

TENTAMEN I

TMKT39 MASKINELEMENT

Tisdagen den 4 juni 2013, kl. 14-18

| | |
|--------------------------------|---|
| Kurs- och Provkod: | TMKT39, TEN2 |
| Tid: | 4/6 2013 klockan 14-18 |
| Sal: | TER3 |
| Antal uppgifter: | 5 |
| Antal sidor: | 5 |
| Ansvarig examinator: | Johan Ölvander johan.olvander@liu.se |
| Telefon under skrivtid: | Johan Ölvander 013-281711 |
| Besöker saken ca kl.: | Johan Ölvander besöker salen ca 15:15 |
| Kursadministratör: | Lisbeth Hägg, tel. 013-281149, lisbeth.hagg@liu.se |
| Tillåtna hjälpmedel: | <ul style="list-style-type: none">• Formelsamlingar i Maskinelement, hållfasthetslära, mekanik, samt matematik/fysik• Skriv och ritdon• Räknare |
| Betygsgränser: | 41-50 poäng ger betyg 5 32-40 poäng ger betyg 4 23-31 poäng ger betyg 3 |
| Övrigt: | <i>Glöm inte att lämna in alla blad som används till lösningar!</i> <i>Lycka till!</i> |

1. Teorifrågor

Delfråga a – d besvaras genom att markera de rutor som anger rätt svar. Varje delfråga ger maximalt två poäng. Varje felaktigt kryss ger ett poängs avdrag, dock är minsta antal poäng per deluppgift 0p.

a. Kraft eller formbetingad funktion

Vilka av nedanstående maskinelement har formbetingad funktion?

Planremsväxel

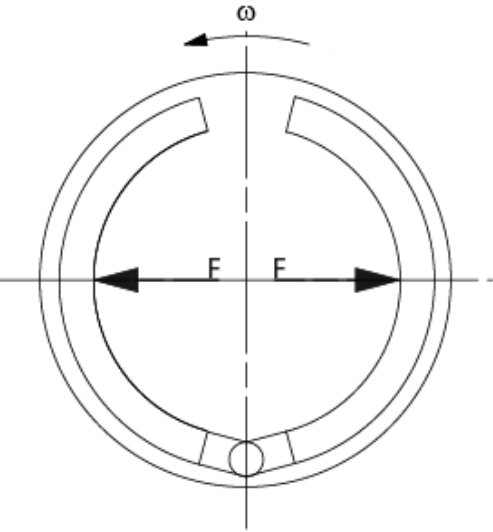
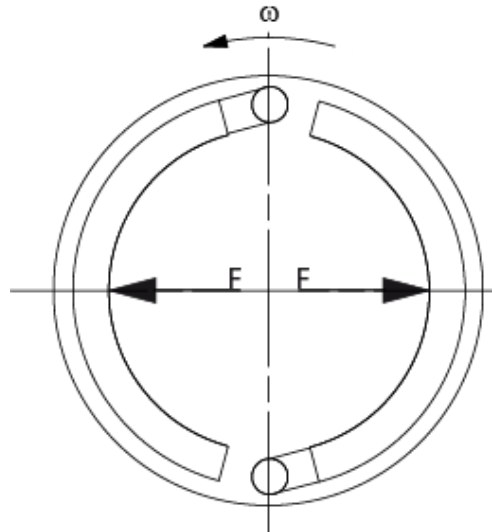
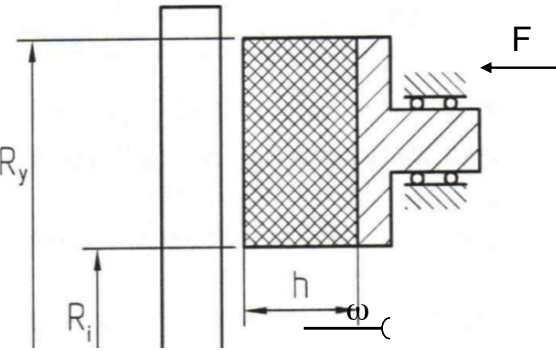
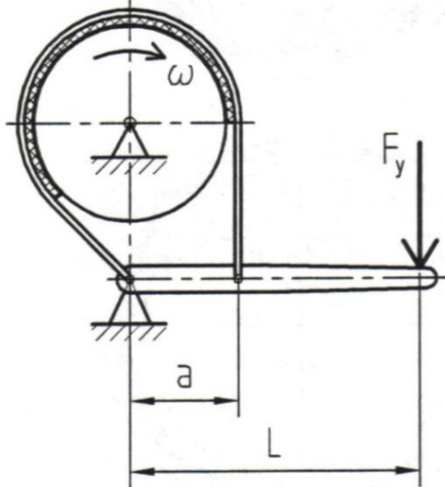
Skivbroms

