

UNIVERZITET U BEOGRADU

MAŠINSKI ELEMENTI 2

ZBIRKA REŠENIH ISPITNIH ZADATAKA

Zoran Stamenić

Žarko Mišković

Nenad Kolarević

Miloš Sedak

Aleksandar Dimić



MAŠINSKI FAKULTET
Beograd, 2024.

**UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET**

dr Zoran Stamenić, redovni profesor
dr Žarko Mišković, vanredni profesor
dr Nenad Kolarević, vanredni profesor
dr Miloš Sedak, docent
dr Aleksandar Dimić, docent

MAŠINSKI ELEMENTI 2

ZBIRKA REŠENIH ISPITNIH ZADATAKA

**Mašinski Fakultet
Beograd, 2024.**

MAŠINSKI ELEMENTI 2

Zbirka rešenih ispitnih zadataka

dr Zoran Stamenić, redovni profesor
dr Žarko Mišković, vanredni profesor
dr Nenad Kolarević, vanredni profesor
dr Miloš Sedak, docent
dr Aleksandar Dimić, docent

Recenzenti:

Prof. dr Srđan Bošnjak, Mašinski fakultet u Beogradu
Prof. dr Ljubica Milović, Tehnološko metalurški fakultet u Beogradu

Izdavač:

UNIVERZITET U BEOGRADU – MAŠINSKI FAKULTET
Ul. Kraljice Marije br.16, 11120 Beograd 35
tel. (011) 3370 760
fax. (011) 3370 364
www.mas.bg.ac.rs

ISBN 978-86-6060-188-1

Za izdavača

Prof. dr Vladimir Popović, dekan

Glavni i odgovorni urednik

Prof. dr Milan Lečić

Tiraž: 300 primeraka

Odobreno za štampu odlukom dekana Mašinskog Fakulteta u Beogradu, br.
13/2024 od 24.04.2024.

Štampa:

PLANETA – print, Beograd
Vinogradski venac 9,
11136 Beograd, Srbija
tel. +381 650 65 64
faks +381 650 65 64

PREDGOVOR

Zbirka rešenih ispitnih zadataka iz Mašinskih elemenata 2 sadrži ispitne zadatke iz prethodnih desetak godina, izabrane tako da što šire obuhvate program predmeta. Zadaci su plod višedecenijskog usavršavanja nastavnih programa profesora Katedre za opšte mašinske konstrukcije, počev od profesora Slobodana Verige, Zorana Savića, Paune Obradović, Nedeljka Plavšića, Vere Krsmanović, Momčila Jankovića, Miodraga Jankovića, Milosava Ognjanovića, Milete Ristivojevića, Radivoja Mitrovića i Božidara Rosića. U kontinuitetu ove tradicije, autori su sami sastavljali zadatke i dali doprinos unapređenju nastavnih sadržaja Mašinskih elemenata. Zadaci su dati u originalnom obliku sa ispita ili u verziji izmenjenoj i podesnijoj za bolju prezentaciju problematike. Rešenja zadataka su praćena objašnjenjima i komentarima neophodnim za bolje razumevanje i utvrđivanje gradiva.

Zbirka je prvenstveno namenjena studentima mašinstva kao pomoć za pripremu pismenog dela ispita iz Mašinskih elemenata 2. Ona takođe može korisno poslužiti i studentima drugih tehničkih fakulteta i stručnjacima u praksi.

Osnovu za rešavanje ovih zadataka pružaju predavanja iz Mašinskih elemenata 2 i knjige:

Mašinski elementi 2, autora M. Ristivojevića, Z. Stamenića i R. Mitrovića, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, Beograd 2021.

Mašinski elementi, autora M. Ognjanovića, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, Beograd 2021.,
kao i ostala dostupna literatura.

Posebnu zahvalnost autori izražavaju recenzentima knjige prof. dr Srđanu Bošnjaku i prof. dr Ljubici Milović.

Autori se unapred zahvaljuju korisnicima knjige za uočene eventualne greške i korisne predloge.

ISPITNI ZADATAK 1

Prenosnik snage na slici ima jednu ulaznu spojnicu (**S1**) i dve izlazne spojnice (**S2** i **S3**). Snaga na ulaznoj spojnici **S1** je **15kW**, a učestanost obrtanja **1150min⁻¹**, a obrtni moment na izlaznoj spojnici **S2** iznosi **4500Nm**. Pogonska mašina je elektromotor. Radne mašine rade sa **srednjim udarima**.

Podaci:

cilindrični zupčasti par sa kosim

zupcima:

$$z_1=25; z_2=70; x_1=0,1; x_2=-0,1;$$

$$m_n=4\text{mm}; \beta=11,66^\circ; b=65\text{mm};$$

$$\varepsilon_\alpha=1,65; \eta_{1-2}=0,98;$$

pužni par:

$$z_3=2; z_4=57; x_3=0; q=10; m=5\text{mm};$$

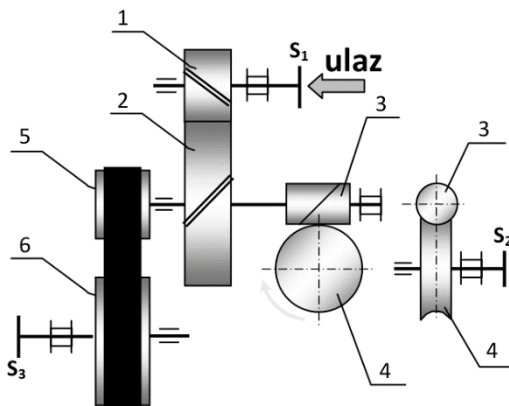
$$L_h=25000\text{h}; \eta_{3-4}=0,79;$$

Č/P.CuSn10Zn;

kaišni par: $d_5=120\text{mm}; d_6=220\text{mm}; \xi_k=0; E=40\text{N/mm}^2; \rho=1000\text{kg/m}^3;$

$L=1500\text{mm}; \eta_{5-6}=0,97;$ dimenzije poprečnog preseka pljosnatog kaiša: $h=5\text{mm};$

$b=180\text{mm};$ dinamičke karakteristike: $N_0=10^7; \sigma_{N0}=5\text{N/mm}^2.$

**Odrediti:**

1. Učestanosti obrtanja i ugaone brzine na izlaznim spojnicama **S2** i **S3**;
2. Obrtni moment na ulaznoj spojnici **S1** i snaga na izlaznim spojnicama **S2** i **S3**;
3. Oso rastojanje zupčastog para **1-2**, kao i stepen sigurnosti podnožja zubaca zupčanika **1** izrađenog od **Č1330 (C22)** ($\sigma_{Flim}=192\text{N/mm}^2$), proizvod svih faktora korekcije kritičnog napona podnožja zubaca je **2**. Ukupni uticaj: unutrašnjih dinamičkih sila, raspodele opterećenja na istovremeno spregnute parove zubaca i raspodele opterećenja duž trenutne linije dodira zubaca, je **1,95**.
4. Ugao zavojnice puža, kao i stepen sigurnosti bokova zubaca pužnog zupčanika **4** i dati odgovarajući komentar. Obrtni moment na izlaznoj spojnici **S2** iznosi **4500 Nm**; Podmazivanje poliglikol uljem.
5. Maksimalni napon u kaišu kaišnog prenosnika 5-6. Sila u vučnom (radnom) ogranku kaiša iznosi 2270 N;
6. Radni vek kaiša kaišnog prenosnika 5-6. Za vremenski faktor uzeti 1,2; eksponent $m=5$, a faktor uticaja savijanja kaiša je 1,85.

R E Š E N J E**Zadatak 1.****Radni prenosni odnosi:**

$$i_{1-2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{70}{25} = 2,8$$

$$i_{3-4} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{57}{2} = 28,5$$

$$i_{5-6} = \frac{d_6}{d_5(1-\xi_k)} = \frac{220}{120 \cdot 1} = 1,8$$

Učestanosti obrtanja i ugaone brzine: $\omega_{s1} = \frac{2\pi \cdot n_{s1}}{60} = \frac{2\pi \cdot 1150}{60} = 120,4 \text{ s}^{-1}$

$$n_{s2} = \frac{n_{s1}}{i_{12} \cdot i_{34}} = \frac{1150}{2,8 \cdot 28,5} = 14,4 \text{ min}^{-1}; \quad \omega_{s2} = \frac{2\pi \cdot n_{s2}}{60} = \frac{2\pi \cdot 14,4}{60} = 1,5 \text{ s}^{-1}$$

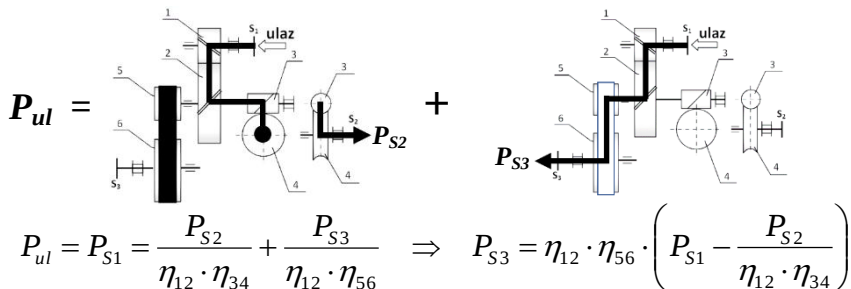
$$n_{s3} = \frac{n_{s1}}{i_{12} \cdot i_{56}} = \frac{1150}{2,8 \cdot 1,8} = 228,2 \text{ min}^{-1}; \quad \omega_{s3} = \frac{2\pi \cdot n_{s3}}{60} = \frac{2\pi \cdot 228,2}{60} = 23,9 \text{ s}^{-1}$$

Zadatak 2.**Traženi obrtni momenti i snage:**

$$T_{s1} = \frac{P_{s1}}{\omega_{s1}} = \frac{15 \cdot 10^3}{120,4} = 124,6 \text{ Nm}$$

$$P_{s2} = T_{s2} \cdot \omega_{s2} = 4500 \cdot 1,5 = 6,75 \text{ kW}$$

Snaga na ulazu u reduktor:



$$P_{ul} = P_{s1} = \frac{P_{s2}}{\eta_{12} \cdot \eta_{34}} + \frac{P_{s3}}{\eta_{12} \cdot \eta_{56}} \Rightarrow P_{s3} = \eta_{12} \cdot \eta_{56} \cdot \left(P_{s1} - \frac{P_{s2}}{\eta_{12} \cdot \eta_{34}} \right)$$

$$P_{s3} = 0,98 \cdot 0,97 \cdot \left(15 - \frac{6,75}{0,98 \cdot 0,79} \right) = 5,97 \text{ kW}$$

Zadatak 3.

