

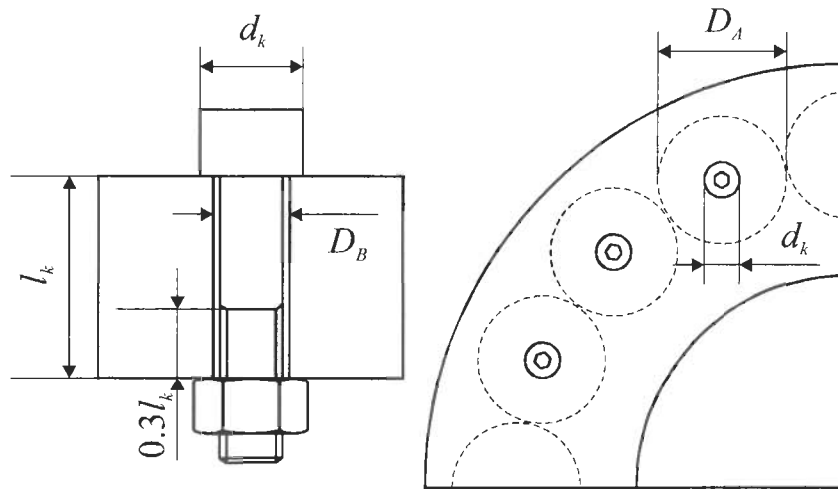
Nimi: \_\_\_\_\_ Op.num: \_\_\_\_\_

Kirjallisuuden käyttö kielletty. Vastaukset tehtäväpapereihin, jatka tarvittaessa paperin toiselle puolelle.

### Tehtävä 1

Paineastian kannen ruuviliitoksessa on 16 M16 ruuvia ja sitä kuormittaa 200 kN kokonaisvetovoima. Esikiristys yhtä ruuvia kohti on 15 kN. Oletetaan vetokuormituksen jakautuvan tasan ruuveille (taivutus ja epäkeskeisyys yms. jätetään ottamatta huomioon).

| Kierre | d/mm | P/mm | d <sub>2</sub> /mm | d <sub>3</sub> /mm | R <sub>min</sub> /mm | A <sub>3</sub> /mm <sup>2</sup> | A <sub>S</sub> /mm <sup>2</sup> |
|--------|------|------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| M16    | 16   | 2.0  | 14.701             | 13.546             | 0.250                | 144                             | 157                             |

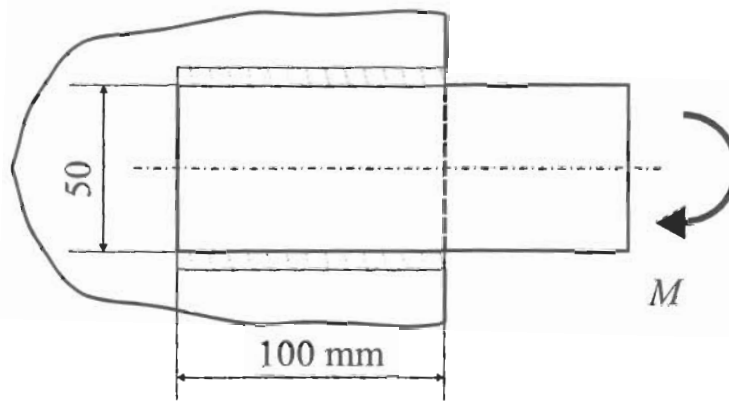


$l_k = 60$ ,  $d_k = 24$ ,  $D_A = 100$ ,  $D_B = 17$  mm. Ruuvien ja alustan kimmomoduuli on 210 GPa.

- määritä ruuvien ja alustan jousivakiot
- mikä on yhden ruuvien osuus ulkoisesta kuormituksesta
- määritä kokonaisvoima, jolla liitos aukeaa eli kansi alkaa vuotaa

