

# TENTAMEN i

## TMKT39 MASKINELEMENT för DPU3 och M3

Torsdagen den 31 mars 2016, kl. 8-12

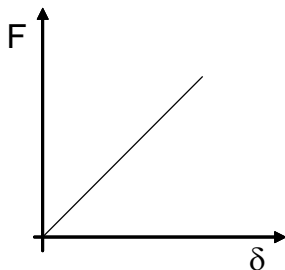
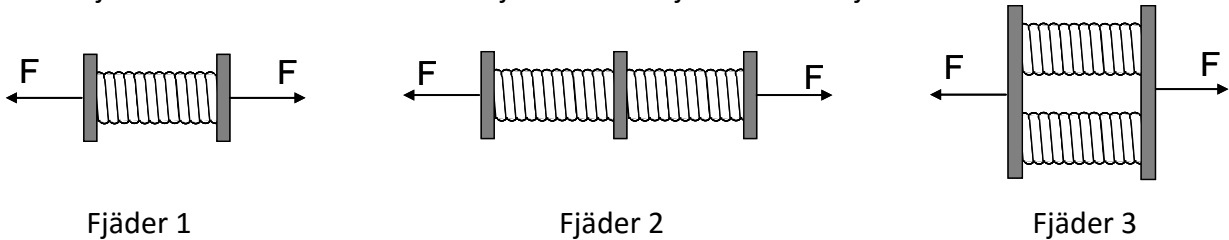
<b>Kurs- och provkod:</b>	TMKT39, TEN2
<b>Tid:</b>	31/3 2016 klockan 8-12
<b>Sal:</b>	TER1, TER2
<b>Antal uppgifter:</b>	5
<b>Antal sidor:</b>	6
<b>Ansvarig examinator:</b>	Mikael Axin mikael.axin@liu.se
<b>Telefon under skrivtid:</b>	Mikael Axin 013 – 28 57 83
<b>Besöker saken ca kl.:</b>	Mikael Axin besöker salen ca 9:30
<b>Kursadministratör:</b>	Lisbeth Hägg, tel. 013 – 28 11 49, lisbeth.hagg@liu.se
<b>Tillåtna hjälpmedel:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Formelsamlingar i Maskinelement, hållfasthetslära, mekanik, samt matematik/fysik</li><li>• Skriv och ritdon</li><li>• Räknare</li></ul>
<b>Betygsgränser:</b>	23-31 poäng ger betyg 3 32-40 poäng ger betyg 4 41-50 poäng ger betyg 5
<b>Övrigt:</b>	<b><i>Glöm inte att lämna in alla blad som används till lösningar! Lycka till!</i></b>

## 1. Teorifrågor

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. Fjädrar

Nedanstående figur visar tre fjäderarrangemang bestående av identiska fjädrar. Karaktäristiken för fjäder 1 beskrivs av kraft-deformationsdiagrammet nedan. Visa hur fjäderkaraktäristiken ser ut för fjäder 2 och 3 jämfört med fjäder 1.

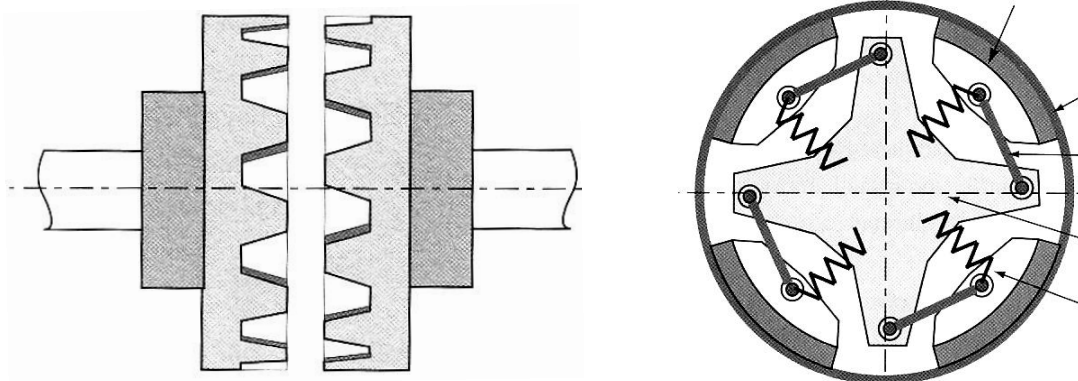


### b. Kuggväxlar

Nämn två fördelar med snedkugg jämfört med rakkugg.

