

Oynak Lokmalı (Pabuşlu)

Hidrodinamik

Eksenel Kaymalı

Yataklar

(TS 150 12130 - 1, 2, 3)

-I.

Kennedy

(Örnek çözümlü Problem : Roloff / Motek . Maschinenelemente)

(4 Ad.)

Sürekli veya daimi şartlarda (zamanla değişmeyen) çalışarak oynak lokmalı (Pabuşlu), hidrodinamik eksenel kaymalı yatakların; TSISO 72130-1, 2, 3 standardına göre hesaplanması.

Örnek E1 - Aşağıda verilen büyüklükler ve işletme

değerlerine göre, oynak lokmalı (pabuşlu) eksenel kaymalı yatağın çalışabilirliğinin kontrolü istenmektedir.

- Eksenel yatak yükü veya nominal devir sayısındaki eksenel yatak kuvveti (Sabit) - - - - - : $F = 25000 \text{ N}$
- Hareketsiz durumda yatak kuvveti - - - - - : $F_{st} = 0$
(Yatak hareketsiz durumda yüke bağlı değil)
- Yatak disk (Yatak üst plâkası) devir sayısı - - - - - : $N = 10 \text{ s}^{-1}$
- Yatak dış çapı (Oynak lokmalar boyunca dış çap) - - - - - : $D_o = 340 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- Yatak iç çapı (Oynak lokmalar boyunca iç çap) - - - - - : $D_i = 280 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- Oynak lokma uzunluğu (ortalama çapta, çevre yönünde) - - - - - : $L = 30 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- Lokma genişliğinin, lokma uzunluğuna oranı (Boyutsuz B/L oranı) - - - - - : $B/L = 1$
- Oynak lokmanın hareket yönündeki (çevresel yönde) destekleme noktasının veya basınç merkezinin bağıl koordinatı - - - - - : $\alpha_F = 0,6$
- Oynak lokma (Pabuş) sayısı - - - - - : $Z = 24$

- Yatağın ısı veren yüzeyi veya soğutma yüzeyi : $A = 1,25 \text{ m}^2$
- Isı taşıma katsayısı (Yatak dış yüzeyi ile çevre ortam arasındaki ısı geçişinde) : $k_A = 20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Çevre-ortam sıcaklığı : $T_{\text{amb}} = 20^\circ \text{C}$
- Yağın (yağlayıcının) yatağa girer sıcaklığı (zorlanmış yağlama - devridaim yağlama - için) : $T_{\text{en}} = 40^\circ \text{C}$
- Yağın (yağlayıcının) yataktan çıkar sıcaklığı (zorlanmış yağlama - devridaim yağlama - için) : $T_{\text{ex}} = 50^\circ \text{C}$
- Kabul edilebilir (müsaade edilen) max. özgül yatak yükü. (Tablo E10) : $\bar{p}_{\text{lim}} = 5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$
- Kabul edilebilir (Müsaade edilen) max. yatak sıcaklığı (Tablo E11) : $T_{\text{lim}} = 90^\circ \text{C}$
- Kabul edilebilir (Müsaade edilen) min. yağ (yağlayıcı) filmi kalınlığı. (Tablo E6, E7) : $h_{\text{lim}} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- Kullanılan yağ (Sekil E3) : ISO VG 68
- Yağlayıcının yoğunluğu : $\rho = 900 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Yağın (Yağlayıcının) hacimsel özgül ısı : $c_p \cdot \rho = 1,8 \cdot 10^6 \text{ J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$
- Kritik Reynolds sayısı : $Re_{\text{cr}} = 600$
- Kullanılan yağın (ISO VG 68), işletme sıcaklığının karşılık gelen dinamik viskozitesi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

T_{eff} °C	η_{eff} (T_{eff}) Pa.s
40	0,061
50	0,038
60	0,025
70	0,017
80	0,013
90	0,0095

T_{eff} - Yataktaki yağ sıcaklığı (Yatak işletme sıcaklığı, efektif yağ sıcaklığı)

η_{eff} - T_{eff} sıcaklığına karşılık gelen dinamik işletme viskozitesi (Yağın efektif dinamik viskozitesi)

Yatak ile ilgili geometrik boyutlar Şekil E1, hesap tasarımı Şekil E2 ve yağın efektif dinamik viskozitesi de Şekil E3 te verilmiştir.

Not. Standartta adı geçen "Sürekli" veya "daimi" sözcüğü ile zamanla değişmeyen anlamının belirtildiğini vurguluyalım yani, bir noktada zaman içerisinde hiçbir değişimin olmadığını ifade edilir.

Eld edilen değerler :

Şekil E1 'i inceleyelim ;

a_f - Oynak lokmada, basınç merkezi veya destekleme noktasının x-koordinatı

a_f^* - Oynak lokmada, basınç merkezi veya destekleme noktasına ait x-koordinatı a_f nin lokma uzunluğu L ye oranı. Boyutsuz a_f/L oranı (Destekleme noktası veya basınç merkezinin bağil koordinatı)

$$a_f^* = \frac{a_f}{L} \quad \text{--- (E1)}$$

Diğer taraftan a_f^* , h_{min}/C_{wed} ve B/L nin bir fonksiyonudur.

$$a_f^* = f (h_{min}/C_{wed}, B/L) \quad \text{--- (E2)}$$

h_{min} - Minimum yağ filmi (tabakası) kalınlığı } (Şekil E1)

C_{wed} - Kama (Yağ kamaşı) derinliği

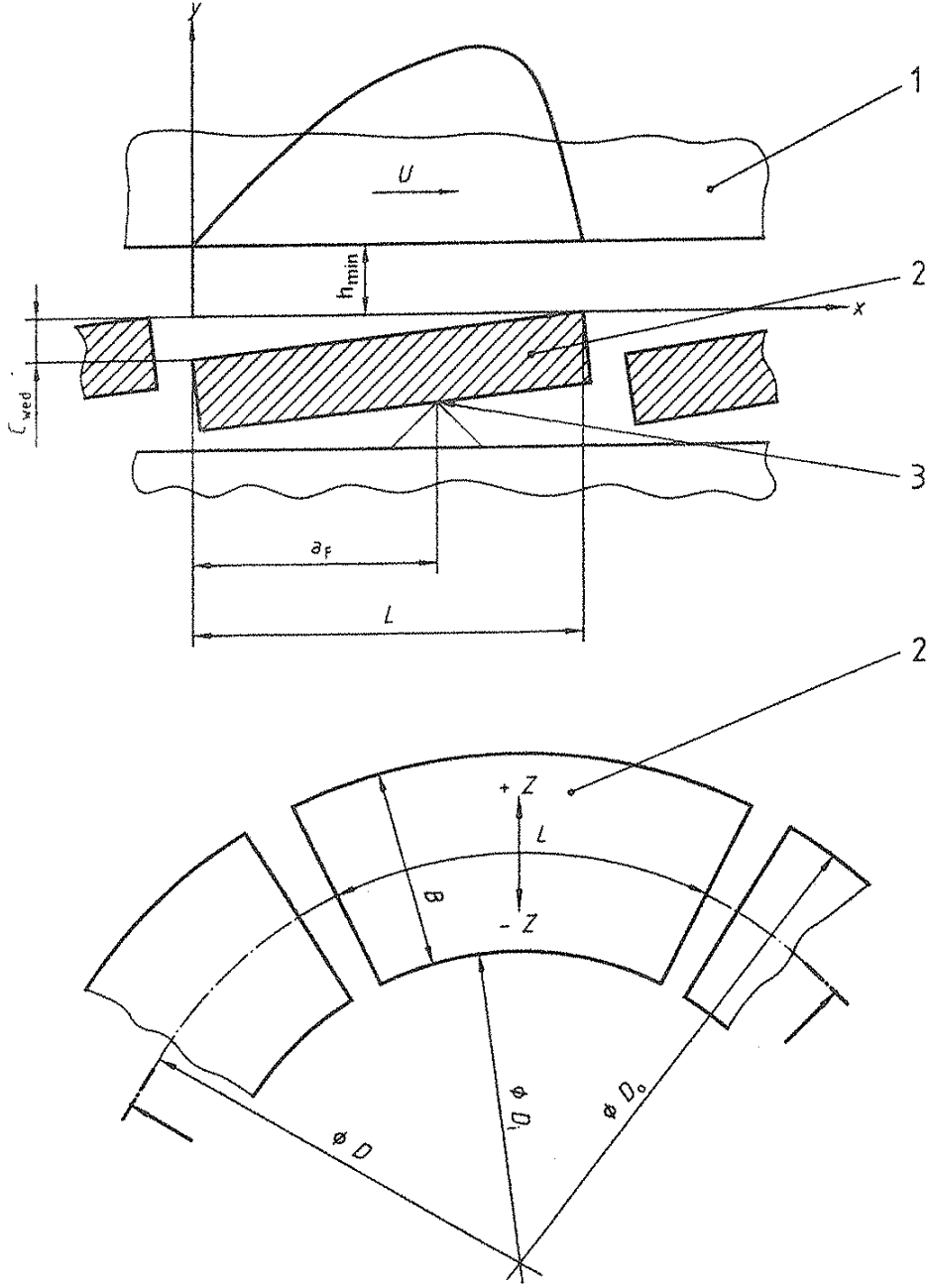
h_{min}/C_{wed} - Boyutsuz, minimum yağ filmi karakteristlik sayısı (Baęil minimum yağ filmi kalınlığı)

Kabul edilebilir (müsade edilen) uygulama

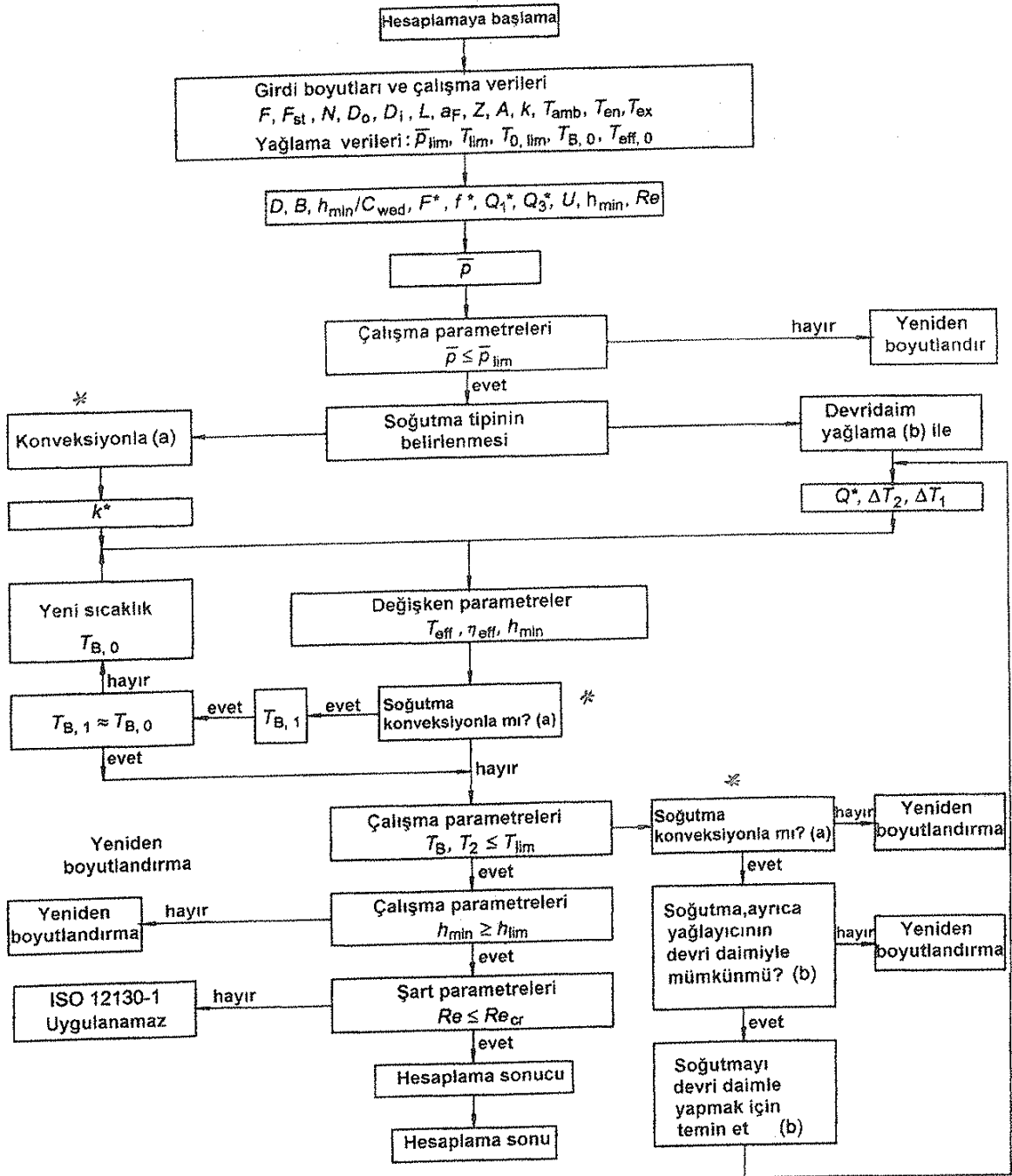
aralığı ;

$$0,2 \leq \frac{h_{min}}{C_{wed}} \leq 2 \quad \text{--- (E3)}$$

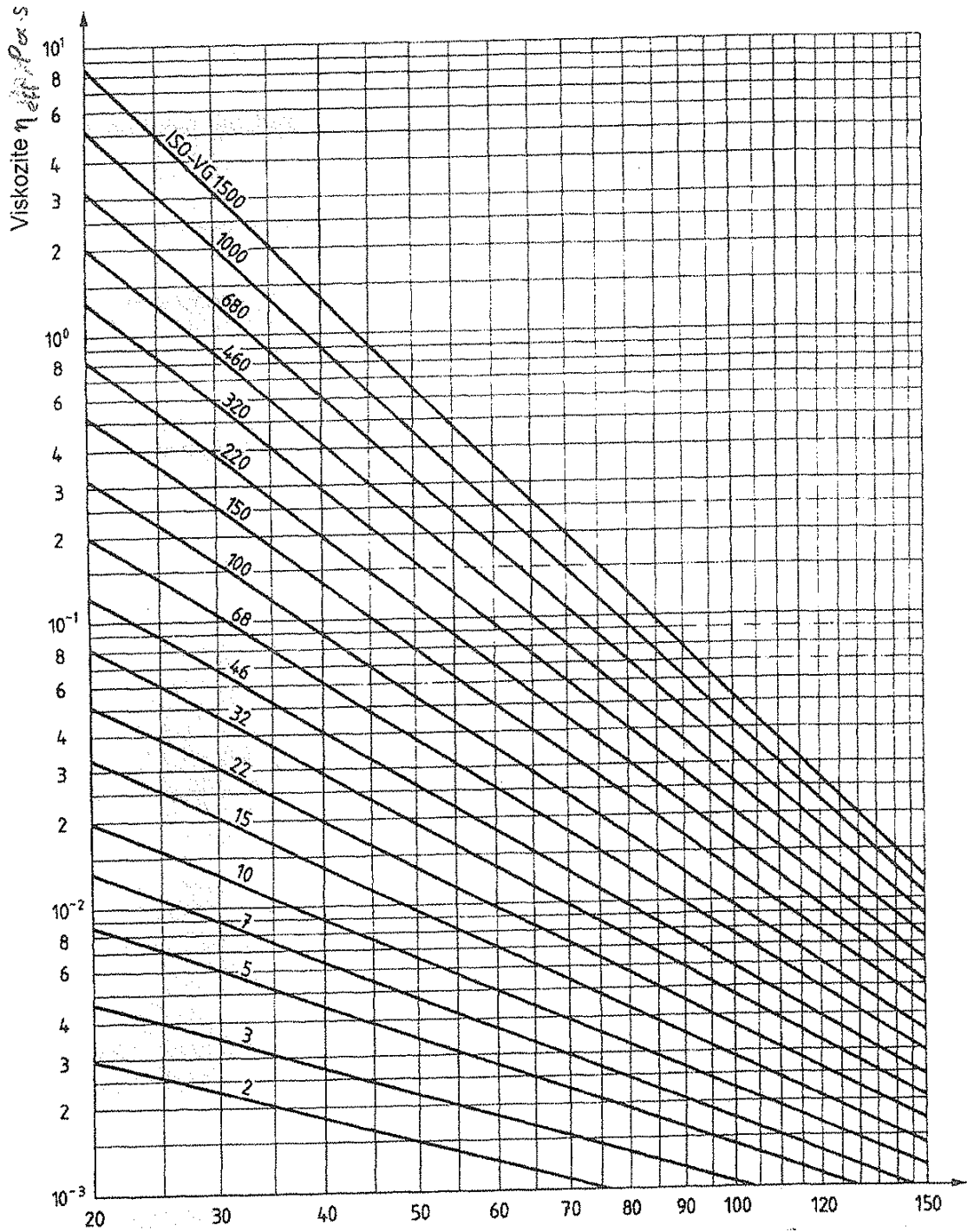
dir. (Şekil E4, Tablo E1)



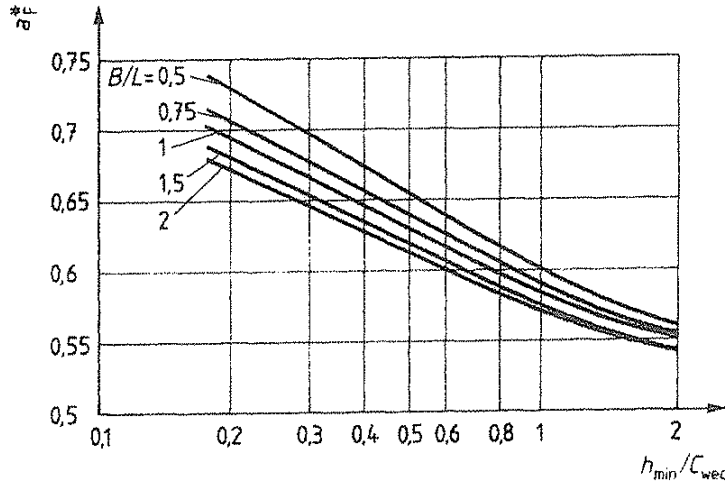
- Şekil E1. Oynak lokmalı (Pabuçlu) bir aksenal kaymalı yataкта, geo-metrik (konstrüktif) boyutlar.
1. Yatak diski (Yatak üst plakası)
 2. Oynak lokma (Pabuç)
 3. Destekleme noktası (Basınç merkezi)



Şekil E2 - Hesap yönteminde izlenecek işlem adımları (Akış diyagramı)
 * ; Konveksiyon veya tasınım



Sıcaklık T_{eff} , °C
Şekil 43. Efektif dinamik viskozite η_{eff} 'in, efektif yatak sıcaklığı T_{eff} 'e bağlı olarak değişimi. Yoğunluğu $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ olan yağlar için geçerlidir.



Sekil E4 - h_{min}/C_{wed} ve B/L boyutsuz oranlarının bir fonksiyonu olarak α_f^* değerleri

h_{min}/C_{wed}	B/L				
	2	1,5	1	0,75	0,5
2	0,5431	0,5446	0,5483	0,5522	0,5597
1	0,5730	0,5756	0,5818	0,5883	0,6005
0,667	0,5955	0,5990	0,6069	0,6152	0,6307
0,5	0,6132	0,6174	0,6268	0,6364	0,6541
0,333	0,6397	0,6451	0,6567	0,6679	0,6885
0,25	0,6586	0,6652	0,6783	0,6906	0,7127
0,2	0,6729	0,6804	0,6950	0,7078	0,7309

Tablo E1 - $\alpha_f^* = f(h_{min}/C_{wed}, B/L)$ fonksiyonunun Sekil E4 teki α_f^* değerleri.

