TENTAMEN I

TMKT39 MASKINELEMENT FÖR DPU3 och M3

Torsdagen den 9 april 2015, kl. 8-12

Kurs- och Provkod:	TMKT39, TEN2
Tid:	9/4 2015 klockan 8-12
Sal:	G32, G34
Antal uppgifter:	5
Antal sidor:	6
Ansvarig examinator:	Johan Ölvander Johan.olvander@liu.se
Telefon under skrivtid:	Johan Persson 013 – 28 11 63
Besöker saken ca kl.:	Johan Persson besöker salen 09:30
Kursadministratör:	Lisbeth Hägg, tel. 013-281149, lisbeth.hagg@liu.se
Tillåtna hjälpmedel:	• 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:	***Glöm inte att lämna in alla blad som används till lösningar!*** ***Lycka till!***

LiTH/IEI/Maskinkonstruktion
Johan Ölvander
013-28 17 11
johan.olvander@liu.se

1. Teorifrågor

Delfråga a – e besvaras genom att markera de rutor som anger rätt svar. För varje delfråga fördelas poängen enligt följande: Två rätta svar ger 2p. Ett rätt svar ger 1p. Ett rätt och ett fel svar ger 0p. Två felaktiga svar ger 0p.

a. Form eller kraftbetingad funktion
Vilka två av nedanstående maskinelement har kraftbetingad funktion?

Remväxel	Skivbroms	Kjedjeväxel	Oldhamkoppling
x	**x**	☐	☐

b. Kopplingar
Frigångskopplingar finns både med kraftbetingad och formbetingad funktion.

Sant **x** Falskt ☐

En lamellkoppling med 4 lameller kan överföra större moment en än med 2 lameller om lamellerna har samma dimensioner och utsätts för samma tryck.

Sant **x** Falskt ☐ går ej att avgöra ☐

c. Remväxlar
En remväxel kan överföra störst moment vid höga hastigheter.

Sant ☐ Falskt **x** går ej att avgöra ☐

I en kilremsväxel kan man inte använda lika små remskivor som i en planremstransmision.

Sant **x** Falskt ☐ går ej att avgöra ☐

d. Kuggväxlar
I en kuggväxel med evolventkugg sker all kontakt mellan flankerna genom ren rullning.

Sant ☐ Falskt **x** går ej att avgöra ☐

I en planetväxel är det vanligast att man använder rakkugg.

Sant **x** Falskt ☐

e. Fjädrar
Olika fjäder typer har olika egenskaper. Vilken egenskap förknippas speciellt med nedanstående fjädrar?

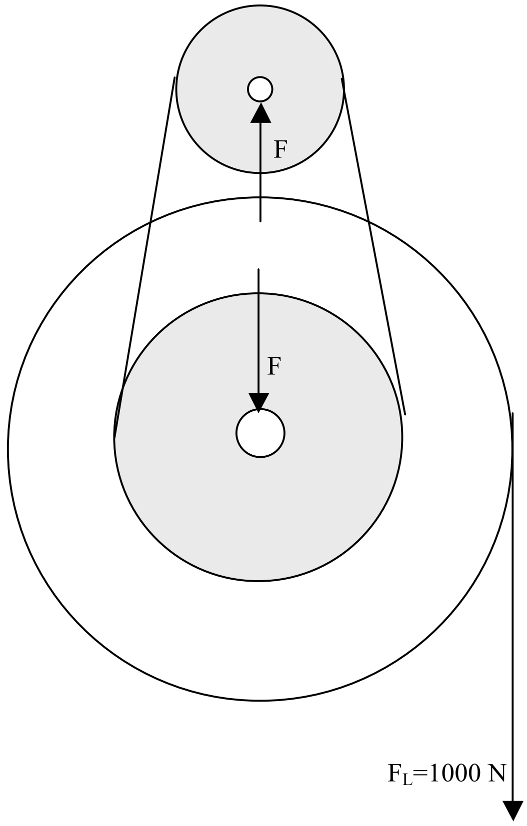
i **Cirkulär skruvfjäder**
Linjär karaktäristik **x** Olinjär karaktäristik ☐ Hysteres ☐

ii **Konisk skruvfjäder**
Linjär karaktäristik ☐ Olinjär karaktäristik **x** Hysteres ☐

2 Remväxel

En remväxel med flatrem skall dimensioneras, som skall driva en vinsch. Vinschen skall maximalt kunna lyfta 1000N. Vinschhjulets diameter är 1000 mm Remväxelns hjuldiametrar är 400mm respektive 800mm. Axelavståndet mellan hjulen är 1000mm. Antag att remmens friktionskoefficient är 0.4. Drivningen sker på det lilla hjulet.