### c. Kopplingar

Vad kallas nedanstående kopplingar?



### d. Planetväxlar

Ange två typiska användningsområden för planetväxlar.

### e. Bromsar

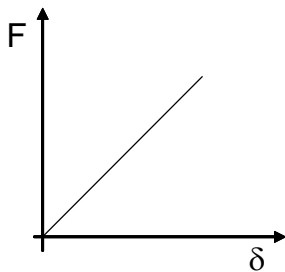
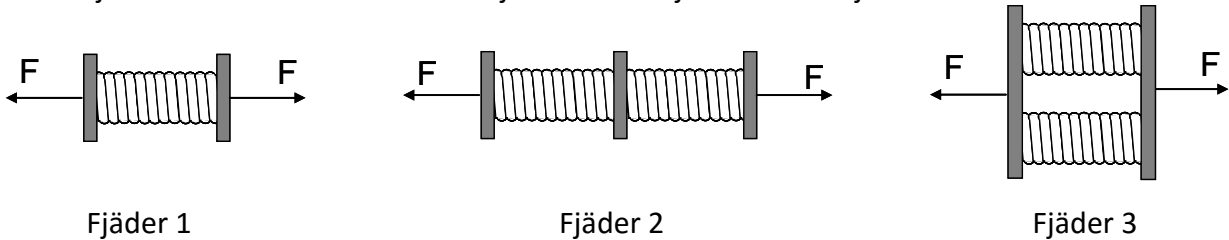
Rita en trumbroms med en minusback. Kan en minusback bli självhämmande?

## 1. Lösning

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. Fjädrar

Nedanstående figur visar tre fjäderarrangemang bestående av identiska fjädrar. Karaktäristiken för fjäder 1 beskrivs av kraft-deformationsdiagrammet nedan. Visa hur fjäderkaraktäristiken ser ut för fjäder 2 och 3 jämfört med fjäder 1.



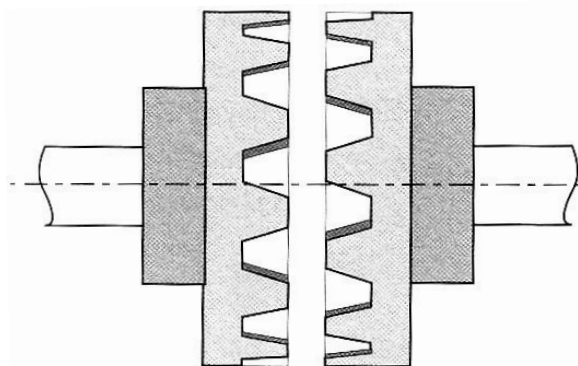
### b. Kuggväxlar

Nämna två fördelar med snedkugg jämfört med rakkugg.

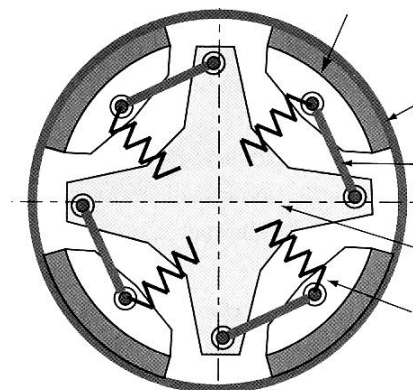
**Mindre kraftvariationer i ingreppet, lägre ljudnivå, mindre vibrationer**

### c. Kopplingar

Vad kallas nedanstående kopplingar?



**Klokkoppling**



**Centrifugalkoppling**

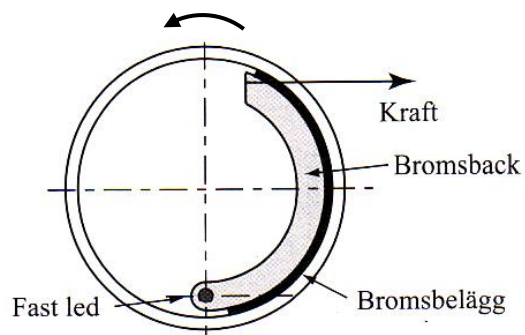
**d. Planetväxlar**

Ange två typiska användningsområden för planetväxlar.