Kuggkoppling

Kilförband

b. Bromsar

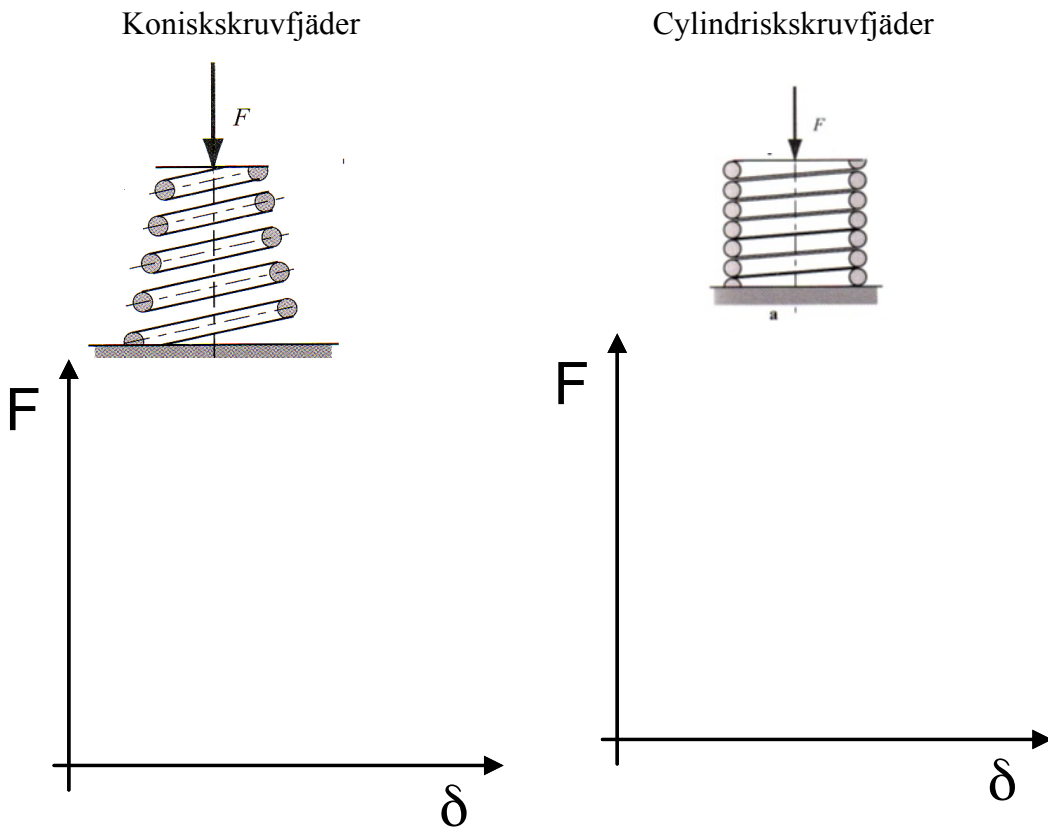
Vilka två av nedanstående bromsar kan göras självhämmande?

| | |
|--|---|
| <p>Trumbroms</p>  <p><input type="checkbox"/></p> | <p>Trumbroms</p>  <p><input type="checkbox"/></p> |
| <p>Skivbroms</p>  <p><input type="checkbox"/></p> | <p>Bandbroms</p>  <p><input type="checkbox"/></p> |



c. Fjädrar

Rita fjäderkaraktistiken för respektive fjäder i diagrammen nedan.



d. Kuggväxlar

För en kuggväxel med evolventkugg gäller:

Profilförskjutningen måste alltid vara positiv:
sant falskt

När kuggkontakten mellan två kuggar befinner sig i rullpunkten är rörelsen mellan kuggarna ren rullning

sant falskt går ej att avgöra

e. Skruvar

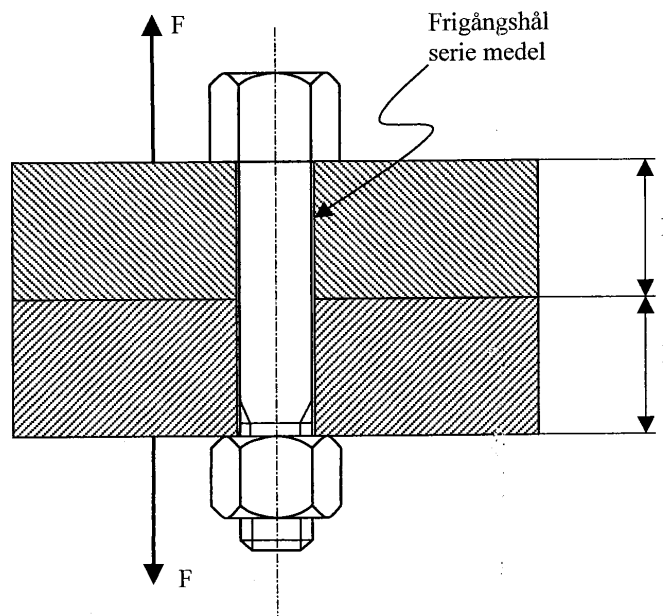
På en M6 skruvskalle står det 8.8. Vad betyder det? (2p)

