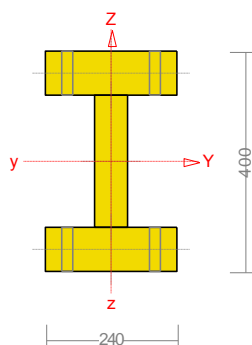


## Pręt nr 4

Wyniki wymiarowania elementów drewnianych wg PN-B 03150:2000 (Drew\_3d v. 2.26)

Zadanie: Hala derwniana.rm3



**Przekrój: 4** „Ib 40,0x24,0”

Wymiary przekroju:

$$h=400,0 \text{ mm} \quad b=240,0 \text{ mm.}$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_y=107264,0; \quad J_z=18864,0 \text{ cm}^4; \quad A=528,00 \text{ cm}^2; \quad i_y=14,3; \quad i_z=6,0 \text{ cm}; \quad W_y=5363,2; \quad W_z=1572,0 \text{ cm}^3.$$

**Charakterystyka zastępcza przekroju:**

Gałęzie przekroju połączone są łącznikami mechanicznymi w postaci gwoździ o średnicy 9 mm.

Podatność łączników:

$$K_u = 2/3 \rho_k^{1,5} d^{0,8} / 25 = 2/3 \times 350^{1,5} \times 9^{0,8} / 25 = 1013 \text{ N/mm}$$

**Dla płaszczyzny prostopadłej do szwów:**

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E A_1 s_i / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 7400 \times 192,0 \times 50 / (1013 \times 4,000^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,188$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_3 = [1 + \pi^2 E A_3 s_i / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 7400 \times 192,0 \times 50 / (1013 \times 4,000^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,188$$

Współrzędne środków elementów przekroju wynoszą:

$$a_1 = 16,00; \quad a_2 = 0,00; \quad a_3 = 16,00 \text{ cm}$$

Zastępczy moment bezwładności:

$$I_{ef} = \Sigma (I_i + \gamma_i A_i a_i^2) = 1024,0 + 0,188 \times 192,0 \times 16,00^2 + 6912,0 + 1,000 \times 144,0 \times 0,00^2 + 1024,0 + 0,188 \times 192,0 \times 16,00^2 = 27412,8 \text{ cm}^4$$

**Własności techniczne drewna:**

Przyjęto 1 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 65% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$K_{mod} = 0,60$$

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C24.**

$$f_{m,k} = 24,00$$

$$f_{m,d} = 11,077 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 14,00$$

$$f_{t,0,d} = 6,462 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,50$$

$$f_{t,90,d} = 0,231 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 21,00$$

$$f_{c,0,d} = 9,692 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,50$$

$$f_{c,90,d} = 1,154 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 2,50$$

$$f_{v,d} = 1,154 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,mean} = 370 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$$

$$G_{mean} = 690 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

**Sprawdzenie nośności pręta nr 4**

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

**Nośność na ściskanie:**

Wyniki dla  $x_a=0,000$  m;  $x_b=4,000$  m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,1·CW+St+WI+Ww”.

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie Y (wyznaczona w sposób uproszczony):

$$l_{c,y} = \mu l = 0,945 \times 4,000 = 3,780 \text{ m}$$

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie Z (wyznaczona w sposób uproszczony):

$$l_{c,z} = \mu l = 0,745 \times 1,732 = 1,290 \text{ m}$$

Współczynniki wybocheniowe:

$$\lambda_{y} = l_{c,y} / \sqrt{I_{ef,y} / A_{tot}} = 378,0 / \sqrt{27412,8 / 528,00} = 52,46$$

$$\lambda_{z} = l_{c,z} / \sqrt{I_{ef,z} / A_{tot}} = 129,0 / \sqrt{18864,0 / 528,00} = 21,59$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_{y}^2 = 9,87 \times 7400 / (52,46)^2 = 26,538 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_{z}^2 = 9,87 \times 7400 / (21,59)^2 = 156,710 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{21/26,54} = 0,890$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{21/156,71} = 0,366$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (0,890 - 0,5) + (0,890)^2] = 0,935$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (0,366 - 0,5) + (0,366)^2] = 0,554$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (0,935 + \sqrt{0,935^2 - 0,890^2}) = 0,819$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (0,554 + \sqrt{0,554^2 - 0,366^2}) = 1,032$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 528,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 9,63 / 528,00 \times 10 = \mathbf{0,182} < \mathbf{7,936} = 0,819 \times 9,692 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

**Ściskanie ze zginaniem** dla  $x_a=0,000$  m;  $x_b=4,000$  m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,1·CW+St+WI+Ww”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,182}{0,819 \times 9,692} + 1,0 \times \frac{0,030}{11,077} + \frac{7,544}{11,077} = \mathbf{0,707} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,182}{1,032 \times 9,692} + \frac{0,030}{11,077} + 1,0 \times \frac{7,544}{11,077} = \mathbf{0,702} < \mathbf{1}$$

**Nośność na zginanie:**

Wyniki dla  $x_a=0,000$  m;  $x_b=4,000$  m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,1·CW+St+WI+Ww”.

