

1. TEMAT OPRACOWANIA

Tematem opracowania jest sprawdzenie i określenie warunków wytrzymałościowych dla konstrukcji zadaszenia oraz przekrycia dachowego w związku z projektem remontu pokrycia dachu hali sportowej i łącznika Szkoła podstawowa Nr 2 w Głuszycy przy ul. Sienkiewicza 53a.

2. PODSTAWA OPRACOWANIA

- wytyczne oraz uzgodnienia z inwestorem;
- projekt powykonawczy obiektu;
- obowiązujące przepisy i normy;

3. ZAKRES OPRACOWANIA

Niniejsze opracowanie zawiera opis oraz obliczenia wytrzymałościowe dla konstrukcji dachu oraz jego pokrycia w związku z projektem remontu pokrycia dachu hali sportowej i łącznika Szkoła podstawowa Nr 2 w Głuszycy przy ul. Sienkiewicza 53a.

4. OPIS STANU ISTNIEJĄCEGO

W opracowaniu rozpatruje się dwa dachy:

- dach główny hali o stalowej konstrukcji nośnej wykonanej w postaci dźwigarów stalowych blachownicowych w rozstawie 6,0m, na których poprzecznie ułożono płatwie z kształtownika dwuteowego o wysokości 200mm, w rozstawie 2,5m. Na płatwiach ułożono pokrycie z płyt warstwowych z rdzeniem z pianki poliuretanowej grubości 10cm;
- dach pośredni nad łącznikiem stanowiący nawę boczną hali. Konstrukcji nośną stanowią płatwie z kształtownika dwuteowego o wysokości 160mm, w rozstawie 1,7m, których końce oparto bezpośrednio na ścianach nośnych. Na płatwiach ułożono pokrycie z płyt warstwowych z rdzeniem z pianki poliuretanowej grubości 10cm;

5. ZAŁOŻENIA OBLICZENIOWE I OBLICZENIA

W obliczeniach przyjęto symulację obciążeń dla zakładanego remontu pokrycia dachowego polegającego na wykonaniu nowego pokrycia dachowego poprzez ułożenie na istniejącym przekryciu styropapy o grubości max.12cm.

W opracowaniu przeprowadzono obliczenia dla obciążeń ustalonych w oparciu o normy:

PN-80/B-02010 PN-80/B-02010/Az1 - Obciążenie śniegiem;

PN-77/B-02011 - Obciążenie wiatrem

Obciążenia stałe przyjęto na podstawie normy PN-82/B-02001 - Obciążenia stałe, oraz na podstawie pomiarów istniejącego pokrycia i doboru typu płyty dachowej.

ZEBRANIE OBCIĄŻEŃ

obciążenia stałe

Obciążenie	Charakterystyczne [kN/m ²]	γ_f	Obliczeniowe [kN/m ²]
Papa układana podwójnie	0,15	1,2	0,18
Styropapa 12cm (0,05+0,12x45)	0,11	1,1	0,121
Płyta dachowa	0,13	1,1	0,143
Obciążenie stałe	0,39		0,444

obciążenia zmienne

obciążenie śniegiem

strefa obciążenia śniegiem I

wysokość nad poziomem morza: A=435m n.p.m.

$\gamma_f=1,5$

$C_1=0,8$ dla dachu głównego

$C_2=2,0$ dla dachu pośredniego

- obciążenie charakterystyczne:

$S_k=(0,007 \times A - 1,4) \times [C_1; C_2] = (0,007 \times 435 - 1,4) \times [0,8; 2] = [1,316; 3,29]$

- obciążenie obliczeniowe:

$S = S_k \times \gamma_f = [1,974; 4,935]$

Wyznaczone obciążenie odpowiada grubości 1,0m i 2,5m pokrywy śnieżnej.

obciążenie wiatrem:

czynnikiem dominującym w obciążeniu dachu w tym przypadku jest obciążenie śniegiem.

Z tego względu pominięto wyznaczenie obciążenia od wiatru.

Obliczenia przeprowadzono dla płatwi dachowych dachu głównego i pośredniego.

