

DŹWIGAR ŁUKOWY

wysokość przekroju $h := 0.60\text{m}$

szerokość przekroju $b := 0.18\text{m}$

rozpiętość w osiach podpór $L := 8.00\text{m}$

rzeczywista długość dźwigara $L_{rz} := 12.21\text{m}$

kąt nachylenia dolnej krawędzi dźwigara $\delta := 27\text{deg}$ $\sin(\delta) = 0.454$

promień krzywizny zakrzywionej części dźwigara $c := 13.056\text{m}$

kąt nachylenia połąci $\gamma := 0\text{deg}$ $\tan(\gamma) = 0$ $r_{in} := \frac{c}{2 \cdot \sin(\delta)} = 14.379\text{m}$

max momenty zginające $M_y := 82.91\text{kN}\cdot\text{m}$ $M_z := 6.77\text{kN}\cdot\text{m}$

max siła $F_x := 28.81\text{kN}$

wskaźniki wytrzymałości $W_y := \frac{(b \cdot h^2)}{6} = 1.08 \times 10^4 \cdot \text{cm}^3$ $W_z := \frac{(h \cdot b^2)}{6} = 3.24 \times 10^3 \cdot \text{cm}^3$

Drewno klasy GL32c

zginanie $f_{mk} := 32\text{MPa}$

ściskanie w poprzek włókien $f_{c90k} := 3.0\text{MPa}$

rozciąganie w poprzek włókien $f_{t90k} := 0.45\text{MPa}$

ściskanie wzdłuż włókien $f_{c0k} := 26.5\text{MPa}$

rozciąganie wzdłuż włókien $f_{t0k} := 19.5\text{MPa}$

$E_{0.05} := 11100\text{MPa}$ $E_{0\text{mean}} := 13700\text{MPa}$ $G_{\text{mean}} := 780\text{MPa}$

STAN GRANICZNY NOŚNOŚCI

SPRAWDZENIE NAPRĘŻEŃ ZGINAJĄCYCH

szerokość dźwigara $b = 0.18\text{m}$

$\gamma_M := 1.30$ współczynnik bezpieczeństwa

$k_{\text{mod}} := 0.9$ klasa trwania obciążenia-krótkotrwałe, klasa użytkowania-2

wytrzymałości obliczeniowe

$$\text{na zginanie} \quad f_{md} := \frac{(f_{mk} \cdot k_{mod})}{\gamma_M} = 22.154 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{na ściskanie w poprzek włókien} \quad f_{c90d} := \frac{(f_{c90k} \cdot k_{mod})}{\gamma_M} = 2.077 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{na rozciąganie w poprzek włókien} \quad f_{t90d} := \frac{(f_{t90k} \cdot k_{mod})}{\gamma_M} = 0.312 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{na ściskanie wzdłuż włókien} \quad f_{c0d} := \frac{(f_{c0k} \cdot k_{mod})}{\gamma_M} = 18.346 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{na rozciąganie wzdłuż włókien} \quad f_{t0d} := \frac{(f_{t0k} \cdot k_{mod})}{\gamma_M} = 13.5 \cdot \text{MPa}$$

$$k_m := 0.7 \quad E_{0.05} = 1.11 \times 10^4 \cdot \text{MPa}$$

$$\beta_{\chi} := 0.1 \quad \text{współczynnik dotyczący prostoliniowości elementów (dla drewna klejonego 0,1)}$$

$$A_d := b \cdot h = 1.08 \times 10^3 \cdot \text{cm}^2$$

$$I_y := \frac{(b \cdot h^3)}{12} = 3.24 \times 10^5 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_z := \frac{(h \cdot b^3)}{12} = 2.916 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_d}} = 17.321 \cdot \text{cm}$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_d}} = 5.196 \cdot \text{cm}$$

$$\lambda_y := \frac{L}{i_y} = 46.188$$

$$\lambda_z := \frac{L}{i_z} = 153.96$$

$$\sigma_{ccrity} := \pi^2 \cdot \frac{E_{0.05}}{\lambda_y^2} = 51.353 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{ccritz} := \pi^2 \cdot \frac{E_{0.05}}{\lambda_z^2} = 4.622 \cdot \text{MPa}$$

$$\lambda_{rely} := \sqrt{\frac{f_{c0k}}{\sigma_{ccrity}}} = 0.718$$

$$\lambda_{relz} := \sqrt{\frac{f_{c0k}}{\sigma_{ccritz}}} = 2.395$$

$$k_y := 0.5 \cdot \left[1 + \beta_{\chi} \cdot (\lambda_{rely} - 0.5) + \lambda_{rely}^2 \right] = 0.769 \quad k_z := 0.5 \cdot \left[1 + \beta_{\chi} \cdot (\lambda_{relz} - 0.5) + \lambda_{relz}^2 \right] = 3.462$$

