



KONSTRUISANJE MAŠINA

Zadaci za samostalni rad – Rešenje zadatka za II drugi deo ispita

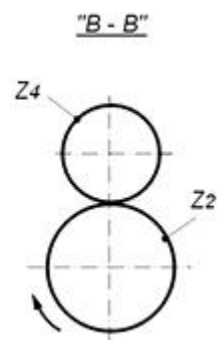
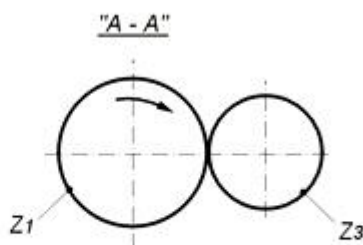
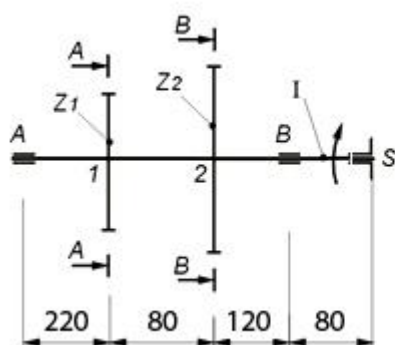
Zadatak 1.

Vratilo I dobija snagu $P = 5 \text{ kW}$ preko spojnice S . Zupčanik Z_1 predaje 45 [%] snage zupčaniku Z_3 i a zupčanik Z_2 predaje 55 [%] snage zupčaniku Z_4 . Zupčanici su CZPZ. Potrebno je:

- 1) Dimenzionisati vratilo u preseku B-B; odrediti prečnike vratila I na mestu spojnice, zupčanika 2 i oslonca B (prečnik vratila na mestu oslonca A je identičan).
- 2) Odrediti dimenzije i navoj podešenih zavrtnjeva na spojnici ako su oni izrađeni od Č6.9, prečnik podeznog kruga $D_0 = 100 \text{ mm}$, a broj zavrtnjeva je $z = 8$.
- 3) Izvršiti izbor ležaja BC u osloncima A i B, ako je željeni radni vek $T = 10000\text{h}$.

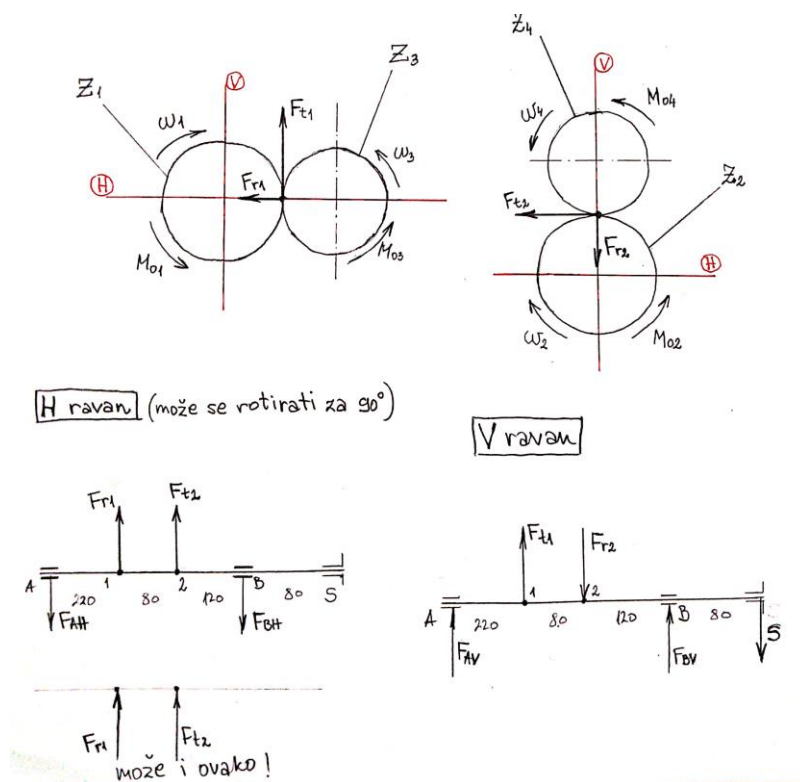
Ostali podaci:

- broj zubaca i modul za zupčanik z_1 : $z_1 = 52$, $m_1 = 2 \text{ mm}$,
- broj zubaca i modul za zupčanik z_2 : $z_2 = 20$, $m_2 = 3 \text{ mm}$
- zbir koeficijenata pomeranja profila $x_1 + x_2 = 0$
- materijal vratila Č0545
- težina spojnice $S = 400 \text{ [N]}$
- broj obrtaja vratila I $n = 690 \text{ min}^{-1}$
- stepen sigurnosti $S_s = 3$
- faktor neravnomernosti rada $\zeta_R = 2$
- faktor udara $\zeta_D = 2$
- faktor temperature $\zeta_H = 1$
- Sve momente raditi za presek B-B (ne i za A-A)
- Kod izbora ležaja, usvojiti ležaj u osloncu koji je više opterećen



Rešenje:

1) Dimenzionisanje vratila u preseku B-B



Obrtni momenti

$$M_{os} = \frac{P}{\omega_1} = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 5000 \text{ W}}{\pi \cdot 690 \text{ s}^{-1}} = 69,198 \text{ Nm}$$

$$M_{o1} = 0,45 \cdot M_{os} = 0,45 \cdot 69,198 = 31,14 \text{ Nm}$$

$$M_{o2} = 0,55 \cdot M_{os} = 0,55 \cdot 69,198 = 38,06 \text{ Nm}$$

Prečnici podeonih krugova

$$d_{o1} = m_1 \cdot z_1 = 2 \cdot 52 = 104 \text{ mm}$$

$$d_{o2} = m_2 \cdot z_2 = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

Prečnici kinematskih krugova ($x_1 + x_2 = 0$)

$$d_1 = d_{o1} = 104 \text{ mm}$$

$$d_2 = d_{o2} = 60 \text{ mm}$$

Obimne sile

$$F_{t1} = \frac{2 \cdot M_{o1}}{d_1} = \frac{2 \cdot 31140 \text{ Nmm}}{104 \text{ mm}} = 598,85 \approx 600 \text{ N}$$

$$F_{t2} = \frac{2 \cdot M_{o2}}{d_2} = \frac{2 \cdot 38060 \text{ Nmm}}{60 \text{ mm}} = 1268,67 \approx 1270 \text{ N}$$

Napomena: Intenziteti obimnih i radijalnih sila mogu se zaokružiti na najbliži ceo broj

Ugao dodirnice

$$\alpha = \alpha_o = \alpha_n = 20^\circ \text{ za } x_1 + x_2 = 0 \text{ i CZPZ}$$

Radijalne sile

$$F_{r1} = F_{t1} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 600 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 218,38 \approx 218 \text{ N}$$

$$F_{r2} = F_{t2} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1270 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 462,24 \approx 462 \text{ N}$$

Napomena: Nakon određivanja svih obimnih i radijalnih sila možemo kompletirati analizu opterećenja. Npr. u vertikalnoj ravni imamo slučaj da je obimna sila F_{t1} usmerena nagore, dok su sile F_{r2} i sila u spojnici S usmerene nadole. Da bismo odredili smerove sila u ležajevima F_{AH} i F_{BH} , moramo znati intenzitete sila koje smo spomenuli. Imajući u vidu da je zbir intenziteta sila F_{r1} i S veći od intenziteta sile koja deluje suprotno od njih F_{t1} (F_{r2} je 462 N a S je 400 N dok je $F_{t1} = 600$ N), postavljamo sile u ležajevima da se kreću u smeru sile F_{t1} . Zadatak sila u ležajevima je da pruže oslonac, odnosno da izbalansiraju opterećenje koje deluje na vratilo. Ukoliko se u nastavku proračuna dobije negativna vrednost sile u ležaju u nekoj od dve ravni, to podrazumeva da je sila trebala da zauzme drugačiji smer. U tom slučaju dovoljno je navesti da je smer pogrešno pretpostavljen.

Otpori oslonaca

H - ravan

$$\sum M_A = 0; F_{r1} \cdot 220 + F_{t2} \cdot 300 - F_{BH} \cdot 420 = 0$$

$$F_{BH} = \frac{F_{t2} \cdot 300 - F_{r1} \cdot 220}{420} = \frac{1270 \cdot 300 - 218 \cdot 220}{420} = 792,95 \approx 793 \text{ N}$$

$$\sum Y_i = 0; F_{r1} + F_{t2} - F_{AH} - F_{BH} = 0$$

$$F_{AH} = 218 + 1270 - 793 = 695 \text{ N}$$

V - ravan

$$\sum M_A = 0; F_{t1} \cdot 220 - F_{r2} \cdot 300 + F_{BV} \cdot 420 - S \cdot 500 = 0$$

$$F_{BV} = \frac{S \cdot 500 + F_{r2} \cdot 300 - F_{t1} \cdot 220}{420} = \frac{400 \cdot 500 + 462 \cdot 300 - 600 \cdot 220}{420} = 491,9 \approx 492 \text{ N}$$

$$\sum Y_i = 0; F_{AV} + F_{t1} - F_{r2} + F_{BV} - S = 0$$

$$F_{AV} = -600 + 462 - 492 + 400 = -230 \text{ N}$$

Napomena: U ovom slučaju možemo navesti da je smer pogrešno pretpostavljen. To podrazumeva da sila F_{AV} treba da se kreće nadole. Ova pogrešna pretpostavka ne utiče na dalji tok zadatka.

