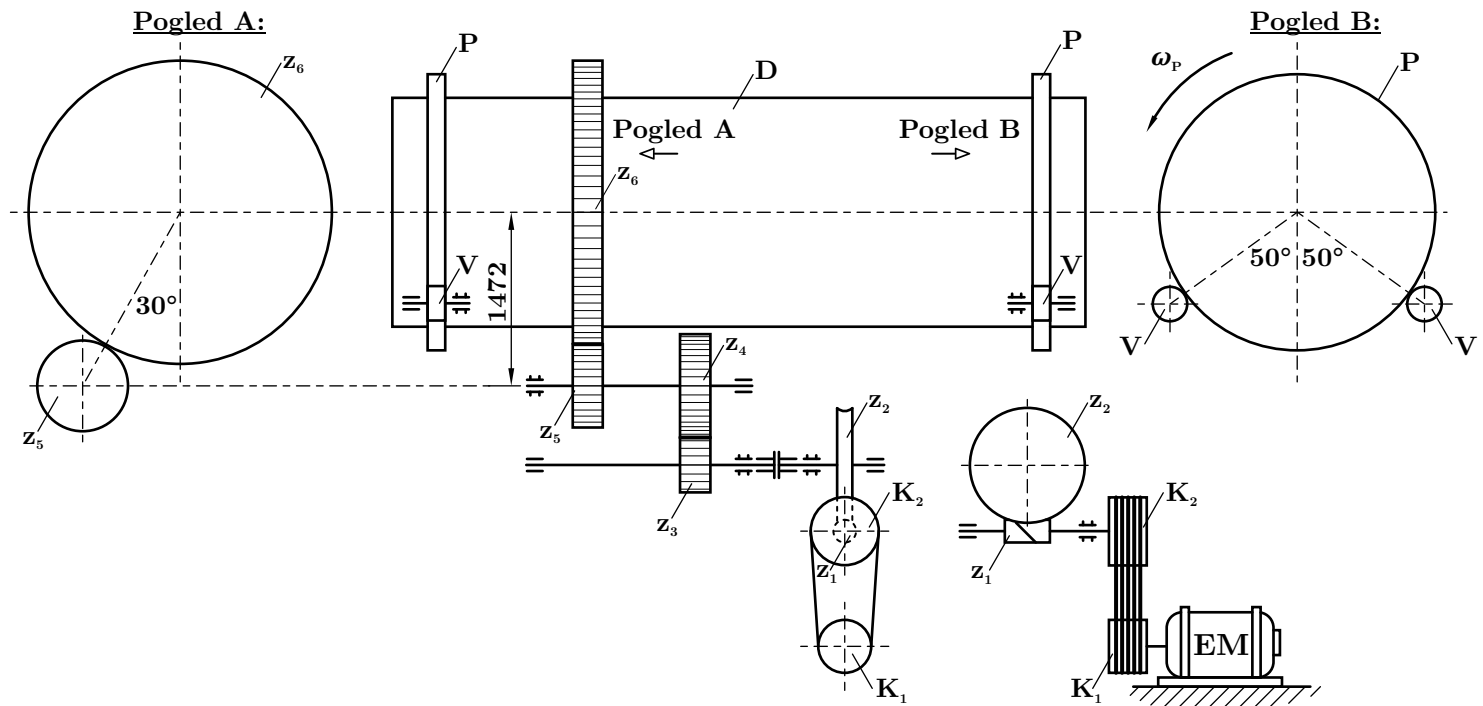


МАШИНСКИ ЕЛЕМЕНТИ 2
ПИСМЕНИ ИСПИТ

Пренос снаге од погонске машине **ЕМ** ($P_{EM} = 75\text{kW}$, $n_{EM} = 1500 \frac{\text{о}}{\text{мин}}$) до добоша **D** остварује се помоћу каишног пара **K₁ – K₂**, пужног зупчастог пара **z₁ – z₂**, и цилиндричних зупчастих парова са правим зупцима **z₃ – z₄** и **z₅ – z₆**. Добош **D** се преко прстенова **P** ослања на ваљке **V**. Зупчаник **z₆** и прстенови **P** су чврсто спојени са добошем **D**, који ради са средњим ударима.