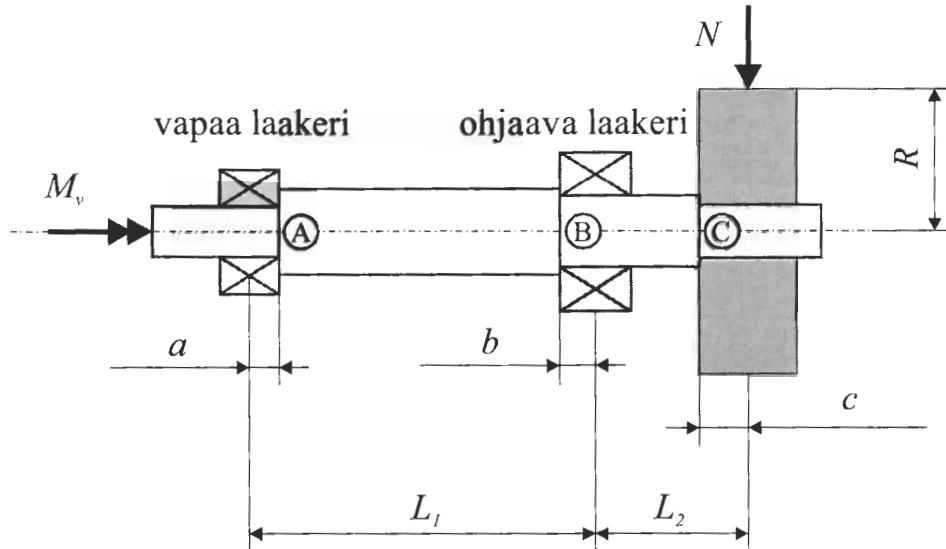
## Tehtävä 2

Kuvan hitsausliitosta kuormittaa taivutusmomentti  $M = 5 \text{ kNm}$ . Mitoita kuvan kaksi vaakahitsiä tälle staattiselle kuormitukselle ns. yksinkertaisempaa laskentatapaa käyttämällä SFS2373:n mukaisesti. Levyt ovat terästä S355, jolle  $\beta = 0.9$  ja varmuusluvaksi halutaan 1.5. Tarkista myös ovatko SFS2373:n hitsin dimensioille määrittelemät ehdot voimassa.



### Tehtävä 3

Pyörien teräskappaleiden hiontaa varten on suunnitella kuvan mukainen konstruktio, jossa hiomakivi on asennettu umpiakselille puristusliitoksella ja laakeroiteja varten akseliin on tehty olakkeet. Hiontavoima (normaalivoima)  $N = 300 \text{ N}$ . Kitakerroin  $\mu$  hionnan aikana on likimain 1.0, varmuusluvaksi halutaan 1.5 ja akseli on S355 terästä, jonka taivutusvaihtolujuus on 260 MPa. Lovenvaikutusluvut ovat seuraavat: A)  $K_{ft} = 1.5$ , B)  $K_{ft} = 1.5$ , C)  $K_{ft} = 1.9$



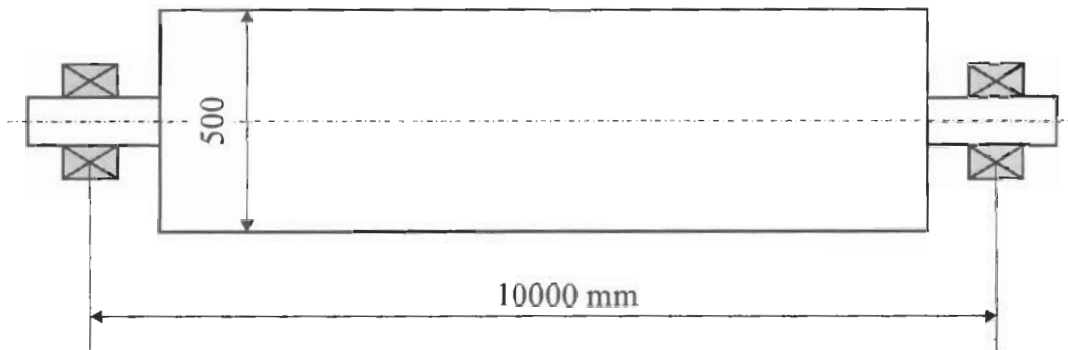
$$L_1 = 400, L_2 = 100, a = 20, b = 20, c = 25, R = 150 \text{ mm}$$

Määritä akselin kriittisin kohta ja laske sille halkaisija Söderbergin menetelmää käyttäen.

#### Tehtävä 4

4000 kg painava tela pyörii normaalissa käyttötilanteessa ratanopeudella 1000 m/min (telan ulkokehän kehänopeus), mutta huoltokatkosten aikana tela saattaa olla pyörimättä useamman vuorokauden. Tela on laakeroitu pallomaisilla rullalaakereilla ja sen päämitat ovat kuvan mukaiset. Laakereiden kantavuusluvut ja säteis/akksiaalikerroimet ovat

