

1. Wyniki obliczeń – statyka i wymiarowanie – wzmocnienie tramu (A1)

Założenia:

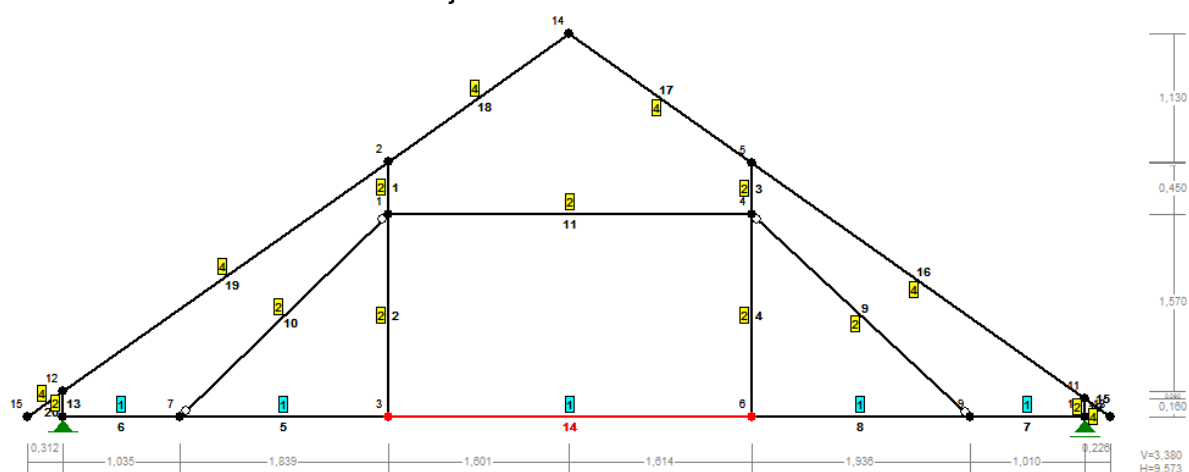
Drewno: klasa C24

Stal: klasa S355

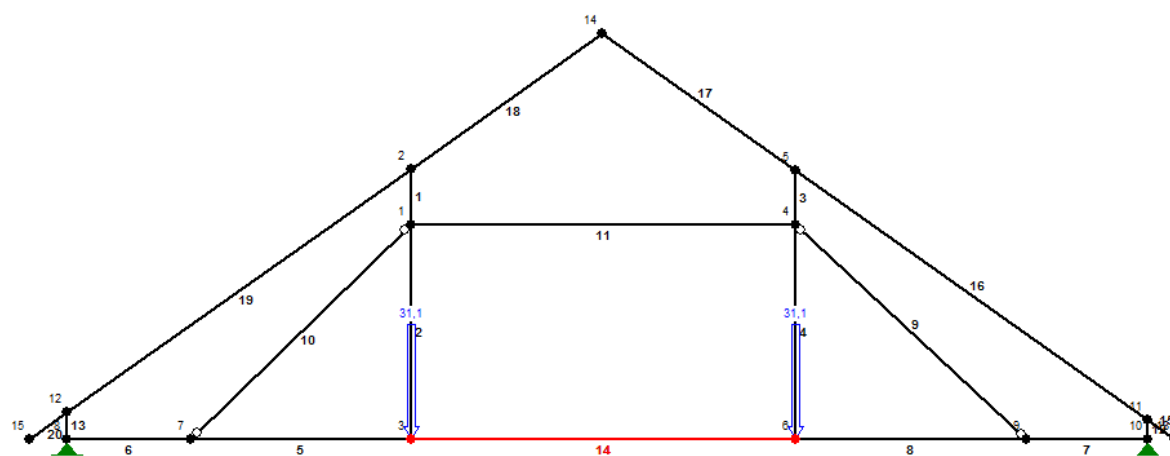
Przekrój tramu: 16 x 20 cm + 2x C160

1.2. Konstrukcja dachu

1.2.1. Schemat konstrukcji



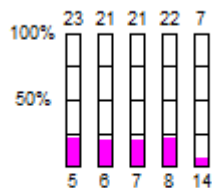
1.2.2. Obciążenia – reakcje



1.2.3. Mnożniki i atrybuty.

Nr	Opis	Obc(+)	Obc(-)	Udz.	Atrybut
1	Ciężar własny	1,1	1,1	1	Stały
2	Reakcje	1,4	1,4	1	Stały

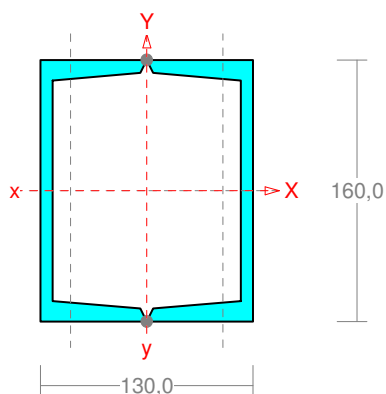
1.4. Wymiarowanie.



Przekrój nr: 1
" 2 U 160 "

Wykorzystanie przekrojów

Pręt nr 5



Wymiary przekroju:

U 160 $h=160,0$ $s=65,0$ $g=7,5$ $t=10,5$ $r=10,5$
 $ex=18,4$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=1850,0$ $J_{yg}=1212,9$ $A=48,00$ $i_x=6,2$
 $i_y=5,0$.

Materiał: **18G2,18G2A**. Wytrzymałość **$f_d=305$**
MPa dla **$g=10,5$** .

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

Siły przekrojowe:

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **A**

$M_x = -13,0$ kNm, $V_y = -6,6$ kN, $N = 64,9$ kN,

Naprężenia w skrajnych włókniach: $\sigma_t = 69,9$ MPa $\sigma_c = -42,9$ MPa.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 0,000$; $x_b = 1,839$.

Siła osiowa: $N = 64,9$ kN.

Pole powierzchni przekroju: $A = 48,00$ cm².

Nośność przekroju na rozciąganie: $N_{Rt} = A f_d = 48,00 \times 305 \times 10^{-1} = 1464,0$ kN.

Warunek nośności (31):

$$N = 64,9 < 1464,0 = N_{Rt}$$

Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 0,300 \quad \chi_2 = 0,405 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,615 \quad \text{dla } l_0 = 1,839$$

$$l_w = 0,615 \times 1,839 = 1,131 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 1,839$$

$$l_w = 1,000 \times 1,839 = 1,839 \text{ m}$$

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1850,0}{1,131^2} 10^{-2} = 29262,5 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1212,9}{1,839^2} 10^{-2} = 7256,6 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Dla przekroju rurowego lub skrzynkowego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem $l_1 = l_w = 1839 \text{ mm}$:

$$100 b_o \sqrt{215 / f_d} = 100 \times 122,5 \times \sqrt{215 / 305} = 10285 > 1839 = l_1$$

Pręt jest zabezpieczony przed zwichrzeniem.

Nośność przekroju na zginanie:

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 231,3 \times 305 \times 10^{-3} = 70,5 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla $\bar{\lambda}_L = 0,000$ wynosi $\varphi_L = 1,000$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{64,9}{1464,0} + \frac{13,0}{1,000 \times 70,5} = 0,229 < 1$$

Nośność przekroju na ścinanie:

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 24,0 \times 305 \times 10^{-1} = 424,6 \text{ kN}$$

$$V_0 = 0,3 V_R = 127,4 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 7,4 < 424,6 = V_R$$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

- dla zginania względem osi X: $V_y = 6,6 < 127,4 = V_0$

$$M_{R,V} = M_R = 70,5 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{M_{Rx,V}} = \frac{64,9}{1464,0} + \frac{13,0}{70,5} = 0,229 < 1$$

Nośność przekroju na ścinanie z uwzględnieniem siły osiowej:

- dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 6,6 < 424,1 = 424,6 \times \sqrt{1 - (64,9 / 1464,0)^2} = V_R \sqrt{1 - (N / N_{Rt})^2} = V_{R,N}$$

Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $c = 0,0 \text{ mm}$.

Naprężenia ściskające w środku wynoszą $\sigma_c = 55,1$ MPa. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną:

$$P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 105,0 \times 7,5 \times 1,000 \times 305 \times 10^{-3} = 240,2 \text{ kN}$$

Warunek nośności środka:

$$P = 0,0 < 240,2 = P_{R,W}$$

Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 0,6 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 350 = 1839 / 350 = 5,3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,6 < 5,3 = a_{\text{gr}}$$

1. Wyniki obliczeń – statyka i wymiarowanie – wzmocnienie krokwi (B1)

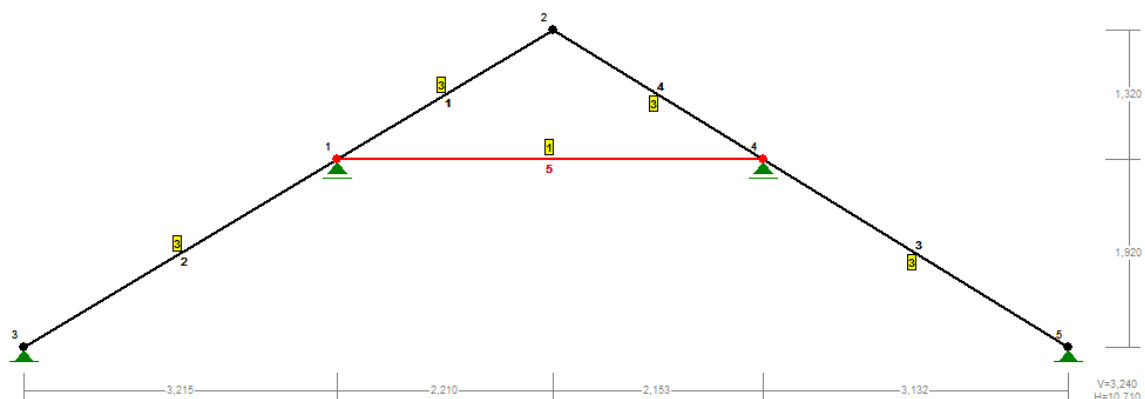
Założenia:

Drewno: klasa C24

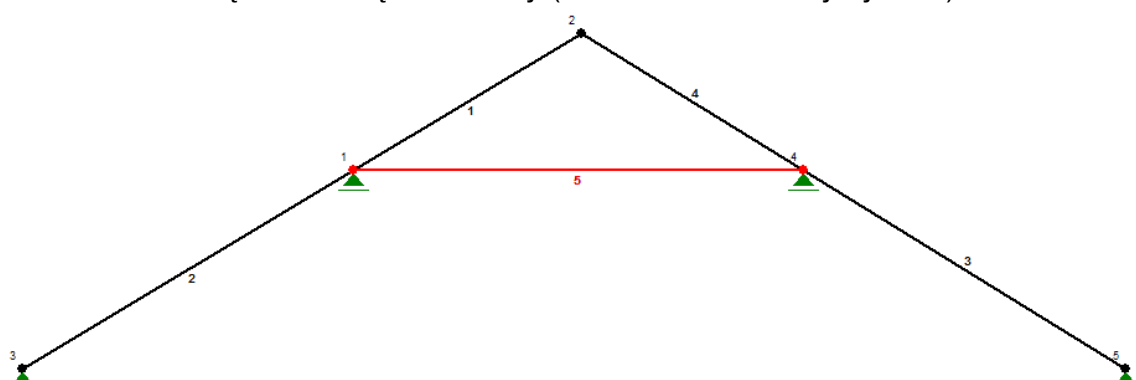
Przekrój krokwi: 5,5 x 16 cm + 5,0 x 16 cm

1.2. Konstrukcja dachu

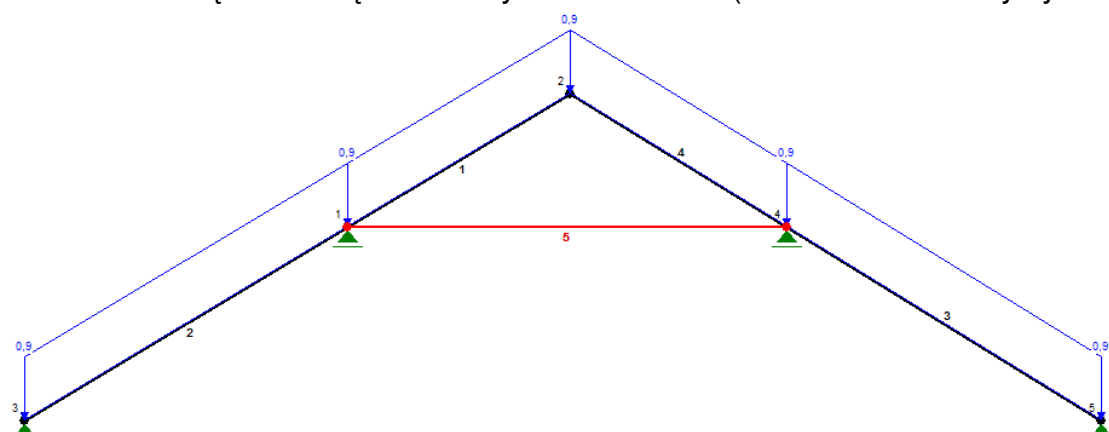
1.2.1. Schemat konstrukcji



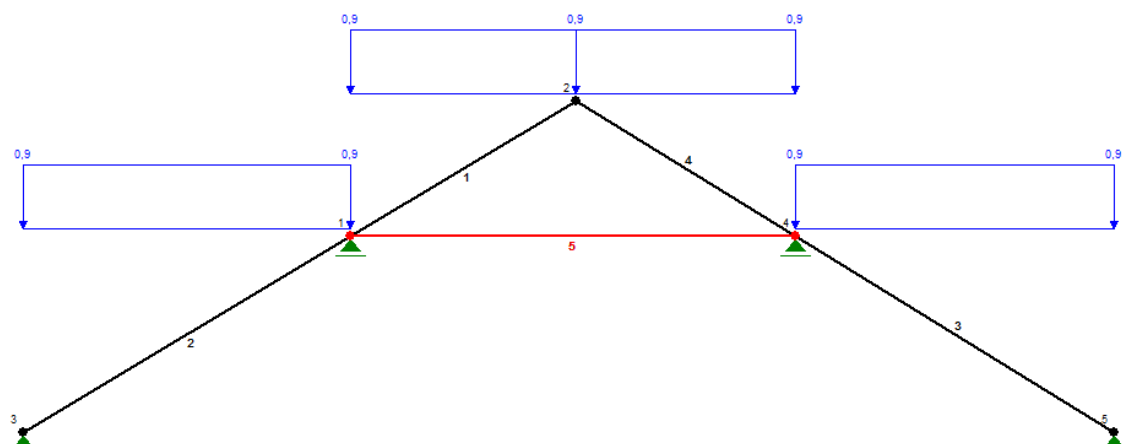
1.2.2. Obciążenia – ciężar własny (wartości charakterystyczne)



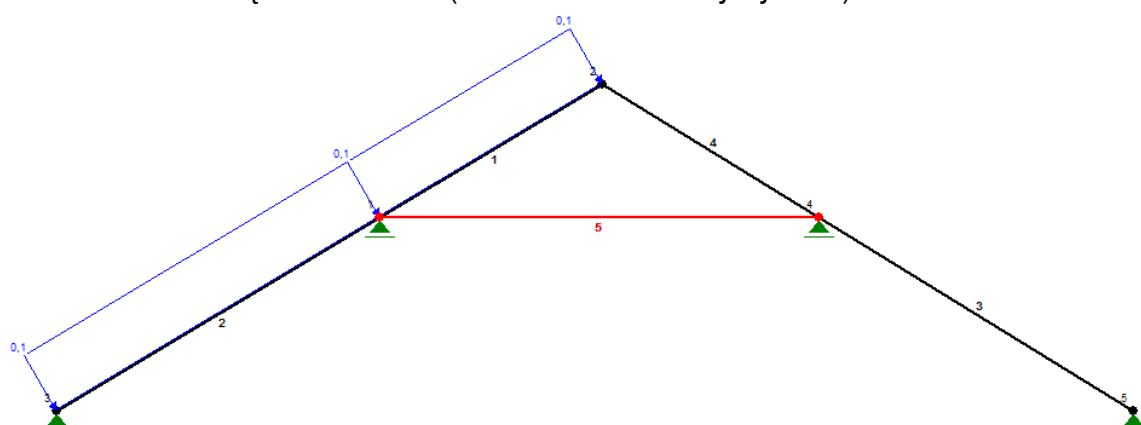
1.2.3. Obciążenia –ciężar własny warstw dachu (wartości charakterystyczne)



1.2.4. Obciążenia – śnieg (wartości charakterystyczne)



1.2.5. Obciążenia – wiatr (wartości charakterystyczne)

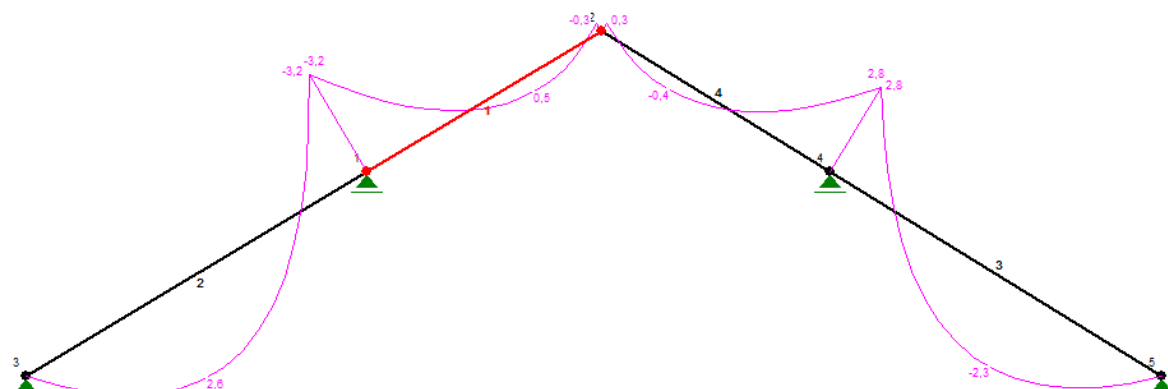


1.2.8. Mnożniki i atrybuty.

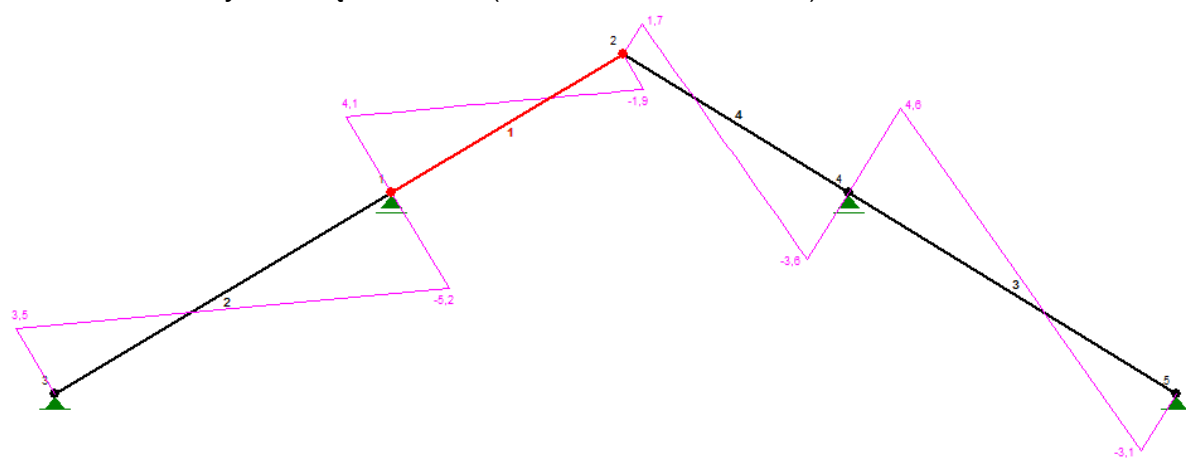
Nr	Opis	Obc(+)	Obc(-)	Udz.	Atrybut
1	Ciężar własny	1,1	1,1	1	Stały
2	Ciężar warstw dachu	1,35	1,35	1	Stały
3	Obc śnieg	1,5	1,5	1	Zmienny
4	Obc wiatr	1,5	1,5	1	Zmienny

1.3. Krokiec – obliczenia statyczne.

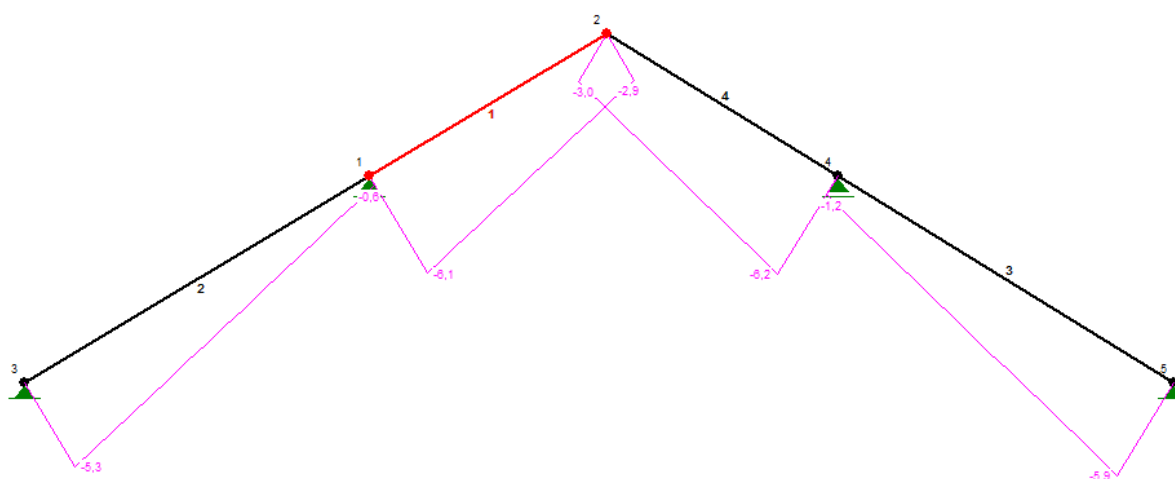
1.3.1. Siły wewnętrzne – M (wartości obliczeniowe)



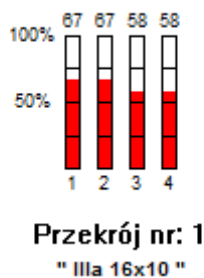
1.3.2. Siły wewnętrzne – Q (wartości obliczeniowe)



1.3.3. Siły wewnętrzne – N (wartości obliczeniowe)

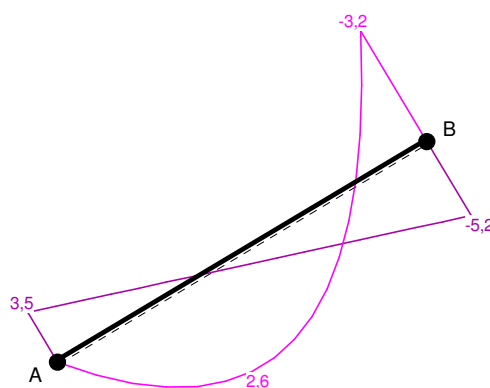
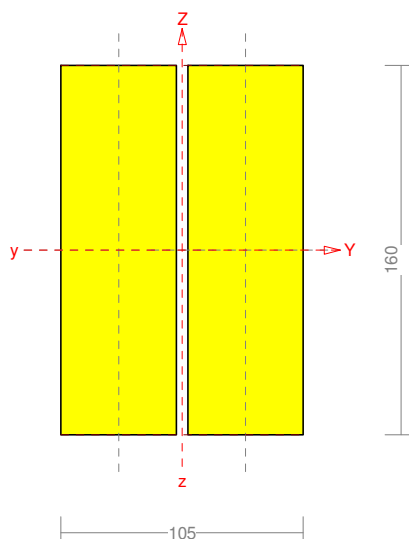


1.4. Wymiarowanie.



Wykorzystanie przekrojów

Pręt nr 2



Przekrój: 1 "IIIa 16x10"

Wymiary przekroju:

$$h=160,0 \text{ mm} \quad b=105,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg}=3413,3; \quad J_{yg}=1543,3 \text{ cm}^4; \quad A=160,00 \text{ cm}^2; \quad i_x=4,6; \quad i_y=3,1 \text{ cm}; \quad W_x=426,7; \quad W_y=294,0 \text{ cm}^3.$$

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: **Stałe** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C24.**

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

$$f_{m,d} = 11,08 \text{ MPa}$$

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

$$f_{t,0,d} = 6,46 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,40$$

$$f_{t,90,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

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

$$f_{c,0,d} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 5,30$$

$$f_{c,90,d} = 2,45 \text{ MPa}$$

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

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Sprawdzenie nośności pręta nr 2

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych.

Charakterystyka zastępcza przekroju:

Moment bezwładności względem osi prostopadłej do przewiązek:

$$I_{\text{tot}} = b [(2h + a)^3 - a^3] / 12 = 16,0 \times [(2 \times 5,0 + 0,5)^3 - 0,5^3] / 12 = 1543,3 \text{ cm}^4$$

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,74 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_{c,y} = \mu l = 0,803 \times 3,745 = 3,007 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_{c,z} = \mu l = 1,000 \times 3,745 = 3,745 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,007 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 3,745 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / \sqrt{I_{\text{tot},y} / A_{\text{tot}}} = 300,7 / \sqrt{3413,3 / 160,00} = 65,1$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / \sqrt{I_{\text{tot},z} / A_{\text{tot}}} = 374,5 / \sqrt{1543,3 / 160,00} = 120,6$$

$$\lambda_1 = \sqrt{12} l_1 / h = 3,464 \times 74,9 / 5,0 = 51,9$$

$$\lambda_{\text{ef}} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \lambda_1^2} n / 2 = \sqrt{120,6^2 + 3,5 \times 51,9^2 \times 2 / 2} = 154,8$$

$$\sigma_{c,\text{crit},y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_{\text{ef},y}^2 = 9,87 \times 7400 / (65,10)^2 = 17,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,\text{crit},z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_{\text{ef},z}^2 = 9,87 \times 7400 / (154,79)^2 = 3,05 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,\text{crit},y}} = \sqrt{21 / 17,23} = 1,104$$

$$\lambda_{\text{rel},z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,\text{crit},z}} = \sqrt{21 / 3,05} = 2,625$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel},y} - 0,5) + \lambda_{\text{rel},y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,104 - 0,5) + (1,104)^2] = 1,170$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel},z} - 0,5) + \lambda_{\text{rel},z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (2,625 - 0,5) + (2,625)^2] = 4,157$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}) = 1 / (1,170 + \sqrt{1,170^2 - 1,104^2}) = 0,642$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},z}^2}) = 1 / (4,157 + \sqrt{4,157^2 - 2,625^2}) = 0,135$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 160,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 5,3 / 160,00 \times 10 = \mathbf{0,3} < \mathbf{1,31} = 0,135 \times 9,69 = k_c f_{c,0,d}$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=3,74 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC".