Ayrıca B/L boyutsuz oranı,

$$B/L = 0,5 \dots 2 \quad (\text{Sekil E4, Tablo E1}) \dots \dots \dots (E4)$$

arasında değişebilirliğine göre,

$$\left. \begin{aligned} 0,2 &\leq \frac{h_{min}}{C_{wed}} \leq 2 \\ \frac{B}{L} &= 0,5 \dots 2 \end{aligned} \right\}$$

aralıklarından, h_{min}/C_{wed} ve B/L seçilerek - 9 -
 α_F^* , aşağıdaki denklemden hesaplanabilir veya
 Şekil E4 teki diyagramdan okunabilir aynı zamanda
 Tablo E1 den de alınabilir.

$$\alpha_F^* = 0,5 + \left[\alpha + \frac{b}{B/L} \right] f_f h \left[\left(c + \frac{d}{B/L} \right) \frac{1}{h_{min}/C_{wed}} \right] \quad (E5)$$

Denklemden ki sabit sayılar :

$$\alpha = 0,138107909$$

$$b = 0,0351209709$$

$$c = 0,476542662$$

$$d = 0,0409568021$$

$\frac{h_{min}}{C_{wed}} = f(\alpha_F^*, B/L)$ şeklinde de düşünebiliriz
 buna göre, α_F^* ve B/L seçilerek h_{min}/C_{wed} ;
 aşağıdaki denklemden hesaplanabilir veya Şekil E4
 ve Tablo E1 den faydalanılabilir.

$$\frac{h_{min}}{C_{wed}} = 2 \frac{c + \frac{d}{B/L}}{\ln \left[\frac{\alpha + \frac{b}{B/L} + \alpha_F^* - 0,5}{\alpha + \frac{b}{B/L} - \alpha_F^* + 0,5} \right]} \quad (E6)$$

$\alpha_F^* = 0,6$ ve $B/L = 1$ değerleri verildiğine göre
 Eşitlik E6, den faydalanarak h_{min}/C_{wed} boyutsuz
 oranı hesaplayalım.

$$\frac{h_{min}}{C_{wed}} = 2 \frac{0,476542662 + \frac{0,0109568021}{1}}{\ln \left[\frac{0,138107909 + \frac{0,0351209709}{1} + 0,6 - 0,5}{0,138107909 + \frac{0,0351209709}{1} - 0,6 + 0,5} \right]}$$

$$\parallel \frac{h_{min}}{C_{wed}} = 0,74$$

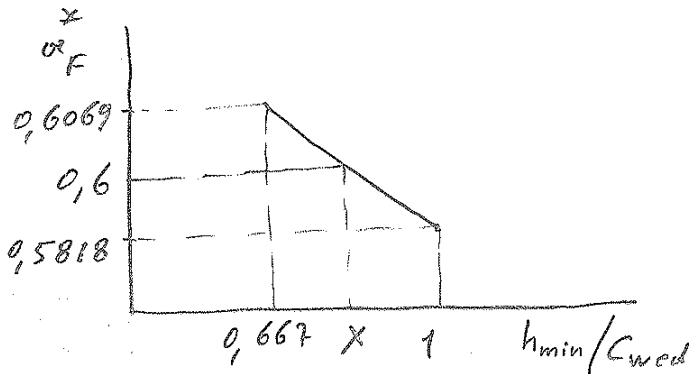
veya,

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_F^* = 0,6 \\ B/L = 1 \end{array} \right\} \parallel \frac{h_{min}}{C_{wed}} = 0,78 \text{ (Şekil E4)}$$

veya,

$$B/L = 1 \text{ için}$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_F^* = 0,5818 \rightarrow h_{min}/C_{wed} = 1 \\ \alpha_F^* = 0,6069 \rightarrow h_{min}/C_{wed} = 0,667 \end{array} \right\} \text{(Tablo E1)}$$



$$\frac{1-x}{1-0,667} = \frac{0,6 - 0,5818}{0,6069 - 0,5818}$$

$$\alpha_F^* = 0,6 \rightarrow \parallel x = \frac{h_{min}}{C_{wed}} = 0,76$$

$$\| \frac{h_{\min}}{C_{\text{wed}}} = 0,78 \quad (\text{Şekil E4. Kabul})$$

Aynı standart (TS ISO 12130-2), hesaplamalar için kabul edilebilir (Müşade edilen) h_{\min}/C_{wed} değeri aralığını ;

$$0,333 \leq \frac{h_{\min}}{C_{\text{wed}}} \leq 1$$

olarak vermiştir.

Şimdi, $h_{\min}/C_{\text{wed}} = 0,78$, $B/L = 1$ değerlerini seçelim ve α_F^* koordinatını hesaplayalım ;

Eşitlik E5'e göre :

$$\alpha_F^* = 0,5 + \left[0,138107909 + \frac{0,0351209709}{1} \right] \text{tph} \left[\left(0,976542662 + \frac{0,0109568021}{1} \right) \left(\frac{1}{0,78} \right) \right]$$

$$\alpha_F^* = 0,5 + 0,1732288799 \cdot \text{tph} \underbrace{0,624999312949}_{\sim 0,625}$$

Hiperbolik fonksiyon olarak

$$\text{tph } x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

alduğuna göre,

$$\text{tph } 0,625 = \frac{e^{0,625} - e^{-0,625}}{e^{0,625} + e^{-0,625}} \approx \frac{1,868 - 0,53526}{1,868 + 0,53526}$$

$$\| \text{tph } 0,625 = 0,5546$$

$$\alpha_F^* = 0,5 + 0,1732288799 \cdot 0,5546$$

$$\| \alpha_F^* = 0,596 \approx 0,6 \quad (\text{Seçilen: } 0,6)$$

α_F^* için, Şekil E4 veya Tablo E1 de kullanılabilir.

- Yük taşıma faktörü F^* değerinin elde edilmesi ;
Aşağıdaki eşitlikle tanımlanmış olan F^* boyutsuz sayısı,

$$F^* = \frac{F \cdot h_{min}^2}{U \cdot \gamma_{eff} \cdot L^2 \cdot B \cdot Z} \quad (E7)$$

aynı zamanda h_{min}/C_{wed} ve B/L nin bir fonksiyonudur.

$$F^* = f(h_{min}/C_{wed}, B/L) \quad (E8)$$

$$\left. \begin{aligned} 0,2 \leq \frac{h_{min}}{C_{wed}} \leq 2 \\ \frac{B}{L} = 0,5 \dots 2 \end{aligned} \right\}$$

aralıklarından, h_{min}/C_{wed} ve B/L seçilerek F^* , aşağıdaki denklemden hesaplanabilir veya Şekil E5 te ki diyagramdan okunabilir aynı zamanda Tablo E2 den de alınabilir.

$$F^* = 5 \left(\frac{h_{min}}{C_{wed}} \right)^2 \left[\ln \frac{1 + (h_{min}/C_{wed})}{h_{min}/C_{wed}} \cdot \frac{2}{1 + 2 \cdot \frac{h_{min}}{C_{wed}}} \right]^a \frac{A^* + B^* \left[1 - \frac{1}{h_{min}/C_{wed}} \right] + C^* \left[1 - \frac{1}{h_{min}/C_{wed}} \right]^2}{1 + a \left[\frac{1}{B/L} \right]^2} \quad (E9)$$

Denklemdeki katsayılar,

$$a = \frac{10}{\left(1 + 2 \frac{h_{\min}}{C_{wed}}\right)^2} \cdot \left\{ \left[\frac{h_{\min}}{C_{wed}} + \left(\frac{h_{\min}}{C_{wed}}\right)^2 \right]^2 + \frac{1 - 2 \left[\frac{h_{\min}}{C_{wed}} + \left(\frac{h_{\min}}{C_{wed}}\right)^2 \right]}{12 \left[\left(1 + 2 \frac{h_{\min}}{C_{wed}}\right) \cdot \ln \frac{1 + (h_{\min}/C_{wed})}{h_{\min}/C_{wed}} - 2 \right]} \right\} \quad (E10)$$

$$A^* = 1,1686 - 0,32945 \cdot \left(\frac{B}{L}\right) + 0,22267 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^2 - 0,04651 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^3 \quad (E11)$$

$$B^* = -0,10095 + 0,19743 \cdot \left(\frac{B}{L}\right) - 0,13136 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^2 + 0,028703 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^3$$

$$C^* = -0,0048791 + 0,008601 \cdot \left(\frac{B}{L}\right) - 0,0054015 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^2 + 0,0011278 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^3$$

Şimdi, $h_{\min}/C_{wed} = 0,78$, $B/L = 1$ değerleri ile yük taşıma faktörü veya karakteristik yük taşıma sayısı F^* 'e hesaplıyalım;

Eşitlikler E9,10 ve 11'e göre :

Sabit sayılar,

$$\alpha = \frac{10}{(1 + 2 \cdot 0,78)^2} \cdot \left\{ \left[0,78 + (0,78)^2 \right]^2 + \frac{1 - 2 \left[0,78 + (0,78)^2 \right]}{12 \left[(1 + 2 \cdot 0,78) \cdot \ln \frac{1 + 0,78}{0,78} - 2 \right]} \right\}$$

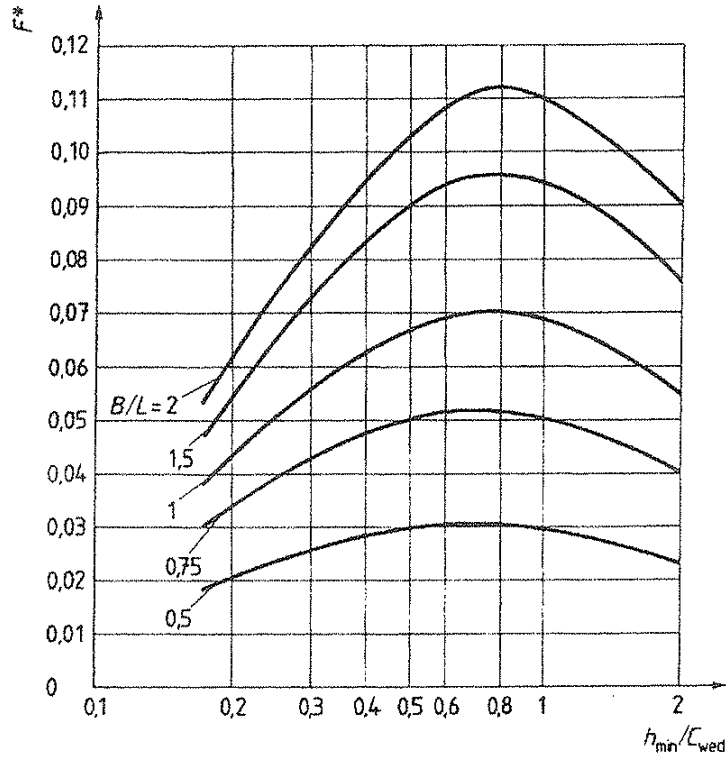
$\alpha = 0,92756$

$$A^* = 1,1686 - 0,32945 \cdot 1 + 0,22267 \cdot 1^2 - 0,04651 \cdot 1^3$$

$A^* = 1,0153$

$$B^* = -0,10095 + 0,19743 \cdot 1 - 0,13136 \cdot 1^2 + 0,028703 \cdot 1^3$$

$B^* = -0,00618$



Şekil E5. h_{min}/C_{wed} ve B/L boyutsuz oranlarının bir fonksiyonu olarak F^* değerleri.

h_{min}/C_{wed}	B/L				
	2	1,5	1	0,75	0,50
2	0,08995	0,07721	0,05575	0,04039	0,02288
1	0,1096	0,09457	0,06894	0,05037	0,02892
0,667	0,1095	0,09497	0,06997	0,05158	0,03005
0,50	0,1032	0,09001	0,06701	0,04983	0,02945
0,333	0,08719	0,07688	0,05836	0,04409	0,02676
0,25	0,07285	0,06487	0,05011	0,03837	0,02382
0,2	0,06127	0,05505	0,04320	0,03345	0,02117

Tablo E2 - $F^* = f(B/L, h_{min}/C_{wed})$ fonksiyonunun Şekil E5 teki F^* değerleri.

$$C^* = -0,0048791 + 0,008601 \cdot t - 0,0054015 \cdot t^2 + 0,0011278 \cdot t^3 \quad -15-$$

$$\| C^* = -0,0005518$$

$$F^* = 5(0,78)^2 \left[\ln \frac{1+0,78}{0,78} - \frac{2}{1+2 \cdot 0,78} \right] \frac{1,0153 - 0,00618 \left[1 - \frac{1}{0,78} \right] - 0,0005518 \left[1 - \frac{1}{0,78} \right]^2}{1 + 0,92756 \cdot \left(\frac{1}{1} \right)^2}$$

$$\| F^* = 0,070$$

veya,

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h_{\min}}{C_{\text{wed}}} = 0,78 \\ \frac{B}{L} = 1 \end{array} \right\} \| F^* = 0,07 \quad (\text{Sokil E5})$$

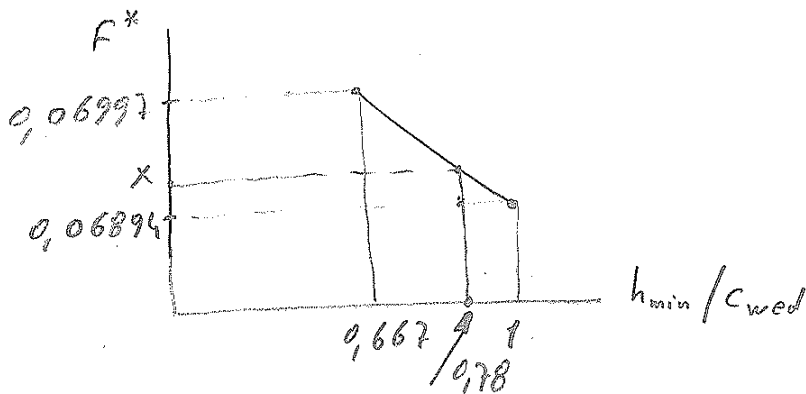
veya,

$$B/L = 1 \text{ isin};$$

$$F^* = 0,06894 \rightarrow h_{\min}/C_{\text{wed}} = 1$$

$$F^* = 0,06997 \rightarrow h_{\min}/C_{\text{wed}} = 0,667$$

(Tablo E2)



$$\frac{1 - 0,78}{1 - 0,667} = \frac{x - 0,06894}{0,06997 - 0,06894}$$

$$\frac{h_{\min}}{C_{\text{wed}}} = 0,78 \rightarrow \| x = F^* = 0,0692 \approx 0,07$$

- Sürtünme gücü P_f değerinin elde edilmesi; -
 Hidrodinamik aksenal kaymalı yataklarda, sürtünme
 nin meydana getirdiği güç kaybı (sürtünme kayıp
 gücü) veya sürtünme gücü (sürtünme ile üretilen
 ısı),

$$P_f = f^* \frac{U^2 \cdot \eta_{eff} \cdot B \cdot L \cdot Z}{h_{min}} \quad (E12)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir

f^* - Sürtünme katsayısı

Sürtünme katsayısı f^* , aynı zamanda h_{min}/C_{wed}
 ve B/L nin bir fonksiyonudur.

$$f^* = f \left(B/L, h_{min}/C_{wed} \right) \quad (E13)$$

$$0,2 \leq \frac{h_{min}}{C_{wed}} \leq 2$$

$$\frac{B}{L} = 0,5 \dots 2$$

aralıklarından, h_{min}/C_{wed} ve B/L seçilerek f^* ,
 aşağıdaki denklemden hesaplanabilir veya Şekil E6
 da ki diyagramdan okunabilir aynı zamanda
 Tablo E3 den de alınabilir.

$$f^* = \frac{6}{5} \left\{ 4 \cdot \frac{h_{min}}{C_{wed}} \cdot \ln \frac{1 + (h_{min}/C_{wed})}{h_{min}/C_{wed}} \cdot \frac{6 \cdot \frac{h_{min}}{C_{wed}}}{1 + 2 \cdot \frac{h_{min}}{C_{wed}}} \right\} \cdot \left\{ 1 + \alpha \left[\frac{1}{B/L} \right]^2 \right\} \cdot A \quad (E14)$$

Denklemdaki sabit sayılar,

-17-

$$\alpha = \frac{10}{\left(1 + 2 \cdot \frac{h_{\min}}{C_{wed}}\right)} \left\{ \left[\frac{h_{\min}}{C_{wed}} \right]^2 + \frac{1 - 2 \cdot \left[\frac{h_{\min}}{C_{wed}} \right]}{12 \left[\left(1 + 2 \cdot \frac{h_{\min}}{C_{wed}}\right) \cdot \ln \frac{1 + (h_{\min}/C_{wed})}{h_{\min}/C_{wed}} - 2 \right]} \right\} \quad (E15)$$

$$A^* = -0,21459 + 0,88071 \left(\frac{B}{L}\right) - 0,29760 \left(\frac{B}{L}\right)^2 + 0,03791 \left(\frac{B}{L}\right)^3 \quad (E16)$$

Şimdi, $h_{\min}/C_{wed} = 0,78$, $B/L = 1$ değerleri ile sürtünme katsayısı f^* 'i hesaplayalım;

Eşitlikler E14, 15 ve 16 ya göre:

$$\alpha = \frac{10}{(1 + 2 \cdot 0,78)} \left\{ (0,78)^2 + \frac{1 - 2 \cdot 0,78}{12 \left[(1 + 2 \cdot 0,78) \ln \frac{1 + 0,78}{0,78} - 2 \right]} \right\}$$

$$\| \alpha = 0,75174$$

$$A^* = -0,21459 + 0,88071 \cdot 1 - 0,29760 \cdot 1^2 + 0,03791 \cdot 1^3$$

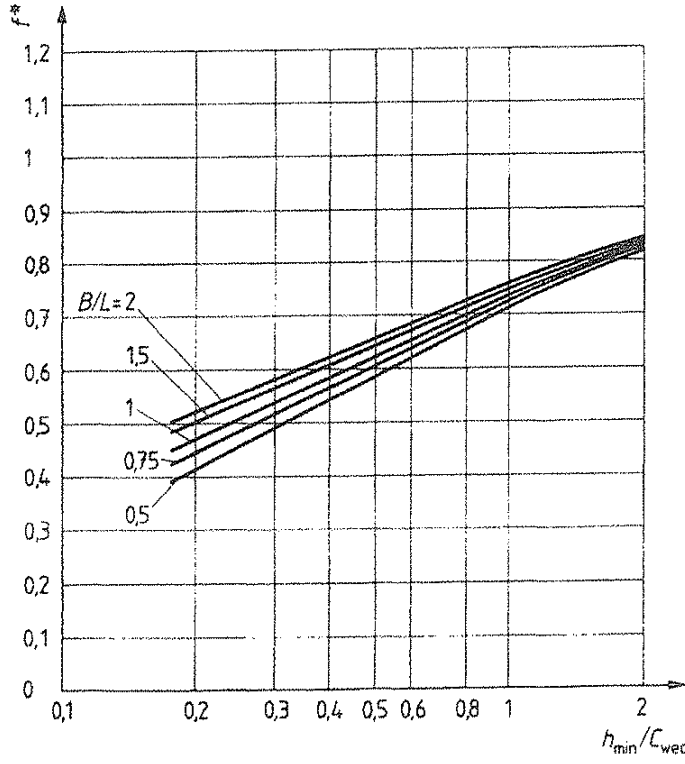
$$\| A^* = 0,40643$$

$$f^* = \frac{6}{5} \left\{ 4 \cdot 0,78 \cdot \ln \frac{1 + 0,78}{0,78} - \frac{6 \cdot 0,78}{1 + 2 \cdot 0,78} \right\} \left\{ 1 + 0,75174 \left[\frac{1}{1} \right]^2 \right\} 0,40643$$

$$\| f^* = 0,69$$

veya,

$$\frac{h_{\min}}{C_{wed}} = 0,78 \quad \left\{ \begin{array}{l} \| f^* = 0,69 \quad (\text{Şekil E6}) \\ \frac{B}{L} = 1 \end{array} \right.$$



