

**Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za strojništvo**

**Debelina mazalnega filma v EHD kontaktu  
Poročilo laboratorijske vaje**

Rok oddaje: Petek, 6. 5. 2016

Uroš R

15. junij 2016

---

## Kazalo

<b>1</b>	<b>Definicija naloge</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Izračun minimalne debeline mazalnega filma</b>	<b>4</b>
2.1	Vstopni podatki . . . . .	4
2.2	Izračun konstant . . . . .	4
2.2.1	Kinematične konstante . . . . .	4
2.2.2	Geometrijske konstante . . . . .	5
2.2.3	Materialne in fluidne konstante . . . . .	5
2.2.4	Konstante modela . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Ocena režima mazanja - Tallianov parameter</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Določitev drsne hitrosti za popolni mazalni film</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Vpliv hitrosti, sile in temperature na debelino mazalnega filma</b>	<b>6</b>
5.1	Vpliv relativne hitrosti na debelino filma . . . . .	7
5.2	Vpliv normalne pritisne sile na debelino filma . . . . .	7
5.3	Vpliv temperature na debelino filma . . . . .	7
5.4	Računalniški preračun parametrov . . . . .	8
5.4.1	Glavni program . . . . .	8
5.4.2	Funkcija za izračun modela EHD mazanja po Hamrocku in Dowsonu . . . . .	10
5.4.3	Funkcija za prikaz rezultatov . . . . .	11
5.4.4	Prikaz rezultatov . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Zaključek</b>	<b>13</b>
	<b>Literatura</b>	<b>15</b>

---

## 1. Definicija naloge

1. Za tribološki kontakt in testne pogoje, ki ste jih imeli na 5. vaji (Merjenje trenja in obrabe) je potrebno:
  - (a) Izračunati minimalno debelino mazalnega filma (za obe olji)
  - (b) Oceniti režim mazanja (za obe olji)
2. Za obe olji je potrebno določiti drsno hitrost pri kateri imamo popolni mazalni film  $\lambda \geq 4$ .
3. Ugotoviti je potrebno kako na debelino mazalnega filma vplivata hitrost in sila, ter kateri od teh dveh parametrov ima večji vpliv na debelino mazalnega filma. Prav tako je potrebno ugotoviti kako na debelino mazalnega filma vpliva temperatura maziva.
4. Vse dobljene rezultate je potrebno vsebinsko komentirati.

## 2. Izračun minimalne debeline mazalnega filma

### 2.1 Vstopni podatki

Vstopni podatki za izračun so zbrani v tabeli 1. Konkretni izračuni številčk so prikazani samo za olje 1.

Oznaka	Enota	Pomen
$r_x$	m	1. radij kroglice = 0,005 m
$r_y$	m	2. radij kroglice = 0,005 m
$\nu_a$	1	Poissonovo število kroglice = 0.3
$\nu_b$	1	Poissonovo število plošče = 0.3
$E_a$	Pa	Modul elastičnosti kroglice = $2.1 \cdot 10^{11}$ Pa
$E_a$	Pa	Modul elastičnosti plošče = $2.1 \cdot 10^{11}$ Pa
$T_1$	$^{\circ}C$	Temperatura 1 = 40 $^{\circ}C$ (za viskoznost)
$T_2$	$^{\circ}C$	Temperatura 2 = 100 $^{\circ}C$ (za viskoznost)
$T_0$	$^{\circ}C$	Delovna temperatura = 20 $^{\circ}C$
$T_{ref}$	$^{\circ}C$	Referenčna temperatura za gostoto = 25 $^{\circ}C$
$v_1$	m/s	Relativna hitrost potovanja kroglice = 0.1 m/s
$W$	N	Normalna obremenitev = 150 N
$\beta$	1/K	Volumski dilatacijski koeficient = $6,5 \cdot 10^{-4}$ 1/K
$R_{qa}$	m	Standardna deviacija hrapavostnega profila kroglice = $0.025 \cdot 10^{-6}$ m
$R_{qa}$	m	Standardna deviacija hrapavostnega profila plošče = $0.015 \cdot 10^{-6}$ m
$\nu_{1T_1}$	$mm^2/s$	Kinematična viskoznost olja 1 pri $T_1 = 29,72$ $mm^2/s$
$\nu_{1T_2}$	$mm^2/s$	Kinematična viskoznost olja 1 pri $T_2 = 5,800$ $mm^2/s$
$\nu_{8T_1}$	$mm^2/s$	Kinematična viskoznost olja 8 pri $T_1 = 66,51$ $mm^2/s$
$\nu_{8T_2}$	$mm^2/s$	Kinematična viskoznost olja 8 pri $T_2 = 8,542$ $mm^2/s$
$\rho_{1ref}$	$kg/m^3$	Gostota olja 1 pri $T_{ref} = 817$ $kg/m^3$
$\rho_{8ref}$	$kg/m^3$	Gostota olja 8 pri $T_{ref} = 868$ $kg/m^3$

