilmekte ve çevreye geçmektedir.

Sürtünmenin meydana getirdiği güç kaybı (sürtünme kayıp gücü) veya sürtünme gücü (sürtünme ile üretilen ısı),

$$P_R = F \cdot \mu \cdot u \quad \frac{P_R}{Nm/sn} \Big| \frac{F}{N} \Big| \frac{u}{m/sn} \quad (25)$$

(w)

bağıntısı ile hesaplanabilir.

μ – Sürtünme katsayısı

Vogelpohl'a göre;

$$\mu = k \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot u}{b \cdot \bar{p}}} \quad \frac{\eta}{\frac{N \cdot sn}{m^2}} \left| \frac{u}{\frac{m}{sn}} \right| \frac{b}{m} \left| \frac{\bar{p}}{\frac{N}{m^2}} \right| \quad (26)$$

dır.

k – Sürtünme katsayısı faktörü

Kullanılan klasik $\frac{L}{b}$ (sayfa 14) ve ε (sayfa 17) değerleri için,

$$k = 3,0 \quad (27)$$

alınabilir. (Aksi takdirde, VDI 2204'e bakınız).

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (Alman Mühendisler Birliği)

VDI2204 – Gleitlagerberechnung (Kaymalı yatakların hesabı)

Dolayısıyla sürtünme gücü,

$$P_R = F \cdot u \cdot k \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot u}{b \cdot \bar{p}}} = F \cdot u \cdot k \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot u}{b} - \frac{z \cdot b \cdot L}{F}}$$
$$P_R = 3 \cdot u \cdot \sqrt{F \cdot u \cdot z \cdot L} \cdot \sqrt{\eta} = \Phi_{ax} \cdot \sqrt{\eta} \quad (28)$$

elde edilir.

Not: "Tochterman /Bodenstein" ye göre;

$$k = \sqrt{\frac{3,2 \cdot \left[1 + a \cdot \left(\frac{L}{b} \right)^2 \right] \cdot \left[(1 + 2 \cdot \varphi) \cdot \ln \frac{1 + \varphi}{\varphi} - 1,5 \right]^2}{\frac{L}{b} \cdot (1 + 2 \cdot \varphi) \cdot \left[(1 + 2 \cdot \varphi) \cdot \ln \frac{1 + \varphi}{\varphi} - 2 \right]}}$$

φ - Rölatif yağ tabakası yüksekliği (İzafi, minimum yağ tabakası kalınlığı)

$$\varphi = \frac{h_0}{t}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{L}{b} = 0,7 \dots 1,3 \\ \varphi = 0,6 \dots 1 \end{array} \right\} k = 3$$

a - Katsayı

$$a = \frac{10}{(2 \cdot \varphi + 1)^2} \cdot \left[(\varphi + \varphi^2)^2 + \frac{1 - 2 \cdot (\varphi + \varphi^2)}{12 \cdot \left[(1 + 2 \cdot \varphi) \cdot \ln \frac{1 + \varphi}{\varphi} - 2 \right]} \right]$$

$\varphi = 0,8$ için,

$$a = \frac{10}{(2 \cdot 0,8 + 1)^2} \cdot \left[(0,8 + 0,8^2)^2 + \frac{1 - 2 \cdot (0,8 + 0,8^2)}{12 \cdot \left[(1 + 2 \cdot 0,8) \cdot \ln \frac{1 + 0,8}{0,8} - 2 \right]} \right]$$

$$\underline{\underline{a = 0,93}}$$

$\frac{L}{b} = 1$ için

$$k = \sqrt{\frac{3,2 \cdot \left[1 + 0,93 \cdot (1)^2 \right] \cdot \left[(1 + 2 \cdot 0,8) \cdot \ln \frac{1 + 0,8}{0,8} - 1,5 \right]^2}{1 \cdot (1 + 2 \cdot 0,8) \cdot \left[(1 + 2 \cdot 0,8) \cdot \ln \frac{1 + 0,8}{0,8} - 2 \right]}}$$

$$\underline{\underline{k \cong 2,85}}$$

bulunur.

Ayrıca,

$$\frac{x}{L} = \frac{0,5 + 3 \cdot \varphi - (2 \cdot \varphi + 3 \cdot \varphi^2) \cdot \ln \frac{1 + \varphi}{\varphi}}{(1 + 2 \cdot \varphi) \cdot \ln \frac{1 + \varphi}{\varphi} - 2}$$

$\varphi = 0,8$ için,

$$\frac{x}{L} = \frac{0,5 + 3 \cdot 0,8 - (2 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,8^2) \cdot \ln \frac{1 + 0,8}{0,8}}{(1 + 2 \cdot 0,8) \cdot \ln \frac{1 + 0,8}{0,8} - 2}$$

$$\underline{\underline{x \cong 0,42 \cdot L}}$$

Eşitlik 21 elde edilir.

d) Isınma Faktörü (Isınma karakteristik sayısı) W_{ax} ;

Isınma faktörünü hesaplamak için aşağıdaki bağıntı kullanılır,

$$W_{ax} = \frac{3 \cdot u \cdot \sqrt{F \cdot u \cdot z \cdot L}}{\alpha^* \cdot A} = \frac{\Phi_{ax}}{\alpha^* \cdot A} \quad (29)$$

$$\frac{W_{ax}}{m \cdot K / (N \cdot s)^{1/2}} \left| \frac{u}{m/s} \right| \left| \frac{F}{N} \right| \left| \frac{L}{m} \right| \left| \frac{\alpha^*}{Nm / \underbrace{(m^2 \cdot s \cdot K)}_{\left[\frac{W}{(m^2 \cdot K)} \right]}} \right| \left| \frac{A}{m^2} \right|$$

α^* – Isı taşınım katsayısı (Yatak dış yüzeyi ile çevre ortam arasında gerçekleşen ısı geçişi için)

Yaklaşık değerler;

- Doğal ısı taşınımında,

$$\alpha^* \cong 15 \dots 25 \frac{W}{(m^2 \cdot K)} \quad (30)$$

Durgun-sakin-havada veya hava hızı $w = 1,25 \frac{m}{sn}$ için (özel bir soğutmaya tutulmayan yataklarda) ortalama değer olarak,

$$\alpha^* \cong 20 \frac{W}{(m^2 \cdot K)} \quad (31)$$

alınır.

- Zorlanmış ısı taşınımında,

$$\alpha^* \cong 40 \frac{W}{(m^2 \cdot K)} \quad (32)$$

veya, yatak etrafında hava hareketi var ise (w - Yatak etrafındaki havanın ortalama hızı) “VOGELPOHL”,

$$\alpha^* = 7 + 12 \cdot \sqrt{w} \quad \frac{\alpha^*}{W / (m^2 \cdot K)} \left| \frac{w}{m/s} \right| \quad (33)$$

eşitliği kullanılabilir. (Daha geniş bilgi için: Tuncer ÖZKAN. “Helisel Alın Dişli Çarklar” kitabına bakınız).

A - Yatağın ısı veren dış yüzeyi (Yatak dış yüzeyi, soğutma yüzeyi, etkili soğutma yüzeyi veya yatak gövdesinin çevre ortam ile temastaki dış yüzeyi)

Makina çok tabakalı (Birleşik) yatakları için (mesala, türbin yatağı),

$$A \cong (15 \dots 25) \cdot b \cdot d_m \quad (34)$$

alnabilir.

e) Yatak işletme sıcaklığı ϑ ,

Yatak gövdesinin bütünü, sabit bir ϑ sıcaklığında olduğu kabul edilirse, ϑ_0 çevre ortam sıcaklığı olmak üzere yatak gövdesinin soğutma gücü (yatağın soğutma gücü),

$$P_R = \alpha^* \cdot A \cdot (\vartheta - \vartheta_0) \quad (35)$$

olur. İşlem yapılırsa,

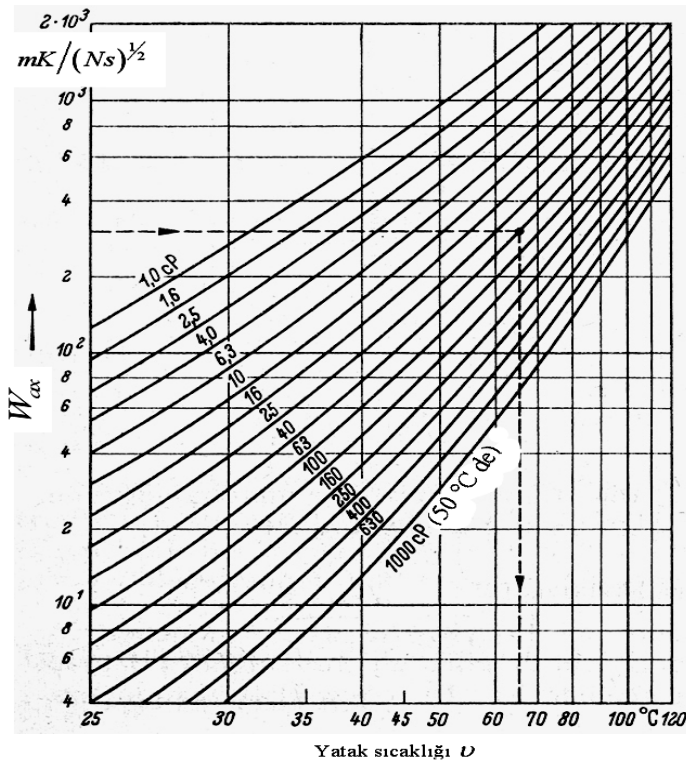
$$\Phi_{ax} \cdot \sqrt{\eta} = \alpha^* \cdot A \cdot (\vartheta - \vartheta_0)$$

ve,

$$\vartheta = \frac{\Phi_{ax} \cdot \sqrt{\eta}}{\alpha^* \cdot A} + \vartheta_0 = W_{ax} \cdot \sqrt{\eta} + \vartheta_0 \quad (36)$$

bulunur.

ϑ nın hesaplanma şekli, Radyal kaymalı yataklarda $S_o > 1$ olması (S_o – Sommerfeld sayısı) haline karşılık gelen hesaba benzer dolayısıyla, $\vartheta; W_{ax}$ ve η ya bağlı olarak Şekil 13 ten de alınabilir.



Şekil - $S_o > 1$ ve $\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$ de , yatak işletme sıcaklığının tespit edilmesi (VDI 2204'e göre).

Normal şartlar altında çalışan yataklarda,

$$\vartheta_{em} = 70 \dots 90^\circ \text{C} \quad (37)$$

olmalıdır.

$$\vartheta = 60^\circ \text{C} \quad (38)$$

uygun bir değer olarak alınabilir.

$\vartheta > \vartheta_{em}$ olması halinde ilave soğutma (yağ pompası ile yapılan basınçlı yağlama, örneğin; devri daim yağlama) yapılır.

Yatak işletme sıcaklığı ϑ nın bilinmesiyle , dinamik işletme viskozitesi η ;

$$\eta = \left(\frac{\vartheta - \vartheta_0}{W_{ax}} \right)^2 \frac{\eta}{N \cdot s / m^2} \left| \frac{\vartheta - \vartheta_0}{K} \right| \frac{W_{ax}}{m \cdot K} \frac{1}{(N \cdot s)^{1/2}} \quad (39)$$

bağıntısından hesaplanabilir veya Şekil 14'teki diyagramdan okunabilir.

ÖZET :

- ◆ Yatak işletme sıcaklığı ϑ ;

$$\vartheta = W_{ax} \cdot \sqrt{\eta} + \vartheta_0 \quad (\text{Eşitlik 36})$$

veya

$$\left. \begin{array}{l} W_{ax} = \dots m \cdot K / (N \cdot s)^{1/2} \\ \eta = \dots cP (50^\circ \text{C}) \end{array} \right\} \vartheta = \dots^\circ \text{C} \quad (\text{Şekil 13})$$

- ◆ Dinamik işletme viskozitesi η ;

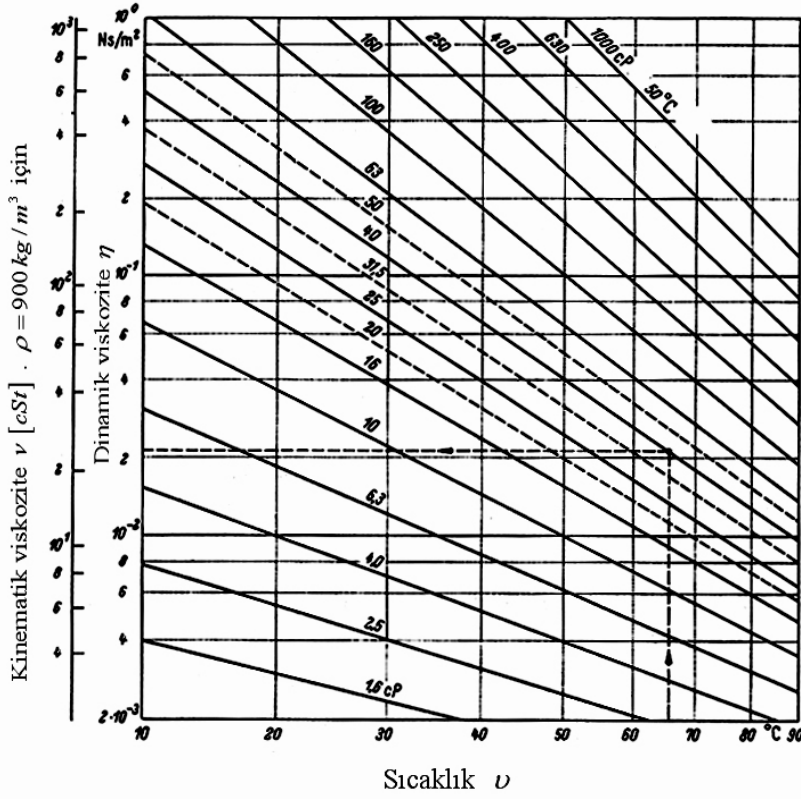
$$\eta = \left[(\vartheta - \vartheta_0) / W_{ax} \right]^2 \quad (\text{Eşitlik 39})$$

veya ,

$$\left. \begin{array}{l} \vartheta = \dots^\circ \text{C} \\ \eta = \dots cP (50^\circ \text{C}) \end{array} \right\} \eta = \dots Ns / m^2 \quad (\text{Şekil 14})$$

bulunur.

Not : Yağ tabakasının ortalama sıcaklığı, yaklaşık olarak yatağın sıcaklığı (veya, yatağın ve milin sürtünme yüzeylerindeki çalışma sıcaklığı) olarak alınabilir.



Şekil – Viskozite – Sıcaklık diyagramı normal (standart) yağlar için.

f) Soğutma yağı miktarı (soğutucu yağ debisi) Q_K ;

Yatakta, sürtünme ile üretilen ısı, yatak dış yüzeyinden çevre ortama atılan ısıdan daha fazla ise, yağ sıcaklığının müsaade edilemeyecek ($\vartheta_{em} = 70 \dots 90^\circ C$) kadar yüksek derecelere çıkmasını önlemek üzere özel önlemlerin alınması gerekir. Örneğin, devridaim yağlama sistemi gibi. İşte, dışarıdan yağ ile beslenen yataklarda yağ tarafından alınan ısı miktarı (yağın soğutma gücü):

$$P_{KK} = c_{yağ} \cdot \rho_{yağ} \cdot Q_K \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad (40)$$

$$\frac{P_{KK}}{W} \left| \frac{c_{yağ}}{Ws / (kgK)} \right| \left| \frac{\rho_{yağ}}{kg / m^3} \right| \left| \frac{Q_K}{m^3 / s} \right| \left| \frac{\Delta \vartheta}{K} \right|$$

dir. Burada;

$c_{yağ}$ - Yağın özgül ısısı (Cetvel 3)

$\rho_{yağ}$ - Yağın yoğunluğu (Cetvel 3)

$$(c \cdot \rho)_{yağ} \cong 1670 \cdot 10^3 \quad N \cdot m / (m^3 \cdot K) \quad (41)$$

$$(c \cdot \rho)_{su} \cong 4190 \cdot 10^3 \quad N \cdot m / (m^3 \cdot K) \quad (42)$$

Q_K - Soğutucu yağ debisi (soğutma için gereken yağ debisi)

$$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 \quad (43)$$

$\Delta \vartheta$ - Soğutucu yağın çıkış ve giriş sıcaklıkları farkı

Soğutucu akışkan olarak;

- ◆ Yağ kullanılıyor ise,

Madeni yağlar için

$$\Delta \vartheta \cong 10 K \quad (\text{max.} 20) \quad (44)$$

- ◆ Su kullanıyor ise,

$$\Delta \vartheta \cong 5 K \quad (44)$$

alınabilir.

Cetvel – Çeşitli soğutucu akışkanlar için karakteristik değerler
* Normal şartlarda

Soğutucu akışkan	Özgül ısı c [$w \cdot s / (kg \cdot K)$]	Yoğunluk ρ [kg / m^3]
Madeni Yağ	$(1,7 \dots 2,1) \cdot 10^3$	800...950
Sentetik yağ	$(1,7 \dots 2,1) \cdot 10^3$	800...950
Su	$4,2 \cdot 10^3$	1000
Kuru hava	$1 \cdot 10^3$	1,2*

Şu halde ısı denge denklemi genel olarak; “Yatakta ortaya çıkan ısı miktarı, yataktan çevre ortama verilen ısı miktarı ile yağ tarafından dışarıya atılan ısı miktarının toplamına eşit olmalıdır şeklinde ifade edilir. Formüle edilirse ısı kontrolü :

$$\underbrace{F \cdot \mu \cdot u}_{\substack{\text{Sürtünmeden} \\ \text{meydana gelen} \\ \text{ısı}}} = \underbrace{\alpha^* \cdot A \cdot (\vartheta - \vartheta_0)}_{\text{Gövde}} + \underbrace{c_{yağ} \cdot \rho_{yağ} \cdot Q_K \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)}_{\text{Yağ}} \quad (45)$$

Taraftan alınan ısı

denklemleri ile yapılır. Şu halde;

- ◆ Yağ devresi yatak içinde olan sistemlerde (sabit ve serbest bilezikli yağlama şekilleri gibi) bütün ısının yatak gövdesinden dışarı atıldığı kabul edilirse, Formül 45 aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir :

$$F \cdot \mu \cdot u = \alpha^* \cdot A \cdot (\vartheta - \vartheta_0) \quad (\text{Eşitlik 35})$$

Yatağın çalışma sıcaklığı,

$$\vartheta = \frac{F \cdot \mu \cdot u}{\alpha^* \cdot A} + \vartheta_0 \leq \vartheta_{em} \quad (46)$$

veya,

$$\mathcal{G} = w_{ax} \cdot \sqrt{\eta} + \mathcal{G}_0 \quad (\text{Eşitlik 36})$$

dır.

