

 Politechnika Wrocławska	Politechnika Wrocławska Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego (Zał. 5a do procedury Pr 08)	
---	--	---

SPECJALNOŚĆ: IBB

INŻYNIERSKA

PRACA DYPLOMOWA

„PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ HANGARU DO PRZECHOWYWANIA I OBSŁUGI TECHNICZNEJ SAMOLOTÓW SZEROKOKADŁUBOWYCH”

Autor: Patrycja Piec

Opiekun: dr inż. Bartłomiej Kunecki

Recenzent: dr inż. Rajmund Ignatowicz

Rok akademicki: 2025/2026

SPIS TREŚCI

.....	1
SPIS TREŚCI.	3
CZĘŚĆ OPISOWA.	7
1. Streszczenie.	7
2. Opis pracy dyplomowej.	7
2.1. Podstawa formalna.	7
2.2. Przedmiot opracowania	7
2.3. Cele pracy	7
2.4. Zakres opracowania	8
2.5. Słowa kluczowe	8
.....	8
PROJEKT WSTĘPNY	9
3. Założenia projektowe.	9
3.1. Dane ogólne	9
3.2. Przyjęte warunki posadowienia konstrukcji.	10
3.3. Materiały użyte w konstrukcji	10
4. Obciążenia	10
4.1. Obciążenie śniegiem.	10
4.2. Obciążenie wiatrem	11
4.3. Obciążenie użytkowe.	19
4.4. Obciążenie technologiczne	20
5. Kombinacje oddziaływań	20
6. Dobór elementów konstrukcji	21
6.1. Pokrycie dachowe	21
6.2. Pokrycie ścian szczytowych.	23
6.3. Dźwigar główny kratowy	23
6.4. Tężniki międzydźwigarowe kratowe.	24
6.5. Koncepcja bramy hangaru	24
.....	24
PROJEKT TECHNICZNY	25
.....	25
7. Opis techniczny.	25
7.1. Dane ogólne budynku	25
7.2. Opis poszczególnych elementów konstrukcji	25
7.3. Warunki posadowienia obiektu	27
7.4. Obsługa komunikacyjna.	27
7.5. Kategoria zagrożenia ludzi.	27
7.6. Ocena zagrożenia wybuchem pomieszczeń.	27
7.7. Klasa odporności ogniowej budynku oraz klasa odporności ogniowej i stopień rozprzestrzeniania ognia elementów budowlanych	27
7.8. Warunki ewakuacji, oświetlenie ewakuacyjne.	27
.....	27
8. Obliczenia statycznie - wytrzymałościowe.	28
8.1. Modele obliczeniowe	28
MODEL OBLICZENIOWY NR 1 - przęsła pośrednie.	28
.....	28
MODEL OBLICZENIOWY NR 2 - ściana szczytowa w osi "U" .	29

MODEL OBLICZENIOWY NR 3 - ściana szczytowa w osi "A" .	29
.	29
8.2. Proste przypadki obciążeń	30
8.3. Kombinacje obciążeń - model obliczeniowy nr 1.	34
8.4. Element 1 - Rama główna kratowa	37
8.4.1. Wymiarowanie pasa górnego.	38
ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE.	39
.	39
ZGINANIE	39
ŚCINANIE	42
ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ.	43
ZGINANIE ZE ŚCINANIEM I SIŁĄ PODŁUŻNĄ . . .	43
WYBOCZENIE W PŁASZCZYŹNIE DŹWIGARA.	43
WYBOCZENIE Z PŁASZCZYŹNY DŹWIGARA.	44
ZWICHRZENIE	45
8.4.2. Wymiarowanie pasa dolnego.	45
ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE.	46
ZGINANIE	47
ŚCINANIE	48
ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ.	49
ZGINANIE ZE ŚCINANIEM I SIŁĄ PODŁUŻNĄ . . .	50
WYBOCZENIE W PŁASZCZYŹNIE DŹWIGARA.	50
WYBOCZENIE Z PŁASZCZYŹNY DŹWIGARA.	51
ZWICHRZENIE	51
8.4.3. Wymiarowanie słupków.	52
ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE.	53
ZGINANIE	53
ŚCINANIE	54
WYBOCZENIE W PŁASZCZYŹNIE DŹWIGARA.	55
WYBOCZENIE Z PŁASZCZYŹNY DŹWIGARA.	55
8.4.4. Wymiarowanie krzyżulców.	56
ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE.	57
ZGINANIE	58
ŚCINANIE	60
ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ.	60
ZGINANIE ZE ŚCINANIEM I SIŁĄ PODŁUŻNĄ . . .	61
WYBOCZENIE W PŁASZCZYŹNIE DŹWIGARA.	61
WYBOCZENIE Z PŁASZCZYŹNY DŹWIGARA.	62
8.4.5. Stan Graniczny Użytkowości - sprawdzenie ugięcia dźwigara	62
8.5. Element 2 - Tężnik między-dźwigarowy kratowy	63
8.5.1. Wymiarowanie pasa górnego tężnika podłużnego. .	64
ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE.	64
ZGINANIE	65
ŚCINANIE	67
ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ.	68
.	68
ZGINANIE ZE ŚCINANIEM I SIŁĄ PODŁUŻNĄ . . .	69
WYBOCZENIE W PŁASZCZYŹNIE TĘŻNIKA	69

WYBOCZENIE Z PŁASZCZYŻNY TĘŻNIKA	69
8.5.2. Wymiarowanie pasa dolnego.	70
ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE.	71
ZGINANIE	72
ŚCINANIE	73
ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ.	74
ZGINANIE ZE ŚCINANIEM I SIŁĄ PODŁUŻNĄ . . .	75
WYBOCZENIE W PŁASZCZYŻNIE TĘŻNIKA	76
WYBOCZENIE Z PŁASZCZYŻNY TĘŻNIKA	76
8.5.3. Wymiarowanie słupków.	77
ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE.	78
ZGINANIE I ŚCINANIE.	78
8.5.4. Wymiarowanie krzyżulców.	79
ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE.	79
ZGINANIE I ŚCINANIE.	80
WYBOCZENIE W PŁASZCZYŻNIE TĘŻNIKA	80
WYBOCZENIE Z PŁASZCZYŻNY TĘŻNIKA	81
8.5.5. Stan Graniczny Użytkowalności - sprawdzenie ugięcia tężnika międzydźwigarowego.	81
8.6. Element 3 - Konstrukcja ściany szczytowej zamkniętej.	82
8.7. Element 4 - Stężenia połaciowe typu X.	87
8.8. Element 5 - Konstrukcja ściany szczytowej otwartej.	89
8.9. Wybrane połączenia	93
8.9.1. Wymiarowanie przegubowego połączenia na sworzeń	93
8.9.2. Wymiarowanie połączenia montażowego śrubowego pasa dolnego tężnika między-dźwigarowego	98
SPRAWDZENIE ŚRUB.	99
SPRAWDZENIE SPOINY PACHWINOWEJ 1.	101
SPRAWDZENIE SPOINY PACHWINOWEJ 2.	102
SPRAWDZENIE SPOINY PACHWINOWEJ 3.	102
SPRAWDZENIE SPOINY PACHWINOWEJ 4.	103
.	104
.	104
9. Wykaz załączników.	104
.	104
BIBLIOGRAFIA.	105

CZĘŚĆ OPISOWA

1. Streszczenie

Niniejsza praca dyplomowa, której tytuł brzmi "Projekt konstrukcji stalowej hangaru do przechowywania i obsługi technicznej samolotów szerokokadłubowych", składa się z części opisowej, projektu wstępnego oraz projektu technicznego.

W projekcie wstępnym dobrano wstępną geometrię obiektu i jego wybranych elementów, zestawiono obciążenia oraz dobrano obudowę hangaru.

W projekcie technicznym wykonano obliczenia statyczno-wytrzymałościowe głównych elementów konstrukcyjnych. Przeprowadzono analizę statyczno-wytrzymałościową połączenia montażowego tężnika międzydźwiagarowego oraz połączenia przegubowego dźwigara z fundamentem.

Pracę zakończono wykonaniem dokumentacji rysunkowej obejmującej pięć rysunków architektoniczno-budowlanych oraz pięć rysunków wykonawczych.

Do pracy załączono dwa raporty z wymiarowania niektórych elementów konstrukcyjnych w oprogramowaniu opartym na MES.

2. Opis pracy dyplomowej

2.1. Podstawa formalna

Podstawą formalną wykonania niniejszej pracy dyplomowej stanowi temat pracy inżynierskiej zatwierdzony przez Komisję Programową kierunku "Budownictwo" Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej, wydany na wniosek dr. inż. Bartłomieja Kuneckiego w dniu 21 lutego 2026 r.

2.2. Przedmiot opracowania

Przedmiotem opracowania pracy dyplomowej jest projekt konstrukcji stalowej hangaru przeznaczonego do przechowywania i konserwacji samolotów szerokokadłubowych.

2.3. Cele pracy

1. Poznanie specyfiki wymiarowania i konstruowania stalowych konstrukcji dla potrzeb związanych z przechowywaniem i konserwacją samolotów.
2. Pogłębienie wiedzy i umiejętności dotyczących prowadzenia analizy statyczno-wytrzymałościowej w programie numerycznym opartym na Metodzie Elementów Skończonych.
3. Nabycie umiejętności w zakresie projektowania konstrukcji stalowych z wykorzystaniem modelu 3D.

2.4. Zakres opracowania

Wykonanie wybranych elementów projektu budowlanego i techniczny konstrukcji oraz opracowanie rysunków technicznych i rysunków wykonawczych elementu wysyłkowego.

2.5. Słowa kluczowe

- Konstrukcja stalowa o dużej rozpiętości
- Hangar stalowy
- Serwisowanie samolotów szerokokadłubowych
- Obliczenia numeryczne
- Metoda Elementów Skończonych

PROJEKT WSTĘPNY

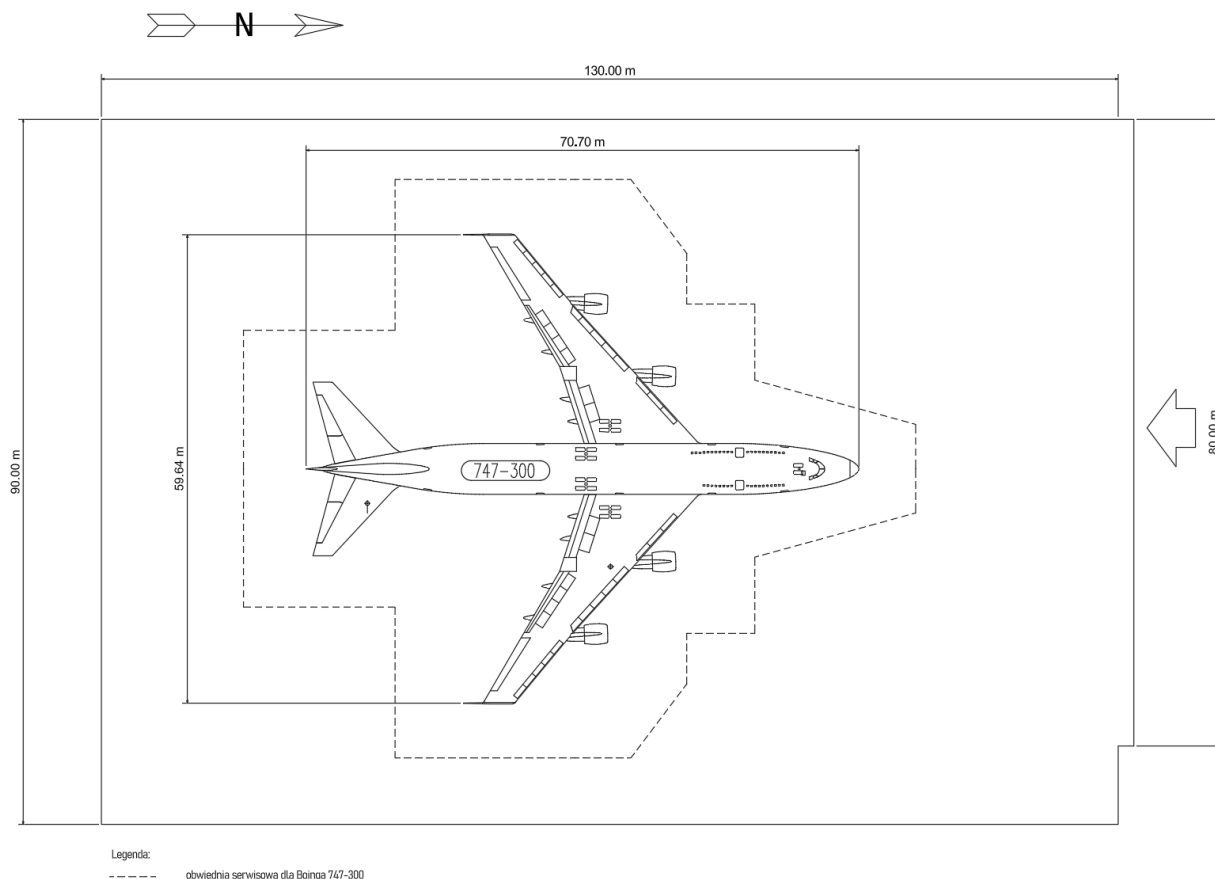
3. Założenia projektowe

3.1. Dane ogólne

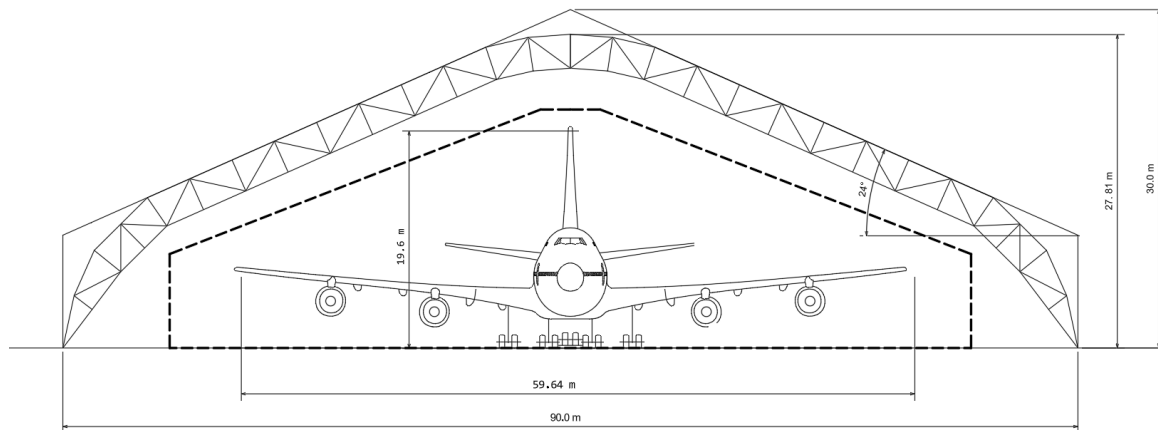
Projektowany obiekt planowany jest na terenie portu lotniczego we Wrocławiu w woj. dolnośląskie. Obiekt przeznaczony do obsługi, przechowywania oraz prowadzenia prac serwisowych samolotów szerokokadłubowych

Wymiary obiektu przyjęto w oparciu o gabaryty statków powietrznych typu Boeing 747-300 oraz ich obwiedni technicznej [9][10].

Przeznaczenie obiektu wymusza układ konstrukcyjny jednonawowy o dużej rozpiętości. Hangar wyposażony będzie w wielkogabarytową bramę hangarową podnoszoną, która wraz z konstrukcją nośną stanowić będzie osobny ustrój.



Rys. 1. Przyjęty wymiar podłużny obiektu wraz z zaznaczoną obwiednią serwisową dla Boinga 747-300



Legenda:

----- obwiednia serwisowa dla Boinga 747-300

Rys. 2. Przyjęte wymiary poprzeczne obiektu wraz z zaznaczoną obwiednią serwisową dla Boinga 747-300

3.2. Przyjęte warunki posadowienia konstrukcji

Obliczenia geotechniczne wykraczają poza zakres pracy. W związku z powyższym założono podłoże stabilne i nośne, bez negatywnego oddziaływania na konstrukcję.

3.3. Materiały użyte w konstrukcji

Konstrukcja wykonana będzie w całości ze stali S355JR. Konstrukcja wykonana zostanie z kształtowników walcowanych na gorąco.

4. Obciążenia

4.1. Obciążenie śniegiem

Obciążenie określono na podstawie [3].

Lokalizacja: Wrocław, województwo dolnośląskie

Wysokość nad poziomem morza: $A = 123\text{ m n.p.m.}$

Strefa 1 obciążenia śniegiem gruntu w Polsce [3].

Dach dwupołaciowy bez barierek przeciwnieżnych.

Kąt nachylenia połaci dachu: $\alpha = 24^\circ$ w celu uproszczenia obliczeń przyjęto stałe nachylenie bez uwzględniania zmiany kąta przy kalenicy oraz słupach.

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu:

$$s_k = \text{Max}(0.007 \cdot A - 1.4, 0.7) \cdot 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} =$$

$$\text{Max}(0.007 \cdot 123 - 1.4, 0.7) \cdot 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Współczynnik ekspozycji: $C_e = 1$ - warunki normalne

Współczynnik termiczny: $C_t = 1$

Współczynnik kształtu dachu: $\mu_1 = 0.8$

Charakterystyczne obciążenie śniegiem dachu w sytuacji trwałej i przejściowej:

$$s = \mu_1 \cdot C_t \cdot C_e \cdot s_k = 0.8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Obliczeniowe obciążenie śniegiem dachu:

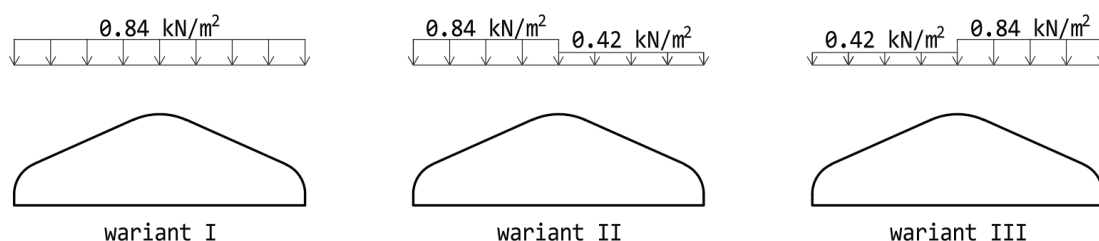
$\gamma_s = 1.5$ - współczynnik częściowy bezpieczeństwa

$$s_{d1} = \gamma_s \cdot s = 1.5 \cdot 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$s_{d2} = 0.5 \cdot \gamma_s \cdot s = 0.5 \cdot 1.5 \cdot 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.42 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Obciążenie od nawisów śnieżnych nie są brane pod uwagę ze względu na wysokość n.p.m. $A < 800 = 123 < 800$ m n.p.m.

Warianty obciążenia śniegiem dachu:



Rys. 3. Warianty obciążenia śniegiem wg [3]

4.2. Obciążenie wiatrem

Dane do obliczeń:

Lokalizacja: Wrocław, województwo dolnośląskie

Wysokość n.p.m.: 123m n.p.m.

Wysokość budynku: $z = 30$ m

Strefa 1 obciążenia wiatrem w Polsce [4]

Kategoria chropowatości terenu II- obszary z niską roślinnością, taką jak trawa oraz pojedynczymi przeszkodami (drzewa, budynki) oddalonymi od siebie na odległość nie mniejszą niż 20 ich wysokości [4]

Podstawowa prędkość wiatru: $v_{b,0} = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Podstawowe ciśnienie prędkości wiatru: $q_{b,0} = 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Współczynnik kierunku wiatru: $C_{dir} = 1$ wg [4]

Współczynnik pory roku: $C_{season} = 1$ wg [4]

Bazowa prędkość wiatru:

$$v_b = v_{b,0} \cdot C_{season} \cdot C_{dir} = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1 \cdot 1 = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Współczynnik rzeźby terenu: $c_{0z} = 1$

$$\text{Współczynnik chropowatości: } c_{rz} = 1 \cdot \left(\frac{z}{10 \text{ m}} \right)^{0.17} = 1 \cdot \left(\frac{30 \text{ m}}{10 \text{ m}} \right)^{0.17} \\ = 1.205$$

Średnia prędkość wiatru:

$$v_{mz} = c_{rz} \cdot c_{\theta z} \cdot v_b = 1.205 \cdot 1 \cdot 22 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 26.518 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Współczynnik ekspozycji: } c_{ez} = 2.3 \cdot \left(\frac{z}{10 \text{ m}} \right)^{0.24} = 2.3 \cdot \left(\frac{30 \text{ m}}{10 \text{ m}} \right)^{0.24} \\ = 2.994$$

Wymiar chropowatości dla kat. II terenu: $z_0 = 0.05 \text{ m}$

Wysokość minimalna dla kat. II terenu: $z_{\min} = 2 \text{ m}$

Wysokość maksymalna dla kat. II terenu: $z_{\max} = 200 \text{ m}$

Współczynnik turbulencji: $k_1 = 1$

Intensywność turbulencji:

$$I_v = \frac{k_1}{c_{\theta z} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{30 \text{ m}}{0.05 \text{ m}}\right)} = 0.156$$

Wartość szczytowa ciśnienia prędkości:

$\rho = 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ - gęstość powietrza zalecana wg [4]

$$q_p = (1 + 7 \cdot I_v) \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_{mz}^2 =$$

$$(1 + 7 \cdot 0.156) \cdot 0.5 \cdot 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(26.518 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 0.920 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Obliczenie ciśnienia wiatru:

Budynek został podzielony na strefy wiatrowe zgodnie z rys. 7.5 [4]

Wiatr prostopadle do kalenicy

$d = 90 \text{ m}$

$b = 120 \text{ m}$ - wymiar poprzeczny do kierunku wiatru

$h = 30 \text{ m}$

$$\frac{h}{d} = \frac{30 \text{ m}}{90 \text{ m}} = 0.333 < 1$$

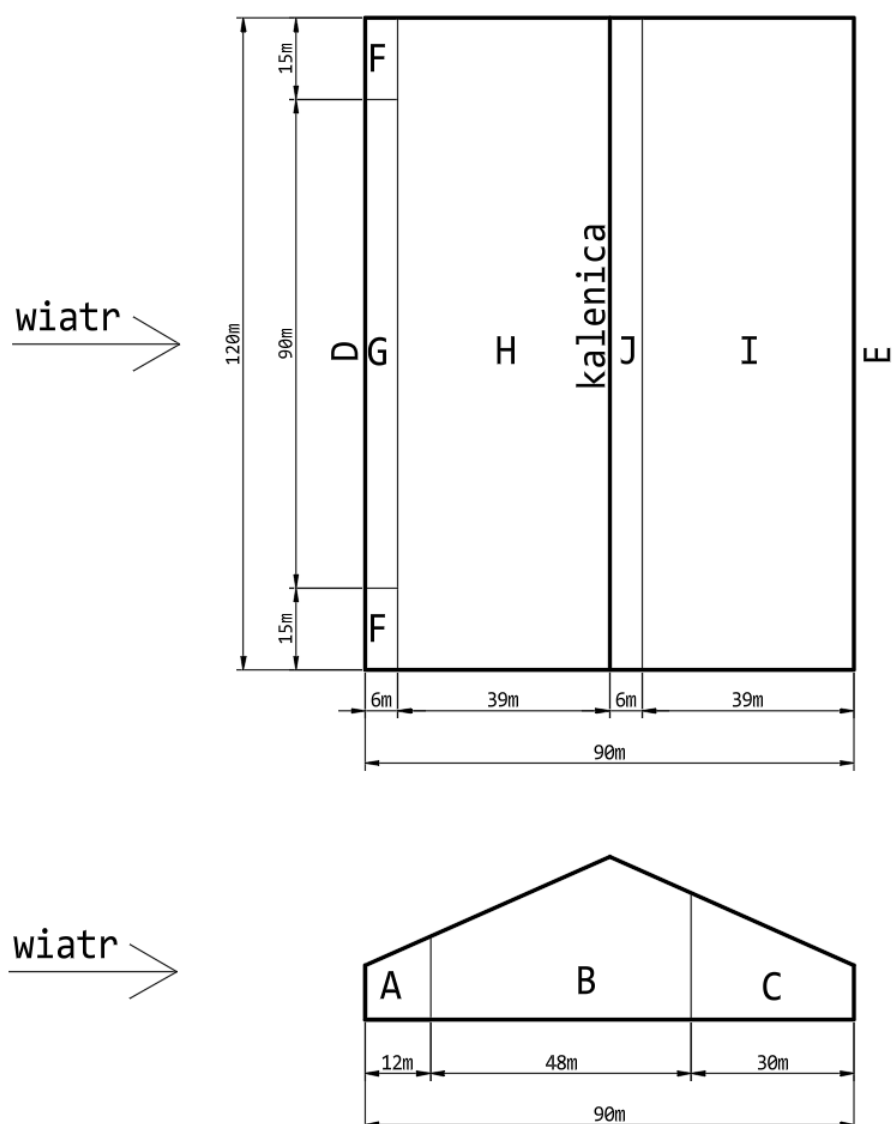
$z_e = h = 30 \text{ m}$

Wartość1 = Min(b , $2 \cdot h$) = Min(120 m , $2 \cdot 30 \text{ m}$) = 60 m

Wartość1 < $d = 60 \text{ m} < 90 \text{ m}$ = Prawda; $\frac{\text{Wartość1}}{5} = \frac{60 \text{ m}}{5} = 12 \text{ m}$;

$$\left(\frac{4}{5} \right) \cdot \text{Wartość1} = \left(\frac{4}{5} \right) \cdot 60 \text{ m} = 48 \text{ m}; d - \text{Wartość1} = 90 \text{ m} - 60 \text{ m}$$

$$= 30 \text{ m}; \frac{\text{Wartość1}}{10} = \frac{60 \text{ m}}{10} = 6 \text{ m}; \frac{\text{Wartość1}}{4} = \frac{60 \text{ m}}{4} = 15 \text{ m}$$



Rys. 4. Podział ścian i dachu dla wiatru wiejącego prostopadle do kalenicy

Określenie współczynników ciśnienia zewnętrznego wg. tab 7.1, 7.4a i 7.4b [4]:

Kąt spadku dachu	Pole dla kierunku prostopadłego do kalenicy									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Cpe10									
24 °	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3	-1.2	-1.1	-0.4	-0.4	-1.3
						0.6	0.6	0.4	0	0

Tab. 1. Współczynniki ciśnienia zewnętrznego dla wiatru prostopadłego do kalenicy

Wiatr równoległe do kalenicy

$b = 30 \text{ m}$ - wymiar poprzeczny do kierunku wiatru

$d = 120 \text{ m}$

$$h = 30 \text{ m}; \frac{h}{d} = \frac{30 \text{ m}}{120 \text{ m}} = 0.25 < 1$$

$$z_e = h = 30 \text{ m}$$

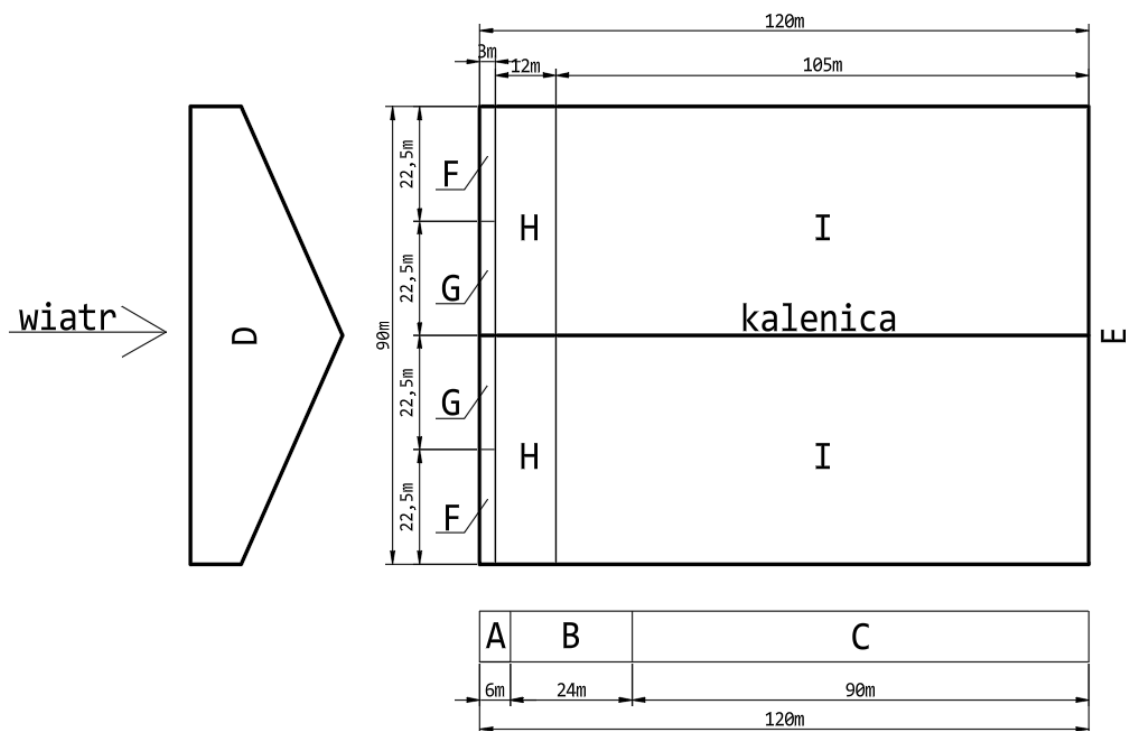
$$e = \text{Min}(b, 2 \cdot h) = \text{Min}(30 \text{ m}, 2 \cdot 30 \text{ m}) = 30 \text{ m}$$

$$\text{Wartość1} < d = 60 \text{ m} < 120 \text{ m} = \text{Prawda}; \frac{\text{Wartość1}}{5} = \frac{60 \text{ m}}{5} = 12 \text{ m};$$

$$\left(\frac{4}{5}\right) \cdot \text{Wartość1} = \left(\frac{4}{5}\right) \cdot 60 \text{ m} = 48 \text{ m}; d - \text{Wartość1} = 120 \text{ m} - 60 \text{ m}$$

$$= 60 \text{ m}; \frac{\text{Wartość1}}{10} = \frac{60 \text{ m}}{10} = 6 \text{ m}; \frac{\text{Wartość1}}{4} = \frac{60 \text{ m}}{4} = 15 \text{ m};$$

$$\frac{\text{Wartość1}}{2} - \frac{\text{Wartość1}}{10} = \frac{60 \text{ m}}{2} - \frac{60 \text{ m}}{10} = 24 \text{ m}$$



Rys. 5. Podział ścian i dachu dla wiatru wiejącego równoległe do kalenicy

Określenie współczynników ciśnienia zewnętrznego wg. tab 7.1, 7.4a i 7.4b [4]

Kąt spadku dachu	Pole dla kierunku równoległego do kalenicy								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Cpe10								
24 °	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3	-1.2	-1.4	-0.7	-0.5

Tab. 2. Współczynniki ciśnienia zewnętrznego dla wiatru równoległego do kalenicy

Ciśnienie wiatru działające na powierzchnie zewnętrzne konstrukcji:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$$

Pole ścian	A	B	C	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	-0.5	0.72	-0.32
We1, ściany	$-1.10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.74 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.66 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.29 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Tab. 3. Obciążenie działające na pola ścian dla wiatru **prostopadłego** do kalenicy

Pole dachu	F	G	H	I	J
Cpe,10	-1.2	-1.1	-0.4	-0.4	-1.3
	0.6	0.6	0.4	0.0	0.0
przypadki oddziaływania	-1.2	-1.1	-0.4	-0.4	-1.3
	0.6	0.6	0.4	0.0	0.0
	0.6	0.6	0.4	-0.4	-1.3
	-1.2	-1.1	-0.4	0.0	0.0
We1, dach	$-1.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
	$0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.38 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
	$0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.38 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
	$-1.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Tab. 4. Obciążenie działające na pola dachu dla wiatru **prostopadłego** do kalenicy

Pole ścian	A	B	C	D	E
Cpe,10	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3
We2, ściany	$-1.10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.74 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.64 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Tab. 5. Obciążenie działające na pola ścian dla wiatru **równoległego** do kalenicy

Pole ścian	F	G	H	I
C _{pe,10}	-1.2	-1.4	-0.7	-0.5
We2, dach	$-1.10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Tab. 6. Obciążenie działające na pola dachu dla wiatru **równoległego** do kalenicy

Z uwagi na występowanie ściany dominującej, w której pole otworów jest ponad trzykrotnie większe od pola otworów w pozostałych ścianach zastosowano wzór (7.2)[4]:

$$c_{pi} = c_{pe} \cdot 0.9$$

Ciśnienie wiatru działające na powierzchnie wewnętrzne konstrukcji:

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

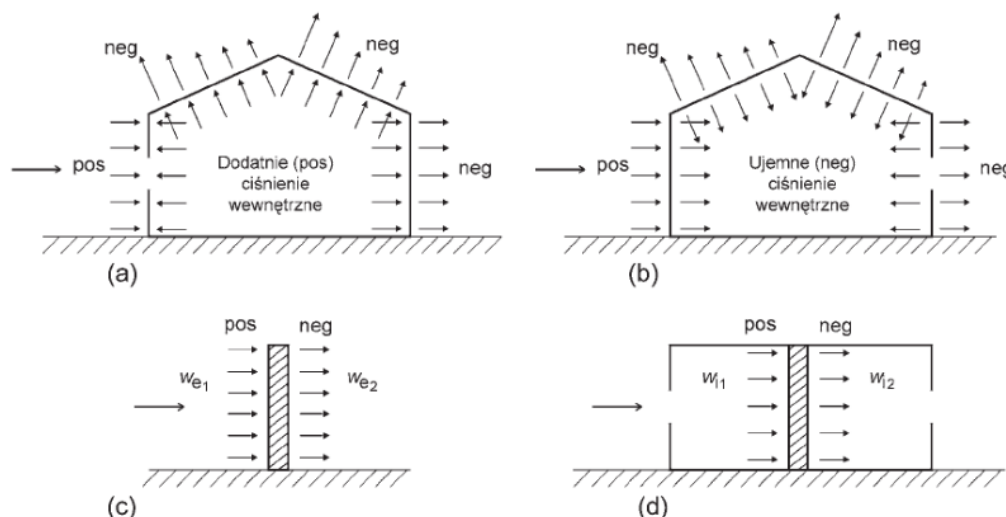
Zgodnie z (7.3)[4] do obliczeń przyjęto najbardziej niekorzystne wartości współczynników c_{pi} tj.:

$$c_{pi1} = 0.9 \cdot 0.7 = 0.63$$

$$c_{pi2} = 0.9 \cdot (-0.3) = -0.27$$

$$w_{i1} = q_p \cdot c_{pi1} = 0.920 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0.63 = 0.580 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ ssanie na połaci}$$

$$w_{i2} = q_p \cdot c_{pi2} = 0.920 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot (-0.27) = -0.249 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ parcie na połac}$$



Rys. 6. [4] Znakowanie wartości ciśnienia wywieranego na powierzchnię ścian i dachu.

	A	B	C	D	E
We1	$-1.10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.74 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.66 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.29 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
We2	$-1.10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.74 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.64 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

We1+Wi1	$-1.68 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.32 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.87 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
We1+Wi2	$-0.86 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.91 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
We2+Wi1	$-1.68 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.32 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.86 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
We2+Wi2	$-0.86 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.89 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.03 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
W netto	$-1.68 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.32 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	-	$-0.87 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
	-	-	-	$0.91 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	-

Tab. 7. Zestawienie przypadków wiatrowych dla ścian

	F	G	H	I	J
We1	$-1.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
	$0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.38 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
	$0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.38 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
	$-1.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
We2	$-1.10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	-
We1+Wi1	$-1.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.95 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.95 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
We1+Wi2	$-0.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.73 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.13 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.92 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
We1+Wi1	$-0.05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
We1+Wi2	$0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.63 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
We2+Wi1	$-1.68 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	-
We2+Wi2	$-0.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-0.21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	-
W netto	$-1.68 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.04 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$-1.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
	$0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.63 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$0.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Tab. 8. Zestawienie przypadków wiatrowych dla dachu

Wartości obciążeń w kN/m :

Rozstaw dźwigarów: R = 6 m

$$A = -1.684 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = -10.106 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$B = -1.316 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = -7.897 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$C = -1.040 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = -6.240 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$D = 0.911 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = 5.467 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$E = -0.874 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = -5.246 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{\text{ssanie}} = -1.678 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = -10.069 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{\text{parcie}} = 0.776 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = 4.656 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$G_{\text{ssanie}} = -1.825 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = -10.953 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$G_{\text{parcie}} = 0.776 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = 4.656 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$H_{\text{ssanie}} = -1.230 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = -7.382 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$H_{\text{parcie}} = 0.629 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = 3.773 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$I_{\text{ssanie}} = -1.040 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = -6.240 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$I_{\text{parcie}} = 0.249 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = 1.491 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$J_{\text{ssanie}} = -1.746 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = -10.473 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$J_{\text{parcie}} = 0.249 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = 1.491 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{ciśnienie}_{\text{wewnętrzne},1} = W_{i1} \cdot R = 0.580 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = 3.479 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{ciśnienie}_{\text{wewnętrzne},2} = W_{i2} \cdot R = -0.249 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6 \text{ m} = -1.491 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Największe obciążenie (parcie) działająca na dach } W_{pd} = 0.776 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Największa obciążenie (ssanie) działająca na dach } W_{sd} = -1.825 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Największa obciążenie (parcia) działająca na ścianę } W_{pś} = 0.911 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Największa obciążenie (ssanie) działająca na ścianę } W_{śś} = -1.684 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

4.3. Obciążenie użytkowe

Zgodnie z [2] zakwalifikowano obiekt do kategorii obciążenia powierzchni H - Dachy bez dostępu, z wyjątkiem zwykłego utrzymania i napraw.

$$q_{k,\text{użytk}} = 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

4.4. Obciążenie technologiczne

Dla hangaru przyjęto ciężar instalacji elektrycznej, wentylacyjnej, urządzeń technologicznych powieszonych do sufitu, oświetlenia

$$q_{k,tech} = 0.25 \frac{kN}{m^2}$$

5. Kombinacje oddziaływań

SGN - zgodnie z normą PE EN 1990 : 2004 (wzór 6.10a/b) [1]

Śnieg wiodący, wiatr towarzyszący

$$E_{d,1} = (q_k + q_{tech}) \cdot 1.35 + s_{k,1} \cdot 1.5 + 0.6 \cdot w_{k,6} \cdot 1.5 + 0 \cdot q_{użytk,k}$$

$$E_{d,2} = (q_k + q_{tech}) \cdot 1.35 + s_{k,1} \cdot 1.5 + 0.6 \cdot w_{k,8} \cdot 1.5 + 0 \cdot q_{użytk,k}$$

Wiatr wiodący, śnieg towarzyszący

$$E_{d,3} = (q_k + q_{tech}) \cdot 1.35 + s_{k,1} \cdot 1.5 \cdot 0.5 + 0.6 \cdot w_{k,6} \cdot 1.5 + 0 \cdot q_{użytk,k}$$

$$E_{d,4} = (q_k + q_{tech}) \cdot 1.35 + s_{k,1} \cdot 1.5 \cdot 0.5 + 0.6 \cdot w_{k,8} \cdot 1.5 + 0 \cdot q_{użytk,k}$$

Obciążenie użytkowe wiodące

$$E_{d,5} = (q_k + q_{tech}) \cdot 1.35 + 1.5 \cdot q_{użytk,k}$$

SGU - wg normy PE EN 1990 : 2004 (wzór 6.14b)[1]

Śnieg wiodący, wiatr towarzyszący

$$E_{k,1} = q_k + q_{tech} + s_{k,1} + 0.6 \cdot w_{k,6}$$

$$E_{k,2} = q_k + q_{tech} + s_{k,1} + 0.6 \cdot w_{k,8}$$

Wiatr wiodący, śnieg towarzyszący

$$E_{k,3} = q_k + q_{tech} + 0.5 \cdot s_{k,1} + w_{k,6}$$

$$E_{k,4} = q_k + q_{tech} + 0.5 \cdot s_{k,1} + w_{k,8}$$

Obciążenie użytkowe wiodące

$$E_{k,5} = q_k + q_{tech} + q_{użytk,k}$$

wartości współczynników:

niekorzystne $\rightarrow \gamma_{G,max} = 1.35$

korzystne $\rightarrow \gamma_{G,min} = 1$

niekorzystne $\rightarrow \gamma_{Q,max} = 1.5$

korzystne $\rightarrow \gamma_{D,min} = 0$

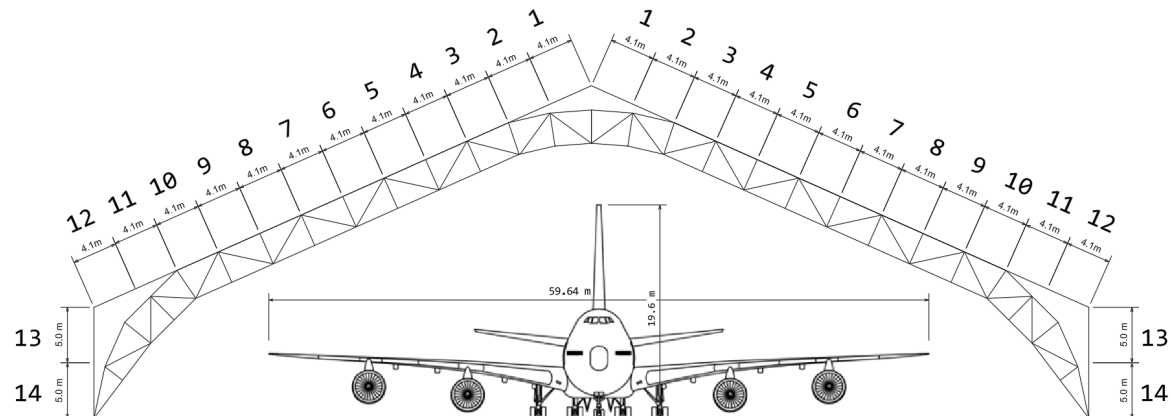
śnieg $\rightarrow \psi_{0,1} = 0.5$

wiatr $\rightarrow \psi_{0,2} = 0.6$

współczynnik obciążeń zmiennych dla dachu kat. H $\rightarrow \psi_{0,3} = 0$

6. Dobór elementów konstrukcji

Połąc została podzielona na 12 pól w celu wyznaczenia rozstawu tężników międzypołąciowych. Każde pole o długości $L = 4.1 \text{ m}$. Ścianę podzielono na 2 pola o wysokości $H = 5 \text{ m}$.



Rys. 7. Podział połąci na symetryczną ilość pól

6.1. Pokrycie dachowe

Rzutowanie obciążenia od śniegu na kierunek prostopadły do połąci:

$$q_s = s \cdot \cos(23^\circ) = 0.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \cos(23^\circ) = 0.515 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Rzutowanie obciążenia użytkowego na kierunek prostopadły do połąci:

$$q_t = q_{k, \text{użytk}} \cdot \cos(23^\circ) = 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \cos(23^\circ) = 0.368 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{\text{SGN}} = 1.5 \cdot q_s + 1.5 \cdot q_t + 1.5 \cdot W_{\text{pd}} = 1.5 \cdot 0.515 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

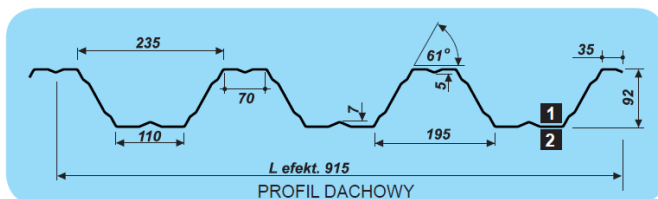
$$+ 1.5 \cdot 0.368 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1.5 \cdot 0.776 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2.490 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{\text{SGU}} = 1 \cdot q_s + 1 \cdot q_t + 1 \cdot W_{\text{pd}} = 1 \cdot 0.515 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1 \cdot 0.368 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$+ 1 \cdot 0.776 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1.660 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Arkusze należy montować szerszymi półkami na podporach (negatyw), tak aby zamek montażowy znajdował się na górze, w celu lepszego odprowadzenia wód opadowych.

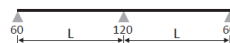
NEGATYW



Profile dachowe uzyskuje się, gdy strona:
1 pokryta jest powłoką dekoracyjną,
2 powłoką ochronną (lakier podkładowy)

Rys. 8. Ułożenie blachy trapezowej T-92P w pozycji negatyw [11]

BELKA DWUPRZĘŚŁOWA NEGATYW



Gru- bość	Jx [cm4]	Ciężar (kN/m²)	Przypa- dek	Dopuszczalne obciążenia ciągłe równomiernie rozłożone w kN/m² przy rozpiętości L(m)																				
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50
0,70	119,05	0,074	SGN	4,80	4,17	3,66	3,24	2,89	2,59	2,34	2,13	1,94	1,78	1,63	1,51	1,40	1,30	1,21	1,13	1,06	0,99	0,93	0,87	0,83
			L/150	4,80	4,17	3,66	3,24	2,89	2,59	2,34	2,13	1,94	1,78	1,63	1,51	1,40	1,30	1,21	1,13	1,06	0,98	0,88	0,79	0,71
			L/200	4,80	4,17	3,66	3,24	2,89	2,59	2,34	2,13	1,94	1,78	1,63	1,51	1,35	1,19	1,04	0,92	0,82	0,73	0,66	0,59	0,53
			L/300	4,80	4,17	3,66	3,24	2,89	2,59	2,34	1,96	1,65	1,40	1,20	1,04	0,90	0,79	0,70	0,62	0,55	0,49	0,44	0,39	0,36
0,75	127,56	0,079	SGN	5,38	4,66	4,09	3,61	3,22	2,89	2,61	2,37	2,16	1,98	1,81	1,67	1,55	1,44	1,34	1,25	1,17	1,09	1,03	0,97	0,91
			L/150	5,38	4,66	4,09	3,61	3,22	2,89	2,61	2,37	2,16	1,98	1,81	1,67	1,55	1,44	1,34	1,25	1,17	1,05	0,94	0,84	0,76
			L/200	5,38	4,66	4,09	3,61	3,22	2,89	2,61	2,37	2,16	1,98	1,81	1,67	1,45	1,27	1,12	0,99	0,88	0,79	0,70	0,63	0,57
			L/300	5,38	4,66	4,09	3,61	3,22	2,89	2,52	2,10	1,77	1,50	1,29	1,11	0,97	0,85	0,75	0,66	0,59	0,52	0,47	0,42	0,38
0,80	136,06	0,084	SGN	5,98	5,18	4,53	4,01	3,57	3,20	2,88	2,61	2,38	2,18	2,00	1,85	1,71	1,59	1,47	1,37	1,29	1,20	1,13	1,06	1,00
			L/150	5,98	5,18	4,53	4,01	3,57	3,20	2,88	2,61	2,38	2,18	2,00	1,85	1,71	1,59	1,47	1,37	1,25	1,12	1,00	0,90	0,81
			L/200	5,98	5,18	4,53	4,01	3,57	3,20	2,88	2,61	2,38	2,18	2,00	1,78	1,55	1,35	1,19	1,06	0,94	0,84	0,75	0,68	0,61
			L/300	5,98	5,18	4,53	4,01	3,57	3,20	2,68	2,24	1,88	1,60	1,37	1,19	1,03	0,90	0,80	0,70	0,63	0,56	0,50	0,45	0,41
0,88	149,67	0,093	SGN	7,00	6,05	5,28	4,66	4,14	3,71	3,34	3,03	2,76	2,52	2,32	2,13	1,97	1,83	1,70	1,59	1,48	1,39	1,30	1,22	1,15
			L/150	7,00	6,05	5,28	4,66	4,14	3,71	3,34	3,03	2,76	2,52	2,32	2,13	1,97	1,83	1,70	1,55	1,38	1,23	1,10	0,99	0,90
			L/200	7,00	6,05	5,28	4,66	4,14	3,71	3,34	3,03	2,76	2,52	2,27	1,96	1,70	1,49	1,31	1,16	1,03	0,92	0,83	0,74	0,67
			L/300	7,00	6,05	5,28	4,66	4,14	3,58	2,95	2,46	2,07	1,76	1,51	1,31	1,14	0,99	0,87	0,77	0,69	0,61	0,55	0,50	0,45
1,00	170,08	0,105	SGN	8,64	7,45	6,50	5,72	5,08	4,54	4,08	3,70	3,36	3,07	2,81	2,59	2,39	2,22	2,06	1,92	1,79	1,67	1,57	1,47	1,39
			L/150	8,64	7,45	6,50	5,72	5,08	4,54	4,08	3,70	3,36	3,07	2,81	2,59	2,39	2,22	1,99	1,76	1,56	1,40	1,25	1,13	1,02
			L/200	8,64	7,45	6,50	5,72	5,08	4,54	4,08	3,70	3,36	3,00	2,58	2,23	1,94	1,69	1,49	1,32	1,17	1,05	0,94	0,84	0,76
			L/300	8,64	7,45	6,50	5,72	5,01	4,07	3,35	2,80	2,36	2,00	1,72	1,48	1,29	1,13	0,99	0,88	0,78	0,70	0,63	0,56	0,51
1,25	212,60	0,132	SGN	12,47	10,70	9,29	8,14	7,20	6,41	5,75	5,18	4,70	4,28	3,92	3,59	3,31	3,07	2,84	2,64	2,46	2,28	2,12	1,98	1,85
			L/150	12,47	10,70	9,29	8,14	7,20	6,41	5,75	5,18	4,70	4,28	3,92	3,59	3,23	2,82	2,48	2,20	1,95	1,74	1,56	1,41	1,27
			L/200	12,47	10,70	9,29	8,14	7,20	6,41	5,75	5,18	4,42	3,76	3,22	2,78	2,42	2,12	1,86	1,65	1,47	1,31	1,17	1,06	0,95
			L/300	12,47	10,70	9,29	7,82	6,26	5,09	4,19	3,50	2,94	2,50	2,15	1,85	1,61	1,41	1,24	1,10	0,98	0,87	0,78	0,70	0,64
1,50	255,12	0,158	SGN	16,28	13,93	12,06	10,55	9,31	8,28	7,41	6,67	6,04	5,50	5,02	4,60	4,24	3,92	3,60	3,32	3,07	2,84	2,64	2,46	2,30
			L/150	16,28	13,93	12,06	10,55	9,31	8,28	7,41	6,67	6,04	5,50	5,02	4,45	3,87	3,39	2,98	2,64	2,34	2,09	1,88	1,69	1,53
			L/200	16,28	13,93	12,06	10,55	9,31	8,28	7,41	6,29	5,30	4,51	3,86	3,34	2,90	2,54	2,24	1,98	1,76	1,57	1,41	1,27	1,14
			L/300	16,28	13,93	11,93	9,38	7,51	6,11	5,03	4,19	3,53	3,00	2,58	2,23	1,94	1,69	1,49	1,32	1,17	1,05	0,94	0,84	0,76

blacha trapezowa T-92P

Rys. 9. Tabela obciążeń maksymalnych dla blachy trapezowej T-92P[11]

$$g_{SGN, T92P} = 2.84 \frac{kN}{m^2} - \text{obciążenie graniczne z uwagi na nośność}$$

$$g_{SGU, T92P} = 2.48 \frac{kN}{m^2} - \text{obciążenie graniczne dla strzałki ugięcia}$$

$$f=L/150$$

$$g_{SGN} < g_{SGN, T92P} = 2.490 \frac{kN}{m^2} < 2.84 \frac{kN}{m^2} = \text{Prawda}$$

$$g_{SGU} < g_{SGU, T92P} = 1.660 \frac{kN}{m^2} < 2.48 \frac{kN}{m^2} = \text{Prawda}$$

Dobrano blachę trapezową T-92P grubości 1.25mm producenta Pruszyński.

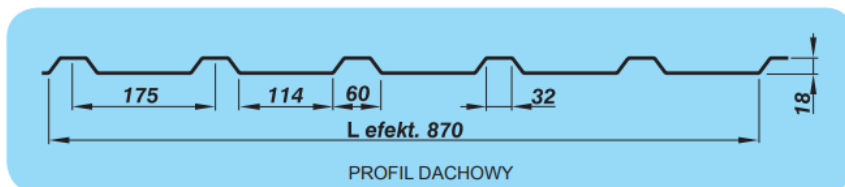
$$\text{Ciężar własny blachy wynosi } c_{T92P} = 0.084 \frac{kN}{m^2}.$$

6.2. Pokrycie ścian szczytowych

$$g_{SGN, ściana} = 1.5 \cdot W_{pd} = 1.5 \cdot 0.776 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1.164 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{SGU, ściana} = 1.0 \cdot W_{pd} = 1 \cdot 0.776 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.776 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

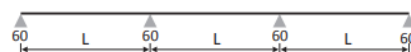
NEGATYW



Rys. 10. Przekrój poprzeczny arkusza blachy trapezowej T-20 [11]

BELKA TRÓJPRZESŁOWA

NEGATYW



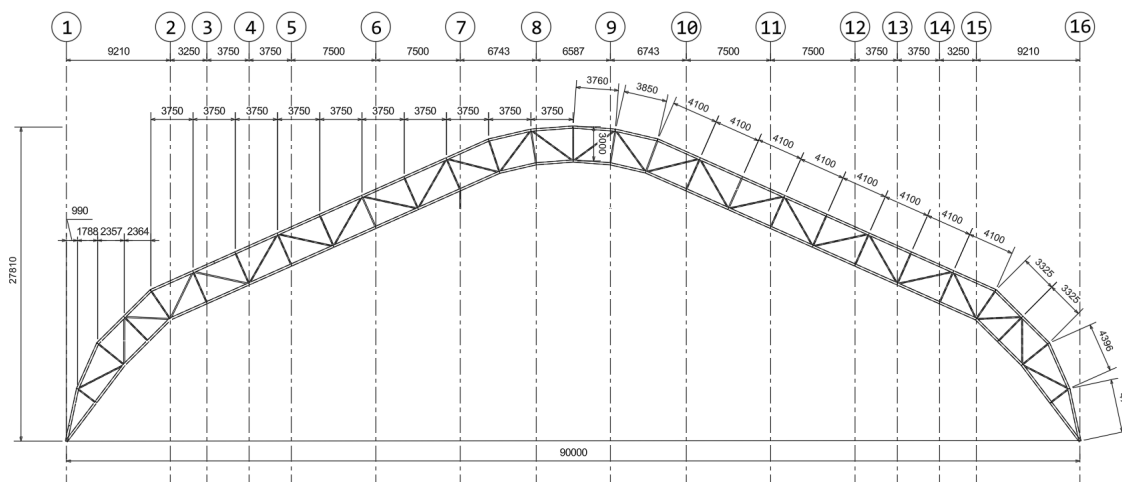
Grubość	Ciężar (kN/m ²)	Jx [cm ⁴]	Przy- padek	Dopuszczalne obciążenia ciągle równomiernie rozłożone w kN/m ² przy rozpiętości L(m)								
				1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0
0,50	0,045	2,966	1	4,13	2,64	1,83	1,35	1,03	0,81	0,66	0,54	0,45
			2	4,13	2,64	1,83	1,35	0,92	0,65	0,47	0,35	0,27
			3	4,13	2,64	1,65	1,04	0,69	0,48	0,35	0,26	0,20
0,60	0,054	4,039	1	5,81	3,72	2,58	1,89	1,45	1,14	0,93	0,76	0,64
			2	5,81	3,72	2,58	1,64	1,10	0,77	0,56	0,42	0,32
			3	5,81	3,39	1,96	1,23	0,82	0,58	0,42	0,31	0,24
0,70	0,063	5,062	1	7,87	5,03	3,49	2,57	1,96	1,55	1,26	1,04	0,87
			2	7,87	5,03	3,02	1,90	1,27	0,89	0,65	0,49	0,37
			3	7,65	3,91	2,26	1,42	0,95	0,67	0,48	0,36	0,28

Rys. 11. Tabela obciążeń maksymalnych dla blachy trapezowej T-20 [11]

Dobrano blachę trapezową T-20 grubości 0.6 mm producenta Pruszyński.

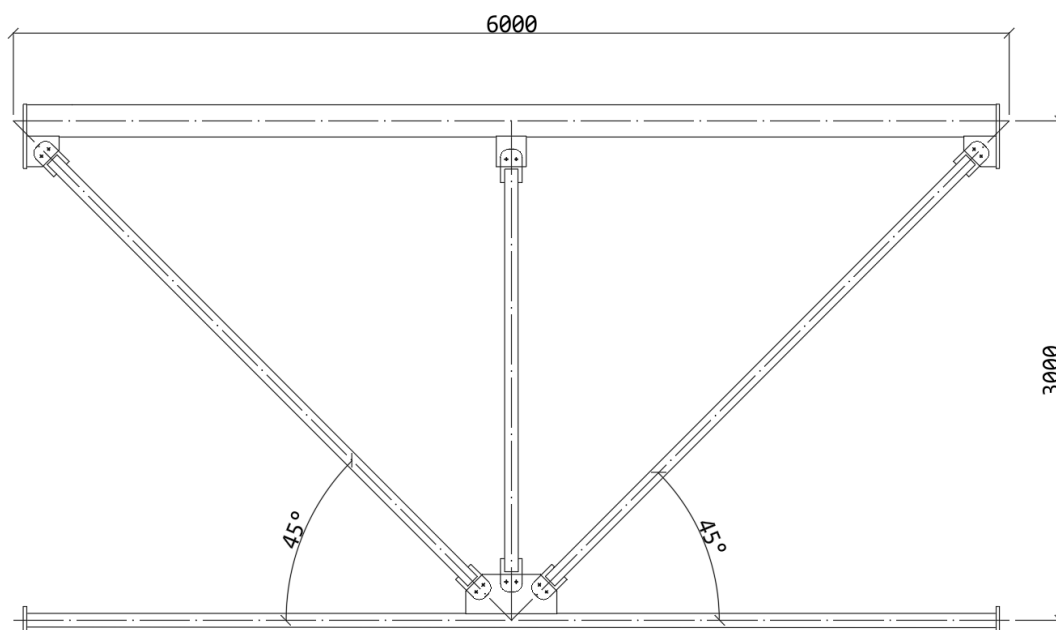
Ciężar własny blachy wynosi $c_{T20} = 0.054 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$.