Oso rastojanje zupčastog para 1-2 i stepen sigurnosti podnožja S_{F1} :

- za $x_1 + x_2 = 0,1 + (-0,1) = 0 \Rightarrow \alpha = \alpha_w$

$$a_{12} = m \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot 1 = \frac{4}{\cos 11,66} \cdot \frac{25 + 70}{2} = 194 \text{ mm}$$

- Tangencionalna (obimna) sila zupčanika 1:

$$F_{t1} = \frac{T_1}{d_{w1}/2} = \frac{2T_{S1}}{d_{w1}} = \frac{2 \cdot 124,6 \cdot 10^3}{102,1} = 2440,6 \text{ N}$$

$$(d_{w1} = d_1 = m \cdot z_1 = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot z_1 = \frac{4}{\cos 11,66} \cdot 25 = 102,1 \text{ mm})$$

- Faktori korekcije:

$$K_A = 1,25; \text{ u tekstu zadatka je dato: } K_V \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} = 1,95$$

$$Y_\varepsilon = 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_\alpha} = 0,25 + \frac{0,75}{1,65} = 0,7$$

$$Y_\beta = 1 - \varepsilon_\beta \frac{\beta}{120^\circ} = 1 - 1 \cdot \frac{11,66^\circ}{120^\circ} = 0,9$$

$$(\varepsilon_\beta = \frac{b \cdot \sin \beta}{m_n \cdot \pi} = \frac{65 \cdot \sin 11,66}{4 \cdot \pi} = 1,045 > 1 \Rightarrow \varepsilon_\beta = 1)$$

$$z_{n1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta} = \frac{25}{\cos^3 11,66} = 26,6 \approx 27; \quad x_{n1} = \frac{x_1}{\cos \beta} = \frac{0,1}{\cos 11,66} = 0,1$$

za izračunate vrednosti: z_{n1} i $x_{n1} \Rightarrow Y_{Fa} = 2,52; Y_{Sa} = 1,655$

(Knjiga ME2: Tabele 2-9 i 2-10, str. 96 i 97)

- Radni napon u podnožju zubaca zupčanika 1:

$$\sigma_{F1} = Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot \frac{F_t}{b \cdot m_n} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta}$$

$$\sigma_{F1} = 2,52 \cdot 1,655 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot \frac{2440,6}{65 \cdot 4} \cdot 1,25 \cdot 1,95 \Rightarrow \sigma_{F1} = 60 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{- Kritični napon: } [\sigma_{F1}] = \sigma_{F_{lim}} \cdot Y_{NT} \cdot Y_{ST} \cdot Y_{NT} \cdot Y_{\delta T1} \cdot Y_{RT1} \cdot Y_X \cdot Y_R$$

$$\text{po uslovu zadatka: } [\sigma_{F1}] = \sigma_{F_{lim}} \cdot 2 = 192 \cdot 2 = 384 \text{ N/mm}^2$$

Stepen sigurnosti podnožja zubaca zupčanika 1:

$$S_{F1} = \frac{[\sigma_{F1}]}{\sigma_{F1}} = \frac{384}{60} = 6,4 > S_{\min} \quad (1,25 \div 1,50)$$

Zadatak 4.**Ugao zavojnice puža i stepen sigurnosti bokova pužnog točka:**

- Prečnik puža: $d_3 = d_m - 2x_3 \cdot m$;

$$\text{za } x_3 = 0 \Rightarrow d_3 = d_m = m \cdot q = 5 \cdot 10 = 50 \text{ mm}$$

- Prečnik pužnog točka: $d_4 = m \cdot z_4 = 5 \cdot 57 = 285 \text{ mm}$

$$\text{- Osnovno rastojanje pužnog para: } a = \frac{d_3 + d_4}{2} = \frac{50 + 285}{2} = 167,5 \text{ mm}$$

$$\text{Ugao zavojnice puža: } \operatorname{tg} \gamma_m = \frac{z_3}{q} = \frac{2}{10} = 0,2 \Rightarrow \gamma_m = 11,3^\circ$$

Stepen sigurnosti bokova zubaca pužnog točka:

- Radni napon: ($T_4 = T_{S4} = 4500 \text{ Nm}$)

$$\sigma_{H4} = Z_E \cdot Z_\rho \cdot \sqrt{\frac{K_A \cdot T_4}{a^3}} = 152,2 \cdot 3,09 \cdot \sqrt{\frac{1,25 \cdot 4500 \cdot 10^3}{167,5^3}} = 514,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{za P.SuSn10Zn } Z_E = 152,2 \text{ N/mm}^2$$

(Knjiga ME2 – Tab.2-28, str.168)

$$Z_\rho = 2,05 \left(\frac{d_m}{a} \right)^{-0,34} = 2,05 \left(\frac{50}{167,5} \right)^{-0,34} = 3,09$$

- Kritični napon:

$$[\sigma_H] = \sigma_{H\lim} \cdot Z_h \cdot Z_V \cdot Z_S \cdot Z_L \quad (\text{za P.CuSn10Zn: } \sigma_{H\lim} = 350 \text{ N/mm}^2)$$

$$Z_h = \left(\frac{25000}{L_h} \right)^{1/6} = \left(\frac{25000}{25000} \right)^{1/6} = 1$$

$$Z_V = \sqrt{\frac{5}{4 + v_k}} = \sqrt{\frac{5}{4 + 1,1}} = 0,99$$

Brzina klizanja:

$$\left(v_k = \frac{d_m / 2 \cdot 2\pi \cdot n_3}{60 \cdot \cos \gamma_m} = \frac{50 \cdot \pi \cdot 410,7}{60 \cdot \cos 11,3} = 1096,5 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \approx 1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$\left(n_3 = n_2 = \frac{n_1}{i_{12}} = \frac{1150}{2,8} = 410,7 \text{ min}^{-1} \right)$$

$$Z_s = \sqrt{\frac{3000}{2900 + a}} = \sqrt{\frac{3000}{2900 + 167,5}} = 0,99$$

- podmazivanje je poliglikol uljem $\Rightarrow Z_L = 1$

$$[\sigma_H] = \sigma_{H\text{lim}} \cdot Z_h \cdot Z_V \cdot Z_s \cdot Z_L = 350 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 0,99 \cdot 1 = 343 \text{ N/mm}^2$$

Stepen sigurnosti:

$$S_{H4} = \frac{[\sigma_H]}{\sigma_{H4}} = \frac{343}{514,5} = 0,7 < S_{\text{min}} (1 \div 1,25) \Rightarrow \text{Doći će do habanja bokova}$$

Zadatak 5.

Naponi i maksimalni napon u kaišu:

$$\omega_6 = \omega_{S3} = 23,9 \text{ s}^{-1};$$

- radni napon usled zatezanja u radnom ogranku:

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A} = \frac{F_1}{h \cdot b} = \frac{2270}{5 \cdot 180} = 2,522 \text{ N/mm}^2$$

- napon usled savijanja preko manje remenice:

$$\sigma_s = \frac{h}{d_5} \cdot E = \frac{5}{120} \cdot 40 = 1,667 \text{ N/mm}^2$$

- napon usled centrifugalne sile:

$$\sigma_c = \rho \cdot v^2 = 1000 \cdot 2629^2 = 0,00692 \approx 0,007 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Obimna brzina: } \left(v = \frac{d_6}{2} \cdot \omega_6 = \frac{220}{2} \cdot 23,9 = 2629 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 2,63 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

- **Maksimalni napon u kaišu:**

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_s + \sigma_c = 2,522 + 1,667 + 0,007 = 4,2 \text{ N/mm}^2$$

Zadatak 6.

Radni vek kaiša

$$L_h = C_s \cdot C_{NR} \cdot \frac{N_o}{3600 \cdot f_s} \cdot \left(\frac{\sigma_{No}}{\sigma_{\max}} \right)^m ;$$

obimna brzina remena: $v = 2629 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 2,63 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$ broj remenica $x = 2$

dužina remena: $L = 1500 \text{ mm} = 1,5 \text{ m}$

- parametri dinamičke izdržljivosti etalon remenog para:

$$\sigma_{No} = 5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} ; \quad N_o = 10^7 ; \quad m = 5 ;$$

- učestanost savijanja remena: $f_s = \frac{x \cdot v}{L} = \frac{2 \cdot 2,63}{1,5} = 3,5 \text{ s}^{-1}$

Knjiga ME2: tabl. 4.14, str. 212:

- faktor savijanja remena $C_s = 1,85 ;$

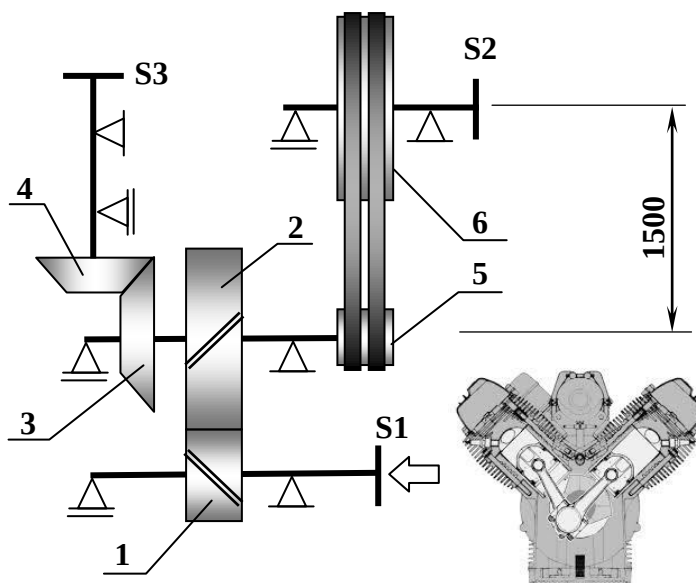
- faktor promene momenta remena $C_{NR} = 1,2$

Radni vek kaiša:

$$L_h = 1,85 \cdot 1,2 \cdot \frac{10^7}{3600 \cdot 3,5} \cdot \left(\frac{5}{4,2} \right)^5 = 4213 \text{ h}$$

ISPITNI ZADATAK 2

Novi industrijski prenosnik snage na slici se sastoji od jednog para cilindričnih evolventnih zupčanika sa kosim zupcima (1-2), jednog para konusnih zupčanika (3-4) i remenog para sa dva pljosnata remena (5-6). Prenosnik snage sa dve izlazne spojnice S2 i S3, je preko spojnice S1 povezan sa pogonskom mašinom (višecilindričnim motorom sa srednjim udarima), snage **12 kW** i učestanosti obrtanja **$n = 1000 \text{ min}^{-1}$** . Kako kod novog prenosnika snage nema proklizavanja remena, svi stepeni iskorišćenja su jednaki i iznose **$\eta = 0,98$** .