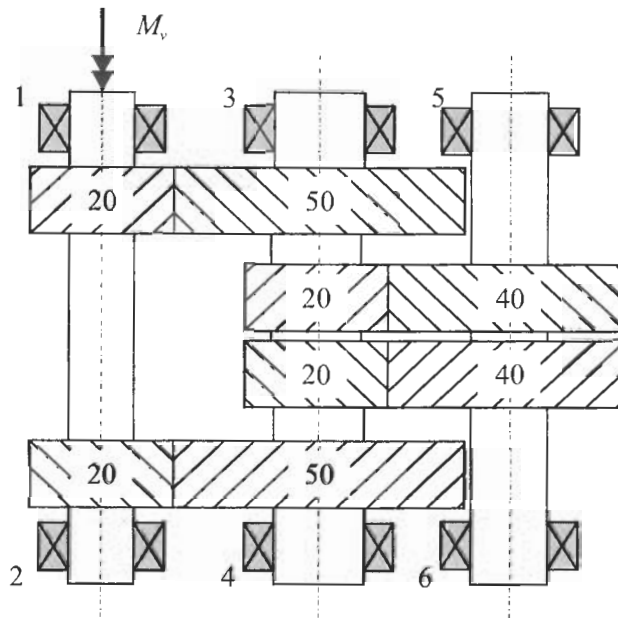
$C = 122 \text{ kN}$ ,  $C_{\theta} = 146 \text{ kN}$ ,  $X = 1.0$ ,  $Y = 2.3$ ,  $X_{\theta} = 1.0$ ,  $Y_{\theta} = 2.2$



- määritä laakereiden nimelliskäyttöikä tunteina
- tarkista ylittyykö laakereiden staattinen kantokyky, kun varmuusluku on 2.5

### Tehtävä 5

Kuvan hammasvaihdetta käyttävän moottorin **teho** on 100 kW ja pyörimisnopeus 500 kierrosta minuutissa. Kaikki hammaspyörät ovat vinohampaisia ja hammaspyörien hammasluvut on esitetty kuvassa samoin kuin pyörien vinouskulmien suunnat. Kaikkien pyörien normaalimoduuli on 4 mm, ryntökulma  $20^\circ$  ja vinouskulma  $28^\circ$ .



- määritä vaihteen kokonaisvälityssuhde
- määritä vaihteen hammaspyörien jakohalkaisijat
- määritä laakereiden 1-6 aksiaalisuuntaiset tukireaktiot
- määritä laakereiden 1-6 muut tukireaktivoimat, kun hammaspyörät on sijoitettu symmetrisesti vaihteen laakeroinnin symmetriatason suhteen

## 2403010 Koneensaopin perusteet, tentin kaavakokoelma

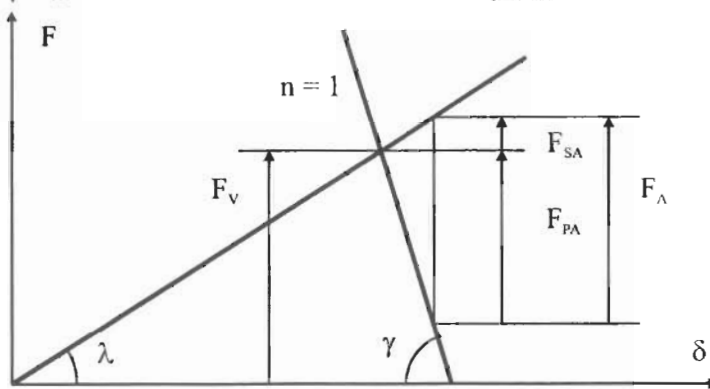
(Jaetaan tentin mukana) Oppikirja: Koneenosien suunnittelu, WSOY 2003

$$k = \sum_i k_i \quad \frac{1}{k} = \sum_i \frac{1}{k_i} \quad W = \sum_i \frac{1}{2} k_i f_i = \frac{1}{2} F f^2$$

$$\frac{1}{k_s} = \frac{d}{E_s} \left( \frac{0.5}{A_3} + \frac{0.8}{A_N} \right) + \sum_i \frac{l_i}{E_s A_i} \quad k_p = \frac{A_{red} E_p}{l_k} \quad \Phi = \frac{k_s}{k_s + k_p}$$

$$A_{red} = \frac{\pi}{4} (d_k^2 - D_B^2) + \frac{\pi}{8} d_k (D_A - d_k) (x+2)x$$

$$x = \left( \frac{l_k}{D_A} \right)^{0.2} \quad x = \sqrt[3]{\frac{l_k d_k}{D_A^2}} \quad x = \left( \frac{l_k}{d_k + l_k} \right)^{0.2} \quad x = \sqrt[3]{\frac{l_k d_k}{(d_k + l_k)^2}}$$



$$M_A = \frac{1}{2} F_M \left( 1.155 \mu_G d_2 + \mu_K D_{km} + \frac{P}{\pi} \right) \quad D_{km} = \frac{1}{2} (d_k + D_B)$$

