

# RADYAL KAYMALI YATAKLAR



TUNCER ÖZKAN

|   |    |
|---|----|
| RADYAL KAYMALI YATAKLAR <i>Projeleme, Hesaplama ve Şekillendirme</i> .....                    | 1  |
| I - Kaymalı Yataklar .....  | 1  |
| 1) Özellikleri ve kullanılması: .....   | 1  |
| 2) Yatakların sınıflandırılması: .....  | 1  |
| 3) Yeni eğilimler: .....  | 2  |
| 4) Kullanılan kaymalı yataklar için yükleme değerleri : .....                                 | 2  |
| II – Radyal Kaymalı Yataklar .....  | 2  |
| 1-) Sürtünme (Sürtme); .....  | 16 |
| 2-) Yağ basıncı $p$ ; .....   | 18 |
| 3-) Sürtünme katsayısı (sayısı) $\mu$ ; .....   | 19 |
| 4-) Rölatif (izafi) yatak boşluğu $\Psi$ ; .....  | 23 |
| III – Radyal yatakların hesabı .....  | 27 |
| 1 ) Sommerfeld sayısı $S_0$ ; .....   | 27 |
| 2 ) Sıvı sürtünmesi (Hidrodinamik sıvı sürtünmesi) için sıvı sürtünme katsayısı $\mu$ ; ..... | 29 |
| 3 ) Sürtünme gücü $P_R$ ; .....   | 29 |
| 4 ) Isı Bilançosu (Isıl Denge Denklemi veya Isı Kontrolü); .....                              | 31 |
| Yaklaşık değerler; .....  | 32 |
| Yatak işletme sıcaklığı $\vartheta$ nın hesabı: .....   | 33 |
| 5 ) Soğutma Yağı Miktarı (Soğutucu yağ debisi) $Q_K$ ; .....                                  | 39 |
| 5 ) Toplam yağ miktarı $Q$ .....  | 48 |
| 6 ) Minimum (Enküçük) yağ filmi kalınlığı (İşletme devir sayısında) $h_0$ ; .....             | 48 |
| 7 ) Geçiş devir sayısı ( <i>Sıvı sürtünmeye geçiş devir sayısı</i> ) $n_{\bar{u}}$ ; .....    | 49 |
| 8 ) Minimum ( <i>en küçük</i> ) devir sayısı $n_{min.}$ ; .....                               | 52 |
| 9 ) Gerekli yağ ihtiyacı $Q_S$ ; .....  | 53 |
| 10) Yatak yükü için karakteristik değerler; .....   | 53 |
| 11) Radyal yataklarda hesap yöntemi ; .....   | 55 |
| 12) Kaymalı yatak malzemeleri ; .....   | 58 |
| 13) Çok tabakalı yataklar ; .....   | 66 |
| Örnek 1 : .....   | 68 |
| Örnek 2: .....  | 77 |
| LİTERATÜR .....   | 86 |

# **RADYAL KAYMALI YATAKLAR**

## **Projeleme,Hesaplama ve Sekillendirme**

### **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.

Taşıma yüzeylerinin büyük olması, kaymalı yatakların, 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.

Radyal kaymalı yataklar ile ilgili konstrüksiyon örnekleri şekil 1...10 da verilmiştir.

### 3) Yeni eğilimler:

Yatağın boyutlandırılması ve şekillendirilmesi için hidrodinamik yağlama teorisinin en yeni bilgilerinden geniş çapta faydalanılarak aşağıdaki hususlar göz önünde tutulmalıdır :

- Milin daha küçük eğilme zorlanması (Milin sehiminden-çökmesinden-dolayı) ve daha az kenar basması için daha kısa ( ensiz) yataklar  $\left(\frac{b}{d} = 0,4 \dots 1\right)$ ,
- Rulmanlı yatakların ölçüsünde, listeden ısmarlanabilir hazır kaymalı yataklar,
- İnce yatak burçları (çelikten) ve ince metal kaplamalar (Kayma yüzeylerinde elektrolitik yolla ince tabakalar, örneğin çelik cidara  $1 \dots 10 \mu m$  kalınlığında bakır veya nikel, bunun üzerine  $0.4$  mm kalınlığında gümüş ve bunun da üzerine  $10 \dots 40 \mu m$  kalınlığında kurşun –ve kalay-indium<sup>1</sup> tabakası kaplanır. Bunlar difüzyon yoluyla birleştirilmektedir. Çok malzemeli yataklar),
- Sertleştirilmiş, parlatılmış, yüzeyi sıkıştırılmış veya çok hassas taşlanmış miller veya millerin üzerine özel yatak burçları,
- Yüksek devirlerde yağ yerine basınçlı hava kullanılması.

### 4) Kullanılan kaymalı yataklar için yükleme değerleri :

Cetvel 1'e bakınız

## **II – Radyal Kaymalı Yataklar**

Bir yataktan genellikle aşağıdaki özelliklere sahip olması istenir ;

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

---

<sup>1</sup> İndium (İndiyum) :Kurşundan daha yumuşak ve daha kolay ezilen gümüş parlaklığında beyaz bir madendir.155°C ergir.

**Cetvel 1** – Makina imalatında kullanılan kaymalı yataklar için yükleme değerleri.  
*St*-Çelik; *GG*-Kır veya pik döküm(DIN 1691); *WM*- Beyaz metal (DIN 1703);  
*B1-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            | $\beta = b/d$ |       |
|--|--------------------|-----------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|-------|
|  |                    | $\bar{p}$<br>[N/cm <sup>2</sup> ] | $u$<br>[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 |
|  |                    | 6                                 | 200           | 0,15                         | KH/St50       | 1...2 |
|  | • Aralıklı çalışma | 7                                 | 60            | 1                            | KH/St50       | 1...2 |
|  |                    | 8                                 | 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 <sub>sert</sub>        | 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 $2,5 \cdot \bar{p}$ ye kadar alınır. | 16                 | 80                                | 1             | GG/St                        | 1...2         |       |
|  | 17                 | 80                                | 3             | WM5/St                       | 1...2         |       |
|  | 18                 | 100                               | 2             | WM10/St                      | 1...2         |       |
|  | 19                 | 150                               | 10            | WM10/St                      | 1...2         |       |
|  | 20                 | 800                               | 1             | GBz10,B1-Bz/St               | 1...2         |       |
|  | 21                 | 200                               | 1             | KH/St                        | 1...2         |       |
| • Presler, en yüksek basınç  | 22                 | 10000                             | -             | B1-Bz/St                     | 1...2         |       |
| Hadde makinaları   | 23                 | 5000                              | 50            | Caro-Bz/St <sub>sert</sub> * | 0,5...1,2     |       |
|  |                    | 2500                              | 50            | KH/St <sub>sert</sub>        | 0,5...1,2     |       |

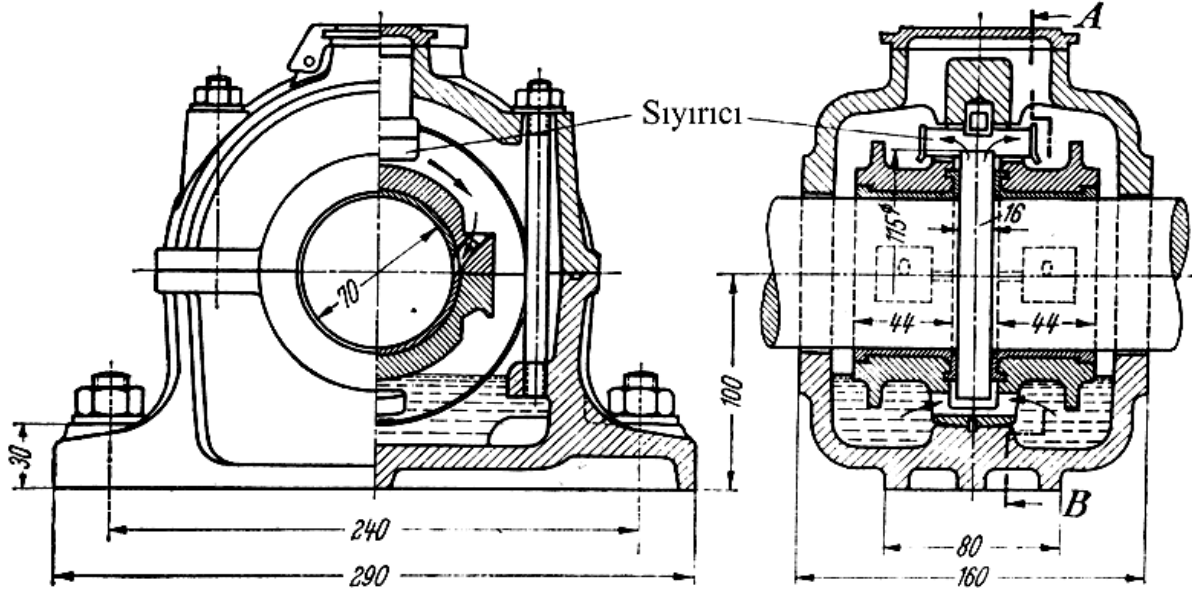
|   |    |             |     |                             |            |
|---|----|-------------|-----|-----------------------------|------------|
| Elektrik ve su makinaları                         |    |             |     |                             |            |
| • n<1500,durma zamanı<8 dak.                      | 24 | 120         | 10  | WM10/St50                   | 0,8...1,5  |
| • n<1500,durma zamanı>8 dak.                      | 25 | 70          | 10  | WM10/St50                   | -          |
| • n>1500,durma zamanı<8 dak.                      | 26 | 50          | 14  | WM10/St50                   | -          |
| • n>1500,durma zamanı daha fazla                  | 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-Bz/St <sub>sert</sub> | -          |
| • Ana mil,biyel yatağı                            | 33 | 900         | 2,5 | WM,Bl-Bz/St <sub>sert</sub> | 1          |
| • Ana mil,mil yatağı                              | 34 | 350         | 3,3 | WM,Bl-Bz/St <sub>sert</sub> | 1,4        |
| • Krank,biyel yatağı                              | 35 | 750         | 3,5 | WM,Bl-Bz/St <sub>sert</sub> | 0,85       |
| • Krank, mil yatağı                               | 36 | 450         | 3,5 | WM,Bl-Bz/St <sub>sert</sub> | 1          |
| • Dış yatak (Volan)                               | 37 | 250         | 3,0 | WM/St                       | -          |
| • Kumanda milleri                                 | 38 | 150         | -   | WM/St                       | 1          |
| • Kroshed kızağı                                  | 39 | 40          | -   | WM/St                       | -          |
| • Kroshed kızağı                                  | 40 | 30          | -   | GG/St                       | -          |
| Lokomotifler                                      |    |             |     |                             |            |
| • Biyel ve kroshed                                | 41 | 1500        | -   | WM,Bz/St                    | -          |
| • Kroshed kızağı                                  | 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 devirli: $1,7 \cdot \bar{p}$             |    |             |     | Bl-Bz/St <sub>sert</sub>    | -          |
| • Uçak motoru: $2,3 \cdot \bar{p}$                |    |             |     |                             |            |
|   |    |             |     | Bl-Bz/St <sub>sert</sub>    | -          |
| 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,B1-Bz/St <sub>sert</sub>            | 0,65...0,8 |
| • Alçak devirli, krank mili  | 50 | 900  | -  | -                                      | 0,7...0,9  |
| • Alçak devirli, piston pernosu<br>(b/d bütün dayanma yüzeyi için) | 51 | 2400 | -  | -                                      | 1,6...1,7  |
| • Yüksek devirli: 1,5 · $\bar{p}$ alçak devir.                     |    |      |    | -                                      | -          |
| Mafsallar  | 52 | 1500 | -  | St <sub>sert</sub> /St <sub>sert</sub> | -          |
|  | 53 | 300  | -  | GG/St                                  | -          |
|  | 54 | 900  | -  | Rg,Bz/St <sub>sert</sub>               | -          |
|  | 55 | 500  | -  | Rg,Bz/St                               | -          |
| • Aerostatik yağlamalı yatak                                       | 56 | 350  | -  | -                                      | -          |
| • Aerodinamik yağlamalı yatak                                      | 57 | 60   | -  | -                                      | -          |
| • Hidrostatik yağlamalı yatak                                      | 58 | 400  | 20 | St/St                                  | 0,8        |

\* Carobronze – Kalay bronzu CuSn8 (DIN17662)

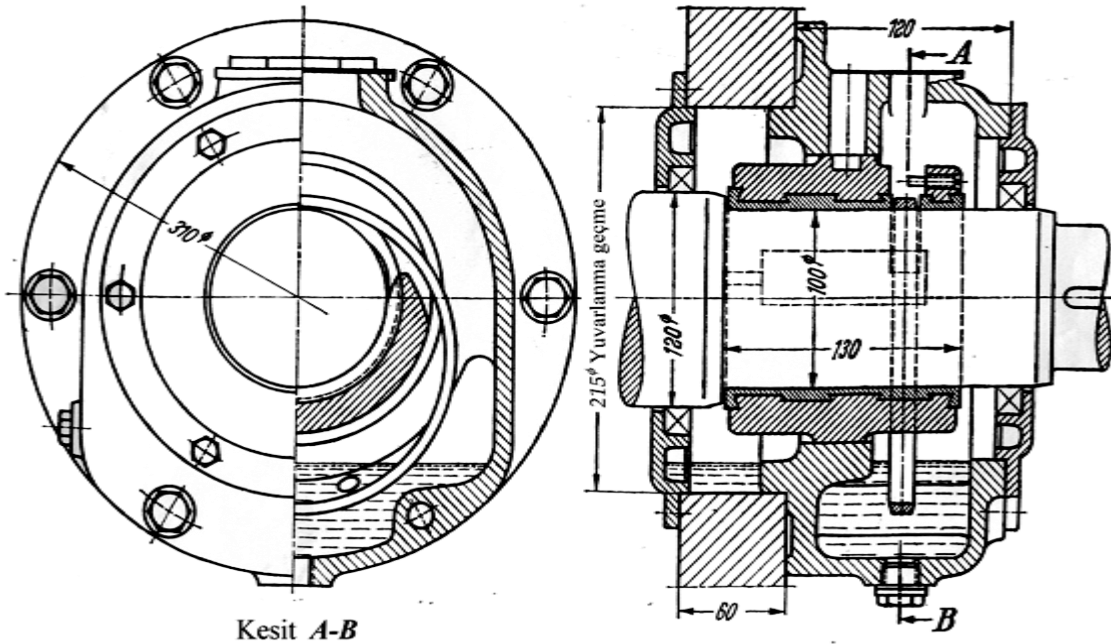
$\bar{p}$  – ortalama yüzey basıncı

$u$  – çevre hızı



Kesit A-B

Şekil 1 – DIN 118 G ye göre, sabit yağ bilezikli ayaklı yatak (Wüffel, Typ M). Mil üzerine sabit olarak takılan bileziğin üzerine yapışan yağ, bir takım sıyırıcılar tarafından sıyırılarak yatak ile mil arasındaki boşluğa verilir.

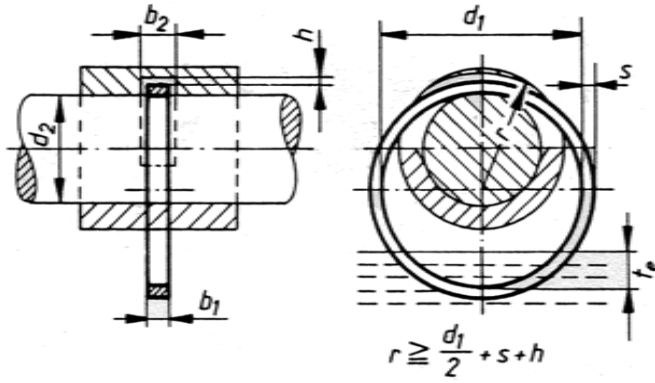


Kesit A-B

Şekil 2 – Serbest bilezikle yağlamalı flanş yatak (Tek parçalı). Mil üzerine serbest olarak takılan bileziğin bir kısmı yağ içinde bulunur. Milin dönmesiyle bilezik dönmeye başlar. Dönen bilezik, yağ hanesinde üzerine yapışan yağı beraberinde sürükler ve yukarıda yatak ile mil arasındaki boşluğa verir. Cetvel 2 ye bakınız.



**Cetvel 2** – DIN322 ye göre, serbest bilezikli yağlama sistemine ait boyutlar.  
Değerler mm. olarak verilmiştir. (Roloff/Matek).



*U* – Tek parçalı

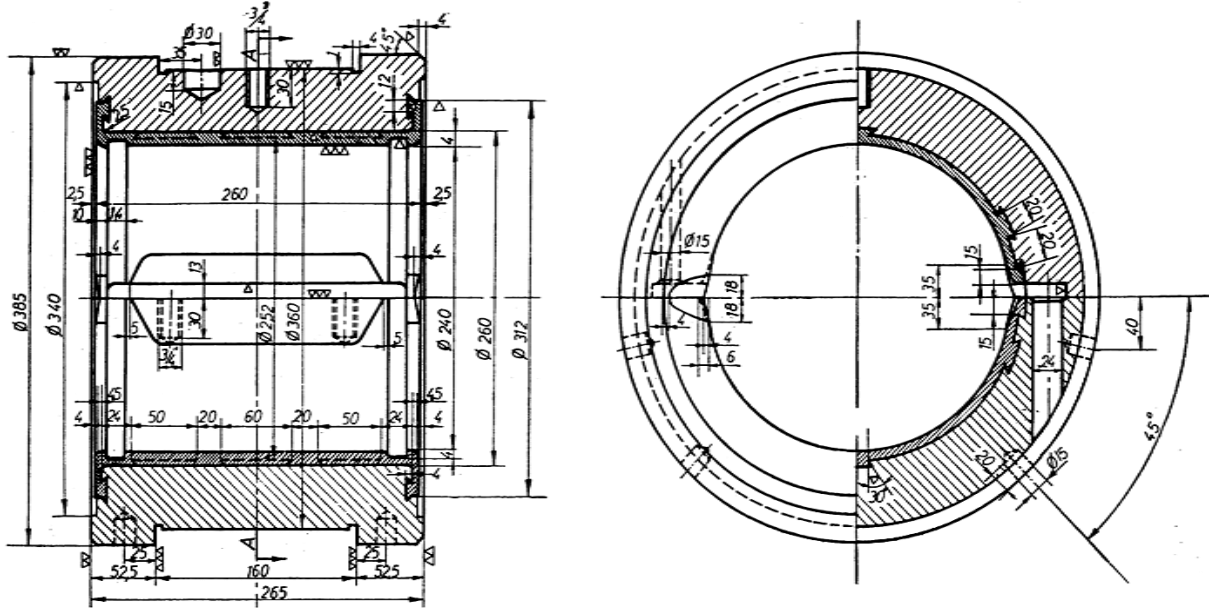
*G* – Parçalı

*Bilezik malzemesi* : St, CuZn

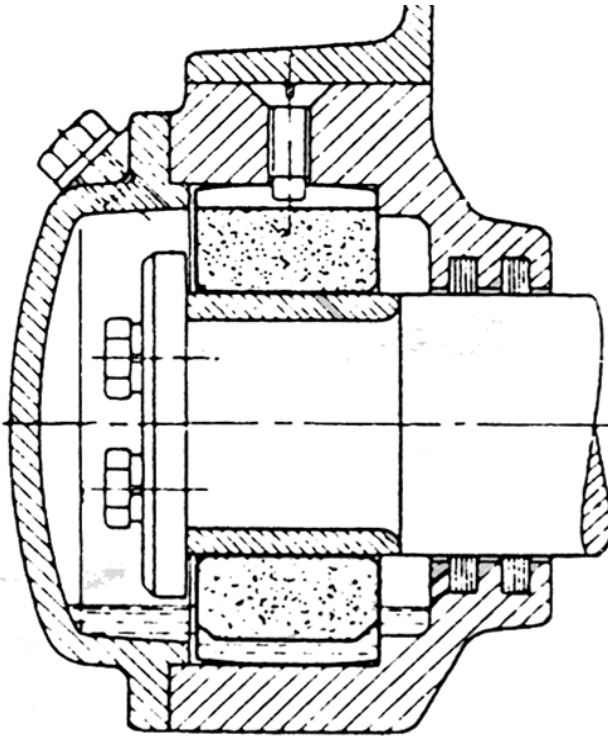
*Dalma derinliği* :  $t_e \approx 0,1 \dots 0,4 \cdot d_1$

**Gösterilişi** : Yağ bileziği U80 DIN 322-St

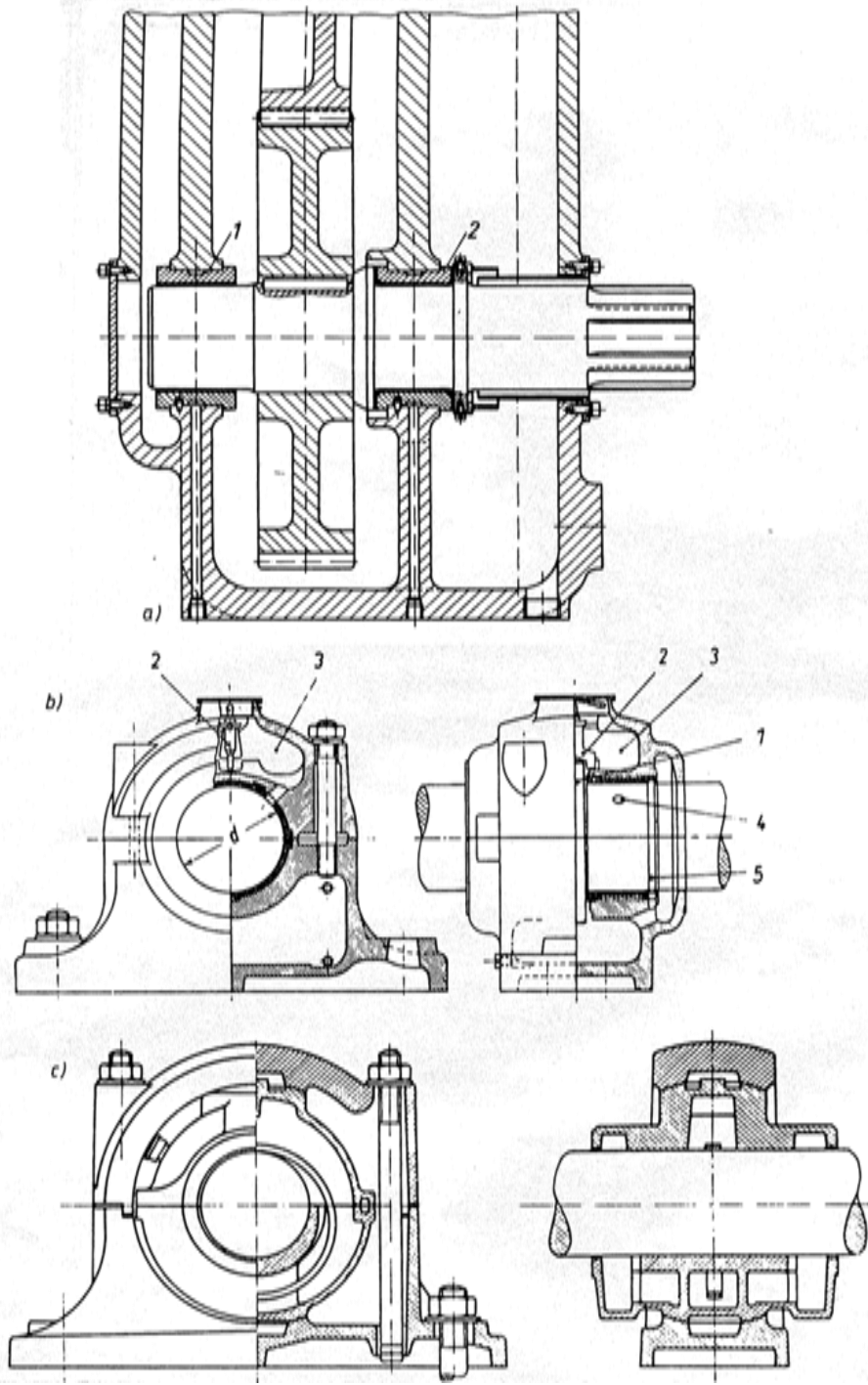
| Mil çapı $d_2$<br>den | $e'$ kadar | Yağ bileziği |       |     | Kanal<br>$b_2$ | $h$<br>min. |
|-----------------------|------------|--------------|-------|-----|----------------|-------------|
|                       |            | $d_1$        | $b_1$ | $s$ |                |             |
| 20                    | 23         | 45           | 6     | 2   | 8              | 2           |
| 23                    | 28         | 50           | 8     | 3   | 10             |             |
| 28                    | 30         | 55           | 8     | 3   | 10             |             |
| 30                    | 34         | 60           | 8     | 3   | 10             |             |
| 34                    | 36         | 65           | 10    | 3   | 12             | 3           |
| 36                    | 40         | 70           | 10    | 3   | 12             |             |
| 40                    | 44         | 75           | 10    | 3   | 12             |             |
| 44                    | 48         | 80           | 10    | 3   | 12             |             |
| 48                    | 55         | 90           | 12    | 4   | 15             |             |
| 55                    | 60         | 100          | 12    | 4   | 15             |             |
| 60                    | 68         | 110          | 12    | 4   | 15             |             |
| 68                    | 75         | 120          | 12    | 4   | 15             |             |
| 75                    | 80         | 130          | 12    | 4   | 15             |             |
| 80                    | 85         | 140          | 15    | 5   | 18             | 4           |
| 85                    | 90         | 150          | 15    | 5   | 18             |             |
| 90                    | 100        | 160          | 15    | 5   | 18             |             |
| 100                   | 105        | 170          | 15    | 5   | 18             |             |
| 105                   | 110        | 180          | 15    | 5   | 18             |             |
| 110                   | 120        | 200          | 15    | 5   | 18             |             |
| 120                   | 130        | 210          | 18    | 6   | 22             |             |
| 130                   | 140        | 235          | 18    | 6   | 22             |             |
| 140                   | 160        | 250          | 18    | 6   | 22             |             |
| 160                   | 170        | 265          | 18    | 6   | 22             |             |
| 170                   | 180        | 280          | 18    | 6   | 22             |             |
| 180                   | 190        | 300          | 20    | 8   | 24             | 8           |
| 190                   | 200        | 315          | 20    | 8   | 24             |             |



Şekil 3 – Beyaz maden kaplı iki parçalı yatak zarfı  
(Nimet ÖZDAŞ – Mustafa GEDİKTAŞ)



Şekil 4 – Yağı kendi kendine emen yağ depolu sintermetal hazır yatak. Gövdeye bombeli oturan sinter burç, milin bir miktar esneme yapmasına müsaade eder. Muylu üzerindeki burç, çelik ve sertleştirilmiştir. (Roloff/Matek)



**Şekil 5 – a) Mekanizma yatakları (Glyco, Essen)**

1- Serbest yatak

2- Sabit veya ana yatak (DIN 7473)

**b) Sabit yağ bilezikli ayaklı yatak (Flender, Bocholt)**

1- Mil ile birlikte dönen yağ bileziği

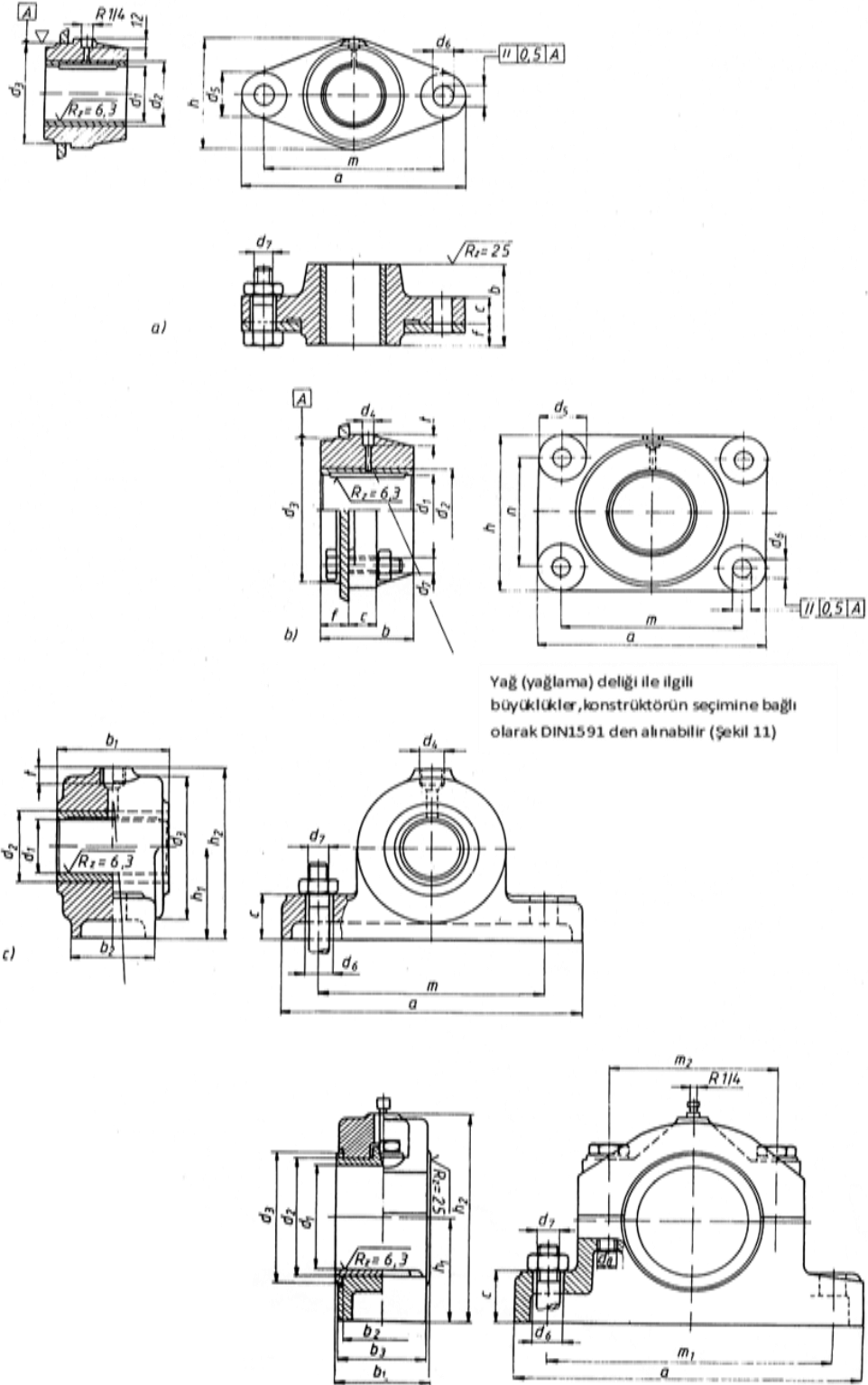
2- Yağ sıyrıcı

3- Kenar boşluk

4- Kayma yüzeyleri arasındaki yağ deliği

5- Yağ tutma kanalı

**c) Serbest yağ bilezikli oynak yatak DIN322 (Flender) (Roloff/Matek)**



**Şekil 6** –Normlaştırılmış (standart) kaymalı yataklar (konstrüksiyon boyutları için Cetvel 3'e bakınız).(Roloff/Matek).  
a) Flanş yatak form A, DIN502  
b) Flanş yatak form B, DIN503  
c) Geçme yatak form A, DIN50  
d) Kapalı yatak, DIN 50

**Cetvel 3** – Normlaştırılmış (standart) kaymalı yatakların konstrüksiyon boyutları (Roloff/Matek).

\*) Parantez içindeki değerler mümkün olduğu kadar kullanılmamalı.