2. Skruvförband

Ett skruvförband med 6 skruvar av dimension M10 monteras så att varje skruv har en axiell förspänningskraft på 12 000 N. Förbandet har frigångshål av serie medel och anliggningsdiametern d_w för både skruv och mutter kan anses vara lika med nyckelvidden N . Plåttjockleken $l=20$ mm och plåtarnas sammanlagda styvhet är $2.3 \cdot 10^9$ N/m. Skruvarna är tillverkade i stål och har en E-modul på 210 GPa.

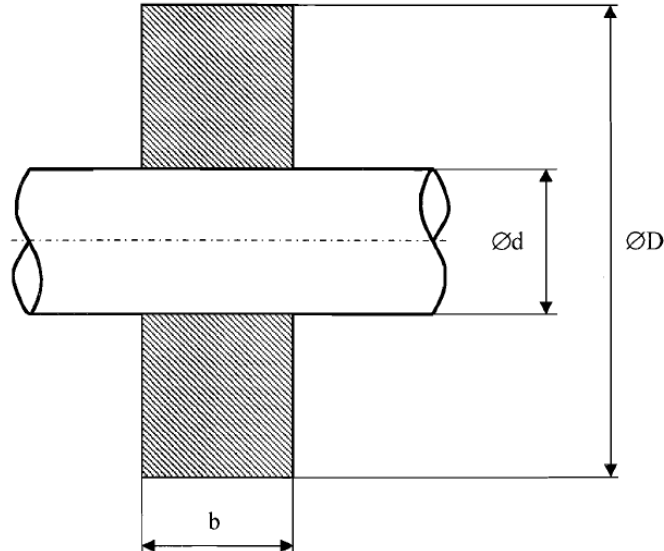
a) Vilket nyckelmoment behövs på muttern för att åstadkomma detta om friktionskoefficienten är 0.2 överallt? Behöver man vid åtdragning hålla emot på skruven och i så fall med vilket moment? (6p)

b) Antag att en yttre last om 5000N påverkar varje skruv, vad blir då spänningen i skruven? (4p)



3. Krympförband

Ett nav av mässing har krympts fast på en massiv axel av stål.



Krympförbandet skall vid drift klara att överföra vridmomentet $M=1000$ Nm utan att glida, vid drifttemperaturen $T=65^{\circ}\text{C}$.

- Vilket grepp krävs vid drift? (5p)
- Vad måste greppet vara vid tillverkningen, om tillverkningen av delarna sker vid normal rumstemperatur $T=20^{\circ}\text{C}$? (5p)

Data:

$$D=75 \text{ mm}$$

$$d=40 \text{ mm}$$

$$b=50 \text{ mm}$$

$$\nu_{\text{stål}}=0,30$$

$$\nu_{\text{mässing}}=0,41$$

$$\alpha_{\text{stål}}=11 \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{\text{mässing}}=21 \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$$

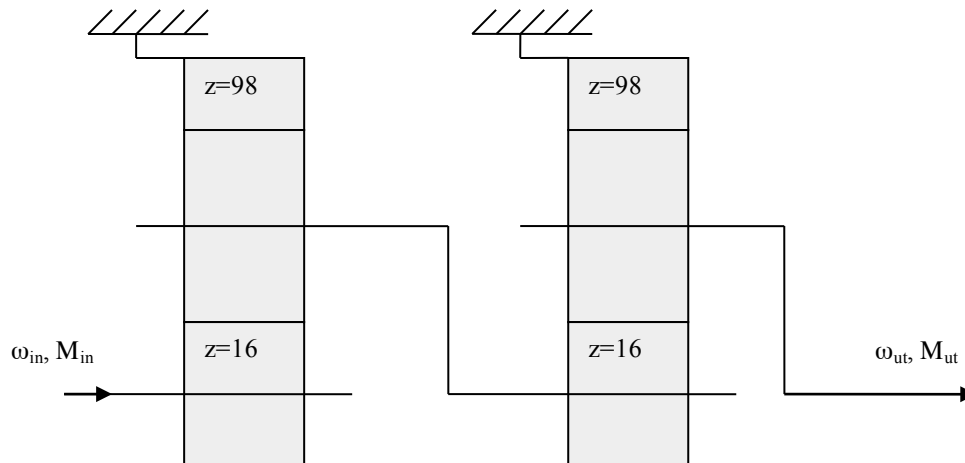
$$E_{\text{stål}}=210\,000 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{mässing}}=95\,000 \text{ MPa}$$

$$\mu=0,15$$

4. Planetväxel

En kuggväxel består av två stycken trehjuliga planetväxlar enligt nedanstående arrangemang. De båda ringhjulena är låsta och planethållaren på växel 1 sitter ihop med solhjulet på växel 2.