Największe naprężenia dla gałęzi ściskanej:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 1,000 \times 0,0 \times 3,2 / 3413,3 \times 10^3 = \mathbf{0,0} < \mathbf{9,7} = f_{c,0,d}$$

Największe naprężenia dla gałęzi rozciąganej:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 1,000 \times 0,0 \times 3,2 / 3413,3 \times 10^3 = \mathbf{0,0} < \mathbf{6,46} = f_{c,0,t}$$

Nośność dla $x_a=3,74$ m; $x_b=0,00$ m, przy obciążeniach "ABC":

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{7,4}{11,08} + 1,0 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,7} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=0,00$ m; $x_b=3,74$ m, przy obciążeniach "ABC":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,3^2}{9,69^2} + \frac{0,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,0} < \mathbf{1}$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=3,28$ m; $x_b=0,47$ m, przy obciążeniach "ABC".

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie równoległej do przewiązek:

$$\tau = 1,5 V / (n b h) = 1,5 \times 0,0 / (2 \times 16,0 \times 5,0) \times 10 = 0,0 \text{ MPa}$$

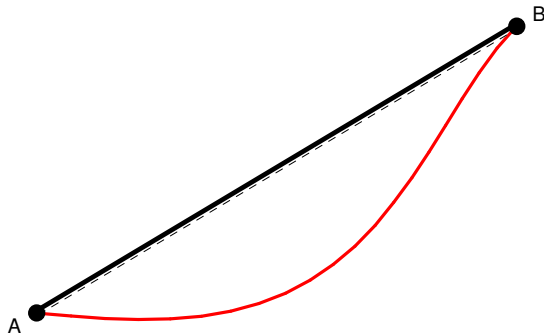
Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie prostopadłej do przewiązek:

$$\tau' = 1,5 V' / (n b h) = 1,5 \times 4,1 / (2 \times 16,0 \times 5,0) \times 10 = 0,4 \text{ MPa}$$

Nośność na ścinanie:

$$\sqrt{\tau^2 + \tau'^2} = \sqrt{0,0^2 + 0,4^2} = \mathbf{0,4} < \mathbf{1,15} = f_{v,d}$$

Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla $x_a=1,64$ m; $x_b=2,11$ m, przy obciążeniach "ABC".

Ugięcie graniczne

$$u_{net,fin} = l / 150 = 25,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "ABC"):

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} (1 + k_{def}) = -0,2 \times (1 + 0,60) = -0,3 \text{ mm}$$

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

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("ABC"):

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

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} (1 + k_{def}) = -5,9 \times (1 + 0,60) = -9,4 \text{ mm}$$

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

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,fin} = -0,3 + -9,4 = \mathbf{9,7} < \mathbf{25,0} = u_{net,fin}$$

1. Wyniki obliczeń – statyka i wymiarowanie – wzmocnienie płatwi (B1)

Założenia:

Drewno: klasa C24

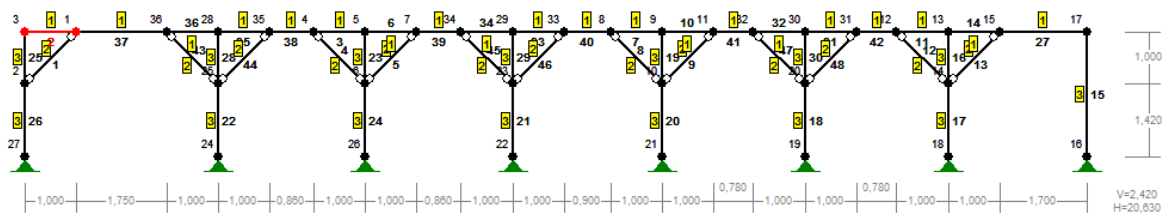
Przekrój płatwi: 14x14 cm

Przekrój słupów: 14x14 cm

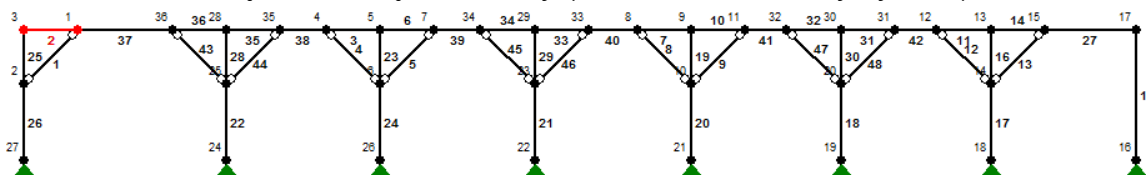
Przekrój mieczy: 7x12 cm + dodatkowe miecze przy „wolnych” słupach

1.2. Konstrukcja dachu

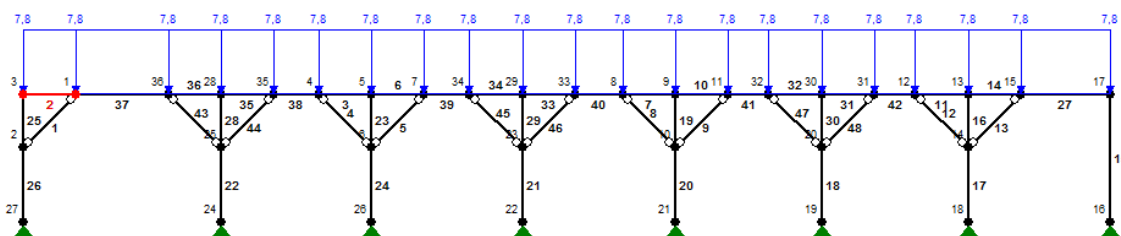
1.2.1. Schemat konstrukcji



1.2.2. Obciążenia – ciężar własny (wartości charakterystyczne)



1.2.3. Obciążenia – z krokwi (wartości charakterystyczne)

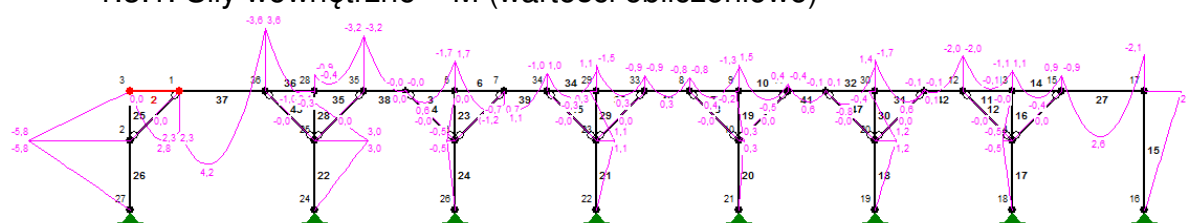


1.2.4. Mnożniki i atrybuty.

Nr	Opis	Obc(+)	Obc(-)	Udz.	Atrybut
1	Ciężar własny	1,1	1,1	1	Stały
2	Ciężar z krokwi	1,40	1,40	1	Stały

1.3. Płatew – obliczenia statyczne.

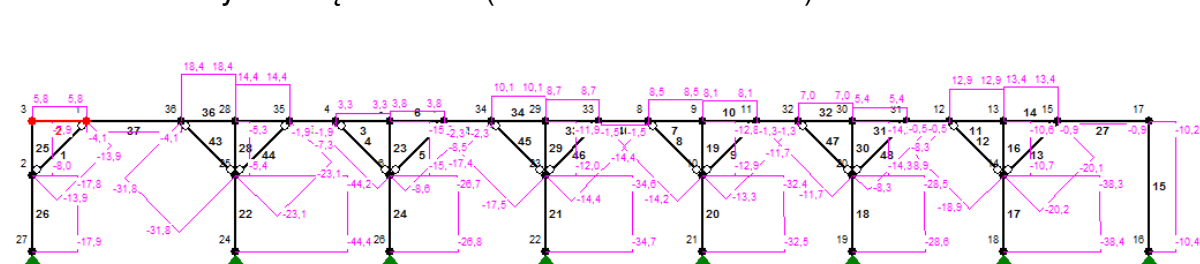
1.3.1. Siły wewnętrzne – M (wartości obliczeniowe)



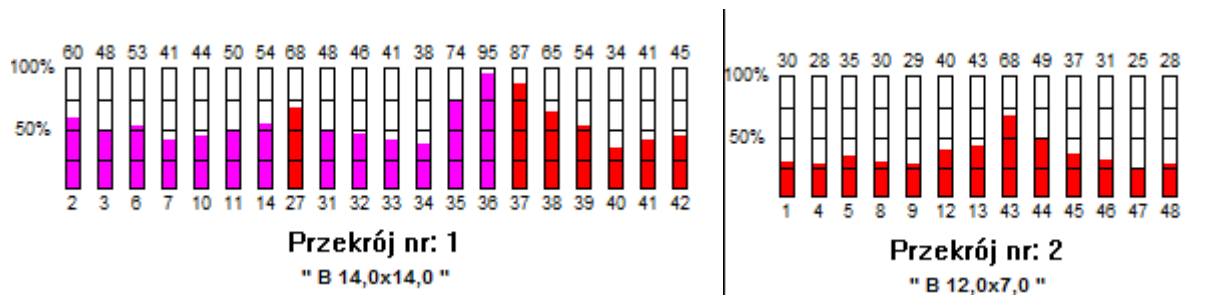
1.3.2. Siły wewnętrzne – Q (wartości obliczeniowe)



1.3.3. Siły wewnętrzne – N (wartości obliczeniowe)

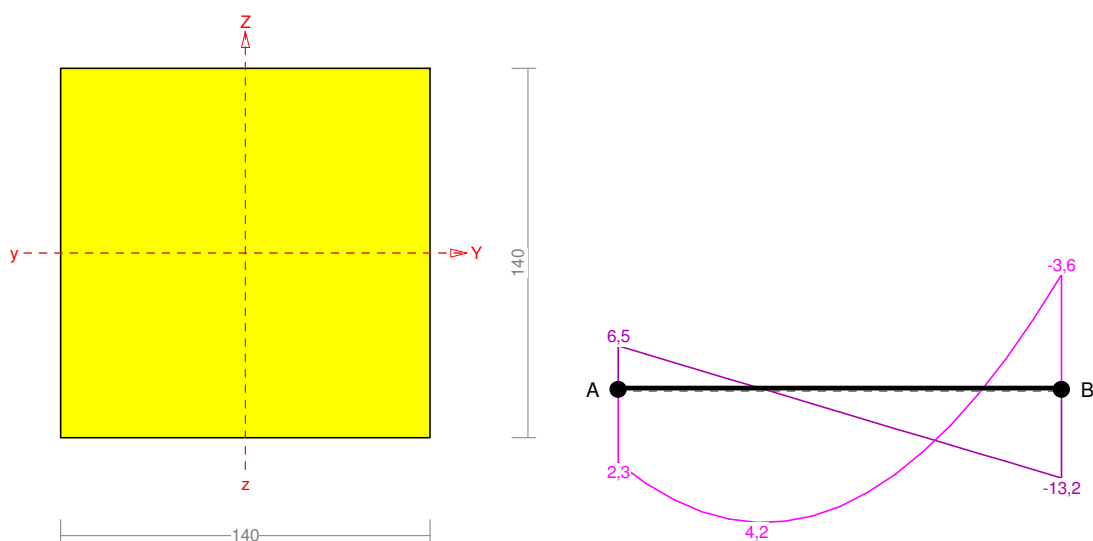


1.4. Wymiarowanie



Wykorzystanie przekrojów

Pręt nr 37

**Przekrój: 1** "B 14,0x14,0"

Wymiary przekroju:

$$h=140,0 \text{ mm} \quad b=140,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg}=3201,3; \quad J_{yg}=3201,3 \text{ cm}^4; \quad A=196,00 \text{ cm}^2; \quad i_x=4,0; \quad i_y=4,0 \text{ cm}; \quad W_x=457,3; \quad W_y=457,3 \text{ cm}^3.$$

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: **Stałe** (*więcej niż 10 lat, np. ciężar własny*).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C24.**

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

$$f_{m,d} = 11,08 \text{ MPa}$$

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

$$f_{t,0,d} = 6,46 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,40$$

$$f_{t,90,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

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

$$f_{c,0,d} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 5,30$$

$$f_{c,90,d} = 2,45 \text{ MPa}$$

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

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Sprawdzenie nośności pręta nr 37

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych.

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=1,75 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,644 \times 1,750 = 1,127 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 1,750 = 1,750 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 1,127 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 1,750 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 1,127 / 0,0404 = 27,89$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 1,750 / 0,0404 = 43,30$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 7400 / (27,89)^2 = 93,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 7400 / (43,30)^2 = 38,95 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{21/93,92} = 0,473$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{21/38,95} = 0,734$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (0,473 - 0,5) + (0,473)^2] = 0,609$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (0,734 - 0,5) + (0,734)^2] = 0,793$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (0,609 + \sqrt{0,609^2 - 0,473^2}) = 1,007$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (0,793 + \sqrt{0,793^2 - 0,734^2}) = 0,915$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 196,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 4,1 / 196,00 \times 10 = 0,2 < 8,87 = 0,915 \times 9,69 = k_c f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla $x_a=0,55 \text{ m}$; $x_b=1,20 \text{ m}$, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,2}{1,007 \times 9,69} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} + \frac{9,1}{11,08} = 0,841 < 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,2}{0,915 \times 9,69} + \frac{0,0}{11,08} + 0,7 \times \frac{9,1}{11,08} = 0,597 < 1$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=0,55 \text{ m}$; $x_b=1,20 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

Długość obliczeniowa dla *pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach*, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 1750 + 140 + 140 = 2030 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \sqrt{\frac{2030 \times 140 \times 11,08}{3,142 \times 140^2 \times 7400}} \times \sqrt{\frac{11000}{690}} = 0,166$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 4,2 / 457,33 \times 10^3 = \mathbf{9,1 < 11,1} = 1,000 \times 11,08 = k_{crit} f_{m,d}$$

Nośność dla $x_a=0,55$ m; $x_b=1,20$ m, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{9,1}{11,08} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,8 < 1}$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{9,1}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,6 < 1}$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=0,55$ m; $x_b=1,20$ m, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,2^2}{9,69^2} + \frac{9,1}{11,08} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,8 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,2^2}{9,69^2} + 0,7 \times \frac{9,1}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,6 < 1}$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=1,75$ m; $x_b=0,00$ m, przy obciążeniach "A".

Napężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 13,2 / 196,0 \times 10 = 1,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,0 / 196,0 \times 10 = 0,0 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{1,0^2 + 0,0^2} = \mathbf{1,0 < 1,2} = 1,000 \times 1,15 = k_v f_{v,d}$$

Stan graniczny użytkowania:

A ● ————— ● B



Wyniki dla $x_a=0,77$ m; $x_b=0,98$ m, przy obciążeniach "A" liczone od cięciwy pręta.

Ugięcie graniczne

$$u_{net,fin} = l / 150 = 11,7 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "A"):

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + 19,2 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = -0,1 \times [1 + 19,2 \times (140,0/1750)^2] (1 + 0,60) = -0,1 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} [1 + 19,2 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (140,0/1750)^2] (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("A"):

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

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + 19,2 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = -2,2 \times [1 + 19,2 \times (140,0/1750)^2] (1 + 0,60) = -4,0 \text{ mm}$$

ZAŁĄCZNIK OBLICZENIOWY NR 3

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} [1 + 19,2 (h/L)^2](1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (140,0/1750)^2](1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -0,1 + -4,0 = \mathbf{4,1} < \mathbf{11,7} = u_{\text{net,fin}}$$

1. Wyniki obliczeń – statyka i wymiarowanie – wzmocnienie kr. koszowej (B2)

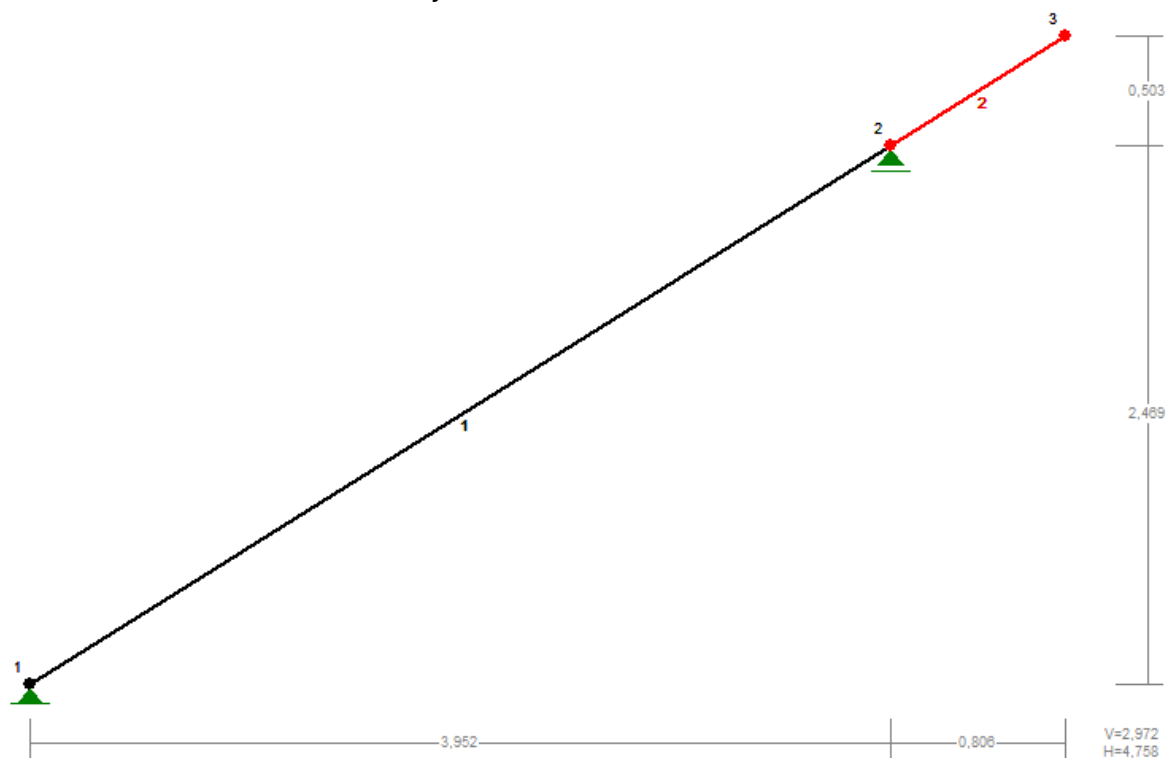
Założenia:

Drewno: klasa C24

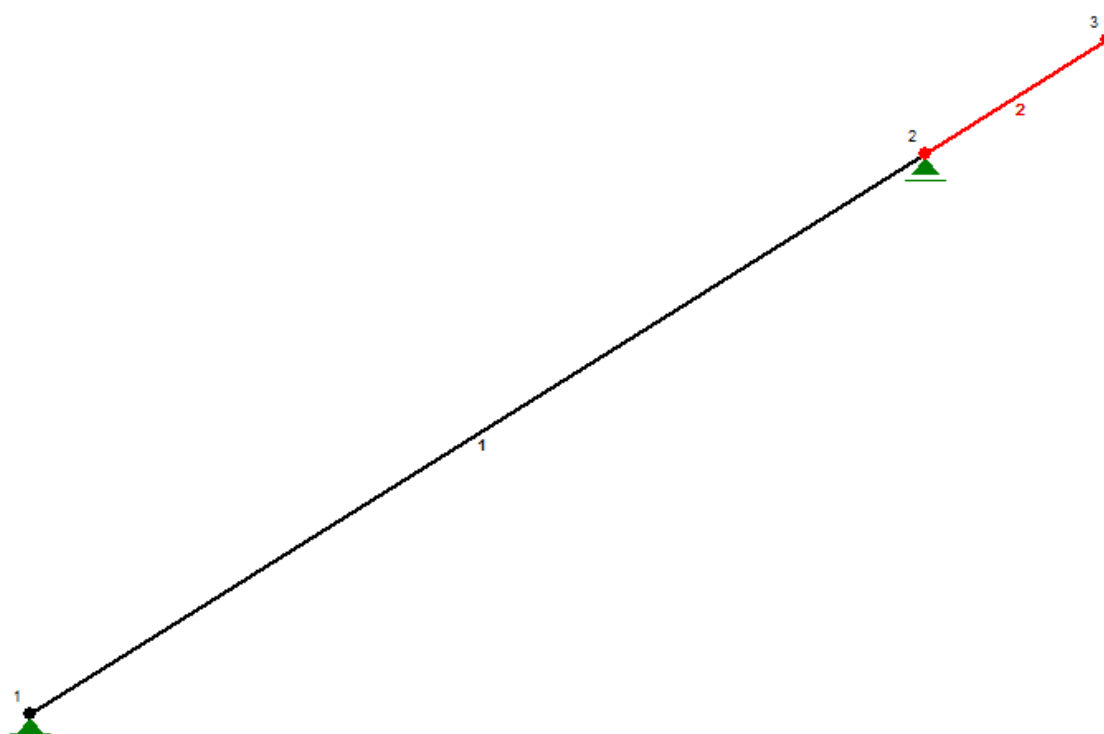
Przekrój krokwi: 12 x 12 cm

1.2. Konstrukcja dachu

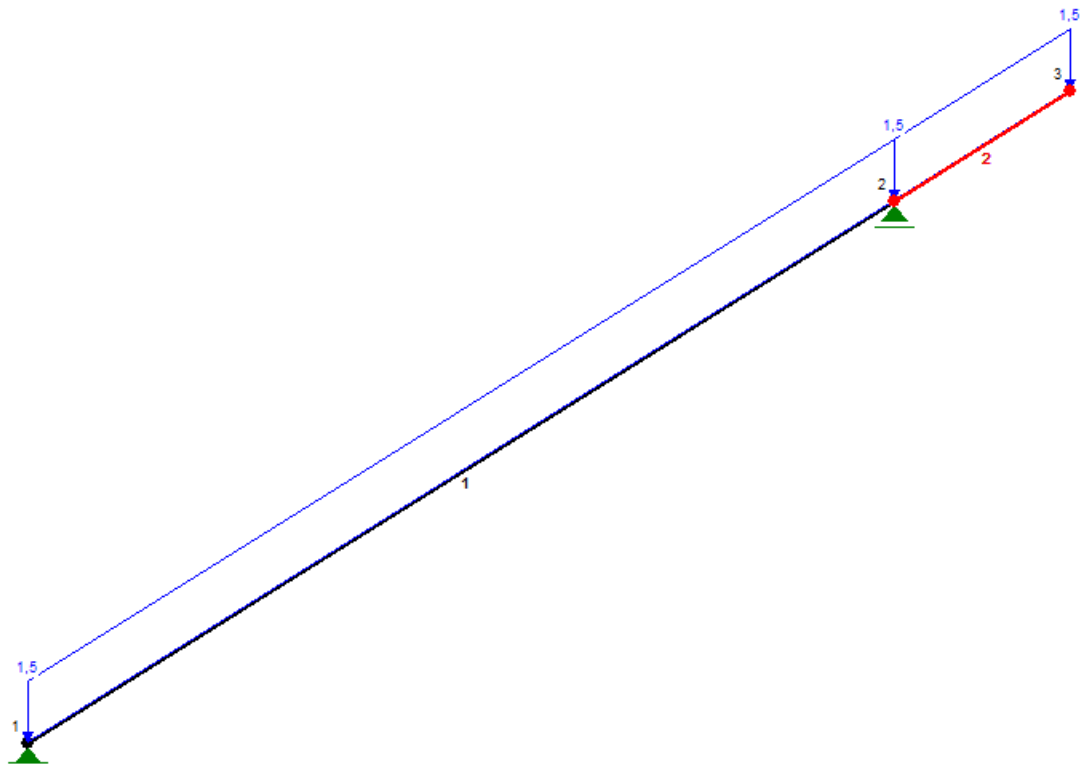
1.2.1. Schemat konstrukcji



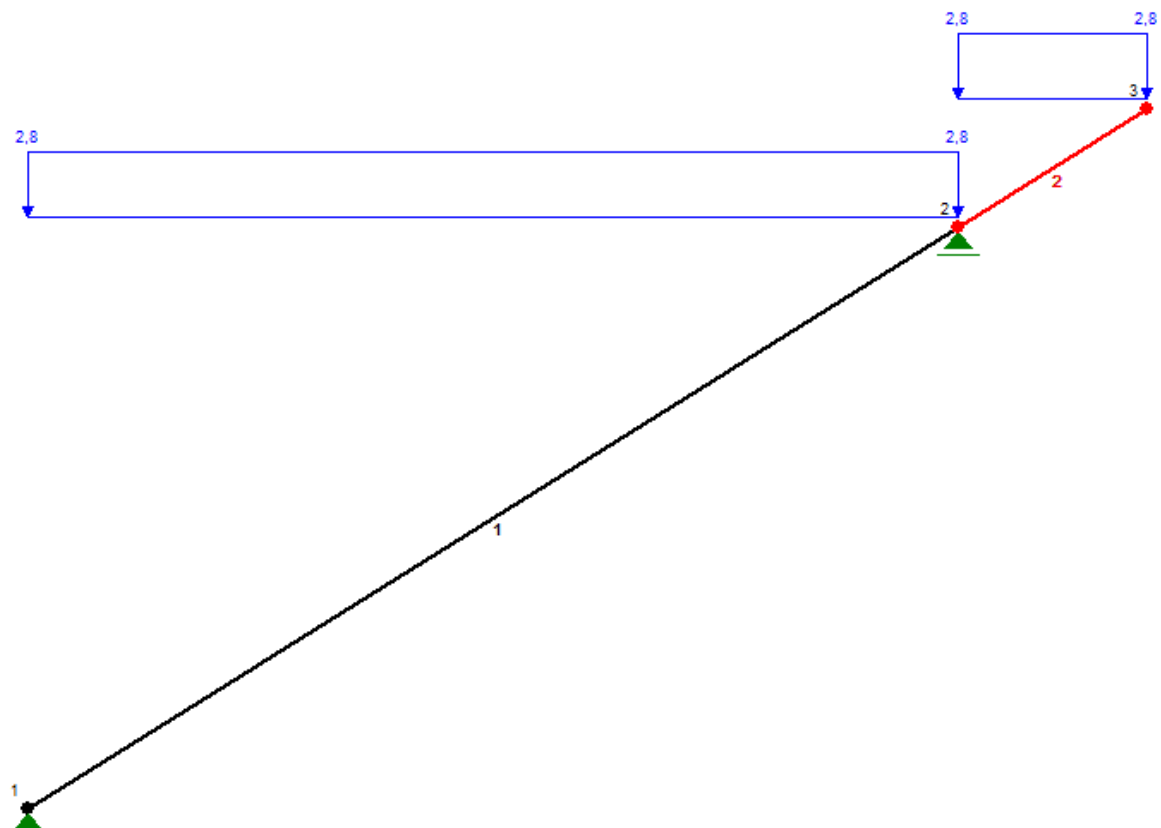
1.2.2. Obciążenia – ciężar własny (wartości charakterystyczne)