Tabela 1: Vhodni argumenti za izračun

### 2.2 Izračun konstant

Konstante viskoznosti ter temperature, za izračun nekaterih fluidnih parametrov so definirane v enačbah od 1 do 5. Parametri kinematične viskoznosti so vneseni v enotah  $mm^2/s$ , saj bi ob vnosu v  $m^2/s$  logaritem nujno prešel v kompleksno algebro.

$$A_1 = \log(\log(\nu_{T_1} + 0, 8)) = \log(\log(29, 72 + 0, 8)) = 0, 1716 \quad (1)$$

$$A_2 = \log(\log(\nu_{T_2} + 0, 8)) = \log(\log(5, 800 + 0, 8)) = -0, 0864 \quad (2)$$

$$C_0 = \log(T_0 + 273) = \log(20 + 273) = 2, 4669 \quad (3)$$

$$C_1 = \log(T_1 + 273) = \log(40 + 273) = 2, 4955 \quad (4)$$

$$C_2 = \log(T_2 + 273) = \log(100 + 273) = 2, 5717 \quad (5)$$

#### 2.2.1 Kinematične konstante

Povprečna hitrost teles v kontaktu je definirana preko enačbe 6

$$\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{0, 1 + 0}{2} = 0, 05 \text{ m/s} \quad (6)$$

### 2.2.2 Geometrijske konstante

Parameter, ki določa spreminjanje kinematične viskoznosti je opisan z enačbo 7.

$$b = \frac{A_1 - A_2}{C_2 - C_1} = \frac{0,1716 - (-0,0864)}{2,5717 - 2,4955} = 3,3877 \quad (7)$$

Koeficient eliptičnosti je definiran preko enačbe 8. Parameter je enak 1 ker vtiskujemo "idealno" kroglico.

$$k = \frac{a}{b} = \frac{1}{1} = 1 \quad (8)$$

Konstanti vezani na ekvivalentni radij kontakta je izračunan preko enačbe 9.

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_y} \Rightarrow R' = 0,0025 \text{ m} \quad (9)$$

$$(10)$$

### 2.2.3 Materialne in fluidne konstante

Reduciran modul elastičnosti materiala je izračunan preko enačbe 11.

$$\frac{1}{E'} = \frac{1}{2} \left( \frac{1 - \nu_a^2}{E_a} + \frac{1 - \nu_b^2}{E_b} \right) \Rightarrow E' = \left( \frac{1 - 0,3^2}{210 \cdot 10^9} + \frac{1 - 0,3^2}{210 \cdot 10^9} \right)^{-1} = 2,308 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \quad (11)$$

Zaradi enakosti materialov kroglice in ploščice je reduciran modul elastičnosti enak za oba materiala.

Sprememba gostote s temperaturo je definirana preko linearne povezave dilatacije volumna s temperaturo - enačba 12.

$$\rho_0 = \frac{\rho_T}{1 + \beta(T_0 - T)} = \frac{817}{1 + 6,5 \cdot 10^{-4}(20 - 25)} = 819,66 \text{ kg/m}^3 \quad (12)$$

Ekstrapolacijo vrednosti kinematične viskoznosti (zaradi drugačne temperature) izvedemo preko enačbe 13.

$$\nu_0 = 10^{10(A_1 + b(C_1 - C_0))} - 0,8 = 10^{10(0,1716 + 3,3877 \cdot (2,4955 - 2,4669))} - 0,8 = 71,10 \text{ mm}^2/\text{s} \quad (13)$$

### 2.2.4 Konstante modela

Obremenitveni parameter  $W_p$  je definiran z enačbo 14.

$$W_p = \frac{W}{E' R'^2} = \frac{150}{2,308 \cdot 10^{11} \cdot 0,0025^2} = 1,0400 \cdot 10^{-4} \quad (14)$$

Koeficient, ki nastopa v določitvi koeficienta materiala (enačba 16) opisuje enačba 15.

$$\alpha = [1,216 + 4,143(\log(\nu_0))^{3,6027} + 2,848 \cdot 10^{-4} \cdot b^{5,1903} (\log \nu_0)^{1,5976} - 3,999 (\log \nu_0)^{3,0975} \cdot (0,001\rho_0)^{0,1162}] \cdot 10^{-8} \quad (15)$$

$$\alpha = [1,216 + 4,143(\log(71,10))^{3,6027} + 2,848 \cdot 10^{-4} \cdot 3,3877^{5,1903} \cdot (\log 71,10)^{1,5976} - 3,999 (\log 71,10)^{3,0975} \cdot (0,001 \cdot 819,66)^{0,1162}] \cdot 10^{-8} = 2,6394 \cdot 10^{-8}$$

