



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ČTYŘVÁLCOVÝ ZÁŽEHOVÝ MOTOR S EXCENTRICKÝM KLIKOVÝM MECHANISMEM PRO OSOBNÍ VOZIDLA

FOUR-CYLINDER PETROL ENGINE WITH ECCENTRIC CRANK MECHANISM FOR
PASSENGER VEHICLES

PŘÍLOHY K DIPLOMOVÉ PRÁCI
MASTER'S THESIS APPENDICES

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Bc. PAVEL MLČOCH

prof. Ing. VÁCLAV PÍŠTĚK, DrSc.

BRNO 2015

OBSAH TIŠTĚNÝCH PŘÍLOH

Příloha 1 – Výpočty kinematických veličin a silových poměrů klikového ústrojí.....	P3
Příloha 2 – Výpočty vyvážení, torzního kmitání, tlumiče torzních kmitů a bezpečnosti klikové hřídele vůči únavě.....	P9
Příloha 3 – Tabulka k volbě excentricity.....	P29
Příloha 4 – Výsledky modální analýzy volného netlumeného kmitání - ANSYS APDL....	P30
Příloha 5 – Výsledky vlastního torzního kmitání dle výpočtového programu HOLZER....	P31
Příloha 6 – Obrazové přílohy – Schéma mazání kluzných ložisek, rozložení napjatosti.....	P34
Příloha 7a– Vynucené torzní kmitání – průběh výchylky na 1. úseku; průběh momentů na všech úsecích	P38
Příloha 7b– Harmonická analýza točivého momentu pro úsek klikové hřídele u setrvačníku.....	P42

Příloha 1

```
% Znaménková konvence dle DP
%% Počáteční příkazy
clear all % smazání všech proměnných
clf % vyčistit figures
clc % vyčistit cmd line
set(0,'DefaultFigureWindowStyle','docked') % kouzlo na automatické dokování oken
format compact % zápis
format shortEng % zápis

%% Zadané hodnoty
p0=101325; % atmosférický tlak (v klikové skříní)
vrtani=76.5; % [mm] vrtání
zdvih=86.9; % [mm] zdvih
D=vrtani/1000; % [m]
H=zdvih/1000; % [m]
l=0.138; % [m] délka ojnice
mpc=0.394; % hmotnost posuvných částí
m2=0.334; % hmotnost rotačních částí ojnice
PV=[0 540 180 360]; % pořadí zážehů 1-3-4-2
koeficient_treni_prumerny=0.05; % [-]
a_vzdalenost_os_valcu=0.082; % vzdálenost os válců

%% Vypočtené hodnoty
r=H/2; % [m] poloměr kliky
lambda=r/l; % klikový poměr
Spistu=(pi*D^2)/4; % [m2] plocha pístu

%% Načtení reálných hodnot tlaků centrického KM
hodnoty_tlaku_centricky=('SKODA-indik-diagramy.txt'); % načtení datového souboru
HTC=importdata(hodnoty_tlaku_centricky, '\t',2);
alfa_deg=HTC.data(:,1); % načtení tlaků pro jednotlivé otáčky
alfa=(alfa_deg/180)*pi; % převod natočení klikového hřídele na radiány
beta=asin(lambda*sin(alfa)); % úhel odklonu ojnice

%% Výpočet základních kinematických veličin a sil v centrickém klikovém mechanismu
for i=2:1:18 % 17 sloupců hodnot tlaků - otáčky
    tlak_bar(:,i)=HTC.data(:,i); % načtení hodnot tlaků
    for k=1:length(alfa) % spočítání kin. a sil. KM
        n(i)=(1000+(i*250))/60; % přiřazení otáček jednotlivým sloupcům i
        omega(i)=2*pi*n(i); % vypočtení úhlové
    end
    rychlosti [rad/s] pro dané otáčky

    s(k)=r*((1-cos(alfa(k)))+(lambda/4)*(1-cos(2*alfa(k))))); % dráha
    v(k,i)=r*omega(i)*(sin(alfa(k))+(lambda/2)*sin(2*alfa(k))); % rychlost pístu
    a(k,i)=r*omega(i)^2*(cos(alfa(k))+lambda*cos(2*alfa(k))); % zrychlení pístu
    Fp(k,i)=(tlak_bar(k,i)*1e5-p0)*Spistu; % síla od tlaků plynů
    Fs(k,i)=-a(k,i)*mpc; % setrvačná síla
    Fvp(k,i)=Fp(k,i)+Fs(k,i); % výsledná síla
    Fn(k,i)=Fvp(k,i).*tan(beta(k)); % boční síla působící
    Fo(k,i)=Fvp(k,i)./(cos(beta(k))); % výsledná síla v oř
    Ft(k,i)=Fo(k,i).*(sin(alfa(k))+beta(k))); % tečná složka síly OČ
    Mk(k,i)=Ft(k,i)*r; % točivý moment na OČ

    Mkv1=circshift(Mk,[PV(1),0]); % posunutí průběhu
    Mkv2=circshift(Mk,[PV(2),0]); % posunutí průběhu
    Mkv3=circshift(Mk,[PV(3),0]); % posunutí průběhu
    Mkv4=circshift(Mk,[PV(4),0]); % posunutí průběhu
    Mkc=Mkv1+Mkv2+Mkv3+Mkv4; % celkový průběh
end
```

```

        Fro(k,i)=-m2*r*omega(i)^2; % odstředivá síla na OČ
        Fr(k,i)=Fo(k,i).*(cos(alfa(k)+beta(k))); % radiální síla na OČ
        Frc(k,i)=Fr(k,i)+Fro(k,i); % výsledná radiální na OČ
        Fvoc(k,i)=sqrt(Frc(k,i)^2+Ft(k,i)^2); % výsledná síla na OČ
    end
end

%% Výkon a točivý moment CENTRICKÉHO MECHANISMU
Mt_stredni=mean(Mkc); % průměrný (střední) točivý moment motoru
for t=1:18 % pro všechny sloupce
    P(:,t)=(mean(Mkc(:,t)) *((2*pi*(1000+(t*250))/60)))/1000;
end

%% CENTRICKÝ KONEC
%% KINEMATIKA EXCENTRICKÉHO MECHANISMU
%% DRÁHA - členy binomické věty a jejich vliv
for k=1:length(alfa)
    s_br(k)=r*(1-cos(alfa(k)))+l*(1-sqrt(1-((lambda^2)*(sin(alfa(k))*sin(alfa(k))))));
    prvni_clen(k)=1;
    druhy_clen(k)=0.5*(lambda^2)*(sin(alfa(k))^2);
    treti_clen(k)=0.125*(lambda^4)*(sin(alfa(k))^4);
    prvni_clen_cely(k)=r*(1-cos(alfa(k)))+l*(1-prvni_clen(k));
    druhy_clen_cely(k)=r*(1-cos(alfa(k)))+l*(1-(prvni_clen(k)-druhy_clen(k)));
    treti_clen_cely(k)=r*(1-cos(alfa(k)))+l*(1-(prvni_clen(k)-druhy_clen(k)-
    treti_clen(k)));
end

prvni_clen_rozdil=(mean(prvni_clen_cely)/mean(prvni_clen_cely));
druhy_clen_rozdil=abs(mean(prvni_clen_cely)-
mean(druhy_clen_cely))/mean(prvni_clen_cely);
treti_clen_rozdil=abs(mean(druhy_clen_cely)-
mean(treti_clen_cely))/mean(prvni_clen_cely);
%% Výpočet skutečné dráhy
r_excentricky=r;
l_excentricky=l;
lambda_pro_excentricky=lambda;
for o=1:1:15
    e(o)=(o*2)/1000;
    lambda_e(o)=e(o)/l_excentricky;
    for k=1:length(alfa)

s_e(k,o)=sqrt(((l_excentricky+r_excentricky)^2)-e(o)^2)-
r_excentricky*((1/lambda_pro_excentricky)+cos(alfa(k))+lambda_e(o)*sin(alfa(k))-
(lambda/4)*(1-cos(2*alfa(k))));
s_e_presny(k,o)=sqrt(((l_excentricky+r_excentricky)^2)-e(o)^2)-
r_excentricky*(+cos(alfa(k))+(1/lambda_pro_excentricky)*(sqrt((1-
(lambda_pro_excentricky*sin(alfa(k))-lambda_e(o))^2))));
EXCENTRMIN(o)=min(s_e(:,o));
korekce_zdvih(o)=abs(EXCENTRMIN(o));
s_e_po_korekci(k,o)=s_e(k,o)+korekce_zdvih(o);
    end
end

EXCENTRMAX=max(s_e);
korekce_EXCENTRMAX=max(s_e_po_korekci);
CENTRMIN=min(s);
CENTRMAX=max(s);
presnyMAX=max(s_e_presny);
presnyMIN=min(s_e_presny);
rozdil_v_mm=(s_e_po_korekci-s_e_presny)*1000;
%% Výpočet zdvihu a posunutí úvratí
for o=1:1:15
    e(o)=(o*2)/1000;
    e_mm(o)=e(o)*1000;

```

```

ZHU(o)=sqrt(((l_excentricky+r_excentricky)^2)-e(o)^2);
ZDU(o)=sqrt(((l_excentricky-r_excentricky)^2)-e(o)^2);
Zdvih_e=ZHU(o)-ZDU(o);
alfa_HU=asin(e/(1+r));
alfa_DU=asin(e/(1-r))+pi;
rozdil_alfa=(alfa_DU(o)-alfa_HU(o))*(180/pi);
end
alfa_HU_deg=alfa_HU*(180/pi);
alfa_DU_deg=alfa_DU*(180/pi)-180;
Zdvih_e_graf=ZHU-ZDU
rozdil_alfa_graf=(alfa_DU-alfa_HU)*(180/pi)
% Výpočet změny zdvihového objemu celého motoru
format long
zdvih_puvodni=86.9/1000;
zdvih_pokus=87.401/1000;
vrtani_cc=76.5/1000;
Vpuvodni=4*zdvih_puvodni*((pi/4)*(vrtani_cc^2))
Vnovy=4*zdvih_pokus*((pi/4)*(vrtani_cc^2))
e14=14;
r_mm=r*1000;
for nn=1:1:500
    l_v_o(nn)=nn;
    ZHU_v_o(nn)=sqrt(((l_v_o(nn)+r_mm)^2)-(e14^2));
    ZDU_v_o(nn)=sqrt(((l_v_o(nn)-r_mm)^2)-(e14^2));
    Z_v_o(nn)=ZHU_v_o(nn)-ZDU_v_o(nn);
end
%% Načtení dat 5500RPM - pro graf vlivu excentricity na průběh spalovacích tlaků
nacteni_tlaky_excentricky_komplet_5500rpm=xlsread('tlaky_excentrickyKM_usporadane_5500r
pm.xlsx');
tlaky_excentr_5500rpm_2az30=nacteni_tlaky_excentricky_komplet_5500rpm;
alfa_deg_exc=tlaky_excentr_5500rpm_2az30(:,1);
alfa_exc=(alfa_deg_exc/180)*pi;
ulozeni_tlaku_excentr_2az30mm_5500=tlaky_excentr_5500rpm_2az30(:,2:end);
%% Zrychlení pístu excentrického klikového mechanismu pro 5500 RPM + výpočet střední
velikosti zrychlení do DP
for o=1:1:15
    e_rozsah(o)=(o*2)/1000;
    lambda_e_rozsah(o)=e_rozsah(o)/l_excentricky;
    n5500=5500;
    omega5500=2*pi*(n5500/60);
    for k=1:length(alfa)
a_e_5500(k,o)=r_excentricky*(omega5500^2)*(cos(alfa(k))+lambda_e(o)*sin(alfa(k))+((lamb
da_pro_excentricky)*cos(2*alfa(k))));
        beta_exc_rozsah(k,o)=asin(lambda_pro_excentricky*sin(alfa_exc(k))-
lambda_e_rozsah(o));
    end
end
str_a_HU_DU_centr=mean(abs(a(1:720,18)))
str_a_DU_HU_centr=mean(abs(a(361:720,18)))
str_a_HU_DU_excentr=mean(abs(a_e_5500(4:188,7)))
str_a_DU_HU_excentr=mean(abs(a_e_5500(189:364,7)))
abscelk_stredni_a_excentr=mean(abs(a_e_5500(:,7)))
abscelk_stredni_a_centr=mean(abs(a(:,18)));
celk_stredni_a_excentr=mean(a_e_5500(:,7))
celk_stredni_a_centr=mean(a(:,18))
%% VÝPOČET ZTRÁT EXCENTRICKÉHO KM PRO CELÝ ROZSAH OTÁČEK
%% Ztrátový výkon centrický mechanismus, 1500-5500rpm + průměrná boční síla
for k=1:length(alfa)
PZCKM1500(k)=0.05*v(k,2)*Fn(k,2);
...
PZCKM5500(k)=0.05*v(k,18)*Fn(k,18);
end
Pz_centricky1500rpm=mean(abs(PZCKM1500));

```

```

...
Pz_centricky5500rpm=mean(abs(PZCKM5500));
for i=2:1:18
    Fn_prumerna_centrickyKM(i)=mean(abs(Fn(:,i)));
end
%% Vše pro 1500 min-1
for o=1:1:15
    e_rozsah(o)=(o*2)/1000;
    lambda_e_rozsah(o)=e_rozsah(o)/l_excentricky;
    n1500=1500;
    omega1500=2*pi*(n1500/60);
    for k=1:length(alfa)
        v_e_1500(k,o)=r_excentricky*omega1500*(sin(alfa(k))-
        lambda_e_rozsah(o)*cos(alfa(k))+((lambda_pro_excentricky/2)*sin(2*alfa(k))));
        a_e_1500(k,o)=r_excentricky*(omega1500^2)*(cos(alfa(k))+lambda_e_rozsah(o)*sin(alfa(k))
        +((lambda_pro_excentricky)*cos(2*alfa(k))));
    end
end
nacteni_tlaky_excentricky_komplet_1500rpm=xlsread('tlaky_excentrickyKM_usporadane_1500r
pm.xlsx');
tlaky_excentr_1500rpm_2az30=nacteni_tlaky_excentricky_komplet_1500rpm;
alfa_deg_exc=tlaky_excentr_1500rpm_2az30(:,1);
alfa_exc=(alfa_deg_exc/180)*pi;
ulozeni_tlaku_excentr_2az30mm_1500=tlaky_excentr_1500rpm_2az30(:,2:end);
for k=1:length(alfa_exc)
    for o=1:1:15
        lambda_e_rozsah(o)=(0.002*o)/l_excentricky;
        beta_exc_rozsah(k,o)=asin(lambda_pro_excentricky*sin(alfa_exc(k))-
        lambda_e_rozsah(o));
        Fnapistcelkova_exc_1500(k,o)=(ulozeni_tlaku_excentr_2az30mm_1500(k,o)*1e5-
        p0)*Spistu)-a_e_1500(k,o)*mpc;
        Fn_e_rozsah_1500(k,o)=Fnapistcelkova_exc_1500(k,o).*tan(beta_exc_rozsah(k,o));
        Pztratrovy_1500(k,o)=Fn_e_rozsah_1500(k,o).*v_e_1500(k,o)*koeficient_treni_prumerny;
        Fo_exc_1500(k,o)=Fnapistcelkova_exc_1500(k,o)/cos(beta_exc_rozsah(k,o));
    end
end

for o=1:1:15
    prumer_Fn_1500(o)=mean(abs(Fn_e_rozsah_1500(:,o)));
    prumer_Pztratrovy_1500(o)=mean(abs(Pztratrovy_1500(:,o)));
end
%% Konec 1500 rpm
...
...
...

%% Vše pro 5500 rpm

for o=1:1:15
    e_rozsah(o)=(o*2)/1000;
    lambda_e_rozsah(o)=e_rozsah(o)/l_excentricky;
    n5500=5500;
    omega5500=2*pi*(n5500/60);
    for k=1:length(alfa)
        v_e_5500(k,o)=r_excentricky*omega5500*(sin(alfa(k))-
        lambda_e_rozsah(o)*cos(alfa(k))+((lambda_pro_excentricky/2)*sin(2*alfa(k))));
        a_e_5500(k,o)=r_excentricky*(omega5500^2)*(cos(alfa(k))+lambda_e_rozsah(o)*sin(alfa(k))
        +((lambda_pro_excentricky)*cos(2*alfa(k))));
    end
end
nacteni_tlaky_excentricky_komplet_5500rpm=xlsread('tlaky_excentrickyKM_usporadane_5500r
pm.xlsx');
tlaky_excentr_5500rpm_2az30=nacteni_tlaky_excentricky_komplet_5500rpm;

