

Spis treści

Spis treści.....	2
1. Opis techniczny.....	4
1.1. Podstawa formalna	4
1.2. Wstępne założenia	4
1.3. Przedmiot opracowania	4
1.4. Zakres projektu	4
1.5. Ogólna koncepcja konstrukcji	5
1.6. Opis poszczególnych elementów.....	5
1.7. Podstawa normowa obliczeń	5
1.8. Metoda obliczeń statycznych.....	6
1.9. Materiały konstrukcyjne	6
1.10. Badania geotechniczne.	6
1.11. Ukształtowanie pierwotnej i projektowanej powierzchni terenu	6
1.12. Wymagana klasa odporności ogniowej	6
1.13. Agresywność środowiska	6
1.14. Ogólne zasady montażu.....	7
2. Założenia	8
3. Poszycie dachowe.....	9
3.1. Zestawienie obciążeń.....	9
3.2. Obliczenia statyczne	10
3.3. Sprawdzenie stanów granicznych.....	10
4. Obudowa ścienna.....	11
4.1. Zestawienie obciążeń.....	11
4.2. Sprawdzenie stanów granicznych.....	11
5. Płatew dachowa	12
5.1. Zestawienie obciążeń na jednostkę długości płatwi	12
5.2. Składowe obciążeń płatwi	13
5.3. Obliczenia statyczne	13
5.4. Stan graniczny nośności	14

5.5. Stan graniczny użytkowości	17
6. Rygiel ścienny.....	18
7. Główny układ poprzeczny	19
7.1. Zestawienie obciążeń.....	19
7.2. Kombinacje obciążeń	21
7.3. Obliczenia statyczne	21
7.4. Wymiarowanie elementów konstrukcji stalowej.....	23
8. Tarcza z blachy fałdowej.....	27
8.1. Założenia wstępne i parametry do dalszych obliczeń	27
8.1.1. Nośność wkrętów samowiercących na docisk (połączenie główne i pośrednie): 28	
8.1.2. Nośność wkrętów samowiercących na docisk (połączenie uszczelniające):	28
8.2. Obliczenie nośności przepony	30
8.3. Obliczenie podatności przepony.....	31
8.4. Rozdział obciążeń na ramę i na tarczę dachu	32
8.5. Rozdział obciążenia- współpraca tarczy z układem ramowym.....	35
8.6. Siły ścinające w przeponach po uwzględnieniu współpracy.....	37
8.7. Siły wewnętrzne po uwzględnieniu współpracy:	38
9. Stężenia.....	40
9.1. Stężenia pionowe w ścianie podłużnej	40
9.1.1. Schemat statyczny	40
9.1.2. Obliczenia statyczne.....	40
9.2. Stężenie pionowe ściany szczytowej.....	41
9.2.1. Schemat statyczny	41
9.2.2. Obliczenia statyczne.....	41
9.2.3. Wymiarowanie prętów	41
10. Podsumowanie i wnioski	42

1. Opis techniczny

1.1. Podstawa formalna

Temat projektu „Hala stalowa ze współpracującym pokryciem, z pełnościennym rygłem dachowym”, został wydany przez Katedrę Konstrukcji Budowlanych Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej.

1.2. Wstępne założenia

Projektowany obiekt ma wymiary w rzucie: 24,0 x 49,0 m.

Dane wyjściowe:

- Wymiary budynku w osiach ścian: 49,0 x 24,0 m
- Liczba głównych układów poprzecznych: 8
- Wysokość (od posadzki do osi rygła przy niższym słupie): 4,60 m
- Spadek dachu: 12%
- Blacha fałdowa: wysokość fałdy 90 [mm]
- Gatunek stali: S420
- Obciążenie wiatrem: $w_p = 0,47 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$; $w_s = 0,48 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$
- Obciążenie śniegiem: $s_k = 1,10 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$

1.3. Przedmiot opracowania

Przedmiotem opracowania jest projekt przykrycia hali stalowej w postaci przepony wykonanej z blachy fałdowej.

1.4. Zakres projektu

W zakres opracowania wchodzi:

- Opis techniczny,
- Dobór lekkiej obudowy,
- Obliczenia nośności i podatności przepony,
- Obliczenia statyczne z uwzględnieniem współpracy blachy fałdowej,
- Dobór i sprawdzenie nośności płatwi pośredniej, dźwigara, słupa głównego i potrzebnych stężeń,

- Rysunki:
 - rzut skala 1:100,
 - przekrój poprzeczny hali skala 1:100,
 - przepona z blachy fałdowej skala 1:100,
 - szczegóły montażowe skala 1:10.

1.5. Ogólna koncepcja konstrukcji

Budynek zaprojektowano na planie prostokąta o wymiarach 24,00 x 49,00 m. Elementem nośnym projektowanego budynku jest rama z dźwigarem pełnościennym. Obiekt składa się z 8 głównych układów poprzecznych o rozstawie 7,00 m. Dach zaprojektowano jako jednospadowy o 12 % spadku. Pokrycie dachu to blacha fałdowa Pruszyński –T92 o gr.0,88mm. W projekcie uwzględniono współpracę tarczy dachowej z układem ramowym, co pozwoliło zredukować w znacznym stopniu wartości momentów zginających oraz przemieszczeń węzłowych.

1.6. Opis poszczególnych elementów

- Blacha fałdowa- Pruszyński T92 (pozytyw) o grubości 0,88 mm, wykonana ze stali S420;
- Płatew z kształtownika IPE200 zaprojektowano jako 5-przęsłową belkę ciągłą o rozstawie podpór równym 7,00 m;
- Dźwigar pełnościenny z kształtownika IPE550 wykonany ze stali S420;
- Słup z kształtownika HEA320; połączenie słupa z dźwigarem oraz połączenie słupa z fundamentem zaprojektowano jako utwierdzone;
- Stężenia ściany podłużnej oraz połączenia dachowej zaprojektowano z L30x30x4;
- Stężenie ściany szczytowej zaprojektowano z L20x20x3;
- Stężenie przęsła płatwi zaprojektowano z rury okrągłej RO 25x25x4.

1.7. Podstawa normowa obliczeń

- Ciężar własny obudowy przyjęto według: PN-EN 1991-1-1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne – Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenie użytkowe w budynkach.

- Oddziaływania klimatyczne przyjęto według: PN-EN 1991-1-3. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem.; PN-EN 1991-1-4. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Obciążenie wiatru.
- Wymiarowanie elementów konstrukcji wykonano przy użyciu programu "Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018, który bazuje na obowiązujących Eurokodach.

1.8. Metoda obliczeń statycznych

Wymiarowanie elementów konstrukcyjnych obiektu przeprowadzono za pomocą programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018. Ręcznie została obliczona nośność i podatność przepony.

W obliczeniach uwzględniono współpracę tarczy dachowej z układem ramowym, co spowodowało znaczne zmniejszenie wartości sił wewnętrznych oraz zmniejszenie wartości przemieszczeń węzłowych.

1.9. Materiały konstrukcyjne

Stal konstrukcyjna S420 o granicy plastyczności $f_y = 420 \frac{N}{mm^2}$.

1.10. Badania geotechniczne.

Nie dotyczy.

1.11. Ukształtowanie pierwotnej i projektowanej powierzchni terenu

Nie dotyczy.

1.12. Wymagana klasa odporności ogniowej

Nie dotyczy.

1.13. Agresywność środowiska

Nie dotyczy.

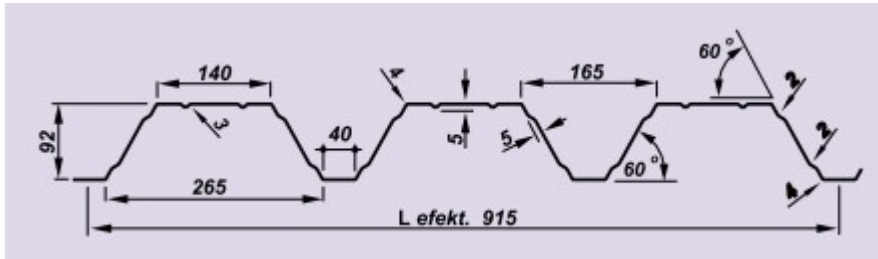
1.14. Ogólne zasady montażu

Montaż powinien być prowadzony zgodnie z dokumentacją oraz sztuką inżynierską.

3. Poszycie dachowe

3.1. Zestawienie obciążeń

Przyjęto blachę trapezową T92 firmy Pruszyński, o grubości 0,88mm. Przyjęto schemat belki dwuprzęsłowej, o długości przęsła 3,0 m.



- Zestawienie obciążeń stałych:

Material	Ciężar objętościowy	Grubość warstwy	Ciężar powierzchniowy
Jednostka	[kN/m ³]	[m]	[kN/m ²]
Membrana dachowa	-	-	0,15
Wełna mineralna twarda	2,0	0,2	0,4
Folia PE	-	-	0,01
Blacha T92	-	-	0,07
		Razem	0,63

- Zestawienie obciążeń zmiennych:

- Obciążenie śniegiem:

$$s_k = 1,10 \frac{kN}{m^2}$$

- Obciążenie wiatrem:

$$w_s = 0,48 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_p = 0,47 \frac{kN}{m^2}$$

- Obciążenie użytkowe:

$$q_k = 0,40 \frac{kN}{m^2}$$

3.2. Obliczenia statyczne

- SGN:

Kombinacja 1:

$$\gamma_{G,sup} \cdot g_k + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot s_k$$
$$p_1 = 1,35 \cdot 0,63 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,10 = 1,66 \frac{kN}{m^2}$$

Kombinacja 2:

$$\xi_j \cdot \gamma_{G,sup} \cdot g_k + \gamma_{Q,1} \cdot s_k + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot w_p$$
$$p_2 = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 0,63 + 1,5 \cdot 1,10 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,47 = 2,77 \frac{kN}{m^2}$$

- SGU:

Kombinacja 3:

$$g_k + s_k + \psi_{0,1} \cdot w_p$$
$$p_3 = 0,63 + 1,10 + 0,6 \cdot 0,47 = 1,99 \frac{kN}{m^2}$$

3.3. Sprawdzenie stanów granicznych

- SGN:

$$p_2 = 2,77 \frac{kN}{m^2} < q_{dop} = 3,09 \frac{kN}{m^2}$$

Warunek został spełniony.

- SGU:

$$p_3 = 1,99 \frac{kN}{m^2} < q_{dop} = 3,09 \frac{kN}{m^2}$$

Warunek został spełniony.

4. Obudowa ścienna

4.1. Zestawienie obciążeń

Przyjęto płytę warstwową firmy Ruukki SP2B 60 AGIPRO:

- Wartości charakterystyczne:

$$\text{Parcie wiatru: } w_p = e_{k,1} = 0,47 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Ssanie wiatru: } w_s = e_{k,2} = 0,48 \frac{kN}{m^2}$$

- Wartości obliczeniowe:

$$\text{Parcie wiatru: } w_p = e_{d,1} = 0,47 \cdot 1,5 = 0,71 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Ssanie wiatru: } w_s = e_{d,2} = 0,48 \cdot 1,5 = 0,72 \frac{kN}{m^2}$$

Przyjęto schemat belki jednoprzęsłowej o długości przęsła 3,5 m, obudowa będzie mocowana do słupów głównych oraz słupów pośrednich.

4.2. Sprawdzenie stanów granicznych

- SGN:

Parcie:

$$e_{d,1} = 0,71 \frac{kN}{m^2} < P_{dop} = 1,44 \frac{kN}{m^2} \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

Ssanie:

$$e_{d,2} = 0,72 \frac{kN}{m^2} < P_{dop} = 1,79 \frac{kN}{m^2} \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

- SGU:

Parcie:

$$e_{k,1} = 0,47 \frac{kN}{m^2} < P_{dop} = 0,88 \frac{kN}{m^2} \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

Ssanie:

$$e_{k,2} = 0,48 \frac{kN}{m^2} < P_{dop} = 0,93 \frac{kN}{m^2} \rightarrow \text{warunek spełniony}$$

- Obciążenie z płyt warstwowych:

$$0,26 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,0 m = 1,82 kN/m$$

5. Płatew dachowa

Przyjęto schemat statyczny belki ciągłej 5-przęsłowej, o długości przęsła 7,0 m.

Płatew zaprojektowano z kształtownika IPE180.