- dla dachu głównego płatew stalowa IPE 200 L=6,0m w rozstawie 2,5m;

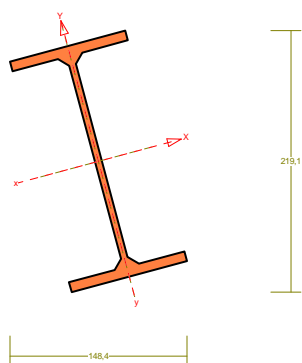
- dla dachu pośredniego płatew stalowa IPE 160 L=3,5m w rozstawie 1,7m;

OBLICZENIA:

Wariant z pełnym obciążeniem wyznaczonym powyżej

Płatew dachu głównego

Przekrój: I 200 PE



Wymiary przekroju:

I 200 PE $h=200,0$ $g=5,6$ $s=100,0$ $t=8,5$ $r=12,0$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=1940,0$ $J_{yg}=142,0$ $A=28,50$ $i_x=8,3$ $i_y=2,2$

$J_w=12988,1$ $J_t=6,3$ $i_s=8,5$.

Materiał: **St3S (X,Y,V,W)**. Wytrzymałość **$f_d=215$** MPa dla **$g=8,5$** .

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

Siły przekrojowe:

$x_a = 3,000$; $x_b = 3,000$.

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **A**

$M_x = -11,719$ kNm, $V_y = 0,000$ kN, $N = 0,000$ kN,

$M_y = 3,140$ kNm, $V_x = 0,000$ kN.

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 170,975$ MPa $\sigma_c = -170,975$ MPa.

Naprężenia:

$x_a = 3,000$; $x_b = 3,000$.

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 170,975$ MPa $\sigma_c = -170,975$ MPa.

Naprężenia:

- normalne: $\sigma = 0,000$ $\Delta\sigma = 170,975$ MPa $\psi_{oc} = 1,000$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,000 / 1,000 + 170,975 = 170,975 < 215 \text{ MPa}$$

Długości wyboczeniowe pręta:

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

$\kappa_a = 1,000$ $\kappa_b = 1,000$ węzły nieprzesuwne $\Rightarrow \mu = 1,000$ dla $l_o = 6,000$

$$l_w = 1,000 \times 6,000 = 6,000 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$\kappa_a = 1,000$ $\kappa_b = 1,000$ węzły nieprzesuwne $\Rightarrow \mu = 1,000$ dla $l_o = 6,000$

$$l_w = 1,000 \times 6,000 = 6,000 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_{\omega} = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega o} = 6,000$ m. Długość wyboczeniowa $l_{\omega} = 6,000$ m.

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 0 \times 1940,0}{6,000^2} 10^{-2} = 1090,317 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 0 \times 142,0}{6,000^2} 10^{-2} = 79,807 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EJ_{\varpi}}{l_{\varpi}^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{8,5^2} \left(\frac{3,14^2 \times 0 \times 12988,1}{6,000^2} 10^{-2} + 80 \times 6,3 \times 10^2 \right) = 785,260 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem $l_1 = l_{ow} = 6000$ mm:

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 22}{0,400} \times \sqrt{215 / 215} = 1960 < 6000 = l_1$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwichrzeniem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_o = 0,00$ cm. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00$ cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 0,000$, $B = 0,000$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 79,807 + \sqrt{(0,000 \times 79,807)^2 + 0,000^2 \times 0,085^2 \times 79,807 \times 785,260} = 0,000$$

Przyjęto, że pręt jest zabezpieczony przed zwichrzeniem: $\bar{\lambda}_L = 0$.

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 3,000$; $x_b = 3,000$.

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 194,0 \times 215 \times 10^{-3} = 41,710 \text{ kNm}$$

- względem osi Y

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 28,4 \times 215 \times 10^{-3} = 6,106 \text{ kNm}$$

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

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{11,719}{1,000 \times 41,710} + \frac{3,140}{6,106} = 0,795 < 1$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$; $x_b = 6,000$.

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 11,2 \times 215 \times 10^{-1} = 139,664 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 83,798 \text{ kN}$$

- wzdłuż osi X

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 17,0 \times 215 \times 10^{-1} = 211,990 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,3 V_R = 63,597 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } V = 7,813 < 139,664 = V_R$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi X: } V = 2,093 < 211,990 = V_R$$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 3,000$; $x_b = 3,000$.