- ◆ Dışarıdan yağ ile beslenen yataklarda (pompalı yağlama, örneğin; devridaim yağlama) bütün ısının devridaim ettirilen yağ tarafından alındığı kabul edilirse (yatak gövdesinden dışarı atılan ısı yani yatağın soğutma gücü, emniyet düşüncesiyle ihmal edilmiştir). Formül 45 aşağıdaki yeni şekli alır :

$$F \cdot \mu \cdot u = c_{yağ} \cdot \rho_{yağ} \cdot Q_K \cdot (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1) \quad (47)$$

ve , Q_K yani; soğutma yağı miktarı, soğutucu yağ debisi, devridaim ettirilmesi gereken soğutma yağı miktarı veya devridaim soğutma yağı,

$$Q_K = \frac{F \cdot \mu \cdot u}{c_{yağ} \cdot \rho_{yağ} \cdot (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1)} = \frac{P_R}{(c \cdot \rho)_{yağ} \cdot (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1)} \quad (48)$$

hesaplarımızda kullandığımız emniyetli (P_{KK} yerine P_R alınmıştır) bağıntıdan bulunabilir.

Soğutucu akışkan olarak su kullanılacak olursa ; Q_{KW} yani; soğutma suyu miktarı (debisi), devridaim ettirilmesi gereken soğutma suyu miktarı veya devridaim soğutma suyu,

$$Q_{KW} = \frac{P_R}{(c \cdot \rho)_{su} \cdot (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1)} \quad (49)$$

bağıntısından bulunabilir.

Not : “Helisel alın dişli çarklar – Tuncer ÖZKAN”

Dalma yağlamalı bir sistemde, soğutma suyu ile dışarıya atılan ısı için , yağ banyosunda su serpantini kullanılıyorsa (Şekil 15;16) soğutma serpantininin gerekli dış yüzeyi;

$$A_K = \frac{P_{KK}}{K \cdot \mathcal{G}_d} \quad \frac{A_K}{m^2} \Big| \frac{P_{KK}}{W} \Big| \frac{K}{W / (m^2 K)} \Big| \frac{\mathcal{G}_d}{K} \quad (50)$$

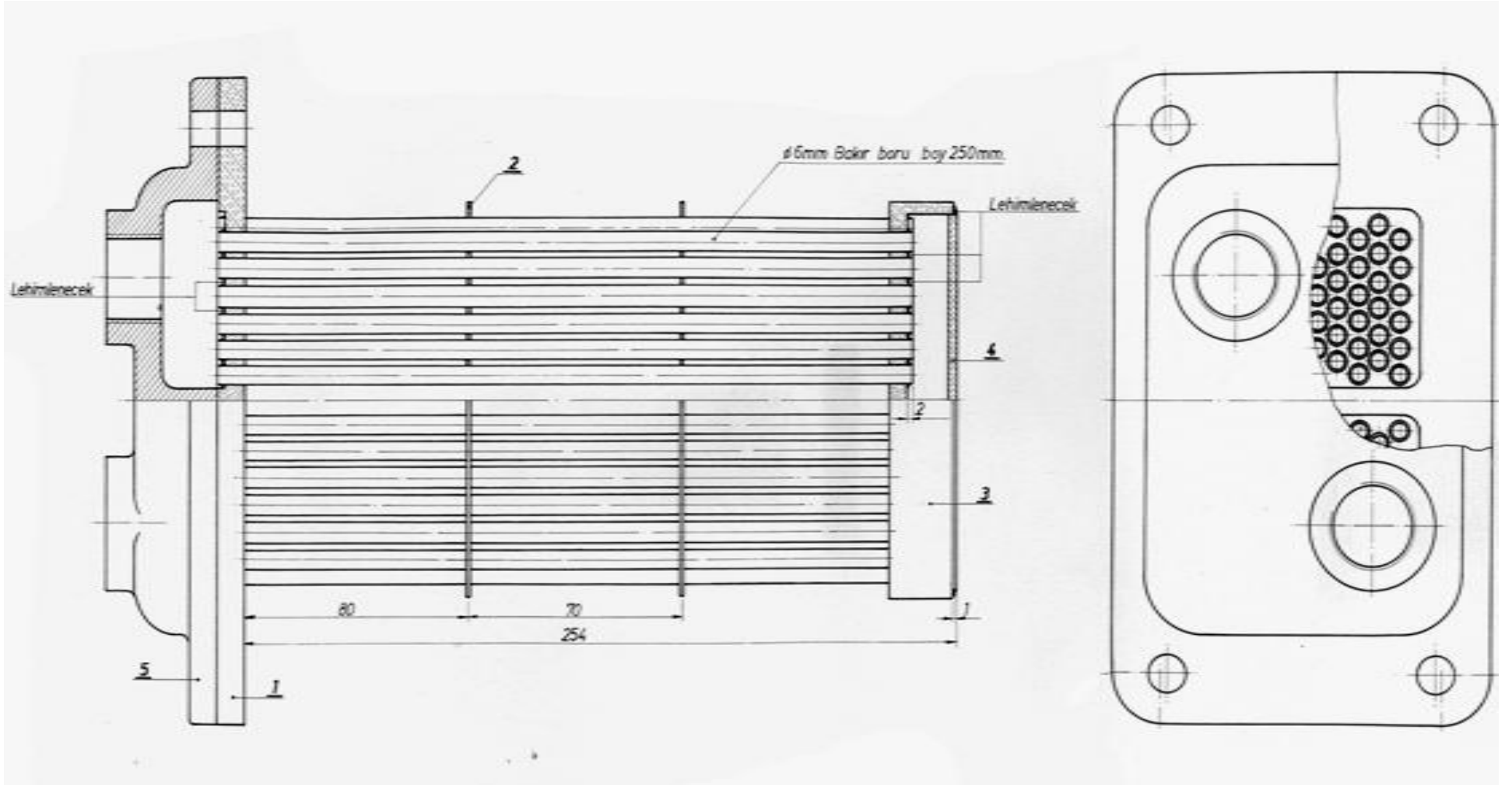
olmalıdır. Burada;

K - Toplam ısı geçiş katsayısı (soğutma borusunun içinde ve dışında akışkan bulunması hali göz önüne alınarak)

Yağ-Metal-Su arasındaki ısı geçişi, soğutma suyunun akış hızı $V_{su} = 0,5m/sn$ ve bakır boru için;

$$K \cong 400 \text{ kcal} / (m^2 \cdot h \cdot ^\circ C) \quad (\text{A.K.Thomas/W.Charchut}) \quad (51)$$

alınabilir.



Şekil – “MAZ” Pompa yatağı su serpantini

Ayrıca Niemann;

Bakır için;

$$\frac{1}{K} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{K} / \text{W} \quad (52)$$

Prinç alaşım için;

$$\frac{1}{K} = (3 \dots 5) \text{ m}^2 \text{K} / \text{W} \quad (53)$$

değerlerini vermiştir.

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ kcal} / (\text{m}^2 \text{h } ^\circ \text{C}) = 1,163 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{K}) \\ \text{Olduğuna göre ,} \\ 400 \text{ kcal} / (\text{m}^2 \text{h } ^\circ \text{C}) = 400 \cdot 1,163 = 465,2 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{K}) \\ \frac{1}{465,2} \cong 2,15 \cdot 10^{-3} (\text{m}^2 \text{K}) / \text{W} \text{ ile } 2 \cdot 10^{-3} (\text{m}^2 \text{K}) / \text{W} \text{ birbirine çok yakın} \end{array} \right\}$$

\mathcal{G}_d - Yağ ile soğutma suyu arasındaki ortalama sıcaklık farkı

$$\mathcal{G}_d = \mathcal{G}_{\text{yağ}} - (\mathcal{G}_1 + 0,5 \cdot \Delta \mathcal{G}) = \mathcal{G}_{\text{yağ}} - \frac{\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2}{2} \quad (54)$$

$\mathcal{G}_{\text{yağ}}$ - Ortalama yağ banyosu sürekli sıcaklığı

\mathcal{G}_1 - Soğutma suyunun giriş sıcaklığı

$\Delta \mathcal{G}$ - Soğutma suyundaki sıcaklık artışı ($\Delta \mathcal{G} = \mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1$)

\mathcal{G}_2 - Soğutma suyunun çıkış sıcaklığı

Soğutma borusunun gerekli uzunluğu;

$$L = \frac{A_K}{\pi \cdot d} \quad (55)$$

d - Boru çapı (Genellikle iç çap)

Gerekli soğutma suyu debisi;

$$Q_{su} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V_{su} \quad \frac{Q_{su}}{\text{m}^3 / \text{s}} \left| \frac{d}{\text{m}} \right| \frac{V_{su}}{\text{m} / \text{s}} \quad (56)$$

$$Q_{su} = 1000 \cdot 60 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V_{su} \quad \frac{Q_{su}}{\text{lit.} / \text{dak.}} \left| \frac{d}{\text{m}} \right| \frac{V_{su}}{\text{m} / \text{s}} \quad (57)$$

$$Q_{su} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V_{su} = 4,7 \cdot d^2 \cdot V_{su} \quad \frac{Q_{su}}{\text{lit./dak.}} \Big| \frac{d}{\text{cm}} \Big| \frac{V_{su}}{\text{m/s}} \quad (58)$$

Soğutma suyunun akış hızı tecrübelerle göre $V_{su} = 0,5 \text{ m/s}$ yi aşmamalıdır.

$V_{su} = 0,5 \text{ m/s}$ için;

$$Q_{su} = 2,35 \cdot d^2 \quad \frac{Q_{su}}{\text{lit./dak.}} \Big| \frac{d}{\text{cm.}} \quad (59)$$

dir.

Dirk-Olaf Leimann ; pürüzsüz soğutma borusu (serpantin) kullanılarak sistemden alınan veya soğutma suyu ile dışarıya atılan ısı miktarını;

$$P_{KK} = K \cdot A_K \cdot \mathcal{G}_d \cdot \eta \quad (60)$$

şeklinde vermiştir.(Eşitlik 50 ile mukayese edilirse, η çarpanı var).

η - Soğutma serpantininin verimi

Yağ banyosunda bulunan, pürüzsüz soğutucu boru için $\eta = 0,5$ kabul edilmiştir. Ayrıca, serpantinin şekillendirilmesi ve yağ banyosuna yerleştirilmesi gibi faktörlerin de verim üzerindeki etkilerini unutmamak gerekir.

ÖRNEK:

“MAZ” pompa yatağında kullanılacak olan (Şekil 15) soğutma serpantininin boyutlandırılması istenmektedir.

Yatak : FAG 6321 (100x225x49)

Pmotor :1250 BG (~920 kW)

- Yatak kaybı, yatak kayıp gücü veya yataktaki güç kaybı ($P_{VB} + P_{VB0}$);

Rulmanlı yataklarda:

Her bir yatak için, yaklaşık olarak mekanizma gücünün % 0,1'i

Radyal kaymalı yataklarda:

Her bir yatak için , yaklaşık olarak mekanizma gücünün % 0,5 ... 1,5'i (Normal işletme şartlarında kullanılan yataklarda) ; % 0,1 ... % 3'ü (Yüksek güçlerde kullanılan yataklarda) alınabilir.

P_{VB} - Yüklenmiş yataklardaki kayıp

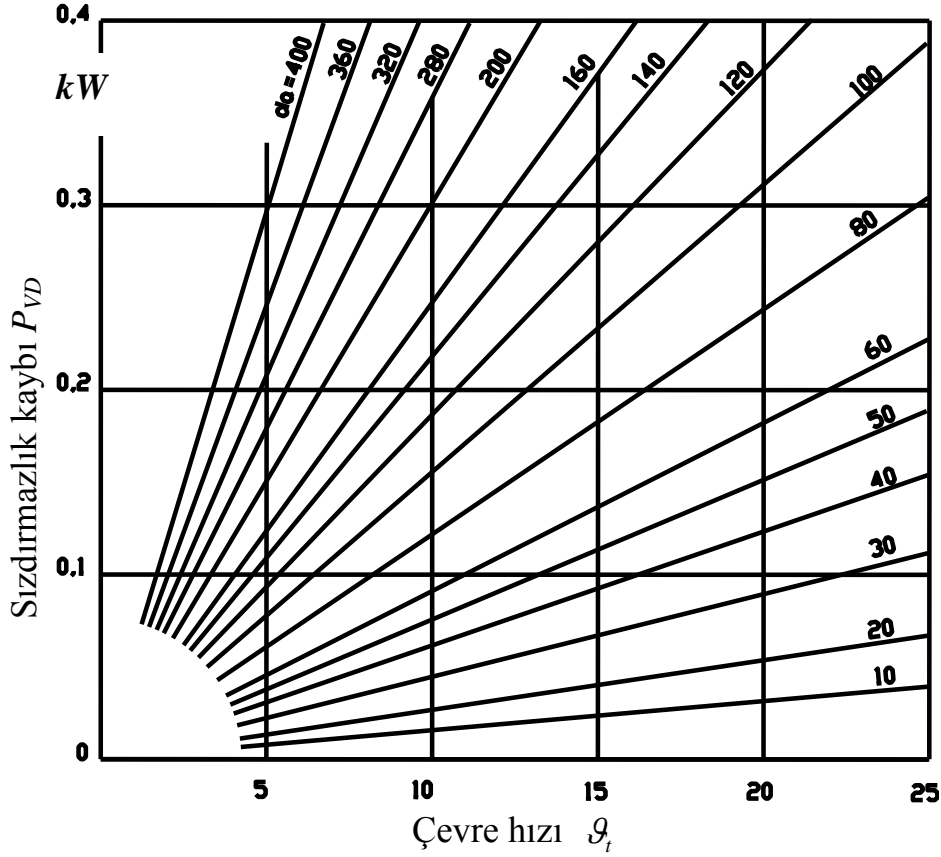
P_{VB0} - Yüksüz (boşta çalışan) yataklardaki kayıp

$$P_{VB} + P_{VB0} = \% 0,1 \cdot P_M \cong \% 0,1 \cdot 920$$

$$\underline{\underline{P_{VB} + P_{VB0} = 0,920 \text{ kW} = 920 \text{ w}}}$$

- Sızdırmazlık kaybı P_{VD} ;

Schröder/Leimann'a göre sızdırmazlık kaybı her bir radyal-mil keçesi (bir sızdırmaz dudaklı) için keçe dudağının temasına karşılık gelen çap ve çevre hızına göre Şekil 17 de verilmiştir.



Şekil – Bir radyal-mil keçesi için sızdırmazlık kaybı P_{VD} 'nin keçe dudağının temas ettiği mil çapı ve bu çapa karşılık gelen çevre hızına göre değişimi. d_D - Mil çapı (Keçe dudağının temas ettiği mil çapı)

Çevre hızı;

$$g_t = \frac{\pi \cdot d_D \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,092 \cdot 2950}{60}$$

$$\underline{\underline{g_t \cong 14 \text{ m/sn.}}}$$

(92x124x6 ölçülerinde iki adet keçe kullanılmıştır)

$$\left. \begin{array}{l} g_t = 14 \text{ m/sn.} \\ d_D = \phi 92 \text{ mm} \end{array} \right\} P_{VD1} \cong 0,2 \text{ kw (Şekil 17)}$$

$$P_{VD} = 2 \cdot P_{VD1} = 2 \cdot 0,2$$

$$\underline{\underline{P_{VD} = 0,4 \text{ kw} = 400 \text{ w.}}}$$

- Toplam kayıp güç,

$$P_R = 920 + 400$$

$$\underline{\underline{P_R = 1320 \text{ W}}}$$

- Sıcaklık değerleri (kabul);

$$\mathcal{G}_{yağ} = 45^\circ C \left(\begin{array}{l} \text{Yağın buharlaşmaya başlamasını önlemek amacıyla} \\ \text{müsaade edilecek en yüksek sınır olarak. M.ten BOSCH} \end{array} \right)$$

$$\mathcal{G}_1 = 20^\circ C$$

$$\mathcal{G}_2 = 25^\circ C$$

$$\mathcal{G}_d = \mathcal{G}_{yağ} - \frac{\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2}{2}$$

$$\mathcal{G}_d = 45 - \frac{20 + 25}{2}$$

$$\underline{\underline{\mathcal{G}_d = 22,5^\circ C}}$$

- Bakır boru ($\phi \frac{6}{4,5}$ mm.) kullanıldığına göre, soğutma serpantininin gerekli dış yüzeyi,

$$A_K = \frac{P_R}{K \cdot \mathcal{G}_d \cdot \eta} \quad (\text{Eşitlik 60})$$

$$A_K = \frac{1320}{22,5 \cdot 0,5} \cdot 2 \cdot 10^{-3}$$

$$\underline{\underline{A_K = 0,235 \text{ m}^2}}$$

- Soğutma borusunun gerekli uzunluğu,

$$L = \frac{A_K}{\pi \cdot d} \quad (\text{Eşitlik 55})$$

$$L = \frac{0,235}{\pi \cdot 4,5 \cdot 10^{-3}}$$

$$\underline{\underline{L \cong 16 \text{ m}}}$$

bulunur.

Serpantin için , 65 Adet $\phi \frac{6}{4,5}$ mm. Çapında 250 mm. Boyunda bakır boru kullanılmıştır. (şekil 16)

Kontrol :

$$65 \times 0,250 \cong 16m.$$

Not :

Toplam yağ miktarı Q ; t , yağ devir müddeti olmak üzere ; yağ hariçteki bir toplama tankından geçiyorsa toplama tankındaki yağ hacminin devir müddeti $t = 4 \dots 30 \text{ dak.}$ (Endüstri mekanizmalarında en az $4 \dots 5 \text{ dak.}$) alınır. Öyleyse toplam yağ miktarı,

$$Q = Q_K \cdot t \quad \frac{Q}{\text{Litre}} \mid \frac{Q_K}{\text{Lit./dak.}} \mid \frac{t}{\text{dak.}}$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

g) Gerekli yağ ihtiyacı Q_S ;

Hidrodinamik bölgede çalışmak üzere gerekli yağ debisi (Hidrodinamik debi) veya yatakta yani segmanlarda film teşkili (h_0) için gerekli yağ ihtiyacı (miktarı) ampirik olarak,

$$Q_S = \varphi \cdot b \cdot h_0 \cdot u \cdot z \quad \frac{Q_S}{m^3/s} \mid \frac{b}{m} \mid \frac{h_0}{m} \mid \frac{u}{m/s} \quad (61)$$

denkleminde bulunabilir.