```

```

alfa_deg_exc=tlaky_excentr_5500rpm_2az30(:,1);
alfa_exc=(alfa_deg_exc/180)*pi;
ulozeni_tlaku_excentr_2az30mm_5500=tlaky_excentr_5500rpm_2az30(:,2:end);
for k=1:length(alfa_exc)
    for o=1:1:15
        lambda_e_rozsah(o)=(0.002*o)/l_excentricky;
        beta_exc_rozsah(k,o)=asin(lambda_pro_excentricky*sin(alfa_exc(k))-
lambda_e_rozsah(o));
        Fnapistcelkova_exc_5500(k,o)=(ulozeni_tlaku_excentr_2az30mm_5500(k,o)*1e5-
p0)*Spistu)-a_e_5500(k,o)*mpc;
        Fn_e_rozsah_5500(k,o)=Fnapistcelkova_exc_5500(k,o).*tan(beta_exc_rozsah(k,o));
        Pztratovy_5500(k,o)=Fn_e_rozsah_5500(k,o).*v_e_5500(k,o)*koeficient_treni_prumerny;
        Fo_exc_5500(k,o)=Fnapistcelkova_exc_5500(k,o)/cos(beta_exc_rozsah(k,o));
    end
end
for o=1:1:15
    prumer_Fn_5500(o)=mean(abs(Fn_e_rozsah_5500(:,o)));
    prumer_Pztratovy_5500(o)=mean(abs(Pztratovy_5500(:,o)));
end
%% Konec 5500 rpm
%% Výpočty sil v ojnicí a sil na ojnicí čep; točivý moment
for k=1:length(alfa_exc)
    for o=1:1:15
        Ft_exc_1500(k,o)=Fo_exc_1500(k,o).*(sin(alfa_exc(k)+beta_exc_rozsah(k,o)));
        Fr_exc_1500(k,o)=Fo_exc_1500(k,o).*(cos(alfa_exc(k)+beta_exc_rozsah(k,o)));
        Fro_exc_1500(k,o)=-m2*r*omega1500^2;
        Frc_exc_1500(k,o)=Fr_exc_1500(k,o)+Fro_exc_1500(k,o);
        Fvoc_exc_1500(k,o)=sqrt(Frc_exc_1500(k,o)^2+Ft_exc_1500(k,o)^2);
        Mtoc_exc_1500(k,o)=Ft_exc_1500(k,o)*r;
        ...
        ...
        Ft_exc_5500(k,o)=Fo_exc_5500(k,o).*(sin(alfa_exc(k)+beta_exc_rozsah(k,o)));
        Fr_exc_5500(k,o)=Fo_exc_5500(k,o).*(cos(alfa_exc(k)+beta_exc_rozsah(k,o)));
        Fro_exc_5500(k,o)=-m2*r*omega5500^2;
        Frc_exc_5500(k,o)=Fr_exc_5500(k,o)+Fro_exc_5500(k,o);
        Fvoc_exc_5500(k,o)=sqrt(Frc_exc_5500(k,o)^2+Ft_exc_5500(k,o)^2);
        Mtoc_exc_5500(k,o)=Ft_exc_5500(k,o)*r;
    end
end

%% Výpočet točivého momentu celkově (tzn. u setrvačnicku)
Mkv1_3750=circshift(Mtoc_exc_3750(:,7),[PV(1),0]); % posunutí průběhu
Mkv2_3750=circshift(Mtoc_exc_3750(:,7),[PV(2),0]); % posunutí průběhu
Mkv3_3750=circshift(Mtoc_exc_3750(:,7),[PV(3),0]); % posunutí průběhu
Mkv4_3750=circshift(Mtoc_exc_3750(:,7),[PV(4),0]); % posunutí průběhu
Mkc_3750=Mkv1_3750+Mkv2_3750+Mkv3_3750+Mkv4_3750; % celkový průběh

strMk5550_14mm=mean(Mkc_5500)
strMk5550_0mm=mean(Mkc(:,18))
strabsMk5550_14mm=mean(abs(Mkc_5500))
strabsMk5550_0mm=mean(abs(Mkc(:,18)))

%% Setrvačné síly posuvných částí I. řádu
for k=1:length(alfa)
    Fs_pIr_v1(k)=mpc*(omega5500^2)*r*(cos(alfa(k))+lambda_e_rozsah(7)*sin(alfa(k)));
    Fs_pIr_v2(k)=mpc*(omega5500^2)*r*(cos(alfa(k)+3*pi)+lambda_e_rozsah(7)*sin(alfa(k)+3*pi));
    Fs_pIr_v3(k)=mpc*(omega5500^2)*r*(cos(alfa(k)+pi)+lambda_e_rozsah(7)*sin(alfa(k)+pi));
    Fs_pIr_v4(k)=mpc*(omega5500^2)*r*(cos(alfa(k)+2*pi)+lambda_e_rozsah(7)*sin(alfa(k)+2*pi));
end

```

```

Fs_pIr_vc(k)=Fs_pIr_v1(k)+Fs_pIr_v2(k)+Fs_pIr_v3(k)+Fs_pIr_v4(k);
end
%% Setrvačné síly posuvných částí II. řádu
for k=1:length(alfa)
Fs_pIIR_v1(k)=mpc*(omega5500^2)*r*(cos(2*(alfa(k))));
Fs_pIIR_v2(k)=mpc*(omega5500^2)*r*(cos(2*(alfa(k)+3*pi)));
Fs_pIIR_v3(k)=mpc*(omega5500^2)*r*(cos(2*(alfa(k)+pi)));
Fs_pIIR_v4(k)=mpc*(omega5500^2)*r*(cos(2*(alfa(k)+2*pi)));

Fs_pIIR_vc(k)=Fs_pIIR_v1(k)+Fs_pIIR_v2(k)+Fs_pIIR_v3(k)+Fs_pIIR_v4(k);
end

%% Setrvačné momenty posuvných částí I. řádu

% počítám k bodu A
for k=1:length(alfa)
M_s_pIr_v1(k)=Fs_pIr_v1(k)*-(3/2)*a_vzdalenost_os_valcu;
M_s_pIr_v2(k)=Fs_pIr_v2(k)*+(1/2)*a_vzdalenost_os_valcu;
M_s_pIr_v3(k)=Fs_pIr_v3(k)*-(1/2)*a_vzdalenost_os_valcu;
M_s_pIr_v4(k)=Fs_pIr_v4(k)*+(3/2)*a_vzdalenost_os_valcu;

M_s_pIr_vc(k)=M_s_pIr_v1(k)+M_s_pIr_v2(k)+M_s_pIr_v3(k)+M_s_pIr_v4(k);
end

%% Setrvačné momenty posuvných částí II. řádu

% počítám k bodu T
for k=1:length(alfa)
M_s_pIIR_v1(k)=-Fs_pIIR_v1(k)*(3/2)*a_vzdalenost_os_valcu;
M_s_pIIR_v2(k)=-Fs_pIIR_v2(k)*(1/2)*a_vzdalenost_os_valcu;
M_s_pIIR_v3(k)=Fs_pIIR_v3(k)*(1/2)*a_vzdalenost_os_valcu;
M_s_pIIR_v4(k)=Fs_pIIR_v4(k)*(3/2)*a_vzdalenost_os_valcu;

M_s_pIIR_vc(k)=M_s_pIIR_v1(k)+M_s_pIIR_v2(k)+M_s_pIIR_v3(k)+M_s_pIIR_v4(k);
end

%% "Přídavný" klopný příčný moment od výslednice setrvačných sil posuvných částí II.
řádu

for k=1:length(alfa)

    for o=1:1:15
M_klopny_pridavny(k,o)=Fs_pIIR_vc(k)*(o*0.002);
    end
end

```


Příloha 2

1. Výpočet vyvážení

$m_1 := 394\text{gm}$	hmotnost posuvných částí
$m_p := m_1$	
$m_2 := 0.334\text{kg}$	hmotnost rotačních částí ojnice
$r := 43.45\text{mm}$	poloměr kliky
$l := 138\text{mm}$	délka ojnice
$\lambda := \frac{r}{l} = 0.315$	klikový poměr
$a_v := 82\text{mm}$	rozteč válců (tj. zároveň i rozteč působení setrvačných sil rotačních částí)
$a_{vyv} := 122.8\text{mm}$	rozteč vývažků momentového vyvážení
$m_{zal} := 1.783\text{kg}$	hmotnost zalomení
$r_{Tzal} := 15.48\text{mm}$	vzdálenost polohy těžiště od osy klikové hřídele
$J_{zal} := 1787.965\text{g}\cdot\text{mm}^2$	moment setrvačnosti zalomení k ose klikové hřídele
$m_{redzal} = m_{zal} \cdot \frac{r_{Tzal}}{r}$	redukovaná hmotnost zalomení
$m_r := m_2 + m_{redzal}$	celková hmotnost rotačních částí redukovaná na délku ramene kliky
$volba := 0.75$	volba momentového vyvážení na 75%
$soucin := volba \cdot m_r \cdot \frac{a_v}{a_{vyv}} = 21.091\text{mm}\cdot\text{kg}$	součin $mvr \cdot rvr$ spočítaný
$m_{Vcreo} := 518\text{gm}$	údaj z Crea
$r_{Tcreo} := 39.18\text{mm}$	údaj z Crea
$m_{Vcreo} \cdot r_{Tcreo} = 20.295\text{mm}\cdot\text{kg}$	součin $mvr \cdot rvr$
$procenta = \frac{m_{Vcreo} \cdot r_{Tcreo}}{soucin} = 0.962$	pomocná veličina
$procenta_real = procenta \cdot volba \cdot 100\% = 72.171\%$	reálné procentuální vyvážení

2. Vlastní torzní kmitání soustavy bez tlumiče torzních kmitů

$$J_{vyv} := 1354.2494 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

údaj z Crea

$$J_{zal_komplet} := J_{zal} + J_{vyv} = 0.003142214 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

údaj z Crea

$$J_{hride_rem} := 57.802732 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

údaj z Crea

$$J_{hride_setr} := 620.60270 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

údaj z Crea

$$J_{srem} := 0.003782 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

údaj od vedoucího práce

$$J_{ssetr} := 0.1068 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

údaj od vedoucího práce

$$J_{rem} := J_{srem} + J_{hride_rem} = 0.0038398 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

moment setrvačnosti řemenice - celkový

$$J_{setr} := J_{ssetr} + J_{hride_setr} = 0.1074206 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

moment setrvačnosti setrvačnicku - celkový

$$m_p \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\lambda^2}{8} \right) \cdot r^2 = 0.00038113 \text{ kg}$$

redukovaná hmotnost posuvných částí

$$m_2 \cdot r^2 = 0.00063056 \text{ kg}$$

redukovaná hmotnost rotujících částí

$$J_{red_oj_psk} := m_2 \cdot r^2 + m_p \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\lambda^2}{8} \right) \cdot r^2$$

redukovaná hmotnost posuvných a rotujících částí

Hodnoty do matice hmotnosti

$$J_1 := J_{rem}$$

$$J_2 := J_{zal_komplet} + J_{red_oj_psk} = 0.004153908 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_3 := J_{zal_komplet} + J_{red_oj_psk}$$

$$J_4 := J_{zal_komplet} + J_{red_oj_psk}$$

$$J_5 := J_{zal_komplet} + J_{red_oj_psk}$$

$$J_6 := J_{setr}$$

Matice hmotnosti

$$M := \begin{pmatrix} J_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & J_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_6 \end{pmatrix}$$

Výpočet redukováných délek

parametry geometrie

$t_r := 17.5\text{mm}$	efektivní tloušťka ramene
$B_r := 49\text{mm}$	efektivní šířka ramene
$D_{HC} := 48\text{mm}$	průměr hlavního čepu
$D_{OC} := 42\text{mm}$	průměr ojničního čepu
$l_{HC} := 24.2\text{mm}$	délka hlavního čepu
$l_{OC} := 20.8\text{mm}$	délka ojničního čepu
$D_{red} := D_{HC}$	volba redukováného průměru
$d_{OC} := 0\text{mm}$	průměr otvor v ojničním čepu
$d_{HC} := 0\text{mm}$	průměr otvor v hlavním čepu

$$l_{red_zaf} = D_{red} \cdot 4 \left[\frac{l_{OC} + 0.4 \cdot D_{OC}}{D_{OC}^4 - d_{OC}^4} + \frac{l_{HC} + 0.4 \cdot D_{HC}}{D_{HC}^4 - d_{HC}^4} + \frac{r - 0.2 \cdot (D_{OC} + D_{HC})}{t_r \cdot B_r^3} \right]$$