- dla zginania względem osi X: $V_y = 0,000 < 83,798 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 41,710 \text{ kNm}$$

- dla zginania względem osi Y: $V_x = 0,000 < 63,597 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 6,106 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{R_x, V}} + \frac{M_y}{M_{R_y, V}} = \frac{11,719}{41,710} + \frac{3,140}{6,106} = 0,795 < 1$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 0,000$; $x_b = 6,000$.

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $c = 100,0 \text{ mm}$.

Naprężenia ściskające w środku wynoszą $\sigma_c = 0,000 \text{ MPa}$. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną:

$$P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 202,5 \times 5,6 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 243,810 \text{ kN}$$

Warunek nośności środka:

$$P = 0,000 < 243,810 = P_{R,W}$$

Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 11,0 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 6000 / 250 = 24,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 11,0 < 24,0 = a_{\text{gr}}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 40,1 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 6000 / 250 = 24,0 \text{ mm}$$

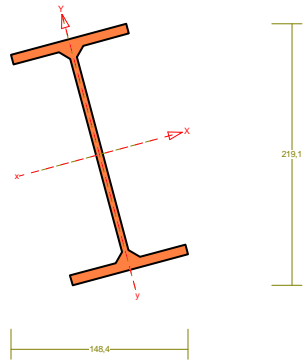
$$a_{\max} = 40,1 > 24,0 = a_{\text{gr}}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = \sqrt{40,1^2 + 11,0^2} = 41,6$$

Wariant z obciążeniem zredukowanym dla grubości pokrywy śnieżnej 35cm

Przekrój: I 200 PE



Wymiary przekroju:

I 200 PE $h=200,0$ $g=5,6$ $s=100,0$ $t=8,5$ $r=12,0$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=1940,0$ $J_{yg}=142,0$ $A=28,50$ $i_x=8,3$ $i_y=2,2$

$J_w=12988,1$ $J_t=6,3$ $i_s=8,5$.

Materiał: **St3S (X,Y,V,W)**. Wytrzymałość **$f_d=215$** MPa dla **$g=8,5$** .

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

Siły przekrojowe:

$x_a = 3,000$; $x_b = 3,000$.

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **A**

$M_x = -6,720$ kNm, $V_y = 0,000$ kN, $N = 0,000$ kN,

$M_y = 1,801$ kNm, $V_x = 0,000$ kN.

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 98,047$ MPa $\sigma_c = -98,047$ MPa.

Naprężenia:

$x_a = 3,000$; $x_b = 3,000$.

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 98,047$ MPa $\sigma_c = -98,047$ MPa.

Naprężenia:

- normalne: $\sigma = 0,000$ $\Delta\sigma = 98,047$ MPa $\psi_{oc} = 1,000$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,000 / 1,000 + 98,047 = 98,047 < 215 \text{ MPa}$$

Długości wyboczeniowe pręta:

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

$\kappa_a = 1,000$ $\kappa_b = 1,000$ węzły nieprzesuwne $\Rightarrow \mu = 1,000$ dla $l_o = 6,000$

$$l_w = 1,000 \times 6,000 = 6,000 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$\kappa_a = 1,000$ $\kappa_b = 1,000$ węzły nieprzesuwne $\Rightarrow \mu = 1,000$ dla $l_o = 6,000$

$$l_w = 1,000 \times 6,000 = 6,000 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{ow} = 6,000$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 6,000$ m.

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 0 \times 1940,0}{6,000^2} 10^{-2} = 1090,317 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 0 \times 142,0}{6,000^2} 10^{-2} = 79,807 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{8,5^2} \left(\frac{3,14^2 \times 0 \times 12988,1}{6,000^2} 10^{-2} + 80 \times 6,3 \times 10^2 \right) = 785,260 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem $l_1 = l_{ow} = 6000$ mm:

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 22}{0,400} \times \sqrt{215 / 215} = 1960 < 6000 = l_1$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwichrzeniem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_o = 0,00$ cm. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00$ cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 0,000$, $B = 0,000$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 79,807 + \sqrt{(0,000 \times 79,807)^2 + 0,000^2 \times 0,085^2 \times 79,807 \times 785,260} = 0,000$$

Przyjęto, że pręt jest zabezpieczony przed zwichrzeniem: $\bar{\lambda}_L = 0$.

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 3,000$; $x_b = 3,000$.

