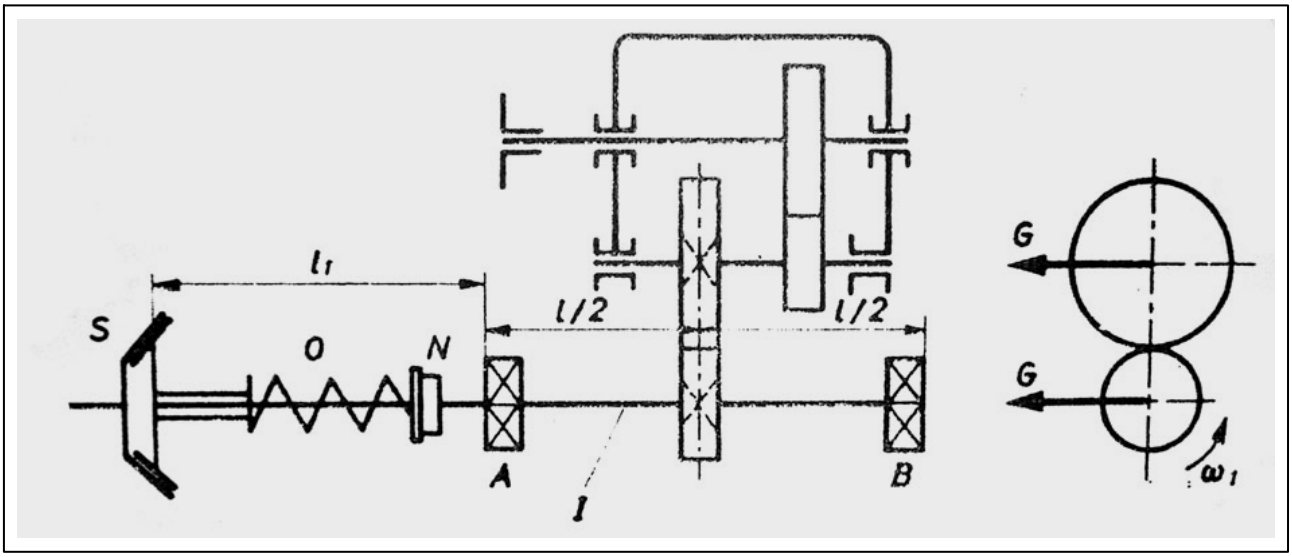
Pro\Machine

OSNOVE KONSTRUISANJA - MATURSKI RAD

Proracun zupcastog prenosnika - ZADATAK 2

Elektromotor snage $P = 4 \cdot kW$ i broja obrtaja $n = 1500 \cdot min^{-1}$ predaje snagu radnoj masini sa jakim udarima posredstvom frikcione spojnice sa konicnim dodirom S, para cilindricnih zupcanika sa kosim zupcima i para cilindricnih zupcanika sa pravim zupcima. Pritisak na dodirne povrsine frikcione spojnice ostvaruje se navojnom torzionom oprugom O.



Odrediti:

1. Uzduznu silu u opruzi ako je racunski precnik spojnice $D_o = 160 \cdot mm$, ugao nagiba frikcione spojnice $\alpha = 10 \cdot deg$, koeficijent trenja $\mu = 0.2$

2. Dimenzionisati oprugu ako je $D/d = 8$, ugib u montaznom stanju $f = 30 \cdot mm$, $\tau_{ud} = 800 \cdot \frac{N}{mm^2}$

3. Module, precnike i sirinu zupcanika z1, ako je materijal zupcanika C.1331, $\beta = 30 \cdot deg$, $b/d_1 = 0.6$, $z_1 = 25$, $z_2 = 46$, kvalitet izrade IT 8, stepen sigurnosti bokova zubaca $S = 1.5$

4.Aktivne sile na zupcanicima z1 i z2, smerove bocnih linija zupcanika i shemu opterecenja vratila I