Vilken kraft måste man trycka isär axlarna med, för att kunna överföra tillräckligt moment för att lyfta lasten? 10p
Bortse från centrifugalkraften på remmen.



Lösning:
Momentet på vinschhjulet blir:

$$M = F\frac{D_{winch}}{2} = 1000\frac{1,0}{2} = 500\text{Nm}$$

Momentet vid det lilla hjulet blir

$$M_1 = M\frac{r_1}{r_2} = 500\frac{0,2}{0,4} = 250\text{Nm}$$

Formelsamlingen sid 27 ger:

$$F_2 = F_1 e^{\mu\alpha}$$

$$M = (F_2 - F_1)r$$

Detta ger

$$F_2 = F_1 e^{\mu\alpha}$$

$$M = F_1(e^{\mu\alpha} - 1)r$$

Geometrin ger kraften mellan axlarna som

$$F_{ax} = (F_1 + F_2)\cos\Delta\alpha$$

eller

$$F_{ax} = F_1(e^{\mu\alpha} + 1)\cos\Delta\alpha$$

Kraften F1 fås ur momentsambandet som

$$F_1 = \frac{M_1}{(e^{\mu\alpha} - 1)r_1}$$

Kraften mellan axlarna blir då

$$F_{ax} = \frac{(e^{\mu\alpha} + 1)M_1}{(e^{\mu\alpha} - 1)r_1}\cos\Delta\alpha$$

Omslutningsvinklarna är

$$\alpha_1 = \pi - 2\Delta\alpha$$

$$\alpha_2 = \pi + 2\Delta\alpha$$

Minsta omslutningsvinkeln och mest kritiskt är alltså det lilla hjulet. Vidare gäller.

$$\Delta\alpha = \arcsin\frac{r_2 - r_1}{a} = \arcsin\frac{400 - 200}{1000} = 0,201\text{rad}$$

Detta ger den minsta omslutningsvinkeln

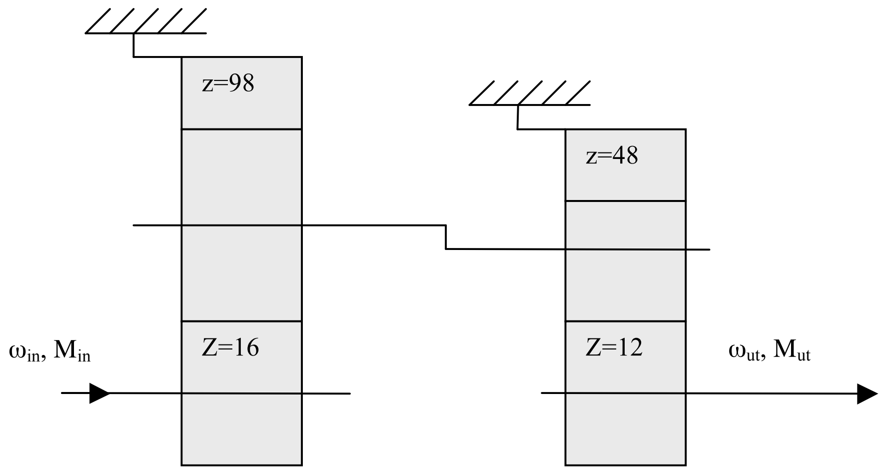
$$\alpha_1 = \pi - 2\Delta\alpha = \pi - 0,2 = 2,74\text{rad}$$