Познато је:

- Каишни пар **K₁ – K₂**: $d_{K1} = 300\text{mm}$, $d_{K2} = 400\text{mm}$, $a = 690\text{mm}$, $f_k = 0,02$, $z = 4$, трапезни каиш профила **C**, $E = 35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, $\eta = 0,97$, $\mu = 0,90$.
- Пужни пар **z₁ – z₂**: $z_1 = 2$, $z_2 = 40$, $x_{z1} = x_{z2} = 0$, $m = 8\text{mm}$, $q = 12$, коефицијент трења $\mu = 0,04$, материјал пужног точка **C.CuAl10Ni**, подмазивање уљем.
- Цилиндрични зупчasti пар **z₃ – z₄**: $z_3 = 16$, $z_4 = 48$, $\eta = 0,98$.
- Цилиндрични зупчasti пар **z₅ – z₆**: $z_5 = 24$, $z_6 = 116$, $m = 24\text{mm}$, $b_5 = 240\text{mm}$, материјал зупчаника **z₅** је нодуларни лив **NL800**, а материјал зупчаника **z₆** је нодуларни лив **NL600**, $\varepsilon_\alpha = 1,82$, квалитет израде **IT10**, $\eta = 0,96$.

Потребно је:

1. Одредити отпор у виду обртног момента који се може савладати на добошу **D** при пуном искоришћењу снаге електромотора **ЕМ**.
2. Одредити коефицијент померања профила зупчаника **z₅**, ако је познато да је $x_{z6} = 0$.
3. Одредити степен сигурности бокова зубаца зупчаника **z₅**. Занемарити утицај корекционих фактора на вредност критичног напона на боковима зубаца зупчаника **z₅**. Дати одговарајући коментар.
4. Одредити радни век пужа **z₁** при степену сигурности $S_H = 1,00$.
5. Одредити највећи напон у каишу и приказати његов положај на скици каишног пара **K₁ – K₂**, ако је степен сигурности против проклизавања $S_\mu = 1,25$.

Задатак бр. 1

$$P_D = P_{EM} \cdot \eta_{K1K2} \cdot \underline{\eta_{12}} \cdot \eta_{34} \cdot \eta_{56}$$

$$\tan \gamma_m = \frac{z_1}{q} = \frac{2}{12} = 0,16666$$

$$\gamma_m = \arctan 0,16666 = 9,46^\circ$$

$$\rho = \arctan \mu = \arctan 0,04 = 2,29^\circ$$

$$\eta_{12} = \frac{\tan 9,46^\circ}{\tan(9,46^\circ + 2,29^\circ)} = 0,80$$

$$P_D = 75000 \cdot 0,97 \cdot 0,80 \cdot 0,98 \cdot 0,96 = 54754,6 \text{ W}$$

$$n_D = \frac{n_{EM}}{i_{K1K2} \cdot i_{12} \cdot i_{34} \cdot i_{56}}$$

$$i_{K1K2} = \frac{d_{K2}}{d_{K1}} \cdot \frac{1}{1 - f_k} = \frac{400}{300} \cdot \frac{1}{1 - 0,02} = 1,36$$

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{40}{2} = 20$$

$$i_{34} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{48}{16} = 3$$

$$i_{56} = \frac{z_6}{z_5} = \frac{116}{24} = 4,83$$

$$n_D = \frac{1500}{1,36 \cdot 20 \cdot 3 \cdot 4,83} = 3,80 \frac{\circ}{\text{min}}$$

$$\omega_D = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_D}{60} = 0,398 \text{ s}^{-1} \rightarrow T_D = \frac{P_D}{\omega_D} = \frac{54754,6}{0,398} = 137574 \text{ Nm}$$

Задатак бр. 2

$$a_{56} = \frac{1472}{\cos 30^\circ} = 1699,72\text{mm}$$

$$\alpha_w = \arccos\left(\frac{z_5 + z_6}{2} \cdot \frac{m_n}{1} \cdot \frac{\cos \alpha}{a_{56}}\right) = 21,75^\circ$$

$$x_5 = \frac{(\text{inv}\alpha_w - \text{inv}\alpha_n) \cdot (z_5 + z_6)}{2 \tan \alpha_n}$$

$$x_5 = \frac{(0,01935 - 0,01490) \cdot (24 + 116)}{2 \tan 20^\circ} = 0,8558$$

$$x \cdot m = 0,8558 \cdot 24 = 20,54\text{mm}$$

Задатак бр. 3

$$S_H = \frac{[\sigma]_H}{\sigma_H} = \frac{\sigma_{Hlim}}{\sigma_H}; \sigma_{Hlim} = 610 \frac{N}{mm^2} \text{ (за NL800)}$$

