

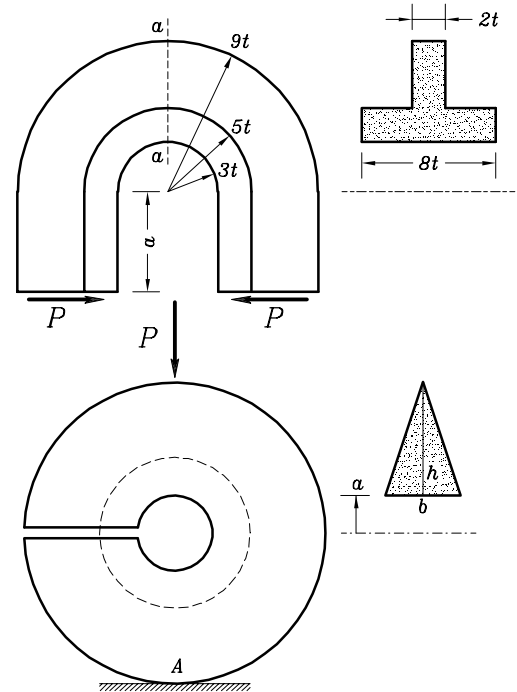
11. VAJA IZ TRDNOSTI

(ukrivljeni nosilci, nelinearna elastičnost)

NALOGA 1. Sestavni del nekega stroja je prikazani ukrivljeni nosilec T-prereza. Določi silo P tako, da tlačne napetosti v prerezu $a - a$ ne bodo prekoračene od najmanjše možne σ_{\min} . Za tako določeno silo izriši tudi normalne napetosti po prerezu.

Podatki: $a = 6 \text{ cm}$, $t = 10 \text{ mm}$, $\sigma_{\min} = -50 \text{ kN/cm}^2$

REŠITEV. $0 \leq P \leq 8.55 \text{ kN}$.



NALOGA 2. Nariši diagram ekstremnih normalnih napetosti za prikazani ukrivljeni nosilec.

Podatki: $a = 2 \text{ cm}$, $b = 2 \text{ cm}$, $h = 4 \text{ cm}$, $P = 50 \text{ kN}$

REŠITEV. $\sigma_{\xi\xi}^{\text{znotraj}} = -83.48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$, $\sigma_{\xi\xi}^{\text{zunaj}} = 55.65 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$.

NALOGA 3. Z izrekom o dopolnilnem virtualnem delu določi reakcije in diagrame notranjih sil $\{N_t, N_n, M_b\}$ za prikazano konstrukcijo. Kolikšen je pomik na mestu in v smeri sile P ?

Podatki: a , P , E , I_b

REŠITEV. Notranje sile:

$$N_t(\varphi) = P \left(\sin \varphi + \frac{2}{\pi} \cos \varphi \right),$$

$$N_n(\varphi) = P \left(\cos \varphi - \frac{2}{\pi} \sin \varphi \right),$$

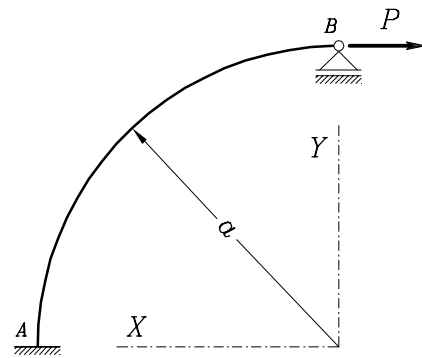
$$M_b(\varphi) = a P \left(1 - \sin \varphi - \frac{2}{\pi} \cos \varphi \right).$$

Reakcije:

$$A_x = P, \quad A_y = -\frac{2P}{\pi}, \quad M_z^A = \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) a P, \quad B_y = \frac{2P}{\pi}.$$

Pomik na mestu in v smeri sile P :

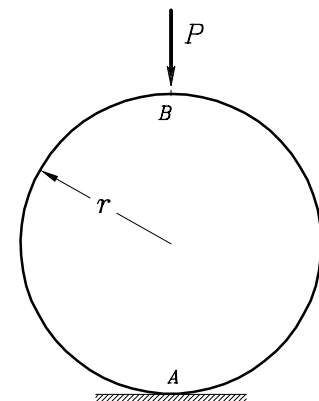
$$u_P = \left(\frac{3\pi}{4} - 1 - \frac{1}{\pi} \right) \frac{a^3 P}{E I_b} = 0.038 \frac{a^3 P}{E I_b}.$$



NALOGA 4. Z izrekom o dopolnilnem virtualnem delu določi reakcije in diagrame notranjih sil $\{N_t, N_n, M_b\}$ za prikazano konstrukcijo. Kolikšen je pomik na mestu in v smeri sile P ? Upoštevaj tudi vpliv osnih sil na deformiranje.