$l_{red_zaf} = 173.162\text{mm}$ redukována délka zalomení

redukce délky na straně řemenice

$l_{HC_rem_nejblizsi} = 22.1\text{mm}$ celková délka hlavního čepu nejbliže řemenici

$$l_{HC_zb_rem} = l_{HC_rem_nejblizsi} - \frac{l_{HC}}{2} = 10\text{mm}$$

zbytková délka hlavního čepu

$$l_{hri_rem} = 55\text{mm}$$

délka hřídele

$$D_{hri_rem} = 25\text{mm}$$

průměr hřídele

$$d_{hri_rem} = 14.5\text{mm}$$

průměr otvoru v hřídeli

koeficient přechodu

$$\frac{D_{HC}}{D_{hri_rem}} = 1.92$$

poměr 1,5 odpovídá 0,085

poměr 2 odpovídá 0,100

$$\Psi := \frac{0.42}{2 - 1.5} \cdot 0.015 + 0.085 = 0.0976$$

koeficient změny tvaru

$$l_{red_rem} = \frac{1}{2} l_{red_zal} + \left[l_{hri_rem} + \Psi(D_{hri_rem} - d_{hri_rem}) \right] \frac{D_{red}^4}{D_{hri_rem}^4 - d_{hri_rem}^4} + \dots$$

$$\dots + \left(l_{HC_zb_rem} - \Psi D_{hri_rem} \right) \frac{D_{red}^4}{D_{HC}^4}$$

$$l_{red_rem} = 952.645 \text{ mm}$$

redukována délka na straně řemenice

redukce délky na straně setrvačníku

$$D_{roz_set} = 66 \text{ mm}$$

průměr roztečné kružnice šroubů příruby

$$t_{pri_set} = 15 \text{ mm}$$

tloušťka příruby setrvačníku

$$l_{red_set} = \frac{1}{2} l_{red_zal} + \frac{l_{HC}}{2} + t_{pri_set} \frac{D_{red}^4}{D_{roz_set}^4}$$

$$l_{red_set} = 102.878 \text{ mm}$$

redukována délka na straně setrvačníku

Torzní tuhosti

$$G_{ocel} = 81 \text{ GPa}$$

modul pružnosti ocele ve smyku

$$J_{p_red} = \frac{\pi \cdot D_{red}^4}{32} = 521153 \text{ mm}^4$$

polární kvadratický moment průřezu
reduované hřídele

$$c_1 = \frac{G_{ocel} J_{p_red}}{l_{red_rem}} = 44312 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

torzní tuhost na straně řemenice

$$c_2 = \frac{G_{ocel} J_{p_red}}{l_{red_zal}} = 243779 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

torzní tuhost zalomení

$$c_3 = c_2$$

torzní tuhost zalomení

$$c_4 = c_3$$

torzní tuhost zalomení

$$c_5 = \frac{G_{ocel} J_{p_red}}{l_{red_set}} = 410326 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

torzní tuhost na straně řemenice

$$\mathbf{C} := \begin{pmatrix} c_1 & -c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & -c_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_4 & c_4 + c_5 & -c_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_5 & c_5 \end{pmatrix}$$

matice tuhosti

$$C = \begin{pmatrix} 4.431 \times 10^4 & -4.431 \times 10^4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -4.431 \times 10^4 & 2.881 \times 10^5 & -2.438 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2.438 \times 10^5 & 4.876 \times 10^5 & -2.438 \times 10^5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2.438 \times 10^5 & 4.876 \times 10^5 & -2.438 \times 10^5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2.438 \times 10^5 & 6.541 \times 10^5 & -4.103 \times 10^5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -4.103 \times 10^5 & 4.103 \times 10^5 \end{pmatrix} \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

$$M = \begin{pmatrix} 0.0038398 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.00415391 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.00415391 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.00415391 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.00415391 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1074206 \end{pmatrix} \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

$$\underline{\underline{A}} := M^{-1} \cdot C$$

pomocná matice

$$\lambda_{\text{vla_cis}} := \text{eigenvals}(A)$$

vektor vlastních čísel

$$\lambda_{\text{vla_cis}} = \begin{pmatrix} 2.189 \times 10^8 \\ 1.582 \times 10^8 \\ 7.483 \times 10^7 \\ 1.955 \times 10^7 \\ 5.414 \times 10^6 \\ 3.2 \times 10^{-10} \end{pmatrix} \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

vektor vlastních čísel

$$\underline{\underline{\Omega}} := \sqrt{\lambda_{\text{vla_ci}}}$$

vlastní frekvence

$$\Omega = \begin{pmatrix} 14797 \\ 12578 \\ 8650 \\ 4421 \\ 2327 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\Omega_{\text{otacky}} := \frac{\Omega}{2 \cdot \pi}$$

$$\Omega_{\text{otacky}} = \begin{pmatrix} 141298 \\ 120106 \\ 82606 \\ 42219 \\ 22220 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{1}{\text{min}}$$

$x := \text{eigenvecs}(A)$

vlastní čísla

$$x = \begin{pmatrix} -0.01 & 0.034 & 0.113 & -0.636 & 0.817 & 0.408 \\ 0.182 & -0.43 & -0.619 & 0.441 & 0.434 & 0.408 \\ -0.463 & 0.644 & 0.037 & 0.49 & 0.324 & 0.408 \\ 0.619 & -0.018 & 0.646 & 0.376 & 0.184 & 0.408 \\ -0.608 & -0.631 & 0.431 & 0.136 & 0.028 & 0.408 \\ 0.011 & 0.016 & -0.023 & -0.033 & -0.067 & 0.408 \end{pmatrix}$$

matice vlastních čísel

$j := 0..5$

$$x_{j,4} = \begin{pmatrix} 0.817 \\ 0.434 \\ 0.324 \\ 0.184 \\ 0.028 \\ -0.067 \end{pmatrix}$$

$$x_{j,3} = \begin{pmatrix} -0.636 \\ 0.441 \\ 0.49 \\ 0.376 \\ 0.136 \\ -0.033 \end{pmatrix}$$

vlastní vektory

Poměrné amplitudy

$$\text{pomerne_amplitudyN1}_j = \frac{x_{j,4}}{x_{0,4}}$$

$$\text{pomerne_amplitudyN2}_j = \frac{x_{j,3}}{x_{0,3}}$$

$$\text{pomerne_amplitudyN1}_j = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.531 \\ 0.397 \\ 0.226 \\ 0.034 \\ -0.082 \end{pmatrix}$$

$$\text{pomerne_amplitudyN2}_j = \begin{pmatrix} 1 \\ -0.694 \\ -0.771 \\ -0.591 \\ -0.214 \\ 0.052 \end{pmatrix}$$

$$a1_j := \text{pomerne_amplitudyN1}_j$$

$i := 1..24$ do 12 řádů

$$\kappa_i := 0.5 \cdot i$$

definice řádů

$$n_{r1_i} := \frac{\Omega_{\text{otacky}_3}}{\kappa_i}$$

rezonanční otáčky první vlastní frekvence

$$n_{r1_i} := \frac{\Omega_{\text{otacky}_4}}{\kappa_i}$$

rezonanční otáčky druhé vlastní frekvence

$$n_{r_i} = \frac{1}{\min} \begin{pmatrix} 44439 \\ 22220 \\ 14813 \\ 11110 \\ 8888 \\ 7407 \\ 6348 \\ 5555 \\ 4938 \\ 4444 \\ 4040 \\ 3703 \\ 3418 \\ 3174 \\ 2963 \\ 2777 \\ 2614 \\ 2469 \\ 2339 \\ 2222 \\ 2116 \\ 2020 \\ 1932 \\ 1852 \end{pmatrix} \quad n_{r_{II_i}} = \frac{1}{\min} \begin{pmatrix} 84438 \\ 42219 \\ 28146 \\ 21109 \\ 16888 \\ 14073 \\ 12063 \\ 10555 \\ 9382 \\ 8444 \\ 7676 \\ 7036 \\ 6495 \\ 6031 \\ 5629 \\ 5277 \\ 4967 \\ 4691 \\ 4444 \\ 4222 \\ 4021 \\ 3838 \\ 3671 \\ 3518 \end{pmatrix}$$

3. Napjatostní analýza - bez tlumiče

15 230	materiál
$R_m := 780 \text{ MPa}$	mez pevnosti
$R_e := 635 \text{ MPa}$	mez kluzu
$\sigma_{ctah} := 370 \text{ MPa}$	mez únavy v tahu/tlaku
$\sigma_{cohyb} := 450 \text{ MPa}$	mez únavy v ohybu

$$F_{\text{osa valce MAX}} = 23.3 \text{ kN}$$

z matlabu

při 5500

$$115 \text{ Nm}$$

$$-658 \text{ Nm}$$

zátěžné stavy

$$c_{\text{vule}} := 0.04 \text{ mm}$$

ložisková vůle - voleno dle reálného ložiska

$$k_{\text{loz}} := \frac{0.5 \cdot F_{\text{osa valce MAX}}}{0.8 \cdot c_{\text{vule}}} = 364062.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

tuhost uložení

$$\sigma_{\text{eX1a}} := 460 \text{ MPa}$$

napětí 1. zát. st. na povrchu

$$\sigma_{\text{eX2a}} := 160 \text{ MPa}$$

napětí 1. zát. st. pod povrchem

$$\sigma_{\text{eXb}} := 235 \text{ MPa}$$

napětí 2. zát. st. na povrchu

$$x_{12} := 2.129 \text{ mm}$$

vzdálenost odpovídajících nodů

$$\chi_{\text{R}} := \frac{1}{\sigma_{\text{eX1a}}} \left(\frac{\sigma_{\text{eX1a}} - \sigma_{\text{eX2a}}}{x_{12}} \right) = 0.306 \text{ mm}^{-1}$$

poměrný gradient

$$d_{\text{vzorek}} := 7.5 \text{ mm}$$

průměr zkušební vzorku

$$f_{\text{G}} := 1 + \frac{\frac{\sigma_{\text{cohyb}}}{\sigma_{\text{ctah}}} - 1}{\frac{2}{d_{\text{vzorek}}}} \chi_{\text{R}} = 1.248$$

korekční faktor

$$Re := \frac{R_e}{\text{MPa}}$$

Re bez jednotky

$$\chi_{\text{Rr}} := \chi_{\text{R}} \cdot \text{mm}$$

gradient bez jednotky

$$\text{pome} \beta \alpha = 1 + \sqrt{\chi_{\text{Rr}}} \cdot 10^{-\left(0.35 + \frac{Re}{810}\right)} = 1.041$$

poměr β / α

$$\sigma_{\text{em ax}} := \sigma_{\text{eX1a}} = 460 \text{ MPa}$$

maximální ekvivalentní napětí

$$\sigma_{\text{em in}} := \sigma_{\text{eXb}} = 235 \text{ MPa}$$

minimální ekvivalentní napětí

$$\sigma_{\text{ea}} := \frac{\sigma_{\text{em ax}} - \sigma_{\text{em in}}}{2} = 112.5 \text{ MPa}$$

amplituda ekvivalentního napětí

$$\sigma_{\text{em}} := \frac{\sigma_{\text{em ax}} + \sigma_{\text{em in}}}{2} = 347.5 \text{ MPa}$$

střední napětí

$$\eta_{\sigma} := 1.189 (48)^{-0.097} = 0.817$$

vliv velikosti

$$v_{\sigma} := 0.75$$

vliv přežití

$$k := \frac{1}{\text{pomer} \beta \alpha \frac{\sigma_{ea}}{\sigma_{cohyb} \eta_{\sigma} \nu_{\sigma} f_G} + \frac{\sigma_{em}}{R_m}} = 1.275$$

koeficient bezpečnosti vůči únavě - základní

$$k_{kal} := 1.3 \cdot k = 1.657$$

koeficient bezpečnosti vůči únavě - finální

Výpočet bezpečnosti pro alternativní materiál

15 142

materiál

$$R_{m15142} := 1283 \text{ MPa}$$

mez pevnosti

$$R_{e15142} := 900 \text{ MPa}$$

mez kluzu

$$\sigma_{ctah15142} := 495 \text{ MPa}$$

mez únavy v tahu/tlaku

$$\sigma_{cohyb15142} := 525 \text{ MPa}$$

mez únavy v ohybu

$$R_{e15142} := \frac{R_{e15142}}{\text{MPa}}$$

$$f_{G15142} := 1 + \frac{\frac{\sigma_{cohyb15142}}{\sigma_{ctah15142}} - 1}{\frac{2}{d_{vzorek}}} \cdot \chi_R = 1.07$$

korekční faktor

$$\chi_{Rr15142} := \chi_R \cdot \text{mm}$$

$$\text{pomer} \beta \alpha_{15142} := 1 + \sqrt{\chi_{Rr15142}} 10^{-\left(0.35 + \frac{R_{e15142}}{810}\right)} = 1.019$$

poměr β / α

$$k_{15142} := \frac{1}{\text{pomer} \beta \alpha_{15142} \frac{\sigma_{ea}}{\sigma_{cohyb15142} \eta_{\sigma} \nu_{\sigma} f_{G15142}} + \frac{\sigma_{em}}{R_{m15142}}} = 1.659$$

koeficient bezpečnosti vůči únavě - základní

$$k_{kal15142} := 1.3 \cdot k_{15142} = 2.157$$

koeficient bezpečnosti vůči únavě - finální

4. Tlumič torzních kmitů - menší

efektivní moment setrvačnosti

$$J_{ef} := J_{rem} (a_{l0})^2 + J_2 (a_{l1})^2 + J_3 (a_{l2})^2 + J_4 (a_{l3})^2 + J_5 (a_{l4})^2 + J_{setr} (a_{l5})^2 = 0.006596444 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$t_{pp} := 4 \text{ mm}$$

tloušťka pryžového členu

$$d_2 := 120.1 \text{ mm}$$

vnější průměr pryžového členu

poměrná velikost tlumiče

$$\mu_{\text{pre}} := 0.2$$

obvyklé velikosti tlumičů se volí v rozmezí 0.15 až 0.25

$$J_{\text{tl_pre}} := \mu_{\text{pre}} \cdot J_{\text{ef}} = 1.319 \times 10^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

moment setrvačnosti tlumiče

$$w_{\text{opt_pre}} := \frac{1}{1 + \mu_{\text{pre}}} = 0.833$$

optimální ladění

$$\Omega_{\text{tl_pre}} := w_{\text{opt_pre}} \cdot \Omega_4 = 1.939 \times 10^3 \cdot \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

vlastní frekvence

$$c_{\text{tl_pre}} := J_{\text{tl_pre}} \cdot \Omega_{\text{tl_pre}}^2 = 4.96 \times 10^3 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

vypočtená tuhost - potřebuju podladit

$$c_{\text{tl_vol}} := 0.9 \cdot c_{\text{tl_pre}} = 4.464 \times 10^3 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

podlaďuji o 10%

$$G_{\text{pry}} = 1.5 \text{ MPa}$$

dynamický modul pružnosti ve smyku

$$d_1 := \sqrt[4]{\frac{-c_{\text{tl_vol}} \cdot 32 \cdot t_{\text{pp}} + \pi \cdot G_{\text{pry}} \cdot d_2^4}{\pi \cdot G_{\text{pry}}}} = 96.52 \text{ mm}$$

průměr pro podladěný tlumič

původní řemenice

$$J_1 = 3.84 \times 10^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

celkový moment setrvačnosti u řemenice

$$J_{\text{rem_sam}} = 1764 \cdot \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

moment setrvačnosti samotné řemenice

$$J_{\text{agr_rem}} := J_1 - J_{\text{rem_sam}} = 2.076 \times 10^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

moment setrvačnosti připojených agregátů

$$J_{\text{rem_sam_nová}} = 187 \cdot \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