Skupaj z parametrom  $\alpha$  je možno izračunati parameter materiala  $G_p$  (enačba 16).

$$G_p = \alpha E' = 2,6394 \cdot 10^{-8} \cdot 2,308 \cdot 10^{11} = 6090,92 \quad (16)$$

Parameter hitrosti je definiran preko enačbe 17. Paziti je potrebno na enote kinematične viskoznosti, saj pri tem parametru niso več v mm<sup>2</sup>/s.

$$U_p = \frac{\bar{v} \eta_0}{E' R'} = \frac{\bar{v} \nu_0 \rho_0}{E' R'} = \frac{0,05 \cdot 71,10 \cdot 10^{-6} \cdot 819,66}{2,308 \cdot 10^{11} \cdot 0,0025} = 5,0509 \cdot 10^{-12} \quad (17)$$

Po določitvi numeričnih vrednosti vseh koeficientov lahko določimo debelino mazalnega filma olja 1 preko enačbe 18.

$$\begin{aligned} h_0 &= 3,63 R' U_p^{0,68} G_p^{0,49} W_p^{-0,073} (1 - e^{-0,68k}) = \\ &= 3,63 \cdot 0,0025 \cdot (5,0509 \cdot 10^{-12})^{0,68} \cdot 6090,92^{0,49} \cdot (1,0400 \cdot 10^{-4})^{-0,073} \cdot (1 - e^{-0,68 \cdot 1}) \\ &= 1,3019 \cdot 10^{-8} \text{ m} = \mathbf{13,02 \text{ nm}} \quad (18) \end{aligned}$$

Po enakem principu izvedemo preračun za olje 8. V ta namen je bil izdelan program v programskem jeziku Matlab. Opisan je v poglavju 5.4.

### 3. Ocena režima mazanja - Tallianov parameter

$$\lambda = \frac{h_0}{\sqrt{R_{qA}^2 + R_{qB}^2}} = \frac{h_0}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}} \quad (19)$$

Za olje 1 znaša Tallianov parameter:

$$\lambda = \frac{h_0}{\sqrt{R_{qA}^2 + R_{qB}^2}} = \frac{h_0}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}} = \frac{13,02 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{(0,025 \cdot 10^{-6})^2 + (0,015 \cdot 10^{-6})^2}} = 0,447 \quad (20)$$

Glede na empirične ocene je možno sklepati, da sistem mazan z oljem 1 obratuje v takem režimu, da se pojavlja makro plastična deformacija ploskev. To je bilo opaženo tudi na vaji 5 - merjenje trenja in obrabe.

### 4. Določitev drsne hitrosti za popolni mazalni film

Pri istih parametrih je možno programsko relativno preprosto, z metodo poskušanja (*trial and error*). Preko vrednosti Tallianovega parametra je bilo določeno, da je mejna povprečna hitrost, kjer bo nastal popoln mazalni film enaka (tabela 2). Program je predstavljen v poglavju 5.4.

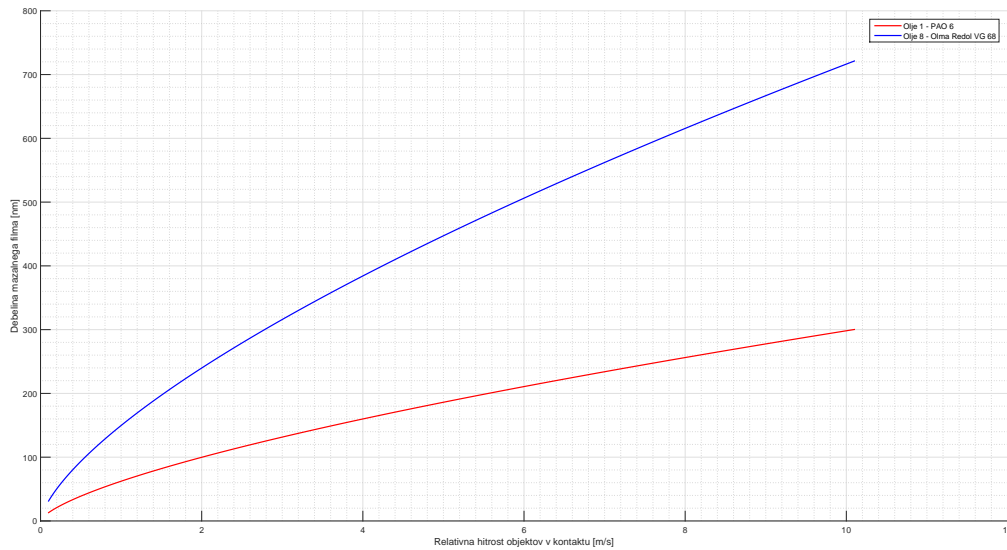
	Olje 1	Olje 8
Hitrost [m/s]	≥2,515	≥0,694