Kraften mellan axlarna nu beräknas som

$$F_{ax} = \frac{(e^{\mu\alpha_1} + 1)M_1}{(e^{\mu\alpha_1} - 1)r_1}\cos\Delta\alpha = \frac{(e^{0,4\cdot 2,74} + 1)250}{(e^{0,4\cdot 2,74} - 1)0,1}\cos 0,2 = 2455\text{N}$$

Svar: kraften som krävs för att trycka isär axlarna tillräckligt för att friktionen skall ge erforderlig acceleration är 2455N-

3. Planetväxel.



a) Vad blir utväxlingsförhållandet för planetväxeln ovan? 4p

b)Vad blir de fasthållande momenten för de båda ringhjulen (som är låsta), i förhållande till ingående moment? 6p

Lösning 3.

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:

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

$$\omega_{Ca} = \omega_C$$

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

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

$$\omega_{Cb} = \omega_C$$

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

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

Löses detta fås

Löses detta ekvationssystem ger utväxlingen som

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

Vidare gäller att

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

$$R_b = -\frac{z_{2b}}{z_{1b}} = -\frac{48}{12} = -4$$

Detta ger utväxlingen som:

$$\frac{\omega_{in}}{\omega_{ut}} = \frac{(R_a - 1)}{(R_b - 1)} = \frac{(-6,125 - 1)}{(-4 - 1)} = 1.425$$

Svar a: Utväxlingsförhållandet blir 1.425

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:

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

$$M_{Ca} = -M_{Cb}$$

$$M_{ut} = M_{1b}$$

Löses dessa fås

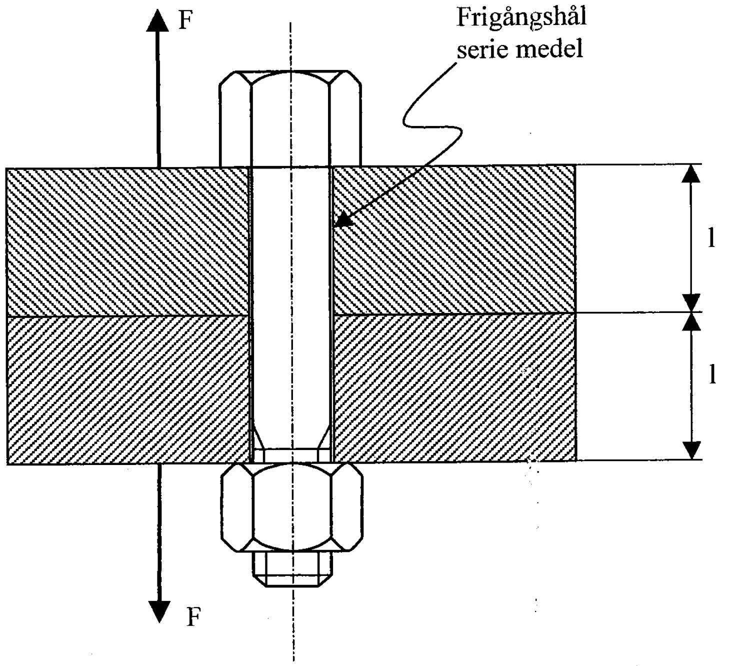
$$M_{2a} = -R_a M_{in} = 6,125 M_{in}$$

$$M_{2b} = R_b \frac{(R_a - 1)}{(R_b - 1)} M_{in} = 6,125 \frac{(-6,125 - 1)}{(-4 - 1)} M_{in} = -5,7 M_{in}$$

Svar b: Det fasthållande momenten är 6,125M_{in} respektive 5,7M_{in}.

4. Skruvförband

Två plåtar är förbundna med ett skruvförband enligt figuren nedan. Skruven är av dimension M12 och är endast gängad i änden så mycket som krävs för att säkerställa åtdragningen. Efter montering belastas förbandet med en pulserande last F=(20000 + 10000* sin(ω t)) N. Alla delar är av stål med elasticitetsmodul E=210 000 MPa. Friktionskoefficienten μ=0.12 överallt. Plåttjockleken l=20 mm och plåtarnas sammanlagda styvhet är $2.3 \cdot 10^9$ N/m.