5.1. Zestawienie obciążeń na jednostkę długości płatwi

$$a_{\text{płatwi}} = 3,0 \text{ m}$$

$$\alpha = 12\% = 7^\circ$$

$$c = \frac{a_{\text{płatwi}}}{\cos \alpha} = \frac{3,00}{\cos 7^\circ} = 3,02 \text{ m}$$

- Zestawienie obciążeń stałych:

- Ciężar poszycia dachowego:

$$0,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,02 \text{ m} = 1,90 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Ciężar własny płatwi: $0,19 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

- Ciężar tężników:

$$0,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,02 \text{ m} = 0,30 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Ciężar podwieszanych instalacji:

$$0,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,02 \text{ m} = 0,30 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Razem obciążenia stałe: $g_k = 2,66 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

- Zestawienie obciążeń zmiennych:

- Obciążenie śniegiem:

$$s_k = 1,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,02 \text{ m} = 3,32 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Obciążenie użytkowe: dla dachów kategorii H może zostać pominięte

- Obciążenie wiatrem:

Ssanie:

$$w_s = 0,48 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3,02 \text{ m} = 1,42 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

5.2. Składowe obciążeń płatwi

- Oddziaływania prostopadłe do połaci dachu:

$$g_{z,k} = g_k \cdot \cos \alpha = 2,66 \frac{kN}{m} \cdot \cos 7^\circ = 2,64 \frac{kN}{m}$$

$$s_{z,k} = s_k \cdot \cos \alpha = 3,32 \frac{kN}{m} \cdot \cos 7^\circ = 3,30 \frac{kN}{m}$$

$$w_{z,p} = 0,47 \frac{kN}{m}$$

$$w_{z,s} = 0,48 \frac{kN}{m}$$

Przyjęto, że składowa obciążenia równoległego do połaci dachu będzie przejmowana przez tarczę z blachy faldowej. W takim przypadku płatew podlega jednokierunkowemu zginaniu, od obciążeń prostopadłych do połaci dachu.

5.3. Obliczenia statyczne

- SGN:

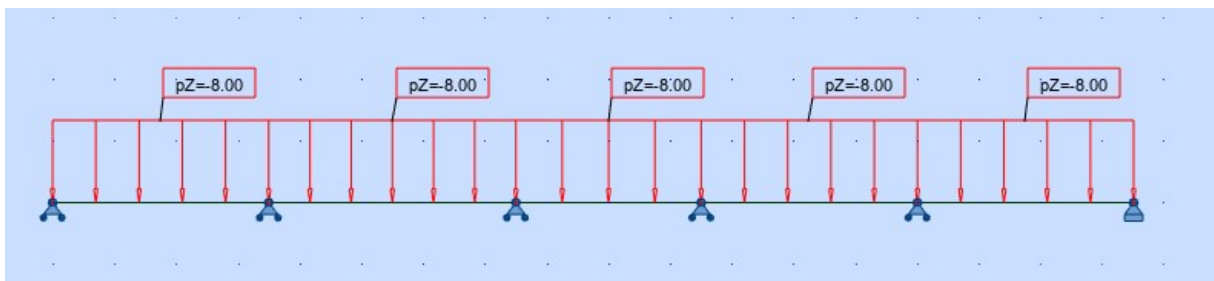
$$K1: \sum \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot \Psi_Q \cdot S_k = 1,35 \cdot 2,66 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 3,30 = 6,07 \frac{kN}{m}$$

$$K2: \sum \xi \cdot \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot S_k + \gamma_Q \cdot \Psi_Q \cdot w_s = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 2,66 + 1,5 \cdot 3,30 = \mathbf{8,00} \frac{kN}{m}$$

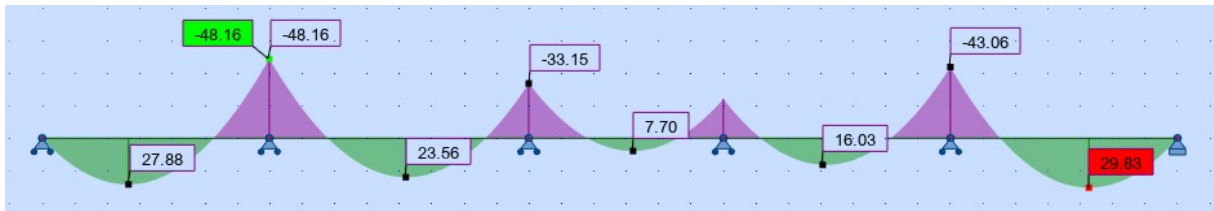
- SGU:

$$\sum g_k + S_k + \Psi_Q \cdot w_s = 2,66 + 3,30 + 0,6 \cdot 0,48 = \mathbf{6,25} \frac{kN}{m}$$

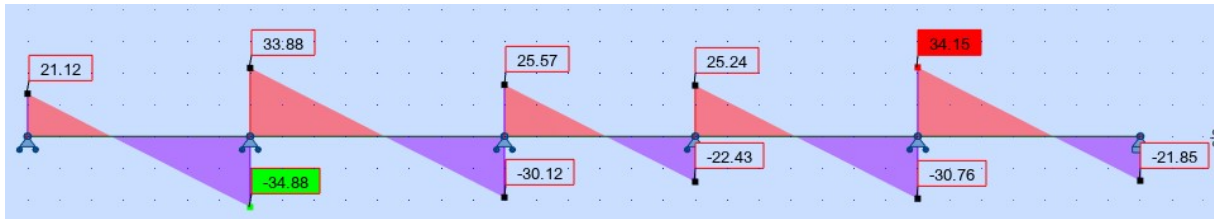
Schemat obciążenia płatwii:



Wykres momentów zginających:

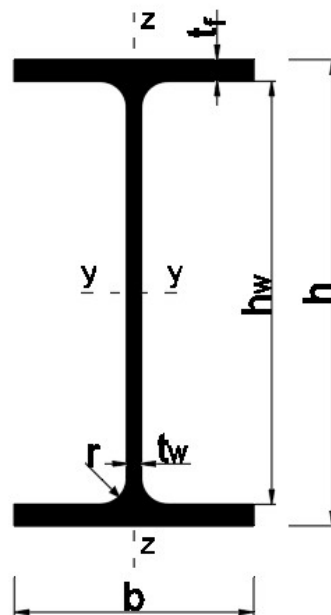


Wykres sił poprzecznych:



5.4. Stan graniczny nośności

Charakterystyki geometryczne przekroju IPE200:



$$h = 200 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$t_w = 5,6 \text{ mm}$$

$$t_f = 8,5 \text{ mm}$$

$$r = 12,0 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 194 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 221 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 1943 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 142 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_{v,z} = 14 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$$

$$A = 28,5 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$$

Parametry mechaniczne stali S420:

$$t_{max} = 7,4 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \rightarrow f_y = 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}; f_u = 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{420}} = 0,75$$

- Środek:

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2(t_f + r)}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot (8,5 + 12,0)}{5,6} = 28,39$$

Smukłość graniczna ścianki w przypadku klasy 1 wynosi $72\varepsilon = 72 \cdot 0,75 = 54$

- Pas:

$$\frac{c}{t} = \frac{0,5(b - t_w - 2r)}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (100 - 5,6 - 2 \cdot 12,0)}{8,5} = 4,14$$

Smukłość graniczna w przypadku klasy 1 wynosi $9\varepsilon = 9 \cdot 0,75 = 6,75$

Przekrój spełnia wymagania klasy 1.

Sprawdzenie nośności obliczeniowej przekroju

Nośność przekroju przy zginaniu:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 221 \cdot 10^3 \cdot \frac{420}{1,0} = 92,82 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 92,82 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{48,16}{92,82} = 0,52 < 1,0$$

Warunek nośności jest spełniony.

Sprawdzenie możliwości utraty stateczności miejscowej środnika przy ścinaniu:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{(200 - 2 \cdot 8,5)}{5,6} = 32,68 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,75}{1,0} = 54$$

Środnik nie jest narażony na miejscową utratę stateczności przy ścinaniu.

Nośność przekroju przy ścinaniu:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_{v,z} \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = 1400 \cdot \frac{\frac{420}{\sqrt{3}}}{1,0} = 339482 \text{ N} = 339,48 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{34,88}{339,48} = 0,10 < 1,0$$

Warunek nośności jest spełniony.

Wpływ siły poprzecznej na nośność przekroju przy zginaniu:

$$V_{Ed} = 34,88 \text{ kN} \leq 0,5V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 339,48 = 169,74 \text{ kN}$$

Siła poprzeczna nie ma wpływu na nośność przekroju przy zginaniu.

Nośność elementu przy zwichrzeniu

Analizę przeprowadzono w programie Autodesk Robot Structural Analysis, odczytano wartość momentu krytycznego:

$$M_{cr} = 63,27 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{221 \cdot 10^3 \cdot 420}{63,27 \cdot 10^6}} = 1,21$$

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \rightarrow \text{krzywa zwichrzenia „b”}, \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\Phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,21 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,21^2] = 1,19$$

Współczynnik zwichrzenia:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,19 + \sqrt{1,19^2 - 0,75 \cdot 1,21^2}} = 0,58$$

Sprawdzenie warunku nośności:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,58 \cdot 221 \cdot 10^3 \cdot \frac{420}{1,0} = 53,84 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 53,84 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{48,16}{53,84} = 0,90 < 1,0$$

Warunek nośności jest spełniony.

5.5. Stan graniczny użytkowości

Maksymalne ugięcie odczytano z programu ROBOT.

$$w_{max} = 27,0 \text{ mm} < w_{dop} = \frac{7000}{200} = 35,0 \text{ mm}$$

Warunek został spełniony.

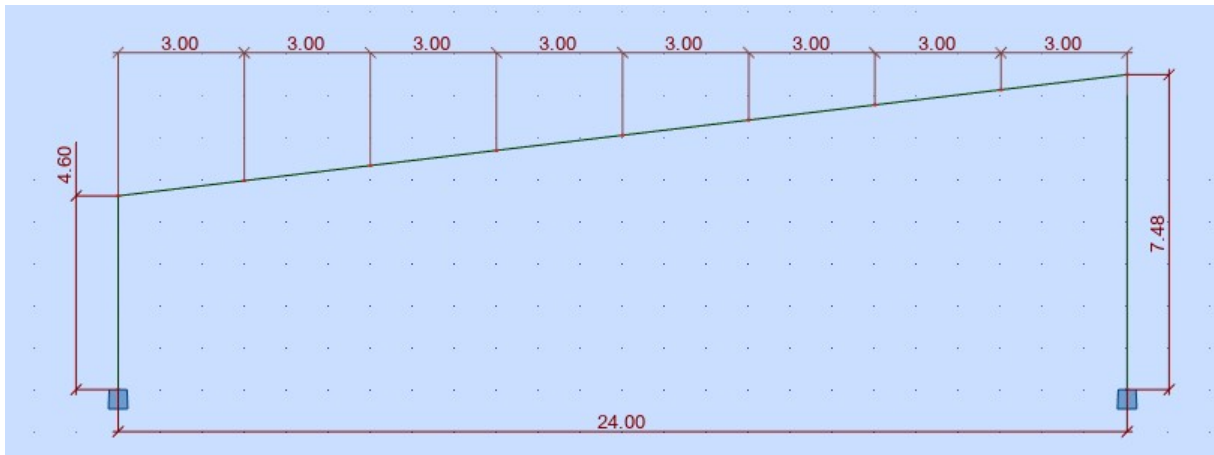
6. Rygiel ścienny

Przyjęto kształtownik RK120x120x6

Ciężar własny:

$$0,21 \text{ kN/m} \cdot 7,0 \text{ m} = 1,47 \text{ kN}$$

7. Główny układ poprzeczny



7.1. Zestawienie obciążeń

- Obciążenia stałe:

- Obciążenie pochodzące z płatwi:

$$g_k = 2,66 \cdot 7,0 = 18,62 \text{ kN}$$

- Obciążenie pochodzące od płyt warstwowych:

$$1,82 \text{ kN/m}$$

- Obciążenie pochodzące od rygli ściennych:

$$1,47 \text{ kN}$$

- Zestawienie obciążeń zmiennych:

- Obciążenie śniegiem:

$$s_k = 3,32 \cdot 7,0 = 23,24 \text{ kN}$$

- Obciążenie wiatrem:

$$w_s = 1,42 \cdot 7,0 = 9,94 \text{ kN}$$

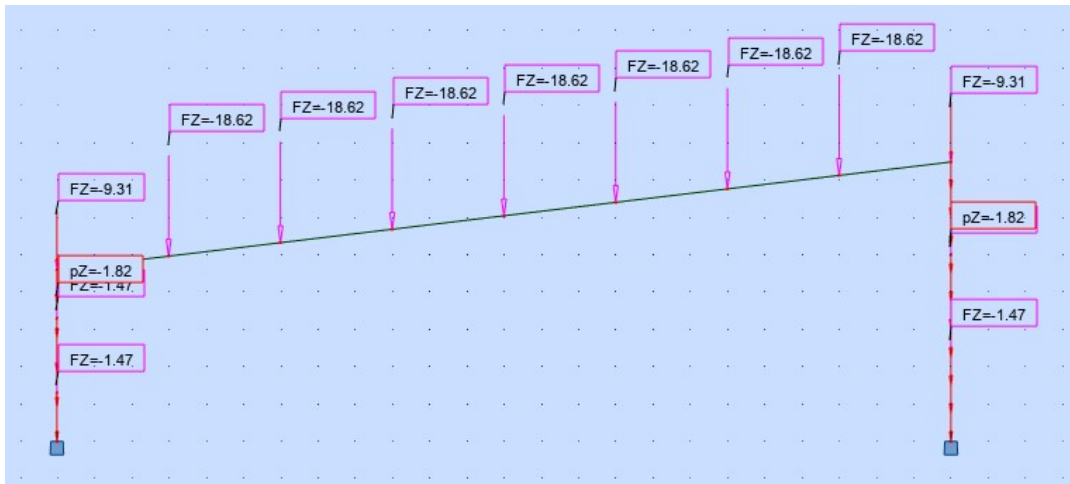
$$w_p = 1,45 \cdot 7,0 = 10,15 \text{ kN}$$

W programie obliczeniowym ARSA zdefiniowano poszczególne przypadki obciążeń działające na GUP. Siły działające na dach zestawiono w postaci sił skupionych od płatwi dachowych.