5. Dimenzionisanje vratila I ako je $l = 100 \cdot mm$, $l_1 = 80 \cdot mm$, materijal vratila C.0645

6. Izvrsiti izbor i proveru lezaja B koji prima aksijalnu silu. Vek lezaja $L_{hB} = 20 \cdot 10^3 \cdot hr$

Stepen iskoriscenja para z1-z2 $\eta_{1\text{-}2} = 0.98$

Stepen iskoriscenja para z3-z4 $\eta_{3\text{-}4} = 0.98$

Napomena: Ostale potrebne vrednosti usvojiti

Resenje

Uzduzna sila u opruzi

$F_{as} = F_n \cdot \sin(\alpha)$

normalna sila $F_n = \frac{F_t}{\mu}$

obimna sila $F_t = \frac{2 \cdot T}{D_o}$

obrtni moment na spojnici $T = \frac{P}{\omega} \cdot K_A$

ugaona brzina spojnice $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$ $\omega = 157.08\,s^{-1}$

faktor udara Tab. 4.3 str. 127 ME II $K_A = 1.5$

$T = \frac{P}{\omega} \cdot K_A$ $T = 38.197\,N \cdot m$

$F_t = \frac{2 \cdot T}{D_o}$ $F_t = 477.465\,N$

$F_n = \frac{F_t}{\mu}$ $F_n = 2.387 \times 10^3\,N$

$F_{as} = F_n \cdot \sin(\alpha)$ $F_{as} = 414.554\,N$

Dimenzionisanje opruge

Precnik zice opruge

$d = \sqrt{\frac{8 \cdot F_2}{\pi \cdot \tau_{ud}} \cdot (D/d) \cdot k}$

radna sila u opruzi $F_2 = F_{as}$ $F_2 = 414.554\,N$

$\tau_{ud} = 800\,\frac{N}{mm^2}$

$D/d = 8$

Faktor nerav. podele napona Tab. 5.4 str. 141 ME I $k = 1.17$

$d = \sqrt{\frac{8 \cdot F_2}{\pi \cdot \tau_{ud}} \cdot (D/d) \cdot k}$ $d = 3.514\,mm$

Usvajam prvi blizi standardni precnik zice opruge str. 141 ME I $d = 3.6 \cdot mm$

Srednji precnik opruge $D = 8 \cdot d$ $D = 28.8\,mm$

Broj aktivnih navoja opruge

$$z = \frac{G \cdot f_2 \cdot d}{8 \cdot F_2 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^3}$$

modul klizanja $G = 83 \cdot 10^3 \cdot \frac{N}{mm^2}$

$f_2 = f$ $f_2 = 30\,mm$

$$z = \frac{G \cdot f_2 \cdot d}{8 \cdot F_2 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^3} \quad z = 5.279$$

Da bi krajevi opruge bili pod uglom od 180 stepeni i da bi se obezbedilo ispravno funkcionisanje oruge dodaje se jos 2.25 navojka, dakle

ukupan broj navojaka $z_u = z + 2.25$ $z_u = 7.5$

Visina nenapregnute opruge

Zbir najmanjih rastojanja izmedju elasticnih zavojaka

$s_a = 1 \cdot mm + 0.03 \cdot mm^{-1} \cdot d^2 \cdot z$ $s_a = 3.1\,mm$ usvajam $s_a = 3.5 \cdot mm$

Spoljasnji precnik opruge $D_s = D + d$ $D_s = 32.4\,mm$

Unutrasnji precnik opruge $D_u = D - d$ $D_u = 25.2\,mm$

Duzina blokirane opruge $L_{BL} = z_u \cdot d$ $L_{BL} = 27.1\,mm$

Duzina opruge pri dejstvu sile F_2 $L_2 = L_{BL} + s_a$ $L_2 = 30.6\,mm$

Slobodna duzina opruge $L_o = L_2 + f_2$ $L_o = 60.6\,mm$

Korak zavojnice $H = \frac{L_o - d}{z}$ $H = 10.798\,mm$

Duzina zice opruge $L = z_u \cdot \sqrt{D^2 \cdot \pi^2 + H^2} + 1.5 \cdot D$ $L = 729.3\,mm$