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 194,0 \times 215 \times 10^{-3} = 41,710 \text{ kNm}$$

- względem osi Y

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 28,4 \times 215 \times 10^{-3} = 6,106 \text{ kNm}$$

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

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{6,720}{1,000 \times 41,710} + \frac{1,801}{6,106} = 0,456 < 1$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$; $x_b = 6,000$.

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 11,2 \times 215 \times 10^{-1} = 139,664 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 83,798 \text{ kN}$$

- wzdłuż osi X

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 17,0 \times 215 \times 10^{-1} = 211,990 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,3 V_R = 63,597 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } V = 4,480 < 139,664 = V_R$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi X: } V = 1,200 < 211,990 = V_R$$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 3,000$; $x_b = 3,000$.

- dla zginania względem osi X: $V_y = 0,000 < 83,798 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 41,710 \text{ kNm}$$

- dla zginania względem osi Y: $V_x = 0,000 < 63,597 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 6,106 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{Rx, V}} + \frac{M_y}{M_{Ry, V}} = \frac{6,720}{41,710} + \frac{1,801}{6,106} = 0,456 < 1$$

Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 0,000$; $x_b = 6,000$.

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $c = 100,0$ mm.

Naprężenia ściskające w środniku wynoszą $\sigma_c = 0,000$ MPa. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,000$$

Nośność środnika na siłę skupioną:

$$P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 202,5 \times 5,6 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 243,810 \text{ kN}$$

Warunek nośności środnika:

$$P = 0,000 < 243,810 = P_{R,W}$$

Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 6,2 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 6000 / 250 = 24,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 6,2 < 24,0 = a_{\text{gr}}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 22,9 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 6000 / 250 = 24,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 22,9 < 24,0 = a_{\text{gr}}$$

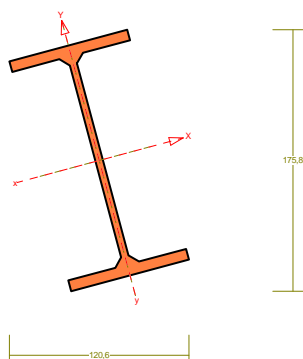
Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = \sqrt{22,9^2 + 6,2^2} = 23,7$$

Płatew dachu pośredniego

Wariant z pełnym obciążeniem wyznaczonym w punkcie 5

Przekrój: I 160 PE



Wymiary przekroju:

I 160 PE $h=160,0$ $g=5,0$ $s=82,0$ $t=7,4$ $r=9,0$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=869,0$ $J_{yg}=68,3$ $A=20,10$ $i_x=6,6$ $i_y=1,8$

$J_w=3958,9$ $J_t=3,4$ $i_s=6,8$.

Materiał: **St3S (X,Y,V,W)**. Wytrzymałość **fd=215** MPa dla **g=7,4**.

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

Siły przekrojowe:

$x_a = 1,750$; $x_b = 1,750$.

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **B**

$$\begin{aligned} M_x &= -9,501 \text{ kNm}, & V_y &= -0,000 \text{ kN}, & N &= 0,000 \text{ kN}, \\ M_y &= 2,546 \text{ kNm}, & V_x &= -0,000 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 240,286 \text{ MPa}$ $\sigma_c = -240,286 \text{ MPa}$.

Naprężenia:

$x_a = 1,750$; $x_b = 1,750$.

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 240,286 \text{ MPa}$ $\sigma_c = -240,286 \text{ MPa}$.

Naprężenia:

$$\text{- normalne: } \sigma = 0,000 \quad \Delta\sigma = 240,286 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,000 / 1,000 + 240,286 = 240,286 > 215 \text{ MPa}$$

Długości wyboczeniowe pręta:

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

$$\begin{aligned} \kappa_a &= 1,000 & \kappa_b &= 1,000 & \text{węzły nieprzesuwne} &\Rightarrow \mu = 1,000 & \text{dla } l_o = 3,500 \\ l_w &= 1,000 \times 3,500 = 3,500 \text{ m} \end{aligned}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\begin{aligned} \kappa_a &= 1,000 & \kappa_b &= 1,000 & \text{węzły nieprzesuwne} &\Rightarrow \mu = 1,000 & \text{dla } l_o = 3,500 \\ l_w &= 1,000 \times 3,500 = 3,500 \text{ m} \end{aligned}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_{\omega} = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{ow} = 3,500 \text{ m}$. Długość wyboczeniowa $l_{\omega} = 3,500 \text{ m}$.