Tabela 2: Velikost povprečne hitrosti da bo Tallianov parameter ≥ 4

### 5. Vpliv hitrosti, sile in temperature na debelino mazalnega filma

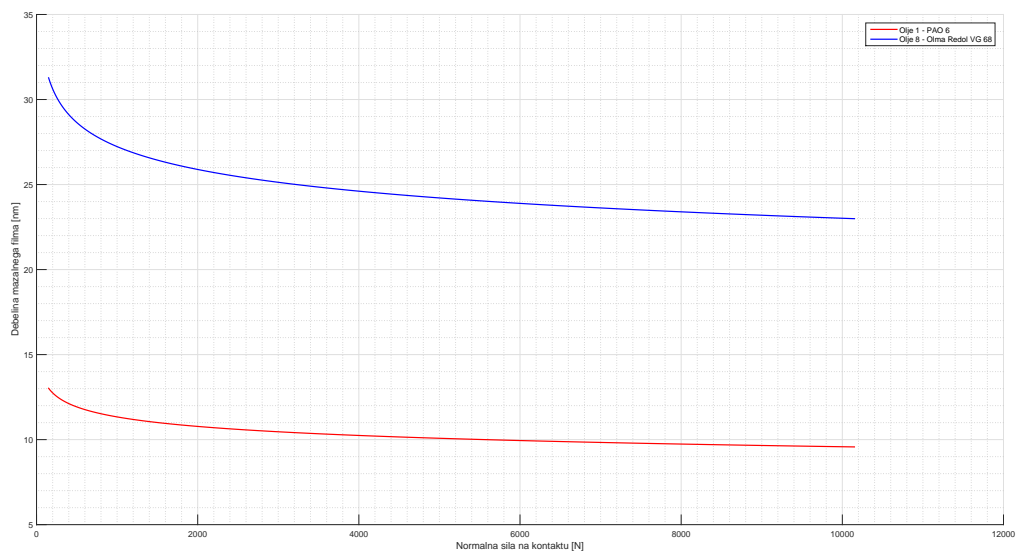
S pomočjo programskega paketa Matlab so bili določeni sledeči poteki za vplive hitrosti, sile in temperature na debelino mazalnega filma.

## 5.1 Vpliv relativne hitrosti na debelino filma



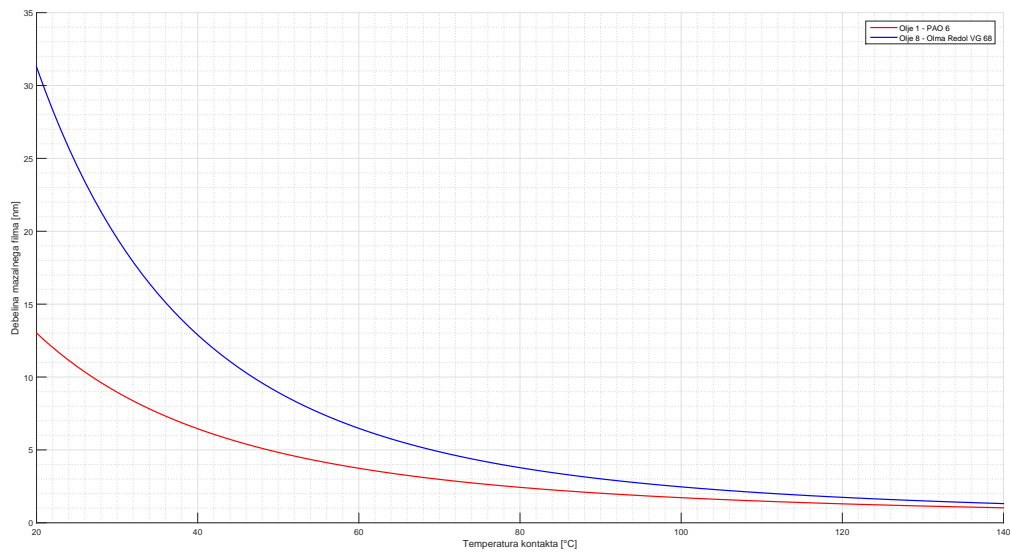
Slika 1: Vpliv relativne hitrosti na debelino filma