\*\*) Yatak gövdesi toleransı 0/-0,1

Yatak burcu toleransı +0,1/0

\*\*\*) Döküm genel toleransları DIN1686 ya göre.

a) Flanş yatak, DIN 502. (Döküm genel toleransları GTB18, DIN1686 ya göre)

| $d_1^*$  |      | $a$ | $b$ | $c$ | $d_2$ | $d_3$ | $d_5$ | $d_6$ | $d_7$ | $f$ | $k$ | $m$     |
|----------|------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|---------|
| D10 Form |      |     |     |     |       |       |       |       |       |     |     |         |
| A        | B    |     |     |     | D7    | h9    |       |       |       |     |     | $\mp 1$ |
| -        | 25   | 135 | 60  | 20  | -     | 50    | 35    | 14    | M12   | 20  | 60  | 100     |
| -        | 30   |     |     |     |       |       |       |       |       |     |     |         |
| 25       | 35   | 155 | 60  | 20  | 35    | 65    | 35    | 14    | M12   | 20  | 75  | 120     |
| 30       | 40   |     |     |     | 40    |       |       |       |       |     |     |         |
| 35       | 45   | 180 | 70  | 25  | 45    | 80    | 40    | 18    | M16   | 20  | 90  | 140     |
| 40       | 5    |     |     |     | 50    |       |       |       |       |     |     |         |
| 45       | 55   | 210 | 80  | 30  | 55    | 90    | 50    | 22    | M20   | 20  | 100 | 160     |
| 50       | 60   |     |     |     | 60    |       |       |       |       |     |     |         |
| 55       | (65) | 240 | 90  | 30  | 65    | 110   | 50    | 22    | M20   | 25  | 120 | 190     |
| 60       | 70   |     |     |     | 70    |       |       |       |       |     |     |         |
| (65)     | (75) | 275 | 100 | 35  | 75    | 130   | 55    | 26    | M24   | 25  | 140 | 220     |
| 70       | 80   |     |     |     | 80    |       |       |       |       |     |     |         |

b) Flanş yatak, DIN 503. (Döküm genel toleransları GTB18, DIN1686 ya göre)

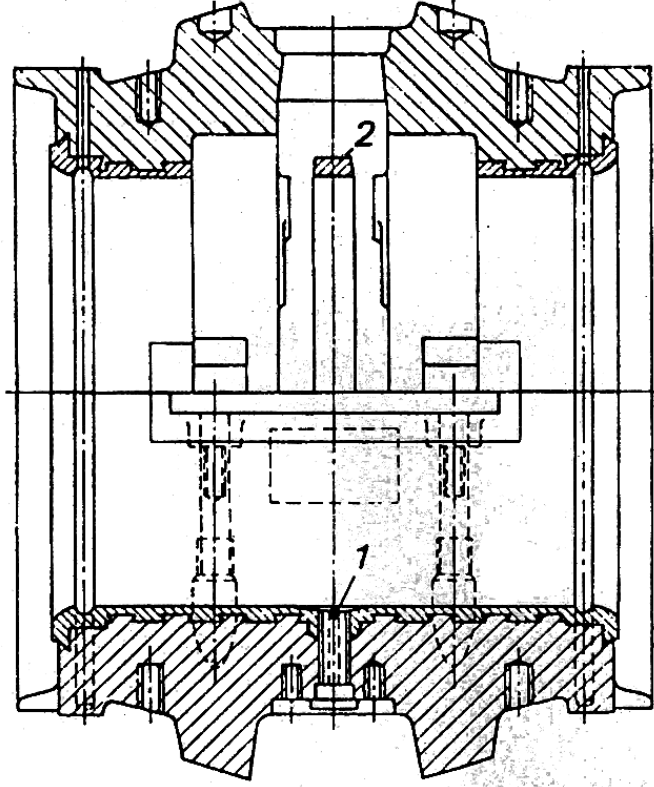
| $d_1^*$  |      | $a$ | $b$ | $c$ | $d_2$ | $d_3$ | $d_4$           | $d_5$ | $d_6$ | $d_7$ | $f$ | $h$ | $m$     | $n$ | $t$ |
|----------|------|-----|-----|-----|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-----|-----|---------|-----|-----|
| D10 Form |      |     |     |     |       |       |                 |       |       |       |     |     |         |     |     |
| B        | D    |     |     |     | D7    | h9    |                 |       |       |       |     |     | $\mp 1$ |     |     |
| 35       | 45   | 145 | 70  | 20  | 45    | 80    | $R \frac{1}{4}$ | 35    | 14    | M12   | 20  | 85  | 110     | 50  | 12  |
| 40       | 5    |     |     |     | 50    |       |                 | 45    | 18    | M16   | 20  | 105 | 130     | 60  |     |
| 45       | 55   | 175 | 80  | 25  | 55    | 100   |                 | 45    | 18    | M16   | 25  | 125 | 150     | 80  |     |
| 50       | 60   |     |     |     | 60    |       |                 | 50    | 22    | M20   | 25  | 150 | 170     | 100 |     |
| 55       | (65) | 195 | 90  | 25  | 65    | 120   |                 | 50    | 22    | M20   | 30  | 170 | 190     | 120 |     |
| 60       | 70   |     |     |     | 70    |       |                 | 90    | 210   | 140   |     |     |         |     |     |
| (65)     | (75) | 220 | 100 | 30  | 75    | 140   |                 |       |       |       |     |     |         |     |     |
| 70       | 80   |     |     |     | 80    |       |                 |       |       |       |     |     |         |     |     |
| (75)     | 90   | 240 | 100 | 30  | 85    | 160   |                 |       |       |       |     |     |         |     |     |
| 80       | 100  |     |     |     | 90    |       |                 |       |       |       |     |     |         |     |     |
| 90       | 110  | 260 | 120 | 30  | 100   | 180   |                 | 50    | 22    | M20   | 30  | 190 | 210     | 140 |     |

c) Geçme yatak, DIN 504

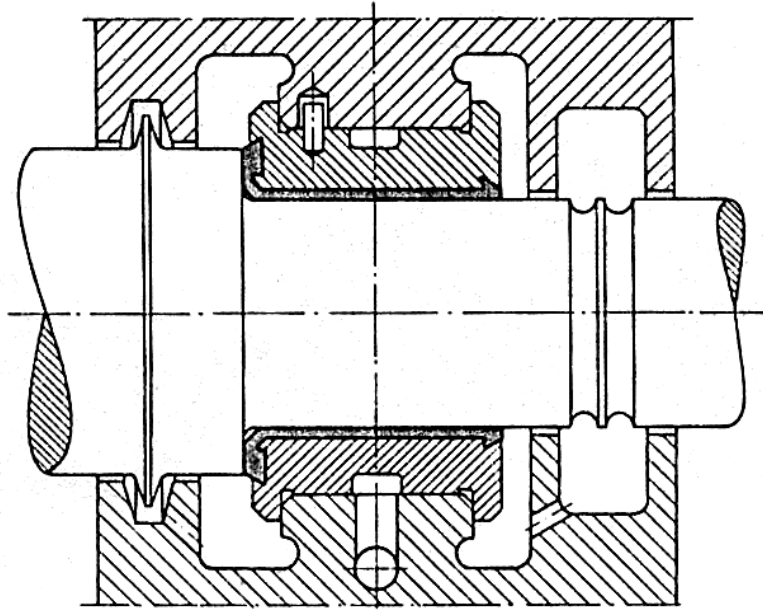
| $d_1^*$<br>D10 Form |      | $a$ | $b_1$ | $b_2$ | $c$ | $d_2$ | $d_3$<br>max | $d_4$          | $d_6$ | $d_7$ | $h_1$<br>+0,2 | $h_2$<br>max | $m$<br>GTB16** | $t$ |
|---------------------|------|-----|-------|-------|-----|-------|--------------|----------------|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-----|
| A                   | B    |     |       |       |     | D7    |              |                |       |       |               |              |                |     |
| -                   | 20   | 110 | 50    | 35    | 18  | -     | 45           | $R\frac{1}{4}$ | 12    | M10   | 30            | 56           | 75             | 10  |
| -                   | 25   | 140 | 60    | 40    | 25  | -     | 60           |                | 15    | M12   | 40            | 75           | 100            |     |
| -                   | 30   |     |       |       |     |       |              |                |       |       |               |              |                |     |
| 25                  | 35   | 160 | 60    | 45    | 25  | 35    | 80           |                | 15    | M12   | 50            | 95           | 120            |     |
| 30                  | 40   |     |       |       |     | 40    |              |                |       |       |               |              |                |     |
| 35                  | 45   | 190 | 70    | 50    | 30  | 45    | 90           |                | 19    | M16   | 60            | 110          | 140            |     |
| 40                  | 50   |     |       |       |     | 50    |              |                |       |       |               |              |                |     |
| 45                  | 55   | 220 | 80    | 55    | 35  | 55    | 100          |                | 24    | M20   | 70            | 125          | 160            |     |
| 50                  | 60   |     |       |       |     | 60    |              |                |       |       |               |              |                |     |
| 55                  | (65) | 240 | 90    | 60    | 35  | 65    | 120          | 24             | M20   | 80    | 145           | 180          |                |     |
| 60                  | 70   |     |       |       |     | 70    |              |                |       |       |               |              |                |     |
| (65)                | (75) | 270 | 100   | 70    | 45  | 75    | 140          | 28             | M24   | 90    | 165           | 210          |                |     |
| 70                  | 80   |     |       |       |     | 80    |              |                |       |       |               |              |                |     |
| (75)                | 90   | 300 | 100   | 80    | 45  | 85    | 160          | 28             | M24   | 100   | 185           | 240          |                |     |
| 80                  |      |     |       |       |     | 90    |              |                |       |       |               |              |                |     |
| 90                  | 100  | 330 | 120   | 90    | 45  | 100   | 180          | 28             | M24   | 100   | 195           | 270          |                |     |
|                     | 110  |     |       |       |     |       |              |                |       |       |               |              |                |     |

d) Geçme yatak, DIN 504

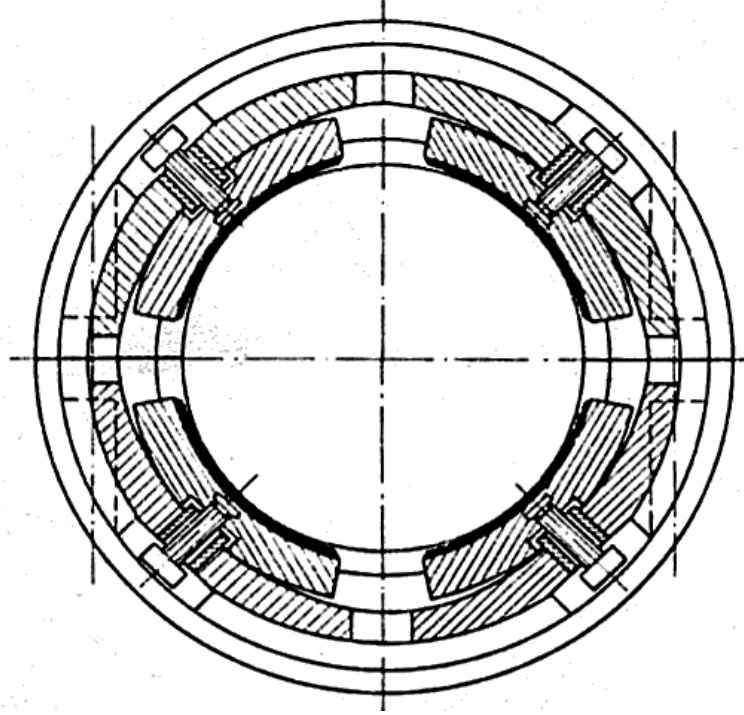
| $d_1^*$<br>D10 | $a$ | $b_1$<br>0<br>-0,2 | $b_2^{**}$ | $b_3$ | $c$ | $d_2$<br>K7/h8 | $d_3$ | $d_6$ | $d_7$ | $d_8$ | $h_1$<br>+0,2 | $h_2$<br>max | $m_1$<br>GTB16**** | $m_2$ |
|----------------|-----|--------------------|------------|-------|-----|----------------|-------|-------|-------|-------|---------------|--------------|--------------------|-------|
| 25             | 165 | 45                 | 35         | 40    | 22  | 35             | 45    | 15    | M12   | M10   | 40            | 85           | 125                | 125   |
| 30             |     |                    |            |       |     | 40             | 50    |       |       |       | 50            | 100          | 140                | 140   |
| 35             | 180 | 50                 | 40         | 45    | 25  | 45             | 55    | 19    | M16   | M12   | 60            | 120          | 160                | 160   |
| 40             |     |                    |            |       |     | 50             | 60    |       |       |       | 70            | 140          | 175                | 175   |
| 45             | 210 | 55                 | 45         | 50    | 30  | 55             | 65    | 24    | M20   | M16   | 80            | 160          | 210                | 210   |
| 50             |     |                    |            |       |     | 60             | 70    |       |       |       | 85            | 160          | 230                | 230   |
| 55             | 225 | 60                 | 50         | 55    | 35  | 65             | 75    | 28    | M24   | M20   | 90            | 160          | 230                | 230   |
| 60             |     |                    |            |       |     | 70             | 80    |       |       |       | 105           | 200          | 265                | 265   |
| (65)           | 270 | 65                 | 53         | 60    | 40  | 80             | 95    | 28    | M24   | M20   | 100           | 200          | 265                | 265   |
| 70             |     |                    |            |       |     | 85             | 100   |       |       |       | 110           | 220          | 290                | 170   |
| (75)           | 290 | 75                 | 63         | 70    | 45  | 90             | 105   |       |       |       |               |              |                    |       |
| 80             |     |                    |            |       |     | 95             | 110   |       |       |       |               |              |                    |       |
| 90             | 330 | 85                 | 73         | 80    | 50  | 105            | 120   |       |       |       |               |              |                    |       |
| 100            |     |                    |            |       |     | 115            | 130   |       |       |       |               |              |                    |       |
| 110            | 355 | 95                 | 81         | 90    | 55  | 125            | 140   |       |       |       |               |              |                    |       |



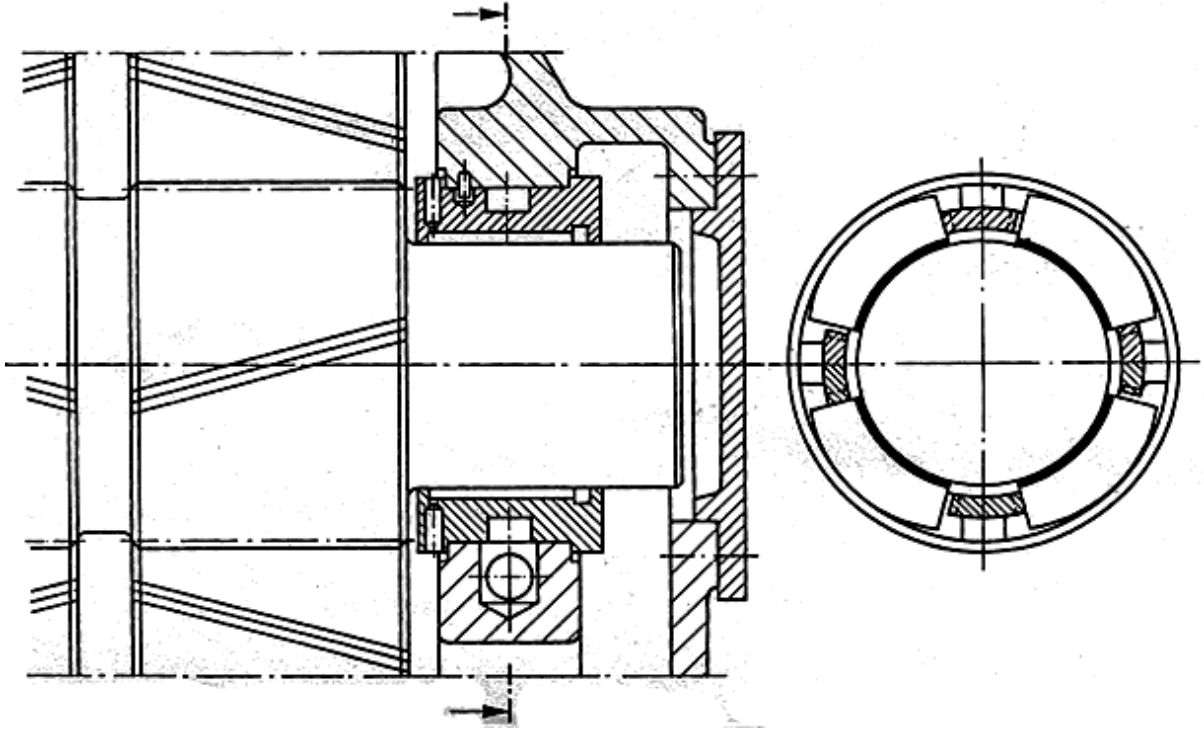
**Şekil 7** –Yüksek basınç – Yol verme düzeni ile donatılmış (Yüksek basınç yol verme düzenli) bilezikle yağlanan ağır yatak. Örneğin; Türbin ve generatör yatakları gibi. Yüksek basınçlı yağ, yüklenmiş alt yatak zarfindan verilir (1), hidrostatik yağlama. Yağlama yağ bileziği ile yapılır (2), hidrodinamik yağlama (Roloff/Matek).



**Şekil 8** –Monte edilmiş birleşik yatak (Th. Goldschmidt,4300 Essen1). (Decker)  
Birleşik yatak – Yatak alaşımı ile yatak zarfindan oluşan yataklar veya çok tabakalı yataklar.

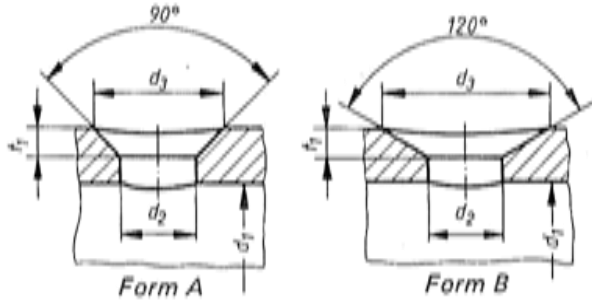


**Şekil 9** –Radyal – Oynak segmanlı – kaymalı yatak (Sartorius GmbH, 3400 Göttingen)  
(Decker)



**Şekil 10** – Radyal – Oynak segmanlı – kaymalı yataklı ağır dişli çark mekanizması  
(Glyco – Metall – Werke, Daelen Hoffman KG, 4300 Essen). (Decker).





### Yağ delikleri

Gösteriliği :  $d_2 = 4 \text{ mm}$ .

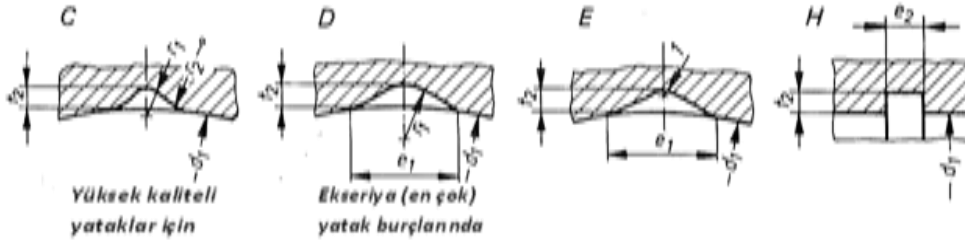
ve Form (Tip veya Şekil) B için;

Yağ deliği DIN 1591-B4

$d_1 \approx d_L$

$d_L$  - Yatak iç çapı

| $d_1$  | >14...25 | >25...36 | >36...56 | >56...70 | >70...100 | >100...160 | >160...200 | >200...250 |
|--------|----------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|
| $d_2$  | 2,5      | 3        | 4        | 5        | 6         | 8          | 10         | 12         |
| $t_1$  | 1        | 1,5      | 2        | 2,5      | 3         | 4          | 5          | 6          |
| Form A | 4,5      | 6        | 8        | 10       | 12        | 16         | 20         | 24         |
| Form B | 6        | 8,2      | 10,8     | 13,6     | 16,2      | 21,8       | 27,2       | 32,6       |



### Yağ kanalları

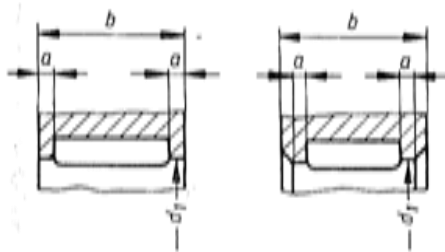
Tipler (Şekiller) C,D,E,H

Gösteriliği : Bilezik kanal,

Tip H,  $t_2 = 2 \text{ mm}$ . için;

Yağ kanalı DIN 1591-H2

| $d_1$ | $t_2$ | $e_1$ | $e_2$ | $r_1$ | $r_2$ |     |     |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|
| 14    | 25    | 0,8   | 5     | 1,8   | 1     | 2,5 | 3   |
| 25    | 36    | 1     | 8     | 2     | 1,5   | 4   | 4,5 |
| 36    | 56    | 1,2   | 10,5  | 2,5   | 2     | 6   | 6   |
| 56    | 70    | 1,6   | 14    | 3,5   | 3     | 8   | 9   |
| 70    | 100   | 2     | 19    | 4,5   | 4     | 12  | 12  |
| 100   | 160   | 2,5   | 28    | 7,5   | 5     | 20  | 15  |
| 160   | 200   | 3,2   | 38    | 11    | 7     | 28  | 21  |
| 200   | 250   | 4     | 49    | 14    | 9     | 35  | 27  |



### Yağ cepleri

| $d_1 = b$ | >14...25 | >25...36 | >36...56 | >56...70 | >70...100 | >100...160 | >160...200 | >200...250 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|
| $a$       | 2,5      | 3        | 4        | 5        | 6         | 8          | 10         | 12         |

Şekil 11 –DIN 1591’e göre; yağ delikleri, yağ kanalları ve yağ cepleri ile ilgili büyüklükler (Roloff/Matek)

### **1-) Sürtünme (Sürtme);**

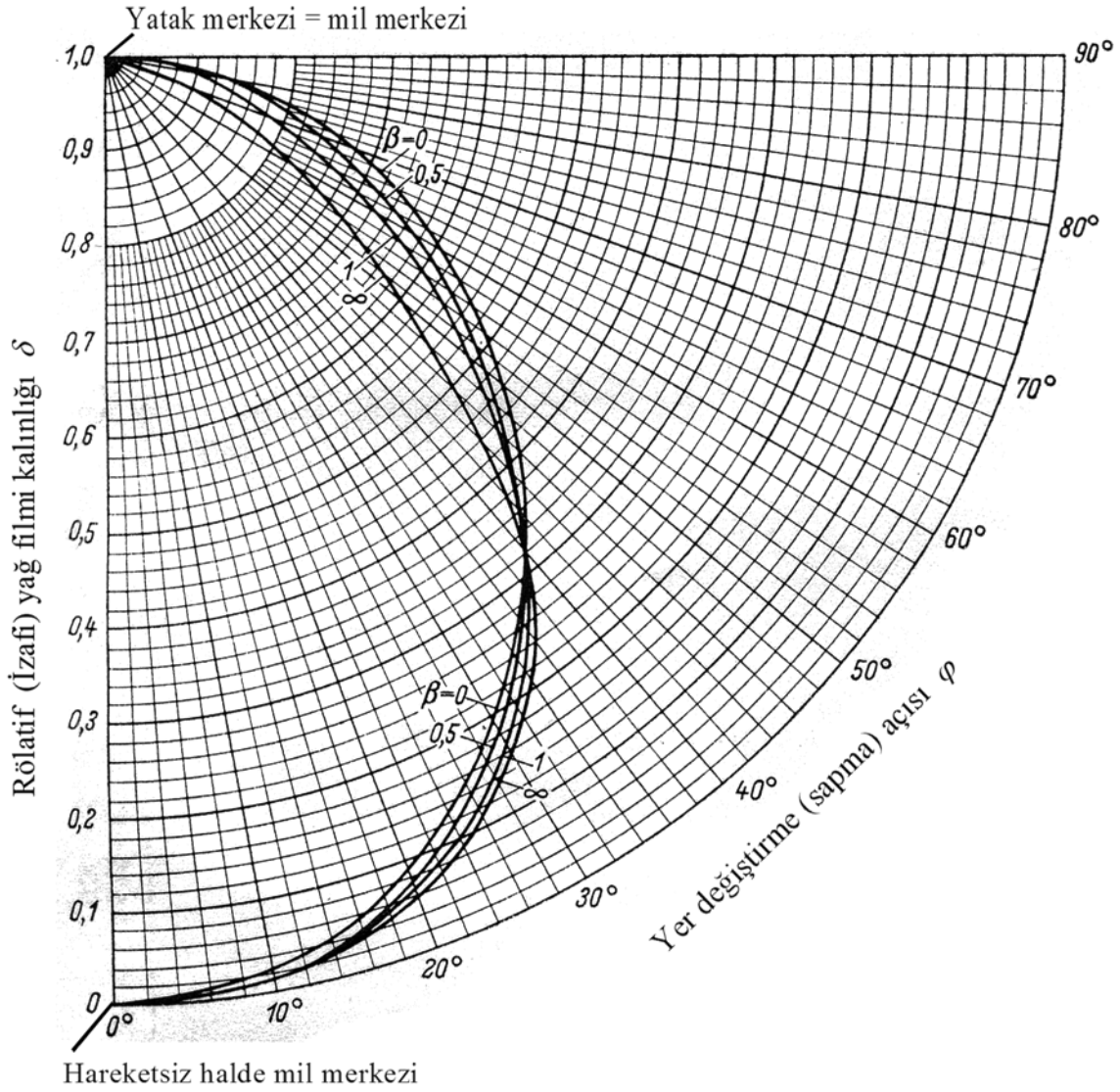
Sürtünme (sürtme), birbirine göre izafi harekette bulunan cisimlerin temas yüzeylerinin birbirine karşı gösterdikleri dirençtir şeklinde tarif edilebilir ve birbirinden tamamen farklı üç çeşit sürtünme vardır :

- Kuru sürtünme,
- Sıvı sürtünme (Yüzme sürtünmesi),
- Yarı sıvı sürtünme (karma, karışık veya sınır sürtünmesi)

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 yüzeyel temasında bulunduğu geniş bir bölge vardır ki bu bölgeye de “yarı sürtünme” bölgesi denir.