Şekil E6- h_{min}/C_{wed} ve B/L boyutsuz oranlarının bir fonksiyonu olarak f^* değerleri

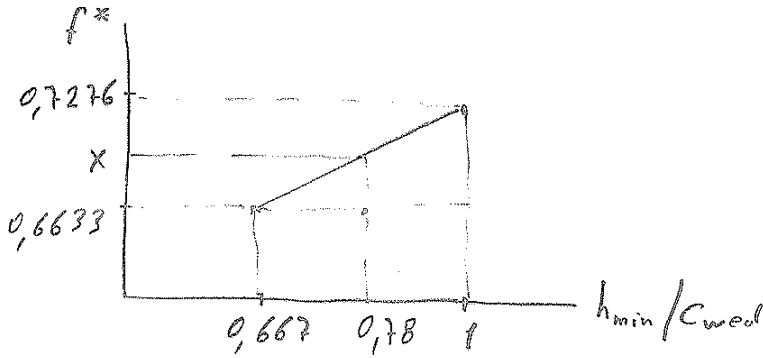
h_{min}/C_{wed}	B/L				
	2	1,5	1	0,75	0,5
2	0,8334	0,8302	0,8249	0,8210	0,8167
1	0,7480	0,7404	0,7276	0,7183	0,7076
0,667	0,6930	0,6821	0,6633	0,6495	0,6334
0,5	0,6525	0,6393	0,6163	0,5991	0,6788
0,333	0,5929	0,5774	0,5496	0,5282	0,5022
0,25	0,5481	0,5321	0,5026	0,4791	0,4500
0,2	0,5115	0,4960	0,4663	0,4420	0,4113

Tablo E3- $f^* = f(B/L, h_{min}/C_{wed})$ fonksiyonunun Şekil E6 daki f^* değerleri.

veya,

$$B/L = 1 \text{ için}$$

$$\left. \begin{aligned} f^* &= 0,7276 \rightarrow h_{\min}/C_{wed} = 1 \\ f^* &= 0,6633 \rightarrow h_{\min}/C_{wed} = 0,667 \end{aligned} \right\} \text{ (Tablo E3)}$$



$$\frac{0,78 - 0,667}{1 - 0,667} = \frac{x - 0,6633}{0,7276 - 0,6633}$$

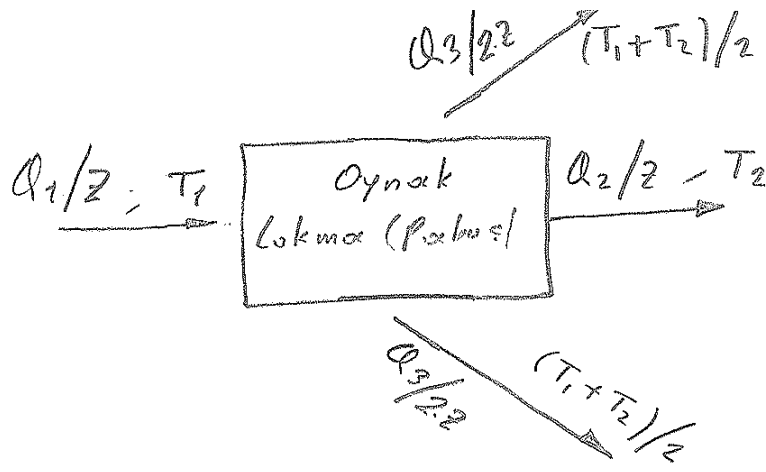
$$\frac{h_{\min}}{C_{wed}} = 0,78 \rightarrow \underline{\underline{|| x = f^* = 0,685}}$$

$$\underline{\underline{|| f^* = 0,69 \text{ (Kabul)}}}$$

• Yağ (Yağlayıcı) debilerinin elde edilmesi;

Yatak üzerisine gönderilen yağlayıcı, kayma yüzeyleri arasında bir yağ (yağlayıcı) filmi oluşturur. Yine bu yağlayıcı, sürtünmeden dolayı oluşan ısıyı da dışarı atar.

Yatak diskinin (Yatak üst plakası) dönme hareketinden dolayı (Şekil E1) yağlayıcı, yağ kamması yönünde basınç artışıyla birlikte taşınır ve oynak tokma kenarlarından dışarı atılmaya zorlanır. Yanal kenarlarında yaklaşık olarak aynı ölçüye sahip olduğu varsayılırsa, debi denge denklemi yazılabilir (Şekil E7).



Şekil E7 - Bir oynak lokmanın, ısı ve yağlayıcı dengesinin şematik gösterilişi.

Q_1 - Ferresel yönde, yağ kamasına (yağlama boşluğu) giriş yağ debisi

Q_2 - Ferresel yönde, yağ kamısından (yağlama boşluğu) çıkış yağ debisi

Q_3 - Ferresel yöne dik yönde, lokma kenarlarından çıkan yağlayıcı debisi olup, bu yağlayıcının sıcaklığı $(T_1 + T_2) / 2$ olarak kabul edilir.

T_1 - Yağ kamasına giriş yağ sıcaklığı

T_2 - Yağ kamısından çıkış yağ sıcaklığı

Bu tanımlar ile debi denge denklemi;

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (E17)$$

dir. Ayrıca,

Q_1^* - Giriş debisi faktörü (Yağ kaması girişindeki yağlayıcı debisi için karakteristik bir sayı)

Q_3^* - Kenar debisi faktörü (Lokma kenarlarından çıkan yağlayıcı debisi için karakteristik bir sayı)

Q_0 - Relatif (izafi veya basıl) yağ (yağlayıcı) debisi

Oynak Lokmalı (Pabuşlu)

Hidrodinamik

Eksenel Kaymalı

Yataklar

(TS ISO 12130 - 1, 2, 3)

-II-

Kemal İnanç

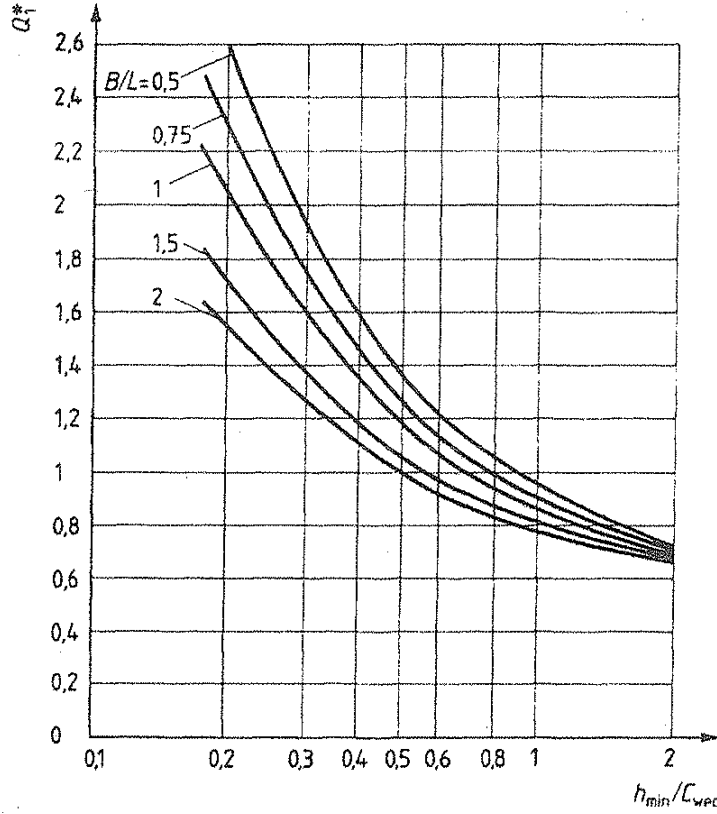
(Örnek Çözümlü Problem: Roloff/Matek - Maschinenelemente)

(9 Ad.)

$$Q_i = Q_3^* \text{ için :}$$

$$A_i = 2 \left[0,3586 - 0,24057 \left(\frac{B}{L} \right) + 0,052129 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right] \quad (E24)$$

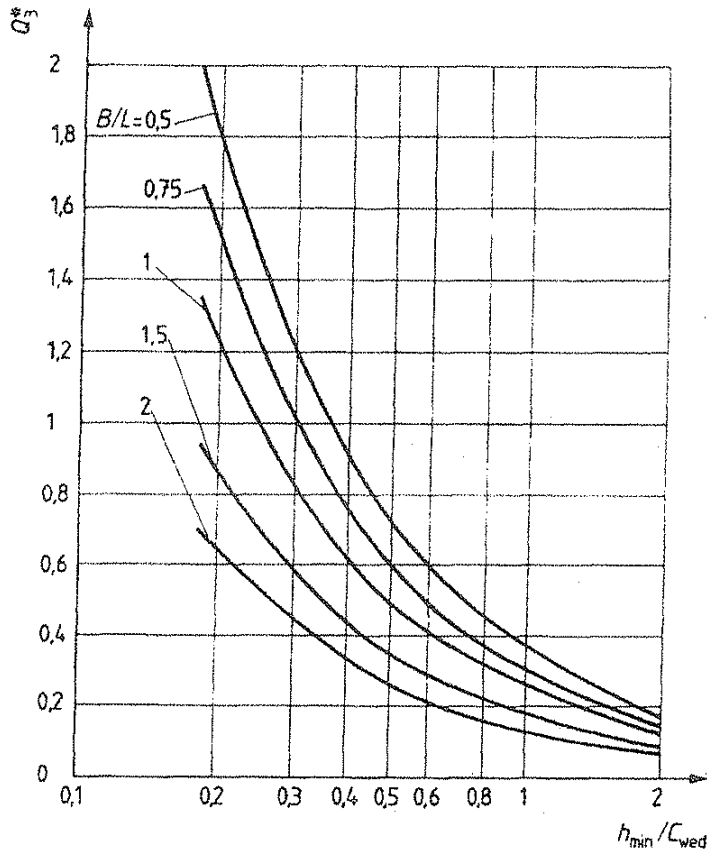
$$B_i = 2 \left[-0,27682 + 0,18607 \left(\frac{B}{L} \right) - 0,040081 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right] \quad (E25)$$



Sekil E8 - h_{min}/C_{wed} ve B/L boyutsuz oranlarının bir fonksiyonu olarak Q_i^* değerleri

h_{min}/C_{wed}	B/L				
	2	1,5	1	0,75	0,5
2	0,6435	0,6571	0,6786	0,6960	0,7152
1	0,7655	0,7960	0,8473	0,8843	0,9270
0,667	0,8760	0,9253	1,008	1,068	1,137
0,5	0,9795	1,049	1,165	1,249	1,345
0,333	1,173	1,283	1,470	1,607	1,761
0,25	1,362	1,510	1,769	1,960	2,174
0,2	1,544	1,731	2,063	2,311	2,588

Tablo E4 - $Q_i^* = F(B/L, h_{min}/C_{wed})$ fonksiyonunun Sekil E8'deki Q_i^* değerleri



Şekil E9 - h_{min}/C_{wed} ve B/L boyutsuz oranlarının bir fonksiyonu olarak Q_3^* değerleri

h_{min}/C_{wed}	B/L				
	2	1,5	1	0,75	0,5
2	0,06475	0,08607	0,1223	0,1477	0,1781
1	0,1294	0,1724	0,2462	0,2972	0,3576
0,667	0,1946	0,2595	0,3707	0,4479	0,5390
0,5	0,2598	0,3471	0,4964	0,6001	0,7214
0,333	0,3908	0,5228	0,7500	0,9077	1,091
0,25	0,5220	0,6993	1,006	1,219	1,463
0,2	0,6535	0,8760	1,263	1,531	1,838

Tablo E5 - $Q_3^* = f(B/L, h_{min}/C_{wed})$ fonksiyonunun Şekil E9'deki Q_3^* değerleri.

Şimdi, $h_{min}/C_{wecl} = 0,78$, $B/L = 1$ değerleri ile Q_1^* ve Q_3^* faktörlerini hesaplayalım.

Eşitlikler E22, E23, E24 ve E25'e göre :

$$A_i = A_1^* = 1,5494 - 0,34448 \cdot 1 + 0,072475 \cdot 1^2$$

$$\| \underline{A_1^*} = 1,2774$$

$$B_i = B_1^* = -0,57208 + 0,37091 \cdot 1 - 0,07918 \cdot 1^2$$

$$\| \underline{B_1^*} = -0,28035$$

$$A_i = A_3^* = 2 \left[0,3586 - 0,24057 \cdot 1 + 0,052129 \cdot 1^2 \right]$$

$$\| \underline{A_3^*} = 0,3404$$

$$B_i = B_3^* = 2 \left[-0,27682 + 0,18607 \cdot 1 - 0,040081 \cdot 1^2 \right]$$

$$\| \underline{B_3^*} = -0,2617$$

Eşitlik E21'e göre :

$$Q_1^* = \frac{1 + 0,78}{1 + 2 \cdot 0,78} \left\{ 1,2774 - 0,28035 \left[1 - \frac{1}{0,78} \right] \right\}$$

$$\| \underline{Q_1^*} \approx 0,94$$

$$Q_3^* = \frac{1 + 0,78}{1 + 2 \cdot 0,78} \left\{ 0,3404 - 0,2617 \left[1 - \frac{1}{0,78} \right] \right\}$$

$$\| \underline{Q_3^*} \approx 0,288 \approx 0,29$$

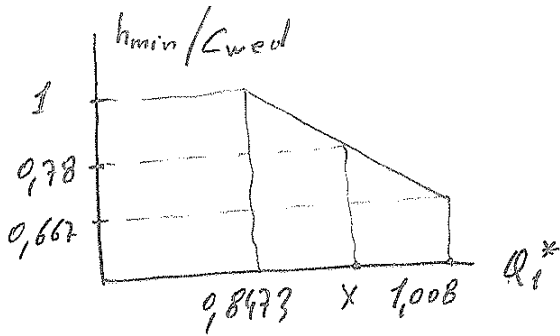
veya,

$$\left. \begin{aligned} \frac{h_{min}}{C_{wed}} = 0,78 \\ \frac{B}{L} = 1 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \underline{Q_1^*} &= 0,94 \text{ (Şekil E8)} \\ \underline{Q_3^*} &= 0,29 \text{ (Şekil E9)} \end{aligned}$$

veya,

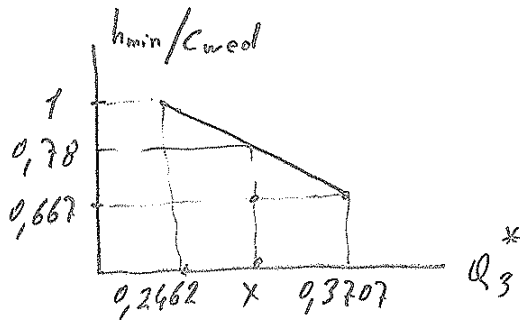
$$B/L = 1 \text{ için;}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{h_{min}}{C_{wed}} = 1 \rightarrow Q_1^* = 0,8473 \\ \frac{h_{min}}{C_{wed}} = 0,667 \rightarrow Q_1^* = 1,008 \end{aligned} \right\} \text{(Tablo E4)}$$



$$\frac{1,008 - x}{1,008 - 0,8473} = \frac{0,78 - 0,667}{1 - 0,667}$$

$$\frac{h_{min}}{C_{wed}} = 0,78 \rightarrow \underline{Q_1^*} = 0,95$$



$$\left. \begin{aligned} \frac{h_{min}}{C_{wed}} = 1 \rightarrow Q_3^* = 0,2462 \\ \frac{h_{min}}{C_{wed}} = 0,667 \rightarrow Q_3^* = 0,3707 \end{aligned} \right\} \text{(Tablo E5)}$$

$$\frac{0,3707 - x}{0,3707 - 0,2462} = \frac{0,78 - 0,667}{1 - 0,667}$$

$$\frac{h_{\min}}{C_{\text{med}}} = 0,78 \rightarrow \underline{\underline{X = Q_3^* = 0,3}}$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_1^* = 0,94 \\ Q_3^* = 0,29 \end{array} \right\} \text{(Kabul)}$$

Kabul edilen ısıtıcı (başlangıç) değerleri :

$T_{B,0}$ - Kabul edilen ısıtıcı (başlangıç) yatak sıcaklığı

$$\underline{\underline{\| T_{B,0} = 80^\circ\text{C}}}$$

$T_{\text{eff},0}$ - Efektif, ısıtıcı (başlangıç) yağ sıcaklığı

$$\underline{\underline{\| T_{\text{eff},0} = 80^\circ\text{C}}}$$

Hesapları, Şekil E2'deki akış diyagramını kullanarak devam edelim :

• Ortalama yatak çapı D ;

$$D = \frac{D_o + D_i}{2} \quad (\text{Şekil E1}) \quad \text{--- --- ---} \quad (E26)$$

$$D = \frac{340 \cdot 10^{-3} + 280 \cdot 10^{-3}}{2}$$

$$\underline{\underline{\| D = 310 \cdot 10^{-3} \text{ m.}}}$$

• Lokma (Pabuç) genişliği B ;

$$B = \frac{D_o - D_i}{2} \quad (\text{Şekil E1}) \quad \text{--- --- ---} \quad (E27)$$

$$B = \frac{340 \cdot 10^{-3} - 280 \cdot 10^{-3}}{2}$$

$$\| B = 30 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

• Ortalama çevre hızı U ;

$$U = \pi \cdot D \cdot N \quad (E28)$$

$$U = \pi \cdot 310 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$\| U = 9,74 \text{ m/s}$$

• Minimum yağ filmi (tabakası) kalınlığı h_{\min} ;

$$h_{\min} = \sqrt{F \cdot \frac{U \cdot \gamma_{\text{eff}} \cdot L^2 \cdot B \cdot Z}{F}} \quad (\text{Eşitlik E7})$$

γ_{eff} - Yağlayıcının (yağın) efektif dinamik işletme viskozitesi.

ISO VG 68 yağı ve $T_{\text{eff},0} = 80^\circ \text{C}$ için,

$$\| \gamma_{\text{eff}} = 0,013 \text{ Pa.s (Sayfa 3 veya Şekil E3)}$$

L - Ortalama tokma (Pabuç) uzunluğu (D ortalama çapa karşılık gelen tokmanın çevresel yöndeki uzunluğu) (Şekil E1)

$$\frac{B}{L} = 1 \quad (\text{Verilmiştir})$$

$$\| L = B = 30 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

(γ_{eff} ; T_1 ve T_2 sıcaklıklarının ortalamasından elde edilir. $\gamma(T_1)$ ve $\gamma(T_2)$ 'nin ortalamasından elde edilmez.)

$$h_{min} = \sqrt{0,02 \cdot \frac{974 \cdot 0,013 \cdot (30 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 24}{25000}}$$

$$\parallel h_{min} = 15,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Kontrol :

$$h_{min} > h_{Lim}$$

olmalıdır .

h_{Lim} - Kabul edilebilir (Müşaade edilen) minimum yağ (yağlayıcı) filmi kalınlığı (işletme devir sayısında)

h_{Lim} değeri, aşağıda verilmiş olan denklem ile de hesaplanabilir.

$$h_{Lim} = C \sqrt{U \cdot D \cdot \frac{F_{st}}{F}} \quad \text{--- (E29)}$$

Burada C,

$$C = 0,4 \cdot 10^{-5} \dots 2,9 \cdot 10^{-5} \quad \text{--- (E30)}$$

arasında değişen bir katsayıdır .

h_{Lim} için ampirik değerler Tablo E6 ve E7 de verilmiştir .