**Cilindrični evolventni zupčasti par sa kosim zupcima:**

$$\begin{aligned} z_1 &= 25; & z_2 &= 55; & x_1 + x_2 &= 0; & m_n &= 4 \text{ mm}; \\ \beta &= 13^\circ; & \varepsilon_\alpha &= 1,65; & S_{F1} &= 6,4; & \sigma_{Flim} &= 195,2 \text{ N/mm}^2; \end{aligned}$$

Konusni zupčasti par:

$$z_3 = 53; \quad z_4 = 23; \quad m = 4 \text{ mm}; \quad b_{3-4} = 30 \text{ mm}; \quad \sigma_{Hlim} = 375 \text{ N/mm}^2;$$

Remeni par:

$$d_5 = 160 \text{ mm}; \quad d_6 = 480 \text{ mm}; \quad \text{dimenzije remena: } b = 80 \text{ mm}; \quad h = 5 \text{ mm}$$

IZRAČUNATI

1. Sve radne i kinematske prenosne odnose i učestanosti obrtanja i ugaone brzine na izlaznim spojnicama S2 i S3.

2. Obrtne momente na spojnicama S1 i S3, kao i snage na izlaznim spojnicama S2 i S3, ako je poznato da moment na spojnici S2 iznosi 700 Nm.
3. Osnovno rastojanje zupčastog para 1-2.
4. Širinu zupčanika 1 i 2 za dat stepen sigurnosti, ako je poznato da je vrednost kritičnog napona podnožja zupca zupčanika dvostruko veća od vrednosti dinamičke izdržljivosti etalon zupčanika. Proizvod faktora unutrašnjih dinamičkih sila, raspodele opterećenja na istovremeno spregnute parove zubaca i raspodele opterećenja duž trenutne linije dodira zubaca, jednak je 1,95, a $K_A = 1,75$. Usvojiti $Y_\beta = 0,7$; $Y_{Fa} = 2,25$ i $Y_{Sa} = 1,66$.
5. Stepenn sigurnosti bokova konusnog para 3-4 ako je poznato: faktori radnog napona $Z = 380$; $K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} = 1,8$; $K_A = 1,5$; $K_V = 1,92$. Vrednost kritičnog napona boka zupca zupčanika je za 20% manja od vrednosti dinamičke izdržljivosti etalon zupčanika. Napisati komentar.
6. Maksimalni napon u remenu ako je ukupna sila u radnom (vučnom) ogranku 3000 N. ($E = 35 \text{ N/mm}^2$; $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $C_A = 1,2$).
7. Da li će doći do proklizavanja remena ako se ovaj novi reduktor instalira u halu sa velikim masnim isparenjima, tako da se menjaju vrednosti faktora proklizavanja remena $\xi_k(f_k) = 0,02$; koeficijent trenja na $\mu = 0,9$ i stepen iskorišćenja remenog para $\eta = 0,75$, pri čemu moment na spojnici S2 ostaje nepromenjen.

R E Š E N J E

Zadatak 1.

$$\begin{aligned}
 i_{12} &= \frac{z_2}{z_1} = \frac{55}{25} = 2,2 & \Rightarrow u_{12} &= i_{12} \\
 i_{34} &= \frac{z_4}{z_3} = \frac{23}{55} = 0,434 & \Rightarrow u_{34} &= \frac{1}{i_{12}} = 2,3 \text{ - multiplikator} \\
 i_{56} &= \frac{d_6}{d_5(1-\xi_k)} = \frac{480}{160} = 3 & \Rightarrow u_{56} &= i_{56} \\
 n_{S2} &= \frac{n_{S1}}{i_{12} \cdot i_{56}} = \frac{1000}{2,2 \cdot 3} = 151,52 \text{ min}^{-1} \\
 n_{S3} &= \frac{n_{S1}}{i_{12} \cdot i_{34}} = \frac{1000}{2,2 \cdot 0,434} = 1047,34 \text{ min}^{-1}
 \end{aligned}
 \quad \left| \quad \begin{aligned}
 \omega_{S1} &= \frac{2\pi \cdot n_{S1}}{60} = 104,72 \text{ s}^{-1} \\
 \omega_{S2} &= \frac{2\pi \cdot n_{S2}}{60} = 15,87 \text{ s}^{-1} \\
 \omega_{S3} &= \frac{2\pi \cdot n_{S3}}{60} = 109,68 \text{ s}^{-1}
 \end{aligned}
 \right.$$

Zadatak 2.

$$T_{S1} = \frac{P_{S1}}{\omega_{S1}} = \frac{12 \cdot 10^3}{104,72} = 114,59 \text{ Nm}$$

$$P_{ul} = P_{S1} = \frac{P_{S3}}{\eta_{12}\eta_{34}} + \frac{P_{S2}}{\eta_{12}\eta_{56}}$$

$$P_{S2} = T_{S2} \cdot \omega_{S2} = 700 \cdot 15,87 = 11,107 \text{ kW}$$

$$P_{S3} = \left(P_{S1} - \frac{P_{S2}}{\eta_{12}\eta_{56}} \right) \cdot \eta_{12}\eta_{34} = \left(12 - \frac{11,107}{0,98^2} \right) \cdot 0,98^2 = 0,418 \text{ kW}$$

$$T_{S3} = \frac{P_{S3}}{\omega_{S3}} = \frac{0,418 \cdot 10^3}{109,68} = 3,809 \text{ Nm}$$

Zadatak 3.

$$\text{Za } x_1 + x_2 = 0 \Rightarrow \alpha = \alpha_w$$

$$a_{12} = m \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} = \frac{4}{\cos 13^\circ} \cdot \frac{25 + 55}{2} = 164,2 \text{ mm}$$

Zadatak 4.

$$\text{Tangencijalna sila: } F_{t1} = \frac{2 \cdot T_{S1}}{d_{w1}} = \frac{2 \cdot 114,59 \cdot 10^3}{102,63} = 2233,07 \text{ N}$$

$$m = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{4}{\cos 13^\circ} = 4,105 \text{ mm} \quad d_{w1} = d_1 = m \cdot z_1 = 4,105 \cdot 25 = 102,63 \text{ mm}$$

Napon na bokovima zupčanika 1:

$$\sigma_{F1} = \underbrace{Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot Y_{Fa} \cdot Y_{Sa}}_Y \cdot \frac{F_{t1}}{b \cdot m_n} \cdot \underbrace{K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}}_K$$

$$Y_\varepsilon = 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_\alpha} = 0,25 + \frac{0,75}{1,65} = 0,7$$

dato u tekstu zadatka: $\varepsilon_\alpha = 1,65$; $Y_\beta = 0,7$; $Y_{Fa} = 2,25$; $Y_{Sa} = 1,66$;

$K_V \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} = 1,95$; višecilindrični motor sa srednjim udarima $\Rightarrow K_A = 1,75$

$$K = 1,75 \cdot 1,95 = 3,4125;$$

$$Y = 0,7 \cdot 0,7 \cdot 2,25 \cdot 1,66 = 1,83$$

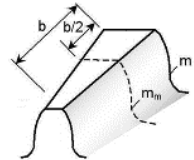
$$\sigma_F = Y \cdot \frac{F_{t1}}{b \cdot m_n} \cdot K \leq \sigma_{doz}; \quad \sigma_{doz} = \frac{[\sigma_F]}{S_F} = \frac{2\sigma_{lim}}{S_F} = \frac{2 \cdot 195,2}{6,4} = 61 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow b \geq Y \cdot \frac{F_{t1}}{m_n \cdot \sigma_{doz}} \cdot K \geq 1,83 \cdot \frac{2233,07}{4 \cdot 61} \cdot 3,4125 \geq 57,15 \quad \boxed{b = 60 \text{ mm}}$$

Zadatak 5.

$$\operatorname{tg} \delta_4 = \frac{1}{u} = \frac{1}{2,3} = 0,43783 \Rightarrow \boxed{\delta_4 = 23,498^\circ} \Rightarrow \delta_3 = 66,502^\circ$$

$$m_m = m - \frac{b \cdot \sin \delta_4}{z_4} = 4 - \frac{30 \cdot \sin 23,498}{23} = 3,4799 \approx 3,48 \text{ mm}$$



$$\sigma_H = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{t4}}{b \cdot d_{m4}} \cdot \frac{\sqrt{u^2 + 1}}{u}} \cdot K; \quad d_{m4} = m_m \cdot z_4 = 3,48 \cdot 23 = 80,04 \text{ mm}$$

$$T_4 = \frac{P_{S3}}{\omega_{S3}} = \frac{0,418 \cdot 10^3}{109,68} = 3,811 \text{ Nm}; \quad F_{t4} = \frac{2 \cdot T_4}{d_{m4}} = \frac{2 \cdot 3,811 \cdot 10^3}{80,04} = 95,23 \text{ N}$$

$$Z = 380; \quad K = K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} = 1,5 \cdot 1,92 \cdot 1,8 = 5,184$$

$$\sigma_H = 380 \cdot \sqrt{\frac{95,23}{30 \cdot 80,04} \cdot \frac{\sqrt{2,3^2 + 1}}{2,3}} \cdot 5,184 = 179,92 \text{ N/mm}^2;$$

$$S_{H4} = \frac{[\sigma_H]}{\sigma_{H4}} = \frac{0,8 \cdot \sigma_{Hlim}}{\sigma_{H4}} = \frac{0,8 \cdot 375}{179,92} = 1,67 > S_{Hmin} \quad (S_H = 1,25 \dots 2,5)$$

Zadatak 6.

Radni napon u jednom remenu:

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A \cdot z} = \frac{3000}{5 \cdot 80 \cdot 2} = 3,75 \text{ N/mm}^2; \quad \text{broj remenova } z = 2$$

$$\sigma_s = E \cdot \frac{h}{d_5} = 35 \cdot \frac{5}{160} = 1,094 \text{ N/mm}^2;$$

$$\sigma_c = \rho \cdot v^2 = 1000 \cdot 3,8^2 = 14440 \text{ N/m}^2, \Rightarrow \sigma_c = 0,01444 \text{ N/mm}^2,$$

$$v = \frac{d_6}{2} \cdot \omega_6 = \frac{480}{2} \cdot 15,87 = 3808,8 \text{ mm/s} = 3,8 \text{ m/s}; \quad \omega_6 = \omega_{s2}$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_s + \sigma_c = 3,75 + 1,094 + 0,01444 = 4,86 \text{ N/mm}^2$$

Zadatak 7.