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

Radyal yataklarda sıvı sürtünmesinin oluşması için mil ile yatak birbirine hareketli (oynak) geçme ile geçmelidir. Sükûnet halinde yüzeyler doğrudan doğruya temasta olduğundan hareketin başlangıcında çok kısa bir süre için yüzeyler arasında kuru sürtünme oluşur ve mil, yatak içerisinde hareket yönünün ters tarafına doğru tırmanır. Hareket nedeniyle yağ, yüzeyler arasında yayıldığında sınır sürtünmesi oluşur ve sürtünme katsayısı azalmaya başlar. Belirli bir değerden sonra sıvı sürtünmesi bölgesine girilir. Sıvı sürtünmesi şartlarının sağlanmasıyla mil, yatak içerisinde hareket yönüne doğru kayar ve eksantrik bir durum alır. Böylece yağ içinde oluşan basınç, yüzeyleri birbirinden tamamen ayrılmış ve sıvı sürtünmesi halini yaratmıştır. Sıvı sürtünme bölgesinde mil merkezi ile yatak merkezi arasındaki eksantriklik, devir sayısına (parametrelerden biri) bağlı olduğundan hız arttıkça eksantriklik değişmektedir. Böylece sıvı sürtünmesinde mil merkezinin hareketi söz konusu olur (Şekil 12).



**Şekil 12** –Çeşitli devir sayılarında mil merkezinin yörünge eğrisi veya konumu (A.Cameron'a göre),  $180^\circ$  yatak için.

$F$  ve  $\Psi = \text{Sabit}$  . $\beta = 1$  olan yatakta :  $\delta < 0,5$  için  $S_0 > 1$  ve  $\delta > 0,5$  için  $S_0 < 1$  dir.

$F$  – Yatak kuvveti,

$\Psi$  – Rölatif (izafi) yatak boşluğu,

$\beta$  – Boyut oranı

$\delta$  –  $2 \cdot h_0 / s$  (Şekil 13)

Yarı sıvı sürtmesini önlemek için, muylu ve yatak zarfındaki kayma yüzeyleri son derece kaliteli olmalıdır. Bu amaca erişmek üzere konstrüktörün elindeki imkanlardan bazıları :

- Muyluyu sertleştirip taşlamak,
- Üst yüzeyi ezmek (sıvamak),



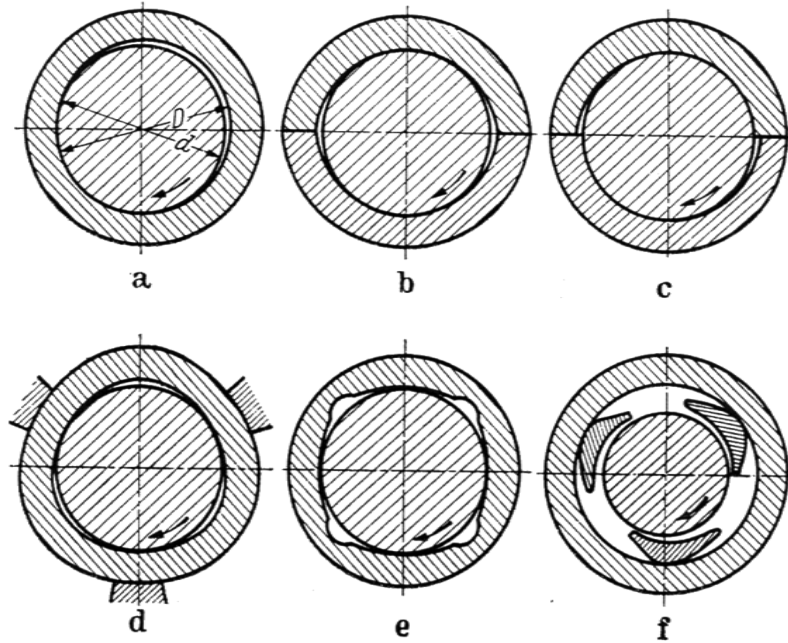
taşıyabilecek bir kuvvet olduğundan miller daha iyi bir şekilde merkezlenir. Kararlılık sağlayan bu etkisinden dolayı böyle yataklarda milin hareketi sakindir.

### 3-) Sürtünme katsayısı (sayısı) $\mu$ ;

Radyal yataklarda sürtünme katsayısı  $\mu$ , Şekil 15 te görüldüğü gibi, devir sayısı arttıkça çok çabuk azalarak en büyük değerinden (Hareketsiz haldeki sürtünme değeri) minimum  $\mu_0$  değerine ulaşır ve sonra tekrar yükselmeye başlar.

En küçük (minimum) değer solunda –karışık sürtünme bölgesinde- yağ basıncı F yükünü yalnız başına taşımaya yetmez. Burada sürtünme değeri ve aşınma, yağın özel özelliklerine (akışına, katılığına) ve sürtünme yüzeyinin durumuna göre değişir.

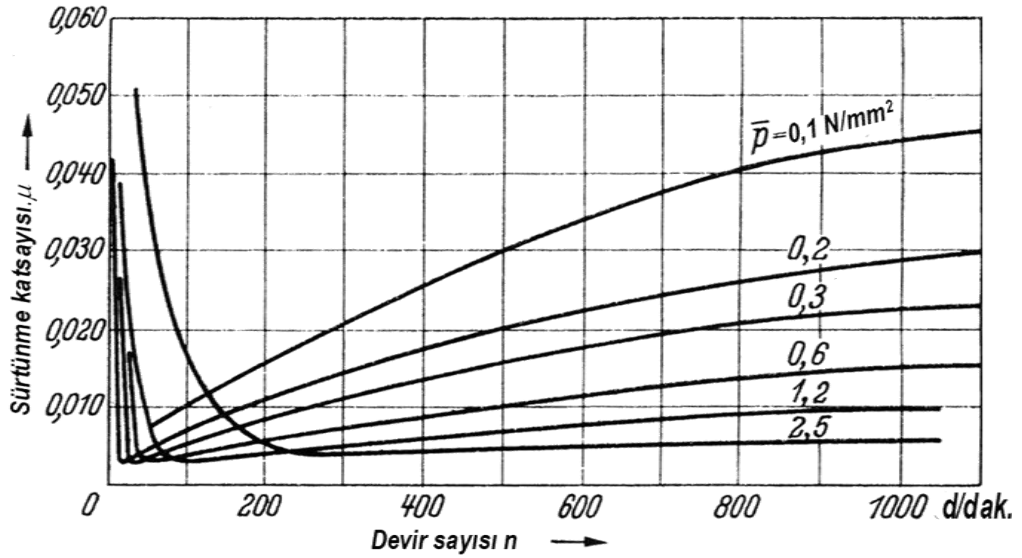
En küçük (minimum) değer sağında – sıvı sürtünme bölgesinde (yüzme sürtünmesi de denir) – kayma yüzeyleri arasında bir yağ tabakası vardır. Yükü yağ tabakası taşıdığından bir metal aşınması olmaz (arzu edilen durum).



**Şekil 14** –Radyal yataklarda, yağ kaması oluşumu ve milin yataklanması için, çeşitli konstrüksiyon örnekleri.

- Normal dairesel yatak, yağ kaması D-d yatak boşluğuna bağlı olarak oluşur.
- “Limon boşluklu” yataklar. Yağın, yatağın ek yerlerinde sıkışmasını önler, mile iki taraflı yataklık eder (iki kamalı yatak), daha küçük bir yatak boşluğuna imkan verir (Yataklar ek yerlerinin arasına bir parça konarak genişletilir veya daha büyük çaplı bir burçtan kesilirler).
- Klemencic'e göre; “Zikzak” Limon boşluklu yatak (Merkezden kaçık -eksantrik- olarak delinip bir parçası ters çevrilmiş yatak)
- Üç temas yüzeyli yatak (Aslında dairesel olan burcun presle üç destek arasına oturtulmasıyla elde edilmiştir, Mackensen'den)

- e) Dört temas yüzeyli yatak  
f) Radyal oynak segmanlı yatak.



**Şekil 15** –70 mm. mil çapında bilezikle yağlamalı bir yatak için, çeşitli yüzey basıncı  $\bar{p}$  değerlerine karşılık gelen sürtünme katsayısı/ devir sayısı eğrileri (Stribeck'e göre)

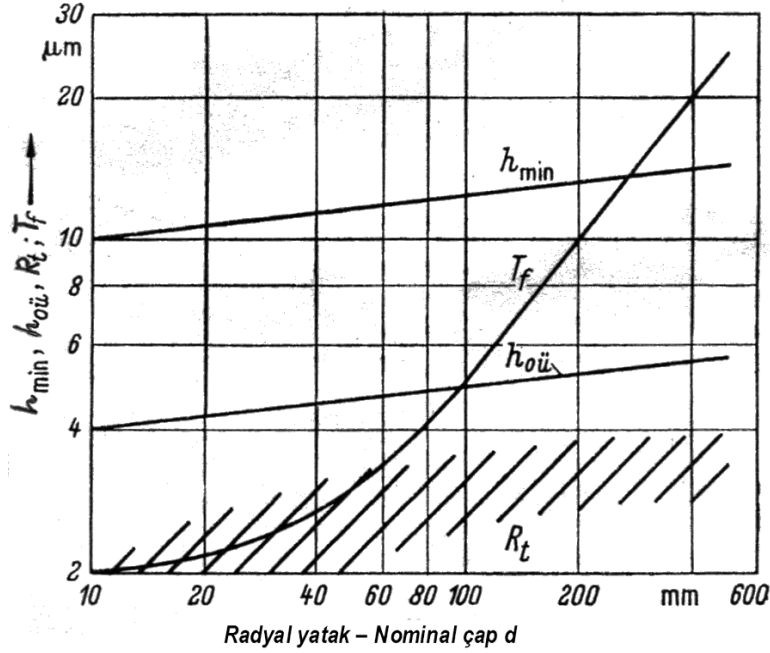
Buna karşılık, en küçük değer  $\mu_0$ , metal sürtünmesi olmadan erişilebilen en ince yağ tabakası ile orantılıdır, yani kayma yüzeylerinin işlenmesine bağlıdır.

Ayrıca sürtünme katsayısı  $\mu$ , sürtünme momenti  $M_R$ 'e bağlı olarak aşağıdaki denklemden de elde edilebilir.

$$\mu = \frac{M_R}{F \cdot d/2} \quad \left| \frac{M_R}{N \cdot m} \right| \left| \frac{F}{N} \right| \left| \frac{d}{m} \right| \quad (1)$$

Şimdi bazı tarifler yapalım;

- $n_{ii}$  – Geçiş devir sayısı (Sıvı sürtünmeye geçiş devir sayısı)
- $h_{\min}$  – Müsaade edilen (emniyetli) minimum yağ filmi kalınlığı (Şekil 16)
- $h_{0ii}$  – En küçük (minimum) yağ filmi kalınlığı (Geçiş devir sayısında; sıvı sürtünmenin oluşacağı devir sayısında veya sıvı sürtünmeye geçiş dönme hızında. Şekil 16).
- $u_{ii}$  – Geçiş çevre hızı (Sıvı sürtünmeye geçiş devir sayısı  $n_{ii}$  ye karşılık gelen çevre hızı)
- $h_0$  – En küçük (minimum) yağ filmi kalınlığı ( İşletme devir sayısında).
- $n_{\min}$  – En küçük (minimum) devir sayısı (Müsaade edilen minimum yağ filmi kalınlığı  $h_{\min}$  değerinin oluşacağı minimum devir sayısı sınırı veya  $h_{\min}$  değerinin oluşacağı devir sayısı).



**Şekil 16** –Müsaade edilen yağ filmi kalınlığı  $h_{min}$ , maksimum pürüz derinliği (pürüzlülük)  $R_{max}$  ( $R_t$ ) ve form (Şekil veya biçim) toleransı  $T_f$  için kabul edilebilir (tavsiye edilen, önerilen) değerler. DIN7182 (VDI2204'e göre).

Bu tariflerden sonra, hidrodinamik yağlamamanın var olduğu yataklarda;

$$h_{min} > h_{0ü} \quad (2)$$

ve

$$h_{0ü} > R_t \quad (3)$$

şeklinde olmalıdır (Şekil 16).  $R_{max}$  (veya  $R_t$ ) ile ilgili bilgiler için Cetvel 4'e bakınız.

Niemann,  $\bar{p} \cdot u_{ü}$  faktörünün kontrolünü de yapmıştır. Şöyle ki ;

$$\bar{p} \cdot u_{ü} - \text{Özgül yatak gücü}$$

Boyut analizi yapalım,

$$\bar{p} \cdot u_{ü} \rightarrow \frac{N}{m^2} \cdot \frac{m}{sn} = \left( \frac{N \cdot m}{s} \right) / m^2$$

yani  $\bar{p} \cdot u_{ü}$  faktörü, yatağın birim alanına düşen gücünü ifade eder.

Beyaz metal yataklarda,

$$\bar{p} \cdot u_{ü} > 12 \cdot 10^5 \text{ N} / \text{m} \cdot \text{s} \quad (4)$$

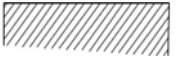

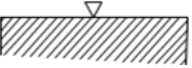
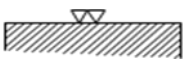
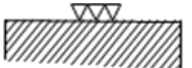
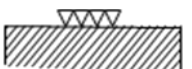
OLMAMALIDIR.

Olduğu takdirde :

- Karışık sürtünme bölgesine dönülebilir,

- Dolayısıyla yatakta bir frenleme olabilir,
- Yatak ısınabilir. Bu taktirde ilave soğutmaya (yağ pompası ile yapılan basınçlı yağlama, örneğin ; devridaim yağlama gibi) gereksinim duyulabilir.

**Cetvel 4** – Yüzey işleme işaretleri; dolayısıyla yüzey kalitesine karşılık gelen, maksimum pürüz derinliği (yüzey pürüzlülüğü)  $R_{max}$  ve imalat (işleme) yöntemleri.

| Yüzey işleme işaretleri   | Müsaade edilen maksimum pürüz derinliği $R_{max}$ ( $\mu m$ olarak) |       |       |       | Açıklama  |
|---|---|-------|-------|-------|---|
|   | Seri1   | Seri2 | Seri3 | Seri4 |   |
|    | -   | -     | -     | -     | Herhangi bir talaş kaldırma işlemine bağlı olmadan şekil verilmiş parçalarda yüzey düzgünlüğü ve pürüzlülüğü bakımından bir şart söz konusu olmadığı zaman sembole ihtiyaç yoktur. Örneğin; dökme, dövme, haddeleme, ve presleme yolu ile elde edilmiş imalatlar bu sınıfa girer. |
|  | $R_{max} \leq 250$  |       |       |       | Talaş kaldırma işlemine bağlı olmayan fakat itinalı şekilde hazırlanan yüzeyler yandaki sembolle belirtilir. Örnek olarak yukarıdaki işlemler temiz ve itinalı yapılırsa bu sınıfa giren yüzey kalitesi elde edilir.  |
|  | 160   | 100   | 63    | 25    | Kaba talaş kaldırma yolu ile elde edilen yüzeyler, tek üçgenle belirtilen bu kalitededir. Talaş alma sonucu meydana gelen yüzey üzerindeki çizgiler gözle görülebilir ve parmak ucu ile de hissedilebilir   |
|  | 40  | 25    | 16    | 10    | İtinalı bir şekilde orta incelikte ve ince talaş kaldırma yolu ile elde edilen yüzeyler iki üçgenle gösterilir. Çizgiler gözle ancak görülebilir durumdadır.  |
|  | 16  | 6,3   | 4     | 2,5   | İnce talaş kaldırma ve itinalı taşlama yolu ile elde edilen yüzeyler üç üçgenle gösterilir. Yüzeydeki çizgiler gözle de görülmez.   |
|  | -   | 1     | 1     | 0,4   | Çok hassas işleme yoluyla elde edilen yüksek kaliteli yüzeyler dört üçgenle belirtilir. Örnek olarak lepleme yoluyla elde edilen yüzeyler bu kalitede elde edilir.  |



#### 4-) Rölatif (izafi) yatak boşluğu $\Psi$ ;

İzafi yatak boşluğu  $\Psi$ , aşağıdaki formülle tarif edilebilir.;

$$\Psi = \frac{d_2 - d_1}{d_1} = \frac{s}{d} \quad (5)$$

Burada,

$d_2$  – Yatak iç çapı,

$d_1$  – Mil çapı,

$s$  – Yatak boşluğu veya radyal yatak boşluğu (işletme yatak boşluğu)

$d$  – Radyal yatak - Nominal çapı ( $=d_1$ )

İzafi yatak boşluğu  $\Psi$ ,

- Küçük olursa :  
Yatağın ısınması artar dolayısıyla aşırı sürtünme kaybı meydana gelir,
- Büyük olursa :  
Yağ ile soğutmada yatağın ısınması az fakat taşıma yükünün aynı kalabilmesi için viskozitesi daha yüksek bir yağ ihtiyacı ortaya çıkar.

$\Psi$  için kabul edilebilir (tavsiye edilen, önerilen veya uygun) değerler Cetvel 5 te verilmiştir. Bu değerler, yaklaşık olarak,

$$\Psi = 0,5...3 \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

arasında olup ekseriya (en çok),

$$\Psi = 1 \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

alınır veya, Vogel'pohl'a göre;

$$\Psi = 0,8 \cdot \sqrt[4]{u} \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

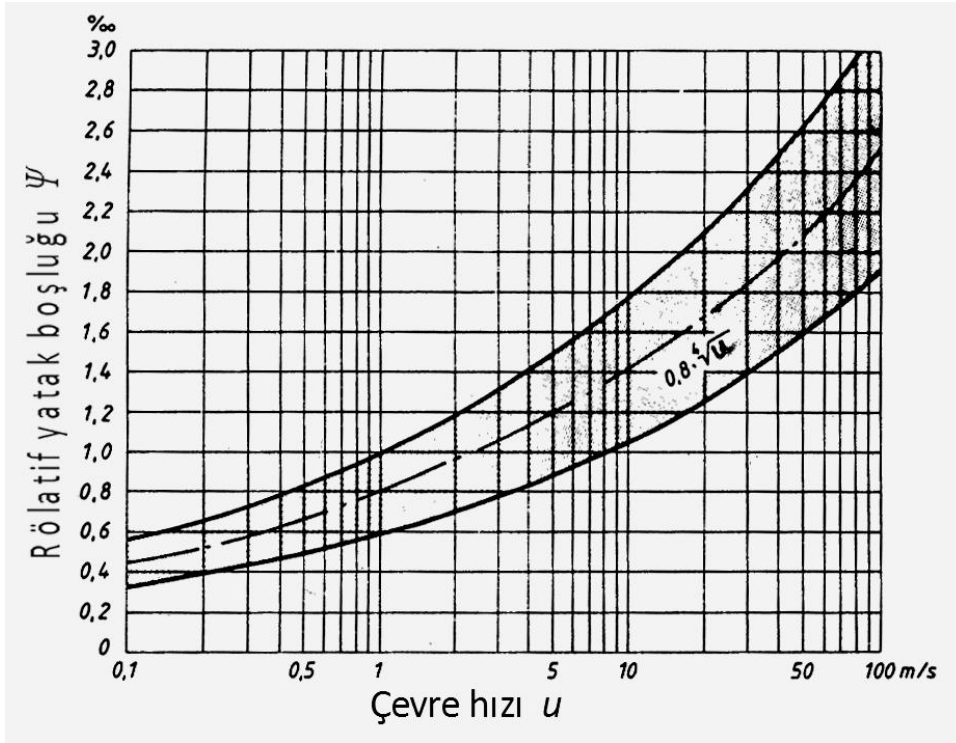
bağıntısından hesaplanabilir.

$$u \text{ – Milin çevre hızı } m/sn .$$

Bu eşitlik değerlerinden  $\pm \%25$  civarında sapılabilir. Kullanım kolaylığı bakımından  $\Psi$  nin mil çevre hızı  $u$  ya göre değişimi Şekil 17, yatak – mil toleranslarına göre değerleri Cetvel 6 ve Şekil 18, yatak malzemesine bağlı olarak kullanım alanları ise Cetvel 7 de verilmiştir.

**Cetvel 5** – Makina konstrüksiyonunda<sup>2,3</sup> kullanılan madensel yataklar için, kabul edilebilir (uygun, tavsiye edilen veya önerilen) rölatif (izafi) yatak boşluğu  $\Psi \cdot 103$ , değerleri

| $\bar{p} [N/cm^2]$ | $u \text{ m/sn}$ |         |         |
|--------------------|------------------|---------|---------|
|                    | <20              | 20-100  | >100    |
| <200               | 0,3-0,6          | 0,6-1,2 | 1,2-2,0 |
| 200-1000           | 0,6-1,2          | 1,2-2,0 | 2,0-3,0 |
| >1000              | 1,2-2,0          | 2,0-3,0 | 3,0-4,5 |



<sup>2</sup>) Takım tezgahları yatakları için, hassas yataklanmış milde  $\Psi = 0,05 \dots 0,25$  ve  $R_t \leq 1 \mu m$ .

<sup>3</sup>) Pres malzemeli yataklar için, eğer genleşme (şişme) tehlikesi var ise;  $\Psi \cong 5$ . Ayrıca, zorunlu olmadıkça aşağıdaki en küçük değerlerin altına düşmemeli :

- Suni malzemeli yataklar;  $\Psi_{min.} \cong 3$ ,
- Kır dökme yataklar;  $\Psi_{min.} \cong 1$ ,
- Sinter metal yataklar;  $\Psi_{min.} \cong 1,5$ ,
- Hafif metal yataklar;  $\Psi_{min.} \cong 1,3$ ,
- Ultramid-B;  $\Psi_{min.} \cong 7,5$ ,
- Kurşun bronz yataklar;  $\Psi_{min.} \cong 1$ ,

Şekil 17 –Mil çevre hızı u nun fonksiyonu olarak, izafi yatak boşluğu  $\Psi$ . (Roloff/Matek)

Cetvel 6 –Çeşitli,hareketli geçme durumları için;ortalama izafi yatak boşluğu  $\Psi$  ve ortalama işletme yatak boşluğu  $s \mu m$ .