Ayrıca,

$h_{Lim, tr}$ - Sivi sürtünmeye geçiş devir sayısında, müşaade edilen minimum yağ (yağlayıcı) filmi kalınlığı

olmak üzere,

$$h_{Lim, tr} = \sqrt{\frac{D_1 R_2}{12000}} \quad \text{--- (E31)}$$

Ortalama Yatak Çapı D [mm]	Ortalama Çevre Hızı U [m/s]					
	1 ≤ U ≤ 2,4	2,4 < U ≤ 4	4 < U ≤ 6,3	6,3 < U ≤ 10	10 < U ≤ 24	24 < U ≤ 40
	Kabul edilebilir min. yağ filmi kalınlığı h _{lim} [μm]					
24 ≤ D ≤ 63	4	4	4,8	6	8,5	12
63 < D ≤ 160	6,5	6,5	7,5	8,5	14	19
160 < D ≤ 400	10	10	12	15	22	30
400 < D ≤ 1000	16	16	19	24	35	48
1000 < D ≤ 2500	26	26	30	38	55	75

Tablo E6 - $C = 1 \cdot 10^{-5}$ ve $F_{st}/F = 1$ için, kabul edilebilir en küçük (minimum) yağ (yağlayıcı) filmi kalınlığı h_{lim} [μm] ampirik değerleri.

Ortalama Yatak Çapı D [mm]	Ortalama Çevre Hızı U [m/s]					
	1 ≤ U ≤ 2,4	2,4 < U ≤ 4	4 < U ≤ 6,3	6,3 < U ≤ 10	10 < U ≤ 24	24 < U ≤ 40
	Kabul edilebilir min. yağ filmi kalınlığı h _{lim} [μm]					
24 ≤ D ≤ 63	4	4	4	4	4,3	6
63 < D ≤ 160	6,5	6,5	6,5	6,5	7	8,5
160 < D ≤ 400	10	10	10	10	11	15
400 < D ≤ 1000	16	16	16	16	17	24
1000 < D ≤ 2500	26	26	26	26	27	37

Tablo E7 - $C = 1 \cdot 10^{-5}$ ve $F_{st}/F = 0,25$ için, kabul edilebilir en küçük (minimum) yağ (yağlayıcı) filmi kalınlığı h_{lim} [μm] ampirik değerleri.

$F_{st}/F = 0$ olması halinde Tablo E6 ve E7 nin ilk sütunu içerisinde verilen değerler, Ortalama çevre hızından bağımsız olarak geçerlidir.

Problemimizde, $F_{st}/F = 0$ dolayısıyla Tablo E6 veya E7 nin ilk sütunları kullanılacak (U değerinden bağımsız). Görüldüğü gibi her iki tablonun 1. sütunları zaten aynı değerlere sahip.

$$D = 310 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

(160 < D ≤ 400) mm için

$$\parallel h_{lim} = 10 \mu\text{m} \quad (\text{Tablo E6, E7 1. sütun})$$

$$h_{min} = 15,2 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad (\text{Sayfa: 28})$$

$$\parallel h_{min} (= 15,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}) > h_{lim} (= 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}) \quad \text{Uygun.}$$

$$h_{lim, tr} = \sqrt{\frac{D \cdot R_z}{12000}} \quad (\text{Eşitlik E31})$$

denklemini kullanalım.

- Çok hassas işleme yoluyla elde edilen yüksek kaliteli yüzeylerde, Seri 2 ve seri 3 için,

$$R_{max} = R_t = 1 \mu \quad (\text{Tuncer ÖZKAN Radyal Kaymalı Yataklar})$$

Yüzey pürüz yüksekliği	R_t [μm]
Kaba taşlama	16... 40
Taşlama Orta	6... 16
Hassas	2,5... 6
Çok hassas	1... 2,5

(Prof. Dr. Erdem KOÇ - Makina Elemanları)

$$R_2 = 1 \mu\text{m} \text{ için,}$$

$$h_{\text{Lim, tr}} = \sqrt{\frac{300 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 \mu\text{m} \cdot 1 \mu\text{m}}{12000}} = 5 \mu\text{m}$$

$$h_{\text{Lim}} = 1,25 \cdot h_{\text{Lim, tr}} \text{ (Eşitlik E33)}$$

$$h_{\text{Lim}} = 1,25 \cdot 5$$

$$\underline{\underline{h_{\text{Lim}} = 6,25 \mu\text{m}}}$$

$$R_2 = 2,5 \mu\text{m} \text{ için,}$$

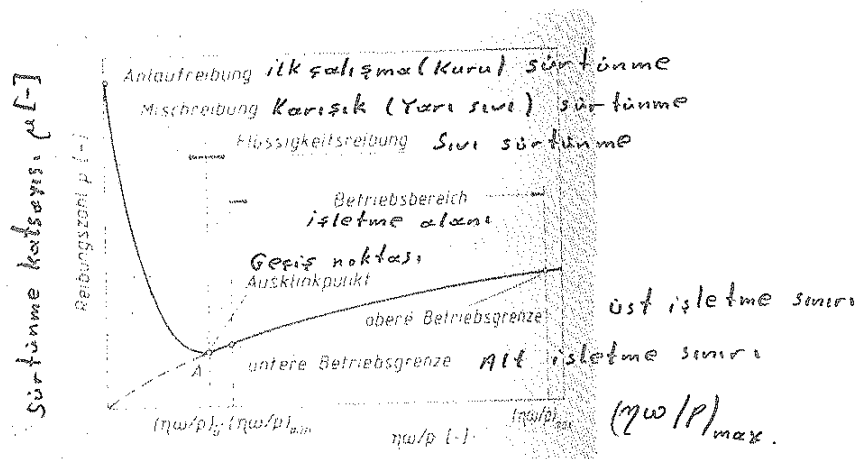
$$h_{\text{Lim, tr}} = \sqrt{\frac{300 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 \mu\text{m} \cdot 2,5 \mu\text{m}}{12000}} = 7,9 \mu\text{m}$$

$$h_{\text{Lim}} = 1,25 \cdot 7,9$$

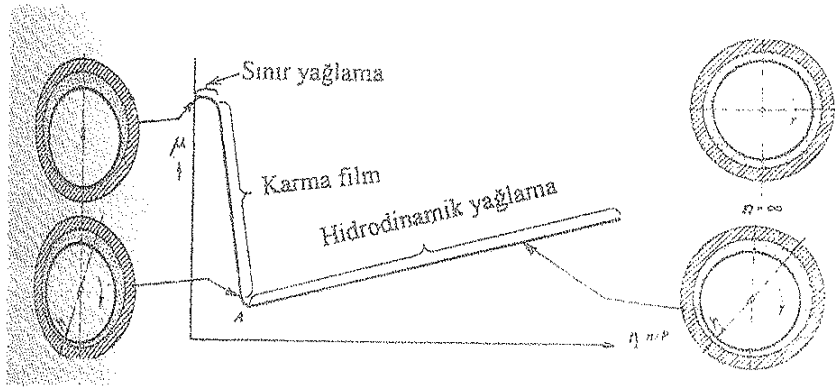
$$\underline{\underline{h_{\text{Lim}} \approx 9,9 \mu\text{m}}}$$

Görüldüğü gibi, Tablo E6 ve E7'deki 1. sütun değerlerine çok yakın değerler bulunabilir.

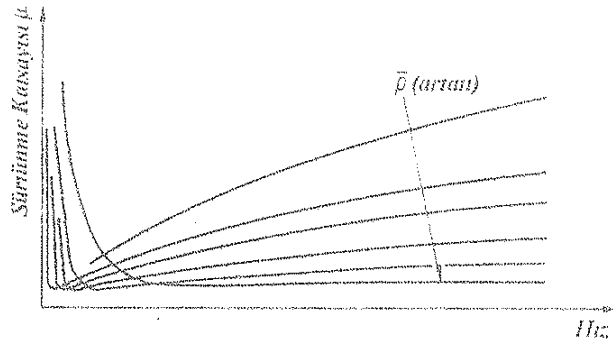
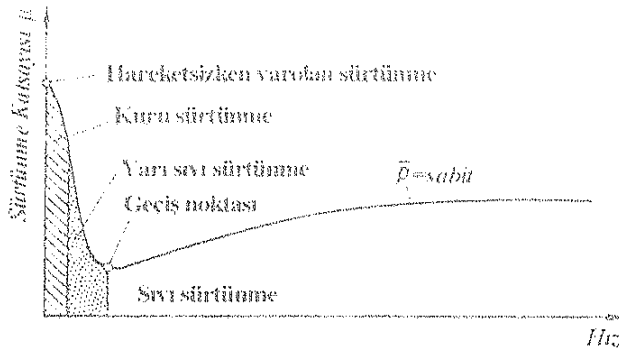
Not. Bazı literatürlerden, konuyla ilgili kısa bilgiler vereyim :



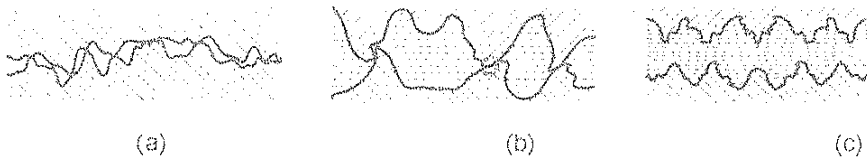
Şekil E10 - Bir kaymalı yatay için, sürtünme eğrisi ve işletme alanı (şematik) (Roloff/Matek Maschinenelemente)



Şekil E11- Yağlama koşullarına göre
milin yatak içindeki konumu
(Atilla Bozacı, Makina Elemanları)

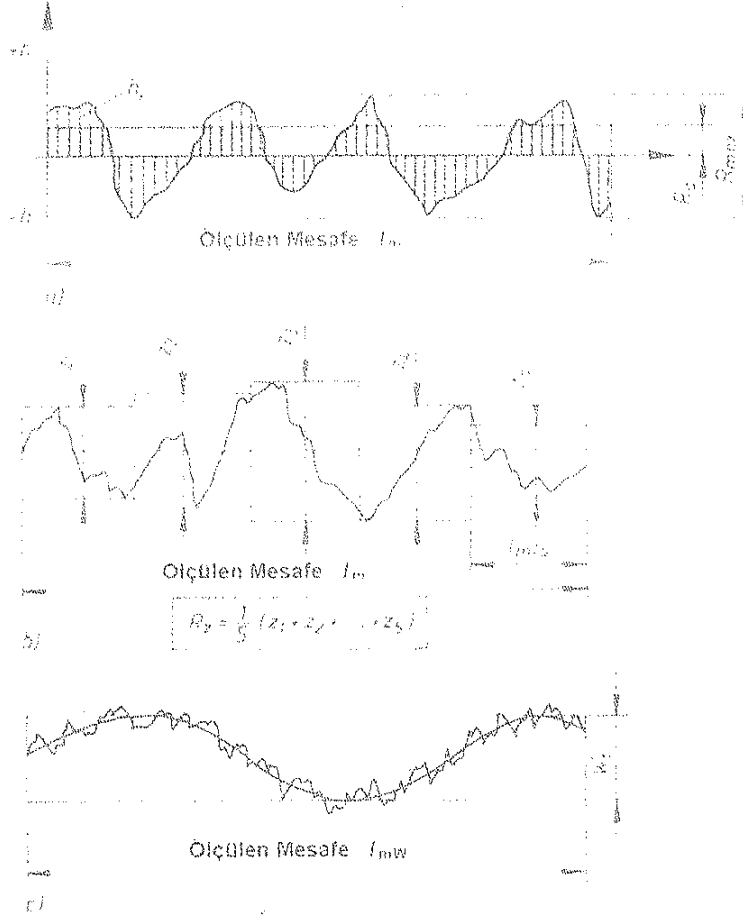


Şekil E12- Stribeck eğrisi μ
(Fatih C. Babalık - Kadir ÇAVDAR
Makina Elemanları)



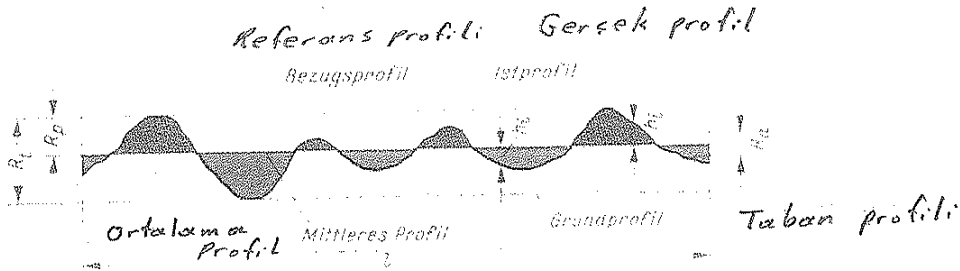
Şekil E13- Sürtünme şekilleri (İsmail Cürçül,
Makina Elemanları)

- a) Kuru sürtünme
- b) Yarı sıvı sürtünme
- c) Sıvı sürtünme



Ortalama yüzey pürüzü R_a : n noktada ölçülmüş yüzey pürüzü değerleri h_i 'nin mutlak değerlerinin aritmetik ortalaması: $R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |h_i|$
Ortalama yüzey pürüzü R_z : İncelenen bir boyutta genelde 5 noktada ölçülen yüzey pürüzlerinin aritmetik ortalaması
 R_{max} : İncelenen bölgedeki en büyük yüzey pürüzü
Dalgalık W : Ölçüm yapılan bölgede, pürüzler filtrelendikten sonra profilin alt ve üst noktaları arası mesafe.

Şekil E14 - Yüzey Pürüzleri
(Fatih C. Babalık . Makina Elemanları)



Sekil E15 - Yüzey pürüzlüğü ve pürüz değerleri

için DIN 4762 ye göre referans sistemi.

(Karl-Heinz Decker, Maschinenelemente)

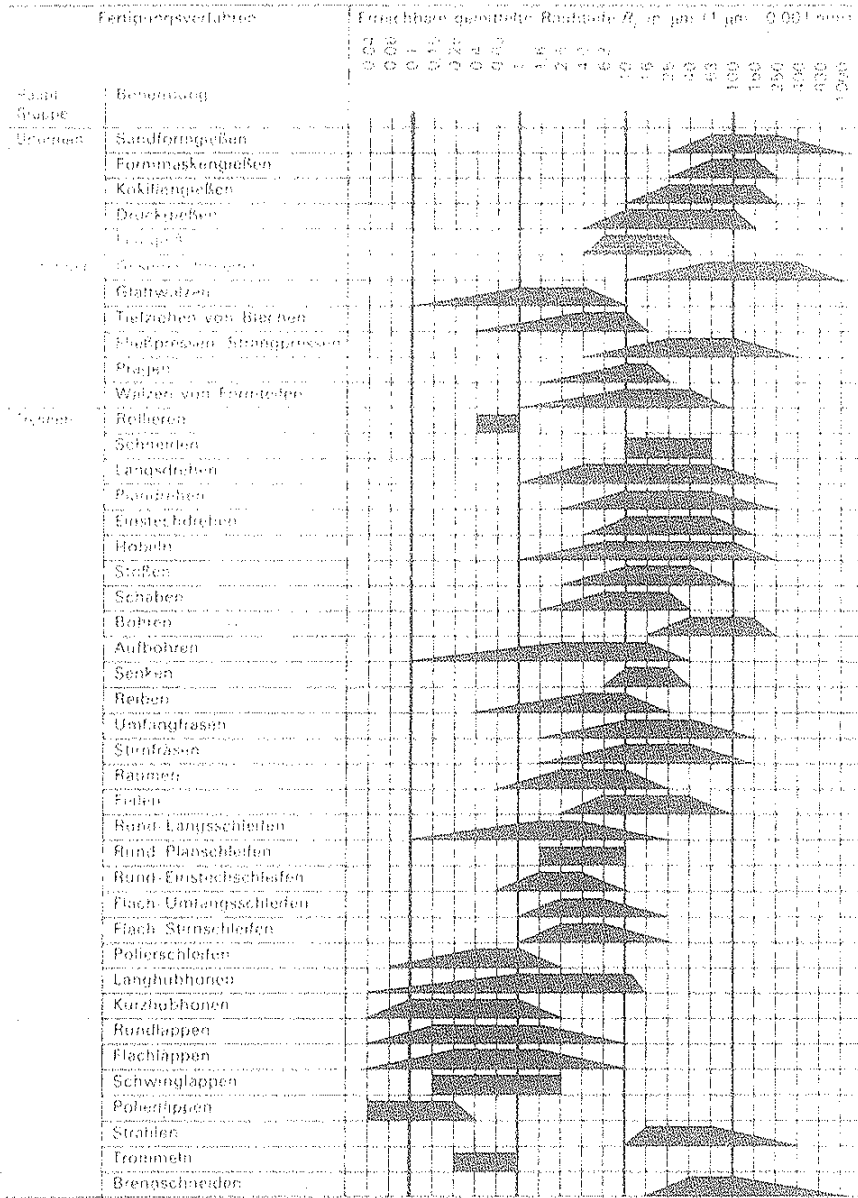
$R_t (=R_{max})$ - Müsaade edilen max. pürüz derinliği. (Referans profili ve taban profili arasındaki mesafe)

R_a - Ortalama yüzey pürüzü (Gerçek profil ile ortalama profil arasında n noktada ölçülmüş h_z pürüzlüğünün mutlak değerlerinin aritmetik ortalaması. $R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |h_z|$)

R_z - Elde edilebilir yüzey pürüzlüğü (incelenen boyutta, genelde 5 noktada ölçülen yüzey pürüzlerinin aritmetik ortalaması)

R_p - Düzleştirme (Pürüzsüzlük) derinliği

$$\left. \begin{aligned} R_a &\approx 0,1 R_z \\ R_z &\approx R_t \end{aligned} \right\} \text{Alınabilir.}$$



Tablo E8- imalat ve yüzey işleme yöntemlerine göre, elde edilebilir pürüz derinliği R_z değerleri (Roloff/Matek - Maschinen elemente)

İmal Usulü		Rz elde edilebilir yüzey pürüzlüğü µm olarak (1 µm = 0.001 mm)																							
Ana grup	Tarifi	0.04	0.06	0.1	0.16	0.25	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	
Ön şekil verme	Kum döküm																								
	Kabuk kalıp dökümü																								
	Kökil döküm																								
	Basınçlı döküm																								
	Hassas döküm																								
Şekil değiştirme	Dövme																								
	Çiz haddelme																								
	Çekme																								
	Presleme																								
	Kalıpla şekil verme																								
Ayrma suretiyle şekillendirme	Sekilli haddelme																								
	Yuvarlatma																								
	Kesme																								
	Boylam tornalama																								
	Alın tornalama																								
	Tornada kesme																								
	Planyalama																								
	Dik planyalama																								
	Raspalama																								
	Delmek (matkapla)																								
	Delik işlemek (kalemle)																								
	Havşalamak																								
	Raybalamak																								
	Çevresel frezeleme																								
	Alın frezeleme																								
	Boşaltma (broş)																								
	Eğeleme																								
	Silindirik boylam taşlama																								
	Silindirik alın taşlama																								
	Silindirik dolma taşlama																								
	Çevresel düzlem taşlama																								
	Alın düzlem taşlama																								
	Polisaj																								
	Uzun kurslu honlama																								
	Kısa kurslu honlama																								
	Silindirik lepleme																								
	Yüzey lepleme																								
	Titreşimle lepleme																								
Parlatma leplemesi																									
Puskürtme ile kumlama																									
Dolapta kumlama																									
Yakararak kesme																									

Tablo E9- Yüzey işleme metodları ve erişilebilecek yüzey pürüzlülükleri (Mustafa Sıvci - Mustafa AKKURT, Makina Elemanları)
 R_f - Yüzey pürüzlüğü
 R_a - Ortalama pürüzlük derecesi (Pratik olarak $R_a = 0,16$ ile $0,25 R_f$ dir)

- Ortalama yüzey basıncı veya özgül yatak yükü \bar{p} :

Lokmalı (pabuçlu) yataklarda ortalama yüzey basıncı,

$$\bar{p} = \frac{F}{B \cdot L \cdot z} \quad (E34)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Hesaplayalım,

$$\bar{p} = \frac{25000}{30 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 24}$$

$$\bar{p} = 1,16 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Kontrol :

$$\bar{p} < \bar{p}_{Lim} \quad (E35)$$

olmalıdır.