## 5.2 Vpliv normalne pritisne sile na debelino filma



Slika 2: Vpliv normalne pritisne sile na debelino filma

## 5.3 Vpliv temperature na debelino filma



Slika 3: Vpliv temperature na debelino filma

## 5.4 Računalniški preračun parametrov

### 5.4.1 Glavni program

```

1 clc
2 clear
3 close all
4 %% Minimalna debelina filma
5 % Predavalniška vaja - EHD mazanje
6 %% Vhodni podatki
7 %% Parametri neodvisni od olja
8 r.x = 5e-3;% [m] radij 1 kroglice
9 r.y = 5e-3;% [m] radij 2 kroglice
10 ni.a = 0.3;% [1] Poissonovo število kroglice
11 ni.b = 0.3;% [1] Poissonovo število ploskve
12 E.a = 210e9;% [Pa] Modul elastičnosti kroglice
13 E.b = 210e9;% [Pa] Modul elastičnosti ploskve
14 T.T1 = 40;%[°C] temperatura 1
15 T.T2 = 100;%[°C] temperatura 2
16 T.T0 = 20;%[°C] temperatura delovna (spremeni tudi vrednost T.T0 pred grafi!)
17 T.ref = 25;%[°C] temperatura referenčna za gostoto
18 v1 = 0.1;%[m/s] hitrost kroglice
19 W = 150;% [N] normalna obremenitev
20 beta = 6.5e-4;%[m^3/(m^3 K)] volumski razteznostni koeficient za olje
21 Rq.a = 0.025e-6;% [m] standardna deviacija profila za kroglico
22 Rq.b = 0.015e-6;% [m] standardna deviacija profila za ploskev
23 %% Parametri odvisni od olja
24 % Olje 1 - PAO 6
25 kv1.T1 = 29.72;% [mm^2/s] kinematična viskoznost pri T1, oljel
26 kv1.T2 = 5.8004;% [mm^2/s] kinematična viskoznost pri T2, oljel
27 rho1.ref = 817;% [kg/m^3] gostota za referenčno temperaturo, oljel
28 % Olje 8 - Olma Redol VG 65
29 kv8.T1 = 66.51;% [mm^2/s] kinematična viskoznost pri T1, oljel
30 kv8.T2 = 8.5415;% [mm^2/s] kinematična viskoznost pri T2, oljel

```



```

31 rho8.ref = 868;% [kg/m^3] gostota za referenčno temperaturo, oljel
32 %% Izračunaj in prikaži me nežno
33 % Izračun debeline filma in lambde
34 [h01, lam1, cns1, Gp, Wp, kv11, Eekv] = minimumThickness(r, ni, E, T, kv1, rho1, v1, W, ...
    beta, Rq)
35 [h08, lam8, cns8] = minimumThickness(r, ni, E, T, kv8, rho8, v1, W, beta, Rq);
36 %-----%
37 % Izračun hitrosti da bo mazanje popolno
38 lamV1=1; % iniciator zanke
39 vV1 = v1;
40 while lamV1<4
41     [~, lamV1] = minimumThickness(r, ni, E, T, kv1, rho1, vV1, W, beta, Rq);
42     vV1=vV1+0.001;
43 end
44
45 lamV8=1; % iniciator zanke
46 vV8 = v1;
47 while lamV8<4
48     [~, lamV8] = minimumThickness(r, ni, E, T, kv8, rho8, vV8, W, beta, Rq);
49     vV8=vV8+0.001;
50 end
51 %-----%
52 %-----%
53 % Izračun vpliva hitrosti na debelino filma
54 dvV1 = v1;
55 dvV8 = v1;
56 for idx=1:1e4% ne spreminjaj koraka
57     [h01dv(idx),~] = minimumThickness(r, ni, E, T, kv1, rho1, dvV1, W, beta, Rq);
58     dvV1=dvV1+0.001;% ne spreminjaj koraka
59 end
60 for idx=1:1e4% ne spreminjaj koraka
61     [h08dv(idx),~] = minimumThickness(r, ni, E, T, kv8, rho8, dvV8, W, beta, Rq);
62     dvV8=dvV8+0.001;% ne spreminjaj koraka
63 end
64 %-----%
65 % Izračun vpliva sile na debelino filma
66 W1=W;
67 for idx=1:1e4% ne spreminjaj koraka
68     [h01dF(idx),~] = minimumThickness(r, ni, E, T, kv1, rho1, v1, W1, beta, Rq);
69     W1=W1+1;% ne spreminjaj koraka
70 end
71 W1=1e250;
72 hhhhh=minimumThickness(r, ni, E, T, kv1, rho1, v1, W1, beta, Rq);
73 disp(hhhhh)
74
75 W1=W;
76 for idx=1:1e4% ne spreminjaj koraka
77     [h08dF(idx),~] = minimumThickness(r, ni, E, T, kv8, rho8, v1, W1, beta, Rq);
78     W1=W1+1;% ne spreminjaj koraka
79 end
80 %-----%
81 % Izračun vpliva temperature na debelino filma
82 for idx=1 : 1.2e2% ne spreminjaj koraka
83     [h01dT(idx),~] = minimumThickness(r, ni, E, T, kv1, rho1, v1, W, beta, Rq);
84     T.T0=T.T0+1;% ne spreminjaj koraka
85 end
86 T.T0 = 20;% zato da imam originalno vrednost spet tukaj
87 for idx=1 : 1.2e2% ne spreminjaj koraka
88     [h08dT(idx),~] = minimumThickness(r, ni, E, T, kv8, rho8, v1, W, beta, Rq);
89     T.T0=T.T0+1;% ne spreminjaj koraka
90 end
91 T.T0end=T.T0;% zato da imam pri displayu grafa končno vrednost po zančenju