Moduli, precnci i sirina zupcanika z1

Precnik podeone kruznice malog zupcanika

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_1}{\phi \cdot \sigma_d^2} \cdot \frac{u + 1}{u} \cdot K_H \cdot Z^2}$$

$T_1 = T$ $T_1 = 38.197\,N \cdot m$

$\phi = b/d_1$ $\phi = 0.6$

$\sigma_d = \frac{\sigma_{Hlim}}{S}$

Tab. 4.5 str. 133 ME II $\sigma_{Hlim} = 480 \cdot \frac{N}{mm^2}$

$S = 1.5$

$\sigma_d = \frac{\sigma_{Hlim}}{S}$ $\sigma_d = 320 \frac{N}{mm^2}$

$u_{1-2} = \frac{z_2}{z_1}$ $u_{1-2} = 1.84$

$K_H = K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta}$

faktor unutrasnjih dinamickih sila

$K_V = K_{V\beta}$ za $\varepsilon_\beta > 1$

Sl. 4.47 str. 128 ME II $K_{V\beta} = 1.14$

za IT 8

pretpostavljen precnik podeone kruznice $d_1 = 100 \cdot mm$

brzina zupcanika na podeonoj kruznici $v = \frac{d_1}{2} \cdot \omega$ $v = 7.854 \frac{m}{s}$

znacajka $\frac{v \cdot z_1}{100} = 1.963 \frac{m}{s}$

$K_V = K_{V\beta}$ $K_V = 1.14$

za $\phi = 0.6$ Tab. 4.4 str. 130 ME II $K_{H\beta} = 1.03$

$K_H = K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta}$ $K_H = 1.761$

Faktor elasticnosti materijala za celik po celiku $Z_E = 189 \sqrt{\frac{N}{mm^2}}$

$Z = 2.5 \cdot Z_E \cdot \cos(\beta)$ $Z = 409.197 \sqrt{\frac{N}{mm^2}}$

$d_1 = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_1}{\phi \cdot \sigma_d^{\,2}} \cdot \frac{u_{1-2} + 1}{u_{1-2}} \cdot K_H \cdot Z^2}$ $d_1 = 82.719\,mm$

Modul zupcanika u normalnoj ravni na bok zupca

$m_n = \frac{d_1}{z_1} \cdot \cos(\beta)$ $m_n = 2.865\,mm$ Tab. 4.5 str. 133 ME II $m_n = 3 \cdot mm$

Ceoni modul

$m_t = \frac{m_n}{\cos(\beta)}$ $m_t = 3.464\,mm$

Precnik podeone kruznice malog zupcanika $d_1 = m_t \cdot z_1$ $d_1 = 86.603\,mm$

Precnik osnovne kruznice malog zupcanika $d_{b1} = d_1 \cdot \cos(\alpha_t)$

$$\tan(\alpha_t) = \frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}$$

$\alpha_n = 20 \cdot deg$

$$\alpha_t = \operatorname{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right)$$

$\alpha_t = 22.796\,deg$

$d_{b1} = d_1 \cdot \cos(\alpha_t)$ $d_{b1} = 79.838\,mm$

Precnik podnozne kruznice malog zupcanika $d_{f1} = d_1 - 2.4 \cdot m_n$ $d_{f1} = 79.403\,mm$

Precnik temene kruznice malog zupcanika $d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_n$ $d_{a1} = 92.603\,mm$

Sirina zupcanika $b = \phi \cdot d_1$ $b = 51.962\,mm$ usvajam $b_1 = 55 \cdot mm$

Sile na zupcanicima z1 i z2, smerove bocnih linija zupcanika i shemu opterecenja vratila I

Sile na zupcaniku z1

Obina sila $F_{t1} = \frac{2 \cdot T_1}{d_1}$ $F_{t1} = 882.126\,N$

Radijalna sila $F_{r1} = \frac{F_{t1}}{\cos(\beta)} \cdot \tan(\alpha_n)$ $F_{r1} = 370.737\,N$