6.3. Dźwigar główny kratowy



Rys. 12. Przyjęta geometria dźwigara głównego kratowego

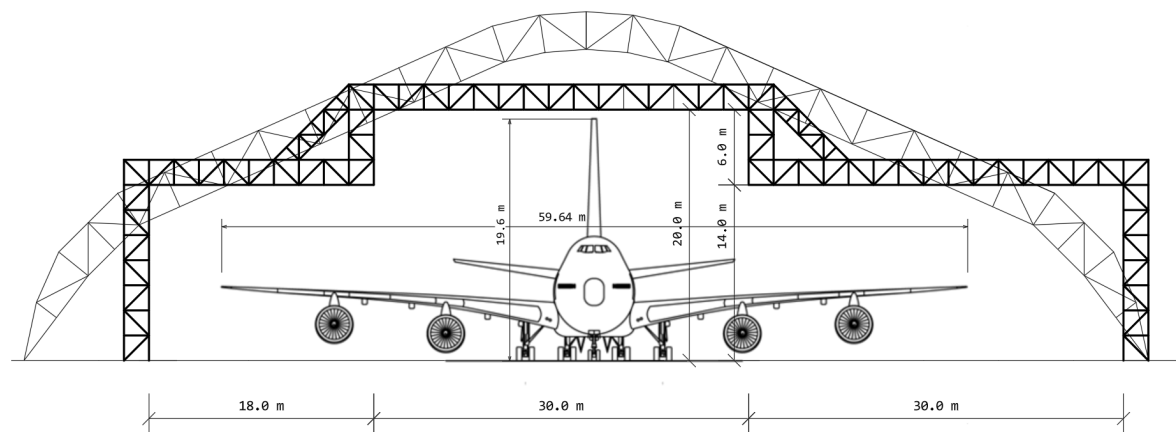
6.4. Tężniki międzyszwiergarowe kratowe



Rys. 13. Przyjęta geometria tężnika międzyszwiergarowego kratowego

6.5. Koncepcja bramy hangaru

Konstrukcja wsporcza bramy hangaru została zaprojektowana jako konstrukcja samonośna i nie wchodzi w zakres pracy. Poniżej przedstawiono proponowaną geometrię.



Rys. 14. Koncepcja konstrukcji wsporczej bramy hangaru

PROJEKT TECHNICZNY

7. Opis techniczny

7.1. Dane ogólne budynku

Zaprojektowano budynek parterowy, nieocieplony, jednonawowy przeznaczony do przechowywania i obsługi technicznej samolotów.

Osiowe wymiary konstrukcji stalowej w rzucie poziomym wynoszą 90.00m x 130.24m.

Wysokość obiektu na górnej powierzchni kalenicy wynosi 27.81m. Budynek o rzucie poziomym prostokąta o wymiarach w osiach konstrukcyjnych 90.0m szerokości i długości 130.24m.

Konstrukcja hangaru składa się z 22 dźwigarów głównych kratowanych o rozpiętości 90.0m w rozstawie co 6.0m. W osi K' wstawiono dodatkowy dźwigar, oddalony o 0.12m od lica dźwigara osi K ze względu na dylatację konstrukcyjną.

Konstrukcja dachowa zaprojektowana została w ustroju bezpłatwiovym. Pomiędzy ramami głównymi zaprojektowano tężniki poprzeczne o konstrukcji kratowej wykonanej z profili rurowych okrągłych.

Konstrukcja nośna hangaru będzie wykonana w całości ze stali S355JR.

7.2. Opis poszczególnych elementów konstrukcji

Obudowa dachu

Obudowę dachową zaprojektowano jako przekrycie blachą trapezową T-92P o grubości 1.25mm w schemacie dwuprzęsłowym. Osiowy rozstaw dźwigarów głównych kratowych hangaru wynosi 6.0m. Maksymalna długość arkusza blachy trapezowej wynosi 14.0m. Projektowana połącz dachowa jest nieocieplona zatem zgodnie z zaleceniami producenta [11] arkusze należy zamontować w pozycji "negatyw" tj. szerszymi półkami na podporach, tak aby zamek montażowy znajdował się na górze. Takie rozwiązanie polepsza odprowadzenie wód opadowych. Blachę należy przymocować wkrętami samowiercącymi z uszczelką, w dolnych fałdach blachy. Ze względu na ułożenie fałd blachy równolegle do kalenicy należy zaprojektować odprowadzenie wód opadowych z połaci od strony ścian szczytowych.

Obudowa ścienna

W celu ujednolicenia jako obudowę ścienną wykorzystano pokrycie tożsame z obudową dachu tj. blachy trapezowej T-92P o grubości 1.25mm.

Dźwigar główny kratowy

Dźwigar główny kratowy zaprojektowano z profili gorącowalcowanych zamkniętych. Pas dolny oraz pas górny z profilu RHS200x120x6.3. Słupki oraz krzyżulce z profilu SHS0x5. Dźwigar podzielono na 10 elementów wysyłkowych. Najdłuższy z nich tj. DZ-1B o długości 12.3m przedstawiono na rysunku wykonawczym nr 6.

Tężniki międzydźwiagarowe kratowe

Tężniki pełnią funkcję stężeń połączeniowych poprzez zmniejszenie długości wybojeniowej pasów (górnego i dolnego) dźwigarów głównych kratowych. Składają się z pasa dolnego, pasa górnego, słupków oraz krzyżulców nachylonych do pasa dolnego pod kątem 45°. Tężniki zaprojektowano na wysokość dźwigarów głównych tj. 3.0m. Pasy tężników montowane przegubowo do pasów dźwigarów głównych. Pas górny należy wykonać z rury okrągłej CHS193.7x8. Pas dolny, słupek oraz krzyżulce z profilu CHS82.5x8. Tężnik międzypołączeniowy podzielono na 5 elementów wysyłkowych połączonych ze sobą 12 śrubami z łbem sześciokątnym, częściowo gwintowanymi M12x40-8.8 zgodnymi z normą ISO 4014.

Ściana szczytowa północna w osi "A" otwarta

Słup o długości 10.8 m zostanie wykonany z kształtownika HEM300. Rygle ścienne zaprojektowano z rur kwadratowych SHS250x6.3 oraz SHS200x5. Konstrukcja stężona układami prętowymi typu X z prętów o średnicy 32mm. Rygle ścienne w górnej części ściany zostały podwieszone pod dźwigar w osi "B". Na podwieszenia wybrano przekroje CHS 51x3.2 oraz CHS60.3x4 połączone obustronnie przegubowo.

Ściana szczytowa południowa w osi "U" zamknięta

Dwa środkowe słupy zaprojektowano jako przekroje złożone o przekroju 2IHEM300x456x1.2. Pozostałe słupy należy wykonać z pojedynczego profilu HEM300. Stężenia ścienne typu X z prętów o średnicy 18mm. Ściana jest ustabilizowana za pomocą cięgien o przekroju R42 zamocowanych przegubowo do słupów z obu stron konstrukcji. Wysokość zamocowania cięgna dostosowano do wysokości słupów. Cięgna od zewnątrz hangaru zamocowane są przegubowo do fundamentów w osi "V" oddalonych do osi słupów o 10.0m, natomiast od wewnątrz hangaru w osi konstrukcyjnej "T" oddalonych od osi słupów o 6.0m.

Stężenia połączeniowe podłużne

Zaprojektowano jako układy prętowe typu X wykonane z pręta R35. Występują w sześciu przęsłach konstrukcji tj. przęsłach skrajnych i przedskrajnym oraz dwóch środkowych.

7.3. Warunki posadowienia obiektu

Opracowanie geotechniczne nie wchodzi w zakres niniejszej pracy. Zakłada się, że konstrukcja posadowiona jest na stabilnym podłożu, na którym nie wystąpią osiadania negatywnie wpływające na konstrukcję. Posadowienie słupów stalowych oraz dźwigarów przyjęto na stopach fundamentowych. Schematyczne wymiary fundamentu zostały podane na rysunkach i przekrojach obiektu.

7.4. Obsługa komunikacyjna

Wjazd statków powietrznych możliwy ze strony północnej poprzez bramę o szerokości 80.0m oraz wysokości w najwyższym miejscu 20.0m. Wejście główne jest umiejscowione w ścianie szczytowej północnej w osi "A". Wyjście w ścianie szczytowej południowej w osi "U" zaprojektowano wyłącznie do celów ewakuacji awaryjnej.

7.5. Kategoria zagrożenia ludzi

Projektowany obiekt z uwagi na przeznaczenie i sposób użytkowania zalicza się do kategorii obiektów produkcyjnych i magazynowych, określanych dalej jako PM. [1]

7.6. Ocena zagrożenia wybuchem pomieszczeń

Przyjęta funkcja użytkowa budynku nie przewiduje korzystania z substancji mogących powodować występowanie stref zagrożenia wybuchem.

7.7. Klasa odporności ogniowej budynku oraz klasa odporności ogniowej i stopień rozprzestrzeniania ognia elementów budowlanych

Wymagana jest klasa odporności pożarowej E, dla której nie stawia się wymagań dotyczących klasy odporności ogniowej.

7.8. Warunki ewakuacji, oświetlenie ewakuacyjne

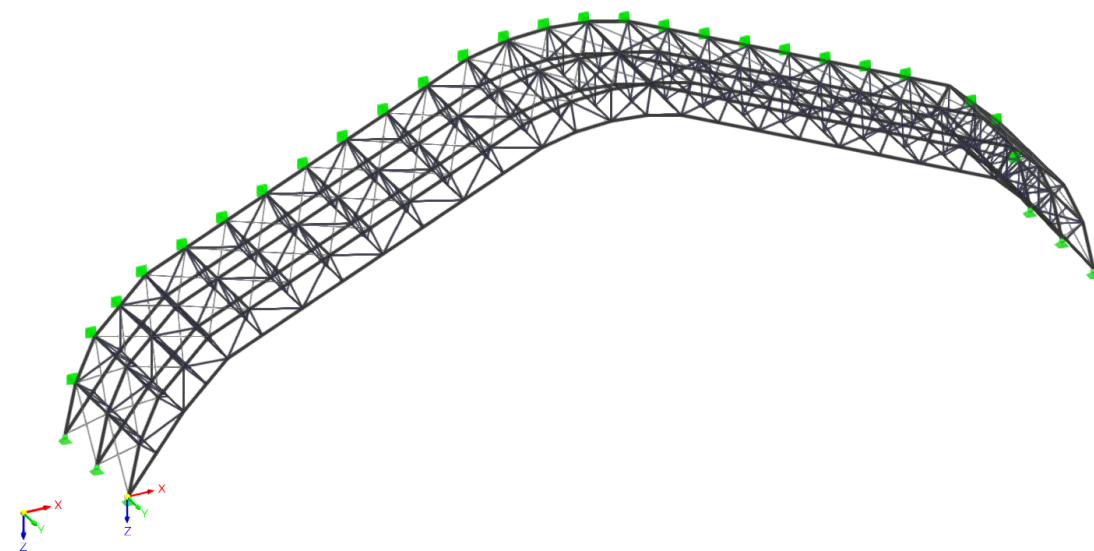
W wydzielonej strefie pożarowej PM długości przejść ewakuacyjnych nie przekraczają dopuszczalnych 100.0m zatem nie jest wymagana budowa poziomych dróg ewakuacyjnych.

8. Obliczenia statyczno - wytrzymałościowe

8.1. Modele obliczeniowe

MODEL OBLICZENIOWY NR 1 - przęsła pośrednie

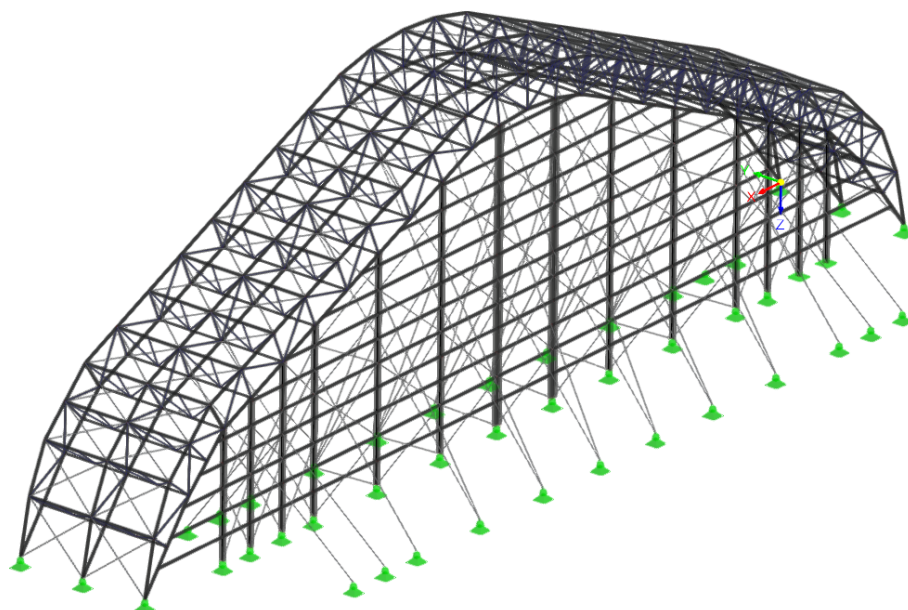
Na potrzeby wymiarowania dźwigarów kratowych oraz tężników międzydźwigarowych kratowych stworzono model obliczeniowy nr 1. Model składa się z dwóch pośrednich przęseł obiektu. Zamodelowano trzy kompletne dźwigary kratowe połączone tężnikami oraz stężeniami połączeniowymi typu X. Dźwigary są podparte przegubowo. Z uwagi na fragmentaryczny charakter modelu zablokowano możliwość przesuwu na kierunku y w miejscach połączenia z tężnikami przęseł sąsiadujących.



Rys. 15. Model obliczeniowy nr 1

MODEL OBLICZENIOWY NR 2 - ściana szczytowa w osi "U"

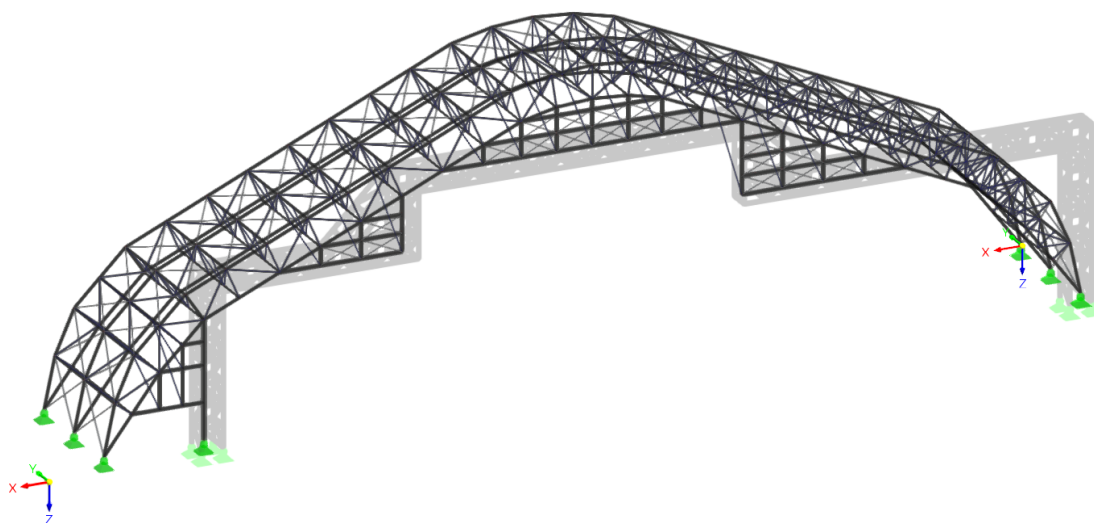
Model dwóch skrajnych przęseł użyty do wymiarowania elementów ściany szczytowej oraz stężeń połączeniowych typu X.



Rys. 16. Model obliczeniowy nr 2

MODEL OBLICZENIOWY NR 3 - ściana szczytowa w osi "A"

Model dwóch skrajnych przęseł oraz ściany szczytowej z otworem na bramę. Przęsła zostały stężone prętami o przekroju okrągłym pełnym. Widoczna w modelu konstrukcja wsporcza bramy została zamodelowana schematycznie, nie przeprowadzono wymiarowania elementów. Konstrukcja wsporcza bramy stanowi oddzielny ustrój nośny, nie połączony z konstrukcją główną hangaru.



Rys. 17. Model obliczeniowy nr 3

8.2. Proste przypadki obciążeń

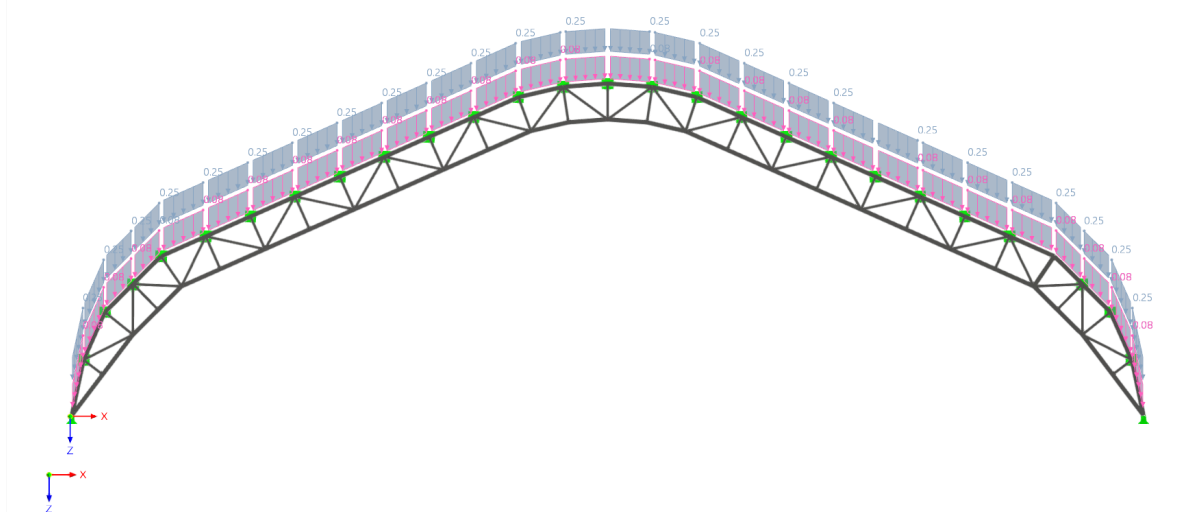
Kombinacje obciążeń dla całego obiektu wykonano wykorzystując wzory 6.10a oraz 6.10b dla kombinacji SGN i za pomocą kombinacji 6.14 dla kombinacji SGU. [1].

MODEL OBLICZENIOWY 1

Przypadek 1. Ciężar własny konstrukcji

Ze względu na tożsamy charakter obciążeń, ciężar pokrycia dachowego oraz obciążenie technologiczne zostały włączone do przypadku 1. tj. ciężaru własnego konstrukcji.

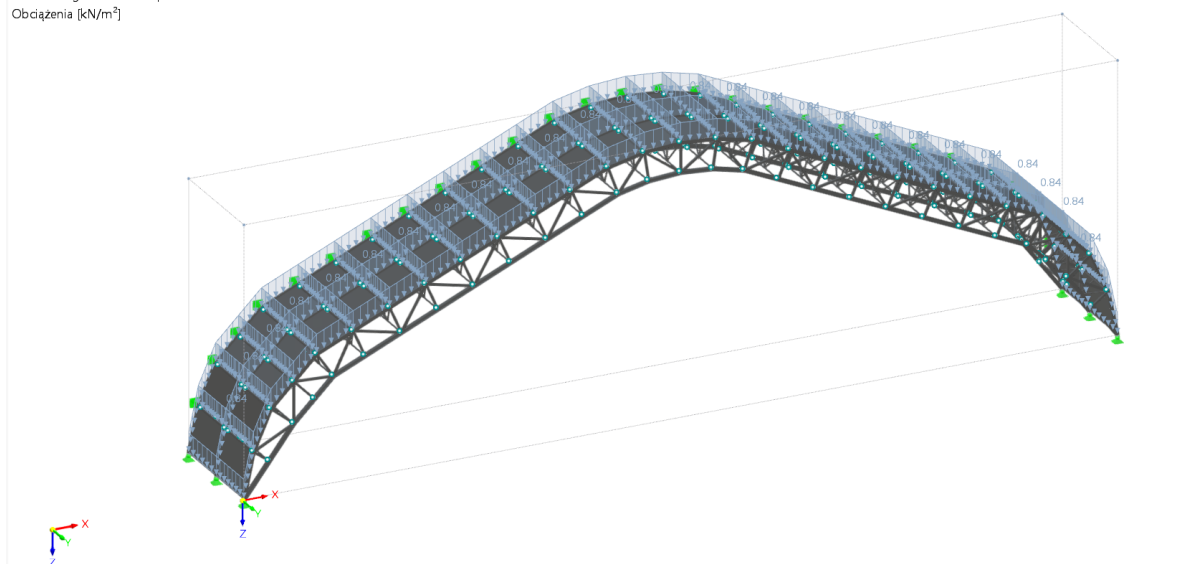
PO1 - Ciężar własny
Obciążenia [kN/m²]



Rys. 18. Przypadek obciążenia od ciężaru własnego konstrukcji

Przypadek 2. Obciążenie śniegiem - wariant 1

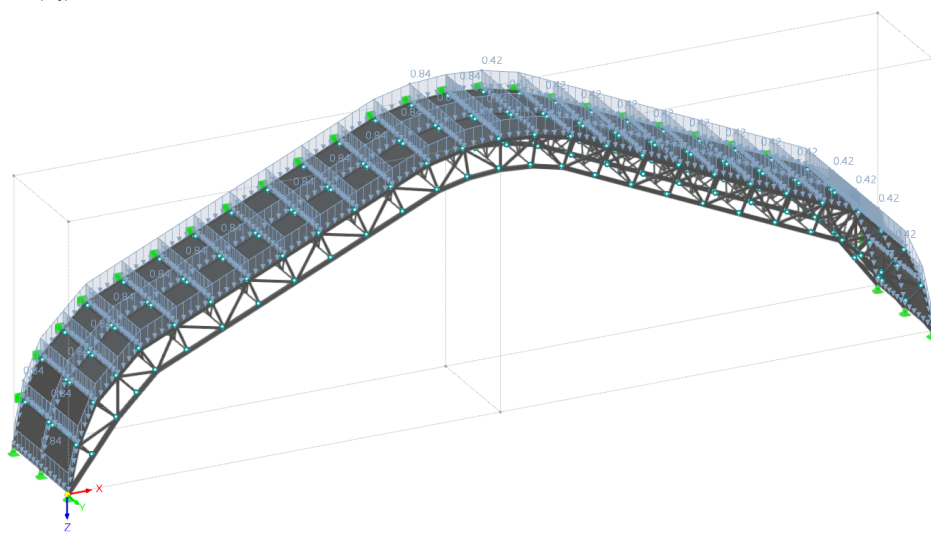
PO2 - Śnieg max. na obu połaciach
Obciążenia [kN/m²]



Rys. 19. Przypadek obciążenia śniegiem max. na obu połaciach

Przypadek 3. Obciążenie śniegiem - wariant II

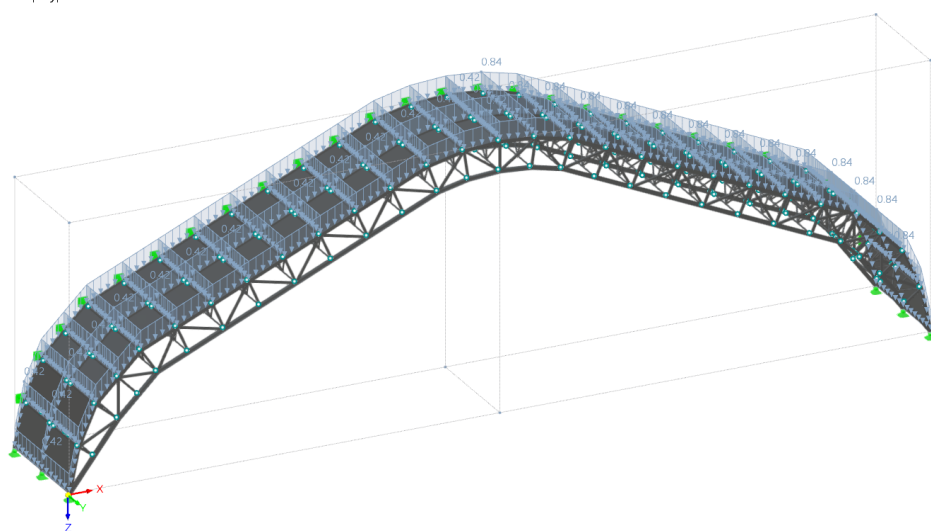
PO3 - Śnieg min. na prawej połaci - przypadek 1
Obciążenia [kN/m²]



Rys. 20. Przypadek obciążenia śniegiem max. na lewej połaci

Przypadek 4. Obciążenie śniegiem - wariant III

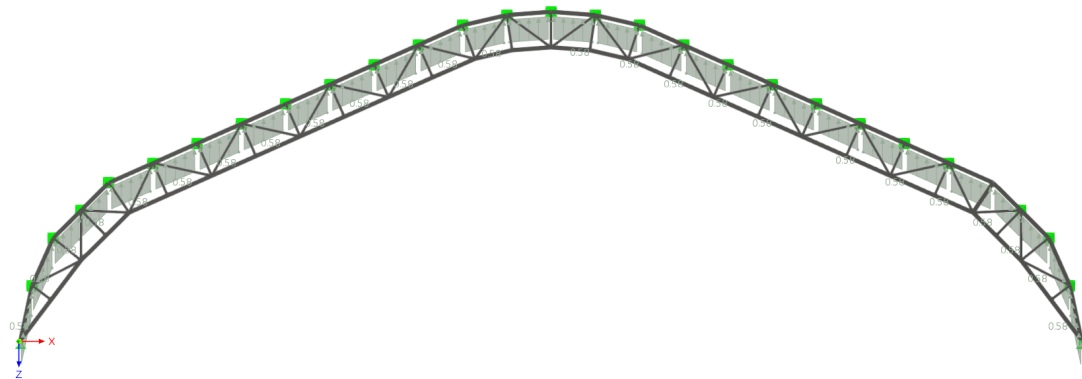
PO4 - Śnieg min. na lewej połaci - przypadek 2
Obciążenia [kN/m²]



Rys. 21. Przypadek obciążenia śniegiem max. na lewej połaci

Przypadek 5. Wiatr wewnętrzny - przypadek 1

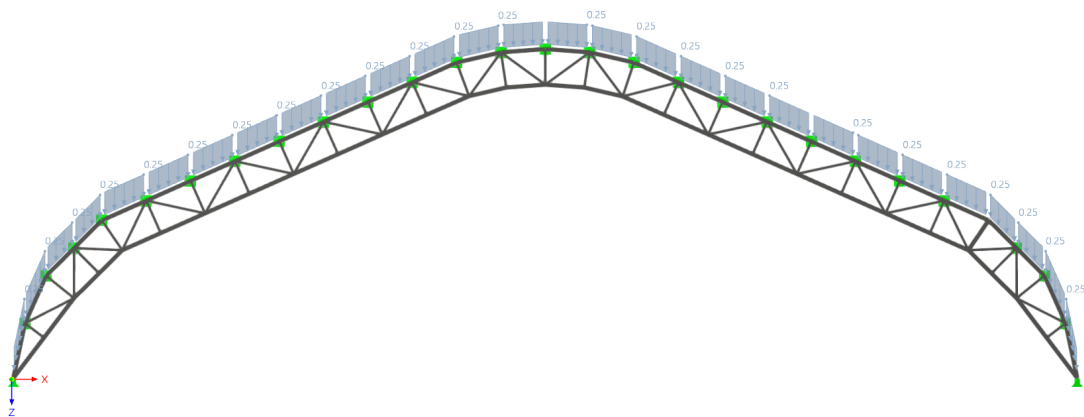
PO5 - Wiatr wewnętrzny - przypadek 1
Obciążenia [kN/m²]



Rys. 22. Przypadek obciążenia wiatrem wewnętrznym - przypadek 1

Przypadek 6. Wiatr wewnętrzny - przypadek 2

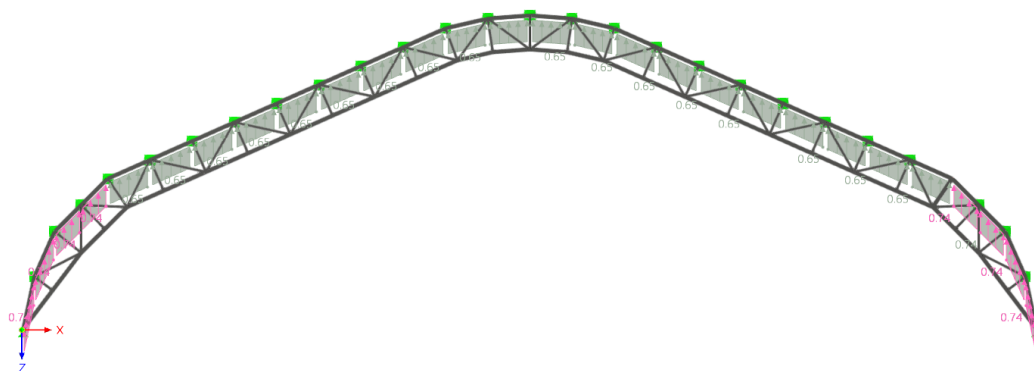
PO6 - Wiatr wewnętrzny - przypadek 2
Obciążenia [kN/m²]



Rys. 23. Przypadek obciążenia wiatrem wewnętrznym - przypadek 2

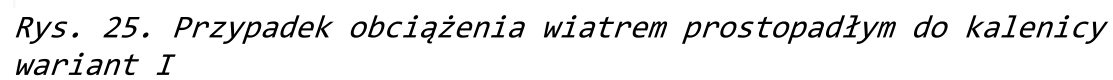
Przypadek 7. Wiatr od czoła obiektu

PO7 - Wiatr od czoła obiektu
Obciążenia [kN/m²]

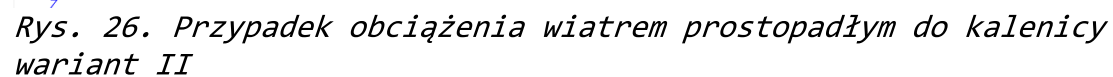


Rys. 24. Przypadek obciążenia wiatrem równoległym do kalenicy

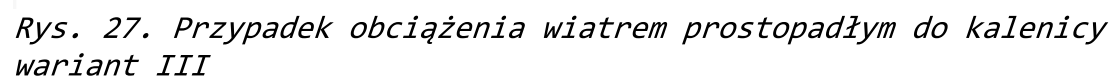
PO8 - Wiatr prostopadle do kalenicy- przypadek 1
Obciążenia [kN/m²]



PO9 - Wiatr prostopadle do kalenicy- przypadek 2
Obciążenia [kN/m²]

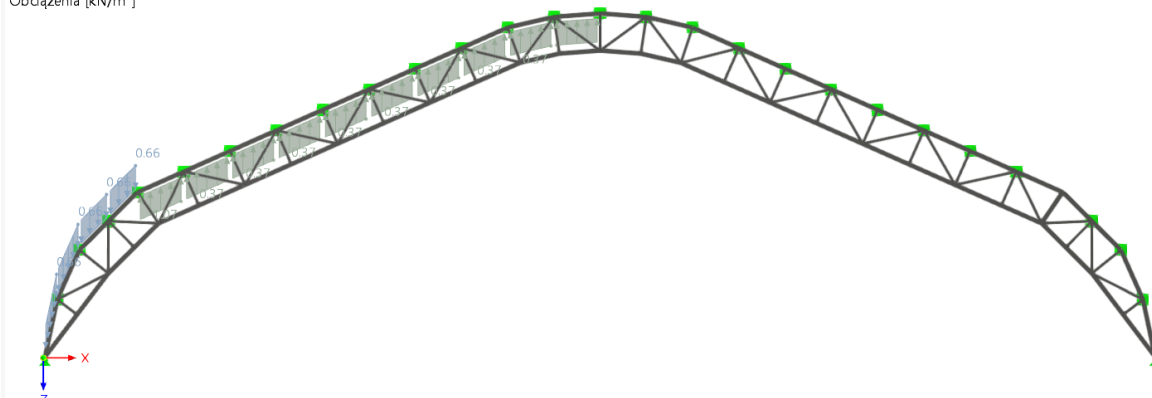


PO10 - Wiatr prostopadle do kalenicy- przypadek 3
Obciążenia [kN/m²]



Przypadek 11. Wiatr od boku obiektu- przypadek 4

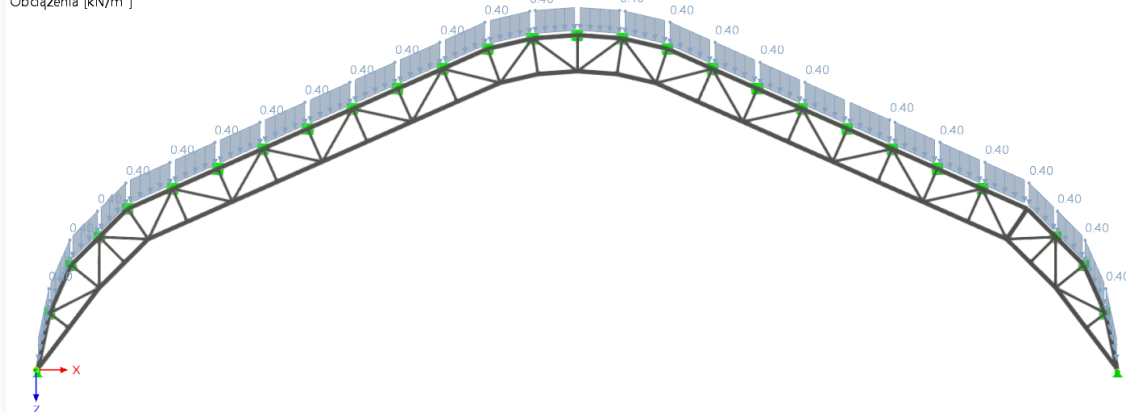
PO11 - Wiatr prostopadle do kalenicy- przypadek 4
Obciążenia [kN/m²]



Rys. 28. Przypadek obciążenia wiatrem prostopadłym do kalenicy wariant IV

Przypadek 12. Obciążenie użytkowe kat. H

PO12 - Użytkowe kategoria H
Obciążenia [kN/m²]



Rys. 29. Przypadek obciążenia użytkowego dla dachu kategorii H

8.3. Kombinacje obciążeń - model obliczeniowy nr 1

Typ	Kombinacja	Wzór
ULS	K01	1.35G
ULS	K02	1.35G + 0.75Qs1
ULS	K03	1.35G + 0.75Qs2
ULS	K04	1.35G + 0.75Qs3
ULS	K05	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw3
ULS	K06	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw4
ULS	K07	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw5
ULS	K08	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw6
ULS	K09	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw7
ULS	K010	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw3 + 0.90Qw1
ULS	K011	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw3 + 0.90Qw2
ULS	K012	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw4 + 0.90Qw1
ULS	K013	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw4 + 0.90Qw2
ULS	K014	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw5 + 0.90Qw1
ULS	K015	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw5 + 0.90Qw2
ULS	K016	1.35G + 0.00QI H + 0.90Qw6 + 0.90Qw1

ULS	K017	$1.35G + 0.00QI\ H + 0.90Qw6 + 0.90Qw2$
ULS	K018	$1.35G + 0.00QI\ H + 0.90Qw7 + 0.90Qw1$
ULS	K019	$1.35G + 0.00QI\ H + 0.90Qw7 + 0.90Qw2$
ULS	K020	$1.15G + 1.50Qs1$
ULS	K021	$1.15G + 1.50Qs2$
ULS	K022	$1.15G + 1.50Qs3$
ULS	K023	$1.15G + 1.50QI\ H$
ULS	K024	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw3$
ULS	K025	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw4$
ULS	K026	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw5$
ULS	K027	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw6$
ULS	K028	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw7$
ULS	K029	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw3 + 0.90Qw1$
ULS	K030	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw3 + 0.90Qw2$
ULS	K031	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw4 + 0.90Qw1$
ULS	K032	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw4 + 0.90Qw2$
ULS	K033	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw5 + 0.90Qw1$
ULS	K034	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw5 + 0.90Qw2$
ULS	K035	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw6 + 0.90Qw1$
ULS	K036	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw6 + 0.90Qw2$
ULS	K037	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw7 + 0.90Qw1$
ULS	K038	$1.15G + 1.50QI\ H + 0.90Qw7 + 0.90Qw2$
ULS	K039	$1.15G + 1.50Qw3$
ULS	K040	$1.15G + 1.50Qw4$
ULS	K041	$1.15G + 1.50Qw5$
ULS	K042	$1.15G + 1.50Qw6$
ULS	K043	$1.15G + 1.50Qw7$
ULS	K044	$1.15G + 0.75Qs1 + 1.50Qw3$
ULS	K045	$1.15G + 0.75Qs1 + 1.50Qw4$
ULS	K046	$1.15G + 0.75Qs1 + 1.50Qw5$
ULS	K047	$1.15G + 0.75Qs1 + 1.50Qw6$
ULS	K048	$1.15G + 0.75Qs1 + 1.50Qw7$
ULS	K049	$1.15G + 0.75Qs2 + 1.50Qw3$
ULS	K050	$1.15G + 0.75Qs2 + 1.50Qw4$
ULS	K051	$1.15G + 0.75Qs2 + 1.50Qw5$
ULS	K052	$1.15G + 0.75Qs2 + 1.50Qw6$
ULS	K053	$1.15G + 0.75Qs2 + 1.50Qw7$
ULS	K054	$1.15G + 0.75Qs3 + 1.50Qw3$
ULS	K055	$1.15G + 0.75Qs3 + 1.50Qw4$
ULS	K056	$1.15G + 0.75Qs3 + 1.50Qw5$
ULS	K057	$1.15G + 0.75Qs3 + 1.50Qw6$
ULS	K058	$1.15G + 0.75Qs3 + 1.50Qw7$
ULS	K059	$1.15G + 0.00QI\ H + 1.50Qw3 + 0.90Qw1$
ULS	K060	$1.15G + 0.00QI\ H + 1.50Qw3 + 0.90Qw2$
ULS	K061	$1.15G + 0.00QI\ H + 1.50Qw4 + 0.90Qw1$
ULS	K062	$1.15G + 0.00QI\ H + 1.50Qw4 + 0.90Qw2$
ULS	K063	$1.15G + 0.00QI\ H + 1.50Qw5 + 0.90Qw1$
ULS	K064	$1.15G + 0.00QI\ H + 1.50Qw5 + 0.90Qw2$
ULS	K065	$1.15G + 0.00QI\ H + 1.50Qw6 + 0.90Qw1$
ULS	K066	$1.15G + 0.00QI\ H + 1.50Qw6 + 0.90Qw2$
ULS	K067	$1.15G + 0.00QI\ H + 1.50Qw7 + 0.90Qw1$
ULS	K068	$1.15G + 0.00QI\ H + 1.50Qw7 + 0.90Qw2$
ULS	K069	$1.15G + 0.00QI\ H + 0.90Qw3 + 1.50Qw1$
ULS	K070	$1.15G + 0.00QI\ H + 0.90Qw3 + 1.50Qw2$

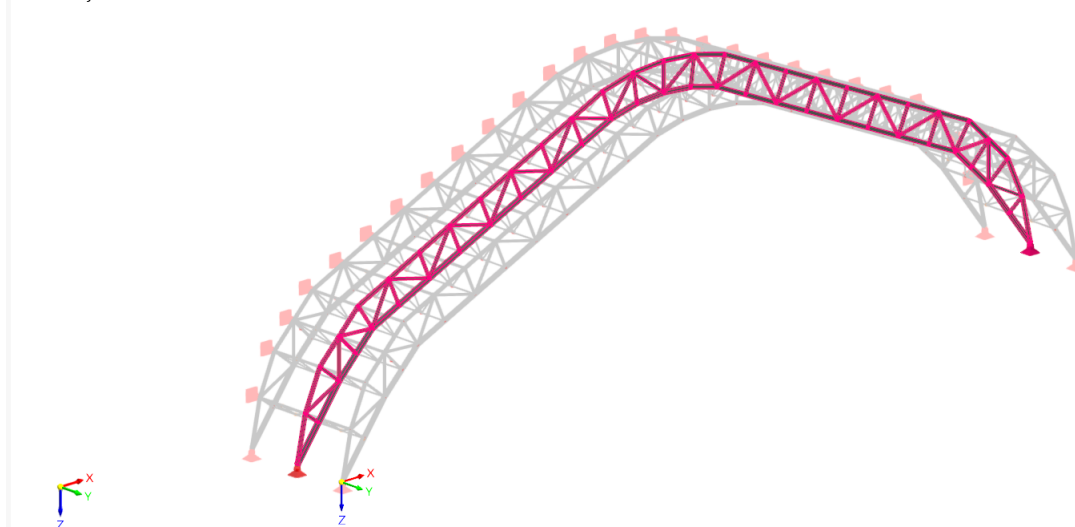
ULS	K071	$1.15G + 0.00QI\ H + 0.90Qw4 + 1.50Qw1$
ULS	K072	$1.15G + 0.00QI\ H + 0.90Qw4 + 1.50Qw2$
ULS	K073	$1.15G + 0.00QI\ H + 0.90Qw5 + 1.50Qw1$
ULS	K074	$1.15G + 0.00QI\ H + 0.90Qw5 + 1.50Qw2$
ULS	K075	$1.15G + 0.00QI\ H + 0.90Qw6 + 1.50Qw1$
ULS	K076	$1.15G + 0.00QI\ H + 0.90Qw6 + 1.50Qw2$
ULS	K077	$1.15G + 0.00QI\ H + 0.90Qw7 + 1.50Qw1$
ULS	K078	$1.15G + 0.00QI\ H + 0.90Qw7 + 1.50Qw2$
SCh	K079	G
SCh	K080	G + Qs1
SCh	K081	G + Qs2
SCh	K082	G + Qs3
SCh	K083	G + QI H
SCh	K084	G + QI H + 0.60Qw3
SCh	K085	G + QI H + 0.60Qw4
SCh	K086	G + QI H + 0.60Qw5
SCh	K087	G + QI H + 0.60Qw6
SCh	K088	G + QI H + 0.60Qw7
SCh	K089	G + QI H + 0.60Qw3 + 0.60Qw1
SCh	K090	G + QI H + 0.60Qw3 + 0.60Qw2
SCh	K091	G + QI H + 0.60Qw4 + 0.60Qw1
SCh	K092	G + QI H + 0.60Qw4 + 0.60Qw2
SCh	K093	G + QI H + 0.60Qw5 + 0.60Qw1
SCh	K094	G + QI H + 0.60Qw5 + 0.60Qw2
SCh	K095	G + QI H + 0.60Qw6 + 0.60Qw1
SCh	K096	G + QI H + 0.60Qw6 + 0.60Qw2
SCh	K097	G + QI H + 0.60Qw7 + 0.60Qw1
SCh	K098	G + QI H + 0.60Qw7 + 0.60Qw2
SCh	K099	G + Qw3
SCh	K0100	G + Qw4
SCh	K0101	G + Qw5
SCh	K0102	G + Qw6
SCh	K0103	G + Qw7
SCh	K0104	G + 0.50Qs1 + Qw3
SCh	K0105	G + 0.50Qs1 + Qw4
SCh	K0106	G + 0.50Qs1 + Qw5
SCh	K0107	G + 0.50Qs1 + Qw6
SCh	K0108	G + 0.50Qs1 + Qw7
SCh	K0109	G + 0.50Qs2 + Qw3
SCh	K0110	G + 0.50Qs2 + Qw4
SCh	K0111	G + 0.50Qs2 + Qw5
SCh	K0112	G + 0.50Qs2 + Qw6
SCh	K0113	G + 0.50Qs2 + Qw7
SCh	K0114	G + 0.50Qs3 + Qw3
SCh	K0115	G + 0.50Qs3 + Qw4
SCh	K0116	G + 0.50Qs3 + Qw5
SCh	K0117	G + 0.50Qs3 + Qw6
SCh	K0118	G + 0.50Qs3 + Qw7
SCh	K0119	G + 0.00QI H + Qw3 + 0.60Qw1
SCh	K0120	G + 0.00QI H + Qw3 + 0.60Qw2
SCh	K0121	G + 0.00QI H + Qw4 + 0.60Qw1
SCh	K0122	G + 0.00QI H + Qw4 + 0.60Qw2
SCh	K0123	G + 0.00QI H + Qw5 + 0.60Qw1
SCh	K0124	G + 0.00QI H + Qw5 + 0.60Qw2

SCh	K0125	$G + 0.00Q_I H + Q_{w6} + 0.60Q_{w1}$
SCh	K0126	$G + 0.00Q_I H + Q_{w6} + 0.60Q_{w2}$
SCh	K0127	$G + 0.00Q_I H + Q_{w7} + 0.60Q_{w1}$
SCh	K0128	$G + 0.00Q_I H + Q_{w7} + 0.60Q_{w2}$
SCh	K0129	$G + 0.00Q_I H + 0.60Q_{w3} + Q_{w1}$
SCh	K0130	$G + 0.00Q_I H + 0.60Q_{w3} + Q_{w2}$
SCh	K0131	$G + 0.00Q_I H + 0.60Q_{w4} + Q_{w1}$
SCh	K0132	$G + 0.00Q_I H + 0.60Q_{w4} + Q_{w2}$
SCh	K0133	$G + 0.00Q_I H + 0.60Q_{w5} + Q_{w1}$
SCh	K0134	$G + 0.00Q_I H + 0.60Q_{w5} + Q_{w2}$
SCh	K0135	$G + 0.00Q_I H + 0.60Q_{w6} + Q_{w1}$
SCh	K0136	$G + 0.00Q_I H + 0.60Q_{w6} + Q_{w2}$
SCh	K0137	$G + 0.00Q_I H + 0.60Q_{w7} + Q_{w1}$
SCh	K0138	$G + 0.00Q_I H + 0.60Q_{w7} + Q_{w2}$

Tab. 9. Zestawienie kombinacji automatycznych

8.4. Element 1 - Rama główna kratowa

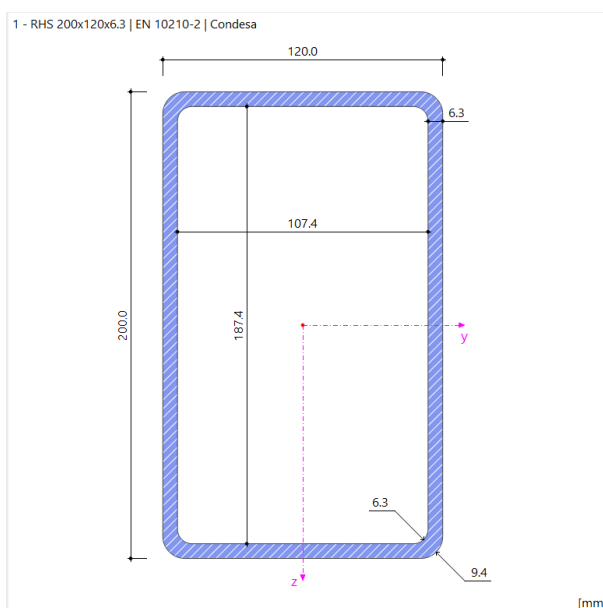
Tryb widoczności
SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
Analiza statyczna



Rys. 30. Wymiarowana rama główna w modelu obliczeniowym nr 1

8.4.1. Wymiarowanie pasa górnego

Jako pas górny głównej kratownicy przyjęto przekrój RHS 200x120x6.3



Rys. 31. Rysunek przekroju poprzecznego pasa górnego dźwigara [14]

$h = 200 \text{ mm}$ - wysokość przekroju

$b = 120 \text{ mm}$ - szerokość przekroju

$t = 6.3 \text{ mm}$ - grubość ścianki

$h_i = 187.4 \text{ mm}$ - wewnętrzna wysokość pomiędzy pasami

$r_0 = 9.4 \text{ mm}$ - zewnętrzny promień zaokrąglenia naroża

$r_1 = 6.3 \text{ mm}$ - wewnętrzny promień zaokrąglenia naroża

$d = 268 \text{ mm}$ - wysokość prostej części środka

$A = 38.30 \text{ cm}^2$ - pole przekroju

$A_{v,y} = 14.36 \text{ cm}^2$ - powierzchnia ścinania w kierunku y-y wg EC3

$A_{v,z} = 23.94 \text{ cm}^2$ - powierzchnia ścinania w kierunku z-z wg EC3

$I_y = 2065 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi y-y

$I_z = 929 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi z-y

$W_{pl,y} = 207 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y

$W_{pl,z} = 155 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z-z

$f_y = 355 \text{ MPa}$ - granica plastyczności

$E = 210 \text{ GPa}$ - moduł sprężystości

Klasa przekroju pasa górnego przy ściskaniu i/lub zginaniu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{355 \text{ MPa}}} = 0.814$$

Stosunek szerokości do grubości [5]tab 5.2:

$$\frac{d}{t} = \frac{268 \text{ mm}}{6.3 \text{ mm}} = 42.540 < 42 \cdot \varepsilon = 42 \cdot 0.814 = 34.172$$

Przekrój ściskany klasy 3.

$$\frac{d}{t} < 72 \cdot \varepsilon = \frac{268 \text{ mm}}{6.3 \text{ mm}} < 72 \cdot 0.814 = \text{Prawda}$$

Przekrój zginany klasy 1.

ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE

Obliczeniowa nośność przekroju pasa górnego na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{38.30 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 1359.65 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

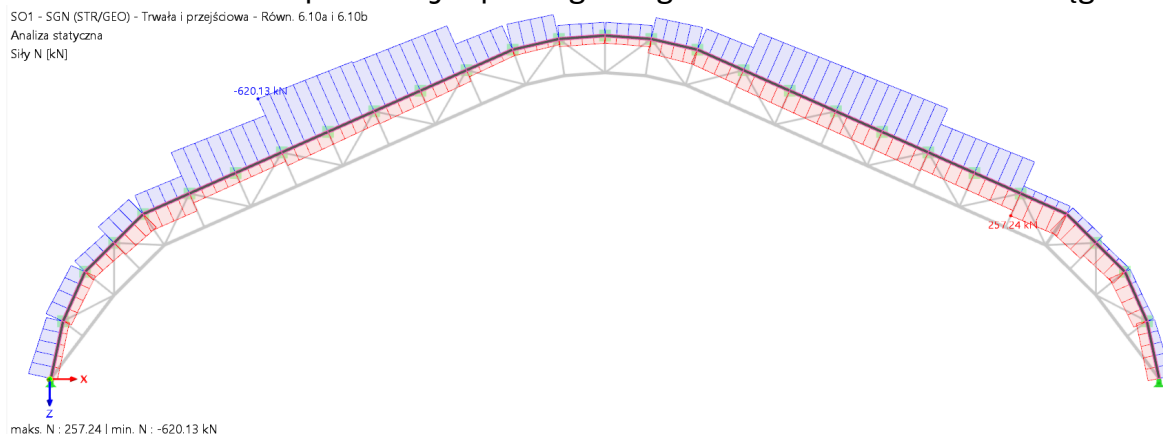
Obliczeniowa nośność przekroju pasa górnego na ściskanie:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{38.30 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 1359.65 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Warunek nośności przekroju pasa górnego na ściskanie i rozciąganie:

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
Analiza statyczna
Siły N [kN]



maks. N : 257.24 | min. N : -620.13 kN

Rys. 32. Obwiednia sił osiowych pasa górnego ramy głównej

$N_{t,Ed} = 257.24 \text{ kN}$ - rozciąganie

$N_{c,Ed} = 620.13 \text{ kN}$ - ściskanie

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{620.13 \text{ kN}}{1359.65 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} < 1 = \frac{257.24 \text{ kN}}{1359.65 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

ZGINANIE

Obliczeniowa nośność przekroju pasa górnego przy zginaniu

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{207 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 73.485 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p1,z,Rd} = \frac{W_{p1,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{155 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 55.025 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

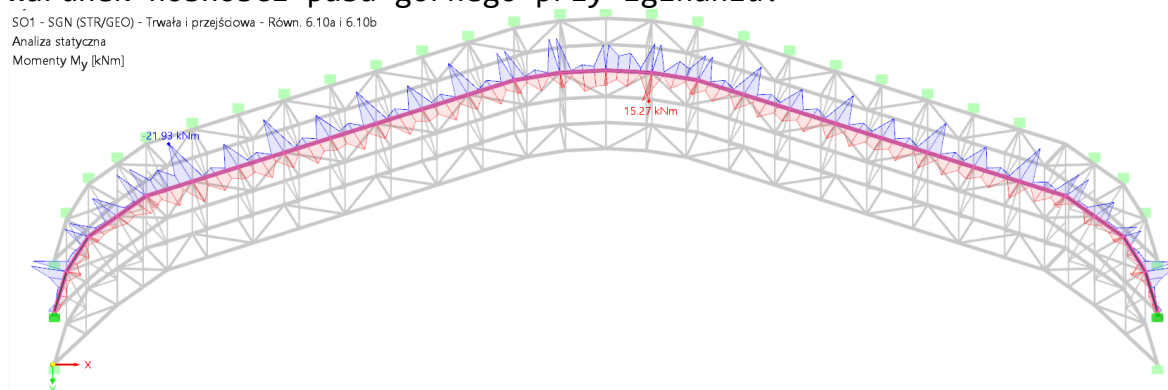
gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Warunek nośności pasa górnego przy zginaniu:

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b

Analiza statyczna

Momenty M_y [kNm]

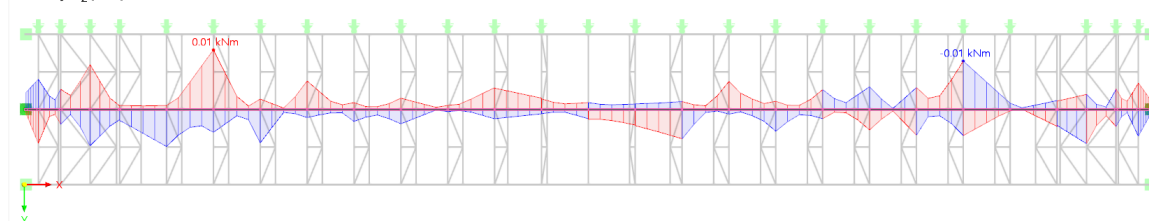


Rys.33. Obwiednia momentów zginających M_y dla pasa górnego

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b

Analiza statyczna

Momenty M_z [kNm]



Rys.34. Obwiednia momentów zginających M_z dla pasa górnego

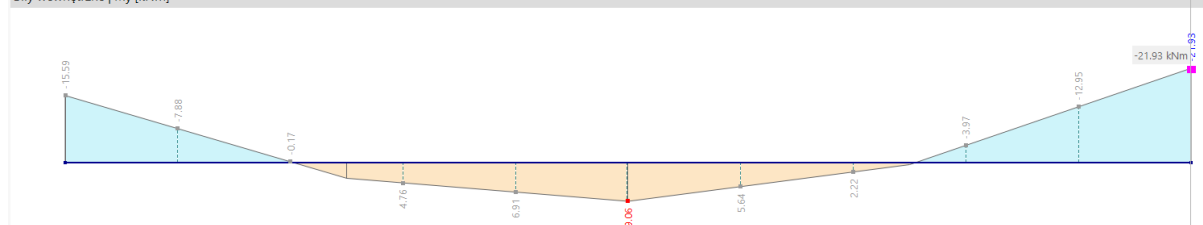
$$M_{y,Ed} = -21.93 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 0.01 \text{ kN} \cdot \text{m} - \text{pomijalne}$$

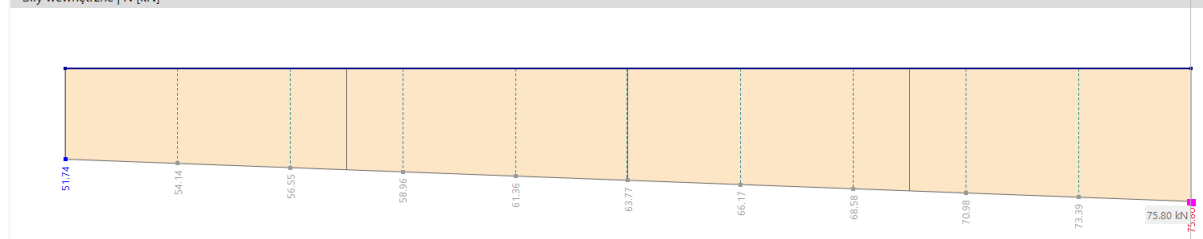
$$\frac{|M_{y,Ed}|}{M_{p1,y,Rd}} < 1 = \frac{|-21.93 \text{ kN} \cdot \text{m}|}{73.485 \text{ kN} \cdot \text{m}} < 1 = \text{Prawda}$$

Klasyfikacja przekroju przy interakcji siły ściskającej i momentu zginającego:

Siły wewnętrzne | M_y [kNm]



Siły wewnętrzne | N [kN]



Rys. 35. Wykres interakcji siły ściskającej w miejscu występowania największego momentu zginającego od kombinacji obciążenia go wywołującej

$N = 0 \text{ kN}$ - siła ściskająca

Szerokość środnika przenosząca siłę ściskającą:

$$h_N = \frac{N}{f_y \cdot t} = \frac{0 \text{ kN}}{355 \text{ MPa} \cdot 6.3 \text{ mm}} = 0 \text{ mm}$$

Względny zasięg strefy ściskanej:

$$\alpha_{\text{strefy, ściskanej}} = \frac{h_N + h - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1}{2 \cdot (h - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1)} = \frac{0 \text{ mm} + 200 \text{ mm} - 2 \cdot 6.3 \text{ mm} - 2 \cdot 6.3 \text{ mm}}{2 \cdot (200 \text{ mm} - 2 \cdot 6.3 \text{ mm} - 2 \cdot 6.3 \text{ mm})} = 0.5$$

Graniczny stosunek szerokości środnika do grubości dla klasy 1:

$$\frac{d}{t} \leq \frac{36 \cdot \epsilon}{\alpha_{\text{strefy, ściskanej}}} = \frac{268 \text{ mm}}{6.3 \text{ mm}} \leq \frac{36 \cdot 0.814}{0.5} = \text{Prawda}$$

Przekrój zginany i ściskany **klasy 1**.