$$\sigma_{vert} = \beta \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2 + 3\tau_{II}^2} \quad \sigma_{vert} \leq f_d \quad \sigma_1 \leq f_d$$

$$\sigma_{vert} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2 + 3\tau_{II}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}} \quad \sigma_w = \frac{F}{a l} \quad \sigma_w \leq \frac{f_d}{\sqrt{3}\beta} \quad \sigma_w \leq \frac{f_u}{\sqrt{3}\gamma_{Mw}\beta_w}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{16M_v}{\pi\tau_{sall}(1-\alpha^4)}} \quad D = \sqrt[3]{\frac{32M_t}{\pi\sigma_{sall}(1-\alpha^4)}} \quad D = \sqrt[3]{\frac{32M_v}{\pi(1-\alpha^4)G\theta}} \quad K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32n}{\pi} \left( \frac{M_{vm}}{R_e} + K_{fv} \frac{M_{va}}{\sigma_{tv}} \right)} \quad D = \sqrt[3]{\frac{32n}{\pi} \left( \frac{M_{tm}}{R_e} + K_{ft} \frac{M_{ta}}{\sigma_{tv}} \right)} \quad D = \sqrt[3]{\frac{32n}{\pi} \sqrt{\left( \frac{K_{ft} M_t}{\sigma_{tv}} \right)^2 + \left( \frac{M_v}{R_e} \right)^2}}$$

$$M_{v,n} = p_n l t_2 \frac{1}{2} (d + t_2) \quad M_{v,a} = p_a l t_1 \frac{1}{2} (d - t_1) \quad M_{v,k} = \tau A \frac{1}{2} d$$

$$T = \frac{\pi}{2} D_F^2 l_F v_{ru} \frac{P}{S_r} \quad F_{ax} = \frac{\pi}{2} D_F l_F v_{rl} \frac{P}{S_r} \quad |P_w| = |P| - 0.8(R_{zA} + R_{zI})$$

$$K = \frac{E_A}{E_I} \left( \frac{1+Q_I^2}{1-Q_I^2} - \mu_I \right) + \frac{1+Q_A^2}{1-Q_A^2} + \mu_A \quad Q_A = \frac{D_F}{D_{aA}} \quad Q_A = \frac{D_{II}}{D_F}$$

$$p \leq \frac{1-Q_A^2}{\sqrt{3}S_{PA}} R_{eLA} \quad p \leq \frac{1-Q_I^2}{\sqrt{3}S_{PI}} R_{eLI} \quad p \leq \frac{2}{\sqrt{3}S_{PI}} R_{eLI} \quad \xi_w = \frac{|P_w|}{D_F} = K \frac{P}{E_A}$$

$$\xi_w \leq K \frac{1-Q_A^2}{\sqrt{3}S_{PA}} \frac{R_{eLA}}{E_A} \quad \xi_w \leq K \frac{1-Q_I^2}{\sqrt{3}S_{PI}} \frac{R_{eLI}}{E_A} \quad \xi_w \leq \frac{2}{\sqrt{3}S_{PI}} \frac{R_{eLI}}{E}$$

$$\xi_w \leq \frac{4}{\sqrt{3}(1-Q_I^2)S_{PI}} \frac{R_{eLI}}{E} \quad p = \frac{\xi_w E_A}{K}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad L_{10h} = \frac{1000000}{60 \cdot n} \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad p=3 \quad p=10/3 \quad L_{na} = a_1 a_{23} \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$$P = XF_r + YF_a \quad P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a \quad C_0 = f_s P_0$$

$$i = \omega_1 / \omega_2 = n_1 / n_2 = d_2 / d_1 = z_2 / z_1 \quad v = \pi d_1 n_1 = \pi d_2 n_2$$