φ - Debi faktörü

$$\varphi \cong 0,7 \quad (62)$$

Kontrol :

$$Q_S < Q_K \quad (63)$$

olmalıdır.

h) Geçiş yükü F_{ii} ;

Vogelpohl'a göre, n_{ii} sıvı sürtünmesine geçiş devir sayısındaki ((dönme hızındaki) sıvı sürtünmeye geçiş yükü,

$$F_{ii} = 9,6 \cdot 10^8 \cdot \eta \cdot b^2 \cdot d_m \cdot n \quad \frac{F_{ii}}{N} \mid \frac{\eta}{Ns/m^2} \mid \frac{b}{m} \mid \frac{d_m}{m} \mid \frac{n}{d/s} \quad (64)$$

dir.

i) Geçiş devir sayısı n_{ii} ;

Sıvı sürtünmeye geçiş devir sayısı,

$$n_{ii} = \left(\frac{h_{0ii}}{h_0} \right)^2 \cdot n \quad (65)$$

veya,

$$\frac{F_{ii}}{F} = \frac{n}{n_{ii}} \quad (66)$$

eşitliklerinden hesaplanabilir.

h_{0ii} - Minimum yağ filmi kalınlığı (geçiş devir sayısında)

Not :

“M.ten BOSCH” tan:

Yağın 20 °C deki viskozitesi, işletme sıcaklığındaki viskozitesinin 6...10 katı olduğundan, harekete geçme sırasında normal devir sayısının 1/6 sına veya 1/10 una varıldığı sırada sıvı sürtmesi başlamış olacaktır. Özellikle makina hareketten durmaya geçerken, yani dönmekte olan makina dururken, işletme sıcaklığında olan yağın viskozitesi aynı kalır. Hız düştükçe yarı sıvı sürtmesi bölgesine girilir ve bunun sonucunda aşınmalar meydana gelir. Bu nedenle, genel olarak kayma yüzeylerinin hesabında, normal kayma hızından (devir sayısından) çok daha küçük hızlarda , örneğin normalin %10 unda, sıvı sürtmesinin sağlanması istenir. Yatağın düşük hızlarda çalışması ne kadar uzun sürer ve ne kadar çok tekrar ederse, bu şart o kadar fazla önem kazanır.

“ Mustafa GEDİKTAŞ ” tan:

Yağ filminin, normal devir sayısından daha önce teşekkülü, yarı sıvı sürtünme bölgesinden çabuk çıkılması bakımından faydalı olur. Bu nedenle film hesaplarında geçiş devir sayısı $n_g = (0,3...0,7) \cdot n$ kullanılır. Isı hesaplarında ise nominal devir sayısı n göz önüne alınır.

k) Minimum (en küçük) devir sayısı n_{min} ;

Müsaade edilen (emniyetli) minimum yağ filmi kalınlığı h_{min} değerinin oluşacağı minimum devir sayısı sınırı n_{min} ;

$$n_{min} = \left(\frac{h_{min}}{h_0} \right)^2 \cdot n \quad (67)$$

denklemden hesaplanabilir.

l) Yatağın aşınma emniyeti S ,

Yatağın aşınmaya karşı emniyeti,

$$S = \frac{F_{ii}}{F} = \frac{n}{n_{ii}} > 1 \quad (68)$$

olmalıdır.

ÖRNEK :

Bir su türbinine ait segmanlı (Lokmalı) aksenal yatağın hesabı istenmektedir.

Verilenler :

Eksenel Yatak Yüğü	:	$F = 3200000 \text{ N}$
Devir sayısı	:	$n = 3,13 \text{ d / s}$
Yatak konstrüksiyonu	:	Oynak segmanlı
Yağlama şekli	:	Devridaim yağlama
Dinamik viskozite	:	$31,5 \text{ cP (} 50^\circ \text{ C de)}$
Malzeme çifti	:	Çelik/Beyaz metal

Hesap :

a) Seçilen değerler;

- Ortalama yüzey basıncı,

$$\bar{p} \cong 300 \text{ N / cm}^2 = 3 \cdot 10^6 \text{ N / mm}^2 \quad (\text{Eşitlik 2})$$

- L/b oranı,

$$\frac{L}{b} = 0,8 \quad (\text{Eşitlik 6})$$

- Segman sayısı,

$$\underline{z = 12} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

b) Ortalama segman uzunluğu L ;

$$L = \sqrt{\frac{F \cdot (L/b)}{p \cdot z}} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

$$L = \sqrt{\frac{3,2 \cdot 10^8 \cdot 0,8}{3 \cdot 10^6 \cdot 12}}$$

$$\underline{L = 0,267 \text{ m}}$$

c) Yatak genişliği b ;

$$\frac{L}{b} = 0,8 \quad \rightarrow \quad \frac{0,267}{b} = 0,8$$

$$\underline{\underline{b = 0,333 m}}$$

d) Ortalama yatak çapı d_m ;

$$d_m = \frac{z \cdot L}{\pi \cdot 0,8} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

$$d_m = \frac{12 \cdot 0,267}{\pi \cdot 0,8}$$

$$\underline{\underline{d_m = 1,275 m}}$$

e) Yatak dış çapı d_a ;

$$d_a = d_m + b \quad (\text{Eşitlik 13})$$

$$d_a = 1,275 + 0,333$$

$$\underline{\underline{d_a = 1,608 m}}$$

f) Yatak iç çapı d_i ;

$$d_i = d_m - b \quad (\text{Eşitlik 14})$$

$$d_i = 1,275 - 0,333$$

$$\underline{\underline{d_i = 0,942 m}}$$

g) Taşıma sayısı veya taşıma faktörü $S_{O_{ax}}$;

Yağ kaması – boyutlar oranı,

Seçilen :

$$\varepsilon = 1,25 \quad (\text{Eşitlik 18})$$

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon = 1,25 \\ L/b = 0,8 \end{array} \right\} \underline{\underline{S_{O_{ax}} = 6,6 \cdot 10^{-2} = 0,066}} \quad (\text{Şekil 10})$$

h) Ortalama çevre hızı u ;

$$u = \pi \cdot d_m \cdot n \quad (\text{Eşitlik 20})$$

$$u = \pi \cdot 1,275 \cdot 3,13$$

$$\underline{\underline{u = 12,53 m/s}}$$

i) Isınma faktörü (Isınma karakteristik sayısı) W_{ax} ;

$$W_{ax} = \frac{3 \cdot u \cdot \sqrt{F \cdot u \cdot z \cdot L}}{\alpha^* \cdot A} \quad (\text{Eşitlik 29})$$

- ◆ Isı Taşınım katsayısı,

$$\alpha^* = 20 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{K}) \quad (\text{Eşitlik 31})$$

- ◆ Yatağın ısı veren dış yüzeyi ,

$$A \cong 15 \cdot b \cdot d_m \quad (\text{Makina-birleşik yatak.} \quad \text{Eşitlik 34})$$

$$A \cong 15 \cdot 0,333 \cdot 1,275$$

$$\underline{\underline{A \cong 6,37 \text{ m}^2}}$$

$$W_{ax} = \frac{3 \cdot 12,53 \cdot \sqrt{3,2 \cdot 10^6 \cdot 12,53 \cdot 12 \cdot 0,267}}{20 \cdot 6,37}$$

$$\underline{\underline{W_{ax} = 3344 \text{ m} \cdot \text{K} / (\text{N} \cdot \text{s})^{1/2}}}$$

- k) Yatak işletme sıcaklığı ϑ ;

$$\left. \begin{array}{l} W_{ax} = 3344 \text{ m} \cdot \text{K} / (\text{N} \cdot \text{s})^{1/2} \\ \eta = 31,5 \text{ cP} \end{array} \right\}$$

Değerleri ile şekil 13 incelenirse, yatak sıcaklığı oldukça yüksek çıkar ($W_{ax} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ mK} / (\text{Ns})^{1/2}$ ve $\eta = 31,5 \text{ cP}$ için $\vartheta \cong 120^\circ \text{C}$) dolayısıyla, ilave soğutmaya ihtiyaç vardır. Devridaim yağlama yapalım ve

$$\underline{\underline{\vartheta = 60^\circ \text{C}}} \quad (\text{Eşitlik 38})$$

olmasını sağlayalım.

- l) Dinamik işletme viskozitesi η ,

$$\left. \begin{array}{l} \vartheta = 60^\circ \text{C} \\ \eta = 31,5 \text{ cP}(50^\circ \text{C}) \end{array} \right\} \underline{\underline{\eta = 0,02 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 = 20 \text{ cP}}} \quad (\text{Şekil 14})$$

Not :

$\eta = \left[(\vartheta - \vartheta_0) / W_{ax} \right]^2$ (Eşitlik 39) ile hesap yapamaz mıydık ? Hayır. $\vartheta = 60^\circ C$ kabul edilince W_{ax} ,

$$\left. \begin{array}{l} \vartheta = 60^\circ C \\ \eta = 31,5 \text{ cP}(50^\circ C) \end{array} \right\} \underline{\underline{W_{ax} \cong 285 \text{ m} \cdot \text{K} / (\text{N} \cdot \text{s})^{1/2}}} \quad (\text{Şekil 13})$$

veya,

$$\vartheta = W_{ax} \cdot \sqrt{\eta} + \vartheta_0 \quad (\text{Eşitlik 36})$$

$$60 = W_{ax} \cdot \sqrt{0,02} + 20$$

$$\underline{\underline{W_{ax} \cong 283 \text{ mK} / (\text{Ns})^{1/2}}}$$

bulunur. Eşitlik 39 ancak W_{ax} 'in yeni değeri ile kullanılabilir.

m) Sürtünme gücü P_R ;

$$P_R = 3 \cdot u \sqrt{F \cdot u \cdot z \cdot L} \cdot \sqrt{\eta} = \Phi_{ax} \cdot \sqrt{\eta} \quad (\text{Eşitlik 28})$$

$$P_R = 3 \cdot 12,53 \sqrt{3,2 \cdot 10^6 \cdot 12,53 \cdot 12 \cdot 0,267} \cdot \sqrt{0,02}$$

$$P_R = 60253 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{s} = 60253 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{P_R \cong 60 \text{ kw}}}$$

n) Soğutma yağı miktarı (Devridaim soğutma yağı) Q_K ;

$$Q_K = \frac{P_R}{(c \cdot \rho)_{yağ} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)} \quad (\text{Eşitlik 48})$$

$$(c \cdot \rho)_{yağ} \cong 1670 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m} / (\text{m}^3 \cdot \text{K}) \quad (\text{Eşitlik 41})$$

$$\Delta \vartheta \cong 10 \text{ K} \quad (\text{Eşitlik 44})$$

$$Q_K = \frac{60000}{1670 \cdot 10^3 \cdot 10}$$

$$\underline{\underline{Q_K = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}}$$

o) En küçük yağ filmi kalınlığı (işletme devir sayısında) h_0 ;

$$S_{o_{ax}} = \frac{\bar{p} \cdot h_0^2}{\eta \cdot u \cdot b} \quad (\text{Eşitlik 15})$$

$$h_0 = \sqrt{\frac{S_{O_{ax}} \cdot \eta \cdot u \cdot b}{\bar{p}}} = \sqrt{\frac{0,066 \cdot 0,02 \cdot 12,53 \cdot 0,333}{3 \cdot 10^6}}$$

$$\underline{\underline{h_0 = 42,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}}}$$

Not :

Prof.Dr.Mustafa GEDİKTAŞ ;

$$h_0 \cong 5 \cdot 10^{-5} \cdot dm \quad \frac{h_0}{mm} \Big| \frac{dm}{mm}$$

alınmasını tavsiye etmiştir.

Roloff/Matek ;

Müsaade edilen (emniyetli) en küçük yağ filmi kalınlığını,

$$h_{0_{em}} \cong (5 \dots 15) \cdot (1 + 0,0025 \cdot dm) \quad \frac{h_{0_{em}}}{\mu m} \Big| \frac{dm}{mm}$$

şeklinde vermiştir.

Hesaplayalım,

- $h_0 \cong 5 \cdot 10^{-5} \cdot dm = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 1275 \cong 0,064 \text{ mm}.$
 $h_{0_{em}} (= 64 \cdot 10^{-6} \text{ m}) > h_0 (= 42,8 \cdot 10^{-6} \text{ m})$
- $h_{0_{em}} \cong (5 \dots 15) \cdot (1 + 0,0025 \cdot dm) = (5 \dots 15) \cdot (1 + 0,0025 \cdot 1275)$
 $h_{0_{em}} \cong (21 \dots 63) \mu m = (21 \dots 63) \cdot 10^{-6} \text{ m}$

p) Gerekli yağ ihtiyacı Q_s ;

$$Q_s = \varphi \cdot b \cdot h_0 \cdot u \cdot z \quad (\text{Eşitlik 61})$$

$$Q_s = 0,7 \cdot 0,333 \cdot 42,8 \cdot 10^{-6} \cdot 12,53 \cdot 12$$

$$\underline{\underline{Q_s = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}}$$

$$Q_s (= 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}) < Q_k (= 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}) \quad \underline{\underline{Uygundur}}$$

q) Geçiş yükü F_{ii} ;

$$F_{ii} = 9,6 \cdot 10^8 \cdot \eta \cdot b^2 \cdot d_m \cdot n \quad (\text{Eşitlik 64})$$

$$F_{ii} = 9,6 \cdot 10^8 \cdot 0,02 \cdot 0,333^2 \cdot 1,275 \cdot 3,13$$

$$\underline{\underline{F_{ii} \cong 8,5 \cdot 10^6 \text{ N}}}$$

r) Geçiş devir sayısı n_{ii} ;

$$\frac{F_{ii}}{F} = \frac{n}{n_{ii}} \quad (\text{Eşitlik 66})$$

$$\frac{8,5 \cdot 10^6}{3,2 \cdot 10^6} = \frac{3,13}{n_{ii}}$$

$$\underline{\underline{n_{ii} = 1,178 \text{ d/s}}}$$

s) Yatağın aşınma emniyeti S ;

$$S = \frac{F_{ii}}{F} \quad (\text{Eşitlik 68})$$

$$S = \frac{8,5 \cdot 10^6}{3,2 \cdot 10^6}$$

$$\underline{\underline{S = 2,6 > 1}}$$

t) Oynak segmanın şekillendirilmesi ;

◆ Destek ağırlık merkezi çapı,

$$d_s = \sqrt{0,5 \cdot (d_a^2 + d_i^2)} \quad (\text{Eşitlik 23})$$

$$d_s = \sqrt{0,5 \cdot (1,608^2 + 0,942^2)}$$

$$\underline{\underline{d_s = 1,318 \text{ m}}}$$

◆ Destek ağırlık merkezi ile kenar arasındaki mesafe (devrilme ekseninin veya oynak eksenin konumu),

$$x = 0,42 \cdot \frac{L \cdot d_s}{d_m} \quad (\text{Eşitlik 21})$$

$$x = 0,42 \cdot \frac{0,267 \cdot 1,318}{1,275}$$

$$\underline{\underline{x = 0,115 \text{ m}}}$$

- ◆ Segman kalınlığı,

$$h_{seg} = 0,25 \cdot \sqrt{b^2 + l^2} \quad (\text{Eşitlik 24})$$

$$h_{seg} = 0,25 \cdot \sqrt{0,333^2 + 0,267^2}$$

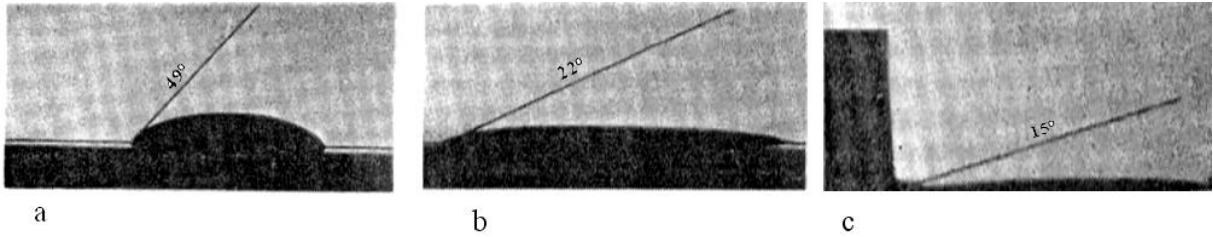
$$\underline{\underline{h_{seg} = 0,106 \text{ m}}}$$

7) Kaymalı Yatak Malzemeleri:

Yatak malzemelerinden istenilen özellikler o kadar çeşitlidir ki, bunların hepsini bünyesinde toplayan bir tek malzeme tarif etmek çok zordur. Bu nedenle belirli işletme şartlarında bu duruma en uygun yatak malzemesinden bahsetmek uygundur. Yatak malzemesi imal eden firmalar tarafından belirli özellikleri geliştirilmiş pek çok tip yatak malzemesi mevcut olup konstrüktör, bunların arasından kendi işine en uygununu seçmekte çoğunlukla zorluk çeker. Kesin seçimin bazı denemelerden sonra yapılması da olağandır.

Genellikle bir yatak malzemesinden şu özelliklere sahip olması istenir :

- Yağ tarafından iyi ıslatılabilir (Şekil 18). Yarı sıvı veya sınır sürtünmesi hallerinde büyük önem taşır.