Aksijalna sila $F_{a1} = F_{t1} \cdot \tan(\beta)$ $F_{a1} = 509.296\,N$

Sile na zupcaniku z2

$F_{t2} = F_{t1}$ $F_{t2} = 882.126\,N$

$F_{r2} = F_{r1}$ $F_{r2} = 370.737\,N$

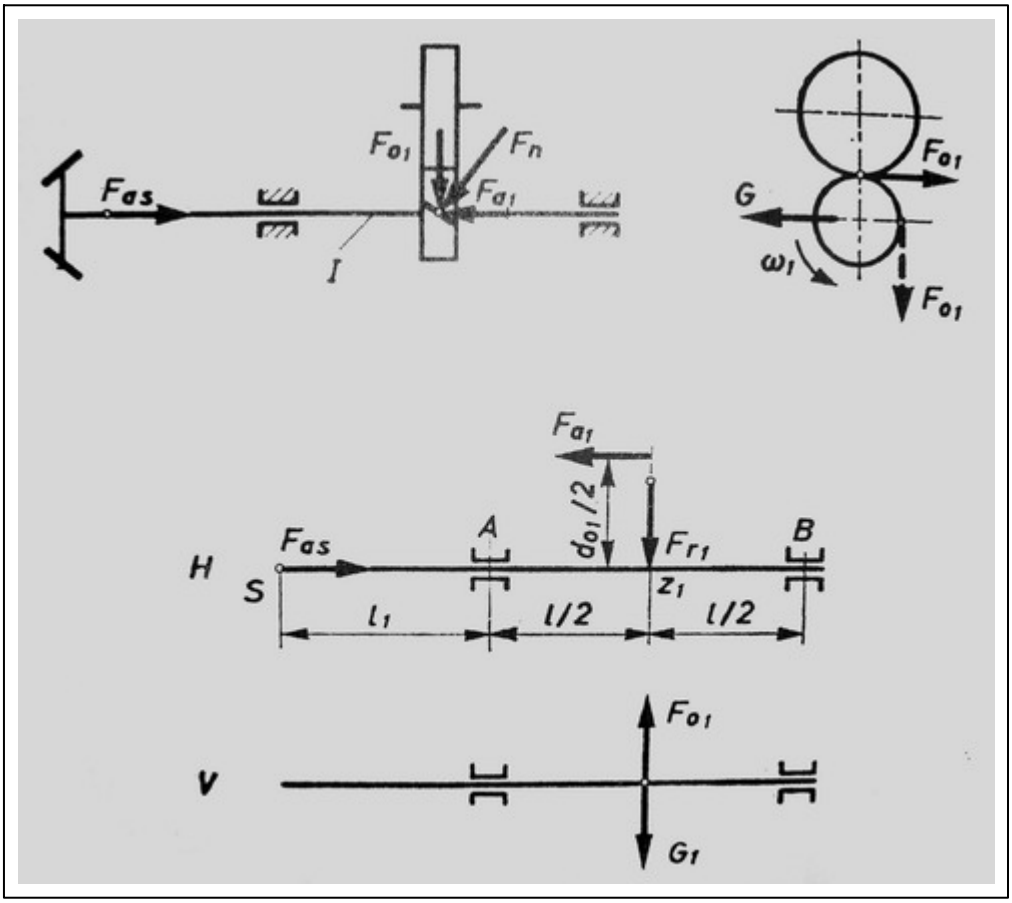
$F_{a2} = F_{a1}$ $F_{a2} = 509.296\,N$

Smer bocnih linija zupcanika

Smer aksijalne sile na zupcaniku z1 treba da bude suprotan aksijalnoj sili na frikcionoj spojnici, kako bi lezaj bio izlozen razlici, a ne zbiru aksijalnih sila.

Na osnovu recenog i datog smera obrtanja vratila I, usvajam smer bocne linije zupcanika z1 - **DESNI**.