Rezultujući otpori oslonaca

$$F_A = \sqrt{F_{AH}^2 + F_{AV}^2} = \sqrt{695^2 + (-230)^2} = 732 \text{ N}$$

$$F_B = \sqrt{F_{BH}^2 + F_{BV}^2} = \sqrt{793^2 + 492^2} = 933 \text{ N}$$

Moment savijanja u H i V ravni

$$\text{H: } M_{BH}^L = -F_{AH} \cdot 420 + F_{r1} \cdot 300 + F_{t2} \cdot 120 = -695 \cdot 420 + 218 \cdot 300 + 1270 \cdot 120 = -225110 \text{ Nmm}$$

$$M_{2H}^L = -F_{AH} \cdot 300 + F_{r1} \cdot 80 = -695 \cdot 300 + 218 \cdot 80 = -191060 \text{ Nmm}$$

$$\text{V: } M_{BV}^L = F_{AV} \cdot 420 + F_{t1} \cdot 300 - F_{r2} \cdot 120 = -230 \cdot 420 + 600 \cdot 300 - 462 \cdot 120 = 27960 \text{ Nmm}$$

$$M_{2V}^L = F_{AV} \cdot 300 + F_{t1} \cdot 80 = -230 \cdot 300 + 600 \cdot 80 = -21000 \text{ Nmm}$$

Rezultujući momenti savijanja

$$M_B = \sqrt{M_{BH}^2 + M_{BV}^2} = \sqrt{(-225110)^2 + (27960)^2} = 226840 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = \sqrt{M_{2H}^2 + M_{2V}^2} = \sqrt{(-191060)^2 + (-21000)^2} = 192211 \text{ Nmm}$$

Moment uvijanja u preseku B-B (max)

$$M_o = M_{os} = 69198 \text{ Nmm}$$

Karakteristike materijala vratila Č0545 (Prilog 1.1.)

$$\sigma_{d(-1)} = (220 \div 270) = 250 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{d(0)} = (170 \div 240) = 210 \frac{N}{mm^2}$$

Dozvoljeni naponi

$$\sigma_{sdoz} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{S_s} = \frac{250}{3} = 83 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{sdoz} = \frac{\tau_{D(0)}}{S_s} = \frac{210}{3} = 70 \frac{N}{mm^2}$$

$$\alpha_o = \frac{\sigma_{sdoz}}{\tau_{sdoz}} = \frac{83}{70} = 1,19$$

Izvedeni moment savijanja u osloncu B i mestu zupčanika 2:

$$M_{Bi} = \sqrt{M_B^2 + \left(\frac{\alpha_o}{2} \cdot M_o\right)^2} = \sqrt{226840^2 + \left(\frac{1,19}{2} \cdot 69198\right)^2} = 230546 \text{ Nmm}$$

$$M_{2i} = \sqrt{M_2^2 + \left(\frac{\alpha_o}{2} \cdot M_o\right)^2} = \sqrt{192211^2 + \left(\frac{1,19}{2} \cdot 69198\right)^2} = 196571 \text{ Nmm}$$

Prečnici vratila

- na mestu zupčanika 2 (presek B-B)

$$d_{2i} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{2i}}{\pi \cdot \sigma_{sdoz}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 196571}{\pi \cdot 83}} = 28,89 \text{ mm}$$

Zbog žljeba za klin prečnik vratila na mestu zupčanika 2 iznosi

$$d_2 = 1,2 \cdot d_{2i} = 1,2 \cdot 28,89 = 34,67 \text{ mm}$$

usvaja se $d_2 = 35 \text{ mm}$

- na mestu ležaja B

$$d_{Bi} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{Bi}}{\pi \cdot \sigma_{sdoz}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 230546}{\pi \cdot 83}} = 30,47 \text{ mm}$$

Standardni prečnik unutrašnjeg prstena ležaja usvaja se iz tabele 16.5 za kotrljajne ležajeve.