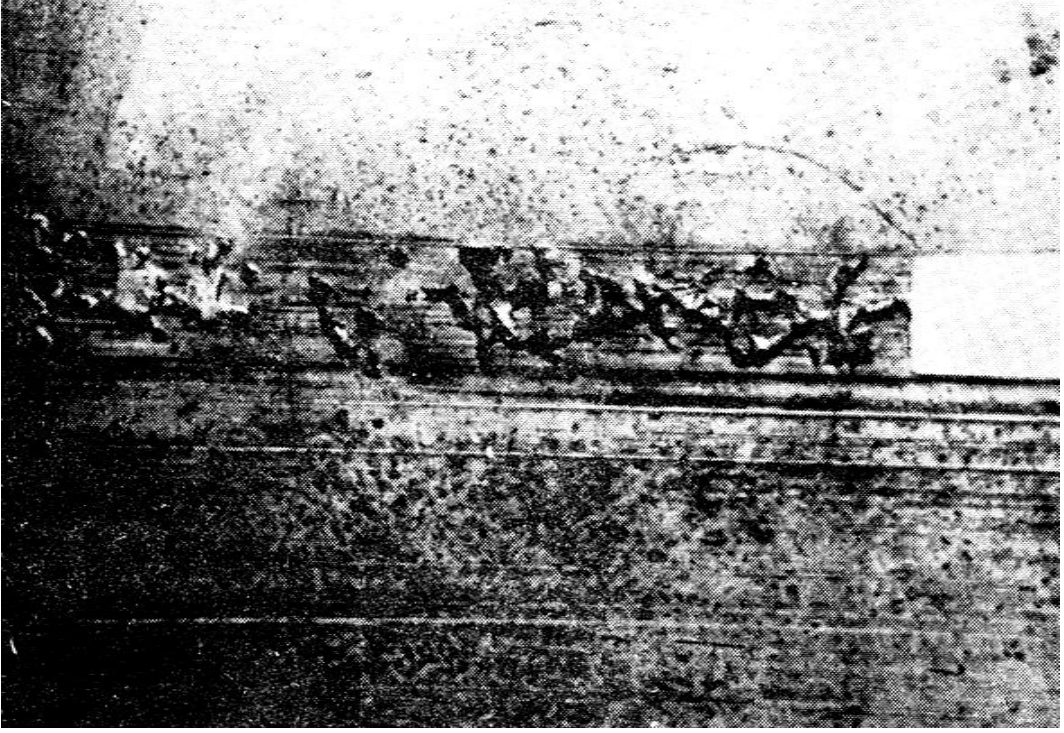


Şekil – Yüzey durumuna göre yağın yayılma etkisinin değişimi

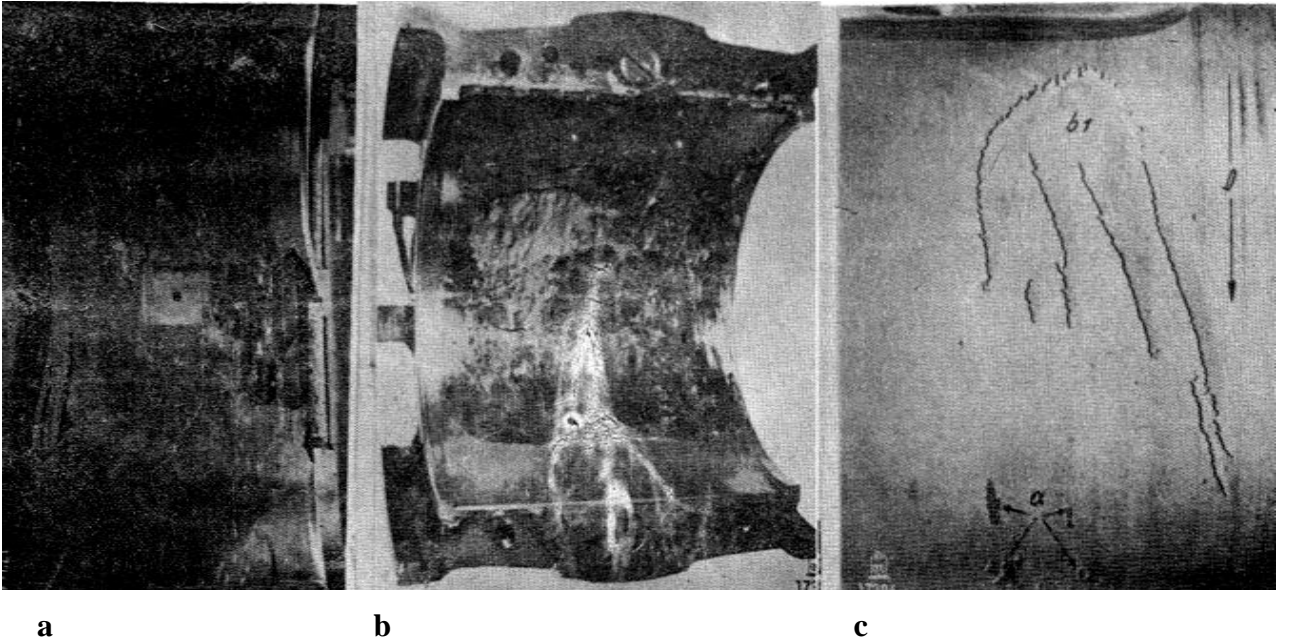
(Prof.Dr.Lütfullah ULUKAN)

- Kenar açısı (49°) büyük, yayılma dolayısıyla ıslatma durumu iyi değil.
 - Kenar açısı oldukça küçük, yayılma durumu daha iyi.
 - Yayılma durumu (b) den daha iyi.
- Yeter derecede aşınma ve basınç mukavemetine sahip olmalıdır. Yataktaki zorlanma şekli çok kere değişken bir zorlanma halidir. Bu nedenle burada sürekli mukavemeti elde etmek ve buna uygun değerleri gerçekleştirmek gerekir. Şekil 19 bir yatak yüzeyindeki yorulma kırılması nedeniyle oluşan çukurcukları göstermektedir.

Kullanılan yatak malzemeleri ekseriya yeterli bir çekme ve eğilme mukavemetine sahip değildir. Bu bakımdan çelik veya dökme demir bir zarfla takviye edilmeleri gerekir. Onun için yatak malzemesi, zarf yüzeylerine kuvvetli bir adhezion (kaynama) bağı ile tutunmalıdır (Eş çalışan maddelerin birbirine karışabilmesi). Özellikle malzeme yüzeyleri dökülürken bu duruma dikkat edilmelidir. Şekil 20 bu şekildeki hataların etkisini göstermektedir.



Şekil – Beyaz maden kaplı yatak yüzeyinde yorulma kırılmaları (L.ULUKAN)



Şekil – Kaymalı yataklardaki çeşitli yüzey arızaları (L.ULUKAN)

- a-) Bir türbin yatağında beyaz maden çelik zarfa iyi bir şekilde yapışmadığı için parça kalkmaları ve çatlamlar olmaktadır.
- b-) Bir Türbin yatağında yağ devresindeki arıza nedeniyle yağsız kalan beyaz maden sürtünme yüzeyinde meydana gelen hasar.
- c-) Bir planet dişli mekanizmasında, planet dişlinin beyaz maden kaplı muylusunda meydana gelen kavitasyon hasarı.

- c) Sıcaklıkla sertliğini çok fazla kaybetmemelidir. Yüksek sıcaklıklarda çalışan yüksek hızlı ve yüklü yataklarda çok önemlidir.
- d) Yağ kesilmesi, yağsız çalışma hallerinde mil malzemesine hemen kaynamamalıdır. Hatta kendisi kısa bir süre için film teşkil etme özelliğine sahip olmalıdır.
- e) Döküm ve talaş alma işçiliğinin kolay olması ve düzgün bir yüzey vermesi lazımdır.
- f) Birbirlerine kolay alıştıırılabilmelidir.
- g) Isıyı mümkün olduğu kadar iyi iletmelidir.
- h) Korroziv tesirlere dayanıklı olmalıdır.
- i) Hafif konstrüksiyonun önemli olduğu yerde yatak malzemelerinin de özgül ağırlıkları küçük olmalıdır.
- j) Nihayet ekonomik bir faktör olarak fiyatının çok yüksek olmaması arzu edilir. Özellikle yatak malzemesi içinde kalay gibi pahalı ve stratejik malzemelerin çok olması bazen önemli bir durumdur.

Önceden de söylendiği gibi bütün bu istekleri en mükemmel şekilde bünyesinde toplamış ideal bir yatak malzemesi mevcut değildir

Kullanılmakta olan yatak malzemeleri genel olarak;

- ◆ Madensel yatak malzemeleri,
- ◆ Sentetik ve madensel olmayan yatak malzemeleri

şeklinde iki büyük guruba ayrılabilir.

▪ **Madensel Yatak Malzemeleri :**

Beyaz maden veya beyaz metallere (DIN1703; Cetvel 4)

Pahalıdır ve zorunlu olmadıkça kullanılmamalıdır. Kayma, alışma ve yağsız çalışma özellikleri çok iyidir, fakat darbeli yüklemelere dayanmazlar. 0,1...0,2 mm. lik ince tabakalar halinde GG, St, GS veya hafif metal zarflara kaplanırlar. Yatak boşluğu $\geq 0,3 \cdot d / 1000$. Pahalı ve değerli beyaz metallere yerine çoğu zaman kalayı az (< %10 Sn) beyaz metallere (DIN 1728) kullanılır. $\bar{p}_{em} \cong 300 N / cm^2$

Prof.Dr Lütfullah ULUKAN;

74...76 Sn	11...13 Sb	2,5...3,5 Cu	9,3...10,7 Pb	%
64...66 Sn	14...16 Sb	1,75...2,25Cu	17...19 Pb	%

WM alaşımlarını (U.S.A – A.S.T.M.) aksenal yataklar için tavsiye etmiştir.

A.S.T.M. – American Society for Testing Materials

Cetvel – DIN 1703’e göre beyaz madenin özellikleri
(Prof.Dr.M.Nimet ÖZDAŞ – Prof.Dr.Mustafa GEDİKTAŞ)

İsim	Sembol	Kimyasal Bileşim	Brinell Sertliği HB kp/mm^2	Kullanıldığı yerler	
Beyaz Maden 5	Lg PbSn5 (WM5)	Sn 4,5 ... 5,5 (5) Cu 0,5 ... 1,5 (1) Sb 14,5 ... 16,5 (15) Pb 77,5 ... 79,5 (79)	22	Kayma özelliklerinin ve yüke mukavemetin bilhassa önemli olduğu yerler	Transmisyonlar
Beyaz Maden 10	Lg PbSn10 (WM10)	Sn 9,5 ... 10,5 (10) Cu 0,5 ... 1,5 (1) Sb 14,5 ... 16,5 (15,5) Pb 72,5 ... 74,5 (73,5)	23		Elektrik motorları, dişli kutuları, takım tezgahları
Beyaz Maden 80	Lg Sn80 (WM80)	Sn 79 ... 81 (80) Cu 5 ... 7 (6) Sb 11 ... 13 (12) Pb 1 ... 3 (2)	27	Kuvvetli darbe zorlanmalarında, pistonlu makineler, demir yolları (lokomotifler gibi), hızlı dönen takım tezgahları	

Kalay bronzu ve kızıl döküm (DIN 1705; Cetvel 5)

$HB \cong 60...100$, büyük ve darbeli yüklerde ve aynı zamanda korozyon tehlikesi olan yüksek sıcaklıklarda uygundur. Ancak sert olması nedeniyle yabancı maddelere ve kenar oturmalarına (milin tek taraflı basması) karşı hassastır. Devridaim yani pompalı veya basınçlı yağlamada, çevre hızı $u = 5...2 \text{ m/s}$ için müsaade edilen emniyetli yüzey basıncı

$\bar{P}_{em} \cong 800...2000 \text{ N/mm}^2$ alınabilir.

Önemli bir alaşımda kimyasal bileşeni ;

Cu % 91,2

Sn % 8,5

P % 0,3

olan fosfor bronzudur.

Kurşun Bronzu (DIN 1716; Cetvel 5);

Bu malzeme darbe halindeki yüklerle ve yüksek sıcaklıklara karşı iyi bir dayanıklılık gösterir. $HB \cong 70$ olup beyaz madene göre daha az aşınır ve ilk hareket sürtünmesi küçüktür. Özellikle; pistonlu motorlar, buhar türbinleri, takım tezgahları, taşlama tezgahı taşlama mili yataklarında ve lokomotif konstrüksiyonlarında da kullanılır. Genellikle birleşik yataklarda çelik zarf üzerine $0,25...3 \text{ mm}$ kalınlığında kurşun bronzu dökülür. Kurşun bronzunun sertliğinin fazla olması ve alışmasının zor olması göz önüne alınarak mümkün olduğu kadar kaygan yüzeyli (taşlanmış), sertleştirilmiş miller kullanılmalıdır. Yatak boşluğu $(1...1,5) \cdot d/1000$ ve yağ giriş borusundaki basınç yaklaşık olarak $3...6 \text{ bar}$ dır. Müsaade edilen (emniyetli) yükleme, devridaim yağlamada (Bilezikli veya pompalı. Bilezikle yağlama yalnız yatak millerde kullanılır):

$$\begin{array}{lll}
 u = 5 \dots 2 \text{ m/s} & \text{için} & \bar{p}_{em} \cong 1000 \dots 2000 \text{ N/cm}^2 \\
 u = 0,5 \text{ m/s} & \text{için} & \bar{p}_{em} \cong 3000 \text{ N/cm}^2 \text{ ye çıkabilir.}
 \end{array}$$

Alüminyum Bronzu (DIN 1714 ; Cetvel 5);

Bazı hallerde kalay bronzu yerine kullanılabilir. Ancak sıcaklıkta deformasyonu (Genleşme katsayısı) büyük olduğu için daha büyük yatak boşluğu vermek lazımdır. Sertliği fazladır ($HB = 90$). Bu nedenle montaj hatalarına ve yabancı maddelere karşı fazla hassastır.

Kır dökme demir – kır veya pik döküm. (DIN 1691);

Sertliğinden ($HB \cong 150$) dolayı yabancı maddelere ve milin tek taraflı oturmasına (basmasına) karşı hassastır. Yetersiz yağlamada ve uygun olmayan malzeme yapısında (kristal yapısı) mili, eğer sertleştirilmemiş ve taşlanmamışsa hafifçe aşındırır. İçine ince grafitler dağılmış perlitik ana kütleli bir kristal yapısı arzu edilir. Kabul edilebilir (deneysel) değerler : $\bar{p} = 500 \dots 200 \text{ N/cm}^2$; $u = 0,1 \dots 3 \text{ m/s}$

Çinko Alaşımları (DIN 1729)

$HB = 40 \dots 80$; alışıması ve yetersiz yağlama şartlarında çalışma özellikleri iyidir. Yatak boşluğu $\cong 1,5 \cdot d / 1000$; müsaade edilen en yüksek yatak sıcaklığı 80°C dir.

Magnezyum – dövülebilir alaşımları (DIN 1729);

Dolu yatak olarak az ve orta dereceli yükler için, örneğin; eksantrik milleri ve yağ pompaları için kullanılabilir. Sıcaklıktan dolayı genleşmenin büyüklüğü göz önüne alınmalıdır.

Düralümin piston kolu ;

İçine herhangi bir yatak takılmaksızın ve kaplanmadan sertleştirilmiş millerle çalışabilir (Diesel kamyonlarda kullanılmaktadır).

Sinter çeliği ve Cu, Sn, Zn, Pb den sinterlenmiş metaller;

Hacimlerinin %35 ine kadar yağ tutabilirler ve kılcallık etkisiyle kayma yüzeylerini kendileri yağlayabilirler. Özellikle düşük hızlarda ($u = 0,5 \text{ m/s}$, $\bar{p} \leq 1000 \text{ N/cm}^2$) ve çok yavaş hareketlerde ($\bar{p} \leq 3500 \text{ N/cm}^2$), titreşimli yataklarda, gıda endüstrisi ve mutfak makinalarında, halat tamburlarında, taşıma bantlarında ve tekerleklerde kullanılır. Darbeli çalışmalarda kesin olarak uygun değildir.

Prinç (DIN1709)

Yatak malzemesi olarak pek uygun değildir (mili fazla aşındırır).

Cetvel – Bakır alaşımları. *Cu* için : $\rho = 8,9 \text{ kg} / \text{dm}^3$, $E = 123000 \text{ N} / \text{mm}^2$. *G-Bz* için: $E = 114000 \text{ N} / \text{mm}^2$. σ_B^* - Statik çekme mukavemeti (*kp* ve *N* arasındaki çevirme faktörü 9,81 alınmıştır. * dan dolayı)

DİN	İSİM	SEMBOL	Kimyasal Bileşim %					Mukavemet Değerleri			Kullanıldığı yerler
			<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Sn</i>	<i>Diğer</i>	σ_B^* <i>N / mm²</i>	δ %	<i>HB</i>	
1705	Kızıl Döküm	Rg 10	Gerisi	2	-	9,8	-	270	15	80	Kayma malzemesi
1705	Kızıl Döküm	Rg 5	Gerisi	5	5	5	-	240	18	70	Kayma malzemesi
1705	Döküm Kalay Bronzu	G-SnBz14	Gerisi	-	-	14	-	250	5	115	Kayma malzemesi
1705	Döküm Kalay Bronzu	G-SnBz12	Gerisi	-	-	12	-	270	15	95	Kayma malzemesi
1705	Döküm Kalay Bronzu	G-SnBz10	Gerisi	-	-	10	-	270	20	75	Kayma malzemesi
1716	Döküm Kalay Kurşun Bronzu	G-SnPbBz5	Gerisi	-	5	10	-	240	18	85	Kayma malzemesi
1716	Döküm Kalay Kurşun Bronzu	G-SnPbBz 10	Gerisi	-	9,5	10	-	230	14	75	Kayma malzemesi
1716	Döküm Kalay Kurşun Bronzu	G-SnPbBz 15	Gerisi	-	15	8	-	220	12	70	Kayma malzemesi
1716	Döküm Kalay Kurşun Bronzu	G-SnPbBz 20	Gerisi	-	20,5	4,5	-	200	10	55	Kayma malzemesi
1714	Döküm Alüminyum Bronzu	G-AlBz9	Gerisi	-	-	-	10 Al	440	25	110	Korozyona ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı parçalar

▪ **Madensel olmayan yatak malzemeleri :**

Sentetik reçine pres malzemeleri veya sentetik reçine içirilmiş elyafli yatak malzemeleri (DIN 7703 ve 16902);

Eğer mil ıslah edilmiş veya sertleştirilmiş ise sentetik reçineden yapılmış yataklar az aşınma ve iyi kayma özellikleri göstermektedir. Fakat ısı geçirme kabiliyetinin az olması iyi bir soğutma sistemine ve genleşme (şişme) özelliğinin bulunması, büyük bir yatak boşluğuna ($\geq 4,5 \cdot d / 1000, b / d = 1$ için) ihtiyaç göstermektedir. Sentetik reçine yatak burçlarının cidar kalınlıkları yaklaşık olarak $0,1 \cdot d$ yapılıdır (preslenmiş ince tabakalar daha az kabarmaktadır). Küçük yük ve hızlarda Cetvel 1 deki sentetik reçine yatak burçları ile taşıyıcılar, kaldırma makinaları, dekoviller, ziraat makinaları, su soğutmalı ve su ile yağlamalı $u = 1 m / s$ de $\bar{p} = 2500 N / cm^2$ ye kadar yüklemeli hadde makinalarında iyi sonuçlar alınmıştır. Elyafli sentetik yataklarda tavsiye edilen ortalama yük değerleri :

- ◆ Isı iletimi iyi;

$$\bar{p} \cong 200 N / cm^2 \quad (u = 0,2 \dots 0,5 m / s \text{ de})$$

- ◆ Isı iletimi o kadar iyi değil;

$$\bar{p} \cong 100 N / cm^2$$

Teflon (Polytetrafluoräthylen) ;

- ◆ Çok düşük kuru sürtünme katsayıları,
- ◆ Suya ve çeşitli kimyasal çözücülere karşı dayanıklı olmaları,
- ◆ Titreşimsiz ve gürültüsüz çalışmaları

gibi özellikleri vardır (Cetvel 6).

Polyamid;

Teflona göre daha düşük sürtünme özelliklerine sahiptir. Normal havada su emme yeteneği % 0,1 iken su ile yağlanması halinde bu oran % 8,5 'a (ağırlık olarak) çıkar. Yatak uygun olarak boyutlandırılırsa , en fazla $50 \dots 60^{\circ} C$ ye kadar erişen çalışma sıcaklıklarına müsaade edilir (Cetvel 6)

Sert Odun ;

Özellikle su içinde çalışan yataklarda, örneğin; gemi pervane milinin su içinde yataklama yapılan kısmında kullanılır. Şimdi bunların yerine kullanılabilen polyamid sentetik yataklar mevcuttur.

Cetvel – Plastik malzemelerin (Polyamid ve Teflon), kayma sürtünme katsayıları μ ve aşınma miktarları V .

