

Lösningsförslag till

TENTAMEN I

TMKT39 MASKINELEMENT

Torsdagen den 24 april 2014, kl. 8-12

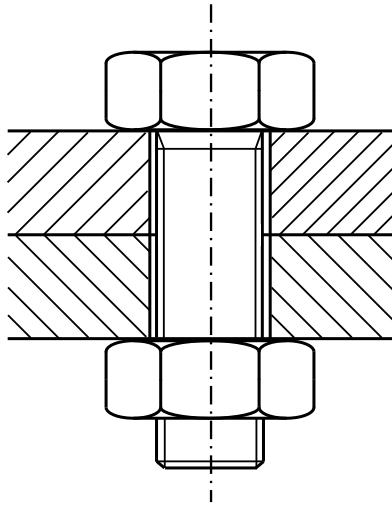
- Kurs- och Provkod:** TMKT39, TEN2
- Tid:** 24/4 2014 klockan 8-12
- Sal:** TER3
- Antal uppgifter:** 5
- Antal sidor:** 5 sidor + lagertabeller och formler
- Ansvarig examinator:** Johan Ölvander
johan.olvander@liu.se
- Telefon under skrivtid:** Johan Ölvander
013-281711
- Besöker saken ca kl.:** Johan Ölvander besöker salen ca 9:30
- 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!*

1. Teorifrågor

Besvara följande frågor. Varje delfråga ger 2p.

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. Studera nedanstående skruvförband. Skruven är av stål med E-modulen 210 GPa och av dimension M24 och klass 12.9. Vardera plåt är 25 mm tjock och skruven är 80 mm lång.



- i. Vilken av nedanstående värde är en rimlig approximation av skruvens styvhet i förbandet?

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1511 kN/mm | <input type="checkbox"/> 1900 kN/mm |
| <input type="checkbox"/> 0,944 kN/mm | <input type="checkbox"/> 1188 kN/mm |

- ii. Med vilken axiell belastning kan skruven belastas om en säkerhetsfaktor 5 relativt sträckgränsen skall garanteras?

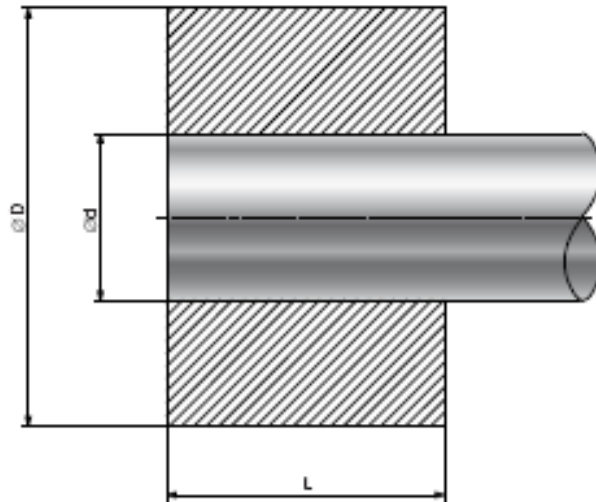
- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 77,7 kN | <input type="checkbox"/> 86,3 kN |
| <input type="checkbox"/> 97,7 kN | <input type="checkbox"/> 108,6 kN |

- b. Ange om följande påståenden är sanna (S) eller falska (F).

- Trumbromsar kan göras självlåsande.

- Genom förspänningen kan skruven tåla högre laster.

- c. Ett krympförband består av en axel i mässing som är pressad i ett nav av stål enligt bilden nedan.