**Differential, navväxel i cyklar, automatväxellådor i bilar, navväxel i lastbilar och bussar, växel mellan turbin och propeller i turboprop flygplansmotorer,...**

**e. Bromsar**

Rita en trumbroms med en minusback. Kan en minusback bli självhämmande?

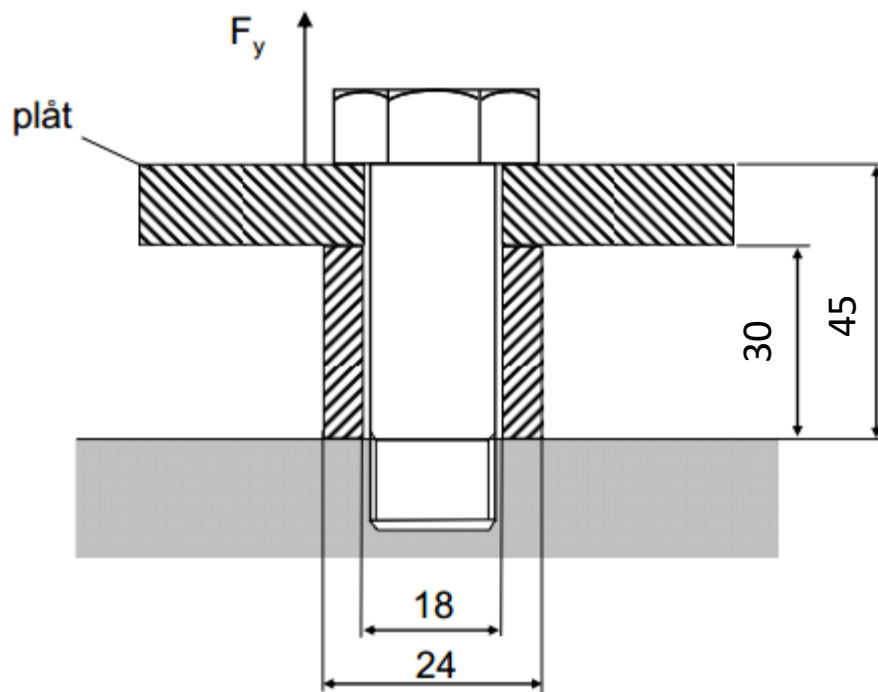


**Den kan inte bli självhämmande**

## 2. Skruvförband

Skruvförbandet nedan består av en M16 skruv, en plåt som kan betraktas som stel, och en hylsa. Skruven och hylsan har E-modulen  $210 \text{ GPa}$ . Friktionskoefficienten är  $0,14$  överallt och alla mått i figuren är i  $\text{mm}$ .

- Hur stort nyckelmoment måste man dra åt skruven med för att förbandet inte ska läcka när kraften  $F_y = 10 \text{ kN}$  anbringas? (8p)
- Vad blir den maximala spänningen i skruven då kraften  $F_y$  verkar? (2p)



## 2. Lösning

M16 skruv:  $d = 16 \text{ mm}$   
 $d_1 = 13,835 \text{ mm}$   
 $d_2 = 14,701 \text{ mm}$   
 $N = 24 \text{ mm}$   
 $P = 2 \text{ mm}$   
 $\alpha = 30^\circ$

$E = 210 \text{ GPa}$   
 $\mu = 0,14$   
 $l_s = 45 \text{ mm}$   
 $l_h = 30 \text{ mm}$   
 $d_y = 24 \text{ mm}$   
 $d_h = 18 \text{ mm}$   
 $F_y = 10 \text{ kN}$

- a. Skruven är endast gängad i underlaget

$$k_s = \frac{A_s E}{l_s} = \frac{\pi d^2 E}{4 l_s} = 938 \text{ MN/m}$$

$$k_h = \frac{A_h E}{l_h} = \frac{\pi (d_y^2 - d_h^2) E}{4 l_h} = 1385 \text{ MN/m}$$