* *Hachmann ve Strickle* 'ye göre : Aşınma zamanı (süresi) 5 saat, kayma hızı $0,6m/sn$; Yük $5N/cm^2$; Sıcaklık $<40^\circ C$; Çeliğin pürüz derinliği $R = 2\mu m$.

** *Baumgärtel* 'e göre : Kayma hızı $0,75m/s$; Yük $4N/cm^2$

MALZEME	Plastik mal./ Sert Çelik		Plastik mal./ Plastik mal.**		
	(Kuru Çalışma *)		μ ; ile yağlamada		
	μ	$V \mu m/km$	Yağsız	Su	Yağ
Polyamid 6,6 (%8 PE)	0,19	0,10	-	-	-
Polytetrafluoräthylen	0,22	21	0,13	0,14	0,05
Polyamid 6 (%35 GFK)	0,30...0,35	0,28	-	-	-
Polyamid 6,6 (%35GFK)	0,32...0,36	0,16	-	-	-
Polyamid 6,6	0,35...0,42	0,09	-	-	-
Polyamid 6	0,38...0,45	0,23	0,83	0,31	0,08

Yumuşak Lastik;

Çelik zarf içine 7...20 mm. kalınlığında yumuşak lastik vulkonize edilir ve delik taşlanır. Bu malzemede su içinde çalışan yataklarda (su türbinleri ve pompalarda) kullanılır. Özellikle nehir ve kanallarda seyreden gemilerin pervane yatakları için uygundur. Sert yabancı maddelerden rahatsız olmaz, soğutmak için yatak zarfı içine helisel veya uzunlamasına kanallar açılmalıdır. $\bar{p} \cong 50 N/cm^2$, $u \cong 0,5...25m/s$.

Değerli Taşlar (Elmas gibi);

Özel amaçlar için, örneğin saatlerin, hassas cihazların yataklarında ve kimya endüstrisinde kullanılır.

Kaliteli keramik malzemeler ve emaye çelik yataklar (mil lastik burçludur);

Kimya endüstrisinde özel amaçlar için, örneğin asit pompaları ve karıştırma makinalarında kullanılır.

Sert Metaller;

Son zamanlarda taşlama aletlerinin uç yataklarında (konik delikli sert metal yatağa karşı sert metal konik uç) yüksek hızlar için rulmanlı yataklara tercih edilmelidir. Çünkü yatak sarma ihtimali azdır ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır.

Kömür ve grafit burçlar;

Yüksek sıcaklıklarda (600 °C ye kadar) ve yağın arzu edilmediği yerlerde kullanılır (kendi kendini yağlayan yatak).

Ayrıca;

- ◆ Küçük sürtünme katsayıları,
- ◆ Daha az aşınma,

- ◆ Asitler ve alkalilere (küllü su gibi) karşı pas tutmama (korozyona dayanıklı),
- ◆ Kenar basıncı (milin tek taraflı oturması) ve darbeli yüklere karşı hassas

gibi özellikleri vardır.

Yatak boşluğu 0,003'e kadar; minimum 0,001. Yatak yükleri $\bar{p} \cdot V < 150$ (*Kuru*) ve $< 500 N/cm^2 \cdot m/s$ (*Sıvı*). Yatak gres ile yağlanmamalı.

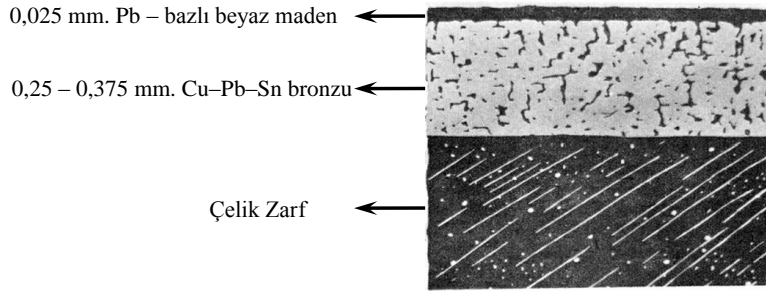
Özet olarak, kaymalı yatak malzemelerinin seçimi için Cetvel 7 den faydalanılabilir.

8) Çok tabakalı yataklar:

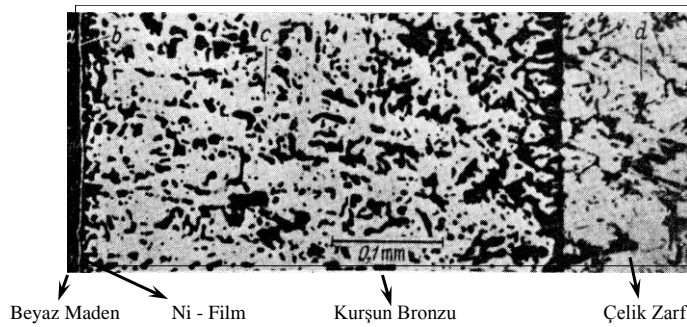
Büyük zorlanmaya çalışan yataklarda tek bir yatak malzemesi yerine, birkaç yatak malzemesi tabakasını bir arada bulandıran yatak tipleri kullanılır. Şekil 21 ve Şekil 22 bunu şematik olarak göstermektedir.

Bu tip yataklarda bilhassa çok ince tabakaların yüksek mukavemet özelliklerinden faydalanılır. Yapılan deneylerde 0,35...0,8 mm. kalınlığındaki beyaz maden tabakalarında sürekli mukavemet bakımından fazla bir fark bulunmamıştır. Buna karşılık tabaka kalınlığı 0,35 mm. nin altına inince mukavemet değerlerinde büyük bir artış gözlenmiştir. Örneğin, en yüksek değer 0,025 mm. kalınlıkta elde edilmiştir.

Diğer bir üç tabakalı yatak, General Motors tarafından geliştirilmiştir. Bu yataklarda çelik zarf üzerine saf bakır, nikel toz karışımı bir tabaka konmuş ve bu nötr atmosferdeki bir fırında ergitilerek çelik zarfa lehimlenmiştir. Bu işlem sonunda çelik zarf üzerinde gözenekli bir bakır-nikel alaşımı meydana gelmiştir. Bu tabaka, hassas olarak haddelenmiş arkasından bu tabakaya vakum altında beyaz maden içirtilmiştir. Yani tabakadaki ince boşluklar beyaz maden ile doldurulmuştur.



Şekil – Üç tabakalı yatak (L.ULUKAN)



Şekil – Dört tabakalı yatak (L.ULUKAN)

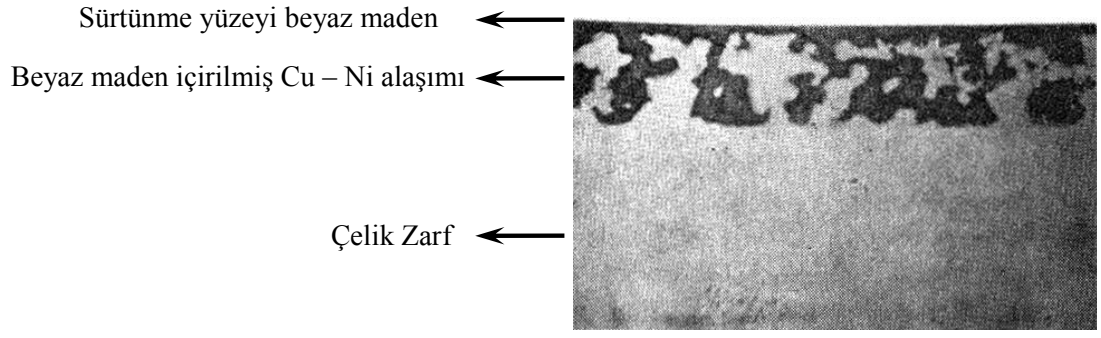
Cetvel – Kaymalı yatak malzemelerinin istenilen özelliklere göre seçimi (Roloff / Matek)

⊙: İyi değil ▲: Az ✦: Yeterli ★: İyi ●: Çok iyi

* : Yağda bulunan veya dışarıdan gelen sert parçacıkları,abrazyon aşınmasını (zımparalama) önlemek için bünyesine gömebilmelidir. Bu nedenle malzeme yeter derecede yumuşak, yani elastiklik modülü düşük olmalıdır.

İstenilen Özellikler	Kaymalı Yatak Malzemeleri								
	Dökme demir	Sinterlenmiş metal	CuSn-dökme veya dövme alaşımları	G-CuPb alaşımları	PbSn alaşımları	Plastik malzemeler	Odun	Lastik	Kömür Grafit
Kayma Özellikleri	✦	✦	★	●	●	●	●	●	●
Emniyetli çalışma hali (Güvenilirlik)	✦	●	✦★	★	★	●	▲	⊙	●
Aşınma mukavemeti	●	✦	●	✦	▲	✦	▲	⊙	▲
Statik-taşıma kabiliyeti	●	✦	★	▲	▲	▲	⊙	⊙	▲
Dinamik-taşıma kabiliyeti	★	▲	★	▲	▲	▲	⊙	⊙	⊙
Yüksek kayma hızı	▲	⊙	▲★	●	●	⊙	⊙	⊙	★
Kenar basmasına karşı hassasiyet	⊙	⊙	★	★	●	●	★	●	✦
Gömme kabiliyeti*	⊙	⊙	★	★	●	★	★	●	★
Isı iletim kabiliyeti	✦	✦	★	✦	▲	⊙	⊙	⊙	★
Daha küçük ısıl genleşme	●	●	★	✦	✦	⊙	▲	⊙	●
Yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılık	✦	✦	✦	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	●
Yağ (gres) ile yağlama	●	●	●	●	●	●	●	✦	●
Su ile yağlama	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	●	●	●	●
Kuru çalışma	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	●	⊙	⊙	●

Bu içirilmiş tabaka üstünde de ince bir beyaz maden tabaka bulunmaktadır (Şekil 23)



Şekil – Üç tabakalı Moraine-100 yatağı

II – Eksenel Kaymalı Yatağın Projelendirilmesi

1. Hesaplama , Şekillendirme, Taşıma Kabiliyeti

a) Eksenel Yatak yükü F (Şekil 24);

$$F = F_{ek} + F_{motor} + F_{pompa}$$

F_{ek} - Pompada eksenel itme kuvveti

$$\underline{\underline{F_{ek} = 9050 N}} \quad (\text{Pompa-proje değeri})$$

F_{motor} - Rotor mili ve üzerinde dönen parçaların (rotor,burçlar v.s) oluşturduğu düşey kuvvet

$$\underline{\underline{F_{motor} = 1200 N}} \quad (\text{Motor-proje değeri})$$

F_{pompa} - Pompa mili ve üzerinde dönen parçaların (çarklar,burçlar v.s) oluşturduğu düşey kuvvet.

$$\underline{\underline{F_{pompa} = 320 N}} \quad (\text{Pompa-proje değeri})$$

$$F = 9050 + 1200 + 320$$

$$\underline{\underline{F = 10570 N}}$$

bulunur.

b) Ortalama yüzey basıncı \bar{p} ;

Malzeme seçimi :

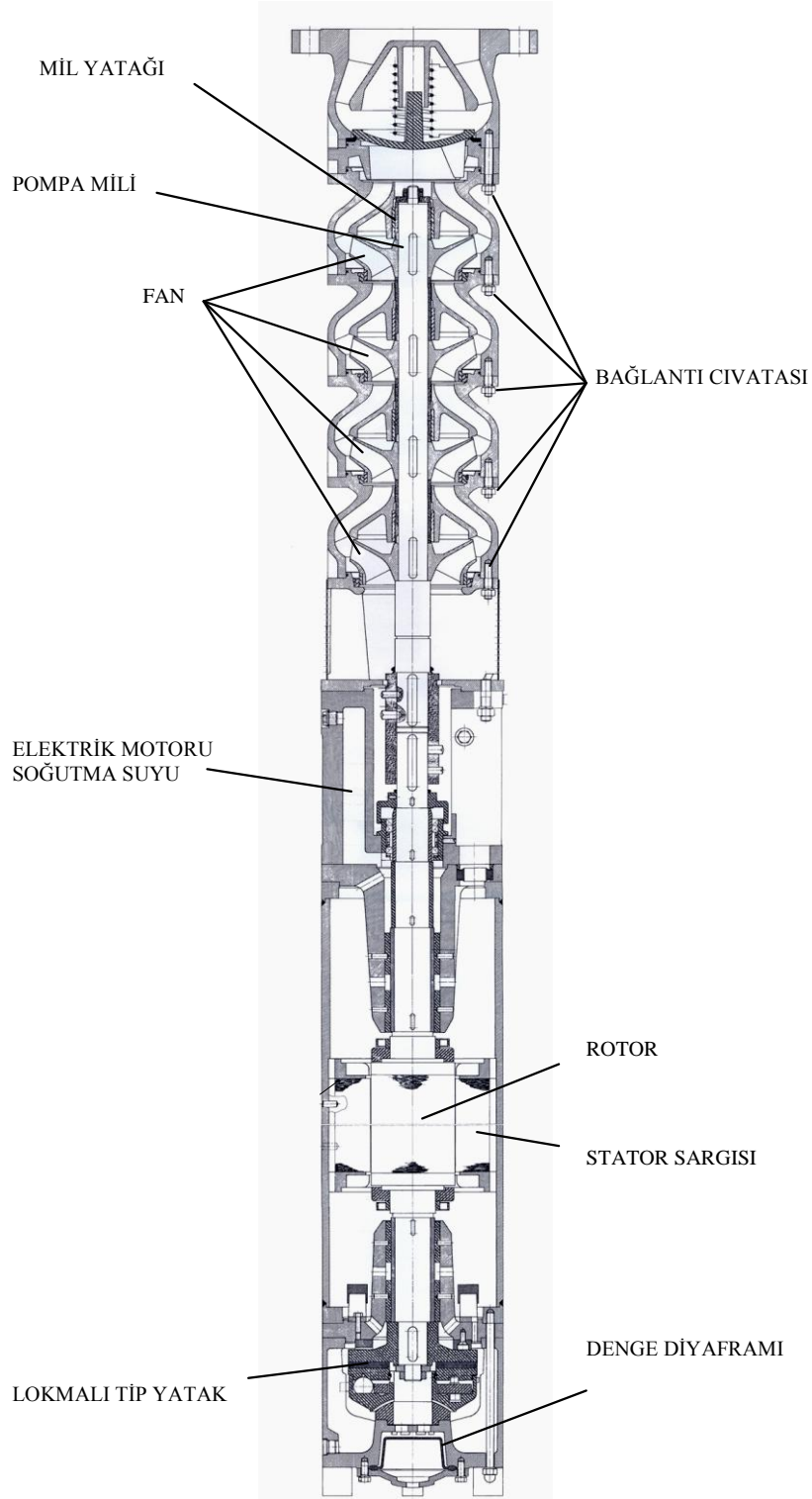
“Polikim” teflon yataklardan K-35’i ; aşınma ve yük altında deformasyona karşı mukavemetin önemli olduğu durumlarda, tavsiye etmiştir. Bu tavsiyeye uyduk. Şu halde kullanılan malzeme çifti;

Ç 3915 (X12CrNi18 8)/(Polikim K-35)
dir.

Polikim, alaşımlı teflon K-35 için; aşağıdaki değerler verilmiştir.

$\bar{p} \cdot u$ limitleri $kg \cdot m / (cm^2 \cdot dak)$	3 m/ dak. da	220...320
	30 m/ dak. da	250...450
	300 m/ dak. da	300...500

$L = \bar{p} \cdot u$ - Özgül yatak gücü (Yatağın birim alanına düşen gücü)



Şekil – “MAZ” Dalgıç Elektro – Pompa

$$Q_{\min} = 120 \text{ m}^3 / \text{h} \quad , \quad H_{m_{\max}} = 180 \text{ mSS.}$$

$$Q_{\text{nom}} = 325 \text{ m}^3 / \text{h} \quad , \quad H_{m_{\text{nom}}} = 140 \text{ mSS.}$$

$$Q_{\max} = 430 \text{ m}^3 / \text{h} \quad , \quad H_{m_{\min}} = 100 \text{ mSS.}$$

Yine “Polikim” ; teflon yataklara uygulanabilen maksimum yük “Birim yük limiti” olarak adlandırılır. Birim yük limiti; yatak kalınlığı, dolgu maddesi cinsi, sıcaklık ve yüzeysel hıza bağlı olarak $25...80 \text{ kg/cm}^2$ arasında değişir.

İnceleyelim:

- $300 \text{ m/dak. (} 5 \text{ m/s de) , } \bar{p} \cdot u = 300...500$

$$\bar{p} \cdot 300 = 300...500$$

$$\bar{p} = 1...1,7 \text{ kg/cm}^2 \quad (10...17 \text{ N/cm}^2)$$

- $30 \text{ m/dak. (} 0,5 \text{ m/s de) , } \bar{p} \cdot u = 250...450$

$$\bar{p} \cdot 30 = 250...450$$

$$\bar{p} = 8,4...15 \text{ kg/cm}^2 \quad (84...150 \text{ N/cm}^2)$$

- $3 \text{ m/dak. (} 0,05 \text{ m/s de) , } \bar{p} \cdot u = 220...320$

$$\bar{p} \cdot 3 = 220...320$$

$$\bar{p} = 73...107 \text{ kg/cm}^2 \quad (730...1070 \text{ N/cm}^2)$$

Çok düşük hızlarda büyük basınçlar meydana gelmekte ancak $n_{motor} = 2935 \text{ d/d}$, dolayısıyla hız değeri yüksek çıkabilir.

- ◆ Cetvel 1;

Elektrik ve su makinaları:

$$n > 1500, \text{ durma zamanı} < 8 \text{ dak. } \bar{p} = 50 \text{ N/cm}^2, u = 14 \text{ m/s, WM10/St50}$$

Turbo makinalar:

Michell-eksenel yatağı

(Oynak segmanlı yatak)

$$\bar{p} = 300 \text{ N/cm}^2, u = 60 \text{ m/s, KH/St}$$

- ◆ Beyaz metal yataklar için,

$$\bar{p} = 100...400 \text{ N/cm}^2 \quad (\text{Eşitlik 2})$$

- ◆ Bronz yataklar için,

$$\bar{p} = 100...800 \text{ N/cm}^2 \quad (\text{Eşitlik 3})$$

\bar{p} için seçim zor.

“Polikim” ile görüşülerek, ilk olarak disk (şekil 1-52) üzerini Bronzlu Teflon (B-60), segmanları G-SnBz10 (G-CuSn10) dan yapmayı düşündük. İmalat bitti, motor çalışmaya başladı. Fakat kısa bir süre sonra disk üzerinde ki bronzlu teflonun sıyrılmış olduğunu gördük. Onun üzerine segmanları K-35 ile kaplayıp yeniden denedik (Ç3915 disk/K-35 segmanlar).
Sonuç OLUMLU.