Największe naprężenia dla zginania:

$$\sigma_{m,i} + \sigma_i = (0,5 h_i + \gamma_i a_i) M / I_{ef} + (0,5 h'_i + \gamma'_i a'_i) M' / I'_{ef} = (0,5 \times 24,0 + 1,000 \times 0,0) \times 17,23 / 27412,8 \times 10^3 + (0,5 \times 6,00 + 1,000 \times 0,0) \times 0,05 / 18864,0 \times 10^3 = \mathbf{7,551} < \mathbf{11,077} = f_{m,d}$$

Największe naprężenia dla ściskania:

$$\sigma_i = \gamma_i a_i M / I_{ef} + \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 0,188 \times 16,0 \times 17,23 / 27412,8 \times 10^3 + 1,000 \times 0,0 \times 0,05 / 18864,0 \times 10^3 = \mathbf{1,888} < \mathbf{9,692} = f_{c,0,d}$$

Największe naprężenia dla rozciągania:

$$\sigma_i = \gamma_i a_i M / I_{ef} (\text{Zginanie } Z^*) + \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 0,188 \times 16,0 \times 17,23 / 27412,8 \times 10^3 + 1,000 \times 0,0 \times 0,05 / 18864,0 \times 10^3 = \mathbf{1,888} < \mathbf{6,462} = f_{c,0,t}$$

Nośność dla  $x_a=0,000$  m;  $x_b=4,000$  m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,1·CW+St+WI+Ww”:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{7,544}{11,077} + 1,0 \times \frac{0,030}{11,077} = \mathbf{0,684} < \mathbf{1}$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1,0 \times \frac{7,544}{11,077} + \frac{0,030}{11,077} = \mathbf{0,684} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla  $x_a=0,000$  m;  $x_b=4,000$  m; przeszło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „1,1·CW+St+Wl+Ww”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,182^2}{9,692^2} + \frac{7,544}{11,077} + 1,0 \times \frac{0,030}{11,077} = \mathbf{0,684} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,182^2}{9,692^2} + 1,0 \times \frac{7,544}{11,077} + \frac{0,030}{11,077} = \mathbf{0,684} < \mathbf{1}$$

### Nośność na ścinanie:

Wyniki dla  $x_a=4,000$  m;  $x_b=0,000$  m; przeszło nr: 1, 2, 2, przy obciążeniach „1,1·CW+St+Wl+Ww”.

Naprężenia tnące:

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie prostopadłej do szwów:

$$\tau = (\gamma_3 A_3 a_3 + 0,5 b_2 h^2) V / b_2 I_{ef} = (0,188 \times 192,0 \times 16,00 + 0,5 \times 6,00 \times 12,00^2) \times 5,22 / (6,00 \times 27412,8) \times 10 = 0,320$$

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie równoległej do szwów:

$$\tau' = \frac{V' S'}{b' I'} = \frac{3,35 \times 1260,0}{40,00 \times 18864,0} \times 10 = 0,056$$

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,320^2 + 0,056} = \mathbf{0,325} < \mathbf{1,154} = 1,000 \times 1,154 = k_v f_{v,d}$$

### Nośność łączników gałęzi:

Do połączenia gałęzi przekroju, przyjęto łączniki mechaniczne w postaci gwoździ długości 240 mm o średnicy 9,0 mm. Łączniki należy umieścić w przednio nawierconych otworach.

$$f_{h,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 9,0) \times 350 = 26,12$$

$$f_{h,d} = f_{h,k} k_{mod} / 1,3 = 26,12 \times 0,60 / 1,3 = 12,05 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 180 \times 9,0^{2,6} = 54488,27$$

$$M_{y,d} = M_{y,k} / 1,1 = 49534,79 \text{ Nmm}$$

$$R_{d,1} = f_{h,1,d} t_1 d = 12,05 \times 80,0 \times 9,0 = 8678,9 \text{ N}$$

$$R_{d,2} = f_{h,1,d} t_2 d \beta = 12,05 \times 145,5 \times 9,0 \times 1,00 = 15784,7 \text{ N}$$