Shema opterecenja vraila



Dimenzionisanje vratila I

Otpori oslonaca u H ravni

$$\sum_{H} M_A = 0 \qquad Y_{BH}\cdot l - F_{r1}\cdot\frac{l}{2} + F_{a1}\cdot\frac{d_1}{2} = 0 \qquad Y_{BH} = \frac{F_{r1}\cdot\frac{l}{2} - F_{a1}\cdot\frac{d_1}{2}}{l} \qquad Y_{BH} = -35.163\,\text{N}$$

$$\sum_{H} M_B = 0 \qquad -Y_{AH}\cdot l + F_{r1}\cdot\frac{l}{2} + F_{a1}\cdot\frac{d_1}{2} = 0 \qquad Y_{AH} = \frac{F_{r1}\cdot\frac{l}{2} + F_{a1}\cdot\frac{d_1}{2}}{l} \qquad Y_{AH} = 405.9\,\text{N}$$

Otpori oslonaca u V ravni

$$Y_{AV} = \frac{F_{t1}}{2} \qquad Y_{AV} = 441.063\,\text{N}$$

$$Y_{BV} = Y_{AV} \qquad Y_{BV} = 441.063\,\text{N}$$

Momenti savijanja u H ravni

$$M_{sH} = 0 \cdot N \cdot m$$

$$M_{AH} = 0 \cdot N \cdot m$$

$$M_{1-\varepsilon H} = Y_{AH} \cdot \frac{l}{2} \qquad M_{1-\varepsilon H} = 20.295\,N \cdot m$$

$$M_{1+\varepsilon H} = Y_{BH} \cdot \frac{l}{2} \qquad M_{1+\varepsilon H} = -1.758\,N \cdot m$$

$$M_{BH} = 0 \cdot N \cdot m$$

Momenti savijanja u V ravni

$$M_{sV} = 0 \cdot N \cdot m$$

$$M_{AV} = 0 \cdot N \cdot m$$

$$M_{1V} = Y_{BV} \cdot \frac{l}{2} \qquad M_{1V} = 22.053\,N \cdot m$$

$$M_{BV} = 0 \cdot N \cdot m$$

Merodavni (rezultujuci) momenti savijanja

$$M_s = \sqrt{M_{sH}^2 + M_{sV}^2} \qquad M_s = 0\,N \cdot m$$

$$M_A = \sqrt{M_{AH}^2 + M_{AV}^2} \qquad M_A = 0\,N \cdot m$$

$$M_{1-\varepsilon} = \sqrt{M_{1V}^2 + M_{1-\varepsilon H}^2} \qquad M_{1-\varepsilon} = 29.97\,N \cdot m$$

$$M_{1+\varepsilon} = \sqrt{M_{1V}^2 + M_{1+\varepsilon H}^2} \qquad M_{1+\varepsilon} = 22.123\,N \cdot m$$

$$M_B = \sqrt{M_{BH}^2 + M_{BV}^2} \qquad M_B = 0\,N \cdot m$$

Merodavan moment uvijanja

$$T_s = T \qquad T_s = 38.197\,N \cdot m$$

$$T_A = T \qquad T_A = 38.197\,N \cdot m$$

$$T_1 = T \qquad T_1 = 38.197\,N \cdot m$$

$$T_B = 0 \cdot N \cdot m$$

Materijal vratila C.0645

Zatezna cvrstoca Tab. 2.3. str. 44 ME I $R_m = 600 \cdot \frac{N}{mm^2}$

Savojna dinamicka izdrzljivost pri naizmenicno promenljivom opterecenju Tab. 2.3. str. 45 ME I $\sigma_{D(-1)s} = 280 \frac{N}{mm^2}$

Uvojna dinamicka izdrzljivost pri jednosmernom promenljivom opterecenju Tab. 2.3. str. 45 ME I $\tau_{D(0)u} = 200 \frac{N}{mm^2}$

Koeficijent svodjenja napona $\alpha = \frac{\sigma_{D(-1)s}}{2 \cdot \tau_{D(0)u}}$ $\alpha = 0.7$

Idealni (svedeni) moment savijanja

$M_{is} = \sqrt{M_s^2 + (\alpha \cdot T_s)^2}$ $M_{is} = 26.738\,N \cdot m$

$M_{iA} = \sqrt{M_A^2 + (\alpha \cdot T_A)^2}$ $M_{iA} = 26.738\,N \cdot m$

$M_{i1-\varepsilon} = \sqrt{M_{1-\varepsilon}^2 + (\alpha \cdot T_1)^2}$ $M_{i1-\varepsilon} = 40.164\,N \cdot m$