$$\sigma_H = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot Z_\beta^1 \cdot \sqrt{\frac{F_{t5}}{b \cdot d_5} \cdot \frac{u+1}{u} \cdot K_A \cdot K_v \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}}$$

$$T_6 = T_5 \cdot i_{56} \cdot \eta_{56} \rightarrow T_5 = \frac{T_6}{i_{56} \cdot \eta_{56}} = \frac{137574}{4,83 \cdot 0,96} = 29670 Nm$$

$$F_{t5} = \frac{T_5}{d_5/2} = \frac{2T_5}{m \cdot z_5} = \frac{2 \cdot 29670000}{24 \cdot 24} = 103021 N$$

$$Z_E = 173,9 \sqrt{\frac{N}{mm^2}} \text{ за NL/NL}$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos \alpha_n} \sqrt{\frac{2 \cos \beta_b^1}{\tan \alpha_w}} = \frac{1}{\cos 20^\circ} \sqrt{\frac{2}{\tan 21,75^\circ}} = 2,38$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,82}{3}} = 0,85$$

$$u = i = 4,83; K_A = 1,25$$

$$K_v = K_{v\alpha}$$

$$v_5 = \frac{d_5}{2} \cdot \omega_5 = \frac{m \cdot z_5}{2} \cdot i_{56} \cdot \omega_6 = \frac{0,024 \cdot 24}{2} \cdot 4,83 \cdot 0,398 = 0,55 \frac{m}{s}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{v_5 \cdot z_5}{100} = 0,132 \\ \text{IT10} \end{array} \right\} K_{v\alpha} \approx 1,05 \rightarrow K_v = 1,05$$

$$\frac{F_{t5} \cdot K_A \cdot K_v}{b} = \frac{103021 \cdot 1,25 \cdot 1,05}{240} = 564 > 100 \frac{N}{mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{F_{t5} \cdot K_A \cdot K_v}{b} > 100 \frac{N}{mm} \\ \text{IT10} \\ \text{Неотврднуте површине бокова зубаца и прави зупци} \end{array} \right\} K_{H\alpha} = \frac{1}{Z_\varepsilon^2} = \frac{1}{0,85^2} = 1,38$$

$$K_{H\beta} = K_{F\beta}^{1,39}; K_{F\beta} = 1 + (K_\beta - 1)f_w \cdot f_p \cdot f_l$$

$$\left. \begin{array}{l} K_\beta = 1,48 \text{ (IT10, } b = 240mm) \\ f_w = 1,0 \left(\frac{F_t \cdot K_A \cdot K_v}{b} > 350 \frac{N}{mm} \right) \\ f_p = 0,7 \text{ (NL/NL)} \\ f_l = 1,3 \text{ (несиметричан положај)} \end{array} \right\} K_{F\beta} = 1 + (1,48 - 1) \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,3 = 1,44$$

$$K_{H\beta} = (1,44)^{1,39} = 1,65$$

$$\sigma_H = 173,9 \cdot 2,38 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{103021}{240 \cdot 576} \cdot \frac{4,83 + 1}{4,83} \cdot 1,25 \cdot 1,05 \cdot 1,38 \cdot 1,65} = 525 \frac{N}{mm^2}$$

$$S_H = \frac{610}{525} = 1,16 < S_{Hmin} \rightarrow \text{Постоји опасност од површинског разарања бокова зубаца}$$

Задатак бр. 4

$$S_H = 1 \rightarrow [\sigma]_H = \sigma_H$$

$$\sigma_{Hlim} \cdot Z_h \cdot Z_v \cdot Z_s \cdot Z_L = Z_E \cdot Z_\rho \sqrt{\frac{K_A \cdot T_{z2}}{a^3}} \rightarrow Z_h = \frac{Z_E \cdot Z_\rho \sqrt{\frac{K_A \cdot T_{z2}}{a^3}}}{\sigma_{Hlim} \cdot Z_v \cdot Z_s \cdot Z_L}$$

$$Z_E = 163,9 \sqrt{\frac{N}{\text{mm}^2}} \text{ (C.CuAl10Ni)}$$

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

$$\left. \begin{aligned} d_m &= m \cdot q = 8 \cdot 12 = 96 \text{mm} \\ a &= \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{d_m + z_2 \cdot m}{2} = \frac{96 + 40 \cdot 8}{2} = 208 \text{mm} \end{aligned} \right\} Z_\rho = 2,05 \cdot \left(\frac{96}{208}\right)^{-0,34} = 2,66$$