Förbandet börjar glappa när  $F_f = 0$

$$F_f = 0 = F_0 - F_y \frac{k_h}{k_s + k_h} \Leftrightarrow F_0 = F_y \frac{k_h}{k_s + k_h} = 5,96 \text{ kN}$$

$$M_{g,\text{åtdr}} = F_0 \frac{d_2}{2} \tan(\rho + \varphi) = 9,0 \text{ Nm}$$

$$\text{där } \tan \rho = \frac{\mu}{\cos \alpha}$$

$$\tan \varphi = \frac{P}{\pi d_2}$$

$$M_u = F_0 \mu \frac{N + d_h}{4} = 8,8 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{nyckel}} = M_{g,\text{åtdr}} + M_u = 17,8 \text{ Nm}$$

- b. Kraft i skruven då  $F_y$  verkar (all yttre last i skruven)

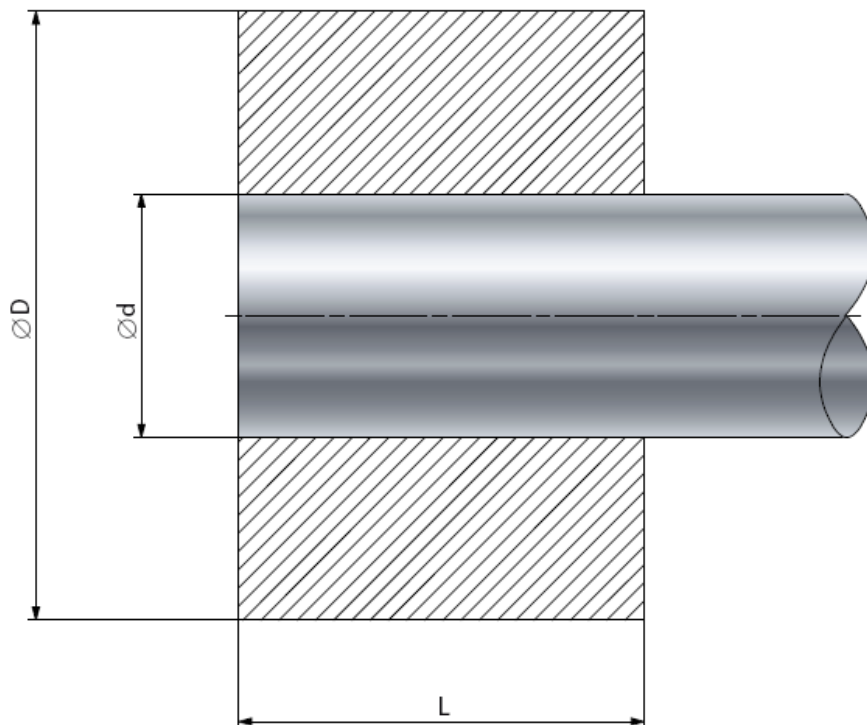
$$F_s = F_0 + F_y \frac{k_s}{k_s + k_h} = 10 \text{ kN}$$

Maximal spänning där skruven är som svagast, alltså där den är gängad

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{F_s}{A_s} = \frac{16 F_s}{\pi (d_1 + d_2)^2} = 62,5 \text{ MPa}$$

### 3. Axelförband

Ett nav skall monteras på en axel. Både nav och axel är gjorda av stål. Förbandet ska dimensioneras för att överföra vridmomentet 180 Nm utan att glidning uppstår. Samtidigt får effektivspänningen i nav och axel inte överstiga 300 MPa. Inom vilka gränser får det diametrala greppet variera för att förbandet ska uppfylla dessa designkriterier?