| Nimi                        | Kaava  | Nimi                        | Kaava  |
|-----------------------------|--|-----------------------------|--|
|                             |  | Otsamoduuli                 | $m_t = m_n / \cos \beta$   |
|                             |  | Otsaryntökulma              | $\alpha_t = \arctan \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}$  |
|                             |  | Otsajako                    | $p_t = m_t \pi$  |
|                             |  | Otsaperusjako               | $p_{bt} = p_t \cos \alpha_t$   |
| Jakohalkaisija              | $d = mz$   | Jakohalkaisija              | $d = m_t z$  |
| Perushalkaisija             | $d_b = d \cos \alpha$  | Perushalkaisija             | $d_b = d \cos \alpha_t$  |
| Jako                        | $p = m \pi$  |                             |  |
| Hampaan korkeus             | $h = 2.25m - \Delta h_a$   |                             |  |
| Pääkorkeus                  | $h_a = m(1+x) - \Delta h_a$  | Hampaan pääkorkeus          | $h_a = m_n(1+x) - \Delta h_a$  |
| Tyvikorkeus                 | $h_f = m(1.25-x)$  | Tyvikorkeus                 | $h_f = m_n(1.25-x)$  |
| Päähalkaisija               | $d_a = d + 2h_a$   | Päähalkaisija               | $d_a = d + 2h_a$   |
| Tyvihalkaisija              | $d_f = d - 2h_f$   | Tyvihalkaisija              | $d_f = d - 2h_f$   |
| Pääkorkeuden lyhennys       | $\Delta h_a = m \left( \frac{z_1 + z_2}{2} + x_1 + x_2 \right) - a_w$<br>Jos $\Delta h_a < 0$ käytetään $\Delta h_a = 0$           | Pääkorkeuden lyhennys       | $\Delta h_a = m_n \left( \frac{z_1 + z_2}{2 \cos \beta} + x_1 + x_2 \right) - a_w$<br>Jos $\Delta h_a < 0$ käytetään $\Delta h_a = 0$    |
| Perusakseliväli             | $a = m(z_1 + z_2) / 2$   | Perusakseliväli             | $a = m_t(z_1 + z_2) / 2$   |
| Akseliväli                  | $a_w = a \cos \alpha / \cos \alpha_w$  | Akseliväli                  | $a_w = a \cos \alpha_t / \cos \alpha_w$  |
| Ryntökulma vierintäpinnalla | $\cos \alpha_w = a \cos \alpha / a_w$<br>$\text{inv} \alpha_w = \text{inv} \alpha + 2 \frac{(x_1 + x_2)}{(z_1 + z_2)} \tan \alpha$ | Ryntökulma vierintäpinnalla | $\cos \alpha_w = a \cos \alpha_t / a_w$<br>$\text{inv} \alpha_w = \text{inv} \alpha_t + 2 \frac{(x_1 + x_2)}{(z_1 + z_2)} \tan \alpha_n$ |

$$M_{v1} = P / \omega_1 = F_N r_{w1} \cos \alpha \quad M_{v2} = P / \omega_2 = F_N r_{w2} \cos \alpha \quad r_w = d_w / 2$$

$$F_t = F_N \cos \alpha = M_{v1} / r_{w1} = M_{v2} / r_{w2} \quad F_r = F_N \sin \alpha = F_t \tan \alpha$$

$$F_t = M_{v1} / r_{w1} = M_{v2} / r_{w2} \quad F_r = F_N \tan \alpha_t = F_t \tan \alpha_n / \cos \beta \quad F_a = F_t \tan \beta$$

$$d_p \geq 2 \cdot 0.75 \frac{k_k P}{\pi n_1 F_h} \quad i = \frac{n_1}{n_2} \quad D_p = i d_p \quad E = E' d_p \quad L = L' d_p \quad E_p = E + \frac{L_p - L}{2}$$

$$E = 0.75 \dots 1.0 (d_p + D_p) \quad L \approx 2E + \frac{1}{2} \pi (D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4E} \quad z \geq \frac{P \cdot k_k \cdot k_t \cdot k_0}{P_0 \cdot k_\beta \cdot k_L}$$

$$x = 20 \dots 30 \text{ mm} \quad y = 0.03 \cdot L_p$$

$$t_k = \frac{J_2}{T_K - T_L} \omega_1 \quad Q = \frac{J_2 \omega_1^2}{2} \cdot \frac{T_K}{T_K - T_L} \quad \omega_1 = \omega_{10} - \frac{T_K - T_A}{J_1} (t - t_0) \quad \omega_2 = \omega_{20} + \frac{T_K - T_L}{J_2} (t - t_0)$$

$$t_k = \frac{J_1 J_2}{J_1 (T_K - T_L) + J_2 (T_K - T_A)} (\omega_{10} - \omega_{20}) \quad \omega_s = \frac{\omega_{10} J_1 (T_K - T_L) + \omega_{20} J_2 (T_K - T_A)}{J_1 (T_K - T_L) + J_2 (T_K - T_A)}$$

$$Q = T_K \frac{\omega_{10} - \omega_{20}}{2} t_k \quad P_{\max} = T_K (\omega_{10} - \omega_{20}) \quad \dot{q}_k = \mu p_R v \quad T_K = \mu F_n r_k i$$

$$F_k = F_n (\sin \alpha \pm \mu \cos \alpha) \quad T_K = \mu F_n r_k = 2\pi \mu b r_k^2 p$$