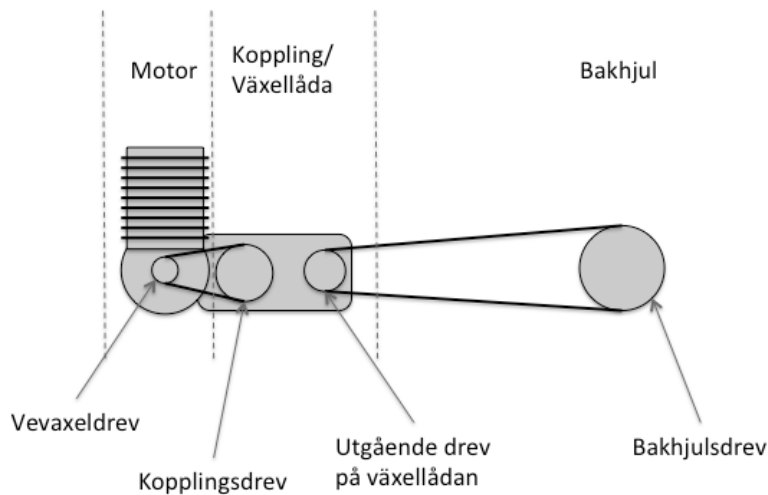


- Vad blir den totala utväxlingen för kuggväxeln? (4p)
- Vilket moment (uttryckt i M_{in}) krävs på respektive ringhjul för att hålla dem låsta (stilla)? (6p)

5. Transmissioner

Året 1959 lanserades motorcykeln Triumph Bonneville T120, designad av Edward Turner. Motorcykeln hade en 649 cc motor som kunde producera upp till 52 hp vid 6500 varv per minut (1 hp = 745,699872 W). Motorn var en så kallad "parallel twin" 4-taktsmotor, dvs. den hade två parallella cylindrar som tände vid vartannat varv.

Figuren nedan ger en schematisk bild av motorcykelns transmission, från motorns vevaxel till bakhjulet.



Motorns vevaxeldrev har 29 kuggar, medans kopplingens har 58 och de är kopplade med en kedja. Växellådan har 4 växlar med följande utväxling:

| | |
|-------|------|
| 1:ans | 2,44 |
| 2:ans | 1,69 |
| 3:ans | 1,19 |
| 4:ans | 1,00 |

På utgående axel från växellådan finns ett drev med 20 kuggar, medan på bakhjulet monteras ett drev med 46 kuggar. Bakhjulets diameter är 20 tum (1 tum = 0,0254 m).

- a) Om motorcykeln väger 250 kg och föraren 80 kg, vad blir maximala accelerationen? (4p)
(Tips: Antag förlustfria transmissioner och att allt moment på bakhjulet kan överföras till vägen, dvs ingen slirning eller förluster mot vägbanan.)

Man vill byta kedjetransmissionen till bakhjulet till en plattremstransmission. Drevet på växellådan byts ut till ett hjul med radie 50 mm och man behåller samma utväxling till bakhjulet. Axelavståndet är fast och mäter 552 mm. Remmen är 5 mm tjock och den tål spänningen 50N/mm^2 . Friktionstalet är 0,4.

- b) Vad är den erforderliga bredden på remmen om fallet i a) med max acceleration kan anses dimensionerande. (6p)
(Tips: Det går bra att bortse från centrifugalverkan i remmen)



1. Teorifrågor

Delfråga a – d besvaras genom att markera de rutor som anger rätt svar. Varje delfråga ger maximalt två poäng. Varje felaktigt kryss ger ett poängs avdrag, dock är minsta antal poäng per deluppgift 0p.

f. Kraft eller formbetingad funktion

Vilka av nedanstående maskinelement har formbetingad funktion?

Planremsväxel



Skivbroms



Kuggkoppling



Kilförband



g. Bromsar

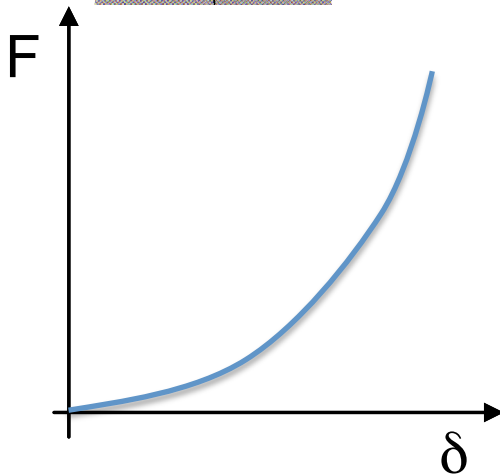
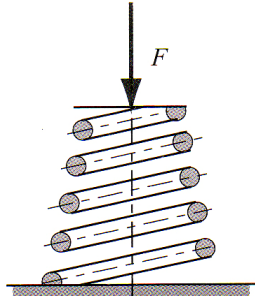
Vilka två av nedanstående bromsar kan göras självhämmande?