Kako se u novim radnim uslovima menjaju: faktor proklizavanja remena $\xi_k(f_k) = 0,02$; koeficijent trenja na $\mu = 0,9$ i stepen iskorišćenja remenog para $\eta_{56} = 0,75$, to će se promeniti: i_{56} , n_{s2} , ω_{s2} i snaga P_{s2} :

$$i_{56} = \frac{d_6}{d_5(1-\xi_k)} = \frac{480}{160 \cdot (1-0,02)} = 3,0612$$

$$n_{s2} = \frac{n_{s1}}{i_{12} \cdot i_{56}} = \frac{1000}{2,2 \cdot 3,0612} = 148,458 \text{ min}^{-1}; \Rightarrow \omega_{s2} = \frac{2\pi \cdot n_{s2}}{60} = 15,546 \text{ s}^{-1}$$

$$P_{s2} = T_{s2} \cdot \omega_{s2} = 700 \cdot 10^3 \cdot 15,546 = 10,882 \text{ kW}$$

Snaga na remenici 5:

$$P_5 = \frac{P_{s2}}{\eta_{56}} = \frac{10,882}{0,75} = 14,51 \text{ kW}$$

$$\omega_5 = \omega_{s2} \cdot i_{56} = 15,45 \cdot 3,0612 = 47,59 \text{ s}^{-1};$$

Moment na remenici 5:

$$T_5 = \frac{P_5}{\omega_5} = \frac{14,51 \cdot 10^3}{47,59} = 304,89 \text{ Nm} \left(T_5 = \frac{T_{s2}}{i_{56} \cdot \eta_{56}} = \frac{700}{3,0612 \cdot 0,75} = 304,89 \text{ Nm} \right)$$

$$F_{t5} = \frac{2 \cdot T_5}{d_5} = \frac{2 \cdot 304,89 \cdot 10^3}{160} = 3811,12 \text{ N}$$

$$\sin \gamma = \frac{d_6 - d_5}{2 \cdot a} = \frac{480 - 160}{2 \cdot 1500} = 0,10667 \Rightarrow \gamma = 6,123^\circ$$

$$\beta = 180 - 2\gamma = 180 - 6,123 = 167,754^\circ \rightarrow \beta = \frac{\beta^\circ \cdot \pi}{180} = \frac{167,754 \cdot \pi}{180} = 2,928 \text{ rad}$$

$$e^{\mu\beta} = e^{0,9 \cdot 2,928} = 13,946$$

Sila u radnom ogranku:

$$F_1 = \frac{e^{\mu\beta}}{e^{\mu\beta} - 1} \cdot F_t \cdot C_A \cdot S_\mu$$

broj remenova $z = 2$; $\rightarrow F_t = \frac{F_{t5}}{z}$

$$\Rightarrow S_\mu = \frac{F_1 \cdot (e^{\mu\beta} - 1)}{e^{\mu\beta} \cdot C_A \cdot F_{t5} / z} = \frac{3000 \cdot 12,946}{13,946 \cdot 1,2 \cdot 3811,12 / 2} = 1,217 > S_{\min} (1,1 \div 1,2)$$

Komentar: U novim radnim uslovima neće doći do proklizavanja remenova.

ISPITNI ZADATAK 3

Industrijski prenosnik snage na slici se sastoji od jednog para cilindričnih evolventnih zupčanika sa kosim zupcima (1-2), para konusnih zupčanika (3-4) i remenog para (5-6) sa tri pljosnata remena. Prenosnik snage od višecilindričnog motora sa srednjim udarima, preko spojnice **S1** prenosi snagu na dve izlazne spojnice S2 i S3. Snaga motora je **16 kW** sa učestanosti obrtanja **$n = 1000 \text{ min}^{-1}$** .

Podaci:**Cilindrični evolventni zupčasti par sa kosim zupcima:**

$$z_1 = 25; \quad z_2 = 70; \quad x_1 + x_2 = 0;$$

$$m_n = 4 \text{ mm}; \quad \eta_{12} = 0,98$$

$$\beta = 12^\circ; \quad S_{F1} = 6,4;$$

$$\sigma_{Flim} = 192 \text{ N/mm}^2; \quad b_{1-2} = 67 \text{ mm}$$

Konusni zupčasti par:

$$z_3 = 53; \quad z_4 = 23;$$

$$m = 4 \text{ mm}; \quad b_{3-4} = 42 \text{ mm};$$

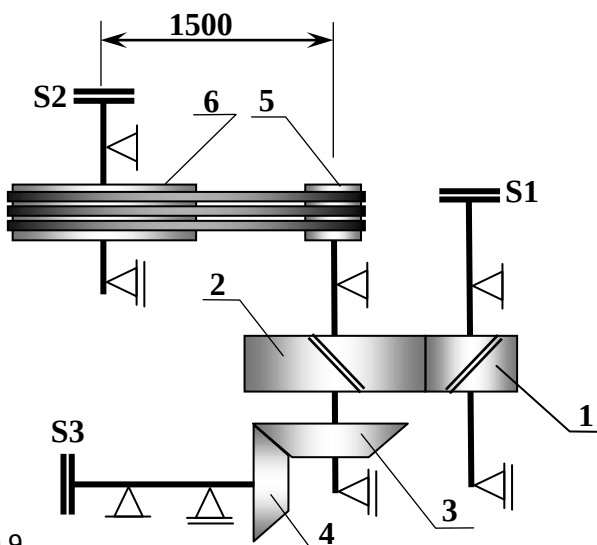
$$\sigma_{Hlim} = 730 \text{ N/mm}^2; \quad \eta_{34} = 0,98$$

Remeni par:

$$d_5 = 160 \text{ mm}; \quad d_6 = 480 \text{ mm};$$

$$b \times h = 160 \times 5 \text{ mm}; \quad \eta_{56} = 0,95;$$

$$\text{faktor klizanja } \xi_k (f_k) = 0,01; \quad \mu = 0,9$$

**1. Odrediti:**

- Obrtne momente na spojnicama S1 i S3, kao i snage na izlaznim spojnicama S2 i S3, ako je poznato da moment na spojnici **S2** iznosi **650 Nm**.
- Napon u podnožju zupčanika 1, ako je aktivna dužina dodirnice **19,87mm**. Faktor unutrašnjih dinamičkih sila je **1,2125**, a proizvod faktora raspodele opterećenja na istovremeno spregnute parove zubaca i raspodele opterećenja duž trenutne linije dodira zubaca, jednak je **1,6**. Usvojiti **$Y_{Fa} = 2,25$** i **$Y_{Sa} = 1,66$** .
- Stepen sigurnosti bokova konusnog para 3-4 ako je poznato: **$\epsilon_{\alpha} = 1,75$** ; faktori **$Z_E = 189,8 \sqrt{\text{N/mm}^2}$** ; **$K_{H\alpha} = 1,3$** ; **$K_{H\beta} = 1,85$** ; **$K_v = 1,83$** . Vrednost kritičnog napona boka zupca zupčanika je za 2% manja od vrednosti dinamičke izdržljivosti etalon zupčanika (**$\sigma_{Hlim} = 740 \text{ N/mm}^2$**). Napisati komentar.

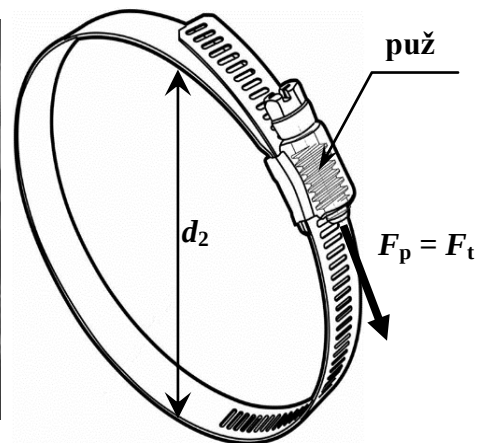
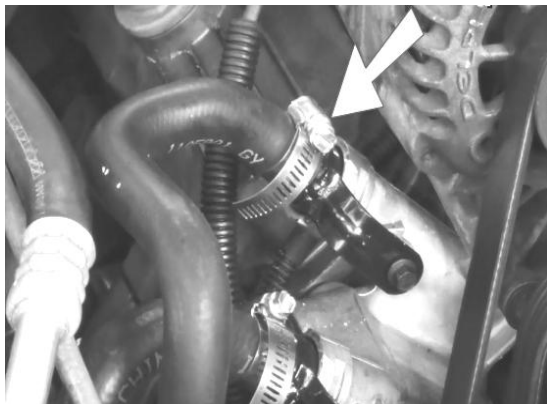
d) Broj obrtaja remenice 6 i maksimalni napon u pljosnatom remenu ako je ukupna sila prethodnog pritezanja remenova **1791,5639N** ($E=35 \text{ N/mm}^2$; $C_A=1,1$). Napon usled centrifugalne sile zanemariti.

e) Frekvenciju savijanja remena.