Hesaba,

$$\underline{\underline{\bar{p} = 50 N / cm^2}}$$

ile girelim.

c) Ortalama segman uzunluğu L ;

$$L = \sqrt{\frac{F \cdot (L/b)}{\bar{p} \cdot z}} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

Seçilen değerler:

$$\underline{\underline{\frac{L}{b} = 0,9}} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

$$\underline{\underline{z = 6}} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

$$L = \sqrt{\frac{10570 \cdot 0,9}{50 \cdot 10^4 \cdot 6}} = 0,0563 m.$$

$$\underline{\underline{L = 57 mm.}}$$

d) Taşıyıcı yatak genişliği b ;

$$\frac{L}{b} = 0,9 \quad \rightarrow \quad b = \frac{57}{0,9} = 63,4$$

$$\underline{\underline{b = 64 mm.}}$$

e) Ortalama yatak çapı d_m ;

$$d_m = \frac{Z \cdot L}{\pi \cdot 0,8} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

$$d_m = \frac{6 \cdot 57}{\pi \cdot 0,8}$$

$$\underline{\underline{d_m = 136 mm.}}$$

f) Yatak dış çapı d_a ;

$$d_a = d_m + b \quad (\text{Eşitlik 13})$$

$$d_a = 136 + 64$$

$$\underline{\underline{d_a = 200 \text{ mm.}}}$$

g) Yatak iç çapı d_i ;

$$d_i = d_m - b \quad (\text{Eşitlik 14})$$

$$d_i = 136 - 64$$

$$\underline{\underline{d_i = 72 \text{ mm.}}}$$

h) Taşıma sayısı veya taşıma faktörü $S_{O_{ax}}$;

Yağ kaması – boyutlar oranı,

Seçilen :

$$\underline{\underline{\varepsilon = 1,25}} \quad (\text{Eşitlik 18})$$

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon = 1,25 \\ L/b = 0,9 \end{array} \right\} \underline{\underline{S_{O_{ax}} = 6,78 \cdot 10^{-2} = 0,068}} \quad (\text{Şekil 10})$$

i) Ortalama çevre hızı u ;

$$u = \pi \cdot d_m \cdot n / 60 \quad (\text{Eşitlik 20})$$

$$u = \pi \cdot 0,136 \cdot 2935 / 60$$

$$\underline{\underline{u \cong 20,9 \text{ m/s}}}$$

k) Isınma faktörü (Isınma karakteristik sayısı) W_{ax} ;

$$W_{ax} = \frac{3 \cdot u \cdot \sqrt{F \cdot u \cdot Z \cdot L}}{\alpha^* \cdot A} \quad (\text{Eşitlik 29})$$

Hatırlanacağı gibi,

$$\left. \begin{array}{l} W_{ax} = \dots m \cdot K / (N \cdot s)^{1/2} \\ \eta = \dots cP (50^\circ C) \end{array} \right\}$$

Yardımlıyla Şekil 13 ten ϑ yatak işletme sıcaklığı bulunabiliyordu. Yatak tamamen su içinde dolayısıyla W_{ax} değerini hesaplamadan ϑ sıcaklığı kabul edilebilir.

l) Yatak işletme sıcaklığı ϑ ;

$$\underline{\underline{\vartheta = 60^\circ C}} \quad (Kabul)$$

m) Dinamik işletme viskozitesi η ;

$60^\circ C$ su için,

$$\begin{aligned} \underline{\underline{\eta = 464,8 \cdot 10^{-6} Pa \cdot s}} &= 464,8 \cdot 10^{-6} N \cdot s / m^2 && (Cetvel 2) \\ &= 464,8 \cdot 10^{-3} cP \end{aligned}$$

n) Sürtünme gücü P_R ;

$$P_R = 3 \cdot u \cdot \sqrt{F \cdot u \cdot Z \cdot L} \cdot \sqrt{\eta} \quad (Eşitlik 28)$$

$$\begin{aligned} P_R &= 3 \cdot 20,9 \cdot \sqrt{10570 \cdot 20,9 \cdot 6 \cdot 0,057} \cdot \sqrt{464,8 \cdot 10^{-6}} \\ \underline{\underline{P_R}} &\cong 372 Nm / s (W) \cong 0,4 kW \end{aligned}$$

o) En küçük yağ filmi kalınlığı (işletme devir sayısında) h_0 ;

$$S_{O_{ax}} = \frac{\bar{p} \cdot h_0^2}{\eta \cdot u \cdot b} \quad (Eşitlik 15)$$

$$h_0 = \sqrt{\frac{S_{O_{ax}} \cdot \eta \cdot u \cdot b}{\bar{p}}}$$

$$h_0 = \sqrt{\frac{0,068 \cdot 464,8 \cdot 10^{-6} \cdot 20,9 \cdot 0,064}{50 \cdot 10^4}}$$

$$\underline{\underline{h_0}} \cong 9,2 \cdot 10^{-6} m$$

p) Geçiş yükü F_{ii} ;

$$F_{ii} = 9,6 \cdot 10^8 \cdot \eta \cdot b^2 \cdot d_m \cdot n \quad (Eşitlik 64)$$

n_{ii} sıvı sürtünmesine geçiş devir sayısındaki (dönme hızındaki) sıvı sürtünmeye geçiş yükü.

$$F_{ii} = 9,6 \cdot 10^8 \cdot 464,8 \cdot 10^{-6} \cdot (0,064)^2 \cdot 0,136 \cdot 48,9$$

$$\underline{\underline{F_{ii} \cong 12155 N}}$$

q) Geçiş devir sayısı n_{ii} ;

$$\frac{F_{ii}}{F} = \frac{n}{n_{ii}} \quad (\text{Eşitlik 66})$$

Sıvı sürtünmeye geçiş devir sayısı.

$$\frac{12155}{10570} = \frac{48,9}{n_{ii}}$$

$$\underline{\underline{n_{ii} = 42,5 \text{ d / s}}}$$

Not.

- ◆ “M.ten BOSCH” a göre :

Normal devir sayısının 1/6 sına veya 1/10 una varıldığı sırada sıvı sürtünmesinin sağlanması

- ◆ “Mustafa GEDİKTAŞ” ‘a göre:

Yağ filmi hesaplarında,

$$n_{ii} = (0,3 \dots 0,7) \cdot n$$

ile yarı sürtünme bölgesinden çabuk çıkılması bakımından tavsiye edilmişti.

$$\frac{n_{ii}}{n} = \frac{42,5}{48,9}$$

$$n_{ii} \cong 0,87 \cdot n$$

Neredeyse motorun tam devrine yakın devirde sıvı sürtünmeye geçiliyorki uygun bir ortam değil.

Öneri

Motora sık sık yol verilmeyecek.

r) Yatağın aşınma emniyeti S

$$S = \frac{F_u}{F} \quad (\text{Eşitlik 68})$$

$$S = \frac{12155}{10570}$$

$$\underline{\underline{S = 1,15 > 1}} \quad \text{UYGUN}$$

s) Oynak segmanın şekillendirilmesi;;

◆ Destek ağırlık merkezi çapı,

$$d_s = \sqrt{0,5 \cdot (d_a^2 + d_i^2)} \quad (\text{Eşitlik 23})$$

$$d_s = \sqrt{0,5 \cdot (200^2 + 72^2)}$$

$$\underline{\underline{d_s \cong 151 \text{ mm.}}}$$

◆ Oynak eksenin konumu,

$$x = 0,42 \cdot \frac{L \cdot d_s}{d_m} \quad (\text{Eşitlik 21})$$

$$x = 0,42 \cdot \frac{57 \cdot 151}{136}$$

$$\underline{\underline{x = 26,6 \text{ mm}}}$$

veya,

$$x = (d_a - d_s)/2 \quad (\text{Eşitlik 22})$$

$$x = (200 - 171)/2$$

$$\underline{\underline{x = 24,5 \text{ mm.}}} \quad \text{KABUL}$$

◆ Segman kalınlığı,

$$h_{seg} = 0,25 \cdot \sqrt{b^2 + l^2} \quad (\text{Eşitlik 24})$$

$$h_{seg} = 0,25 \cdot \sqrt{64^2 + 57^2}$$

$$\underline{\underline{h_{seg} \cong 22 \text{ mm.}}}$$

Not .

“ Prof.Dr. Mustafa AKKURT” ‘a göre :

Pratikte yatakların çoğu yağlama durumuna göre, örneğin damlalıklı yağlamada veya kendi kendine yağlamada, sınır sürtünme ve hiçbir yağlamanın bulunmadığı hallerde kuru sürtünme bölgesinde çalışırlar. Kuru ve sınır sürtünme bölgesinde çalışan yatakların hesabı genellikle,

$$(p_m \cdot V) \leq (p_m \cdot V)_{em.}$$

bağıntısına göre yapılır. Burada;

p_m - Ortalama yüzey basıncı $[N/m^2]$

V - Kayma hızı $[m/s]$

$p_m \cdot V$ - Yatağın birim alanına düşen gücünü, yani özgül gücünü ifade eder
$$\left[\frac{N}{m^2} \cdot \frac{m}{s} = \frac{Nm}{s} \cdot \frac{1}{m^2} = \frac{W}{m^2} \right]$$

$(p_m \cdot V)_{em.}$ - Bu faktör $(p_m \cdot V)$ için verilen emniyet değeridir.

$(p_m \cdot V)_{em.}$ değerleri hakkındaki bilgi çok az olup verilen değerler belirsiz ve çok geniş olduğundan son zamanlarda bu kriterden vazgeçilmekte ve bu gibi yatakların hesabı yalnız ortalama yüzey basıncına, yani

$$p_m \leq p_{em}$$

kuralına göre yapılmaktadır.

p_m - Deney ve tecrübelerle dayanan yüzey emniyet basıncıdır.

Basit ve elverişli olmasına rağmen bu hesap yöntemi çok genel bir özellik taşımakta , yatağın çalışma kabiliyetini esas sınırlayan sıcaklık ve aşınma gibi olayları ifade etmemektedir.

Ayrıca “Polikim” teflon yataklar broşüründe;

“Yatak malzemesi seçiminde, aşınma faktörü ile $(p \cdot V)$ limiti birlikte düşünülmelidir.

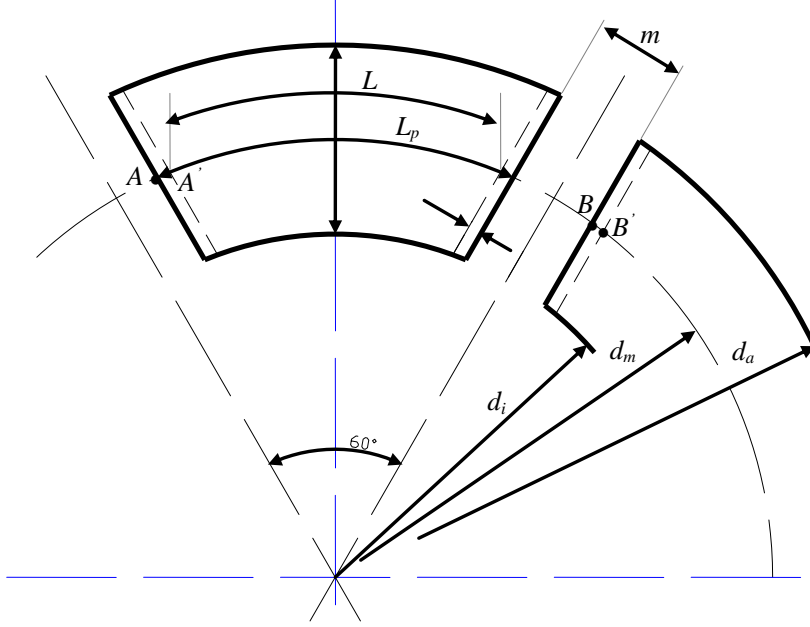
Sadece $(p \cdot V)$ limiti göz önüne alınarak yapılacak bir seçim yanlış sonuç verebilir” ifadesi kullanılmıştır.

2. Segman imalat resminin çizimi:

Dönme yönündeki kenarlara $1,5 \times 45^\circ C$ (*Kabul*) pah verelim.

$$L_{pahlı} = L + 2 \cdot 1,5 = 57 + 3$$

$$\underline{\underline{L_p = 60 \text{ mm.}}}$$



Segmanlar arasındaki boşluk,

$$L_p + m = \overline{AB} = \frac{\pi \cdot d_m}{6}$$

$$m = \frac{\pi \cdot 136}{6} - 60$$

$$m \cong 11 \text{ mm.}$$

Kontrol :

$$L_t = \overline{A'B'} = L + 1,5 + m + 1,5$$

$$L_t = 0,8 \cdot L_t + 3 + m \quad \rightarrow \quad 0,2 \cdot L_t = 3 + m$$

$$0,2 \cdot \frac{\pi \cdot d_m}{6} = 3 + m \quad \rightarrow \quad 0,2 \cdot \frac{\pi \cdot 136}{6} = 3 + m$$

$$\underline{\underline{m \cong 11 \text{ mm.}}}$$

bulunur.

Taşıma parçalı oynak segman montajı şekil 25; taşıma parçası şekil 26, kayma elemanı şekil 27 ve yatak üst plakası şekil 28 de verilmiştir.

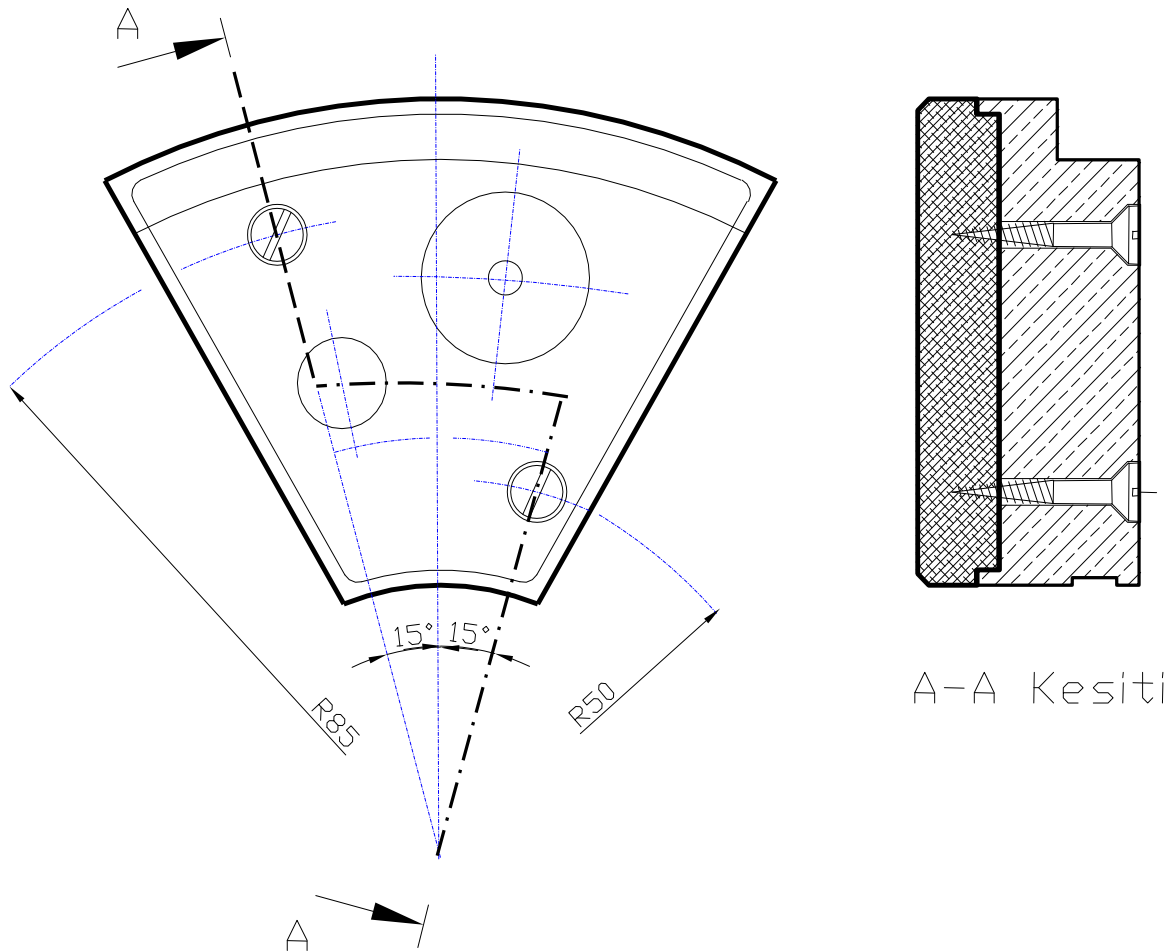
3. Elektrik motorunun ısınma kontrolü (İşletme şartlarında):

a) Isı taşınımı çeşitleri ve tarifler (Prof.Dr.Alpi Kemal DAĞSÖZ)

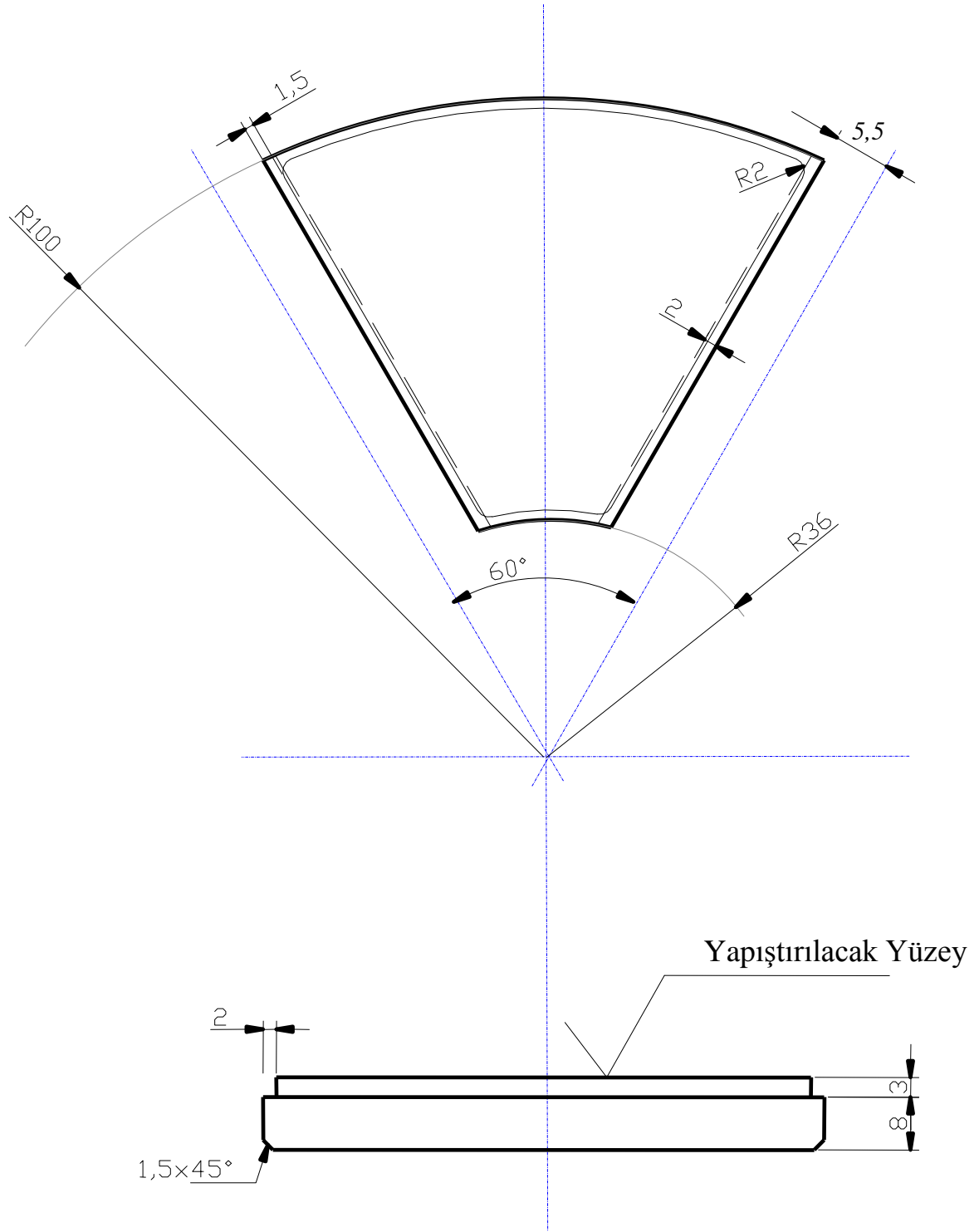
Gaz veya sıvı haldeki akışkan ile akışkanın temas ettiği yüzey arasındaki moleküllerin makraskobik hareketleri ile meydana gelen ısı geçiş şekline ısı taşınımı denilmektedir.