Değerler yaklaşık olarak H7 ile f7,e7,d7,c7,b7 ve a7 veya d8,c8,b8 ve a8 eşlendirilmelerinde de kullanılabilir. (Karl-Heinz DECKER)

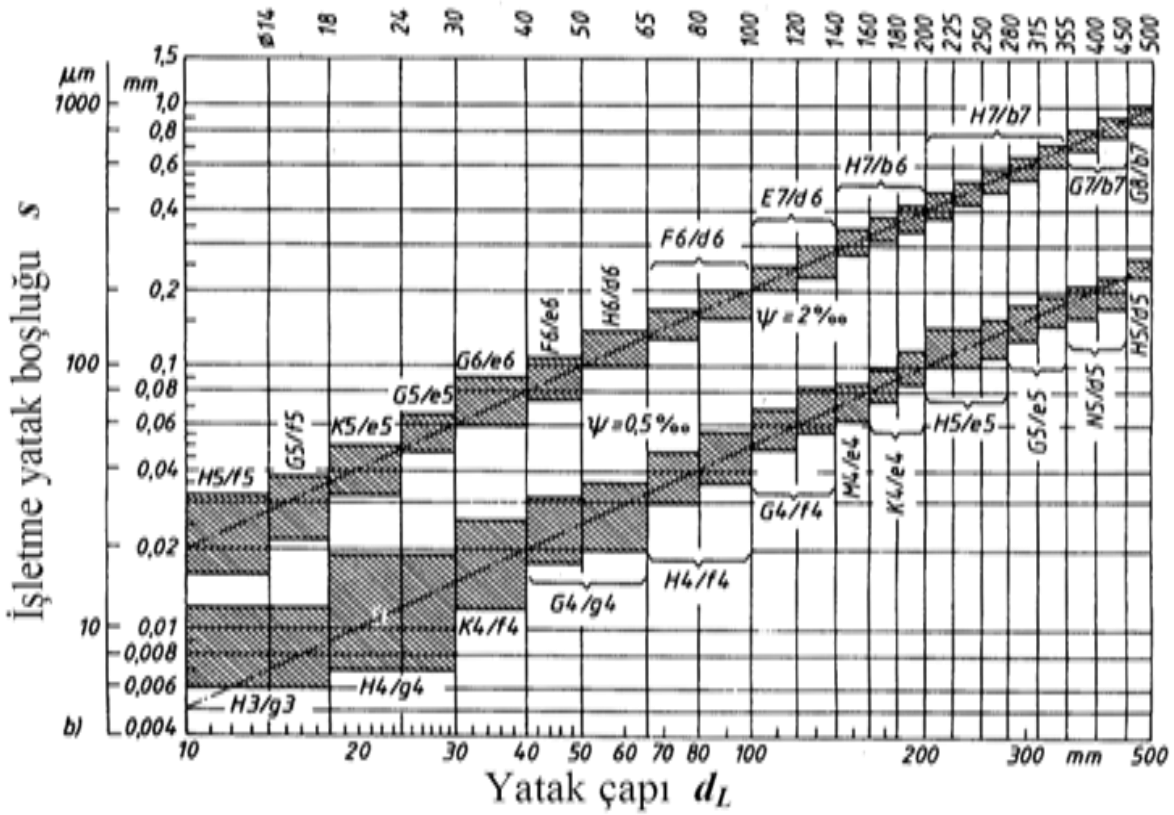
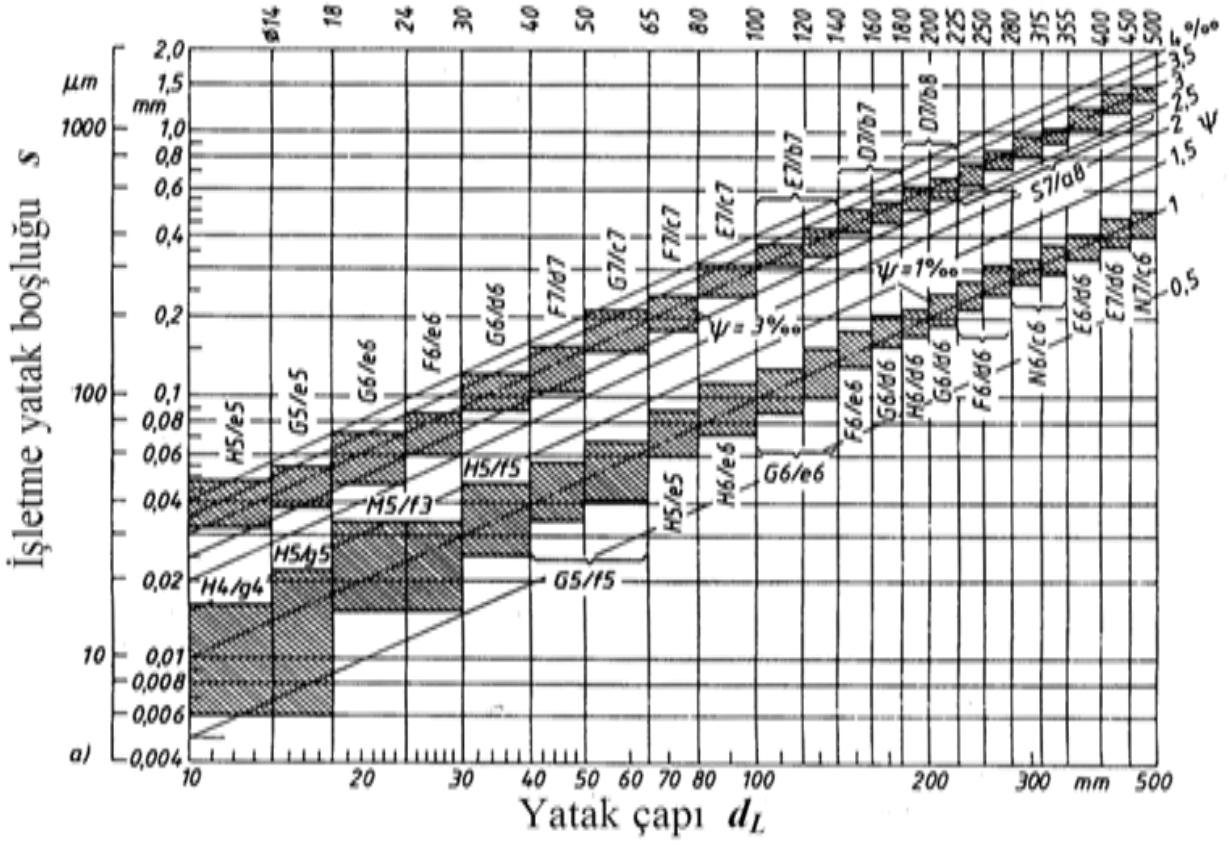
| d<br>mm | Delik H7 ile Mil  |          |                   |          |                   |          |                   |          |                   |          |                   |          |                   |          |
|---------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|
|         | g6                |          | f6                |          | e6                |          | d6                |          | c6                |          | b6                |          | a6                |          |
|         | $\psi \cdot 10^3$ | $S\mu m$ | $\psi \cdot 10^3$ | $S\mu m$ | $\psi \cdot 10^3$ | $S\mu m$ | $\psi \cdot 10^3$ | $S\mu m$ | $\psi \cdot 10^3$ | $S\mu m$ | $\psi \cdot 10^3$ | $S\mu m$ | $\psi \cdot 10^3$ | $S\mu m$ |
| 10      | 1,7               | 17       | 2,5               | 25       | 3,7               | 37       | 5,2               | 52       | 9,2               | 92       | 16,2              | 162      | 29,2              | 292      |
| 15      | 1,33              | 20       | 2,0               | 30       | 3,13              | 47       | 4,33              | 65       | 7,33              | 110      | 11,0              | 165      | 20,3              | 304      |
| 20      | 1,2               | 24       | 1,85              | 37       | 2,85              | 57       | 4,1               | 82       | 6,35              | 127      | 8,85              | 177      | 15,9              | 317      |
| 25      | 0,96              | 24       | 1,48              | 37       | 2,28              | 57       | 3,28              | 82       | 5,08              | 127      | 7,08              | 177      | 12,7              | 317      |
| 30      | 0,8               | 24       | 1,23              | 37       | 1,9               | 57       | 2,73              | 82       | 4,23              | 127      | 5,9               | 177      | 10,6              | 317      |
| 35      | 0,86              | 30       | 1,31              | 46       | 2,0               | 70       | 2,86              | 100      | 4,0               | 140      | 5,43              | 190      | 9,43              | 330      |
| 40      | 0,75              | 30       | 1,15              | 46       | 1,75              | 70       | 2,5               | 100      | 3,5               | 140      | 4,75              | 190      | 8,25              | 330      |
| 45      | 0,67              | 30       | 1,02              | 46       | 1,55              | 70       | 2,22              | 100      | 3,33              | 150      | 4,44              | 200      | 7,56              | 340      |
| 50      | 0,6               | 30       | 0,92              | 46       | 1,4               | 70       | 2,0               | 100      | 3,0               | 150      | 4,0               | 200      | 6,8               | 340      |
| 60      | 0,58              | 35       | 0,92              | 55       | 1,42              | 85       | 2,08              | 125      | 2,75              | 165      | 3,58              | 215      | 6,07              | 364      |
| 70      | 0,5               | 35       | 0,79              | 55       | 1,21              | 85       | 1,79              | 125      | 2,5               | 175      | 3,21              | 225      | 5,49              | 384      |
| 80      | 0,44              | 35       | 0,69              | 55       | 1,06              | 85       | 1,56              | 125      | 2,19              | 175      | 2,81              | 225      | 4,8               | 384      |
| 90      | 0,44              | 40       | 0,72              | 65       | 1,11              | 100      | 1,66              | 149      | 2,21              | 199      | 2,76              | 248      | 4,53              | 408      |
| 100     | 0,4               | 40       | 0,65              | 65       | 1,0               | 100      | 1,49              | 149      | 1,99              | 199      | 2,48              | 248      | 4,08              | 408      |
| 110     | 0,36              | 40       | 0,59              | 65       | 0,91              | 100      | 1,35              | 149      | 1,89              | 208      | 2,44              | 268      | 3,98              | 438      |
| 120     | 0,33              | 40       | 0,54              | 65       | 0,83              | 100      | 1,24              | 149      | 1,73              | 208      | 2,23              | 268      | 3,65              | 438      |
| 130     | 0,36              | 47       | 0,58              | 76       | 0,91              | 118      | 1,37              | 178      | 1,78              | 232      | 2,25              | 292      | 3,78              | 492      |
| 140     | 0,34              | 47       | 0,54              | 76       | 0,84              | 118      | 1,27              | 178      | 1,66              | 232      | 2,09              | 292      | 3,51              | 492      |
| 150     | 0,31              | 47       | 0,51              | 76       | 0,79              | 118      | 1,19              | 178      | 1,61              | 242      | 2,08              | 312      | 3,68              | 552      |
| 160     | 0,29              | 47       | 0,47              | 76       | 0,74              | 118      | 1,11              | 178      | 1,51              | 242      | 1,95              | 312      | 3,45              | 552      |
| 170     | 0,28              | 47       | 0,45              | 76       | 0,69              | 118      | 1,05              | 178      | 1,54              | 262      | 2,01              | 342      | 3,6               | 612      |
| 180     | 0,26              | 47       | 0,42              | 76       | 0,66              | 118      | 0,99              | 178      | 1,46              | 262      | 1,9               | 342      | 3,4               | 612      |
| 190     | 0,28              | 53       | 0,46              | 88       | 0,73              | 138      | 1,09              | 208      | 1,46              | 278      | 1,98              | 377      | 3,67              | 698      |
| 200     | 0,26              | 53       | 0,44              | 88       | 0,69              | 138      | 1,04              | 208      | 1,39              | 278      | 1,89              | 377      | 3,49              | 698      |
| 210     | 0,25              | 53       | 0,42              | 88       | 0,66              | 138      | 0,99              | 208      | 1,42              | 298      | 1,99              | 418      | 3,7               | 778      |
| 220     | 0,24              | 53       | 0,4               | 88       | 0,63              | 138      | 0,95              | 208      | 1,35              | 298      | 1,9               | 418      | 3,53              | 778      |
| 230     | 0,23              | 53       | 0,38              | 88       | 0,6               | 138      | 0,9               | 208      | 1,38              | 318      | 1,99              | 458      | 3,73              | 858      |
| 240     | 0,22              | 53       | 0,37              | 88       | 0,57              | 138      | 0,87              | 208      | 1,32              | 318      | 1,91              | 458      | 3,57              | 858      |
| 250     | 0,21              | 53       | 0,35              | 88       | 0,55              | 138      | 0,93              | 232      | 1,27              | 318      | 1,83              | 458      | 3,43              | 858      |
| 260     | 0,23              | 59       | 0,38              | 98       | 0,58              | 152      | 0,89              | 232      | 1,32              | 342      | 2,0               | 522      | 3,7               | 962      |
| 270     | 0,22              | 59       | 0,36              | 98       | 0,56              | 152      | 0,86              | 232      | 1,27              | 342      | 1,93              | 522      | 3,56              | 962      |
| 280     | 0,21              | 59       | 0,35              | 98       | 0,54              | 152      | 0,83              | 232      | 1,22              | 342      | 1,86              | 522      | 3,44              | 962      |
| 290     | 0,2               | 59       | 0,34              | 98       | 0,52              | 152      | 0,8               | 232      | 1,28              | 372      | 2,0               | 582      | 3,77              | 1092     |
| 300     | 0,2               | 59       | 0,33              | 98       | 0,51              | 152      | 0,77              | 232      | 1,24              | 372      | 1,94              | 582      | 3,64              | 1092     |
| 320     | 0,2               | 65       | 0,34              | 109      | 0,54              | 172      | 0,8               | 257      | 1,27              | 407      | 2,02              | 647      | 3,89              | 1246     |
| 340     | 0,19              | 65       | 0,32              | 109      | 0,51              | 172      | 0,76              | 257      | 1,2               | 407      | 1,9               | 647      | 3,66              | 1246     |
| 360     | 0,18              | 65       | 0,3               | 109      | 0,48              | 172      | 0,71              | 257      | 1,24              | 447      | 2,02              | 727      | 3,88              | 1396     |
| 400     | 0,16              | 65       | 0,27              | 109      | 0,43              | 172      | 0,64              | 257      | 1,12              | 447      | 1,82              | 727      | 3,49              | 1396     |
| 450     | 0,16              | 72       | 0,27              | 120      | 0,42              | 187      | 0,63              | 282      | 1,09              | 492      | 1,8               | 811      | 3,45              | 1551     |
| 500     | 0,14              | 72       | 0,24              | 120      | 0,37              | 187      | 0,56              | 282      | 0,98              | 492      | 1,78              | 891      | 3,1               | 1551     |

Ayrıca  $\Psi$ , VDI2204'e göre şekil 19 dan da seçilir.

Şekil 19 incelendiğinde;

- Aşırı yükler ve küçük kayma hızlarında küçük  $\Psi$ ,
- Küçük yükler ve büyük kayma hızlarında büyük  $\Psi$ ,

değerlerinin elde edileceği görülür.



Şekil 18 –Yatak çapı  $d_L$  ye bağlı olarak; ISO-Geçmelerinin tolerans bölgeleri ve izafi yatak boşluğu  $\Psi$  değerleri (VDI2201' e göre).(Roloff/Matek)

**Cetvel 7 –Yatak malzemesi ve kullanım alanlarına göre  $\Psi$  değerleri**  
(Mustafa AKKURT – Mustafa SAVCI)

| Yatak Malzemesi           | $\psi \cdot 10^3$ | Kullanıldığı yerler   |
|---------------------------|-------------------|---|
| Beyaz metal               | 0,5...1,2         | Çok önemli ve önemli yataklar<br>(Motor,Türbin,v.s) $u \geq 3m/sn.$ |
| Bronz ve bronz alaşımları | 1...2             | Normal işletme şartlarındaki yataklar<br>$u \leq 4m/sn.$            |
| Sinter malzeme            | 2...2,5           | Özel yataklar $u \leq 1m/sn.$                                       |
| Grafitli dökme demir      | 2,5...3,5         | Elle döndürülen mil yatakları $u \leq 1m/sn.$                       |
| Plastik malzemeler        | 4,5               | Önemsiz yataklar $u \leq 2$<br>$m/sn.$                              |

### **III – Radyal yatakların hesabı**

#### **1 ) Sommerfeld sayısı $S_0$ ;**

Sommerfeld sayısı veya kuvvet faktörü  $S_0$ ;

$$S_0 = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot 2 \cdot \pi \cdot n} \quad \frac{\bar{p}}{N/m^2} \left| \frac{\eta}{N \cdot s/m^2} \right| \left| \frac{\omega}{1/s} \right| \left| \frac{n}{d/s} \right| \quad (9)$$

bağıntısı ile tariflenir.

$\bar{p}$  Ortalama yüzey basıncı (Yatağın ortalama basıncı, nominal yüzey basıncı)

$$\bar{p} = \frac{F}{b \cdot d} \quad \frac{\bar{p}}{N/m^2} \left| \frac{F}{N} \right| \left| \frac{b}{m} \right| \left| \frac{d}{m} \right| \quad (10)$$

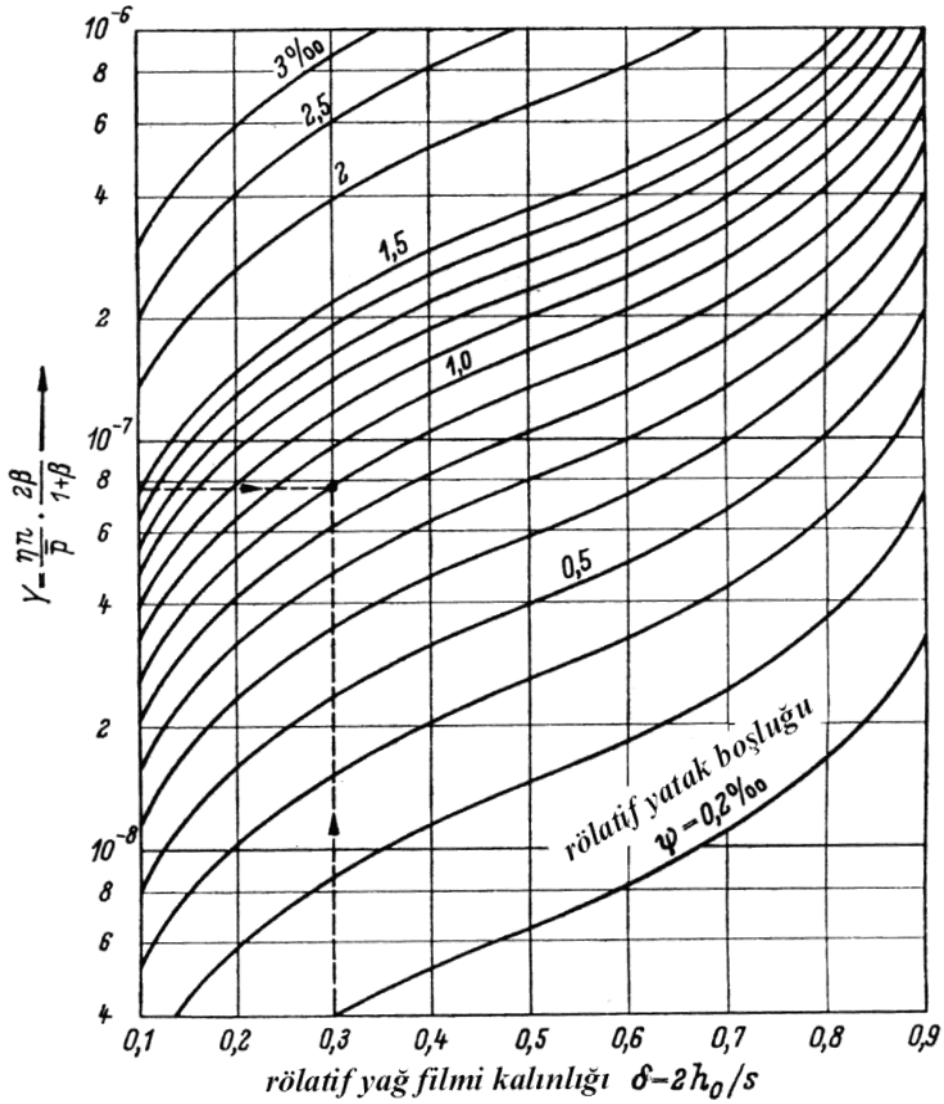
$b$  - Yatak genişliği ( Taşıyıcı yatak genişliği,yatak burcu genişliği)

$d$  - Radyal yatak – Nominal çapı ( $=d_1$  ;  $d_1$  – Mil çapı)

$\eta$  - Dinamik viskozite (İşletme sıcaklığında) veya dinamik işletme viskozitesi

$\omega$  - Açısal hız

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad \frac{\omega}{1/s} \left| \frac{n}{dev/s} \right| \quad (11)$$



**Şekil 19** –Rölatif yağ filmi kalınlığı ve işletme büyüklüklerine bağlı olarak, rölatif yatak boşluğu  $\Psi$  değerleri.  $\beta=1$  olması halinde,  $\delta < 0,5$  için  $S_0 > 1$  dir.

Sommerfeld sayısı boyutsuz bir değer olarak, yatağın tüm sürtünme (sürtme) hallerini karakterize eder.

- Vogelpohl'a göre;

$S_0 > 1$  : Ağır yüklü yataklar

$S_0 < 1$  : Yüksek hızlı yataklar

- Karl – Heinz Decker'e göre;

Yataklar Sommerfeld sayıları ile değerlendirilir:

$S_0 \leq 1$  : Yüksek hızlı yataklar (Hafif zorlanan, hafif yüklü)

$S_0 > 1 \dots 3$  : Orta yüklü yataklar (Normal zorlanan, normal yüklü)

$S_0 > 3$  : Ağır zorlanan yataklar (Ağır zorlanan)

## 2 ) Sıvı sürtünmesi (Hidrodinamik sıvı sürtünmesi) için sıvı sürtünme katsayısı $\mu$ ;

Hidrodinamik yağlama bölgesinde çalışan :

- Ağır yüklü yataklar için sürtünme katsayısı  $\mu$ , Gümbel ve Falz'ın araştırmalarına göre  $\Psi$  ye bağlı olarak;

$$S_0 > 1 \text{ için } : \quad \mu = \frac{k \cdot \psi}{\sqrt{S_0}} \cong \frac{3 \cdot \psi}{\sqrt{S_0}} \quad (12)$$

- Yüksek hızlı yataklar için  $\mu$ , Petroff'a göre;

$$S_0 < 1 \text{ için } : \quad \mu = \frac{k \cdot \psi}{S_0} \cong \frac{3 \cdot \psi}{S_0} \quad (13)$$

$k$  – Sürtünme katsayısı için faktör

Vogelpohl ;  $k$  faktörünün ortalama değerini, kapalı yataklar için,

$$k = 3 \quad (14)$$

olarak önerilmiştir.

## 3 ) Sürtünme gücü $P_R$ ;

Kayma yüzeyleri arasında sürtünmeden dolayı oluşan sürtünme işi, ısıya dönüşmekte ve çevreye iletilmektedir.

Sürtünmeden dolayı meydana gelen güç kaybı (sürtünme kayıp gücü) veya sürtünme gücü (sürtünme ile üretilen ısı),

$$P_R = F \cdot \mu \cdot u \quad \frac{P_R}{Nm/s} \left| \frac{F}{N} \right| \frac{u}{m/s} \quad (15)$$

(W)

bağıntısından bulunur.

$F$  – Yatak kuvveti veya yatak yükü

$u$  – Milin çevre hız

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \quad \frac{u}{m/s} \left| \frac{d}{m} \right| \frac{n}{d/dak.} \quad (16)$$

$$u = \pi \cdot d \cdot n \quad \frac{u}{m/s} \left| \frac{d}{m} \right| \frac{n}{d/s.} \quad (17)$$

Bilinen değerler (15) denkleminde yerine konulursa;

- $S_0 > 1$  için:

$$P_R = F \cdot \mu \cdot u = \bar{p} \cdot b \cdot d \cdot \frac{3 \cdot \psi}{\sqrt{S_0}} \cdot \pi \cdot d \cdot n$$

$$P_R = 3 \cdot d^2 \cdot \pi \cdot b \cdot n \cdot \bar{p} \cdot \frac{\psi}{\sqrt{\bar{p} \cdot \psi^2}} = 3 \cdot d^2 \cdot \pi \cdot b \cdot n \cdot \bar{p} \cdot \frac{\sqrt{\eta \cdot 2 \cdot \pi \cdot n} \cdot \psi}{\sqrt{\bar{p} \cdot \psi^2}}$$

$$P_R = 3 \cdot d^2 \cdot \pi \cdot b \cdot n \cdot \sqrt{\bar{p} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n} \cdot \sqrt{\eta} = \phi \cdot \sqrt{\eta} \quad (18)$$

$V$  – Yatak muylusunun hacmi

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot b \quad \frac{V}{m^3} \left| \frac{d}{m} \right| \left| \frac{b}{m} \right| \quad (19)$$

ile,

$$P_R = 3 \cdot 4 \cdot V \cdot n \cdot \sqrt{\bar{p} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n} \cdot \sqrt{\eta}$$

$$P_R = 12 \cdot V \cdot \sqrt{\bar{p} \cdot n^3 \cdot 2\pi} \cdot \sqrt{\eta} = \phi \cdot \sqrt{\eta} \quad (20)$$

veya ,

$$P_R = 30 \cdot V \cdot \sqrt{\bar{p} \cdot n^3} \cdot \sqrt{\eta} = \phi \cdot \sqrt{\eta} \quad (21)$$

$$\phi = 12 \cdot V \cdot \sqrt{\bar{p} \cdot n^3 \cdot 2\pi} = 30 \cdot V \cdot \sqrt{\bar{p} \cdot n^3} \quad (22)$$

$\phi$  - Yardımcı değer ( $S_0 > 1$ )

- $S_0 < 1$  için:

$$P_R = F \cdot \mu \cdot u = \bar{p} \cdot b \cdot d \cdot \frac{3 \cdot \psi}{S_0} \cdot \pi \cdot d \cdot n$$

$$P_R = 3 \cdot d^2 \cdot b \cdot \pi \cdot n \cdot \bar{p} \cdot \frac{\psi}{\frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}}$$

$$P_R = 3 \cdot d^2 \cdot b \cdot n^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{1}{\psi} \cdot \eta = \phi' \cdot \eta \quad (23)$$



$$P_R = 12 \cdot V \cdot n^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{\psi} \cdot \eta = \phi' \cdot \eta \quad (24)$$

veya ,

$$P_R = 75 \cdot V \cdot \frac{n^2}{\psi} \cdot \eta = \phi' \cdot \eta \quad (25)$$

$$\phi' = 12 \cdot n^2 \cdot V \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{\psi} = 75 \cdot V \cdot \frac{n^2}{\psi} \quad (26)$$

$\phi'$  - Yardımcı değer ( $S_0 < I$ )

$$\frac{P_R}{\frac{Nm}{s}} \left| \frac{\bar{p}}{\frac{N}{m^2}} \right| \left| \frac{n}{\frac{d}{s}} \right| \left| \frac{\eta}{\frac{Ns}{m^2}} \right| \left| \frac{V}{m^3} \right|$$

W

denklemleri bulunur.

(21) ve (25) numaralı eşitlikler incelendiğinde, sürtünme gücü (sürtünme yolu ile kaybolan güç)  $P_R$  'in;

- Ağır yüklü yataklarda ( $S_0 > I$ ), yatak boşluğuna ( $\psi$ ),
- Yüksek hızlı yataklarda  $S_0 < I$ ), yükleme (zorlanma) değerine  $\bar{p}$  ,

bağlı olmadığı görülür.

#### 4) Isı Bilançosu (Isıl Denge Denklemi veya Isı Kontrolü);

Yatakta, sürtünmeden dolayı oluşan ısı yani sürtünme ısı  $P_R$ , ile yatak dış yüzeyinden çevre ortama atılan ısı veya devridaim ettirilen soğutma yağı (diğer soğutma önlemleri de olabilir) tarafından alınan ısı arasında, bir ısıl denge denklemi yazılabilir.

##### a) Yatak işletme sıcaklığı $\vartheta$ ;

Yatak gövdesinin bütünü, sabit bir  $\vartheta$  sıcaklığında olduğu kabul edilirse,  $\vartheta_0$  çevre ortam sıcaklığı olmak üzere yatak gövdesinin soğutma gücü (yatağın soğutma gücü) yani yatak dış yüzeyinden çevre ortama atılan ısı,

$$P_R = \alpha^* \cdot A \cdot \vartheta - \vartheta_0 \quad \frac{P_R}{\frac{Nm}{s}} \left| \frac{\alpha^*}{\frac{W}{m^2 K}} \right| \left| \frac{A}{m^2} \right| \left| \frac{\vartheta, \vartheta_0}{^\circ C} \right| s \quad (27)$$

(W)

bağıntısı ile ifade edilir.

$\alpha^*$  - Isı taşınım katsayısı (Yatak dış yüzeyi ile çevre ortam arasında gerçekleşen ısı geçişi için).

### Yaklaşık değerler;

- Doğal ısı taşınımında,

Kaba hesaplar için özel bir soğutmaya tabi olmayan yataklarda ortalama değer olarak,

$$\alpha^* \cong (15 \dots 25) \text{ W} / \text{ m}^2 \text{ K} \quad (28)$$

ve

Normal şartlarda, yani durgun(sakin) hava hali (veya hava hızı  $w=1,25 \text{ m/s}$ ) olan serbest bilezikle yağlamalı yataklar için,

$$\alpha^* = 20 \text{ W} / \text{ m}^2 \text{ K} \quad (29)$$

alınabilir.

- Zorlanmış ısı taşınımında;

$$\alpha^* \cong 30 \text{ W} / \text{ m}^2 \text{ K} \quad (30)$$

veya,

Yatak etrafında hava hareketi var ise ( $w$ -m/s olarak yatak etrafındaki havanın ortalama hızı) “VOGELPOHL”

$$\alpha^* = 7 + 12 \cdot \sqrt{w} \quad \frac{\alpha^*}{\text{W} / \text{ m}^2 \text{ K}} \quad \left| \quad \frac{w}{\text{m} / \text{s}} \right. \quad (31)$$

eşitliği kullanılabilir.

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

Yaklaşık olarak;

- Ayaklı yatak gövdeleri için (Palmgren'e göre);

$$A = \pi \cdot H \cdot L + \frac{1}{2} \cdot H \quad \frac{A}{\text{m}^2} \quad \left| \quad \frac{L}{\text{m}} \quad \left| \quad \frac{H}{\text{m}} \right. \quad (32)$$

$H$  - Yatak yüksekliği

$L$  - Yatak genişliği

- DIN 118G (D<0,2m) ye göre yataklar için;

$$A = 9 \cdot d \cdot \sqrt{d} \quad \frac{A}{m^2} \left| \frac{d}{m} \right. \quad (33)$$

- Makina çok tabakalı (birleşik) yatakları için;

$$A = 15 \dots 25 \cdot b \cdot d \quad \frac{A}{m^2} \left| \frac{d}{m} \right| \frac{b}{m} \quad (34)$$

alınabilir.

Gerekirse A, soğutma kanatları (Kanatçıkları) ilavesi ile büyütülebilir.