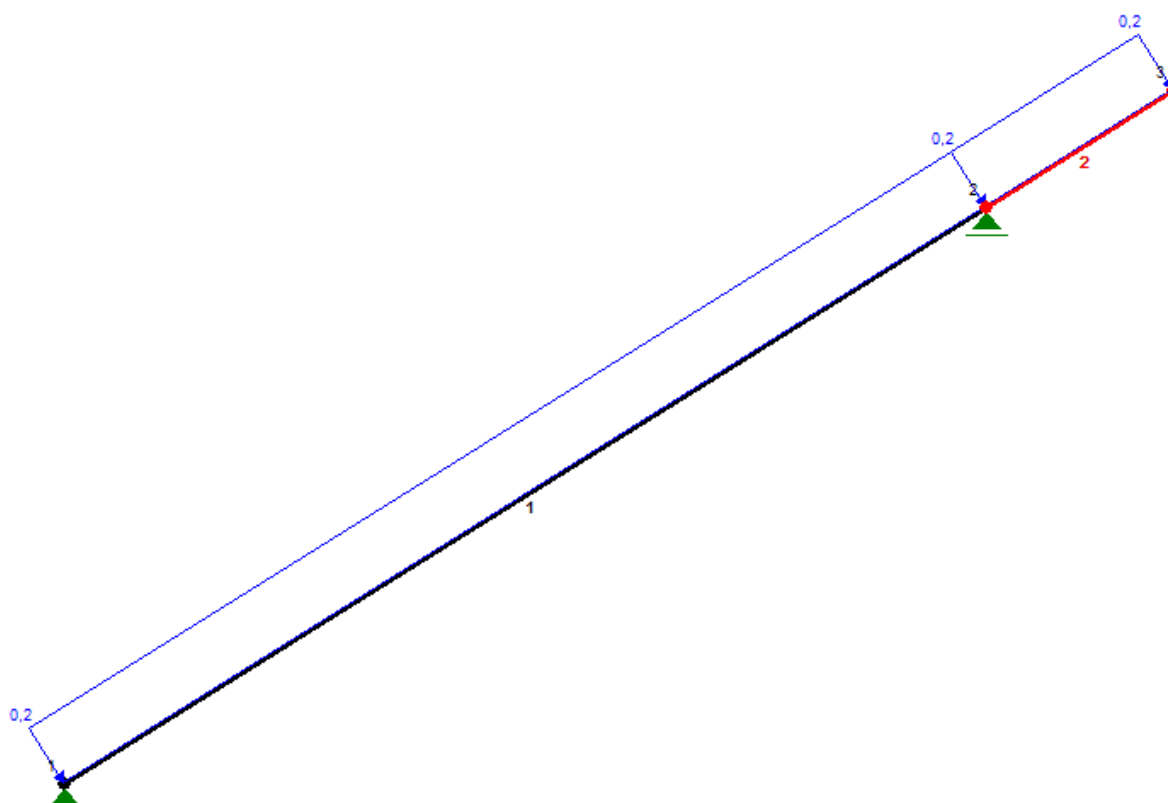
1.2.3. Obciążenia – ciężar własny warstw dachu (wartości charakterystyczne)



1.2.4. Obciążenia – śnieg (wartości charakterystyczne)



1.2.5. Obciążenia – wiatr (wartości charakterystyczne)

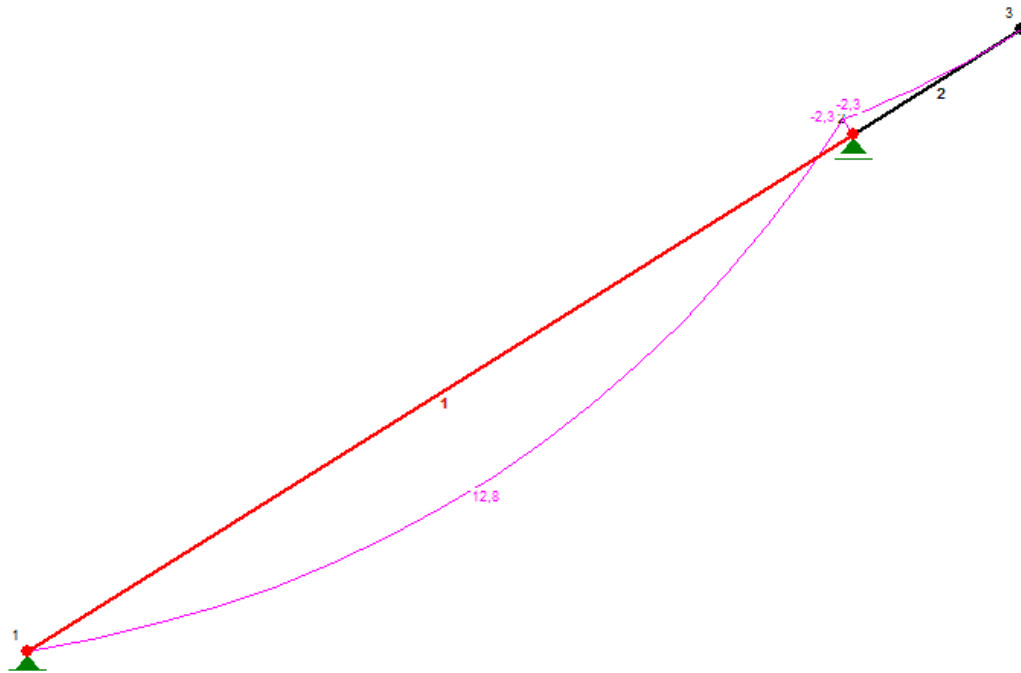


1.2.8. Mnożniki i atrybuty.

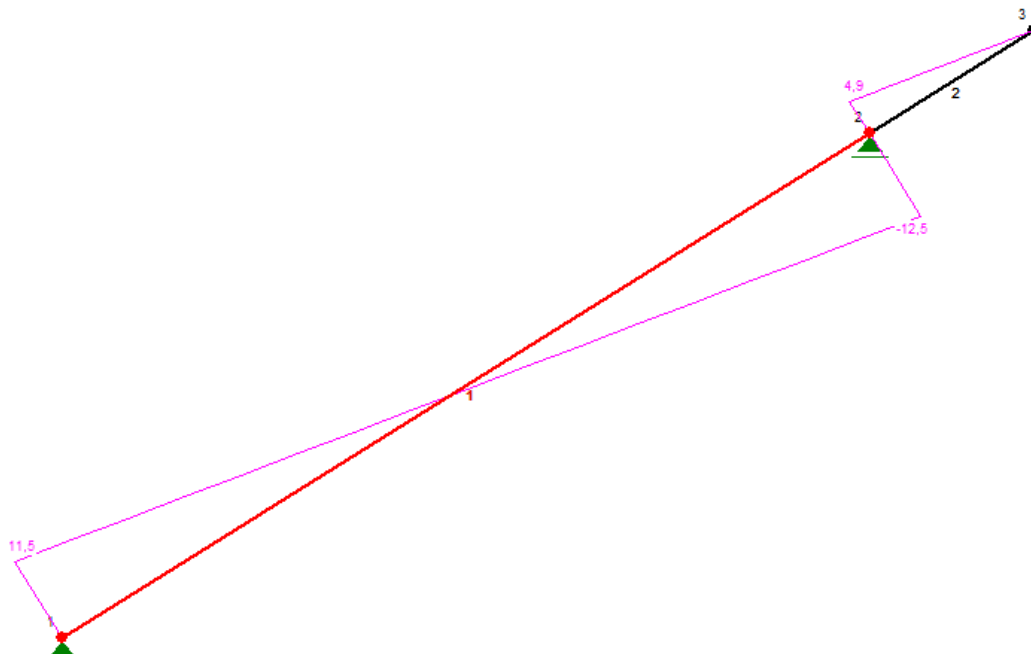
Nr	Opis	Obc(+)	Obc(-)	Udz.	Atrybut
1	Ciężar własny	1,1	1,1	1	Stały
2	Ciężar warstw dachu	1,35	1,35	1	Stały
3	Obc śnieg	1,5	1,5	1	Zmienny
4	Obc wiatr	1,5	1,5	1	Zmienny

1.3. Krokiew – obliczenia statyczne.

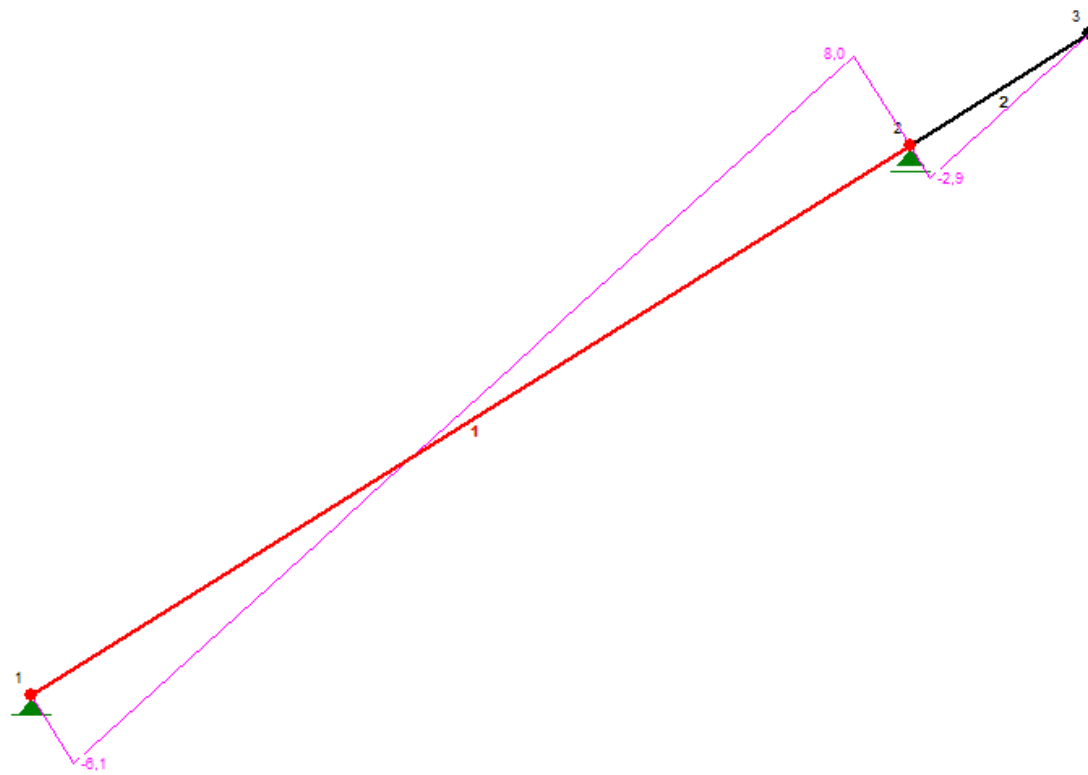
1.3.1. Siły wewnętrzne – M (wartości obliczeniowe)



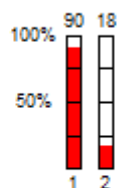
1.3.2. Siły wewnętrzne – Q (wartości obliczeniowe)



1.3.3. Siły wewnętrzne – N (wartości obliczeniowe)



1.4. Wymiarowanie.

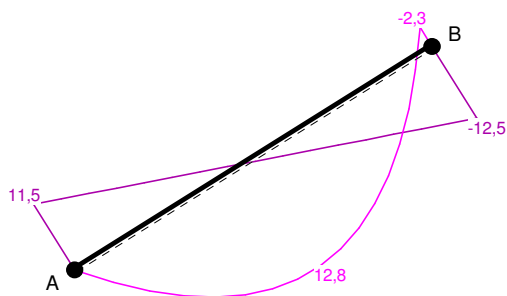
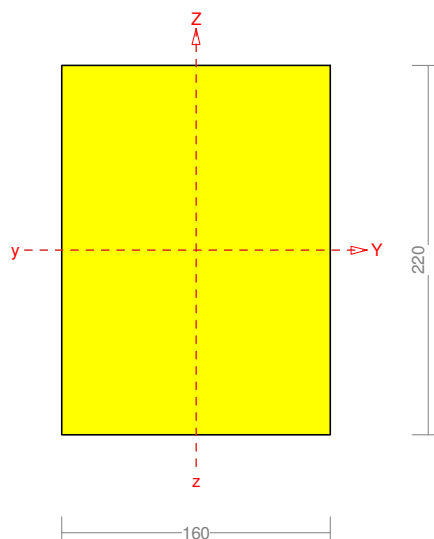


Przekrój nr: 1

" B 22,0x16,0 "

Wykorzystanie przekrojów

Pręt nr 1



Przekrój: 1 "B 22,0x16,0"

Wymiary przekroju:

$$h=220,0 \text{ mm} \quad b=160,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg}=14197,3; \quad J_{yg}=7509,3 \text{ cm}^4; \quad A=352,00 \text{ cm}^2; \quad i_x=6,4; \quad i_y=4,6 \text{ cm}; \quad W_x=1290,7; \quad W_y=938,7 \text{ cm}^3.$$

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: **Stałe** (*więcej niż 10 lat, np. ciężar własny*).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C24.**

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

$$f_{m,d} = 11,08 \text{ MPa}$$

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

$$f_{t,0,d} = 6,46 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,40$$

$$f_{t,90,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

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

$$f_{c,0,d} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 5,30$$

$$f_{c,90,d} = 2,45 \text{ MPa}$$

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

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} E_{0,\text{mean}} &= 11000 \text{ MPa} \\ E_{90,\text{mean}} &= 370 \text{ MPa} \\ E_{0,05} &= 7400 \text{ MPa} \\ G_{\text{mean}} &= 690 \text{ MPa} \\ \rho_k &= 350 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Sprawdzenie nośności pręta nr 1

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych.

Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla $x_a=4,66 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC".

Pole powierzchni przekroju netto $A_n = 352,00 \text{ cm}^2$.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 8,0 / 352,00 \times 10 = \mathbf{0,2} < \mathbf{6,46} = f_{t,0,d}$$

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=4,66 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 4,660 = 4,660 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 4,660 = 4,660 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 4,660 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 4,660 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 4,660 / 0,0635 = 73,37$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 4,660 / 0,0462 = 100,89$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 7400 / (73,37)^2 = 13,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 7400 / (100,89)^2 = 7,18 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{21/13,57} = 1,244$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{21/7,18} = 1,711$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,244 - 0,5) + (1,244)^2] = 1,348$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,711 - 0,5) + (1,711)^2] = 2,084$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,348 + \sqrt{1,348^2 - 1,244^2}) = 0,535$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (2,084 + \sqrt{2,084^2 - 1,711^2}) = 0,305$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 352,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 6,1 / 352,00 \times 10 = \mathbf{0,2} < \mathbf{2,96} = 0,305 \times 9,69 = k_c f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla $x_a=1,75 \text{ m}$; $x_b=2,91 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,0}{0,535 \times 9,69} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} + \frac{9,5}{11,08} = \mathbf{0,859} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,0}{0,305 \times 9,69} + \frac{0,0}{11,08} + 0,7 \times \frac{9,5}{11,08} = \mathbf{0,606} < \mathbf{1}$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=2,33$ m; $x_b=2,33$ m, przy obciążeniach "ABC".

Długość obliczeniowa dla **pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 4660 + 220 + 220 = 5100 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \sqrt{\frac{5100 \times 220 \times 11,08}{3,142 \times 160^2 \times 7400}} \times \sqrt{\frac{11000}{690}} = 0,289$$

Wartość współczynnika zwężenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 12,8 / 1290,67 \times 10^3 = \mathbf{9,9 < 11,1} = 1,000 \times 11,08 = k_{crit} f_{m,d}$$

Nośność dla $x_a=2,33$ m; $x_b=2,33$ m, przy obciążeniach "ABC":

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,0}{6,46} + \frac{9,9}{11,08} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,9 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,0}{6,46} + 0,7 \times \frac{9,9}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,6 < 1}$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=1,75$ m; $x_b=2,91$ m, przy obciążeniach "ABC":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,0^2}{9,69^2} + \frac{9,5}{11,08} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,9 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,0^2}{9,69^2} + 0,7 \times \frac{9,5}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,6 < 1}$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=4,08$ m; $x_b=0,58$ m, przy obciążeniach "ABC".

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 9,5 / 352,0 \times 10 = 0,4 \text{ MPa}$$

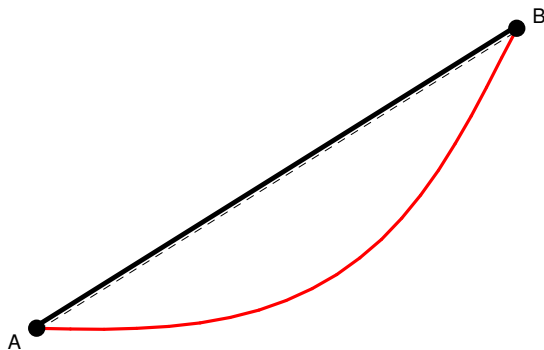
$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,0 / 352,0 \times 10 = 0,0 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,4^2 + 0,0^2} = \mathbf{0,4 < 1,2} = 1,000 \times 1,15 = k_v f_{v,d}$$

Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla $x_a=2,33$ m; $x_b=2,33$ m, przy obciążeniach "ABC".

Ugięcie graniczne

$$u_{net,fin} = l / 150 = 31,1 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + “”):

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} (1+k_{def}) = -0,4 \times (1 + 0,60) = -0,6 \text{ mm}$$

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

Ugięcia od obciążeń zmiennych (“ABC”):

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

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} (1+k_{def}) = -12,3 \times (1 + 0,60) = -19,7 \text{ mm}$$

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

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,fin} = -0,6 + -19,7 = \mathbf{20,3} < \mathbf{31,1} = u_{net,fin}$$

1. Wyniki obliczeń – statyka i wymiarowanie – wzmocnienie krokwi (C1)

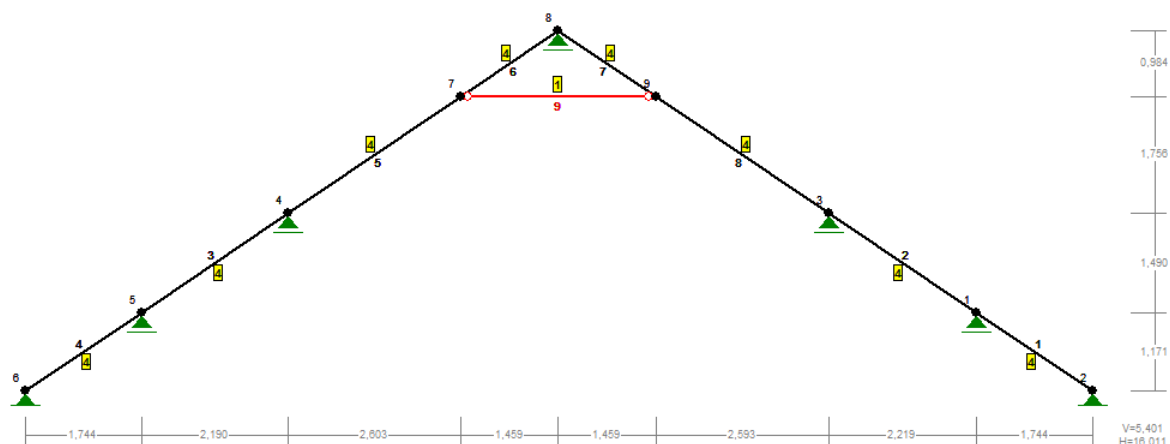
Założenia:

Drewno: klasa C24

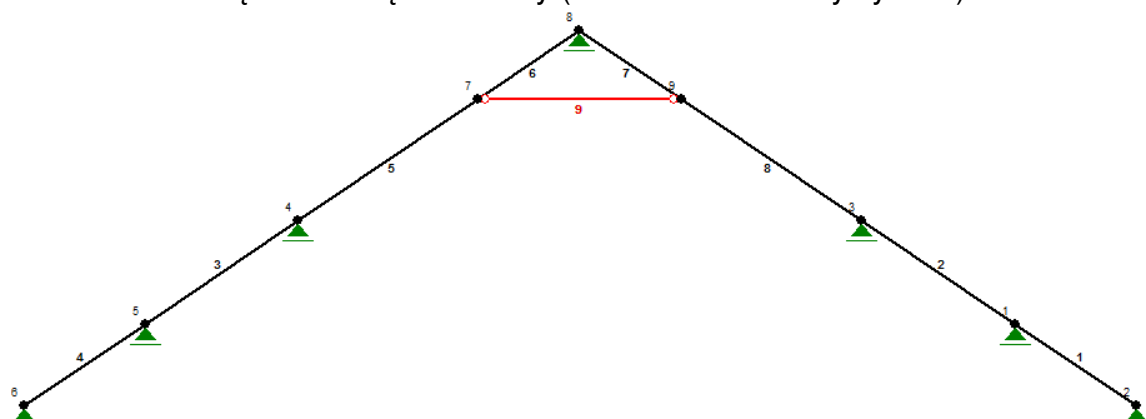
Przekrój krokwi: 14 x 14 cm – dodatkowe podparcie i dodatkowe kleszcze w kalenicy

1.2. Konstrukcja dachu

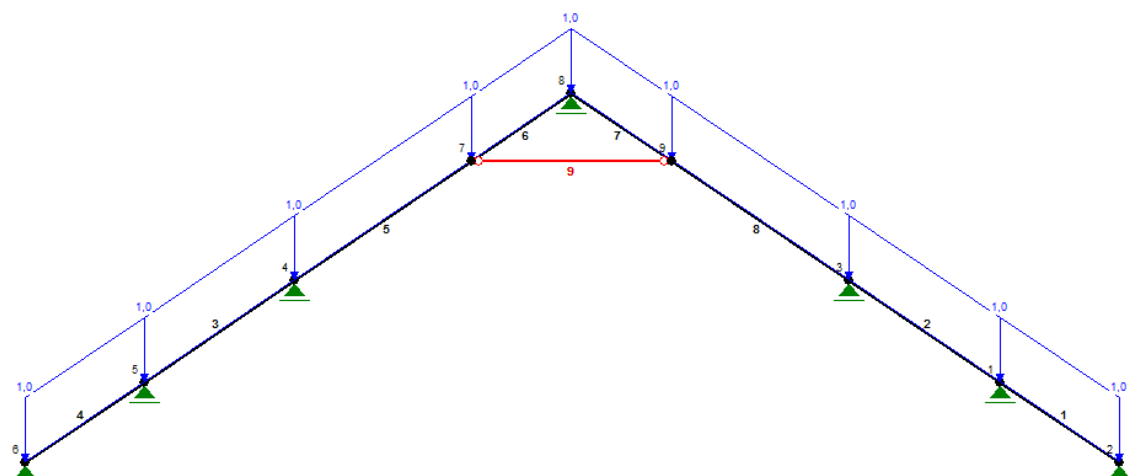
1.2.1. Schemat konstrukcji



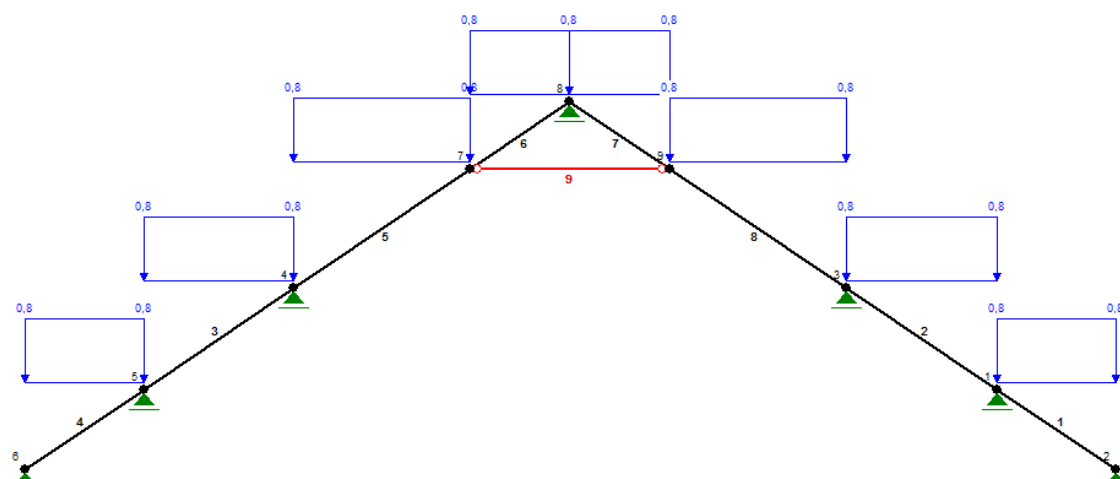
1.2.2. Obciążenia – ciężar własny (wartości charakterystyczne)



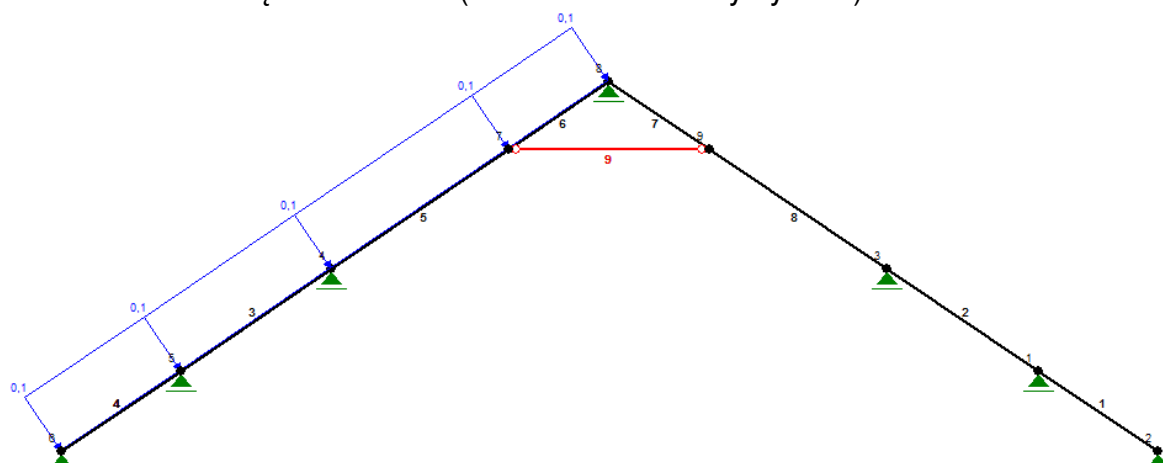
1.2.3. Obciążenia – ciężar własny warstw dachu (wartości charakterystyczne)