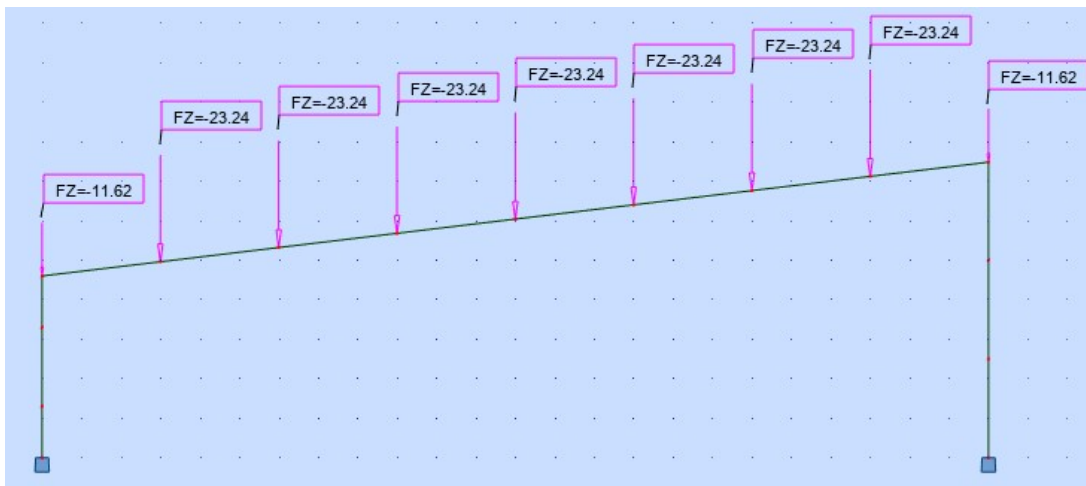
Układ rozpatrywany jest jako rama płaska. Węzły ramy przyjęto jako:

- sztywne w podstawach słupów (utwierdzone w fundamencie),
- sztywne w połączeniu słupa z ryglem.

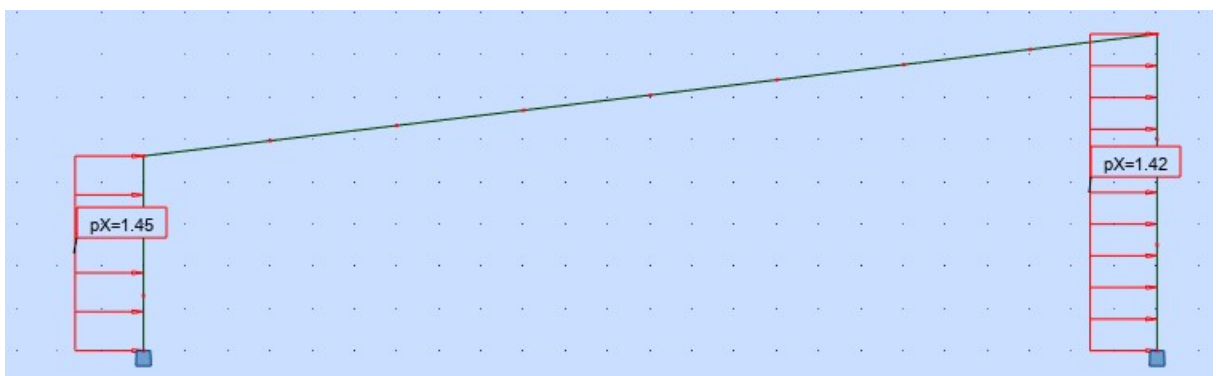
Schemat obciążeń stałych G:



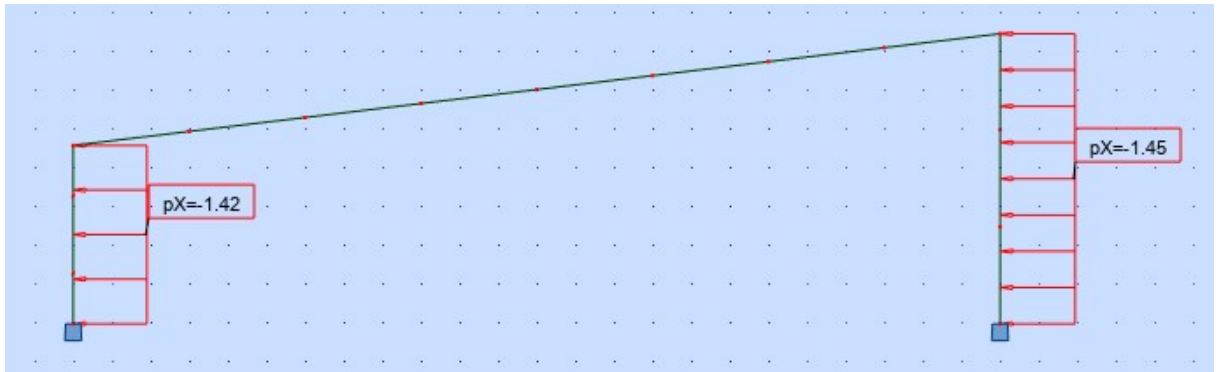
Schemat obciążenia śniegiem S:



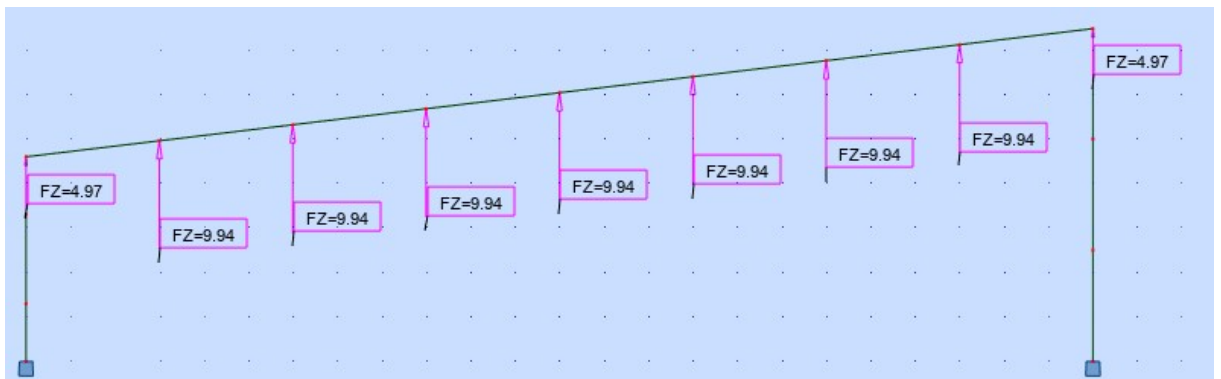
Schemat obciążenia wiatrem ścian W1:



Schemat obciążenia wiatrem ścian W2:



Schemat obciążenia wiatrem dachu:



7.2. Kombinacje obciążeń

W programie obliczeniowym stworzono kombinacje obliczeniowe dla SGN w celu wstępnego wymiarowania głównych elementów konstrukcji obiektu.

Kombinacje niekorzystne:

$$K1: 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W1 + W3)$$

$$K2: 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W2 + W3)$$

$$K3: 0,85 \cdot 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W1 + W3)$$

$$K4: 0,85 \cdot 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (W2 + W3)$$

Kombinacje korzystne (unoszące):

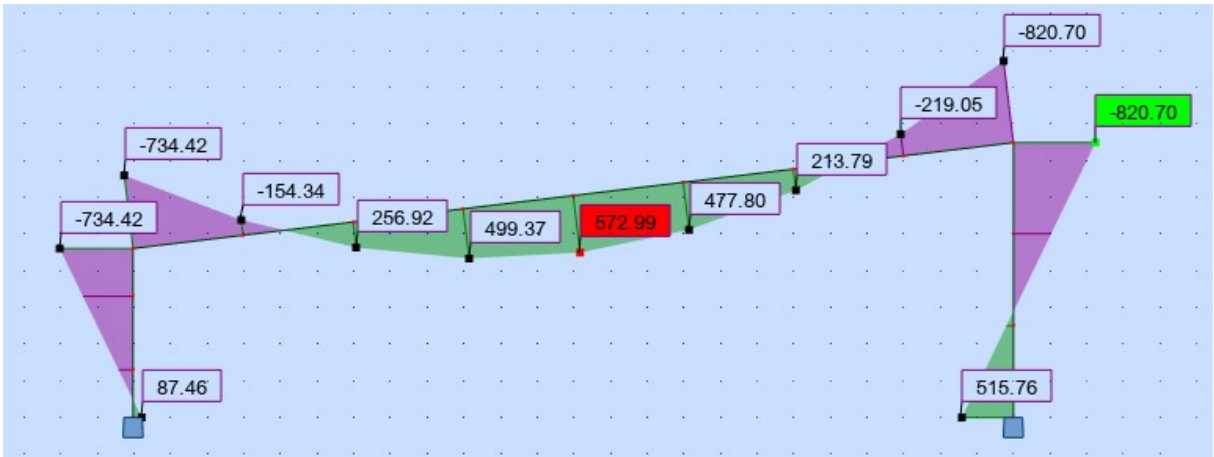
- gdy ssanie w dachu (działanie korzystne – odciążenie), więc wiatr = 0:

$$K5: 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$$

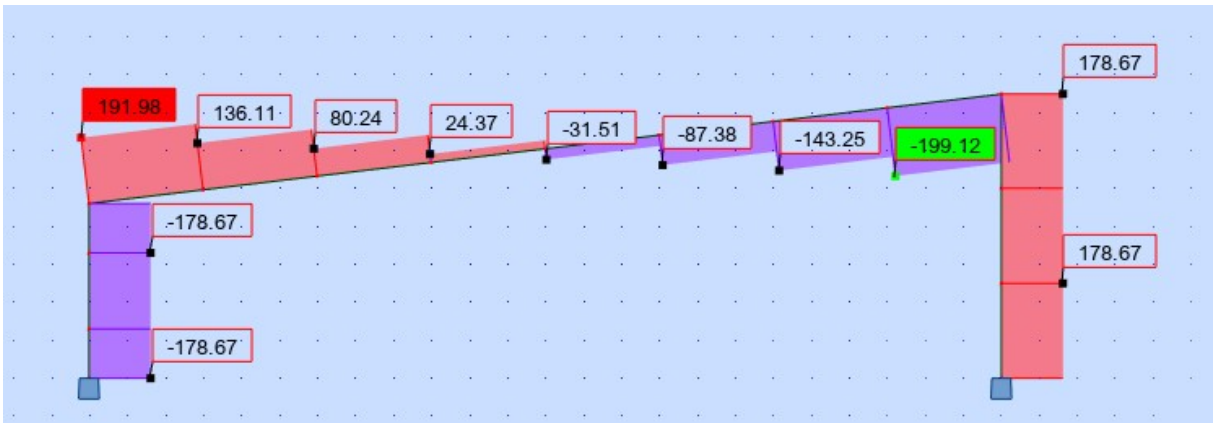
$$K6: 0,85 \cdot 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S$$