Warunek stateczności środnika:

$\eta = 1$ - uproszczenie na korzyść bezpieczeństwa wg (6.2.6)[5]

$$\frac{d}{t} \leq \frac{72 \cdot \epsilon}{\eta} = \frac{268 \text{ mm}}{6.3 \text{ mm}} \leq \frac{72 \cdot 0.814}{1} = \text{Prawda}$$

Środnik nie jest narażony na niestateczność.

ŚCINANIE

Obliczeniowa nośność przekroju przy ścinaniu:

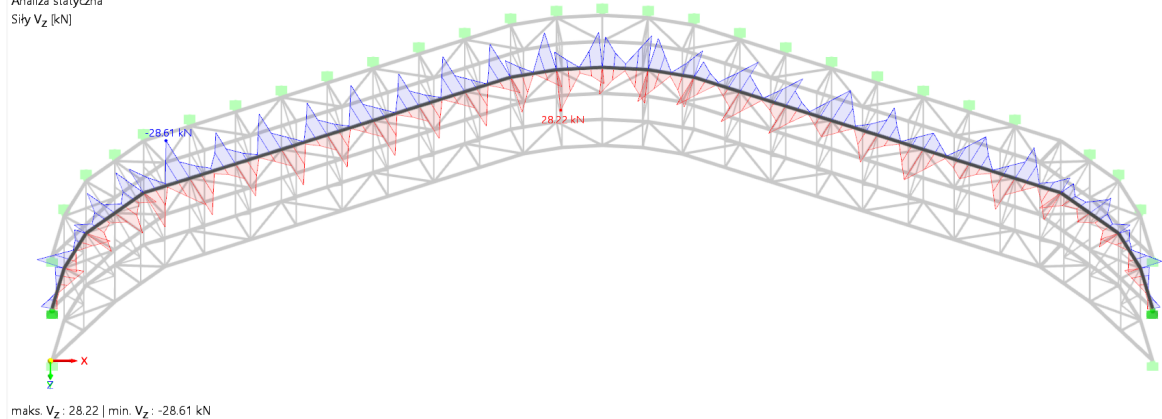
$$V_{y,p1,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{14.36 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} \right)}{1} = 294.322 \text{ kN}$$

$$V_{z,p1,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{23.94 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} \right)}{1} = 490.673 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Sprawdzenie warunków nośności:

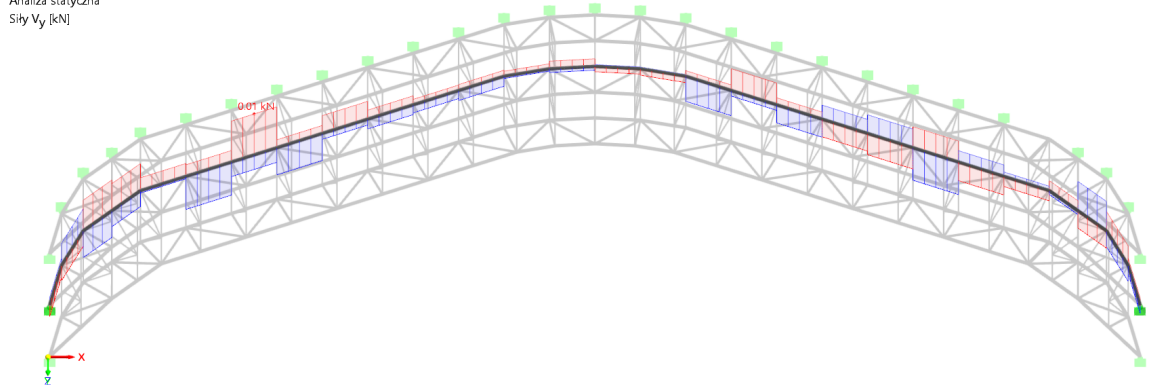
SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
Analiza statyczna
Siły V_z [kN]



maks. V_z : 28.22 | min. V_z : -28.61 kN

Rys. 36. Obwiednia sił ścinających V_z dla pasa górnego dźwigara

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
Analiza statyczna
Siły V_y [kN]



maks. V_y : 0.01 | min. V_y : 0.00 kN

Rys. 37. Obwiednia sił ścinających V_y dla pasa górnego dźwigara

$$V_{z,Ed} = 28.61 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0.01 \text{ kN} - \text{pomijalne}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,p1,Rd}} = \frac{28.61 \text{ kN}}{490.673 \text{ kN}} = 0.0583 < 1 - \text{warunek spełniony}$$

ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ

Nośność przy zginaniu z siłą podłużną (6.39)(6.40)

$$a_w = \min\left(\frac{A - d \cdot t}{A}, 0.5\right) = \min\left(\frac{38.30 \text{ cm}^2 - 268 \text{ mm} \cdot 6.3 \text{ mm}}{38.30 \text{ cm}^2}, 0.5\right) = 0.5$$

$$a_f = a_w = 0.5$$

$$\alpha_c = \min\left(\frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n_c^2}, 0.6\right) = \min\left(\frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot 0.456^2}, 0.6\right) = 0.6$$

$$\beta_c = 0.6$$

$$n_c = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{620.13 \text{ kN}}{1359.65 \text{ kN}} = 0.456$$

$$M_{c,N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_c}{1 - 0.5 \cdot a_w}\right) = 73.485 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.456}{1 - 0.5 \cdot 0.5}\right) = 53.292 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c,N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_c}{1 - 0.5 \cdot a_f}\right) = 55.025 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.456}{1 - 0.5 \cdot 0.5}\right) = 39.904 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Warunek nośności:

$$\left(\frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,N,y,Rd}}\right)^{\alpha_c} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,N,z,Rd}}\right)^{\beta_c} = \left(\frac{|-21.93 \text{ kN} \cdot \text{m}|}{53.292 \text{ kN} \cdot \text{m}}\right)^{0.6} + \left(\frac{0.01 \text{ kN} \cdot \text{m}}{39.904 \text{ kN} \cdot \text{m}}\right)^{0.6} = 0.594 < 1$$

ZGINANIE ZE ŚCINANIEM I SIŁĄ PODŁUŻNĄ

Nośność na zginanie ze ścinaniem i siłą podłużną

Zgodnie z [5] 6.2.10 (2) wpływ siły podłużnej może być pominięty jeśli:

$$V_{y,Ed} < 0.5 \cdot V_{y,pl,Rd} = 0.01 \text{ kN} < 0.5 \cdot 294.322 \text{ kN} = \text{Prawda} - \text{warunek spełniony}$$

$$V_{z,Ed} < 0.5 \cdot V_{y,pl,Rd} = 28.61 \text{ kN} < 0.5 \cdot 294.322 \text{ kN} = \text{Prawda} - \text{warunek spełniony}$$

Wpływ ścinania na zginanie jest pomijalne.

WYBOCZENIE W PŁASZCZYZNIE DŹWIGARA

Wyznaczenie długości wyboczeniowej:

Pas górny w płaszczyźnie ramy jest zabezpieczony przed wyboczeniem przez słupek kratownicy znajdujący się w połowie rozpiętości płatwi.

$$L_{cr,y} = 4.1 \text{ m}$$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczono siłę krytyczną:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 2065 \text{ cm}^4}{(4.1 \text{ m})^2} = 2546.076 \text{ kN}$$

Krzywa wyboczenia względem osi y-y - a $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$ - parametr imperfekcji [5] tab. 6.1

Smukłość względna wyboczenia giętnego:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{38.30 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{2546.076 \text{ kN}}} = 0.731$$

$$\phi_y = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right) =$$

$$0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (0.731 - 0.2) + 0.731^2 \right) = 0.823$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0.823 + \sqrt{0.823^2 - 0.731^2}} = 0.833 < 1$$

Nośność na wyboczenie elementu ściskanego:

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.833 \cdot 38.30 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 1132.346 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M1} = 1$ [5]

WYBOCZENIE Z PŁASZCZYZNY DŹWIGARA

Pas górny nie jest zabezpieczony przed wyboczeniem z płaszczyzny, zatem długość wyboczeniowa jest równa długości elementu $L_{cr,z} = 4.1 \text{ m}$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczono siłę krytyczną:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 929 \text{ cm}^4}{(4.1 \text{ m})^2} = 1145.426 \text{ kN}$$

Krzywa wyboczenia względem osi z - a $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$

Smukłość względna przy wyboczeniu giętnym:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{38.30 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1145.426 \text{ kN}}} = 1.090$$

$$\phi_z = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right) =$$

$$0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (1.090 - 0.2) + 1.090^2 \right) = 1.187$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1.187 + \sqrt{1.187^2 - 1.090^2}} = 0.603 < 1$$

Nośność na wyboczenie elementu ściskanego:

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.603 \cdot 38.30 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 820.155 \text{ kN}$$

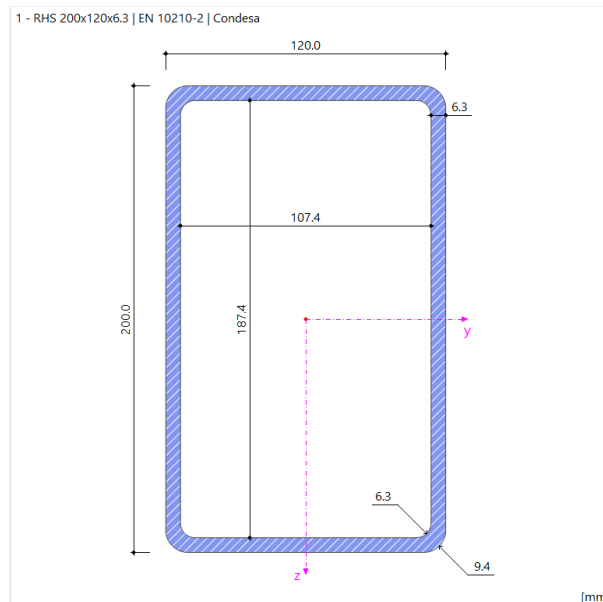
gdzie: $\gamma_{M1} = 1$ [5]

ZWICHRZENIE

Elementy o przekroju rurowym zamkniętym nie są narażone na zwichrzenie 6.3.2. (2) [5]

8.4.2. Wymiarowanie pasa dolnego

Jako pas dolny głównej kratownicy przyjęto przekrój RHS 200x120x6.3



Rys. 38. Rysunek przekroju poprzecznego pasa dolnego dźwigara [14]

$h = 200 \text{ mm}$ - wysokość przekroju

$b = 120 \text{ mm}$ - szerokość przekroju

$t = 6.3 \text{ mm}$ - grubość ścianki

$h_i = 187.4 \text{ mm}$ - wewnętrzna wysokość pomiędzy pasami

$r_0 = 9.4 \text{ mm}$ - zewnętrzny promień zaokrąglenia naroża

$r_1 = 6.3 \text{ mm}$ - wewnętrzny promień zaokrąglenia naroża

$d = 268 \text{ mm}$ - wysokość prostej części środnika

$A = 38.3 \text{ cm}^2$ - pole przekroju

$A_{v,y} = 14.36 \text{ cm}^2$ - powierzchnia ścinania w kierunku y-y wg EC3

$A_{v,z} = 23.94 \text{ cm}^2$ - powierzchnia ścinania w kierunku z-z wg EC3

$I_y = 2065 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi y-y

$I_z = 929 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi z-y

$W_{pl,y} = 253 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y

$W_{pl,z} = 177 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z-z

$f_y = 355 \text{ MPa}$ - granica plastyczności

$E = 210 \text{ GPa}$ - moduł sprężystości

Klasa przekroju pasa górnego przy ściskaniu i/lub zginaniu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{355 \text{ MPa}}} = 0.814$$

Stosunek szerokości do grubości [5] tab 5.2:

$$\frac{d}{t} = \frac{268 \text{ mm}}{6.3 \text{ mm}} = 42.540 < 42 \cdot \varepsilon = 42 \cdot 0.814 = 34.172$$

Przekrój ściskany klasy 3.

$$\frac{d}{t} < 72 \cdot \varepsilon = \frac{268 \text{ mm}}{6.3 \text{ mm}} < 72 \cdot 0.814 = \text{Prawda}$$

Przekrój zginany klasy 1.

ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE

Obliczeniowa nośność przekroju pasa górnego na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{38.3 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 1359.65 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M2} = 1$ [5]

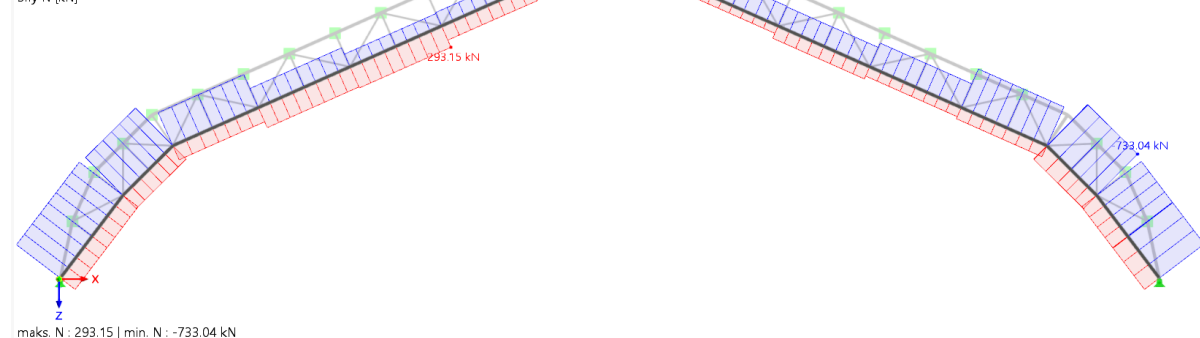
Obliczeniowa nośność przekroju pasa górnego na ściskanie:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{38.3 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 1359.65 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Warunek nośności przekroju pasa dolnego na ściskanie:

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
Analiza statyczna
Siły N [kN]



Rys. 39. Obwiednia sił osiowych pasa dolnego dźwigara

$$N_{t,Ed} = 293.15 \text{ kN} - \text{rozciąganie}$$

$$N_{c,Ed} = 733.04 \text{ kN} - \text{ściskanie}$$

Warunek nośności na ściskanie i rozciąganie:

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{293.15 \text{ kN}}{1359.65 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{733.04 \text{ kN}}{1359.65 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

ZGINANIE

Obliczeniowa nośność przekroju pasa górnego przy zginaniu

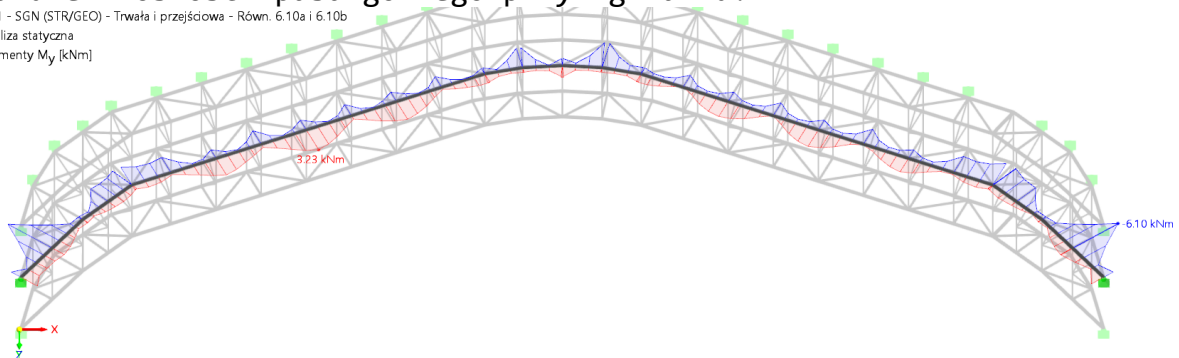
$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{253 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 89.815 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{177 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 62.835 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Warunek nośności pasa górnego przy zginaniu:

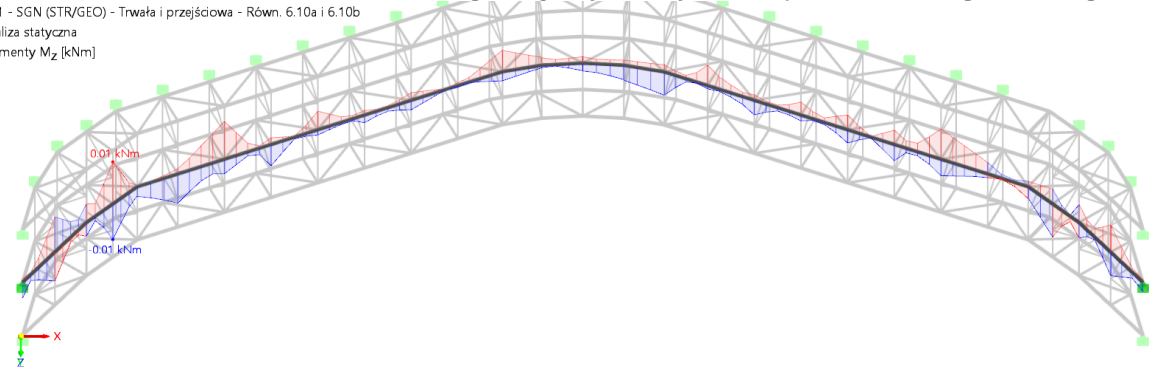
SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
Analiza statyczna
Momenty M_y [kNm]



maks. M_y : 3.23 | min. M_y : -6.10 kNm

Rys.40. Obwiednia momentów zginających M_y dla pasa dolnego dźwigara

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
Analiza statyczna
Momenty M_z [kNm]



maks. M_z : 0.01 | min. M_z : -0.01 kNm

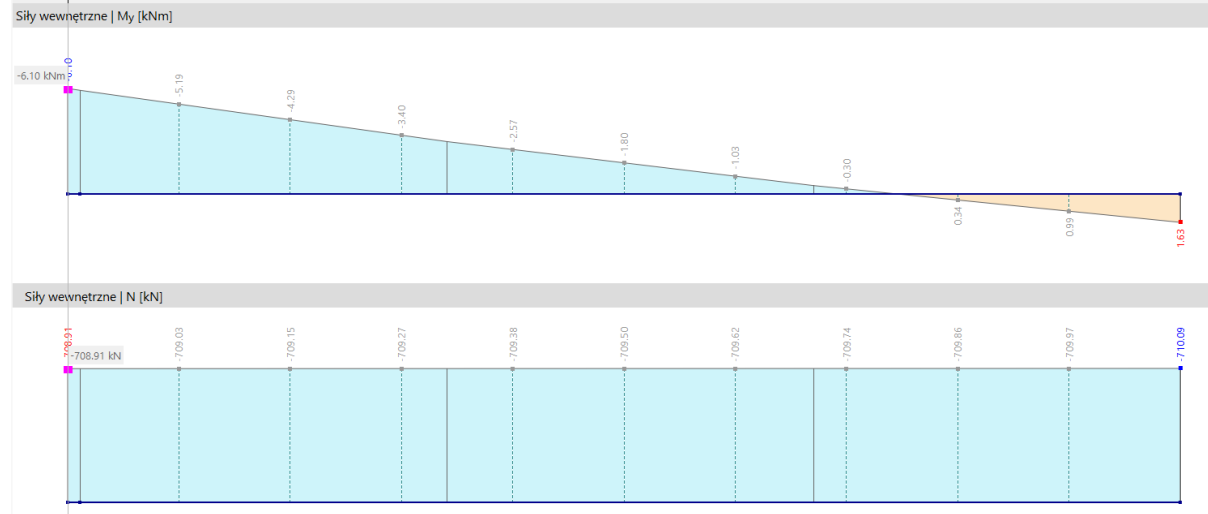
Rys.41. Obwiednia momentów zginających M_z dla pasa dolnego dźwigara

$$M_{y,Ed} = -6.10 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 0.01 \text{ kN} \cdot \text{m} - \text{pomijalne}$$

$$\frac{|M_{y,Ed}|}{M_{pl,y,Rd}} < 1 = \frac{|-6.10 \text{ kN} \cdot \text{m}|}{89.815 \text{ kN} \cdot \text{m}} < 1 = \text{Prawda}$$

Klasyfikacja przekroju przy interakcji siły ściskającej i momentu zginającego:



Rys. 42. Wykres interakcji siły ściskającej w miejscu występowania największego momentu zginającego od kombinacji obciążenia go wywołującej

$N = 709.91$ kN - siła ściskająca

Szerokość środnika przenosząca siłę ściskającą:

$$h_N = \frac{N}{f_y \cdot t} = \frac{709.91 \text{ kN}}{355 \text{ MPa} \cdot 6.3 \text{ mm}} = 317.420 \text{ mm}$$

Względny zasięg strefy ściskanej:

$$\alpha_{\text{strefy, ściskanej}} = \frac{h_N + h - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1}{2 \cdot (h - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1)} = \frac{317.420 \text{ mm} + 200 \text{ mm} - 2 \cdot 6.3 \text{ mm} - 2 \cdot 6.3 \text{ mm}}{2 \cdot (200 \text{ mm} - 2 \cdot 6.3 \text{ mm} - 2 \cdot 6.3 \text{ mm})} = 1.408$$

Graniczny stosunek szerokości środnika do grubości dla klasy 1:

$$\frac{d}{t} \leq \frac{36 \cdot \epsilon}{\alpha_{\text{strefy, ściskanej}}} = \frac{268 \text{ mm}}{6.3 \text{ mm}} \leq \frac{36 \cdot 0.814}{1.408} = \text{Fałsz}$$

Przekrój zginany i ściskany **klasy 1**.

Warunek stateczności środnika:

$\eta = 1$ - uproszczenie na korzyść bezpieczeństwa wg (6.2.6)[5]

$$\frac{d}{t} \leq \frac{72 \cdot \epsilon}{\eta} = \frac{268 \text{ mm}}{6.3 \text{ mm}} \leq \frac{72 \cdot 0.814}{1} = \text{Prawda}$$

Środnik nie jest narażony na niestateczność.

ŚCINANIE

Obliczeniowa nośność przekroju przy ścinaniu:

$$V_{y,p1,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{14.36 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} \right)}{1} = 294.322 \text{ kN}$$

$$V_{z,p1,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{23.94 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} \right)}{1} = 490.673 \text{ kN}$$

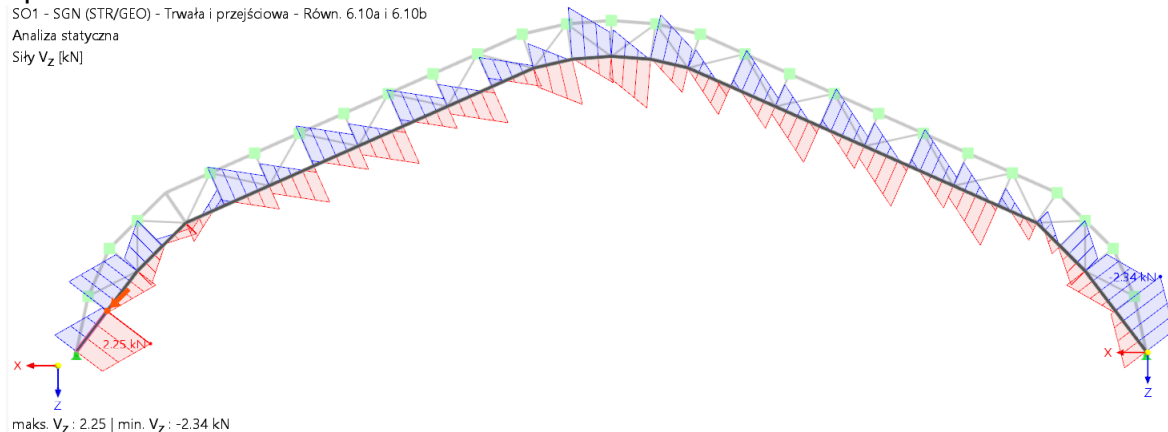
gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Sprawdzenie warunków nośności:

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b

Analiza statyczna

Siły V_z [kN]



Rys. 43. Obwiednia sił ścinających V_z dla pasa dolnego dźwigara

$$V_{z,Ed} = 2.34 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0.0 \text{ kN} - \text{pomijalne}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,p1,Rd}} = \frac{2.34 \text{ kN}}{490.673 \text{ kN}} = 0.00477 < 1 - \text{warunek spełniony}$$

ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ

Nośność przy zginaniu z siłą podłużną (6.39)(6.40)

$$a_w = \text{Min} \left(\frac{A - d \cdot t}{A}, 0.5 \right) = \text{Min} \left(\frac{38.3 \text{ cm}^2 - 268 \text{ mm} \cdot 6.3 \text{ mm}}{38.3 \text{ cm}^2}, 0.5 \right) = 0.5$$

$$a_f = a_w = 0.5$$

$$\alpha_c = \text{Min} \left(\frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n_c^2}, 0.6 \right) = \text{Min} \left(\frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot 0.539^2}, 0.6 \right) = 0.6$$

$$\beta_c = 0.6$$

$$n_c = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{733.04 \text{ kN}}{1359.65 \text{ kN}} = 0.539$$

$$M_{c,N,y,Rd} = M_{p1,y,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_c}{1 - 0.5 \cdot a_w} \right) = 89.815 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.539}{1 - 0.5 \cdot 0.5} \right) = 55.190 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c,N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_c}{1 - 0.5 \cdot a_f} \right) = 62.835 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.539}{1 - 0.5 \cdot 0.5} \right) \\ = 38.611 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Warunek nośności:

$$\left(\frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,N,y,Rd}} \right)^{\alpha_c} + \left(\frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,N,z,Rd}} \right)^{\beta_c} = \left(\frac{|-6.10 \text{ kN} \cdot \text{m}|}{55.190 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right)^{0.6} + \left(\frac{|0.01 \text{ kN} \cdot \text{m}|}{38.611 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right)^{0.6} \\ = 0.274 < 1$$

ZGINANIE ZE ŚCINANIEM I SIŁĄ PODŁUŻNĄ

Nośność na zginanie ze ścinaniem i siłą podłużną

Zgodnie z [5] 6.2.10 (2) wpływ siły podłużnej może być pominięty jeśli:

$$V_{y,Ed} < 0.5 \cdot V_{y,pl,Rd} = 0.0 \text{ kN} < 0.5 \cdot 294.322 \text{ kN} = \text{Prawda} - \text{warunek spełniony}$$

$$V_{z,Ed} < 0.5 \cdot V_{y,pl,Rd} = 2.34 \text{ kN} < 0.5 \cdot 294.322 \text{ kN} = \text{Prawda} - \text{warunek spełniony}$$

Wpływ ścinania na zginanie jest pomijalne.

WYBOCZENIE W PŁASZCZYZNIE DŹWIGARA

Wyznaczenie długości wyboczeniowej:

Pas górny w płaszczyźnie ramy jest zabezpieczony przed wyboczeniem przez słupek kratownicy znajdujący się w połowie rozpiętości płatwi.

$$L_{cr,y} = 4.1 \text{ m}$$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczam siłę krytyczną:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 2065 \text{ cm}^4}{(4.1 \text{ m})^2} = 2546.076 \text{ kN}$$

Krzywa wyboczenia względem osi y-y - a $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$ - parametr

imperfekcji [5] tab. 6.1

Smukłość względna wyboczenia giętnego:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{38.3 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{2546.076 \text{ kN}}} = 0.731$$

$$\phi_y = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right) =$$

$$0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (0.731 - 0.2) + 0.731^2 \right) = 0.823$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0.823 + \sqrt{0.823^2 - 0.731^2}} = 0.833 < 1$$

Nośność na wyboczenie elementu ściskanego:

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.833 \cdot 38.3 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 1132.346 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M1} = 1$ [5]

WYBOCZENIE Z PŁASZCZYZNY DŹWIGARA

Pas górny nie jest zabezpieczony przed wyboczeniem z płaszczyzny, zatem długość wyboczeniowa jest równa długości elementu

$$L_{cr,z} = 4.1 \text{ m}$$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczam siłę krytyczną:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 929 \text{ cm}^4}{(4.1 \text{ m})^2} = 1145.426 \text{ kN}$$

Krzywa wyboczenia względem osi z - a $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$ - parametr imperfekcji [5]

Smukłość względna przy wyboczeniu giętnym:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{38.3 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1145.426 \text{ kN}}} = 1.090$$

$$\varphi_z = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right) =$$

$$0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (1.090 - 0.2) + 1.090^2 \right) = 1.187$$

$$\chi_z = \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1.187 + \sqrt{1.187^2 - 1.090^2}} = 0.603 < 1$$

Nośność na wyboczenie elementu ściskanego:

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.603 \cdot 38.3 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 820.155 \text{ kN}$$

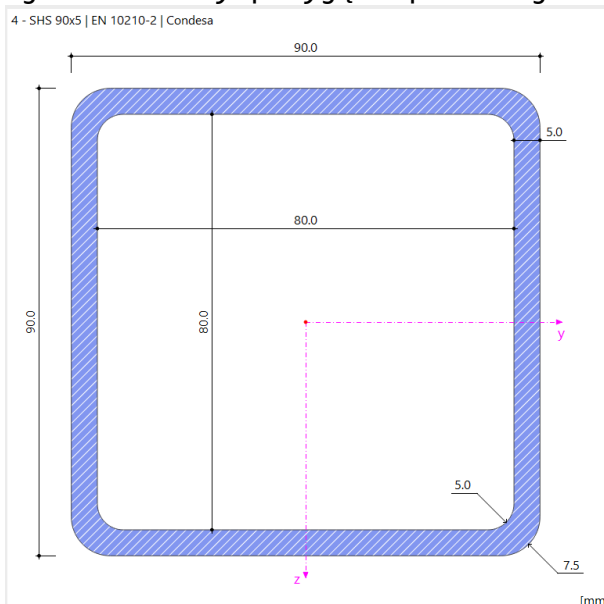
gdzie: $\gamma_{M1} = 1$

ZWICHRRZENIE

Elementy o przekroju rurowym zamkniętym nie są narażone na zwichrzenie 6.3.2. (2) [5]

8.4.3. Wymiarowanie słupków

Jako słupek głównej kratownicy przyjęto przekrój SHS 90x5.3



Rys. 44. Rysunek przekroju poprzecznego słupków dźwigara [14]

$h = 90 \text{ mm}$ - wysokość przekroju

$t = 5 \text{ mm}$ - grubość ścianki

$h_i = 80 \text{ mm}$ - wewnętrzna wysokość pomiędzy pasami

$r_o = 7.5 \text{ mm}$ - zewnętrzny promień zaokrąglenia naroża

$r_i = 5 \text{ mm}$ - wewnętrzny promień zaokrąglenia naroża

$d = 80 \text{ mm}$ - wysokość prostej części środka

$A = 16.7 \text{ cm}^2$ - pole przekroju

$A_v = 8.35 \text{ cm}^2$ - powierzchnia ścinania wg EC3

$I_y = 200 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi y-y

$I_z = I_y = 200 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi z-z

$W_{pl,y} = 53 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y

$W_{pl,z} = W_{pl,y} = 53 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z-z

$f_y = 355 \text{ MPa}$ - granica plastyczności

$E = 210 \text{ GPa}$ - moduł sprężystości

Klasa przekroju słupka przy ściskaniu i/lub zginaniu:

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{355 \text{ MPa}}} = 0.814$$

Stosunek szerokości do grubości [5] tab 5.2:

$$\frac{d}{t} = \frac{80 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} = 16 < 33 \cdot \epsilon = 33 \cdot 0.814 = 26.849$$

Przekrój ściskany klasy 1.

$$\frac{d}{t} < 72 \cdot \varepsilon = \frac{80 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} < 72 \cdot 0.814 = \text{Prawda}$$

Przekrój zginany klasy 1.

ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE

Obliczeniowa nośność przekroju słupka na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 592.85 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

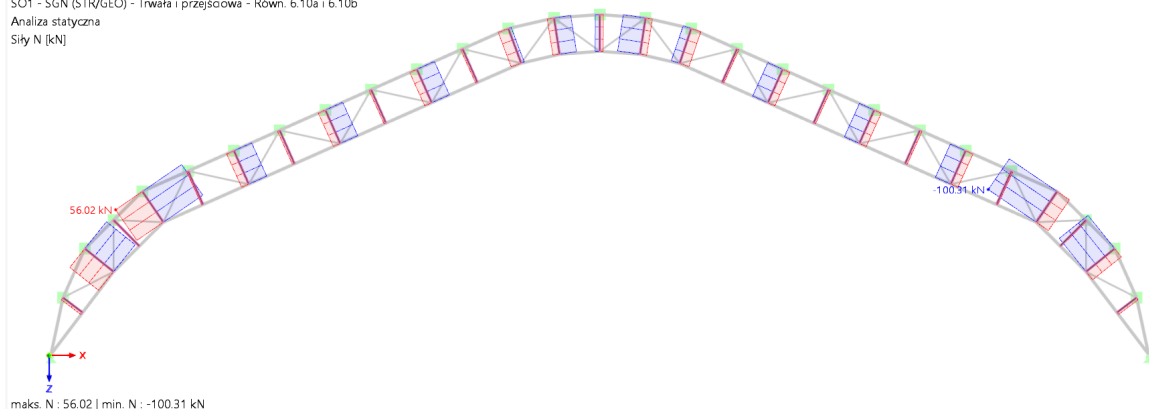
Obliczeniowa nośność przekroju słupka na ściskanie:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 592.85 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Warunek nośności przekroju pasa słupka na ściskanie i rozciąganie:

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
Analiza statyczna
Siły N [kN]



Rys. 45. Obwiednia sił osiowych słupków ramy głównej

$N_{t,Ed} = 56.02 \text{ kN}$ - rozciąganie

$N_{c,Ed} = 100.31 \text{ kN}$ - ściskanie

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{100.31 \text{ kN}}{592.85 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} < 1 = \frac{56.02 \text{ kN}}{592.85 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

ZGINANIE

Obliczeniowa nośność przekroju słupków przy zginaniu

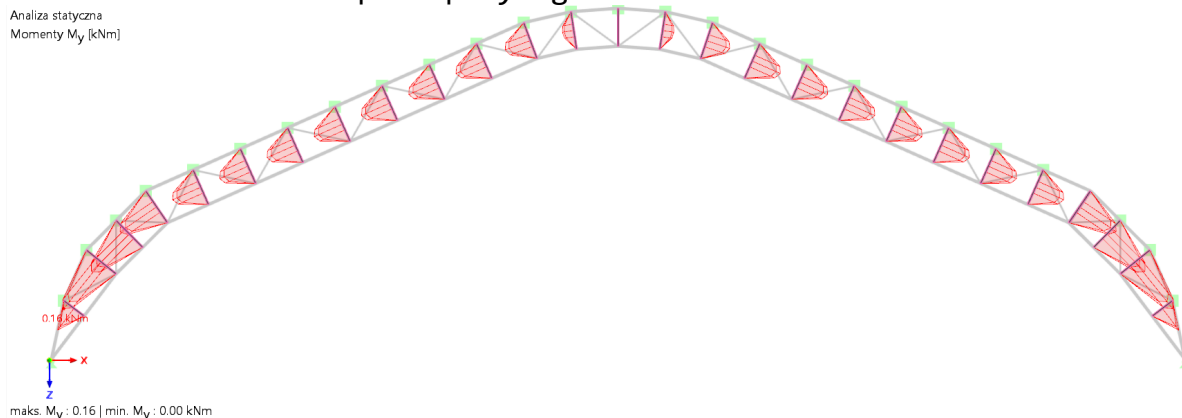
$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{53 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 18.815 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl,z,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 18.815 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Warunek nośności słupków przy zginaniu:

Analiza statyczna
Momenty M_y [kNm]



Rys. 46. Obwiednia momentów zginających M_y dla słupków ramy głównej

$$M_{y,Ed} = 0.16 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} < 1 = \frac{0.16 \text{ kN} \cdot \text{m}}{18.815 \text{ kN} \cdot \text{m}} < 1 = \text{Prawda}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} < 1 = \frac{0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}}{18.815 \text{ kN} \cdot \text{m}} < 1 = \text{Prawda}$$

Momenty mają wartości marginalne. Zostają pominięte w obliczeniach.

ŚCINANIE

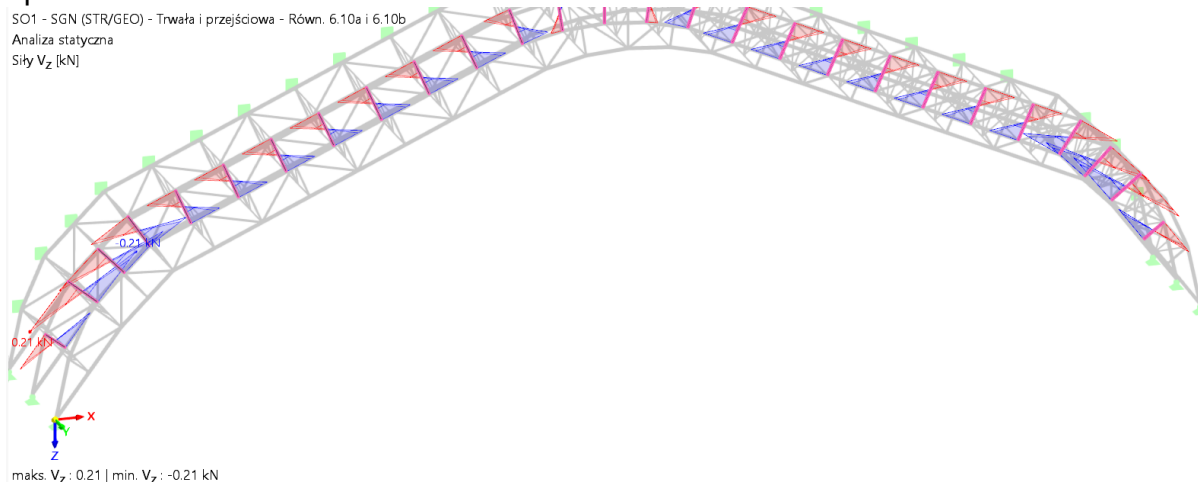
Obliczeniowa nośność przekroju przy ścinaniu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{8.35 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} \right)}{1} = 171.141 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Sprawdzenie warunków nośności:

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
Analiza statyczna
Siły V_z [kN]



Rys. 47 Obwiednia sił ścinających V_y dla słupków ramy głównej

$$V_{y,Ed} = 0.0 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0.21 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0.21 \text{ kN}}{171.141 \text{ kN}} = 0.00123 < 1 \text{ - warunek spełniony}$$

Siły tnące mają pomijalne wartości.

WYBOCZENIE W PŁASZCZYŹNIE DŹWIGARA

Słupki kratownicy o przekroju rurowym prostokątnym nie są zabezpieczone przed zwichrzeniem. Zatem ich długość wyboczeniowa wynosi:

$$L_{cr,y} = 0.9 \cdot 3 \text{ m} = 2.7 \text{ m}$$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczono siłę krytyczną:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 200 \text{ cm}^4}{(2.7 \text{ m})^2} = 568.619 \text{ kN}$$

Krzywa wyboczenia względem osi y-y - a $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$ - parametr imperfekcji [5] tab. 6.1

Smukłość względna wyboczenia giętnego:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{16.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{568.619 \text{ kN}}} = 1.021$$

$$\phi_y = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right) =$$

$$0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (1.021 - 0.2) + 1.021^2 \right) = 1.108$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1.108 + \sqrt{1.108^2 - 1.021^2}} = 0.651 < 1$$

Nośność na wyboczenie elementu ściskanego:

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.651 \cdot 16.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1}$$

$$= 3858.547 \text{ cm}^2 \cdot \text{MPa}$$

gdzie: $\gamma_{M1} = 1$ [5]

WYBOCZENIE Z PŁASZCZYŹNY DŹWIGARA

Słupki kratownicy o przekroju rurowym prostokątnym nie są zabezpieczone przed zwichrzeniem. Zatem ich długość wyboczeniowa wynosi:

$$L_{cr,z} = 0.9 \cdot 3.0 \text{ m} = 2.7 \text{ m}$$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczono siłę krytyczną:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 200 \text{ cm}^4}{(2.7 \text{ m})^2} = 568.619 \text{ kN}$$

Krzywa wybożenia względem osi z - a $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$ - parametr imperfekcji [5]

Smukłość względna przy wybożeniu giętnym:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{16.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{568.619 \text{ kN}}} = 1.021$$

$$\varphi_z = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right) =$$

$$0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (1.021 - 0.2) + 1.021^2 \right) = 1.108$$

$$\chi_z = \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1.108 + \sqrt{1.108^2 - 1.021^2}} = 0.651 < 1$$

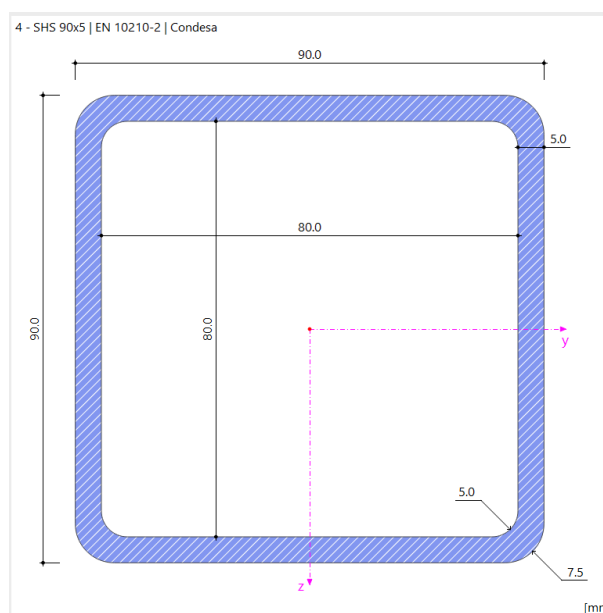
Nośność na wybożenie elementu ściskanego:

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.651 \cdot 16.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 385.855 \text{ kN},$$

gdzie: $\gamma_{M1} = 1$ [5]

8.4.4. Wymiarowanie krzyżulców

Jako krzyżulców kratownicy przyjęto przekrój SHS 90x5.3



Rys. 48. Rysunek przekroju poprzecznego krzyżulców dźwigara [14]

$h = 90 \text{ mm}$ - wysokość przekroju

$t = 5 \text{ mm}$ - grubość ścianki

$h_i = 80 \text{ mm}$ - wewnętrzna wysokość pomiędzy pasami

$r_o = 7.5 \text{ mm}$ - zewnętrzny promień zaokrąglenia naroża

$r_i = 5 \text{ mm}$ - wewnętrzny promień zaokrąglenia naroża

$d = 80 \text{ mm}$ - wysokość prostej części środka

$A = 16.7 \text{ cm}^2$ - pole przekroju

$A_v = 8.35 \text{ cm}^2$ - powierzchnia ścinania wg EC3

$I_y = 200 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi y-y

$I_z = I_y = 200 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi z-y

$W_{pl,y} = 53 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y

$W_{pl,z} = W_{pl,y} = 53 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z-z

$f_y = 355 \text{ MPa}$ - granica plastyczności

$E = 210 \text{ GPa}$ - moduł sprężystości

Klasa przekroju krzyżulca przy ściskaniu i/lub zginaniu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{355 \text{ MPa}}} = 0.814$$

Stosunek szerokości do grubości [5]tab 5.2:

$$\frac{d}{t} = \frac{80 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} = 16 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0.814 = 26.849$$

Przekrój ściskany **klasy 1**.

$$\frac{d}{t} < 72 \cdot \varepsilon = \frac{80 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} < 72 \cdot 0.814 = \text{Prawda}$$

Przekrój zginany **klasy 1**.

ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE

Obliczeniowa nośność przekroju krzyżulca na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 592.85 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

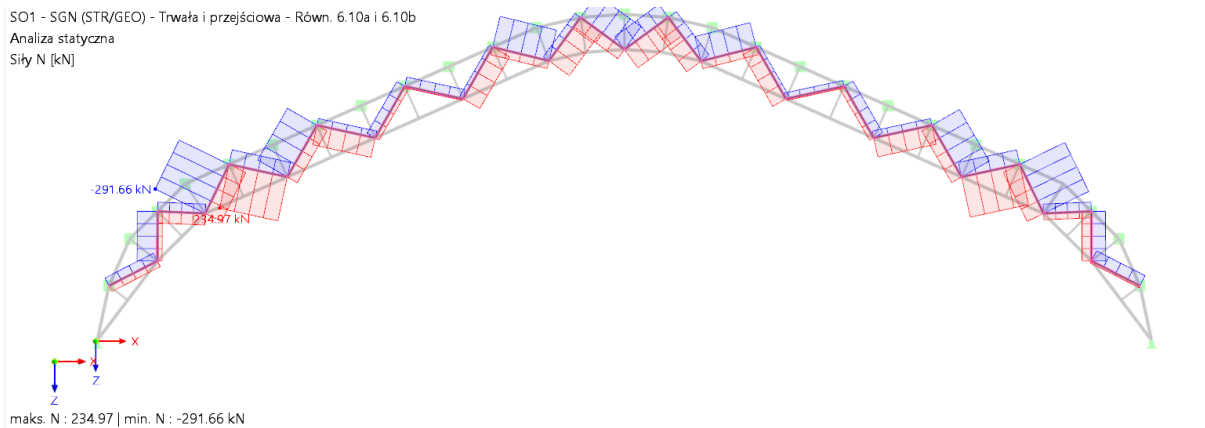
Obliczeniowa nośność przekroju krzyżulca na ściskanie:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 592.85 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Warunek nośności przekroju pasa krzyżulca na ściskanie i rozciąganie:

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
 Analiza statyczna
 Siły N [kN]



Rys. 49. Obwiednia sił osiowych krzyżulcy ramy głównej

$N_{t,Ed} = 234.97 \text{ kN}$ - rozciąganie

$N_{c,Ed} = 291.66 \text{ kN}$ - ściskanie

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{291.66 \text{ kN}}{592.85 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} < 1 = \frac{234.97 \text{ kN}}{592.85 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

ZGINANIE

Obliczeniowa nośność przekroju krzyżulca przy zginaniu

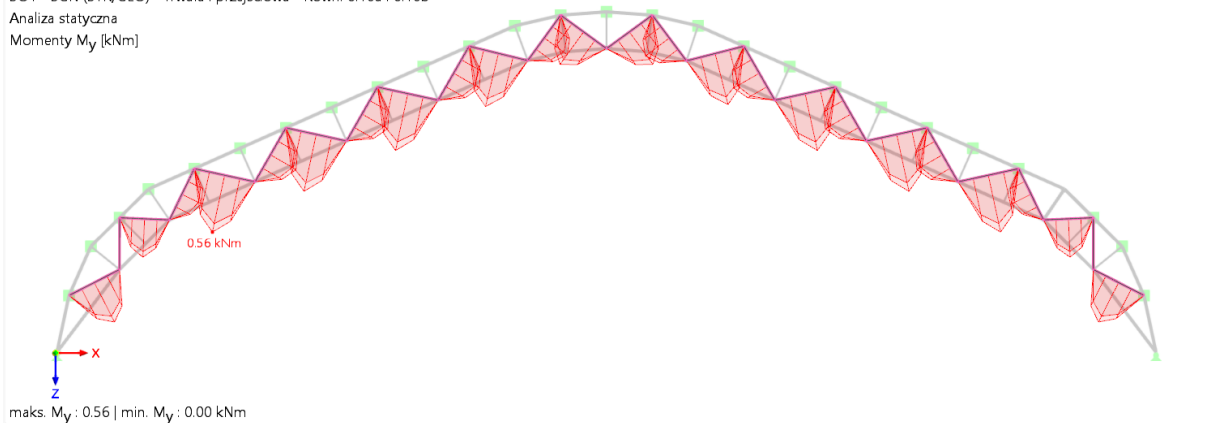
$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{53 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 18.815 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl,z,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 18.815 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Warunek nośności krzyżulca przy zginaniu:

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
 Analiza statyczna
 Momenty M_y [kNm]



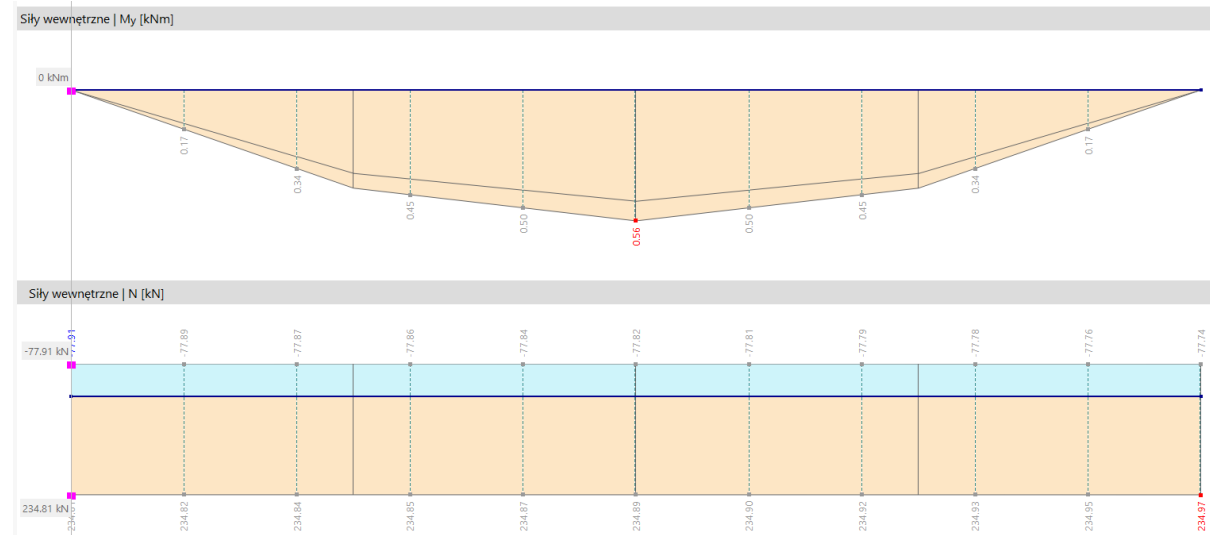
Rys. 50. Obwiednia momentów zginających M_y dla krzyżulców ramy głównej

$$M_{y,Ed} = 0.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} < 1 = \frac{0.56 \text{ kN} \cdot \text{m}}{18.815 \text{ kN} \cdot \text{m}} < 1 = \text{Prawda}$$

Klasyfikacja przekroju przy interakcji siły ściskającej i momentu zginającego:



Rys. 51. Wykres interakcji siły ściskającej i momentu zginającego

$N = 77.82 \text{ kN}$

Szerokość środnika przenosząca siłę ściskającą:

$$h_N = \frac{N}{f_y \cdot t} = \frac{77.82 \text{ kN}}{355 \text{ MPa} \cdot 5 \text{ mm}} = 43.842 \text{ mm}$$

Względny zasięg strefy ściskanej:

$$\alpha_{\text{strefy,ściskanej}} = \frac{h_N + h - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1}{2 \cdot (h - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1)} = \frac{43.842 \text{ mm} + 90 \text{ mm} - 2 \cdot 5 \text{ mm} - 2 \cdot 5 \text{ mm}}{2 \cdot (90 \text{ mm} - 2 \cdot 5 \text{ mm} - 2 \cdot 5 \text{ mm})} = 0.813$$

Graniczny stosunek szerokości środnika do grubości dla klasy 1:

$$\frac{d}{t} \leq \frac{36 \cdot \epsilon}{\alpha_{\text{strefy,ściskanej}}} = \frac{80 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} \leq \frac{36 \cdot 0.814}{0.813} = \text{Prawda}$$

Przekrój zginany i ściskany **klasy 1**.

Warunek stateczności środnika:

$\eta = 1$ - uproszczenie na korzyść bezpieczeństwa wg (6.2.6)[5]

$$\frac{d}{t} \leq \frac{72 \cdot \epsilon}{\eta} = \frac{80 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} \leq \frac{72 \cdot 0.814}{1} = \text{Prawda}$$

Środnik nie jest narażony na niestateczność.

ŚCINANIE

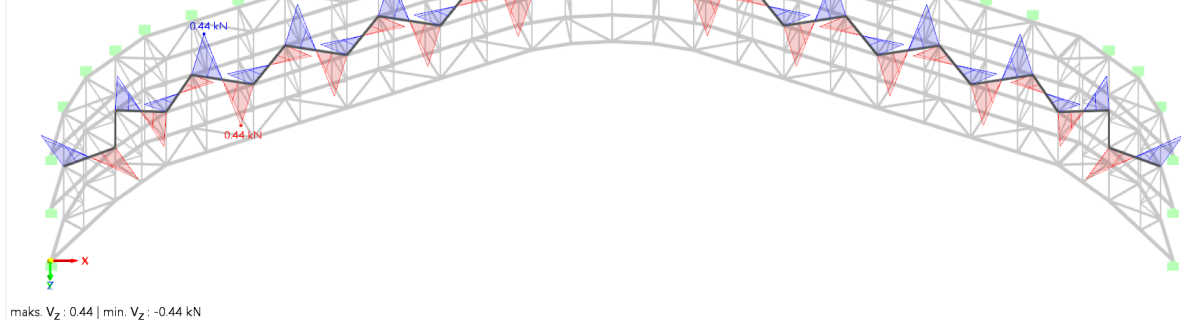
Obliczeniowa nośność przekroju przy ścinaniu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{8.35 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} \right)}{1} = 171.141 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Sprawdzenie warunków nośności:

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
Analiza statyczna
Siły V_z [kN]



Rys. 52. Obwiednia sił ścinających V_z dla krzyżulców dźwiagara

$$V_{y,Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0.44 \text{ kN} - \text{pomijalne}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0.00 \text{ kN}}{171.141 \text{ kN}} = 0 < 1 - \text{warunek spełniony}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0.44 \text{ kN}}{171.141 \text{ kN}} = 0.00257 < 1 - \text{warunek spełniony}$$

ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ

Nośność przy zginaniu z siłą podłużną (6.39)(6.40)

$$a_w = \text{Min} \left(\frac{A - d \cdot t}{A}, 0.5 \right) = \text{Min} \left(\frac{16.7 \text{ cm}^2 - 80 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm}}{16.7 \text{ cm}^2}, 0.5 \right) = 0.5$$

$$a_f = a_w = 0.5$$

$$\alpha_c = \text{Min} \left(\frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n_c^2}, 0.6 \right) = \text{Min} \left(\frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot 0.492^2}, 0.6 \right) = 0.6$$

$$\beta_c = 0.6$$

ściskanie

$$n_c = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{291.66 \text{ kN}}{592.85 \text{ kN}} = 0.492$$

$$M_{c,N,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_c}{1 - 0.5 \cdot a_w} \right) = 18.815 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.492}{1 - 0.5 \cdot 0.5} \right)$$

$$= 12.745 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,N,Rd}} \right)^{\alpha_c} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,N,Rd}} \right)^{\beta_c} = \left(\frac{0.56 \text{ kN} \cdot \text{m}}{12.745 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right)^{0.6} + \left(\frac{0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}}{12.745 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right)^{0.6} = 0.153$$

$$< 1$$

rozciąganie

$$n_t = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{234.97 \text{ kN}}{592.85 \text{ kN}} = 0.396$$

$$\alpha_t = \text{Min} \left(\frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n_t^2}, 0.6 \right) = \text{Min} \left(\frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot 0.396^2}, 0.6 \right) = 0.6; \beta_t$$

$$= 0.6$$

$$M_{t,N,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_t}{1 - 0.5 \cdot a_w} \right) = 18.815 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.396}{1 - 0.5 \cdot 0.5} \right)$$

$$= 15.144 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{t,N,Rd}} \right)^{\alpha_t} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{t,N,Rd}} \right)^{\beta_t} = \left(\frac{0.56 \text{ kN} \cdot \text{m}}{15.144 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right)^{0.6} + \left(\frac{0.0 \text{ kN} \cdot \text{m}}{15.144 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right)^{0.6} = 0.138$$

$$< 1$$

ZGINANIE ZE ŚCINANIEM I SIŁĄ PODŁUŻNĄ

Nośność na zginanie ze ścinaniem i siłą podłużną

Zgodnie z [5] 6.2.10 (2) wpływ siły podłużnej może być pominięty jeśli:

$$V_{y,Ed} < 0.5 \cdot V_{pl,Rd} = 0.00 \text{ kN} < 0.5 \cdot 171.141 \text{ kN} = \text{Prawda} - \text{warunek spełniony}$$

$$V_{z,Ed} < 0.5 \cdot V_{pl,Rd} = 0.44 \text{ kN} < 0.5 \cdot 171.141 \text{ kN} = \text{Prawda} - \text{warunek spełniony}$$

Wpływ ścinania na zginanie jest pomijalne.