Podatki: r , E , I_b , β , $I_b = \beta r^2 A_t$

REŠITEV. $u_P = \frac{P r^3}{8 E I_b} \left(\pi + \beta - \frac{8}{\pi} \right).$



NALOGA 5. Toga okrogla plošča je pritrjena s štirimi paroma vzporednimi palicami (glej sliko). Vse palice so enake dolžine a vendar različnega prečnega prereza. Ob upoštevanju, da je material idealno elastoplastičen,

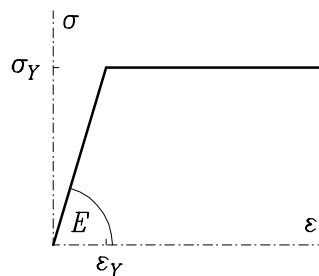
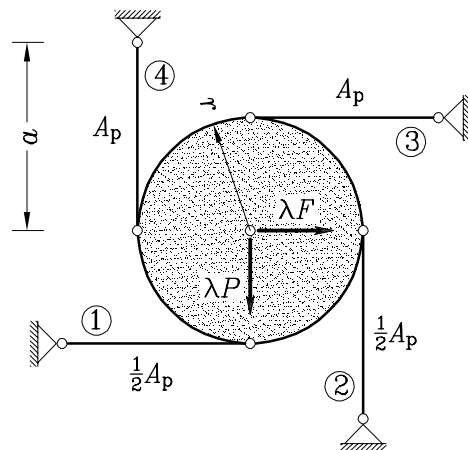
$$\sigma(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon, & |\varepsilon| \leq \varepsilon_Y \\ \sigma_Y \text{ sign } \varepsilon, & |\varepsilon| > \varepsilon_Y \end{cases}$$

določi sile v palicah v elastičnem stanju konstrukcije ter pripadajoči vektor rotacije toge plošče. Katera palica in pri katerem obtežnem faktorju λ_Y se prva plastificira, ter kolikšna je mejna nosilnost λ_u konstrukcije. Nalogo reši z izrekom o dopolnilnem virtualnem delu!

Podatki: $a = 5$ m, $r = 3$ m, $A_p = 10$ cm², $P = 100$ kN, $F = 50$ kN, $E = 21\,000$ kN/cm², $\sigma_Y = 24$ kN/cm²

REŠITEV.

- $|\lambda| < 3.2$ – vse palice so v elastičnem stanju
- $3.2 \leq |\lambda| < 3.6$ – palica 2 je v plastičnem stanju, preostale palice so v elastičnem stanju
- $|\lambda| \geq 3.6$ kinematična veriga



NALOGA 6. Konzola pravokotnega prečnega prereza $b \times h$ je na prostem krajišču obremenjena s koncentriranim momentom M . Material konzole opišemo z zakonom

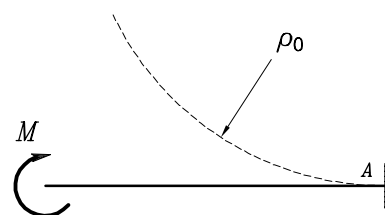
$$\sigma(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon, & |\varepsilon| \leq \varepsilon_Y \\ \sigma_Y \text{ sign } \varepsilon, & |\varepsilon| > \varepsilon_Y \end{cases}$$

Kolikšna je ukrivljenost konzole (ρ_0) po razbremenitvi, če pride do delne plastifikacije prereza?

Podatki: M , b , h , E , σ_Y

REŠITEV. $\frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{\rho} \left(1 - \frac{3\rho}{2\rho_Y} \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\rho}{\rho_Y} \right)^2 \right) \right)$, kjer so

- ρ_0 radij ukrivljenosti po razbremenitvi (povzročijo ga zaostale napetosti)
- ρ radij ukrivljenosti po obremenitvi
- ρ_Y radij ukrivljenosti prve plastifikacije vlaken = $\frac{h}{2\varepsilon_Y}$.



NALOGA 7. Nosilec je izdelan iz materiala, ki se različno obnaša v tlaku in nategu,

$$\sigma(\varepsilon) = \begin{cases} E_c \varepsilon, & \varepsilon \leq 0 \\ E_t \varepsilon, & \varepsilon > 0. \end{cases}$$

Pokaži, da je ukrivljenost nosilca pri čistem upogibu

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_y}{E_r I_y}, \quad \text{kjer je} \quad E_r = \frac{4E_c E_t}{(\sqrt{E_c} + \sqrt{E_t})^2}.$$

Podatki: M_y , I_y , E_c , E_t

NALOGA 8. Ravninsko paličje na sliki počasi obremenimo s silo λF , ($\lambda = 5$). Paličje zatem ponovno počasi razbremenimo. Izračunaj osne sile v palicah in vertikalni pomik prostega vozlišča po razbremenitvi. Privzemi idealno elastičen–idealno plastičen konstitucijski zakon z upoštevanjem razbremenitve na sliki.

Podatki: $a = 3$ m, $A_p = 10$ cm², $F = 100$ kN, $E = 20\,000$ kN/cm², $\sigma_Y = 24$ kN/cm²

REŠITEV.

- $\lambda < 4.097$ (vse palice so v elastičnem stanju).
- $\lambda = 5$ (palica 2 je v plastičnem stanju, ostali dve palici sta v elastičnem stanju).
 $N_1 = N_3 = 183.85$ kN, $N_2 = 240$ kN,
 $w = 0.552$ cm.
- $\lambda = 0$ (razbremenitev)
 $N_1 = N_3 = 37.4$ kN, $N_2 = -52.9$ kN,
 $w = 0.112$ cm.