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 0 \times 869,0}{3,500^2} 10^{-2} = 1435,282 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 0 \times 68,3}{3,500^2} 10^{-2} = 112,808 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EJ_{\omega}}{l_{\omega}^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{6,8^2} \left(\frac{3,14^2 \times 0 \times 3958,9}{3,500^2} 10^{-2} + 80 \times 3,4 \times 10^2 \right) = 727,160 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem $l_1 = l_{ow} = 3500 \text{ mm}$:

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 18}{0,400} \times \sqrt{215 / 215} = 1610 < 3500 = l_1$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwichrzeniem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_o = 0,00 \text{ cm}$. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00 \text{ cm}$. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 0,000$, $B = 0,000$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 112,808 + \sqrt{(0,000 \times 112,808)^2 + 0,000^2 \times 0,068^2 \times 112,808 \times 727,160} = 0,000$$

Przyjęto, że pręt jest zabezpieczony przed zwichrzeniem: $\bar{\lambda}_L = 0$.

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 1,750$; $x_b = 1,750$.

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 108,6 \times 215 \times 10^{-3} = 23,354 \text{ kNm}$$

- względem osi Y

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 16,7 \times 215 \times 10^{-3} = 3,582 \text{ kNm}$$

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

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{9,501}{1,000 \times 23,354} + \frac{2,546}{3,582} = 1,118 > 1$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 3,500$; $x_b = 0,000$.

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 8,0 \times 215 \times 10^{-1} = 99,760 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 59,856 \text{ kN}$$

- wzdłuż osi X

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 12,1 \times 215 \times 10^{-1} = 151,336 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,3 V_R = 45,401 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } V = 10,858 < 99,760 = V_R$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi X: } V = 2,909 < 151,336 = V_R$$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 1,750$; $x_b = 1,750$.

- dla zginania względem osi X: $V_y = 0,000 < 59,856 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 23,354 \text{ kNm}$$

- dla zginania względem osi Y: $V_x = 0,000 < 45,401 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 3,582 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{Rx,V}} + \frac{M_y}{M_{Ry,V}} = \frac{9,501}{23,354} + \frac{2,546}{3,582} = 1,118 > 1$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 0,000$; $x_b = 3,500$.

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $c = 100,0 \text{ mm}$.

Naprężenia ściskające w środku wynoszą $\sigma_c = 0,000 \text{ MPa}$. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną:

$$P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 182,0 \times 5,0 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 195,650 \text{ kN}$$

Warunek nośności środka:

$$P = 0,000 < 195,650 = P_{R,W}$$

Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 6,8 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 3500 / 250 = 14,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 6,8 < 14,0 = a_{\text{gr}}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 23,1 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 3500 / 250 = 14,0 \text{ mm}$$

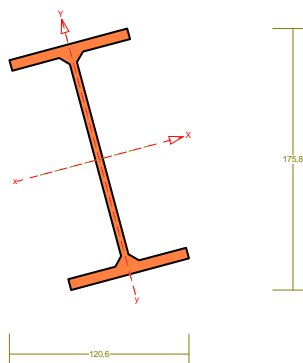
$$a_{\max} = 23,1 > 14,0 = a_{\text{gr}}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = \sqrt{23,1^2 + 6,8^2} = 24,1$$

Wariant z obciążeniem zredukowanym dla grubości pokrywy śnieżnej 35cm

Przekrój: I 160 PE



Wymiary przekroju:

I 160 PE $h=160,0$ $g=5,0$ $s=82,0$ $t=7,4$ $r=9,0$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=869,0$ $J_{yg}=68,3$ $A=20,10$ $i_x=6,6$ $i_y=1,8$

$J_w=3958,9$ $J_t=3,4$ $i_s=6,8$.

Materiał: **St3S (X,Y,V,W)**. Wytrzymałość **fd=215** MPa dla **g=7,4**.

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

Siły przekrojowe:

$x_a = 1,750$; $x_b = 1,750$.

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **A**

$$M_x = -2,919 \text{ kNm}, \quad V_y = -0,000 \text{ kN}, \quad N = 0,000 \text{ kN},$$

$$M_y = 0,782 \text{ kNm}, \quad V_x = -0,000 \text{ kN}.$$

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 73,825 \text{ MPa}$ $\sigma_c = -73,825 \text{ MPa}$.