```

```

92 T.T0 = 20;% zato da imam originalno vrednost spet tukaj
93
94 ResultDisplay(lam1, h01, vV1, 'olje 1')
95 ResultDisplay(lam8, h08, vV8, 'olje 8')
96
97 %% Grafki
98 myFontSize=27;
99
100 figure
101 hold on
102 plot(linspace(v1,dvV1,1e4),h01dv.*1e9,'r','Linewidth',1.4)
103 plot(linspace(v1,dvV1,1e4),h08dv.*1e9,'b','Linewidth',1.4)
104 xlabel('Relativna hitrost objektov v kontaktu [m/s]')
105 ylabel('Debelina mazalnega filma [nm]')
106 legend('Olje 1 - PAO 6','Olje 8 - Olma Redol VG 68')
107 ca=gca;
108 ca.FontSize = myFontSize;
109 grid on
110 grid minor
111
112 hold off
113 figure
114 hold on
115 plot(linspace(W,W1,1e4),h01dF.*1e9,'r','Linewidth',1.4)
116 plot(linspace(W,W1,1e4),h08dF.*1e9,'b','Linewidth',1.4)
117 xlabel('Normalna sila na kontaktu [N]')
118 ylabel('Debelina mazalnega filma [nm]')
119 legend('Olje 1 - PAO 6','Olje 8 - Olma Redol VG 68')
120 ca=gca;
121 ca.FontSize = myFontSize;
122 grid on
123 grid minor
124
125 hold off
126 figure
127 hold on
128 plot(linspace(T.T0, T.T0end,1.2e2), h01dT.*1e9,'r','Linewidth',1.4)
129 plot(linspace(T.T0, T.T0end,1.2e2), h08dT.*1e9,'b','Linewidth',1.4)
130 xlabel('Temperatura kontakta [°C]')
131 ylabel('Debelina mazalnega filma [nm]')
132 legend('Olje 1 - PAO 6','Olje 8 - Olma Redol VG 68')
133 ca=gca;
134 ca.FontSize = myFontSize;
135 grid on
136 grid minor

```

#### 5.4.2 Funkcija za izračun modela EHD mazanja po Hamrocku in Dowsonu

```

1 function [h0, lam, cns, Gp, Wp, kv, Eekv]=minimumThickness(r, ni, E, T, kv, rho, v1, W, ...
   beta, Rq)
2 %% Geometrijski parametri
3 Rekv = ((1/r.x)+(1/r.y))^-1;% ekvivaletni radij (predpostavljeno, da je eno telo ploskev)
4 Eekv = (0.5*((1-ni.a^2)/(E.a))+((1-ni.b^2)/(E.b)))^-1;% reduciran modul elastičnosti
5 %% Neke konstante
6 cns.a1 = log10(log10(kv.T1 + 0.8));
7 cns.a2 = log10(log10(kv.T2 + 0.8));
8 cns.c0 = log10(T.T0 + 273);
9 cns.c1 = log10(T.T1 + 273);
10 cns.c2 = log10(T.T2 + 273);