### Yatak işletme sıcaklığı $\vartheta$ nın hesabı:

- $S_0 > 1$  için:

$P_R$  (Eşitlik 21) değeri (27) denkleminde yerine konulursa;

$$\begin{aligned} \phi \cdot \sqrt{\eta} &= \alpha^* \cdot A \cdot (\vartheta - \vartheta_0) \\ \vartheta &= \frac{\phi \cdot \sqrt{\eta}}{\alpha^* \cdot A} + \vartheta_0 = W \cdot \sqrt{\eta} + \vartheta_0 \end{aligned} \quad (35)$$

$$\frac{\vartheta}{^\circ C} \left| \frac{W}{\frac{mK}{Ns^{1/2}}} \right| \frac{\eta}{\frac{Ns}{m^2}} \left| \frac{\vartheta_0}{^\circ C} \right.$$

elde edilir. Burada,

$W$  - Isınma faktörü (Isınma karakteristik sayısı)

$$W = \frac{\phi}{\alpha^* \cdot A} \quad (36)$$

$$\phi = 30 \cdot V \cdot \sqrt{\bar{p} \cdot n^3} \quad (\text{Eşitlik 22})$$

dir.

Basit olarak  $\vartheta$ ;  $W$  ve  $\eta$  ya bağlı olarak şekil 20 den ( $\vartheta_0 = 20^\circ C$  için ) alınabilir.

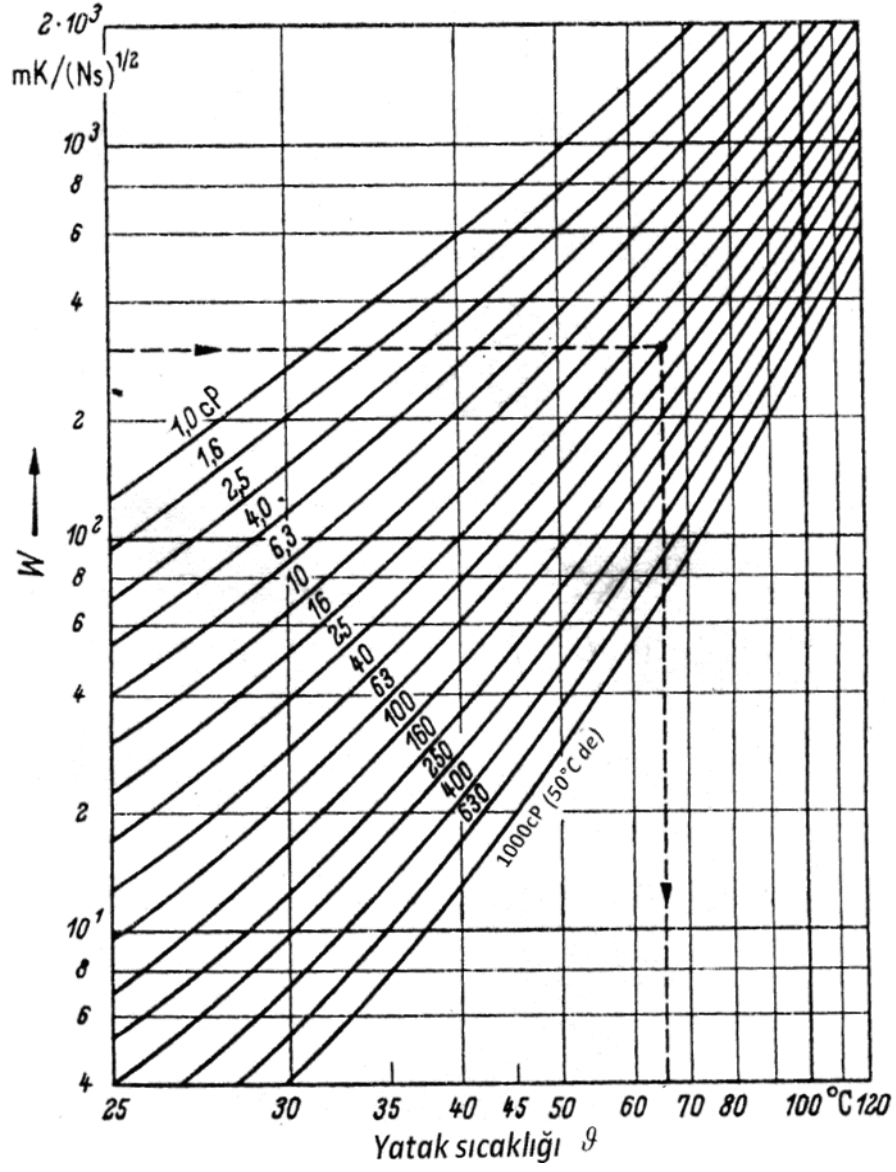
Normal şartlarda yatak işletme sıcaklığı, madeni yağlar için  $70^\circ \dots 90^\circ C$  yi aşmamalıdır.

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

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

uygun bir değerdir.

$\mathcal{G} > \mathcal{G}_{em}$  olması halinde ilave soğutma (Yağ pompası ile yapılan basınçlı yağlama, örneğin; devridaim yağlama gibi) yapılır.



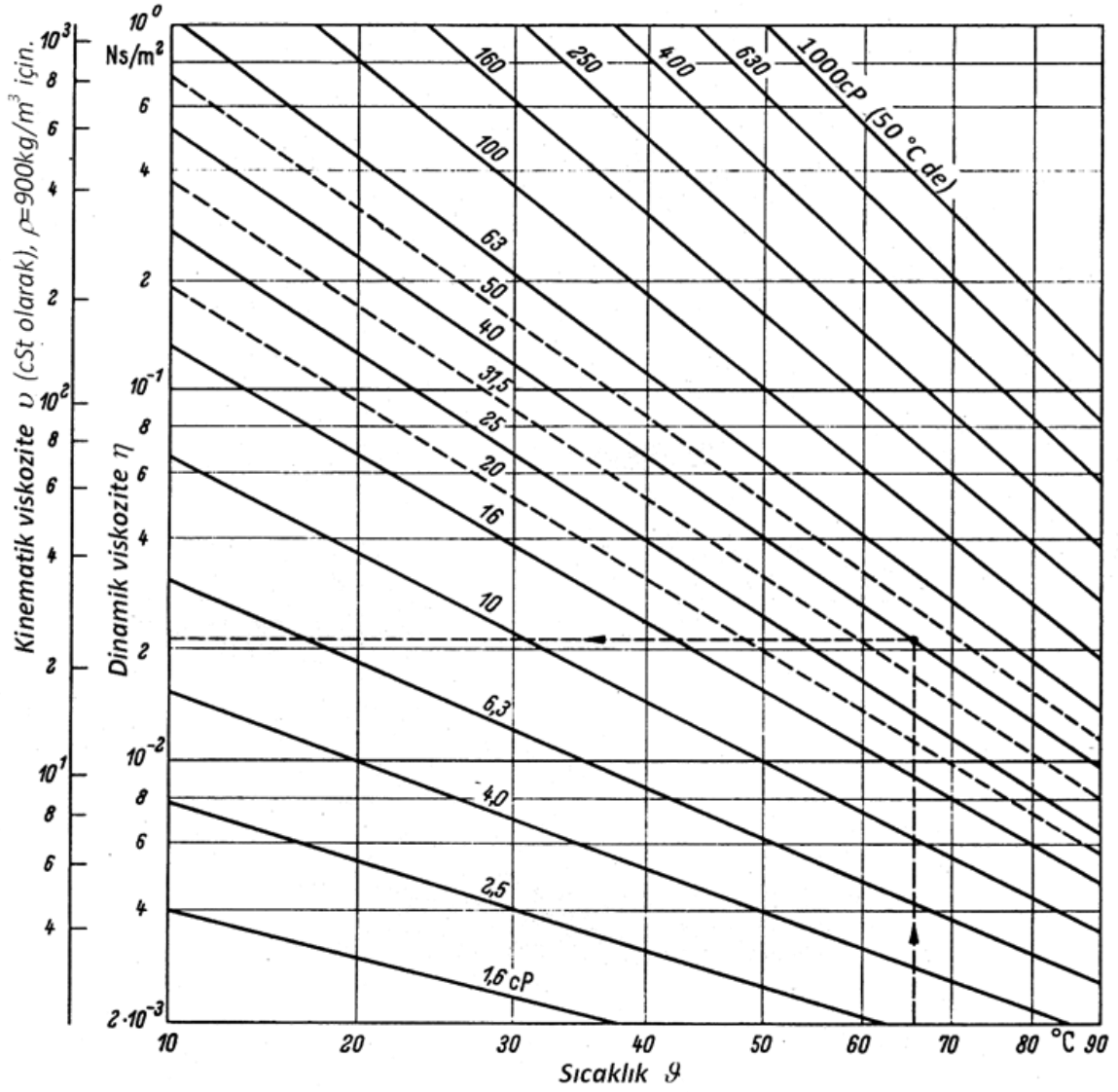
**Şekil 20** –  $S_0 > 1$  ve  $\mathcal{G}_0 = 20^\circ C$  de, yatak işletme sıcaklığının tespit edilmesi (VDI 2204'e göre).

Yatak işletme sıcaklığı  $\mathcal{G}$  nin bilinmesiyle, dinamik işletme viskozitesi  $\eta$  ;

$$\eta = \left( \frac{\mathcal{G} - \mathcal{G}_0}{W} \right)^2 \frac{\eta}{Ns/m^2} \left| \frac{\mathcal{G} - \mathcal{G}_0}{K} \right| \frac{W}{mK/N \cdot s^{1/2}} \quad (39)$$

( $Pa \cdot s; 10^3 cP$ )

bağıntısından hesaplanabilir veya Şekil 21 deki  $\eta = f(\mathcal{G})$  diyagramından okunabilir. Şekil 22 den de faydalanmak mümkündür.



Şekil 21 –Viskozite – Sıcaklık diyagramı, normal (standart) yağlar için.

Özetlersek  $S_0 > 1$  ;

- Yatak işletme sıcaklığı  $\theta$ ;

$$\theta = W \cdot \sqrt{\eta} + \theta_0 \text{ (Eşitlik 35)}$$

veya,

$$\left. \begin{array}{l} W = \dots mK / (N \cdot s)^{1/2} \\ \eta = \dots cP (50^\circ C) \end{array} \right\} \theta = \dots ^\circ C \text{ (Şekil 20)}$$

- Dinamik işletme viskozitesi  $\eta$ ;

$$\eta = \left[ \frac{\mathcal{G} - \mathcal{G}_0}{W} \right]^2 \quad (\text{Eşitlik 39})$$

veya

$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{G} = \dots^\circ\text{C} \\ \eta = \dots \text{cP} (50^\circ\text{C}) \end{array} \right\} \eta = \dots \text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 \quad \text{Şekil 21}$$

bulunur.

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

- $S_0 < 1$  için ;  
Yatak işletme sıcaklığı  $\mathcal{G}$ ;  
 $P_R$  (Eşitlik 25) değeri (27) denkleminde yerine konursa,

$$\phi' \cdot \eta = \alpha^* \cdot A \cdot (\mathcal{G} - \mathcal{G}_0)$$

$$\mathcal{G} = \frac{\phi' \cdot \eta}{\alpha^* \cdot A} + \mathcal{G}_0 = W' \cdot \eta + \mathcal{G}_0 \quad (40)$$

$$\frac{\mathcal{G}}{^\circ\text{C}} \left| \frac{W'}{m^2 \text{K} / (\text{Ns})} \right| \left| \frac{\eta}{\text{Ns} / \text{m}^2} \right| \left| \frac{\mathcal{G}_0}{^\circ\text{C}} \right|$$

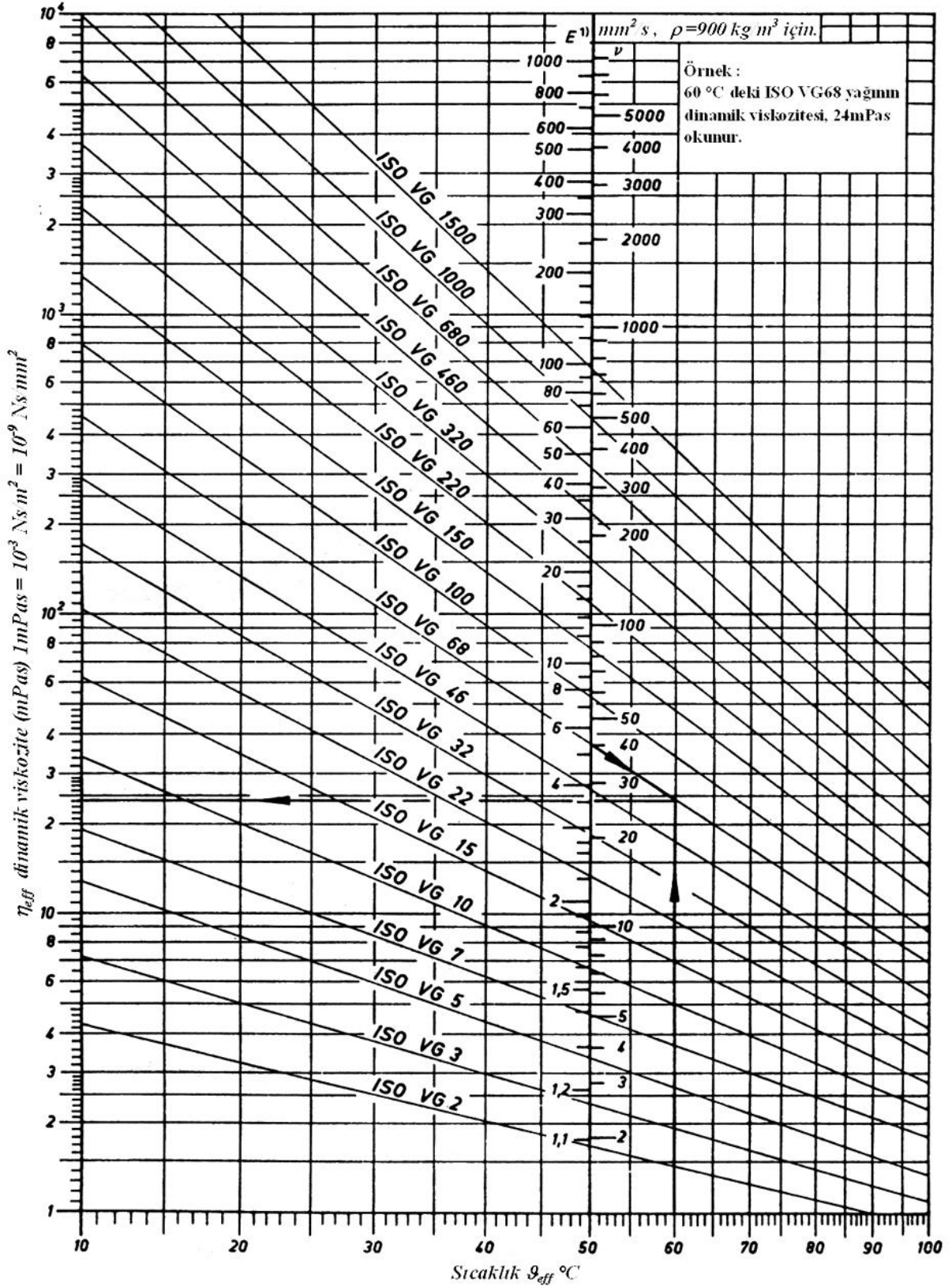
elde edilir. Burada,

$W'$  - Isınma faktörü (*Radyal yataklarda,  $S_0 < 1$  hali için*)

$$W' = \phi' / \alpha^* \cdot A \quad (41)$$

$$\phi' = 75 \cdot V \cdot \frac{n^2}{\psi} \quad (\text{Eşitlik 26})$$

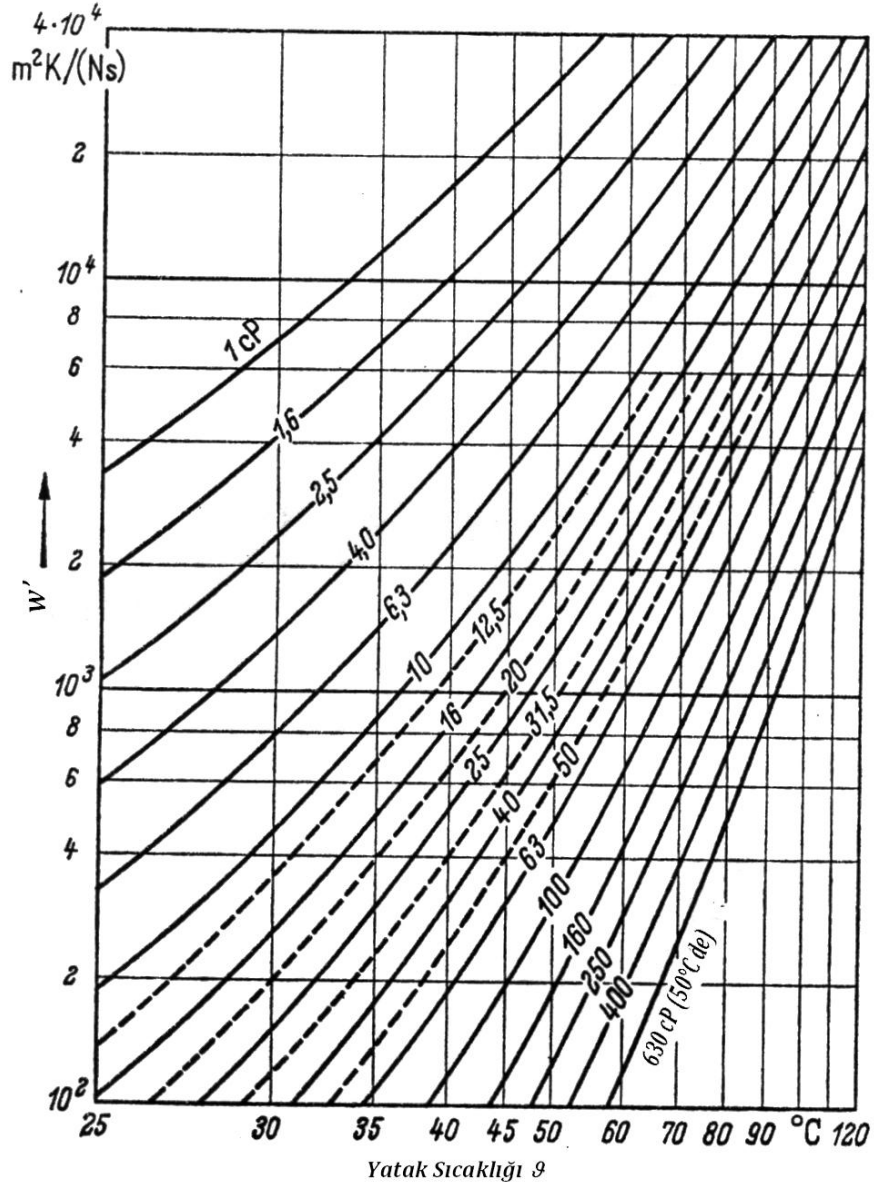
dir.



Şekil 22 –Viskozite – Sıcaklık diyagramı (G.Niemann ve DIN 51519). Viskozite indeksi 50 (VI=50) olan yağlar için geçerlidir (Roloff/Matek).

1) 1E = 1 Engler derecesi (50°C de)

Ayrıca  $\vartheta$ ,  $W'$  ve  $\eta$  ya bağlı olarak şekil 23 ten ( $\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$  için) kolayca okunabilir.



Şekil 23 –  $s_0 < 1$  ve  $\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$  de, yatak işletme sıcaklığının tespit edilmesi (VDI 2204' e göre).

Yatak işletme sıcaklığı  $\vartheta$  nın bilinmesiyle, dinamik işletme viskozitesi  $\eta$  ;

$$\eta = \frac{\vartheta - \vartheta_0}{W'} \quad \frac{\eta}{\frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} \left| \frac{\vartheta - \vartheta_0}{\text{K}} \right| \frac{W'}{\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{Ns}}} \quad (42)$$

(Pas)

bağıntısından hesaplanabilir veya şekil 21 deki VT- Diyagramından (Viskozite – Sıcaklık) alınabilir.



Özetlersek ( $S_0 < 1$ ) :

- Yatak işletme sıcaklığı  $\vartheta$  ;

$$\vartheta = W' \cdot \eta + \vartheta_0 \quad (\text{Eşitlik 40})$$

veya,

$$\left. \begin{array}{l} W' = \dots \text{ m}^2 \text{ K} / (\text{Ns}) \\ \eta = \dots \text{ cP} (50^\circ \text{C}) \end{array} \right\} \vartheta = \dots \text{ }^\circ \text{C} \quad (\text{Şekil 23})$$

- Dinamik işletme viskozitesi  $\eta$ ;

$$\eta = \vartheta - \vartheta_0 / W' \quad (\text{Eşitlik 42})$$

veya,

$$\left. \begin{array}{l} \vartheta = \dots \text{ }^\circ \text{C} \\ \eta = \dots \text{ cP} (50^\circ \text{C}) \end{array} \right\} \eta = \dots \text{ Ns} / \text{m}^2 \quad (\text{Şekil 21})$$

bulunur.

### 5 ) 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 ( $\vartheta_{em} = 70^\circ \dots 90^\circ \text{C}$ ) kadar yüksek değerlere çıkmasını önlemek üzere alınması özel önlemlerin alınması gerekir. Örneğin, devridaim yağlama sistemi gibi. İşte, dışarıdan yağla beslenen yataklarda yağ tarafından alınan ısı miktarı (yağın soğutma gücü) :

$$P_{KK} = c_{yağ} \cdot \rho_{yağ} \cdot Q_K (\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad \frac{P_{KK}}{W} \left| \frac{c_{yağ}}{Ws} \right| \left| \frac{\rho_{yağ}}{kg} \right| \left| \frac{Q_K}{m^3/s} \right| \left| \frac{\Delta \vartheta}{K} \right| \quad (43)$$

dir. Burada ;

$c_{yağ}$  - Yağın özgül ısısı (Cetvel 8)

$\rho_{yağ}$  - Yağın yoğunluğu

$$c \cdot \rho_{yağ} \cong 1670 \cdot 10^3 \text{ Nm} / \text{m}^3 \text{ K} \quad (44)$$

$$c \cdot \rho_{su} \cong 4190 \cdot 10^3 \text{ Nm} / \text{m}^3 \text{ K} \quad (45)$$

**Cetvel 8** – Çeşitli soğutucu akışkanlar için karakteristik değerler  
\* Normal şartlarda

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

$Q_K$  - Soğutucu yağ debisi (Soğutma için gerekli yağ debisi)

$$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 \quad (46)$$

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

Soğutucu akışkan olarak;

- Yağ kullanılıyor ise,

Madeni yağlar için:

$$\Delta \vartheta \cong 10 K \quad (Max. 20) \quad (47)$$

- Su kullanılıyor ise,

$$\Delta \vartheta \cong 5 K \quad (48)$$

alınabilir.

Şu halde ısı denge denklemi, genel olarak; “Yatakta oluşan ısı, yataktan çevre ortama verilen ısı ile yağ tarafından dışarıya atılan ısıya eşit” olduğu taktirde yazılır. Formüle edilirse ısı kontrolü :

$$\underbrace{F \cdot \mu \cdot u}_{\substack{\text{Sürtünmeden} \\ \text{Meydana} \\ \text{gelen ısı}}} = \underbrace{\alpha^* \cdot A \cdot \vartheta - \vartheta_0}_{\text{Gövde}} + \underbrace{c_{\text{yağ}} \cdot \rho_{\text{yağ}} \cdot Q_K \cdot \vartheta_2 - \vartheta_1}_{\text{Yağ}} \quad (49)$$

Tarafından alınması

denklemleri ile yapılır. İnceleyelim :

- Yağ devresi yatak içinde olan sistemlerde (*Sabit ve serbest bilezikli yağlama şekilleri gibi*) bütün ısının yatak gövdesinden dışarı atıldığı kabul edilirse (*Gövde yoluyla iletilen ısının önemli olması halinde*), 49 formülü aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F \cdot \mu \cdot u = \alpha^* \cdot A \cdot \vartheta - \vartheta_0 \quad (\text{Eşitlik 27})$$

Yatağın çalışma sıcaklığı,

$$\vartheta = \frac{F \cdot \mu \cdot u}{\alpha^* \cdot A} + \vartheta_0 \leq \vartheta_{em} \quad (50)$$

$S_0 > 1$  için:

$$g = \frac{\phi \cdot \sqrt{\eta}}{\alpha^* \cdot A} + g_0 = W \cdot \sqrt{\eta} + g_0 \quad (\text{Eşitlik 35})$$

$S_0 < 1$  için:

$$g = \frac{\phi' \cdot \sqrt{\eta}}{\alpha^* \cdot A} + g_0 = W' \cdot \eta + g_0 \quad (\text{Eşitlik 40})$$

- Dışarıdan yağla beslenen yataklarda (Pompalı yağlama, örneğin; devridaim yağlama gibi.) bütün ısının devridaim ettirilen yağ tarafından alındığı kabul edilirse (*Yağlayıcı madde tarafından çevre ortama iletilen ısının önemli olması halinde*), 49 formülü aşağıdaki yeni şekli alır :

$$F \cdot \mu \cdot u = c_{yağ} \cdot \rho_{yağ} \cdot Q_K \cdot g_2 - g_1 \quad (51)$$

(Burada, yatak gövdesinden dışarı atılan ısı yani yatağın soğutma gücü, emniyet düşüncesiyle ihmal edilmiştir)

ve,  $Q_K$  ile gösterilen, soğutma yağı miktarı, soğutucu yağ debisi, devridaim ettirilmesi gereken soğutma yağı miktarı veya devridaim soğutma yağı,

$$Q_K = \frac{F \cdot \mu \cdot u}{c_{yağ} \cdot \rho_{yağ} \cdot g_2 - g_1} = \frac{P_R}{c \cdot \rho_{yağ} \cdot g_2 - g_1} \quad (52)$$

Hesaplarımızda kullandığımız emniyetli ( $P_{KK}$  yerine  $P_R$  alınmıştır) bağıntıdan bulunur.

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

$$Q_{KW} = \frac{P_R}{c \cdot \rho_{su} \cdot g_2 - g_1} \quad (53)$$

bağıntısından hesaplanır.

Not: "Helisel alın dişli çarklar –Tuncer ÖZKAN"

Dalma yağlamalı bir sistemde, soğutma suyu ile dışarıya atılan ısı için yağ banyosunda su serpantini kullanılıyorsa (Şekil 24;25) soğutma serpantininin gerekli dış yüzeyi;

$$A_K = \frac{P_{KK}}{K \cdot g_d} \quad \frac{A_K}{m^2} \left| \frac{P_{KK}}{W} \right| \frac{K}{W} \left| \frac{g_d}{K} \right| \quad (54)$$

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  $V_{su} = 0,5 m/s$  ve bakır boru için,

$$K \cong 400 k.cal/(m^2 \cdot h \cdot ^\circ C) \quad (\text{A.K.Thomas/WCharchut}) \quad (55)$$

alınabilir.

Ayrıca Niemann;

Bakır için;

$$\frac{1}{K} = 2 \cdot 10^{-3} \quad m^2 \cdot K/W \quad (56)$$

Prinç alaşım için;

$$\frac{1}{K} = 3 \dots 5 \cdot 10^{-3} \quad m^2 \cdot K/W \quad (57)$$

değerlerini vermiştir.