\bar{p}_{Lim} - Kabul edilebilir (Müsade edilen) max. özgül yatak yükü.

Çok kullanılan yatak malzemelerinde, \bar{p} parametresi ile karşılaştırma yapabileceğimiz \bar{p}_{Lim} değerleri Tablo E10 da verilmiştir.

Eğer, ilk hareket (çalışmaya başlama) esnasında özgül yatak yükü,

$$2,5 \text{ N/mm}^2 < \bar{p} \leq 3 \text{ N/mm}^2$$

ise, hidrostatik yağlama yapılmalıdır, aksi takdirde kayma yüzeylerinde aşınmalar oluşabilir.

Yatak malzeme grubu ^{a)}	$\bar{P}_{lim.}$ N/mm ² (MPa) ^{b)}
Pb ve Sn alaşımları	5 (15)
Cu - Pb alaşımları	7 (20)
Cu - Sn alaşımları	7 (25)
Al - Sn alaşımları	7 (18)
Al - Zn alaşımları	7 (20)

a) Malzemeler için; ISO 4381, ISO 4382-1, ISO 4382-2 ve ISO 4383'e bakınız.

b) Parantez içindeki değerlere, çok düşük hızlarda ve çok özel koşullarda ulaşılabilir.

$1 \text{ N/mm}^2 = 1 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 1 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 1 \text{ MPa}$

Tablo E10 - Kabul edilebilir (Müsade edilen) max. özgül yatak yükü $\bar{P}_{lim.}$ için amprik değerler.

$\bar{P}_{lim} = 5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ olarak verilmiş (veya amprik değerler için Tablo E10)

$$\| \bar{p} (= 1,16 \cdot 10^6 \text{ Pa}) < \bar{P}_{lim} (= 5 \cdot 10^6 \text{ Pa}) \text{ Uygun.}$$

Isıl denge denklemi :

Önce kısa bir bilgi;

Yataktaki sürtünmeden dolayı oluşan, P_f sürtünme kayıp gücü veya sürtünme ile üretilen ısı miktarı, çevre ortama verilen ısı miktarı ile yağ tarafından dışarıya atılan ısı miktarlarının

toplamına eşit olmalıdır şeklinde ifade edilir. -40-

Formüle edelim :

- Basınsız yağlanan yataklarda (Kendinden yağlamalı. Örneğin : Bilezikli yağlama pibi) yatağın soğutulması için, taşınım yoluyla çevre ortama verilen ısı yeterli ise,

$$P_f = P_{th,amb} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (E36)$$

$P_{th,amb}$ - Taşınım yoluyla çevre ortama verilen ısı püç (Yatağın taşınım soğutma püçü)

- Basıncılı yağlanan yataklarda (Pompalı yağlama örneğin : devridaim yağlama pibi) yatağın soğutulması için, devridaim (sirkülasyon) ettirilen yağ tarafından çevre ortama verilen ısı (zorlanmış ısı püçü yoluyla)

$$P_f = P_{th,L} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (E37)$$

$P_{th,L}$ - Devridaim ettirilen yağ tarafından alınan ve çevre ortama verilen ısı enerjisi veya ısı püç (Yatağın zorlanmış soğutma püçü) şeklinde ısı denge denklemleri yazılır.

Eşitlik E37 de görüldüğü gibi, yatağın devridaim ettirilen yağ tarafından soğutulması yanında elbetteki doğal olarak taşınım yoluyla da soğutma vardır. Burada, taşınım yoluyla yatağın soğutma püçü, zorlanmış soğutma püçü yanında ihmal edilmiştir (Ek emniyet sağlama düşüncesiyle).

Oynak Lokmalı (Paşa) (Paşa)

Hidro dinamik

Eksenel Kaymalı

Yataklar

(TS ISO 12130 - 1, 2, 3)

-III-

Kennedijhal

(Örnek Fözümlü Problem: Roloff/Matek - Maschinenelemente)

(GAd.)

inceliyelim.

.91.

- Taşınım yoluyla ferre ortama verilen ısı enerjisi $P_{th,amb}$ i

Yatak sıcaklığı T_B ve ferre ortam sıcaklığı T_{amb} olmak üzere, yatak püresi yüzeyinden taşınım yoluyla ferre ortama verilen ısı

$$P_{th,amb} = k_A \cdot A (T_B - T_{amb}) \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (E38)$$

denkleminde hesaplanır. Burada,

k_A - Isı taşınım katsayısı (Yatak dış yüzeyi ile ferre ortam arasındaki ısı geçişinde)

- Doğal ısı taşınımında, ortalama değer olarak,

$$k_A = (15 \dots 20) \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (E39)$$

ve

Normal şartlarda, yani durgun hava hali için,

$$k_A = 20 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

alınabilir.

- Zorlanmış ısı taşınımında,

Yatak etrafında hava hareketi var ise, w_{abm} m/s olarak yatak ferresindeki hava hızı ise, $w_{abm} > 1,2$ m/s için k_A ,

$$k_A = 7 + 12 \sqrt{w_{abm}} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (E40)$$

şeklinde hesaplanır.

Buradaki k_A katsayısı, yatak pörsesindeki ısı peşisinde ısı iletim faktörü, yatak pörsesi yüzeyinden çevre ortama ısı peşisindeki ısı taşınım ve ısı taşınım faktörlerini göz önüne almıştır. Mil tarafından çevre ortama verilen ısının çok küçük değerlerde olmasından dolayı burada dikkate alınmamıştır.

$$P_f = f \cdot \frac{U^2 \cdot \gamma_{eff} \cdot B \cdot L \cdot Z}{h_{min.}} \quad (\text{Eşitlik E12})$$

$$P_f = P_{th,amb} \quad (\text{Eşitlik E36})$$

$$P_{th,amb} = k_A \cdot A (T_B - T_{amb}) \quad (\text{Eşitlik E38})$$

eşitliklerinden,

$$f \cdot \frac{U^2 \cdot \gamma_{eff} \cdot B \cdot L \cdot Z}{h_{min.}} = k_A \cdot A (T_B - T_{amb}) \quad (\text{E41})$$

ısı denge denklemi yazılabilir.

Doğal taşınım yoluyla yatağın soğutulmasında

1. adım olarak,

$$T_{eff} = T_B \quad (\text{E42})$$

alınır.

T_{eff} - Yataktaki efektif yağ sıcaklığı

$$k = \frac{k_A \cdot A}{B \cdot L \cdot Z} \quad (\text{E43})$$

dönüşüm faktörü ile eşitlik E41,

$$f \cdot \frac{U^2 \cdot \gamma_{eff}}{h_{min.}} = k (T_{eff} - T_{amb})$$

ve

$$T_{eff} = f^* \frac{U^2 \gamma_{eff}}{h_{min} \cdot k} + T_{amb} \quad (E44)$$

olarak efektif yatak sıcaklığı elde edilir.

A- Yatak pördesinin ısı veren yüzeyi veya yatak soğutma yüzeyi

A yüzeyi tam olarak bilinmiyorsa, yatak kons-trüksiyonuna göre yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

- Silindirik pördeli yataklar için,

$$A = 2 \cdot \frac{\pi}{4} D_H^2 + \pi D_H \cdot B_H \quad (E45)$$

- Makina ana pördesi içindeki yataklar için,

$$A = (15 \dots 20) B.L. Z \quad (E46)$$

Burada,

B_H - Gövdenin aksenal genişliği

D_H - Gövdenin dış çapı

dir.

• Derridaim ettirilen yağ tarafından ferre ortama verilen ısı enerjisi $P_{th,L}$;

$$P_{th,L} = \rho \cdot c_p \cdot Q (T_{ex} - T_{en}) \quad (E47)$$

esitliğinden hesaplanır.

Burada,

ρ - Yağın (yağlayıcının) yoğunluğu

c_p - Yağın (yağlayıcının) özgül ısısı

Madeni yağlarda,

$$\rho \cdot c_p = 1,8 \cdot 10^6 \text{ J / (m}^3 \cdot \text{K)} \quad \text{--- --- --- (E48)}$$

alınabilir.

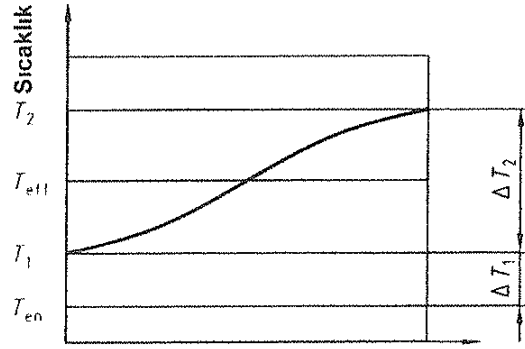
Q - Toplam yağ debisi (Eksenel yatağı besleyecek toplam yağ debisi veya yatak yağ besleme debisi veya devridaim ettirilmesi gereken yağ debisi)

T_{ex} - Yağ giriş sıcaklığı (yağlayıcının, yataktan çıkış sıcaklığı)

T_{en} - Yağ giriş sıcaklığı (Yağlayıcının yatağa giriş sıcaklığı)

Oynak lokmalı (tabanlı) eksenel kaymalı yatak, Z sayısı kadar oynak lokmalardan oluşmaktadır. Ancak burada, tek bir oynak lokmanın yeterli yağ (yağlayıcı) debisinin hesaba katılması yeterli olmaz, yatağın tümünü kapsayan yeterli yağ (yağlayıcı) debisinin ve bu debinin karşılıklı etkisinin de hesaba katılması gerekir. Şekil E7 de gösterildiği gibi Q₂ debisi ile zorlanarak oynak lokmadan dışarı çıkan yağ (yağlayıcı) bir sonraki oynak lokma ile olan boşlukta (lokma arası boşluk) yeni olarak beslenen yağ ile karışır. Dolayısıyla yağ kamması girişinde T₁ olan yağ sıcaklığı, T_{en} olan ve yeni olarak beslenen yağ sıcaklığının ΔT₁ kadar yüksek olur (Şekil E16).

yani;



Yağ kaması (yağlama boşluğu) sıcaklığı

Şekil F16 - Yağlamada sıcaklık dağılımı.

$$\Delta T_1 = T_1 - T_{en} \quad (E49)$$

dir.

Q^* - Debi faktörü (Yağlayıcı debisi için karakteristik bir değer)

M - Karıştırma faktörü (Yağ karışım faktörü)

olmak üzere,

Sırasıyla; $Q \geq Q_3$ ve $Q^* \geq Q_3^*$ için:

$$\Delta T_1 = \frac{Q_2}{M \cdot Q + (1-M) \cdot Q_3} \cdot \Delta T_2 = \frac{Q_2^*}{M \cdot Q^* + (1-M) \cdot Q_3^*} \cdot \Delta T_2 \quad (E50)$$

yarılabılır. İndiriyelim;

$M = 0$ için:

Oynak lokmalar arasındaki boşlukta yağ karışımı olmaz, başka bir deyişle Q_2 debisi ile zorla dışarı atılan yağ, önündeki yağ kamasına tamamen pııer.

$M = 1$ için:

Oynak lokmalar arasındaki boşlukta tam bir

karışım olduğu ifade edilir.

Ampririk olarak,

$$M = 0,4 \dots 0,6 \quad \text{--- (E51)}$$

değerleri önerilir.

$$\Delta T = T_{ex} - T_{en} \quad \text{--- (E52)}$$

yazılarak,

$$P_f = P_{th,L} \quad \text{(Eşitlik E37)}$$

ile,

$$P_f = P_{th,L} = \rho \cdot c_p \cdot Q \cdot \Delta T \quad \text{(Eşitlik E47)}$$

ve

$$Q = \frac{P_f}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T}$$

veya,

$$Q = Q^* \cdot Q_0 \quad \text{--- (E53)}$$

yazılabilir.

Not "Eksenel kaymalı yataklar" Tuncer ÖZKAN 'dan:

Gerekli yağ ihtiyacı Q_s ;

Hidrodinamik bölgede çalışmak üzere yağ debisi (Hidrodinamik debi) veya yatakta yani lokmalarda film teskil (h_0) için gerekli yağ ihtiyacı (miktarı) ampririk olarak,

$$Q_s = \varphi \cdot b \cdot h_0 \cdot u \cdot z$$

denkleminde bulunabilir.

$$\varphi - \text{Debi faktörü} \\ \varphi \approx 0,7$$

dir.

Bu kısaca bilgilerden sonra konumuza dönelim.

$$Q_0 = B \cdot h_{\min} \cdot U \cdot z \quad (\text{Eşitlik E20})$$

Eşitlik E53 te yerine konursa,

$$Q^* = \frac{P_f}{S \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot B \cdot h_{\min} \cdot U \cdot z} \quad (\text{E54})$$

olur.

$$F^* = \frac{F \cdot h_{\min}^2}{U \cdot \gamma_{\text{eff}} \cdot L^2 \cdot B \cdot z} \quad (\text{Eşitlik E7})$$

$$P_f = f^* \frac{U^2 \cdot \gamma_{\text{eff}} \cdot B \cdot L \cdot z}{h_{\min}} \quad (\text{Eşitlik E12})$$

$$F^* \cdot P_f = \frac{F \cdot h_{\min}^2}{U \cdot \gamma_{\text{eff}} \cdot L^2 \cdot B \cdot z} \cdot f^* \frac{U^2 \cdot \gamma_{\text{eff}} \cdot B \cdot L \cdot z}{h_{\min}}$$

$$F^* \cdot P_f = \frac{F \cdot h_{\min} \cdot f^* \cdot U}{L}$$

$$P_f = \frac{f^*}{F^*} \cdot \frac{F \cdot h_{\min} \cdot U}{L}$$

Eşitlik E54 de yerine konursa,

$$Q^* = \frac{1}{S \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot B \cdot h_{\min} \cdot U \cdot z} \cdot \frac{f^*}{F^*} \cdot \frac{F \cdot h_{\min} \cdot U}{L}$$

$$\| Q^* = \frac{f^*}{F^*} \frac{F}{B \cdot L \cdot z \cdot S \cdot c_p \cdot \Delta T} \quad (\text{E55})$$

elde edilir.

Deneysel değerlere dayanarak,

$$\Delta T = 10 K \dots 30 K \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (E56)$$

aralığında seçilir.

$$P_{th,L} = \rho \cdot c_p \cdot Q (T_{ex} - T_{en}) \quad (\text{Eşitlik E47})$$

ifadesinde,

$Q (T_{ex} - T_{en})$ yerine, Şekil E7 den faydalanarak,

$$Q_3 \left(T_2 - \frac{T_1 + T_2}{2} \right) + Q_2 (T_2 - T_1) = (0,5 Q_3 + Q_2) (T_2 - T_1)$$

yazılırsa,

$$P_{th,L} = \rho \cdot c_p (Q_2 + 0,5 Q_3) (T_2 - T_1)$$

$$\Delta T_2 = T_2 - T_1 \quad (\text{Şekil E16}) \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (E57)$$

$$P_{th,L} = \rho \cdot c_p (Q_2 + 0,5 Q_3) \cdot \Delta T_2 \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (E58)$$

elde edilir.

$$P_{th,L} = \rho \cdot c_p \cdot Q \Delta T \quad (\text{Eşitlik 47})$$

$$\rho \cdot c_p (Q_2 + 0,5 Q_3) \Delta T_2 = \rho \cdot c_p \cdot Q \cdot \Delta T$$

$$\Delta T_2 = \frac{\Delta T \cdot Q}{Q_2 + 0,5 Q_3}$$

veya

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (\text{Eşitlik E17})$$

ile

$$\Delta T_2 = \frac{\Delta T \cdot Q}{Q_1 - Q_3 + 0,5 Q_3} = \frac{\Delta T \cdot Q}{Q_1 - 0,5 Q_3}$$

$$\Delta T_2 = \frac{\Delta T \cdot Q}{Q_2 + 0,5 Q_3} = \frac{\Delta T \cdot Q}{Q_1 - 0,5 Q_3}$$

$$Q_1 = Q_1^* \cdot Q_0$$

$$Q_2 = Q_2^* \cdot Q_0$$

$$Q_3 = Q_3^* \cdot Q_0$$

$$Q = Q^* \cdot Q_0$$

Eşitlikleri ile,

$$\Delta T_2 = \frac{\Delta T \cdot Q^*}{Q_2^* + 0,5 Q_3^*} = \frac{\Delta T \cdot Q^*}{Q_1^* - 0,5 Q_3^*} \quad (E59)$$

yarılabılır.

$$\Delta T^* = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \quad (E60)$$

dönüşümü ile, efektif yatak sıcaklığı T_{eff} ,

$$T_{eff} = T_{en} + \Delta T_1 + 0,5 \Delta T_2 \quad (\text{Şekil E16}) \quad (E61)$$

veya

$$T_{eff} = T_{en} + \Delta T^* \cdot \Delta T_2 + 0,5 \Delta T_2$$

$$T_{eff} = T_{en} + (\Delta T^* + 0,5) \cdot \Delta T_2 \quad (E62)$$

ve yatak sıcaklığı T_B ,

$$T_B = T_2 = T_{en} + \Delta T_1 + \Delta T_2 \quad (\text{Şekil E16}) \quad (E63)$$

veya,

$$T_B = T_2 = T_{en} + \Delta T^* \cdot \Delta T_2 + \Delta T_2$$

$$T_B = T_2 = T_{en} + (\Delta T^* + 1) \cdot \Delta T_2 \quad (E64)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir.

T_2 ve T_B için hesaplanan değerlerin, kabul edilebilir (müsade edilen) max. yatak sıcaklığı T_{lim} değerlerini aşmamalıdır. Yatak yağlama şekline göre karşılaştırma yapabileceğimiz T_{lim} değerleri Tablo E11 de verilmiştir.

Yatak yağlama şekli	$T_{lim} [^{\circ}C]$	
	≤ 5	> 5
Basınç altında yağlama (Devridaimli yağlama)	100 (115)	110 (125)
Basınçsız yağlama (Kendinden yağlama. Örneğin; bilezikli yağlama fibi)	90 (110)	

Tablo E11 - Kabul edilebilir (Müsade edilen) max. yatak sıcaklığı T_{lim} için amprik değerler. (Paranter içindeki değerlere özel işletme koşullarında ulaşılabilir.)
a) T.Ö. Eksenel kaymalı yataklar'a bakınız.

Not. T.Ö 'den : Şekil E2 yi inceleyelim.

Yağ, Q_1/z debisinde ve T_1 sıcaklığında yağ kamasına girerken, sıcaklığı T_{en} olan ve yeni olarak beslenen yağın sıcaklığını ΔT_1 kadar artırır. $T_1 = T_{en} + \Delta T_1$.

Yağ kamalarında sıcaklığını ΔT_2 kadar artıran yağ, Q_2/z debisinde ve T_2 sıcaklığında yağ kamısından çıkar. $T_2 = T_1 + \Delta T_2$

Tekrar problemimize dönelim.

Doğal taşınım yoluyla yatağın soğutulması :

1. Adım ,

$$T_{B,0} = T_{eff} = 80^\circ C \quad (\text{Sayfa: 26})$$

$T_{B,0}$ - Kabul edilen sesici (başlangıç) yatak sıcaklığı

T_{eff} - Etkeltil, sesici (başlangıç) yağ sıcaklığı.