WYBOCZENIE W PŁASZCZYŹNIE DŹWIGARA

Krzyżulce kratownicy o przekroju rurowym prostokątnym nie są zabezpieczone przed zwichrzeniem. Zatem ich długość wyboczeniowa wynosi:

$$L_{cr,y} = 0.9 \cdot 5.083 \text{ m} = 4.575 \text{ m}$$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczono siłę krytyczną:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 200 \text{ cm}^4}{(4.575 \text{ m})^2} = 198.072 \text{ kN}$$

Krzywa wyboczenia względem osi y-y - a $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$ - parametr imperfekcji [5] tab. 6.1

Smukłość względna wyboczenia giętnego:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{16.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{198.072 \text{ kN}}} = 1.730$$

$$\phi_y = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right) = 0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (1.730 - 0.2) + 1.730^2 \right) = 2.157$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{2.157 + \sqrt{2.157^2 - 1.730^2}} = 0.290 < 1$$

Nośność na wyboczenie elementu ściskanego:

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.290 \cdot 16.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 172.051 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M1} = 1$ [5]

WYBOCZENIE Z PŁASZCZYZNY DŹWIGARA

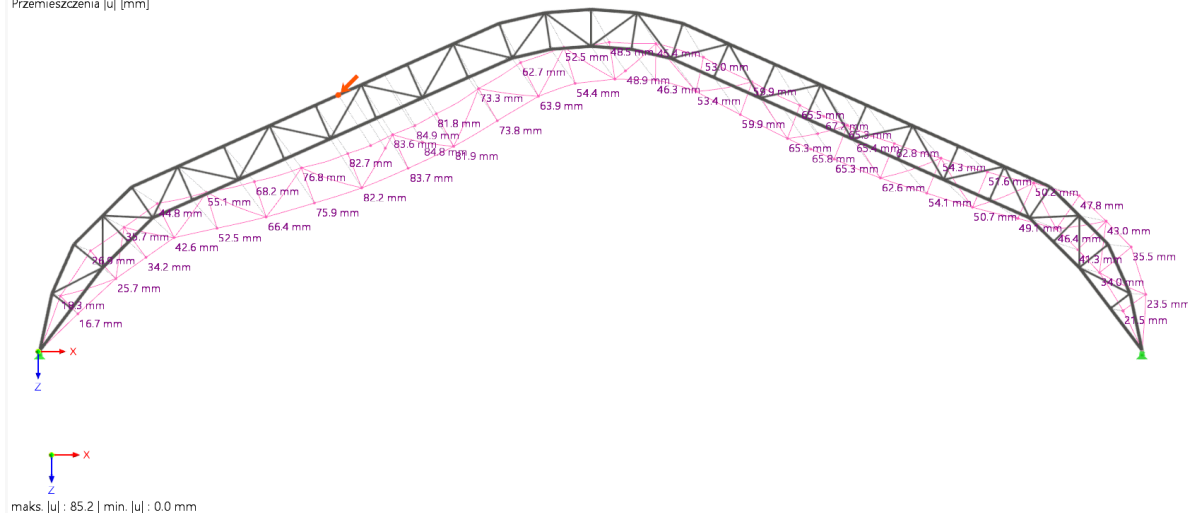
Krzyżulce kratownicy o przekroju rurowym prostokątnym nie są zabezpieczone przed zwichrzeniem. Zatem ich długość wyboczeniowa wynosi:

$$L_{cr,z} = 0.9 \cdot 5.083 \text{ m} = 4.575 \text{ m}$$

$$N_{b,z,Rd} = N_{b,y,Rd} = 172.051 \text{ kN}$$

8.4.5. Stan Graniczny Użytkowości - sprawdzenie ugięcia dźwigara

SO2 - SGU - Charakterystyczna
Analiza statyczna
Przemieszczenia [u] [mm]



Rys. 53. Obwiednia deformacji dźwigara dla SGU

Maksymalne deformacje			
Maksymalne przemieszczenie w kierunku X	58.5	mm	Pręt nr 519, x: 0.000 m KO305
Maksymalne przemieszczenie w kierunku Y	-2.3	mm	Pręt nr 294, x: 2.124 m KO297
Maksymalne przemieszczenie w kierunku Z	79.3	mm	Pręt nr 188, x: 3.182 m KO305
Maksymalne przemieszczenie wektorowe	85.2	mm	Pręt nr 175, x: 2.052 m KO305
Maksymalny obrót względem osi X	-13.3	mrad	Pręt nr 558, x: 0.000 m KO297
Maksymalny obrót względem osi Y	-10.1	mrad	Pręt nr 32, x: 0.000 m KO370
Maksymalny obrót względem osi Z	10.4	mrad	Pręt nr 533, x: 0.000 m KO319

Tab. 10. Zestawienie maksymalnych deformacji dźwigara dla SGU

$L = 90 \text{ m}$ - rozpiętość dźwigara

$$u_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{90 \text{ m}}{250} = 360 \text{ mm} - \text{maksymalne dopuszczalne ugięcie elementu}$$

$u = 85.2 \text{ mm}$ - ugięcie od SGU

$$\frac{u}{u_{\max}} = \frac{85.2 \text{ mm}}{360 \text{ mm}} = 0.237 < 1.0 - \text{warunek spełniony}$$

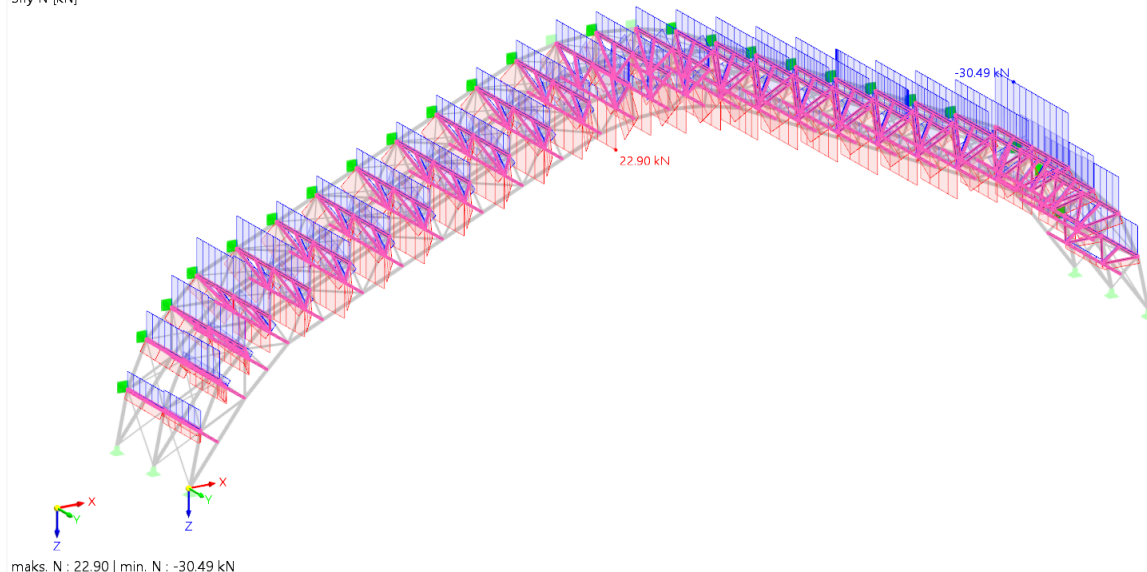
8.5. Element 2 - Tężnik między-dźwigarowy kratowy

Do obliczeń wybrano tężnik w którym występuje największe ściskanie.

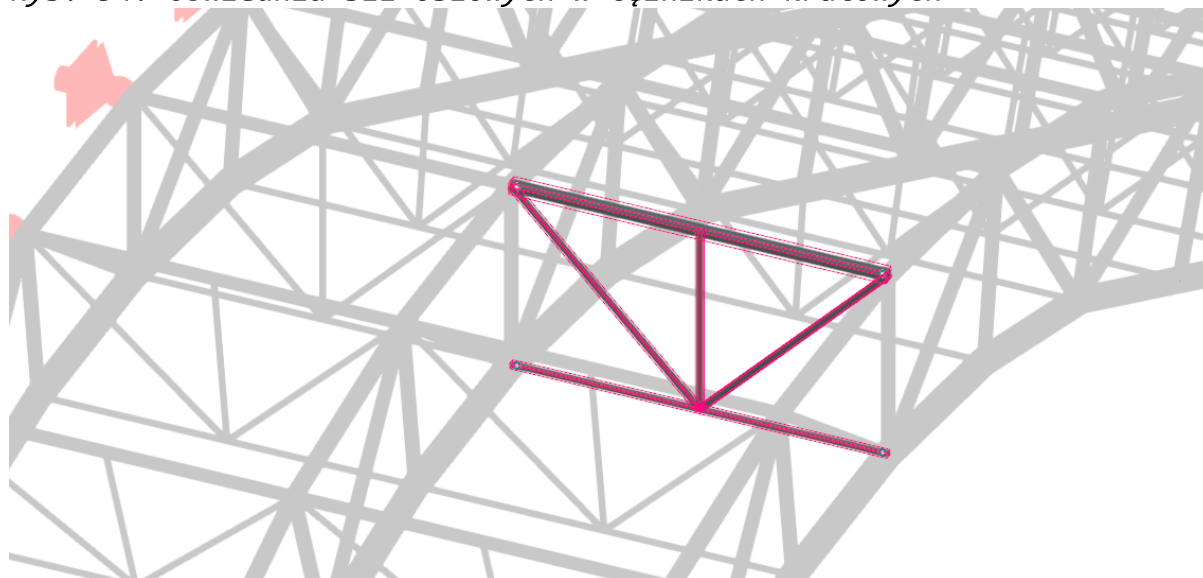
SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b

Analiza statyczna

Siły N [kN]



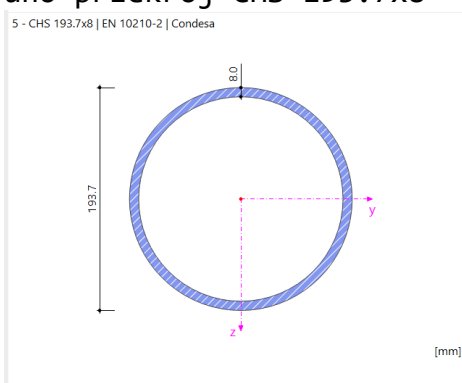
Rys. 54. Obwiednia sił osiowych w tężnikach kratowych



Rys. 55. Wymiarowany tężnik kratowy zaznaczony w modelu obliczeniowym

8.5.1. Wymiarowanie pasa górnego tężnika podłużnego

Dla pasa górnego wybrano przekrój CHS 193.7x8



Rys. 56. Przekrój poprzeczny wybranego przekroju dla pasa górnego tężnika [14]

$d = 193.7 \text{ mm}$ - średnica przekroju

$t = 8 \text{ mm}$ - grubość przekroju

$A = 46.70 \text{ cm}^2$ - pole przekroju

$A_v = 29.73 \text{ cm}^2$ - powierzchnia ścinania

$I_y = 2016 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi y

$I_z = I_y = 2016 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi z

$W_{pl,y} = 276 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y

$W_{pl,z} = W_{pl,y} = 276 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z

$f_y = 355 \text{ MPa}$ - granica plastyczności

$E = 210 \text{ GPa}$ - moduł sprężystości

Klasa przekroju pasa górnego przy ściskaniu i/lub zginaniu:

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{355 \text{ MPa}}} = 0.814$$

Stosunek szerokości do grubości [5]tab 5.2:

$$\frac{d}{t} = \frac{193.7 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 24.213 < 50 \cdot \epsilon^2 = 50 \cdot 0.814^2 = 33.099$$

Przekrój ściskany i/lub zginany klasy 1.

ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE

Obliczeniowa nośność przekroju pasa górnego na rozciąganie:

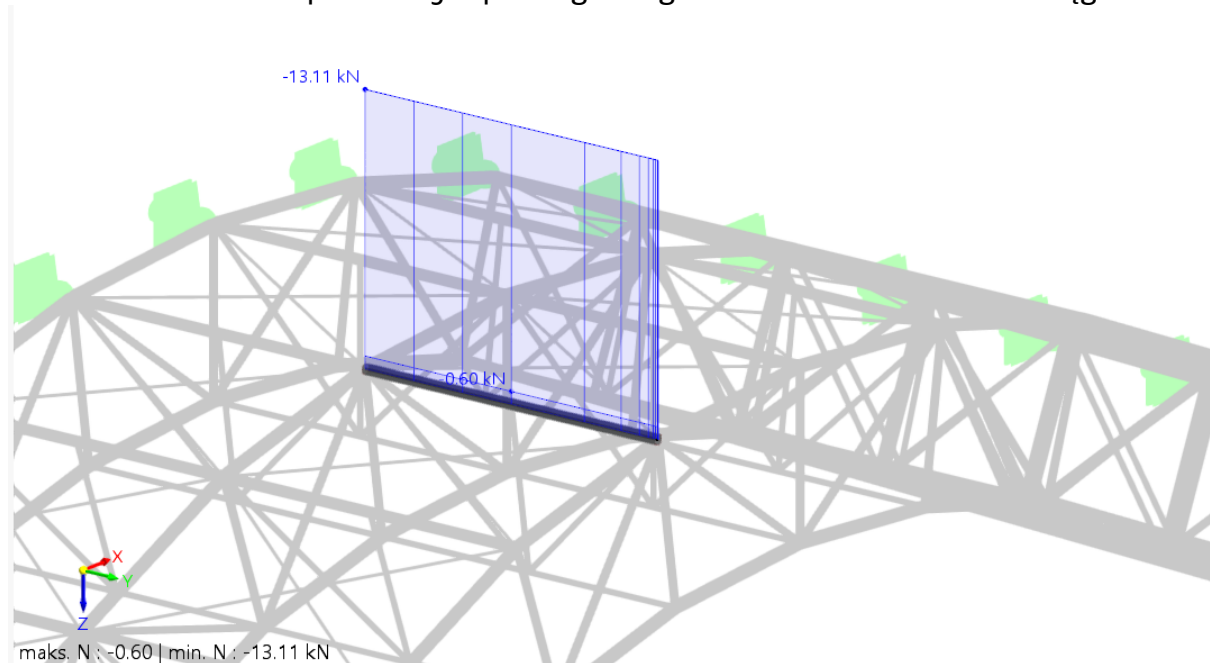
$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{46.70 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 1657.85 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Obliczeniowa nośność przekroju pasa górnego na ściskanie:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{46.70 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 1657.85 \text{ kN}$$

Warunek nośności przekroju pasa górnego na ściskanie i rozciąganie:



Rys. 57. Obwiednia sił osiowych pasa górnego wymiarowanego tężnika

$N_{t,Ed} = 0 \text{ kN}$ - rozciąganie

$N_{c,Ed} = 13.11 \text{ kN}$ - ściskanie

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{13.11 \text{ kN}}{1657.85 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{0 \text{ kN}}{1657.85 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

ZGINANIE

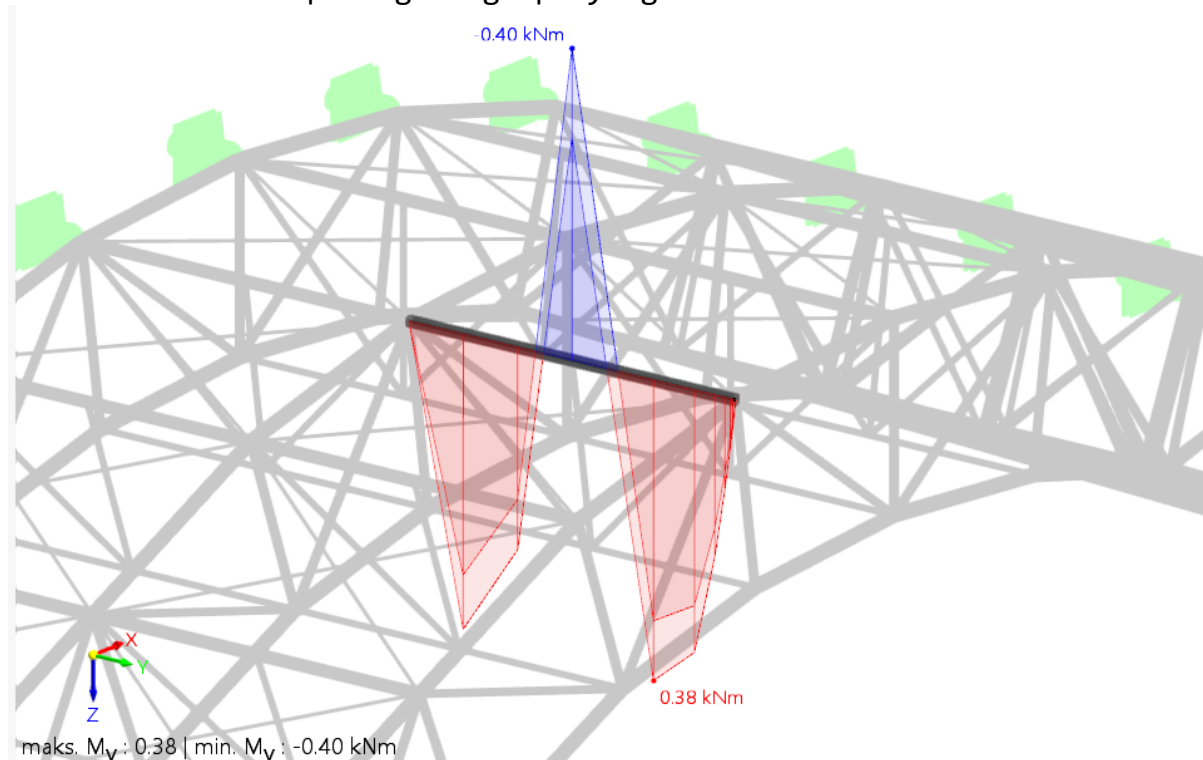
Obliczeniowa nośność przekroju pasa górnego przy zginaniu

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{276 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 97.98 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

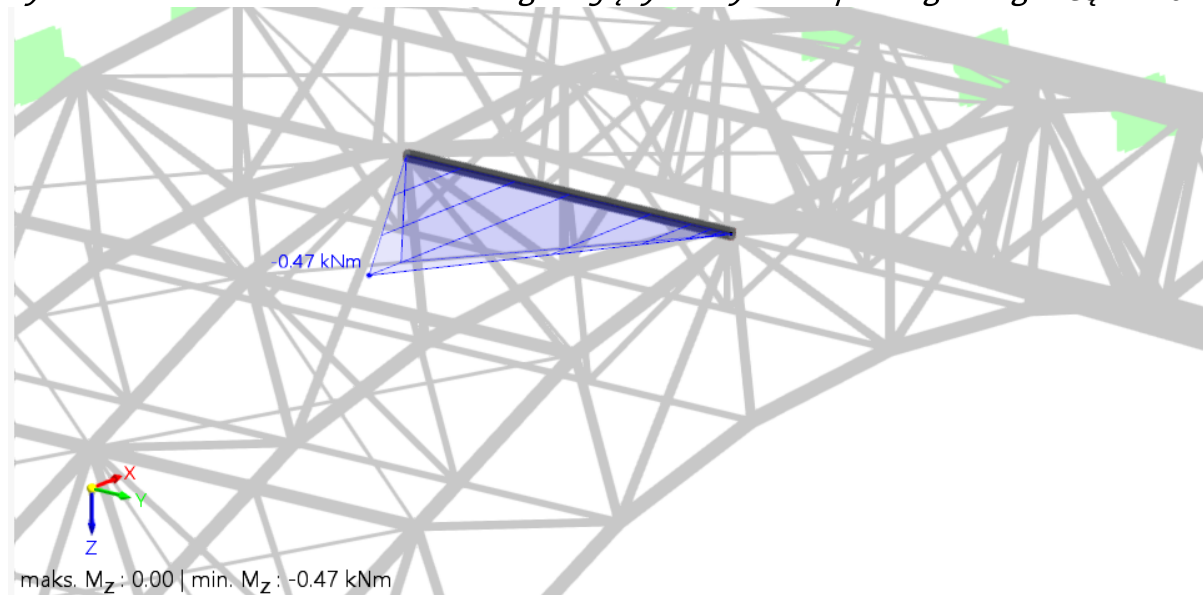
gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

$$M_{pl,z,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 97.98 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Warunek nośności pasa górnego przy zginaniu:



Rys. 58. Obwiednia momentów zginających M_y dla pasa górnego tężnika



Rys. 59. Obwiednia momentów zginających M_z dla pasa górnego tężnika

$$M_{y,Ed} = 0.40 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 0.47 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} < 1 = \frac{0.40 \text{ kN} \cdot \text{m}}{97.98 \text{ kN} \cdot \text{m}} < 1 = \text{Prawda}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} < 1 = \frac{0.47 \text{ kN} \cdot \text{m}}{97.98 \text{ kN} \cdot \text{m}} < 1 = \text{Prawda}$$

Pomijalne wartości momentów.

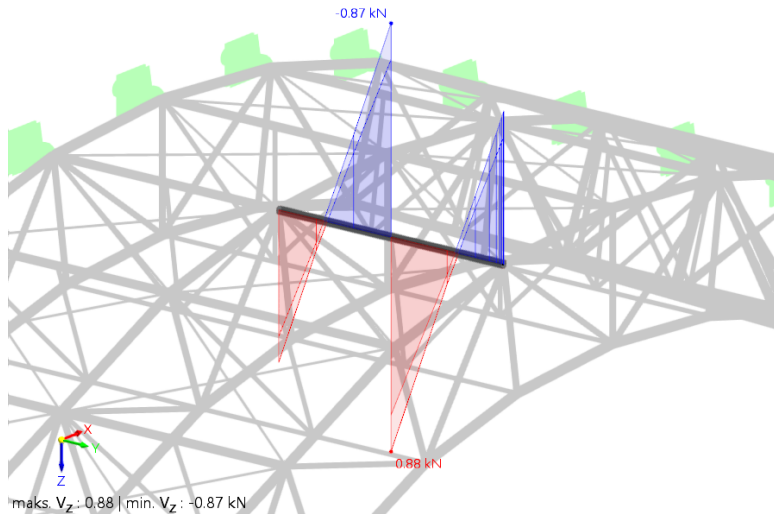
ŚCINANIE

Obliczeniowa nośność przekroju przy ścinaniu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{29.73 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} \right)}{1} = 609.344 \text{ kN}$$

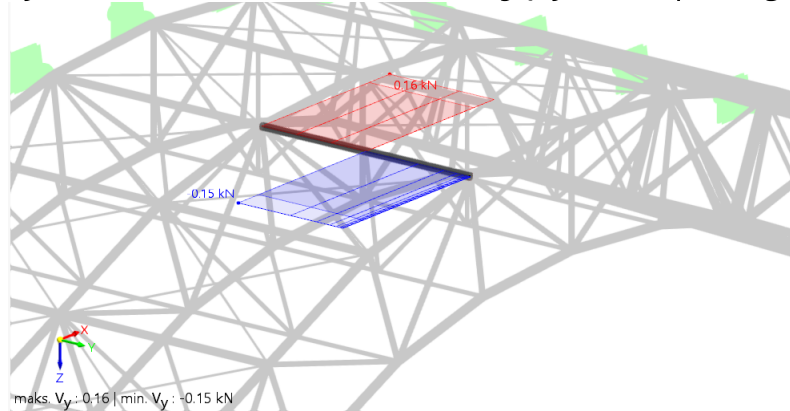
gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Sprawdzenie warunków nośności:



maks. V_z : 0.88 | min. V_z : -0.87 kN

Rys. 60. Obwiednia sił ścinających V_z pasa górnego tężnika



maks. V_y : 0.16 | min. V_y : -0.15 kN

Rys. 61. Obwiednia sił ścinających V_y pasa górnego tężnika

$$V_{y,Ed} = 0.16 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0.88 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0.16 \text{ kN}}{609.344 \text{ kN}} = 0.000263 < 1 - \text{warunek spełniony}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0.88 \text{ kN}}{609.344 \text{ kN}} = 0.00144 < 1 - \text{warunek spełniony}$$

Pomijalne wartości sił.

ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ

Nośność przy zginaniu z siłą podłużną (6.39)(6.40) [5]

$$a_w = \text{Min}\left(\frac{A - d \cdot t}{A}, 0.5\right) = \text{Min}\left(\frac{46.70 \text{ cm}^2 - 193.7 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm}}{46.70 \text{ cm}^2}, 0.5\right) \\ = 0.5$$

$$a_f = a_w = 0.5$$

$\alpha = 2$; $\beta = 2$ - wartości wykładników dla przekrojów rurowych (6.41)[5]

ściskanie

$$n_c = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{13.11 \text{ kN}}{1657.85 \text{ kN}} = 0.00791$$

$$M_{c,N,y,Rd} = M_{p1,y,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_c}{1 - 0.5 \cdot a_w}\right) = 97.98 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.00791}{1 - 0.5 \cdot 0.5}\right) \\ = 129.607 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c,N,z,Rd} = M_{p1,z,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_c}{1 - 0.5 \cdot a_f}\right) = 97.98 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.00791}{1 - 0.5 \cdot 0.5}\right) \\ = 129.607 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Warunek nośności:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,N,y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,N,z,Rd}}\right)^\beta = \left(\frac{0.40 \text{ kN} \cdot \text{m}}{129.607 \text{ kN} \cdot \text{m}}\right)^2 + \left(\frac{0.47 \text{ kN} \cdot \text{m}}{129.607 \text{ kN} \cdot \text{m}}\right)^2 \\ = 0.0000227 < 1$$

rozciąganie

$$n_t = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{0 \text{ kN}}{1657.85 \text{ kN}} = 0$$

$$M_{t,N,y,Rd} = M_{p1,y,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_t}{1 - 0.5 \cdot a_w}\right) = 97.98 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0}{1 - 0.5 \cdot 0.5}\right) \\ = 130.64 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t,N,z,Rd} = M_{p1,z,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_t}{1 - 0.5 \cdot a_f}\right) = 97.98 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0}{1 - 0.5 \cdot 0.5}\right) \\ = 130.64 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{t,N,y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{t,N,z,Rd}}\right)^\beta = \left(\frac{0.40 \text{ kN} \cdot \text{m}}{130.64 \text{ kN} \cdot \text{m}}\right)^2 + \left(\frac{0.47 \text{ kN} \cdot \text{m}}{130.64 \text{ kN} \cdot \text{m}}\right)^2 \\ = 0.0000223 < 1$$

ZGINANIE ZE ŚCINANIEM I SIŁĄ PODŁUŻNĄ

Nośność na zginanie ze ścinaniem i siłą podłużną

Zgodnie z [5] 6.2.10 (2) wpływ siły podłużnej może być pominięty jeśli:

$$V_{y,Ed} < 0.5 \cdot V_{pl,Rd} = 0.16 \text{ kN} < 0.5 \cdot 609.344 \text{ kN} = \text{Prawda} - \text{warunek spełniony}$$

$$V_{z,Ed} < 0.5 \cdot V_{pl,Rd} = 0.88 \text{ kN} < 0.5 \cdot 609.344 \text{ kN} = \text{Prawda} - \text{warunek spełniony}$$

Wpływ ścinania na zginanie z siłą podłużną może być pominięty.

WYBOCZENIE W PŁASZCZYŹNIE TĘŻNIKA

Pas górny w płaszczyźnie jest zabezpieczony przed wyboczeniem przez słupek kratownicy znajdujący się w połowie rozpiętości tężnika.

$$L_{cr,y} = \frac{6 \text{ m}}{2} = 3 \text{ m}$$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczono siłę krytyczną:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 2016 \text{ cm}^4}{(3 \text{ m})^2} = 4642.662 \text{ kN}$$

Krzywa wyboczenia względem osi y - a $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$ - parametr

imperfekcji [5] tab. 6.1

Smukłość względna wyboczenia giętnego:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{46.70 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{4642.662 \text{ kN}}} = 0.598$$

$$\phi_y = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right) =$$

$$0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (0.598 - 0.2) + 0.598^2 \right) = 0.720$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0.720 + \sqrt{0.720^2 - 0.598^2}} = 0.891 < 1$$

Nośność na wyboczenie elementu ściskanego:

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.891 \cdot 46.70 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1}$$

$$= 14770.008 \text{ cm}^2 \cdot \text{MPa}$$

gdzie: $\gamma_{M1} = 1$ [5]

WYBOCZENIE Z PŁASZCZYŻNY TĘŻNIKA

Pas górny nie jest zabezpieczony przed wyboczeniem z płaszczyzny, zatem długość wyboczeniowa jest równa:

$$L_{cr,z} = 0.9 \cdot 6 \text{ m} = 5.4 \text{ m}$$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczono siłę krytyczną:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 2016 \text{ cm}^4}{(5.4 \text{ m})^2} = 1432.920 \text{ kN}$$

Krzywa wyboczenia względem osi z - a [7] $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$ - parametr imperfekcji [5] tab. 6.1.

Smukłość względna przy wyboczeniu giętnym:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{46.70 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1432.920 \text{ kN}}} = 1.076$$

$$\varphi_z = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right) =$$

$$0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (1.076 - 0.2) + 1.076^2 \right) = 1.170$$

$$\chi_z = \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1.170 + \sqrt{1.170^2 - 1.076^2}} = 0.613 < 1$$

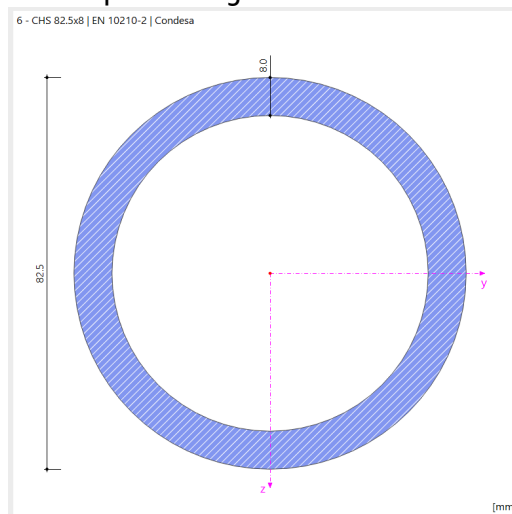
Nośność na wyboczenie elementu ściskanego:

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.613 \cdot 46.70 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 1015.922 \text{ kN},$$

gdzie: $\gamma_{M1} = 1$ [5]

8.5.2. Wymiarowanie pasa dolnego

Dla pasa dolnego wybrano przekrój CHS82.5x8



Rys. 62. Przekrój poprzeczny wybranego przekroju dla pasa dolnego tężnika [14]

$d = 82.5 \text{ mm}$ - średnica przekroju

$t = 8 \text{ mm}$ - grubość przekroju

$A = 18.7 \text{ cm}^2$ - pole przekroju

$A_v = 11.9 \text{ cm}^2$ - powierzchnia ścinania

$I_y = 131 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi y

$I_z = I_y = 131 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi z

$W_{pl,y} = 44.6 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y

$W_{pl,z} = W_{pl,y} = 44.6 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z

$f_y = 355 \text{ MPa}$ - granica plastyczności

$E = 210 \text{ GPa}$ - moduł sprężystości

Klasa przekroju pasa górnego przy ściskaniu i/lub zginaniu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{355 \text{ MPa}}} = 0.814$$

Stosunek szerokości do grubości [5] tab 5.2:

$$\frac{d}{t} = \frac{82.5 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 10.313 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0.814^2 = 33.099$$

Przekrój ściskany i/lub zginany klasy 1.

ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE

Obliczeniowa nośność przekroju pasa dolnego na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 663.85 \text{ kN}$$

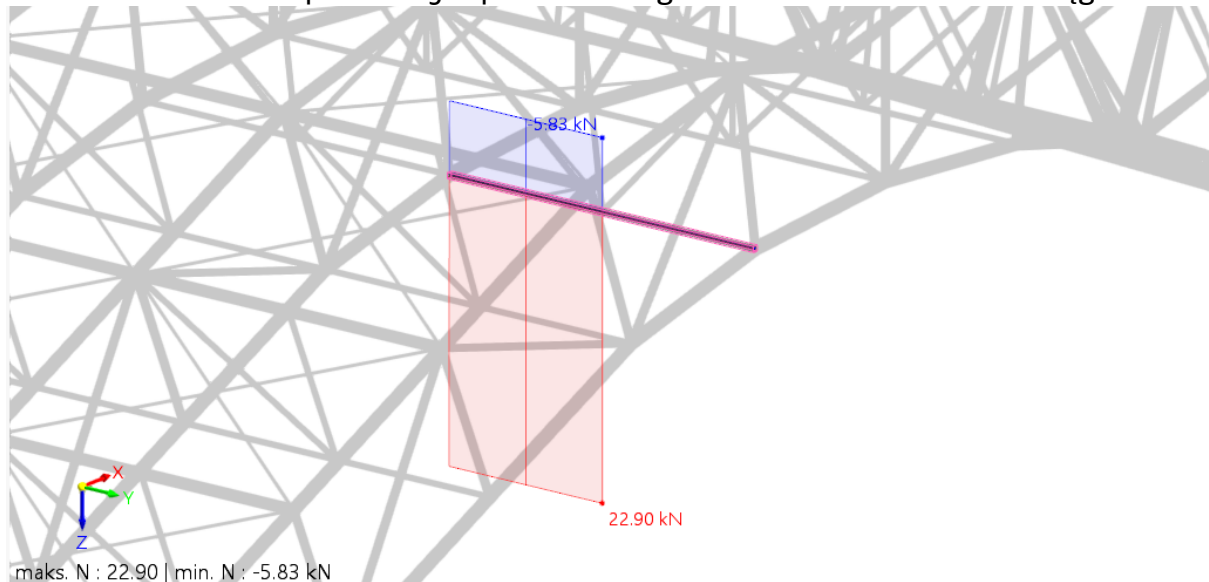
gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Obliczeniowa nośność przekroju pasa dolnego na ściskanie:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 663.85 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Warunek nośności przekroju pasa dolnego na ściskanie i rozciąganie:



Rys. 63. Obwiednia sił osiowych pasa dolnego wymiarowanego tężnika

$N_{t,Ed} = 22.9 \text{ kN}$ - rozciąganie

$N_{c,Ed} = 5.83 \text{ kN}$ - ściskanie

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{5.83 \text{ kN}}{663.85 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{22.9 \text{ kN}}{663.85 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

ZGINANIE

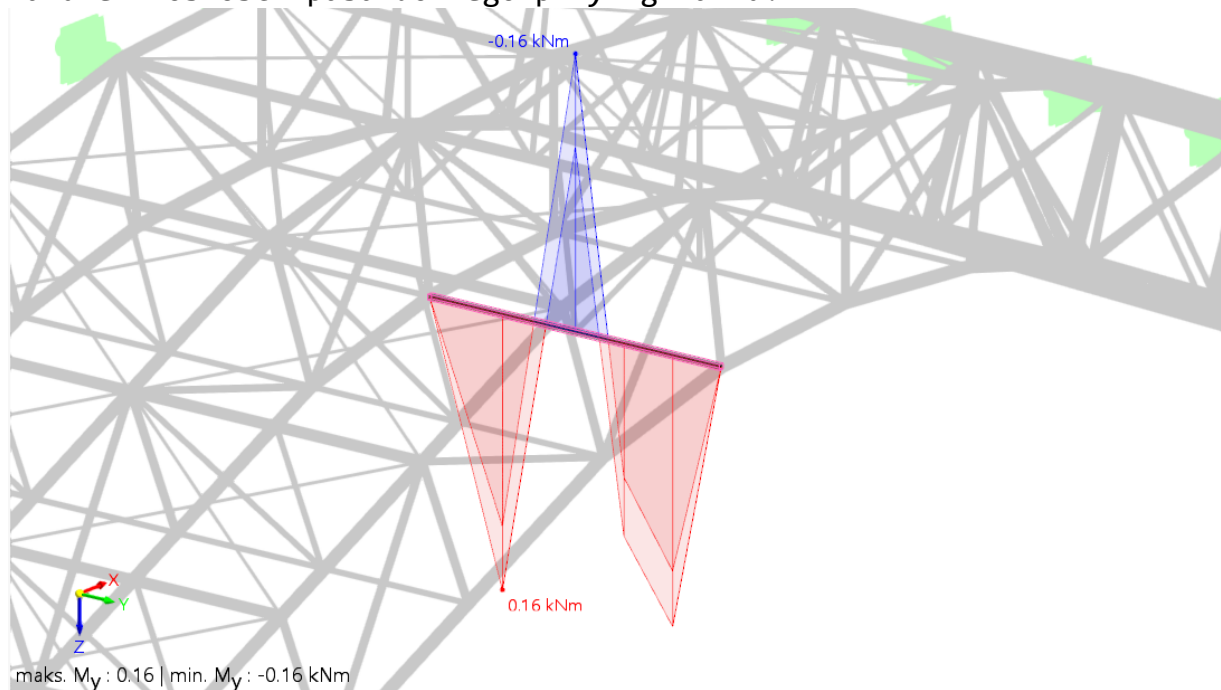
Obliczeniowa nośność przekroju pasa górnego przy zginaniu

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44.6 \text{ cm}^3 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 15.833 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

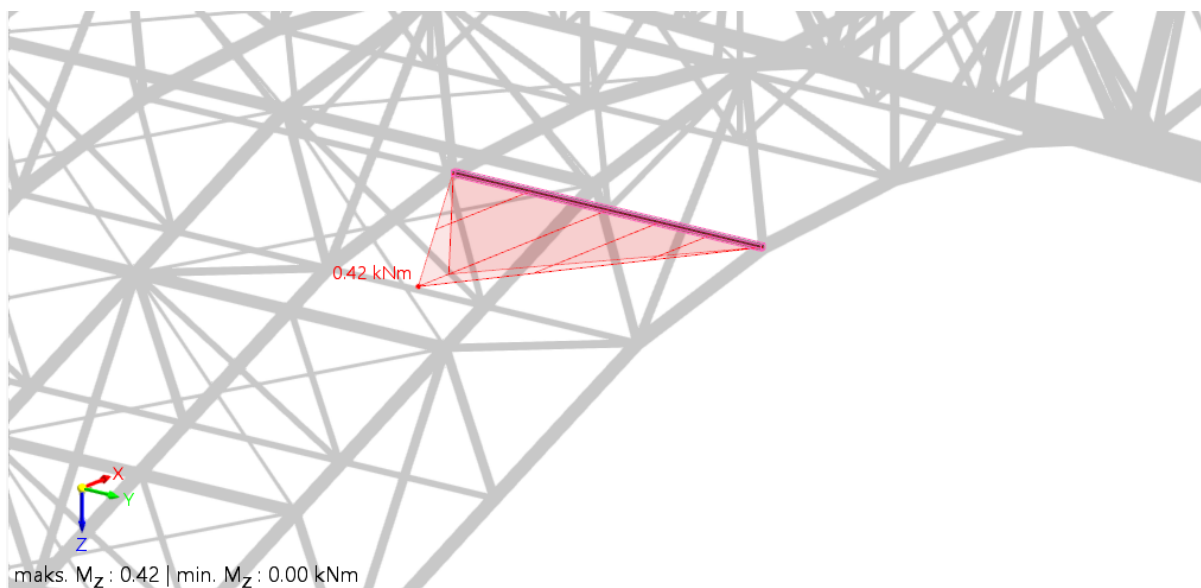
gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

$$M_{pl,z,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 15.833 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Warunek nośności pasa dolnego przy zginaniu:



Rys.64. Obwiednia momentów zginających M_y dla pasa dolnego tężnika



Rys.65. Obwiednia momentów zginających M_z dla pasa dolnego tężnika

$$M_{y,Ed} = 0.16 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 0.42 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} < 1 = \frac{0.16 \text{ kN} \cdot \text{m}}{15.833 \text{ kN} \cdot \text{m}} < 1 = \text{Prawda}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} < 1 = \frac{0.42 \text{ kN} \cdot \text{m}}{15.833 \text{ kN} \cdot \text{m}} < 1 = \text{Prawda}$$

Wartości pomijalne.

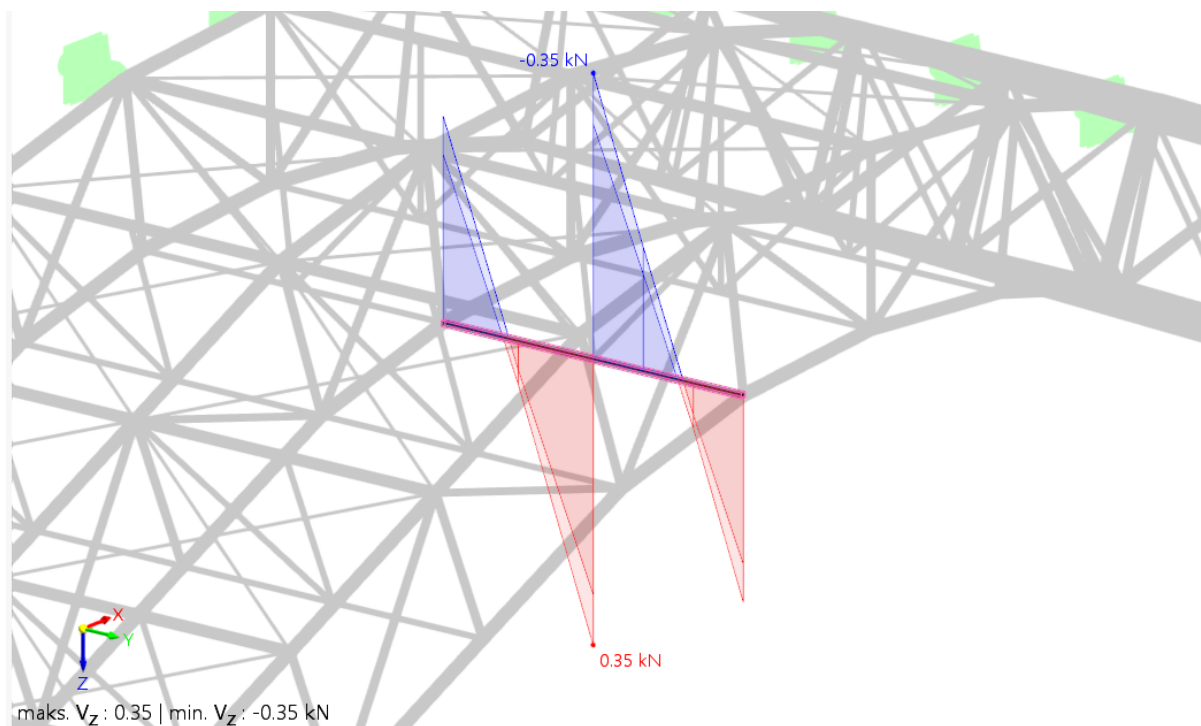
ŚCINANIE

Obliczeniowa nośność przekroju przy ścinaniu:

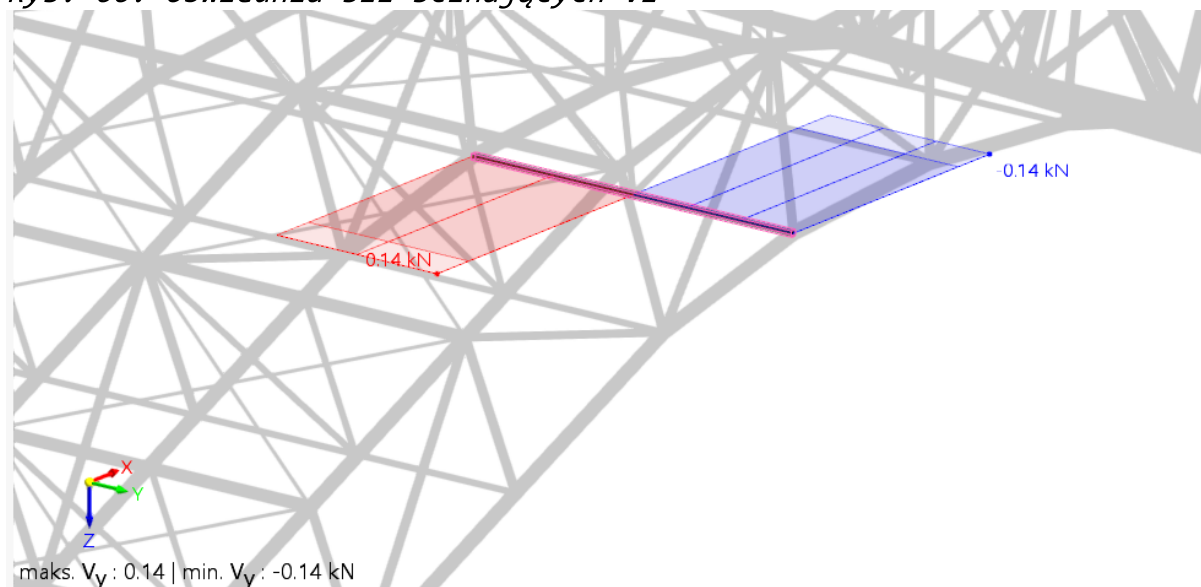
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{11.9 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} \right)}{1} = 243.902 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Sprawdzenie warunków nośności:



Rys. 66. Obwiednia sił ścinających Vz



Rys. 67. Obwiednia sił ścinających Vy

$$V_{z,Ed} = 0.35 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0.14 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{p1,Rd}} = \frac{0.35 \text{ kN}}{243.902 \text{ kN}} = 0.00144 < 1 \text{ - warunek spełniony}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{p1,Rd}} = \frac{0.14 \text{ kN}}{243.902 \text{ kN}} = 0.000574 < 1 \text{ - warunek spełniony}$$

Pomijalne wartości sił wewnętrznych.

ZGINANIE Z SIŁĄ PODŁUŻNĄ

Nośność przy zginaniu z siłą podłużną (6.39)(6.40)

$$a_w = \text{Min} \left(\frac{A - d \cdot t}{A}, 0.5 \right) = \text{Min} \left(\frac{18.7 \text{ cm}^2 - 82.5 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm}}{18.7 \text{ cm}^2}, 0.5 \right) = 0.5$$

$$a_f = a_w = 0.5$$

$\alpha = 2; \beta = 2$ - wartości wykładników dla przekrojów rurowych (6.41)

ściskanie

$$n_c = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{5.83 \text{ kN}}{663.85 \text{ kN}} = 0.00878$$

$$M_{c,N,y,Rd} = M_{p1,y,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_c}{1 - 0.5 \cdot a_w} \right) = 15.833 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.00878}{1 - 0.5 \cdot 0.5} \right) = 20.925 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c,N,z,Rd} = M_{p1,z,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_c}{1 - 0.5 \cdot a_f} \right) = 15.833 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.00878}{1 - 0.5 \cdot 0.5} \right) = 20.925 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Warunek nośności:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,N,y,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,N,z,Rd}} \right)^\beta = \left(\frac{0.16 \text{ kN} \cdot \text{m}}{20.925 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right)^2 + \left(\frac{0.42 \text{ kN} \cdot \text{m}}{20.925 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right)^2 = 0.000461 < 1$$

rozciąganie

$$n_t = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{22.9 \text{ kN}}{663.85 \text{ kN}} = 0.0345$$

$$M_{t,N,y,Rd} = M_{p1,y,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_t}{1 - 0.5 \cdot a_w} \right) = 15.833 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.0345}{1 - 0.5 \cdot 0.5} \right) = 20.382 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t,N,z,Rd} = M_{p1,z,Rd} \cdot \left(\frac{1 - n_t}{1 - 0.5 \cdot a_f} \right) = 15.833 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1 - 0.0345}{1 - 0.5 \cdot 0.5} \right) = 20.382 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{t,N,y,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{t,N,z,Rd}} \right)^\beta = \left(\frac{0.16 \text{ kN} \cdot \text{m}}{20.382 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right)^2 + \left(\frac{0.42 \text{ kN} \cdot \text{m}}{20.382 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right)^2 = 0.000486 < 1$$

ZGINANIE ZE ŚCINANIEM I SIŁĄ PODŁUŻNĄ

Nośność na zginanie ze ścinaniem i siłą podłużną

Zgodnie z [5] 6.2.10 (2) wpływ siły podłużnej może być pominięty jeśli:

$$V_{z,Ed} < 0.5 \cdot V_{p1,Rd} = 0.35 \text{ kN} < 0.5 \cdot 243.902 \text{ kN} = \text{Prawda} - \text{warunek spełniony}$$

$V_{y,Ed} < 0.5 \cdot V_{pl,Rd} = 0.14 \text{ kN} < 0.5 \cdot 243.902 \text{ kN} = \text{Prawda} - \text{warunek spełniony}$
 Wpływ ścinania na zginanie z siłą podłużną może być pominięty.

WYBOCZENIE W PŁASZCZYŹNIE TĘŻNIKA

Pas dolny w płaszczyźnie tężnika jest zabezpieczony przed wyboczeniem przez słupek kratownicy znajdujący się w połowie rozpiętości.

$$L_{cr,y} = \frac{6 \text{ m}}{2} = 3 \text{ m}$$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczono siłę krytyczną:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 131 \text{ cm}^4}{(3 \text{ m})^2} = 301.681 \text{ kN}$$

Krzywa wyboczenia względem osi y - a $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$ - parametr imperfekcji

Smukłość względna wyboczenia giętnego:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{301.681 \text{ kN}}} = 1.483$$

$$\phi_y = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right) = 0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (1.483 - 0.2) + 1.483^2 \right) = 1.735$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1.735 + \sqrt{1.735^2 - 1.483^2}} = 0.380 < 1$$

Nośność na wyboczenie elementu ściskanego:

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.380 \cdot 18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 2519.475 \text{ cm}^2 \cdot \text{MPa}$$

gdzie: $\gamma_{M1} = 1$ [5]

WYBOCZENIE Z PŁASZCZYZNY TĘŻNIKA

Pas dolny nie jest zabezpieczony przed wyboczeniem z płaszczyzny, zatem długość wyboczeniowa jest równa:

$$L_{cr,z} = 0.9 \cdot 6 \text{ m} = 5.4 \text{ m}$$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczono siłę krytyczną:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 131 \text{ cm}^4}{(5.4 \text{ m})^2} = 93.111 \text{ kN}$$

Krzywa wyboczenia względem osi z - a [7] $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$

Smukłość względna przy wyboczeniu giętnym:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{93.111 \text{ kN}}} = 2.670$$

$$\varphi_z = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right) =$$

$$0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (2.670 - 0.2) + 2.670^2 \right) = 4.324$$

$$\chi_z = \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{4.324 + \sqrt{4.324^2 - 2.670^2}} = 0.129 < 1$$

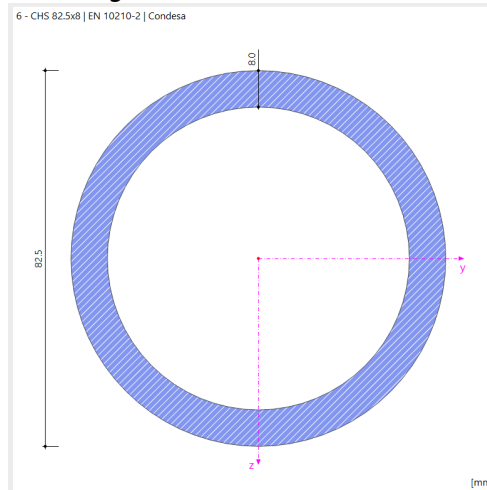
Nośność na wyboczenie elementu ściskanego:

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.129 \cdot 18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 85.930 \text{ kN},$$

gdzie: $\gamma_{M1} = 1$ [5]

8.5.3. Wymiarowanie słupków

Dla słupka wybrano przekrój CHS82.5x8



Rys. 68. Przekrój poprzeczny wybranego przekroju dla pasa słupka tężnika [14]

$d = 82.5 \text{ mm}$ - średnica przekroju

$t = 8 \text{ mm}$ - grubość przekroju

$A = 18.7 \text{ cm}^2$ - pole przekroju

$A_v = 11.9 \text{ cm}^2$ - powierzchnia ścinania

$I_y = 131 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi y

$I_z = I_y = 131 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi z

$W_{pl,y} = 44.6 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y

$W_{pl,z} = W_{pl,y} = 44.6 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z

$f_y = 355 \text{ MPa}$ - granica plastyczności

$E = 210 \text{ GPa}$ - moduł sprężystości

Klasa przekroju pasa górnego przy ściskaniu i/lub zginaniu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{355 \text{ MPa}}} = 0.814$$

Stosunek szerokości do grubości [5] tab 5.2:

$$\frac{d}{t} = \frac{82.5 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 10.313 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0.814^2 = 33.099$$

Przekrój ściskany i/lub zginany klasy 1.

ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE

Obliczeniowa nośność przekroju pasa dolnego na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 663.85 \text{ kN}$$

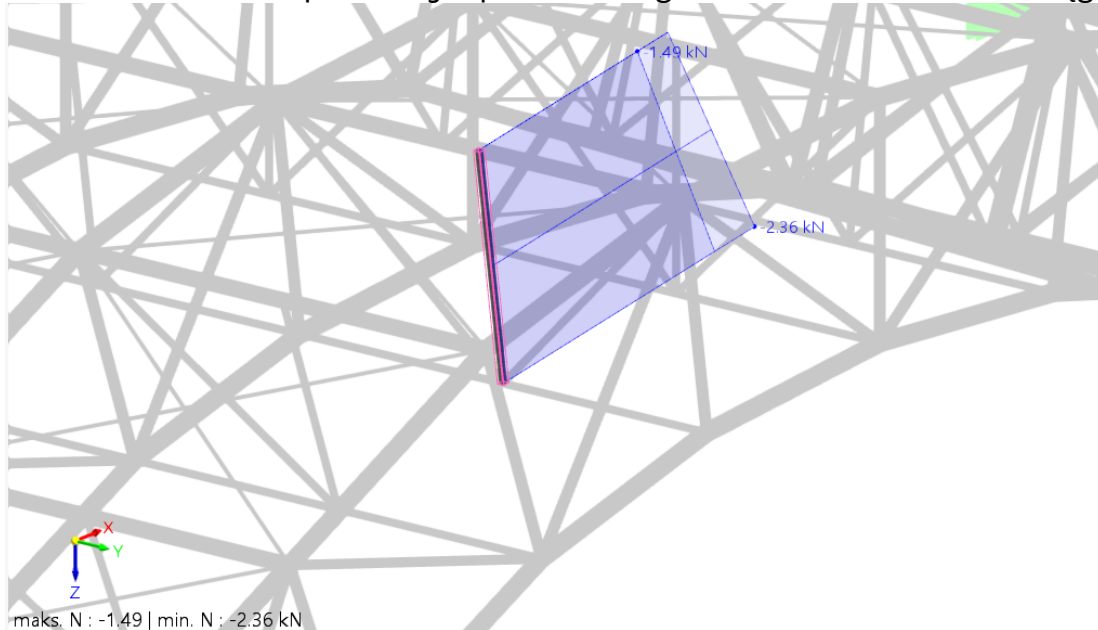
gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Obliczeniowa nośność przekroju pasa dolnego na ściskanie:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 663.85 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Warunek nośności przekroju pasa dolnego na ściskanie i rozciąganie:



maks. N : -1.49 | min. N : -2.36 kN

Rys. 69. Obwiednia sił osiowych słupka wymiarowanego tężnika

$N_{t,Ed} = 0 \text{ kN}$ - rozciąganie

$N_{c,Ed} = 2.36 \text{ kN}$ - ściskanie

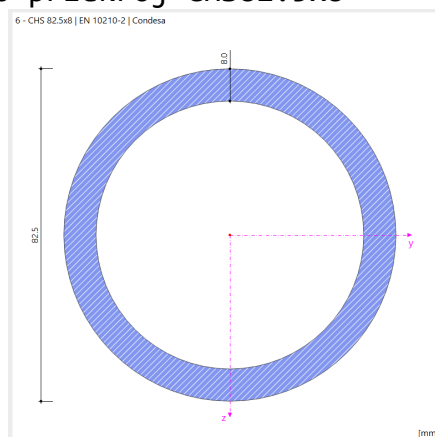
$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{2.36 \text{ kN}}{663.85 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

ZGINANIE I ŚCINANIE

Nie występuje.

8.5.4. Wymiarowanie krzyżulców

Dla krzyżulców wybrano przekrój CHS82.5x8



Rys. 70. Przekrój poprzeczny wybranego przekroju dla pasa słupka tężnika [14]

$d = 82.5 \text{ mm}$ - średnica przekroju

$t = 8 \text{ mm}$ - grubość przekroju

$A = 18.7 \text{ cm}^2$ - pole przekroju

$A_v = 11.9 \text{ cm}^2$ - powierzchnia ścinania

$I_y = 131 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi y

$I_z = I_y = 131 \text{ cm}^4$ - moment bezwładności względem osi z

$W_{pl,y} = 44.6 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi y

$W_{pl,z} = W_{pl,y} = 44.6 \text{ cm}^3$ - plastyczny wskaźnik wytrzymałości względem osi z

$f_y = 355 \text{ MPa}$ - granica plastyczności

$E = 210 \text{ GPa}$ - moduł sprężystości

Klasa przekroju pasa górnego przy ściskaniu i/lub zginaniu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{355 \text{ MPa}}} = 0.814$$

Stosunek szerokości do grubości [5] tab 5.2:

$$\frac{d}{t} = \frac{82.5 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 10.313 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0.814^2 = 33.099$$

Przekrój ściskany i/lub zginany klasy 1.

ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE

Obliczeniowa nośność przekroju pasa dolnego na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 663.85 \text{ kN}$$

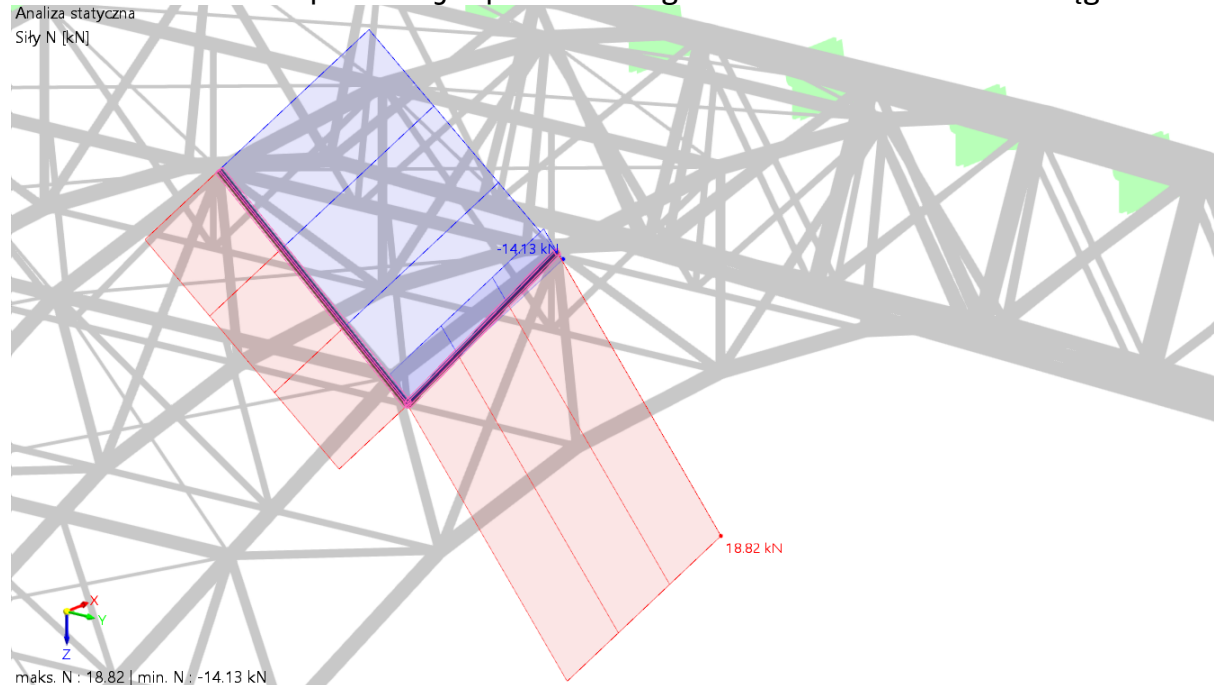
gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Obliczeniowa nośność przekroju pasa dolnego na ściskanie:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 663.85 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Warunek nośności przekroju pasa dolnego na ściskanie i rozciąganie:



Rys. 71. Obwiednia sił osiowych krzyżulca wymiarowanego tężnika

$N_{t,Ed} = 18.82 \text{ kN}$ - rozciąganie

$N_{c,Ed} = 14.03 \text{ kN}$ - ściskanie

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{18.82 \text{ kN}}{663.85 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} < 1 = \frac{14.03 \text{ kN}}{663.85 \text{ kN}} < 1 = \text{Prawda}$$

ZGINANIE I ŚCINANIE

Nie występuje.

WYBOCZENIE W PŁASZCZYŹNIE TĘŻNIKA

Krzyżulec w płaszczyźnie tężnika nie jest zabezpieczony przed zwichrzeniem zatem:

$$L_{cr,y} = 0.9 \cdot 3 \text{ m} \cdot \sqrt{2} = 3.818 \text{ m}$$

Korzystając ze wzoru Eulera wyznaczam siłę krytyczną:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{3.142^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot 131 \text{ cm}^4}{(3.818 \text{ m})^2} = 186.223 \text{ kN}$$

Krzywa wyboczenia względem osi y - a $\Rightarrow \alpha_a = 0.21$

Smukłość względna wyboczenia giętnego:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{186.223 \text{ kN}}} = 1.888$$

$$\phi_y = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right) =$$

$$0.5 \cdot \left(1 + 0.21 \cdot (1.888 - 0.2) + 1.888^2 \right) = 2.460$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{2.460 + \sqrt{2.460^2 - 1.888^2}} = 0.248 < 1$$

Nośność na wyboczenie elementu ściskanego:

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.248 \cdot 18.7 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1} = 164.479 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M1} = 1$ [5]

WYBOCZENIE Z PŁASZCZYZNY TĘŻNIKA

Krzyżulec nie jest zabezpieczony przed wyboczeniem z płaszczyzny tęznika zatem:

$$L_{cr,z} = L_{cr,y} = 3.818 \text{ m}$$

$$N_{b,z,Rd} = N_{b,y,Rd} = 164.479 \text{ kN}$$

8.5.5. Stan Graniczny Użytkowalności - sprawdzenie ugięcia tęznika międzydźwigarowego

$L = 6 \text{ m}$ - długość elementu

$$w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{6 \text{ m}}{300} = 20 \text{ mm} - \text{maksymalne dopuszczalne ugięcie elementu}$$

Analiza ugięć				
Check direction			Lokalna oś z i y	
Displacement reference			Odkształcone końce segmentów	
Segment type in z-axis			Podwójne podparcie	
Segment type in y-axis			Podwójne podparcie	
Ugięcia				
Kierunek x	w _x	0.1 mm		
Kierunek y	w _y	41.6 mm		
Kierunek z	w _z	-3.2 mm		
Wartości warunku projektowego				
Ugięcie całkowite	W _{tot,z}	14.2 mm		
Długość referencyjna	L	6.000 m		
Względna wartość graniczna ugięcia	L / w _{lim}	300.00 --		
Wartość graniczna ugięcia	w _{lim}	20.0 mm		
Stopień wykorzystania warunku projektowego	η	0.712 --	≤ 1	✓ EN 1993-1-1, 7.2

Tab. 11. Ugięcia całkowite tęznika na kierunku z

$$w_{\text{tot},z} = 14.2 \text{ mm}$$

$$\eta_z = \frac{w_{\text{tot},z}}{w_{\text{lim}}} = \frac{14.2 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} = 0.71 < 1.0 - \text{warunek spełniony}$$

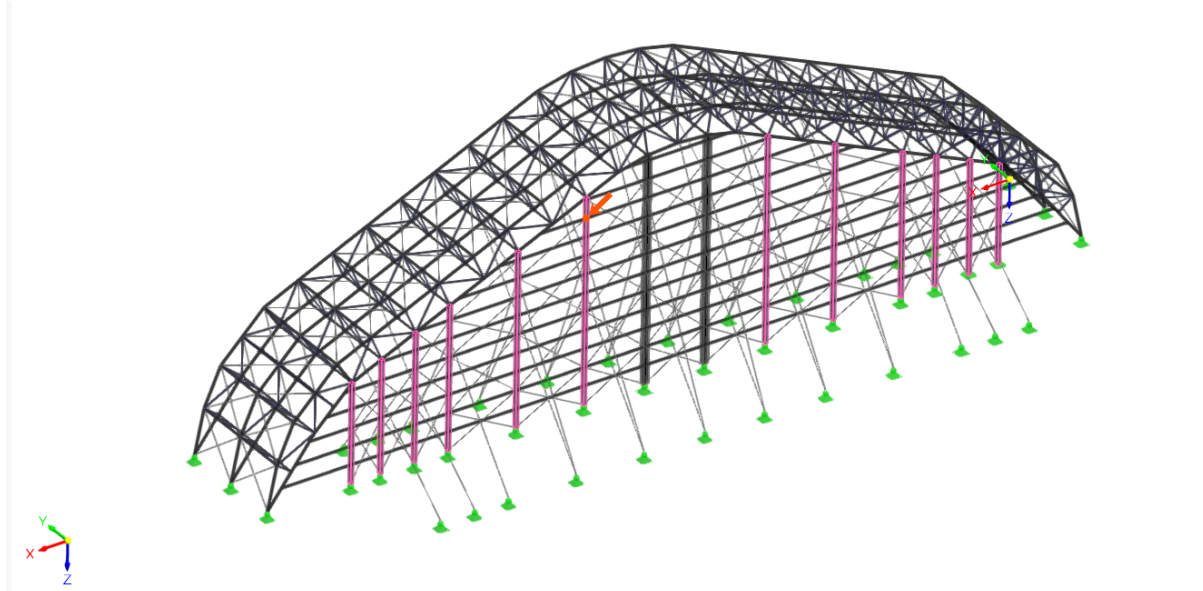
Analiza ugięć			
Check direction		Lokalna oś z i y	
Displacement reference		Odkształcone końce segmentów	
Segment type in z-axis		Podwójne podparcie	
Segment type in y-axis		Podwójne podparcie	
Ugięcia			
Kierunek x	w _x	0.0 mm	
Kierunek y	w _y	5.3 mm	
Kierunek z	w _z	17.6 mm	
Wartości warunku projektowego			
Ugięcie całkowite	W _{tot,y}	11.4 mm	
Długość referencyjna	L	6.000 m	
Względna wartość graniczna ugięcia	L / W _{lim}	300.00 --	
Wartość graniczna ugięcia	W _{lim}	20.0 mm	
Stopień wykorzystania warunku projektowego	η	0.570 --	≤ 1 ✓ EN 1993-1-1, 7.2

Tab. 12. Ugięcia całkowite tężnika na kierunku y

$$w_{\text{tot},y} = 11.4 \text{ mm}$$

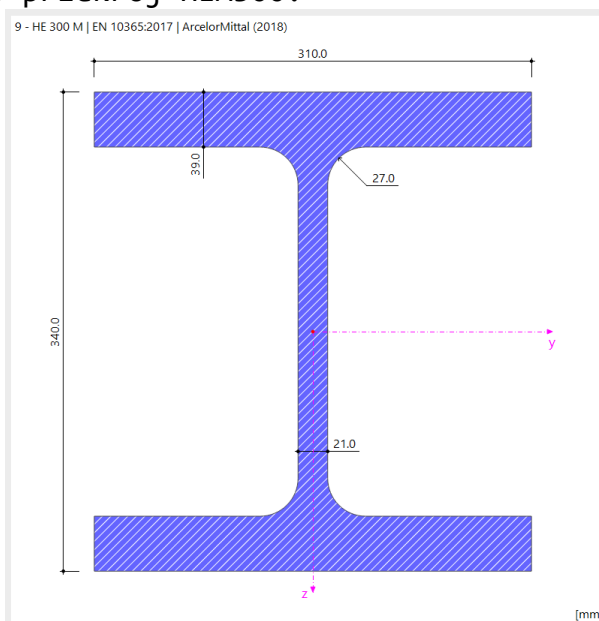
$$\eta_y = \frac{w_{\text{tot},y}}{w_{\text{lim}}} = \frac{11.4 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} = 0.57 < 1.0 - \text{warunek spełniony}$$

8.6. Element 3 - Konstrukcja ściany szczytowej zamkniętej



Rys. 72. Elementy ściany szczytowej zamkniętej - słupy pojedyncze

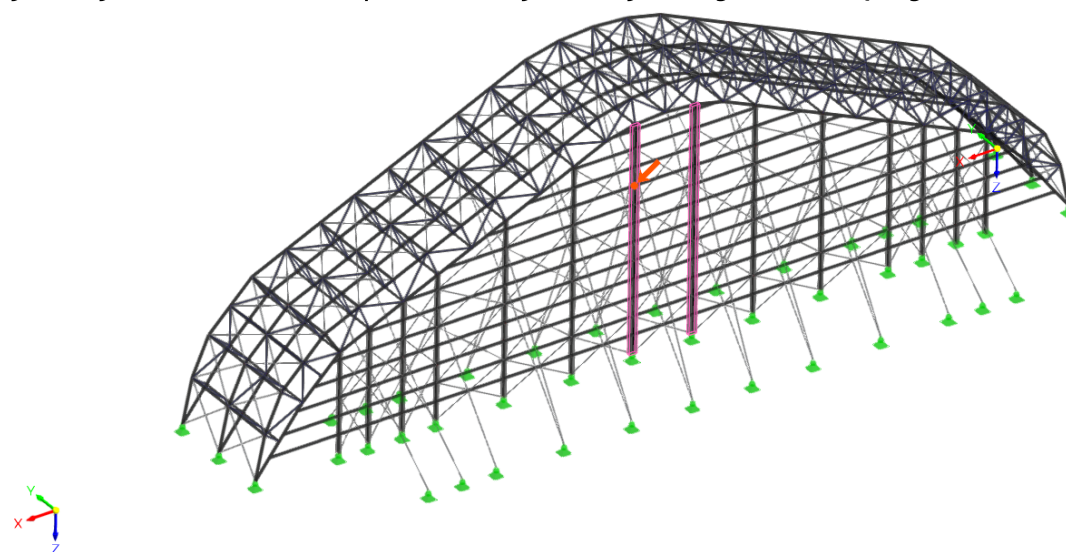
Na podstawie analizy (patrz Załącznik nr 1.) przeprowadzonej w rozszerzeniu "Projektowanie konstrukcji stalowych" do programu RFEM6[14] wybrano przekrój HEM300.



Rys. 73. Przekrój poprzeczny HEM300 [14]

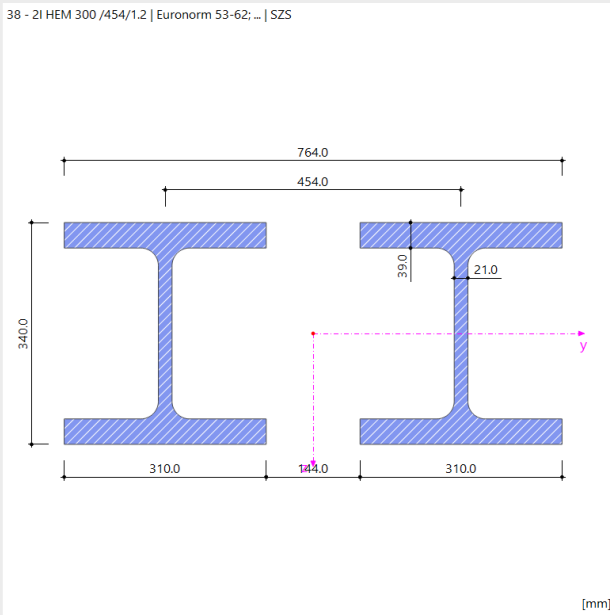
Sytuacja obliczeniowa	Pręt nr	Położenie x [m]	Punkt naprężeń nr	Obciążenie nr	Stopień wykorzystania warunku projektowego η [-]	Warunek projektowy	Opis
SO1	SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b						
	1567	20.000	K01		0.000 ✓	SP0100.00	Sprawdzenie przekroju Pomijalne siły wewnętrzne
	1575	10.000	K046		0.002 ✓	SP1100.00	Sprawdzenie przekroju Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3
	1571	0.000	K034		0.049 ✓	SP1200.00	Sprawdzenie przekroju Ściskanie wg EN 1993-1-1, 6.2.4
		12.000	K034		0.044 ✓	SP3100.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) Projektowanie plastyczne
	1650	12.000	K038		0.016 ✓	SP3200.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) Projektowanie plastyczne
	1566	0.000	K02		0.000 ✓	SP3500.00	Sprawdzenie przekroju Wyboczenie przy ścinaniu wg EN 1993-1-5, 5.1, 5.2, 5.3 i 5.5
	1572	12.000	K034		0.159 ✓	SP4100.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie plastyczne
	1576	0.000	K035		0.085 ✓	SP5100.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie plastyczne
		0.000	K034		0.101 ✓	SP6500.01	Sprawdzenie przekroju Zginanie dwukierunkowe, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
	1572	12.000	K042		0.136 ✓	SP6500.02	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
	1576	10.000	K026		0.035 ✓	SP6500.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
		10.000	K037		0.036 ✓	SP6500.04	Sprawdzenie przekroju Zginanie dwukierunkowe i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
	1571	0.000	K034		0.095 ✓	ST1100.00	Stateczność Wyboczenie gięte względem głównej osi y wg EN 1993-1-1, 6.3.1
	1570	0.000	K034		0.719 ✓	ST1300.00	Stateczność Wyboczenie gięte względem głównej osi z wg EN 1993-1-1, 6.3.1
	1566	0.000	K01		0.000 ✓	ST1500.00	Stateczność Wyboczenie skrętne wg EN 1993-1-1, 6.3.1
	1573	18.000	K022		0.007 ✓	ST2100.00	Stateczność Zwężenie wg EN 1993-1-1, 6.3.2
	1570	0.000	K034		0.942 ✓	ST3100.00	Stateczność Zginanie i wyboczenie względem osi głównych wg EN 1993-1-1, 6.3.3
SO2	SGU - Charakterystyczna						
	1566	0.000	K059		0.000 ✓	SE0100.00	Użytkowność Pomijalne ugięcia
	1571	8.000	K067		0.309 ✓	SE1100.00	Użytkowność Ugięcia w kierunku z
	1575	10.000	K075		0.040 ✓	SE1200.00	Użytkowność Ugięcia w kierunku y

Rys. 74. Zestawienie warunków projektowych oraz ich stopnia wykorzystania dla słupów ściany szczytowej zamkniętej



Rys. 75. Elementy ściany szczytowej zamkniętej - słupy podwójne

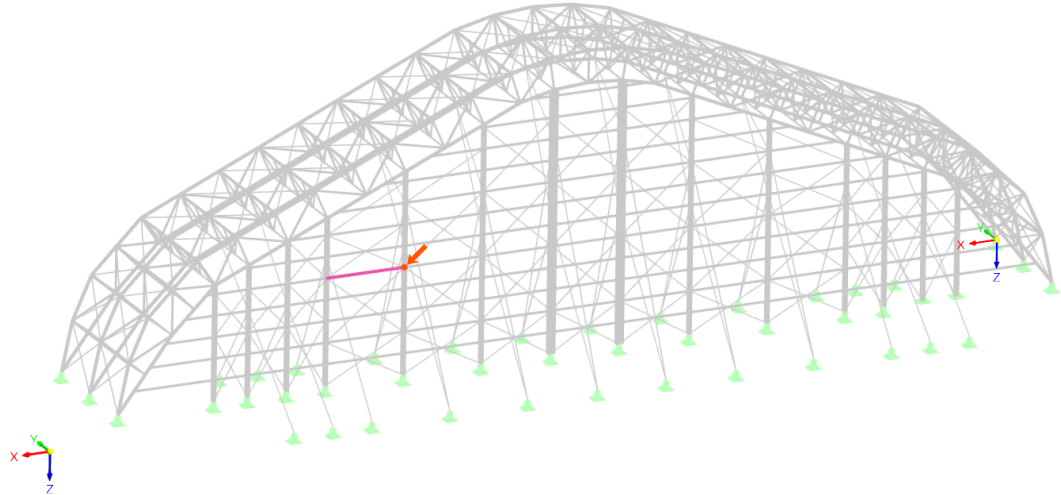
Na podstawie analizy (patrz Załącznik nr 1) przeprowadzonej w rozszerzeniu "Projektowanie konstrukcji stalowych" do programu RFEM6 wybrano przekrój 2IHEM300/454/12



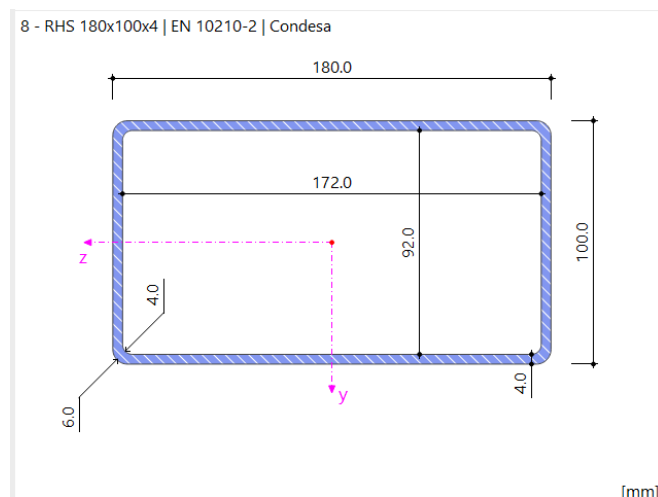
Rys. 76. Przekrój poprzeczny 2IHEM300 [14]

Sytuacja obliczeniowa	Pręt nr	Pokoślenie x [m]	Punkt naprężeń nr	Obciążenie nr	Stopień wykorzystania warunku projektowego η [-]	Warunek projektowy	Opis
SO1	SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b						
	1568	22.000	KO22		0.000 ✓	SP0100.00	Sprawdzenie przekroju Pomijalne siły wewnętrzne
		0.000 ∞	KO34		0.030 ✓	SP1200.00	Sprawdzenie przekroju Ściskanie wg EN 1993-1-1, 6.2.4
		12.000	KO31		0.030 ✓	SP3100.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) Projektowanie plastyczne
		24.000	KO35		0.005 ✓	SP3200.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) Projektowanie plastyczne
		12.000	KO31		0.070 ✓	SP4100.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie plastyczne
		20.000	KO35		0.023 ✓	SP5100.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie plastyczne
	1569	12.000	KO34		0.101 ✓	SP6300.01	Sprawdzenie przekroju Zginanie dwukierunkowe, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.1(7) Projektowanie plastyczne
	1568	12.000	KO31		0.096 ✓	SP6300.02	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.1(7) Projektowanie plastyczne
		18.000	KO34		0.029 ✓	SP6300.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.1(7) Projektowanie plastyczne
		22.000	KO35		0.025 ✓	SP6300.04	Sprawdzenie przekroju Zginanie dwukierunkowe i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.1(7) Projektowanie plastyczne
		0.000 ∞	KO1		0.000 ✓	ST1100.00	Stateczność Wyboczenie giętne względem głównej osi y wg EN 1993-1-1, 6.3.1
		0.000 ∞	KO34		0.091 ✓	ST1300.00	Stateczność Wyboczenie giętne względem głównej osi z wg EN 1993-1-1, 6.3.1
		0.000 ∞	KO1		0.000 ✓	ST1500.00	Stateczność Wyboczenie skrętne wg EN 1993-1-1, 6.3.1
		0.000 ∞	KO10		0.126 ✓	ST3100.00	Stateczność Zginanie i wyboczenie względem osi głównych wg EN 1993-1-1, 6.3.3
	0.000 ∞	KO1			ER5400.00	Błąd Sprawdzenie zwężenia nie jest dostępne, ponieważ oś z jest osią mocną	
SO2	SGU - Charakterystyczna						
	1568	0.000 ∞	KO59		0.000 ✓	SE0100.00	Użytkowność Pomijalne ugięcia
	1569	12.000	KO67		0.302 ✓	SE1100.00	Użytkowność Ugięcia w kierunku z
		14.000	KO72		0.044 ✓	SE1200.00	Użytkowność Ugięcia w kierunku y

Rys.77. Zestawienie warunków projektowych oraz ich stopnia wykorzystania dla słupów podwójnych ściany szczytowej zamkniętej



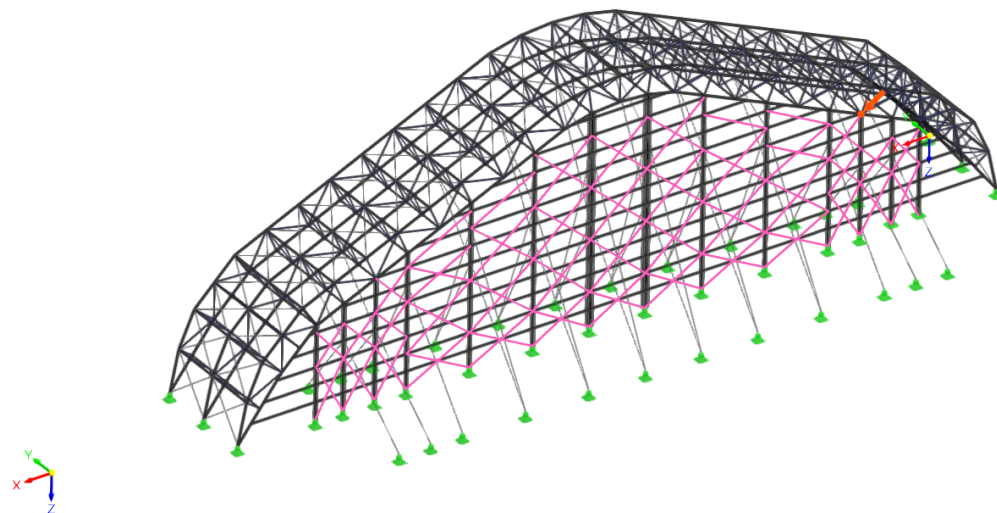
Rys. 78. Elementy ściany szczytowej zamkniętej - rygle ścienne (zaznaczono decydujący w obliczeniach)



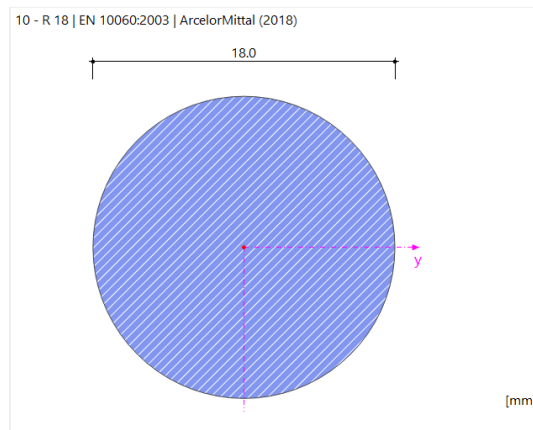
Rys. 79. Przekrój poprzeczny RHS180x100x4 [14]

Sytuacja obliczeniowa	Pręt nr	Położenie x [m]	Punkt naprężeń nr	Obciążenie nr	Stopień wykorzystania warunku projektowego	Warunek projektowy	Opis
SO1	SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b						
	1718	0.000 ±		KO38	0.105 ✓	SP1100 .00	Sprawdzenie przekroju Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3
	1699	0.000 ±		KO30	0.116 ✓	SP1200 .00	Sprawdzenie przekroju Ściskanie wg EN 1993-1-1, 6.2.4
		0.000 ±	1	KO31	0.059 ✓	SP2100 .00	Sprawdzenie przekroju Skręcanie wg EN 1993-1-1, 6.2.7
	1200	0.000 ±		KO31	0.022 ✓	SP3100 .01	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi z i skręcanie wg EN 1993-1-1, 6.2.7(9) Projektowanie plastyczne
	1165	0.000 ±		KO31	0.032 ✓	SP3100 .02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) Projektowanie plastyczne
	1200	0.000 ±		KO31	0.007 ✓	SP3200 .01	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi y i skręcanie wg EN 1993-1-1, 6.2.7(9) Projektowanie plastyczne
	1066	0.000 ±		KO1	0.009 ✓	SP3200 .02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) Projektowanie plastyczne
	1682	0.000 ±	24	KO33	0.059 ✓	SP3400 .01	Sprawdzenie przekroju Ścinanie i skręcanie wg EN 1993-1-1, 6.2.6(4) i 6.2.7(5) Projektowanie sprężyste
	1165	0.000 ±	15	KO33	0.032 ✓	SP3400 .02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.6(4) Projektowanie sprężyste
	1066	0.000 ±		KO2	0.000 ✓	SP3500 .00	Sprawdzenie przekroju Wyboczenie przy ścinaniu wg EN 1993-1-5, 5.1, 5.2, 5.3 i 5.5
	1110	3.366 1/2		KO37	0.203 ✓	SP4100 .03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie plastyczne
		3.366 1/2		KO37	0.054 ✓	SP5100 .03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie plastyczne
	1200	3.750 1/2	13	KO37	0.437 ✓	SP6100 .00	Sprawdzenie przekroju Naprężenie osiowe i ścinające wg EN 1993-1-1, 6.2.1(5) Projektowanie sprężyste
	1165	3.750 1/2	16	KO37	0.554 ✓	SP6200 .00	Sprawdzenie przekroju Zginanie, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.2, 6.2.9.3, 6.2.10 Projektowanie sprężyste
	1110	3.366 1/2		KO37	0.078 ✓	SP6500 .01	Sprawdzenie przekroju Zginanie dwukierunkowe, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
	1191	0.409 1/2		KO31	0.002 ✓	SP6500 .02	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
	1722	1.875 1/2		KO1	0.064 ✓	SP6500 .03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
	1107	0.000 ±		KO30	0.195 ✓	ST1100 .00	Stateczność Wyboczenie gięte względem głównej osi y wg EN 1993-1-1, 6.3.1
		0.000 ±		KO30	0.441 ✓	ST1300 .00	Stateczność Wyboczenie gięte względem głównej osi z wg EN 1993-1-1, 6.3.1
	1096	0.409 1/2		KO10	0.000 ✓	ST2100 .00	Stateczność Zwężenie wg EN 1993-1-1, 6.3.2
	1205	0.000 ±		KO29	0.687 ✓	ST3100 .00	Stateczność Zginanie i wyboczenie względem osi głównych wg EN 1993-1-1, 6.3.3
	1096	0.000 ±		KO49	Ostrzeżenie ⚠	W45001 .00	Ostrzeżenie Skręcanie jest pomijane dla warunków projektowych stateczności

Rys. 80. Zestawienie warunków projektowych oraz ich stopnia wykorzystania dla słupów podwójnych ściany szczytowej zamkniętej



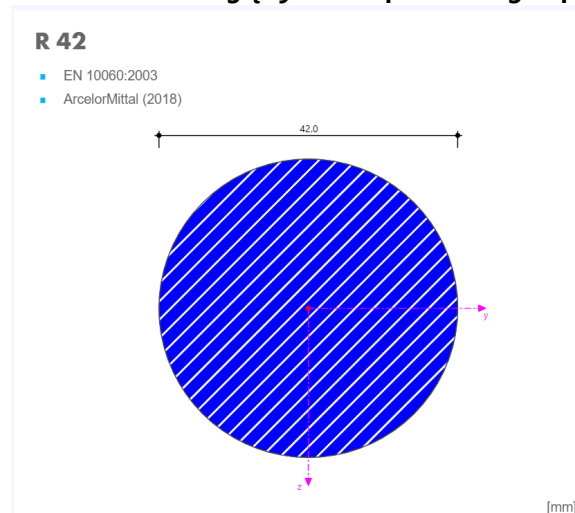
Rys. 81. Elementy ściany szczytowej zamkniętej - stężenia ścienne typu X



Rys. 82. Przekrój poprzeczny stężenia ściennego - R18 [14]

SO1	SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b					
	1577	9.018	KO21	0.000	✓	SP0100.00 Sprawdzenie przekroju Pomijalne siły wewnętrzne
	1668	0.000	KO30	0.927	✓	SP1100.00 Sprawdzenie przekroju Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3
SO2	SGU - Charakterystyczna					
	1577	0.000	KO60	0.000	✓	SE0100.00 Użytkowność Pomijalne ugięcia

Rys. 83. Zestawienie warunków projektowych oraz ich stopnia wykorzystania dla słupów podwójnych ściany szczytowej zamkniętej
Wymiarowanie cięgien stabilizujących o przekroju pełnym R42



Rys.84. Przekrój poprzeczny cięgien stabilizujących R42 [14]

$d = 42 \text{ mm}$ - średnica przekroju

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.142 \cdot (42 \text{ mm})^2}{4} = 13.854 \text{ cm}^2 - \text{pole przekroju poprzecznego}$$

$$A_0 = 0.9 \cdot A = 0.9 \cdot 13.854 \text{ cm}^2 = 12.469 \text{ cm}^2 - \text{pole przekroju w miejscu gwintu}$$

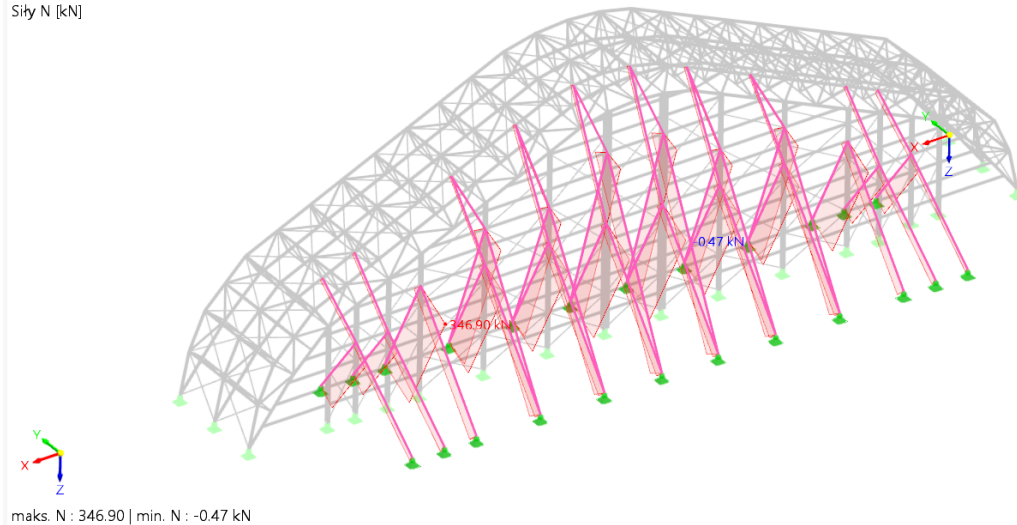
$f_y = 355 \text{ MPa}$ - granica plastyczności dla stali S355JR

Nośność obliczeniowa przekroju stężenia w miejscu gwintu:

$$N_{p1,Rd} = \frac{A_0 \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{12.469 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1.25} = 354.119 \text{ kN}$$

gdzie $\gamma_{M2} = 1.25$

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b
 Analiza statyczna
 Siły N [kN]



Rys. 85. Obwiednia sił osiowych wciągających stabilizujących ścianę szczytową

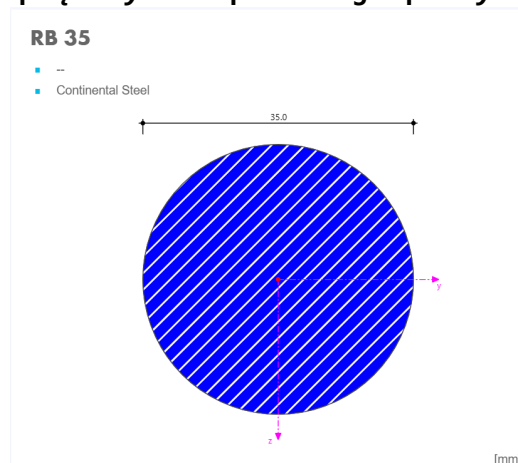
$N_{Ed} = 349.9 \text{ kN}$ -rozciąganie

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{p1,Rd}} = \frac{349.9 \text{ kN}}{354.119 \text{ kN}} = 0.988 < 1.0 - \text{warunek spełniony}$$

8.7. Element 4 - Stężenia połączeniowe typu X

Wymiarowanie stężeń prętowych o przekroju pełnym R35



Rys. 86. Stężenie połączeniowe typu X o przekroju pełnym R35 [14]

$d = 35 \text{ mm}$ - średnica przekroju

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.142 \cdot (35 \text{ mm})^2}{4} = 9.621 \text{ cm}^2 - \text{pole przekroju}$$

poprzecznego

$A_0 = 0.9 \cdot A = 0.9 \cdot 9.621 \text{ cm}^2 = 8.659 \text{ cm}^2$ - pole przekroju w miejscu gwintu

$f_y = 355 \text{ MPa}$ - granica plastyczności dla stali S355JR

Nośność obliczeniowa przekroju stężenia w miejscu gwintu:

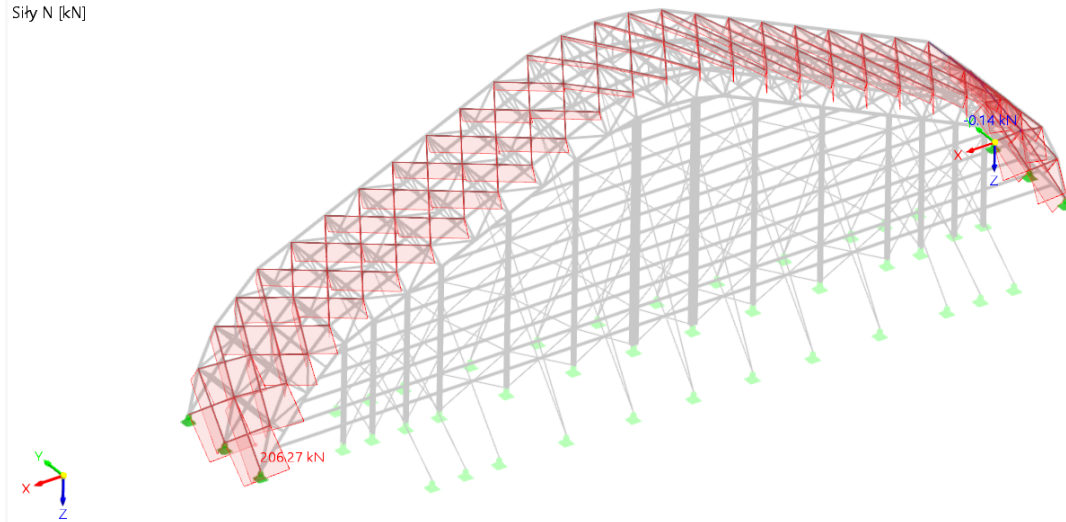
$$N_{p1,Rd} = \frac{A_{\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{8.659 \text{ cm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1.25} = 245.916 \text{ kN}$$

gdzie $\gamma_{M2} = 1.25$

S01 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b

Analiza statyczna

Siły N [kN]



maks. N : 206.27 | min. N : -0.14 kN

Rys. 87. Obwiednia sił osiowych stężeń prętowych

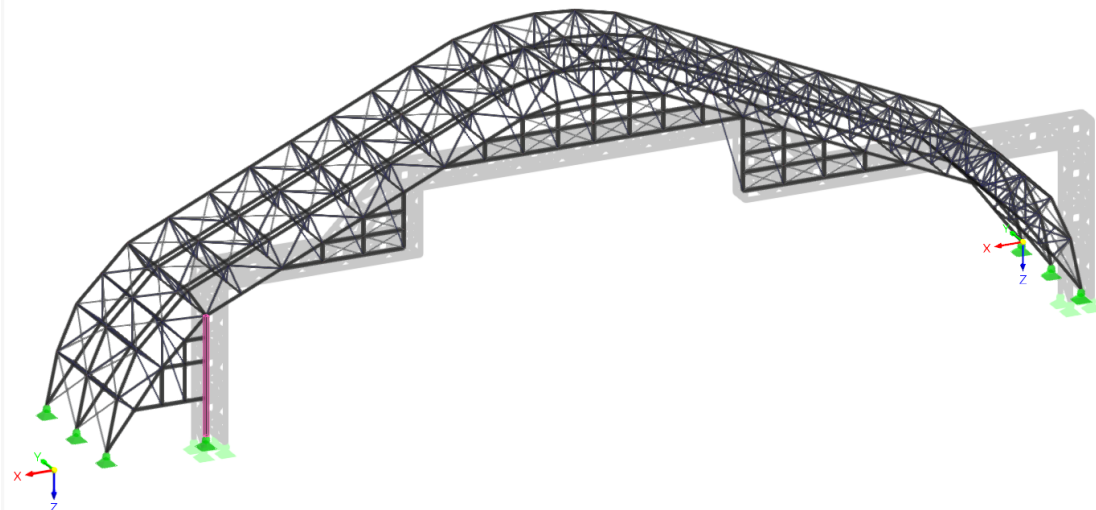
$N_{Ed} = 206.27 \text{ kN}$ -rozciąganie

Warunek nośności:

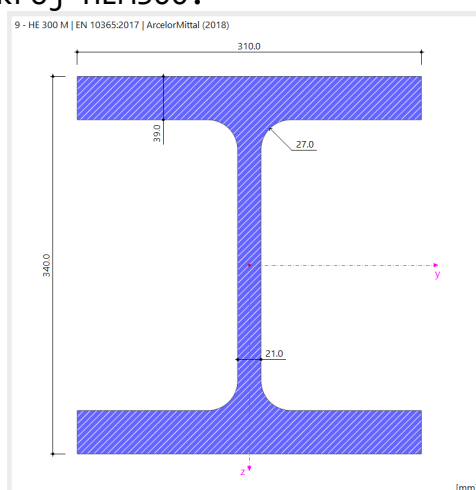
$$\frac{N_{Ed}}{N_{p1,Rd}} = \frac{206.27 \text{ kN}}{245.916 \text{ kN}} = 0.839 < 1.0 \text{ - warunek spełniony}$$

8.8. Element 5 - Konstrukcja ściany szczytowej otwartej

Obliczenia statyczno - wytrzymałościowe ściany szczytowej otwartej wykonano wykorzystując model obliczeniowy nr 3 w programie RFEM 6 (patrz Załącznik nr 2). Wymiarowanie przeprowadzono dla dwóch stanów granicznych tj. SGN i SGU.



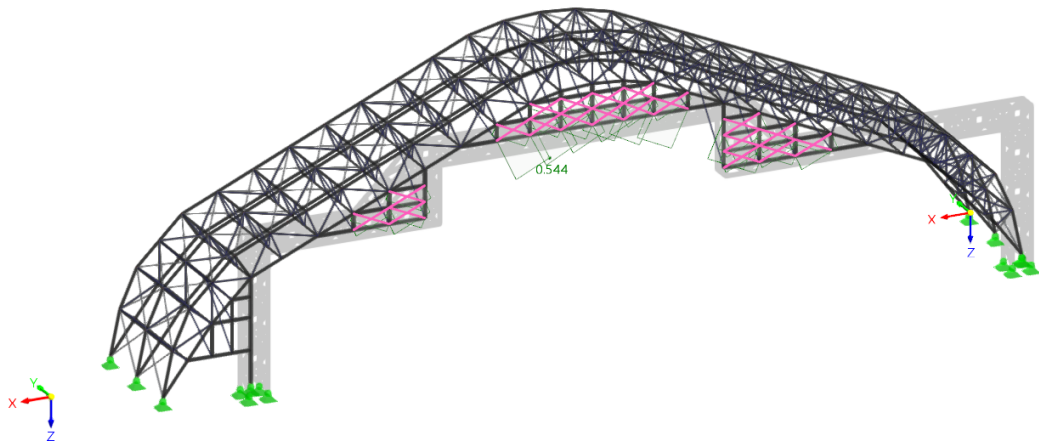
Rys. 88. Elementy ściany szczytowej otwartej - słup
Na słup wybrano przekrój HEM300.



Rys. 89. Przekrój poprzeczny HEM300 [14]

SO1	SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b									
	1566	10.447		K07		0.000	✓	SP0100.00	Sprawdzenie przekroju Pomijalne siły wewnętrzne	
		3.418		K040		0.007	✓	SP1100.00	Sprawdzenie przekroju Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3	
		0.000	⊠	K029		0.011	✓	SP1200.00	Sprawdzenie przekroju Ściąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.4	
		0.000	⊠	K034	1	0.018	✓	SP2100.00	Sprawdzenie przekroju Skreślenie wg EN 1993-1-1, 6.2.7	
		0.000	⊠	K034		0.087	✓	SP3100.01	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi z i skreślenie wg EN 1993-1-1, 6.2.7(9) Projektowanie plastyczne	
		0.000	⊠	K052		0.059	✓	SP3100.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) Projektowanie plastyczne	
		0.000	⊠	K037		0.007	✓	SP3200.01	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi y i skreślenie wg EN 1993-1-1, 6.2.7(9) Projektowanie plastyczne	
		6.760		K029		0.006	✓	SP3200.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) Projektowanie plastyczne	
		0.000	⊠	K01		0.000	✓	SP3500.00	Sprawdzenie przekroju Wyboczenie przy ścinaniu wg EN 1993-1-5, 5.1, 5.2, 5.3 i 5.5	
		3.418		K034		0.353	✓	SP4100.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie plastyczne	
		3.418		K037		0.168	✓	SP5100.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie plastyczne	
		3.418	21	K037		0.667	✓	SP6100.00	Sprawdzenie przekroju Naprężenie osiowe i ścinające wg EN 1993-1-1, 6.2.1(5) Projektowanie sprężyste	
		3.418		K037		0.290	✓	SP6500.01	Sprawdzenie przekroju Zginanie dwukierunkowe, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne	
		6.760		K07		0.002	✓	SP6500.02	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne	
		0.855		K07		0.002	✓	SP6500.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne	
		3.418		K050		0.248	✓	SP6500.04	Sprawdzenie przekroju Zginanie dwukierunkowe i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne	
		0.000	⊠	K01		0.000	✓	ST1100.00	Stateczność Wyboczenie gładkie względem głównej osi y wg EN 1993-1-1, 6.3.1	
		0.000	⊠	K01		0.000	✓	ST1300.00	Stateczność Wyboczenie gładkie względem głównej osi z wg EN 1993-1-1, 6.3.1	
		0.000	⊠	K01		0.000	✓	ST1500.00	Stateczność Wyboczenie skrętne wg EN 1993-1-1, 6.3.1	
		6.760		K037		0.586	✓	ST3100.00	Stateczność Zginanie i wyboczenie względem osi głównych wg EN 1993-1-1, 6.3.3	
		0.000	⊠	K010			⚠	WA5001.00	Ostrzeżenie Skreślenie jest pomijane dla warunków projektowych stateczności	
SO2	SGU - Charakterystyczna									
	1566	0.000	⊠	K059		0.000	✓	SE0100.00	Użytkowność Pomijalne ugięcia	
		5.406	1/2	K071		0.895	✓	SE1100.00	Użytkowność Ugięcia w kierunku z	
		4.532		K074		0.402	✓	SE1200.00	Użytkowność Ugięcia w kierunku y	

Rys. 90. Zestawienie warunków projektowych oraz ich stopnia wykorzystania dla słupów ściany szczytowej zamkniętej



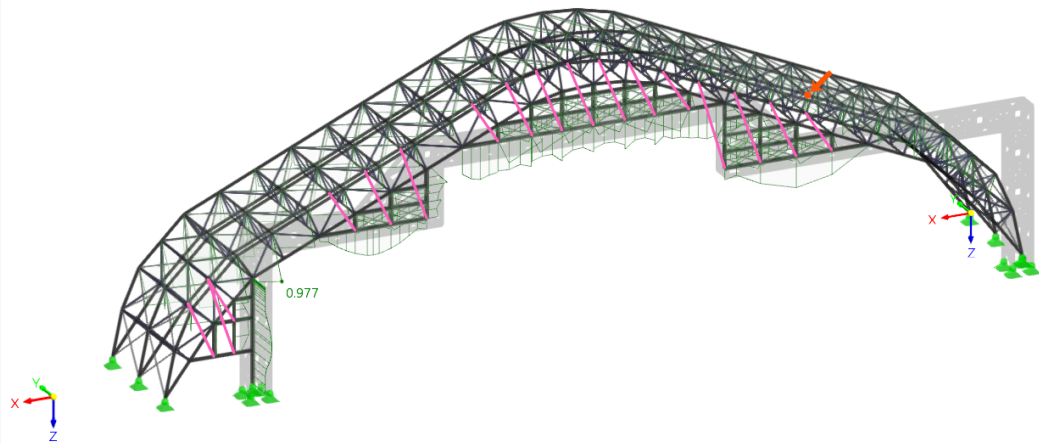
Pręty | Maks. z wszystkich warunków | maks. : 0.544 | min. : 0.000
Pręty | maks. η : 0.544 | min. η : 0.000

Rys. 91. Elementy ściany szczytowej otwartej - stężenia ścienne typu X

Na stężenia ścienne wybrano przekrój R32.

Sytuacja obliczeniowa	Pręt nr	Położenie x [m]	Punkt naprężeń nr	Obciążenie nr	Stopień wykorzystania warunku projektowego	Warunek projektowy	
SO1	SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b						
	2504	0.000 ±		KO2	0.000 ✓	SP0100.00	Sprawdzenie przekroju Pomijalne siły wewnętrzne
	2491	3.865 ±		KO34	0.544 ✓	SP1100.00	Sprawdzenie przekroju Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3
SO2	SGU - Charakterystyczna						
	2491	0.000 ±		KO61	0.000 ✓	SE0100.00	Użytkowność Pomijalne ugięcia

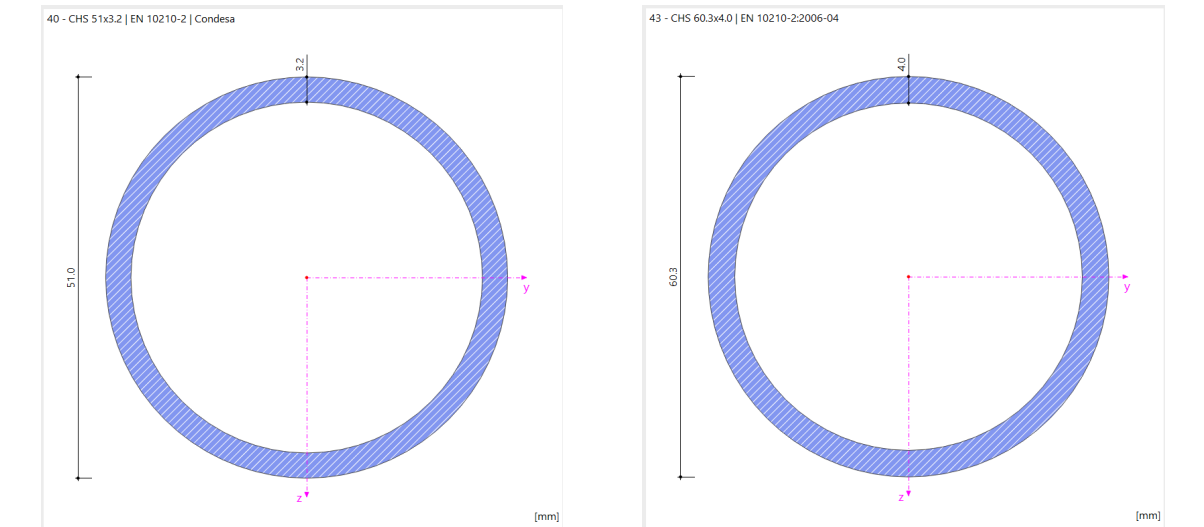
Rys. 92. Zestawienie warunków projektowych oraz ich stopnia wykorzystania dla słupów ściany szczytowej zamkniętej



Pręty | Maks. z wszystkich warunków | maks. : 0.977 | min. : 0.000
Pręty | maks. η : 0.977 | min. η : 0.000

Rys. 93. Elementy ściany szczytowej otwartej - podwieszenie rygli ściennych

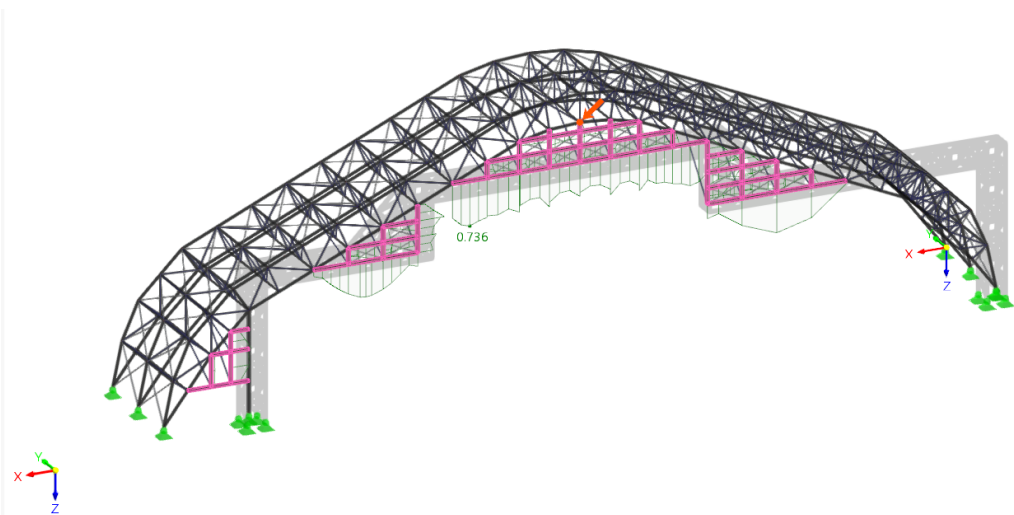
Na podwieszenia rygli ściennych wybrano przekroje CHS 51x3.2 oraz CHS60.3x4.



Rys. 94. Przekroje poprzeczne podwieszń rygli ściennych [14]

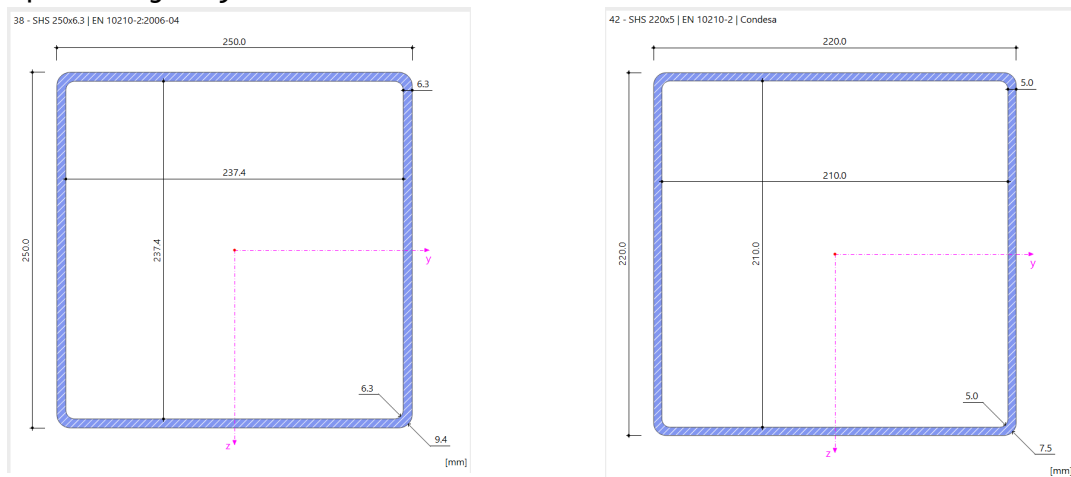
Sytuacja obliczeniowa	Pręt nr	Położenie x [m]	Punkt naprężeń nr	Obciążenie nr	Stopień wykorzystania warunku projektowego	Warunek projektowy	Opis
SO1	SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b						
	1287	0.000		KO1	0.000	SP0100.00	Sprawdzenie przekroju Pomijalne siły wewnętrzne
	1309	7.273		KO37	0.977	SP1100.00	Sprawdzenie przekroju Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3
	2131	0.000		KO1	0.466	SP1200.00	Sprawdzenie przekroju Ściąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.4
	2458	0.000	1	KO42	0.139	SP2100.00	Sprawdzenie przekroju Skrećanie wg EN 1993-1-1, 6.2.7
	1566	0.000		KO34	0.087	SP3100.01	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi z i skrećanie wg EN 1993-1-1, 6.2.7(9) Projektowanie plastyczne
		0.000		KO52	0.059	SP3100.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) Projektowanie plastyczne
	2443	7.336		KO40	0.063	SP3200.01	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi y i skrećanie wg EN 1993-1-1, 6.2.7(9) Projektowanie plastyczne
		17.080		KO34	0.049	SP3200.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) Projektowanie plastyczne
	1798	2.000		KO1	0.086	SP3300.01	Sprawdzenie przekroju Wypadkowe ścinanie i skrećanie wg EN 1993-1-1, 6.2.7(9) Projektowanie plastyczne
	1965	0.000		KO1	0.106	SP3300.02	Sprawdzenie przekroju Wypadkowe ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) Projektowanie plastyczne
	2446	6.667	2	KO40	0.242	SP3400.01	Sprawdzenie przekroju Ścinanie i skrećanie wg EN 1993-1-1, 6.2.6(4) i 6.2.7(5) Projektowanie sprężyste
	2443	3.750	16	KO29	0.049	SP3400.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.6(4) Projektowanie sprężyste
	1566	0.000		KO1	0.000	SP3500.00	Sprawdzenie przekroju Wyboczenie przy ścinaniu wg EN 1993-1-5, 5.1, 5.2, 5.3 i 5.5
	1965	2.000		KO1	0.437	SP4100.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie plastyczne
	2447	5.000	1	KO1	0.034	SP4200.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.9.2, 6.2.9.3 Projektowanie sprężyste
	2158	2.828		KO1	0.227	SP5100.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie plastyczne
	2442	8.437	6	KO53	0.162	SP5200.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.9.2, 6.2.9.3 Projektowanie sprężyste
	1790	0.000	18	KO1	0.842	SP6100.00	Sprawdzenie przekroju Naprężenie osiowe i ścinające wg EN 1993-1-1, 6.2.1(5) Projektowanie sprężyste
	2443	3.750	14	KO29	0.614	SP6200.00	Sprawdzenie przekroju Zginanie, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.2, 6.2.9.3, 6.2.10 Projektowanie sprężyste
	1965	2.000		KO1	0.323	SP6500.01	Sprawdzenie przekroju Zginanie dwukierunkowe, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
	2443	8.385		KO31	0.424	SP6500.02	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
		17.080		KO37	0.499	SP6500.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
		3.418		KO50	0.248	SP6500.04	Sprawdzenie przekroju Zginanie dwukierunkowe i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
		0.000		KO1	0.000	ST1100.00	Stateczność Wyboczenie giętnie względem głównej osi y wg EN 1993-1-1, 6.3.1
		0.000		KO1	0.000	ST1300.00	Stateczność Wyboczenie giętnie względem głównej osi z wg EN 1993-1-1, 6.3.1
		0.000		KO1	0.000	ST1500.00	Stateczność Wyboczenie skrętnie wg EN 1993-1-1, 6.3.1
		6.760		KO37	0.586	ST3100.00	Stateczność Zginanie i wyboczenie względem osi głównych wg EN 1993-1-1, 6.3.3
		0.000		KO10		WA5001.00	Ostrzeżenie Skrećanie jest pomijane dla warunków projektowych stateczności
SO2	SGU - Charakterystyczna						
	1275	0.000		KO59	0.000	SE0100.00	Użytkowność Pomijalne ugięcia
	1566	5.406	1/2	KO71	0.895	SE1100.00	Użytkowność Ugięcia w kierunku z
	2444	7.500	1/2	KO77	0.657	SE1200.00	Użytkowność Ugięcia w kierunku y

Rys. 95. Zestawienie warunków projektowych oraz ich stopnia wykorzystania dla słupów ściany szczytowej zamkniętej



Pręty | Maks. z wszystkich warunków | maks. : 0.736 | min. : 0.000
Pręty | maks. η : 0.736 | min. η : 0.000

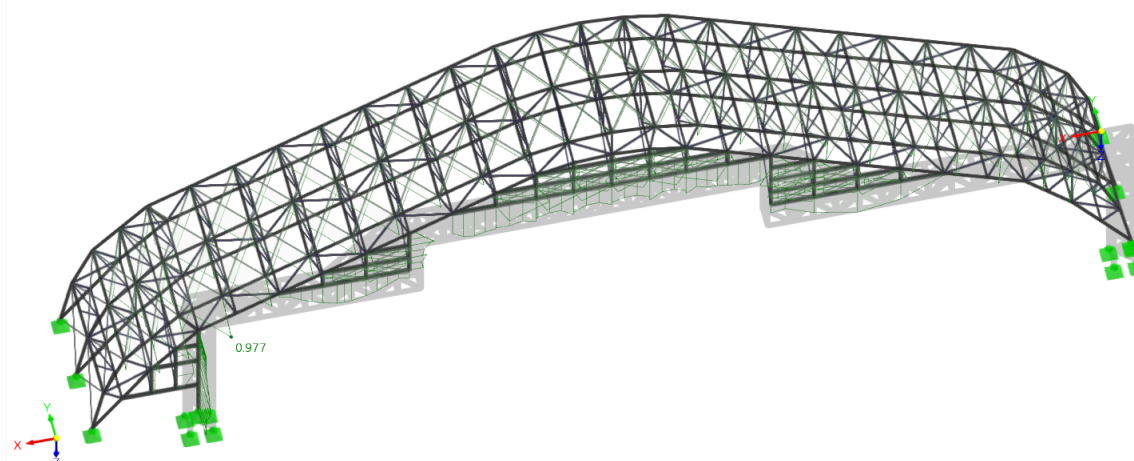
Rys. 96. Elementy ściany szczytowej otwartej - rygły ścienne
Jako przekroje wybrano SHS250x6.3 oraz SHS220x5.