```

```

11 cns.b = (cns.a1 - cns.a2)/(cns.c2 - cns.c1);
12 cns.k = 1;% parameter eliptičnosti
13 %% Parametri maziva
14 kv.wrk = 10^(10^(cns.a1 + cns.b*(cns.c1-cns.c0)))-0.8;% kinematična viskoznost za delovno ...
    temperaturo
15 rho.wrk = (rho.ref)/(1+beta*(T.T0-T.ref));% gostota za delovno temperaturo
16 %rw = rho.wrk;
17 %% Parameter materiala
18 alfa = (1.216 + 4.143 * (log10(kv.wrk))^(3.0627) + ...
    2.848e-4*cns.b^(5.1903)*(log10(kv.wrk))^(1.5976) - 3.999 * (log10(kv.wrk))^(3.0975) * ...
    (0.001*rho.wrk)^(0.1162))*1e-8;
19 Gp = alfa * Eekv;
20 %% Parameter hitrosti
21 vRelMed = (v1)*0.5;
22 Up = (vRelMed * rho.wrk * (kv.wrk)*1e-6)/(Eekv * Rekv);% pretvornik 1e-6 zaradi mm^2/s --> ...
    m^2/s
23 %% Parameter obremenitve
24 Wp = (W)/(Eekv * Rekv^2);
25 %% Debelina filma
26 h0 = Rekv*(3.63 * Up^(0.68) * Gp^(0.49) * Wp^(-0.073) * (1-exp(-0.68 * cns.k)));
27 %% Tallianov parameter
28 lam = (h0)/(sqrt(Rq.a^2+Rq.b^2));
29
30 end

```

### 5.4.3 Funkcija za prikaz rezultatov

```

1 function []=ResultDisplay(lam, h0, vV, nameTag)
2 %% Display results
3 if lam < 1
4     fprintf(['Za ', nameTag, ' znaša lambda = %.3f. Pojavlja se makro plastična deformacija ...
    ploskev, imaš mejno mazanje.\n'],lam)
5 elseif lam > 1 && lam <= 1.5
6     fprintf(['Za ', nameTag, ' znaša lambda = %.3f. Pojavlja se glajenje vršičkov, ...
    luščenje; življenjska doba je manjša. Imaš mešano mazanje.\n'],lam)
7 elseif lam > 1.5 && lam <= 3
8     fprintf(['Za ', nameTag, ' znaša lambda = %.3f. Pojavlja se glajenje vršičkov, ni ...
    rizika za življenjsko dobo. Imaš mešano mazanje.\n'],lam)
9 elseif lam > 3 && lam <= 4
10    fprintf(['Za ', nameTag, ' znaša lambda = %.3f. Pojavlja se glajenje vršičkov, ...
    minimalna obrava, imaš delno EHD oz. HD mazanje.\n'],lam)
11 elseif lam > 4
12    fprintf(['Za ', nameTag, ' znašalambda = %.3f. Pojavlja se popolni mazalni film. Imaš ...
    EHD oz. HD mazanje.\n'],lam)
13 end
14 %% Variable display
15 fprintf(['Debelina filma za ', nameTag, ' je %.3f nm. \n'],h0*1e9)
16 fprintf(['Zato da bo mazalni film za ', nameTag, ' popoln potrebujem relativno hitrost ...
    vsaj %.3f m/s.\n'],vV)
17 fprintf('\n')
18 end

```

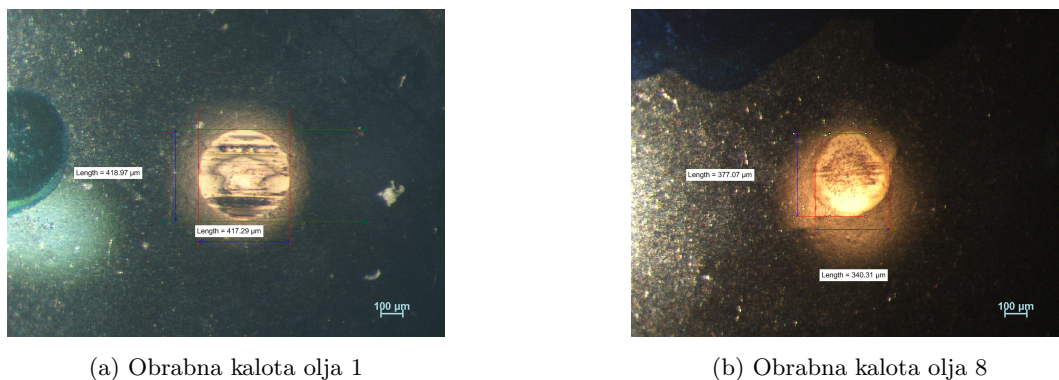
### 5.4.4 Prikaz rezultatov

Za olje 1 znaša  $\lambda = 0.447$ . Pojavlja se makro plastična deformacija ploskev, imaš mejno mazanje. Debelina filma za olje 1 je 13.019 nm. Zato da bo mazalni film za olje 1 popoln potrebujem povprečno relativno hitrost vsaj 2.515 m/s.