η_{eff} - Yağlayıcının (yağın) etkeltil dinamik işletme viskozitesi:

ISO VG 68 yağı ve $T_{eff} = 80^\circ C$ için;

$$\eta_{eff} = 0,013 \text{ Pa.s} \quad (\text{Sayfa 3 veya Şekil E3})$$

Minimum yağ filmi kalınlığı h_{min} ,

$$h_{min} = 15,2 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad (\text{Sayfa: 28})$$

k , dönüşüm faktörü,

$$k = \frac{k_A \cdot A}{B.L.Z} \quad (\text{Eşitlik E43})$$

k_A - Isı taşınım katsayısı

$$k_A = 20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (\text{Eşitlik E39})$$

$$k = \frac{20 \cdot 1,25}{30 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 24}$$

$$\parallel k = 1157,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$T_{B,1}$ - Hesaplanan yatacak sıcaklığı

$$T_{B,1} = T_{\text{eff}} = f \cdot \frac{U^2 \cdot \gamma_{\text{eff}}}{h_{\text{min}} \cdot k} + T_{\text{amb}} \quad (\text{Eşitlik 44})$$

$$T_{B,1} = 0,69 \cdot \frac{9,74^2 \cdot 0,013}{15,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1157,4} + 20$$

$$\parallel T_{B,1} = 68,4^\circ \text{C}$$

Kontrol :

• $T_{B,1} < T_{B,0}$ ----- (E65)

• $|T_{B,0} - T_{B,1}| \leq 2 \text{ K}$ ----- (E66)

olmalıdır.

$$T_{B,1} (= 68,4^\circ \text{C}) < T_{B,0} (= 80^\circ \text{C}) \quad \text{uygun}$$

$$|T_{B,0} - T_{B,1}| = 80^\circ \text{C} - 68,4^\circ \text{C} = 11,6^\circ \text{C} \quad \text{uygun DEĞİL}$$

$$|T_{B,0} - T_{B,1}| \leq 2^\circ \text{C}$$

olana kadar işlem tekrarlanır (Yine lenir)

2. Adım ;

$T_{B,0} = 80^\circ \text{C}$ olarak kabul edilen yatacak sıcaklığının iyileştirilmiş varsayımı,

$$T_{B,0} = 0,5 (80^{\circ}\text{C} + 68,4^{\circ}\text{C})$$

$$\| \underline{T_{B,0} = 74,2^{\circ}\text{C}}$$

$$\| \underline{\gamma_{\text{eff}} = 0,0152 \text{ Pa}\cdot\text{s}} \quad (T_{\text{eff}} = 74,2^{\circ}\text{C} \text{ için Şekil E3})$$

$$h_{\text{min.}} = \sqrt{f \cdot \frac{U \cdot \gamma_{\text{eff}} \cdot L^2 \cdot B \cdot z}{F}} \quad (\text{Eşitlik E7})$$

$$h_{\text{min.}} = \sqrt{0,07 \cdot \frac{9,74 \cdot 0,0152 \cdot (30 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 24}{25000}}$$

$$\| \underline{h_{\text{min.}} = 16,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}}$$

$$T_{B,1} = f \cdot \frac{U^2 \cdot \gamma_{\text{eff}}}{h_{\text{min.}} \cdot k} + T_{\text{amb.}} \quad (\text{Eşitlik 44})$$

$$T_{B,1} = 0,69 \cdot \frac{9,74^2 \cdot 0,0152}{16,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1157,4} + 20$$

$$\| \underline{T_{B,1} = 72,4^{\circ}\text{C}}$$

Kontrol

$$\bullet \quad \| \underline{T_{B,1} (= 72,4^{\circ}\text{C}) < T_{B,0} (= 74,2^{\circ}\text{C})} \quad \text{Uygun}$$

$$\bullet \quad |T_{B,0} - T_{B,1}| = 74,2^{\circ}\text{C} - 72,4^{\circ}\text{C} =$$

$$\| \underline{|T_{B,0} - T_{B,1}| = 1,8^{\circ}\text{C} < 2^{\circ}\text{C}} \quad \text{Uygun}$$

Bu durumda, $T_B = 72^{\circ}\text{C}$ hesaplanmış yatacak

sıcaklığı olarak kabul edilebilir. Dolayısıyla - 54 -

$$T_{eff} = T_B \quad (\text{Eşitlik E42})$$

denklemine göre efektif yatak sıcaklığı da

$$\| \underline{T_{eff} = 72^\circ\text{C}}$$

olur.

$$T_{lim} = 90^\circ\text{C} \quad (\text{Tablo E11})$$

$$h_{lim} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad (\text{Tablo E6, E7})$$

$$T_B = T_{eff} (=72^\circ\text{C}) < T_{lim} (=90^\circ\text{C}) \quad \text{uygundur}$$

$$h_{min} (=16,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}) > h_{lim} (=10 \cdot 10^{-6} \text{ m}) \quad \text{uygundur.}$$

Yatak sıcaklığı ve yağ filmi kalınlığı, müsade edilebilir değerlerdedir.

Bu standardın uygulanabilmesi laminar akışta mümkündür yani, laminar akış gerekli bir şarttır. Laminar akış Reynolds sayısı (Re) kullanılarak kontrol edilir.

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot h_{min}}{\eta_{eff}} \leq Re_{cr} \quad \text{--- --- --- (E67)}$$

Re_{cr} - Kritik Reynolds sayısı

$h_{min}/c_{wed} = 0,8$ değerine sahip kama biçimli aşıklık için (Şekil E11),

$$\| \underline{Re_{cr} = 600} \quad \text{--- --- --- (E68)}$$

alınabilir.

Hesaplayalım,

$$Re = \frac{900 \cdot 9,74 \cdot 16,4 \cdot 10^{-6}}{0,0152}$$

$$\| Re \approx 9,5$$

$$\| Re (=9,5) < Re_{cr} (=600)$$

Yapı kamasi boyunda akış laminardir yani, standardin yapıları hesaplarla uygulanabilirliği doğrudur.

Sürtünme gücü,

$$P_f = f \cdot \frac{U^2 \cdot \rho \cdot B \cdot L \cdot 2}{h_{min}} \quad (\text{Eşitlik E12})$$

$$P_f = 0,69 \cdot \frac{(9,74)^2 \cdot 0,0152 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 24}{16,4 \cdot 10^{-6}}$$

$$\| P_f = 1310 \text{ W}$$

bulunur.

Örnek E2 - Aşağıda verilen büyüklükler ve -56-

işletme değerlerine göre, oynak lokmalı (pabuşlu) aksenal kaymalı yatağın çalışabilirliğinin kontrolü istenmektedir.

- Aksenal yatak yükü veya nominal devir sayısındaki aksenal yatak kuvveti: $F = 40000 \text{ N}$
- Hareketsiz durumda yatak kuvveti: $F_{st} = 0$
(Yatak hareketsiz durumda yüke bağlı değil)
- Yatak diski (Yatak üst plâkası) devir sayısı: $N = 50 \text{ s}^{-1}$
- Yatak dış çapı (Oynak lokmalar boyunca dış çap) $D_o = 330 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- Yatak iç çapı (Oynak lokmalar boyunca iç çap) $D_i = 210 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- Oynak lokma uzunluğu (ortalama çapta çevre yönünde) $L = 40 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- Lokma genişliğinin, lokma uzunluğuna oranı (Boyutsuz B/L oranı, yatak bağıl genişliği) $B/L = 1,5$
- Oynak lokmanın, hareket yönündeki (ferresel yönde) destekleme noktasının veya basınç merkezinin bağıl koordinatı $\alpha_F^* = 0,6$
- Oynak lokma (pabuş) sayısı $Z = 12$
- Yatağın ısı veren yüzeyi veya soğutma yüzeyi $A = 1,2 \text{ m}^2$
- Isı taşıma katsayısı (Yatak dış yüzeyi ile çevre ortam arasındaki ısı geçişinde) $k_A = 20 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
- Ferre-ortam sıcaklığı $T_{amb} = 20^\circ \text{C}$
- Yağın (yağlayıcının) yatağın giriş sıcaklığı (zorlanmış yağlama - devridaim yağlama - iğir) $T_{en} = 40^\circ \text{C}$
- Yağın (yağlayıcının) yataktan çıkış sıcaklığı (zorlanmış yağlama - devridaim yağlama - iğir) $T_{ex} = 50^\circ \text{C}$

- Kabul edilebilir (müsade edilen) max. $\bar{p}_{Lim} = 5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$
örçül yatak yükü (Tablo E10) -----
- Kabul edilebilir (müsade edilen) max. $T_{Lim} = 90^\circ \text{C}$
yatak sıcaklığı (Tablo E11) -----
- Kabul edilebilir (müsade edilen) min. $h_{Lim} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
yağ (yağlayıcı) filmi kalınlığı (Tablo E6, E7) -----
- Kullanılan yağ (Şekil E3) ----- : ISO VG 46
- Yağlayıcının yoğunluğu ----- : $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$
- Yağın (yağlayıcının) hacimsel özümlü ısısı ----- : $c_p \cdot \rho = 1,8 \cdot 10^3 \text{ J/(m}^3 \cdot \text{K)}$
- Kritik Reynolds sayısı ----- : $Re_{cr} = 600$
- Kullanılan yağın (ISO VG 46), işletme sıcaklığına karşılık gelen dinamik viskozitesi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

ISO VG 46

T_{eff} °C	η_{eff} (T_{eff}) Pa·s
40	0,041
50	0,022
60	0,018
70	0,013
80	0,0095
90	0,0073
100	0,0057

T_{eff} - Yataktaki yağ sıcaklığı (yatak işletme sıcaklığı, efektif yağ sıcaklığı)
 η_{eff} - T_{eff} sıcaklığına karşılık gelen, dinamik işletme viskozitesi (Yağın, efektif dinamik viskozitesi)

- Boyutsuz, minimum yağ filmi karakteristik sayısı veya bağel minimum yağ filmi kalınlığı h_{min}/C_{wed} ;
 h_{min} - Min. yağ filmi (tabakası) kalınlığı } (Şekil E1)
 C_{wed} - Kama (yağ kaması) derinliği }

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_f^* = 0,6 \\ B/L = 1,5 \end{array} \right\} \underline{h_{min}/C_{wed} = 0,68} \text{ (Şekil E4)}$$

Ayrıca, Eşitlik E6 ve Tablo E1 den faydalanılabilir.

- Yük taşıma faktörü F^* ;

$$\left. \begin{array}{l} h_{min}/C_{wed} = 0,68 \\ B/L = 1,5 \end{array} \right\} \underline{F^* = 0,095} \text{ (Şekil E5)}$$

Ayrıca, Eşitlikler E9, E10, E11 ve Tablo E2 den faydalanılabilir.

- Sürünme katsayısı f^* ;

$$\left. \begin{array}{l} h_{min}/C_{wed} = 0,68 \\ B/L = 1,5 \end{array} \right\} \underline{f^* = 0,69} \text{ (Şekil E6)}$$

Ayrıca, Eşitlikler E14, E15, E16 ve Tablo E3 ten faydalanılabilir.

- Giriş debisi faktörü (Yağ kaması girisindeki yağlayıcı debisi için karakteristik bir sayı) Q_1^* ;

$$\left. \begin{array}{l} h_{min}/C_{wed} = 0,68 \\ B/L = 1,5 \end{array} \right\} \underline{Q_1^* = 0,92} \text{ (Şekil E8)}$$

Ayrıca, Eşitlikler E21, E22, E23 ve Tablo E4 den faydalanılabilir.

- Kenar debisi faktörü (Lokma kenarları - 59. rından çıkan yapıyıcı debisi için karakteristik bir sayı) Q_3^* ;

$$\left. \begin{array}{l} h_{\min}/C_{\text{med}} = 0,68 \\ B/L = 1,5 \end{array} \right\} \parallel \underline{Q_3^* = 0,25} \text{ (Şekil E9)}$$

Ayrıca, Eşitlikler E21, E24, E25 ve Tablo E5 den faydalanılabilir.

Kabul edilen geçici (başlangıç) değerler :

$T_{B,0}$ - Kabul edilen geçici (başlangıç) yatak sıcaklığı,

$$\parallel \underline{T_{B,0} = 90^\circ \text{C}}$$

$T_{\text{eff},0}$ - Efektif, geçici (başlangıç) yağ sıcaklığı,

$$\parallel \underline{T_{\text{eff},0} = 90^\circ \text{C}}$$

Hesaplara, Şekil E2 de ki akış diyagramını kullanarak devam edelim :

- Ortalama yatak çapı D ;

$$D = \frac{D_o + D_i}{2} \text{ (Şekil E1, Eşitlik E26)}$$

$$D = \frac{330 \cdot 10^{-3} + 210 \cdot 10^{-3}}{2}$$

$$\parallel \underline{D = 270 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

- Lokma (Pabuç) genişliği B ;

$$B = \frac{D_o - D_i}{2} \text{ (Şekil E1, Eşitlik E27)}$$

$$B = \frac{330 \cdot 10^{-3} - 210 \cdot 10^{-3}}{2}$$

- 60 -

$$\| B = 60 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

• Ortalama çevre hızı U ;

$$U = \pi D N \quad (\text{Eşitlik E2B})$$

$$U = \pi \cdot 270 \cdot 10^{-3} \cdot 50$$

$$\| U = 42,4 \text{ m/s}$$

• Minimum yağ filmi (tabakası) kalınlığı h_{\min} ;

$$h_{\min} = \sqrt{F \cdot \frac{U \cdot \eta_{\text{eff}} \cdot L^2 \cdot B \cdot Z}{F}} \quad (\text{Eşitlik E7})$$

η_{eff} - Yağlayıcının (yağın) efektif dinamik işletme viskozitesi

ISO VG 46 yağı ve $T_{\text{eff},0} = 90^\circ \text{C}$ için

$$\| \eta_{\text{eff}} = 0,0073 \text{ Pa.s} \quad (\text{Sayfa 57 veya Şekil E3})$$

$$h_{\min} = \sqrt{0,095 \frac{42,4 \cdot 0,0073 \cdot (40 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 12}{40000}}$$

$$\| h_{\min} = 29,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Kontrol :

$$h_{\min} > h_{\text{lim}}$$

olmalıdır.

Oynak Lokmalı (Pabusta)

Hydrodinamik

Eksenel Kaymalı

Yataklar

(TS ISO 12130 - 1, 2, 3)

- IV -

Karim Jhal

(Örnek Çözümlü Problem: Roloff/Matek. Maschinenelemente)

(4 Ad.)

$h_{lim.}$ - Kabul edilebilir (müsaade edilen)
minimum yağ (yağlayıcı) filmi kalınlığı
(işletme devir sayısında)

$$h_{lim.} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

olarak verilmiştir. Veya,

$$\left. \begin{array}{l} F_{st}/F = 0 \\ D = 270 \cdot 10^{-3} \text{ m} \end{array} \right\} \parallel h_{lim.} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Tablo E6 yada Tablo E7 nin ilk sütunlarından okunabilir (Sayfa 29,31)

$$\parallel \underline{h_{min.}} (= 29 \cdot 10^{-6} \text{ m}) > h_{lim.} (= 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}) \quad \text{Uygundur.}$$

Ortalama yüzey basıncı veya özgül yatak yükü \bar{p} ;

$$\bar{p} = \frac{F}{B.L.Z} \quad (\text{Eşitlik E34})$$

$$\bar{p} = \frac{40000}{60 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 12}$$

$$\parallel \underline{\bar{p}} = 1,39 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Kontrol :

$$\bar{p} < \bar{p}_{lim.}$$

olmalıdır.

$\bar{p}_{lim.}$ - Kabul edilebilir (müsaade edilen)
max. özgül yatak yükü

$$\bar{p}_{lim.} = 5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

olarak verilmiş. Veya Tablo E10 dan okunabilir.

$$\| \bar{p} (= 1,39 \cdot 10^6 \text{ Pa}) < \bar{p}_{lim.} (= 5 \cdot 10^6 \text{ Pa}) \text{ uygundur.}$$

Döğal taşınım yoluyla yatağın soğutulması :

1. Adım ;

$$T_{B,0} = T_{eff} = 90^\circ \text{C} \quad (\text{Sayfa : 59})$$

$T_{B,0}$ - Kabul edilen serici (başlangıç) yatak sıcaklığı

T_{eff} - Efektif, serici (başlangıç) yağ sıcaklığı

γ_{eff} - Yağların (yağın) efektif dinamik iletme viskozitesi

$$\gamma_{eff} = 0,0033 \text{ Pa.s} \quad (\text{Sayfa : 60})$$

$h_{min.}$ - Minimum yağ filmi kalınlığı

$$h_{min.} = 29,1 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad (\text{Sayfa : 60})$$

k - Dönüşüm faktörü (B.L.2 soğutma yüzeyine karşılık gelen ısı geçiş katsayısı)

$$k = \frac{k_A \cdot A}{B.L.2} \quad (\text{Eşitlik E43})$$

k_A - Isı taşınım katsayısı

$$k_A = 20 \text{ W/(cm}^2\text{K)} \quad (\text{Verilmiş. Veya Eşitlik E39})$$

$$k = \frac{20 \cdot 1,2}{60 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 12}$$

$$\parallel k = 833,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$T_{B,1}$ - Hesaplanan yatak sıcaklığı (Tekrar - yineme - işlemi sonucu hesaplanan yatak sıcaklığı)

$$T_{B,1} = T_{eff} = f \cdot \frac{U^2 \cdot \gamma_{eff}}{h_{min} \cdot k} + T_{amb} \quad (\text{Eşitlik E44})$$

$$T_{B,1} = 0,69 \frac{(42,4)^2 \cdot 0,0073}{291 \cdot 10^{-6} \cdot 833,3} + 20$$

$$\parallel T_{B,1} = 393,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Kontrol :

- $T_{B,1} < T_{B,0}$
- $|T_{B,1} - T_{B,0}| \leq 2\text{K}$

olmalıdır

$$T_{B,1} (= 393,4 \text{ }^\circ\text{C}) > T_{B,0} (= 90 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$|T_{B,1} - T_{B,0}| = |393,4 \text{ }^\circ\text{C} - 90 \text{ }^\circ\text{C}| = 303,3 \text{ }^\circ\text{C} > 2\text{K}$$

dolayısıyla işlem tekrarlanır (Yinelenir).