$M_{i1+\varepsilon} = \sqrt{M_{1+\varepsilon}^2 + (\alpha \cdot T_1)^2}$ $M_{i1+\varepsilon} = 34.704\,N \cdot m$

$M_{iB} = \sqrt{M_B^2}$ $M_{iB} = 0\,N \cdot m$

Dozvoljeni napon

Stepen sigurnosti $S = 4$

Dozvoljeni napon na savijanje $\sigma_d = \frac{\sigma_{D(-1)s}}{S}$ $\sigma_d = 70 \frac{N}{mm^2}$

Idealni precnici

$d_{is} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{is}}{\pi \cdot \sigma_d}}$ $d_{is} = 15.728\,mm$

$d_{iA} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{iA}}{\pi \cdot \sigma_d}}$ $d_{iA} = 15.728\,mm$

$d_{i1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{i1-\varepsilon}}{\pi \cdot \sigma_d}}$ $d_{i1} = 18.013\,mm$

$d_{iB} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{iB}}{\pi \cdot \sigma_d}}$ $d_{iB} = 0\,mm$

Stvarni precnici vratila

$d_s = 1.2 \cdot d_{is}$ $d_s = 18.874\,mm$ usvajam $d_s = 20 \cdot mm$

$d_A = 25 \cdot mm$

$d_1 = 1.2 \cdot d_{i1}$ $d_1 = 21.615\,mm$ usvajam $d_1 = 25 \cdot mm$

$d_B = 25 \cdot mm$

Izbor i provera lezaja B

pretpostavljen lezaj 6005

Precnik rukavca lezaja $d_B = 25\,mm$

Spoljni precnik lezaja $D = 47 \cdot mm$ T.2.6 str.57 ME II

Sirina lezaja $B = 12 \cdot mm$ T.2.6 str.57 ME II

Radijus zaobljenja lezaja $r = 1 \cdot mm$ T.2.6 str.57 ME II

Dinamicka nosivost lezaja $C = 7.5 \times 10^3 \cdot N$ Tab. 2.8 str. 59 ME II

Staticka nosivost lezaja $C_0 = 5 \times 10^3 \cdot N$ Tab. 2.8 str. 59 ME II

Aksijalna sila u osloncu $F_a = |F_{as} - F_{a1}|$ $F_a = 94.741\,N$

Radijalna sila u osloncu $F_r = \sqrt{Y_{BV}^2 + Y_{BH}^2}$ $F_r = 442.463\,N$

Odnos aksijalne i radijalne sile u osloncu $\frac{F_a}{F_r} = 0.214$

Odnos aksijalne sile u osloncu i staticke nosivosti lezaja $\frac{F_a}{C_0} = 0.019$

Koeficijent $e = 0.22$ Tab. 2.1. str. 45 ME II

Faktor radijalne sile $X = 1$ Tab. 2.1. str. 45 ME II za $\frac{Fa}{Fr} < e$

Faktor aksijalne sile $Y = 0$ Tab. 2.1. str. 45 ME II

Ekvivalentno dinamicko opterecenje $F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$ $F = 442.463\,N$

Temperaturni faktor smanjenja nosivosti $f_t = 1$ str. 46 ME II

Eksponent $\alpha = 3$

$\alpha = 3$ za kuglicne lezaje

$\alpha = \frac{10}{3}$ za valjcane lezaje

Vek lezaja u obrtima $L = \left(\frac{C \cdot f_t}{F}\right)^{\alpha} \cdot 10^6$ $L = 4.87 \times 10^9$

Vek lezaja u casovima $L_h = \frac{L}{n}$ $L_h = 54.1 \times 10^3\,hr$ **zadovoljava**

potreban radni vek lezaja $L_{hB} = 20 \times 10^3\,hr$

Izabran je lezaj **6005 (25 x 47 x 12)**