2. Za pričvršćivanje gumenog creva turbine četvorotaktnog motora automobila sa srednjim udarima, koristi se stega (šelna) sa jednonavojnim pužem, kao na slici. Da bi se sprečilo svlačenje creva, treba obezbediti silu pritezanja zupčaste čelične trake oko creva od **94N**. Izračunati napon na boku pužnog prenosnika ako je poznato:

$$m = m_n = m_x = 1\text{mm}; \quad Z_E = 189,8 \sqrt{N / \text{mm}^2};$$

$$q = 8; \quad d_2 = 40\text{mm}; \quad x = 0.$$



REŠENJE

Zadatak 1.

a) Snage i obrtni momenti na spojnicama: $P_{S1} = \frac{P_{S2}}{\eta_{12}\eta_{56}} + \frac{P_{S3}}{\eta_{12}\eta_{34}} \Rightarrow$

$$P_{S3} = \eta_{12}\eta_{34} \left(P_{S1} - \frac{P_{S2}}{\eta_{12}\eta_{56}} \right) = 0,98^2 \left(16 - \frac{10,21}{0,98 \cdot 0,95} \right)$$

$$P_{S3} = 4,83 \text{ kW}, \quad P_{S2} = T_{S2} \cdot \omega_{S2} = 650 \cdot 12,34 = 8021,5 \text{ W} = 8,021 \text{ kW}$$

Prenosni odnosi i učestanosti obrtanja:

$$\begin{aligned}
 i_{12} &= \frac{z_2}{z_1} = \frac{70}{25} = 2,8 \\
 i_{34} &= \frac{z_4}{z_3} = \frac{23}{53} = 0,434 \quad (\text{multiplikator}) \quad (u_{34} = 2,3) \\
 i_{56} &= \frac{d_6}{d_5(1-\xi_k)} = \frac{480}{160(1-0,01)} = 3,03 \\
 T_{S1} &= \frac{P_{S1}}{\omega_{S1}} = \frac{16 \cdot 10^3}{104,72} = 152,79 \text{ Nm} \quad T_{S3} = \frac{P_{S3}}{\omega_{S3}} = \frac{7,09 \cdot 10^3}{86,13} = 82,32 \text{ Nm} \\
 n_{S3} &= \frac{n_{S1}}{i_{12} i_{34}} = \frac{1000}{2,8 \cdot 0,434} = 822,909 \text{ min}^{-1} \\
 n_{S2} &= \frac{n_{S1}}{i_{12} i_{56}} = \frac{1000}{2,8 \cdot 3,3} = 117,87 \text{ min}^{-1} \\
 n_{S1} &= 1000 \text{ min}^{-1} \\
 \omega_{S1} &= 104,72 \text{ s}^{-1}; \quad \omega_{S2} = 12,34 \text{ s}^{-1}; \quad \omega_{S3} = 86,13 \text{ s}^{-1}
 \end{aligned}$$

b) Napon u podnožju zupčanika 1:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{F1} &= Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot \frac{F_{t1}}{b \cdot m_n} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \\
 F_{t1} &= \frac{T_{S1}}{d_1/2} = \frac{2 \cdot 152,79 \cdot 10^3}{102,25} = 2988,6 \text{ N} \\
 Y_\varepsilon &= 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_\alpha} = 0,25 + \frac{0,75}{1,65} = 0,7 \\
 \varepsilon_\alpha &= \frac{\ell}{m \cdot \pi \cdot \cos \alpha} = \frac{19,87}{4,09 \cdot \pi \cdot \cos 20,41^\circ} \\
 \varepsilon_\alpha &= 1,6499 \approx 1,65 \\
 \varepsilon_\beta &= \frac{b \cdot \sin \beta}{m_n \cdot \pi} = \frac{67 \cdot \sin 12^\circ}{4 \cdot \pi} = 1,108 \rightarrow \text{kako je } \varepsilon_\beta > 1, \text{ uzima se } \varepsilon_\beta = 1 \\
 Y_\beta &= 1 - \varepsilon_\beta \frac{\beta}{120^\circ} = 1 - 1 \cdot \frac{12^\circ}{120^\circ} = 0,9 \\
 Y_{Fa} &= 2,25 \quad \text{i} \quad Y_{Sa} = 2,25 \quad \text{je dato u tekstu zadatka} \\
 K_A &= 1,25 \quad (\text{Tab.2-6, str. 75}) \quad \text{višecilindrični motor sa srednjim udarima} \\
 \text{u zadatku je dato: } K_V &= 1,2125 \quad \text{i} \quad K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} = 1,6
 \end{aligned}$$

$$Y_\beta = 1 - \varepsilon_\beta \frac{\beta}{120^\circ} = 1 - 1 \cdot \frac{12^\circ}{120^\circ} = 0,9$$

$Y_{Fa} = 2,25$ i $Y_{Sa} = 2,25$ je dato u tekstu zadatka

$K_A = 1,25$ (Tab.2-6, str. 75) višecilindrični motor sa srednjim udarima

u zadatku je dato: $K_V = 1,2125$ i $K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} = 1,6$

$$\sigma_{F1} = 0,7 \cdot 0,9 \cdot 2,25 \cdot 1,66 \cdot \frac{2988,6}{67 \cdot 4} \cdot 1,25 \cdot 1,2125 \cdot 1,6$$

$$\sigma_{F1} = 63,63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

c) Uglovi konusa:

$$u_{34} = 2,3 \quad tg \delta_4 = \frac{1}{u} = \frac{1}{2,3} = 0,43783 \Rightarrow \delta_4 = 23,498^\circ$$

$$tg \delta_3 = u_{34} = 2,3 \Rightarrow \delta_3 = 66,501^\circ \quad (\delta_3 = 90 - \delta_4 = 66,502^\circ)$$

$$m_m = m - \frac{b \cdot \sin \delta_4}{z_4} = 4 - \frac{42 \cdot \sin 23,498^\circ}{23} = 3,27 \text{ mm}$$

$$\sigma_H = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot Z_\beta \cdot \sqrt{\frac{F_{t4}}{b \cdot d_{m4}} \cdot \frac{\sqrt{u^2 + 1}}{u} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}}$$

U zadatku je dato:

$$Z_E = 189,9 \quad K_A = 1,25 \quad K_{H\alpha} = 1,3 \quad K_{H\beta} = 1,85 \quad \varepsilon_\alpha = 1,75$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \sqrt{\frac{2}{tg \alpha_w}} = \frac{1}{\cos 20^\circ} \cdot \sqrt{\frac{2}{tg 20^\circ}} = 2,49 \quad (\alpha = \alpha_w = 20^\circ)$$

pravi zupci

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,75}{3}} = 0,866$$

Izračunato pod tačkom (a): $T_4 = T_{S3} = 82,32 \text{ Nm}$

$$d_{m4} = m_m \cdot z_4 = 3,27 \cdot 23 = 75,21 \text{ mm}$$

$$F_{t4} = \frac{2T_4}{d_{m4}} = \frac{2 \cdot 82,32 \cdot 10^3}{75,21} = 2189,07 \text{ N}$$

$$\sigma_H = 189,9 \cdot 2,49 \cdot 0,866 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{2189,07}{42 \cdot 75,21} \cdot \frac{\sqrt{2,3^2 + 1}}{2,3}} \cdot 1,25 \cdot 1,83 \cdot 1,3 \cdot 1,85$$

$$\sigma_H = 817,09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$[\sigma_H]_4 = \sigma_{H \lim} \cdot 0,98 = 740 \cdot 0,98 = 725,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{H4} = \frac{[\sigma_{H4}]}{\sigma_{H4}} = \frac{[725,2]}{817,09} = 0,8875 \Rightarrow S_{H4} < S_{\min}$$

Komentar: usvojiti bolji materijal ili povećati širinu zupčanika b .

d) Broj obrtaja remenice 6:

$$n_6 = n_{S2} = \frac{n_{S1}}{i_{12} \cdot i_{56}} = \frac{1000}{2,8 \cdot 3,3} = 117,87 \text{ min}^{-1} \Rightarrow \omega_6 = \omega_{S2} = 12,34 \text{ s}^{-1}$$

$$\omega_5 = \omega_{S2} \cdot i_{56} = 12,34 \cdot 3,03 \Rightarrow \omega_5 = 37,4 \text{ s}^{-1}$$

$$\sin \gamma = \frac{d_6 - d_5}{2a} = \frac{480 - 160}{2 \cdot 1500} = 0,10667 \Rightarrow \gamma = 6,123^\circ$$

Obvojni ugao manje remenice: $\beta = 180 - 2\gamma = 180 - 2 \cdot 6,123 = 167,754^\circ$

$$\frac{\beta^\circ \cdot \pi}{180} = \beta \text{ u radijanima} \Rightarrow \beta = 2,93 \text{ rad}$$

Maksimalni napon se računa preko manje remenice 5:

$$P_5 = \frac{P_{s2}}{\eta_{56}} = \frac{8,021}{0,95} = 8,442 \text{ kW}$$

$$T_5 = \frac{P_5}{\omega_5} = \frac{8442}{37,4} = 225,723 \text{ Nm}$$

$$F_{t5} = \frac{2T_5}{d_5} = \frac{2 \cdot 225,723}{160} = 2821,5 \text{ N}$$

Ukupno opterećenje u radnom ogranku (na sva tri remena):

prvi način:

$$F_1 = F_p + \frac{F_t}{2} C_A = 1791,5639 + \frac{2821,5}{2} \cdot 1,1 \quad F_1 = 3343,3889 \text{ N}$$

drugi način:

$$F_1 = \frac{e^{\mu\beta}}{e^{\mu\beta} - 1} \cdot F_t \cdot C_A = \frac{13,97}{13,97 - 1} \cdot 2821,5 \cdot 1,1 \quad F_1 = 3343,3889 \text{ N}$$

($e^{\mu\beta} = e^{0,9 \cdot 2,93} = 13,97$), ugao β se unosi u radijanima.

Sila u **jednom** remenu radnog ogranka:

$$F = \frac{F_1}{Z} = \frac{3343,389}{3} = 1114,46 \text{ N} \quad (\text{broj remenova } Z=3)$$

Maksimalni napon u jednom remenu:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_s + \sigma_c$$

$$\sigma_1 = \frac{F}{A} = \frac{F}{b \cdot h} = \frac{1114,46}{160 \cdot 5} = 1,393 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_s = E \cdot \frac{h}{d_5} = 35 \cdot \frac{5}{160} = 1,09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{dato u tekstu zadatka: } \sigma_c = 0$$

$$\sigma_{\max} = 1,393 + 1,09 + 0 = 2,483 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$\sigma_{\max} = 2,483 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
--

e) Da bi izračunali frekvenciju remena f , računa se prvo dužina remena L :

$$\sin \gamma = \frac{d_2 - d_1}{2a} = \frac{480 - 160}{2 \cdot 1500} = 0,10667 \Rightarrow \gamma = 6,123^\circ$$

$$\beta_5 = 180 - 2\gamma = 180 - 2 \cdot 6,123 = 167,754^\circ \quad \beta_6 = 180 + 2\gamma = 192,246^\circ$$

prvi način: $L = 2a \cdot \cos \gamma + \frac{\pi}{2}(d_6 + d_5) + \frac{\pi \cdot \gamma}{180^\circ}(d_6 - d_5)$

$$L = 21500 \cdot \cos 6,123^\circ + \frac{\pi}{2}(480 + 160) + \frac{\pi \cdot 6,123^\circ}{180^\circ}(480 - 160) = 4022,39 \text{ mm}$$

drugi način preko obvojnih uglova: $L = 2a \cdot \cos \gamma + \frac{\pi}{180^\circ} \left(\frac{d_6}{2} \beta_6 + \frac{d_5}{2} \beta_5 \right)$

$$L = 21500 \cdot \cos 6,123^\circ + \frac{\pi}{180^\circ} \left(\frac{480}{2} 192,246^\circ + \frac{160}{2} 167,754^\circ \right) = 4022,39 \text{ mm}$$