$$K_A = 1,25$$

$$T_{z2} = T_{z3} = \frac{T_{z4}}{i_{34} \cdot \eta_{34}}$$

$$T_{z4} = T_{z5} = \frac{T_{z6}}{i_{56} \cdot \eta_{56}} = \frac{T_D}{i_{56} \cdot \eta_{56}} = \frac{137574}{4,83 \cdot 0,96} = 29670 \text{Nm}$$

$$T_{z2} = \frac{29670}{3 \cdot 0,98} = 10092 \text{Nm}$$

$$\sigma_{Hlim} = 660 \frac{N}{\text{mm}^2} \text{ (C.CuAl10Ni)}$$

$$Z_v = \sqrt{\frac{5}{4 + v_{kl}}}, \quad v_{kl} = \frac{d_m \cdot \pi \cdot n_{z1}}{60 \cdot \cos \gamma_m}$$

$$n_{z1} = \frac{n_{EM}}{i_{K1K2}} = \frac{1500}{1,36} = 1103 \frac{\text{o}}{\text{min}}$$

$$v_{kl} = \frac{0,096 \cdot \pi \cdot 1103}{60 \cdot \cos 9,46^\circ} = 5,62 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow Z_v = \sqrt{\frac{5}{4 + 5,62}} = 0,72$$

$$Z_S = \sqrt{\frac{3000}{2900 + a}} = \sqrt{\frac{3000}{2900 + 208}} = 0,98$$

$$Z_L = 0,89 \text{ (Минерално уље)}$$

$$Z_h = \frac{163,9 \cdot 2,66 \sqrt{\frac{1,25 \cdot 10092000}{208^3}}}{660 \cdot 0,72 \cdot 0,98 \cdot 0,89} = 1,245$$

$$Z_h = \left(\frac{25000}{L_h}\right)^{1/6} \rightarrow L_h = \frac{25000}{Z_h^6} \rightarrow L_h = \frac{25000}{1,245^6} = 6713 \text{h}$$

Задатак бр. 5

$$\sigma_{max} = \sigma_c + \sigma_1 + \sigma_{s1}$$

$$\sigma_c = \rho v^2$$

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{d_{K1} \cdot \pi \cdot n_{K1}}{60} = \frac{0,3 \cdot \pi \cdot 1500}{60} = 23,56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \rho &= 1,25 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned} \right\} \sigma_c = \frac{1,25 \cdot 10^3 \cdot 23,56}{10^6} = 0,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{z \cdot A}$$

$$F_1 = \frac{e^{\mu \beta_{K1}}}{e^{\mu \beta_{K1}} - 1} S_\mu \cdot c_A \cdot F_t$$

$$\sin \gamma = \frac{d_{K2} - d_{K1}}{2a} = \frac{400 - 300}{2 \cdot 690} = 0,07246 \rightarrow \gamma = \arcsin 0,07246 = 4,15^\circ$$

$$\beta_{K1} = 180^\circ - 2 \cdot 4,15^\circ = 171,7^\circ = 3\text{rad}, \quad c_A = 1,1$$

$$F_t = \frac{T_{K1}}{d_{K1}/2} = \frac{T_{EM}}{d_{K1}/2}$$

$$T_{EM} = \frac{P_{EM}}{\omega_{EM}} = \frac{P_{EM} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n_{EM}} = \frac{75000 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 1500} = 477,5 \text{ Nm}$$

$$F_t = \frac{2 \cdot 477500}{300} = 3183,3 \text{ N}$$

$$F_1 = \frac{e^{0,90 \cdot 3}}{e^{0,90 \cdot 3} - 1} \cdot 1,25 \cdot 1,1 \cdot 3183,3 = 4692,4 \text{ N}$$

$$\sigma_1 = \frac{4692,4}{4 \cdot 236} = 4,97 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (z = 4, \text{ Профил каиша } \mathbf{C} \rightarrow A = 236 \text{ mm}^2)$$

$$\sigma_{s1} = \frac{h}{d_{K1}} \cdot E = \frac{14}{300} \cdot 30 = 1,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\text{Профил каиша } \mathbf{C} \rightarrow h = 14 \text{ mm})$$

$$\sigma_{max} = 0,03 + 4,97 + 1,4 = 6,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