1.2.4. Obciążenia – śnieg (wartości charakterystyczne)



1.2.5. Obciążenia – wiatr (wartości charakterystyczne)

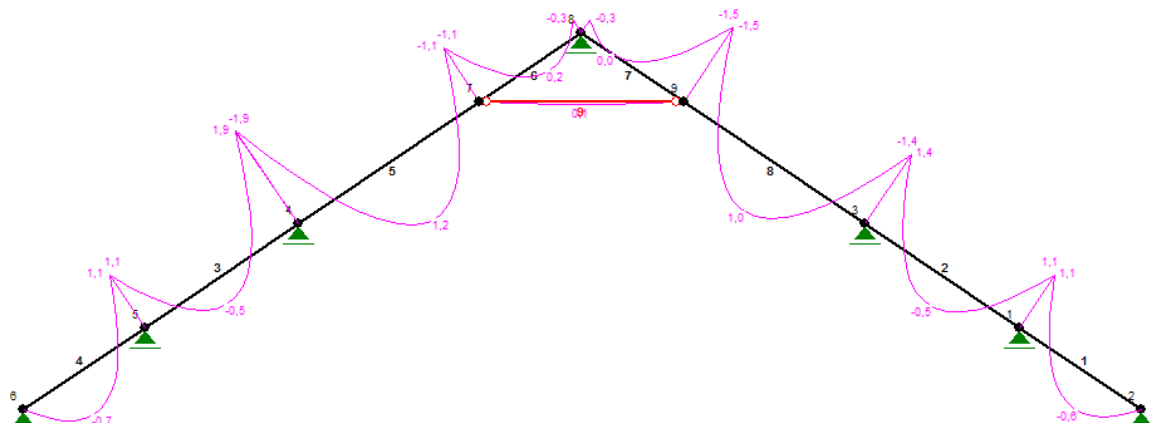


1.2.8. Mnożniki i atrybuty.

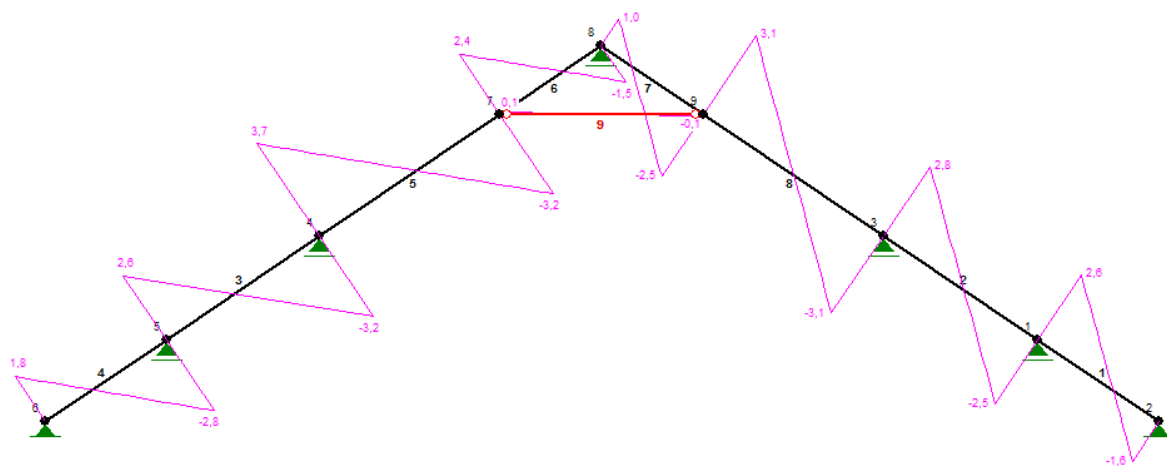
Nr	Opis	Obc(+)	Obc(-)	Udz.	Atrybut
1	Ciężar własny	1,1	1,1	1	Stały
2	Ciężar warstw dachu	1,35	1,35	1	Stały
3	Obc śnieg	1,5	1,5	1	Zmienny
4	Obc wiatr	1,5	1,5	1	Zmienny

1.3. Krokiec – obliczenia statyczne.

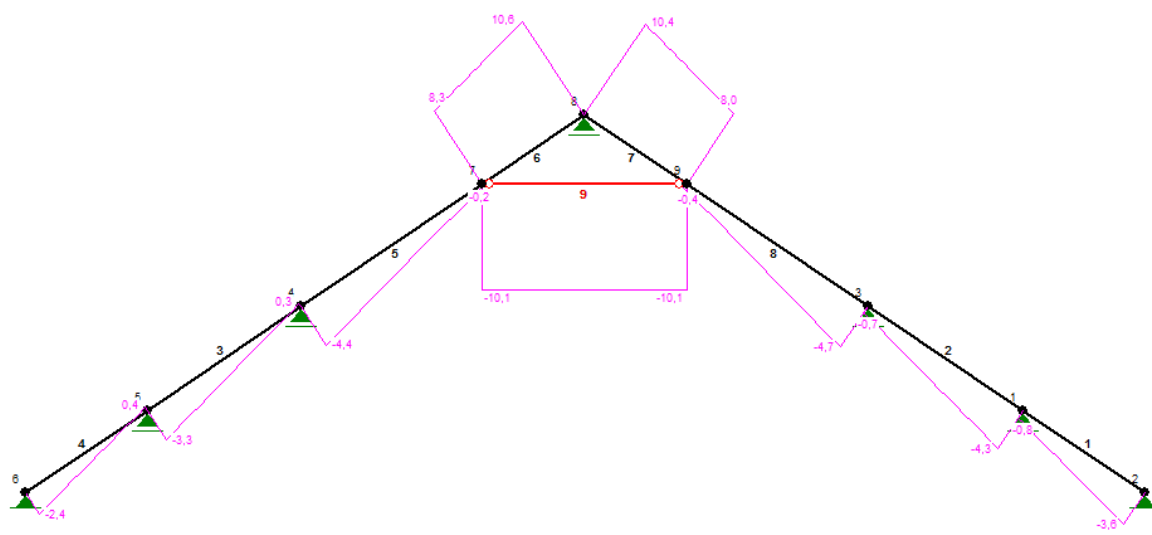
1.3.1. Siły wewnętrzne – M (wartości obliczeniowe)



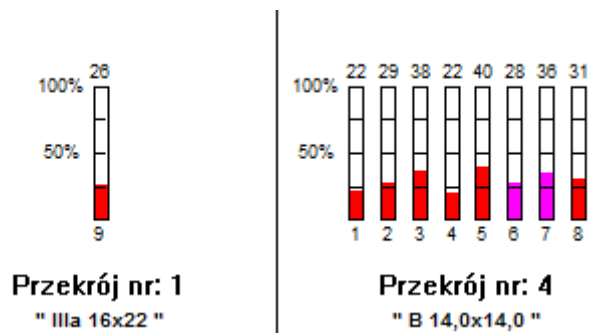
1.3.2. Siły wewnętrzne – Q (wartości obliczeniowe)



1.3.3. Siły wewnętrzne – N (wartości obliczeniowe)

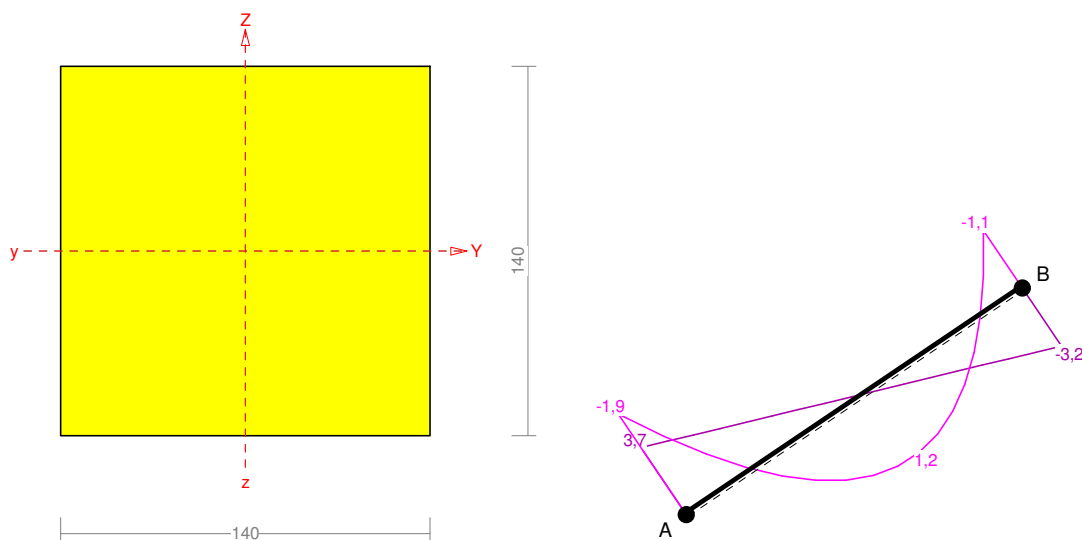


1.4. Wymiarowanie.



Wykorzystanie przekrojów

Pręt nr 5



Przekrój: 4 "B 14,0x14,0"

Wymiary przekroju:

$$h=140,0 \text{ mm } b=140,0 \text{ mm.}$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg}=3201,3; J_{yg}=3201,3 \text{ cm}^4; A=196,00 \text{ cm}^2; i_x=4,0; i_y=4,0 \text{ cm}; W_x=457,3; W_y=457,3 \text{ cm}^3.$$

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: **Stałe** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C24.**

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

$$f_{m,d} = 11,08 \text{ MPa}$$

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

$$f_{t,0,d} = 6,46 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,40$$

$$f_{t,90,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

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

$$f_{c,0,d} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 5,30$$

$$f_{c,90,d} = 2,45 \text{ MPa}$$

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

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Sprawdzenie nośności pręta nr 5

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych.

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,14 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,657 \times 3,140 = 2,063 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,140 = 3,140 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 2,063 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 3,140 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 2,063 / 0,0404 = 51,04$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 3,140 / 0,0404 = 77,69$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 7400 / (51,04)^2 = 28,03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 7400 / (77,69)^2 = 12,10 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{21/28,03} = 0,866$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{21/12,10} = 1,317$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (0,866 - 0,5) + (0,866)^2] = 0,911$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,317 - 0,5) + (1,317)^2] = 1,450$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (0,911 + \sqrt{0,911^2 - 0,866^2}) = 0,836$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,450 + \sqrt{1,450^2 - 1,317^2}) = 0,487$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 196,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 4,4 / 196,00 \times 10 = 0,2 < 4,72 = 0,487 \times 9,69 = k_c f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,14 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,2}{0,836 \times 9,69} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} + \frac{4,2}{11,08} = 0,403 < 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,2}{0,487 \times 9,69} + \frac{0,0}{11,08} + 0,7 \times \frac{4,2}{11,08} = 0,310 < 1$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,14 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC".

Długość obliczeniowa dla *pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach*, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 3140 + 140 + 140 = 3420 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,\text{mean}}}{G_{\text{mean}}}} = \sqrt{\frac{3420 \times 140 \times 11,08}{3,142 \times 140^2 \times 7400}} \times \sqrt[4]{\frac{11000}{690}} = 0,216$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{\text{rel.m}} \leq 0,75 \quad k_{\text{crit}} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 1,9 / 457,33 \times 10^3 = \mathbf{4,2} < \mathbf{11,1} = 1,000 \times 11,08 = k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

Nośność dla $x_a=0,00$ m; $x_b=3,14$ m, przy obciążeniach “ABC”:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{4,2}{11,08} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,4 < 1}$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{4,2}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = 0,3 < 1$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=0,00$ m; $x_b=3,14$ m, przy obciążeniach “ABC”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,2^2}{9,69^2} + \frac{4,2}{11,08} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,4 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,2^2}{9,69^2} + 0,7 \times \frac{4,2}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = 0,3 < 1$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=3,14$ m; $x_b=0,00$ m, przy obciążeniach “ABC”.

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 3,2 / 196,0 \times 10 = 0,2 \text{ MPa}$$

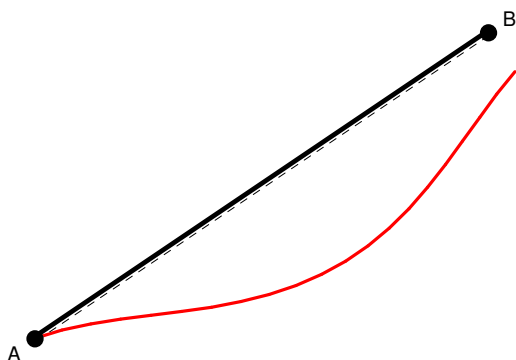
$$\tau_{v,d} = 1,5 V_v / A = 1,5 \times 0,0 / 196,0 \times 10 = 0,0 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,0^2} = \mathbf{0,2} < \mathbf{1,2} = 1,000 \times 1,15 = k_y f_{y,d}$$

Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla $x_a=1,77$ m; $x_b=1,37$ m, przy obciążeniach “ABC”.

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 150 = 20,9 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + “”):

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

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

Ugięcia od obciążeń zmiennych (“ABC”):

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

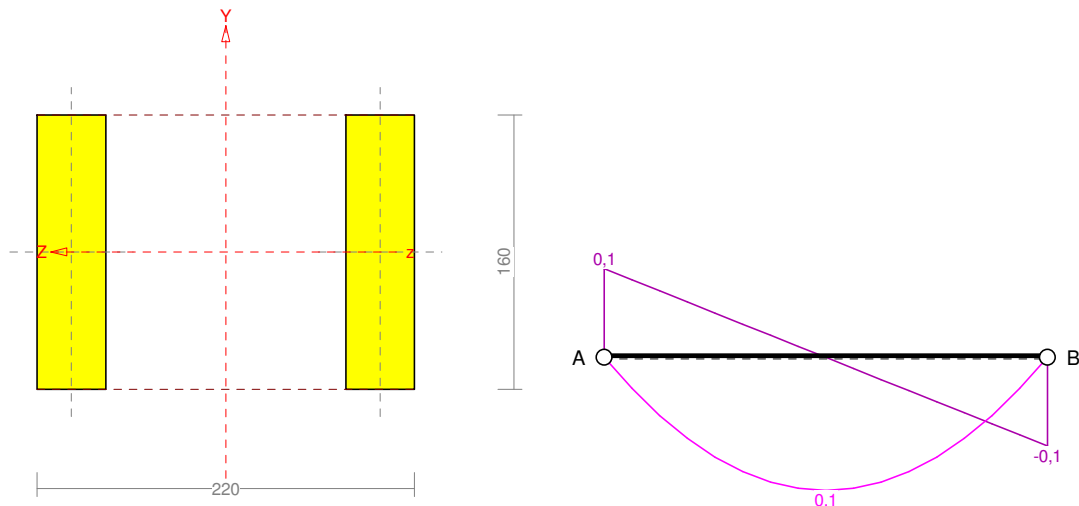
$$u_{z,fin} = u_{z,inst} (1+k_{def}) = -2,4 \times (1 + 0,60) = -3,8 \text{ mm}$$

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

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,fin} = -0,1 + -3,8 = 4,0 < 20,9 = u_{net,fin}$$

Pręt nr 9



Przekrój: 1 “IIIa 16x22”

Wymiary przekroju:

$$h=160,0 \text{ mm } b=220,0 \text{ mm.}$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_x=10538,7; J_y=2730,7 \text{ cm}^4; A=128,00 \text{ cm}^2; i_x=9,1; i_y=4,6 \text{ cm; } W_x=958,1; W_y=341,3 \text{ cm}^3.$$

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: **Stałe** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C24.**

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

$$f_{m,d} = 11,08 \text{ MPa}$$

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

$$f_{t,0,d} = 6,46 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,40$$

$$f_{t,90,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

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

$$f_{c,0,d} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 5,30$$

$$f_{c,90,d} = 2,45 \text{ MPa}$$

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

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Sprawdzenie nośności pręta nr 9**Charakterystyka zastępcza przekroju:**

Moment bezwładności względem osi prostopadłej do przewiązek:

$$I_{\text{tot}} = b [(2h + a)^3 - a^3] / 12 = 16,0 \times [(2 \times 4,0 + 14,0)^3 - 14,0^3] / 12 = 10538,7 \text{ cm}^4$$

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=0,00$ m; $x_b=2,92$ m, przy obciążeniach "ABC".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,918 = 2,918 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,918 = 2,918 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 2,918 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 2,918 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / \sqrt{I_{\text{tot},y} / A_{\text{tot}}} = 291,8 / \sqrt{10538,7 / 128,00} = 32,2$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / \sqrt{I_{\text{tot},z} / A_{\text{tot}}} = 291,8 / \sqrt{2730,7 / 128,00} = 63,2$$

$$\lambda_1 = \sqrt{12} l_1 / h = 3,464 \times 58,4 / 4,0 = 50,5$$

$$\lambda_{\text{ef}} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \lambda_1^2 n / 2} = \sqrt{32,2^2 + 3,5 \times 50,5^2 \times 2 / 2} = 99,9$$

$$\sigma_{c,\text{crit},y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_{\text{ef},y}^2 = 9,87 \times 7400 / (99,87)^2 = 7,32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,\text{crit},z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_{\text{ef},z}^2 = 9,87 \times 7400 / (63,18)^2 = 18,30 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,\text{crit},y}} = \sqrt{21 / 7,32} = 1,694$$

$$\lambda_{\text{rel},z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,\text{crit},z}} = \sqrt{21 / 18,30} = 1,071$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel},y} - 0,5) + \lambda_{\text{rel},y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,694 - 0,5) + (1,694)^2] = 2,053$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel},z} - 0,5) + \lambda_{\text{rel},z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,071 - 0,5) + (1,071)^2] = 1,131$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}) = 1 / (2,053 + \sqrt{2,053^2 - 1,694^2}) = 0,311$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},z}^2}) = 1 / (1,131 + \sqrt{1,131^2 - 1,071^2}) = 0,670$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 128,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 10,1 / 128,00 \times 10 = \mathbf{0,8} < \mathbf{3,02} = 0,311 \times 9,69 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=1,46$ m; $x_b=1,46$ m, przy obciążeniach "ABC".

Największe naprężenia dla gałęzi ściskanej:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{\text{ef}} = 1,000 \times 0,0 \times 0,1 / 2730,7 \times 10^3 = \mathbf{0,0} < \mathbf{9,7} = f_{c,0,d}$$

Największe naprężenia dla gałęzi rozciąganej:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{\text{ef}} = 1,000 \times 0,0 \times 0,1 / 2730,7 \times 10^3 = \mathbf{0,0} < \mathbf{6,46} = f_{c,0,t}$$

Nośność dla $x_a=1,46$ m; $x_b=1,46$ m, przy obciążeniach "ABC":

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{0,2}{11,08} = \mathbf{0,0} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=0,00$ m; $x_b=2,92$ m, przy obciążeniach "ABC":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,8^2}{9,69^2} + \frac{0,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{0,0}{11,08} = 0,0 < 1$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=2,92$ m; $x_b=0,00$ m, przy obciążeniach "ABC".

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie równoległej do przewiązek:

$$\tau = 1,5 V / (n b h) = 1,5 \times 0,0 / (2 \times 16,0 \times 4,0) \times 10 = 0,0 \text{ MPa}$$

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie prostopadłej do przewiązek:

$$\tau' = 1,5 V' / (n b h) = 1,5 \times 0,1 / (2 \times 16,0 \times 4,0) \times 10 = 0,0 \text{ MPa}$$

Nośność na ścinanie:

$$\sqrt{\tau^2 + \tau'^2} = \sqrt{0,0^2 + 0,0^2} = 0,0 < 1,15 = f_{v,d}$$

Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla $x_a=0,00$ m; $x_b=2,92$ m, przy obciążeniach "ABC".

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 150 = 19,5 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "ABC"):

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

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

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("ABC"):

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

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

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1 + k_{\text{def}}) = -0,9 \times (1 + 0,60) = -1,4 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{y,\text{fin}} = 0,0 + -1,4 = 1,4 < 19,5 = u_{\text{net,fin}}$$

1. Wyniki obliczeń – statyka i wymiarowanie – wzmocnienie płatwi (C1)

Założenia:

Drewno: klasa C24

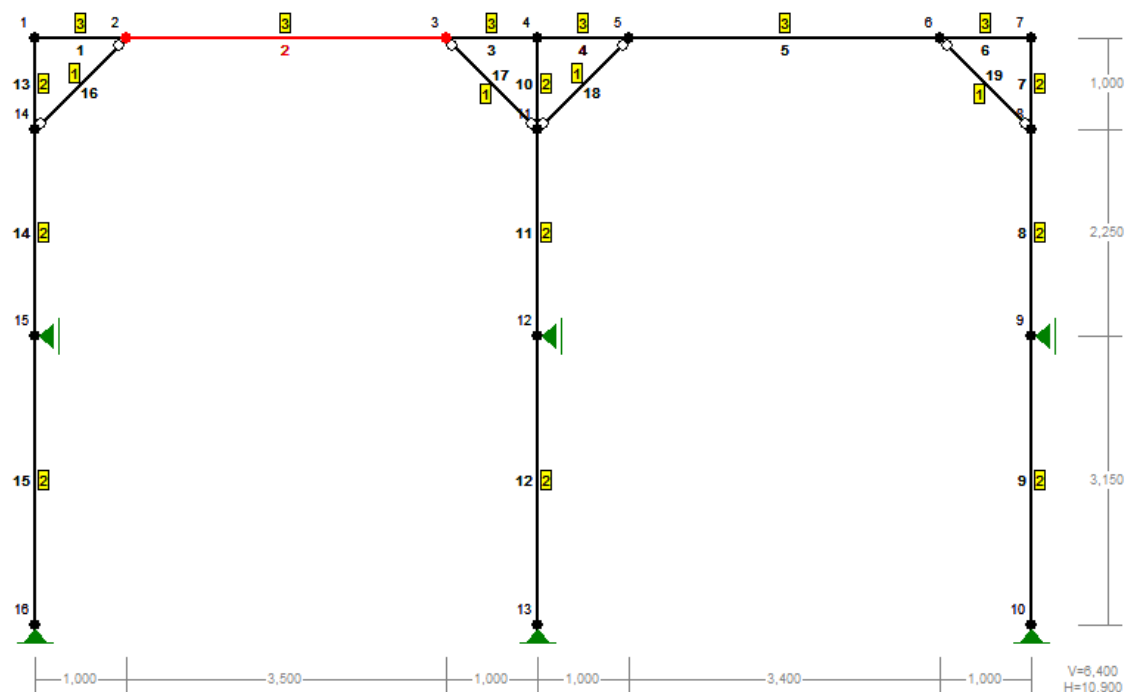
Przekrój płatwi: 16x16 cm + 2x16x16 cm

Przekrój słupów: 16x16 cm + 2x16x16 cm

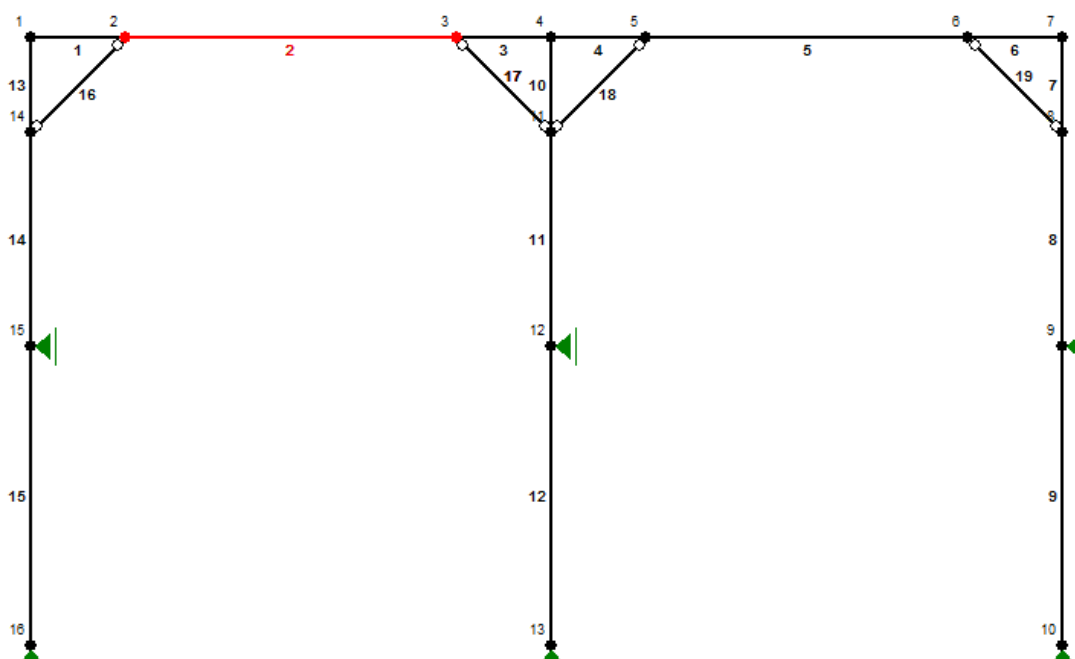
Przekrój mieczy: 13x13 cm + 2x13x13 cm

1.2. Konstrukcja dachu

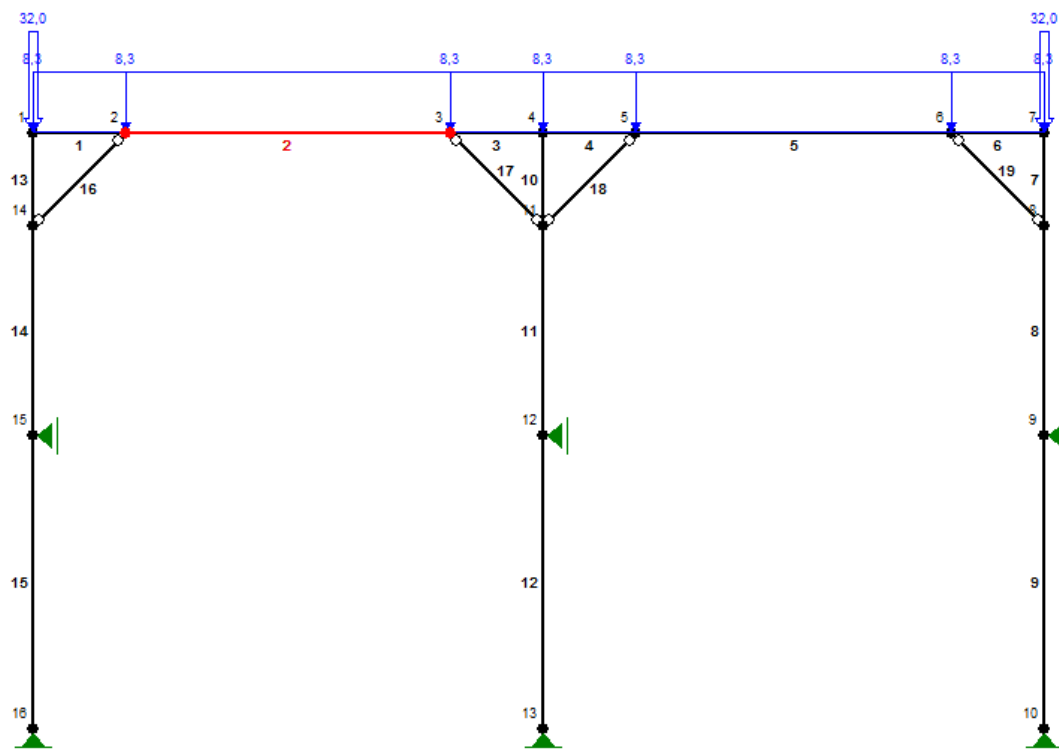
1.2.1. Schemat konstrukcji



1.2.2. Obciążenia – ciężar własny (wartości charakterystyczne)



1.2.3. Obciążenia – z krokwi (wartości charakterystyczne)

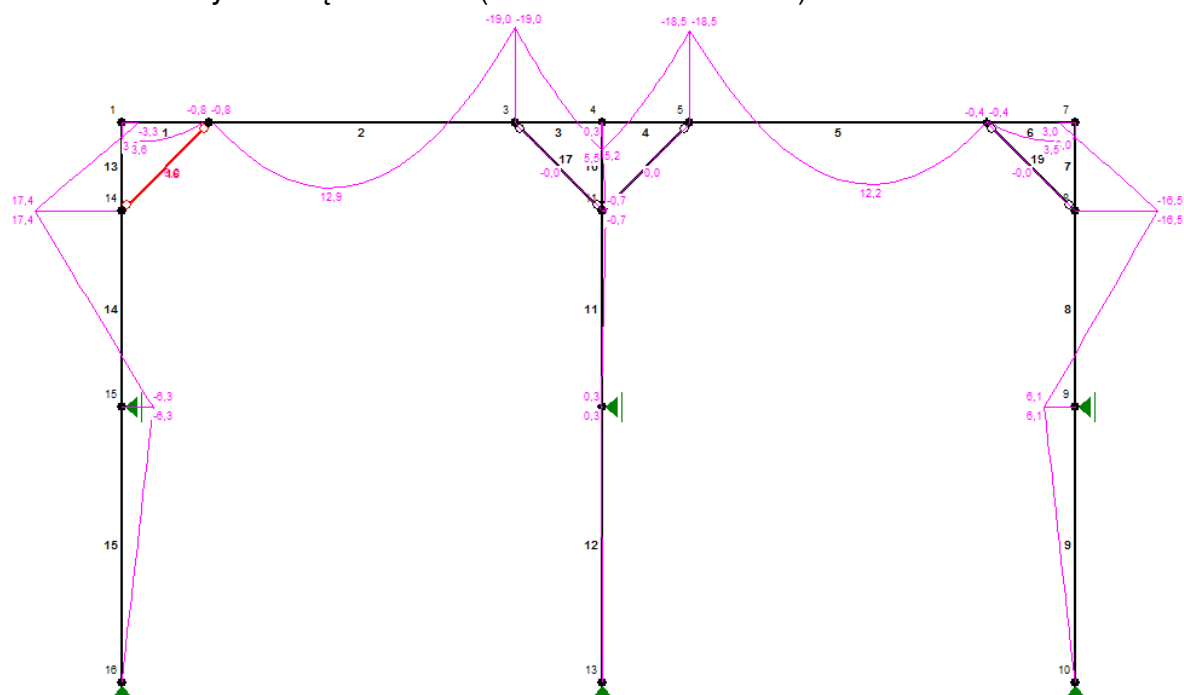


1.2.4. Mnożniki i atrybuty.

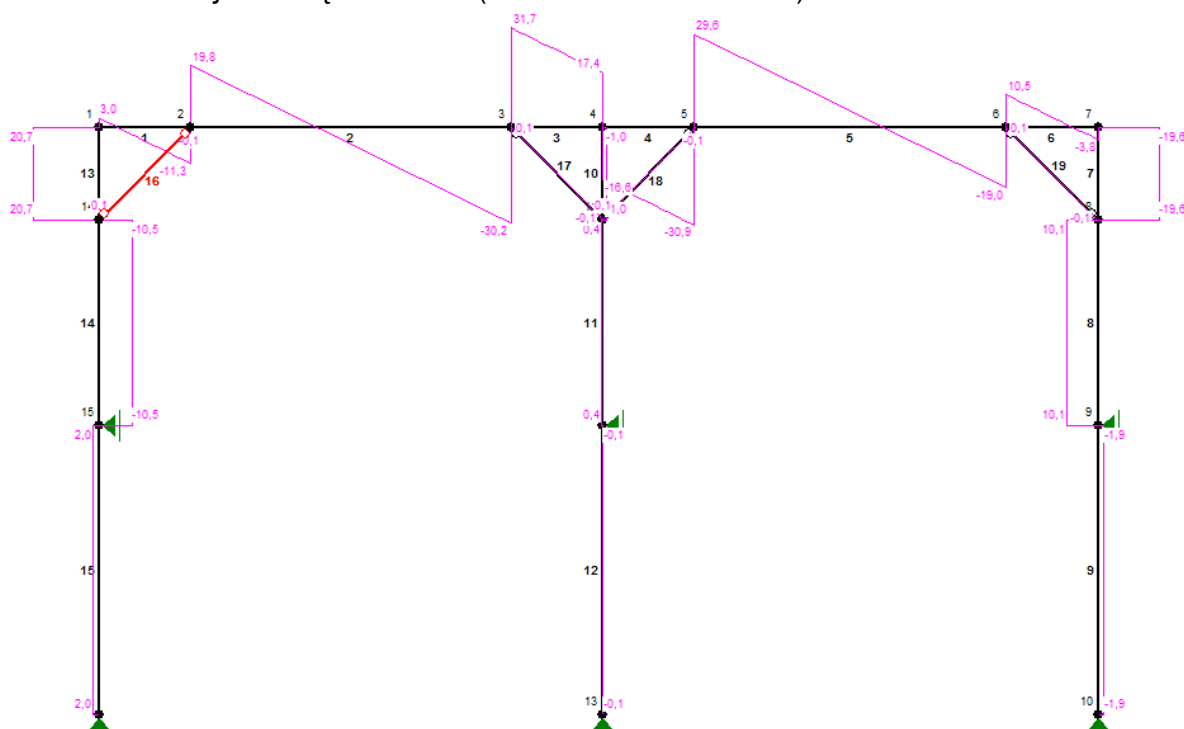
Nr	Opis	Obc(+)	Obc(-)	Udz.	Atrybut
1	Ciężar własny	1,1	1,1	1	Stały
2	Ciężar z krokwi	1,40	1,40	1	Stały

1.3. Płatew – obliczenia statyczne.

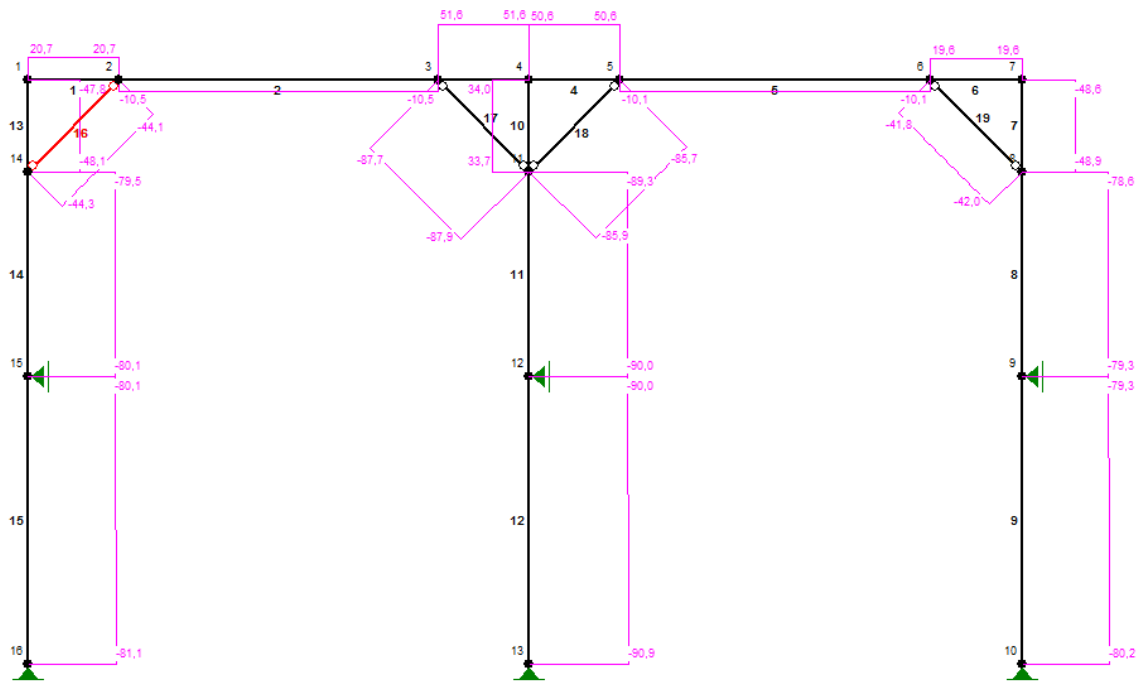
1.3.1. Siły wewnętrzne – M (wartości obliczeniowe)



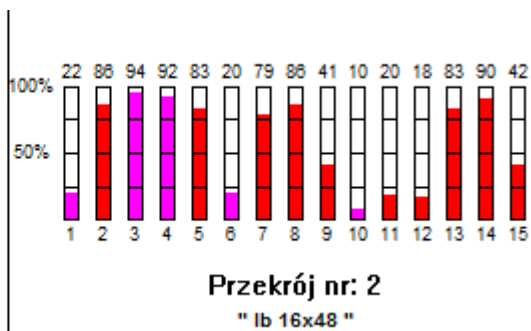
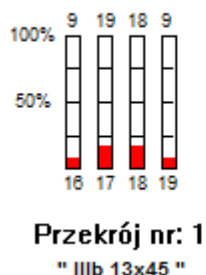
1.3.2. Siły wewnętrzne – Q (wartości obliczeniowe)



1.3.3. Siły wewnętrzne – N (wartości obliczeniowe)

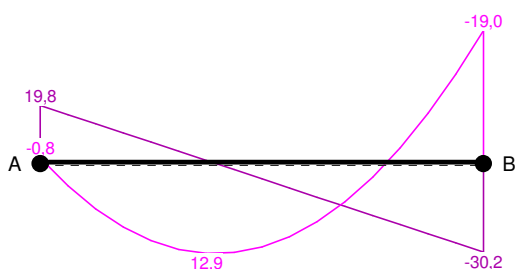
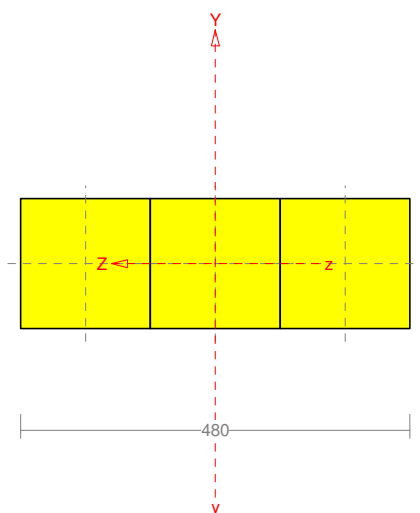


1.4. Wymiarowanie



Wykorzystanie przekrojów

Pręt nr 2

**Przekrój: 2 "Ib 16x48"**

Wymiary przekroju:

$$h=160,0 \text{ mm} \quad b=480,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg}=147456,0; \quad J_{yg}=16384,0 \text{ cm}^4; \quad A=768,00 \text{ cm}^2; \quad i_x=13,9; \quad i_y=4,6 \text{ cm}; \quad W_x=6144,0; \\ W_y=2048,0 \text{ cm}^3.$$

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: **Stałe** (*więcej niż 10 lat, np. ciężar własny*).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C24.**

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

$$f_{m,d} = 11,08 \text{ MPa}$$

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

$$f_{t,0,d} = 6,46 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,40$$

$$f_{t,90,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

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

$$f_{c,0,d} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 5,30$$

$$f_{c,90,d} = 2,45 \text{ MPa}$$

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

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Sprawdzenie nośności pręta nr 2

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych.

Charakterystyka zastępcza przekroju:

Gałęzie przekroju połączone są łącznikami mechanicznymi w postaci gwoździ o średnicy 15,0 mm.

Podatność łączników:

$$K_u = 2/3 \rho_k^{1,5} d^{0,8} / 25 = 2/3 350^{1,5} \times 15,0^{0,8} / 25 = 1524 \text{ N/mm}$$

Dla płaszczyzny prostopadłej do szwów:

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E A_1 s_i / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 7400 \times 256,0 \times 100 / (1524 \times 3,500^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,091$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_3 = [1 + \pi^2 E A_3 s_i / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 7400 \times 256,0 \times 100 / (1524 \times 3,500^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,091$$

Współrzędne środków elementów przekroju wynoszą:

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

Zastępczy moment bezwładności:

$$I_{\text{ef}} = \sum (I_i + \gamma_i A_i a_i^2) = 5461,3 + 0,091 \times 256,0 \times 16,00^2 + 5461,3 + 1,000 \times 256,0 \times 0,00^2 + 5461,3 + 0,091 \times 256,0 \times 16,00^2 = 28282,4 \text{ cm}^4$$

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,50 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,574 \times 3,500 = 2,009 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,500 = 3,500 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,500 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 2,009 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / \sqrt{I_{\text{ef},y} / A_{\text{tot}}} = 350,0 / \sqrt{28282,4 / 768,00} = 57,68$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / \sqrt{I_{\text{ef},z} / A_{\text{tot}}} = 200,9 / \sqrt{16384,0 / 768,00} = 43,50$$

$$\sigma_{c,\text{crit},y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 7400 / (57,68)^2 = 21,96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,\text{crit},z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 7400 / (43,50)^2 = 38,60 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,\text{crit},y}} = \sqrt{21/21,96} = 0,978$$

$$\lambda_{\text{rel},z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,\text{crit},z}} = \sqrt{21/38,60} = 0,738$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel},y} - 0,5) + \lambda_{\text{rel},y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (0,978 - 0,5) + (0,978)^2] = 1,026$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel},z} - 0,5) + \lambda_{\text{rel},z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (0,738 - 0,5) + (0,738)^2] = 0,796$$

$$k_{c,y} = 1/(k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1/(1,026 + \sqrt{1,026^2 - 0,978^2}) = 0,748$$

$$k_{c,z} = 1/(k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1/(0,796 + \sqrt{0,796^2 - 0,738^2}) = 0,914$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 768,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 10,5 / 768,00 \times 10 = \mathbf{0,1} < \mathbf{7,25} = 0,748 \times 9,69 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla $x_a=3,50 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,1}{0,748 \times 9,69} + 1,0 \times \frac{9,3}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,858} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,1}{0,914 \times 9,69} + \frac{9,3}{11,08} + 1,0 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,855} < \mathbf{1}$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=3,50 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

Największe naprężenia dla zginania:

$$\sigma_{m,i} + \sigma_i = (0,5 h'_i + \gamma'_i a'_i) M' / I'_{ef} = (0,5 \times 16,0 + 1,000 \times 0,0) \times 19,0 / 16384,0 \times 10^3 = \mathbf{9,3} < \mathbf{11,1} = f_{m,d}$$

Największe naprężenia dla ściskania:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 1,000 \times 0,0 \times 19,0 / 16384,0 \times 10^3 = \mathbf{0,0} < \mathbf{9,7} = f_{c,0,d}$$

Największe naprężenia dla rozciągania:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 1,000 \times 0,0 \times 19,0 / 16384,0 \times 10^3 = \mathbf{0,0} < \mathbf{6,46} = f_{c,0,t}$$

Nośność dla $x_a=3,50 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{9,3}{11,08} = \mathbf{0,8} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=3,50 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,1^2}{9,69^2} + \frac{0,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{9,3}{11,08} = \mathbf{0,8} < \mathbf{1}$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=3,50 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie prostopadłej do szwów:

$$\tau = (\gamma_3 A_3 a_3 + 0,5 b_2 h^2) V / b_2 I_{ef} = (0,091 \times 256,0 \times 16,00 + 0,5 \times 16,00 \times 8,00^2) \times 0,0 / (16,00 \times 28282,4) \times 10 = 0,0$$

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie równoległej do szwów:

$$\tau' = \frac{V' S'}{b' I'} = \frac{30,2 \times 1536,0}{48,00 \times 16384,0} \times 10 = 0,6$$

Nośność na ścinanie:

$$\sqrt{\tau^2 + \tau'^2} = \sqrt{0,0^2 + 0,6^2} = \mathbf{0,6} < \mathbf{1,15} = f_{v,d}$$

Nośność łączników:

Do połączenia gałęzi przekroju, przyjęto łączniki mechaniczne w postaci gwoździ długości 304 mm o średnicy 15,0 mm.

$$f_{h,k} = 0,082 \times 350 \times 15,0^{0,3} = 12,74$$

$$f_{h,d} = f_{h,k} k_{mod} / 1,3 = 12,74 \times 0,60 / 1,3 = 5,88 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 180 \times 15,0^{2,6} = 205641,03$$

$$M_{y,d} = M_{y,k} / 1,1 = 186946,39 \text{ Nmm}$$

$$R_{d,1} = f_{h,1,d} t_1 d = 5,88 \times 160,0 \times 15,0 = 14108,3 \text{ N}$$

$$R_{d,2} = f_{h,1,d} t_2 d \beta = 5,88 \times 120,5 \times 15,0 \times 1,00 = 10625,3 \text{ N}$$

$$R_{d,3} = f_{h,1,d} t_1 d / (1 + \beta) [\sqrt{\beta + 2\beta^2 (1 + t_2 / t_1 + t_2^2 / t_1^2)} + \beta^3 t_2^2 / t_1^2 - \beta(1 + t_2 / t_1)] = 5,88 \times 160,0 \times 15,0 / (1 + 1,00) \times [\sqrt{1,00 + 2 \times 1,00^2 \times (1 + 120,5 / 160,0 + 120,5^2 / 160,0^2)} + 1,00^3 \times 120,5^2 / 160,0^2 - 1,00 \times (1 + 120,5 / 160,0)] = 5209,0 \text{ N}$$

$$R_{d,4} = 1,1 f_{h,1,d} t_2 d / (1 + 2\beta) [\sqrt{2\beta^2 (1 + \beta) + 4\beta(1 + 2\beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_2^2} - \beta] = 1,1 \times 5,88 \times 120,5 \times 15,0 / (1 + 2 \times 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00^2 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (1 + 2 \times 1,00) \times 186946,39 / (5,88 \times 15,0 \times 120,5^2)} - 1,00] = 5447,9 \text{ N}$$

$$R_{d,5} = 1,1 f_{h,1,d} t_1 d / (2 + \beta) [\sqrt{2\beta(1 + \beta) + 4\beta(2 + \beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_1^2} - \beta] = 1,1 \times 5,88 \times 160,0 \times 15,0 / (2 + 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (2 + 1,00) \times 186946,39 / (5,88 \times 15,0 \times 160,0^2)} - 1,00] = 6387,1 \text{ N}$$

$$R_{d,6} = 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d 2\beta / (1 + \beta)} = 1,1 \times \sqrt{2 \times 186946,39 \times 5,88 \times 15,0 \times 2 \times 1,00 / (1 + 1,00)} = 6316,0 \text{ N}$$

Nośność łącznika na jedno cięcie $R_d = 5209,0 \text{ N}$.

Siła przypadająca na jeden łącznik pochodząca od siły rozwarstwiającej:

Dla prętów ściskanych należy uwzględnić dodatkową siłę poprzeczną przy wyboczeniu:

$$\text{dla } 30 < \lambda_{ef} \leq 60 \quad V_d = F_{c,d} \lambda_{ef} / (3600 k_c) = 10,5 \times 57,68 / (3600 \times 0,748) = 0,2 \text{ kN}$$

$$F_1 = \gamma_1 A_1 a_1 s V / I_{ef} = 0,091 \times 256,0 \times 16,00 \times 10,0 \times 0,2 / 28282,4 \times 10^3 = 29,6 \text{ N}$$

$$F_1 = 29,6 < 5209,0 = R_d$$

Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla $x_a = 1,31 \text{ m}$; $x_b = 2,19 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

Ugięcie graniczne

$$u_{net,fin} = l / 150 = 36,7 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "A"):

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (480,0 / 5500)^2] (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1 + k_{def}) = -0,2 \times (1 + 0,60) = -0,4 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("A"):

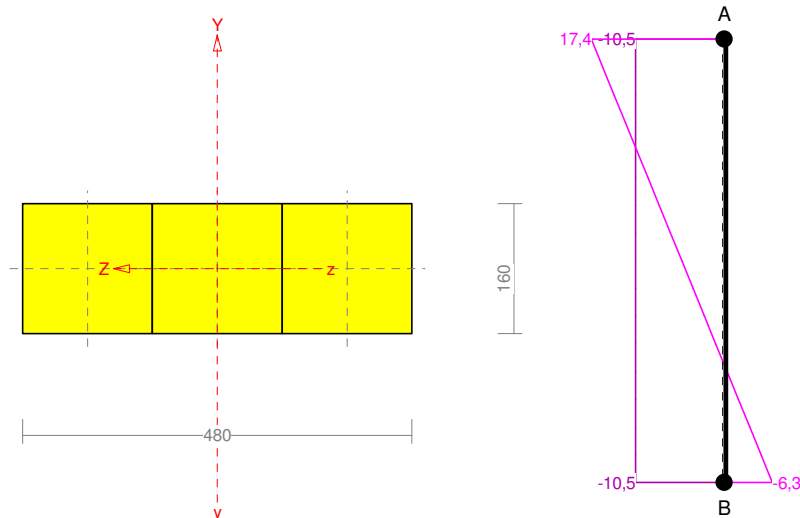
Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Stałe** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (480,0 / 5500)^2] (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1 + k_{def}) = -8,2 \times (1 + 0,60) = -13,1 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{y,fin} = -0,4 + -13,1 = 13,5 < 36,7 = u_{net,fin}$$

Pręt nr 14**Przekrój: 2 "Ib 16x48"**

Wymiary przekroju:

$$h=160,0 \text{ mm} \quad b=480,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg}=147456,0; \quad J_{yg}=16384,0 \text{ cm}^4; \quad A=768,00 \text{ cm}^2; \quad i_x=13,9; \quad i_y=4,6 \text{ cm}; \quad W_x=6144,0; \\ W_y=2048,0 \text{ cm}^3.$$

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: **Stałe** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C24.**

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

$$f_{m,d} = 11,08 \text{ MPa}$$

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

$$f_{t,0,d} = 6,46 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,40$$

$$f_{t,90,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

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

$$f_{c,0,d} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 5,30$$

$$f_{c,90,d} = 2,45 \text{ MPa}$$

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

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Sprawdzenie nośności pręta nr 14

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych.

Charakterystyka zastępcza przekroju:

Gałęzie przekroju połączone są łącznikami mechanicznymi w postaci gwoździ o średnicy 15,0 mm.

Podatność łączników:

$$K_u = 2/3 \rho_k^{1,5} d^{0,8} / 25 = 2/3 350^{1,5} \times 15,0^{0,8} / 25 = 1524 \text{ N/mm}$$

Dla płaszczyzny prostopadłej do szwów:

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E A_1 s_i / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 7400 \times 256,0 \times 100 / (1524 \times 2,250^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,040$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_3 = [1 + \pi^2 E A_3 s_i / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 7400 \times 256,0 \times 100 / (1524 \times 2,250^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,040$$

Współrzędne środków elementów przekroju wynoszą:

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

Zastępczy moment bezwładności:

$$I_{ef} = \sum (I_i + \gamma_i A_i a_i^2) = 5461,3 + 0,040 \times 256,0 \times 16,00^2 + 5461,3 + 1,000 \times 256,0 \times 0,00^2 + 5461,3 + 0,040 \times 256,0 \times 16,00^2 = 21577,8 \text{ cm}^4$$

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=2,25 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 1,111 \times 2,250 = 2,500 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,250 = 2,250 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 2,250 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 2,500 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / \sqrt{I_{ef,y} / A_{tot}} = 225,0 / \sqrt{21577,8 / 768,00} = 42,45$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / \sqrt{I_{ef,z} / A_{tot}} = 250,0 / \sqrt{16384,0 / 768,00} = 54,12$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 7400 / (42,45)^2 = 40,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 7400 / (54,12)^2 = 24,93 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{21/40,53} = 0,720$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{21/24,93} = 0,918$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (0,720 - 0,5) + (0,720)^2] = 0,781$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (0,918 - 0,5) + (0,918)^2] = 0,963$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (0,781 + \sqrt{0,781^2 - 0,720^2}) = 0,922$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (0,963 + \sqrt{0,963^2 - 0,918^2}) = 0,797$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 768,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 80,1 / 768,00 \times 10 = \mathbf{1,0} < \mathbf{7,73} = 0,797 \times 9,69 = k_c f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=2,25 \text{ m}$, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{1,0}{0,922 \times 9,69} + 1,0 \times \frac{8,5}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,882} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{1,0}{0,797 \times 9,69} + \frac{8,5}{11,08} + 1,0 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,900} = \mathbf{1}$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=0,00$ m; $x_b=2,25$ m, przy obciążeniach "A".

Największe naprężenia dla zginania:

$$\sigma_{m,i} + \sigma_i = (0,5 h'_i + \gamma'_i a'_i) M' / I'_{ef} = (0,5 \times 16,0 + 1,000 \times 0,0) \times 17,4 / 16384,0 \times 10^3 = 8,5 < 11,1 = f_{m,d}$$

Największe naprężenia dla ściskania:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 1,000 \times 0,0 \times 17,4 / 16384,0 \times 10^3 = 0,0 < 9,7 = f_{c,0,d}$$

Największe naprężenia dla rozciągania:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 1,000 \times 0,0 \times 17,4 / 16384,0 \times 10^3 = 0,0 < 6,46 = f_{c,0,t}$$

Nośność dla $x_a=0,00$ m; $x_b=2,25$ m, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{8,5}{11,08} = 0,8 < 1$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=0,00$ m; $x_b=2,25$ m, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{1,0^2}{9,69^2} + \frac{0,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{8,5}{11,08} = 0,8 < 1$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=0,00$ m; $x_b=2,25$ m, przy obciążeniach "A".