Usvaja se standardna računaska dužina (Tabl. 4-11, str.208) $\rightarrow L = 4000 \text{ mm}$

Frekvencija savijanja remena:

$$f = \frac{v}{L} \cdot X = \frac{2961,6}{4000} \cdot 2 = 1,4808 \text{ Hz; Ukupan broj remenica: } X = 2$$

$$\text{Obimna brzina: } v = \frac{d_5}{2} \cdot \omega_5 = \frac{d_6}{2} \cdot \omega_{s2} = \frac{480}{2} \cdot 12,34 = 2961,6 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 2,9616 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Zadatak 2.

$$\sigma_H = Z_E \cdot Z_\rho \sqrt{\frac{K_A \cdot T_2}{a^3}}$$

$$T_2 = F_t \cdot \frac{d_2}{2} = 94 \cdot \frac{40}{2} = 1880 \text{ Nmm}$$

$$\text{tg } \gamma_m = \frac{z_1}{q} = \frac{1}{8} = 0,125 \Rightarrow \gamma_m = 7,125^\circ \text{ (puž sa jednom zavojnicom} \Rightarrow$$

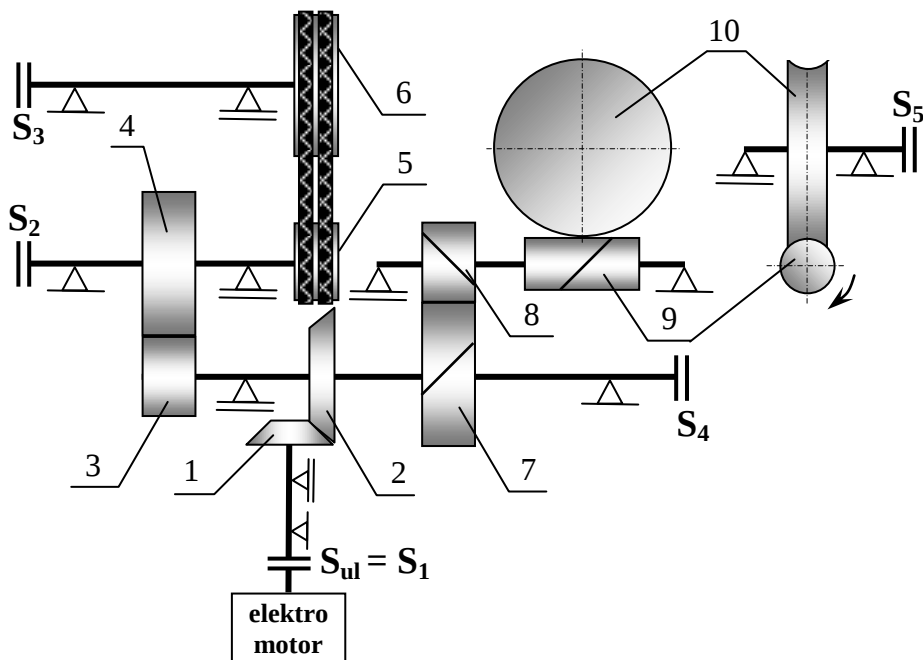
$$z_1=1)$$

$$d_m = \frac{z_1 \cdot m}{\text{tg } \gamma_m} = \frac{1 \cdot 1}{0,125} = 8 \text{ mm}$$

$$a = \frac{q + 2x + d_2}{2} = \frac{8 + 0 + 40}{2} = 24 \text{ mm}$$

$$Z_\rho = 2,05 \left(\frac{d_m}{a} \right)^{-0,34} = 2,05 \left(\frac{8}{24} \right)^{-0,34} = 2,978$$

$$\sigma_H = 189,9 \cdot 2,978 \sqrt{\frac{1,25 \cdot 1880}{24^3}} = 233,167 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \rightarrow \boxed{\sigma_H = 233,167 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

ISPITNI ZADATAK 4

Kombinovani prenosnik snage prikazan na slici sastoji se iz elektromotora snage učestanosti obrtanja $n_{EM} = 3000 \text{ min}^{-1}$, konusnog zupčastog para 1-2, cilindričnog evolventnog zupčastog para 3-4 sa pravim zupcima, remenog prenosnika 5-6, zupčastog para 7-8 sa kosim zupcima izrađenih od čelika i pužnog para 9-10 tipa ZA (Arhimedov) sa levom bočnom zavojnom površinom. Ako su poznate snage na izlaznim spojnicama $P_{S2}=4\text{kW}$, $P_{S3}=2\text{kW}$, $P_{S4}=6\text{kW}$ i $P_{S5}=8\text{kW}$,

IZRAČUNATI:

1. Snagu na ulaznoj spojnici S1;
2. Učestanosti obrtanja spojnice S2, S3, S4 i S5 i vrednost obrtnog momenta na spojnici S5;
3. Oso rastojanje i ugao dodirnice ($\alpha_n=20^\circ$) cilindričnog zupčastog para 7-8, ako je ukupno pomeranje profila zubaca nula;
4. Napon na bokovima zupčanika 8;
5. Srednji prečnik zupčanika 1.
6. Oso rastojanje pužnog para 9-10. Materijal pužnog točka je P.CuSn12, a kritični napon na bokovima zubaca 354 N/mm^2 . Stepenn sigurnosti bokova pužnog točka $S_{H10} = 1,25$.

PODACI:**zupčasti par 1-2**

$$z_1=22; \quad z_2=55; \quad b=45 \text{ mm}; \quad m_{1-2}=4,5 \text{ mm}; \quad \eta_{12}=0,98$$

zupčasti par 3-4

$$i_{3-4}=3,8 \quad b=40 \text{ mm} \quad m_{n3-4}=4 \text{ mm} \quad \eta_{34}=0,97$$

remeni par 5-6

$$d_{w5}=70 \text{ mm} \quad d_{w6}=110 \text{ mm} \quad f_k=0,02 \quad \eta_{56}=0,87$$

zupčasti par 7-8

$$z_7=55 \quad z_8=22 \quad b_8=38 \text{ mm} \quad m_{n7-8}=4 \text{ mm} \quad \beta=12^\circ \quad \alpha_n=20^\circ \quad x_1+x_2=0 \quad \eta_{78}=0,98$$

proizvod faktora karaktera i raspodele opterećenja je $K=2,65$; $Z_e=0,78$

pužni par 9-10

$$z_9=1; \quad z_{10}=59; \quad q=10; \quad \mu=0,045; \text{ faktor oblika kontakta zupca je } 2,94; \quad K_A=1,25$$

R E Š E N J E**Zadatak 1.****Snaga elektromotora**

$$P_{S1} = \frac{P_{S2}}{\eta_{12} \cdot \eta_{34}} + \frac{P_{S3}}{\eta_{12} \cdot \eta_{34} \cdot \eta_{56}} + \frac{P_{S4}}{\eta_{12}} + \frac{P_{S5}}{\eta_{12} \cdot \eta_{78} \cdot \eta_{9-10}}$$

$$\operatorname{tg} \gamma_m = \frac{z_9}{q} = \frac{1}{10} = 0,1 \Rightarrow \gamma_m = 5,71^\circ; \quad \rho = \operatorname{arctg} \mu = \operatorname{arctg} 0,045 = 2,58^\circ$$

$$\eta_{9-10} = \frac{\operatorname{tg} \gamma_m}{\operatorname{tg}(\gamma_m + \rho)} = \frac{\operatorname{tg} 5,71^\circ}{\operatorname{tg}(5,71^\circ + 2,58^\circ)} = 0,68$$

$$P_{S1} = \frac{4}{0,98 \cdot 0,97} + \frac{2}{0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,87} + \frac{6}{0,98} + \frac{8}{0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,68} = 24,99 \text{ kW}$$

Za dalji proračun koristićemo zaokruženu vrednost $P_{S1} = 25 \text{ kW}$

Zadatak 2.**Radni prenosni odnosi i učestanosti obrtanja**

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{55}{22} = 2,5 \quad i_{34} = 3,8 \quad i_{56} = \frac{d_{w6}}{d_{w5}} \cdot \frac{1}{1 - f_k} = \frac{110}{70} \cdot \frac{1}{1 - 0,02} = 1,6$$

$$i_{78} = \frac{z_8}{z_7} = \frac{22}{55} = 0,4 \text{ (multiplikator)} \quad i_{9-10} = \frac{z_{10}}{z_9} = \frac{59}{1} = 59$$

$$n_{S1} = 3000 \text{ min}^{-1} \quad \omega_{S1} = \frac{2\pi \cdot n_{S1}}{60} = \frac{2\pi \cdot 3000}{60} = 314,16 \text{ s}^{-1}$$

$$n_{S2} = \frac{n_{S1}}{i_{12} \cdot i_{34}} = \frac{3000}{2,5 \cdot 3,8} = 315,79 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{S3} = \frac{n_{S1}}{i_{12} \cdot i_{34} \cdot i_{56}} = \frac{3000}{2,5 \cdot 3,8 \cdot 1,6} = 197,37 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{S4} = \frac{n_{S1}}{i_{12}} = \frac{3000}{2,5} = 1200 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{S5} = \frac{n_{S1}}{i_{12} \cdot i_{78} \cdot i_{9-10}} = \frac{3000}{2,5 \cdot 0,4 \cdot 59} = 50,85 \text{ min}^{-1}$$

$$\omega_{S5} = \frac{2\pi \cdot n_{S5}}{60} = \frac{2\pi \cdot 50,85}{60} = 5,325 \text{ s}^{-1}$$

$$T_{S5} = \frac{P_{S5}}{\omega_{S5}} = \frac{8 \cdot 10^3}{5,325} = 1502,35 \text{ Nm}$$

Zadatak 3.

Osnovno rastojanje:

$$a_{78} = m \cdot \frac{z_7 + z_8}{2} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = 4,09 \cdot \frac{55 + 22}{2} \cdot 1 = 157,5 \text{ mm}$$

$$m = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{4}{\cos 12^\circ} = 4,09 \text{ mm}$$

iz uslova zadatka: $x_7 + x_8 = 0 \Rightarrow \alpha = \alpha_w$

- ugao dodirnice:

$$\tan \alpha = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 12^\circ} = 0,3721 \Rightarrow \alpha = \alpha_w = 20,41^\circ$$

Zadatak 4.