7.3. Obliczenia statyczne

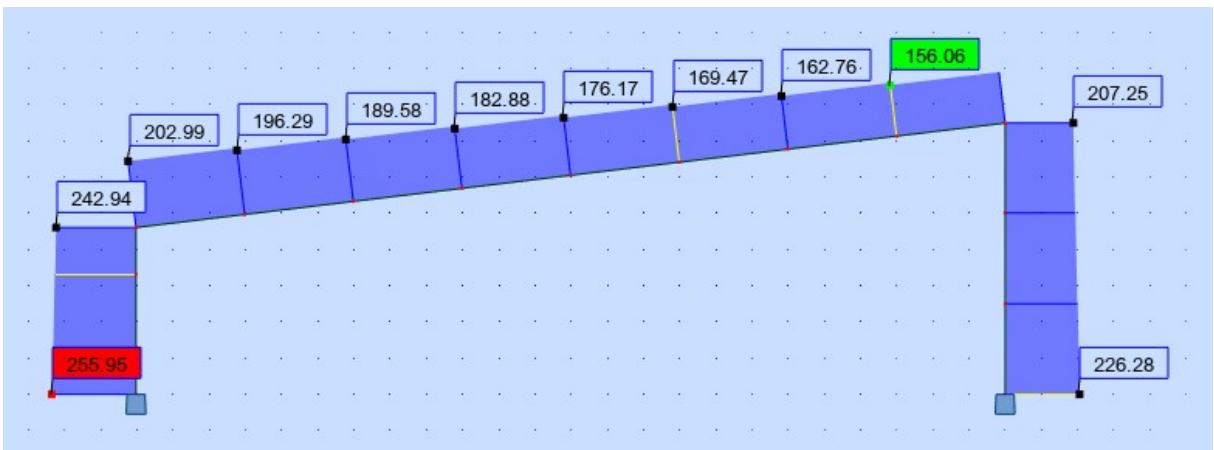
Wykres momentów zginających:



Wykres sił poprzecznych:

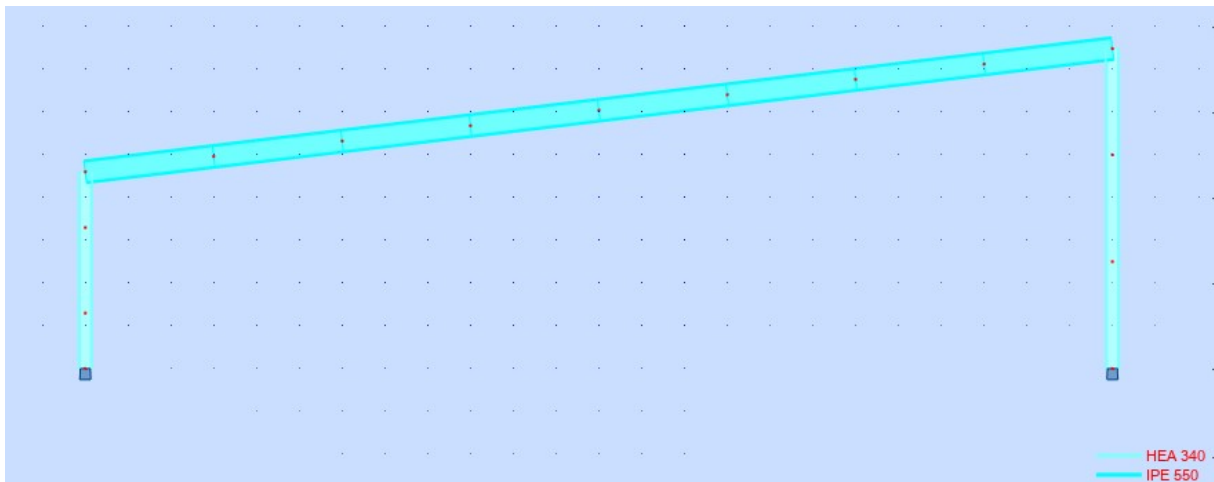


Wykres sił osiowych:



7.4. Wymiarowanie elementów konstrukcji stalowej

Pręt	Profil	Materiał	Lay	Laz	Wyteż.	Przypadek
Grupa : 1 słup_nizszy						
10	<input checked="" type="checkbox"/> HEA 340	S 420 M/ML	51.84	100.01	0.91	12 KOMB6
Grupa : 2 słup_wyzszy						
10	<input checked="" type="checkbox"/> HEA 340	S 420 M/ML	51.84	100.01	0.91	12 KOMB6
Grupa : 3 rygiel						
9 rygiel_9	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 550	S 420 M/ML	13.50	67.69	0.90	12 KOMB6



Notka obliczeniowa dla słupa niższego:

OBLICZENIA KONSTRUKCJI STALOWYCH

NORMA: *PN-EN 1993-1:2006/NA:2010/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*

TYP ANALIZY: Weryfikacja grup prętów

GRUPA: 1 słup_nizszy

PRĘT: 1 Pręt_1
4.60 m

PUNKT: 3

WSPÓLRZĘDNA: $x = 1.00 L =$

OBCIĄŻENIA:

Decydujący przypadek obciążenia: 12 KOMB6 2*1.15+3*1.50

MATERIAŁ:

S 420 M/ML (S 420) $f_y = 420.00$ MPa



PARAMETRY PRZEKROJU: HEA 340

$h=33.0$ cm

$b=30.0$ cm

$tw=0.9$ cm

$tf=1.7$ cm

$gM0=1.00$

$Ay=109.91$ cm²

$Iy=27690.00$ cm⁴

$Wply=1850.47$ cm³

$gM1=1.00$

$Az=44.48$ cm²

$Iz=7440.00$ cm⁴

$Wplz=755.95$ cm³

$Ax=133.00$ cm²

$Ix=128.00$ cm⁴

SIŁY WEWNĘTRZNE I NOŚNOŚCI:

$N,Ed = 239.36$ kN

$Nc,Rd = 5586.00$ kN

$Nb,Rd = 5050.42$ kN

$My,Ed = -612.77$ kN*m

$My,Ed,max = -612.77$ kN*m

$My,c,Rd = 777.20$ kN*m

$MN,y,Rd = 777.20$ kN*m

$Vz,Ed = -152.87$ kN

$Vz,c,Rd = 1078.52$ kN

KLASA PRZEKROJU = 2



PARAMETRY ZWICHRZENIOWE:

PARAMETRY WYBOCZENIOWE:



względem osi y:

$L_y = 4.60 \text{ m}$ $\lambda_{m,y} = 0.45$
 $L_{cr,y} = 4.60 \text{ m}$ $X_y = 0.90$
 $L_{m,y} = 31.88$ $k_{yy} = 0.91$



względem osi z:

$L_z = 4.60 \text{ m}$ $\lambda_{m,z} = 0.25$
 $L_{cr,z} = 1.30 \text{ m}$ $X_z = 0.98$
 $L_{m,z} = 17.38$ $k_{zy} = 0.00$

FORMUŁY WERYFIKACYJNE:

Kontrola wytrzymałości przekroju:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.79 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.14 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

Kontrola stateczności globalnej pręta:

$$\lambda_{m,y} = 31.88 < \lambda_{m,max} = 210.00 \quad \lambda_{m,z} = 17.38 < \lambda_{m,max} = 210.00 \quad \text{STABILNY}$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.77 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.04 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Profil poprawny !!!

Notka obliczeniowa dla słupa wyższego:

OBLICZENIA KONSTRUKCJI STAŁOWYCH

NORMA: *PN-EN 1993-1:2006/NA:2010/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*

TYP ANALIZY: Weryfikacja grup prętów

GRUPA: 2 słup_wyższy

PRĘT: 10
0.00 m

PUNKT: 1

WSPÓŁRZĘDNA: x = 0.00 L =

OBCIĄŻENIA:

Decydujący przypadek obciążenia: 12 KOMB6 2*1.15+3*1.50

MATERIAŁ:

S 420 M/ML (S 420) $f_y = 420.00 \text{ MPa}$



PARAMETRY PRZEKROJU: HEA 340

$h=33.0 \text{ cm}$	$g_{M0}=1.00$	$g_{M1}=1.00$	
$b=30.0 \text{ cm}$	$A_y=109.91 \text{ cm}^2$	$A_z=44.48 \text{ cm}^2$	$A_x=133.00 \text{ cm}^2$
$t_w=0.9 \text{ cm}$	$I_y=27690.00 \text{ cm}^4$	$I_z=7440.00 \text{ cm}^4$	$I_x=128.00 \text{ cm}^4$
$t_f=1.7 \text{ cm}$	$W_{ply}=1850.47 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=755.95 \text{ cm}^3$	

SIŁY WEWNĘTRZNE I NOŚNOŚCI:

$N_{Ed} = 210.82 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = -710.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$	
$N_{c,Rd} = 5586.00 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = -710.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$	
$N_{b,Rd} = 4255.68 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 777.20 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,Ed} = 152.87 \text{ kN}$
	$M_{N,y,Rd} = 777.20 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,c,Rd} = 1078.52 \text{ kN}$
		KLASA PRZEKROJU = 2



PARAMETRY ZWICHRZENIOWE:

PARAMETRY WYBOCZENIOWE:



względem osi y:

$L_y = 7.48 \text{ m}$ $\lambda_{m_y} = 0.74$
 $L_{cr,y} = 7.48 \text{ m}$ $X_y = 0.76$
 $L_{m_y} = 51.84$ $k_{yy} = 0.92$



względem osi z:

$L_z = 7.48 \text{ m}$ $\lambda_{m_z} = 0.47$
 $L_{cr,z} = 2.48 \text{ m}$ $X_z = 0.86$
 $L_{m_z} = 33.16$ $k_{zy} = 0.00$

FORMUŁY WERYFIKACYJNE:

Kontrola wytrzymałości przekroju:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.91 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.14 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

Kontrola stateczności globalnej pręta:

$$\lambda_{m,y} = 51.84 < \lambda_{m,max} = 210.00 \quad \lambda_{m,z} = 33.16 < \lambda_{m,max} = 210.00 \quad \text{STABILNY}$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.89 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.04 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Profil poprawny !!!

Notka obliczeniowa dla rygla:

OBLICZENIA KONSTRUKCJI STAŁOWYCH

NORMA: [PN-EN 1993-1:2006/NA:2010/A1:2014](#), [Eurocode 3: Design of steel structures](#).

TYP ANALIZY: Weryfikacja grup prętów

GRUPA: 3 rygiel

PRĘT: 9 rygiel_9
3.02 m

PUNKT: 3

WSPÓŁRZĘDNA: x = 1.00 L =

OBCIĄŻENIA:

Decydujący przypadek obciążenia: 12 KOMB6 2*1.15+3*1.50

MATERIAŁ:

S 420 M/ML (S 420) $f_y = 420.00 \text{ MPa}$



PARAMETRY PRZEKROJU: IPE 550

$h=55.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=21.0 \text{ cm}$	$A_y=82.10 \text{ cm}^2$	$A_z=71.93 \text{ cm}^2$	$A_x=134.00 \text{ cm}^2$
$t_w=1.1 \text{ cm}$	$I_y=67120.00 \text{ cm}^4$	$I_z=2670.00 \text{ cm}^4$	$I_x=127.00 \text{ cm}^4$
$t_f=1.7 \text{ cm}$	$W_{ply}=2787.01 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=400.54 \text{ cm}^3$	

SIŁY WEWNĘTRZNE I NOŚNOŚCI:

$N_{Ed} = 130.02 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = -710.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$	
$N_{c,Rd} = 5628.00 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = -710.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$	
$N_{b,Rd} = 5628.00 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 1170.54 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,Ed} = -199.60 \text{ kN}$
	$M_{N,y,Rd} = 1170.54 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,c,Rd} = 1744.09 \text{ kN}$
	$M_{b,Rd} = 816.60 \text{ kN}\cdot\text{m}$	

KLASA PRZEKROJU = 1



PARAMETRY ZWICHRZENIOWE:

$z = 1.00$
 $L_{cr,low} = 3.02 \text{ m}$

$M_{cr} = 1344.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $\lambda_{LT} = 0.93$

Krzywa, LT - c
 $\eta_{LT} = 0.96$

$X_{LT} = 0.68$
 $X_{LT,mod} = 0.70$

PARAMETRY WYBOCZENIOWE:



względem osi y:

$k_{yy} = 0.90$



względem osi z:

$k_{zy} = 0.60$

FORMUŁY WERYFIKACYJNE:

Kontrola wytrzymałości przekroju:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.61 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.11 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

Kontrola stateczności globalnej pręta:

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.87 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

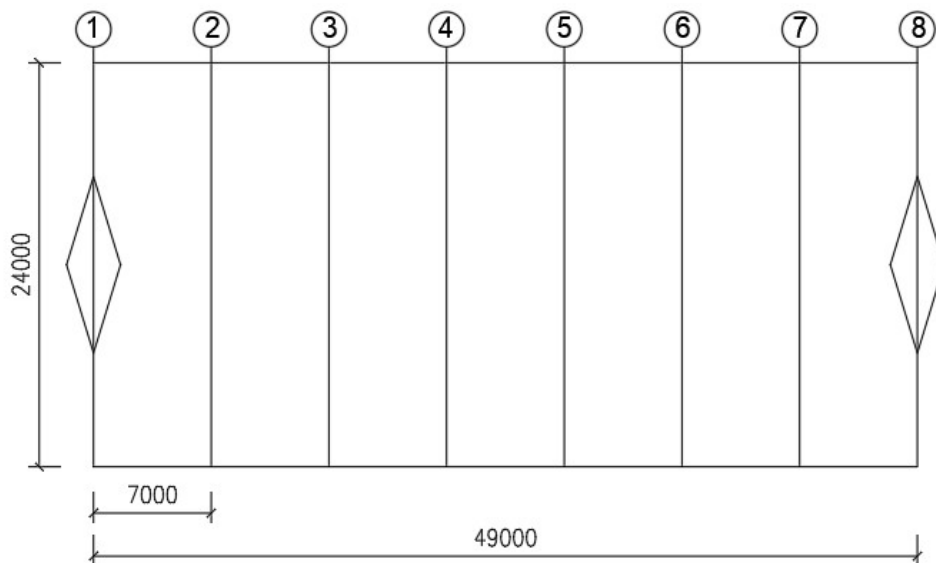
$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.81 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.55 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

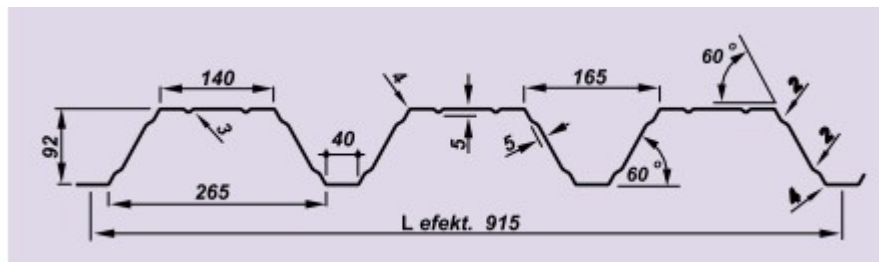
Profil poprawny !!!

8. Tarcza z blachy fałdowej

Uwzględnienie współpracy z poszyciem:

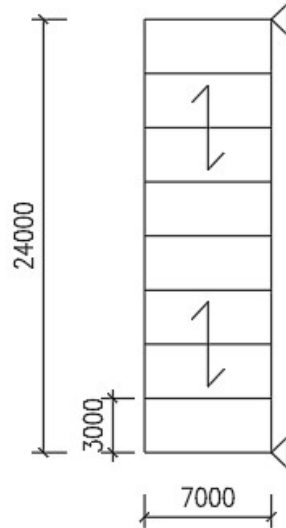


8.1. Założenia wstępne i parametry do dalszych obliczeń



- Blacha trapezowa T92 firmy Pruszyński o grubości 0,88mm ze stali S420 o $f_{yd} = 420 \frac{N}{mm^2}$, $f_u = 520 \frac{N}{mm^2}$
- Połączenie główne: wkręty samowierzące $d = 5,5 \text{ mm}$ w każdej dolinie fałdy
- Połączenie pośrednie: wkręty samowierzące $d = 5,5 \text{ mm}$ w rozstawie co 300mm
- Połączenie uszczelniające: wkręty samowierzące $d = 4,8 \text{ mm}$ co 300 mm

Schemat przepony:



8.1.1. Nośność wkrętów samowiercących na docisk (połączenie główne i pośrednie):

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

przyjęto:

$$t = t_{cor} = 0,88 - 0,04 = 0,84 \text{ mm}$$

$$d = 5,5 \text{ mm}$$

Zgonie z tab.8.2 PN-EN 1993-1-3

$$\alpha = 3,2 \sqrt{\frac{t}{d}} = 3,2 \cdot \sqrt{\frac{0,84}{5,5}} = 1,25 < 2,10 \rightarrow \alpha = 1,25$$

$$f_u = 420 \frac{N}{mm^2} = 0,42 \frac{kN}{mm^2}$$

Zatem:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,25 \cdot 0,42 \cdot 5,5 \cdot 0,84}{1,25} = 1,94 \text{ kN}$$

8.1.2. Nośność wkrętów samowiercących na docisk (połączenie uszczelniające):

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

przyjęto:

$$\alpha = 3,2 \sqrt{\frac{t}{d}} = 3,2 \cdot \sqrt{\frac{0,84}{4,8}} = 1,34 < 2,10 \rightarrow \alpha = 1,34$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,34 \cdot 0,42 \cdot 4,8 \cdot 0,84}{1,25} = 1,82 \text{ kN}$$

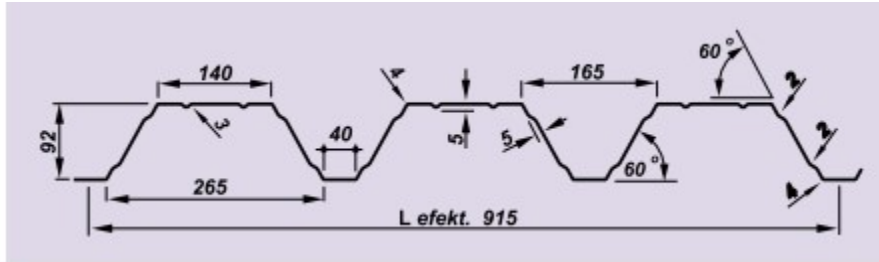
Dodatkowe parametry

$a_p = 7000 \text{ mm}$ - długość przepony (wymiar w kierunku prostopadłym do tworzących fałd)

$b_p = 24000 \text{ mm}$ - szerokość przepony (wymiar w kierunku równoległym do tworzących fałd)

K_1 - stała dla blachy fałdowej łączonej w każdej dolinie fałdy

Wymiary blachy w mm:



$$\frac{l}{p_f} = \frac{140}{305} = 0,46$$

$$\frac{h}{p_f} = \frac{92}{305} = 0,30$$

$$\theta = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$$

$K_1 = 0,152$ wartość odczytana z tab. 4.5. „Blachy fałdowe w budownictwie stalowym”

- Liczba przepon w tarczy dachowej: $n = 7$
- Liczba długości arkuszy blachy fałdowej na szerokości przepony b_p : $n_b = 4$ (po 6,0 m)
- Liczba łączników głównych na szerokości arkusza: $n_f = 5$
- Liczba płatwi: $n_p = 3$
- Liczba łączników uszczelniających na szerokości przepony b_p :

$$n_s = \left(\frac{3000}{300} - 1 \right) \cdot 6 = 54$$

- Liczba łączników pośrednich:

$$n_{sc} = (8 - 1) \cdot 6 + 7 = 49$$

- Liczba arkuszy blachy fałdowej na długości przepony a_p :

$$n_{sh} = 7,0 \cdot \frac{1000}{915} = 7,65$$

- Rozstaw łączników głównych: $p_f = 305 \text{ mm}$
- Podatność łączników (z tabl. 3-1)

Połączenie główne: $s_p = 0,15 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$

Połączenie pośrednie: $s_{sc} = 0,15 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$

Połączenie uszczelniające: $s_s = 0,25 \frac{mm}{kN}$

- Z tabl. 4.3 odczytano współczynniki:

$$\begin{aligned}n_p = 3 &\rightarrow \alpha_1 = 1,00 \\ &\alpha_2 = 1,00 \\ &\alpha_3 = 1,00 \\ \alpha_4 &= 1 + 0,3 \cdot n_b = 1 + 0,3 \cdot 4 = 2,2 \\ &\beta_1 = 1,13 \\ &\beta_2 = 1,25 \\ \beta_3 &= 1,0 \text{ (położenie pozytywne-zwykłe)}\end{aligned}$$

8.2. Obliczenie nośności przepony

- Nośność połączenia uszczelniającego:

$$\begin{aligned}V_{ult,a} &= n_s \cdot F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} \cdot n_p \cdot F_p \\ F_s &= F_{b,Rd} = 1,82 \text{ kN} \\ V_{ult,a} &= 54 \cdot 1,82 + \frac{1,13}{1,0} \cdot 9 \cdot 1,82 = 116,79 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Nośność połączenia pośredniego:

$$\begin{aligned}V_{ult,b} &= n_{sc} \cdot F_{sc} \\ F_{sc} &= F_p = F_{b,Rd} = 1,94 \text{ kN} \\ V_{ult,b} &= 49 \cdot 1,94 = 95,06 \text{ kN} \\ V_R &= \min \left\{ \begin{array}{l} 116,79 \\ 95,06 \end{array} \right\} = 95,06 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Sprawdzenie warunku na nośność połączenia głównego:

$$\frac{0,6 \cdot b_p \cdot F_p}{p \cdot \alpha_3} \geq V_R = 95,06 \text{ kN}$$

$$\frac{0,6 \cdot b_p \cdot F_p}{p \cdot \alpha_3} = \frac{0,6 \cdot 24000 \cdot 1,94}{305 \cdot 1,0} = 101,59 \text{ kN} \geq V_R = 95,06 \text{ kN}$$

- Sprawdzenie czy nie wystąpi zbyt duże odkształcenie blachy fałdowej w linii płatwi skrajnych:

$$\frac{0,9 \cdot t^{1,5} \cdot b_p \cdot f_d}{p_f^{0,5}} \geq V_R = 95,06 \text{ kN}$$

$$\frac{0,9 \cdot t^{1,5} \cdot b_p \cdot f_d}{p_f^{0,5}} = \frac{0,9 \cdot 0,84^{1,5} \cdot 24000 \cdot 0,420}{305^{0,5}} = 399,92 \text{ kN} \geq V_R = 95,06 \text{ kN}$$

- Sprawdzenie utraty stateczności przepony wskutek ścinania:

$$V_g = \frac{14,4}{b_p} \cdot D_x^{\frac{1}{4}} \cdot D_y^{\frac{3}{4}} \cdot (n_p - 1)^2$$

$u = 402 \text{ mm}$ – długość rozwinięcia 1 fałdy;

$$v = 0,3$$

$$D_x = \frac{E \cdot t^3 \cdot p_f}{12 \cdot (1 - v^2) \cdot u} = \frac{210 \cdot 0,84^3 \cdot 305}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 402} = 8,65 \text{ kNmm}$$

$$I_{1m} = 34,04 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I = I_{1m} \cdot \frac{p_f}{1000} = 34,04 \cdot 10^4 \cdot \frac{305}{1000} = 10,38 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$D_y = \frac{E \cdot I}{p_f} = \frac{210 \cdot 10,38 \cdot 10^4}{305} = 7,15 \cdot 10^4 \text{ kNmm}$$

$$V_g = \frac{14,4}{24000} \cdot 8,65^{\frac{1}{4}} \cdot (7,15 \cdot 10^4)^{\frac{3}{4}} \cdot (9 - 1)^2 = 287,95 \text{ kN}$$

- Nośność przepony ze względu na interakcję między lokalną a całkowitą utratą stateczności:

$$V_{red} = \frac{V_g \cdot V_L}{V_g + V_L} \geq V_R$$

– interakcji nie trzeba sprawdzać, gdy:

$$\frac{l}{t} \leq 2,9 \cdot \left(\frac{E}{f_{yd}} \right)^{0,5}$$

$$\frac{l}{t} = \frac{140}{0,84} = 166,67 \leq 2,9 \cdot \left(\frac{210000}{420} \right)^{0,5} = 64,85$$