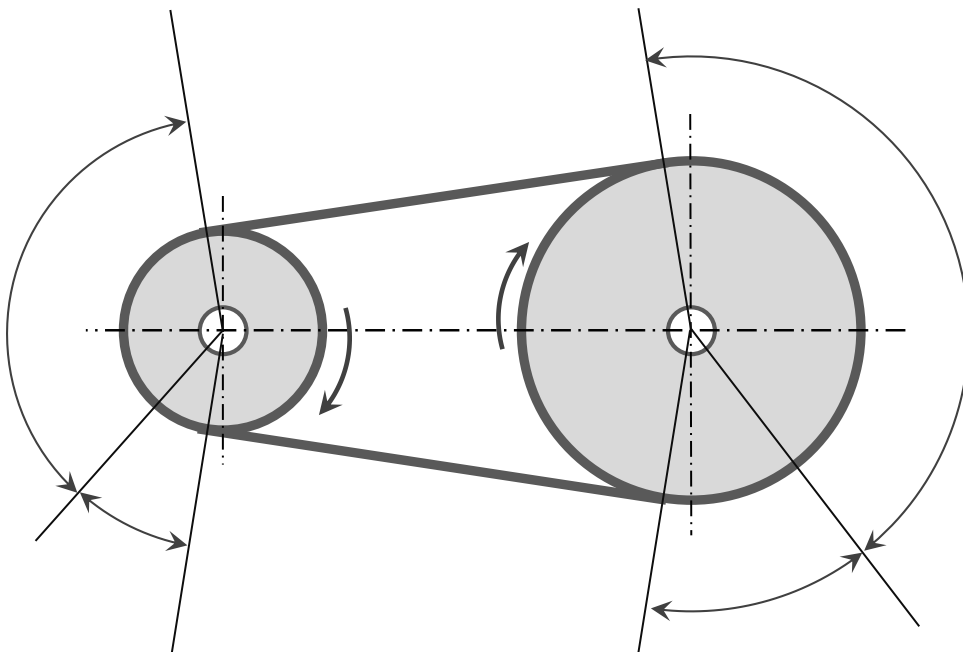
- i. Vad händer med greppet om man värmer förbandet?

Greppet: minskar förblir oförändrat ökar

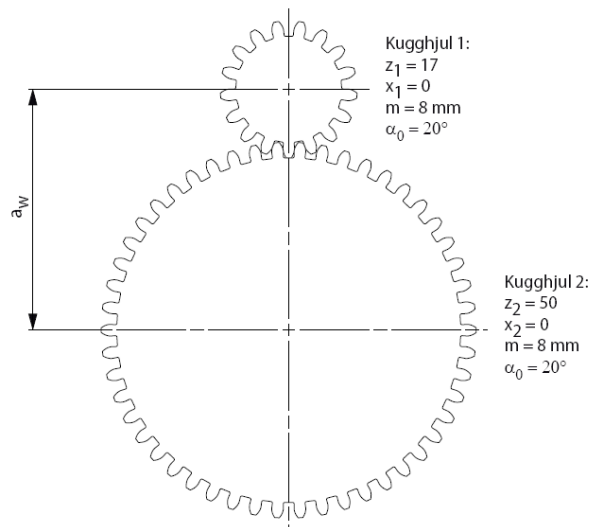
- ii. Vid monteringen uppstår ett fel och endast halva navet kommer upp på axeln. Hur påverkas det moment som förbandet maximalt kan överföra.

Momentet: minskar förblir oförändrat ökar

- d. För båda hjulen i remväxeln i figuren, peka ut glid- och vilozoner.



- e. I nedanstående kuggväxel finns ett glapp på 0,6 mm. Vad händer med glappet och ingreppsvinkeln om axelavståndet a_w ökas?



- Glappet kommer att:

minska vara oförändrat öka

- Ingreppsvinkeln kommer att:

minska vara oförändrad öka

2. Kopplingar

En flerskivig (insliten) lamellkoppling skall accelerera en tröghetslast på $1,75 \text{ kgm}^2$ från varvtalet $\omega = 120 \text{ varv/min}$ till 800 varv/min på 2 sekunder.