Napon na bokovima zupčanika 8:

$$\sigma_{H8} = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{t8}}{b_8 \cdot d_8} \cdot \frac{u+1}{u} \cdot K}$$

$$P_8 = \frac{P_{S5}}{\eta_{9-10}} = \frac{8}{0,68} = 11,8 \text{ kW}; \quad T_8 = \frac{P_8}{\omega_8} = \frac{11,8}{314,16} = 37,56 \text{ Nm}$$

$$\omega_8 = \frac{\omega_{s1}}{i_{12} \cdot i_{78}} = \frac{314,16}{2,5 \cdot 0,4} = 314,16 \text{ s}^{-1};$$

Prečnik podeonog kruga:

$$d_8 = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot z_8 = \frac{4}{\cos 12} \cdot 22 = 4,9 \cdot 22 = 89,98 \text{ mm}$$

Tangentna sila zupčanika 8:

$$F_{t8} = \frac{2T_8}{d_8} = \frac{2 \cdot 37,56 \cdot 10^3}{89,98} = 834,8 \text{ N}$$

$$Z = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\epsilon \cdot Z_\beta; \quad \text{za čelik po čeliku} \Rightarrow Z_E = 189,8 \sqrt{N / \text{mm}^2}$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \cos \beta_b}{\text{tg } \alpha_w}}; \quad \alpha = \alpha_w = 20,41^\circ \text{ za } x_7 + x_8 = 0$$

$$\text{tg } \beta_b = \text{tg } \beta \cdot \cos \alpha = \text{tg } 12^\circ \cdot \cos 20,41^\circ \Rightarrow \beta_b = 11,267^\circ$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos 20,41} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \cos 11,267}{\text{tg } 20,41}} = 2,45$$

$$Z_\beta = \sqrt{\cos \beta} = \sqrt{\cos 12^\circ} = 0,989; \quad Z_\epsilon = 0,78 - \text{dato u tekstu zadatka}$$

$$Z = 189,8 \cdot 2,45 \cdot 0,78 \cdot 0,989 = 358,72$$

$$K = K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} = 2,65 - \text{dato u tekstu zadatka};$$

$$\text{zpučasti par 7-8 je multiplikator } (i = 0,4) \Rightarrow u_{78} = \frac{1}{i_{78}} = \frac{z_7}{z_8} = \frac{55}{22} = 2,5$$

$$\sigma_{H8} = 358,72 \cdot \sqrt{\frac{834,8}{38 \cdot 89,98} \cdot \frac{2,5+1}{2,5} \cdot 2,65} = 341,4 \text{ N/mm}^2$$

Zadatak 5.

Srednji prečnik konusnog zupčanika 1:

$$u_{12} = i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{55}{22} = 2,5;$$

Ugao konusa:

$$\text{tg } \delta_1 = \frac{1}{u_{12}} = \frac{1}{2,5} = 0,4 \Rightarrow \delta_1 = 21,8^\circ$$

Modul na srednjem prečniku:

$$m_m = m - \frac{b \cdot \sin \delta_1}{z_1} = 4,5 - \frac{45 \cdot \sin 21,8^\circ}{22} = 3,74 \text{ mm}$$

Srednji prečnik zupčanika 1:

$$d_m = m_m \cdot z_1 = 3,74 \cdot 22 \Rightarrow d_m = 82,28 \text{ mm}$$

Zadatak 6.

Oso rastojanje pužnog para 9-10:

$$\sigma_{H10} = Z_E \cdot Z_\rho \cdot \sqrt{\frac{K_A \cdot T_{10}}{a^3}} \Rightarrow a = \sqrt[3]{\frac{K_A \cdot T_{10} \cdot Z_E^2 \cdot Z_\rho^2}{\sigma_{H10}^2}}$$

Vrednosti za $K_A = 1,25$ i $Z_\rho = 2,94$ su date u tekstu zadatka

$$Z_E = 147 \sqrt{N / \text{mm}^2} \text{ za P.CuSn12}$$

$$T_{10} = \frac{P_{10}}{\omega_{10}} = \frac{P_{55}}{\omega_{55}} = \frac{8 \cdot 10^3}{5,325} = 1502,35 \text{ Nm}$$

- Napon na bokovima zupčanika 10:

(tekstom je dato: $[\sigma_{H10}] = 354 \text{ N/mm}^2$ i $S_{H10} = 1,25$)

$$S_{H10} = \frac{[\sigma_{H10}]}{\sigma_{H10}} \Rightarrow \sigma_{H10} = \frac{[\sigma_{H10}]}{S_{H10}} = \frac{354}{1,25} = 283,2 \text{ N/mm}^2$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{1,25 \cdot 1502,35 \cdot 10^3 \cdot 147^2 \cdot 2,94^2}{283,2^2}} = 163,53 \text{ mm}$$

ISPITNI ZADATAK 5

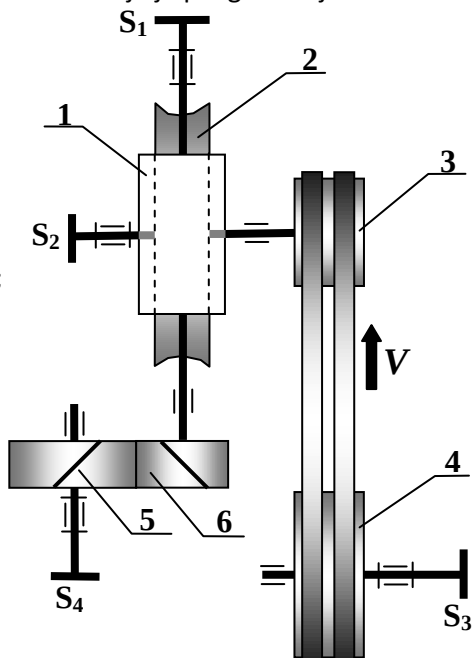
Mehanički prenosnik snage sa jednom ulaznom (S_1) i tri izlazne spojnice, se sastoji od jednog pužnog, dvostrukog kaišnog i cilindričnog zupčastog para sa kosim zupcima. Učestanost obrtanja na ulaznoj spojnici je $n_{s1} = 1000 \text{ min}^{-1}$. Snage na izlaznim spojkama iznose: $P_{s2} = 6 \text{ kW}$, $P_{s3} = 3 \text{ kW}$ i $P_{s4} = 5 \text{ kW}$. Radne i pogonska mašina imaju ravномерan rad bez udara. Podmazivanje je poliglikol uljem.

Podaci:

Pužni par : $z_1=2$; $z_2=60$; $a=180\text{mm}$;
P.CuSn12; $\rho = 1,761^\circ$; $x = 0$; $m=5\text{mm}$.

Cilindrični zupčasti par sa kosim zupcima:
 $z_6 = 25$; $z_5 = 60$; $m_n = 5\text{mm}$; $c = 0,2$; $\beta = 12^\circ$;
 $\alpha_n = 20^\circ$; $\eta = 0,98$; $b = 60\text{mm}$.

Kaišni par: $d_3=200\text{mm}$; $d_4=500\text{mm}$;
 $a=1500\text{mm}$; $\mu = 0,5$; $\eta = 0,97$;
 $\xi_k (f_k) = 0,02$; dva pljosnata kaiša dimenzija
 $b=40\text{mm}$; $h=4\text{mm}$; $S_u=1,25$.



1. Odrediti snagu na ulaznoj spojnici i prikazati dijagram raspodele snage ulaznog vratila sa upisanim vrednostima snaga.
2. Odrediti sve prenosne odnose, učestanosti obrtanja na izlaznim spojnicama i moment na kaišniku 3.
3. Odrediti pomeranje profila zubaca zupčanika **6** iz uslova da su vrednosti prečnika podnožnog (d_{f6}) i osnovnog kruga (d_{b6}) jednake. Odrediti stepen sprežanja bočnih linija zupčanika **6**.
4. Prikazati druge dve projekcije pužnog para i na njima: označiti levi smer zavojnice na pužu, smer obrtanja puža (za zadati smer obrtanja pužnog točka i kaišnika **3**) i tangencionalne sile pužnog točka i puža.
5. Odrediti stepen sigurnosti protiv razaranja bokova zubaca pužnog para, za radni vek od **2500 sati**.
6. Odrediti: Silu pritezanja i napon zatezanja jednog kaiša tokom rada u povratnom (slobodnom) ogranku. Centrifugalnu silu zanemariti. Kaišni par radi stacionarno, u lakšem režimu.

REŠENJE**Zadatak 1**

Snaga na spojnici S_1 , na ulazu u prenosnik:

$$P_{ul} = P_{S1} = \frac{P_{S2}}{\eta_{12}} + \frac{P_{S3}}{\eta_{34} \cdot \eta_{12}} + \frac{P_{S4}}{\eta_{56}} = \frac{6}{0.84} + \frac{3}{0.97 \cdot 0.84} + \frac{5}{0.98} = 15,926 \text{ kW}$$

Stepen iskorišćenja pužnog para:

$$\eta_{12} = \frac{\operatorname{tg} \gamma_m}{\operatorname{tg}(\gamma_m + \rho)} = \frac{0,1667}{\operatorname{tg}(9,464^\circ + 1,761^\circ)} = 0,8398 \approx 0,84$$

Iz osnovnog rastojanja pužnog para a dobija se pužni broj:

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(q + 2x) + m \cdot z_2}{2} \Rightarrow q = \frac{2a - 2mx - mz_2}{m}$$

pa je pužni broj za $x = 0$:

$$q = \frac{2a - mz_2}{m} = \frac{2 \cdot 180 - 5 \cdot 60}{5} = 12$$

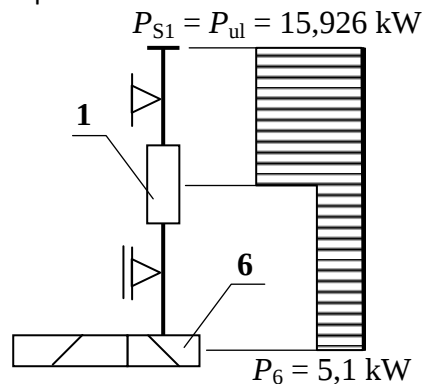
Ugao uspona zavojnice puža na srednjem cilindru puža:

$$\operatorname{tg} \gamma_m = \frac{z_1}{q} = \frac{2}{12} = 0,1667 \Rightarrow \gamma_m = 9,464^\circ$$

Snaga na zupčaniku 6:

$$P_6 = \frac{P_{S4}}{\eta_{56}} = \frac{5}{0,98} = 5,1 \text{ kW}$$

Pa se može prikazati dijagram raspodele snage ulaznog vratila:

**Zadatak 2.**

Radni prenosni odnosi:

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{60}{2} = 30, \quad i_{34} = \frac{d_4}{d_3(1 - \xi_k)} = \frac{500}{200(1 - 0,02)} = 2,55,$$

$$i_{56} = \frac{z_5}{z_6} = \frac{60}{25} = 2,4$$

Učestanost obrtanja na izlaznim spojnicama:

$$n_{s2} = \frac{n_{s1}}{i_{12}} = \frac{1000}{30} = 33,3 \text{ min}^{-1}, \quad n_{s3} = \frac{n_{s1}}{i_{34} \cdot i_{12}} = \frac{1000}{2,55 \cdot 30} = 13,07 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{s4} = \frac{n_{s1}}{i_{56}} = \frac{1000}{2,4} = 416,67 \text{ min}^{-1} \quad \omega_3 = \frac{2\pi \cdot n_{s2}}{60} = \frac{2\pi \cdot 33,33}{60} = 3,49 \text{ s}^{-1}$$

Obrtni moment na kišniku 3:

$$P_3 = T_3 \cdot \omega_3 \Rightarrow T_3 = \frac{P_3}{\omega_3} = \frac{P_{s3}}{\eta_{34}} \cdot \frac{1}{\omega_3} = \frac{3 \cdot 10^3}{0,97} \cdot \frac{1}{3,49} = 886,18 \text{ Nm}$$

Zadatak 3.