| | |
|--|--|
| <p>Trumbroms</p> <p style="text-align: center;">X</p> | <p>Trumbroms</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></p> |
| <p>Skivbroms</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></p> | <p>Bandbroms</p> <p style="text-align: center;">X</p> |

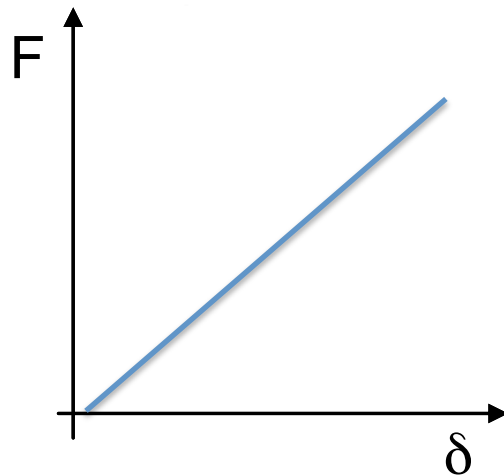
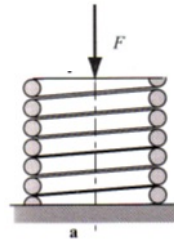
h. Fjädrar

Rita fjäderkaraktistiken för respektive fjäder i diagrammen nedan.

Koniskskruvfjäder



Cylindriskskruvfjäder



i. Kuggväxlar

För en kuggväxel med evolventkugg gäller:

Profilförskjutningen måste alltid vara positiv:

sant falskt

När kuggkontakten mellan två kuggar befinner sig i rullpunkten är rörelsen mellan kuggarna ren rullning

sant falskt går ej att avgöra

j. Skruvar

På en M6 skruvskalle står det 8.8. Vad betyder det? (2p)

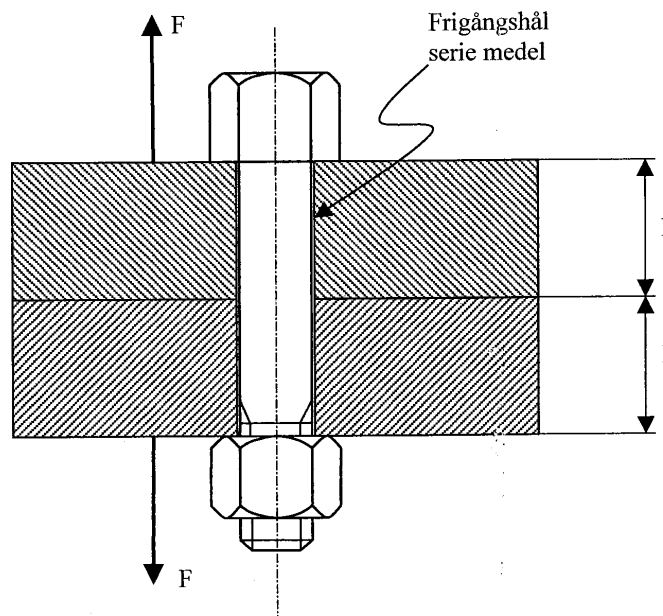
Brottgräns=800 Mpa, Sträckgräns=640 MPa

2. Skruvförband

Ett skruvförband med 6 skruvar av dimension M10 monteras så att varje skruv har en axiell förspänningskraft på 12 000 N. Förbandet har frigångshål av serie medel och anliggningsdiametern d_w för både skruv och mutter kan anses vara lika med nyckelvidden N . Plåttjockleken $l=20$ mm och plåtarnas sammanlagda styvhet är $2.3 \cdot 10^9$ N/m. Skruvarna är tillverkade i stål och har en E-modul på 210 GPa.

a) Vilket nyckelmoment behövs på muttern för att åstadkomma detta om friktionskoefficienten är 0.2 överallt? Behöver man vid åtdragning hålla emot på skruven och i så fall med vilket moment? (6p)

b) Antag att en yttre last om 5000N påverkar varje skruv, vad blir då spänningen i skruven? (4p)