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie prostopadłej do szwów:

$$\tau = (\gamma_3 A_3 a_3 + 0,5 b_2 h^2) V / b_2 I_{ef} = (0,040 \times 256,0 \times 16,00 + 0,5 \times 16,00 \times 8,00^2) \times 0,0 / (16,00 \times 21577,8) \times 10 = 0,0$$

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie równoległej do szwów:

$$\tau' = \frac{V' S'}{b' I'} = \frac{10,5 \times 1536,0}{48,00 \times 16384,0} \times 10 = 0,2$$

Nośność na ścinanie:

$$\sqrt{\tau^2 + \tau'^2} = \sqrt{0,0^2 + 0,2^2} = 0,2 < 1,15 = f_{v,d}$$

Nośność łączników:

Do połączenia gałęzi przekroju, przyjęto łączniki mechaniczne w postaci gwoździ długości 304 mm o średnicy 15,0 mm.

$$f_{h,k} = 0,082 \times 350 \times 15,0^{-0,3} = 12,74$$

$$f_{h,d} = f_{h,k} k_{mod} / 1,3 = 12,74 \times 0,60 / 1,3 = 5,88 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 180 \times 15,0^{2,6} = 205641,03$$

$$M_{y,d} = M_{y,k} / 1,1 = 186946,39 \text{ Nmm}$$

$$R_{d,1} = f_{h,1,d} t_1 d = 5,88 \times 160,0 \times 15,0 = 14108,3 \text{ N}$$

$$R_{d,2} = f_{h,1,d} t_2 d \beta = 5,88 \times 120,5 \times 15,0 \times 1,00 = 10625,3 \text{ N}$$

$$R_{d,3} = f_{h,1,d} t_1 d / (1 + \beta) [\sqrt{\beta + 2\beta^2 (1 + t_2 / t_1 + t_2^2 / t_1^2)} + \beta^3 t_2^2 / t_1^2 - \beta (1 + t_2 / t_1)] = 5,88 \times 160,0 \times 15,0 / (1 + 1,00) \times [\sqrt{1,00 + 2 \times 1,00^2 \times (1 + 120,5 / 160,0 + 120,5^2 / 160,0^2)} + 1,00^3 \times 120,5^2 / 160,0^2 - 1,00 \times (1 + 120,5 / 160,0)] = 5209,0 \text{ N}$$

$$R_{d,4} = 1,1 f_{h,1,d} t_2 d / (1 + 2\beta) [\sqrt{2\beta^2 (1 + \beta) + 4\beta (1 + 2\beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_2^2} - \beta] = 1,1 \times 5,88 \times 120,5 \times 15,0 / (1 + 2 \times 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00^2 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (1 + 2 \times 1,00) \times 186946,39 / (5,88 \times 15,0 \times 120,5^2)} - 1,00] = 5447,9 \text{ N}$$

$$R_{d,5} = 1,1 f_{h,1,d} t_1 d / (2 + \beta) [\sqrt{2\beta(1 + \beta) + 4\beta(2 + \beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_1^2} - \beta] = 1,1 \times 5,88 \times 160,0 \times 15,0 / (2 + 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (2 + 1,00) \times 186946,39 / (5,88 \times 15,0 \times 160,0^2)} - 1,00] = 6387,1 \text{ N}$$

$$R_{d,6} = 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d 2\beta / (1 + \beta)} = 1,1 \times \sqrt{2 \times 186946,39 \times 5,88 \times 15,0 \times 2 \times 1,00 / (1 + 1,00)} = 6316,0 \text{ N}$$

Nośność łącznika na jedno cięcie $R_d = 5209,0 \text{ N}$.

Siła przypadająca na jeden łącznik pochodząca od siły rozwarstwiającej:

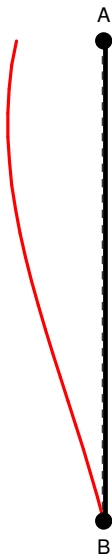
Dla prętów ściskanych należy uwzględnić dodatkową siłę poprzeczną przy wyboczeniu:

dla $30 < \lambda_{ef} \leq 60$ $V_d = F_{c,d} \lambda_{ef} / (3600 k_c) = 79,5 \times 42,45 / (3600 \times 0,797) = 1,0 \text{ kN}$

$$F_1 = \gamma_1 A_1 a_1 s V / I_{ef} = 0,040 \times 256,0 \times 16,00 \times 10,0 \times 1,0 / 21577,8 \times 10^3 = 76,4 \text{ N}$$

$$F_1 = 76,4 < 5209,0 = R_d$$

Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla $x_a = 0,42 \text{ m}$; $x_b = 1,83 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

Ugięcie graniczne

$$u_{net,fin} = l / 150 = 15,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "A"):

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (480,0/2250)^2] (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1 + k_{def}) = -0,1 \times (1 + 0,60) = -0,2 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("A"):

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

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (480,0/2250)^2] (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1 + k_{def}) = -4,6 \times (1 + 0,60) = -7,3 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{y,fin} = -0,2 + -7,3 = 7,6 < 15,0 = u_{net,fin}$$

1. Wyniki obliczeń – statyka i wymiarowanie – wzmocnienie płatwi (C2)

Założenia:

Drewno: klasa C24

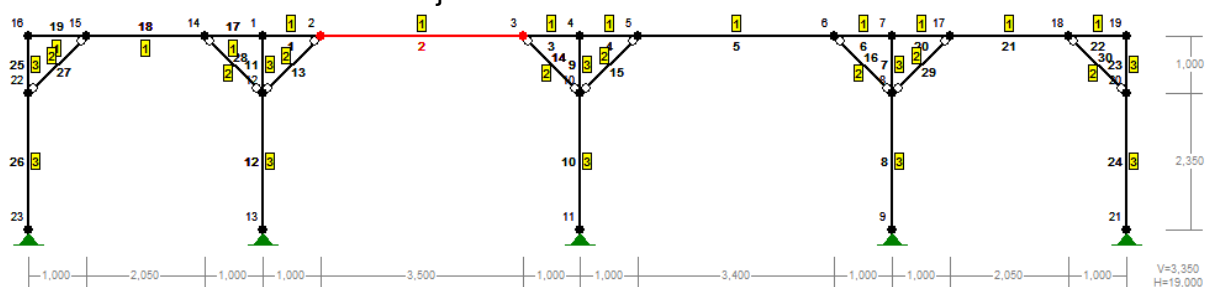
Przekrój płatwi: 16x16 cm + 2x 4x16 cm

Przekrój słupów: 16x16 cm

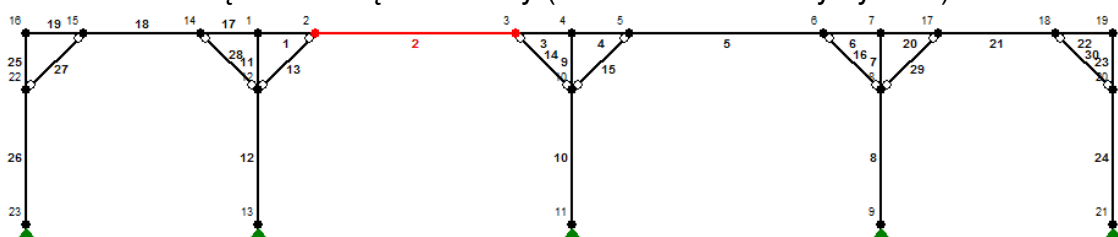
Przekrój mieczy: 13x13 cm

1.2. Konstrukcja dachu

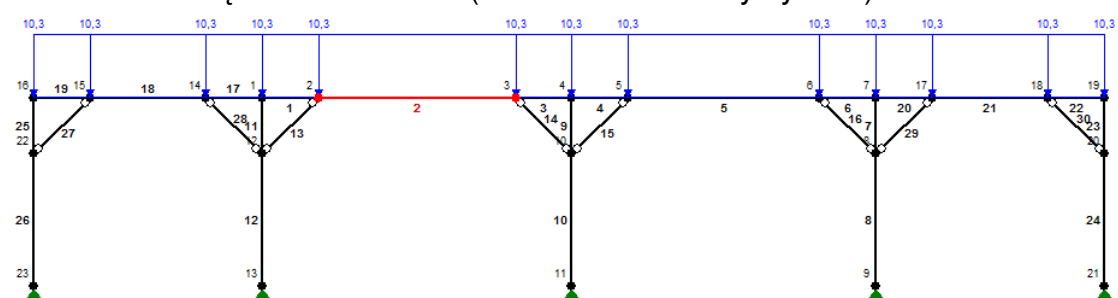
1.2.1. Schemat konstrukcji



1.2.2. Obciążenia – ciężar własny (wartości charakterystyczne)



1.2.3. Obciążenia – z krokwi (wartości charakterystyczne)

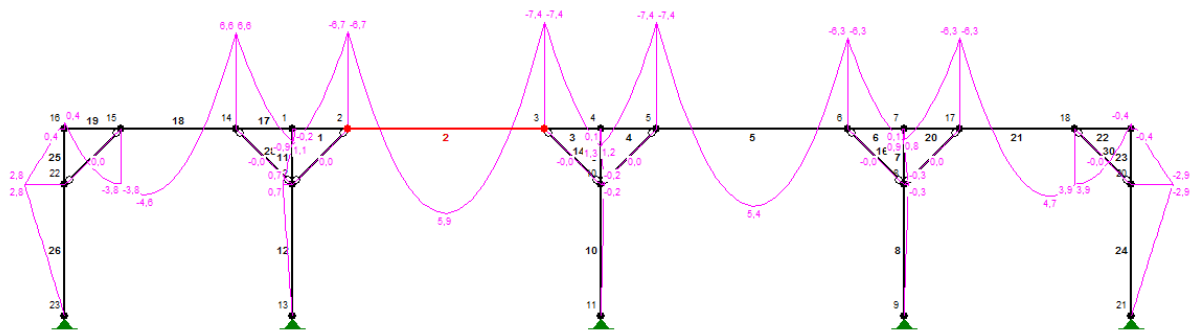


1.2.4. Mnożniki i atrybuty.

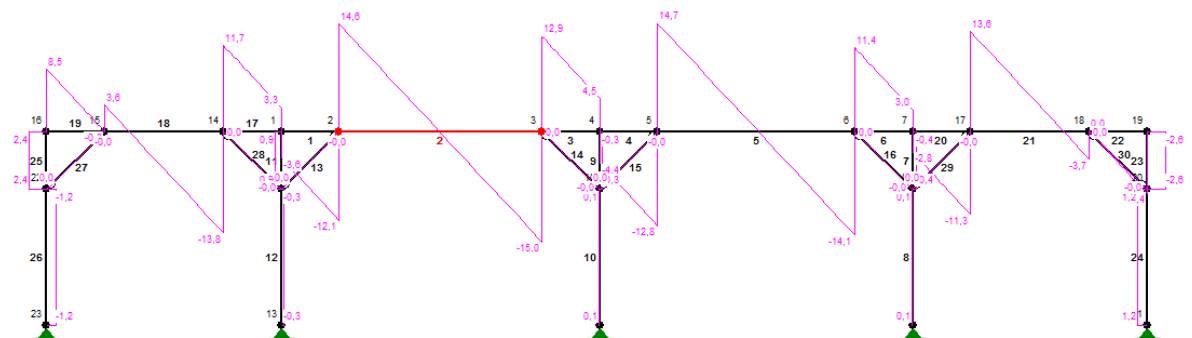
Nr	Opis	Obc(+)	Obc(-)	Udz.	Atrybut
1	Ciężar własny	1,1	1,1	1	Stały
2	Ciężar z krokwi	1,40	1,40	1	Stały

1.3. Płatew – obliczenia statyczne.

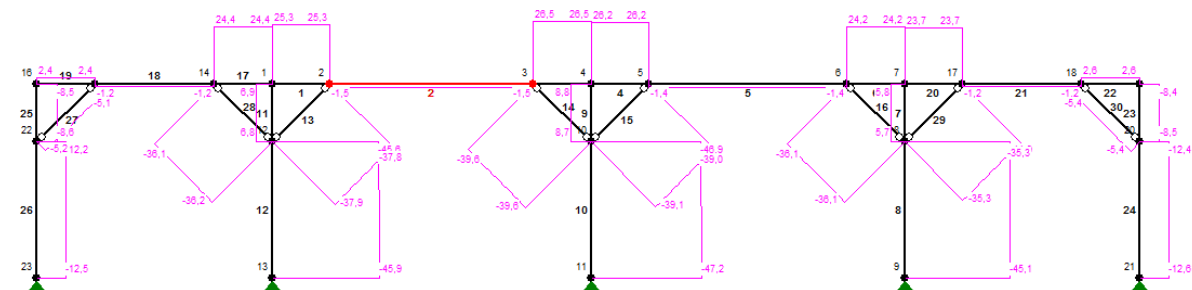
1.3.1. Siły wewnętrzne – M (wartości obliczeniowe)



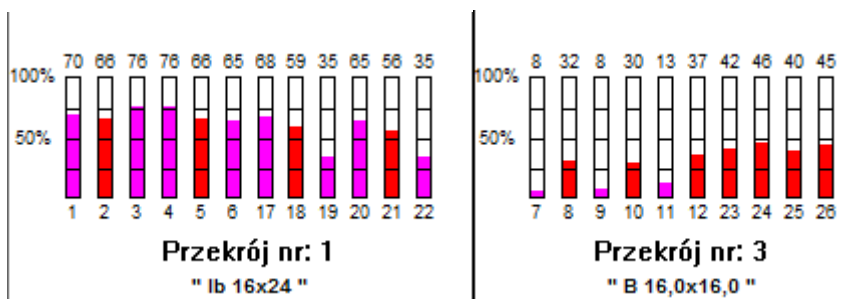
1.3.2. Siły wewnętrzne – Q (wartości obliczeniowe)



1.3.3. Siły wewnętrzne – N (wartości obliczeniowe)

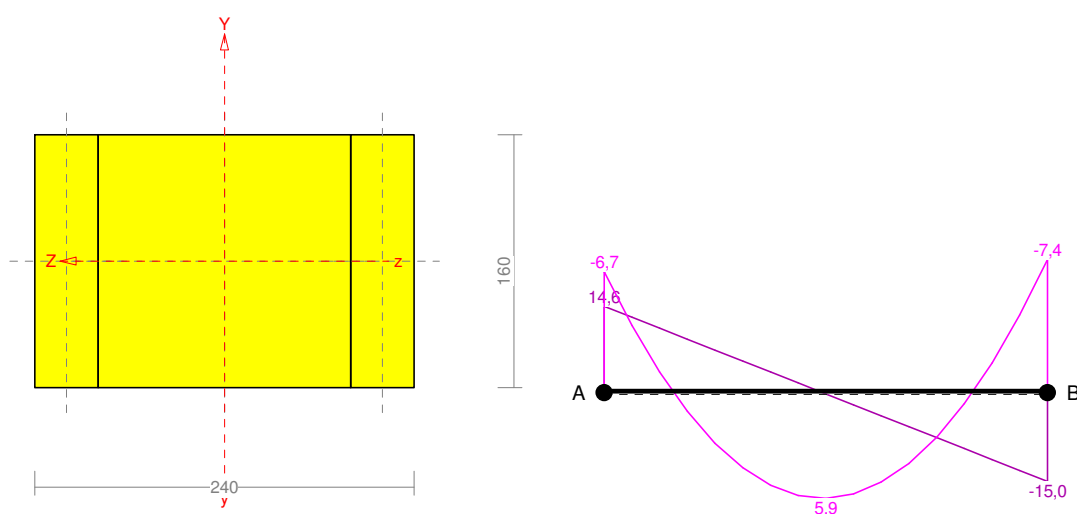


1.4. Wymiarowanie



Wykorzystanie przekrojów

Pręt nr 2

**Przekrój: 1** "Ib 16x24"

Wymiary przekroju:

$$h=160,0 \text{ mm} \quad b=240,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg}=18432,0; \quad J_{yg}=8192,0 \text{ cm}^4; \quad A=384,00 \text{ cm}^2; \quad i_x=6,9; \quad i_y=4,6 \text{ cm}; \quad W_x=1536,0; \quad W_y=1024,0 \text{ cm}^3.$$

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: **Stałe** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C24.**

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

$$f_{m,d} = 11,08 \text{ MPa}$$

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

$$f_{t,0,d} = 6,46 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,40$$

$$f_{t,90,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

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

$$f_{c,0,d} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 5,30$$

$$f_{c,90,d} = 2,45 \text{ MPa}$$

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

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Sprawdzenie nośności pręta nr 2

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych.

Charakterystyka zastępcza przekroju:

Gałęzie przekroju połączone są łącznikami mechanicznymi w postaci gwoździ o średnicy 4,0 mm.

Podatność łączników:

$$K_u = 2/3 \rho_k^{1,5} d^{0,8} / 25 = 2/3 350^{1,5} \times 4,0^{0,8} / 25 = 529 \text{ N/mm}$$

Dla płaszczyzny prostopadłej do szwów:

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E A_1 s_i / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 7400 \times 64,0 \times 100 / (529 \times 3,500^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,122$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_3 = [1 + \pi^2 E A_3 s_i / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 7400 \times 64,0 \times 100 / (529 \times 3,500^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,122$$

Współrzędne środków elementów przekroju wynoszą:

$$a_1 = 10,00; \quad a_2 = 0,00; \quad a_3 = 10,00 \text{ cm}$$

Zastępczy moment bezwładności:

$$I_{ef} = \sum (I_i + \gamma_i A_i a_i^2) = 85,3 + 0,122 \times 64,0 \times 10,00^2 + 5461,3 + 1,000 \times 256,0 \times 0,00^2 + 85,3 + 0,122 \times 64,0 \times 10,00^2 = 7191,3 \text{ cm}^4$$

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,50 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,573 \times 3,500 = 2,005 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,500 = 3,500 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,500 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 2,006 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / \sqrt{I_{ef,y} / A_{tot}} = 350,0 / \sqrt{7191,3 / 384,00} = 80,88$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / \sqrt{I_{ef,z} / A_{tot}} = 200,6 / \sqrt{8192,0 / 384,00} = 43,42$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 7400 / (80,88)^2 = 11,17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 7400 / (43,42)^2 = 38,74 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{21 / 11,17} = 1,371$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{21 / 38,74} = 0,736$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,371 - 0,5) + (1,371)^2] = 1,528$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (0,736 - 0,5) + (0,736)^2] = 0,795$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,528 + \sqrt{1,528^2 - 1,371^2}) = 0,454$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (0,795 + \sqrt{0,795^2 - 0,736^2}) = 0,914$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 384,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 1,5 / 384,00 \times 10 = \mathbf{0,0 < 4,40} = 0,454 \times 9,69 = k_c f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla $x_a=3,50 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,0}{0,454 \times 9,69} + 1,0 \times \frac{7,2}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,663 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,0}{0,914 \times 9,69} + \frac{7,2}{11,08} + 1,0 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,658 < 1}$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=3,50 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

Największe naprężenia dla zginania:

$$\sigma_{m,i} + \sigma_i = (0,5 h'_i + \gamma'_i a'_i) M' / I'_{ef} = (0,5 \times 16,0 + 1,000 \times 0,0) \times 7,4 / 8192,0 \times 10^3 = \mathbf{7,2 < 11,1}$$

$$= f_{m,d}$$

Największe naprężenia dla ściskania:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 1,000 \times 0,0 \times 7,4 / 8192,0 \times 10^3 = \mathbf{0,0 < 9,7} = f_{c,0,d}$$

Największe naprężenia dla rozciągania:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 1,000 \times 0,0 \times 7,4 / 8192,0 \times 10^3 = \mathbf{0,0 < 6,46} = f_{c,0,t}$$

Nośność dla $x_a=3,50 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{7,2}{11,08} = \mathbf{0,7 < 1}$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=3,50 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,0^2}{9,69^2} + \frac{0,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{7,2}{11,08} = \mathbf{0,7 < 1}$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=3,50 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie prostopadłej do szwów:

$$\tau = (\gamma_3 A_3 a_3 + 0,5 b_2 h^2) V / b_2 I_{ef} = (0,122 \times 64,0 \times 10,00 + 0,5 \times 16,00 \times 8,00^2) \times 0,0 / (16,00 \times 7191,3) \times 10 = \mathbf{0,0}$$

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie równoległej do szwów:

$$\tau' = \frac{V' S'}{b' I'} = \frac{15,0 \times 768,0}{24,00 \times 8192,0} \times 10 = \mathbf{0,6}$$

Nośność na ścinanie:

$$\sqrt{\tau^2 + \tau'^2} = \sqrt{0,0^2 + 0,6^2} = \mathbf{0,6 < 1,15} = f_{v,d}$$

Nośność łączników:

Do połączenia gałęzi przekroju, przyjęto łączniki mechaniczne w postaci gwoździ długości 100 mm o średnicy 4,0 mm.

$$f_{h,k} = 0,082 \times 350 \times 4,0^{-0,3} = 18,93$$

$$f_{h,d} = f_{h,k} k_{mod} / 1,3 = 18,93 \times 0,60 / 1,3 = 8,74 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 180 \times 4,0^{2,6} = 6616,50$$

$$M_{y,d} = M_{y,k} / 1,1 = 6015,00 \text{ Nmm}$$

$$R_{d,1} = f_{h,1,d} t_1 d = 8,74 \times 40,0 \times 4,0 = 1398,3 \text{ N}$$

$$R_{d,2} = f_{h,1,d} t_2 d \beta = 8,74 \times 53,0 \times 4,0 \times 1,00 = 1852,7 \text{ N}$$

$$R_{d,3} = f_{h,1,d} t_1 d / (1 + \beta) [\sqrt{\beta + 2\beta^2 (1 + t_2 / t_1 + t_2^2 / t_1^2) + \beta^3 t_2^2 / t_1^2} - \beta(1 + t_2 / t_1)] = 8,74 \times 40,0 \times 4,0 / (1 + 1,00) \times [\sqrt{1,00 + 2 \times 1,00^2 \times (1 + 53,0/40,0 + 53,0^2/40,0^2) + 1,00^3 \times 53,0^2/40,0^2} - 1,00 \times (1 + 53,0/40,0)] = 684,5 \text{ N}$$

$$R_{d,4} = 1,1 f_{h,1,d} t_2 d / (1 + 2\beta) [\sqrt{2\beta^2 (1 + \beta) + 4\beta(1 + 2\beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_2^2} - \beta] = 1,1 \times 8,74 \times 53,0 \times 4,0 / (1 + 2 \times 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00^2 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (1 + 2 \times 1,00) \times 6015,00 / (8,74 \times 4,0 \times 53,0^2)} - 1,00] = 798,9 \text{ N}$$

$$R_{d,5} = 1,1 f_{h,1,d} t_1 d / (2 + \beta) [\sqrt{2\beta(1 + \beta) + 4\beta(2 + \beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_1^2} - \beta] = 1,1 \times 8,74 \times 40,0 \times 4,0 / (2 + 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (2 + 1,00) \times 6015,00 / (8,74 \times 4,0 \times 40,0^2)} - 1,00] = 666,6 \text{ N}$$

$$R_{d,6} = 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d 2\beta / (1 + \beta)} = 1,1 \times \sqrt{2 \times 6015,00 \times 8,74 \times 4,0 \times 2 \times 1,00 / (1 + 1,00)} = 713,3 \text{ N}$$

Nośność łącznika na jedno cięcie $R_d = 666,6 \text{ N}$.

Siła przypadająca na jeden łącznik pochodząca od siły rozwarstwiającej:

Dla prętów ściskanych należy uwzględnić dodatkową siłę poprzeczną przy wyboczeniu:

dla $\lambda_{ef} > 60$ $V_d = F_{c,d} / (60 k_c) = 1,5 / (60 \times 0,454) = 0,1 \text{ kN}$

$$F_1 = \gamma_1 A_1 a_1 s V / I_{ef} = 0,122 \times 64,0 \times 10,00 \times 10,0 \times 0,1 / 7191,3 \times 10^3 = 5,9 \text{ N}$$

$$F_1 = 5,9 < 666,6 = R_d$$

Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla $x_a = 1,75 \text{ m}$; $x_b = 1,75 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

Ugięcia graniczne

$$u_{net,fin} = l / 150 = 36,7 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "A"):

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (240,0/5500)^2] (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1 + k_{def}) = -0,1 \times (1 + 0,60) = -0,2 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("A"):

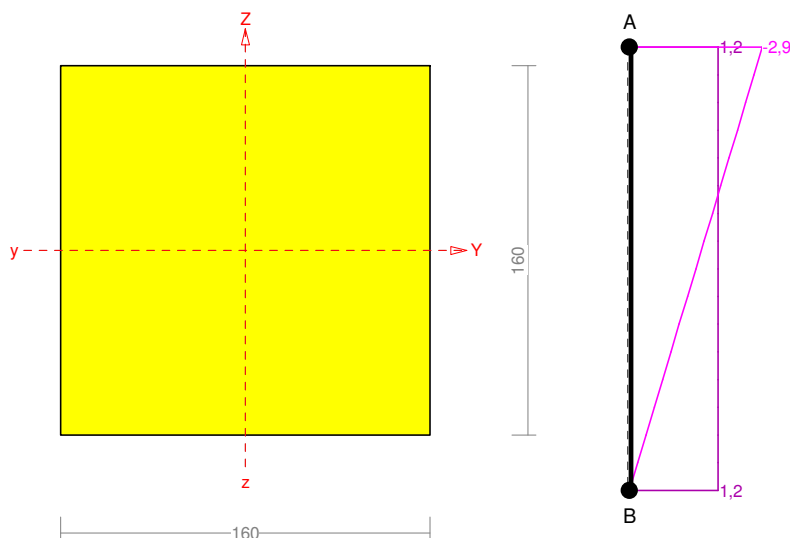
Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Stałe** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (240,0/5500)^2] (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1 + k_{def}) = -5,4 \times (1 + 0,60) = -8,6 \text{ mm}$$

Ugięcia całkowite:

$$u_{y,fin} = -0,2 + -8,6 = 8,8 < 36,7 = u_{net,fin}$$

Pręt nr 24**Przekrój: 3 “B 16,0x16,0”**

Wymiary przekroju:

$$h=160,0 \text{ mm} \quad b=160,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg}=5461,3; \quad J_{yg}=5461,3 \text{ cm}^4; \quad A=256,00 \text{ cm}^2; \quad i_x=4,6; \quad i_y=4,6 \text{ cm}; \quad W_x=682,7; \quad W_y=682,7 \text{ cm}^3.$$

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: **Stałe** (*więcej niż 10 lat, np. ciężar własny*).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C24.**

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

$$f_{m,d} = 11,08 \text{ MPa}$$

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

$$f_{t,0,d} = 6,46 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,40$$

$$f_{t,90,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

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

$$f_{c,0,d} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 5,30$$

$$f_{c,90,d} = 2,45 \text{ MPa}$$

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

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Sprawdzenie nośności pręta nr 24

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych.

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=2,35 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach “A”.