Mukayese edelim;

$$1 \quad k \cdot cal/(m^2 \cdot h \cdot ^\circ C) = 1,163 \quad W/(m^2 K)$$

olduğuna göre,

$$400 \quad k \cdot cal/(m^2 \cdot h \cdot ^\circ C) = 400 \cdot 1,163 = 465,2 \quad W/(m^2 K)$$

$$\frac{1}{465,2} \cong 2,15 \cdot 10^{-3} \quad m^2 K/W \quad \text{ile} \quad 2 \cdot 10^{-3} \quad m^2 K/W \quad \text{birbirine} \quad \text{çok} \quad \text{yakın.}$$

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

$$\mathcal{G}_d = \mathcal{G}_{yağ} - (\mathcal{G}_1 + 0,5 \cdot \Delta \mathcal{G}) = \mathcal{G}_{yağ} - \frac{\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2}{2} \quad (58)$$

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

$\mathcal{G}_1$  - Soğutma suyunun giriş sıcaklığı

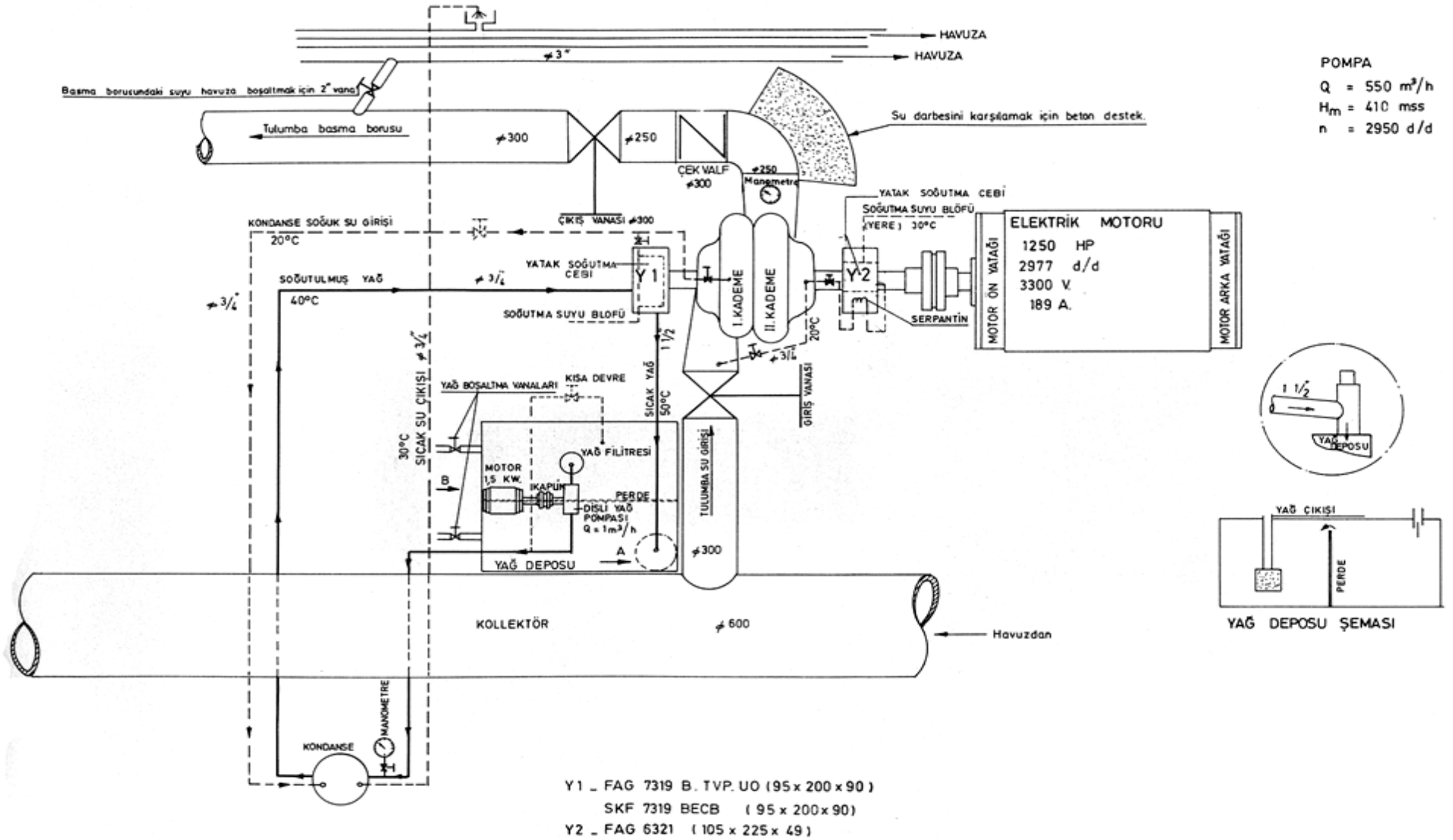
$\mathcal{G}_2$  - Soğutma suyunun çıkış sıcaklığı

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

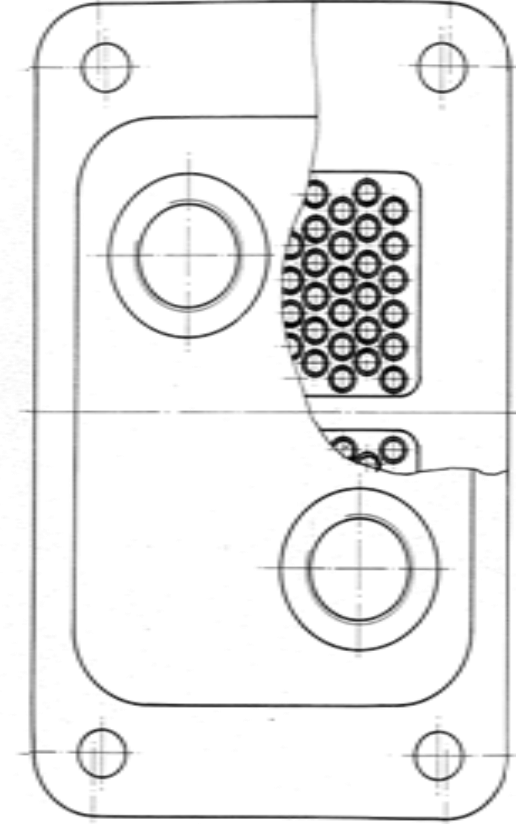
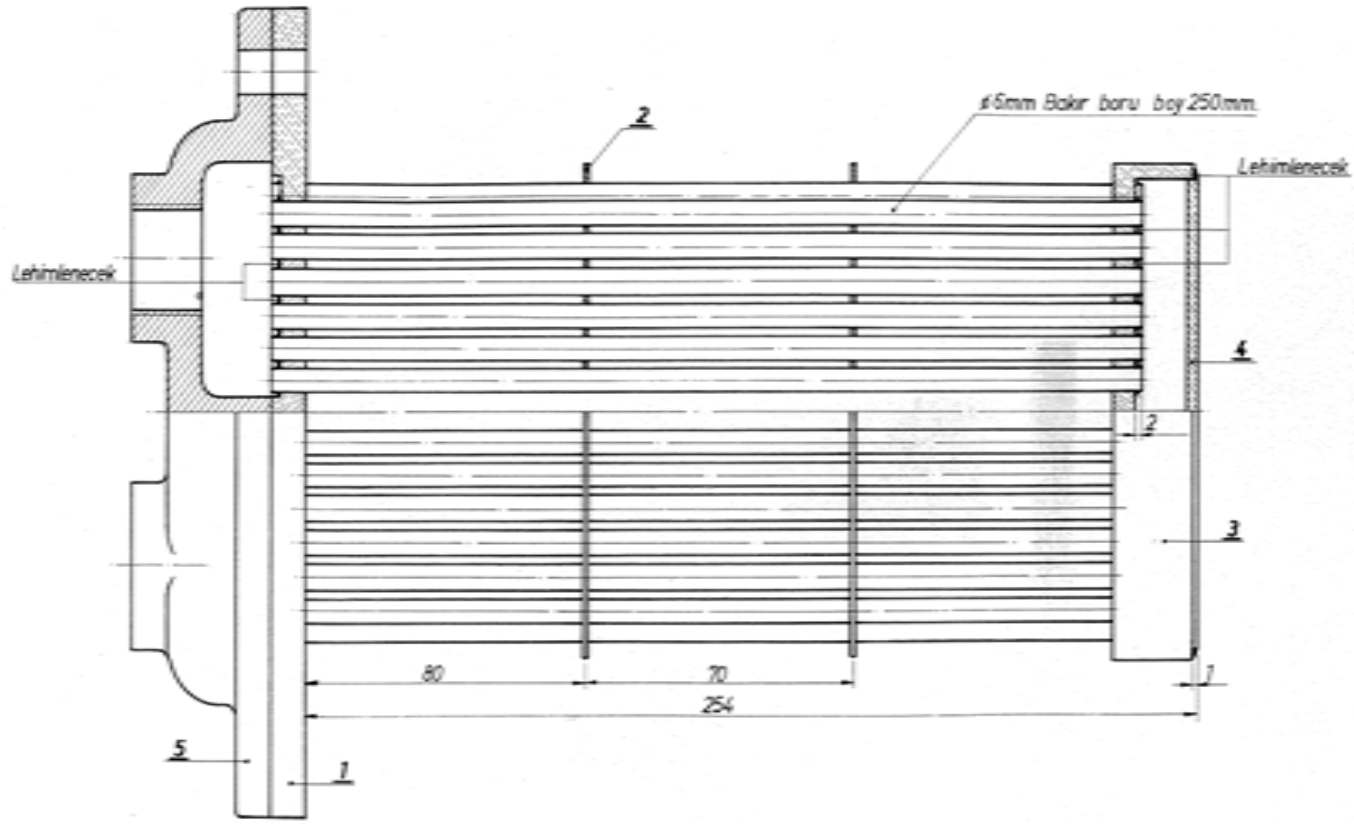
Soğutma borusunun gerekli uzunluğu;

$$L = \frac{A_k}{\pi \cdot d} \quad (59)$$

$d$  - Boru çapı (Genellikle iç çap)



Şekil 24 – “MAZ” Pompa yatakları, yağlama ve soğutma devre şeması



Şekil 25 – “MAZ” Pompa yatağı, su serpantini

Gerekli soğutma suyu debisi;

$$Q_{su} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V_{su} \quad \frac{Q_{su}}{m^3/s} \left| \frac{d}{m} \right| \frac{V_{su}}{m/s} \quad (60)$$

$$Q_{su} = 1000 \cdot 60 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V_{su} \quad \frac{Q_{su}}{lt./dak.} \left| \frac{d}{m} \right| \frac{V_{su}}{m/s} \quad (61)$$

$$Q_{su} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V_{su} = 4,7 \cdot d^2 \cdot V_{su} \quad \frac{Q_{su}}{lt./dak.} \left| \frac{d}{cm} \right| \frac{V_{su}}{m/s} \quad (62)$$

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

$$Q_{su} = 2,35 \cdot d^2 \quad \frac{Q_{su}}{lt./dak.} \left| \frac{d}{cm} \right| \quad (63)$$

dir.

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

$$P_{KK} = K \cdot A_K \cdot \mathcal{G}_d \cdot \eta \quad (64)$$

şeklinde vermiştir.(Eşitlik 54 ile mukayese edilirse,  $\eta$  çarpanı var).

$\eta$  - Soğutma serpantininin verimi

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

ÖRNEK:

“MAZ” pompa yatağında kullanılması düşünülen (Şekil 24) soğutma serpantininin boyutlandırılması istenmektedir.

Yatak : FAG 6321 (105x225x49)

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

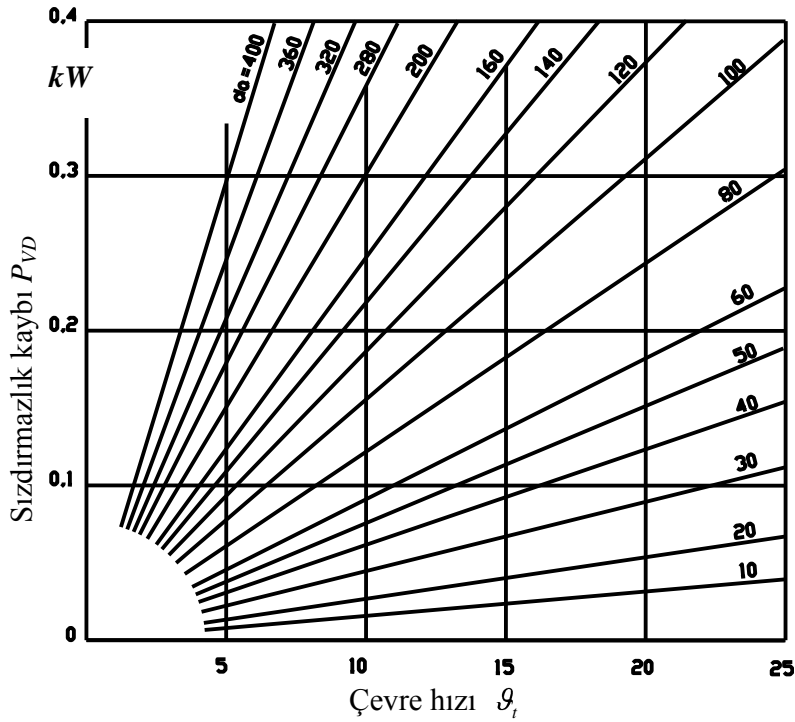
$P_{VB0}$  - Yüksüz (boşta çalışan) yataklardaki kayıp

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

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

- 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 26 da verilmiştir.



**Şekil 26** – Bir radyal-mil keçesi için sızdırmazlık kaybı  $P_{VD}$  'nin keçe dudağının temas ettiği mil çapı  $d_D$  ve bu çapa karşılık gelen çevre hızına göre değişimi.

Çevre hızı;

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

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

(92x124x6 ölçülerinde iki adet keçe kullanılmıştır)



$$\left. \begin{array}{l} \vartheta_i = 14 \text{ m / sn.} \\ d_D = \phi 92 \text{ mm} \end{array} \right\} P_{VD1} \cong 0,2 \text{ kW} \quad (\text{Şekil 26})$$

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

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

- Toplam kayıp güç,  $P_R$

$$P_R = 920 + 400$$

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

- Sıcaklık değerleri (kabul);

$$\vartheta_{\text{yağ}} = 45^\circ \text{ C} \quad (\text{Yağın buharlaşmaya başlamasını önlemek amacıyla müsaade edilecek en yüksek sınır olarak. M.ten BOSCH})$$

$$\vartheta_1 = 20^\circ \text{ C} \quad (\text{Soğutma suyunun giriş sıcaklığı})$$

$$\vartheta_2 = 25^\circ \text{ C} \quad (\text{Soğutma suyunun çıkış sıcaklığı})$$

$$\vartheta_d = \vartheta_{\text{yağ}} - \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2} \quad (\text{Eşitlik 58}) \text{ Yağ ile soğutma suyu arasındaki ortalama sıcaklık farkı.}$$

$$\vartheta_d = 45 - \frac{20 + 25}{2}$$

$$\underline{\underline{\vartheta_d = 22,5^\circ \text{ C}}}$$

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

$$A_K = \frac{P_R}{K \cdot \vartheta_d \cdot \eta} \quad (\text{Eşitlik 64})$$

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

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

- Soğutma borusunun gerekli uzunluğu,

$$L = \frac{A_K}{\pi \cdot d} \quad (\text{Eşitlik 59})$$

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

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

bulunur.

Serpantin için , 65 Adet  $\phi$  6 / 4,5 mm. Çapında 250 mm. boyunda bakır boru kullanılmıştır. (Şekil 25)

**Kontrol :**      65 · 0,250  $\cong$  16 m.

### 5) Toplam yağ miktarı $Q$

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

$$Q = Q_K \cdot t \quad \frac{Q}{\text{Litre}} \mid \frac{Q_K}{\text{Litre / dak.}} \mid \frac{t}{\text{dak.}} \quad (65)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

### 6) Minimum (Enküçük) yağ filmi kalınlığı (İşletme devir sayısında) $h_0$ ;

İşletme devir sayısında, minimum yağ filmi (tabakası) kalınlığı,

$$h_0 = \frac{\delta \cdot s}{2} = \delta \cdot \psi \cdot d / 2 \quad (66)$$

denkleminde bulunur. Burada;

- $s$  - İşletme yatak boşluğu (Eşitlik 5)
- $d$  - Radyal yatak – Nominal çapı
- $\psi$  - İzafi yatak boşluğu (Eşitlik 5)
- $\delta$  - İzafi (Rölatif) yağ filmi (tabakası) kalınlığı

dır.

“Falz “ ve “Bauer” ‘e göre ; izafi yağ filmi kalınlığı

$$\delta = \frac{h_0}{(s/2)} \quad (\text{Eşitlik 66})$$

İfadesiyle,  $\beta = b/d$  olan yataklarda iyi bir yaklaşıklıkla;

- $S_0 \geq 1$  için;  $0 < \beta \leq 2$  olması halinde:

$$\delta = \frac{1}{2 \cdot S_0} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta} \quad \text{veya} \quad \psi^2 = \frac{\pi}{\delta} \cdot \frac{\eta \cdot n}{\bar{p}} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta} \quad (67)$$

$$\frac{\eta}{Ns/m^2} \quad | \quad \frac{n}{1/s} \quad | \quad \frac{\bar{p}}{N/m^2}$$

- $S_0 < 1$  için;  $0,5 \leq \beta \leq 2$  olması halinde:

Şekil 19 ile mukayese ediniz ( $\beta=1$  eğrileri)

$$\delta = 1 - \frac{S_0}{2} \cdot \frac{1 + \beta}{2 \cdot \beta} \quad \text{veya} \quad \psi^2 = 1 - \delta \cdot 4 \cdot \pi \cdot \frac{\eta \cdot n}{\bar{p}} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta} \quad (68)$$

$S_0 > 1$  olması durumunda  $\delta$ 'nin sınır değerleri,

$$\beta = b/d = 0,5 \dots 1 \text{ için;}$$

$$\delta = \frac{\beta}{1 + \beta} = 0,33 \dots 0,5 \quad (69)$$

şeklinde olup,

$$\delta = 0,2 \dots 0,4 \quad (\text{Ekseriya } \delta \cong 0,3) \quad (70)$$

seçilir ve buna bağlı olarak izafi (rölatif) yatak boşluğu  $\Psi$ , Şekil 19 daki diyagramdan bulunur. Hafif yüklü, yüksek devirli yataklarda uygun olmayan büyük  $\Psi$  değerleri meydana gelebilir.  $\Psi$ 'yi tespit edebilmek için,  $S_0 < 1$  ( $\vartheta=60^\circ\text{C}$  ile) kontrolü ve  $S_0 < 1$  için yeniden (tekrar) hesap yapılır.

### 7) Geçiş devir sayısı (Sıvı sürtünmeye geçiş devir sayısı) $n_{\ddot{u}}$ ;

Sıvı sürtünmeye geçiş devir sayısı veya dönme hızı;

- $S_0 > 1$  için :

$$n_{\ddot{u}} = \frac{h_{0\ddot{u}}}{h_0} \cdot n \quad (71)$$

eşitliğinden hesaplanır.

$h_{0\ddot{u}}$  - Minimum yağ filmi kalınlığı (Geçiş devir sayısında; sıvı sürtünmenin oluşacağı devir sayısında veya sıvı sürtünmeye geçiş dönme hızında. Şekil 16; Cetvel 9)

“Vogelpohl” ‘a göre, geçiş devir sayısı  $n_{\ddot{u}}$ ;

$$n_{ii} = K_{ii} \cdot \frac{F}{\eta \cdot V} \quad \frac{n_{ii}}{1/s} \left| \frac{K_{ii}}{m} \right| \left| \frac{F}{N} \right| \left| \frac{\eta}{Ns/m^2} \right| \left| \frac{V}{m^3} \right| \quad (72)$$

bağıntısından hesaplanabilir.

$V$  - Yatak muylusunun hacmi (Eşitlik 19)  
 $K_{ii}$  - Katsayı  
Ortalama değer olarak,

$$K_{ii} = 1,7 \cdot 10^{-9} \text{ m.} \quad (73)$$

dir.

Yine, “Vogelpohl” ;

$u < 3 \text{ m/s}$  için;

$$\frac{n}{n_{ii}} \cong 3 \quad (74)$$

veya;

$$\frac{n}{n_{ii}} = |u| \quad (75)$$

İfadeleri önerilmiştir.

$u$  - Çevre hızı [m/s]  
 $|u|$  -  $u$ ' nun sayısal değeri (mutlak değer)

- $S_0 < 1$  için :

Geçiş devir sayısı  $n_{ii}$  ;  $S_0 = 1$  'e karşılık gelen yardımcı değerlerle hesaplanır.

$$h_0 = \frac{\delta \cdot s}{2} \quad (\text{Eşitlik 66})$$

$$\delta = \frac{1}{2 \cdot S_0} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{(1 + \beta)} \quad (\text{Eşitlik 67})$$

$$n = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{S_0 \cdot \eta \cdot 2\pi} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

$S_0 = 1$  'e karşılık gelen,

$$h_0 = \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{2 \cdot S_0} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{(1 + \beta)} \rightarrow h_0_{S_0=1} = \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{(1 + \beta)}$$

$$n = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{S_0 \cdot \eta \cdot 2\pi} \rightarrow n_{S_0=1} = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot 2\pi}$$

$$\left( \frac{n}{h_0} \right)_1 = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot 2\pi} \bigg/ \left[ \frac{s}{4} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{(1 + \beta)} \right] = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot 2 \cdot \pi} \cdot \frac{n}{n} \bigg/ \left[ \frac{s}{4} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta} \right]$$

$$\left( \frac{n}{h_0} \right)_1 = S_0 \cdot n \bigg/ \left[ \frac{s}{4} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta} \right] \quad (76)$$

yardımcı değeri ile  $n_{\bar{u}}$ ,

$$n_{\bar{u}} = h_{0\bar{u}} \cdot \left( \frac{n}{h_0} \right)_1 \quad (77)$$

şeklinde hesaplanır.

**Not :**

“M.ten BOSCH” ‘a göre :

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

$$n_g = 0,3...0,7 \cdot n \quad (78)$$

kullanılır. Isı hesaplarında ise nominal devir sayısı  $n$  göz önüne alınır.

**8) Minimum (en küçük) devir sayısı  $n_{min}$  ;**

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

- $S_0 > 1$  için :

$$n_{min} = \frac{h_{min}}{h_0} \cdot n \quad (79)$$

eşitliğinden hesaplanır.

$h_{min}$  - Müsaade edilen (Emniyetli) minimum yağ filmi kalınlığı  
(Şekil16; Cetvel 9)

- $S_0 < 1$  için :

$$\left( \frac{n}{h_0} \right)_1 = S_0 \cdot n \left/ \left[ \frac{s}{4} \cdot \frac{2\beta}{1+\beta} \right] \right. \quad (Eşitlik 76)$$

yardımcı değeri ile,

$$n_{min} = h_{min} \cdot n / h_0 \quad (80)$$

İfadesinden bulunur.

**Cetvel 9** – Radyal yatak- nominal çapı  $d$  ye bağlı olarak; elde edilebilir pürüz derinliği  $R_Z$ , yağ filmi kalınlığı (Sıvı sürtünmeye geçiş devir sayısında)  $h_{0ü}$  ve minimum yağ filmi kalınlığı  $h_{min}$ . Değerleri (VDI2204 ‘e göre) Karl-Heinz DECKER

<sup>1)</sup>  $H$ ; Miller ve sert yatak metalleri (*Bronzlar*) için,  
 $W$ ; Yumuşak yatak metalleri (*Pb ve Sn esaslı*) için.

| $D$       | $mm$     | 10      | 30        | 60        | 100       | 200       | 400       | 1000  |
|-----------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| $R_Z$     | $H^{1)}$ | 1...1,8 | 1,9...3,2 | 2,1...3,3 | 2,5...3,5 | 2,7...3,9 | 2,9...4,0 | 3...4 |
|           | $W^{1)}$ |         |           | 2,1...3,6 | 2,5...4,3 | 2,7...4,8 | 2,9...5,5 | 3...6 |
| $h_{0ü}$  | $\mu m$  | 4       | 4,4       | 4,7       | 5         | 5,2       | 5,6       | 6     |
| $h_{min}$ | $\mu m$  | 10      | 12        | 13        | 13        | 14        | 15        | 16    |

### 9) Gerekli yağ ihtiyacı $Q_s$ ;

Hidrodinamik bölgede çalışmak üzere, gerekli yağ debisi (*Hidrodinamik debi*) veya yatakta film oluşumu ( $h_0$  için ) için gerekli yağ ihtiyacı (*miktarı*) ampirik olarak,

$$Q_s = \varphi \cdot h_0 \cdot b \cdot u \quad \frac{Q_s}{\frac{m^3}{s}} \left| \frac{h_0}{m} \right| \frac{b}{m} \left| \frac{u}{\frac{m}{s}} \right| \quad (81)$$

denklemden bulunur.

$\varphi$  - Debi faktörü.

- Yatak kenarlarından (uçlarından) yağ akışı yol ise,

$$\varphi = 0,5 \quad (82)$$

- Yatak kenarlarından (uçlarından) yağ akışı var ise,

$$\varphi = 0,75 \quad (83)$$

Düşey millerin az yüklenmiş ve  $S_0 < 1$  olan radyal kaymalı yatakları (*kılavuz yatak*) için, yaklaşık olarak;

$$Q_s \cong 0,15 \cdot b \cdot s \cdot u \quad (84)$$

alınabilir, tam veya kısmi olarak yağ içine daldırılabilir.

### 10) Yatak yükü için karakteristik değerler;

- $\bar{p}_{em}$  :

Pratikte yatakların hesabı genellikle, müsaade edilen yatak yükü  $\bar{p}_{em}$  değerine, yani ;

$$\bar{p} = \frac{F}{b \cdot d} < \bar{p}_{em} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

koşuluna göre yapılır.

$\bar{p}_{em}$  - Yüzey emniyet basıncı (*Müsaade edilen yüzey basıncı veya müsaade edilen yatak yükü*)

$\bar{p}_{em}$ , deney ve tecrübelerle dayanan yüzey emniyet basıncı olup,

VDI 2204'e göre:(*VDI-Alman mühendisler birliği sayfa 25*)

Beyaz metal yataklar için;

$$\bar{p}_{em} \cong 100 \dots 300 \text{ N/cm}^2 \quad (85)$$

Bronz yataklar için;

$$\bar{p}_{em} \cong 100 \dots 800 \text{ N/cm}^2 \quad (86)$$

dir.

Ayrıca, kabul edilebilir (*deneysel, önerilen*) diğer  $\bar{p}_{em}$  ve  $u_{em}$  değerleri Cetvel 1 de verilmiştir.

- $p_H$  :

Mil ve yatak zarfı arasında meydana gelen Hertz basıncı  $p_H$  değerini de göz ardı etmemek gerekir özellikle; eğer durma halinde  $F$  yatak yükü tam olarak etki ediyorsa, elastik deformasyonlara neden olan Hertz basınçları;

$$p_H = 0,418 \cdot \sqrt{\bar{p} \cdot \frac{2 \cdot E \cdot \psi}{1 - \psi}} = 0,418 \cdot \sqrt{2 \cdot E \cdot \bar{p} \cdot \psi \cdot \underbrace{\left( \frac{1}{1 - \psi} \right)}_{\cong 1}}$$

$$p_H \cong 0,591 \cdot \sqrt{E \cdot \bar{p} \cdot \psi} \quad \frac{p_H}{\text{N/m}^2} \mid \frac{E}{\text{N/m}^2} \mid \frac{\bar{p}}{\text{N/m}^2} \quad (87)$$

oluşabilir.

$E$  - Elâstisite (*Elâstiklik, elâstikiyet*) modülü

Yatak ve mil malzemeleri farklı ise,

$$E = \frac{2 \cdot E_L \cdot E_W}{E_L + E_W} \quad (88)$$

$E_L$  - Elâstisite modülü (*Yatak malzemesi için*)  
 $E_W$  - Elâstisite modülü (*Mil malzemesi için*) } (*Cetvel 10,11*)

$$p_H < 0,2 \cdot \sigma_{dF} \quad (89)$$

olmalıdır.