$$R_{d,3} = f_{h,1,d} t_1 d / (1 + \beta) [\sqrt{\beta + 2\beta^2 (1 + t_2/t_1 + t_2^2/t_1^2)} + \beta^3 t_2^2/t_1^2 - \beta(1 + t_2/t_1)] = 12,05 \times 80,0 \times 9,0 / (1 + 1,00) \times [\sqrt{1,00 + 2 \times 1,00^2 \times (1 + 145,5/80,0 + 145,5^2/80,0^2)} + 1,00^3 \times 145,5^2/80,0 - 1,00 \times (1 + 145,5/80,0)] = 5427,7 \text{ N}$$

$$R_{d,4} = 1,1 f_{h,1,d} t_2 d / (1 + 2\beta) [\sqrt{2\beta^2 (1 + \beta) + 4\beta(1 + 2\beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_2^2} - \beta] = 1,1 \times 12,05 \times 145,5 \times 9,0 / (1 + 2 \times 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00^2 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (1 + 2 \times 1,00) \times 49534,79 / (12,05 \times 9,0 \times 145,5)} - 1,00] = 6156,3 \text{ N}$$

$$R_{d,5} = 1,1 f_{h,1,d} t_1 d / (2 + \beta) [\sqrt{2\beta(1 + \beta) + 4\beta(2 + \beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_1^2} - \beta] = 1,1 \times 12,05 \times 80,0 \times 9,0 / (2 + 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (2 + 1,00) \times 49534,79 / (12,05 \times 9,0 \times 80,0)} - 1,00] = 3830,4 \text{ N}$$

$$R_{d,6} = 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d 2\beta / (1 + \beta)} = 1,1 \times \sqrt{2 \times 49534,79 \times 12,05 \times 9,0 \times 2 \times 1,00 / (1 + 1,00)} = 3606,2 \text{ N}$$

Nośność łącznika na jedno cięcie  $R_d = 3606,2$  N.

Siła przypadająca na jeden łącznik pochodząca od siły rozwarstwiającej:

Dla prętów ściskanych należy uwzględnić dodatkową siłę poprzeczną przy wyboczeniu:

dla  $30 < \lambda_{ef} \leq 60$   $V_d = F_{c,d} \lambda_{ef} / (3600 k_c) = 11,03 \times 52,46 / (3600 \times 0,819) = 0,2$  kN

$$F_1 = \gamma_1 A_1 a_1 s V / I_{ef} = 0,188 \times 192,0 \times 16,00 \times 5,0 \times 5,41 / 27412,8 \times 10^3 = 569,5 \text{ N}$$

$$F_1 = \mathbf{569,5} < \mathbf{3606,2} = R_d$$

### Nośność na skręcanie:

Wyniki dla  $x_a=4,000$  m;  $x_b=0,000$  m; przeszło nr: 1, 2, 2, przy obciążeniach „1,1·CW+St+Wl+Ww”.

$$\tau_{tor,d} = \frac{3 M_{tor}}{b^2 h} \eta = \frac{3 \times 0,07}{8,0^2 \times 24,0 / 1,250 + 6,0^2 \times 24,0 / 1,180 + 8,0^2 \times 24,0 / 1,2} \times 10^3 = \mathbf{0,062} < \mathbf{1,154} = f_{v,d}$$

$$\frac{\tau_{tor,d}}{f_{v,d}} + \left( \frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 = \frac{0,062}{1,154} + \frac{0,325^2}{1,154^2} = \mathbf{0,133} < \mathbf{1}$$

**Stan graniczny użytkowania:**

Wyniki dla  $x_a=0,866$  m;  $x_b=3,134$  m; przęsło nr: 1, 1, 1, przy obciążeniach „CW+St+Wl+Ww” liczone od cięciwy pręta.

Ugięcie graniczne

$$u_{net,fin,z} = l / 150 = 4000,0 / 150 = 26,7 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin,y} = l / 150 = 1732,1 / 150 = 11,5 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych i części długotrwałej obciążeń zmiennych:

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1+k_{def}) = 6,24 \times [1 + 51,00 \times (400,0/4000,0)^2] (1 + 0,60) = 15,06 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1+k_{def}) = 0,07 \times (1 + 0,60) = 0,12 \text{ mm}$$

Ugięcia od części krótkotrwałej obciążeń zmiennych:

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1+k_{def}) = 0,00 \times [1 + 51,00 \times (400,0/4000,0)^2] (1 + 0,60) = 0,00 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1+k_{def}) = 0,00 \times (1 + 0,60) = 0,00 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,fin} = 15,06 + 0,00 = \mathbf{15,1} < \mathbf{26,7} = u_{net,fin}$$

$$u_{y,fin} = 0,12 + 0,00 = \mathbf{0,1} < \mathbf{11,5} = u_{net,fin}$$