Axeldiameter,  $d=35 \text{ mm}$   
Navets längd,  $L=40 \text{ mm}$   
Friktionskoefficient,  $\mu=0,1$

Navets ytterdiameter,  $D=60 \text{ mm}$   
Elasticitetsmodul,  $E=210 \text{ GPa}$

### 3. Lösning

$M_v = 180 \text{ Nm}$   
 $\sigma_{e,max} = 300 \text{ MPa}$   
 $d = 35 \text{ mm}$   
 $D = 60 \text{ mm}$   
 $L = 40 \text{ mm}$   
 $E = 210 \text{ MPa}$   
 $\mu = 0,1$

Minsta erforderliga kontakttryck

$$\frac{2M_v}{d} = \mu\pi p_{min} dL \Leftrightarrow p_{min} = \frac{2M_v}{\mu\pi d^2 L} = 23,4 \text{ MPa}$$

$$\kappa = \frac{d}{D} = \frac{35}{60} \quad \kappa_0 = \frac{d_0}{d} = 0$$

Minsta erforderliga diametrala grepp

$$\Delta_{min} = \frac{p_{min} d}{E} \left( \frac{1 + \kappa^2}{1 - \kappa^2} + 1 \right) = 11,8 \mu\text{m}$$

Tresca är mer konservativ än von Mises

Axel:  $p_{max,axel} = \sigma_{e,max} = 300 \text{ MPa}$

$$\text{Nav: } \sigma_{e,max} = \frac{2p_{max,nav}}{1 - \kappa^2} \Leftrightarrow p_{max,nav} = \frac{\sigma_{e,max}(1 - \kappa^2)}{2} = 99,0 \text{ MPa}$$

Navet är dimensionerande,  $p_{max} = 99,0 \text{ MPa}$

$$\Delta_{max} = \frac{p_{max} d}{E} \left( \frac{1 + \kappa^2}{1 - \kappa^2} + 1 \right) = 50,0 \mu\text{m}$$

$$11,8 \mu\text{m} \leq \Delta \leq 50,0 \mu\text{m}$$

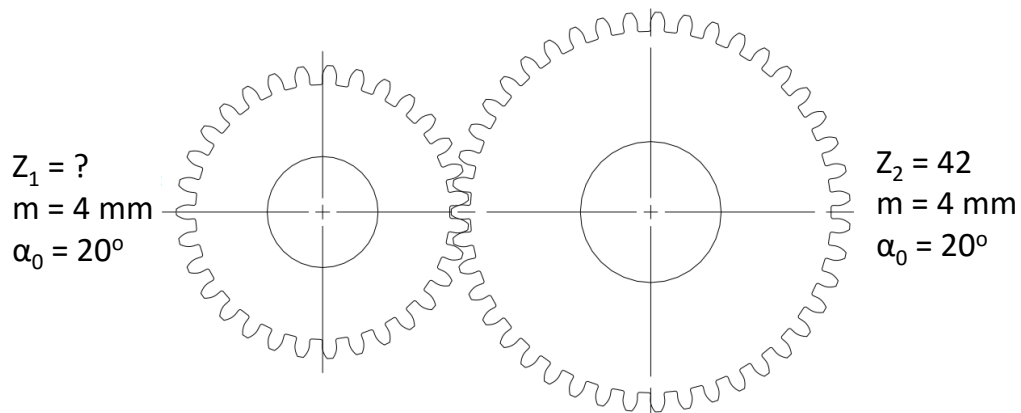


#### 4. Kuggväxlar

En kuggväxel ska dimensioneras. De två kugghjulen är okorrigerade och ska passas in så att växeln blir glappfri. Kugghjulen är gjorda av stål som har E-modulen 210 *GPa*.

- Välj antalet kuggar på det första kugghjulet så att axelavståndet mellan de två axlarna blir 140 mm. (3p)
- Bestäm bredden på kugghjulen så att effekten 2,1 kW kan överföras när hjul 1 roterar med varvtalet 900 rpm, utan att flankpåkänningen i rullpunkten överstiger 350 MPa. (7p)

(Om du inte fick fram antalet kuggar för hjul 1 i uppgift a så antag ett rimligt värde för att kunna lösa uppgift b)