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rely}^2}} = 0.959$$

$$k_{cz} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{relz}^2}} = 0.168$$

NAPRĘŻENIA OBLICZENIOWE OD ZGINANIA:

$$\sigma_{mzd} := \frac{M_z}{W_z} = 2.09 \cdot \text{MPa} < f_{mzd} := k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 22.154 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{myd} := \frac{M_y}{W_y} = 7.677 \cdot \text{MPa} < f_{myd} := k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 22.154 \cdot \text{MPa}$$

NAPRĘŻENIA OBLICZENIOWE OD ŚCISKANIA:

$$\sigma_{c0dy} := \frac{F_x}{k_{cy} \cdot A_d} = 0.278 \cdot \text{MPa}$$

$$< f_{c0d} = 18.346 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{c0dz} := \frac{F_x}{k_{cz} \cdot A_d} = 1.59 \cdot \text{MPa} \quad \sigma_{c0d} := \sigma_{c0dz}$$

NAPRĘŻENIA ZGINAJĄCE Z OSIOWĄ SIŁĄ ŚCISKAJĄCĄ

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} \right) + k_m \cdot \left(\frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \right) = 0.42 < 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + k_m \cdot \left(\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} \right) + \left(\frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \right) = 0.344 < 1$$

SPRAWDZENIE NAPRĘŻEŃ OD ZGINANIA W KALENICY

smukłość giętna dźwigara:

odległość płatwi usztywniających $a := 3 \cdot 0.6 \text{ m} = 1.8 \text{ m}$

długość obliczeniowa $l_d := a + 2 \cdot h = 3 \text{ m}$

$$\lambda_{\text{relap}} := \sqrt{\frac{(l_d \cdot h \cdot f_{md})}{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0.05}}} \cdot \left(\sqrt{\frac{E_{0\text{mean}}}{G_{\text{mean}}}} \right) = 0.385 \quad \lambda_{\text{relap}} < 0.75 \quad k_{\text{crit}} := 1.0$$

Współczynnik stateczności giętnej:

promień r: $r := r_{\text{in}} + \frac{h}{2} = 14.679 \text{ m}$

przyjęto grubość desek $t := 20 \text{ mm}$

$$\frac{r_{\text{in}}}{t} = 718.958 > 240, \text{ więc } k_T := 1.0$$

$$k_1 := 1 + 1.5 \cdot \tan(\gamma) + 5.4 \cdot \tan(\gamma)^2 = 1$$

$$k_2 := 0.35 - 8 \cdot \tan(\gamma) = 0.35$$

$$k_3 := 0.6 + 8.3 \cdot \tan(\gamma) - 7.8 \cdot \tan(\gamma)^2 = 0.6$$

$$k_4 := 6 \cdot \tan(\gamma)^2 = 0$$

$$k_t := k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h}{r}\right)^2 = 1.015$$

$$\sigma_{\text{mod}} := k_t \cdot \frac{(6M_y)}{b \cdot h^2} = 7.794 \cdot \text{MPa} < f_{\text{md}} = 22.154 \cdot \text{MPa} \quad \text{warunek spełniony}$$

SPRAWDZENIE NAPRĘŻEŃ ROZCIĄGAJĄCYCH W KALENICY

$$\sigma_{t90d} < k_{\text{dis}} \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.2} \cdot f_{t90d}$$

$$k_{\text{dis}} := 1.4 \quad \text{współczynnik uwzględniający wpływ rozdziału naprężeń w strefie kalenicowej dla dźwigarów o zakrzywionej osi i stałym przekroju}$$

$$k_5 := 0.2 \cdot \tan(\gamma) = 0$$

$$k_6 := 0.25 - 1.5 \cdot \tan(\gamma) + 2.6 \cdot \tan(\gamma)^2 = 0.25$$

$$k_7 := 2.1 \cdot \tan(\gamma) - 4 \cdot \tan(\gamma)^2 = 0$$

$$k_p := k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h}{r}\right)^2 = 0.01$$