Akışkanın hareketi, örneğin hava akımının vantilatör, su akımının pompa ile meydana getirdiği gibi, dışarıdan bir enerji sarfı ile oluyorsa ısı taşınımı “zorlanmış ısı taşınımı” (cebri konveksiyon) olarak adlandırılır. Eğer akışkan hareketi, örneğin bir ısıtıcının etrafındaki havanın yükselmesi gibi, sıcaklık farkı nedeniyle özgül ağırlıktaki değişimlerden meydana geliyorsa “Doğal ısı taşınımı veya serbest ısı taşınımı” (tabii konveksiyon) adı verilir.

Akışkan bir düzlem (Levha) üzerinde veya bir boru içinde akabilir. Akışkanın yukarıdaki sebepler nedeniyle hareketi halinde akış çizgileri (cereyan çizgileri düzgün ve yan yana iseler, “Laminer akış” veya akış çizgilerinde bir düzen bulunmayıp bir karışıklık var ise “Türbülanslı akış” söz konusudur.



Şekil – Taşıma parçalı oynak segman

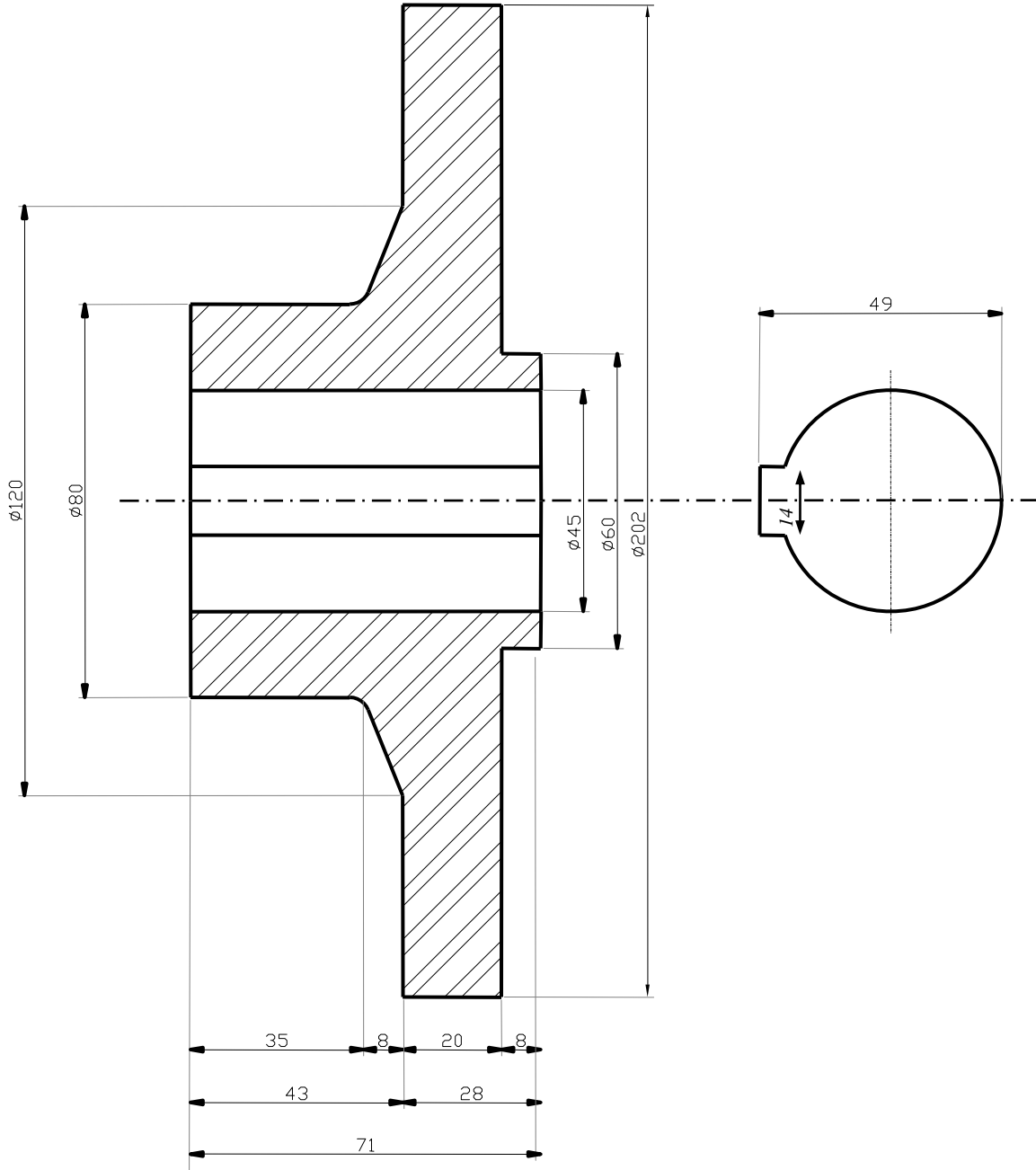


Şekil – Kayma elemanı

Adet : 6

Malzeme : K-35 (Polikim)

(MAZ C-289-64 Nolu resimden faydalanılmıştır.)



Şekil – Yatak üst plakası

Adet :1

Malzeme :Ç3915 (X12CrNi18 8)

(MAZ C-289-52 Nolu resimden alınmıştır).

b) Düşey bir yüzeydeki doğal ısı taşınımı;

Düşey ve silindir şeklindeki (Şekil 29) elektrik motoru gövdesinin dış yüzeyini (su ile temas eden dış yüzeyi) düşey bir yüzey olarak alalım. Su ile suyun temas ettiği dış yüzey arasındaki ısı geçişi doğal ısı taşınımıdır. Acaba doğal ısı taşınımında türbülanslı bir hareket var mıdır?

Şekil 29 incelendiğinde, su içinde bulunan rotor (ıslak rotor) miline bağlı 2 adet fanın bulunduğu görülür. Fanların dönmesiyle akış çizgilerinde bir karışıklık meydana gelir ki türbülanslı akış söz konusudur.

Düşey bir yüzeydeki türbülanslı doğal ısı taşınımında “Saunders”, deneylerinden hava için $A = 0,10$, su için $A = 0,17$ olmak üzere,

$$N_u = A \cdot \sqrt[3]{G_r \cdot P_r} \quad (69)$$

ifadesini bulmuştur. ($G_r \cdot P_r > 10^8$)

Prof Dr.Sadık KAKAÇ hoca da;

- Düşey yüzeyler $N_u = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} = 0,17(G_r \cdot P_r)^{0,33}$

Su için kullanılır, özellikleri sabit olup, akışkan özellikleri $T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2}$ film sıcaklığında değerlendirilecek. ($G_r \cdot P_r > 2 \cdot 10^9$)

- Yatay veya düşey silindirler – karakteristik uzunluk çap $N_u = \frac{\alpha \cdot D}{\lambda} = 0,10(G_r \cdot P_r)^{0,33}$ değerlerini, türbülanslı doğal konveksiyon ortalama film katsayıları için vermiştir ($G_r \cdot P_r > 10^8$). Gaz özellikleri sabit ve film sıcaklığında değerlendirilecek ($G_r \cdot P_r > 10^8$).

N_u - Nusselt sayısı

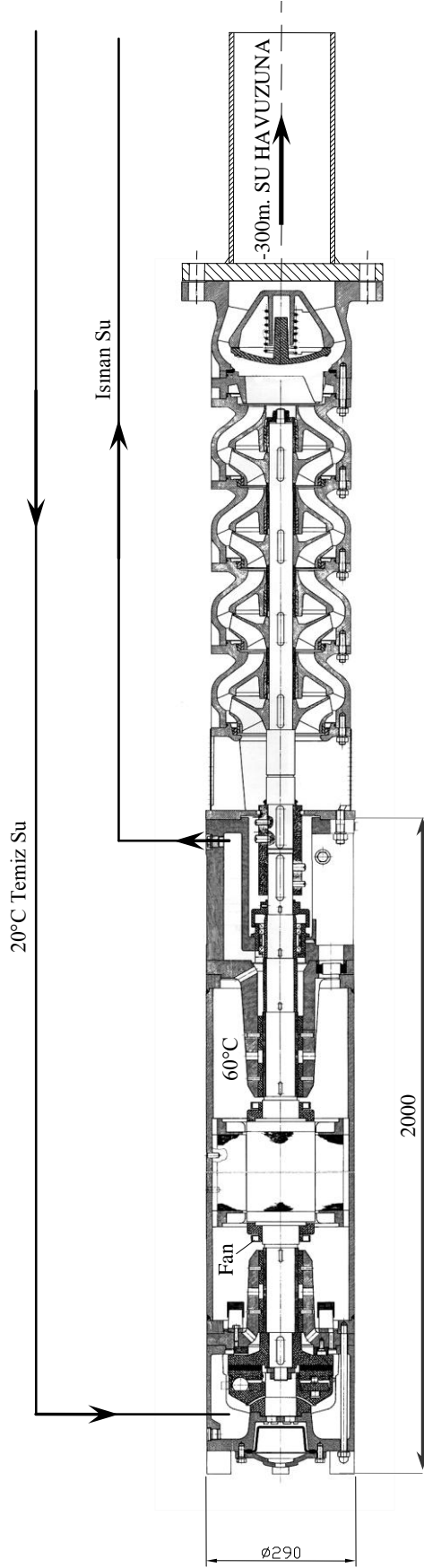
$$N_u = \frac{\alpha \cdot D}{\lambda} \quad \frac{\alpha}{W/(m^2K)} \left| \frac{D}{m} \right| \frac{\lambda}{W/(mK)} \quad (70)$$

α - Isı taşınım katsayısı, yüzey film katsayısı veya yüzey ısı transferi (geçiş) katsayısı (Su havuzundaki su ile suyun temas ettiği elektrik motoru gövdesinin silindirik dış yüzeyi arasındaki ısı geçişi için)

D - Elektrik motoru gövdesinin dış çapı

$D = \phi 290 \text{ mm}$. (Şekil 29. Proje değeri)

λ - Isı iletim katsayısı (Film veya ortalama sıcaklığa göre; Cetvel 8)



$$Q_{nom.} = 325 \text{ m}^3 / h$$

$$H_{m.nom.} = 140 \text{ mSS}$$

Su Sıcaklığı : 20°C

$$N_{motor} = 185 \text{ kW}$$

$$n_{motor} = 2935 \text{ d / d}$$

KOZLU
-425m. Su Havuzu

Şekil - "MAZ" Dalgıç Elektro-POMPA nın kuyudaki konumu (şematik)

Film veya ortalama sıcaklık,

$$\theta_m = \frac{\theta_a + \theta_y}{2} \quad (71)$$

denklemi ile hesaplanır ve akışkana ait büyüklükler bu sıcaklığa göre seçilir.

$\theta_m (= T_f)$ - Film veya ortalama sıcaklık

$\theta_a (= T_\infty)$ - Soğutucu akışkan sıcaklığı

Soğutucu akışkan su havuzundaki su olup,

$$\theta_a = T_\infty = 20^\circ C \quad (\text{Kabul})$$

$\theta_y (= T_w)$ - Yüzey sıcaklığı veya ısı transferi (geçiş) yüzey sıcaklığı

Yüzey sıcaklığı, elektrik motoru gövdesinin silindirik olan dış yüzey sıcaklığıdır ki, motor içindeki su sıcaklığına eşit alınmıştır.

$$\underline{\underline{\theta_y = T_w = 60^\circ C}}$$

G_r - Grashof sayısı

$$G_r = g \cdot \beta \cdot (\theta_y - \theta_a) \cdot D^3 / \nu^2 \quad (72)$$

$$\frac{g}{m/s^2} \left| \frac{\beta}{K^{-1}} \right| \left| \frac{\Delta\theta}{K} \right| \left| \frac{D}{m} \right| \left| \frac{\nu}{m^2/s} \right|$$

$(^\circ C^{-1}) \quad ^\circ C$

β - Isıl genleşme katsayısı (Cetvel 8)

ν - Kinematik viskozite (Cetvel 8)

P_r - Prandtl sayısı (Cetvel 8)

Akışkanın ısı geçişi özelliğini gösterir. Kinematik viskozitenin ısısal yayılma katsayısına oranıdır.

$$P_r = \frac{\eta \cdot c_p}{\lambda} = \frac{\nu}{a} \quad (73)$$

η - Dinamik viskozite (Cetvel 8)

c_p - Özgül ısı (Cetvel 8)

a - Isısal yayılma katsayısı (Cetvel 8)

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} \quad (74)$$

dır.

$$\theta_m = \frac{\theta_a + \theta_y}{2} \quad (\text{Eşitlik 71})$$

$$\theta_m = \frac{20^\circ C + 60^\circ C}{2}$$

$$\underline{\underline{\theta_m = 40^\circ C}}$$

ortalama sıcaklık için Cetvel 8 den;

$$\underline{\underline{\beta = 0,00038 \text{ K}^{-1}}}$$

$$\underline{\underline{\nu = 0,658 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}}}$$

$$\underline{\underline{P_r = 4,36}}$$

$$\underline{\underline{\lambda = 0,627 \text{ W} / (\text{mK})}}$$

Grashof sayısı,

$$G_r = g \cdot \beta \cdot (\theta_y - \theta_a) \cdot D^3 / \nu^2 \quad (\text{Eşitlik 72})$$

$$G_r = 9,81 \cdot 0,00038 \cdot (60 - 20) \cdot 0,290^3 / (0,658 \cdot 10^{-6})^2$$

$$\underline{\underline{G_r \cong 8,4 \cdot 10^9}}$$

Nusselt sayısı, su için $A = 0,17$ katsayısı ile

$$N_u = 0,17 \cdot \sqrt[3]{G_r \cdot P_r} \quad (\text{Eşitlik 69})$$

$$N_u = 0,17 \cdot \sqrt[3]{8,4 \cdot 10^9 \cdot 4,36}$$

$$\underline{\underline{N_u \cong 565}}$$

$$N_u = \frac{\alpha \cdot D}{\lambda} \quad (\text{Eşitlik 70})$$

$$565 = \frac{\alpha \cdot 0,290}{0,627}$$

$$\underline{\underline{\alpha \cong 1222 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})}}$$

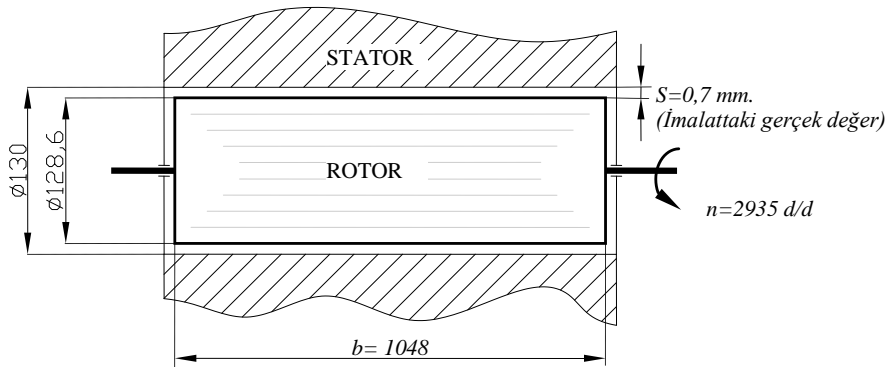
bulunur.

Cetvel – Isı transferinde (geçişinde), su için karakteristik değerler (DUBBEL).

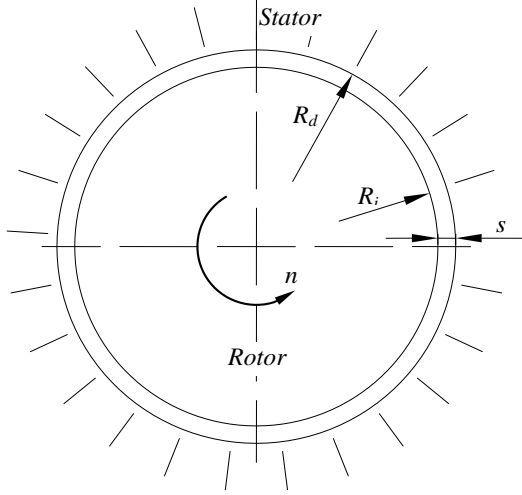
t $^{\circ}\text{C}$	ρ kg/dm^3	c_p $\text{kJ}/(\text{kgK})$	$10^6 \cdot \eta$ $\text{Pa} \cdot \text{s}$	$10^6 \cdot \nu$ m^2 / s	λ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$10^6 \cdot a$ m^2 / s	P_r	β K^{-1}
20	0,9982	4,183	1004,19	1,006	0,598	0,143	7,03	0,00020
40	0,9921	4,178	652,80	0,658	0,627	0,151	4,36	0,00038
60	0,983	4,191	469,87	0,478	0,651	0,158	3,03	0,00054
80	0,972	4,199	353,81	0,364	0,669	0,164	2,22	0,00065

c) Toplam kayıp güç P_v ;

- Disk sürtme gücü P_s ;



Sıkıştırılmayan bir akışkanla dolu silindirik ve kapalı bir hacim içinde, b genişliğinde D çapında bir disk ω sabit açısal hız ile döndürebilmek için diskin miline, sürtme kuvvetlerinin momentini yenecek bir döndürme momenti uygulamak gerekir.

