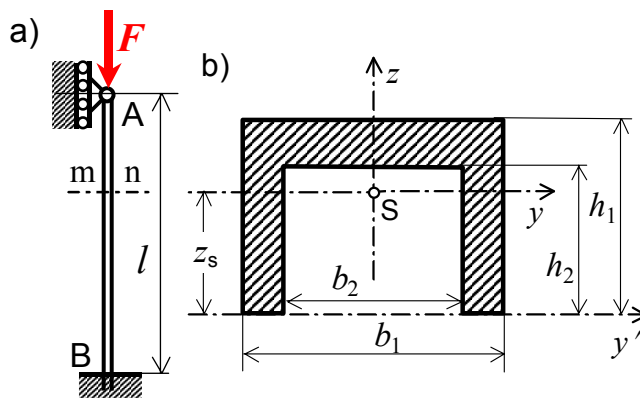


2. Primjer: Izvijanje ravnog štapa

(Zadatak 12. primjer C) i presjek H) na str. 18 u "Vježbenica ispitnih zadataka", uz primjenu PC modula "Izv_stap.exe" paketa programa "CVRSTOCA").



Za ravni štap AB izrađenog od čelika Č0561 opterećenog prema slici a) i poprečnog presjeka zadanog na slici b) treba odrediti:

a) iznos dopuštenog tlačnog opterećenja,
b) stvarni faktor sigurnosti na izvijanje,
ako je zadano opterećenje: $F = 200 \text{ kN}$.

Zadano: $l = 1,65 \text{ m}$, $S_{\min} = 2,5$, $E = 210 \text{ GPa}$,
 $\sigma_P = 260 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 300 \text{ MPa}$,
 $\sigma_o = 335 \text{ MPa}$, $b_1 = 7 \text{ cm}$, $b_2 = 4 \text{ cm}$,
 $h_1 = 5 \text{ cm}$, $h_2 = 4 \text{ cm}$.

Rješenje:

1. Geometrijske značajke površine poprečnog presjeka štapa, slika b):

a) Težište površine poprečnog presjeka:

$$y_S = 0, \quad z_S = \frac{\sum A_i \cdot z_{Si}}{A} = \frac{b_1 \cdot h_1 \cdot h_1 / 2 - b_2 \cdot h_2 \cdot h_2 / 2}{A} = 2,92 \text{ cm},$$

$$A = b_1 \cdot h_1 - b_2 \cdot h_2 = 19 \text{ cm}^2.$$

b) Težišni drugi momenti površine poprečnog presjeka:

$$I_z = \frac{h_1 \cdot b_1^3}{12} - \frac{h_2 \cdot b_2^3}{12} = 121,583 \text{ cm}^4,$$

$$I_{y'} = \frac{b_1 \cdot h_1^3}{3} - \frac{b_2 \cdot h_2^3}{3} = 206,333 \text{ cm}^4 \Rightarrow I_y = I_{y'} - A \cdot z_S^2 = 44,215 \text{ cm}^4 = I_{\min}.$$

c) Minimalni polumjer tromosti površine poprečnog presjeka:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{44,215}{19}} = 1,525 \text{ cm}.$$

2. Vitkosti štapa, slika a):

a) Granična vitkost štapa za proračun prema Eulerovom izrazu:

$$\lambda_P = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_P}} = \pi \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{260}} = \pi \cdot 28,42 = 89,284.$$

b) Granična vitkost štapa za proračun na sabijanje:

$$\lambda_T = \lambda_P \frac{\sigma_o - \sigma_T}{\sigma_o - \sigma_P} = 89,284 \cdot \frac{335 - 300}{335 - 260} = 41,67.$$

Slobodna duljina izvijanja štapa za primjer učvršćenja prema slici a) jest:

$$l_0 = 0,7 \cdot l = 0,7 \cdot 165 = 115,5 \text{ cm},$$

a vitkost štapa jest: $\lambda = \frac{l_0}{i_{\min}} = \frac{115,5}{1,525} = 75,71.$

Kako je vitkost štapa $\lambda_T < \lambda < \lambda_P$, za daljnji proračun izvijanja uporabljen je **Tetmajerov izraz**.

3. Kritično naprezanje izvijanja štapa prema Tetmajerovom izrazu jest:

$$\sigma_{kr} = \sigma_0 - (\sigma_0 - \sigma_P) \cdot \frac{\lambda}{\lambda_P} = 335 - (335 - 260) \frac{75,71}{89,284} = 271,4 \text{ MPa}.$$

4. Kritična sila izvijanja štapa jest:

$$F_{kr} = A \cdot \sigma_{kr} = 19 \cdot 27,14 = 515,66 \text{ kN}.$$

5. Dopušteno tlačno opterećenje štapa jest:

$$F_{dop} \leq \frac{F_{kr}}{S_{\min}} = \frac{515,66}{2,5} = 206,26 \text{ kN}.$$

b) stvarni faktor sigurnosti na izvijanje, ako je zadano opterećenje $F = 200 \text{ kN}$, jest:

$$S = \frac{F_{kr}}{F} = \frac{515,66}{200} = 2,578.$$

Čvrstoća štapa na izvijanje zadovoljava, jer je: $S > S_{\min}$.