$\sigma_{dF}$  - Ezilme sınırı (*Basmada akma sınırı*), yatak malzemesi için (*Cetvel 10*)



**Cetvel 10** – Normlaştırılmış (Standart) kaymalı yatak malzemeleri için,  $\sigma_{dF}$  ezilme sınırı ve E elastisite modülü değerleri (Roloff/Matek)

| <i>DIN</i> | <i>Sembol</i>               | <i>Min.<br/><math>\sigma_{dF}</math><br/>N/mm<sup>2</sup></i> | <i>E-Modülü<br/>10<sup>3</sup> N/mm<sup>2</sup></i> |
|------------|-----------------------------|---|---|
| 1703       | <i>Lg PbSn10<br/>(WM10)</i> | 70  | 31  |
|            | <i>Lg Sn80<br/>(WM80)</i>   | 60  | 57  |
|            | <i>Lg Sn89</i>              | 45  | 58  |

**Cetvel 11** – Çeşitli malzemeler için E- modülü değerleri (Roloff / Matek)

| <i>Malzeme</i>                        | <i>E-Modülü<br/>N/mm<sup>2</sup></i> | <i>Malzeme</i>                          | <i>E-Modülü<br/>N/mm<sup>2</sup></i> |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| <i>Çelik, çelik<br/>döküm</i>         | 210000                               | <i>Küresel grafitli<br/>dökme demir</i> | 175000                               |
| <i>Lamel grafitli<br/>dökme demir</i> |                                      | <i>GGG-40</i>                           |                                      |
| <i>GG-10</i>                          | 88000                                | <i>GGG-50</i>                           |                                      |
| <i>GG-15</i>                          | 95000                                | <i>GGG-60</i>                           |                                      |
| <i>GG-20</i>                          | 105000                               | <i>GGG-70</i>                           |                                      |
| <i>GG-25</i>                          | 115000                               | <i>GGG-80</i>                           | 175000                               |
| <i>GG-30</i>                          | 125000                               | <i>Temper dökme<br/>demir</i>           |                                      |
| <i>GG-35</i>                          | 135000                               | <i>GTW-40</i>                           |                                      |
| <i>GG-40</i>                          | 140000                               | <i>GTS-35</i>                           |                                      |
|                                       |                                      |   |                                      |

### 11) Radyal yataklarda hesap yöntemi ;

Çoğunlukla bilinen değerler:

$F$  - Yatak yükü.

$n$  - İşletme devir sayısı

$\vartheta_0$  - Çevre ortam sıcaklığı

$d$  - Mil çapı

ve,

yağ özellikleridir. (*Viskozitenin seçimi için  $\eta \cdot u \leq 0,1 \dots 0,3 \text{ N/m}$  amprik denklemi kullanılabilir*)

- a)  $\beta = 0,5 \dots 1,0$  değeri ile  $b = \beta \cdot d$  bulunur;
- b) Ortalama yatak basıncı  $\bar{p} = F / b \cdot d < \bar{p}_{em}$  (Cetvel 1'e göre öngörülen) olmalıdır;
- c)  $S_0 > 1$  kabulü ile hesaba devam edilir;
- d) Isınma faktörü  $W = 30 \cdot V \cdot \sqrt{\bar{p} \cdot n^3} / (\alpha^* \cdot A)$  bulunur;
- e) Yatak işletme sıcaklığı  $\vartheta$ , Şekil 20 den tespit edilir. Eğer  $\vartheta$ , sınır sıcaklık değerinden ( $70 \dots 90^\circ C$ ) daha büyük ise,  $\vartheta = 60^\circ C$  kabul edilerek ilave soğutma yapılır;
- f) İşletme viskozitesi  $\eta = \left[ \vartheta - \vartheta_0 / W \right]^2$  bağıntısından hesaplanır veya şekil 21 deki diyagramdan okunur;
- g)  $Y = \frac{\eta \cdot n}{\bar{p}} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}$  yardımcı faktörü hesaplanarak  $\delta = 0,2 \dots 0,4$  için, rölatif yatak boşluğu  $\psi$ , Şekil 19 dan alınır.  $\delta$ , seçilmiş bulunan  $\beta / 1 + \beta$  değerinden daha küçük olmalıdır. Uygun olmayan büyük  $\psi$  değerleri meydana gelebilir.  $\psi$ 'nin tespitinde (q) şıkında olduğu gibi  $S_0 < 1$  için yeniden (tekrar) hesap yapılır;
- h) Sommerfeld sayısı  $S_0 = \bar{p} \cdot \psi^2 / 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \eta > 1$ ; hesaba devam edilir;
- i) Rölatif (izafi) imalat boşluğu, rölatif (izafi) yatak boşluğu (imalat veya son ölçüsü verilmiş yatak için), rölatif (izafi) yatak imalat boşluğu  $\psi_0$ ;

$$\psi_0 = \psi + \alpha_w \cdot \vartheta - \vartheta_0 - 0,7 \cdot \alpha_L \cdot \vartheta - \vartheta_0 \quad (90)$$

$$\frac{\alpha_w}{1/^\circ C} \mid \frac{\vartheta, \vartheta_0}{^\circ C} \mid \frac{\alpha_L}{1/^\circ C}$$

bağıntısından hesaplanır.  $\psi_0$ ; mil ve yatak zarfının ısıl genleşmelerinden dolayı  $\psi$  den farklı ve daha büyüktür.

$\alpha_w$  - Mil malzemesi için ısıl genleşme katsayısı (Cetvel 12)

$\alpha_L$  - Yatak malzemesi için ısıl genleşme katsayısı (Cetvel 13)

ayrıca Niemann ; Semantasyon ile sertleştirilmiş 16MnCr5 çelik malzeme için,

$$\alpha_w = 14 \cdot 10^{-6} / K \quad (91)$$

ortalama değerini vermiştir ( $+20^\circ C$  ve  $+100^\circ C$  arasında).

**Cetvel 12** – DIN7190'a göre, ısıl genişleme katsayısı değerleri (Roloff/Matek)

| Malzeme      | $\alpha_w [1/^\circ C]$   |
|--------------|---------------------------|
| St           | $11 \cdot 10^{-6}$        |
| GG           | $10 \cdot 10^{-6}$        |
| Cu - alaşımı | $(16...18) \cdot 10^{-6}$ |
| Al - alaşımı | $23 \cdot 10^{-6}$        |

**Cetvel 13** – Normlaştırılmış (standart) kaymalı yatak malzemeleri için, ısıl genişleme katsayıları (Roloff/Matek).

| DIN  | Sembol              | $\alpha_L [1/^\circ C]$ |
|------|---------------------|-------------------------|
| 1703 | Lg PbSn10<br>(WM10) | $24,5 \cdot 10^{-6}$    |
|      | Lg Sn80<br>(WM80)   | $22 \cdot 10^{-6}$      |
|      | Lg Sn89             | $23 \cdot 10^{-6}$      |

İmalat boşluğu veya yatak imalat boşluğu  $s_o$  ise,

$$s_o = \psi_o \cdot d \quad \frac{s_o}{m} \Big| \frac{d}{m} \quad (92)$$

eşitliğinden hesaplanır ve ISO- toleranslarına uygun olarak tespit edilir (*Yaklaşık olarak tolerans bölgesinin ortalama uzaklığı*).  $s_o$ , milin ve yatağın imalat toleransları için önemli bir büyüklüktür.

j) Sürtünme katsayısı  $\mu = \frac{3 \cdot \psi}{\sqrt{S_0}}$  bulunur;

k) Sürtünme gücü  $P_R = F \cdot \mu \cdot \pi \cdot d \cdot n$  veya  $P_R = \phi \cdot \sqrt{\eta}$  hesaplanır;

l) En küçük yağ filmi kalınlığı (*işletme devir sayısında*)  $h_0 = \delta \cdot \psi \cdot d/2$  elde edilir;

m) Geçiş devir sayısı  $n_{ii} = h_{0ii} \cdot n/h_0$  ve emniyetli sıvı sürtünmenin olduğu en düşük devir sayısı  $n_{min} = h_{min} \cdot n/h_0$  Şekil 16 dan alınan  $h_{0ii}$  ve  $h_{min}$  değerleri ile hesaplanır;

n) Yağ ihtiyacı  $Q_S = 0,75 \cdot h_0 \cdot b \cdot \pi \cdot d_n$  denkleminde bulunur;

o) (e) şikkındaki  $\theta$  sıcaklığının yüksek çıkması halinde,  $Q_K$  hesaplanır;

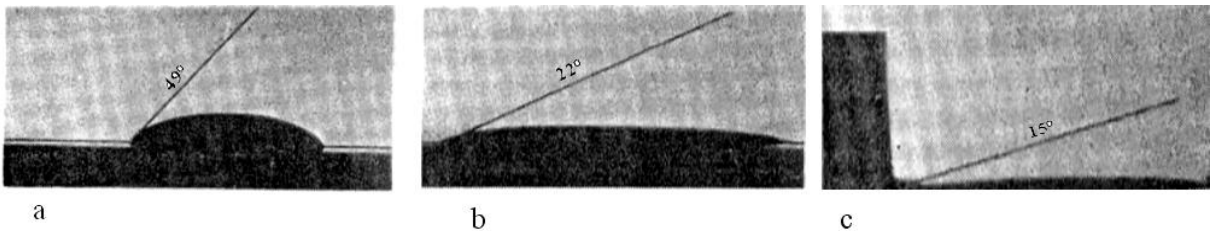
- p) Hertz basıncı  $p_H = 0,591 \cdot \sqrt{E \cdot \bar{p} \cdot \psi}$  kontrolü yapılır;
- q)  $S_0 < 1$  olan yataklarda: Tahminen  $50^\circ \dots 60^\circ C$  deki  $\eta$  ile acaba  $S_0 < 1$  kontrolü yapılır;
- r) Isınma faktörü  $W' = 75 \cdot V \cdot n^2 / \psi \cdot \alpha^* \cdot A$  hesaplanır ve Şekil 23 ten yatak işletme sıcaklığı  $\mathcal{G}$  tespit edilir.  $\mathcal{G}$  nın yüksek çıkması halinde, (o) şıkında olduğu gibi ilave soğutma göz önüne alınır ve  $\mathcal{G} = 60^\circ C$  ile hesap yapılır;
- s) İşletme viskozitesi,  $\eta = \mathcal{G} - \mathcal{G}_0 / W'$  bağıntısından bulunur veya Şekil 21 deki diyagramdan alınır;
- t) Sommerfeld sayısı  $S_0$  ve sürtünme katsayısı  $\mu = 3 \cdot \psi / S_0$  hesaplanır;
- u) Sürtünme gücü  $P_R = F \cdot \mu \cdot \pi \cdot d \cdot n$  veya  $P_R = \phi' \cdot \eta$  bulunur;
- v)  $h_0 = \frac{s}{2} \cdot \left[ 1 - \frac{S_0}{2} \cdot \frac{1 + \beta}{2\beta} \right]$  hesaplanır;
- w)  $n_{ii} = h_{0ii} \cdot n / h_{0_1}$  ve  $n_{min.} = h_{min.} \cdot n / h_{0_1}$  değerleri elde edilir;
- x) Yağ ihtiyacı, soğutma yağı miktarı (*soğutucu yağ debisi*), imalat boşluğu ve Hertz basıncı,  $S_0 > 1$  halindeki gibi hesaplanır.

## 12) 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.

Genel olarak bir yatak malzemesinden şu özelliklere sahip olması istenir :

- a) Yağ tarafından iyi ıslatılabilmelidir (Şekil 27). Yarı sıvı veya sınır sürtünmesi hallerinde büyük önem taşır.

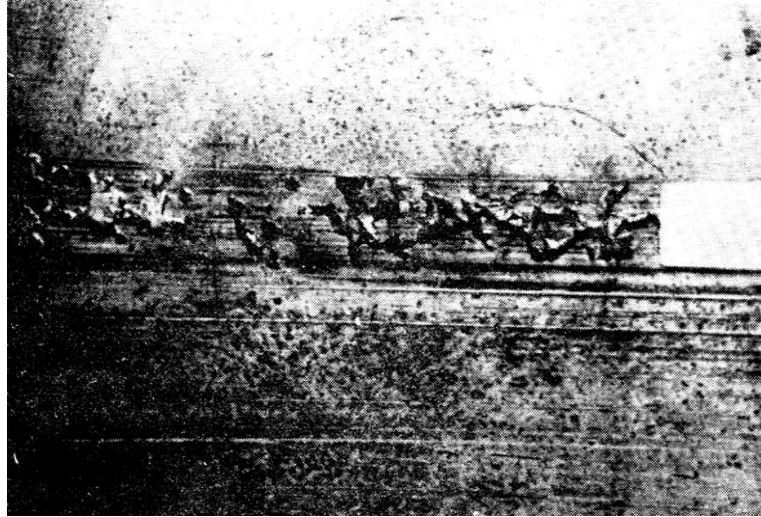


**Şekil 27** – Yüzey durumuna göre yağın yayılma etkisinin değişimi  
(Prof.Dr.Lütfullah ULUKAN)

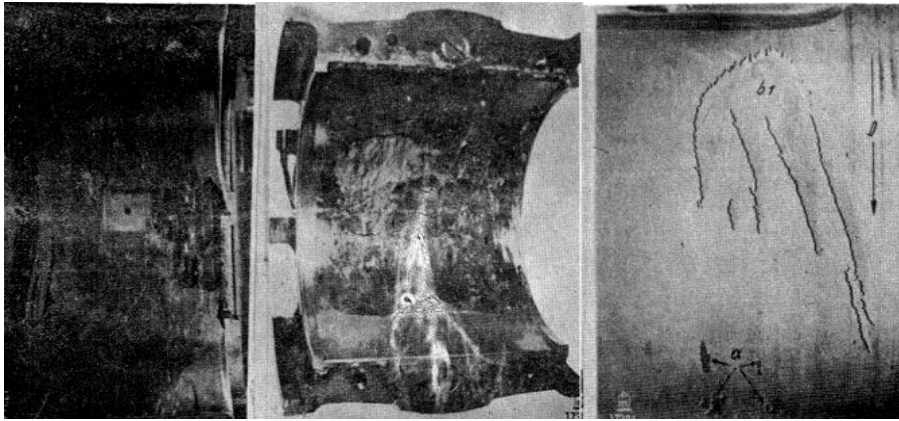
- a) Kenar açısı ( $49^\circ$ ) büyük, yayılma dolayısıyla ıslatma durumu iyi değil.
- b) Kenar açısı oldukça küçük, yayılma durumu daha iyi.
- c) Yayılma durumu (b) den daha iyi.

**b)** 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 28 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 29 bu şekildeki hataların etkisini göstermektedir.



**Şekil 28** – Beyaz maden kaplı yatak yüzeyinde yorulma kırılmaları (L.ULUKAN)



**a**

**b**

**c**

**Şekil 29** – 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 metaller (DIN1703;Cetvel 14)

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 metallerin yerine çoğu zaman kalayı az  $< \%10 Sn$  beyaz metaller (*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 14** – DIN 1703'e göre beyaz madenin özellikleri  
(Prof.Dr.M.Nimet ÖZDAŞ – Prof.Dr.Mustafa GEDİKTAŞ)

| İsim           | Sembol           | Kimyasal Bileşim<br>%  | Brinell Sertliği<br>HB kp/mm <sup>2</sup> | Kullanıldığı yerler   |  |
|----------------|------------------|--|---|---|--|
| Beyaz Maden 5  | Lg PbSn5 (WM5)   | Sn 4,5 ... 5,5 (5)<br>Cu 0,5 ... 1,5 (1)<br>Sb 14,5 ... 16,5 (15)<br>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)<br>Cu 0,5 ... 1,5 (1)<br>Sb 14,5 ... 16,5 (15,5)<br>Pb 72,5 ... 74,5 (73,5) | 23  |   | Elektrik motorları, dişli kutuları, takım tezgahları |
| Beyaz Maden 80 | Lg Sn80 (WM80)   | Sn 79 ... 81 (80)<br>Cu 5 ... 7 (6)<br>Sb 11 ... 13 (12)<br>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 15)

$HB \cong 60...100$ , 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 15);

Bu malzeme darbe halindeki yüklere 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...3mm 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):

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

— Alüminyum Bronzu (*DIN 1714 ; Cetvel 15*);

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 :  $\bar{p} = 500...200 \text{ N/cm}^2$  ;  $u = 0,1...3 \text{ m/s}$

— Çinko Alaşımları (*DIN 1729*)

$HB = 40...80$  ; alışması ve yetersiz yağlama şartlarında çalışma özellikleri iyidir. Yatak boşluğu  $\cong 1,5 \cdot d/1000$ ; müsaade edilen en yüksek yatak sıcaklığı  $80^\circ\text{C}$  dir.

— Magnezyum – dövülebilir alaşımları (*DIN 1729*);

Dolu yatak olarak az ve orta dereceli yükler için, örneğin; eksantrik milleri ve yağ pompaları için kullanılabilir. Sıcaktan 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 15** – Bakır alaşımları. Cu için :  $\rho = 8,9 \text{ kg} / \text{dm}^3$   $E = 123000 \text{ N} / \text{mm}^2$  . G-Bz için:  $E = 114000 \text{ N} / \text{mm}^2$ .  $\sigma_B^*$  – Statik çekme mukavemeti (kp ve N arasındaki çevirme faktörü 9,81 alınmıştır. \* dan dolayı)

| DIN  | İSİM                      | SEMBOL      | Kimyasal Bileşim % |           |           |           |              | Mukavemet Değerleri                       |                      |           | Kullanıldığı yerler                                 |
|------|---------------------------|-------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|---|----------------------|-----------|---|
|      |                           |             | <i>Cu</i>          | <i>Zn</i> | <i>Pb</i> | <i>Sn</i> | <i>Diğer</i> | $\sigma_B^*$<br><i>N / mm<sup>2</sup></i> | $\delta$<br><i>%</i> | <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 yatak malzemeleri mevcuttur.

**Cetvel 16** – Plastik malzemelerin (Polyamid ve Teflon), kayma sürtünme katsayıları  $\mu$  ve aşınma miktarları  $V$ .

\* *Hachmann ve Strickle*'ye göre : Alışma 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               | <i>Plastik mal./Sert Çelik</i> |              | <i>Plastik mal./Plastik mal.**</i> |      |      |
|-----------------------|--------------------------------|--------------|------------------------------------|------|------|
|                       | (Kuru Çalışma *)               |              | $\mu$ ; ile yağlamada              |      |      |
|                       | $\mu$                          | $V \mu m/km$ | 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.  $\bar{p} \cong 50N/cm^2$ ,  $u \cong 0,5...25m/s$ .

— 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 makinelerinde 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 ( $600^{\circ}C$  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.

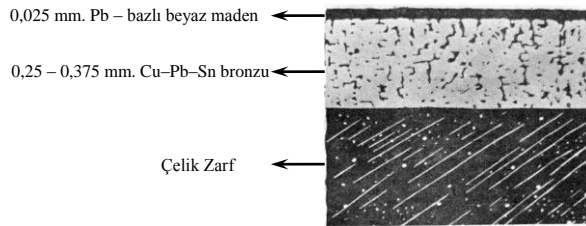
Özet olarak, kaymalı yatak malzemelerinin seçimi için Cetvel 17 den faydalanılabilir.

### 13) Çok tabakalı yataklar ;

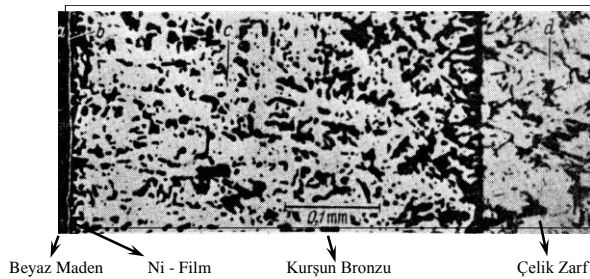
Büyük zorlanmaya çalışan yataklarda tek bir yatak malzemesi yerine, birkaç yatak malzemesi tabakasını bir arada bulandıran yatak tipleri kullanılır. Şekil 30 ve Şekil 31 bunu şematik olarak göstermektedir.

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 30 – Üç tabakalı yatak (L.ULUKAN)



Şekil 31 – Dört tabakalı yatak (L.ULUKAN)

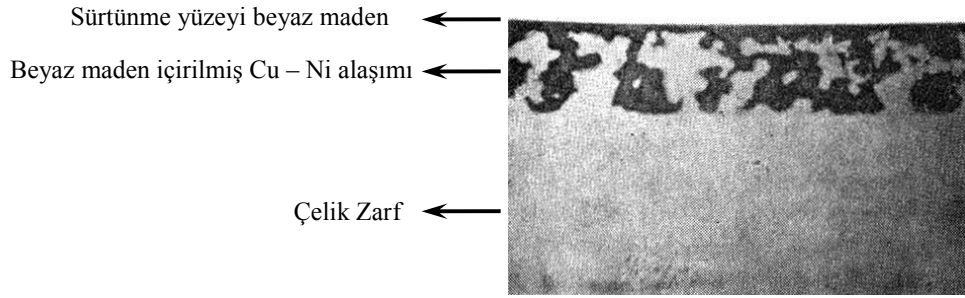
**Cetvel 17 – Kaymalı yatak malzemelerinin istenilen özelliklere göre seçimi (Roloff / Matek)**

⊙: 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 32 –  tabakalı Moraine-100 yatağı

### **rnek 1 :**

$N=600 \text{ kW}$  ve  $n=5 \text{ d/sn.}$  olan bir mekanizma Radyal yatağının hesabı istenmektedir.

### **Verilenler :**

$$d = 30 \text{ cm.} = 0,3 \text{ m.}$$

$$F = 95000 \text{ N}$$

$$\eta = 40 \text{ cP (} 50^\circ\text{C de)}$$

evre ortam sıcaklığı ;  $\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$

Malzeme ifti: elik/Beyaz metal tabakası

### **Hesap :**

a) Yatak genişliği (*taşıyıcı yatak genişliği*)  $b$ ;

$$\beta = b/d = 0,5 \dots 1,0 \quad (\text{Kısım 12 a})$$

$$\beta = 0,8 \text{ ile}$$

$$b = \beta \cdot d = 0,8 \cdot 30$$

$$\underline{\underline{b = 24 \text{ cm} = 0,24 \text{ m}}}$$

elde edilir.

b) Ortalama yüzey basıncı  $\bar{p}$  ;

$$\bar{p} = \frac{F}{b \cdot d} < \bar{p}_{em} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

$$\bar{p} = 95000 / (30 \cdot 24)$$

$$\underline{\underline{\bar{p} = 132 \text{ N / cm}^2 = 1,32 \cdot 10^6 \text{ N / m}^2}}$$

Beyaz metal yataklar için;

$$\bar{p}_{em} \cong 100 \dots 300 \text{ N/cm}^2 \quad \text{Eşitlik 85}$$

$$\underline{\underline{\bar{p} (=132 \text{ N/cm}^2) < \bar{p}_{em} (=100 \dots 300 \text{ N/cm}^2)}}$$

dir.

c) Açısal hız  $\omega$  ;

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (\text{Eşitlik 11})$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 5$$

$$\underline{\underline{\omega = 31,4 \text{ 1/sn.}}}$$

• Çevre hızı  $u$ ;

$$u = \pi \cdot d \cdot n = 0,5 \cdot \omega \cdot d \quad (\text{Eşitlik 17})$$

$$u = 0,5 \cdot 31,4 \cdot 0,3$$

$$\underline{\underline{u = 4,7 \text{ m/sn}}}$$

• Dinamik işletme viskozitesi  $\eta$  (Geçici değer);

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

geçici değeri ile,

$$\left. \begin{array}{l} g_{geçici} = 60^\circ\text{C} \\ \eta = 40 \text{ cP}(50^\circ\text{C}) \end{array} \right\} \underline{\underline{\eta_{geçici} = 0,026 \text{ Ns/m}^2}} \quad (\text{Şekil 21})$$

bulunur.

• İzafi yatak boşluğu  $\Psi$  (Geçici değer);

$$\psi_{geçici} \cong 1 \cdot 10^{-3} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

veya

$$\psi_{geçici} = 0,8 \cdot \sqrt[4]{u} \cdot 10^{-3} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

$$\psi_{geçici} = 0,8 \cdot \sqrt[4]{4,7} \cdot 10^{-3}$$

$$\psi_{geçici} = 1,178 \cdot 10^{-3}$$

ancak bu değerden  $\pm$  %25 civarında sapılabilir (s:23)

$$\underline{\underline{\psi_{geçici} \cong 1 \cdot 10^{-3}}} \quad (\text{Kabul})$$

Sommerfeld sayısı  $S_0$  (Geçici değer);

$$\bullet \quad S_0 = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} \quad (\text{Eşitlik 9})$$
$$S_{0_{\text{geçici}}} = \frac{1,32 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^{-3}^2}{0,026 \cdot 31,4}$$
$$\underline{\underline{S_{0_{\text{geçici}}} \cong 1,6 > 1}}$$

şeklinde bulunur.

d) Isınma faktörü  $W$ ;

$$W = \phi / \alpha^* \cdot A = 30 \cdot V \cdot \sqrt{\bar{p} \cdot n^3} / \alpha^* \cdot A \quad (\text{Eşitlik 36 ve 22})$$

$V$  – Yatak muylusunun hacmi,

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot b \quad (\text{Eşitlik 19})$$
$$V = \frac{\pi \cdot 0,3^2}{4} \cdot 0,24$$
$$\underline{\underline{V = 0,0169 \text{ m}^3}}$$

$\alpha^*$  - Isı taşınım katsayısı

Doğal ısı taşınımında normal şartlar için,

$$\alpha^* = 20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}) = 20 \text{ Nm}/(\text{m}^2 \text{sK}) \quad (\text{Eşitlik 29})$$

A– Yatağın ısı veren üst yüzeyi veya yatak soğutma yüzeyi

Makine birleşik (çok tabakalı) yataklar için

$$A = (15 \dots 25) b \cdot d \quad (\text{Eşitlik 34})$$
$$A = 15 \cdot b \cdot d = 15 \cdot 0,24 \cdot 0,30$$
$$A = 1,08 \text{ m}^2$$



Bu değerlerle ,

$$W = 30 \cdot V \cdot \sqrt{\bar{p} \cdot n^3} / \alpha^* \cdot A = 30 \cdot 0,0169 \cdot \sqrt{1,32 \cdot 10^6 \cdot 5^3} / 20 \cdot 1,08$$
$$\underline{\underline{W = 302mK / (Ns)^{1/2}}}$$

elde edilir.

e) Yatak işletme sıcaklığı

$\mathcal{G}$  (kesin değer),

$$\left. \begin{array}{l} W = 302mK / (Ns)^{1/2} \\ \eta = 40 cP(50^\circ C) \end{array} \right\} \underline{\underline{\mathcal{G}_{kesin} = 66^\circ C}} \quad (\text{Şekil 20})$$

f) Dinamik işletme viskozitesi

$\eta$  (Kesin değer)

$$\eta = \left( \frac{\mathcal{G} - \mathcal{G}_0}{W} \right)^2 \quad (\text{Eşitlik 39})$$

$$\eta_{kesin} = \left( \frac{66 - 20}{302} \right)^2$$

$$\underline{\underline{\eta_{kesin} = 0,023Ns / m^2 = 23cP}}$$

veya;

$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{G}_{kesin} = 66^\circ C \\ \eta = 40 cP(50^\circ C) \end{array} \right\} \underline{\underline{\eta_{kesin} = 0,023Ns / m^2 = 23cP}} \quad (\text{Şekil 21})$$

aynı sonuç bulunur.

g) İzafi yatak boşluğu  
 $\psi$  (Kesin değer)

- Yardımcı faktör  $Y$ ,

$$Y = \frac{\eta \cdot n}{\bar{p}} \cdot \frac{2\beta}{1+\beta} \text{ (Şekil19)}$$

$$Y = \frac{0,023 \cdot 5}{1,32 \cdot 10^6} \cdot \frac{2 \cdot 0,8}{1+0,8}$$

$$Y = 7,7 \cdot 10^{-8}$$

- İzafi yağ filmi kalınlığı  $\delta$ ,

$$\delta = 0,3 \text{ (Eşitlik 70)}$$

$$\left. \begin{array}{l} Y = 7,7 \cdot 10^{-8} \\ \delta = 0,3 \end{array} \right\} \underline{\underline{\psi_{geçici} = 0,9 \cdot 10^{-3}}} \text{ (Şekil19)}$$

KONTROL :

$$\delta < \frac{\beta}{1+\beta} \text{ olmalıdır. (Kısım 11g).}$$

$$\delta = (0,3) < \frac{0,8}{1+0,8}$$

$$\delta (= 0,3) < \frac{\beta}{1+\beta} (= 0,44)$$

uygundur.