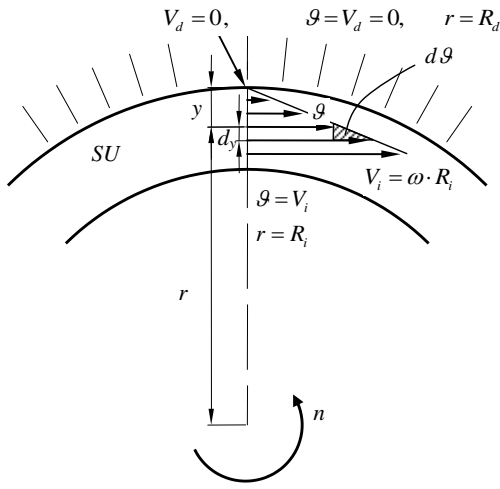


$$R_d = \frac{130}{2} = 65 \text{ mm.}$$

$$R_i = \frac{128,6}{2} = 64,3 \text{ mm.}$$

$$s = 0,7 \text{ mm.}$$

$$n = 2935 \text{ d / d}$$



s aralığı (su tabakası-filmin kalınlığı) çok düşük olduğundan hız değişimi lineer kabul edilebilir.

$$R_d - y = r$$

denkleminin diferansiyeli alınırsa ($R_d = \text{Sabit}$)

$$0 - dy = dr$$

bulunur.

Üçgen benzerliğinden,

$$\frac{V_i}{d\theta} = \frac{s}{dy}$$

$$\frac{d\theta}{dy} = \frac{V_i}{s}$$

$$dy = -dr \quad \text{dolayısıyla} \quad \frac{d\theta}{dy} = -\frac{d\theta}{dr}$$

yazılır. Ayrıca, sürtünmeden doğan τ kayma gerilmesi sıvının göz önüne alınan noktadaki hız gradyanı ile orantılıdır (NEWTON) yani,

$$\tau = \eta \cdot \frac{d\vartheta}{dy} \quad (75)$$

dir.

Sürtünme kuvveti,

$$F_s = A \cdot \tau$$

$$F_s = A \cdot \eta \cdot \frac{d\vartheta}{dy}$$

$$F_s = A \cdot \eta \cdot \frac{V_i}{s} = A \cdot \eta \cdot \frac{\omega \cdot R_i}{s}$$

$A = 2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot b$ rotor dış yüzey alanı, yerine konursa

$$F_s = 2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot b \cdot \eta \cdot \frac{\omega \cdot R_i}{s} \quad \frac{F_s}{N} \left| \frac{R_i}{m} \right| \frac{b}{m} \left| \frac{\eta}{N \cdot s / m^2} \right| \frac{\omega}{1/s} \left| \frac{s}{m} \right| \quad (76)$$

bulunur. Veya,

$$\frac{d\vartheta}{dy} = - \frac{d\vartheta}{dr}$$

$$\frac{d\vartheta}{dr} = - \frac{d\vartheta}{dy}$$

$$- \frac{d\vartheta}{dr} = - \frac{0 - \omega \cdot R_i}{R_d - R_i} = \frac{\omega \cdot R_i}{R_d - R_i} = \frac{\omega \cdot R_i}{s}$$

aynı sonucu veren eşitlikte kullanılabilir

60°C su için kinematik viskozite,

$$\eta = 464,8 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 \quad (\text{Cetvel 2})$$

$$F_s = 2 \cdot \pi \cdot 0,0643 \cdot 1,048 \cdot 464,8 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\left(\frac{\pi \cdot 2935}{30} \right) \cdot 0,0643}{0,7 \cdot 10^{-3}} \quad \left(\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \text{ 1/s} \text{ açısız hız} \right)$$

$$\underline{\underline{F_s = 5,6 \text{ N}}}$$

Sürtünme momenti,

$$M_s = F_s \cdot \left(\frac{R_i + R_d}{2} \right) \quad \frac{M_s}{N \cdot m} \left| \frac{F_s}{N} \right| \frac{R_i, R_d}{m} \quad (77)$$

$$M_s = 5,6 \cdot \left(\frac{0,0643 + 0,065}{2} \right)$$

$$\underline{\underline{M_s = 0,36 \text{ Nm}}}$$

Disk sürtünme gücü,

$$P_s = M_s \cdot \omega \quad \frac{P_s}{W} \left| \frac{M_s}{Nm} \right| \frac{\omega}{1/s} \quad (78)$$

$$P_s = 0,36 \cdot \frac{\pi \cdot 2935}{30} = 110 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{P_s = 0,11 \text{ kW}}}$$

- Sızdırmazlık kaybı P_{VD} ,

SKT 47087 (6x80x10) ölçülerinde üç adet keçe kullanılmıştır.

Çevre hızı;

$$g_t = \frac{\pi \cdot d_D \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,060 \cdot 2935}{60}$$

$$\underline{\underline{g_t = 9,2 \text{ m/s}}}$$

$$\left. \begin{array}{l} g_t = 9,2 \text{ m/s} \\ d_D = 60 \text{ mm.} \end{array} \right\} \quad \underline{\underline{P_{VD1} \cong 0,1 \text{ kW}}} \quad (\text{Şekil 17})$$

$$P_{VD} = 3 \cdot 0,1$$

$$\underline{\underline{P_{VD} = 0,3 \text{ kW}}}$$

- Fan kaybı P_{VPL} ;

Fan'a ait imalat resmi şekil 30 da verilmiştir. Dişli çarklarda, yağ sıçratma kaybı gibi düşünüldü. “ Dişi çarkların yağa çarpması ile meydana gelen güç kaybı, deneylere göre çok az olup, yağa giren her diş için yaklaşık olarak

$$P_{VPL} = \frac{b \cdot y_0 \cdot g_t^{3/2}}{2,72 \cdot 10^6} \quad \frac{P_{VPL}}{kW} \left| \frac{y_0}{mm.} \right| \frac{b}{mm.} \left| \frac{g_t}{m/s} \right. \quad (79)$$

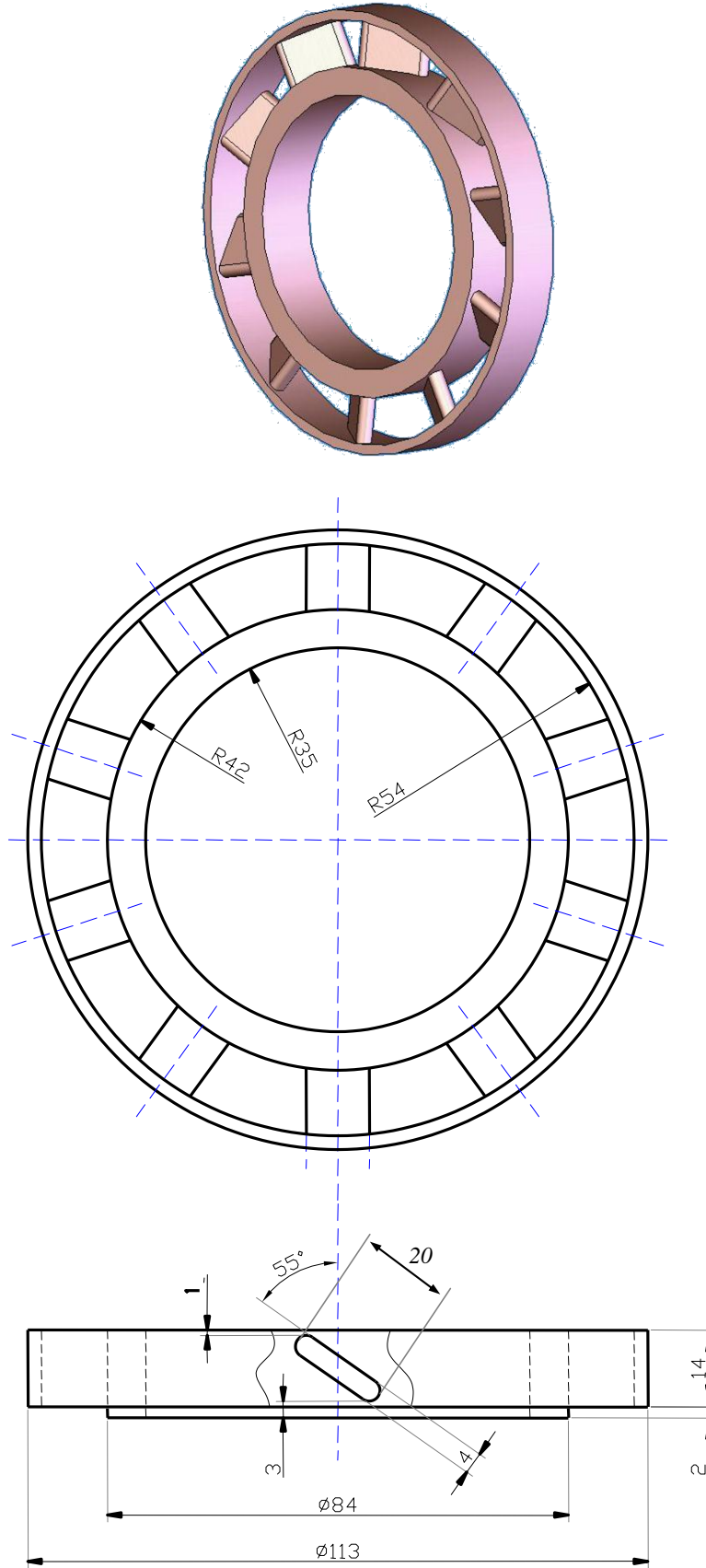
dir”.

- b - Yağa dalan çarkın genişliği
- y_0 - Dalma derinliği (Yağın durgun halinde)
- g_t - Yağa dalan çarkın taksimat dairesindeki çevre hızı

Şekil 30 'a göre;

$$\underline{\underline{b = 14 \text{ mm.}}}$$

$$\underline{\underline{y_0 = 108 \text{ mm.}}} \quad (\text{Tamamı su içinde})$$



Şekil – Elektrik motoru türbülans fanı

$$g_t = \frac{\pi \cdot d_0 \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{108+84}{2}\right) \cdot 10^{-3} \cdot 2935}{60}$$

$$\underline{\underline{g_t \cong 15 \text{ m/s}}}$$

$$P_{VPL1} = \frac{14 \cdot 108 \cdot 15^{3/2}}{2,72 \cdot 10^6} = 0,0323 \text{ kW}$$

Kanat sayısı = 10 ve iki adet fan bulunduğuna göre

$$P_{VPL} = 2 \cdot 10 \cdot 0,0323 = 0,646 \text{ kW}$$

$$\underline{\underline{P_{VPL} \cong 1 \text{ kW (Kabul)}}}$$

- Yatak kaybı P_{VB} ;

Radyal kaymalı yataklarda, her bir yatak için yaklaşık olarak mekanizma gücünün %0,1...%0,3'ü (yüksek güçlerde kullanılan yataklar) alınabilir.

Yataklar düşey çalışıyor, küçük değer ile bir yatak için,

$$P_{VB1} = 0,001 \cdot P_M = 0,001 \cdot 185 = 0,185 \text{ kW}$$

dört yatak olduğuna göre,

$$P_{VB} = 4 \cdot 0,185 = 0,74 \text{ kW}$$

bulunur. Ancak Radyal yataklar üzerinde yatay yük yok dolayısıyla,

$$\underline{\underline{P_{VB} = 0,1 \text{ kW}}}$$

kabul edilebilir.

- Diğer kayıplar P_{VS} ;

Mil ile beraber dönen, MAZ Resim No: C-289/(43-47-52) gibi parçaların sürtünme kaybı

$$\underline{\underline{P_{VS} \cong 0,1 \text{ kW}}} \quad (\text{Kabul})$$

- Elektrik motorunda demir ve bakır kayıpları P_{Fe}, P_{Cu} ;

Elektrik atölyesi test istasyonunda,

$$\underline{\underline{P_{Fe} + P_{Cu} = 27 \text{ kW}}}$$

ölçüldü.

Toplam kayıp güç P_V ;

Eksenel yatak sürtme gücü	-	$P_R = 0,4 kW$
Disk sürtme gücü	-	$P_S = 0,11 kW$
Sızdırmazlık kaybı	-	$P_{VD} = 0,3 kW$
Fan kaybı	-	$P_{VPL} = 1 kW$
Radyal yatak kaybı	-	$P_{VB} = 0,1 kW$
Diğer Kayıplar	-	$P_{VS} = 0,1 kW$
Demir ve bakır kayıpları	-	$P_{Fe} + P_{Cu} = 27 kW$

$$P_V = P_{Vmekanik} + P_{Velektrik}$$

$$P_V \cong 2 + 27$$

$$\underline{\underline{P_V = 29 kW}}$$

d) Toplam verim η_T ;

$$\eta_T = \eta_m \cdot \eta_e \quad (80)$$

η_m - Mekanik verim

$$\eta_m = 1 - \frac{P_{Vmekanik}}{P_M} = 1 - \frac{2}{185}$$

$$\underline{\underline{\eta_m = 0,98}}$$

η_e - Motor verimi

$$\eta_e = 1 - \frac{P_{Velektrik}}{P_M} = 1 - \frac{27}{185}$$

$$\underline{\underline{\eta_e = 0,85}}$$

$$\eta_T = 0,98 \cdot 0,85$$

$$\underline{\underline{\eta_T = 0,83}}$$

bulunur.

Not :

Elektrik motorunun karakteristik değerleri;

$$U = 550 V$$

$$I = 290 A$$

$$\cos\varphi = 0,85$$

olduğuna göre,

$$P_M = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \eta_T \quad \frac{P_M}{w} \left| \frac{U}{V} \right| \left| \frac{I}{A} \right| \quad (81)$$

$$P_M = \sqrt{3} \cdot 550 \cdot 290 \cdot 0,85 \cdot 0,83$$

$$\underline{\underline{P_M \cong 195 kW}}$$

elde edilir. Motorun nominal gücü 185 kW olduğuna göre fark, η_m ve η_e verim değerlerinden yani lme ve hesap yaklaşık kabullerinden meydana gelmiş olabilir.

e) Elektrik motor gövdesinin soğutma gücü P_K ;

Gövde tamamen su içinde

$$P_K = \alpha \cdot A \cdot \Delta\vartheta \quad (\text{Eşitlik 35})$$

A - Motor gövdesinin su ile temastaki dış yüzeyi (Etkili soğutma yüzeyi)

$$A = \pi \cdot D \cdot L = \pi \cdot 0,290 \cdot 2 \quad (\text{şekil 29})$$

$$\underline{\underline{A \cong 1,8 m^2}}$$

$$P_K = 1222 \cdot 1,8 \cdot (60 - 20) = 87984 W$$

$$\underline{\underline{P_K \cong 88 kW}}$$

$$P_K (= 88 kW) > P_V (= 29 kW) \quad \text{UYGUNDUR.}$$

$60^\circ C / 20^\circ C$ su ortamında motor gövdesinin soğutma gücü yeterlidir.

Not :

Acaba $60^{\circ}C/20^{\circ}C$ HAVA ortamında motor gövdesinin soğutma gücü ne OLURDU ?.

$$N_u = 0,10 \cdot \sqrt[3]{G_r \cdot P_r} \quad (\text{Eşitlik 69})$$

$$\theta_m = \frac{60 + 20}{2}$$

$$\underline{\underline{\theta_m = 40^{\circ}C}}$$

Ortalama sıcaklık değerinde HAVA için;

$$\left. \begin{array}{l} \lambda = 0,0271 \text{ W / (mK)} \\ \nu = 116,97 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s} \\ \beta = 3,20 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \\ P_r = 0,711 \end{array} \right\} \text{Karakteristik değerler Tablolardan okunabilir}$$

$$G_r = g \cdot \beta \cdot (\theta_y - \theta_a) \cdot \frac{D^3}{\nu^2} \quad (\text{Eşitlik 72})$$

$$G_r = 9,81 \cdot 3,20 \cdot 10^{-3} \cdot (60 - 20) \cdot \frac{0,290^3}{(16,97 \cdot 10^{-6})^2}$$

$$\underline{\underline{G_r = 0,10634 \cdot 10^9}}$$

$$N_u = 0,10 \cdot \sqrt[3]{0,10634 \cdot 10^9 \cdot 0,711}$$

$$\underline{\underline{N_u \cong 42}}$$

$$N_u = \frac{\alpha \cdot D}{\lambda} \quad (\text{Eşitlik 70})$$

$$42 = \frac{\alpha \cdot 0,290}{0,0271}$$

$$\underline{\underline{\alpha \cong 4 \text{ W / (m}^2\text{K)}}}$$

$$P_K = \alpha \cdot A \cdot \Delta \vartheta \quad (\text{Eşitlik 35})$$

$$P_K = 4 \cdot 1,8 \cdot (60 - 20) = 288 \text{ W} \cong 300 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{P_K \cong 0,3 \text{ kW}}}$$

$$P_K (= 0,3 \text{ kW}) < P_v (= 29 \text{ kW}) \quad \text{UYGUN DEĞİL}$$

İçinde su bulunan elektrik motoru hava ortamında ÇALIŞAMAZ. (Elektrik atölyesinde test çalışmaları sırasında, elektrik motorunun hava ortamda hemen ısındığı yani teori ile pratiğin örtüştüğü görüldü).

LİTERATÜR

1. Tuncer Özkan, “ZKÜ-MAK406 Diploma Çalışması Ders Notları”, 2000
2. G.Niemann – H.Winter, “Maschinen Elemente” Band II – Band III, Springer-Verlag 1983
3. M.ten BOSCH – H.İleri, “ Makina Elemanları Hesabı”, İTÜ Kütüphanesi Sayı: 721,748
4. Karl – Heinz Decker, “Maschinen elemente Gestaltung und Berechnung” , Karl Hanser Verlag München 1975;1982
5. Roloff / Matek, “Maschinen elemente”, Friedr. Vieweg Sohn 1974;1983
6. Dubbel, “Taschenbuch für den Maschinenbau”, Siproinger – Verlag Berlin Heidelberg New York 1970;1981
7. Dirk – Olaf Leimann, “Erhöhung der Wärmegrenzleistung bei Getrieben mit Luftkühlung, Konstruktion 31(1979) H.11, S.434-438
8. Lütfullah Ulukan, “Yağlama Tekniği”, İTÜ Mak.Fak. Mak. Elemanları Kürsüsü, İstanbul 1970
9. W.Schröder, D.-O Leimann, “Ermittlung der Getriebeverlustleistung”, Antriebstechnik 19(1980) Nr.11 S:532 – 535
10. Mustafa Gediktaş, “Makina Elemanları Problemleri”, Fatih Yayınevi, 1982 – İstanbul
11. Sadık Kakaç, “Isı Transferi”, ODTÜ Yayın No:27, 1970 - Ankara