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 1,244 \times 2,350 = 2,923 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,350 = 2,350 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 2,923 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 2,350 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 2,923 / 0,0462 = 63,29$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 2,350 / 0,0462 = 50,88$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 7400 / (63,29)^2 = 18,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 7400 / (50,88)^2 = 28,21 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{21 / 18,23} = 1,073$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{21 / 28,21} = 0,863$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,073 - 0,5) + (1,073)^2] = 1,133$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (0,863 - 0,5) + (0,863)^2] = 0,908$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,133 + \sqrt{1,133^2 - 1,073^2}) = 0,668$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (0,908 + \sqrt{0,908^2 - 0,863^2}) = 0,838$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 256,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 12,6 / 256,00 \times 10 = \mathbf{0,5} < \mathbf{6,47} = 0,668 \times 9,69 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=2,35 \text{ m}$, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,5}{0,668 \times 9,69} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} + \frac{4,3}{11,08} = \mathbf{0,461} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,5}{0,838 \times 9,69} + \frac{0,0}{11,08} + 0,7 \times \frac{4,3}{11,08} = \mathbf{0,330} < \mathbf{1}$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=2,35 \text{ m}$, przy obciążeniach "A".

Długość obliczeniowa dla **pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 2350 + 160 + 160 = 2670 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \sqrt{\frac{2670 \times 160 \times 11,08}{3,142 \times 160^2 \times 7400}} \times \sqrt[4]{\frac{11000}{690}} = 0,178$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 2,9 / 682,67 \times 10^3 = \mathbf{4,3} < \mathbf{11,1} = 1,000 \times 11,08 = k_{crit} f_{m,d}$$

Nośność dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=2,35 \text{ m}$, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{4,3}{11,08} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,4} < \mathbf{1}$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{4,3}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,3} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=0,00$ m; $x_b=2,35$ m, przy obciążeniach "A":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,5^2}{9,69^2} + \frac{4,3}{11,08} + 0,7 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,4 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,5^2}{9,69^2} + 0,7 \times \frac{4,3}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,3 < 1}$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=0,00$ m; $x_b=2,35$ m, przy obciążeniach "A".

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 1,2 / 256,0 \times 10 = 0,1 \text{ MPa}$$

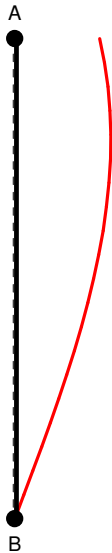
$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,0 / 256,0 \times 10 = 0,0 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,0^2} = \mathbf{0,1 < 1,2} = 1,000 \times 1,15 = k_v f_{v,d}$$

Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla $x_a=0,44$ m; $x_b=1,91$ m, przy obciążeniach "A".

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 150 = 15,7 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "A"):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} [1 + 19,2 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 0,1 \times [1 + 19,2 \times (160,0/2350)^2] (1 + 0,60) = 0,1 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} [1 + 19,2 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (160,0/2350)^2] (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("A"):

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

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} [1 + 19,2 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 3,1 \times [1 + 19,2 \times (160,0/2350)^2] (1 + 0,60) = 5,3 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} [1 + 19,2 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (160,0/2350)^2] (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = 0,1 + 5,3 = \mathbf{5,5 < 15,7} = u_{\text{net,fin}}$$

1. Wyniki obliczeń – statyka i wymiarowanie – wzmocnienie tramu (C1)

Założenia:

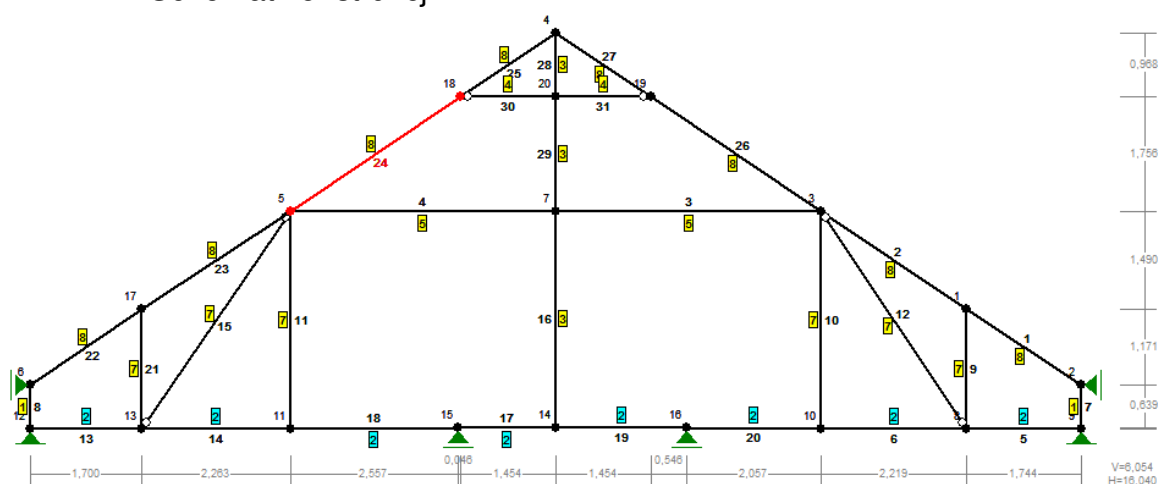
Drewno: klasa C24

Stal: klasa S355

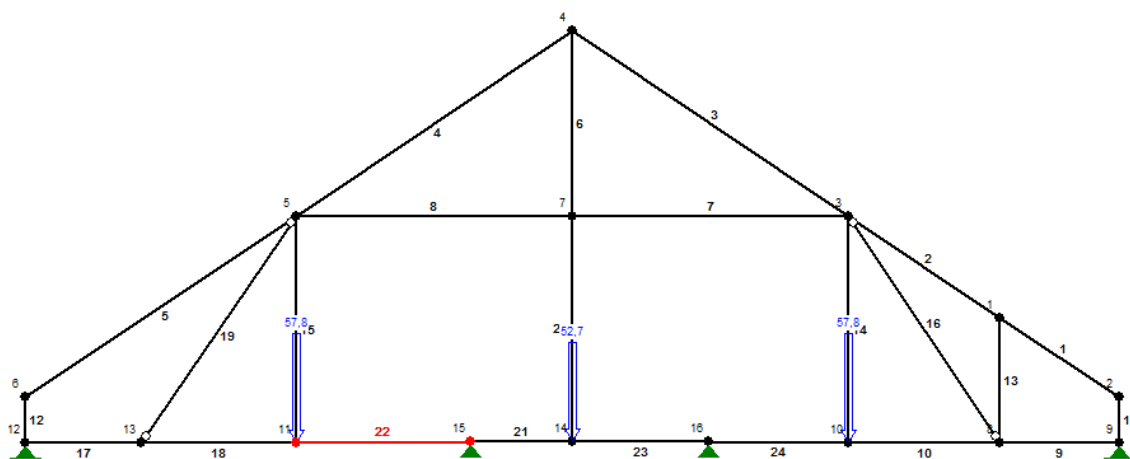
Przekrój tramu: 22 x 22 cm + 2x C180

1.2. Konstrukcja dachu

1.2.1. Schemat konstrukcji



1.2.2. Obciążenia – reakcje

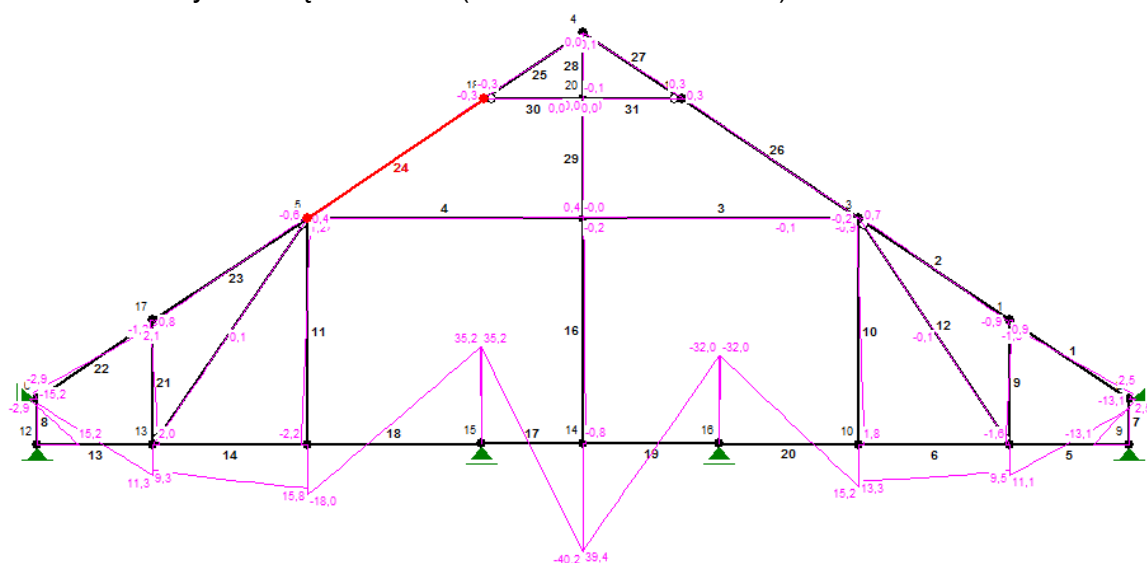


1.2.3. Mnożniki i atrybuty.

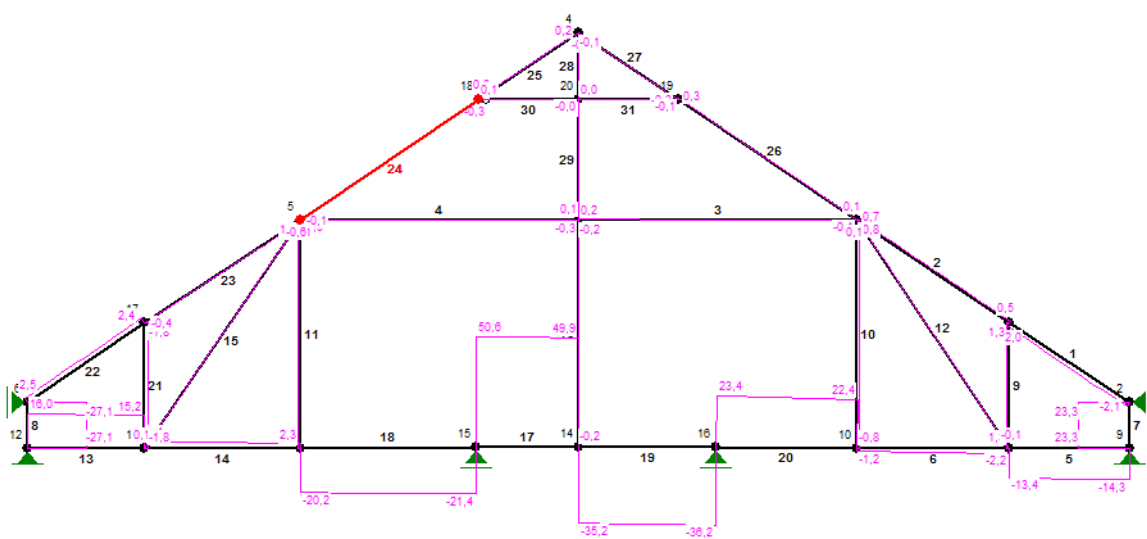
Nr	Opis	Obc(+)	Obc(-)	Udz.	Atrybut
1	Ciężar własny	1,1	1,1	1	Stały
2	Reakcje	1,4	1,4	1	Stały

1.3. Tram – obliczenia statyczne.

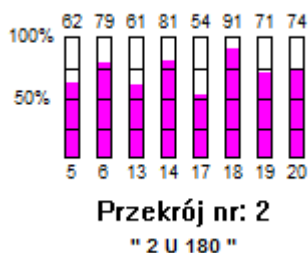
1.3.1. Siły wewnętrzne – M (wartości obliczeniowe)



1.3.2. Siły wewnętrzne – Q (wartości obliczeniowe)

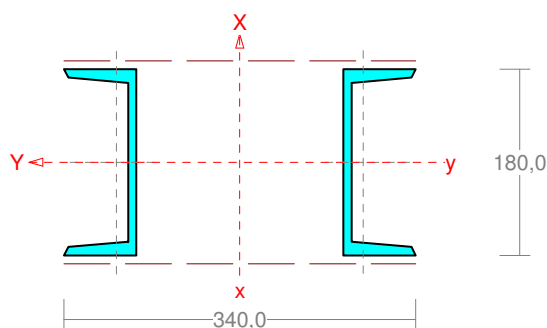


1.4. Wymiarowanie.



Wykorzystanie przekrojów

Pręt nr 18



Wymiary przekroju:

U 180 $h=180,0$ $s=70,0$ $g=8,0$ $t=11,0$ $r=11,0$
 $ex=19,2$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=8184,8$ $J_{yg}=2700,0$ $A=56,00$ $i_x=12,1$
 $i_y=6,9$.

Materiał: **18G2,18G2A**. Wytrzymałość **$f_d=305$**
 MPa dla **$g=11,0$** .

Siły przekrojowe:

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: A

$$N = 7,2 \text{ kN},$$

$$M_y = 35,2 \text{ kNm}, \quad V_x = -21,4 \text{ kN}.$$

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 118,7 \text{ MPa}$ $\sigma_c = -116,1 \text{ MPa}$.

Połączenie gałęzi:

Przyjęto, że gałęzie połączone są przewiązkami o szerokości $b = 100,0 \text{ mm}$ i grubości $g = 8,0 \text{ mm}$ w odstępach $l_1 = 511,4 \text{ mm}$, wykonanymi ze stali St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.

Smukłość gałęzi:

$$\lambda_v = \lambda_1 = l_1 / i_1 = 511,4 / 20,2 = 25,32$$

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 305} = 70,53$$

Współczynniki redukcji nośności:

Współczynnik niestateczności dla ścianki przy ściskaniu wynosi $\varphi_p = 1,000$. Współczynnik niestateczności gałęzi wynosi:

$$\bar{\lambda} = \lambda_1 / \lambda_p = 25,32 / 70,53 = 0,359 \Rightarrow \varphi_1 = 0,934.$$

W związku z tym współczynniki redukcji nośności wynoszą:

$$\text{- dla zginana względem osi Y:} \quad \psi_y = 1,000$$

Smukłość zastępcza pręta:

- dla wyboczenia w płaszczyźnie prostopadłej do osi X

$$\lambda = l_{wx} / i_x = 2557,2 / 120,9 = 21,15$$

$$\lambda_m = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_v^2} \text{ m} / 2 = \sqrt{21,15^2 + 25,32^2} = 32,99$$

$$\bar{\lambda}_m = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} \sqrt{\psi_6} = \frac{32,99}{70,53} \times \sqrt{0,934} = 0,452$$

Nośność przewiązek:

Przewiązki prostopadłe do osi X:

$$Q = 1,2 \quad V = 1,2 \times 0,0 = 0,0 \text{ kN}$$

$$Q \geq 0,012 A f_d = 0,012 \times 56,00 \times 305 \times 10^{-1} = 20,5 \text{ kN}$$

Przyjęto $Q = 20,5 \text{ kN}$

$$V_Q = \frac{Q l_1}{n(m-1)a} = \frac{20,5 \times 511,4}{2 \times (2-1) \times 238,4} = 22,0 \text{ kN} \quad M_Q = \frac{Q l_1}{m n} = \frac{20,5 \times 0,5}{2 \times 2} = 2,6 \text{ kNm}$$

$$V_R = 0,58 \varphi_{pv} A_v f_d = 0,58 \times 1,000 \times 0,9 \times 100,0 \times 8,0 \times 215 \times 10^{-3} = 89,8 \text{ kN}$$

$$M_R = W f_d = 8,0 \times 100,0^2 / 6 \times 215 \times 10^{-6} = 2,9 \text{ kNm}$$

$$V_Q = 22,0 < 89,8 = V_R \quad M_Q = 2,6 < 2,9 = M_R$$

Nośność elementów rozciąganych:

Siała osiowa: $N = 7,2 \text{ kN}$.

Pole powierzchni przekroju: $A = 56,00 \text{ cm}^2$.

Nośność przekroju na rozciąganie: $N_{Rt} = A f_d = 56,00 \times 305 \times 10^{-1} = 1708,0 \text{ kN}$.

Warunek nośności (31):

$$N = 7,2 < 1708,0 = N_{Rt}$$

Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 0,300 \quad \chi_2 = 0,300 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,592 \quad \text{dla } l_0 = 2,557$$

$$l_w = 0,592 \times 2,557 = 1,514 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 2,557$$

$$l_w = 1,000 \times 2,557 = 2,557 \text{ m}$$

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 8184,8}{2,557^2} 10^{-2} = 25324,6 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 2700,0}{1,514^2} 10^{-2} = 23837,1 \text{ kN}$$

Nośność przekroju na zginanie:

- względem osi Y

$$M_R = \psi W_c f_d = 1,000 \times 300,0 \times 305 \times 10^{-3} = 91,5 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwiczenia dla $\bar{\lambda}_L = 0,000$ wynosi $\varphi_L = 1,000$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{Rt}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{7,2}{1708,0} + \frac{35,2}{91,5} = 0,389 < 1$$

Nośność przekroju na ścinanie:

- wzdłuż osi X

$$V_R = 0,58 \varphi_{pv} A_v f_d = 0,58 \times 1,000 \times 28,8 \times 305 \times 10^{-1} = 509,5 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,3 V_R = 152,8 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi X:

$$V = 21,4 < 509,5 = V_R$$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

- dla zginania względem osi Y: $V_x = 21,4 < 152,8 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 91,5 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rt}} + \frac{M_y}{M_{Ry,V}} = \frac{7,2}{1708,0} + \frac{35,2}{91,5} = 0,389 < 1$$

Nośność przekroju na ścinanie z uwzględnieniem siły osiowej:

- dla ścinania wzdłuż osi X:

$$V = 21,4 < 509,5 = 509,5 \times \sqrt{1 - (7,2 / 1708,0)^2} = V_R \sqrt{1 - (N / N_{Rt})^2} = V_{R,N}$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $c = 0,0 \text{ mm}$.

Naprężenia ściskające w środku wynoszą $\sigma_c = 87,4 \text{ MPa}$. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,25 - 0,5 \sigma_c / f_d = 1,25 - 0,5 \times 87,4 / 305 = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną:

$$P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 110,1 \times 8,0 \times 1,000 \times 305 \times 10^{-3} = 268,7 \text{ kN}$$

Warunek nośności środka:

$$P = 0,0 < 268,7 = P_{R,W}$$

Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 1,1 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 350 = 2557 / 350 = 7,3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 < 7,3 = a_{\text{gr}}$$

1. Wyniki obliczeń – statyka i wymiarowanie – wzmocnienie kr koszowej (D2)

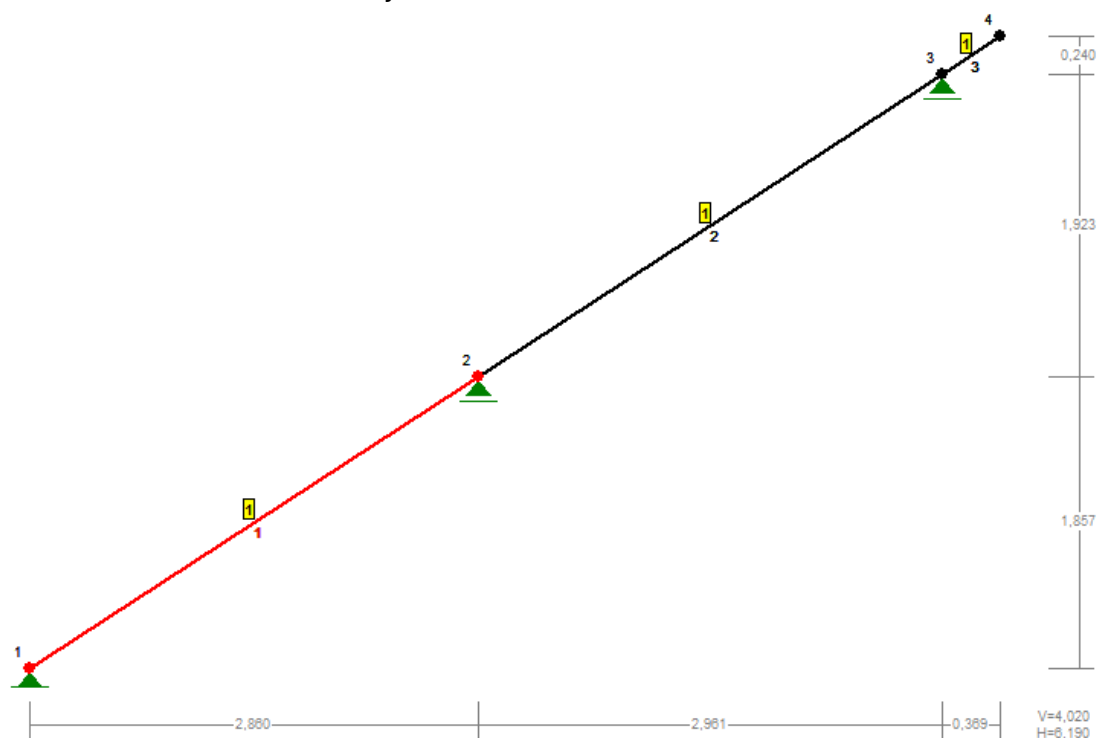
Założenia:

Drewno: klasa C24

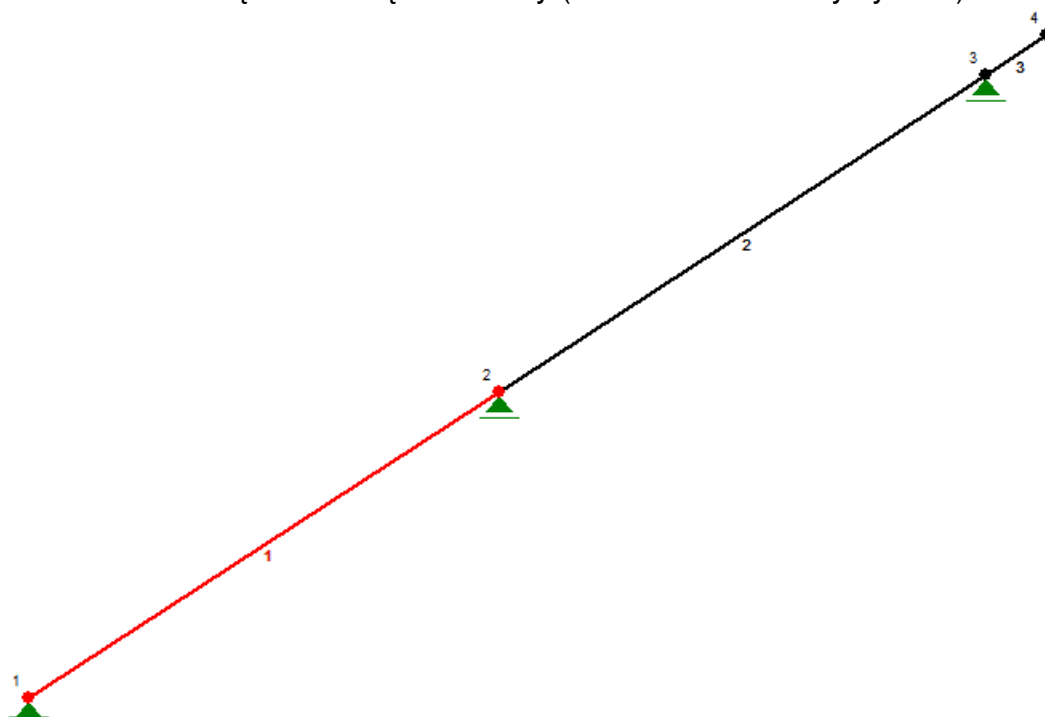
Przekrój krokwi: 12 x 16 cm + 2x 5x16 cm