Följande data gäller för kopplingen:

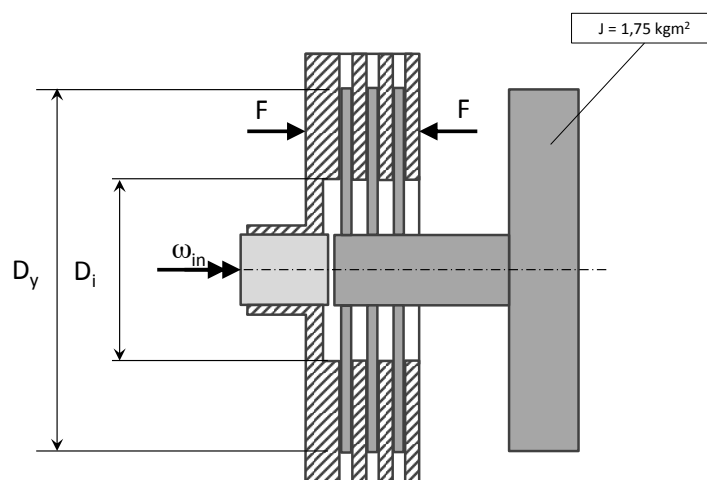
$$\mu = 0,45$$

$$D_i = 80 \text{ mm}$$

$$D_y = 140 \text{ mm}$$

Vilken kraft måste man trycka ihop kopplingen med, för att kunna överföra tillräckligt moment för att accelerera lasten på angiven tid? (10p)

(Tips: Allmänt gäller att momentet $M = J\dot{\omega}$, antag konstant acceleration.)



3. Fjädrar

En fjädring till ett fordon skall dimensioneras. Vid normalbelastningen 2000N på ett av hjulen är fjäderlängden 230mm. Full belastning på hjulen motsvarar 4000N och rörelsen från normalläget skall då vara 80mm.

Tråddiametern skall väljas ur standarddimensionerna 8, 10, 12, 15, 18 och 20 mm. Skruvfjäders medeldiameter skall väljas så liten som möjligt. Materialet är stål med en elasticitetsmodul på 210000 MPa och en skjuvmodul på 81000 MPa. Vridskjuvspänningen vid full belastning får vara högst 640 MPa (enbart vridning beaktas). Säkerställ att trådvarven inte kommer i kontakt med varandra samt att fjädern inte knäcks vid belastningen. För att undvika knäckning måste kvoten mellan fjäderns fria längd och medeldiametern vara större än 2,6, dvs. $2,6 \cdot D \geq l_0$.

Bestäm tråddiametern (d), antalet fria varv (n) och fjäderns medeldiameter (D). (10p)

4. Rakkugg

Två normala rakkuggjul av stål med E-modulen 200000 MPa skall samverka i en kuggväxel. Deras data ges av tabellen nedan.

Hjul	m [mm]	α [°]	z	X
1	3	20	17	0,2
2	3	20	35	0,7

- Vad blir axelavståndet om växeln är glappfri? (4p)
- Hur stor måste bredden på kugghjulen vara om de skall kunna överföra 150 Nm på stora hjulet utan att yttrycket i rullpunkten överstiger 550 MPa? (6p)

5. Lager

Till en axel ska det väljas ett spårkullager som kan ta upp både den radiella- och den axiella kraft som uppstår i lagret.

Ett lämpligt spårkullager kan vara, SKF 6317 med 85 mm håldiameter, som kommer att belastas med en radiell last $F_r = 14\,000$ N och en axiell last $F_a = 3000$ N.

Övrig data:

97% tillförlitlighet. Normalt radialglapp.

Smörjförhållandena är sådana att vi använder oss av LGMT 2.

Driftmiljö, Lätt förorenad.

Drifttemperaturen antas ligga på 65 °C

Lagret är tänkt att vara monterat i ett vindkraftverk.

Beräkna den nominella livslängden vid 500 r/min med SKFs nya livslängdsteori, utan tätningar (10p).

Lösningförslag Uppgift 1

Fråga a

- i. Vilken av nedanstående värde är en rimlig approximation av skruvens styvhet i förbandet? **1511 kN/mm**
- ii. Med vilken axiell belastning kan skruven belastas om en säkerhetsfaktor 5 relativt sträckgränsen skall garanteras? **77,7 kN**

Fråga b

- i. Trumbromsar kan göras självlåsande **S**
- ii. Genom förspänningen kan skruven tåla högre laster **F**

Fråga c.