Napadni ugao profila:

$$\tan \alpha = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 12^\circ} = \frac{0,36397}{0,97815} = 0,3721 \Rightarrow \alpha = 20,41^\circ$$

Prečnici osnovnog i podnožnog kruga zupčanika 6:

Osnovni krug:

$$d_{b6} = d_6 \cdot \cos \alpha = m \cdot z_6 \cdot \cos \alpha$$

$$m = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{5}{\cos 12^\circ} = 5,11 \text{ mm}$$

Podnožni krug:

$$d_{f6} = d_6 - 2m_n(1 + c - x_6)$$

$$d_{f6} = m \cdot z_6 - 2m_n(1 + c - x_6)$$

$$d_{f6} = m_n \cdot \left[\frac{z_6}{\cos \beta} - 2(1 + c - x_6) \right]$$

$$\text{Uslov zadatka: } d_{b6} = d_{f6} \Rightarrow \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot z_6 \cdot \cos \alpha = m_n \cdot \left[\frac{z_6}{\cos \beta} - 2(1 + c - x_6) \right]$$

$$\Rightarrow x_6 = 1 + c - z_6 \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{2 \cos \beta} = 1 + 0,2 - 25 \cdot \frac{1 - \cos 20,41^\circ}{2 \cos 12^\circ} = 1,2 - 25 \cdot \frac{0,06278}{1,9563}$$

Koeficijent pomeranja zupčanika 6: $x_6 = 0,398$

Pomeranje profila zupčanika 6: $m \cdot x_6 = 5,11 \cdot 0,398 = 2,034 \text{ mm}$

Ugao bočnih linija na osnovnom krugu (β_b):

$$\tan \beta_b = \tan \beta \cdot \cos \alpha = \tan 12^\circ \cdot \cos 20,41^\circ = 0,19921 \Rightarrow \beta_b = 11,1665^\circ$$

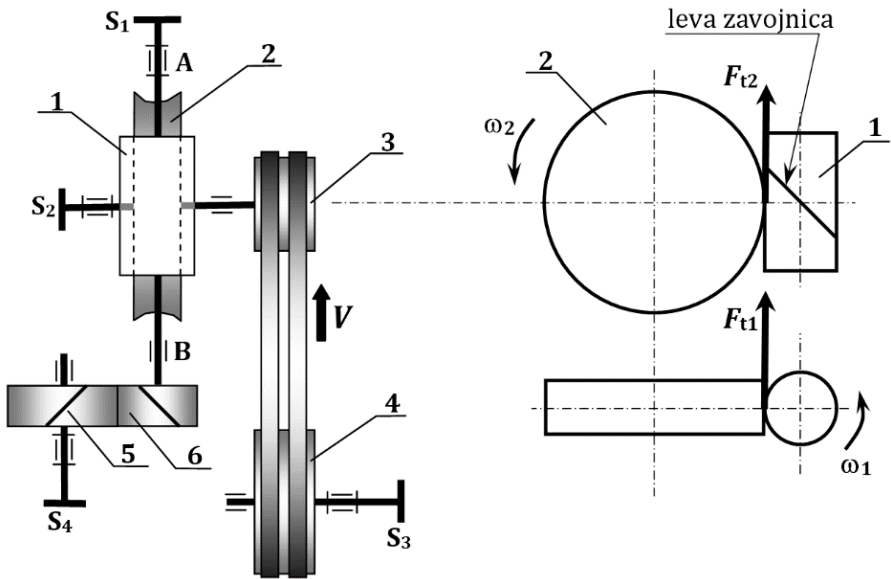
Korak na osnovnom krugu (p_b):

$$p_b = m\pi \cdot \cos \alpha = 5,11 \cdot \pi \cdot \cos 20,41^\circ = 15,046 \text{ mm}$$

Stepen sprezanja bočnih linija zupčanika 6 (ε_β):

$$\varepsilon_\beta = \frac{b \cdot \operatorname{tg} \beta_b}{p_b} = \frac{60 \cdot 0,19921}{15,046} \Rightarrow \boxed{\varepsilon_\beta = 0,7944} \Leftarrow \left(\varepsilon_\beta = \frac{b \cdot \operatorname{tg} \beta}{p} = \frac{60 \cdot \operatorname{tg} 12^\circ}{5,11 \cdot \pi} \right)$$

Zadatak 4.



Zadatak 5.

Prečnik srednjeg cilindra puža:

$$d_{m1} = m \cdot q = 5 \cdot 12 = 60 \text{ mm} \quad (\text{iz prvog zadatka: } q = \frac{2a - mz_2}{m} = 12)$$

$$\text{Faktor oblika bokova: } Z_\rho = 2,05 \left(\frac{d_{m1}}{a} \right)^{-0,34} = 2,05 \left(\frac{60}{180} \right)^{-0,34} = 2,978$$

Koeficijent elastičnosti spregnutih materijala (tabela 2-28)

$$\text{za P.CuSn12: } Z_E = 147 \sqrt{\frac{N}{\text{mm}^2}}$$

Snaga i moment pužnog točka:

$$P_2 = P_{S2} + \frac{P_{S3}}{\eta_{34}} = 6 + \frac{3}{0,97} = 9,09 \text{ kW}; \quad \omega_2 = \frac{2\pi \cdot n_{S2}}{60} = \frac{2\pi \cdot 33,33}{60} = 3,49 \text{ s}^{-1}$$

$$T_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{9,09 \cdot 10^3}{3,49} = 2604,58 \text{ Nm}; \quad \text{rad svih mašina ravnomeran} \Rightarrow K_A = 1$$

LITERATURA

- [1] Veriga S.: *Mašinski elementi – Prenosnici, frikcionni prenosnici, zupčasti prenosnici*
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 1972.
- [2] Plavšić N., Ristivojević M., Mitrović R., Rosić B., Janković Mi., Obradović P.: *Mašinski elementi – zbirka rešenih ispitnih zadataka*
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- [3] Plavšić N., Ristivojević M., Mitrović R., Rosić B., Subić A.: *Mašinski elementi – zbirka zadataka*
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [4] Plavšić N., Ristivojević M., Mitrović R., Rosić B., Janković Mi., Obradović P.: *Mašinski elementi – priručnik za vežbe*
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
- [5] Savić Z.: *Mašinski elementi – čvrstoća zupčanika – kaišni prenosnici*
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 1965.
- [6] Savić Z., Veriga S.: *Mašinski elementi – ispitni zadaci*
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 1965.
- [7] Savić Z., Ognjanović M., Obradović P., Janković Mo.: *Mašinski elementi – praktikum za vežbe*
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 1985.
- [8] Ognjanović M.: *Mašinski elementi*,
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 2016.
- [9] Ristivojević M., Stamenić Z., Mitrović R.: *Mašinski elementi 2*
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 2021.
- [10] Lazović T., Marinković A.: *Mehanički prenosnici snage – zbirka rešenih zadataka*
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 2022.
- [11] Mitrović R., Ristivojević M., Rosić B.: *Mašinski elementi 1*
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 2019.

- [12] Lazović T.: *Mašinski elementi 1 – zbirka zadataka*
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 2016.
- [13] ISO 6336:2006 – *Calculation of load capacity of spur and helical gears.*
- [14] ISO/TS 14521:2020 – *Gears – Calculation of load capacity of worm gears.*
- [15] Milović Lj., Rakin M., Putić S., Zrilić M.: *Zbirka tabela za proračun i konstruisanje opreme u procesnoj industriji*
Univerzitet u Beogradu – Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2022.
- [16] Milčić D., Banić M., Miltenović A., Milčić M.: *Mašinski elementi*
Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 2015.
- [17] Kuzmanović S.: *Mašinski elementi – oblikovanje, proračun i primena*
Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2014.
- [18] Nikolić V.: *Mašinski elementi – teorija, proračun, primeri*
Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac, 2004.
- [19] Nikolić V., Đorđević Z., Blagojević M.: *Mašinski elementi – zbirka zadataka*
Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac, 2008.

Autori su sastavili sledeće zadatke:

Zadaci br. 1, 2, 3, 4 i 5 – prof. dr Zoran Stamenić

Zadaci br. 6 i 7 – prof. dr Božidar Rosić, doc. dr Miloš Sedak

Zadaci br. 8, 9, 10, 11 i 12 – prof. dr Mileta Ristivojević, doc. dr Aleksandar Dimić

Zadaci br. 13, 14, 15, 16, 17 i 18 – prof. dr Radivoje Mitrović, prof. dr Žarko Mišković

Zadaci br. 19, 20, 21 i 22 – prof dr. Milosav Ognjanović, prof. dr Nenad Kolarević

CIP - Katalogizacija u publikaciji

Narodna biblioteka Srbije, Beograd

621.81(075.8)(076)

MAŠINSKI elementi 2: zbirka rešenih ispitnih zadataka /
Zoran Stamenić ...[et al.]. - Beograd : Univerzitet, Mašinski fakultet,
2024
(Beograd : Planeta print).- 182 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 300. - Bibliografija: str. 181-182.

ISBN 978-86-6060-188-1

1. Stamenić, Zoran, 1961- [autor]

a) Mašinski elementi -- Zadaci

COBISS.SR-ID 143816713