Rys. 97. Przekroje poprzeczne rygły ściany szczytowej otwartej [14]

Sytuacja obliczeniowa	Pręt nr	Położenie x [m]	Punkt naprężeń nr	Obciążenie nr	Stopień wykorzystania warunku projektowego	Warunek projektowy	Opis
SO1	SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b						
	2453	0.000	1	KO1	0.000	SP0100.00	Sprawdzenie przekroju Pomijalne siły wewnętrzne
	2443	0.000	1	KO34	0.561	SP1100.00	Sprawdzenie przekroju Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3
	2443	0.000	1	KO29	0.460	SP1200.00	Sprawdzenie przekroju Ściskanie wg EN 1993-1-1, 6.2.4
	2458	0.000	1	KO42	0.139	SP2100.00	Sprawdzenie przekroju Skrećanie wg EN 1993-1-1, 6.2.7
	2443	7.336	1	KO34	0.055	SP3100.01	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi z i skrećanie wg EN 1993-1-1, 6.2.7(9) Projektowanie plastyczne
	2452	0.000	1	KO34	0.025	SP3100.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi y i skrećanie wg EN 1993-1-1, 6.2.7(9) Projektowanie plastyczne
	2443	7.336	1	KO40	0.063	SP3200.01	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi z i skrećanie wg EN 1993-1-1, 6.2.6(4) i 6.2.7(5) Projektowanie sprężyste
	2443	7.336	1	KO34	0.049	SP3200.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie w osi y i skrećanie wg EN 1993-1-1, 6.2.6(4) i 6.2.7(5) Projektowanie sprężyste
	2446	6.667	2	KO40	0.242	SP3400.01	Sprawdzenie przekroju Ścinanie i skrećanie wg EN 1993-1-1, 6.2.6(4) i 6.2.7(5) Projektowanie sprężyste
	2443	3.750	16	KO29	0.049	SP3400.02	Sprawdzenie przekroju Ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.6(4) Projektowanie sprężyste
	2441	0.000	1	KO1	0.000	SP3500.00	Sprawdzenie przekroju Wyboczenie przy ścinaniu wg EN 1993-1-5, 5.1.5.2, 5.3 i 5.5
	2443	3.750	1	KO34	0.083	SP4100.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie plastyczne
	2447	5.000	1	KO1	0.034	SP4200.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie sprężyste
	2443	17.080	1	KO34	0.161	SP5100.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.5 Projektowanie sprężyste
	2442	8.437	6	KO53	0.162	SP5200.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.9.2, 6.2.9.3 Projektowanie sprężyste
	2443	1.875	11	KO34	0.736	SP6100.00	Sprawdzenie przekroju Naprężenie osiowe i ścinające wg EN 1993-1-1, 6.2.1(5) Projektowanie sprężyste
	2443	3.750	14	KO29	0.614	SP6200.00	Sprawdzenie przekroju Zginanie osiowe i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.2, 6.2.9.3, 6.2.10 Projektowanie sprężyste
	17.080			KO34	0.041	SP6500.01	Sprawdzenie przekroju Zginanie dwukierunkowe, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
	8.385			KO31	0.424	SP6500.02	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi y, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
	17.080			KO37	0.499	SP6500.03	Sprawdzenie przekroju Zginanie względem osi z, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 Projektowanie plastyczne
SO2	SGU - Charakterystyczna						
	2441	0.000	1	KO59	0.000	SE0100.00	Użytkowność Pomijalne ugięcia
	2554	1.671	1/2	KO77	0.316	SE1100.00	Użytkowność Ugięcia w kierunku z
	2444	7.500	1/2	KO77	0.657	SE1200.00	Użytkowność Ugięcia w kierunku y

Rys. 98. Zestawienie warunków projektowych oraz ich stopnia wykorzystania dla słupów ściany szczytowej zamkniętej



Pręty | Maks. z wszystkich warunków | maks. : 0.977 | min. : 0.000

Pręty | maks. η : 0.977 | min. η : 0.000

Rys. 99. Zbiorcze graficzne przedstawienie wyężenia elementów ściany szczytowej otwartej

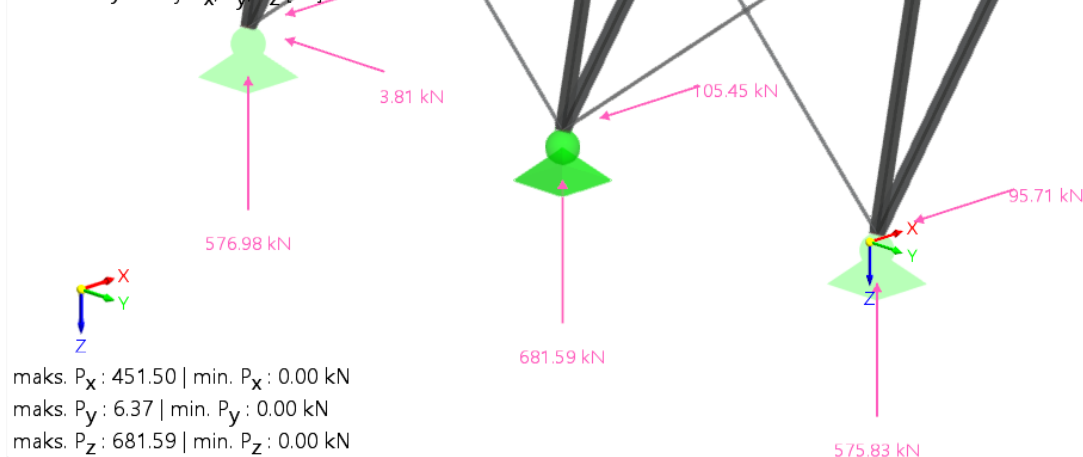
8.9. Wybrane połączenia

8.9.1. Wymiarowanie przegubowego połączenia na sworzeń

SO1 - SGN (STR/GEO) - Trwała i przejściowa - Równ. 6.10a i 6.10b

Analiza statyczna

Lokalne siły reakcji P_x, P_y, P_z [kN]



maks. P_x : 451.50 | min. P_x : 0.00 kN

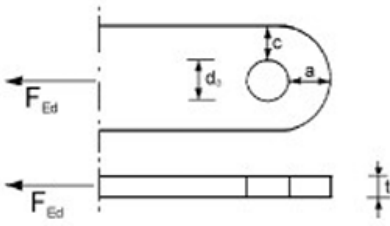
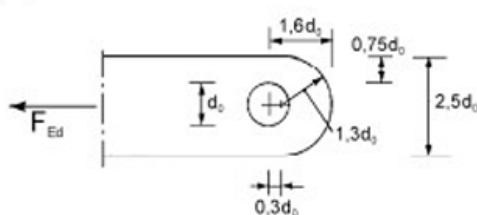
maks. P_y : 6.37 | min. P_y : 0.00 kN

maks. P_z : 681.59 | min. P_z : 0.00 kN

Rys. 100. Maksymalne reakcje występujące w podporach wymiarowanego dźwigara głównego

$$F_{Ed} = \sqrt{(681.59 \text{ kN})^2 + (105.45 \text{ kN})^2} = 689.699 \text{ kN}$$

Tablica 3.9: Wymiary w połączeniu na sworzeń

<u>Typ A:</u> Gdy dana jest grubość t  $a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2 t f_y} + \frac{2 d_0}{3} ; c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2 t f_y} + \frac{d_0}{3}$
<u>Typ B:</u> Gdy dane są wymiary w planie  $t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y}} ; d_0 \leq 2,5 t$

Rys. 101. Zalecane wymiary elementu wg [6]

$f_y = 355 \text{ MPa}$ - granica plastyczności dla blachy stalowej gatunku S355, gdy $t \leq 40 \text{ mm}$

$f_u = 470 \text{ MPa}$ - wytrzymałość na rozciąganie dla blachy stalowej gatunku S355 dla $t < 40 \text{ mm}$

Dobór minimalnej grubości blach:

$$t_1 = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{689.699 \text{ kN} \cdot 1}{355 \text{ MPa}}} = 30.854 \text{ mm} \Rightarrow t =$$

36 mm

gdzie $\gamma_{M0} = 1$ [5]

Dobór średnicy sworznia:

$d_{\max} = 2,5 \cdot t = 2,5 \cdot 36 \text{ mm} = 90 \text{ mm} \Rightarrow d = 120 \text{ mm}$ - średnica sworznia

$d_0 = d + 2 \text{ mm} = 120 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 122 \text{ mm}$ - średnica otworu

Dobór pozostałych wymiarów:

1) $2,5 \cdot d_0 = 2,5 \cdot 122 \text{ mm} = 305 \text{ mm}$

2)
$$a_{\min} = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{689.699 \text{ kN} \cdot 1}{2 \cdot 36 \text{ mm} \cdot 355 \text{ MPa}} + \frac{2 \cdot 122 \text{ mm}}{3}$$

$$= 108.317 \text{ mm}$$

$$3) c_{\min} = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{689.699 \text{ kN} \cdot 1}{2 \cdot 36 \text{ mm} \cdot 355 \text{ MPa}} + \frac{122 \text{ mm}}{3}$$

$$= 67.650 \text{ mm}$$

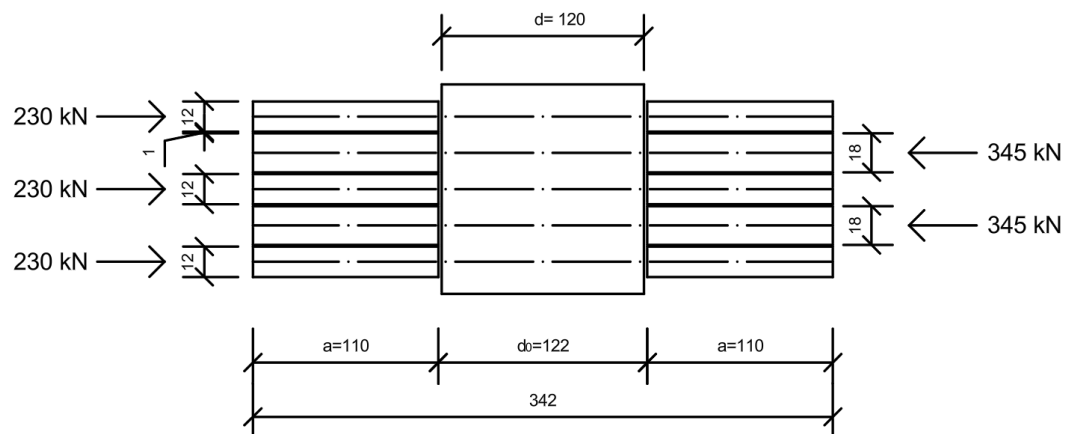
Przyjęto: $a = 110 \text{ mm}$ $c = a = 110 \text{ mm}$

$$b = \frac{t}{2} = \frac{36 \text{ mm}}{2} = 18 \text{ mm} - \text{grubość blach połączenia (górze)}$$

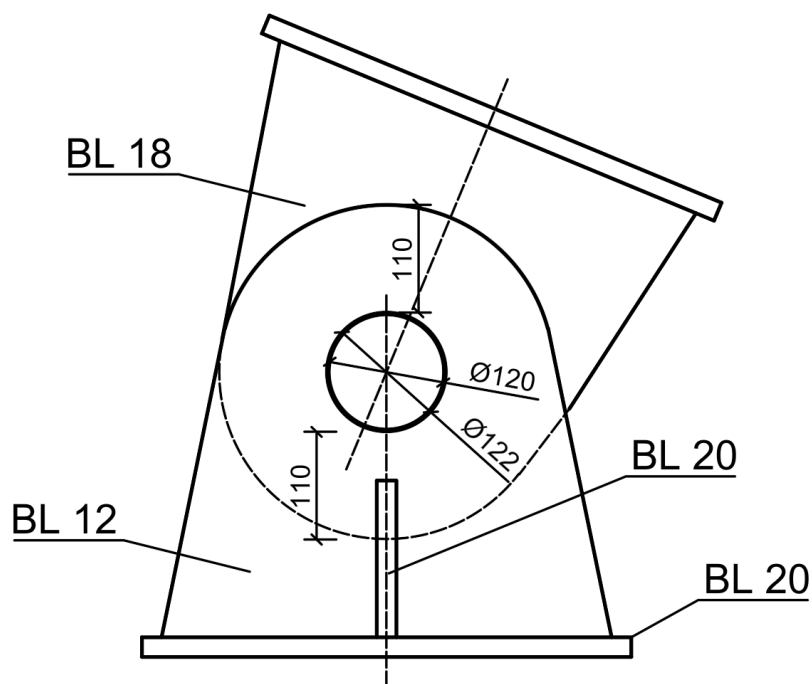
$$\frac{F_{Ed}}{2} = \frac{689.699 \text{ kN}}{2} = 344.849 \text{ kN} - \text{siła występująca w pojedynczej blaszce połączenia (górze)}$$

$$\frac{t}{3} = \frac{36 \text{ mm}}{3} = 12 \text{ mm} - \text{grubość blach połączenia (dół)}$$

$$\frac{F_{Ed}}{3} = \frac{689.699 \text{ kN}}{3} = 229.900 \text{ kN} - \text{siła występująca w pojedynczej blaszce połączenia (dół)}$$



Rys. 102. Szkic połączenia w przekroju



Rys. 103. Szkic połączenia w widoku z boku

Obliczeniowa nośności sworznia:

Nośność sworznia na ścinanie w jednej płaszczyźnie:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.142 \cdot (120 \text{ mm})^2}{4} = 11309.734 \text{ mm}^2 - \text{pole przekroju}$$

sworznia

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_u \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 470 \text{ MPa} \cdot 11309.734 \text{ mm}^2}{1.25} = 2551.476 \text{ kN}$$

gdzie: $\gamma_{M2} = 1.25$ [5]

$$\frac{F_{Ed}}{3} = \frac{689.699 \text{ kN}}{3} = 0.0901 < 1.0 - \text{warunek spełniony}$$

Nośność na docisk blachy i sworznia:

$$F_{b,Rd} = \frac{1.5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1.5 \cdot 36 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \cdot 355 \text{ MPa}}{1}$$

$$= 2300.4 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{689.699 \text{ kN}}{2300.4 \text{ kN}} = 0.300 < 1.0 - \text{warunek spełniony}$$

Moment zginający sworzeń:

$$M_{Ed} = \left(\frac{F_{Ed}}{8} \right) \cdot (6 \cdot c + 3 \cdot a + 2 \cdot b) =$$

$$\left(\frac{689.699 \text{ kN}}{8} \right) \cdot (6 \cdot 110 \text{ mm} + 3 \cdot 110 \text{ mm} + 2 \cdot 18 \text{ mm}) = 88.454 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nośność sworznia na zginanie:

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{3.142 \cdot (120 \text{ mm})^3}{32} = 169646.003 \text{ mm}^3 - \text{wskaźnik na}$$

zginanie

$$M_{Rd} = \frac{1.5 \cdot W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1.5 \cdot 169646.003 \text{ mm}^3 \cdot 355 \text{ MPa}}{1}$$

$$= 90.336 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{88.454 \text{ kN} \cdot \text{m}}{90.336 \text{ kN} \cdot \text{m}} = 0.979 < 1.0 - \text{warunek spełniony}$$

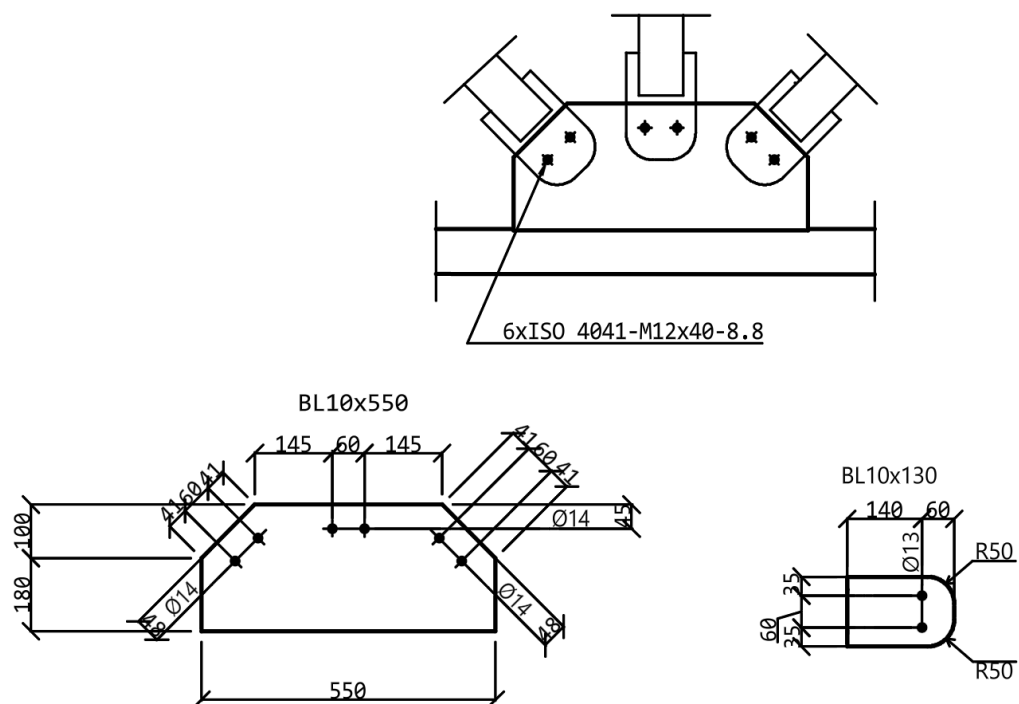
Nośność sworznia przy jednoczesnym ścinaniu i zginaniu:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left(\frac{\frac{F_{Ed}}{3}}{F_{v,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{88.454 \text{ kN} \cdot \text{m}}{90.336 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right)^2 + \left(\frac{\frac{689.699 \text{ kN}}{3}}{2551.476 \text{ kN}} \right)^2 = 0.967 < 1.0 -$$

warunek spełniony

8.9.2. Wymiarowanie połączenia montażowego śrubowego pasa dolnego tężnika między-dźwigarowego

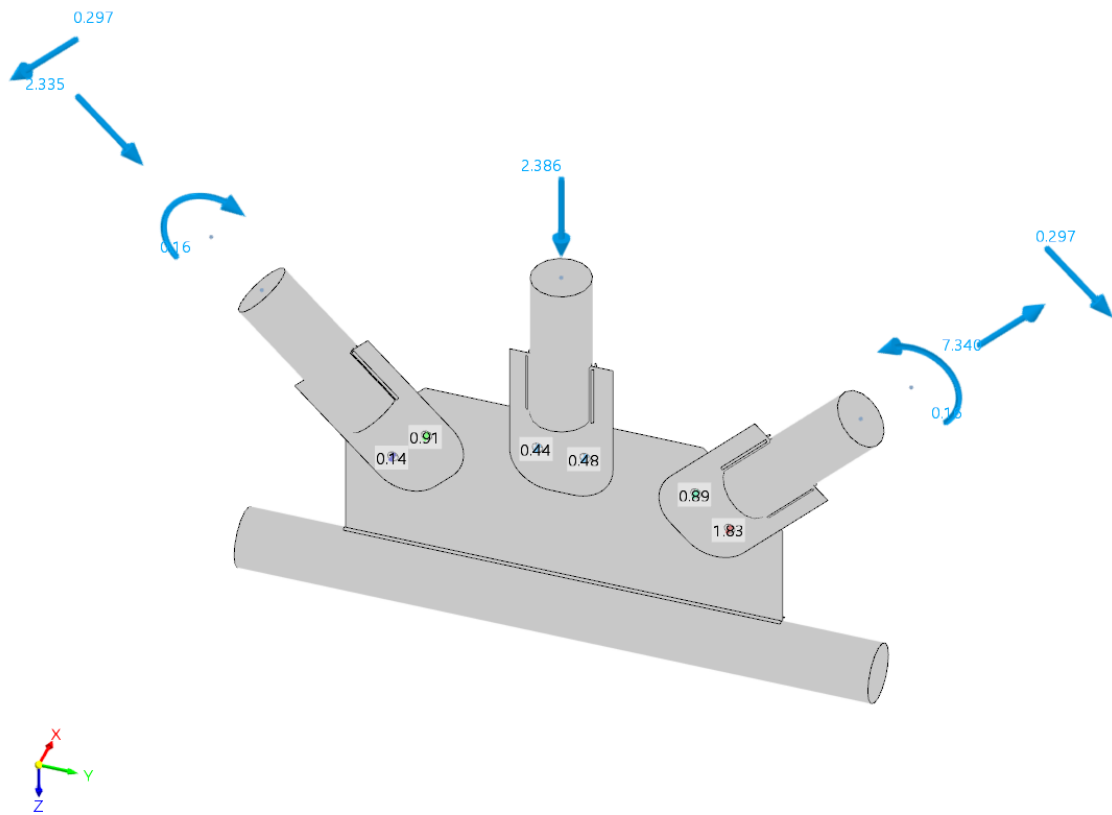
Połączenie montażowe pasa dolnego tężnika międzydźwigarowego zamodelowano jako połączenie śrubowe z płytą węzłową.



Rys. 104. Połączenie montażowe pasa dolnego tężnika międzydźwigarowego

Pręty | Siły N [kN]

Powierzchnie | Odształcenia plastyczne von Mises $\epsilon_{eqv,pl,Mises}$ [%]



Pręty | maks. N : 1.83 | min. N : 0.14 kN

Powierzchnie | maks. $\epsilon_{eqv,pl,Mises}$: 0.00 | min. $\epsilon_{eqv,pl,Mises}$: 0.00 %

Rys. 105. Uproszczony model zamodelowanego połączenia

SPRAWDZENIE ŚRUB

$f_{ub} = 800$ MPa - wytrzymałość na rozciąganie śruby

$A = 113.1$ mm² - pole przekroju brutto śruby

$A_s = 84.3$ mm² - obszar naprężenia rozciągającego śruby

$d = 12$ mm - nominalna średnica śruby

$d_m = 20$ mm - średnica łba śruby

$F_{v,Ed} = 8.08$ kN - obliczeniowa siła tnąca

$F_{t,Ed} = 2.97$ kN - obliczeniowa siła rozciągająca

Obliczeniowa nośność na ścinanie:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 800 \text{ MPa} \cdot 84.3 \text{ mm}^2}{1.25} = 32.371 \text{ kN}$$

gdzie $\alpha_v = 0.6$ $\gamma_{M2} = 1.25$

$$\eta_{Fv} = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{8.08 \text{ kN}}{32.371 \text{ kN}} = 0.250$$

Nośność na docisk:

$d_0 = 14 \text{ mm}$ - średnica otworu

$t = 10 \text{ mm}$ - grubość płyty

$f_u = 490 \text{ MPa}$ - graniczna wytrzymałość płyt na rozciąganie

$p_{2,lef} = 59.9 \text{ mm}$ - odległość pomiędzy śrubami w kierunku prostym do wynikowej siły docisku

$e_{2,rig} = 34.8 \text{ mm}$ - odległość od śruby do krawędzi płyty w kierunku prostym do wynikowej siły docisku

$e_1 = 55.9 \text{ mm}$ - odległość od śruby do krawędzi płyty w kierunku wynikowej siły docisku

Pośrednie położenie śruby, po lewej do kierunku siły

$$k_{1,lef} = \text{Min} \left(1.4 \cdot \left(\frac{p_{2,lef}}{d_0} \right) - 1.7, 2.5 \right) = \text{Min} \left(1.4 \cdot \left(\frac{59.9 \text{ mm}}{14 \text{ mm}} \right) - 1.7, 2.5 \right) = 2.5$$

Skrajne położenie śruby, po prawej do kierunku siły

$$k_{1,rig} = \text{Min} \left(2.8 \cdot \left(\frac{e_{2,rig}}{d_0} \right) - 1.7, 2.5 \right) = \text{Min} \left(2.8 \cdot \left(\frac{34.8 \text{ mm}}{14 \text{ mm}} \right) - 1.7, 2.5 \right) = 2.5$$

$$k_1 = \text{Min}(k_{1,lef}, k_{1,rig}) = \text{Min}(2.5, 2.5) = 2.5$$

Skrajne położenie śruby, w kierunku siły

$$\alpha_b = \text{Min} \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) = \text{Min} \left(\frac{55.9 \text{ mm}}{3 \cdot 14 \text{ mm}}, \frac{800 \text{ MPa}}{490 \text{ MPa}}, 1 \right) = 1$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 1 \cdot 490 \text{ MPa} \cdot 12 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}}{1.25} = 117600 \text{ MPa} \cdot \text{mm}^2$$

$$\eta_{Fb} = \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{8.08 \text{ kN}}{117600 \text{ MPa} \cdot \text{mm}^2} = 0.0687$$

Nośność na rozciąganie:

$k_2 = 0.9$ - współczynnik

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot 800 \text{ MPa} \cdot 84.3 \text{ mm}^2}{1.25} = 48.557 \text{ kN}$$

$$\eta_{Ft} = \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{2.97 \text{ kN}}{48.557 \text{ kN}} = 0.0612$$

Nośność na ścinanie przy przebiciu:

$t_p = 10 \text{ mm}$ - grubość płyty

$$B_{p,Rd} = \frac{0.5 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.5 \cdot 3.142 \cdot 20 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} \cdot 490 \text{ MPa}}{1.25} = 123150.432 \text{ mm}^2 \cdot \text{MPa}$$

$$\eta_{Bp} = \frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{2.97 \text{ kN}}{123150.432 \text{ mm}^2 \cdot \text{MPa}} = 0.0241$$

Nośność na ścinanie z rozciąganiem:

$$\eta_{Ft,Fv} = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{8.08 \text{ kN}}{32.371 \text{ kN}} + \frac{2.97 \text{ kN}}{1.4 \cdot 48.557 \text{ kN}} = 0.293$$

$$\eta = \text{Max}(\eta_{Fv}, \eta_{Fb}, \eta_{Ft}, \eta_{Bp}, \eta_{Ft,Fv}) =$$

$$\text{Max}(0.250, 0.0687, 0.0612, 0.0241, 0.293) = 0.293$$

$$\eta < 1 = 0.293 < 1 = \text{Prawda warunek spełniony}$$

SPRAWDZENIE SPOINY PACHWINOWEJ 1

$\beta_w = 0.9$ - współczynnik korelacji

$\sigma_{\text{prostopadłe, zastępcze}} = 11.197 \text{ MPa}$ - naprężenia normalne prostopadłe do osi spoiny

$\tau_{\text{równoległe, zastępcze}} = 13.399 \text{ MPa}$ - naprężenia styczne równoległe do osi spoiny

$\tau_{\text{prostopadłe, zastępcze}} = 5.120 \text{ MPa}$ - naprężenia styczne prostopadłe do osi spoiny

$\sigma_{\text{prostopadłe}} = 11.197 \text{ MPa}$ - naprężenia normalne prostopadłe do osi spoiny

$\sigma_{\text{eqv,w}} = 27.251 \text{ MPa}$ - naprężenia równoważne spoiny

$$\eta_1 = \frac{\frac{\sigma_{\text{eqv,w}}}{f_u}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{\frac{27.251 \text{ MPa}}{490 \text{ MPa}}}{0.9 \cdot 1.25} = 0.0494$$

$$\eta_2 = \frac{\frac{|\sigma_{\text{prostopadłe}}|}{(0.9 \cdot f_u)}}{\gamma_{M2}} = \frac{\frac{|11.197 \text{ MPa}|}{(0.9 \cdot 490 \text{ MPa})}}{1.25} = 0.0203$$

$$\eta = \text{Max}(\eta_1, \eta_2) = \text{Max}(0.0494, 0.0203) = 0.0494$$

$$\eta < 1 = 0.0494 < 1 = \text{Prawda warunek spełniony}$$

SPRAWDZENIE SPOINY PACHWINOWEJ 2

$\beta_w = 0.9$ - współczynnik korelacji

$\sigma_{\text{prostopadłe, zastępcze}} = 7.491 \text{ MPa}$ - naprężenia normalne prostopadłe do osi spoiny

$\tau_{\text{równoległe, zastępcze}} = 24.003 \text{ MPa}$ - naprężenia styczne równoległe do osi spoiny

$\tau_{\text{prostopadłe, zastępcze}} = -0.474 \text{ MPa}$ - naprężenia styczne prostopadłe do osi spoiny

$\sigma_{\text{prostopadłe}} = -14.776 \text{ MPa}$ - naprężenia normalne prostopadłe do osi spoiny

$\sigma_{\text{eqv, w}} = 42.252 \text{ MPa}$ - naprężenia równoważne spoiny

$$\eta_1 = \frac{\frac{\sigma_{\text{eqv, w}}}{f_u}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{\frac{42.252 \text{ MPa}}{490 \text{ MPa}}}{0.9 \cdot 1.25} = 0.0766$$

$$\eta_2 = \frac{\frac{|\sigma_{\text{prostopadłe}}|}{(\beta_w \cdot f_u)}}{\gamma_{M2}} = \frac{\frac{|-14.776 \text{ MPa}|}{(0.9 \cdot 490 \text{ MPa})}}{1.25} = 0.0268$$

$$\eta = \text{Max}(\eta_1, \eta_2) = \text{Max}(0.0766, 0.0268) = 0.0766$$

$\eta < 1 = 0.0766 < 1 = \text{Prawda warunek spełniony}$

SPRAWDZENIE SPOINY PACHWINOWEJ 3

$\beta_w = 0.9$ - współczynnik korelacji

$\sigma_{\text{prostopadłe, zastępcze}} = -9.743 \text{ MPa}$ - naprężenia normalne prostopadłe do osi spoiny

$\tau_{\text{równoległe, zastępcze}} = 32.141 \text{ MPa}$ - naprężenia styczne równoległe do osi spoiny

$\tau_{\text{prostopadłe, zastępcze}} = -1.329 \text{ MPa}$ - naprężenia styczne prostopadłe do osi spoiny

$\sigma_{\text{prostopadłe}} = 21.466 \text{ MPa}$ - naprężenia normalne prostopadłe do osi spoiny

$\sigma_{\text{eqv, w}} = 56.563 \text{ MPa}$ - naprężenia równoważne spoiny

$$\eta_1 = \frac{\frac{\sigma_{\text{eqv, w}}}{f_u}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{\frac{56.563 \text{ MPa}}{490 \text{ MPa}}}{0.9 \cdot 1.25} = 0.103$$

$$\eta_2 = \frac{\frac{|\sigma_{\text{prostopadłe}}|}{(0.9 \cdot f_u)}}{\gamma_{M2}} = \frac{\frac{|21.466 \text{ MPa}|}{(0.9 \cdot 490 \text{ MPa})}}{1.25} = 0.0389$$

$$\eta = \text{Max}(\eta_1, \eta_2) = \text{Max}(0.103, 0.0389) = 0.103$$

$$\eta < 1 = 0.103 < 1 = \text{Prawda warunek spełniony}$$

SPRAWDZENIE SPOINY PACHWINOWEJ 4

$\beta_w = 0.9$ - współczynnik korelacji

$\sigma_{\text{prostopadłe, zastępcze}} = -4.333 \text{ MPa}$ - naprężenia normalne prostopadłe do osi spoiny

$\tau_{\text{równoległe, zastępcze}} = 4.595 \text{ MPa}$ - naprężenia styczne równoległe do osi spoiny

$\tau_{\text{prostopadłe, zastępcze}} = 0.839 \text{ MPa}$ - naprężenia styczne prostopadłe do osi spoiny

$\sigma_{\text{prostopadłe}} = -4.397 \text{ MPa}$ - naprężenia normalne prostopadłe do osi spoiny

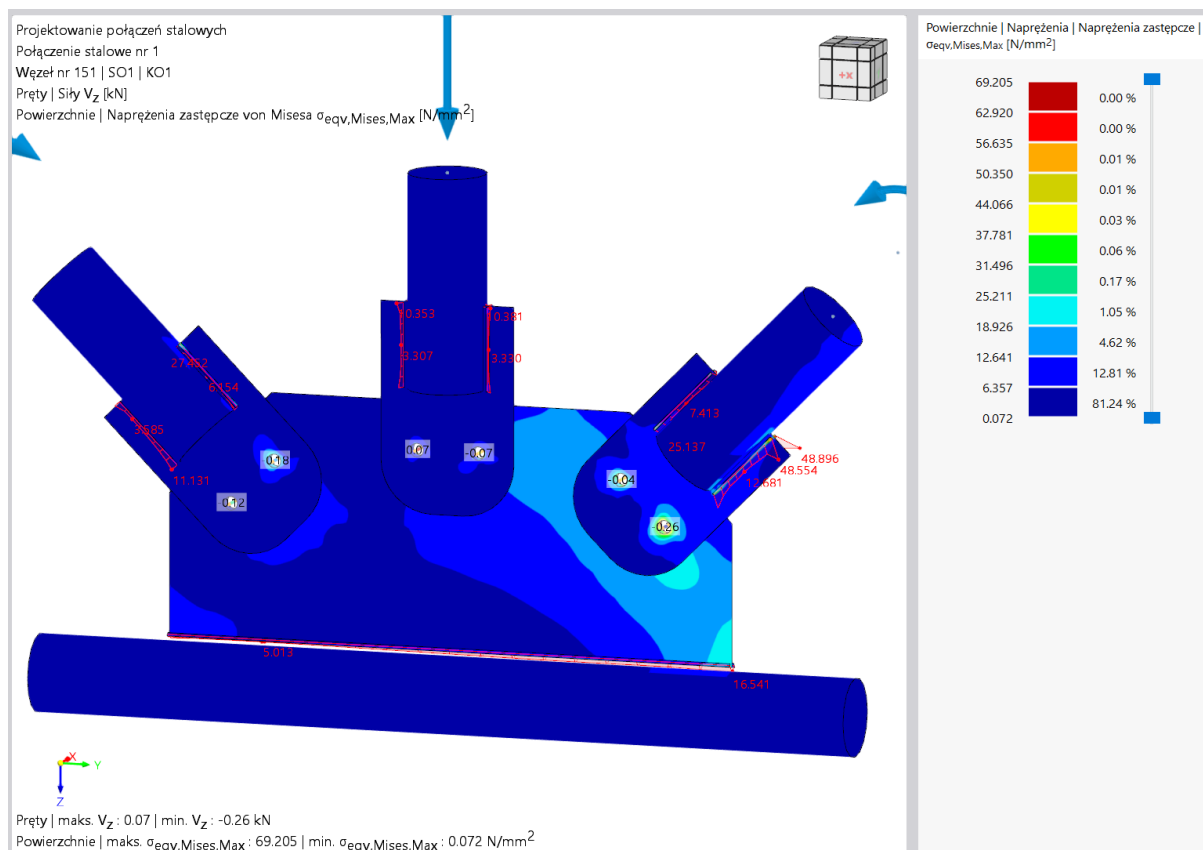
$\sigma_{\text{eqv, w}} = 9.177 \text{ MPa}$ - naprężenia równoważne spoiny

$$\eta_1 = \frac{\frac{\sigma_{\text{eqv, w}}}{f_u}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{\frac{9.177 \text{ MPa}}{490 \text{ MPa}}}{0.9 \cdot 1.25} = 0.0166$$

$$\eta_2 = \frac{\frac{|\sigma_{\text{prostopadłe}}|}{(0.9 \cdot f_u)}}{\gamma_{M2}} = \frac{\frac{|-4.397 \text{ MPa}|}{(0.9 \cdot 490 \text{ MPa})}}{1.25} = 0.00798$$

$$\eta = \text{Max}(\eta_1, \eta_2) = \text{Max}(0.0166, 0.00798) = 0.0166$$

$$\eta < 1 = 0.0166 < 1 = \text{Prawda warunek spełniony}$$



Rys. 106. Naprężenia zastępcze w modelu połączenia

9. Wykaz załączników

- Rysunek 1. - Perspektywa obiektu od strony północnej
- Rysunek 2. - Perspektywa obiektu od strony południowej
- Rysunek 3. - Rzut poziomy
- Rysunek 4. - Widok na ścianę szczytową południową w osi "U"
- Rysunek 5. - Widok na ścianę szczytową północną w osi "A"
- Rysunek 6. - Rysunek wykonawczy elementu wysyłkowego dźwigara kratowego DZ-1B
- Rysunek 7. - Rysunek wykonawczy elementu wysyłkowego tężnika międzydźwigarowego T-1A
- Rysunek 8. - Rysunek wykonawczy elementów wysyłkowych tężnika międzydźwigarowego T-1B, T-1C
- Rysunek 9. - Rysunek wykonawczy elementu wysyłkowego tężnika międzydźwigarowego T-1D
- Rysunek 10. Rysunek wykonawczy podstawy przegubowej PP-1
- Załącznik 1. - Analiza konstrukcji - model obliczeniowy nr 2
- Załącznik 2. - Analiza konstrukcji - model obliczeniowy nr 3

BIBLIOGRAFIA

Normy i wytyczne projektowe:

- [1] PKN, PN-EN 1990:2004 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji.
- [2] PKN, PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1: Oddziaływanie na konstrukcje - Część 1.1: Oddziaływania ogólne- Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [3] PKN, PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje- Część 1.3: Oddziaływania ogólne - obciążenie śniegiem.
- [4] PKN, PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje- Część 1.4 Oddziaływania ogólne - Oddziaływania wiatru.
- [5] PKN, PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych - Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [7] PKN, PN-EN 1993-1-8:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych - Część 1-8: Projektowanie węzłów.

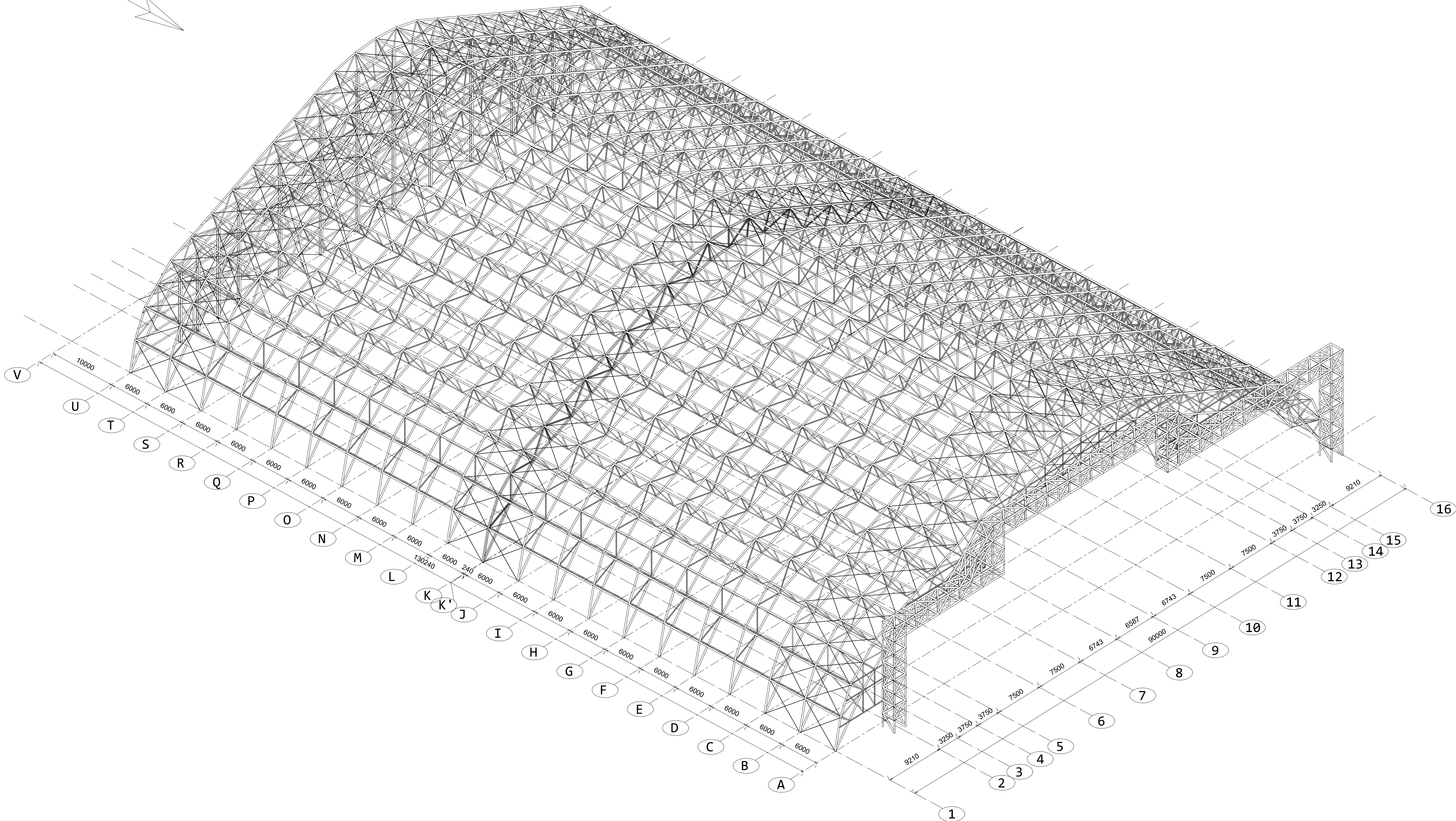
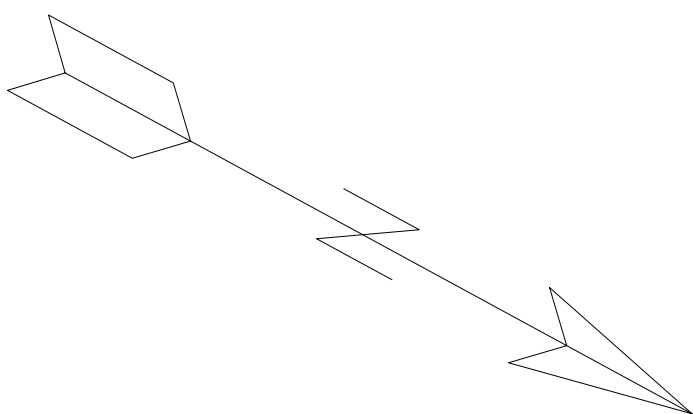
Strony internetowe:

- [8] <https://www.easa.europa.eu/en>
- [9] <https://www.faa.gov/>
- [10] <https://www.boeing.pl>
- [11] <https://pruszynski.com.pl>
- [12] <https://www.staticstools.eu/pl>
- [13] <https://chodor-projekt.net>
- [14] <https://www.dlubal.com/pl>

Literatura:

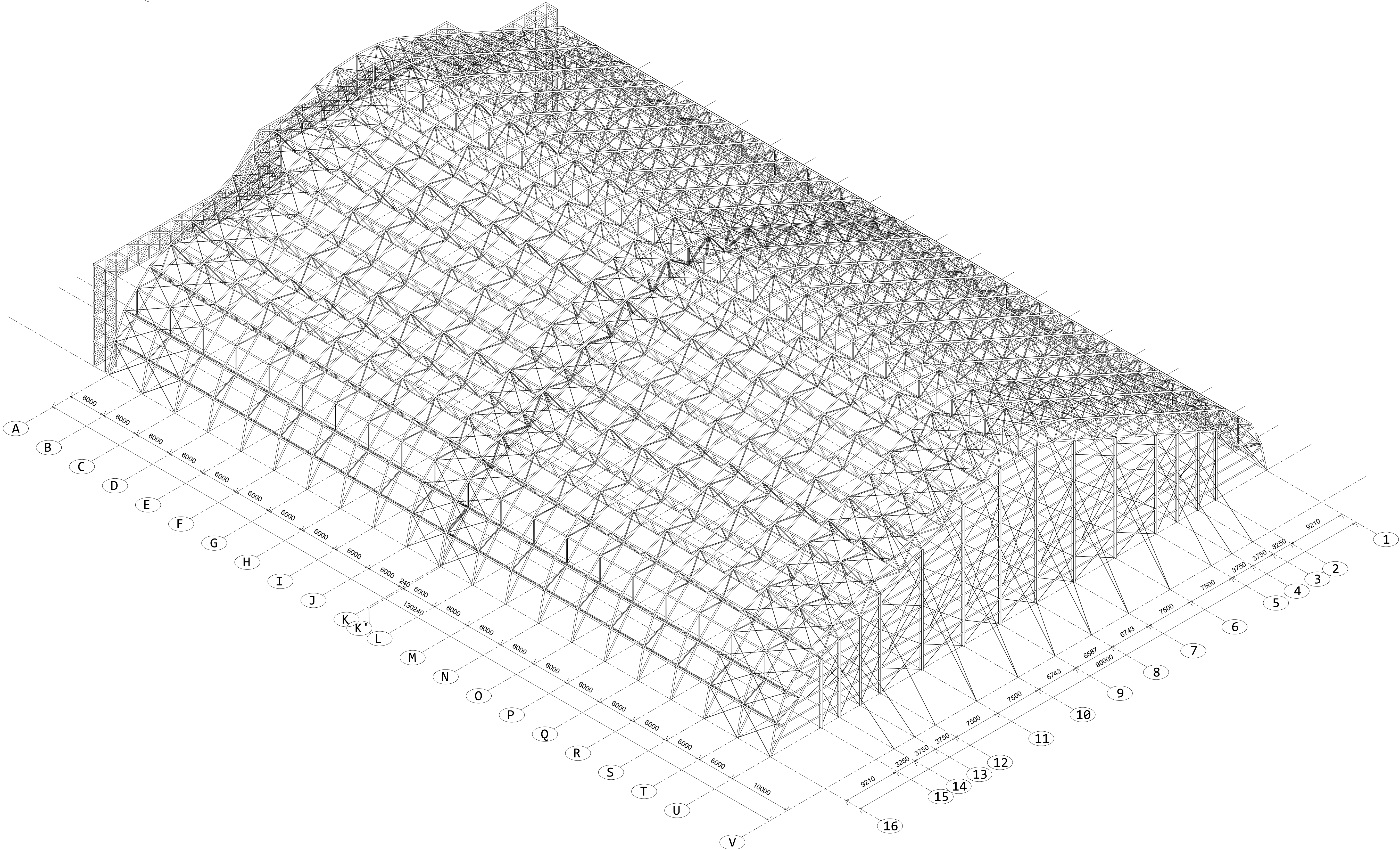
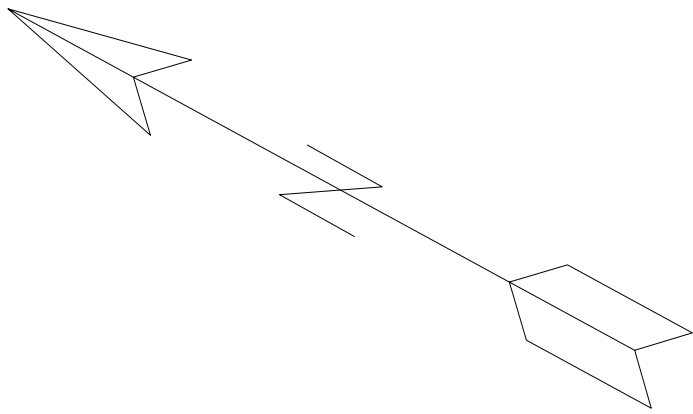
- [15] Kozłowski A. „Konstrukcje stalowe. Przykłady obliczeń według PN-EN 1993-1. Część trzecia. Hale i wiaty” Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2015
- [16] Kozłowski A. „Konstrukcje stalowe. Przykłady obliczeń według PN-EN 1993-1. Część pierwsza. Wybrane elementy i połączenia” Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009
- [17] Goczek J., Supeł Ł., Gajdzicki M. „Przykłady obliczeń konstrukcji stalowych. Wydanie trzecie zmienione” Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2016
- [18] Biegus A. „Stalowe budynki halowe” Arkady, Warszawa 2003, 2004, 2006, 2008
- [19] Ernst Neufert – „Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego”, Peter Neufert i Zespół Projektowy Neufert Mittmann Graf – SA, 2 Wydanie polskie, ARKADY 2000

PERSPEKTYWA OBIEKTU OD STRONY PÓŁNOCNEJ
SKALA 1:250



POLITECHNIKA WROCŁAWSKA					
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA LĄDOWEGO I WODNEGO					
PROJEKT:	PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ HANGARU				
NAZWA RYS.:	PERSPEKTYWA OBIEKTU OD STRONY PÓŁNOCNEJ				
RYSOWAŁA:	Patrycja Piec	PODPIS:		SKALA	NR RYS.
PROMOTOR:	dr inż. Bartłomiej Kunecki	PODPIS:		1:250	1
RECENZENT:	dr inż. Rajmund Ignatowicz	PODPIS:			

PERSPEKTYWA OBIEKTU OD STRONY POŁUDNIOWEJ
SKALA 1:250



POLITECHNIKA WROCŁAWSKA					
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA LĄDOWEGO I WODNEGO					
PROJEKT:	PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ HANGARU				
NAZWA RYS.:	PERSPEKTYWA OBIEKTU OD STRONY POŁUDNIOWEJ				
RYSOWAŁA:	Patrycja Piec	PODPIS:		SKALA	NR RYS.
PROMOTOR:	dr inż. Bartłomiej Kunecki	PODPIS:		1:250	2
RECENZENT:	dr inż. Rajmund Ignatowicz	PODPIS:			

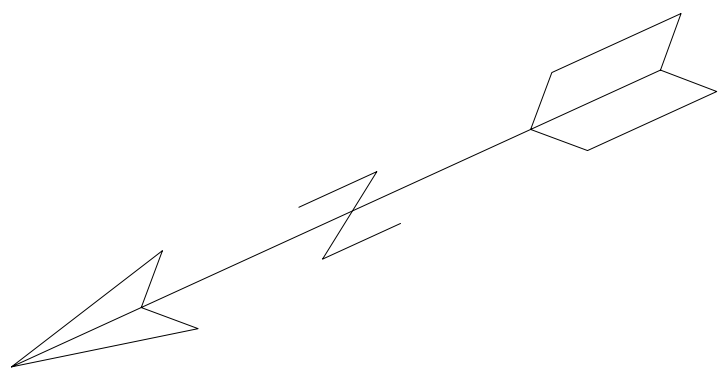


SKALA 1:250

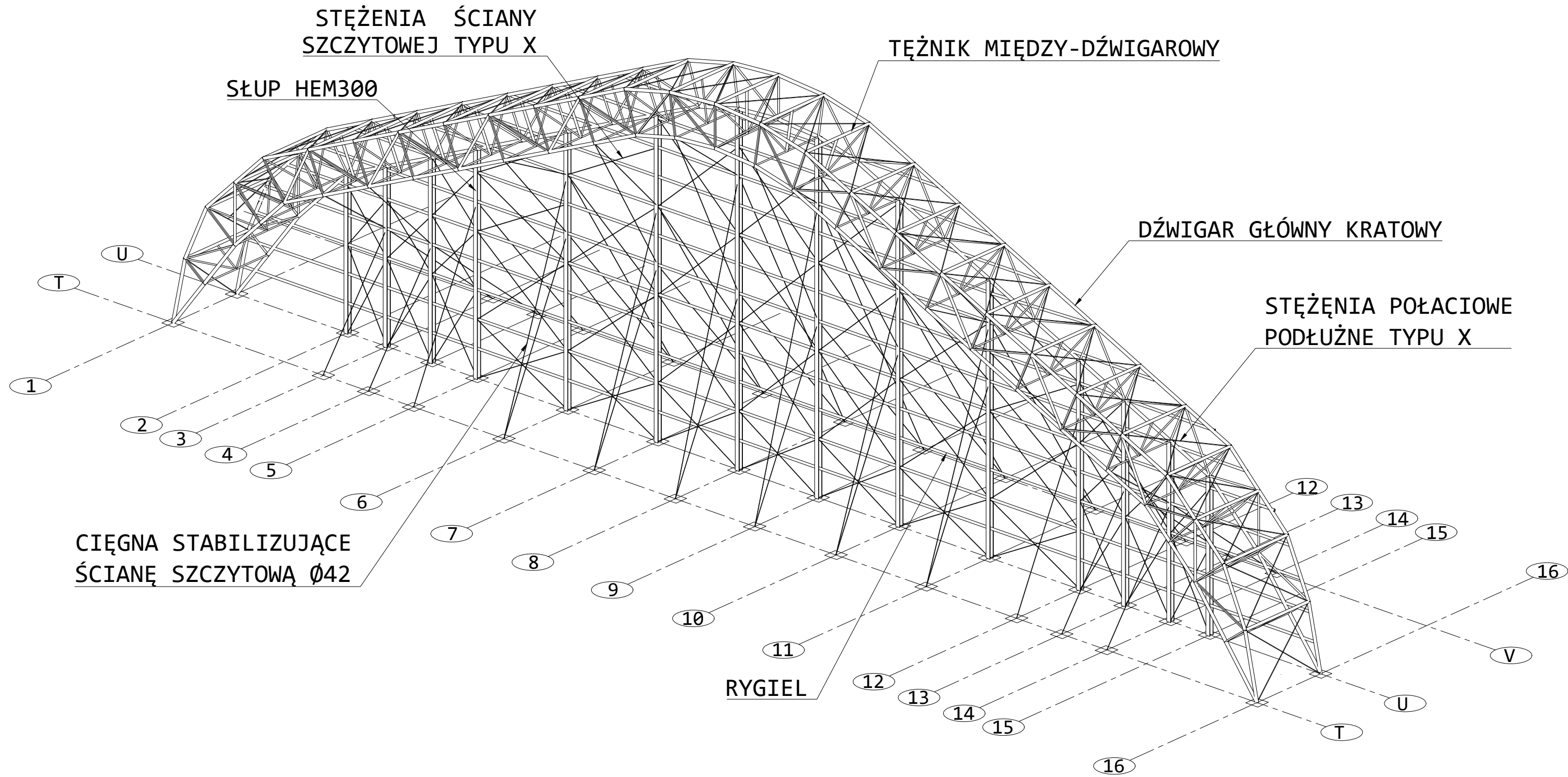


ZESTAWIENIE POZYCJI OBLICZENIOWYCH

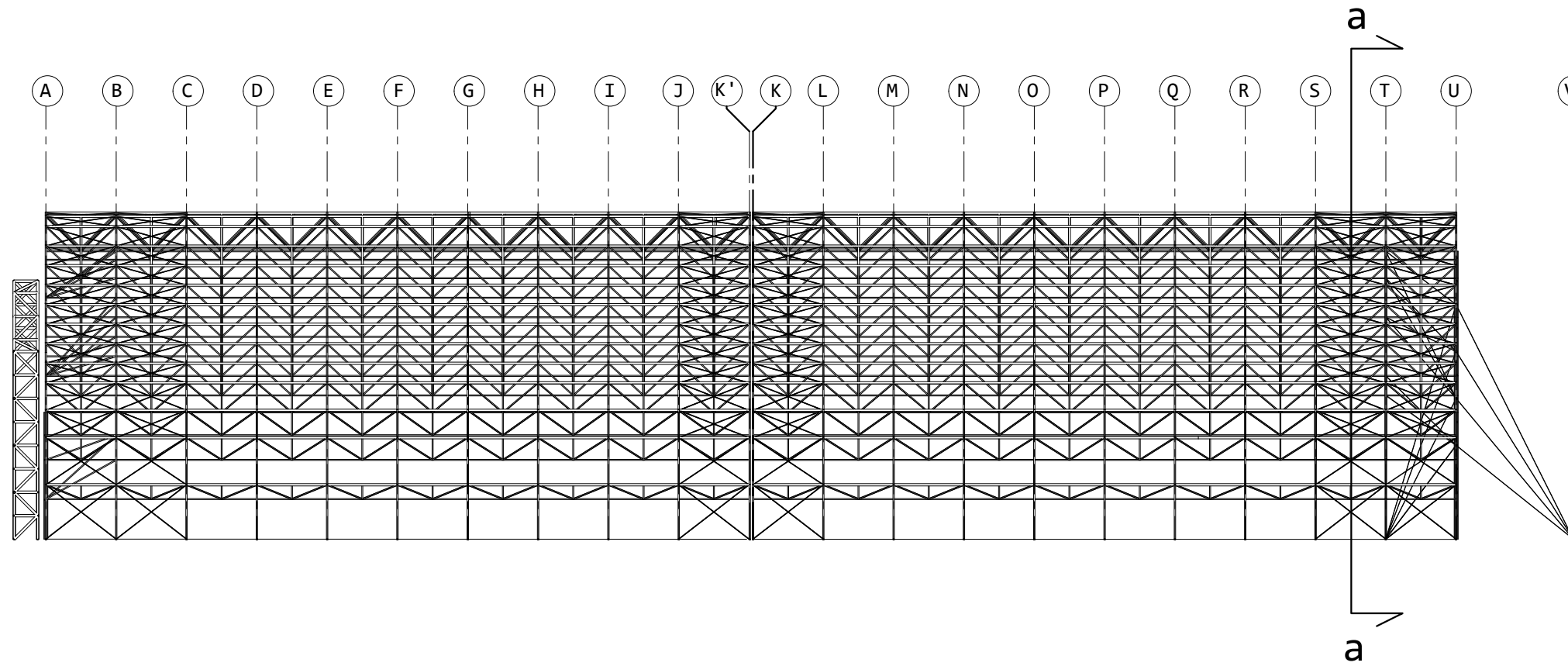
Nr	Opis	Nazwa
1	ELEMENT 1	DŹWIGAR GŁÓWNY KRATOWY
2	ELEMENT 2	TEŹNIK MIĘDZY-DŹWIGAROWY KRATOWY
3	ELEMENT 3	ELEMENTY ŚCIANY SZCZYTOWEJ POŁUDNIOWEJ
4	ELEMENT 4	STĘŻENIE POŁACIOWE PODŁUŻNE TYPU X
5	ELEMENT 5	ELEMENTY ŚCIANY SZCZYTOWEJ PÓŁNOCNEJ