- i. Vad händer med greppet om man värmer förbandet? **Greppet ökar**
- ii. Vid monteringen uppstår ett fel och endast halva navet kommer upp på axeln. Hur påverkas det moment som förbandet maximalt kan överföra? **Momentet minskar**

Fråga d.

Se Fig. 15.1-3

Fråga e.

- i. Glappet kommer att: **Öka**
- ii. Ingreppsvinkeln kommer att: **Öka**

Lösningförslag Uppgift 2

INDATA

Tröghetslast	J	1,75 kgm ²	
Vinkelhastighet	ω_0	120 rpm	
	ω_1	800 rpm	
Tidsintervall	ΔT	2 s	
Innerdiameter	D_i	80 mm	0,08 m
Ytterdiameter	D_y	140 mm	0,14 m
Friktionskoefficient	μ	0,45	
Vinkelhastighet	ω_0^*	12,56637 rad/s	$\omega_0^* = 2\pi\omega_0/60$
	ω_1^*	83,7758 rad/s	$\omega_1^* = 2\pi\omega_1/60$
Vinkelaccelerationen	$\ddot{\Theta}$	35,60472 rad/s ²	$\ddot{\Theta} = (\omega_1 - \omega_0)/\Delta T$
Accelerationsmoment	M	62,30825 Nm	$M = \ddot{\Theta} \cdot J$
Antal friktionsytor	n	6	
Erforderlig kraft	F	419,5842 N	$F = 4M/(n \cdot \mu \cdot (D_i + D_y))$

Lösningförslag Uppgift 3

INDATA

Normalbelastning	F_1	2000 N					
Full belastning	F_2	4000 N					
Fjäderkängd vid F_1	l_1	230 mm		0,23 m			
Rörelse från F_1 till F_2	Δl	80 mm		0,08 m			
Möjliga tråddiametrar	d [mm]	8	10	12	15	18	20
E-modul	E	210000 MPa					
Skjuvmodul	G	81000 MPa					
Max vridskjuvspänning	σ_v	640 MPa					

Löses mha passningsräkning efter att ha valt en tråddiameter:

Vald tråddiameter	d	15 mm	0,015 m	
Fjäderkonstant	c	25 N/mm	$c = (F_2 - F_1) / \Delta l$	
Fjäders fria längd	l_0	310 mm	0,31 m	$l_0 = l_1 + \Delta l$
Min medeldiameter	D_{min}	119,23 mm	0,11923 m	$D_{min} = l_0 / 2,6$
Total deformation	Δl_{tot}	160 mm	0,16 m	$\Delta l_{tot} = 2 * \Delta l$
Passningsräkning:				
Bottningsvilkor =>	n	7	$n = (l_0 - \Delta l_{tot}) / (1,25 * d) - 1$	
fjäderkonstant =>	D	143,08 mm	$D = ((G * d^4) / (8 * n * c))^{1/3}$	
Vridspänning =>	σ_v	431,82 MPa	$\sigma_v = 8 * F_2 * D / (\pi * d^3)$	

Då $D > D_{min}$ och $\sigma_v < 640$ MPa är den valda tråddiametern OK.


```

exam20140414_4.m
% 2014-04-24, uppgift 4
% Rakkuggväxel
m=0.003; %Model [m]
alfa0=20*pi/180; % [rad]
z1=17;
z2=35;
x1=0.2;
x2=0.7;
M=150; %[Nm]
S_max=550e6; % Sigma max [Pa]
E=200e9; % E-modul [Pa]

%Sökt: a) a_w b) b_min

%Lösning:
% fs. s. 52: a_w=m/2 * (z1+z2) *
cos(alfa_0) / cos(alfaw)
% fs. s. 53: Följers ekvation
% j=0
alfaw_inv=tan(alfa0)-alfa0+2*(x1+x2)/(z
1+z2)*tan(alfa0);
% alfaw_inv=0.0275
% Appendix 1:
% alfa1=24.3 => inv1=0.02740
% alfa2=24.4 => inv2=0.02776
alfa1=24.3;
alfa2=24.4;
inv1=0.0274;
inv2=0.02776;
alfaw=alfa1+(alfa2-alfa1)/(inv2-inv1)*(
alfaw_inv-inv1);
% alfaw=24.3287 grader
alfaw=alfaw*pi/180;

```

Lösningförslag: uppg 5

Beräkna spårkullagret **SKF 6317**,

sid 310, enl. SKF:s nya livslängdsteorin.