$$\text{całkowita objętość dźwigara} \quad V_b := b \cdot h \cdot L_{\text{rz}} = 1.319 \cdot \text{m}^3$$

$$\text{objętość strefy kalenicowej} \quad V := c \cdot h \cdot b = 1.41 \cdot \text{m}^3$$

$$\text{objętość odniesienia} \quad V_0 := 0.01 \text{m}^3$$

$$\sigma_{t90d} := k_p \cdot \frac{(6M_y)}{b \cdot h^2} = 0.078 \cdot \text{MPa} \quad k_{\text{dis}} \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.2} \cdot f_{t90d} = 0.162 \cdot \text{MPa}$$

warunek spełniony

SPRAWDZENIE NAPRĘŻEŃ ŚCINAJĄCYCH (bez redukcji siły poprzecznej przy podporze)

$$\text{Maksymalna siła poprzeczna} \quad V_{\text{max}} := 121.19 \text{kN}$$

$$\tau_d := 1.5 \cdot \frac{V_{\text{max}}}{b \cdot h} \quad \tau_d < f_{\text{vd}} \quad \text{zastosowano wzór dla belki nie podciętej, ale ze względu na poziome ścięcie powierzchni oparcia, uwzględniono zwiększenie działającej siły współczynnikiem 1,5 jak dla belek podciętych na podporze}$$

$$f_{\text{vk}} := 3.2 \text{MPa}$$

$$\tau_d = 1.683 \cdot \text{MPa} \quad \tau_d < f_{\text{vd}} \quad f_{\text{vd}} := \frac{(k_{\text{mod}} \cdot f_{\text{vk}})}{\gamma_M} = 2.215 \cdot \text{MPa} \quad \text{warunek spełniony}$$

STAN GRANICZNY UŻYTKOWALNOŚCI

$$I_y := \frac{\left[b \cdot (h^3) \right]}{12} = 3.24 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4 \quad I_z := \frac{\left(b^3 \cdot h \right)}{12} = 2.916 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

Ugięcie końcowe od obc. stałego (wartości ugięć odczytane z programu Robot)

$$k_{\text{def1}} := 0.8 \quad \text{klasa użytkowania 2}$$

$$u_{\text{fin1}} := 4 \cdot (1 + k_{\text{def1}}) = 7.2$$

Ugięcie końcowe od obc. śniegiem (wartości ugięć odczytane z programu Robot)

$$k_{\text{def2}} := 0.00 \quad \text{klasa użytkowania 2}$$

$$u_{\text{fin2}} := 0.8 \cdot (1 + k_{\text{def2}}) = 0.8$$

Ugięcie końcowe od obc. wiatrem (wartości ugięć odczytane z programu Robot)

$$k_{\text{def3}} := 0.25 \quad \text{klasa użytkowania 2}$$

$$u_{\text{fin3}} := 7 \cdot (1 + k_{\text{def3}}) = 8.75$$

Ugięcie całkowite

$$u_{\text{fin}} := u_{\text{fin1}} + u_{\text{fin2}} + u_{\text{fin3}} = 16.75 \quad u_{\text{fin}} < u_{\text{net}} \quad u_{\text{net}} := \frac{L}{300} = 26.667 \cdot \text{mm}$$

warunek spełniony

SPRAWDZENIE DOCISKU NA PODPORZE

Reakcja podporowa $V_{\text{max}} = 121.19 \cdot \text{kN}$

Obliczenie długości oparcia dźwigara

szerokość oparcia $b = 0.18 \text{ m}$

Wytrzymałość na docisk do włókien pod kątem

$$f_{\text{c90d}} = 2.077 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{c0k}} = 26.5 \cdot \text{MPa} \quad f_{\text{c0d}} = 18.346 \cdot \text{MPa}$$

$$\alpha := 90\text{deg} - 27\text{deg} = 63 \cdot \text{deg}$$

$$f_{\text{c}\alpha\text{d}} := \frac{f_{\text{c0d}}}{\left(\frac{f_{\text{c0d}}}{f_{\text{c90d}}} \right) \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} = 2.541 \cdot \text{MPa}$$

Minimalna długość oparcia $l_A := \frac{V_{\text{max}}}{(b \cdot f_{\text{c}\alpha\text{d}})} = 264.921 \cdot \text{mm}$

Przyjęto długość oparcia $300\text{mm} > 264.921\text{mm}$