moment setrvačnosti samotné řemenice

$$J_{0_tl} := 1319 \cdot \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

moment setrvačnosti tlumiče

$$J_{1_tl} := J_{\text{rem_sam_nová}} + J_{\text{agr_rem}} = 0.0039468 \cdot \text{kg}$$

moment setrvačnosti na straně řemenice

$$c_{0_tl} := c_{\text{tl_vol}}$$

torzní tuhost 0. členu náhradní torzní soustavy

momenty setrvačnosti zbylých prvků náhradní torzní soustavy - zachování hodnot

$$J_{2_tl} := J_2$$

$$J_{3_tl} := J_3$$

$$J_{4_tl} := J_4$$

$$J_{5_tl} := J_5$$

$$J_{6_tl} := J_6$$

4.1 Vlastní kmitání - s menším tlumičem

$$M_{tl} := \begin{pmatrix} J_{0_tl} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J_{1_tl} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_{2_tl} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_{3_tl} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & J_{4_tl} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_{5_tl} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_{6_tl} \end{pmatrix} \quad \text{matice hmotnosti}$$

torzní tuhosti zbylých prvků náhradní torzní soustavy - zachování hodnot

$$c_{1_tl} := c_1 \quad c_{2_tl} := c_2 \quad c_{3_tl} := c_3 \quad c_{4_tl} := c_4 \quad c_{5_tl} := c_5$$

matice tuhosti soustavy s tlumičem

$$C_{tl} := \begin{pmatrix} c_{0_tl} & -c_{0_tl} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_{0_tl} & c_{0_tl} + c_{1_tl} & -c_{1_tl} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_{1_tl} & c_{1_tl} + c_{2_tl} & -c_{2_tl} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_{2_tl} & c_{2_tl} + c_{3_tl} & -c_{3_tl} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_{3_tl} & c_{3_tl} + c_{4_tl} & -c_{4_tl} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_{4_tl} & c_{4_tl} + c_{5_tl} & -c_{5_tl} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_{5_tl} & c_{5_tl} \end{pmatrix}$$

matice hmotnosti soustavy s tlumičem

$$M_{tl} = \begin{pmatrix} 0.001319 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.003947 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.004154 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.004154 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.004154 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.004154 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.107421 \end{pmatrix} \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

matice tuhosti soustavy s tlumičem

$$C_{tl} = \begin{pmatrix} 4.464 \times 10^3 & -4.464 \times 10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -4.464 \times 10^3 & 4.878 \times 10^4 & -4.431 \times 10^4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4.431 \times 10^4 & 2.881 \times 10^5 & -2.438 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2.438 \times 10^5 & 4.876 \times 10^5 & -2.438 \times 10^5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2.438 \times 10^5 & 4.876 \times 10^5 & -2.438 \times 10^5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2.438 \times 10^5 & 6.541 \times 10^5 & -4.103 \times 10^5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4.103 \times 10^5 & 4.103 \times 10^5 \end{pmatrix} \cdot \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

$$A_{tl} := M_{tl}^{-1} \cdot C_{tl} \quad \text{pomocná matice}$$

$$\lambda_{vla_cis_tl} := \text{eigenvals}(A_{tl}) \quad \text{vektor vlastních čísel}$$

$$\lambda_{vla_cis_tl} = \begin{pmatrix} 2.189 \times 10^8 \\ 1.582 \times 10^8 \\ 7.482 \times 10^7 \\ 1.988 \times 10^7 \\ 6.625 \times 10^6 \\ 2.676 \times 10^6 \\ -2.829 \times 10^{-10} \end{pmatrix} \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \quad \text{vektor vlastních čísel}$$

$$\Omega_{tl} := \sqrt{\lambda_{vla_cis_t}} \quad \text{vlastní frekvence}$$

$$\Omega_{tl} = \begin{pmatrix} 14797 \\ 12577 \\ 8650 \\ 4458 \\ 2574 \\ 1636 \\ 0i \end{pmatrix} \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad \Omega_{otacky_ti} = \frac{\Omega_{tl}}{2 \cdot \pi} \quad \Omega_{otacky_tl} = \begin{pmatrix} 141298 \\ 120105 \\ 82600 \\ 42573 \\ 24579 \\ 15622 \\ 0i \end{pmatrix} \frac{1}{\text{min}}$$

$$x_{tl} := \text{eigenvecs}(A_{tl}) \quad \text{vlastní čísla}$$

$$x_{tl} = \begin{pmatrix} 0.0002 & -0.0007 & -0.0053 & 0.1337 & 0.6256 & 0.974 & 0.378 \\ -0.0099 & 0.0331 & 0.1113 & -0.6517 & -0.5989 & 0.2038 & 0.378 \\ 0.1823 & -0.4296 & -0.6187 & 0.4229 & -0.3689 & 0.0776 & 0.378 \\ -0.4628 & 0.6443 & 0.0374 & 0.475 & -0.2854 & 0.0512 & 0.378 \\ 0.6187 & -0.0185 & 0.6459 & 0.3662 & -0.1698 & 0.0223 & 0.378 \\ -0.608 & -0.6314 & 0.4309 & 0.1334 & -0.0349 & -0.0075 & 0.378 \\ 0.0108 & 0.0156 & -0.0232 & -0.0317 & 0.0475 & -0.025 & 0.378 \end{pmatrix}$$

$$j := 0..6$$

$$x_{tl_j,5} = \begin{pmatrix} 0.974 \\ 0.204 \\ 0.078 \\ 0.051 \\ 0.022 \\ -7.484 \times 10^{-3} \\ -0.025 \end{pmatrix}$$

$$x_{tl_j,4} = \begin{pmatrix} 0.626 \\ -0.599 \\ -0.369 \\ -0.285 \\ -0.17 \\ -0.035 \\ 0.048 \end{pmatrix}$$

vlastní vektory

$$\text{pomerne_amplitudy } N1_j := \frac{x_{tl_j,5}}{x_{tl_0,5}}$$

$$\text{pomerne_amplitudy } N2_j := \frac{x_{tl_j,4}}{x_{tl_0,4}}$$

$$\text{pomerne_amplitudy } N1_j = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.209 \\ 0.08 \\ 0.053 \\ 0.023 \\ -7.684 \times 10^{-3} \\ -0.026 \end{pmatrix}$$

$$\text{pomerne_amplitudy } N2_j = \begin{pmatrix} 1 \\ -0.957 \\ -0.59 \\ -0.456 \\ -0.271 \\ -0.056 \\ 0.076 \end{pmatrix}$$

Poměrné amplitudy

$$a1_{tl_j} := \text{pomerne_amplitudy } N1_{tl_j}$$

$$n_{r_tl_1} := \frac{\Omega_{otacky_tl_5}}{K_1}$$

rezonanční otáčky první vlastní frekvence

$$n_{r1_tl_1} := \frac{\Omega_{otacky_tl_4}}{K_1}$$

rezonanční otáčky druhé vlastní frekvence

$$\text{mean}(\text{pomerne_amplitude}_i) = 0.19$$

$$n_{r_t1} =$$

31245
15622
10415
7811
6249
5207
4464
3906
3472
3124
2840
2604
2403
2232
2083
1953
1838
1736
1644
1562
1488
1420
1358
1302

$$\frac{1}{\text{min}}$$

$$n_{r11_t1} =$$

49158
24579
16386
12289
9832
8193
7023
6145
5462
4916
4469
4096
3781
3511
3277
3072
2892
2731
2587
2458
2341
2234
2137
2048

$$\frac{1}{\text{min}}$$

4.2 Kontrola pryžového elementu tlumiče (menšího) na namáhání smykem

$$d_{\text{str_tl}} := \frac{d_1 + d_2}{2}$$

střední průměr pryžového členu

$$\text{avg}_{\text{pv}} := \text{mean}(\text{pomerne_amplitudy}) = 0.1901497$$

střední hodnota z poměrných amplitud soustavy s tlumičem

$$\text{max}_{\Phi} := 1.043$$

maximální výchylka soustavy s tlumičem

$$M_{\text{ks}} := \text{avg}_{\text{pv}} \cdot c_{\text{t_vol}} \cdot \text{max}_{\Phi} = 15.453 \text{ N} \cdot \text{m}$$

střídavý krouticí moment působící na pryžový člen tlumiče

$$\tau_{\text{auso}} := \frac{16 \cdot M_{\text{ks}} \cdot d_{\text{str_tl}}}{\pi \cdot (d_2^4 - d_1^4)} = 0.07 \text{ MPa}$$

napětí v pryžovém členu

dovolené napětí

$$3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2} = 0.294 \text{ MPa}$$

5. Tlumič torzních kmitů - větší - pom. vel. 0,25

$$t_{\text{pp_025}} := t_{\text{pp}} = 4 \text{ mm}$$

tloušťka pryžového členu

$$d_{2_025} := d_2 = 120.1 \text{ mm}$$

vnější průměr pryžového členu

$$\mu_{\text{pre_025}} = 0.25$$

poměrná velikost tlumiče

$$J_{\text{tl_pre_025}} := \mu_{\text{pre_025}} \cdot J_{\text{ef}} = 1.649 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

moment setrvačnosti tlumiče

$$w_{\text{opt_pre_025}} := \frac{1}{1 + \mu_{\text{pre_025}}} = 0.8$$

optimální ladění

$$\Omega_{\text{tl_pre_025}} := w_{\text{opt_pre_025}} \cdot \Omega_4 = 1.861 \times 10^3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

vlastní frekvence

$$c_{\text{t_pre_025}} := J_{\text{tl_pre_025}} \cdot \Omega_{\text{tl_pre_025}}^2 = 5.714 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

vypočtená tuhost - potřebuju podladit

$$c_{\text{t_vol_025}} := 0.9 \cdot c_{\text{t_pre_025}} = 5.143 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

podlažuji o 10%

$$G_{\text{pryž_025}} = G_{\text{pryž}} = 1.5 \text{ MPa}$$

dynamický modul pružnosti ve smyku

$$d_{1_025} := \sqrt[4]{\frac{-c_{\text{t_vol_025}} \cdot t_{\text{pp_025}}^2 + \pi \cdot G_{\text{pryž_025}} \cdot d_{2_025}^4}{\pi \cdot G_{\text{pryž_025}}}} = 90.929 \text{ mm}$$

průměr pro podladený tlumič

$$J_{\text{rem_sam_nova_025}} := J_{\text{rem_sam_nova}} = 1.871 \times 10^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

moment setrvačnosti samotné řemenice

$$J_{0_tl_025} := J_{tl_pre_025}$$

moment setrvačnosti tlumiče - Creo

$$J_{1_tl_025} := J_{1_tl} = 0.0039468 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

moment setrvačnosti na straně řemenice

$$c_{0_tl_025} := c_{t_vol_025}$$

torzní tuhost 0. členu náhradní torzní soustavy

momenty setrvačnosti zbylých prvků náhradní torzní soustavy - stejné

5.1 Vlastní kmitání - s větším tlumičem

$$M_{tl_025} := \begin{pmatrix} J_{0_tl_025} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J_{1_tl_025} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_{2_tl} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_{3_tl} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & J_{4_tl} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_{5_tl} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_{6_tl} \end{pmatrix} \quad \text{matice hmotnosti}$$

torzní tuhosti zbylých prvků náhradní torzní soustavy - stejné

matice tuhosti soustavy s tlumičem

$$C_{tl_025} := \begin{pmatrix} c_{0_tl_025} & -c_{0_tl_025} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_{0_tl_025} & c_{0_tl_025} + c_{1_tl} & -c_{1_tl} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_{1_tl} & c_{1_tl} + c_{2_tl} & -c_{2_tl} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_{2_tl} & c_{2_tl} + c_{3_tl} & -c_{3_tl} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_{3_tl} & c_{3_tl} + c_{4_tl} & -c_{4_tl} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_{4_tl} & c_{4_tl} + c_{5_tl} & -c_{5_tl} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_{5_tl} & c_{5_tl} \end{pmatrix}$$

matice hmotnosti soustavy s tlumičem

$$M_{tl_025} = \begin{pmatrix} 0.001649 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.003947 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.004154 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.004154 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.004154 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.004154 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.107421 \end{pmatrix} \text{m}^2 \cdot \text{kg}$$

matice tuhosti soustavy s tlumičem

$$C_{tl_025} = \begin{pmatrix} 5.143 \times 10^3 & -5.143 \times 10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -5.143 \times 10^3 & 4.945 \times 10^4 & -4.431 \times 10^4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4.431 \times 10^4 & 2.881 \times 10^5 & -2.438 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2.438 \times 10^5 & 4.876 \times 10^5 & -2.438 \times 10^5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2.438 \times 10^5 & 4.876 \times 10^5 & -2.438 \times 10^5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2.438 \times 10^5 & 6.541 \times 10^5 & -4.103 \times 10^5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4.103 \times 10^5 & 4.103 \times 10^5 \end{pmatrix} \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

$$A_{tl_025} := M_{tl_025}^{-1} \cdot C_{tl_025}$$

pomocná matice

$$\lambda_{vla_cis_tl_025} := \text{eigenvals}(A_{tl_025})$$

vektor vlastních čísel

$$\lambda_{vla_cis_tl_025} = \begin{pmatrix} 2.189 \times 10^8 \\ 1.582 \times 10^8 \\ 7.482 \times 10^7 \\ 1.995 \times 10^7 \\ 6.692 \times 10^6 \\ 2.438 \times 10^6 \\ 6.16 \times 10^{-10} \end{pmatrix} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

vektor vlastních čísel

$$\Omega_{tl_025} := \sqrt{\lambda_{vla_cis_tl_025}}$$

vlastní frekvence

$$\Omega_{tl_025} = \begin{pmatrix} 14797 \\ 12577 \\ 8650 \\ 4467 \\ 2587 \\ 1562 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad \Omega_{otacky_tl_025} = \frac{\Omega_{tl_025}}{2 \cdot \pi} \quad \Omega_{otacky_tl_025} = \begin{pmatrix} 141298 \\ 120105 \\ 82601 \\ 42653 \\ 24703 \\ 14912 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{1}{\text{min}}$$

$$x_{tl_025} := \text{eigenvecs}(A_{tl_025})$$

vlastní čísla

$$x_{tl_025} = \begin{pmatrix} 0.0001 & -0.0007 & -0.0049 & 0.1218 & 0.5551 & 0.9722 & 0.378 \\ -0.0099 & 0.0331 & 0.1116 & -0.6574 & -0.636 & 0.2121 & 0.378 \\ 0.1823 & -0.4296 & -0.6187 & 0.4203 & -0.3952 & 0.0778 & 0.378 \\ -0.4628 & 0.6443 & 0.0374 & 0.4733 & -0.3063 & 0.0501 & 0.378 \\ 0.6187 & -0.0185 & 0.6458 & 0.3654 & -0.1826 & 0.0204 & 0.378 \\ -0.608 & -0.6314 & 0.4309 & 0.1333 & -0.038 & -0.0101 & 0.378 \\ 0.0108 & 0.0156 & -0.0232 & -0.0316 & 0.0505 & -0.0281 & 0.378 \end{pmatrix}$$

matice vlastních čísel

$$j := 0..6$$

$$x_{tl_025j,5} = \begin{pmatrix} 0.972 \\ 0.212 \\ 0.078 \\ 0.05 \\ 0.02 \\ -0.01 \\ -0.028 \end{pmatrix}$$

$$x_{tl_025j,4} = \begin{pmatrix} 0.555 \\ -0.636 \\ -0.395 \\ -0.306 \\ -0.183 \\ -0.038 \\ 0.051 \end{pmatrix}$$

vlastní vektory

$$\text{pomerne_amplitudy} N1_{tl_025j} := \frac{x_{tl_025j,5}}{x_{tl_0250,5}}$$

$$\text{pomerne_amplitudy} N2_{tl_025j} := \frac{x_{tl_025j,4}}{x_{tl_0250,4}}$$

$$\text{pomerne_amplitudy} N1_{tl_025j} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.218 \\ 0.08 \\ 0.052 \\ 0.021 \\ -0.01 \\ -0.029 \end{pmatrix}$$

$$\text{pomerne_amplitudy} N2_{tl_025j} = \begin{pmatrix} 1 \\ -1.146 \\ -0.712 \\ -0.552 \\ -0.329 \\ -0.068 \\ 0.091 \end{pmatrix}$$