## 4. Lösning

$E = 210 \text{ GPa}$   
 $m = 4 \text{ mm}$   
 $z_2 = 42$   
 $\alpha_0 = 20^\circ$   
 $a_w = 140 \text{ mm}$   
 $P = 2,1 \text{ kW}$   
 $n_1 = 900 \text{ varv/min}$   
 $\sigma_H = 350 \text{ MPa}$

a. Okorrigerad och glappfri växel  $\Rightarrow \sigma_w = \sigma_0$

$$a_w = \frac{m}{2} (z_1 + z_2) \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_w} \Leftrightarrow z_1 = \frac{2a_w}{m} - z_2 = 28$$

b.  $M_1 = \frac{P}{\omega_1} = \frac{P}{\frac{2\pi n_1}{60}} = 22,3 \text{ Nm}$

$$r_{b_1} = \frac{mz_1}{2} \cos \alpha_0 = 52,6 \text{ mm}$$

$$N = \frac{M_1}{r_{b_1}} = 423 \text{ N}$$

$$r_{k_1} = r_{b_1} \tan \alpha_w = 19,2 \text{ mm}$$

$$r_{k_2} = r_{b_2} \tan \alpha_w = \frac{mz_2}{2} \cos \alpha_0 \tan \alpha_w = 28,7 \text{ mm}$$

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{NE}{b} \left( \frac{1}{r_{k_1}} + \frac{1}{r_{k_2}} \right)} \Leftrightarrow b = \frac{0,418^2}{\sigma_H^2} NE \left( \frac{1}{r_{k_1}} + \frac{1}{r_{k_2}} \right) = 11,0 \text{ mm}$$

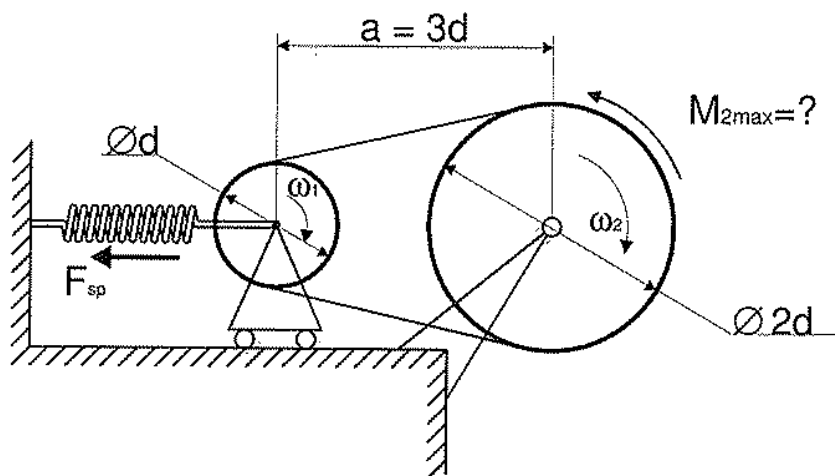
## 5. Remväxlar

En planremsväxel enligt figuren använder en fjäder för att ge en konstant axelbelastning på hjul 1, som sedan driver hjul 2. Beräkna maximalt moment på utgående hjul. (10p)

Diameter,  $d = 100 \text{ mm}$

Fjäderkraft,  $F_{sp} = 1200 \text{ N}$

Friktionskoefficient,  $\mu = 0,4$



## 5. Lösning

$$d = 100 \text{ mm}$$

$$F_{sp} = 1200 \text{ N}$$

$$\mu = 0,4$$

$$a = 3d = 300 \text{ mm}$$

$$R_1 = d/2 = 50 \text{ mm}$$

$$R_2 = d = 100 \text{ mm}$$

$$\sin \beta = \frac{R_2 - R_1}{a} \Leftrightarrow \beta = \sin^{-1} \left( \frac{R_2 - R_1}{a} \right) = 9,59^\circ = 0,167 \text{ rad}$$

Det slirar först vid det lilla hjulet

$$\alpha_1 = \pi - 2\beta = 2,807 \text{ rad} = 160,81^\circ$$

$$F_{2,e} = F_{1,e} e^{\mu\alpha_1} \Leftrightarrow F_{1,e} = F_{2,e} e^{-\mu\alpha_1}$$

Kraftjämvikt på det lilla hjulet

$$F_{sp} = (F_{1,e} + F_{2,e}) \cos \beta \Leftrightarrow F_{2,e} = \frac{F_{sp}}{(e^{-\mu\alpha_1} + 1) \cos \beta} = 918 \text{ N}$$

Momentjämvikt på det stora hjulet

$$M_2 = (F_2 - F_1)R_2 = (F_{2,e} - F_{1,e})R_2 = F_{2,e}(1 - e^{-\mu\alpha_1})R_2 = 62 \text{ Nm}$$