2. Adım :

$T_{B,0} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak kabul edilen yatak sıcaklığının iyileştirilmiş varsayımı,

$$T_{B,0} = 0,5 (90 \text{ }^\circ\text{C} + 393,4 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\parallel T_{B,0} = 241,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Not: Bazı termodinamik bağıntılar sıcaklık değerinin kullanılmasını gerektirir. K (°K değil) veya °C birimlerinden hangisinin kullanılacağı sorusu bazen şaşırtmaya yol açar. Eğer bağıntıda sıcaklık farkları yer alıyorsa her iki birimde kullanılabilir ve sonuç aynı olacaktır. Fakat bağıntıda sıcaklık farkı değilse sıcaklık yer alıyorsa K birimi kullanılmalıdır. $\Delta T(\text{K}) = \Delta T(\text{ }^\circ\text{C})$

uygun
DEĞİL

$$T_{B,0} = T_{eff2} = 241,7^{\circ}\text{C}$$

$$T_{eff2} = 241,7^{\circ}\text{C} \left. \vphantom{T_{eff2}} \right\} \parallel \gamma_{eff2} = 0,00088 \text{ Pa.s [L-E1]}$$

ISO VG 46

$$h_{min,2} = \sqrt{0,095 \frac{42,4 \cdot 0,00088 \cdot (40 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 12}{40000}} \quad (\text{E5:tl:kE7})$$

$$\parallel \underline{h_{min,2} = 10,1 \cdot 10^{-6} \text{ m} > h_{lim.} (= 10 \cdot 10^{-6} \text{ m})}$$

$$T_{0,2} = 0,69 \frac{(42,4)^2 \cdot 0,00088}{10,1 \cdot 10^{-6} \cdot 833,3} + 20 \quad (\text{E5:tl:kE44})$$

$$\parallel \underline{T_{0,2} = 149,7^{\circ}\text{C}}$$

Kontrol :

$$T_{0,2} (= 149,7^{\circ}\text{C}) < T_{B,0} (= 241,7^{\circ}\text{C})$$

$$|T_{0,2} - T_{B,0}| = |149,7^{\circ}\text{C} - 241,7^{\circ}\text{C}| = 92^{\circ}\text{C} > 2^{\circ}\text{C} \quad \begin{array}{l} \text{uygun} \\ \text{DEĞİL} \end{array}$$

• 3. Adım ;

$$T_{B,0} = 0,5 (241,7^{\circ}\text{C} + 149,7^{\circ}\text{C})$$

$$\parallel \underline{T_{B,0} = 195,7^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{B,0} = T_{eff3} = 195,7^{\circ}\text{C}$$

$$T_{eff3} = 195,7^{\circ}\text{C} \left. \vphantom{T_{eff3}} \right\} \parallel \gamma_{eff3} = 0,0013 \text{ Pa.s [L-E1]}$$

ISO VG 46

$$h_{min3} = \sqrt{0,095 \frac{42,4 \cdot 0,0013 \cdot (40 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (60 \cdot 10^{-3}) \cdot 12}{40000}} \quad (\text{E5:tl:kE7})$$

$$\| \underline{h_{min.3} = 12,3 \cdot 10^{-6} \text{ m} > h_{lim} (= 10 \cdot 10^{-6} \text{ m})}$$

$$T_{B,3} = 0,69 \cdot \frac{(42,4)^2 \cdot 0,0013}{12,3 \cdot 10^{-6} \cdot 833,3} + 20 \quad (\text{Eşitlik E44})$$

$$\| \underline{T_{B,3} = 177,3^\circ \text{ C}}$$

Kontrol :

$$T_{B,3} (= 177,3^\circ \text{ C}) < T_{B,0} (= 195,7^\circ \text{ C})$$

$$|T_{B,3} - T_{B,0}| = |177,3^\circ \text{ C} - 195,7^\circ \text{ C}| = 18,4^\circ \text{ C} > 2^\circ \text{ C} \quad \begin{matrix} \text{Uysun} \\ \text{DEĞİL} \end{matrix}$$

4. Adım ;

$$T_{B,0} = 0,5 (195,7^\circ \text{ C} + 177,3^\circ \text{ C})$$

$$\| \underline{T_{B,0} = 186,5^\circ \text{ C}}$$

$$T_{B,0} = T_{eff4} = 186,5^\circ \text{ C}$$

$$\left. \begin{matrix} T_{eff4} = 186,5^\circ \text{ C} \\ \text{ISO VG 46} \end{matrix} \right\} \| \underline{\eta_{eff4} = 0,0014 \text{ Pa.s [L-E1]}}$$

$$h_{min4} = \sqrt{0,095 \frac{42,4 \cdot 0,0014 \cdot (40 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (60 \cdot 10^{-3}) \cdot 12}{40000}} \quad (\text{Eşitlik E7})$$

$$\| \underline{h_{min.4} = 12,7 \cdot 10^{-6} \text{ m} > h_{lim} (= 10 \cdot 10^{-6} \text{ m})}$$

$$T_{B,4} = 0,69 \frac{(42,4)^2 \cdot 0,0014}{12,7 \cdot 10^{-6} \cdot 833,3} + 20$$

$T_{B,4} = 184^{\circ}C$

Kontrol :

$T_{B,4} (= 184^{\circ}C) < T_{B,0} (= 186,5^{\circ}C)$

$|T_{B,4} - T_{B,0}| = |184^{\circ}C - 186,5^{\circ}C| = 2,5^{\circ}C > 2^{\circ}C$

Hesaplamanın 4. adımında $|T_{B,4} - T_{B,0}| < 2^{\circ}C$ noktasına yaklaşıldı, yalnız yatak sıcaklığı $T_{B,4} = 184^{\circ}C$

değeri, $T_{B,4} (= 184^{\circ}C) > T_{lim} (= 90^{\circ}C)$

olduğundan, yatak sıcaklığı müsaade edilebilir değildir (T_{lim} için Tablo E11'e bakınız)

Dolayısıyla doğal taşınım yoluyla yatağın soğutulması yeterli değildir ve yatağın devridaim ettirilen yağ tarafından soğutulması gereklidir. (zorlanmış ısı geçişi).

Yapılan hesapların sonuçları, toplu olarak Tablo E12 de verilmiştir.

Not. $|T_{B,1} - T_{B,0}| \leq 2^{\circ}C$ oluncaya kadar hesap

güncellenir, yani 5. Adımı da devam ettirmemiz gerekir. Ancak yatak sıcaklığı T_{lim} değerini çok aştığından hesabı 4. Adımda bıraktık

Değişken	Birimi	Hesap Adımları			
		1	2	3	4
$T_{B,0} = T_{eff}$	$^{\circ}C$	90	241,7 *	195,7	186,5 *
η_{eff}	Pa.s	0,0073	0,00088	0,0013	0,0014
h_{min}	m	$29,1 \cdot 10^{-6}$	$10,1 \cdot 10^{-6}$	$12,3 \cdot 10^{-6} *$	$12,7 \cdot 10^{-6} *$
$T_{B,1}$	$^{\circ}C$	393,4 *	149,7 *	177,3 *	184 *
$ T_{B,1} - T_{B,0} $	K	303,3 *	92 *	18,4 *	2,5 *

Tablo E12 - Yatağın doğal taşınım yoluyla soğutulmasında, hesap adımlarına göre elde edilen değerler.

* : Standarttaki değerlerdir:

$$393,1 - 303,1 - 241,6 - 149,8 - 91,8$$

$$12,4 \cdot 10^{-6} - 179,1 - 16,6 - 187,4$$

$$13 \cdot 10^{-6} - 186,2 - 1,2$$

Devridaim ettirilen yağ tarafındaki

yatağın soğutulması :

• Yağ sıcaklık farkı ΔT ;

$$\Delta T = T_{ex} - T_{en} \quad (\text{Eşitlik E52})$$

ve, deneysel değerlere dayanarak

$$\Delta T = 10 K \dots 30 K \quad (\text{Eşitlik E56})$$

aralığında seçilir.

$$\parallel \underline{\Delta T = 12 K} \quad (\text{Kabül})$$

• Debi faktörü Q^* ;

$$Q^* = \frac{f^*}{F^*} \cdot \frac{F}{B.L.Z.F.C_p \cdot \Delta T} \quad (\text{Eşitlik E55})$$

$$Q^* = \frac{0,69}{0,095} \cdot \frac{4000}{60 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 1,8 \cdot 10^6 \cdot 12}$$

$$\| \underline{Q^* = 0,467}$$

• Yağ kamasi (yağlama boşluğu) içerisindeki sıcaklık artışı ΔT_2 ;

$$\Delta T_2 = \frac{\Delta T \cdot Q^*}{Q_1^* - 0,5 Q_3^*} \quad (\text{Eşitlik E59})$$

$$\Delta T_2 = \frac{12 \cdot 0,467}{0,92 - 0,5 \cdot 0,25}$$

$$\| \underline{\Delta T_2 = 7 \text{ K}}$$

• Yağ kamasi girişindeki sıcaklık artışı ΔT_1 ;

$$\Delta T_1 = T_1 - T_{en} \quad (\text{Eşitlik E49})$$

$$\Delta T_1 = \frac{Q_2^*}{M \cdot Q^* + (1-M) \cdot Q_3^*} \cdot \Delta T_2 \quad (\text{Eşitlik E50})$$

M - Karıştırma faktörü

$$M = 0,4 \dots 0,6 \quad (\text{Eşitlik E51})$$

$$\parallel \underline{M = 0,5} \quad (\text{Kabul})$$

$$Q_2 = Q_1 - Q_3 \quad (\text{Eşitlik E17})$$

veya,

$$Q_2^* = Q_1^* - Q_3^*$$

yanılabilir (Eşitlikler 18, 19)

$$\Delta T_1 = \frac{Q_1^* - Q_3^*}{M \cdot Q_1^* + (1-M) \cdot Q_3^*} \cdot \Delta T_2$$

$$\Delta T_1 = \frac{(0,92 - 0,25)}{0,5 \cdot 0,467 + (1-0,5) \cdot 0,25} \cdot 7$$

$$\parallel \underline{\Delta T_1 = 13,1 \text{ K}}$$

• Efektif yatak sıcaklığı T_{eff} :

$$T_{\text{eff}} = T_{\text{en}} + \Delta T_1 + 0,5 \Delta T_2 \quad (\text{Eşitlik E61})$$

$$T_{\text{eff}} = 40 + 13,1 + 0,5 \cdot 7$$

$$\parallel \underline{T_{\text{eff}} = 56,6 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

• Yatak sıcaklığı T_B :

$$T_B = T_2 = T_{\text{en}} + \Delta T_1 + \Delta T_2 \quad (\text{Şekil 16, Eşitlik E63})$$

$$T_B = T_2 = 40 + 13,1 + 7$$

$$\parallel T_B = T_2 = 60,1^\circ\text{C}$$

Kontrol :

$$T_B (= T_2) < T_{\text{Lim}}$$

olmalıdır .

$$T_{\text{Lim}} = 90^\circ\text{C}$$

olarak verilmiştir (Sayfa: 57, ayrıca Tablo E11 den de faydalanılabilir)

$$\parallel (T_B = T_2) (= 60,1^\circ\text{C}) < T_{\text{Lim}} (= 90^\circ) \text{ Uygundur.}$$

• Yağın, efektif dinamik işletme viskozitesi η_{eff} :

$$\left. \begin{array}{l} \text{ISO VG 46 yağı} \\ T_{\text{eff}} = 56,6^\circ\text{C} \end{array} \right\} \parallel \eta_{\text{eff}} = 0,020 \text{ Pa.s (Şekil E3)}$$

• Minimum yağ filmi kalınlığı h_{min} :

$$h_{\text{min}} = \sqrt{F * \frac{U \cdot \eta_{\text{eff}} \cdot L^2 \cdot B \cdot Z}{F}} \quad (\text{Eşitlik E7})$$

$$h_{\text{min}} = \sqrt{0,095 \frac{42,4 \cdot 0,020 \cdot (40 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 12}{40000}}$$

$$\parallel h_{\text{min}} = 48,17 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Kontrol:

$$h_{\min} > h_{\text{Lim}}$$

olmalıdır.

$$h_{\text{Lim}} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

olarak verilmiş veya

$F_{st}/F = 0$ için, Tablo E6 ve E7 nin ilk sütunlarından $D = 270 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ya karşılık gelen $h_{\text{Lim}} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ değeri okunabilir. (Sayfa: 29, 31)

$$\| \underline{h_{\min} (= 48,97 \cdot 10^{-6} \text{ m})} > h_{\text{Lim}} (= 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}) \text{ uygundur.}$$

• Laminer akış kontrolü, Reynolds sayısı Re ;

Bu standart, Laminer akışta uygulanabilir, Laminer akışta Re sayısı ile kontrol edilir.

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot h_{\min}}{\eta_{\text{eff}}} \leq Re_{\text{cr}} \quad (\text{Eşitlik E67})$$

Re_{cr} - Kritik Reynolds sayısı,

$$Re_{\text{cr}} = 600 \quad (\text{Sayfa: 54, 57})$$

$$Re = \frac{900 \cdot 42,4 \cdot 48,97 \cdot 10^{-6}}{0,020}$$

$$\| \underline{Re = 92}$$

Kontrol :

$$\| \underline{Re (= 92) < Re_{cr} (= 600)}$$

Akış laminardır yani, bu standart bu durumda uygulanabilecektir.

• Sürtünme gücü P_f :

$$P_f = f \times \frac{U^2 \cdot \eta_{eff} \cdot B \cdot L \cdot Z}{h_{min.}} \quad (\text{Eşitlik E12})$$

$$P_f = 0,69 \frac{42,4^2 \cdot 0,020 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 12}{48,17 \cdot 10^{-6}}$$

$$\| \underline{P_f = 14,8 \cdot 10^3 \text{ W}}$$

• Relatif veya bağıl yağ (yağlarıcı) debisi Q_0 :

$$Q_0 = B \cdot h_{min.} \cdot U \cdot Z \quad (\text{Eşitlik E20})$$

$$Q_0 = 60 \cdot 10^{-3} \cdot 48,17 \cdot 10^{-6} \cdot 42,4 \cdot 12$$

$$\| \underline{Q_0 = 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}$$

• Toplam yağ debisi Q :

Eksenel yatağı besleyecek toplam yağ debisi veya yatağın yağ besleme debisi.

veya devridaim ettirilmes: gereken yağ debisi: -75-

$$Q = \frac{P_f}{\rho \cdot c_p \cdot (T_{ex} - T_{en})} = \frac{P_f}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T} \quad (\text{Eşitlik E47})$$

$$Q = \frac{14,8 \cdot 10^3}{1,8 \cdot 10^6 \cdot 12}$$

$$\| Q = 6,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

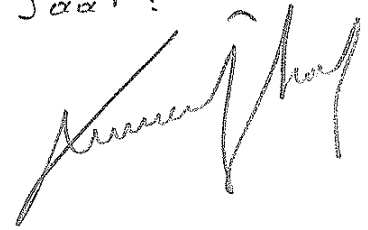
olarak bulunur.

EK - LİTERATÜR

- [1] - Türk Standardı : TS 150 12130-1
- [2] - Türk Standardı : TS 150 12130-2
- [3] - Türk Standardı : TS 150 12130-3

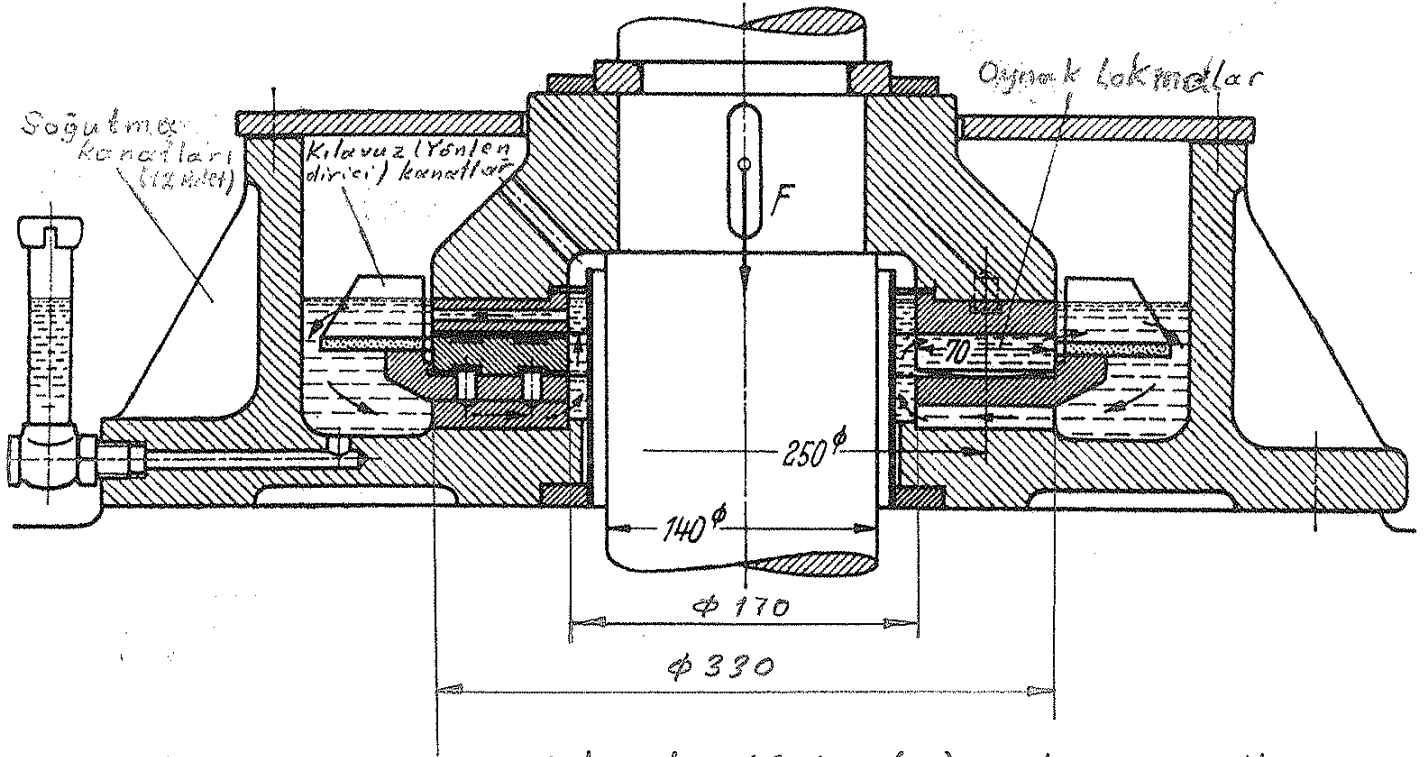
08.07.2015

Saat: 15.00



Örnek E3 - Şekil E17 de gösterilen oynak lok - 17 -

malı (Pabuşlu) hidrodinamik eksenel kaymalı yatağın aşağıdaki verilere göre, istenilenlerin hesaplanması istenmektedir. (Roloff/Matek . Maschinenelemente Normung - Berechnung - Gestaltung. Viewegs Fachbücher der Technik. 18. Auflage)



Şekil E17 - Oynak lokmalı (Pabuşlu), düzey millî ilâve soğutmasız eksenel kaymalı yatak. Yatak, ısı perisi için yeterli soğutma yüzeyi ve yağlamaya sahip olup (Mekanizma kutusu büyük), yönlendirici kanallar yardımıyla da emniyetli radyal yağ doluşmasını (sirkülasyonu) sağlamak tadır (Vogelpohl 'dan)

Verilenler :

- Eksenel yatak yükü : $F = 32 \text{ kN}$
- Oynak lokma (pabuş) sayısı : $z = 10$
- Yatak dış çapı : $d_a = 330 \text{ mm}$
- Yatak iç çapı : $d_i = 170 \text{ mm}$
- Yatak devir sayısı : $n = 200 \text{ d/d}$

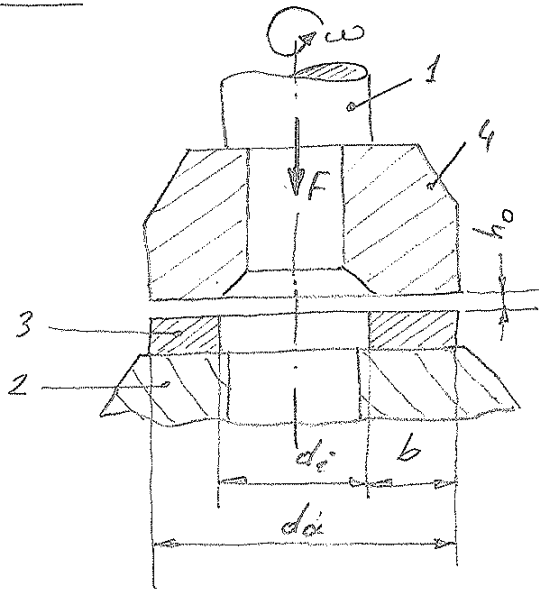
- Kullanılan yağ - - - - - : ISO VG 100 - 75-
(DIN 51519)
- Yağın yoğunluğu - - - - - : $\rho = 860 \text{ kg/m}^3$
- Varsayılan (tahminen) efektif yağ sıcaklığı - - - - - : $T_{\text{eff}} = 60^\circ\text{C}$
- Yatak malzemesi - - - - - : CuPbSn alaşımı

İstenilenler :

- Lokma genişliği, Lokma boyu, Lokma kalınlığı, Lokma adımı ve Lokma boyut oranı,
- Müşahade edilen en küçük yağ filmi kalınlığı h_0 [μm],
- Toplam, gerekli yağ debisi: \dot{V}_{ges} [$\text{dm}^3/\text{dak.}$],
(Lokmalarda yağ filminin oluşumu için)
- Isı kontrolü (Yatak sıcaklığındaki değişim)

Çözüm :

a)



Şekil E18- Eksenel kaymalı yatak

- 1- Mil
 - 2- Yatak kovanı (Yatak taşıyıcı)
 - 3- Eksenel yatak
 - 4- Dönen yatak bileziği
- d_i - Yatak iç çapı
 d_a - Yatak dış çapı
 b - Taşıyıcı yatak genişliği
 h_0 - En küçük yağ filmi kalınlığı
 ω - Açısal hız

• Lokma genişliği b ,

-76

$$b = 0,5 (d_a - d_i) \quad (\text{Şekil E18})$$

$$b = 0,5 (330 - 170)$$

$$\| b = 80 \text{ mm}$$

• Ortalama yatak çapı d_m ,

$$d_m = 0,5 (d_a + d_i) \quad (\text{Şekil E18})$$

$$d_m = 0,5 (330 + 170)$$

$$d_m = 250 \text{ mm}$$

• Lokma (Pabuş) uzunluğu L , Lokma (Pabuş)

adımı L_t ,

Şekil E19' u inceleyelim

L_t , lokmanın d_m çapı üzerindeki adımı (hatresi)

olduğuna göre

$$L_t = \frac{\pi \cdot d_m}{z}$$

yarılabılır.

z - Lokma sayısı. Genel olarak 4...12 (16) arasında bir çift sayı seçilir.