Poměrné amplitudy

$$a1_{tl_025j} := \text{pomerne_amplitudy} N1_{tl_025j}$$

$$n_{r_tl_025i} := \frac{\Omega_{otacky_tl_025_5}}{\kappa_1}$$

rezonanční otáčky první vlastní frekvence

$$n_{rII_tl_025i} := \frac{\Omega_{otacky_tl_025_4}}{\kappa_1}$$

rezonanční otáčky druhé vlastní frekvence

$$n_{r_tl_025} =$$

29823
14912
9941
7456
5965
4971
4260
3728
3314
2982
2711
2485
2294
2130
1988
1864
1754
1657
1570
1491
1420
1356
1297
1243

$$\frac{1}{\min}$$

$$n_{rII_tl_025} =$$

49406
24703
16469
12351
9881
8234
7058
6176
5490
4941
4491
4117
3800
3529
3294
3088
2906
2745
2600
2470
2353
2246
2148
2059

$$\frac{1}{\min}$$

5.2 Kontrola pryžového elementu tlumiče (většího) na namáhání smykem

$$d_{str_tl_025} := \frac{d_{1_025} + d_{2_025}}{2}$$

$$avg_{pv_025} := \text{mean}(\text{pomerne_amplitudy}_{tl_025}) = 0.1902058$$

$$max_{\phi_{025}} := 1.029$$

$$Mks_{025} := avg_{pv_025} \cdot c_{t_vol_025} \cdot max_{\phi_{025}} = 17.568 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Tauso_{025} := \frac{16 \cdot Mks_{025} \cdot d_{str_tl_025}}{\pi \cdot (d_{2_025}^4 - d_{1_025}^4)} = 0.068 \text{ MPa}$$

střední průměr pryžového členu

střední hodnota z poměrných amplitud soustavy s tlumičem

maximální výchylka soustavy s tlumičem

střídavý kroutící moment působící na pryžový člen tlumiče

napětí v pryžovém členu

dovolené napětí

$$3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2} = 0.294 \text{ MPa}$$

5.3 Napjatostní analýza - s větším tlumičem

při 5500 712Nm zátěžné stavy

-327Nm

$$\sigma_{eX1a_tl} = 328 \text{ MPa}$$

napětí 1. zát. st. na povrchu

$$\sigma_{eX2a_tl} = 57 \text{ MPa}$$

napětí 1. zát. st. pod povrchem

$$\sigma_{eXb_tl} = 99 \text{ MPa}$$

napětí 2. zát. st. na povrchu

$$x_{12_tl} = 3.826 \text{ mm}$$

vzálenost odpovídajících nodů

$$\chi_{R_tl} := \frac{1}{\sigma_{eX1a_tl}} \left(\frac{\sigma_{eX1a_tl} - \sigma_{eX2a_tl}}{x_{12_tl}} \right) = 0.216 \text{ mm}^{-1}$$

poměrný gradient

$$f_{G_tl} := 1 + \frac{\frac{\sigma_{cohyb}}{\sigma_{ctah}} - 1}{\frac{2}{d_{vzojek}}} \cdot \chi_{R_tl} = 1.175$$

korekční faktor

$$\chi_{R_tl} := \chi_{R_tl} \cdot \text{mm}$$

gradient bez jednotky

$$\text{pomer} \beta_{\alpha_tl} := 1 + \sqrt{\chi_{R_tl}} \cdot 10^{-\left(0.35 + \frac{Re}{810}\right)} = 1.034$$

podíl β / α

$$\sigma_{em_ax_tl} = \sigma_{eX1a_tl} = 328 \text{ MPa}$$

maximální ekvivalentní napětí

$$\sigma_{em_in_tl} = \sigma_{eXb_tl} = 99 \text{ MPa}$$

minimální ekvivalentní napětí

$$\sigma_{ea_tl} := \frac{\sigma_{em_ax_tl} - \sigma_{em_in_tl}}{2} = 114.5 \text{ MPa}$$

amplituda ekvivalentního napětí

$$\sigma_{em_tl} := \frac{\sigma_{em_ax_tl} + \sigma_{em_in_tl}}{2} = 213.5 \text{ MPa}$$

střední napětí

$$k_{u_tl} := \frac{1}{\text{pomer} \beta_{\alpha_tl} \frac{\sigma_{ea_tl}}{\sigma_{cohyb} \cdot \eta_{\sigma} \cdot \sigma_{G_tl}} + \frac{\sigma_{em_tl}}{R_m}} = 1.568$$

koeficient bezpečnosti vůči únavě - základní - s tlumičem torzních kmitů

$$k_{u_kal_tl} := 1.3 \cdot k_{u_tl} = 2.038$$

koeficient bezpečnosti vůči únavě
- finální - s tlumičem torzních
kmitů

Příloha 3

ZTRÁTOVÝ VÝKON PRO DANOU EXCENTRICITU A OTÁČKY MOTORU

n [min ⁻¹] / e [mm]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30
1500	83,8	80,5	77,4	73,5	70,6	67,9	64,7	62,2	59,8	57,6	55,7	54,4	53,2	52,3	52,5
1750	115,9	111,6	107,5	102,5	98,7	95,2	91,2	88,0	85,0	82,3	80,1	78,6	77,3	76,4	77,3
2000	128,8	123,9	119,3	113,5	109,4	105,5	101,1	97,6	94,5	91,7	89,4	88,1	86,9	86,3	88,0
2250	154,3	148,6	143,4	136,8	132,0	127,6	122,5	118,4	114,8	111,6	109,0	107,4	106,2	105,5	107,6
2500	185,6	178,9	172,9	165,3	159,7	154,6	148,8	144,1	140,0	136,4	133,5	131,8	130,5	129,9	132,9
2750	213,6	203,7	197,1	188,8	182,8	177,2	170,9	165,9	161,6	157,8	154,8	153,2	152,1	151,8	156,0
3000	241,7	233,7	226,5	217,3	210,8	204,9	198,1	192,8	188,2	184,2	181,3	179,8	178,9	179,0	184,6
3250	284,4	275,3	267,2	256,9	249,6	242,9	235,3	229,5	224,5	220,1	217,0	215,5	214,9	215,4	222,7
3500	321,5	311,7	302,9	291,8	283,9	276,8	268,7	262,6	257,4	253,0	249,9	248,8	248,6	249,7	258,9
3750	367,5	356,7	347,1	335,1	326,5	318,9	310,2	303,7	298,3	293,8	290,9	290,1	290,4	292,1	303,6
4000	386,0	375,1	365,4	353,2	344,9	337,5	329,1	323,2	318,5	314,9	313,1	313,7	315,3	318,6	333,6
4250	420,0	408,6	398,5	385,7	377,4	370,0	361,5	355,9	351,8	348,8	348,5	349,7	352,8	358,4	377,7
4500	470,1	458,1	447,8	433,6	425,1	418,6	409,4	404,3	400,8	397,8	398,6	400,4	405,1	412,9	435,8
4750	518,5	506,3	495,9	480,9	472,9	467,2	458,1	453,8	451,7	449,5	452,0	454,9	462,3	472,7	500,8
5000	583,6	571,0	560,5	544,5	536,9	531,6	522,2	518,5	517,7	515,8	519,6	523,6	533,5	546,1	579,9
5250	630,8	618,7	608,8	592,8	586,7	582,6	574,0	572,0	573,5	573,1	579,3	585,8	598,7	614,8	655,8
5500	693,3	682,2	672,4	656,8	651,8	648,8	640,9 5	640,9 2	644,1	645,1	653,5	662,4	678,1	697,5	745,9

ztrátová práce (teplo)	5799,4	5644,7	5510,5	5328,9	5219,8	5127,9	5006,8	4933,6	4882,3	4833,4	4826,2	4838,1	4884,7	4959,4	5213,4
% z původních ztrát	100,0	97,33 2	95,01 8	91,88 7	90,00 5	88,42 1	86,33 3	85,07 1	84,18 6	83,34 4	83,21 8	83,42 5	84,22 8	85,51 5	89,89 5
úspora v % oproti přechozímu kroku		2,67	2,31	3,13	1,88	1,58	2,09	1,26	0,89	0,84	0,13	-0,21	-0,80	-1,29	-2,43

Příloha 4

```

*****  INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE  *****
SET      TIME/FREQ      LOAD STEP  SUBSTEP  CUMULATIVE
  1  0.0000              1          1          1
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

  2  0.23375E-02          1          2          2
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

  3  0.38967E-02          1          3          3
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

  4  0.42653E-02          1          4          4
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

  5  0.47847E-02          1          5          5
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

  6  0.64226E-02          1          6          6
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

  7  349.50              1          7          7
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

  8  469.03              1          8          8
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

  9  760.79              1          9          9
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

 10  810.54              1         10         10
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

 11  936.56              1         11         11
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

 12 1064.1              1         12         12
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

 13 1305.5              1         13         13
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

 14 1419.1              1         14         14
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

 15 1890.6              1         15         15
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

 16 2215.4              1         16         16
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

 17 2344.5              1         17         17
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

 18 3420.9              1         18         18
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

 19 3603.2              1         19         19
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

 20 3730.0              1         20         20
Modal_analysis_final--Static Structural (B5)

```

Příloha 5

Vlastní kmitání soustavy bez tlumiče

>> N A T U R A L F R E Q U E N C Y C A L C U L A T I O N <<

Vlastní frekvence a vlastní tvary kmitání zážehového motoru 1,6l s
 e=14mm

MOMENTS of INERTIA [kg*m**2]

J 1:	.003840	J 2:	.004154	J 3:	.004154	J 4:	.004154
J 5:	.004154	J 6:	.107421	J			

TORSIONAL STIFFNESSES [N*m/rad]

C 1:	44312.0	C 2:	243779.0	C 3:	243779.0	C 4:	243779.0
C 5:	410326.0	C					

1. NATURAL FREQUENCY [rad/s]: 2326.84 (=> N1 = 22219.7 1/min)

RELATIVE AMPLITUDES:

A1:	1.00000
A2:	.53084
A3:	.39659
A4:	.22575
A5:	.03408
A6:	-.08166

2. NATURAL FREQUENCY [rad/s]: 4421.17 (=> N2 = 42219.1 1/min)

RELATIVE AMPLITUDES:

A1:	1.00000
A2:	-.69380
A3:	-.77060
A4:	-.59074
A5:	-.21412
A6:	.05201

Vlastní kmitání soustavy s tlumičem $\mu_{tl} = 0,2$

>> N A T U R A L F R E Q U E N C Y C A L C U L A T I O N <<

GEN.-SET Vlastní frekvence a vlastní tvary kmitání zážehového motoru 1,6l
s e = 14 mm a tlumičem torzních kmitů o poměrné velikosti 0,2

MOMENTS of INERTIA [kg*m**2]

J 1:	.001319	J 2:	.003947	J 3:	.004154	J 4:	.004154
J 5:	.004154	J 6:	.004154	J 7:	.107421	J	

TORSIONAL STIFFNESSES [N*m/rad]

C 1:	4464.0	C 2:	44312.0	C 3:	243779.0	C 4:	243779.0
C 5:	243779.0	C 6:	410326.0	C			

1. NATURAL FREQUENCY [rad/s]: 1635.93 (=> N1 = 15622.0 1/min)

RELATIVE AMPLITUDES:

A1:	1.00000
A2:	.20923
A3:	.07969
A4:	.05251
A5:	.02294
A6:	-.00768
A7:	-.02567

2. NATURAL FREQUENCY [rad/s]: 2573.83 (=> N2 = 24578.3 1/min)

RELATIVE AMPLITUDES:

A1:	1.00000
A2:	-.95741
A3:	-.58966
A4:	-.45625
A5:	-.27134
A6:	-.05580
A7:	.07599

Vlastní kmitání soustavy s tlumičem $\mu_d = 0,25$

>> N A T U R A L F R E Q U E N C Y C A L C U L A T I O N <<

GEN.-SET Vlastní frekvence a vlastní tvary kmitání zážehového motoru 1,6l
s e = 14 mm a tlumičem o poměrné velikosti 0,25

MOMENTS of INERTIA [kg*m**2]

J 1:	.001649	J 2:	.003947	J 3:	.004154	J 4:	.004154
J 5:	.004154	J 6:	.004154	J 7:	.107421	J	

TORSIONAL STIFFNESSES [N*m/rad]

C 1:	5143.0	C 2:	44312.0	C 3:	243779.0	C 4:	243779.0
C 5:	243779.0	C 6:	410326.0	C			

1. NATURAL FREQUENCY [rad/s]: 1561.57 (=> N1 = 14911.9 1/min)

RELATIVE AMPLITUDES:

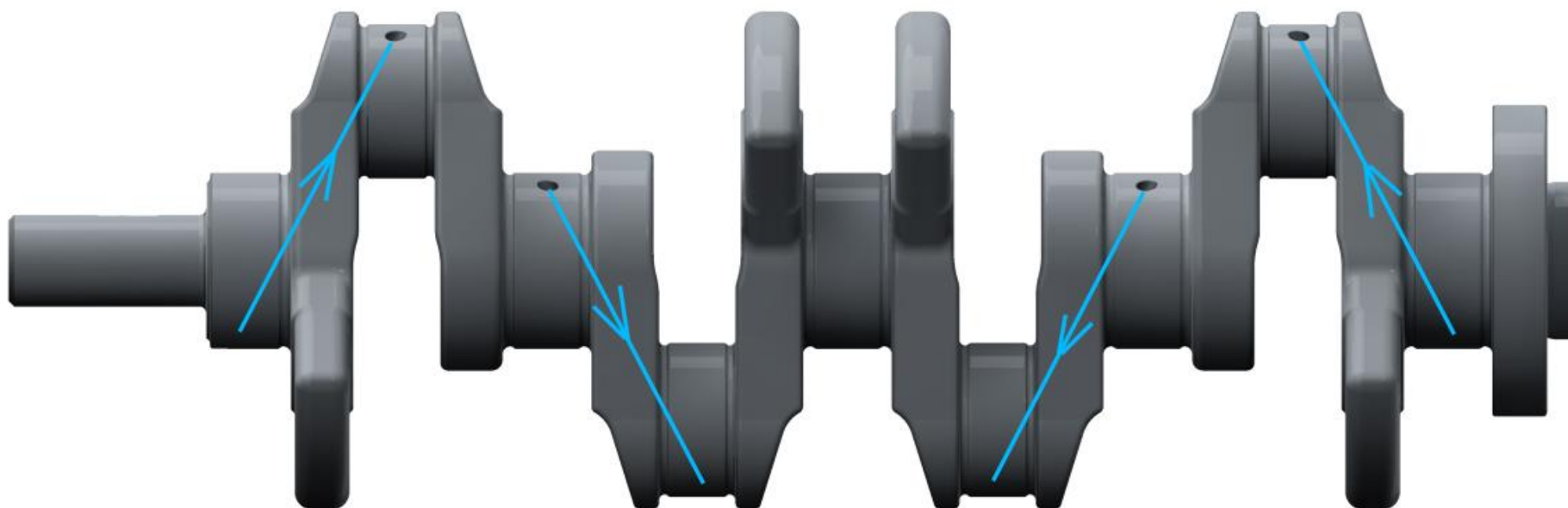
A1:	1.00000
A2:	.21815
A3:	.08002
A4:	.05159
A5:	.02101
A6:	-.01044
A7:	-.02886

2. NATURAL FREQUENCY [rad/s]: 2586.86 (=> N2 = 24702.8 1/min)

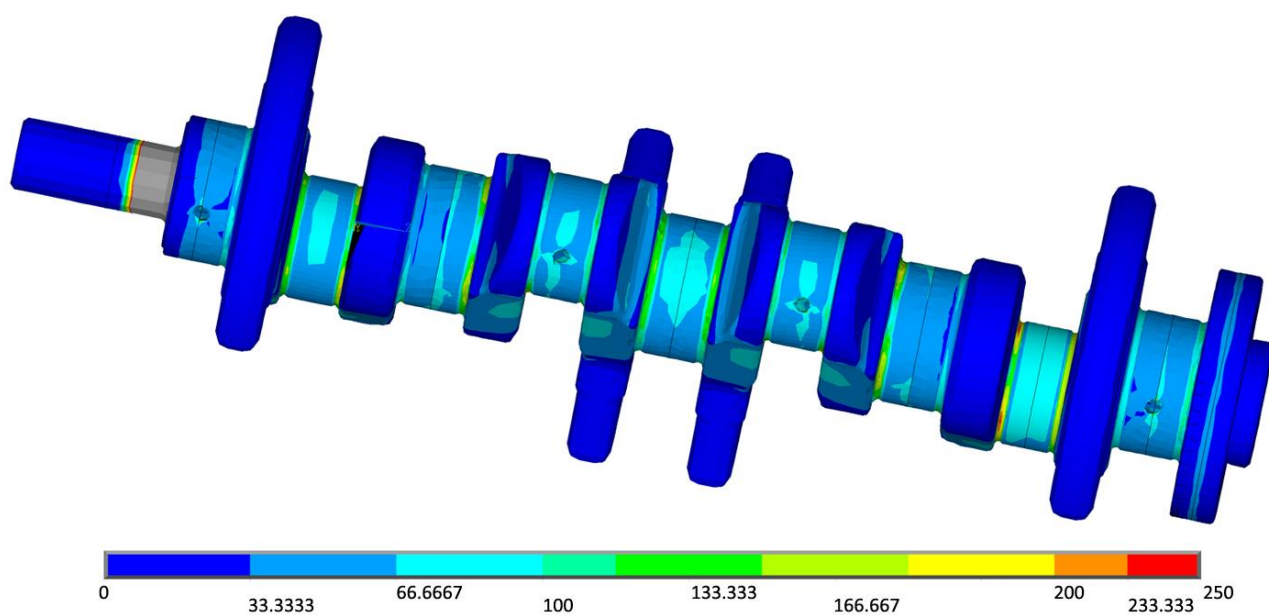
RELATIVE AMPLITUDES:

A1:	1.00000
A2:	-1.14561
A3:	-.71178
A4:	-.55176
A5:	-.32882
A6:	-.06839
A7:	.09096

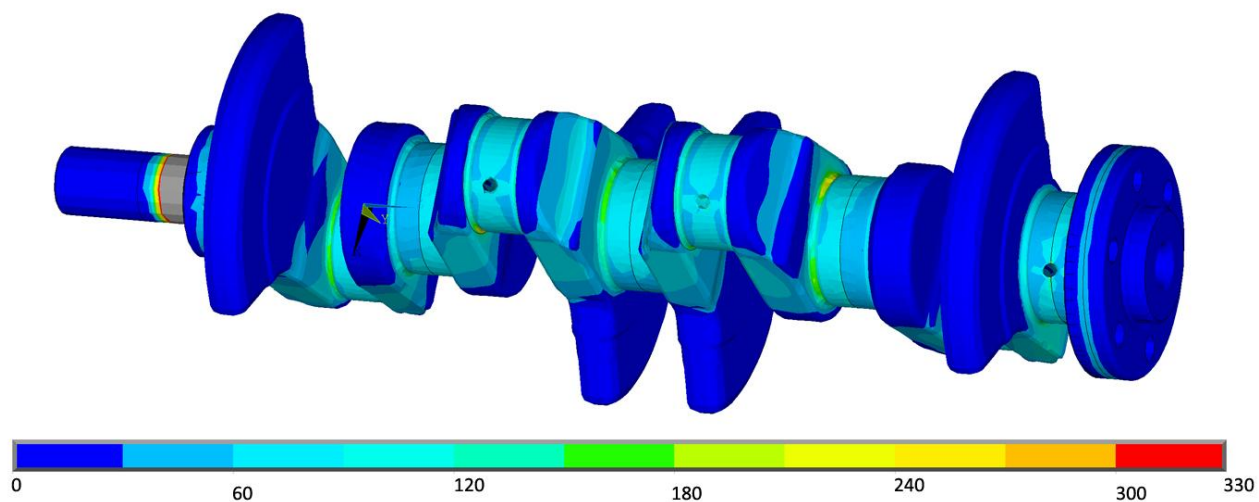
Příloha 6



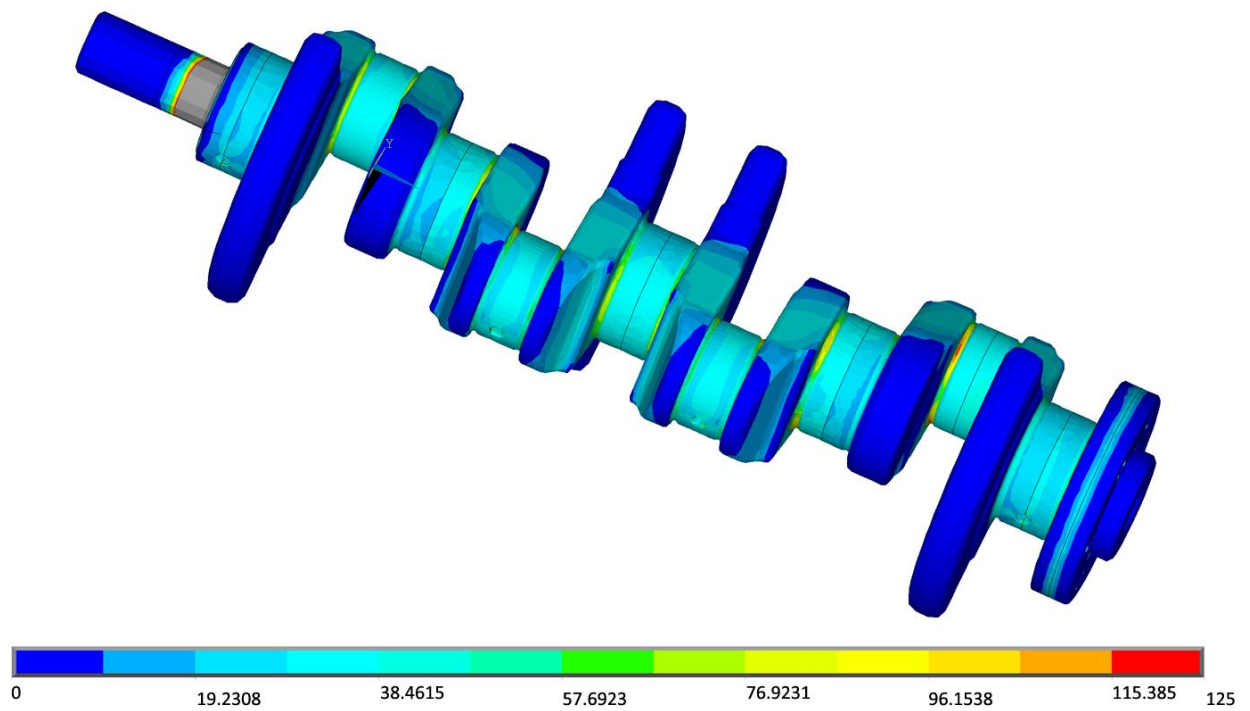
Obr. 1 Mazací systém hřídele - vyznačení směru toku mazacího oleje



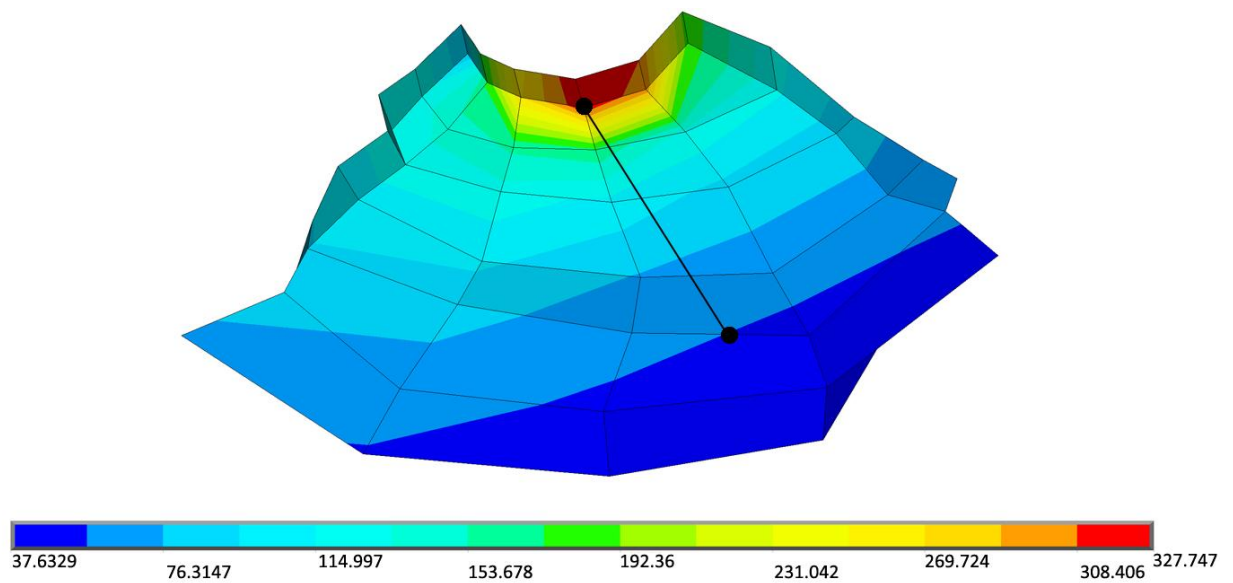
Obr. 1 Rozložení napjatosti – druhý zátěžný stav, soustava bez tlumiče torzních kmitů



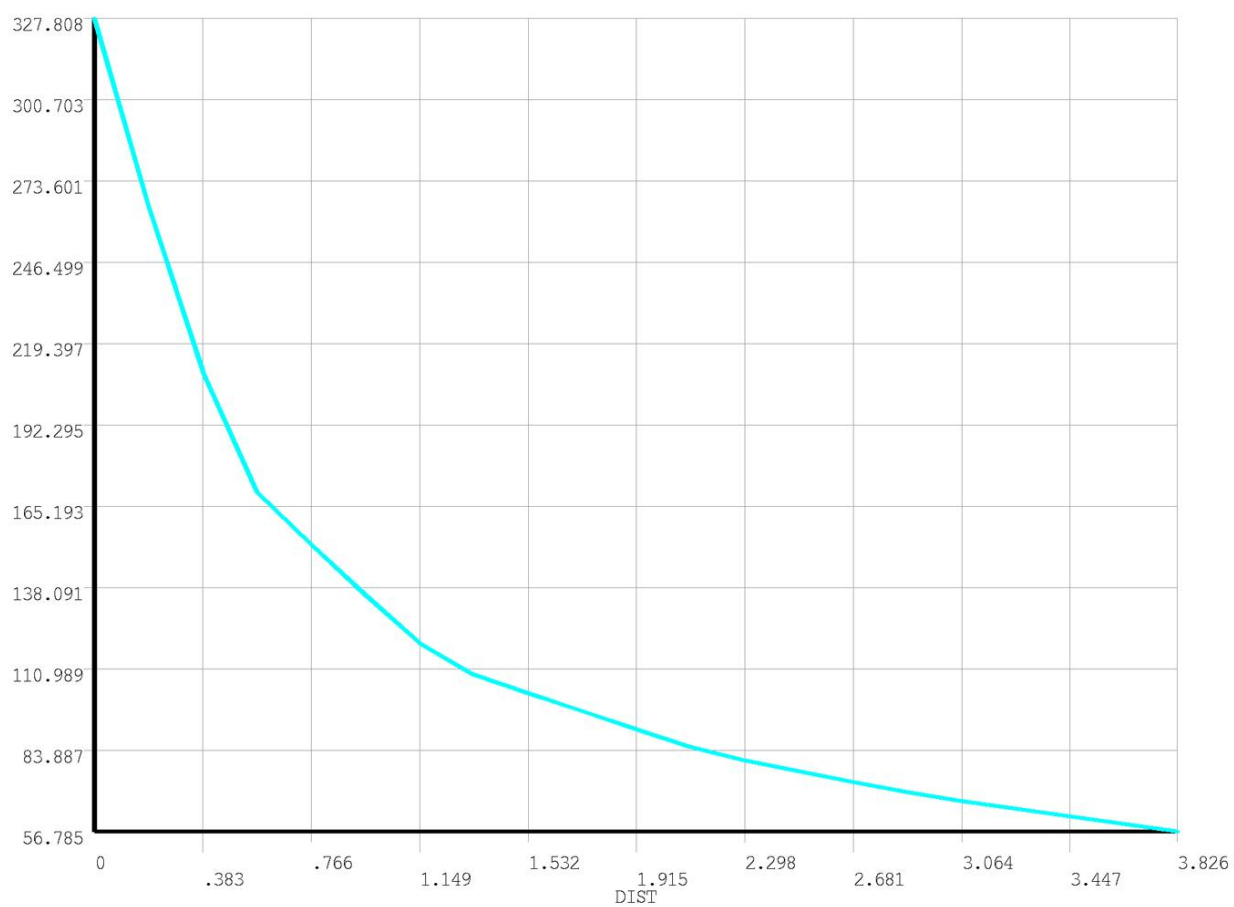
Obr. 2 Rozložení napjatosti – první zátěžný stav, soustava s tlumičem torzních kmitů $\mu = 0,25$