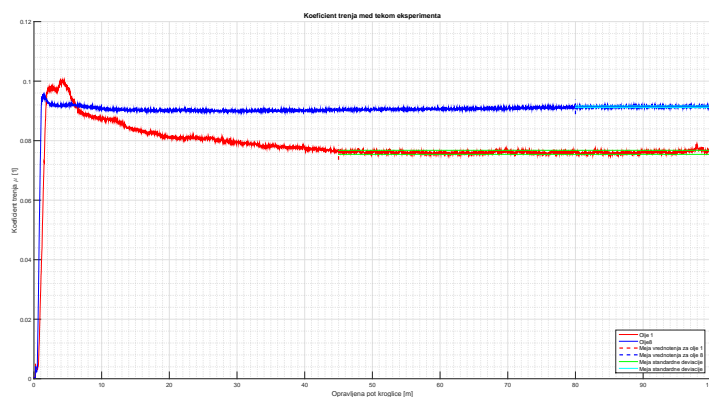
Za olje 8 znaša  $\lambda = 1.073$ . Pojavlja se glajenje vršičkov, luščenje; življenjska doba je manjša. Imas mešano mazanje. Debelina filma za olje 8 je 31.275 nm. Zato da bo mazalni film za olje 8 popoln potrebujem povprečno relativno hitrost vsaj 0.694 m/s.

## 6. Zaključek

Naloga je bila sestavljena kot povezava na že izvedeno nalogo, t.j. laboratorijska vaja št. 5 - merjenje obrabe in trenja. Hiter povzetek najbolj slikovitega parametra predstavljajo slike 4 in 5.



Slika 4: Slike obrabnih kalot



Slika 5: Graf poteka koeficienta trenja od opravljene poti krogljice

Če povežem rezultate opravljenе vaje s to vajo lahko na prvi pogled ugotovim, da je pri obeh oljih bil prebit mazalni film, saj očitno pri obeh mazivih obstaja obrabna kalota, v preračunu to dejstvo zajema Tallianov parameter, katerega interpretacija pravi, da naj bi pri olju 1 (PAO 6) imel slabše rezultate kot pri olju 8 (Olma Redol VG 68), ker je Tallianov parameter okvirno 140 % večji pri olju 8, kar pomeni, da je za dane parametre olje 8 boljše, še vedno pa se pojavlja obraba površin (kar implicira da olje za tak delovni režim še vedno ni ustrezno). Dokaz je slika 4.

Sami izračuni sledijo intuiciji - gostota in kinematična viskoznost olja se večja s tem ko temperatura pada, debelina oljnega filma je pri olju 1 bistveno manjša kot pri olju 8, vendar v pričakovanih vrednostih (od 10 do 500 nm). Boljšo kvaliteto olja 8 nakazuje tudi določitev drsne hitrosti za popolni mazalni film. Bistven vpliv igra pri tem parametru viskoznost. Če bi tovrstni olju uporabili pri nekem izmišljenem drsnem ležaju bi za popoln mazalni film morali izbrati 3,62 krat večji premer gredi kar pomeni 13,13 krat večjo dolžinsko maso gredi samo zaradi izbire olja. Zaključim lahko, da je izbira olja eden izmed zelo pomembnih dejavnikov pri preračunu; posledično je tudi logično, da raziskave na tem področju pomembno vplivajo na, v končnem koraku, ceno izdelka. Iz tega razmisleka tudi sledi, da je debelina mazalnega filma z večanjem relativne hitrosti večja, kar prikazuje slika 1.

Z večanjem obremenitve debelina filma pada vendar je zanimivo, da debelina konvergira k 0 zelo počasi, bistveno počasneje kot s spreminjanjem temperature. Podoben trend je mogoče zaslediti tudi pri višanju temperature, z razliko bistveno hitrejše konvergence. Pri višjih temperaturah pa preidejo rešitve v kompleksna števila, kar je ena izmed težav modela - vendar kljub temu so te temperature previsoke, da bi jih običajna olja zdržala. Poudariti je potrebno, da sta grafa na slikah 2 in 3 povezana samo z variacijo enega parametra. V realnosti pa to ni mogoče v nekem preprostem (nehlajenem) kontaktu.

Teoretični potek krivulj implicira, da je olje bistveno bolj občutljivo na temperaturne spremembe kot na spremembe v obremenitvenem stanju, vendar bi tovrstno sklepanje držalo zgolj kratek čas, saj se s povečevanjem obremenitve povišuje tudi kontaktna temperatura, posledično pa tudi temperatura olja.

## Literatura

- [1] TINT: *Diapozitivi za vaje pri predmetu tribologija.*
- [2] G. W. Stachowiak: *Engineering tribology.* Butterworth & Heinemann, 2013.