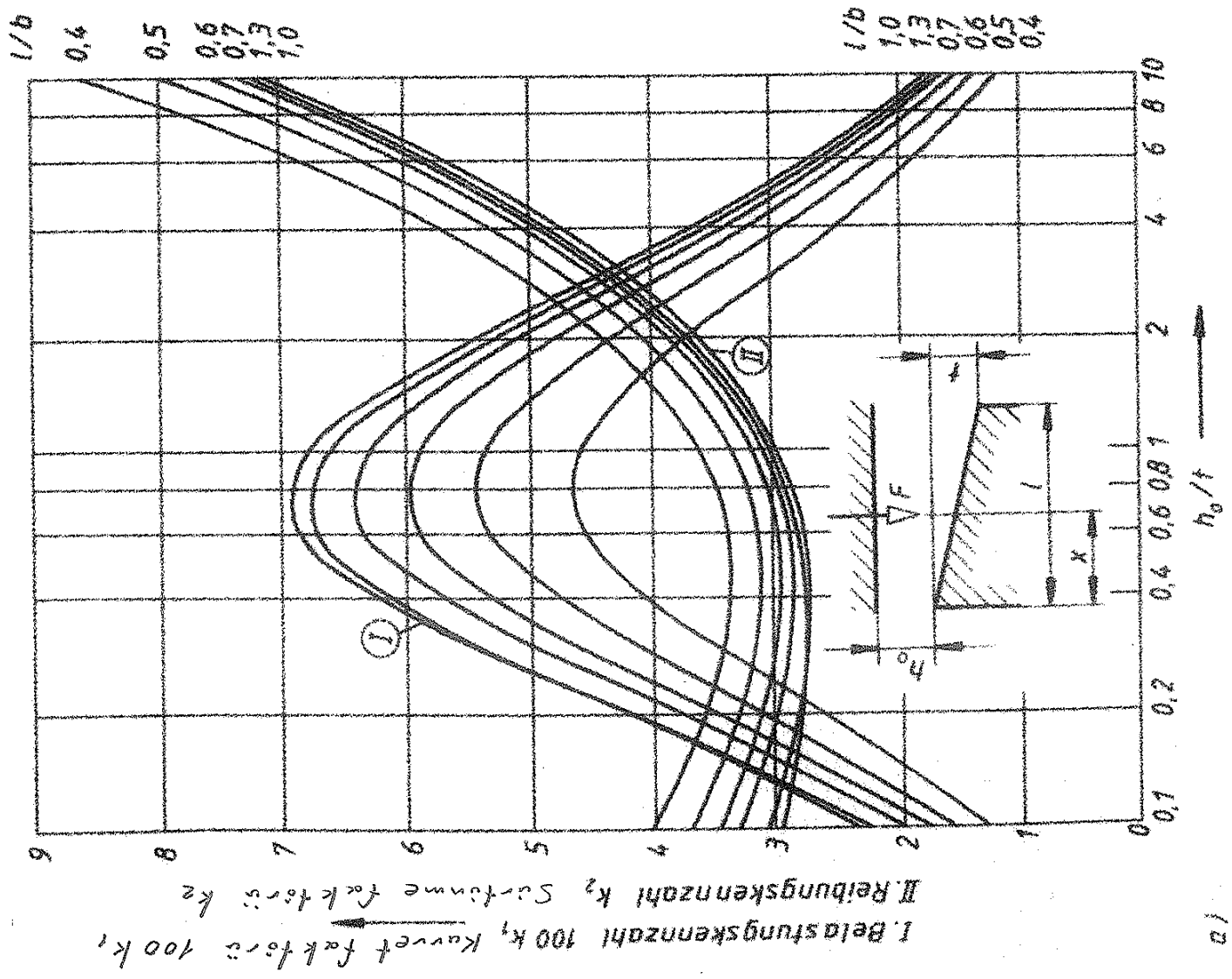
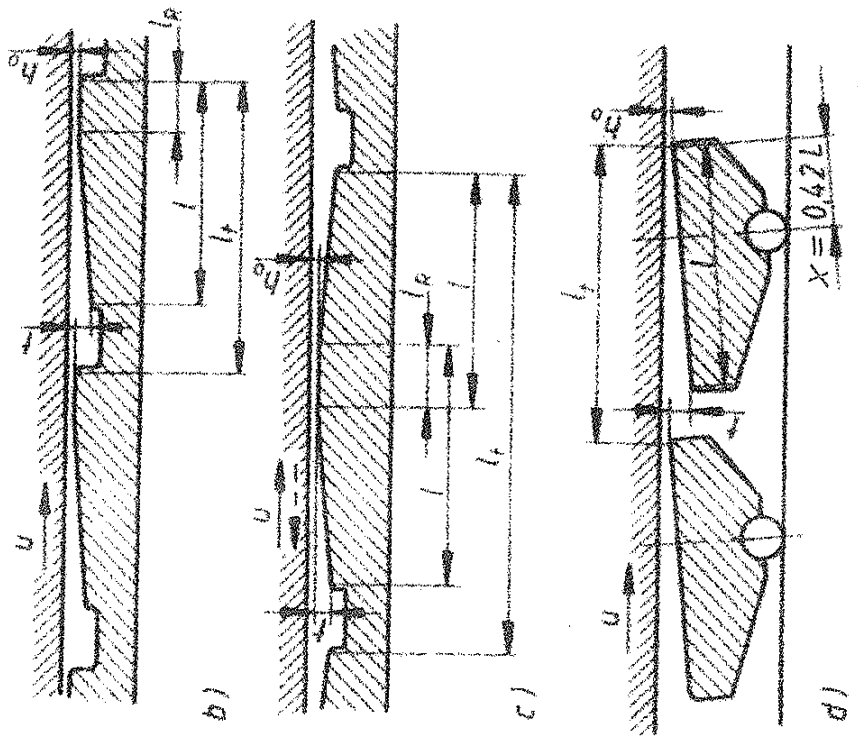
Lokmalar arasında radyal ayırıcı kanalları bulunduğundan, L/L_t oranına doluluk oranı denir ve φ ile gösterilir.

$$\varphi = \frac{L}{L_t}$$

Genellikle $\varphi = 0,8$ olarak seçilir.

$$\frac{L}{\varphi} = \frac{\pi \cdot d_m}{z}$$

Sekil E19- a) Düzalın yatı kamalı
 için, kuvvet ve sürtme faktör-
 leri,
 b) Bir yönde falışın sabit kemor
 yüzeyleri,
 c) Her iki yönde falışın sabit
 kemor yüzeyleri ve
 d) Olmak kayma yüzeyleri için
 kayma kenarlarının boyutlandırılması.



$$L = 0,8 \frac{\pi \cdot d_m}{2} = \frac{d_m \cdot \pi}{1,25 \cdot 2}$$

yarınlababilir. Hesaplıyalım,

$$L = \frac{250 \cdot \pi}{1,25 \cdot 10} = 62,83 \text{ mm}$$

$$\| \underline{L \approx 63 \text{ mm}}$$

Yine Şekil E 19 'dan.

X - Destek ağırlık merkezi mesafesi (Hidrodinamik kuvvet bileşkesinin etkiliği nokta. Bu noktalarda lokma desteklenmelidir)

$$X = 0,42 \cdot L$$

alınır.

L_R - Düz kayma yüzeyi boyutu

t - Yağ kamması derinliği

Lokma adımı L_t ,

$$\varphi = \frac{L}{L_t}$$

$$L_t = \frac{L}{0,8} = 1,25 \cdot L$$

$$L_t = 1,25 \cdot 63$$

$$\| \underline{L_t = 78,75 \text{ mm}}$$

o Lokma kalınlığı h_{seq} ,

$$h_{seq} = 0,25 \sqrt{b^2 + L^2}$$

destekleme noktasında kabul edilebilir lokma kalınlığıdır.

$$h_{seq} = 0,25 \sqrt{80^2 + 63^2}$$

$$\| \underline{h_{sep}} = 25 \text{ mm}$$

• Lukma boyut oranı L/b ,

$$L/b = 63/80$$

$$\| \underline{L/b} \approx 0,79$$

$L/b = 0,7 \dots 0,8$ (Küçük yataklar 1,2 ye kadar) uygun değerlerdir

b) Kullanılan yağın,

$$\left. \begin{array}{l} \text{Efektif yağ sıcaklığı : } \underline{t_{eff}} = 60^\circ \text{C} \\ \text{Viskozite sınıfı : } \text{ISO VG100} \end{array} \right\}$$

Efektif dinamik işletme viskozitesi,

$$\| \underline{\eta_{eff}} = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ Pa.s (Şekil E3)}$$

veya,

$$\eta_{eff} = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ Ns/m}^2 = 34 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$$

Yağ kaması boyutlar oranı,

$$h_o/f = 0,5 \dots 1,2$$

kullanılabilir değerlerdir.

$$\| \underline{h_o/f} = 1 \text{ (Kabul)}$$

$$\left. \begin{array}{l} h_o/f = 1 \\ L/b = 0,79 \end{array} \right\} \| \underline{100k_1} = 6,5 \text{ (Şekil E19 a)}$$

k_1 kuvvet faktörü diğer taraftan

$$k_1 = \frac{P_L \cdot h_o^2}{\eta_{eff} \cdot u_m \cdot b}$$

P_L	b, h_o	η_{eff}	u_m
$\text{N/m}^2, \text{Pa}$	m	Ns/m^2	m/s

şeklinde belirtilmiş olup buradan,

-80-

P_L - Ortalama yüzey basıncı
Lokmalı yataklarda,

$$P_L = \frac{F}{z \cdot L \cdot b}$$

bağıntısından hesaplanır.

P_L , k_t eşitliğinde yerine konursa,

$$k_t = \frac{F \cdot h_0^2}{z \cdot L \cdot b^2 \cdot u_m \cdot \eta_{eff}}$$

dolayısıyla minimum yağ filmi (tabakası) kalınlığı h_0 ,

$$h_0 = \sqrt{\frac{k_t \cdot z \cdot L \cdot b^2 \cdot u_m \cdot \eta_{eff}}{F}} > h_{oem}$$

h_0, L, b	u_m	F	η_{eff}
m	m/s	N	Ns/m ²

olarak bulunur.

u_m - Ortalama çerçre hızı

$$u_m = \pi \cdot d_m \cdot n_w$$

$$u_m = \pi \cdot 0,25 \text{ m} \cdot (200/60 \text{ s}^{-1})$$

$$\| u_m = 2,62 \text{ m/s}$$

$$h_0 = \sqrt{\frac{0,065 \cdot 10 \cdot 63 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot (80 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 \cdot 2,62 \text{ m/s} \cdot 34 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2}{32 \cdot 10^3 \text{ N}}}$$

$$h_0 = 27 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\parallel h_0 = \underline{27 \mu\text{m}}$$

Yağ filminin (tabakasının) müsaade edilen minimum (en küçük) değeri;

$$h_{oem} \approx (5 \dots 75) (1 + 0,0025 \cdot d_m)$$

h_{oem}	d_m
μm	mm

denkleminde hesaplanabilir. h_{oem} değeri büyük ölçüde imalata ve montaja bağlıdır. Eksenel yataklarda h_0 yağ filmi kalınlığı hatalı sesilirse, yağ pompası gücü $(h_0)^3$ ile artmaktadır. İyi imalat ve montaj şartlarında h_{oem} için 5 kat sayısı sesilmektedir.

$$h_{oem} \approx 10 (1 + 0,0025 \cdot 250)$$

$$\parallel h_{oem} \approx \underline{16 \mu\text{m}}$$

Kontrol :

$$h_0 > h_{oem}$$

olmalıdır.

$$\parallel \underline{h_0 (= 27 \mu\text{m})} > h_{oem} (= 16 \mu\text{m}) \quad \text{Uygun.}$$

Yağ kamasesi derinliği t ,

$$h_0/t = 1$$

sesildiğine göre (Sayfa: 79)

$$\| t = 27 \mu\text{m}$$

olar.

Ortalama yüzey basıncı P_L ,

$$P_L = \frac{F}{z \cdot L \cdot b} = \frac{32 \cdot 10^3 \text{ N}}{10 \cdot 63 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 80 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\| P_L \approx 6,35 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \approx 0,6 \text{ N/mm}^2$$

Kontrol :

$$P_L < P_{Lem}$$

olmalıdır.

P_{Lem} - Ortalama yüzey basıncının müsaade edilen max. (en büyük) değeri

Genellikle S_n , P_b atlasımları kullanıldığında

$$P_{Lem} = (10 \dots 40) \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

değerleri alınır. (Tablo E10 dan da faydalanılabilir. Sayfa: 39)

$$\| P_L (= 6,35 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2) < P_{Lem} (= 10 \dots 40 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2)$$

uygundur.

c) Gerekli, toplam yağ debisi \dot{V}_{pes} ,
 Sıvı yağlamada Z kama yüzeyi için
 toplam yağ debisi,

$$\dot{V}_{\text{pes}} = 0,7 \cdot b \cdot h_0 \cdot u_m \cdot Z$$

esitliğinden hesaplanır.

$$\dot{V}_{\text{pes}} = 0,7 \cdot 80 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 27 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 2,62 \text{ m/s} \cdot 10$$

$$\dot{V}_{\text{pes}} = 39,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{\text{pes}} = 39,6 \cdot 10^{-6} \cdot (10 \text{ dm})^3 / (60^{-1} \text{ d})$$

$$\| \dot{V}_{\text{pes}} \approx 2,38 \text{ dm}^3/\text{d}$$

olarak bulunur.

d) Yağın ısınması (Yatak veya yağ sıcaklığındaki
 değişim) ΔT ,

Sürtünme faktörü k_2 ,

$$\left. \begin{array}{l} \frac{L}{b} = 0,79 \\ \frac{h_0}{t} = 1 \end{array} \right\} \| \underline{k_2 \approx 3,1} \text{ (Şekil E19 a)}$$

Ayrıca k_2 faktörü

$$k_2 = \mu \sqrt{\frac{P_L \cdot b}{Z_{\text{eff}} \cdot u_m}}$$

P_L	b	l_{eff}	u_m
$N/m^2, Pa$	m	Ns/m^2	m/s

esitliğinden, yağ sıcaklığındaki değişme veya yağın ısınması da,

$$\Delta T = T_a - T_e = \frac{P_R}{\dot{V}_{\text{yağ}} \cdot \rho \cdot c} = \frac{k_2}{0,7 \cdot \sqrt{k_1}} \cdot \frac{F}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot b^2}$$

ΔT	P_R	$\dot{V}_{\text{yağ}}$	ρ	c	F	b
$^{\circ}C$	$Nm/s; W$	m^3/s	kg/m^3	$Nm/(kg^{\circ}C)$	N	m

esitliğinden hesaplanabilir. Burada,

P_R - Sürtünme kayıp gücü

$$P_R = \mu \cdot F \cdot u_m = k_2 \sqrt{l_{eff}} \cdot u_m^3 \cdot 2 \cdot L \cdot F$$

ρ - Yağın yoğunluğu

$$\rho = 860 \text{ kg/m}^3 \text{ (verilmiştir)}$$

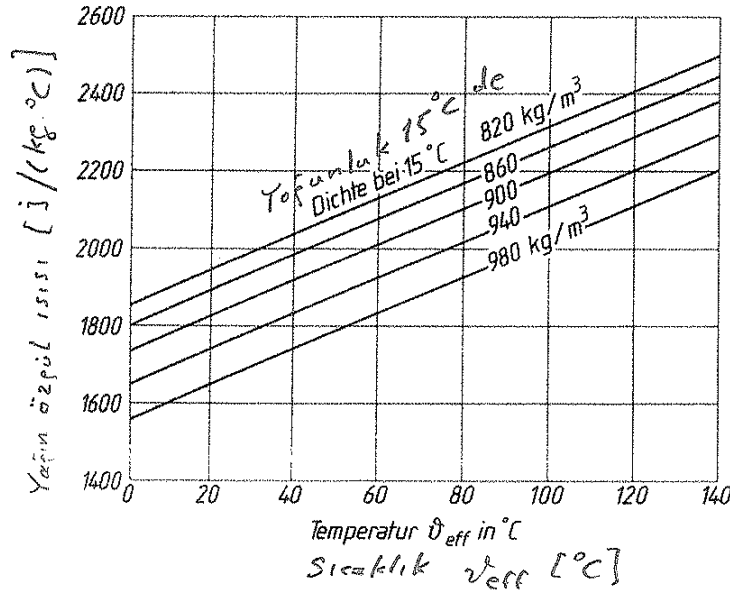
c - Yağın özgül ısı

$$\left. \begin{array}{l} T_{eff} = 60^{\circ}C \\ \rho = 860 \text{ kg/m}^3 \end{array} \right\} c = 2080 \text{ Nm/(kg}^{\circ}C) \text{ (Şekil E20)}$$

T_a - Yağ çıkış sıcaklığı

T_e - Yağ giriş sıcaklığı

$$\Delta T = \frac{3,1}{0,7 \cdot \sqrt{0,065}} \cdot \frac{32 \cdot 10^3 \text{ N}}{10 \cdot 2080 \text{ Nm/(kg}^{\circ}C) \cdot 860 \text{ kg/m}^3 \cdot (80 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}$$



Şekil E20 - Sıcaklık ve yoğunluğa bağlı olarak madensel yağlar için ortalama özgül ısı değerleri.

$$\Delta \vartheta = \vartheta_a - \vartheta_e = 4,9^\circ \text{C} \approx 5^\circ \text{C}$$

$$\Delta \vartheta \leq 20^\circ \text{C} \text{ olmalıdır}$$

$$\Delta \vartheta = 5^\circ \text{C} < 20^\circ \text{C}$$

$\dot{V}_{\text{pes}} = 2,38 \text{ dm}^3/\text{d}$ yağ debisi soğutmayı çok iyi sağlar yağ, sadece 5°C ısınmaktadır.

Eğer sonuçlar $\Delta T \leq 20^\circ \text{C}$ değerini aşıyorsa yağ debisini artırmak gerekir

Not: Örnek E3, Niemann yöntemine göre de çözülebilir. (Kaynak: Tuncer ÖZKAN, Eksenel kaymalı yataklar Sayfa: 36...42)

28.07.2015

Yılmaz Ekin