Obr. 3 Rozložení napjatosti – druhý zátěžný stav, soustava s tlumičem torzních kmitů $\mu = 0,25$

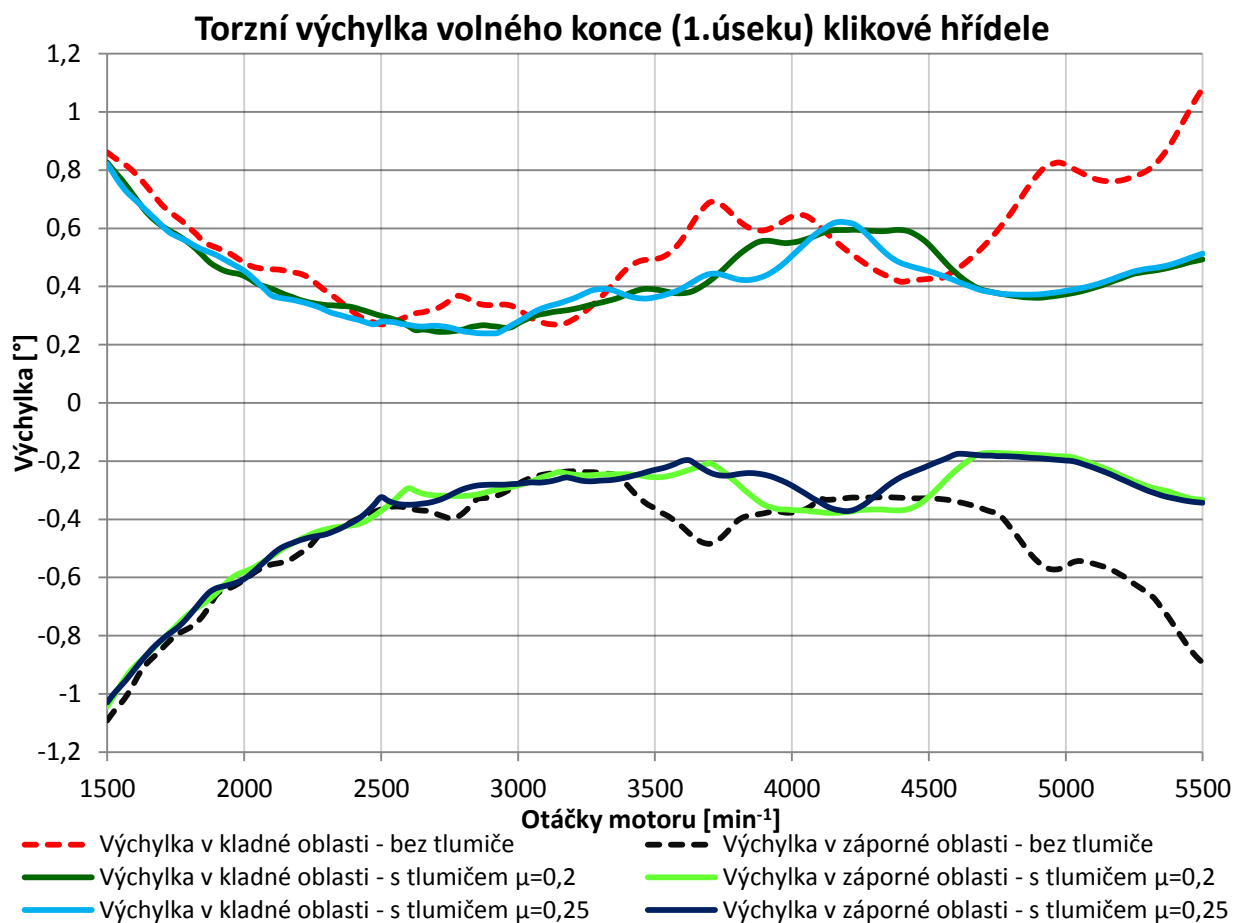


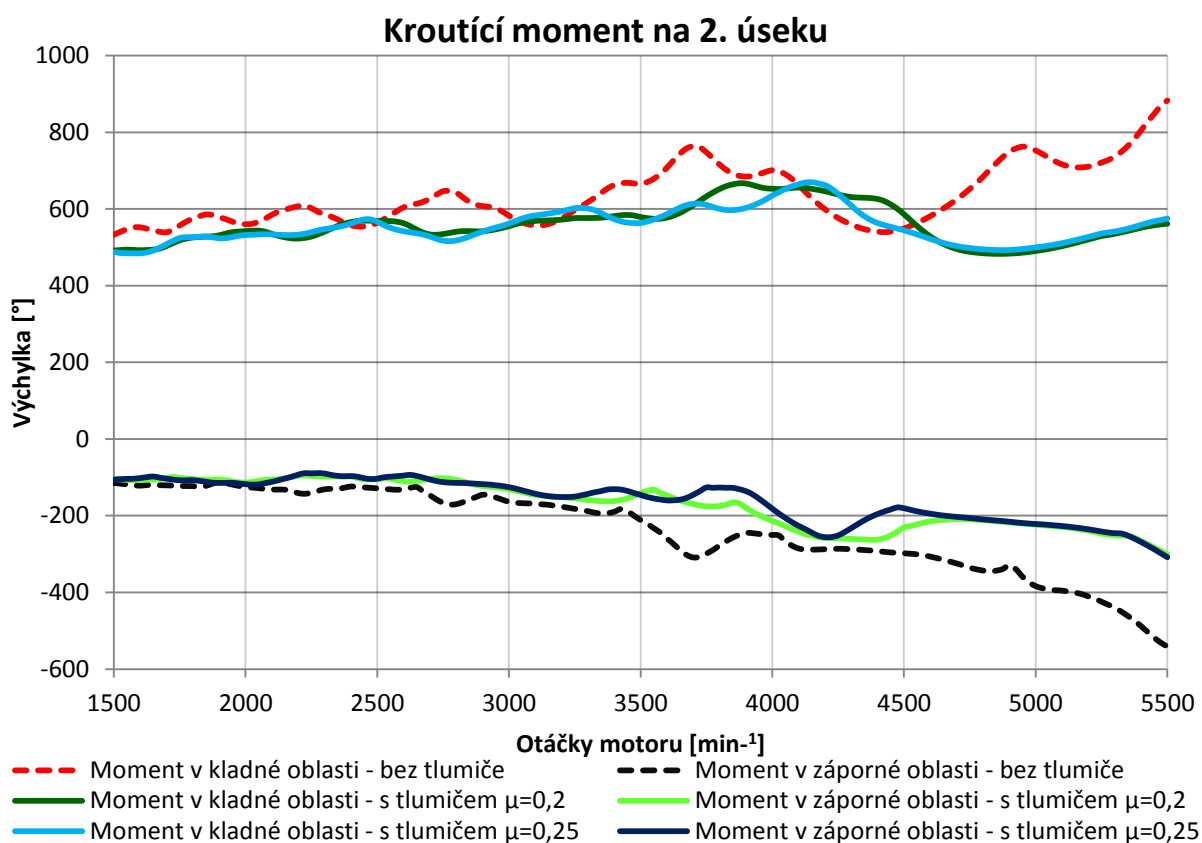
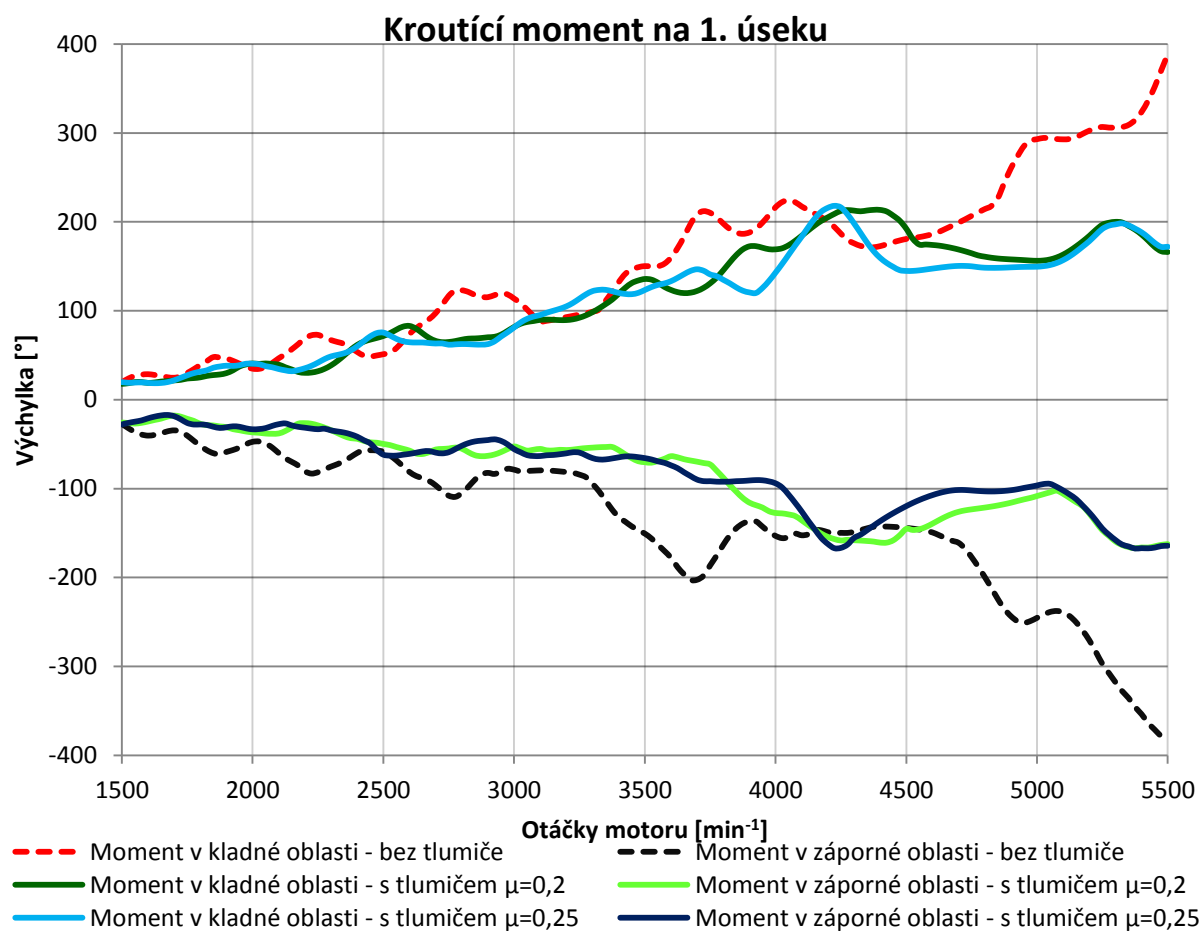
Obr. 4 Určování gradientu napětí - soustava s tlumičem torzních kmitů $\mu = 0,25$

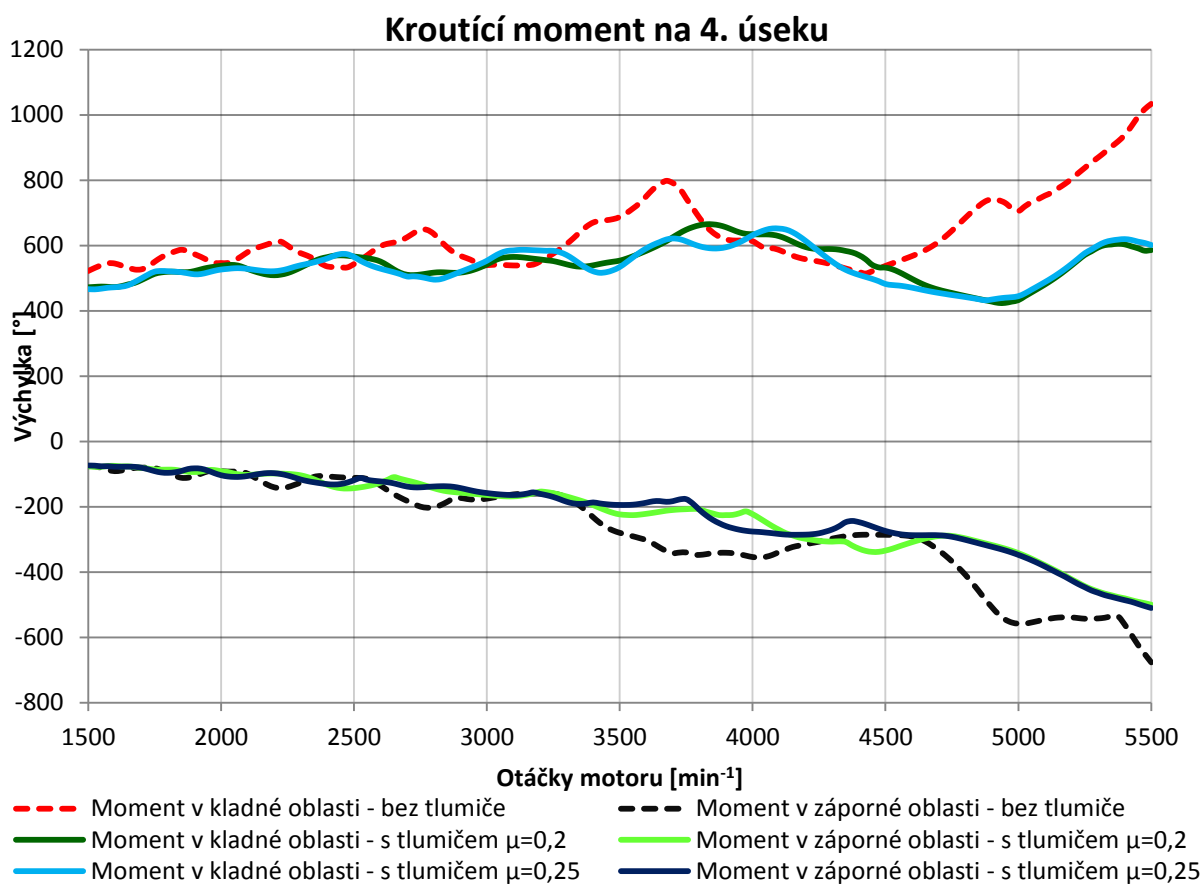
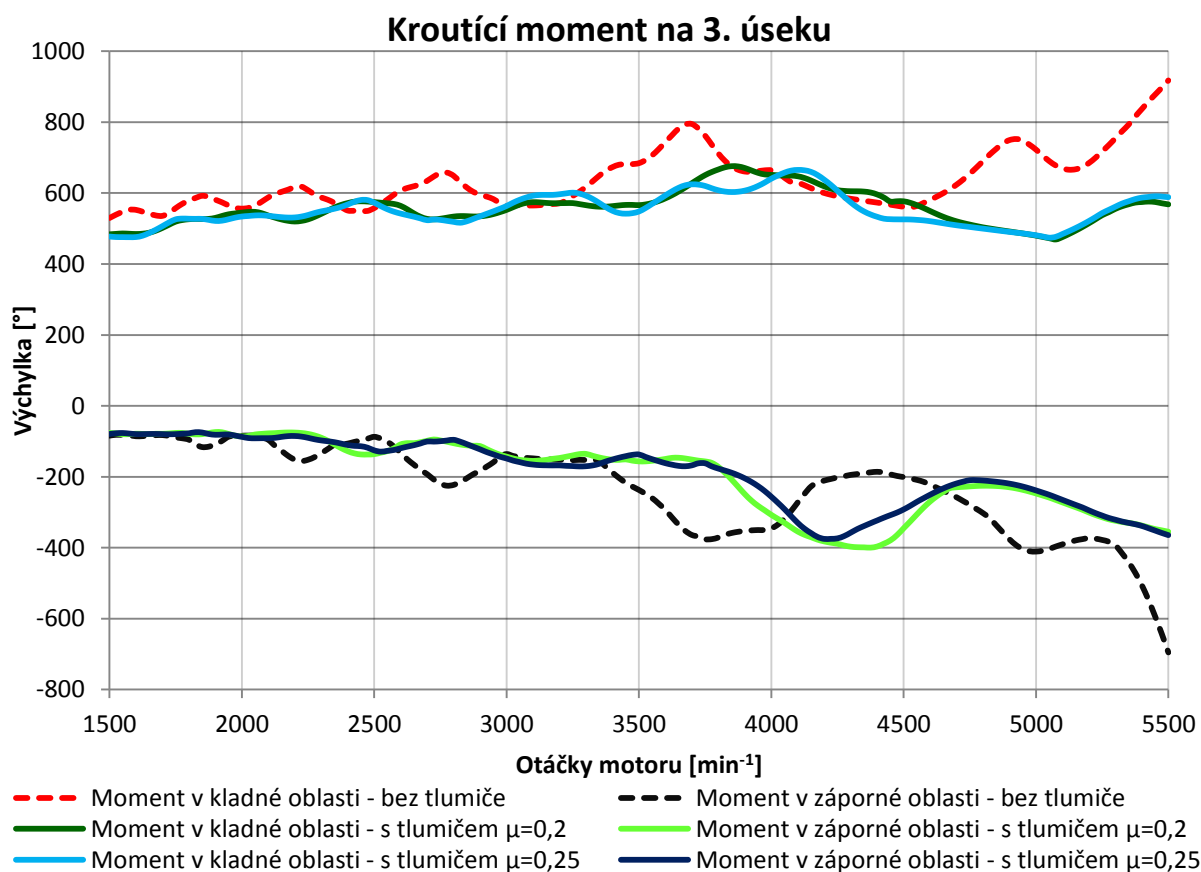