Należy, więc uwzględnić interakcję i obliczyć siłę V_{red}

Dla ścianki nie usztywnionej (nie przetłoczonej):

$$V_L = 4,83 \cdot E \cdot \left(\frac{t}{l} \right)^2 \cdot b_p \cdot t$$

$$V_L = 4,83 \cdot 210 \cdot \left(\frac{0,84}{140} \right)^2 \cdot 24000 \cdot 0,84 = 736 \text{ kN}$$

$$V_{red} = \frac{287,95 \cdot 736}{287,95 + 736} = 206,97 \text{ kN} \geq V_R = 95,06 \text{ kN} \quad \text{Warunek spełniony.}$$

8.3. Obliczenie podatności przepony

Pokrycie prostopadłe do długości przepony – tabl. 4.1

$$c = c_{1,1} + c_{1,2} + c_{2,1} + c_{2,2} + c_3$$

c – łączna podatność przepony

$c_{1,1}$ – spaczenie profilu blachy

$c_{1,2}$ – odkształcenie postaciowe blachy

$c_{2,1}$ – podatność połączeń głównych

$c_{2,2}$ – podatność połączeń uszczelniających

$c_{2,3}$ – podatność połączeń do dźwigara dachowego

c_3 – podatność wywołana siłami wzdłużnymi w płatwiach

$$c_{1,1} = \frac{a_p \cdot p_f^{2,5} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot K}{E \cdot t^{2,5} \cdot b_p^2} = \frac{7000 \cdot 305^{2,5} \cdot 0,60 \cdot 2,2 \cdot 0,152}{210 \cdot 0,84^{2,5} \cdot 24000^2} = 0,029 \frac{mm}{kN}$$

$$c_{1,2} = \frac{2a_p \cdot (1 + \nu) \cdot \left(1 + 2 \frac{h}{p_f}\right)}{E \cdot t \cdot b_p} = \frac{2 \cdot 7000 \cdot (1 + 0,3) \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{92}{305}\right)}{210 \cdot 0,84 \cdot 24000} = 0,007 \frac{mm}{kN}$$

$$c_{2,1} = \frac{2a_p \cdot s_p \cdot p \cdot \alpha_3}{b_p^2} = \frac{2 \cdot 7000 \cdot 0,15 \cdot 305 \cdot 1,00}{24000^2} = 0,0011 \frac{mm}{kN}$$

$$c_{2,2} = \frac{2s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{2n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot n_p \cdot s_s} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 0,15 \cdot (8 - 1)}{2 \cdot 54 \cdot 0,15 + 1,13 \cdot 9 \cdot 0,25} = 0,028 \frac{mm}{kN}$$

$$c_{2,3} = \frac{4 \cdot (n + 1) \cdot s_{sc}}{n^2 \cdot n_{sc}} = \frac{4 \cdot (8 + 1) \cdot 0,15}{8^2 \cdot 49} = 0,0017 \frac{mm}{kN}$$

$A = 28,5 \text{ cm}^2$ – powierzchnia przekroju poprzecznego płatwi

$$c_3 = \frac{n^2 \cdot a_p^3 \cdot \alpha_3}{4,8 \cdot E \cdot A \cdot b_p^2} = \frac{8^2 \cdot 7000^3 \cdot 1,00}{4,8 \cdot 210 \cdot 2850 \cdot 24000^2} = 0,013 \frac{mm}{kN}$$

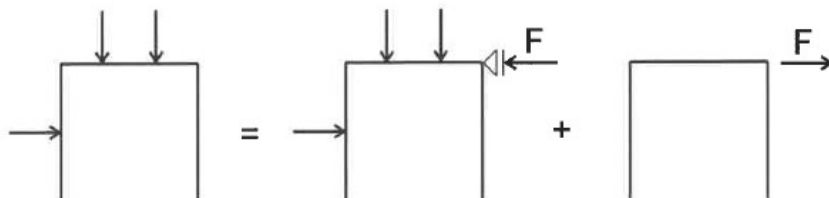
$$c = 0,029 + 0,007 + 0,0011 + 0,028 + 0,0017 + 0,013 = 0,0798 \frac{mm}{kN}$$

8.4. Rozdział obciążeń na ramę i na tarczę dachu

Kombinacja charakterystyczna SGU:

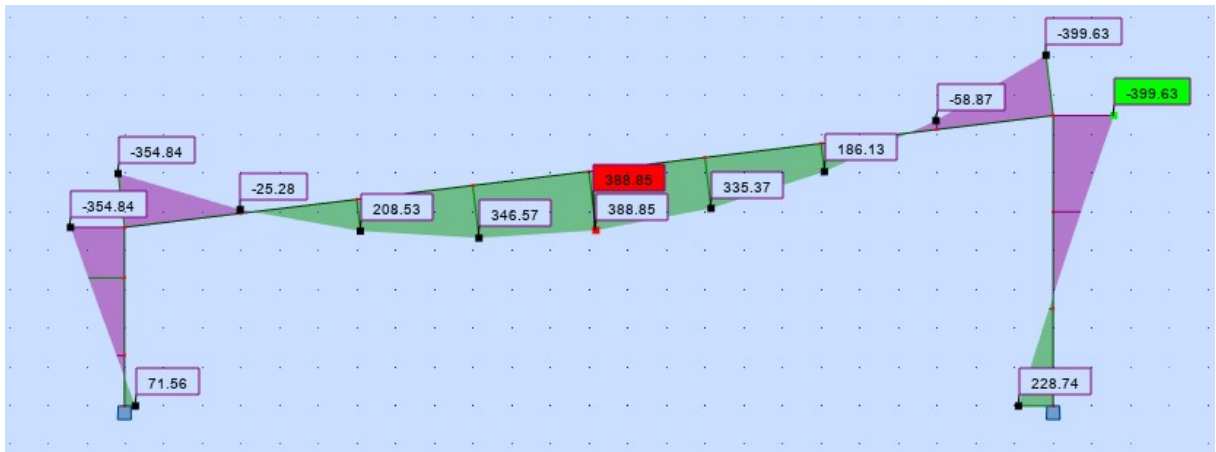
$$1,0 \cdot G + 1,0 \cdot S + 1,0 \cdot (W2 + W3)$$

Schemat uwzględnienia współpracy blachy fałdowej:

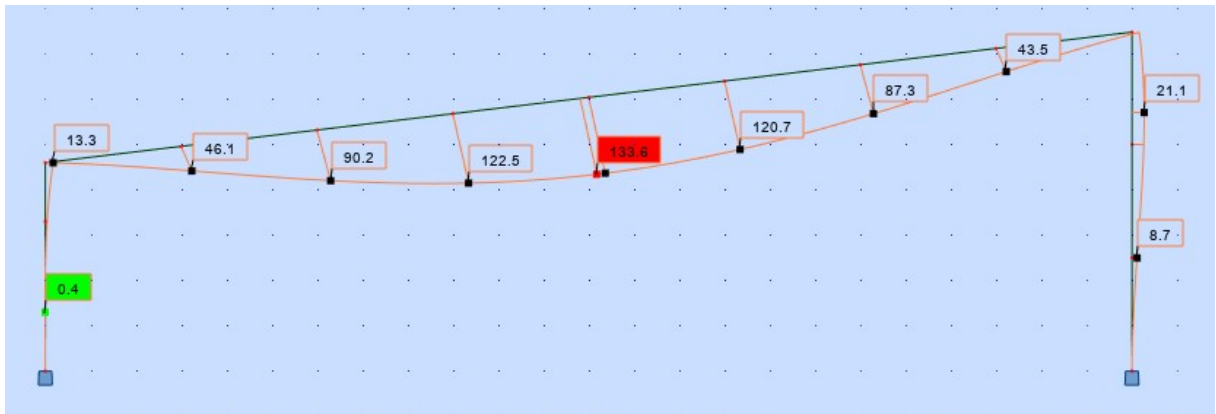


Gdy całość obciążenia przejmuje rama (brak współpracy):

Wykres momentów zginających:

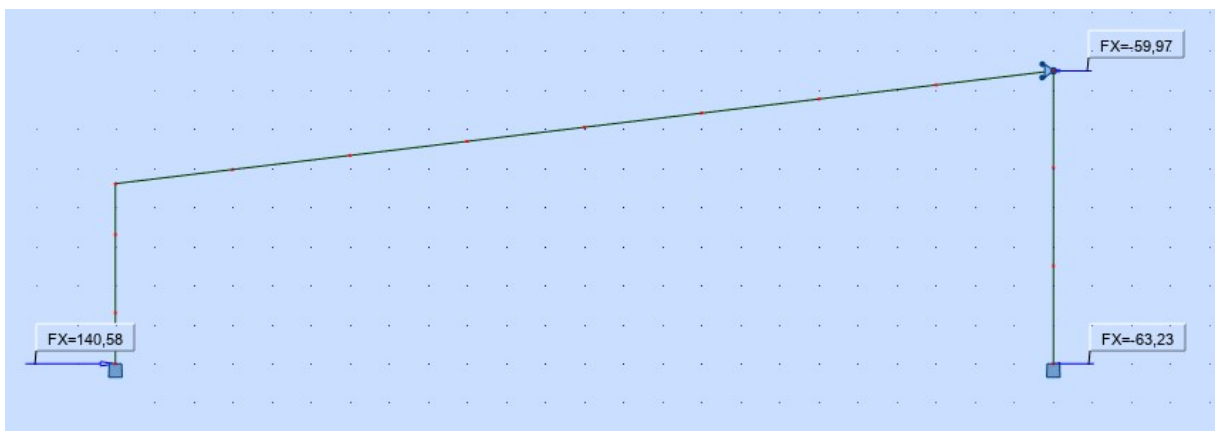


Przemieszczenia węzłów:

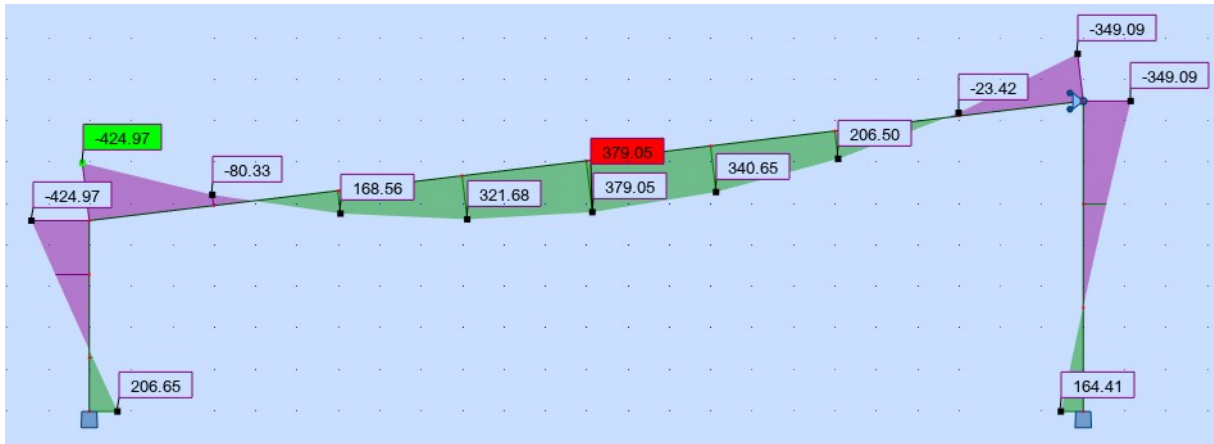


Gdy całość obciążenia (całą siłą F) przejmuje tarcza dachowa:

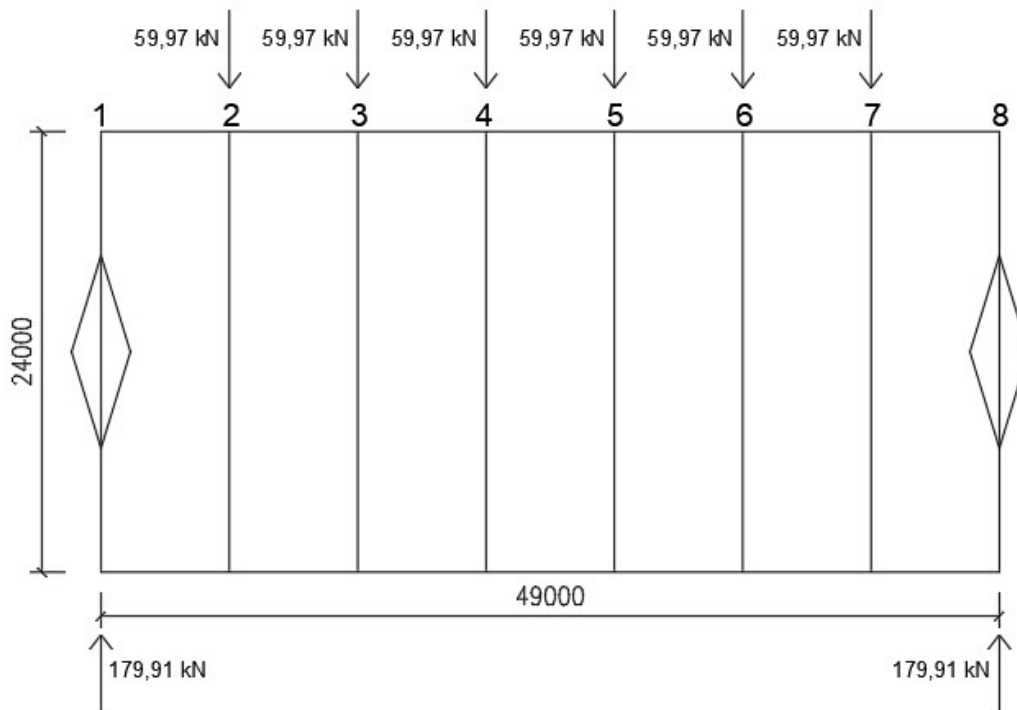
Reakcje w podporach:



Wykres momentów zginających:



Siły ścinające w przeponach:



Nośność przepony:

$$179,91 \text{ kN} > V_R = 95,06 \text{ kN} \quad \text{– warunek nie został spełniony}$$

Przepona nie posiada wystarczającej nośności do przeniesienia siły F.