Sidorna 52-53 och 298-299

Lagret diameter $d = 85$ mm och $D = 180$ mm.

Medeldiameter = **132,5** mm

Belastning $F_r = 14\ 000$ N och $F_a = 3000$ N.

Varvtalet **500 r/min**.

Arbetstemperatur **65°C**

97% tillförlitlighet, normalglapp

Renhetsgrad: **Lätt förorenad** $\eta_c = 0,4 - 0,6$

Smörjförhållande som används är ett universalfett som heter **LGMT 2**.

För att uppskatta livslängden: **Vindkraftverk**,

30 000 – 100 000 tim. Tabell 8, sid 72.

Börja med att skriva in de data från sidan 310 som inte finns med i inledningen.

$$C = 140 \cdot 10^3 \text{ N}$$

(sid 53)

$$a_1 = 0,44 \text{ (97\% tillförlitlighet)}$$

$$C_o = 96,5 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$P_u = 3,55 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$f_o = 13$$

$$\text{SKF:s nya livslängdsteori: } L_{nmh} = \frac{10^6}{60n} \cdot a_1 \cdot a_{SKF} \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

(Sid 52)

Sök P.

(Sid 299)

$$f_o \cdot F_a / C_o = 13 \cdot \frac{3000}{96500} \approx 0,40 \quad \text{Tabell 5 sid 299 ger } e \approx \mathbf{0,23}$$

$$F_a / F_r = \frac{3000}{14000} \approx \mathbf{0,21} \quad F_a / F_r \leq e$$

$$P = F_r$$

Sök a_{SKF} . Använd **Diagram 1**, som gäller för radialkullager, på sidan 54. För att använda detta måste viskositetsförhållandet först räknas fram:

$$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1}$$

$\nu_1 =$ enl. **diagram 5** på sidan 60 (sid 254), blir $\approx 19 \text{ mm}^2/\text{s}$

$\nu =$ enl. **diagram 6** på sidan 61 (sid 255), men innan **Diagram 6** kan användas måste erforderlig viskositet vid drifttemperatur tas fram.

Börja på sidan 246 leta reda på smörjfettet **LGMT 2**.

Avläs i kolumnen för Basoljeviskositet vid 40°C, **110 mm²/s** för **LGMT 2**.

Gå till **Tabell 3**, på sid 59, avläs i kolumnen för Kinematiska viskositetsgränser vid 40°C.

Viskositetsklass **ISO VG 100** avläses.

Diagram 6 ger nu vid **drifttemperatur 65°C** och **ISO VG 100**, $\nu \approx 38 \text{ mm}^2/\text{s}$

$$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1} = \frac{38}{19} \approx 2$$

För att kunna använda **Diagram 1** måste värdet på X-axeln tas fram med hjälp av formel

$$\eta_c \frac{P_u}{P},$$

där η_c betecknar föroreningsnivån.

(Sid 62)

Faktorn η_c blir $\eta_c = 0,4$, med $d_m = 132,5 \text{ mm}$ och lättförorenad. Välj alltid den lägsta faktorn!

$$\eta_c \frac{P_u}{P} = 0,4 \frac{3,55 \cdot 10^3}{14 \cdot 10^3} \approx 0,10$$

Åter till **Diagram 1** där vårt $\kappa \approx 2$

a_{SKF} blir nu $\approx 6,0$

SKF 6217 är ett SKF

Explorerlager!

$$\text{SKFs nya livlängdsteori : } L_{3mh} = \frac{10^6}{60 \cdot 500} \cdot 0,44 \cdot 6,0 \left(\frac{140 \cdot 10^3}{14 \cdot 10^3} \right)^3 = 88 \text{ 000 tim}$$

För ett vindkraftverk så rekommenderas livslängden att ligga mellan 30000 till 100000 tim.