$$d_B = 35 \text{ mm (može se usvojiti i manji od 30 mm)}$$

- na mestu spojnice (presek je opterećen samo na uvijanje)

$$d_{Si} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_o}{\pi \cdot \tau_{sdoz}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 69198}{\pi \cdot 70}} = 17,14 \text{ mm}$$

Zbog žljeba za klin prečnik vratila na mestu spojnice iznosi:

$$d_s = 1,2 \cdot d_{Si} = 1,2 \cdot 17,14 = 20,57 \text{ mm}$$

usvaja se $d_s = 25 \text{ mm}$

2) Dimenzije i navoj zavrtnjeva na spojnici

Dozvoljeni napon od smicanja

$$\tau_{sdoz} = \frac{\tau_T}{S_s} = \frac{340}{3} = 113 \frac{N}{mm^2} \text{ (za Č6.9 je } \tau_T = 340 \text{ N/mm}^2 \text{ - Prilog 4.1.)}$$

Iz izraza za određivanje broja zavrtnjeva možemo dobiti poprečnu silu na jednom zavrtnju

$$z = \frac{2 \cdot M_o}{D_o \cdot F_s} \cdot \xi_R \Rightarrow F_s = \frac{2 \cdot M_o \cdot \xi_R}{D_o \cdot z} = \frac{2 \cdot 69198 \text{ Nmm}}{100 \text{ mm} \cdot 8} \cdot 2 = 346 \text{ N}$$

Poprečna sila na jednom zavrtnju

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \tau_{doz}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 346}{\pi \cdot 70}} = 2,5087 \text{ mm}$$

gde je prvi veći srednji prečnik navoja $d_2 = 2,675 \text{ mm}$ koji odgovara nazivnom prečniku $d = 3 \text{ mm}$ (M3) - Prilog 4.2.

3) Izbor ležaja u osloncu B

Ulazni podaci:

- prečnik rukavca $d = 35 \text{ mm}$ (može i 30 mm)
- vrsta ležaja BC (Prilozi 16.5.)
- broj obrtaja $n = 690 \text{ min}^{-1}$
- željeni radni vek $T = 10000 \text{ h}$
- faktor udara $\xi_D = 2$
- faktor temperature $\xi_H = 1$

Opterećenje ležaja

radijalno $F_r = F_B = 933 \text{ N}$

aksijalno $F_a = 0$ (ne razmatraju se aksijalna opterećenja u ovom proračunu)

Ekvivalentno opterećenje

$$F = \xi_D \cdot (X \cdot F_r + Y \cdot F_a) = 2 \cdot (1 \cdot 933 + 1,6 \cdot 0) = 1866 \text{ N}$$

X, Y - Prilog 16.5. (Napomena za ležišta kod kojih se unutrašnji prsten obrće, $X=1$, dok je faktor Y dat u napomeni 2 i iznosi 1,6)

Potrebna dinamička moć nošenja

$$C_p = \xi_H \cdot F \cdot \sqrt[m]{\frac{T \cdot n}{16660}} = 1 \cdot 1866 \cdot \sqrt[3]{\frac{10000 \cdot 690}{16660}} = 13909,23 \text{ N} = 13,91 \text{ kN}$$

Nakon određivanja potrebne moći nošenja iz priloga 16.5 usvajaju se vrednosti dinamičke moći nošenja C, za svaki od navedenih tipova BC ležaja koje odgovaraju unutrašnjem prečniku ležaja $d = 35 \text{ mm}$.

Tip	35BC10	35BC02	35BC03	35BC04
C [kN]	12,4	19,6	25,5	42,1

Na osnovu podataka iz tabele usvaja se ležaj 35BC02 ($C = 19,6 \text{ kN} > C_p = 13,91 \text{ kN}$). Usvaja se prva veća vrednost iz tabele od potrebne moći nošenja.

Stvarni vek ležaja

$$T = \frac{16660}{n} \cdot \left(\frac{C}{\xi_H \cdot F} \right)^m = \frac{16660}{690} \cdot \left(\frac{19600}{1 \cdot 1866} \right)^3 = 27980 \text{ h} > 10000 \text{ h}$$

Pošto je ležaj A manje opterećen od ležaja B, može se usvojiti da su oba ležaja ista. Ovo je bitno iz konstruktivnih razloga zbog iste dimenzije spoljašnjeg prstena ležaja D (lakša izrada i montaža). Sve potrebne dimenzije ležaja usvajaju se iz tablice.