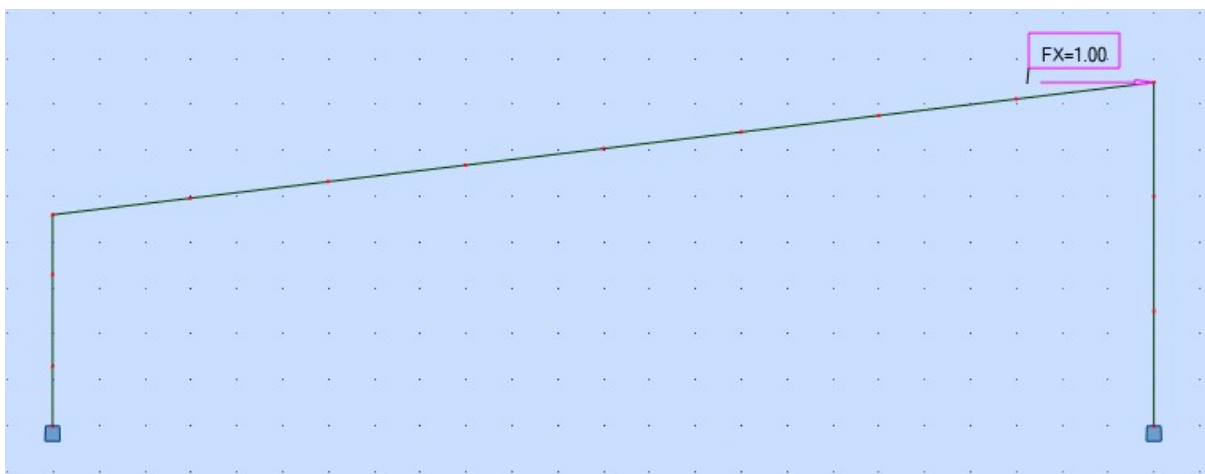
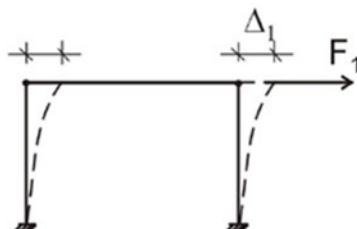
Ugięcie tarczy w środku rozpiętości:

$$P_k = \frac{F}{\gamma_f} = \frac{59,97}{1,5} = 39,98 \text{ kN}$$

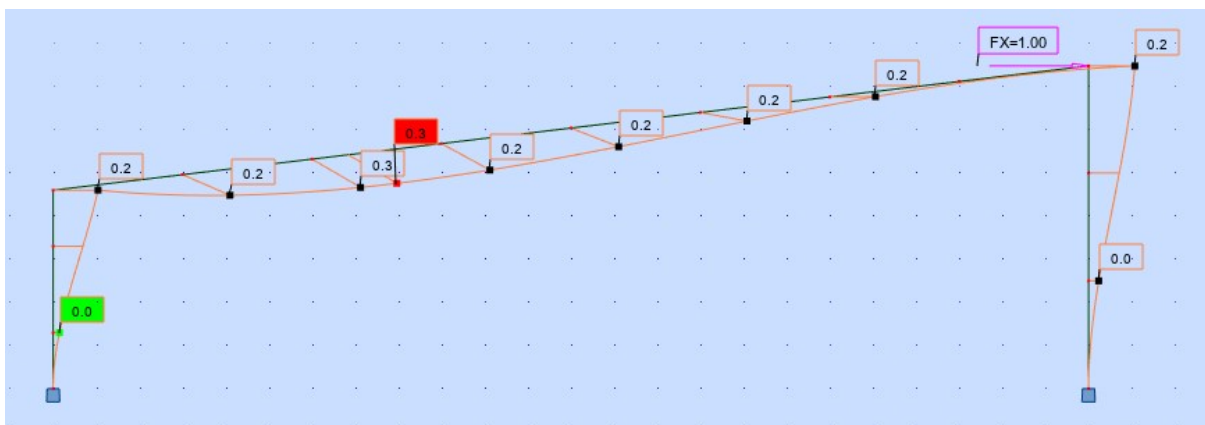
$$\Delta = P_k \cdot \frac{n^2}{8} \cdot c = 39,98 \cdot \frac{7^2}{8} \cdot 0,0798 = 19,54 \text{ mm}$$

8.5. Rozdział obciążenia- współpraca tarczy z układem ramowym

Schemat obliczenia podatności ramy:



Deformacja przy uwzględnieniu współpracy:



Schemat:

$$k = \frac{\Delta_1}{F_1} = \frac{0,2}{1,00} = 0,2 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$$

Współczynnik rozdziału obciążenia:

$$r = \frac{c}{k} = \frac{0,0798}{0,2} = 0,40$$

Współczynniki redukcyjne η dla dachu o 8 ramach wg „Blachy fałdowe w budownictwie stalowym”:

		$F \cdot \eta$	$F \cdot (1 - \eta)$
Dla ramy 2	$\eta = 0,45$	29,99 kN	32,98 kN
Dla ramy 3	$\eta = 0,67$	40,18 kN	19,79 kN
Dla ramy 4	$\eta = 0,77$	46,18 kN	13,79 kN

$F \cdot \eta$ - część obciążenia przypadającego na ramę

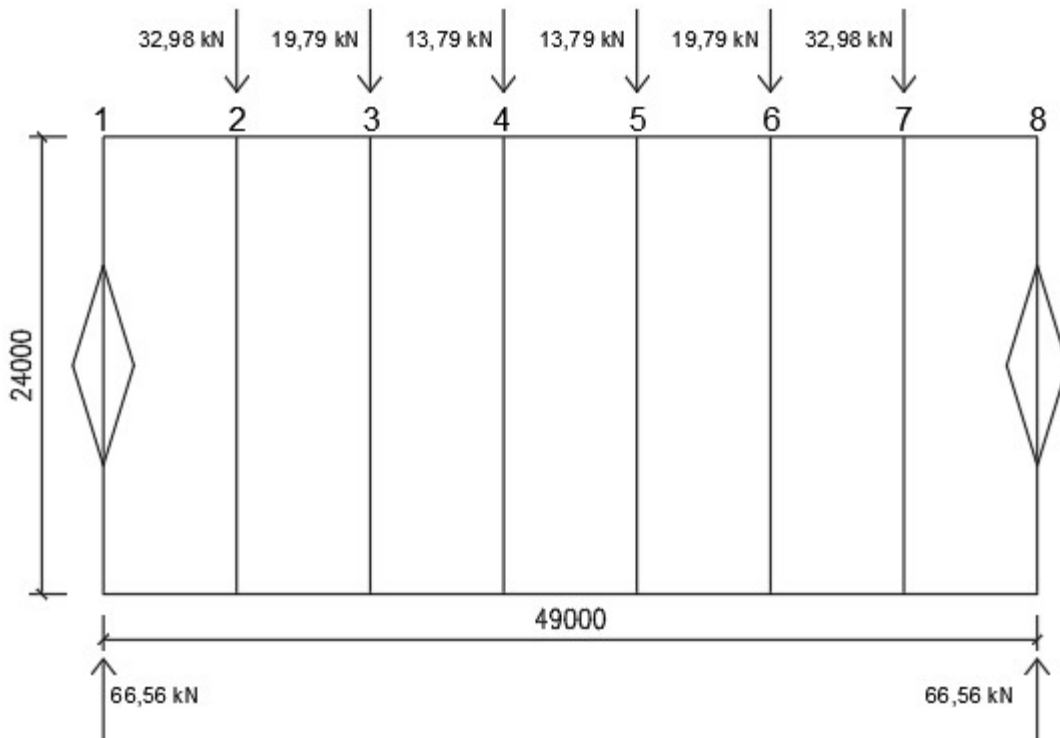
$F \cdot (1 - \eta)$ - część obciążenia przypadającego na tarczę dachu

Przemieszczenie tarczy w środku rozpiętości:

$$\Delta = 0,77 \cdot 28,5 = 21,95 \text{ mm} < \frac{h}{150} = \frac{7480}{150} = 49,9 \text{ mm}$$

Warunek został spełniony.

8.6. Siły ścinające w przeponach po uwzględnieniu współpracy



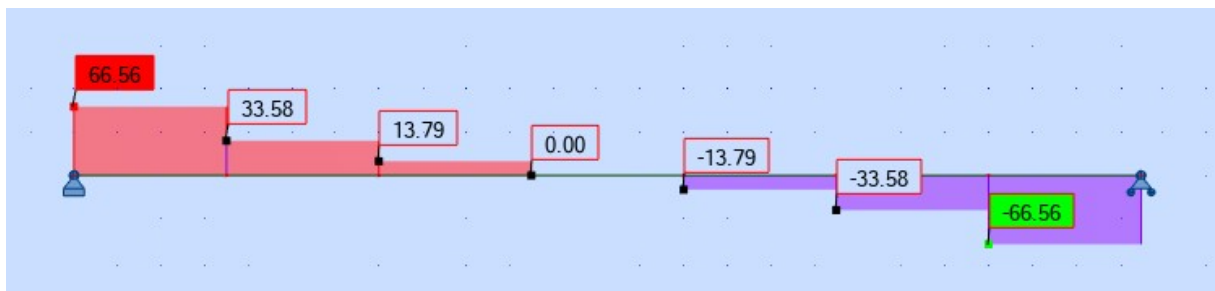
$$66,56 \text{ kN} < V_R = 95,06 \text{ kN} \quad - \text{warunek został spełniony}$$

Wpływ uwzględnienia współpracy na płatew:

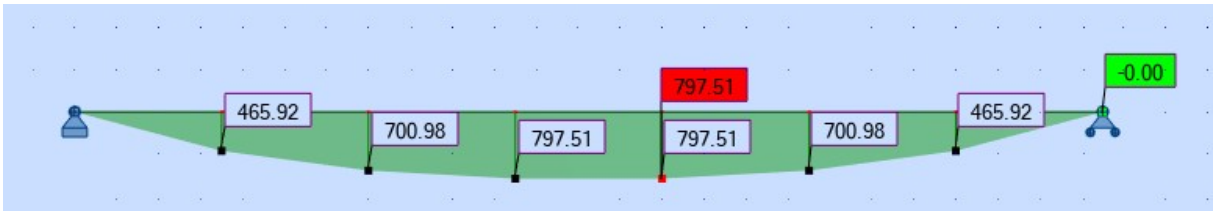
$$M = 66,56 \cdot 24,5 - 32,98 \cdot 17,5 - 19,79 \cdot 10,5 - 13,79 \cdot 3,5 = 797,51 \text{ kNm}$$

$$N_{max} = \frac{M \cdot \alpha}{b_p} = \frac{797,51 \cdot 0,53}{24} = 17,61 \text{ kN}$$