Lösning tal 2

```
% Data
kf=2.3e9;
d2=9.026e-3;
d1=8.376e-3;
p=1.5e-3;
d=10e-3;
N=19e-3;
dh=11e-3;
E=210000e6;
my=0.2;
l=2*20e-3;
alfa=30*pi/180;
Fax=12000;
Fy=5000;
% Räkna ut skruvens styvhet, cs=E*As/L
ks=E*pi*d^2/4/l
%ks =      4.1233e+08

% Åttdragningsmoment Mtot = Mg + Mu

Mg=Fax*d2/2*tan(atan(p/pi/d2)+atan(my/cos(alfa)))
%Mg =  15.5617

Mu=Fax*my*(N+dh)/4
%Mu =  18

Mtot=Mg+Mu
%Mtot =  33.5617

% Det behöver hållas emot om Mg är större än Mu för i sådant fall kommer
% muttern att rotera. Man måste då hålla emot med Mg-Mu.

% Svar: Mtot= 33.6 Nm och man behöver inte hålla emot på muttern.

% b
% skruvkraften ges av
% Fs=Fax + F*ks/(ks+kf)

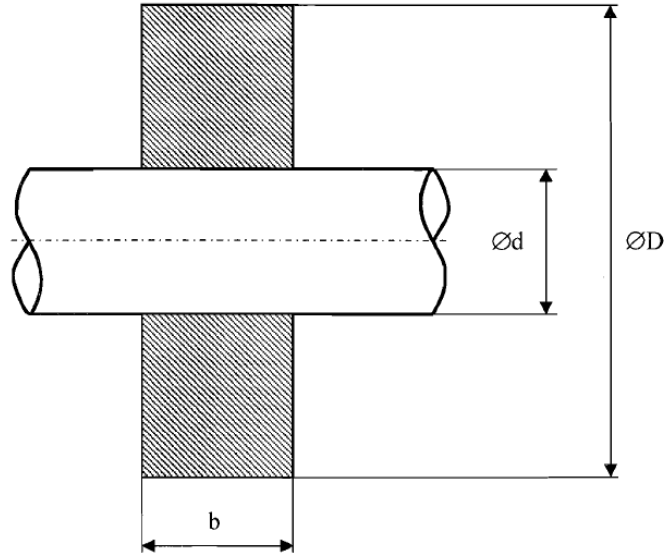
Fs=Fax+Fy*ks/(ks+kf)
%Fs =      1.2760e+04

sigma=Fs/(pi/16*(d1+d2)^2)
%sigma_max =  2.1460e+08

% Svar b: 215 MPa
```

3. Krympförband

Ett nav av mässing har krympts fast på en massiv axel av stål.



Krympförbandet skall vid drift klara att överföra vridmomentet $M=1000$ Nm utan att glida, vid driftstemperaturen $T=65^{\circ}\text{C}$.

- c. Vilket grepp krävs vid drift? (5p)
- d. Vad måste greppet vara vid tillverkningen, om tillverkningen av delarna sker vid normal rumstemperatur $T=20^{\circ}\text{C}$? (5p)

Data:

$$D=75 \text{ mm}$$

$$d=40 \text{ mm}$$

$$b=50 \text{ mm}$$

$$\nu_{\text{stål}}=0,30$$

$$\nu_{\text{mässing}}=0,41$$

$$\alpha_{\text{stål}}=11 \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{\text{mässing}}=21 \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$$

$$E_{\text{stål}}=210\,000 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{mässing}}=95\,000 \text{ MPa}$$

$$\mu=0,15$$



Lösning tal 3

) vid fullt utbildad friktion gäller:

$$\pi \cdot \nu \cdot p \cdot d \cdot b = \frac{2 \cdot M}{d}$$

Erforderligt tryck vid driftstemp. blir:

$$p = \frac{2 \cdot M}{\pi d^2 b \cdot \nu} = \frac{2 \cdot 1000000}{\pi \cdot 40^2 \cdot 50 \cdot 0,15} = \underline{53,05 \text{ MPa}}$$

som svarar mot ett visst grepp Δ_{65}

$$\Delta_{65} = 2 (v_{\text{nar}} - v_{\text{axel}}) =$$

$$= 2 \left[\left(\frac{p \cdot r}{E} \frac{(1-\nu) \left(\frac{d}{D}\right)^2 + (1+\nu) \left(\frac{d}{2r}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2} \right)_{\text{mässing}} + \left((1-\nu) \frac{r \cdot p}{E} \right)_{\text{stål}} \right]$$

Här är $r = \frac{d}{2}$, eller hur? Vi får:

$$\Delta_{65} = p \cdot d \left[\left(\frac{(1-\nu) \left(\frac{d}{D}\right)^2 + (1+\nu)}{E \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right)} \right)_{\text{mässing}} + \left(\frac{1-\nu}{E} \right)_{\text{stål}} \right] =$$