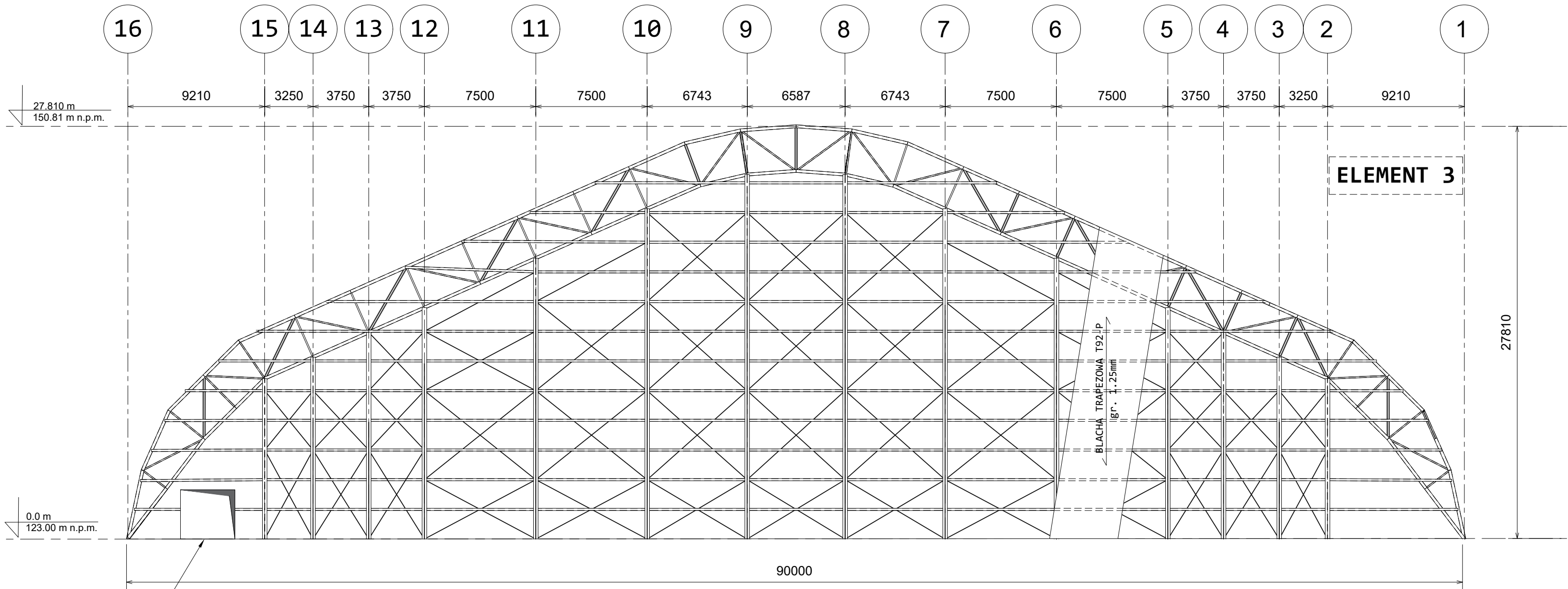
PERSPEKTYWA ŚCIANY SZCZYTOWEJ POŁUDNIOWEJ W PRZEKROJU a-a
SKALA 1:250



WIDOK PRZEKROJU
SKALA 1:500



WIDOK NA ŚCIANĘ SZCZYTOWĄ POŁUDNIOWĄ W OSI "U"
SKALA 1:250



WYJŚCIE EWAKUACYJNE

ZESTAWIENIE POZYCJI OBLICZENIOWYCH

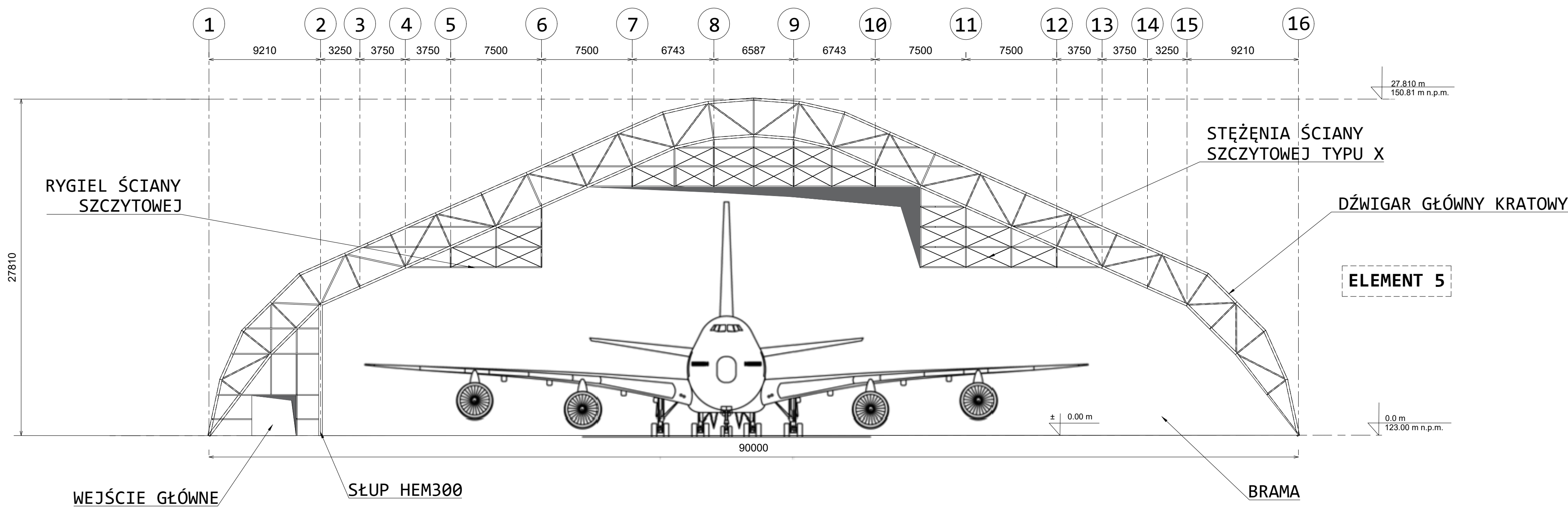
Nr	Pozycja	Nazwa
1	ELEMENT 1	DŹWIGAR GŁÓWNY KRATOWY
2	ELEMENT 2	TEŻNIK MIĘDZY-DŹWIGAROWY KRATOWY
3	ELEMENT 3	ELEMENTY ŚCIANY SZCZYTOWEJ POŁUDNIOWEJ
4	ELEMENT 4	STĘŻENIE POŁACIOWE PODŁUŻNE TYPU X
5	ELEMENT 5	ELEMENTY ŚCIANY SZCZYTOWEJ PÓŁNOCNEJ

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

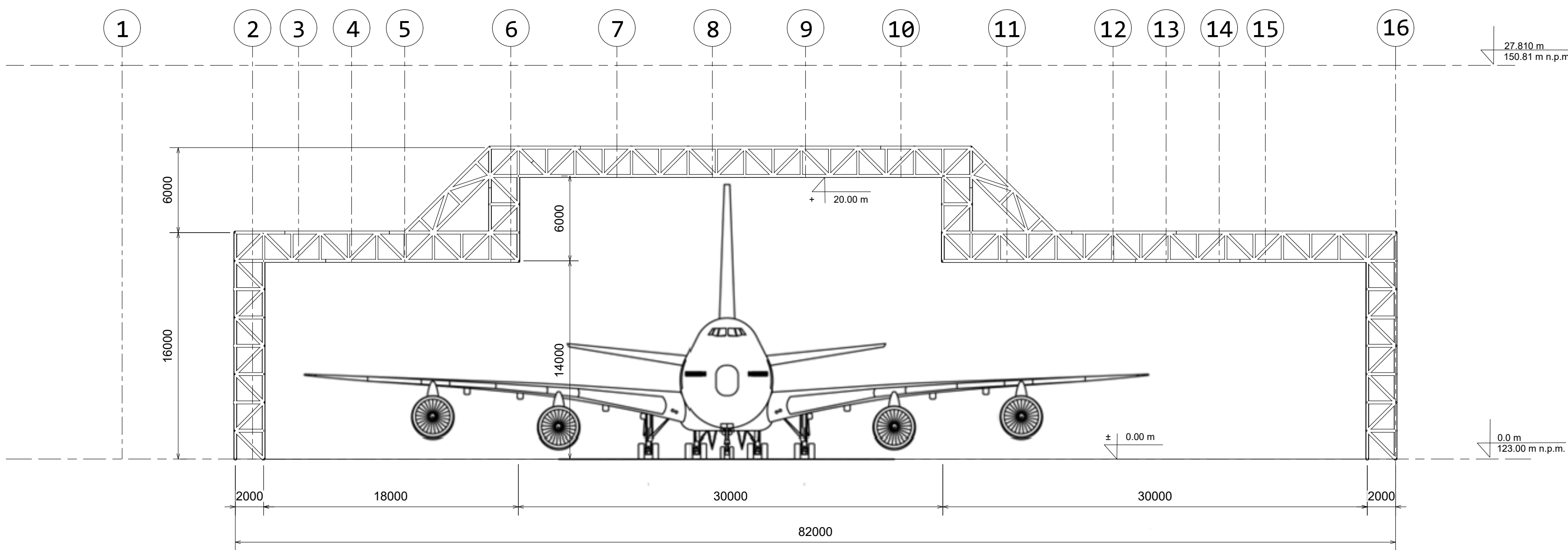
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA LĄDOWEGO I WODNEGO

PROJEKT:	PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ HANGARU			
NAZWA RYS.:	WIDOK NA ŚCIANĘ SZCZYTOWĄ POŁUDNIOWĄ W OSI "U"			
RYSOWAŁA:	Patrycja Piec	PODPIS:		SKALA NR RYS.
PROMOTOR:	dr inż. Bartłomiej Kunecki	PODPIS:		1:250
RECENZENT:	dr inż. Rajmund Ignatowicz	PODPIS:		1:500

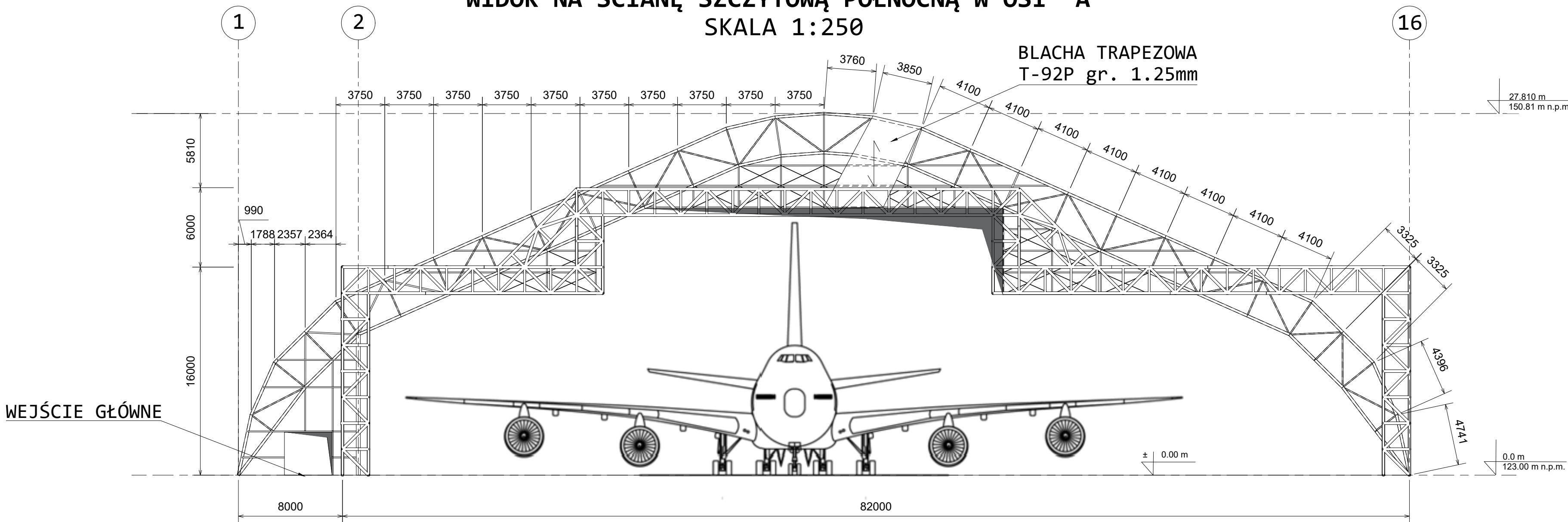
WIDOK NA KONSTRUKCJĘ ŚCIANY SZCZYTOWEJ PÓŁNOCNĄ W OSI "A"
SKALA 1:250



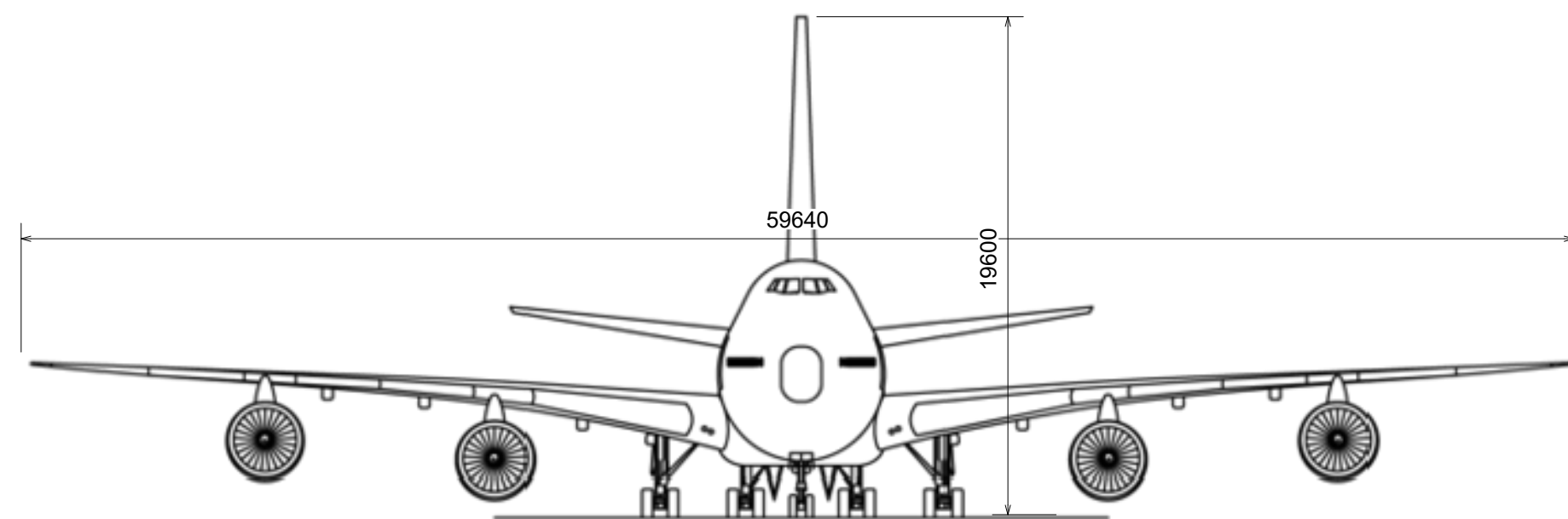
KONCEPCJA STALOWEJ KONSTRUKCJI BRAMY
SKALA 1:250



WIDOK NA ŚCIANĘ SZCZYTOWĄ PÓŁNOCNĄ W OSI "A"
SKALA 1:250



BOEING 747-300
SKALA 1:250



ZESTAWIENIE POZYCJI OBLICZENIOWYCH

Nr	Pozycja	Nazwa
1	ELEMENT 1	DŹWIGAR GŁÓWNY KRATOWY
2	ELEMENT 2	TEŻNIK MIĘDZY-DŹWIGAROWY KRATOWY
3	ELEMENT 3	ELEMENTY ŚCIANY SZCZYTOWEJ POŁUDNIOWEJ
4	ELEMENT 4	STĘŻENIE POŁĄCZOWE PODŁUŻNE TYPU X
5	ELEMENT 5	ELEMENTY ŚCIANY SZCZYTOWEJ PÓŁNOCNEJ

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

WYDZIAŁ BUDOWNICTWA LĄDOWEGO I WODNEGO

PROJEKT:	PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ HANGARU			
NAZWA RYS.:	WIDOK NA ŚCIANĘ SZCZYTOWĄ PÓŁNOCNĄ W OSI "A"			
RYSOWAŁA:	Patrycja Piec	PODPIS:		SKALA NR RYS.
PROMOTOR:	dr inż. Bartłomiej Kunecki	PODPIS:		1:250 5
RECENZENT:	dr inż. Rajmund Ignatowicz	PODPIS:		

ELEMENT WYSYŁKOWY

DZ-1B

SKALA 1:20

E-E

12300

12260

PRZEKROJE

SKALA 1:20

A-A

B-B

C-C

D-D

Poz. 301

DZ-1B

ZESTAWIENIE STALI DLA JEDNEGO ELEMENTU

Nr	Poz.	Nazwa	Sztuk	Profil	Materiał	Długość	Waga
1	3001	PASY	2	RHS200x120x6.3	S355JR	12260	725.8
2	3002	BLACHA DOCZOŁOWA	4	BL20x300	S355JR	380	71.6
3	3003	SŁUPEK	3	SHS90x5	S355JR	2800	111.6
4	3004	KRZYŻULEC	3	SHS90x5	S355JR	4865	194.1
Waga całkowita (kg)							1103.1
Naddatek na spoiny 2.0% (kg)							22.1
Waga całkowita (kg)							1125.2
Wymiary elementu wysyłkowego (W x S x D): 3200 x 380 x 12300 (mm)							

ZESTAWIENIE ŚRUB DLA JEDNEGO ELEMENTU

Nazwa	Sztuk	Norma	Klasa	Waga	Ozn.
M18x70	12	4014	8.8	3.47	montażowe
Waga całkowita (kg)				3.47	

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

WYDZIAŁ BUDOWNICTWA LĄDOWEGO I WODNEGO

PROJEKT:	PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ HANGARU				
NAZWA RYS.:	RYSUNEK WYKONAWCY ELEMENTU WYSYŁKOWEGO DŹWIGARA KRATOWEGO DZ-1B				
RYSOWAŁA:	Patrycja Piec	PODPIS:		SKALA	NR RYS.
PROMOTOR:	dr inż. Bartłomiej Kunecki	PODPIS:		1:20	
RECENZENT:	dr inż. Rajmund Ignatowicz	PODPIS:		1:10	

6

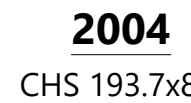
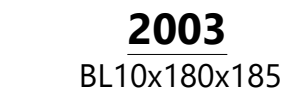
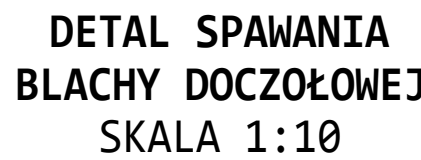
Uwagi:

- Stal S355
- Połączenia spawane.
Jeśli nie podano inaczej:
 - spoiny wykonać na całej długości przylegania elementów,
 - spoiny czołowe wykonać na pełen przetop (100% nośności zgodnie z Eurocod 3)
 - grubość spoin pachwinowych dobierać z warunku konstrukcyjnego $0.2t_1 < a < 0.7t_2$ gdzie t_1, t_2 - odpowiednio grubość grubszego i cińszego elementu w połączeniu.
- Spoiny wykonać elektrodami klasy E 42 4 B 32 H5 (wg PN-EN ISO 2560-A)
- Parametry spawania zgodnie z zaleceniami technologa

T-1A



A-A



ZESTAWIENIE ŚRUB DLA JEDNEGO ELEMENTU

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

WYDZIAŁ BUDOWNICTWA LĄDOWEGO I WODNEGO

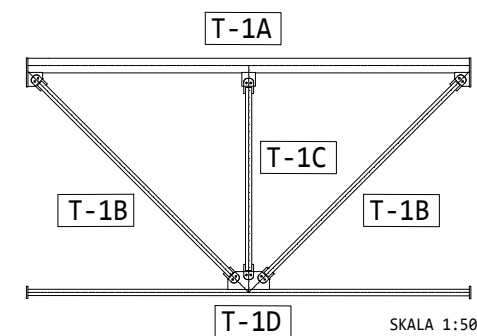
7

Uwagi:

1. Stal S355
2. Połączenia spawane.
Jeśli nie podano inaczej:
 - a) spoiny wykonać na całej długości przylegania elementów,
 - b) spoiny czołowe wykonać na pełen przętup (100% nośności zgodnie z Eurocod 3)
 - c) grubość spoin pachwinowych dobierać z warunku konstrukcyjnego $0.2t_1 < a < 0.7t_2$ gdzie t_1, t_2 - odpowiednio grubość grubszego i cieńszego elementu w połączeniu.
3. Spoiny wykonać elektrodami klasy E 42 4 B 32 H5 (wg PN-EN ISO 2560-A)
4. Parametry spawania zgodnie z zaleceniami technologa

SKALA 1:10

Poz. 201



T-1B

ZESTAWIENIE STALI DLA JEDNEGO ELEMENTU

Nr	Poz.	Nazwa	Sztuk	Profil	Materiał	Długość	Waga
1	2005	KRZYŻULEC	1	CHS82.5x8	S355JR	3583	56.6
2	2006	BLACHA	2	BL10x130	S355JR	200	4.1
Waga całkowita (kg)							60.7
Naddatek na spoiny 0.5% (kg)							0.3
Waga całkowita (kg)							61.0
Wymiary elementu wysyłkowego (W x S x D): 130 x 130 x 3823 (mm)							

ZESTAWIENIE ŚRUB DLA JEDNEGO ELEMENTU

Nazwa	Sztuk	Norma	Klasa	Waga	Ozn.
M12x40	4	4014	8.8	0.16	montażowe
Waga całkowita (kg)				0.16	

T-1C

ZESTAWIENIE STALI DLA JEDNEGO ELEMENTU

Nr	Poz.	Nazwa	Sztuk	Profil	Materiał	Długość	Waga
1	2007	SŁUPEK	1	CHS82.5x8	S355JR	2420	35.6
2	2006	BLACHA	2	BL10x130	S355JR	200	4.1
Waga całkowita (kg)							39.7
Naddatek na spoiny 0.5% (kg)							0.2
Waga całkowita (kg)							39.9
Wymiary elementu wysyłkowego (W x S x D): 130 x 130 x 2660 (mm)							

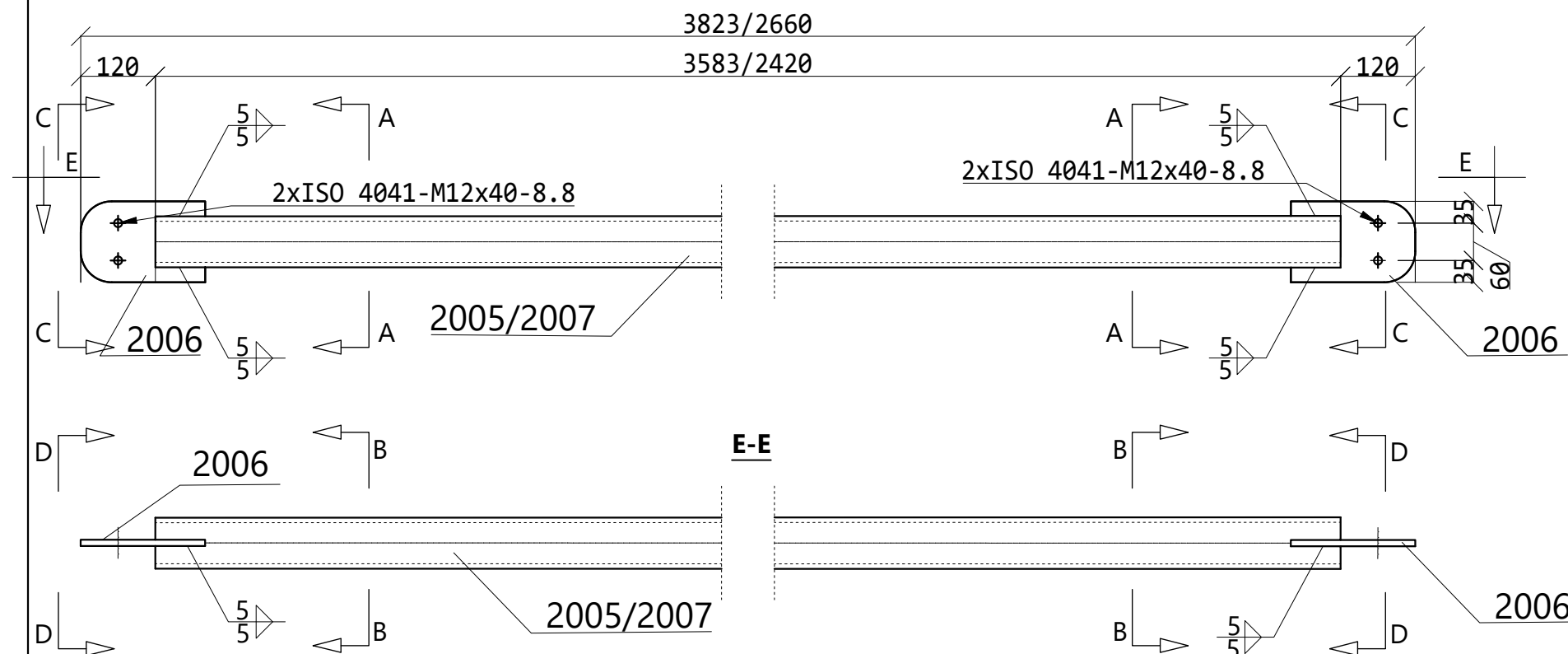
ZESTAWIENIE ŚRUB DLA JEDNEGO ELEMENTU

Nazwa	Sztuk	Norma	Klasa	Waga	Ozn.
M12x40	4	4014	8.8	0.16	montażowe
Waga całkowita (kg)				0.16	

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

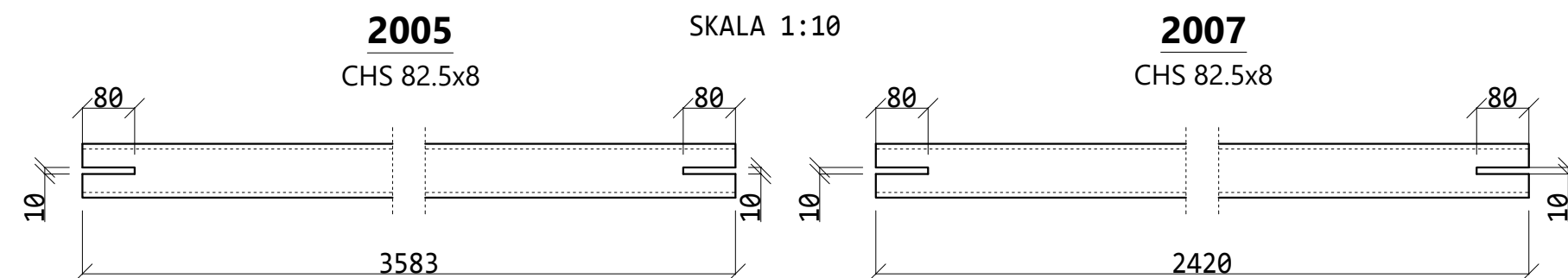
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA LĄDOWEGO I WODNEGO

PROJEKT:	PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ HANGARU				
NAZWA RYS.:	RYSUNEK WYKONAWCZY ELEM. WYSYŁKOWYCH TĘŻNIKA MIĘDZYWIĄZAROWEGO T-1B, T-1C				
RYSOWAŁA:	Patrycja Piec	PODPIS:		SKALA	NR RYS.
PROMOTOR:	dr inż. Bartłomiej Kunecki	PODPIS:		1:10	8
RECENZENT:	dr inż. Rajmund Ignatowicz	PODPIS:			



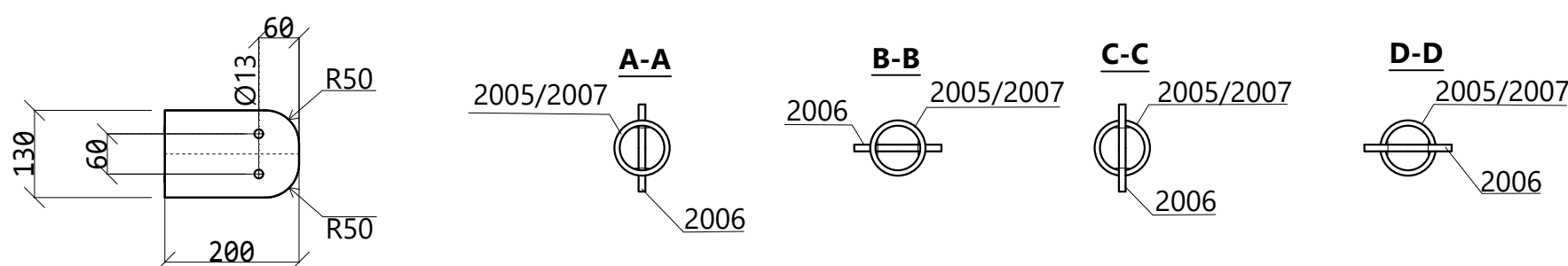
PROFILE

SKALA 1:10



PRZEKROJE

SKALA 1:10

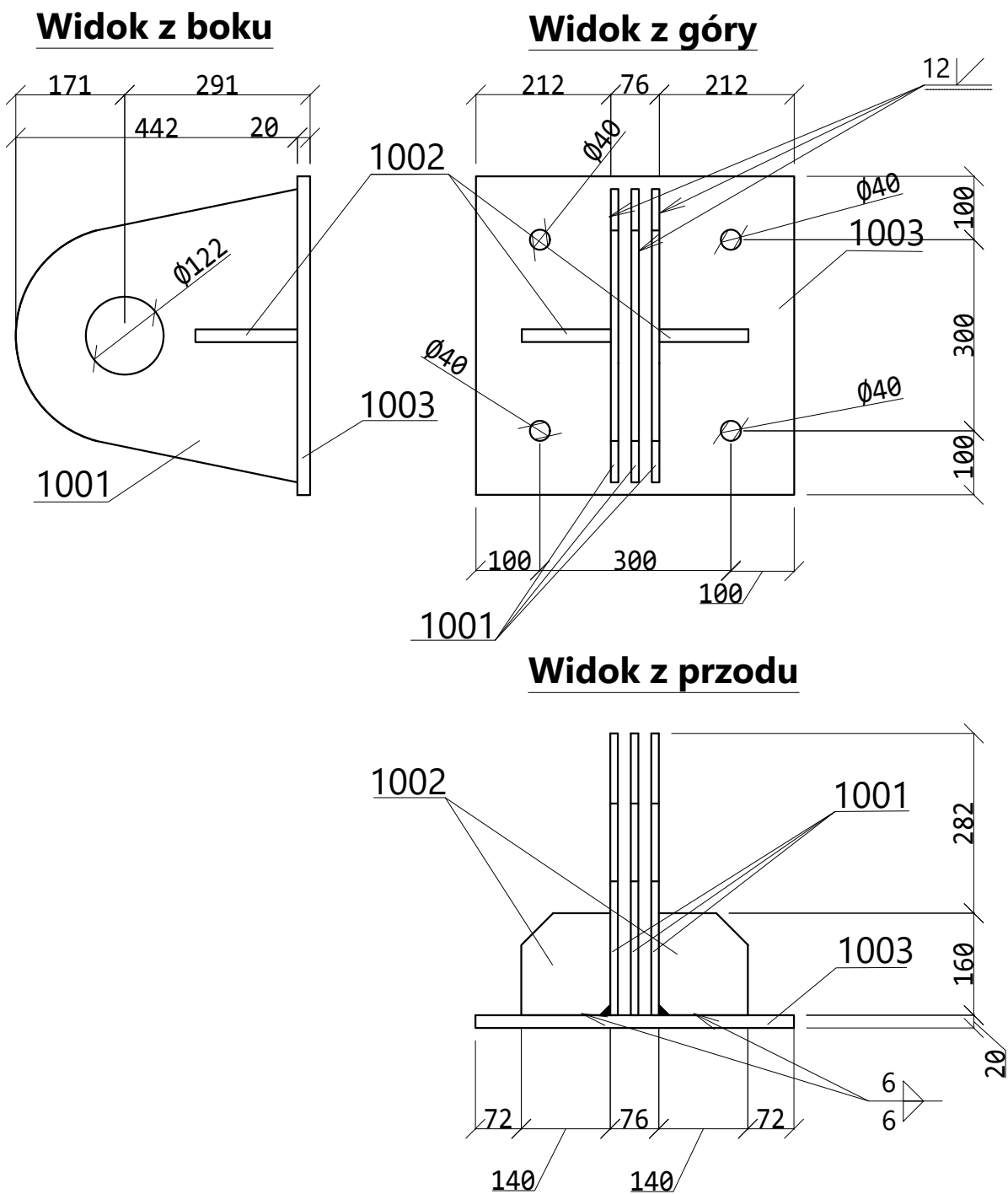


Uwagi:

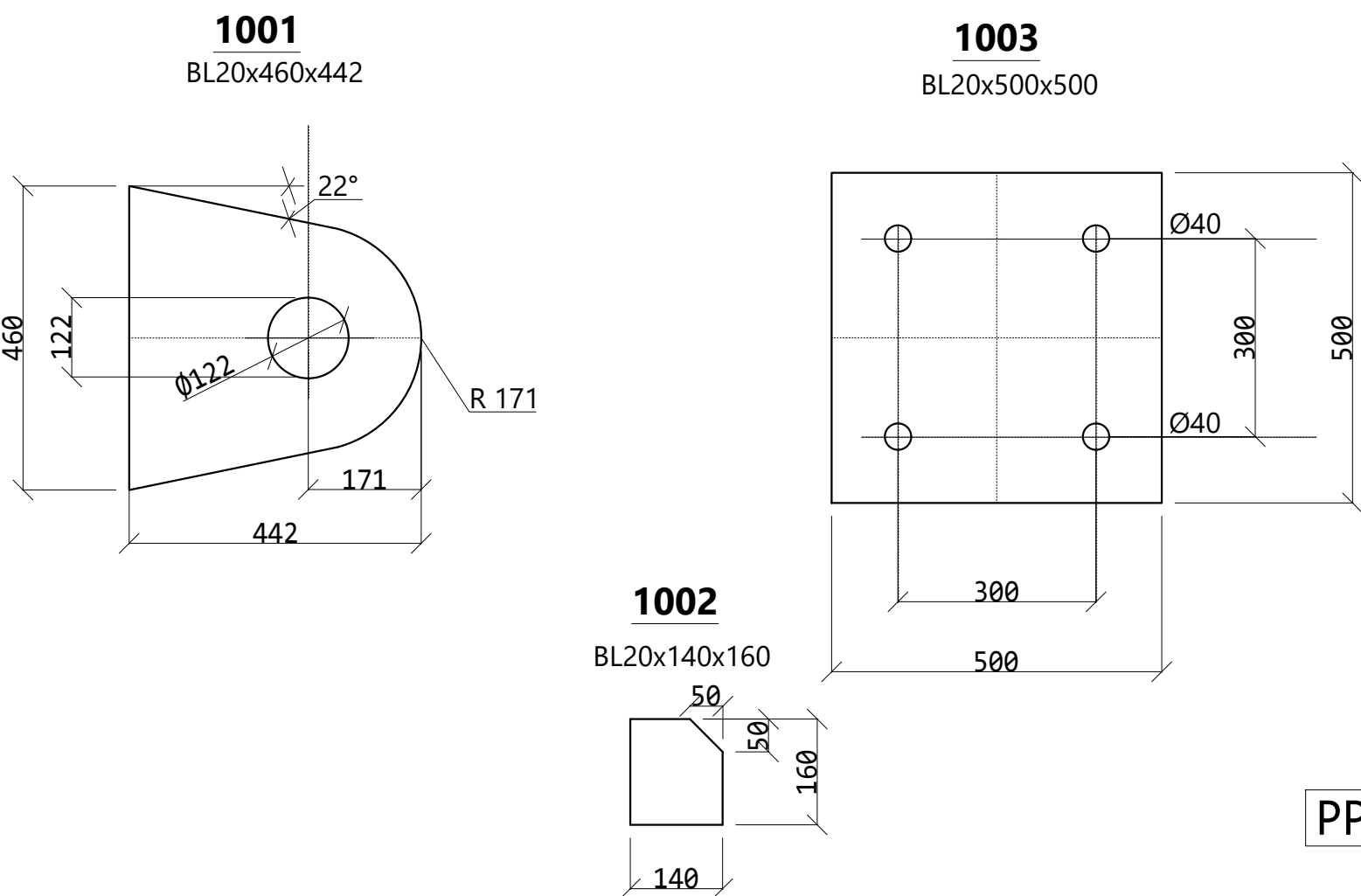
1. Stal S355
2. Połączenia spawane.
Jeśli nie podano inaczej:
 - a) spoiny wykonać na całej długości przylegania elementów,
 - b) spoiny czołowe wykonać na pełen przetop (100% nośności zgodnie z Eurocod 3)
 - c) grubość spoin pachwinowych dobierać z warunku konstrukcyjnego $0.2t_1 < a < 0.7t_2$
gdzie t_1 , t_2 - odpowiednio grubość grubszego i cińszego elementu w połączeniu.
3. Spoiny wykonać elektrodami klasy E 42 4 B 32 H5 (wg PN-EN ISO 2560-A)
4. Parametry spawania zgodnie z zaleceniami technologa

ELEMENT WYSYŁKOWY
SKALA 1:10

PP-1



PROFILE
SKALA 1:10



ZESTAWIENIE STALI DLA JEDNEGO ELEMENTU

Nr	Poz.	Nazwa	Sztuk	Profil	Materiał	Długość	Waga
1	1001	BLACHA PODPORY	3	BL12*460	S355JR	442	57.5
2	1002	BLACHA PODPORY	2	BL20*140	S355JR	160	7.0
3	1003	BLACHA PODSTAWY	1	BL20*500	S355JR	500	39.3
Waga całkowita (kg)							103.8
Naddatek na spoiny 1.8% (kg)							1.9
Waga całkowita (kg)							105.7
Wymiary elementu wysyłkowego (W x S x D): 442 x 500 x 500 (mm)							

Uwagi:

1. Stal S355
2. Połączenia spawane.
Jeśli nie podano inaczej:
 - a) spoiny wykonać na całej długości przylegania elementów,
 - b) spoiny czołowe wykonać na pełen przetop (100% nośności zgodnie z Eurocod 3)
 - c) grubość spoin pachwinowych dobierać z warunku konstrukcyjnego $0.2 \times t1 < a < 0.7 \times t2$ gdzie t1, t2 - odpowiednio grubość grubszego i cińszego elementu w połączeniu.
3. Spoiny wykonać elektrodami klasy E 42 4 B 32 H5 (wg PN-EN ISO 2560-A)
4. Parametry spawania zgodnie z zaleceniami technologa

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

WYDZIAŁ BUDOWNICTWA LĄDOWEGO I WODNEGO

PROJEKT:	PROJEKT KONSTRUKCJI STALOWEJ HANGARU				
NAZWA RYS.:	RYSUNEK WYKONAWCZY PODSTAWY PRZEGUBOWEJ PP-1				
RYSOWAŁA:	Patrycja Piec	PODPIS:		SKALA	NR RYS.
PROMOTOR:	dr inż. Bartłomiej Kunecki	PODPIS:		1:10	10
RECENZENT:	dr inż. Rajmund Ignatowicz	PODPIS:			



Analiza konstrukcji

KLIENT

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

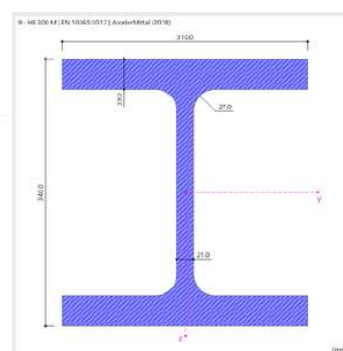
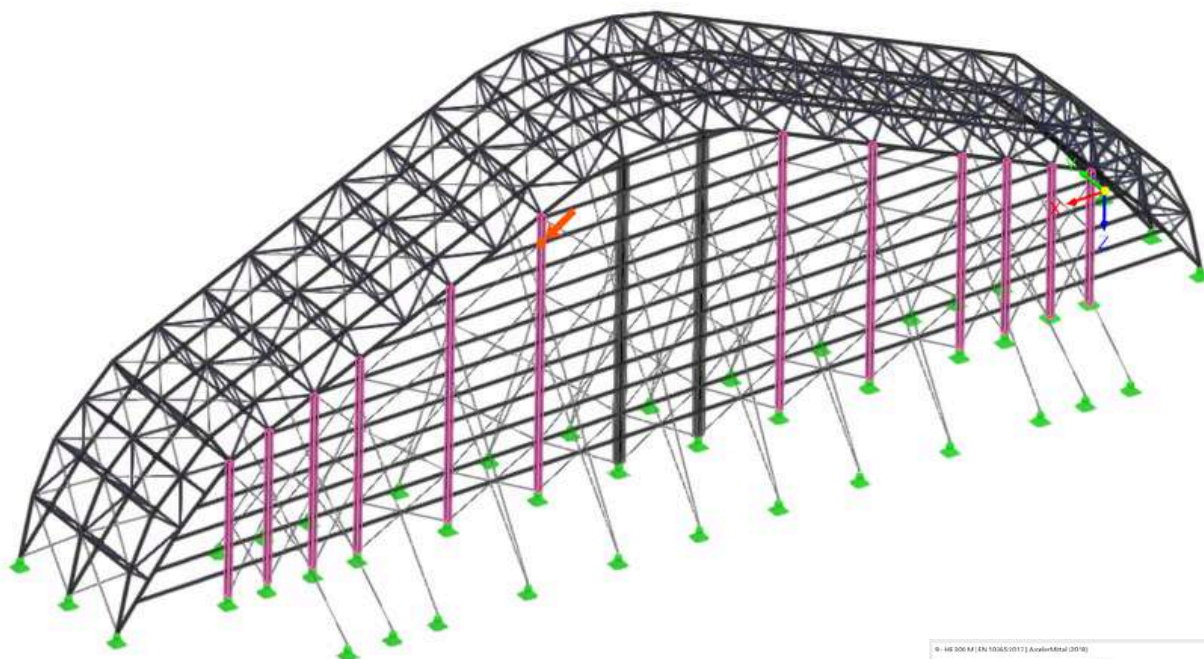
SPORZĄDZIŁ

Patrycja Piec

MODEL OBLICZENIOWY NR 2

Element 3 - Konstrukcja ściany szczytowej w osi "U"

SŁUP HEM300



Warunek projektowy SP0100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju
Pomijalne siły wewnętrzne

Ściskanie:

$$\begin{aligned}
 N_{pl,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 303.10 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 10760.100 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}
 \eta_{Nc} &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} \\
 &= \frac{10.24 \text{ kN}}{10760.100 \text{ kN}} \\
 &= 0.001
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Nc} \leq \eta_{Nc,lim}$$

 $N_{c,Ed}$ można pominąć.

Ścinanie w osi y:

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_{yf}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{241.80 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 4955.92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{3.99 \text{ kN}}{4955.92 \text{ kN}} \\
 &= 0.001
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Vy} \leq \eta_{Vy,lim}$$

 $V_{y,Ed}$ można pominąć.

Ścinanie w osi z:

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_{yw}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{90.55 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 1855.91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{0.47 \text{ kN}}{1855.91 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Vz} \leq \eta_{Vz,lim}$$

 $V_{z,Ed}$ można pominąć.

Napężenie styczne od skręcania:

$$\begin{aligned}
 \tau_{t,Rd} &= 1.25 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \\
 &= 1.25 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1.00} \\
 &= 256.199 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

6.2.7(9), Równ. 6.26

$$\begin{aligned}
 \eta_{\tau,t} &= \frac{|\tau_{t,Ed}|}{\tau_{t,Rd}} \\
 &= \frac{|0.024 \text{ N/mm}^2|}{256.199 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{\tau,t} \leq \eta_{\tau,t,lim}$$

 T_{Ed} można pominąć.

Zginanie względem osi mocnej y:

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 4078.00 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 1447.69 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{1.18 \text{ kNm}}{1447.69 \text{ kNm}} \\
 &= 0.001
 \end{aligned}$$

$$\eta_{My} \leq \eta_{My,lim}$$

$M_{y,Ed}$ można pominąć.

Zginanie względem osi słabej z:

$$\begin{aligned}
 M_{pl,z,Rd} &= W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 1913.00 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 679.11 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz} &= \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{0.10 \text{ kNm}}{679.11 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Mz} \leq \eta_{Mz,lim}$$

$M_{z,Ed}$ można pominąć.

Siły wewnętrzne są pomijalne.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{pl,Rd}$	Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Nc}	Składowa obliczeń dla N
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
$\eta_{Nc,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla N
$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,y}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,t}$	Granica plastyczności pasa
η_{Vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$\eta_{Vy,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla V_y
$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,z}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,w}$	Granica plastyczności środnika
η_{Vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$\eta_{Vz,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla V_z
$\tau_{t,Rd}$	Obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie przy skręcaniu
$\eta_{\tau,t}$	Składowa obliczeń dla τ_t
$\tau_{t,Ed}$	Obliczeniowe naprężenie styczne od skręcania
$\eta_{\tau,t,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla τ_t
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\eta_{My,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla M_y
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\eta_{Mz,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla M_z

Warunek projektowy SP1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3

$$\begin{aligned} N_{pl,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\ &= 303.10 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\ &= 10760.100 \text{ kN} \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned} N_{t,Rd} &= N_{pl,Rd} \\ &= 10760.10 \text{ kN} \end{aligned}$$

6.2.3(2)

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \\ &= \frac{20.11 \text{ kN}}{10760.10 \text{ kN}} \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.5

$$\eta = 0.002 \leq 1 \quad \checkmark$$

 $N_{pl,Rd}$ Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa A Pole przekroju f_y Granica plastyczności γ_{M0} Współczynnik częściowy $N_{t,Rd}$ Obliczeniowa nośność na siłę osiową $N_{t,Ed}$ Obliczeniowa siła rozciągająca

Warunek projektowy SP1200 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Ściskanie wg EN 1993-1-1, 6.2.4

$$\begin{aligned} N_{c,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\ &= 303.10 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\ &= 10760.10 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_N &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \\ &= \frac{546.84 \text{ kN}}{10760.10 \text{ kN}} \\ &= 0.051 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_N \\ &= 0.051 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.051 \leq 1 \quad \checkmark$$

Równ. 6.10

6.2.4, Równ. 6.9

 $N_{c,Rd}$ Obliczeniowa nośność na siłę osiową A Pole przekroju f_y Granica plastyczności γ_{M0} Współczynnik częściowy η_N Składowa obliczeń dla N $N_{c,Ed}$ Obliczeniowa siła ściskająca

Warunek projektowy SP1200 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Ściskanie wg EN 1993-1-1, 6.2.4

$$\begin{aligned}N_{c,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\&= 303.10 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\&= 10760.10 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_N &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \\&= \frac{546.84 \text{ kN}}{10760.10 \text{ kN}} \\&= 0.051\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \eta_N \\&= 0.051\end{aligned}$$

$$\eta = 0.051 \leq 1 \quad \checkmark$$

Równ. 6.10

6.2.4, Równ. 6.9

 $N_{c,Rd}$ Obliczeniowa nośność na siłę osiową A Pole przekroju f_y Granica plastyczności γ_{M0} Współczynnik częściowy η_N Składowa obliczeń dla N $N_{c,Ed}$ Obliczeniowa siła ściskająca

Warunek projektowy SP3200.02 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Ścinanie w osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_{y,t}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{241.80 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 4955.92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{c,y,Rd} &= V_{pl,y,Rd} \\
 &= 4955.92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(1)

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \\
 &= \frac{96.31 \text{ kN}}{4955.92 \text{ kN}} \\
 &= 0.019
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_{Vy} \\
 &= 0.019
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.019 \leq 1 \quad \checkmark$$

 $V_{pl,y,Rd}$ Obliczeniowa nośność na ścinanie $A_{v,y}$ Pole przekroju czynnego przy ścinaniu $f_{y,t}$ Granica plastyczności pasa γ_{M0} Współczynnik częściowy $V_{c,y,Rd}$ Nośność na ścinanie η_{Vy} Składowa obliczeń dla V_y $V_{y,Ed}$ Obliczeniowa siła tnąca

Warunek projektowy SP3500 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Wyboczenie przy ścinaniu wg EN 1993-1-5, 5.1, 5.2, 5.3 i 5.5

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h_w}{t_{w,min}} \\ &= \frac{262.0 \text{ mm}}{21.0 \text{ mm}} \\ &= 12.476\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{lim} &= \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon_w \\ &= \frac{72}{1.00} \cdot 0.81 \\ &= 58.580\end{aligned}$$

$$\lambda \leq \lambda_{lim}$$

Nie ma konieczności uwzględniania wyboczenia przy ścinaniu.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

EN 1993-1-1, 6.2.6(6), R)wn. 6.22

5.1(2)

 λ Smukłość środnika h_w Wysokość środnika między pasami $t_{w,min}$ Minimalna grubość środnika λ_{lim} Smukłość graniczna środnika η Współczynnik dla wyboczenia przy ścinaniu ε_w Współczynnik materiałowy dla środnika

Warunek projektowy SP4100.03 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.5 | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_{y,w}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{90.55 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 1855.91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{z,Rd,min} &= V_{pl,z,Rd} \\
 &= 1855.91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,Rd,min}} \\
 &= \frac{69.94 \text{ kN}}{1855.91 \text{ kN}} \\
 &= 0.038
 \end{aligned}$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi z jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza połowy nośności na ścinanie.

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{4078.00 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 1447.69 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{228.71 \text{ kNm}}{1447.69 \text{ kNm}} \\
 &= 0.158
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_{My} \\
 &= 0.158
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.158 \leq 1 \quad \checkmark$$

$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,z}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,w}$	Granica plastyczności środnika
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{z,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
f_y	Granica plastyczności
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy SP5100.03 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.5 | Projektowanie plastyczne

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_{y,f}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$= \frac{241.80 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00}$$

$$= 4955.92 \text{ kN}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$V_{y,Rd,min} = V_{pl,y,Rd}$$

$$= 4955.92 \text{ kN}$$

$$\eta_{Vy} = \frac{V_{y,Ed}}{V_{y,Rd,min}}$$

$$= \frac{27.35 \text{ kN}}{4955.92 \text{ kN}}$$

$$= 0.006$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi y jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza 50% nośności na ścinanie.

$$M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= 1913.00 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00}$$

$$= 679.11 \text{ kNm}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\eta_{Mz} = \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$$

$$= \frac{56.18 \text{ kNm}}{679.11 \text{ kNm}}$$

$$= 0.083$$

$$\eta = \eta_{Mz}$$

$$= 0.083$$

$$\eta = 0.083 \leq 1 \quad \checkmark$$

$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,y}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,f}$	Granica plastyczności pasa
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{y,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
f_y	Granica plastyczności
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy SP6500.01 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie dwukierunkowe, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_{y,w}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{90.55 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 1855.91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{z,Rd,min} &= V_{pl,z,Rd} \\
 &= 1855.91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,Rd,min}} \\
 &= \frac{46.48 \text{ kN}}{1855.91 \text{ kN}} \\
 &= 0.025
 \end{aligned}$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi z jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza połowy nośności na ścinanie.

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_{y,t}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{241.80 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 4955.92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{y,Rd,min} &= V_{pl,y,Rd} \\
 &= 4955.92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{y,Rd,min}} \\
 &= \frac{24.64 \text{ kN}}{4955.92 \text{ kN}} \\
 &= 0.005
 \end{aligned}$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi y jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza 50% nośności na ścinanie.

$$\begin{aligned}
 N_{pl,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 303.10 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 10760.100 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 4078.00 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 1447.69 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 M_{pl,z,Rd} &= W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 1913.00 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 679.11 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 N_{lim,6.33} &= 0.25 \cdot N_{pl,Rd} \\
 &= 0.25 \cdot 10760.100 \text{ kN} \\
 &= 2690.010 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.9.1(4), równ. 6.33

$$\begin{aligned}
 N_{lim,6.34} &= 0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_{y,w}}{\gamma_{M0}} \\
 &= 0.5 \cdot 262.0 \text{ mm} \cdot 21.0 \text{ mm} \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 976.605 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.9.1(4), równ. 6.34

$$N_{Ed} \leq N_{lim,6.33} \text{ and } N_{Ed} \leq N_{lim,6.34}$$

Bez uwzględnienia wpływu siły osiowej w obliczeniach nośności na zginanie względem osi y wg 6.2.9.1(4)

$$\begin{aligned}
 N_{lim,6.35} &= h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_{y,w}}{\gamma_{M0}} \\
 &= 262.0 \text{ mm} \cdot 21.0 \text{ mm} \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 1953.210 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.9.1(4), równ. 6.35

$$N_{Ed} \leq N_{lim,6.35}$$

Bez uwzględnienia wpływu siły osiowej w obliczeniach nośności na zginanie względem osi zwg 6.2.9.1(4)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \\
 &= \frac{89.21 \text{ kN}}{10760.100 \text{ kN}} \\
 &= 0.008
 \end{aligned}$$

6.2.9.1(5)

$$\alpha = 2$$

6.2.9.1(6)

$$\begin{aligned}
 \beta &= 5 \cdot n \\
 &= 5 \cdot 0.008 \\
 &= 0.04
 \end{aligned}$$

6.2.9.1(6)

$$\begin{aligned}
 \beta &= \max(\beta, 1) \\
 &= \max(0.04, 1) \\
 &= 1.00
 \end{aligned}$$

6.2.9.1(6)

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right)^\alpha \\
 &= \left(\frac{201.52 \text{ kNm}}{1447.69 \text{ kNm}} \right)^{2.00} \\
 &= 0.019
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz} &= \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \right)^\beta \\
 &= \left(\frac{53.24 \text{ kNm}}{679.11 \text{ kNm}} \right)^{1.00} \\
 &= 0.078
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_{My} + \eta_{Mz} \\
 &= 0.019 + 0.078 \\
 &= 0.098
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.098 \leq 1 \quad \checkmark$$

$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,z}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,w}$	Granica plastyczności środnika
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{z,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,y}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,f}$	Granica plastyczności pasa
η_{Vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{y,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$N_{pl,Rd}$	Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
$N_{lim,6.33}$	Wartość graniczna siły osiowej
$N_{lim,6.34}$	Wartość graniczna siły osiowej
h_w	Wysokość środnika między pasami
t_w	Grubość środnika
N_{Ed}	Obliczeniowa siła osiowa
$N_{lim,6.35}$	Wartość graniczna siły osiowej
n	Stosunek obliczeniowej siły osiowej do obliczeniowej nośności plastycznej
α	Parametr interakcji przy dwukierunkowym zginaniu
β	Parametr interakcji przy dwukierunkowym zginaniu

η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy SP6500.02 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie względem osi y, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_{y,w}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{90.55 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 1855.91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{z,Rd,min} &= V_{pl,z,Rd} \\
 &= 1855.91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,Rd,min}} \\
 &= \frac{59.81 \text{ kN}}{1855.91 \text{ kN}} \\
 &= 0.032
 \end{aligned}$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi z jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza połowy nośności na ścinanie.

$$\begin{aligned}
 N_{pl,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 303.10 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 10760.100 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 4078.00 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 1447.69 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 N_{lim,6.33} &= 0.25 \cdot N_{pl,Rd} \\
 &= 0.25 \cdot 10760.100 \text{ kN} \\
 &= 2690.010 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.9.1(4), równ. 6.33

$$\begin{aligned}
 N_{lim,6.34} &= 0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_{y,w}}{\gamma_{M0}} \\
 &= 0.5 \cdot 262.0 \text{ mm} \cdot 21.0 \text{ mm} \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 976.605 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.9.1(4), równ. 6.34

$$N_{Ed} \leq N_{lim,6.33} \text{ and } N_{Ed} \leq N_{lim,6.34}$$

Bez uwzględnienia wpływu siły osiowej w obliczeniach nośności na zginanie względem osi y wg 6.2.9.1(4)

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{204.54 \text{ kNm}}{1447.69 \text{ kNm}} \\
 &= 0.141
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_{My} \\
 &= 0.141
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.141 \leq 1 \quad \checkmark$$

$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,z}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,w}$	Granica plastyczności środnika
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{z,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$N_{pl,Rd}$	Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
$N_{lim,6.33}$	Wartość graniczna siły osiowej
$N_{lim,6.34}$	Wartość graniczna siły osiowej

h_w	Wysokość środnika między pasami
t_w	Grubość środnika
N_{Ed}	Obliczeniowa siła osiowa
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy SP6500.03 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie względem osi z, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 | Projektowanie plastyczne

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_{y,t}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$= \frac{241.80 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00}$$

$$= 4955.92 \text{ kN}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$V_{y,Rd,min} = V_{pl,y,Rd}$$

$$= 4955.92 \text{ kN}$$

$$\eta_{Vy} = \frac{V_{y,Ed}}{V_{y,Rd,min}}$$

$$= \frac{18.73 \text{ kN}}{4955.92 \text{ kN}}$$

$$= 0.004$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi y jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza 50% nośności na ścinanie.

$$N_{pl,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= 303.10 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00}$$

$$= 10760.100 \text{ kN}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= 1913.00 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00}$$

$$= 679.11 \text{ kNm}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$N_{lim,6.35} = h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_{y,w}}{\gamma_{M0}}$$

$$= 262.0 \text{ mm} \cdot 21.0 \text{ mm} \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00}$$

$$= 1953.210 \text{ kN}$$

6.2.9.1(4), Równ. 6.35

$$N_{Ed} \leq N_{lim,6.35}$$

Bez uwzględnienia wpływu siły osiowej w obliczeniach nośności na zginanie względem osi zwg 6.2.9.1(4)

$$\eta_{Mz} = \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$$

$$= \frac{31.73 \text{ kNm}}{679.11 \text{ kNm}}$$

$$= 0.047$$

$$\eta = \eta_{Mz}$$

$$= 0.047$$

$$\eta = 0.047 \leq 1$$

$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,y}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,t}$	Granica plastyczności pasa
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{y,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$N_{pl,Rd}$	Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
$N_{lim,6.35}$	Wartość graniczna siły osiowej
h_w	Wysokość środka między pasami
t_w	Grubość środka
$f_{y,w}$	Granica plastyczności środka
N_{Ed}	Obliczeniowa siła osiowa

η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy SP6500.04 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie dwukierunkowe i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1 i 6.2.10 | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_{y,w}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{90.55 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 1855.91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{z,Rd,min} &= V_{pl,z,Rd} \\
 &= 1855.91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,Rd,min}} \\
 &= \frac{4.04 \text{ kN}}{1855.91 \text{ kN}} \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi z jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza połowy nośności na ścinanie.