a) Beräkna det minsta åtdragningsmoment som krävs för att förbandet skall vara precis glappfritt vid max belastning. (6p)

b) Mellan vilka värden varierar spänningen i skruven då förbandet påverkas av den pulserande lasten F? (4p)

Lösning 4

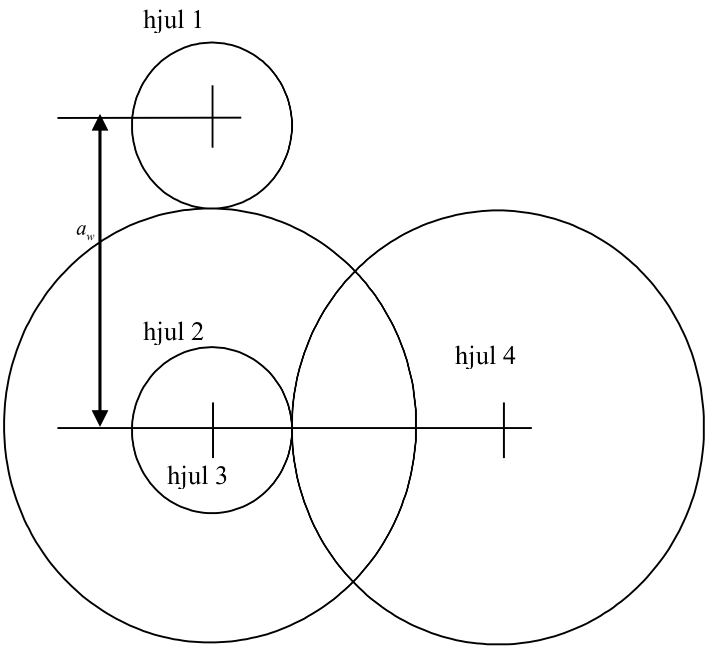
```
% Data
kf=2.3e9;
d2=10.863e-3;
d1=10.106e-3;
p=1.75e-3;
d=12e-3;
N=19e-3;
dh=14e-3;
E=210000e6;
my=0.12;
l=2*20e-3;
alfa=30*pi/180;
Fmax=30000;
Fmin=10000;
% Räkna ut skruvens styvhet, cs=E*As/L
ks=E*pi*d^2/4/l
ks =  5.9376e+008


% Klämkraften ges av:
% Fk=F0-F*kf/(ks+kf)
% Fk= 0 då glappfritt ger F0
F0=Fmax*kf/(ks+kf)
F0 =  2.3844e+004

% åtdragningsmoment Mtot = Mg + Mu

Mg=F0*d2/2*tan(atan(p/pi/d2)+atan(my/cos(alfa)))
Mg =  24.7627

Mu=F0*my*(N+dh)/4
Mu =  23.6060

Mtot=Mg+Mu
Mtot =  48.3686

% b
% skruvkraften ges av
% Fs=F0 + F*ks/(ks+kf)

Fsmax=F0+Fmax*ks/(ks+kf)
Fsmax =   30000

Fsmin=F0+Fmin*ks/(ks+kf)
Fsmin =  2.5896e+004


sigma_max=Fsmax/(pi/16*(d1+d2)^2)
sigma_max =  3.4748e+008

sigma_min=Fsmin/(pi/16*(d1+d2)^2)
```

sigma_min = 2.9995e+008

Svar: spänningen i skruven varierar från 300 – 347 MPa

5. Kuggväxel

En rak utvändig glappfri kuggväxel består av fyra hjul. Hjul två och tre sitter ihop så att man får en reduktionsväxel i två steg.



a) Vilken kuggbredd måste man minst ha på hjul 1 om utgående momentet på hjul 4 är 600 Nm? Hjulen är av stål och maximal tillåten flankpåkänning är 1000 MPa. E-modulen är 205 GPa. Det räcker med att dimensionera med avseende på flankpåkänningen i rullningspunkten och anta att ingreppstalet är 1. (7p)

b) Om man ökar axelavståndet 2 mm mellan två närliggande axlar. Hur stort blir motsvarande glapp mellan kuggarna? (3p)

Data:

$z_1 = z_3 = 17$	Kuggtal hjul 1 o 3
$x_1 = x_3 = 0$	Profilförskjutning hjul 1 o 3
$z_2 = z_4 = 50$	Kuggtal hjul 2 o 4
$x_2 = x_4 = 0$	Profilförskjutning hjul 2 o4
$m = 3\text{mm}$	Modul på samtliga hjul
$\alpha_0 = 20^o$	Referensprofilens ingreppsvinkel

LiTH/IEI/Maskinkonstruktion
Johan Ölvander
013-28 17 11
johan.olvander@liu.se

Lösningsförslag upg 5

a) Flankpåkänningen fås ur:

$$\sigma_H = 0,418\sqrt{\frac{FE}{b}\left(\frac{1}{r_{k1}}+\frac{1}{r_{k2}}\right)}$$

Beräkna evolventradierna i rullpunkten.

$$r_{k1} = r_1 \sin\alpha_w$$

$$r_{k2} = r_2 \sin\alpha_w$$

De båda rullningsradierna fås ur kuggtalen..

$$r_1 = \frac{mz_1}{2}$$

$$r_2 = \frac{mz_2}{2}$$

Kraften F fås ur momentet.

$$F = \frac{M_2}{r_2\cos\alpha_w} = \frac{z_3}{z_4}\frac{M_4}{r_2\cos\alpha_w}$$

$$(M_2 = M_3)$$

Det gör att flankpåkänningen kan skrivas som

$$\sigma_H = 0,418\sqrt{\frac{z_3}{z_4}\frac{M_4E}{r_2\cos\alpha_w\sin\alpha_w b}\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)} = 0,418\sqrt{\frac{z_3}{z_4}\frac{M_4E}{r_2^2\cos\alpha_w\sin\alpha_w b}\left(\frac{r_2}{r_1}+1\right)}$$

$$= 0,418\frac{2}{z_2m}\sqrt{\frac{z_3}{z_4}\frac{M_4E}{\cos\alpha_w\sin\alpha_w b}\left(\frac{z_2}{z_1}+1\right)}$$

Löses med avseende på b, och flankpåkänningen sätts till max tillåten flankpåkänning. fås

$$b = 0,418^2\frac{4}{z_2^{\,2}m^2}\frac{z_3}{z_4}\frac{M_4}{\cos\alpha_w\sin\alpha_w}\frac{E}{\sigma_{Ht}^{\,2}}\left(\frac{z_2}{z_1}+1\right)$$

Det ger:

$$b = 0,016\text{m}$$

Svar a: Kuggbredden ska vara minst 16 mm.

b). Glappet j beräknas mha Fölmers ekvation

$$\mathrm{inv}\alpha_w = \mathrm{inv}\alpha_0 + 2\frac{x_1 + x_2}{z_1 + z_2}\tan\alpha_0 +$$

$$+\frac{j}{m(z_1 + z_2)\cos\alpha_0}$$

Förändringen av axelavståndet ges av:

$$\Delta a = a_w - a_0$$

Här är

$$a_0 = \frac{r_{b1} + r_{b2}}{\cos\alpha_0} = m\frac{z_1 + z_2}{2}$$

Axelavståndet med förkjutning är

$$a_w = \frac{r_{b1} + r_{b2}}{\cos\alpha_w} = m\frac{z_1 + z_2}{2}\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha_w}$$

Detta ger

$$\Delta a = m\frac{z_1 + z_2}{2}\left(\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha_w} - 1\right)$$

Härur löses ingreppsvinkeln

$$\alpha_w = \cos^{-1}\left(\frac{\cos\alpha_0}{\frac{2\Delta a}{m(z_1 + z_2)} + 1}\right) = 22.87^\circ$$

Profilföskjutningarna är noll ger att Fölmers ekvation reduceras till

$$\mathrm{inv}\alpha_w = \mathrm{inv}\alpha_0 + \frac{j}{m(z_1 + z_2)\cos\alpha_0}$$

Ur detta kan glappet lösas ut som

$$j = \left(\mathrm{inv}\alpha_w - \mathrm{inv}\alpha_0\right)m(z_1 + z_2)\cos\alpha_0 = 0.0014\mathrm{m}$$

Svar: Glappet blir 1.4 mm