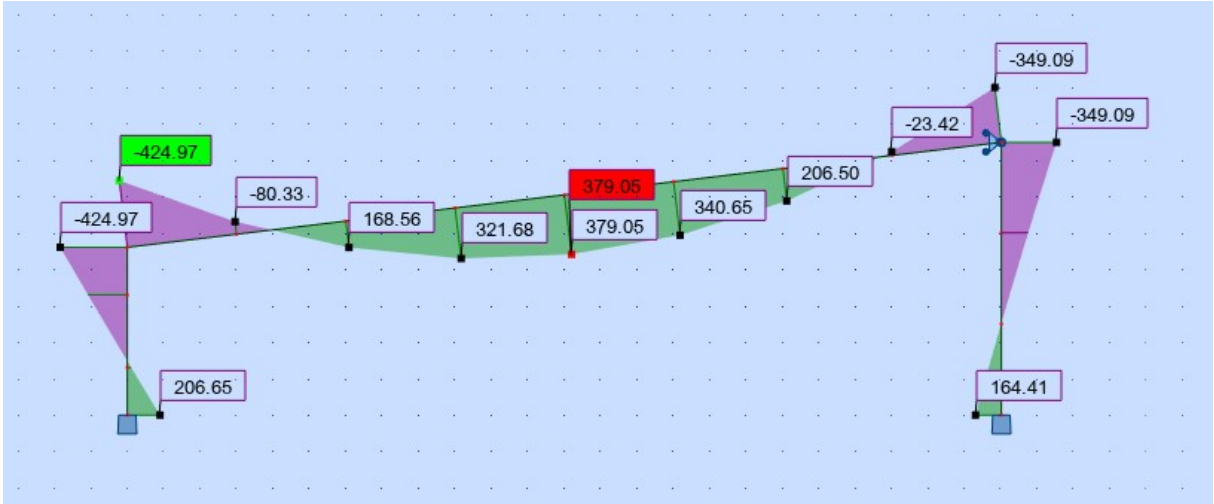
Wykres sił ścinających:



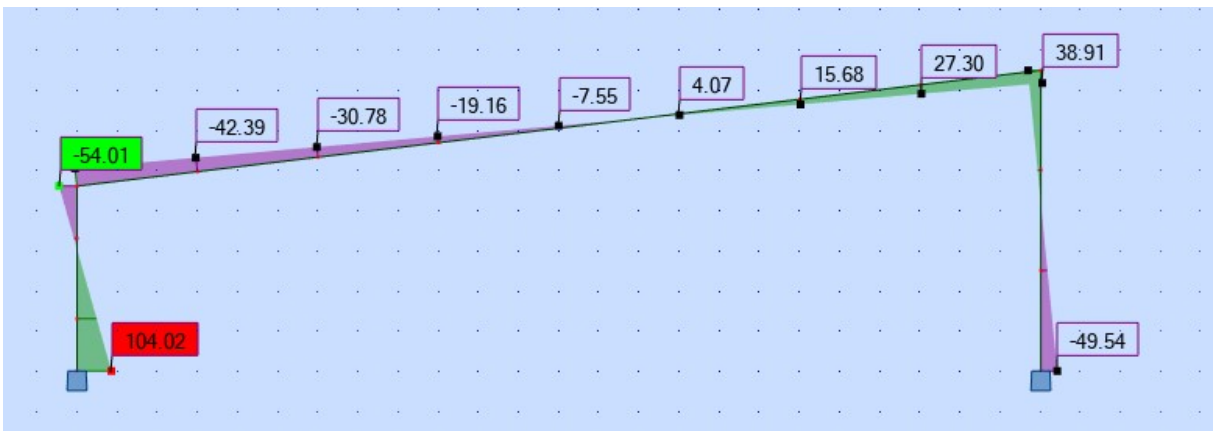
Wykres momentów zginających:



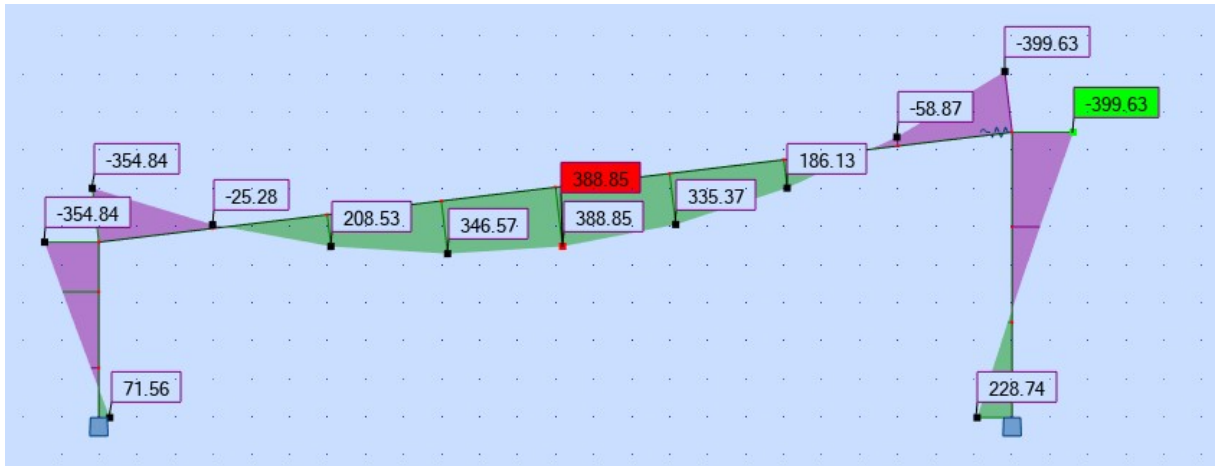
8.7. Siły wewnętrzne po uwzględnieniu współpracy:



+



=



Optymalizacja kształtowników z uwzględnieniem współpracy poszycia:

Pręt	Profil	Materiał	Lay	Laz	Wyteż.	Przypadek
Grupa : 1 słup_nizszy						
1 Pręt_1	<input checked="" type="checkbox"/> HEA 320	S 420 M/ML	33.83	17.31	0.99	12 KOMB6
Grupa : 2 słup_wyzszy						
10	<input checked="" type="checkbox"/> HEA 340	S 420 M/ML	51.84	33.16	0.92	12 KOMB6
Grupa : 3 rygiel						
9 rygiel_9	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 550	S 420 M/ML	13.50	67.69	0.88	12 KOMB6

9. Stężenia

9.1. Stężenia pionowe w ścianie podłużnej

9.1.1. Schemat statyczny



9.1.2. Obliczenia statyczne

Obciążenie wiatru:

$$W_d = 1,5 \cdot (0,47 + 0,48) \cdot 3 \cdot 0,5 = 2,14 \frac{kN}{m}$$

Reakcja od obciążenia wiatrem:

$$R_w = 2,14 \cdot 24000 \cdot 0,5 = 25,68 \text{ kN}$$

Wartość siły ściskającej:

$$N_{Ed} = 255,95 \text{ kN}$$

Siła pozioma od imperfekcji przechyłowej słupów:

$$m = 4$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{4}\right)} = 0,79$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,48}} = 0,73 > \frac{2}{3}$$

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 0,73 \cdot 0,79 = 2,88 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\phi \sum N_{Ed} = 2,88 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 255,95 = 2,95 \text{ kN}$$

Kąt nachylenia krzyżulca:

$$\alpha = 20^\circ$$

Siła rozciągająca:

$$F_k = \frac{R_w + F_m}{\sin \alpha} = \frac{25,68 + 2,98}{\sin(20)} = 83,80 \text{ kN}$$

Obliczanie przekroju rozciąganego:

- przyjęto kształtownik L30x30x4 mm ze stali S420

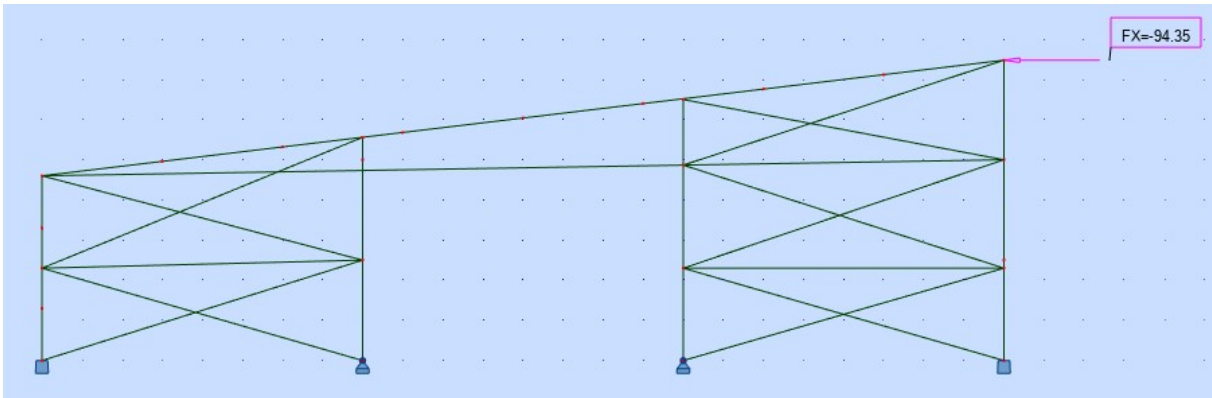
$$A = 2,27 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,27 \cdot 10^2 \cdot 420}{1,0} = 95,34 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{83,80}{95,34} = 0,89 < 1,0 \text{ – warunek spełniony}$$

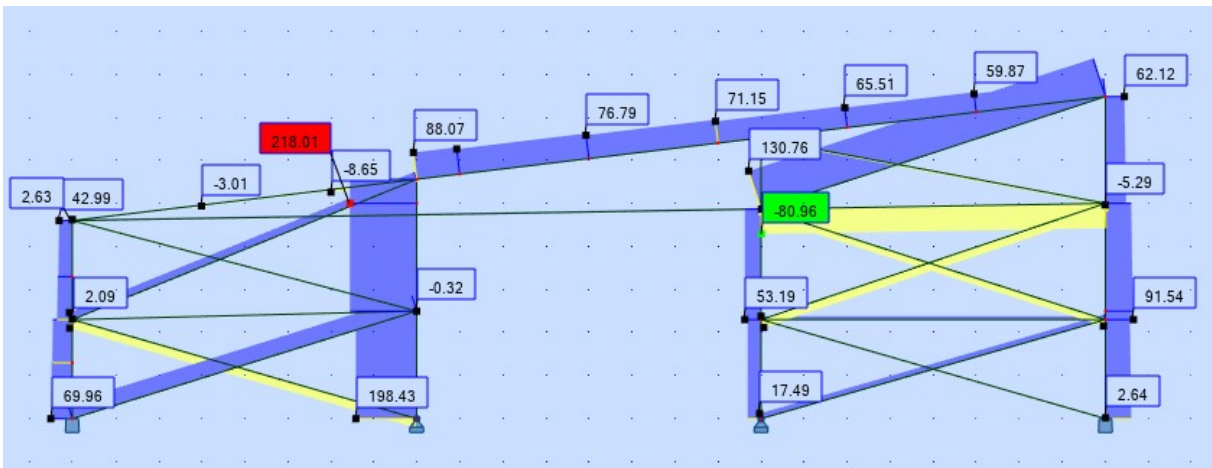
9.2. Stężenie pionowe ściany szczytowej

9.2.1. Schemat statyczny



9.2.2. Obliczenia statyczne

Wykres sił osiowych:



9.2.3. Wymiarowanie prętów

Pręt	Profil	Materiał	Lay	Laz	Wyteż.	Przypadek
Grupa: 4 stężenie						
20 stężenie_20	LR 20x20x3	S 420 M/ML	1113.46	2154.90	0.01	12 KOMB6

10. Podsumowanie i wnioski

Projekt przedstawia analizę konstrukcji hali stalowej ze współpracującym pokryciem. Elementami konstrukcji ramy są słupy z kształowników HEA oraz dźwigar z kształownika IPE.

Dzięki uwzględnieniu współpracy uzyskany redukcję momentów zginających w słupach oraz zmniejszenie przemieszczeń. Pozwoliło to na zmniejszenie wymiarów kształowników.

Przed uwzględnieniem współpracy poszycia dla słupów został dobrany kształownik HEA340 wyteżony w 91%, natomiast po uwzględnieniu współpracy przekrój można było zmniejszyć na HEA320 (wyteżenie 99%).

Dla dźwigara dachowego dobrano kształownik IPE550 wyteżony w 88%.

Zmniejszenie przekrojów kształowników wpłynie na mniejsze zużycie stali oraz zmniejszenie ciężaru całej konstrukcji, a dzięki temu zmniejszenie kosztów.