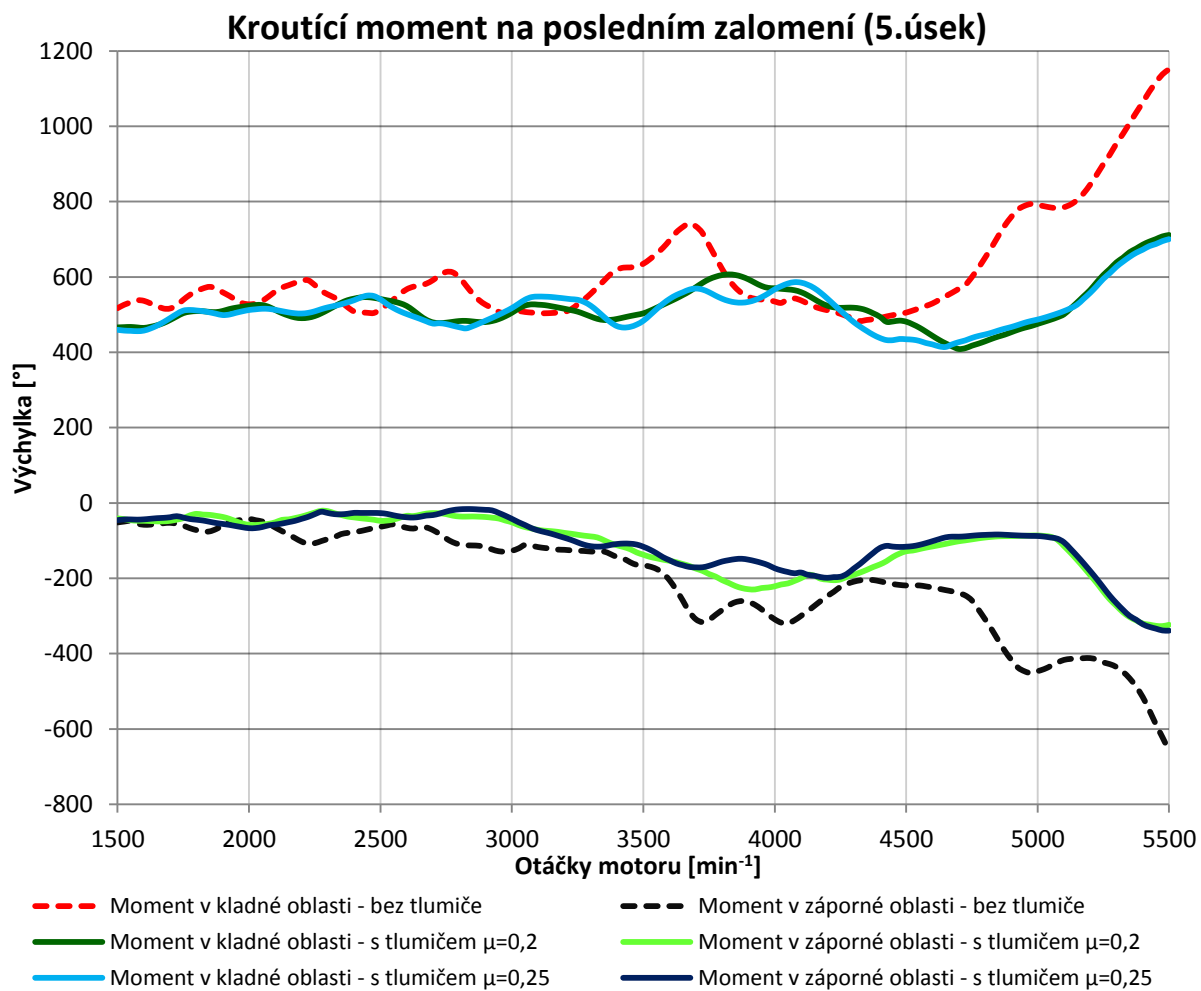
Obr. 5 Určování gradientu napětí - soustava s tlumičem torzních kmitů $\mu = 0,25$

Příloha 7a

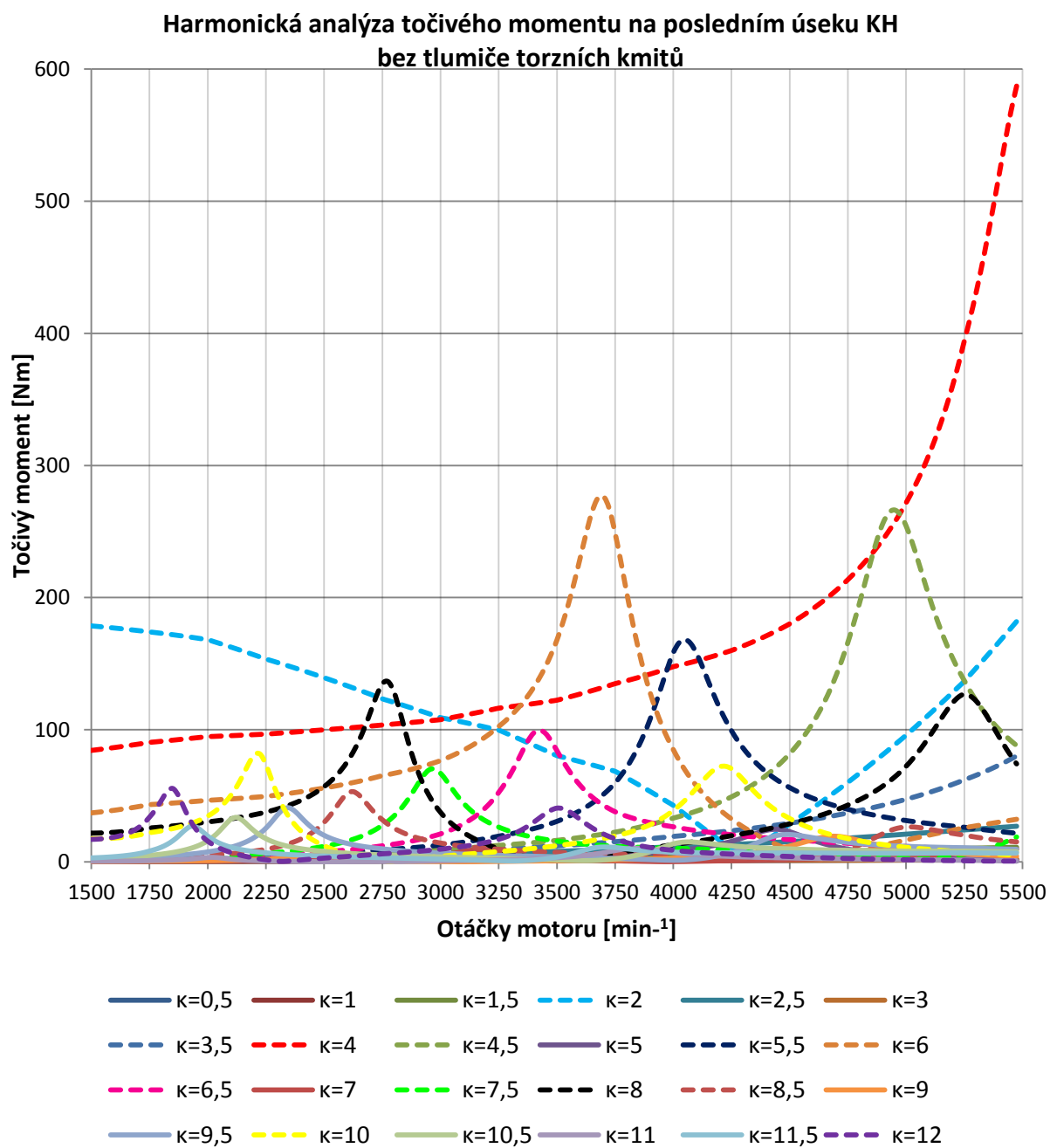




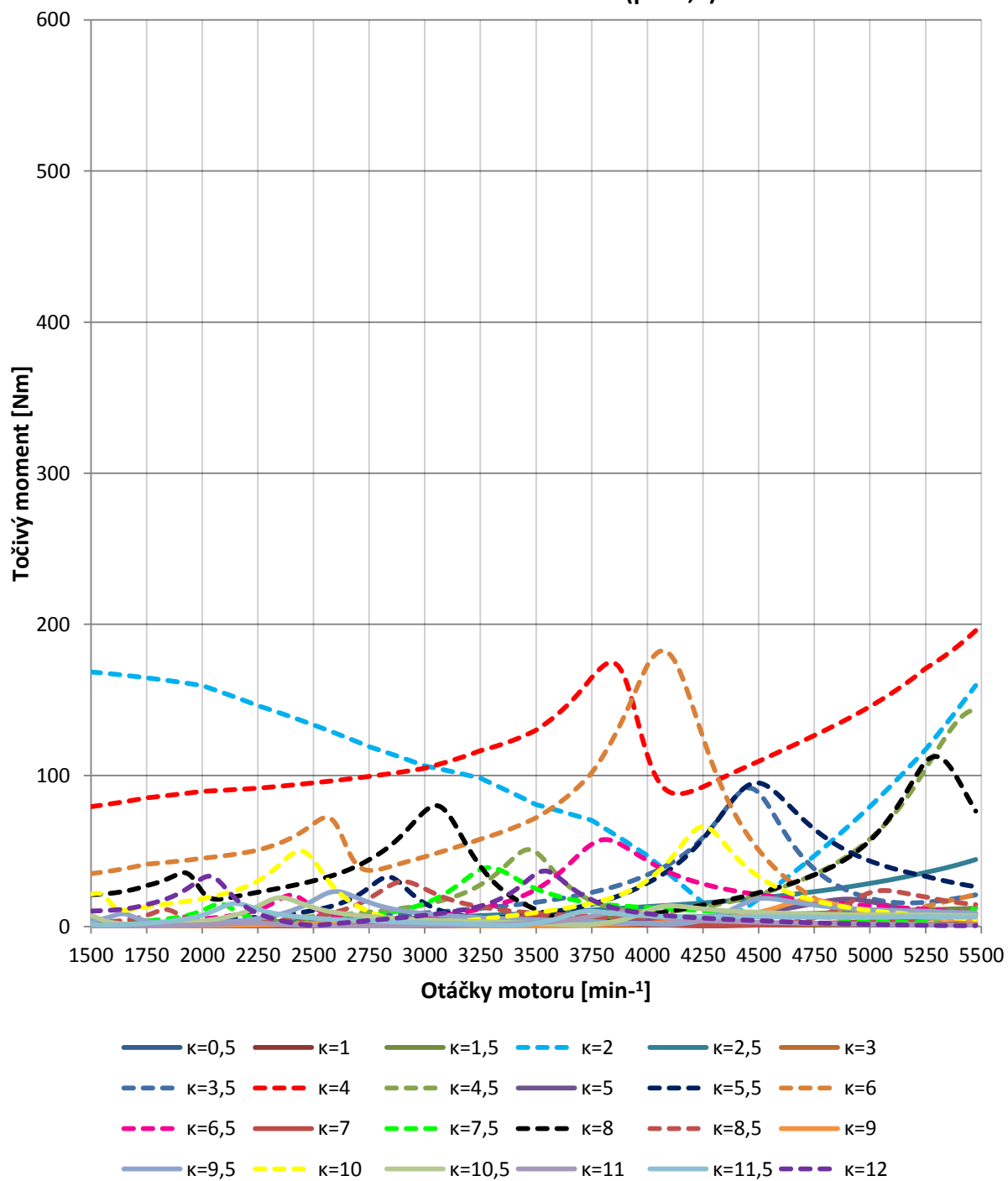




Příloha 7b



Harmonická analýza točivého momentu na posledním úseku KH s tlumičem torzních kmitů ($\mu = 0,2$)



**Harmonická analýza točivého momentu na posledním úseku KH
s tlumičem torzních kmitů ($\mu = 0,25$)**