Dolayısıyla işletme yatak boşluğu  $s$ ;

$$s = \psi \cdot d \text{ (Eşitlik 5)}$$

$$s = 0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 300$$

$$\underline{\underline{s = 0,27 \text{ mm}}}$$

şeklinde hesaplanır.

h) Sommer feld sayısı  $S_0$  (Kesin değer);

$$S_0 = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

$$S_{0_{\text{geçici}}} = \frac{1,32 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}^2}{0,023 \cdot 31,4}$$

$$\underline{\underline{S_{0_{\text{geçici}}} \cong 1,48 > 1}}$$

şeklinde hesaplanır.

i) İzafi yatak imalat boşluğu  $\psi_o$ ;

$$\psi_o = \psi + \alpha_w \cdot (\vartheta - \vartheta_o) - 0,7 \cdot \alpha_L \cdot (\vartheta - \vartheta_o) \quad (\text{Eşitlik 90})$$

Nieman ısı genleşme katsayısını

Çelik için;

$$\alpha_w = 16 \cdot 10^{-6} / ^\circ C \quad (93)$$

Beyaz metal için;

$$\alpha_L = 18 \cdot 10^{-6} / ^\circ C \quad (94)$$

olarak vermiştir. Bu değerleri kullanırsak,

$$\psi_o = 0,9 \cdot 10^{-3} + 16 \cdot 10^{-6} \cdot 66 - 20 - 0,7 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 66 - 20$$

$$\underline{\underline{\psi_o = 1,05 \cdot 10^{-3}}}$$

bulunur.

Yatak imalat boşluğu  $s_0$  ise,

$$s_0 = \psi_o \cdot d \quad (\text{Eşitlik 92})$$

$$s_0 = 1,05 \cdot 10^{-3} \cdot 300$$

$$s_0 = 0,315 \text{ mm}$$

olur.

j) Sürtünme katsayısı  $\mu$ ;

$$\mu = 3 \cdot \psi / \sqrt{S_0} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

$$\mu = 3 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} / \sqrt{1,48}$$

$$\mu = 0,00221 = 2,21 \cdot 10^{-3}$$

k) Sürtünme gücü  $P_R$ ;

$$p_R = F \cdot \mu \cdot u \quad (\text{Eşitlik 15})$$

$$p_R = F \cdot \mu \cdot \pi \cdot d \cdot n = 95000 \cdot 2,21 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 0,3 \cdot 5$$

$$\underline{\underline{p_R = 0,989 \text{ kW}}}$$

veya,

$$p_R = \phi \sqrt{\eta} \quad (\text{Eşitlik 21})$$

$$\phi = 12 \cdot V \cdot \sqrt{p \cdot n^3 \cdot 2 \cdot \pi} = 30 \cdot V \cdot \sqrt{p \cdot n^3} \quad (\text{Eşitlik 22})$$

$$\phi = 30 \cdot 0,0169 \cdot \sqrt{1,32 \cdot 10^6 \cdot 5^3}$$

$$\phi = 6512,53$$

$$p_R = 6512,53 \cdot \sqrt{0,023} \cong 988 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{p_R = 0,988 \text{ kW}}}$$

aynı sonuç bulunur.

l) Minimum (en küçük) yağ filmi kalınlığı (işletme devir sayısında  $h_o$ )

$$h_o = \frac{\delta \cdot s}{2} = \delta \cdot \psi \cdot d / 2 \quad (\text{Eşitlik 66})$$

$$h_o = 0,3 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3 / 2$$

$$\underline{\underline{h_o = 0,040 \cdot 10^{-3} \text{ m}}}$$

m) Geçiş devir sayısı (Sıvı sürtünmeye geçiş devir sayısı)  $n_{ii}$ ;

$$n_{ii} = \frac{h_{oi}}{h_o} \cdot n \quad (\text{Eşitlik 71})$$

$h_{oi}$  – Minimum yağ filmi kalınlığı (geçiş devir sayısında)

$$d = \phi 300 \text{ mm için}$$

$$\underline{\underline{h_{oi} = 5,3 \mu\text{m} = 5,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}}} \quad (\text{Şekil 16, Cetvel 9})$$

$$n_{ii} = \frac{5,3 \cdot 10^{-6}}{0,040 \cdot 10^{-3}} \cdot 5$$

$$\underline{\underline{n_{ii} = 0,66 \text{ d / s}}}$$

veya,

Vogelpohl' a göre;

$$n_{ii} = K_{ii} \cdot \frac{F}{\eta \cdot V} \quad (\text{Eşitlik 72})$$

$$n_{ii} = 1,7 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{95000}{0,023 \cdot 0,0169}$$

$$\underline{\underline{n_{ii} = 0,415 d / s}}$$

bulunur.

Minimum devir sayısı  $n_{\min}$  ise;

$$n_{\min} = \frac{h_{\min}}{h_o} \cdot n \quad (\text{Eşitlik 79})$$

ile hesaplanabiliyordu. Burada,

$h_{\min}$  – Müsaade edilen (emniyetli) minimum yağ filmi kalınlığı.

$$d = \phi 300 \text{ mm için}$$

$$h_{\min} = 13 \mu\text{m} = 13 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad (\text{Şekil 16, Cetvel 9})$$

$$T_f \cong 15 \mu\text{m}$$

$$R_t \cong 3 \dots 4 \mu\text{m} (\text{Taşlanmış yüzeye karşılık gelir})$$

$R_t$  – Pürüz derinliği (Yüzey kalitesi)

$T_f$  – Form (Şekil) toleransı

$$n_{\min} = \frac{13 \cdot 10^{-6}}{0,040 \cdot 10^{-3}} \cdot 5$$

$$\underline{\underline{n_{\min} = 1,62 d / s = 97,2 d / \text{dak.}}}$$

n) Gerekli yağ ihtiyacı  $Q_s$ ;

$$Q_s = 0,75 \cdot h_o \cdot b \cdot u \quad (\text{Eşitlik 81,83})$$

$$Q_s = 0,75 \cdot 0,040 \cdot 10^{-3} \cdot 0,24 \cdot 4,7$$

$$\underline{\underline{Q_s = 0,0338 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}}$$

veya,

$$Q_s = 0,0338 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \cdot 60$$

$$\underline{\underline{Q_s = 2,03 \text{ lit} / \text{dak}}}$$

olur.

- o) İlave soğutma gerekliliği;  
İlave soğutmaya gerek yok çünkü,

$$\vartheta = 66^{\circ}\text{C} \langle \vartheta_{\text{snur}} = 70...90$$

dır.

- p) Hertz basıncı  $p_h$  ;

$$p_h \cong 0,591 \cdot \sqrt{E \cdot \bar{p} \cdot \psi} \quad (\text{Eşitlik87})$$

Yatak ve mil malzemeleri farklı olduğundan E elastisite modülü,

$$E = \frac{2 \cdot E_L \cdot E_W}{E_L + E_W} \quad (\text{Eşitlik88})$$

ile hesaplanır.

$$\left. \begin{array}{l} E_W - \text{Mil malzemesi} \\ E_L - \text{Yatak malzemesi} \end{array} \right\} \text{ için elastisite modülleri.}$$

Mil : Çelik

$$E_W = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21 \cdot 10^{10} \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Cetvel11})$$

Yatak zarfı : Beyaz metal

$$\text{WM 10} \rightarrow E_L = 31000 \text{ N/mm}^2 = 3,1 \cdot 10^{10} \text{ N/mm}^2 \quad \text{Cetvel10}$$

$$\text{WM 9} \rightarrow E_L = 50000 \text{ N/mm}^2 = 5 \cdot 10^{10} \text{ N/mm}^2 \quad \text{Niemann}$$

WM 9 kullanırsak,

$$E = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{10} \cdot 21 \cdot 10^{10}}{5 \cdot 10^{10} + 21 \cdot 10^{10}}$$

$$\underline{\underline{E = 8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2}}$$

dolayısıyla,

$$p_H \cong 0,591 \sqrt{8 \cdot 10^{10} \cdot 1,32 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}}$$

$$\underline{\underline{p_H \cong 5,76 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 5,76 \text{ N/mm}^2}}$$

olarak bulunur.

**Kontrol :**

$$p_h \leq 0,2 \cdot \sigma_{dF} \quad (\text{Eşitlik89})$$

olmalıdır.

$\sigma_{dF}$  – Ezilme sınırı(Basmada akma sınırı)

$$WM 10 \rightarrow \sigma_{dF} = 70N / mm^2$$

$$WM 9 \rightarrow \sigma_{dF} = 57N / mm^2$$

Nieman : VDI2203– Yatak malzemelerinin karakteristik değeri

$$0,2 \cdot \sigma_{dF} = 0,2 \cdot 57 = 11,4N / mm^2$$

$$\underline{\underline{p_H = 5,76N / mm^2 < 0,2\sigma_{dF} = 11,4N / mm^2}}$$

uygundur.

$$\bullet \quad \bar{p} \cdot u_{ii} > 12 \cdot 10^5 \quad (\text{Eşitlik4})$$

olmamalıdır (Beyaz metal yataklarda).

$$\bar{p} \cdot u_{ii} = \bar{p} \cdot \pi \cdot d \cdot n_{ii} = 1,32 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,3 \cdot 0,66$$

$$\underline{\underline{\bar{p} \cdot u_{ii} = 8,21 \cdot 10^5 N / (m \cdot s)}}$$

$$\underline{\underline{\bar{p} \cdot u_{ii} = 8,21 \cdot 10^5 N / m \cdot s < 12 \cdot 10^5 N / m \cdot s}}$$

uygundur.

### **Örnek 2:**

$N=5600 kW$  ve  $n=25 d/s = 1500 d/d$  olan bir elektrik motoruna ait radyal yatağın hesabı istenmektedir.

#### **Verilenler:**

$$d = 200mm = 0,2m$$

$$F = 17900 N$$

$$\eta = 25cP \quad 50^\circ C \text{ de}$$

Çevre ortam sıcaklığı;  $\vartheta_0 = 20^\circ C$

Malzeme çifti: Çelik/Beyaz metal zarf

#### **Hesap:**

a) Yatak genişliği (taşıyıcı yatak genişliği)  $b$ ;

$\beta$  boyut oranı,

$$\beta = b/d = 0,5 \dots 1,0$$

Kısım12a

$$\beta = 0,8 \text{ ile}$$

$$b = \beta \cdot d = 0,8 \cdot 0,2$$

$$\underline{\underline{b = 0,16 = 160mm}}$$

b) Ortalama yüzey basıncı  $\bar{p}$  ;

$$\bar{p} = \frac{F}{b \cdot d} \quad \text{Eşitlik 10}$$

$$\bar{p} = 17900 / 0,16 \cdot 0,2$$

$$\bar{p} \cong 55,9 \cdot 10^5 \text{ N / m}^2 = 55,9 \text{ N / cm}^2$$

$$\bar{p} 55,9 \text{ N / cm}^2 < p_{em} = 100 \dots 300 \text{ N / cm}^2$$

uygundur.

c) Açısal hız  $\omega$ ;

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad \text{Eşitlik 11}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 25$$

$$\omega = 157 \text{ s}^{-1}$$

• Çevre hızı  $u$  ;

$$u = \pi \cdot d \cdot n \quad \text{Eşitlik 17}$$

$$u = \pi \cdot 0,2 \cdot 25$$

$$u = 15,7 \text{ m/s}$$

• Dinamik işletme viskozitesi  $\eta$  (Geçici değer);

$$g = 70^\circ\text{C}$$

geçici değeri ile,

$$\left. \begin{array}{l} g_{geçici} = 70^\circ\text{C} \\ \eta = 25 \text{ cP}(50^\circ\text{C}) \end{array} \right\} \eta_{geçici} = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ Ns/m}^2 = 0,012 \text{ Ns/m}^2 \quad (\text{Şekil 21})$$

bulunur.

• İzafi yatak boşluğu  $\Psi$  (Geçici değer);

$S_0 > 1$  kabulü ile hesaba devam ediyoruz ancak,  $\Psi$  büyük çıkar ise bu varsayım mümkün olmayabilir. Şekil 19 da bu düşünceyi doğrulamaktadır.

Yardımcı faktörler  $Y$  ;

$$Y = \frac{\eta \cdot n}{p} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta} \quad \text{Şekil 19}$$

$$Y = \frac{0,012 \cdot 25}{5,59 \cdot 10^5} \cdot \frac{2 \cdot 0,8}{1 + 0,8}$$

$$Y = 4,7 \cdot 10^{-7}$$



İzafi yağ filmi kalınlığı  $\delta$  ;

$$\delta < \frac{\beta}{1 + \beta} \quad \text{olmalıdır} \quad \text{Kısım 11 g}$$

$$\delta_{\max.} = \frac{\beta}{1 + \beta} = \frac{0,8}{1 + 0,8}$$

$$\underline{\underline{\delta_{\max.} = 0,44}}$$

Şu halde,

$$\left. \begin{array}{l} Y = 4,7 \cdot 10^{-7} \\ \delta_{\max.} = 0,44 \end{array} \right\} \underline{\underline{\psi_{geçici} = 1,85 \cdot 10^{-3}}} \quad (\text{Şekil 19})$$

bulunur.

- İşletme yatak boşluğu  $s$  (Geçici değer);

$$s = \psi \cdot d \quad \text{Eşitlik 5}$$

$$s_{geçici} = 1,85 \cdot 10^{-3} \cdot 200$$

$$\underline{\underline{s_{geçici} = 0,37 \text{ mm}}}$$

Ancak, bir elektrik motoru için rotor/satator arasındaki hava aralığı yaklaşık olarak 0,17 mm alınabilir dolayısıyla,

$$s_{kesin} = 0,17 \text{ mm}$$

olarak seçilir ve,

$$\psi_{kesin} = \frac{s_{kesin}}{d} = \frac{0,17}{200}$$

$$\underline{\underline{\psi_{kesin} = 0,85 \cdot 10^{-3}}}$$

değeri bulunur.

- Sommerfeld sayısı  $S_0$  (Geçici değer);

$$S_0 = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

$$S_{0_{geçici}} = \frac{5,59 \cdot 10^5 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3}^2}{0,012 \cdot 157}$$

$$\underline{\underline{S_{0_{geçici}} = 0,21}}$$

$S_0 < 1$  'e göre hesapla devam edilir.

r) Isınma faktörü  $W'$  ;

$$W' = \phi' / \alpha^* \cdot A = 75 \cdot V \cdot n^2 / \psi \cdot \alpha^* \cdot A \quad (\text{Eşitlik 42 ve 26})$$

V – Yatak muylusunun hacmi

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot b \quad \text{Eşitlik 19}$$

$$V = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{d} \cdot 0,16$$

$$\underline{\underline{V = 5,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}}$$

A- Yatağın soğutma yüzeyi

Makine çok tabakalı (birleşik) yatakları

$$A = 15 \dots 25 \cdot b \cdot d \quad \text{Eşitlik 34}$$

$$A = 25 \cdot b \cdot d = 25 \cdot 0,16 \cdot 0,2$$

$$\underline{\underline{A = 0,8 \text{ m}^2}}$$

$\alpha^*$  - Isı taşınım katsayısı

Durgun (sakin) hava için,

$$\underline{\underline{\alpha^* = 20 \text{ W} / \text{ m}^2 \text{ K}}} \quad \text{Eşitlik 29}$$

Bu değerlerle,

$$W' = 75 \cdot V \cdot n^2 / \psi \cdot \alpha^* \cdot A = 75 \cdot 5,02 \cdot 10^{-3} \cdot 25^2 / 0,85 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 0,8$$

$$\underline{\underline{W' = 1,73 \cdot 10^4 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{ Ns}}}$$

elde edilir.

- Yatak işletme sıcaklığı  $\mathcal{G}$  ;

$$\left. \begin{array}{l} W' = 1,73 \cdot 10^4 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{ Ns} \\ \eta = 25 \text{ cP } 50^\circ \text{ C de} \end{array} \right\} \underline{\underline{\mathcal{G} = 105^\circ \text{ C}}} \quad \text{Şekil 23}$$

s) Dinamik işletme viskozitesi  $\eta$  (Kesin değer);

$\mathcal{G} = 105^\circ \text{ C}$  kabul edilemez derecede yüksek bir değer, dolayısıyla, ilave soğutmaya ihtiyaç vardır. O halde işletme sıcaklığını  $\mathcal{G} = 60^\circ \text{ C}$  civarında tutarak hesap yapmak uygun olur (Kısım 11 r).

$$\underline{\underline{\mathcal{G}_{kesin} = 60^\circ \text{ C}}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{G}_{kesin} = 60^\circ \text{ C} \\ \eta = 25 \text{ cP } 50^\circ \text{ C} \end{array} \right\} \underline{\underline{\eta_{kesin} = 0,017 \text{ Ns} / \text{ m}^2 = 17 \text{ cP}}} \quad \text{Şekil 21}$$

t) Sommerfeld sayısı  $S_0$  (Kesin değer);

$$S_0 = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} \quad \text{Eşitlik 9}$$

$$S_{0_{\text{kesin}}} = \frac{5,59 \cdot 10^5 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3}^2}{0,017 \cdot 157}$$

$$\underline{\underline{S_{0_{\text{kesin}}} = 0,151 < 1}}$$

• Sürtünme katsayısı  $\mu$  ;

$$\mu = 3 \cdot \psi / S_0 \quad \text{Eşitlik 13}$$

$$\mu = 3 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3} / 0,151$$

$$\underline{\underline{\mu = 0,0168}}$$

u) Sürtünme gücü  $P_R$  ;

$$P_R = F \cdot \mu \cdot u \quad \text{Eşitlik 15}$$

$$P_R = F \cdot \mu \cdot \pi \cdot d \cdot n = 17900 \cdot 0,0168 \cdot \pi \cdot 0,2 \cdot 25$$

$$P_R = 4723 \text{ Nm/s (W)}$$

$$\underline{\underline{P_R = 4,723 \text{ kW}}}$$

veya,

$$P_R = \phi' \cdot \eta \quad \text{Eşitlik 25}$$

$$\phi' = 12 \cdot n^2 \cdot V \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{\psi} = 75 \cdot V \cdot \frac{n^2}{\psi} \quad \text{Eşitlik 26}$$

$$P_R = 75 \cdot 5,02 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{25^2}{0,85 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,017$$

$$P_R = 4706 \text{ Nm/s (W)}$$

$$\underline{\underline{P_R = 4,706 \text{ kW}}}$$

Hemen hemen aynı sonuç (4,723 kW) bulunur.

v) Minimum (en küçük) yağ filmi kalınlığı (işletme devir sayısında)  $h_0$  ;

$$h_0 = \frac{\delta \cdot s}{2} \quad \text{Eşitlik 66}$$

$$S_0 < 1 \text{ ve } 0,5 \leq \beta \leq 2 \text{ için,}$$

$$\delta = 1 - \frac{S_0}{2} \cdot \frac{1 + \beta}{2 \cdot \beta} \quad \text{Eşitlik 68}$$

ayrıca,

$$s = \psi \cdot d \quad \text{Eşitlik 5}$$

$$\beta = 0,8 \quad \text{Sayfa 77 olduğuna göre}$$

$$h_0 = 0,5 \cdot s \cdot \delta = 0,5 \cdot \psi \cdot d \cdot \left[ 1 - \frac{S_0}{2} \cdot \frac{1 + \beta}{2 \cdot \beta} \right]$$

$$h_0 = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 \cdot \left[ 1 - \frac{0,151}{2} \cdot \frac{1 + 0,8}{2 \cdot 0,8} \right]$$

$$\underline{\underline{h_0 = 0,077 \cdot 10^{-3} \text{ m}}}$$

elde edilir.

w) Geçiş devir sayısı (sıvı sürtünmeye geçiş devir sayısı)  $n_{ii}$ ;

$$n_{ii} = h_{0ii} \cdot n / h_0 \quad \text{Eşitlik 77}$$

$h_{0ii}$  – Minimum yağ filmi kalınlığı

$d = \phi 200 \text{ mm}$  için,

$$h_{0ii} = 5,2 \mu\text{m} = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad \text{Şekil 16; Cetvel 9}$$

$$\left( \frac{n}{h_0} \right)_1 = S_0 \cdot n \left/ \left[ \frac{s}{4} \cdot \frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta} \right] \right. \quad \text{Eşitlik 76}$$

$$\left( \frac{n}{h_0} \right)_1 = 0,151 \cdot 25 \left/ \left[ \frac{0,17 \cdot 10^{-3}}{4} \cdot \frac{2 \cdot 0,8}{1 + 0,8} \right] \right.$$

$$\left( \frac{n}{h_0} \right)_1 \cong 1 \cdot 10^5$$

$$n_{ii} = 5,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5$$

$$\underline{\underline{n_{ii} = 0,52 \text{ d/s}}}$$

bulunur.

Minimum devir sayısı  $n_{\min}$  ise;

$$n_{\min} = h_{\min} \cdot n / h_0 \quad \text{Eşitlik 80}$$

$h_{\min}$  – Müsaade edilen (emniyetli) minimum yağ filmi kalınlığı

(En düşük -minimum- devir sayısı sınırında)

$$d = \text{Ø}200 \text{ mm için,}$$

$$h_{\min} = 13 \mu\text{m} = 13 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad \text{Şekil 16 ; Cetvel 9}$$

$$n_{\min} = 13 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5$$

$$\underline{\underline{n_{\min} = 1,3 \text{ d/s}}}$$

olur. Ayrıca Şekil 16 ve Cetvel 9 bize,  $d = \phi 200 \text{ mm}$ . için:

- Pürüz derinliği (Yüzey kalitesi)  $R_t$  ;

$$\underline{\underline{R_t = 3...4 \mu\text{m}}} \quad \text{Taşlanmış yüzey}$$

- Şekil (form) toleransı  $T_f$  ;

$$\underline{\underline{T_f \cong 10 \mu\text{m}}}$$

değerlerini de verir.

- x) İzafi yatak imalat boşluğu  $\psi_0$  ;

$$\psi_0 = \psi + \alpha_w \cdot \vartheta - \vartheta_0 - 0,7 \cdot \alpha_L \cdot \vartheta - \vartheta_0 \quad \text{Eşitlik 90}$$

$$\alpha_w = 16 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C} \quad \text{Eşitlik 93}$$

$$\alpha_L = 18 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C} \quad \text{Eşitlik 94}$$

$$\psi_0 = 0,85 \cdot 10^{-3} + 16 \cdot 10^{-6} \cdot 60 - 20 - 0,7 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 60 - 20$$

$$\underline{\underline{\psi_0 = 0,986 \cdot 10^{-3} \cong 1 \cdot 10^{-3}}}$$

ve yatak imalat boşluğu  $s_0$  ;

$$s_0 = \psi_0 \cdot d \quad \text{Eşitlik 92}$$

$$s_0 = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 200$$

$$\underline{\underline{s_0 = 0,2 \text{ mm}}}$$

olarak bulunur.

- Gerekli yağ ihtiyacı  $Q_s$  ;

$$Q_s = 0,75 \cdot h_0 \cdot b \cdot u \quad \text{Eşitlik 81,83}$$

$$Q_s = 0,75 \cdot 0,077 \cdot 10^{-3} \cdot 0,16 \cdot 15,7$$

$$\underline{\underline{Q_s = 0,145 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}}$$

- Soğutma yağı ihtiyacı (soğutucu yağ debisi)  $Q_K$  ;

$$Q_K = P_R / \left[ c \cdot \rho_{\text{yağ}} \cdot \vartheta_2 - \vartheta_1 \right] \quad \text{Eşitlik 52}$$

$$c \cdot \rho_{\text{yağ}} \cong 1670 \cdot 10^3 \text{ Nm} / \text{ m}^3 \text{ K} \quad \text{Eşitlik 44}$$

$$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 \cong 10 \text{ K} \quad \text{Eşitlik 47}$$

$$Q_K = 4723 / \left[ 1670 \cdot 10^3 \cdot 10 \right]$$

$$\underline{\underline{Q_K = 0,282 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}} = \text{Yatak için gerekli gerçek yağ miktarı}$$

- Soğutma suyu miktarı (debisi)  $Q_{KW}$  ;

$$Q_{KW} = P_R / \left[ c \cdot \rho_{\text{su}} \cdot \vartheta_2 - \vartheta_1 \right] \quad \text{Eşitlik 53}$$

$$c \cdot \rho_{\text{su}} \cong 4190 \cdot 10^3 \text{ Nm} / \text{ m}^3 \text{ K} \quad \text{Eşitlik 45}$$

$$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 \cong 5 \text{ K} \quad \text{Eşitlik 48}$$

$$Q_{KW} = 4723 / \left[ 4190 \cdot 10^3 \cdot 5 \right]$$

$$\underline{\underline{Q_{KW} = 0,225 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}}$$

- Hertz basıncı  $p_H$  ;

$$p_H \cong 0,591 \cdot \sqrt{E \cdot \bar{p} \cdot \psi} \quad \text{Eşitlik 87}$$

$$E = \frac{2 \cdot E_L \cdot E_W}{E_L + E_W} \quad \text{Eşitlik 88}$$

$$E_W = 21 \cdot 10^{10} \text{ N} / \text{ m}^2 \quad \text{Çelik mil için} \quad \text{Çetvel 11}$$

$$E_L = 5 \cdot 10^{10} \text{ N} / \text{ m}^2 \quad \text{WM9 yatakzarfı için (Niemann)}$$

$$E = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{10} \cdot 21 \cdot 10^{10}}{5 \cdot 10^{10} + 21 \cdot 10^{10}}$$

$$\underline{\underline{E \cong 8 \cdot 10^{10} \text{ N} / \text{ m}^2}}$$

$$p_H = 0,591 \cdot \sqrt{8 \cdot 10^{10} \cdot 5,59 \cdot 10^5 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3}}$$

$$\underline{\underline{p_H = 3,64 \cdot 10^6 \text{ N} / \text{ m}^2 = 3,64 \text{ N} / \text{ mm}^2}}$$

**Kontrol:**

$$p_H < 0,2 \cdot \sigma_{df}$$

*Eşitlik 89*

WM9 için ezilme sınırı veya basmada akma sınırı,

$$\sigma_{df} = 57 \text{ N/mm}^2$$

*Niemann Sayfa : 76*

$$0,2 \cdot \sigma_{df} = 0,2 \cdot 57 = 11,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\underline{\underline{p_H = 3,64 \text{ N/mm}^2 < 0,2 \cdot \sigma_{df} = 11,4 \text{ N/mm}^2}}$$

uygundur.

$$\bar{p} \cdot u_{ii} > 12 \cdot 10^5 \text{ N/ m} \cdot \text{s}$$

*Eşitlik 4*

olmamalıdır. (beyaz metal yataklarda)

$$\bar{p} \cdot u_{ii} = \bar{p} \cdot \pi \cdot d \cdot n_{ii} = 5,59 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot 0,2 \cdot 0,52$$

$$\bar{p} \cdot u_{ii} \cong 1,8 \cdot 10^5 \text{ N/ m} \cdot \text{s}$$

$$\underline{\underline{\bar{p} \cdot u_{ii} = 1,8 \cdot 10^5 \text{ N/ m} \cdot \text{s} < 12 \cdot 10^5 \text{ N/ m} \cdot \text{s}}}$$

dolayısıyla yatak emniyetli ve frenleme söz konusu değildir.

## 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