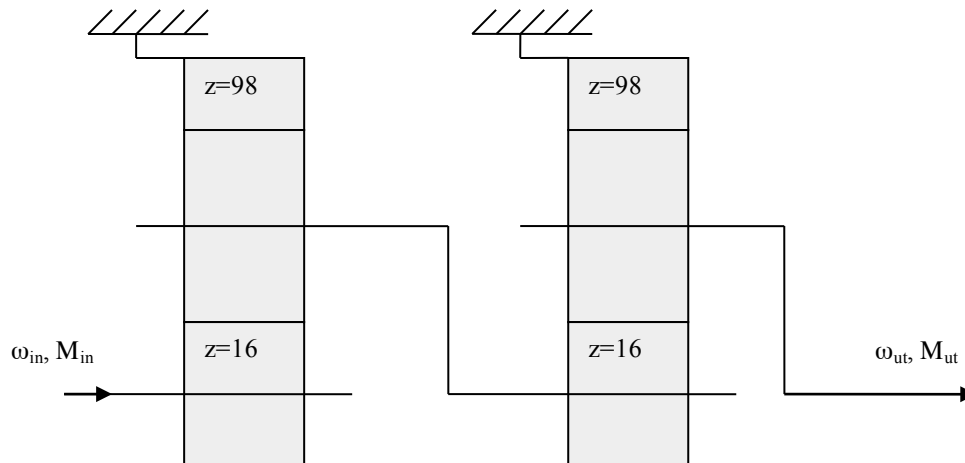
$$= 53,05 \cdot 40 \left[\left(\frac{(1-0,41) \left(\frac{40}{75}\right)^2 + 1,41}{95000 \left(1 - \left(\frac{40}{75}\right)^2\right)} \right) + \left(\frac{1-0,3}{210000} \right) \right] =$$

$$= \underline{0,0563 \text{ mm}}$$

Vi måste ha ett större grepp Δ_{20} vid rumstemp. så att vi får åtminstone 56,3 μm kvar vid driftstemp.

4. Planetväxel

En kuggväxel består av två stycken trehjuliga planetväxlar enligt nedanstående arrangemang. De båda ringhjulena är låsta och planethållaren på växel 1 sitter ihop med solhjulet på växel 2.



- c) Vad blir den totala utväxlingen för kuggväxeln? (4p)
- d) Vilket moment (uttryckt i M_{in}) krävs på respektive ringhjul för att hålla dem låsta (stilla)? (6p)

Lösning tal 4

Växeln är sammansatt av två trehjulsväxlar. För dessa gäller:

$$\frac{\omega_{1a} - \omega_{Ca}}{\omega_{2a} - \omega_{Ca}} = R_a$$

$$\frac{\omega_{1b} - \omega_{Cb}}{\omega_{2b} - \omega_{Cb}} = R_b$$

Kopplingssambanden ger:

$$\omega_{1a} = \omega_{in}$$

$$\omega_{2a} = 0$$

$$\omega_{1b} = \omega_{Ca}$$

$$\omega_{2b} = 0$$

$$\omega_{ut} = \omega_{Cb}$$

Löses detta ekvationssystem fås utväxlingen som

$$\frac{\omega_{in}}{\omega_{ut}} = (R_a - 1)(R_b - 1)$$

Vidare gäller att

$$R_a = -\frac{z_{2a}}{z_{1a}} = -\frac{98}{16} = -6.125$$

$$R_b = -\frac{z_{2b}}{z_{1b}} = -\frac{98}{16} = -6.125$$

Detta ger utväxlingen som:

$$\frac{\omega_{in}}{\omega_{ut}} = (R_a - 1)(R_b - 1) = (-6,125 - 1)(-6,125 - 1) = 50,7$$

Svar a: Utväxlingsförhållandet blir 50,7

Växeln är sammansatt av två trehjulsväxlar. Momentsambanden blir:

$$M_{1a} + M_{2a} + M_{Ca} = 0$$

$$M_{2a} = -R_a M_{1a}$$

$$M_{1b} + M_{2b} + M_{Cb} = 0$$

$$M_{2b} = -R_b M_{1b}$$

Kopplingssambanden ger:

$$M_{1a} = M_{in}$$

$$M_{1b} = -M_{Ca}$$

$$M_{ut} = M_{Cb}$$

Löses dessa fås

$$M_{2a} = -R_a M_{in} = 6,125 M_{in}$$

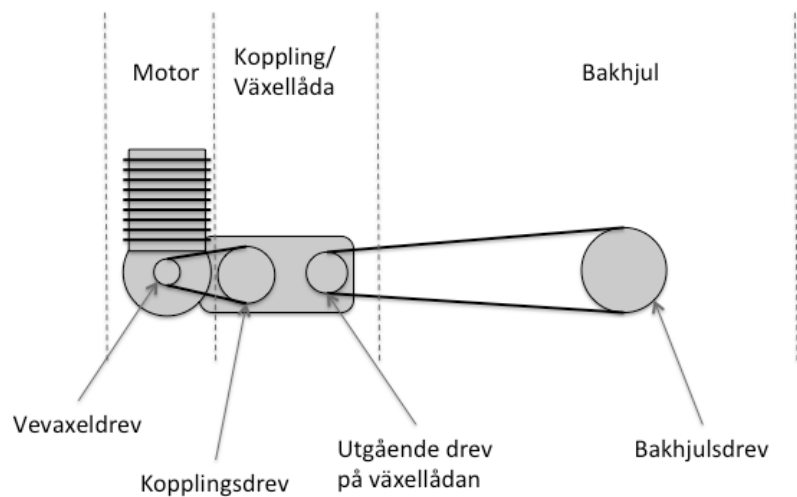
$$M_{2b} = -R_b (1 - R_a) M_{in} = 6,125(1 - (-6,125)) M_{in} = 43,6 M_{in}$$

Svar b: Det fasthållande momenten är $6,125M_{in}$ respektive $43,6M_{in}$.