1.2. Konstrukcja dachu

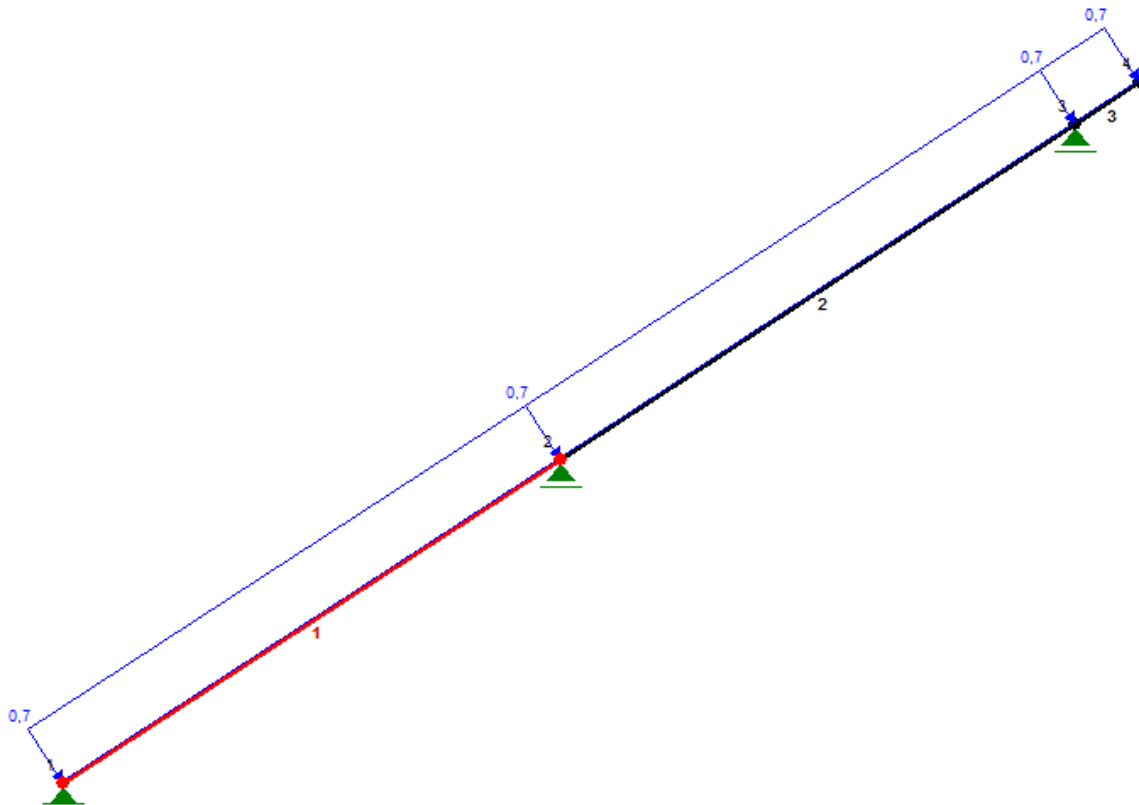
1.2.1. Schemat konstrukcji



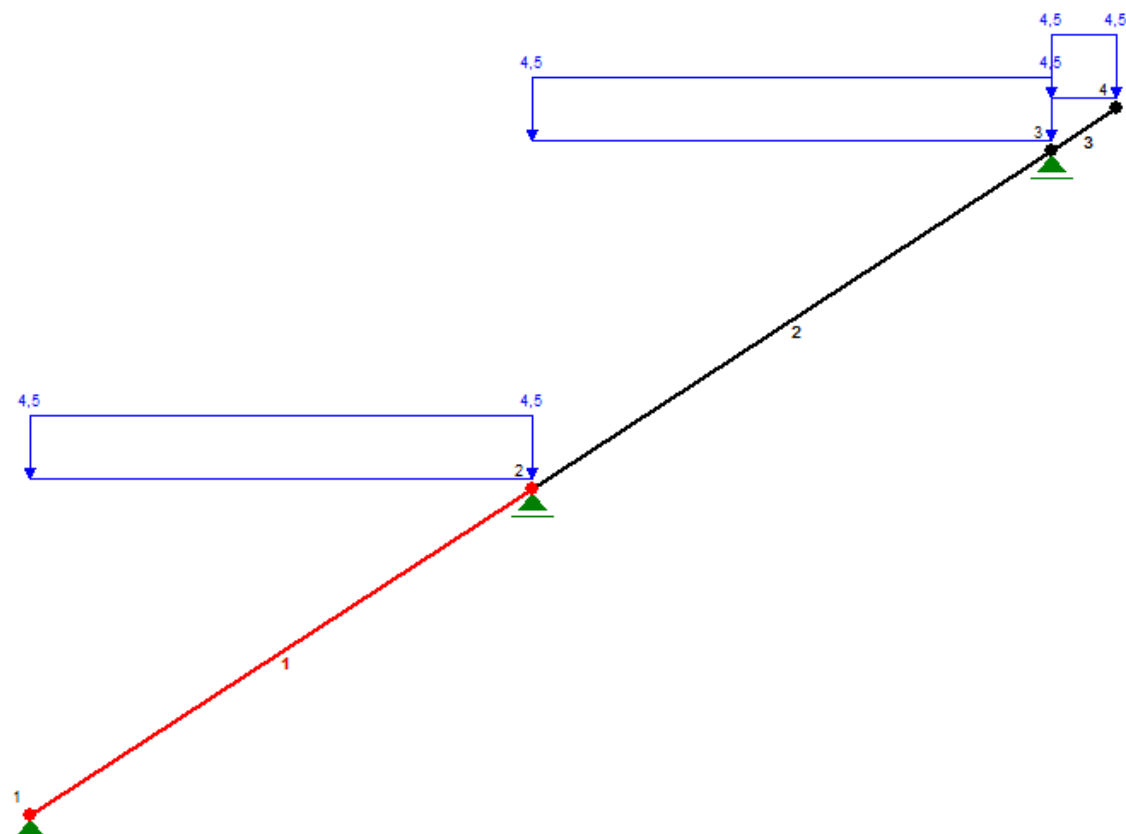
1.2.2. Obciążenia – ciężar własny (wartości charakterystyczne)



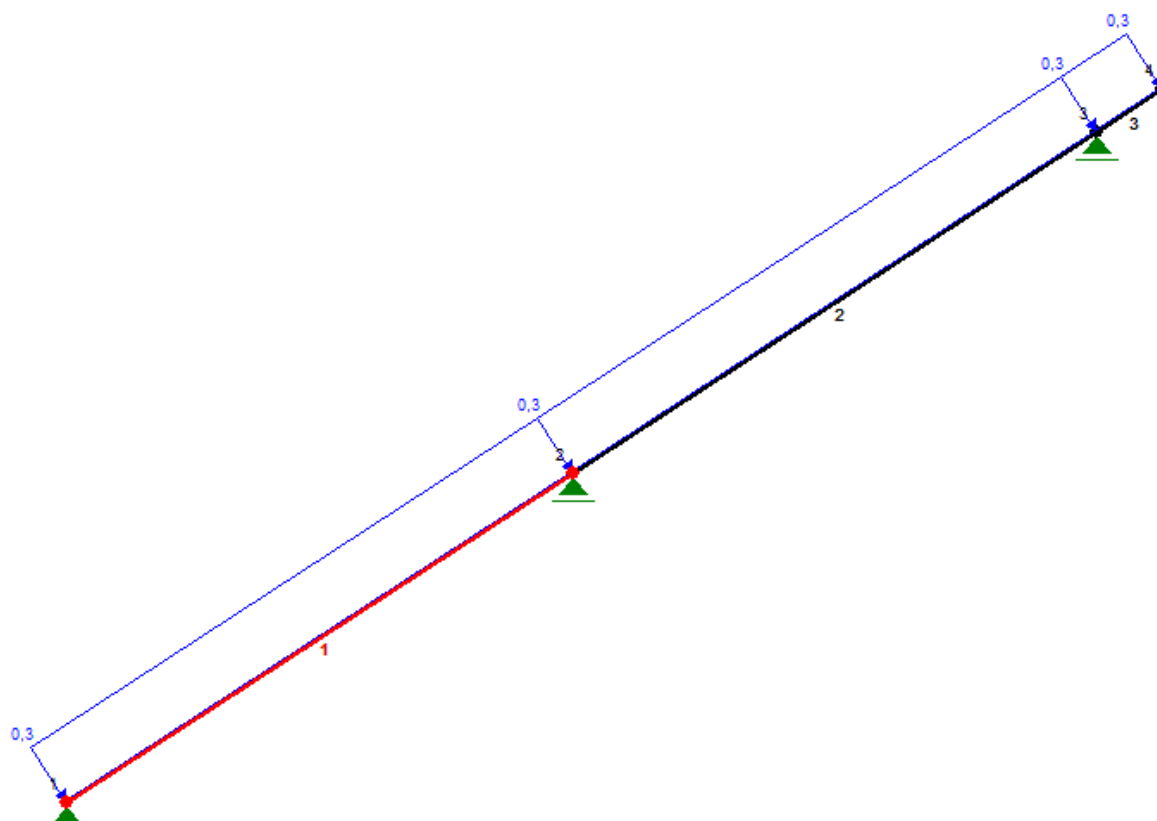
1.2.3. Obciążenia –ciężar własny warstw dachu (wartości charakterystyczne)



1.2.4. Obciążenia – śnieg (wartości charakterystyczne)



1.2.5. Obciążenia – wiatr (wartości charakterystyczne)

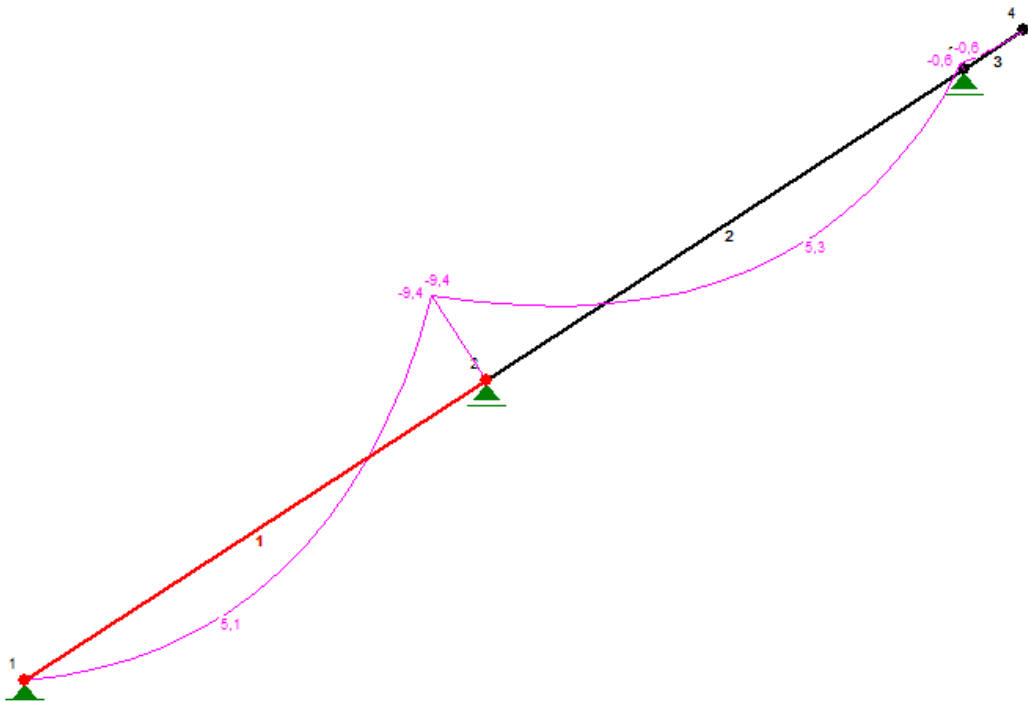


1.2.8. Mnożniki i atrybuty.

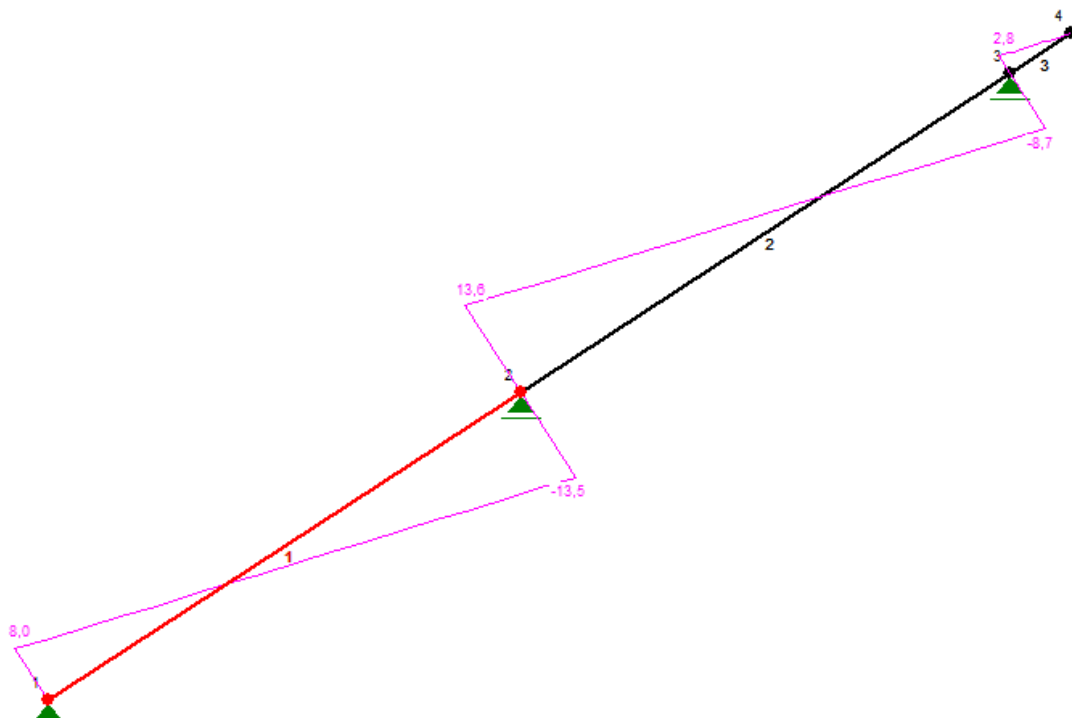
Nr	Opis	Obc(+)	Obc(-)	Udz.	Atrybut
1	Ciężar własny	1,1	1,1	1	Stały
2	Ciężar warstw dachu	1,35	1,35	1	Stały
3	Obc śnieg	1,5	1,5	1	Zmienny
4	Obc wiatr	1,5	1,5	1	Zmienny

1.3. Krokiew – obliczenia statyczne.

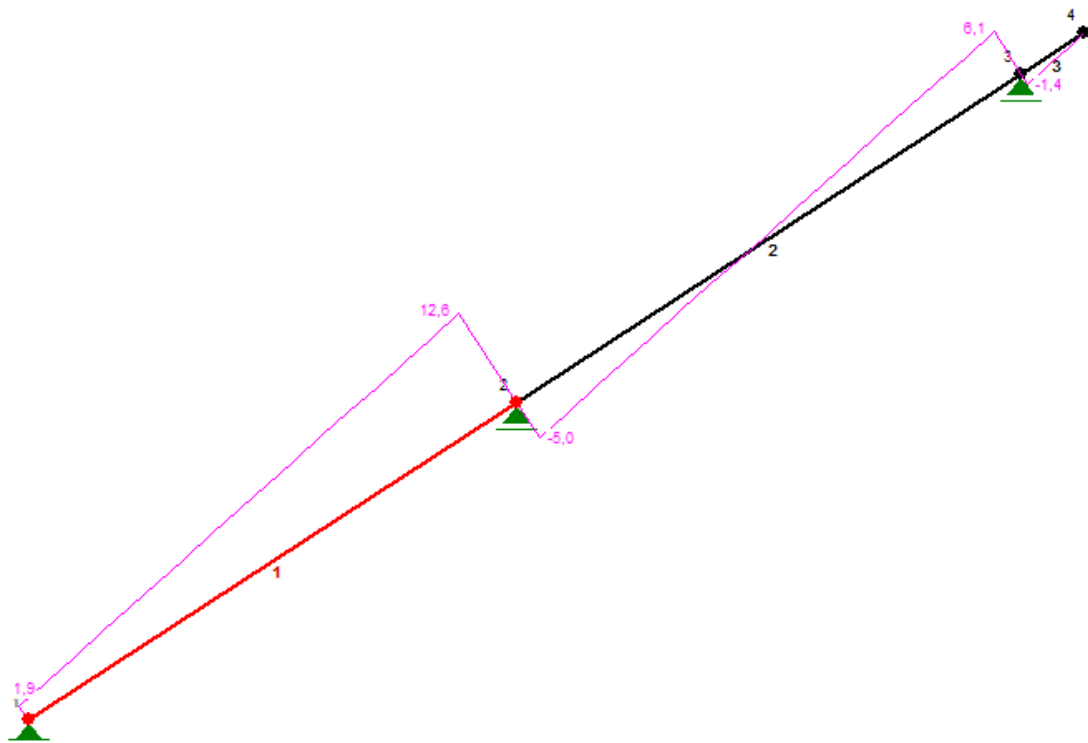
1.3.1. Siły wewnętrzne – M (wartości obliczeniowe)



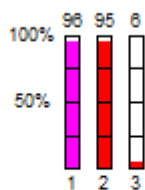
1.3.2. Siły wewnętrzne – Q (wartości obliczeniowe)



1.3.3. Siły wewnętrzne – N (wartości obliczeniowe)



1.4. Wymiarowanie.

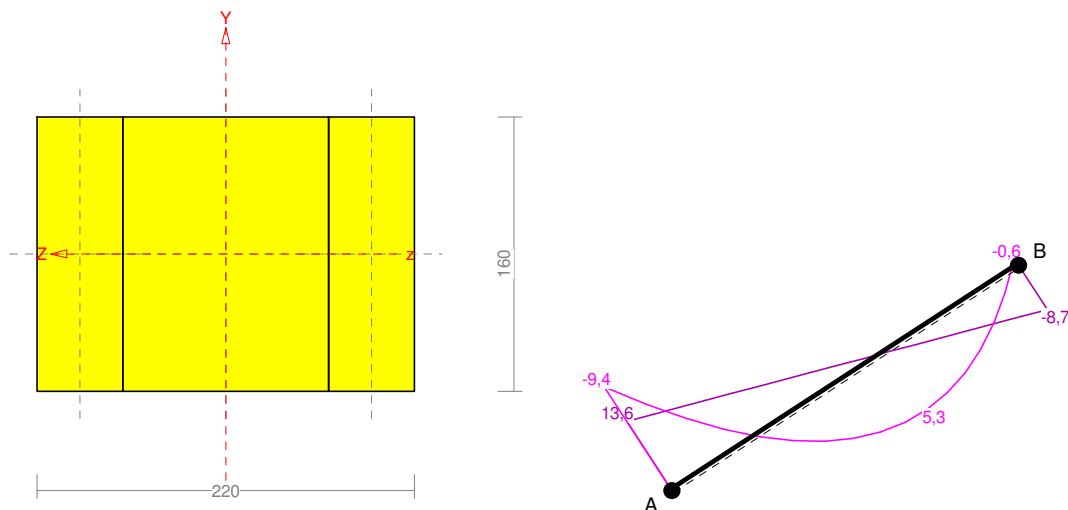


Przekrój nr: 1

"Ib 16x22"

Wykorzystanie przekrojów

Pręt nr 2



Przekrój: 1 "Ib 16x22"

Wymiary przekroju:

$$h=160,0 \text{ mm} \quad b=220,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg}=14197,3; \quad J_{yg}=7509,3 \text{ cm}^4; \quad A=352,00 \text{ cm}^2; \quad i_x=6,4; \quad i_y=4,6 \text{ cm}; \quad W_x=1290,7; \quad W_y=938,7 \text{ cm}^3.$$

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: **Stałe** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C24.**

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

$$f_{m,d} = 11,08 \text{ MPa}$$

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

$$f_{t,0,d} = 6,46 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,40$$

$$f_{t,90,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

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

$$f_{c,0,d} = 9,69 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 5,30$$

$$f_{c,90,d} = 2,45 \text{ MPa}$$

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

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Sprawdzenie nośności pręta nr 2

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych.

Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla $x_a=3,53 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC".

Pole powierzchni przekroju netto $A_n = 352,00 \text{ cm}^2$.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 6,1 / 352,00 \times 10 = \mathbf{0,2} < \mathbf{6,46} = f_{t,0,d}$$

Charakterystyka zastępcza przekroju:

Gałęzie przekroju połączone są łącznikami mechanicznymi w postaci gwoździ o średnicy 5,0 mm.

Podatność łączników:

$$K_u = 2/3 \rho_k^{1,5} d^{0,8} / 25 = 2/3 350^{1,5} \times 5,0^{0,8} / 25 = 633 \text{ N/mm}$$

Dla płaszczyzny prostopadłej do szwów:

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E A_1 s_i / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 7400 \times 80,0 \times 100 / (633 \times 3,531^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,119$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_3 = [1 + \pi^2 E A_3 s_i / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 7400 \times 80,0 \times 100 / (633 \times 3,531^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,119$$

Współrzędne środków elementów przekroju wynoszą:

$$a_1 = 8,50; \quad a_2 = 0,00; \quad a_3 = 8,50 \text{ cm}$$

Zastępczy moment bezwładności:

$$I_{ef} = \Sigma (I_i + \gamma_i A_i a_i^2) = 166,7 + 0,119 \times 80,0 \times 8,50^2 + 2304,0 + 1,000 \times 192,0 \times 0,00^2 + 166,7 + 0,119 \times 80,0 \times 8,50^2 = 4012,3 \text{ cm}^4$$

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,53 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,839 \times 3,531 = 2,963 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,531 = 3,531 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,531 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 2,962 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / \sqrt{I_{ef,y} / A_{tot}} = 353,1 / \sqrt{4012,3 / 352,00} = 104,58$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / \sqrt{I_{ef,z} / A_{tot}} = 296,2 / \sqrt{7509,3 / 352,00} = 64,13$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 7400 / (104,58)^2 = 6,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 7400 / (64,13)^2 = 17,76 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{21/6,68} = 1,773$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{21/17,76} = 1,088$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,773 - 0,5) + (1,773)^2] = 2,200$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,088 - 0,5) + (1,088)^2] = 1,150$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (2,200 + \sqrt{2,200^2 - 1,773^2}) = 0,286$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,150 + \sqrt{1,150^2 - 1,088^2}) = 0,656$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 352,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 5,0 / 352,00 \times 10 = \mathbf{0,1} < \mathbf{2,77} = 0,286 \times 9,69 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,53 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,1}{0,286 \times 9,69} + 1,0 \times \frac{10,0}{11,08} + \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,952} = \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,1}{0,656 \times 9,69} + \frac{10,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{0,0}{11,08} = \mathbf{0,923} = \mathbf{1}$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,53 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC".

Największe naprężenia dla zginania:

$$\sigma_{m,i} + \sigma_i = (0,5 h'_i + \gamma'_i a'_i) M' / I'_{ef} = (0,5 \times 16,0 + 1,000 \times 0,0) \times 9,4 / 7509,3 \times 10^3 = \mathbf{10,0} < \mathbf{11,1} = f_{m,d}$$

Największe naprężenia dla ściskania:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 1,000 \times 0,0 \times 9,4 / 7509,3 \times 10^3 = \mathbf{0,0} < \mathbf{9,7} = f_{c,0,d}$$

Największe naprężenia dla rozciągania:

$$\sigma_i = \gamma'_i a'_i M' / I'_{ef} = 1,000 \times 0,0 \times 9,4 / 7509,3 \times 10^3 = \mathbf{0,0} < \mathbf{6,46} = f_{c,0,t}$$

Nośność dla $x_a=2,21 \text{ m}$; $x_b=1,32 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC":

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,1}{6,46} + \frac{0,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{5,7}{11,08} = \mathbf{0,5} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,53 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,1^2}{9,69^2} + \frac{0,0}{11,08} + 1,0 \times \frac{10,0}{11,08} = \mathbf{0,9} = \mathbf{1}$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=0,44 \text{ m}$; $x_b=3,09 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC".

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie prostopadłej do szwów:

$$\tau = (\gamma_3 A_3 a_3 + 0,5 b_2 h^2) V / b_2 I_{ef} = (0,119 \times 80,0 \times 8,50 + 0,5 \times 16,00 \times 6,00^2) \times 0,0 / (16,00 \times 4012,3) \times 10 = \mathbf{0,0}$$

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie równoległej do szwów:

$$\tau' = \frac{V' S'}{b' I'} = \frac{10,8 \times 704,0}{22,00 \times 7509,3} \times 10 = \mathbf{0,5}$$

Nośność na ścinanie:

$$\sqrt{\tau^2 + \tau'^2} = \sqrt{0,0^2 + 0,5^2} = \mathbf{0,5} < \mathbf{1,15} = f_{v,d}$$

Nośność łączników:

Do połączenia gałęzi przekroju, przyjęto łączniki mechaniczne w postaci gwoździ długości 100 mm o średnicy 5,0 mm.

$$f_{h,k} = 0,082 \times 350 \times 5,0^{-0,3} = \mathbf{17,71}$$

$$f_{h,d} = f_{h,k} k_{mod} / 1,3 = 17,71 \times 0,60 / 1,3 = 8,17 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 180 \times 5,0^{2,6} = 11819,38$$

$$M_{y,d} = M_{y,k} / 1,1 = 10744,89 \text{ Nmm}$$

$$R_{d,1} = f_{h,1,d} t_1 d = 8,17 \times 50,0 \times 5,0 = 2043,3 \text{ N}$$

$$R_{d,2} = f_{h,1,d} t_2 d \beta = 8,17 \times 41,5 \times 5,0 \times 1,00 = 1696,0 \text{ N}$$

$$R_{d,3} = f_{h,1,d} t_1 d / (1 + \beta) [\sqrt{\beta + 2\beta^2 (1 + t_2 / t_1 + t_2^2 / t_1^2) + \beta^3 t_2^2 / t_1^2} - \beta (1 + t_2 / t_1)] = 8,17 \times 50,0 \times 5,0 / (1 + 1,00) \times [\sqrt{1,00 + 2 \times 1,00^2 \times (1 + 41,5/50,0 + 41,5^2/50,0^2) + 1,00^3 \times 41,5^2/50,0^2} - 1,00 \times (1 + 41,5/50,0)] = 780,1 \text{ N}$$

$$R_{d,4} = 1,1 f_{h,1,d} t_2 d / (1 + 2\beta) [\sqrt{2\beta^2 (1 + \beta) + 4\beta (1 + 2\beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_2^2} - \beta] = 1,1 \times 8,17 \times 41,5 \times 5,0 / (1 + 2 \times 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00^2 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (1 + 2 \times 1,00) \times 10744,89 / (8,17 \times 5,0 \times 41,5^2)} - 1,00] = 879,9 \text{ N}$$

$$R_{d,5} = 1,1 f_{h,1,d} t_1 d / (2 + \beta) [\sqrt{2\beta (1 + \beta) + 4\beta (2 + \beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_1^2} - \beta] = 1,1 \times 8,17 \times 50,0 \times 5,0 / (2 + 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (2 + 1,00) \times 10744,89 / (8,17 \times 5,0 \times 50,0^2)} - 1,00] = 969,4 \text{ N}$$

$$R_{d,6} = 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d 2\beta / (1 + \beta)} = 1,1 \times \sqrt{2 \times 10744,89 \times 8,17 \times 5,0 \times 2 \times 1,00 / (1 + 1,00)} = 1030,8 \text{ N}$$

Nośność łącznika na jedno cięcie $R_d = 780,1 \text{ N}$.

Siła przypadająca na jeden łącznik pochodząca od siły rozwarstwiającej:

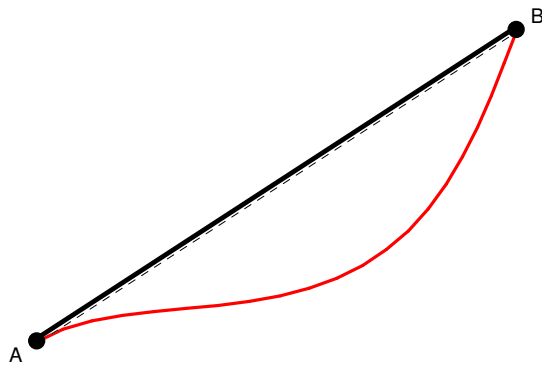
Dla prętów ściskanych należy uwzględnić dodatkową siłę poprzeczną przy wyboczeniu:

dla $\lambda_{ef} > 60$ $V_d = F_{c,d} / (60 k_c) = 3,6 / (60 \times 0,286) = 0,2 \text{ kN}$

$$F_1 = \gamma_1 A_1 a_1 s V / I_{ef} = 0,119 \times 80,0 \times 8,50 \times 10,0 \times 0,2 / 4012,3 \times 10^3 = 42,7 \text{ N}$$

$$F_1 = 42,7 < 780,1 = R_d$$

Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla $x_a = 1,99 \text{ m}$; $x_b = 1,54 \text{ m}$, przy obciążeniach "ABC".

Ugięcie graniczne

$$u_{net,fin} = l / 150 = 23,5 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "C"):

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (220,0/3531)^2] (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1 + k_{def}) = -0,1 \times (1 + 0,60) = -0,2 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("ABC"):

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

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{def}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (220,0/3531)^2] (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -4,2 \times (1 + 0,60) = -6,7 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{y,\text{fin}} = -0,2 + -6,7 = \mathbf{6,9} < \mathbf{23,5} = u_{\text{net,fin}}$$