Naprężenia:

$x_a = 1,750$; $x_b = 1,750$.

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 73,825 \text{ MPa}$ $\sigma_c = -73,825 \text{ MPa}$.

Naprężenia:

$$\text{- normalne:} \quad \sigma = 0,000 \quad \Delta\sigma = 73,825 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,000 / 1,000 + 73,825 = 73,825 < 215 \text{ MPa}$$

Długości wyboczeniowe pręta:

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

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 3,500$$

$$l_w = 1,000 \times 3,500 = 3,500 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 3,500$$

$$l_w = 1,000 \times 3,500 = 3,500 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_{\omega} = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega o} = 3,500 \text{ m}$. Długość wyboczeniowa $l_{\omega} = 3,500 \text{ m}$.

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 0 \times 869,0}{3,500^2} 10^{-2} = 1435,282 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 0 \times 68,3}{3,500^2} 10^{-2} = 112,808 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EJ_{\omega}}{l_{\omega}^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{6,8^2} \left(\frac{3,14^2 \times 0 \times 3958,9}{3,500^2} 10^{-2} + 80 \times 3,4 \times 10^2 \right) = 727,160 \text{ kN}$$

Zwicherungie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem $l_1 = l_{\omega o} = 3500 \text{ mm}$:

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 18}{0,400} \times \sqrt{215 / 215} = 1610 < 3500 = l_1$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwicherungiem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_o = 0,00 \text{ cm}$. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00 \text{ cm}$. Przyjęto następujące wartości parametrów zwicherungia: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 0,000$, $B = 0,000$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 112,808 + \sqrt{(0,000 \times 112,808)^2 + 0,000^2 \times 0,068^2 \times 112,808 \times 727,160} = 0,000$$

Przyjęto, że pręt jest zabezpieczony przed zwicherungiem: $\bar{\lambda}_L = 0$.

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 1,750$; $x_b = 1,750$.

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 108,6 \times 215 \times 10^{-3} = 23,354 \text{ kNm}$$

- względem osi Y

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 16,7 \times 215 \times 10^{-3} = 3,582 \text{ kNm}$$

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

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{2,919}{1,000 \times 23,354} + \frac{0,782}{3,582} = 0,343 < 1$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$; $x_b = 3,500$.

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 8,0 \times 215 \times 10^{-1} = 99,760 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 59,856 \text{ kN}$$

- wzdłuż osi X

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 12,1 \times 215 \times 10^{-1} = 151,336 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,3 V_R = 45,401 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } V = 3,336 < 99,760 = V_R$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi X: } V = 0,894 < 151,336 = V_R$$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 1,750$; $x_b = 1,750$.

- dla zginania względem osi X: $V_y = 0,000 < 59,856 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 23,354 \text{ kNm}$$

- dla zginania względem osi Y: $V_x = 0,000 < 45,401 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 3,582 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{R,x,V}} + \frac{M_y}{M_{R,y,V}} = \frac{2,919}{23,354} + \frac{0,782}{3,582} = 0,343 < 1$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 0,000$; $x_b = 3,500$.

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $c = 100,0 \text{ mm}$.

Naprężenia ściskające w środku wynoszą $\sigma_c = 0,000 \text{ MPa}$. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną:

$$P_{R,w} = c_o t_w \eta_c f_d = 182,0 \times 5,0 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 195,650 \text{ kN}$$

Warunek nośności środka:

$$P = 0,000 < 195,650 = P_{R,w}$$

Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 2,1 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 3500 / 250 = 14,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 2,1 < 14,0 = a_{\text{gr}}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 7,1 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 3500 / 250 = 14,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 7,1 < 14,0 = a_{\text{gr}}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = \sqrt{7,1^2 + 2,1^2} = 7,4$$

6. WNIOSKI

Na podstawie wykonanych obliczeń w przypadku przyjęcia pełnego obciążenia jakie określają polskie normy stan graniczny użytkowania jest przekroczony dla obu dachów. W związku z czym konieczne jest ograniczenie obciążenia co pokazuje drugi przypadek obliczeń. Grubość pokrywy śnieżnej przy jakiej dach powinien zostać odśnieżony nie powinna przekraczać 35cm.