5. Transmissioner

Året 1959 lanserades motorcykeln Triumph Bonneville T120, designad av Edward Turner. Motorcykeln hade en 649 cc motor som kunde producera upp till 52 hp vid 6500 varv per minut (1 hp = 745,699872 W). Motorn var en så kallad "parallel twin" 4-taktsmotor, dvs. den hade två parallella cylindrar som tände vid vartannat varv.

Figuren nedan ger en schematisk bild av motorcykelns transmission, från motorns vevaxel till bakhjulet.



Motorns vevaxeldrev har 29 kuggar, medans kopplingens har 58 och de är kopplade med en kedja. Växellådan har 4 växlar med följande utväxling:

| | |
|-------|------|
| 5:ans | 2,44 |
| 6:ans | 1,69 |
| 7:ans | 1,19 |
| 8:ans | 1,00 |

På utgående axel från växellådan finns ett drev med 20 kuggar, medan på bakhjulet monteras ett drev med 46 kuggar. Bakhjulets diameter är 20 tum (1 tum = 0,0254 m).

- c) Om motorcykeln väger 250 kg och föraren 80 kg, vad blir maximala accelerationen? (4p)
(Tips: Antag förlustfria transmissioner och att allt moment på bakhjulet kan överföras till vägen, dvs ingen slirning eller förluster mot vägbanan.)

Man vill byta kedjetransmissionen till bakhjulet till en plattremstransmission. Drevet på växellådan byts ut till ett hjul med radie 50 mm och man behåller samma utväxling till bakhjulet. Axelavståndet är fast och mäter 552 mm. Remmen är 5 mm tjock och den tål spänningen 50N/mm^2 . Friktionstalet är 0,4.

- d) Vad är den erforderliga bredden på remmen om fallet i a) med max acceleration kan anses dimensionerande. (6p)
(Tips: Det går bra att bortse från centrifugalverkan i remmen)



Lösning tal 5

```
%data
u1=2.44;
z1_motor=29;
zin_koppling=58;
zut_koppling=20;
z_bakhjul=46;
D_bakhjul=20*0.0254;
M_mc=250;
M_driver=80;
P_max=52*745.7;
n_max=6500*2*pi/60;

% Beräkningagång: Beräkna max moment på bakhjulet. (1:ans växel, maxvarv på
% motorn, utväxlingar.
%Beräkna accelerationen ur  $F=m*a$  där m är total massa och F är kraften
%framåt på motorcykeln. F ges av M på bakhjulet/hjulradien.

M_in=P_max/n_max
%Min= 56.9673

u_total=zin_koppling/z1_motor*u1*z_bakhjul/zut_koppling
%u_total= 11.2240

M_bakhjul=M_in*u_total
%M_bakhjul=639.4008

%accelerationen = F/m
a=(M_bakhjul/(D_bakhjul/2))/(M_mc+M_driver)
%a= 7.6283

a=a/9.8
% a= 0.7784
%Svar accelerationen är 7.6 m/s2 eller 0.78g

% B upg.
%rem data
R1=0.050;
my=0.4;
a_dist=0.552;
t=5;
sigmamax=50;

% Räkna på lilla hjulet. Där är alfa minst, så där kommer det att slira
% först.

R2=R1*z_bakhjul/zut_koppling
%R2= 0.1150

Beta=asin((R2-R1)/a_dist)
%Beta=0.1180
```



MASKINKONSTRUKTION

```
alfa=(pi-2*Beta)
%alfa= 2.9055
```

```
alfa_deg=alfa*180/pi
% alfa_deg= 166.4750
```

```
%Moment på lilla hjulet
M1=M_in*zin_koppling/z1_motor*u1
%M1=278.0003
```

```
% M1=R1*(F2-F1)=R1*Fe
Fe=M1/R1
% Fe= 5.5600e+03
```

```
% F2=F1*exp(my*alfa) samt Fe=F2-F1 ger:
F2=Fe/(1-exp(-my*alfa))
F1= F2-Fe
```

```
%F1= 2.5307e+03, F2=8.0907e+03
```

```
% Sigammax=Fmax/(b*t)
b=F2/t/sigmax
```

```
%b=32.3629
```

```
% Svar b=32.4 mm
```