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_{y,f}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{241.80 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 4955.92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{y,Rd,min} &= V_{pl,y,Rd} \\
 &= 4955.92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{y,Rd,min}} \\
 &= \frac{56.83 \text{ kN}}{4955.92 \text{ kN}} \\
 &= 0.011
 \end{aligned}$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi y jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza 50% nośności na ścinanie.

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 4078.00 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 1447.69 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 M_{pl,z,Rd} &= W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 1913.00 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 679.11 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\alpha = 2$$

6.2.9.1(5)

$$\begin{aligned}
 \beta &= 5 \cdot n \\
 &= 5 \cdot 0.000 \\
 &= 0.00
 \end{aligned}$$

6.2.9.1(6)

$$\begin{aligned}
 \beta &= \max(\beta, 1) \\
 &= \max(0.00, 1) \\
 &= 1.00
 \end{aligned}$$

6.2.9.1(6)

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right)^\alpha \\
 &= \left(\frac{2.97 \text{ kNm}}{1447.69 \text{ kNm}} \right)^{2.00} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz} &= \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \right)^\beta \\
 &= \left(\frac{31.95 \text{ kNm}}{679.11 \text{ kNm}} \right)^{1.00} \\
 &= 0.047
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \eta_{My} + \eta_{Mz} \\ &= 0.000 + 0.047 \\ &= 0.047\end{aligned}$$

$$\eta = 0.047 \leq 1 \quad \checkmark$$

$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,z}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,w}$	Granica plastyczności środnika
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{z,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,y}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,f}$	Granica plastyczności pasa
η_{Vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{y,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
f_y	Granica plastyczności
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
α	Parametr interakcji przy dwukierunkowym zginaniu
β	Parametr interakcji przy dwukierunkowym zginaniu
n	Stosunek obliczeniowej siły osiowej do obliczeniowej nośności plastycznej
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy ST1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Wyboczenie giętne względem głównej osi y wg EN 1993-1-1, 6.3.1

$$\begin{aligned}
 N_{cr,y} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_y}{(L_{cr,y})^2} \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{59200.00 \text{ cm}^4}{(12.000 \text{ m})^2} \\
 &= 8520.76 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1)

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_y &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} \\
 &= \sqrt{\frac{303.10 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{8520.76 \text{ kN}}} \\
 &= 1.124
 \end{aligned}$$

6.3.1.3(1)

$$\begin{aligned}
 \eta_{N_{cr,y}} &= \gamma_{M1} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{cr,y}} \\
 &= 1.00 \cdot \frac{546.84 \text{ kN}}{8520.76 \text{ kN}} \\
 &= 0.064
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(4)

$$\begin{aligned}
 \Phi_y &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + (\bar{\lambda}_y)^2 \right] \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.340 \cdot (1.124 - 0.2) + (1.124)^2 \right] \\
 &= 1.288
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1)

$$\begin{aligned}
 \chi_y &= \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y)^2 - (\bar{\lambda}_y)^2}} \\
 &= \frac{1}{1.288 + \sqrt{(1.288)^2 - (1.124)^2}} \\
 &= 0.52
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1), Równ. 6.49

$$\begin{aligned}
 N_{b,y,Rd} &= \chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \\
 &= 0.52 \cdot 303.10 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 5607.89 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.1.1(3)

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} \\
 &= \frac{546.84 \text{ kN}}{5607.89 \text{ kN}} \\
 &= 0.098
 \end{aligned}$$

6.3.1

$$\eta = 0.098 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{cr,y}$	Sprężysta siła krytyczna
E	Moduł sprężystości
I_y	Moment bezwładności
$L_{cr,y}$	Długość wyboczenia
$\bar{\lambda}_y$	Smukłość bezwymiarowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
$\eta_{N_{cr,y}}$	Kryterium $N_{Ed} / N_{cr,y}$
γ_{M1}	Współczynnik częściowy
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
Φ_y	Parametr krzywej niestateczności χ
α_y	Współczynnik imperfekcji
χ_y	Współczynnik redukcji dla wyboczenia
$N_{b,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na wyboczenie pręta ściskanego

Warunek projektowy ST1300 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Wyboczenie giętne względem głównej osi z wg EN 1993-1-1, 6.3.1

$$\begin{aligned}
 N_{cr,z} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_z}{(L_{cr,z})^2} & 6.3.1.2(1) \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{19400.00 \text{ cm}^4}{(22.259 \text{ m})^2} \\
 &= 811.57 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_z &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} & 6.3.1.3(1) \\
 &= \sqrt{\frac{303.10 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{811.57 \text{ kN}}} \\
 &= 3.641
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Ncr,z} &= \gamma_{M1} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{cr,z}} & 6.3.1.2(4) \\
 &= 1.00 \cdot \frac{529.17 \text{ kN}}{811.57 \text{ kN}} \\
 &= 0.652
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_z &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - 0.2) + (\bar{\lambda}_z)^2 \right] & 6.3.1.2(1) \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.490 \cdot (3.641 - 0.2) + (3.641)^2 \right] \\
 &= 7.972
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \chi_z &= \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z)^2 - (\bar{\lambda}_z)^2}} & 6.3.1.2(1), \text{ Równ. 6.49} \\
 &= \frac{1}{7.972 + \sqrt{(7.972)^2 - (3.641)^2}} \\
 &= 0.07
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{b,z,Rd} &= \chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} & 6.3.1.1(3) \\
 &= 0.07 \cdot 303.10 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 714.27 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,z,Rd}} & 6.3.1 \\
 &= \frac{529.17 \text{ kN}}{714.27 \text{ kN}} \\
 &= 0.741
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.741 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{cr,z}$	Sprężysta siła krytyczna
E	Moduł sprężystości
I_z	Moment bezwładności
$L_{cr,z}$	Długość wyboczenia
$\bar{\lambda}_z$	Smukłość bezwymiarowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
$\eta_{Ncr,z}$	Kryterium $N_{Ed} / N_{cr,z}$
γ_{M1}	Współczynnik częściowy
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
Φ_z	Parametr krzywej niestateczności χ
α_z	Współczynnik imperfekcji
χ_z	Współczynnik redukcyjny
$N_{b,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na wyboczenie pręta ściskanego

Warunek projektowy ST1500 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Wyboczenie skrętne wg EN 1993-1-1, 6.3.1

$$\begin{aligned}
 N_{cr,T} &= \frac{1}{(i_{p,SC})^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{(\pi)^2 \cdot E \cdot I_w}{(L_{cr,T})^2} \right] \\
 &= \frac{1}{(161.1 \text{ mm})^2} \cdot \left[80769.200 \text{ N/mm}^2 \cdot 1408.00 \text{ cm}^4 + \frac{(\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot 4386000.00 \text{ cm}^6}{(10.813 \text{ m})^2} \right] \\
 &= 46831.00 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.1.4(2)

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_T &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,T}}} \\
 &= \sqrt{\frac{303.10 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{46831.00 \text{ kN}}} \\
 &= 0.479
 \end{aligned}$$

6.3.1.4(2)

$$\begin{aligned}
 \eta_{N_{cr,T}} &= \gamma_{M1} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{cr,T}} \\
 &= 1.00 \cdot \frac{54.97 \text{ kN}}{46831.00 \text{ kN}} \\
 &= 0.001
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(4)

$$\eta_{N_{cr,T}} \leq 0.04$$

Efekty wyboczenia można pominąć zgodnie z EN 1993-1-1, 6.3.1.2(4).

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

 $N_{cr,T}$ Sprężysta siła krytyczna $i_{p,SC}$ Biegunowy promień bezwładności względem środka ścinania G Moduł ścinania I_t Moment bezwładności przy skręcaniu E Moduł sprężystości I_w Wycinkowy moment bezwładności $L_{cr,T}$ Długość wyboczenia $\bar{\lambda}_T$ Smukłość bezwymiarowa A Pole przekroju f_y Granica plastyczności $\eta_{N_{cr,T}}$ Kryterium $N_{Ed} / N_{cr,T}$ γ_{M1} Współczynnik częściowy $N_{c,Ed}$ Obliczeniowa siła ściskająca

Warunek projektowy ST2100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Zwichrzenie wg EN 1993-1-1, 6.3.2

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \alpha_{cr} \cdot M_{y,Ed} \\ &= 36.11 \cdot 30.52 \text{ kNm} \\ &= 1102.06 \text{ kNm} \end{aligned}$$

6.3.2.2(1)

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_{LT} &= \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} \\ &= \sqrt{\frac{4078.00 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{1102.06 \text{ kNm}}} \\ &= 1.146 \end{aligned}$$

6.3.2.2(1)

$$\begin{aligned} \Phi_{LT} &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot (\bar{\lambda}_{LT})^2 \right] \\ &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.340 \cdot (1.146 - 0.400) + 0.750 \cdot (1.146)^2 \right] \\ &= 1.119 \end{aligned}$$

6.3.2.3(1)

$$\begin{aligned} \chi_{LT} &= \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{(\Phi_{LT})^2 - \beta \cdot (\bar{\lambda}_{LT})^2}} \\ &= \frac{1}{1.119 + \sqrt{(1.119)^2 - 0.750 \cdot (1.146)^2}} \\ &= 0.61 \end{aligned}$$

6.3.2.3(1), Równ. 6.57

$$\begin{aligned} f &= 1 - 0.5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left(1 - 2 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2 \right) \\ &= 1 - 0.5 \cdot (1 - 1.000) \cdot \left(1 - 2 \cdot (1.146 - 0.8)^2 \right) \\ &= 1.000 \end{aligned}$$

6.3.2.3(2)

$$\begin{aligned} \chi_{LT,mod} &= \frac{\chi_{LT}}{f} \\ &= \frac{0.61}{1.000} \\ &= 0.61 \end{aligned}$$

6.3.2.3(2), Równ. 6.58

$$\begin{aligned} M_{b,Rd} &= \chi_{LT,mod} \cdot W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \\ &= 0.61 \cdot 4078.00 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\ &= 884.31 \text{ kNm} \end{aligned}$$

6.3.2.1(3), Równ. 6.55

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \\ &= \frac{5.86 \text{ kNm}}{884.31 \text{ kNm}} \\ &= 0.007 \end{aligned}$$

6.3.2(3), równ. 6.55

$$\eta = 0.007 \leq 1 \quad \checkmark$$

M_{cr}	Sprężysty moment krytyczny zwichrzenia
α_{cr}	Mnożnik
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na przęcie lub zbiorze)
$\bar{\lambda}_{LT}$	Smukłość bezwymiarowa
W_{ply}	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
f_y	Granica plastyczności
Φ_{LT}	Parametr krzywej niestateczności χ
α_{LT}	Współczynnik imperfekcji
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	Smukłość graniczna
β	Parametr
χ_{LT}	Współczynnik redukcji dla zwichrzenia
f	Współczynnik modyfikacji
k_c	Współczynnik poprawkowy
$\chi_{LT,mod}$	Zmodyfikowany współczynnik redukcji dla zwichrzenia
$M_{b,Rd}$	Obliczeniowa nośność elementu na wyboczenie
γ_{M1}	Współczynnik częściowy
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy ST3100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Zginanie i wyboczenie względem osi głównych wg EN 1993-1-1, 6.3.3

$$\begin{aligned}
 N_{cr,y} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_y}{(L_{cr,y})^2} & 6.3.1.2(1) \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{59200.00 \text{ cm}^4}{(12.000 \text{ m})^2} \\
 &= 8520.76 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_y &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} & 6.3.1.3(1) \\
 &= \sqrt{\frac{303.10 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{8520.76 \text{ kN}}} \\
 &= 1.124
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_y &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + (\bar{\lambda}_y)^2 \right] & 6.3.1.2(1) \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.340 \cdot (1.124 - 0.2) + (1.124)^2 \right] \\
 &= 1.288
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \chi_y &= \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y)^2 - (\bar{\lambda}_y)^2}} & 6.3.1.2(1), \text{ Równ. 6.49} \\
 &= \frac{1}{1.288 + \sqrt{(1.288)^2 - (1.124)^2}} \\
 &= 0.52
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{cr,z} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_z}{(L_{cr,z})^2} & 6.3.1.2(1) \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{19400.00 \text{ cm}^4}{(22.259 \text{ m})^2} \\
 &= 811.57 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_z &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} & 6.3.1.3(1) \\
 &= \sqrt{\frac{303.10 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{811.57 \text{ kN}}} \\
 &= 3.641
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_z &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - 0.2) + (\bar{\lambda}_z)^2 \right] & 6.3.1.2(1) \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.490 \cdot (3.641 - 0.2) + (3.641)^2 \right] \\
 &= 7.972
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \chi_z &= \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z)^2 - (\bar{\lambda}_z)^2}} & 6.3.1.2(1), \text{ Równ. 6.49} \\
 &= \frac{1}{7.972 + \sqrt{(7.972)^2 - (3.641)^2}} \\
 &= 0.07
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \alpha_{cr} \cdot M_{y,Ed} & 6.3.2.2(1) \\
 &= 4.51 \cdot 155.96 \text{ kNm} \\
 &= 703.37 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_{LT} &= \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} & 6.3.2.2(1) \\
 &= \sqrt{\frac{4078.00 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{703.37 \text{ kNm}}} \\
 &= 1.435
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_{LT} &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot (\bar{\lambda}_{LT})^2 \right] & 6.3.2.3(1) \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.340 \cdot (1.435 - 0.400) + 0.750 \cdot (1.435)^2 \right] \\
 &= 1.448
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \chi_{LT} &= \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{(\Phi_{LT})^2 - \beta \cdot (\bar{\lambda}_{LT})^2}} & 6.3.2.3(1), \text{ Równ. 6.57} \\
 &= \frac{1}{1.448 + \sqrt{(1.448)^2 - 0.750 \cdot (1.435)^2}} \\
 &= 0.46
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f &= 1 - 0.5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left(1 - 2 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2\right) \\
 &= 1 - 0.5 \cdot (1 - 1.000) \cdot \left(1 - 2 \cdot (1.435 - 0.8)^2\right) \\
 &= 1.000
 \end{aligned}$$

6.3.2.3(2)

$$\begin{aligned}
 \chi_{LT,mod} &= \frac{\chi_{LT}}{f} \\
 &= \frac{0.46}{1.000} \\
 &= 0.46
 \end{aligned}$$

6.3.2.3(2), Równ. 6.58

$$\begin{aligned}
 N_{Rk} &= A \cdot f_y \\
 &= 303.10 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 10760.100 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.3, Tab. 6.7

$$\begin{aligned}
 M_{y,Rk} &= W_{pl,y} \cdot f_y \\
 &= 4078.00 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 1447.69 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.3.3, Tab. 6.7

$$\begin{aligned}
 M_{z,Rk} &= W_{pl,z} \cdot f_y \\
 &= 1913.00 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 679.11 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.3.3, Tab. 6.7

$$\begin{aligned}
 \alpha_{s,y} &= \frac{M_{s,y}}{M_{h,y}} \\
 &= \frac{142.57 \text{ kNm}}{-155.96 \text{ kNm}} \\
 &= -0.914
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 C_{my} &= -0.8 \cdot \alpha_{s,y} \\
 &= -0.8 \cdot -0.914 \\
 &= 0.731
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 \alpha_{h,y,LT} &= \frac{M_{h,y,LT}}{M_{s,y,LT}} \\
 &= \frac{-0.26 \text{ kNm}}{-88.31 \text{ kNm}} \\
 &= 0.003
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 C_{mLT} &= 0.9 + 0.1 \cdot \alpha_{h,y,LT} \\
 &= 0.9 + 0.1 \cdot 0.003 \\
 &= 0.900
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 \alpha_{s,z} &= \frac{M_{s,z}}{M_{h,z}} \\
 &= \frac{2.94 \text{ kNm}}{4.12 \text{ kNm}} \\
 &= 0.713
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 C_{mz} &= 0.2 + 0.8 \cdot \alpha_{s,z} \\
 &= 0.2 + 0.8 \cdot 0.713 \\
 &= 0.770
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 k_{yy} &= C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \\
 &= 0.731 \cdot \left(1 + (1.124 - 0.2) \cdot \frac{529.17 \text{ kN}}{0.52 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}}\right) \\
 &= 0.795
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{yy} &= \min \left(k_{yy}, C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \right) \\
 &= \min \left(0.795, 0.731 \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{529.17 \text{ kN}}{0.52 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}}\right) \right) \\
 &= 0.787
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{yz} &= 0.6 \cdot C_{mz} \cdot \left(1 + \left(2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6 \right) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= 0.6 \cdot 0.770 \cdot \left(1 + \left(2 \cdot 3.641 - 0.6 \right) \cdot \frac{529.17 \text{ kN}}{0.07 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 2.751
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 k_{yz} &= \min \left(k_{yz}, 0.6 \cdot C_{mz} \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right) \\
 &= \min \left(2.751, 0.6 \cdot 0.770 \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{529.17 \text{ kN}}{0.07 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \right) \right) \\
 &= 0.942
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 k_{zy} &= 1 - 0.1 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{c,Ed}}{(C_{mLT} - 0.25) \cdot \chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 1 - 0.1 \cdot 3.641 \cdot \frac{529.17 \text{ kN}}{(0.900 - 0.25) \cdot 0.07 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \\
 &= 0.585
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 k_{zy} &= \max \left(k_{zy}, 1 - 0.1 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{(C_{mLT} - 0.25) \cdot \chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= \max \left(0.585, 1 - 0.1 \cdot \frac{529.17 \text{ kN}}{(0.900 - 0.25) \cdot 0.07 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 0.885
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 k_{zz} &= C_{mz} \cdot \left(1 + \left(2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6 \right) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= 0.770 \cdot \left(1 + \left(2 \cdot 3.641 - 0.6 \right) \cdot \frac{529.17 \text{ kN}}{0.07 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 4.585
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 k_{zz} &= \min \left(k_{zz}, C_{mz} \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right) \\
 &= \min \left(4.585, 0.770 \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{529.17 \text{ kN}}{0.07 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \right) \right) \\
 &= 1.570
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 {}^{\eta} N_{6.61} &= \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= \frac{529.17 \text{ kN}}{0.52 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \\
 &= 0.094
 \end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 5.61

$$\begin{aligned}
 {}^{\eta} M_{y6.61} &= k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 0.787 \cdot \frac{155.96 \text{ kNm}}{0.46 \cdot \frac{1447.59 \text{ kNm}}{1.00}} \\
 &= 0.186
 \end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 5.61

$$\begin{aligned}
 {}^{\eta} M_{z6.61} &= k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{M1} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 0.942 \cdot \frac{6.37 \text{ kNm}}{\frac{679.11 \text{ kNm}}{1.00}} \\
 &= 0.009
 \end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 5.61

$$\begin{aligned}\eta_{6.61} &= \eta_{N6.61} + \eta_{My6.61} + \eta_{Mz6.61} \\ &= 0.094 + 0.185 + 0.009 \\ &= 0.289\end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 6.61

$$\begin{aligned}\eta_{N6.62} &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{Rk}} \\ &= \frac{529.17 \text{ kN}}{0.07 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \\ &= 0.741\end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 6.62

$$\begin{aligned}\eta_{My6.62} &= k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ &= 0.886 \cdot \frac{155.96 \text{ kNm}}{0.45 \cdot \frac{1447.69 \text{ kNm}}{1.00}} \\ &= 0.209\end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 6.62

$$\begin{aligned}\eta_{Mz6.62} &= k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{1.00}} \\ &= 1.570 \cdot \frac{6.37 \text{ kNm}}{\frac{679.11 \text{ kNm}}{1.00}} \\ &= 0.015\end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 6.62

$$\begin{aligned}\eta_{6.62} &= \eta_{N6.62} + \eta_{My6.62} + \eta_{Mz6.62} \\ &= 0.741 + 0.209 + 0.015 \\ &= 0.965\end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 6.62

$$\begin{aligned}\eta &= \max(\eta_{6.61}, \eta_{6.62}) \\ &= \max(0.289, 0.965) \\ &= 0.965\end{aligned}$$

6.3.3(4), równ. 6.61, 6.62

$$\eta = 0.965 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{cr,y}$	Sprężysta siła krytyczna
E	Moduł sprężystości
I_y	Moment bezwładności
$L_{cr,y}$	Długość wyboczenia
λ_y	Smukłość bezwymiarowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
Φ_y	Parametr krzywej niestateczności χ
α_y	Współczynnik imperfekcji
χ_y	Współczynnik redukcji dla wyboczenia
$N_{cr,z}$	Sprężysta siła krytyczna
I_z	Moment bezwładności
$L_{cr,z}$	Długość wyboczenia
λ_z	Smukłość bezwymiarowa
Φ_z	Parametr krzywej niestateczności χ
α_z	Współczynnik imperfekcji
χ_z	Współczynnik redukcji
M_{cr}	Sprężysty moment krytyczny zwichrzenia
α_{cr}	Mnożnik
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na przecie lub zbiorze)
λ_{LT}	Smukłość bezwymiarowa
W_{ply}	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
Φ_{LT}	Parametr krzywej niestateczności χ
α_{LT}	Współczynnik imperfekcji
$\lambda_{LT,D}$	Smukłość graniczna
β	Parametr
χ_{LT}	Współczynnik redukcji dla zwichrzenia
f	Współczynnik modyfikacji
k_c	Współczynnik poprawkowy
$\chi_{LT,mod}$	Zmodyfikowany współczynnik redukcji dla zwichrzenia
N_{Rk}	Charakterystyczna nośność na ściskanie
$M_{y,Rk}$	Wartość charakterystyczna nośności na momenty zginające
$M_{z,Rk}$	Wartość charakterystyczna nośności na momenty zginające
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości

$\alpha_{s,y}$	Współczynnik
$M_{s,y}$	Moment przęsłowy
$M_{h,y}$	Moment podporowy
C_{my}	Współczynnik równoważnego stałego momentu
$\alpha_{h,y,LT}$	Współczynnik
$M_{h,y,LT}$	Moment podporowy
$M_{s,y,LT}$	Moment przęsłowy
C_{mLT}	Współczynnik równoważnego stałego momentu
$\alpha_{s,z}$	Współczynnik
$M_{s,z}$	Moment przęsłowy
$M_{h,z}$	Moment podporowy
C_{mz}	Współczynnik równoważnego stałego momentu
k_{yy}	Współczynnik interakcji
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
γ_{M1}	Współczynnik częściowy
k_{yz}	Współczynnik interakcji
k_{zy}	Współczynnik interakcji
k_{zz}	Współczynnik interakcji
$\eta_{N\ 6.61}$	Składowa obliczeń dla N
$\eta_{My\ 6.61}$	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na segmencie)
$\eta_{Mz\ 6.61}$	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na segmencie)
$\eta_{6.61}$	Stopień wykorzystania
$\eta_{N\ 6.62}$	Składowa obliczeń dla N
$\eta_{My\ 6.62}$	Składowa obliczeń dla M_y
$\eta_{Mz\ 6.62}$	Składowa obliczeń dla M_z
$\eta_{6.62}$	Stopień wykorzystania

Warunek projektowy SE0100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowność
Pomijalne ugięciaKombinacja: charakterystyczna
Typ segmentu w osi z: belka
Typ segmentu w osi y: belka
Ugięcie w kierunku z można pominąć.
Ugięcie w kierunku y można pominąć.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

Warunek projektowy SE1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowość

Ugięcia w kierunku z

Kombinacja: charakterystyczna

$$\begin{aligned}w_{lim} &= \frac{L}{L/w_{lim}} \\&= \frac{18.925 \text{ m}}{300.00} \\&= 63.1 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{|w_{tot,z}|}{w_{lim}} \\&= \frac{|-19.2 \text{ mm}|}{63.1 \text{ mm}} \\&= 0.305\end{aligned}$$

$$\eta = 0.305 \leq 1 \quad \checkmark$$

 w_{lim} Wartość graniczna ugięcia L Długość referencyjna L / w_{lim} Względna wartość graniczna ugięcia $w_{tot,z}$ Ugięcie całkowite

Warunek projektowy SE1200 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowalność

Ugięcia w kierunku y

Kombinacja: charakterystyczna

$$\begin{aligned}w_{lim} &= \frac{L}{L/w_{lim}} \\&= \frac{22.259 \text{ m}}{300.00} \\&= 74.2 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{|w_{tot,y}|}{w_{lim}} \\&= \frac{|-2.7 \text{ mm}|}{74.2 \text{ mm}} \\&= 0.037\end{aligned}$$

$$\eta = 0.037 \leq 1 \quad \checkmark$$

 w_{lim} Wartość graniczna ugięcia L Długość referencyjna L / w_{lim} Względna wartość graniczna ugięcia $w_{tot,y}$ Ugięcie całkowite



Analiza konstrukcji

KLIENT

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

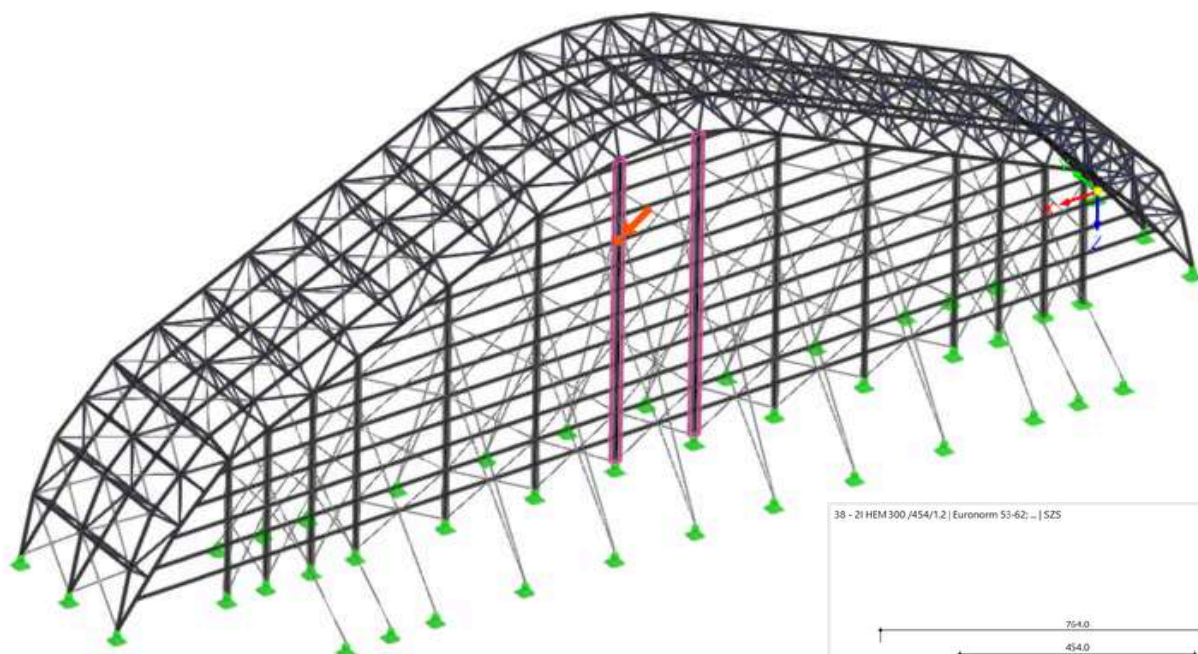
SPORZĄDZIŁ

Patrycja Piec

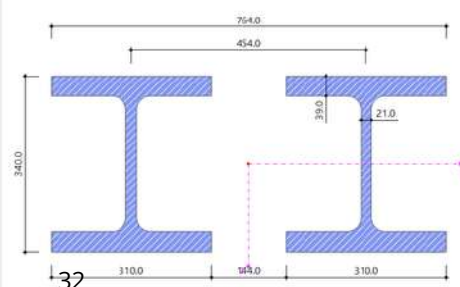
MODEL OBLICZENIOWY NR 2

Element 3 - Konstrukcja ściany szczytowej w osi "U"

SŁUP 2EI HEM300



38 - 2I HEM 300 / 454/1.2 | Euro norm 53-62; ... | SZS



Warunek projektowy SP0100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju
Pomijalne siły wewnętrzne

Ściskanie:

$$\begin{aligned}
 N_{pl,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 606.00 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 21513.000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}
 \eta_{Nc} &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} \\
 &= \frac{19.95 \text{ kN}}{21513.000 \text{ kN}} \\
 &= 0.001
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Nc} \leq \eta_{Nc,lim}$$

 $N_{c,Ed}$ można pominąć.

Ścinanie w osi y:

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{483.60 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 9911.83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{0.22 \text{ kN}}{9911.83 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Vy} \leq \eta_{Vy,lim}$$

 $V_{y,Ed}$ można pominąć.

Ścinanie w osi z:

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{126.42 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 2591.10 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{1.21 \text{ kN}}{2591.10 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Vz} \leq \eta_{Vz,lim}$$

 $V_{z,Ed}$ można pominąć.

Napężenie styczne od skręcania:

$$\begin{aligned}
 \tau_{t,Rd} &= \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \\
 &= \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1.00} \\
 &= 204.959 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

6.2.6, Równ. 6.19

$$\begin{aligned}
 \eta_{\tau,t} &= \frac{|\tau_{t,Ed}|}{\tau_{t,Rd}} \\
 &= \frac{|-0.008 \text{ N/mm}^2|}{204.959 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{\tau,t} \leq \eta_{\tau,t,lim}$$

 $\tau_{t,Ed}$ można pominąć.

Zginanie względem osi mocnej y:

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 8156.24 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 2895.47 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{0.14 \text{ kNm}}{2895.47 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{My} \leq \eta_{My,lim}$$

$M_{y,Ed}$ można pominąć.

Zginanie względem osi słabej z:

$$\begin{aligned}
 M_{pl,z,Rd} &= W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 13761.40 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 4885.30 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz} &= \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{0.08 \text{ kNm}}{4885.30 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Mz} \leq \eta_{Mz,lim}$$

$M_{z,Ed}$ można pominąć.

Siły wewnętrzne są pomijalne.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{pl,Rd}$	Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Nc}	Składowa obliczeń dla N
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
$\eta_{Nc,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla N
$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,y}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
η_{Vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$\eta_{Vy,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla V_y
$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,z}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
η_{Vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$\eta_{Vz,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla V_z
$T_{t,Rd}$	Obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie przy skręcaniu
$\eta_{\tau,t}$	Składowa obliczeń dla τ_t
$T_{t,Ed}$	Obliczeniowe naprężenie styczne od skręcania
$\eta_{\tau,t,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla τ_t
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\eta_{My,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla M_y
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\eta_{Mz,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla M_z

Warunek projektowy SP1200 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Ściskanie wg EN 1993-1-1, 6.2.4

$$\begin{aligned} N_{c,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\ &= 606.00 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\ &= 21513.00 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_N &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \\ &= \frac{657.03 \text{ kN}}{21513.00 \text{ kN}} \\ &= 0.031 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_N \\ &= 0.031 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.031 \leq 1 \quad \checkmark$$

Równ. 6.10

6.2.4, Równ. 6.9

 $N_{c,Rd}$ Obliczeniowa nośność na siłę osiową A Pole przekroju f_y Granica plastyczności γ_{M0} Współczynnik częściowy η_N Składowa obliczeń dla N $N_{c,Ed}$ Obliczeniowa siła ściskająca

Warunek projektowy SP3200.02 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Ścinanie w osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{483.60 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 9911.83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{c,y,Rd} &= V_{pl,y,Rd} \\
 &= 9911.83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(1)

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \\
 &= \frac{43.20 \text{ kN}}{9911.83 \text{ kN}} \\
 &= 0.004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_{Vy} \\
 &= 0.004
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.004 \leq 1 \quad \checkmark$$

 $V_{pl,y,Rd}$ Obliczeniowa nośność na ścinanie $A_{v,y}$ Pole przekroju czynnego przy ścinaniu f_y Granica plastyczności γ_{M0} Współczynnik częściowy $V_{c,y,Rd}$ Nośność na ścinanie η_{Vy} Składowa obliczeń dla V_y $V_{y,Ed}$ Obliczeniowa siła tnąca

Warunek projektowy SP4100.03 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie względem osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.5 | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{126.42 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 2591.10 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{z,Rd,min} &= V_{pl,z,Rd} \\
 &= 2591.10 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,Rd,min}} \\
 &= \frac{59.75 \text{ kN}}{2591.10 \text{ kN}} \\
 &= 0.023
 \end{aligned}$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi z jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza połowy nośności na ścinanie.

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{8156.24 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 2895.47 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{202.19 \text{ kNm}}{2895.47 \text{ kNm}} \\
 &= 0.070
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_{My} \\
 &= 0.070
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.070 \leq 1 \quad \checkmark$$

$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,z}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
f_y	Granica plastyczności
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{z,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy SP5100.03 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.5 | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 M_{pl,z,Rd} &= W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 13761.40 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 4885.30 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz} &= \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{115.12 \text{ kNm}}{4885.30 \text{ kNm}} \\
 &= 0.024
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_{Mz} \\
 &= 0.024
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.024 \leq 1 \quad \checkmark$$

6.2.5, Równ. 6.13

$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
f_y	Granica plastyczności
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy SP6300.01 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie dwukierunkowe, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.1(7) | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 N_{pl,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 606.00 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 21513.000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}
 \eta_N &= \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \\
 &= \frac{566.81 \text{ kN}}{21513.000 \text{ kN}} \\
 &= 0.026
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{126.42 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 2591.10 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{z,Rd,min} &= V_{pl,z,Rd} \\
 &= 2591.10 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,Rd,min}} \\
 &= \frac{75.95 \text{ kN}}{2591.10 \text{ kN}} \\
 &= 0.029
 \end{aligned}$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi z jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza połowy nośności na ścinanie.

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 8156.24 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 2895.47 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{190.49 \text{ kNm}}{2895.47 \text{ kNm}} \\
 &= 0.066
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pl,z,Rd} &= W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 13761.40 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 4885.30 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz} &= \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{42.07 \text{ kNm}}{4885.30 \text{ kNm}} \\
 &= 0.009
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_N + \eta_{My} + \eta_{Mz} \\
 &= 0.026 + 0.066 + 0.009 \\
 &= 0.101
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.101 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{pl,Rd}$	Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_N	Składowa obliczeń dla N
N_{Ed}	Obliczeniowa siła osiowa
$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,z}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
η_{Vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca

$V_{z,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy SP6300.02 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie względem osi y, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.1(7) | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 N_{pl,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 606.00 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 21513.000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}
 \eta_N &= \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \\
 &= \frac{563.95 \text{ kN}}{21513.000 \text{ kN}} \\
 &= 0.026
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{126.42 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 2591.10 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{z,Rd,min} &= V_{pl,z,Rd} \\
 &= 2591.10 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,Rd,min}} \\
 &= \frac{76.86 \text{ kN}}{2591.10 \text{ kN}} \\
 &= 0.030
 \end{aligned}$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi z jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza połowy nośności na ścinanie.

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 8156.24 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 2895.47 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{201.73 \text{ kNm}}{2895.47 \text{ kNm}} \\
 &= 0.070
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_N + \eta_{My} \\
 &= 0.026 + 0.070 \\
 &= 0.096
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.096 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{pl,Rd}$	Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_N	Składowa obliczeń dla N
N_{Ed}	Obliczeniowa siła osiowa
$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,z}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
η_{Vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{z,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy SP6300.03 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie względem osi z, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.1(7) | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 N_{pl,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 606.00 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 21513.000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}
 \eta_N &= \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \\
 &= \frac{220.58 \text{ kN}}{21513.000 \text{ kN}} \\
 &= 0.010
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{483.60 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 9911.83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{y,Rd,min} &= V_{pl,y,Rd} \\
 &= 9911.83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{y,Rd,min}} \\
 &= \frac{16.30 \text{ kN}}{9911.83 \text{ kN}} \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi y jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza 50% nośności na ścinanie.

$$\begin{aligned}
 M_{pl,z,Rd} &= W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 13761.40 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 4885.30 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz} &= \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{98.52 \text{ kNm}}{4885.30 \text{ kNm}} \\
 &= 0.020
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_N + \eta_{Mz} \\
 &= 0.010 + 0.020 \\
 &= 0.030
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.030 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{pl,Rd}$	Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_N	Składowa obliczeń dla N
N_{Ed}	Obliczeniowa siła osiowa
$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,y}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
η_{Vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{y,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy SP6300.04 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie dwukierunkowe i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.1(7) | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 8156.24 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 2895.47 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{12.13 \text{ kNm}}{2895.47 \text{ kNm}} \\
 &= 0.004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{vy} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{483.60 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 9911.83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{y,Rd,min} &= V_{pl,y,Rd} \\
 &= 9911.83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{y,Rd,min}} \\
 &= \frac{36.83 \text{ kN}}{9911.83 \text{ kN}} \\
 &= 0.004
 \end{aligned}$$

Zgodnie z 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi y jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza 50% nośności na ścinanie.

$$\begin{aligned}
 M_{pl,z,Rd} &= W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\
 &= 13761.40 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 4885.30 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz} &= \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{105.64 \text{ kNm}}{4885.30 \text{ kNm}} \\
 &= 0.022
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_{My} + \eta_{Mz} \\
 &= 0.004 + 0.022 \\
 &= 0.026
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.026 \leq 1 \quad \checkmark$$

$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
f_y	Granica plastyczności
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
A_{vy}	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
η_{Vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{y,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Warunek projektowy ST1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Wyboczenie giętne względem głównej osi y wg EN 1993-1-1, 6.3.1

$$\begin{aligned}
 N_{cr,y} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_y}{(L_{cr,y})^2} \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{118400.00 \text{ cm}^4}{(12.000 \text{ m})^2} \\
 &= 17041.50 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1)

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_y &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} \\
 &= \sqrt{\frac{606.00 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{17041.50 \text{ kN}}} \\
 &= 1.124
 \end{aligned}$$

6.3.1.3(1)

$$\begin{aligned}
 \eta_{N_{cr,y}} &= \gamma_{M1} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{cr,y}} \\
 &= 1.00 \cdot \frac{223.56 \text{ kN}}{17041.50 \text{ kN}} \\
 &= 0.013
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(4)

$$\eta_{N_{cr,y}} \leq 0.04$$

Efekty wyboczenia można pominąć zgodnie z EN 1993-1-1, 6.3.1.2(4).

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{cr,y}$	Sprężysta siła krytyczna
E	Moduł sprężystości
I_y	Moment bezwładności
$L_{cr,y}$	Długość wyboczenia
$\bar{\lambda}_y$	Smukłość bezwymiarowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
$\eta_{N_{cr,y}}$	Kryterium $N_{Ed} / N_{cr,y}$
γ_{M1}	Współczynnik częściowy
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca

Warunek projektowy ST1300 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Wyboczenie giętne względem głównej osi z wg EN 1993-1-1, 6.3.1

$$\begin{aligned}
 N_{cr,z} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_z}{(L_{cr,z})^2} & 6.3.1.2(1) \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{351190.00 \text{ cm}^4}{(24.559 \text{ m})^2} \\
 &= 12068.60 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_z &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} & 6.3.1.3(1) \\
 &= \sqrt{\frac{606.00 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{12068.60 \text{ kN}}} \\
 &= 1.335
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{N_{cr,z}} &= \gamma_{M1} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{cr,z}} & 6.3.1.2(4) \\
 &= 1.00 \cdot \frac{657.03 \text{ kN}}{12068.60 \text{ kN}} \\
 &= 0.054
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_z &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - 0.2) + (\bar{\lambda}_z)^2 \right] & 6.3.1.2(1) \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.760 \cdot (1.335 - 0.2) + (1.335)^2 \right] \\
 &= 1.823
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \chi_z &= \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z)^2 - (\bar{\lambda}_z)^2}} & 6.3.1.2(1), \text{ Równ. 6.49} \\
 &= \frac{1}{1.823 + \sqrt{(1.823)^2 - (1.335)^2}} \\
 &= 0.33
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{b,z,Rd} &= \chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} & 6.3.1.1(3) \\
 &= 0.33 \cdot 606.00 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 7022.67 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,z,Rd}} & 6.3.1 \\
 &= \frac{657.03 \text{ kN}}{7022.67 \text{ kN}} \\
 &= 0.094
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.094 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{cr,z}$	Sprężysta siła krytyczna
E	Moduł sprężystości
I_z	Moment bezwładności
$L_{cr,z}$	Długość wyboczenia
$\bar{\lambda}_z$	Smukłość bezwymiarowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
$\eta_{N_{cr,z}}$	Kryterium $N_{Ed} / N_{cr,z}$
γ_{M1}	Współczynnik częściowy
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
Φ_z	Parametr krzywej niestateczności χ
α_z	Współczynnik imperfekcji
χ_z	Współczynnik redukcyjny
$N_{b,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na wyboczenie pręta ściskanego

Warunek projektowy ST1500 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Wyboczenie skrętne wg EN 1993-1-1, 6.3.1

$$\begin{aligned}
 N_{cr,T} &= \frac{1}{(i_{p,SC})^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{(\pi)^2 \cdot E \cdot I_w}{(L_{cr,T})^2} \right] \\
 &= \frac{1}{(278.4 \text{ mm})^2} \cdot \left[80769.200 \text{ N/mm}^2 \cdot 28790.30 \text{ cm}^4 + \frac{(\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot 44062600.00 \text{ cm}^6}{(24.559 \text{ m})^2} \right] \\
 &= 302040.00 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.1.4(2)

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_T &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,T}}} \\
 &= \sqrt{\frac{606.00 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{302040.00 \text{ kN}}} \\
 &= 0.267
 \end{aligned}$$

6.3.1.4(2)

$$\begin{aligned}
 \eta_{N_{cr,T}} &= \gamma_{M1} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{cr,T}} \\
 &= 1.00 \cdot \frac{223.55 \text{ kN}}{302040.00 \text{ kN}} \\
 &= 0.001
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(4)

$$\eta_{N_{cr,T}} \leq 0.04$$

Efekty wyboczenia można pominąć zgodnie z EN 1993-1-1, 6.3.1.2(4).

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

 $N_{cr,T}$ Sprężysta siła krytyczna $i_{p,SC}$ Biegunowy promień bezwładności względem środka ścinania G Moduł ścinania I_t Moment bezwładności przy skręcaniu E Moduł sprężystości I_w Wycinkowy moment bezwładności $L_{cr,T}$ Długość wyboczenia $\bar{\lambda}_T$ Smukłość bezwymiarowa A Pole przekroju f_y Granica plastyczności $\eta_{N_{cr,T}}$ Kryterium $N_{Ed} / N_{cr,T}$ γ_{M1} Współczynnik częściowy $N_{c,Ed}$ Obliczeniowa siła ściskająca

Warunek projektowy ST3100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Zginanie i wyboczenie względem osi głównych wg EN 1993-1-1, 6.3.3

$$\begin{aligned}
 N_{cr,y} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_y}{(L_{cr,y})^2} \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{118400.00 \text{ cm}^4}{(12.000 \text{ m})^2} \\
 &= 17041.50 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1)

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_y &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} \\
 &= \sqrt{\frac{606.00 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{17041.50 \text{ kN}}} \\
 &= 1.124
 \end{aligned}$$

6.3.1.3(1)

$$\begin{aligned}
 \Phi_y &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + (\bar{\lambda}_y)^2 \right] \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.760 \cdot (1.124 - 0.2) + (1.124)^2 \right] \\
 &= 1.482
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1)

$$\begin{aligned}
 \chi_y &= \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y)^2 - (\bar{\lambda}_y)^2}} \\
 &= \frac{1}{1.482 + \sqrt{(1.482)^2 - (1.124)^2}} \\
 &= 0.41
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1), Równ. 6.49

$$\begin{aligned}
 N_{cr,z} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_z}{(L_{cr,z})^2} \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{351190.00 \text{ cm}^4}{(24.559 \text{ m})^2} \\
 &= 12068.60 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1)

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_z &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} \\
 &= \sqrt{\frac{606.00 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{12068.60 \text{ kN}}} \\
 &= 1.335
 \end{aligned}$$

6.3.1.3(1)

$$\begin{aligned}
 \Phi_z &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - 0.2) + (\bar{\lambda}_z)^2 \right] \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.760 \cdot (1.335 - 0.2) + (1.335)^2 \right] \\
 &= 1.823
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1)

$$\begin{aligned}
 \chi_z &= \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z)^2 - (\bar{\lambda}_z)^2}} \\
 &= \frac{1}{1.823 + \sqrt{(1.823)^2 - (1.335)^2}} \\
 &= 0.33
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1), Równ. 6.49

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \alpha_{cr} \cdot M_{y,Ed} \\
 &= 120.56 \cdot 146.59 \text{ kNm} \\
 &= 17672.70 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.3.2.2(1)

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_{LT} &= \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \\
 &= \sqrt{\frac{8156.24 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{17672.70 \text{ kNm}}} \\
 &= 0.405
 \end{aligned}$$

6.3.2.2(1)

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mcr} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{cr}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kNm}}{17672.70 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

6.3.2.2(4)

$$\eta_{Mcr} \leq (\bar{\lambda}_{LT,0})^2$$

Efekty wyboczenia można pominąć zgodnie z EN 1993-1-1, 6.3.2.2(4).

$$\chi_{LT} = 1$$

$$\begin{aligned}
 N_{Rk} &= A \cdot f_y \\
 &= 606.00 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 21513.000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.3, Tab. 6.7

$$\begin{aligned}
 M_{y,Rk} &= W_{pl,y} \cdot f_y \\
 &= 8156.24 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 2895.47 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.3.3, Tab. 6.7

$$\begin{aligned}
 a_{h,y} &= \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} \\
 &= \frac{-59.47 \text{ kNm}}{-146.38 \text{ kNm}} \\
 &= 0.406
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 C_{my} &= 0.9 + 0.1 \cdot a_{h,y} \\
 &= 0.9 + 0.1 \cdot 0.406 \\
 &= 0.941
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 a_{h,y,LT} &= \frac{M_{h,y,LT}}{M_{s,y,LT}} \\
 &= \frac{0.10 \text{ kNm}}{-60.98 \text{ kNm}} \\
 &= -0.002
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 C_{mLT} &= 0.9 + 0.1 \cdot a_{h,y,LT} \\
 &= 0.9 + 0.1 \cdot -0.002 \\
 &= 0.900
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 k_{yy} &= C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= 0.941 \cdot \left(1 + (1.124 - 0.2) \cdot \frac{368.62 \text{ kN}}{0.41 \cdot \frac{21513.000 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 0.977
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{yy} &= \min \left(k_{yy}, C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right) \\
 &= \min \left(0.977, 0.941 \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{368.62 \text{ kN}}{0.41 \cdot \frac{21513.000 \text{ kN}}{1.00}} \right) \right) \\
 &= 0.972
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{zy} &= 1 - 0.1 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{c,Ed}}{(C_{mLT} - 0.25) \cdot \chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 1 - 0.1 \cdot 1.335 \cdot \frac{368.62 \text{ kN}}{(0.900 - 0.25) \cdot 0.33 \cdot \frac{21513.000 \text{ kN}}{1.00}} \\
 &= 0.989
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 k_{zy} &= \max \left(k_{zy}, 1 - 0.1 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{(C_{mLT} - 0.25) \cdot \chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= \max \left(0.989, 1 - 0.1 \cdot \frac{368.62 \text{ kN}}{(0.900 - 0.25) \cdot 0.33 \cdot \frac{21513.000 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 0.992
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 \eta_{N6.61} &= \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= \frac{368.62 \text{ kN}}{0.41 \cdot \frac{21513.000 \text{ kN}}{1.00}} \\
 &= 0.042
 \end{aligned}$$

6.3.3(4), Ro wn. 5.61

$$\begin{aligned}
 \eta_{My6.61} &= k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 0.972 \cdot \frac{146.59 \text{ kNm}}{1.00 \cdot \frac{2895.47 \text{ kNm}}{1.00}} \\
 &= 0.049
 \end{aligned}$$

6.3.3(4), Ro wn. 5.61

$$\begin{aligned}\eta_{6.61} &= \eta_{N6.61} + \eta_{My6.61} \\ &= 0.042 + 0.049 \\ &= 0.091\end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 6.61

$$\begin{aligned}\eta_{N6.62} &= \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ &= \frac{368.62 \text{ kN}}{0.33 \cdot \frac{21513.000 \text{ kN}}{1.00}} \\ &= 0.052\end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 6.62

$$\begin{aligned}\eta_{My6.62} &= k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ &= 0.992 \cdot \frac{146.59 \text{ kNm}}{1.00 \cdot \frac{2895.47 \text{ kNm}}{1.00}} \\ &= 0.050\end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 6.62

$$\begin{aligned}\eta_{6.62} &= \eta_{N6.62} + \eta_{My6.62} \\ &= 0.052 + 0.050 \\ &= 0.103\end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 6.62

$$\begin{aligned}\eta &= \max(\eta_{6.61}, \eta_{6.62}) \\ &= \max(0.091, 0.103) \\ &= 0.103\end{aligned}$$

6.3.3(4), równ. 6.61, 6.62

$$\eta = 0.103 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{cr,y}$	Sprężysta siła krytyczna
E	Moduł sprężystości
I_y	Moment bezwładności
$L_{cr,y}$	Długość wyboczenia
$\bar{\lambda}_y$	Smukłość bezwymiarowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
Φ_y	Parametr krzywej niestateczności χ
α_y	Współczynnik imperfekcji
χ_y	Współczynnik redukcyjny dla wyboczenia
$N_{cr,z}$	Sprężysta siła krytyczna
I_z	Moment bezwładności
$L_{cr,z}$	Długość wyboczenia
$\bar{\lambda}_z$	Smukłość bezwymiarowa
Φ_z	Parametr krzywej niestateczności χ
α_z	Współczynnik imperfekcji
χ_z	Współczynnik redukcyjny
M_{cr}	Sprężysty moment krytyczny zwichrzenia
α_{cr}	Mnożnik
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na przęcie lub zbiorze)
$\bar{\lambda}_{LT}$	Smukłość bezwymiarowa
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
$\eta_{M_{cr}}$	Kryterium $M_{y,Ed} / M_{cr}$
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	Smukłość graniczna
χ_{LT}	Współczynnik redukcyjny dla zwichrzenia
N_{Rk}	Charakterystyczna nośność na ściskanie
$M_{y,Rk}$	Wartość charakterystyczna nośności na momenty zginające
α_{ny}	Współczynnik
$M_{h,y}$	Moment podporowy
$M_{s,y}$	Moment przęsłowy
C_{my}	Współczynnik równoważnego stałego momentu
$\alpha_{ny,LT}$	Współczynnik
$M_{h,y,LT}$	Moment podporowy
$M_{s,y,LT}$	Moment przęsłowy
C_{mLT}	Współczynnik równoważnego stałego momentu
k_{yy}	Współczynnik interakcji
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
γ_{M1}	Współczynnik częściowy
k_{zy}	Współczynnik interakcji

$\eta_{N\ 6.61}$	Składowa obliczeń dla N
$\eta_{My\ 6.61}$	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na segmencie)
$\eta_{6.61}$	Stopień wykorzystania
$\eta_{N\ 6.62}$	Składowa obliczeń dla N
$\eta_{My\ 6.62}$	Składowa obliczeń dla M_y
$\eta_{6.62}$	Stopień wykorzystania

Warunek projektowy SE0100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowalność
Pomijalne ugięciaKombinacja: charakterystyczna
Typ segmentu w osi z: belka
Typ segmentu w osi y: belka
Ugięcie w kierunku z można pominąć.
Ugięcie w kierunku y można pominąć.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

Warunek projektowy SE1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowość

Ugięcia w kierunku z

Kombinacja: charakterystyczna

$$\begin{aligned}w_{lim} &= \frac{L}{L/w_{lim}} \\&= \frac{24.559 \text{ m}}{300.00} \\&= 81.9 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{|w_{tot,z}|}{w_{lim}} \\&= \frac{|-24.6 \text{ mm}|}{81.9 \text{ mm}} \\&= 0.301\end{aligned}$$

$$\eta = 0.301 \leq 1 \quad \checkmark$$

 w_{lim} Wartość graniczna ugięcia L Długość referencyjna L / w_{lim} Względna wartość graniczna ugięcia $w_{tot,z}$ Ugięcie całkowite

Warunek projektowy SE1200 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowalność

Ugięcia w kierunku y

Kombinacja: charakterystyczna

$$\begin{aligned}w_{lim} &= \frac{L}{L/w_{lim}} \\&= \frac{24.559 \text{ m}}{300.00} \\&= 81.9 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{|w_{tot,y}|}{w_{lim}} \\&= \frac{|-3.7 \text{ mm}|}{81.9 \text{ mm}} \\&= 0.045\end{aligned}$$

$$\eta = 0.045 \leq 1 \quad \checkmark$$

 w_{lim} Wartość graniczna ugięcia L Długość referencyjna L / w_{lim} Względna wartość graniczna ugięcia $w_{tot,y}$ Ugięcie całkowite



Analiza konstrukcji

KLIENT

Politechnika Wrocławska

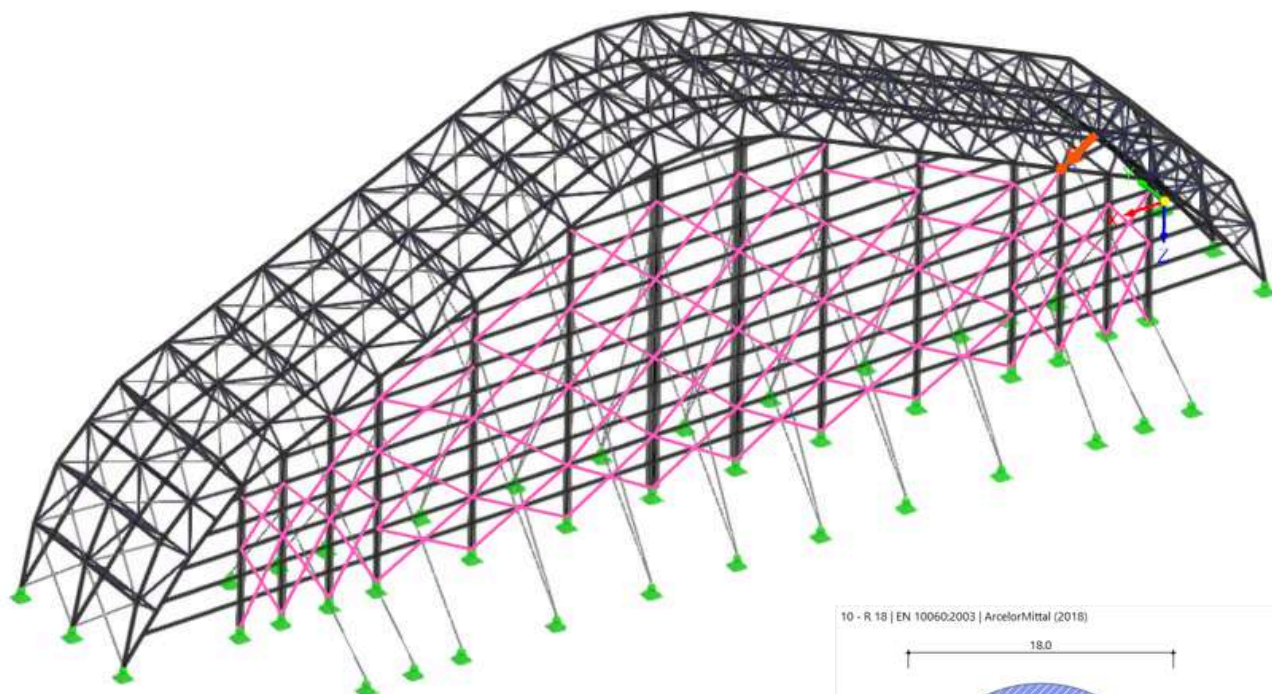
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

SPORZĄDZIŁ

Patrycja Piec

MODEL OBLICZENIOWY NR 2

Element 3 - Konstrukcja ściany szczytowej w osi "U" STĘŻENIE ŚCIENNE R18



10 - R 18 | EN 10060:2003 | ArcelorMittal (2018)

18.0

54

[mm]

Warunek projektowy SP0100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju
Pomijalne siły wewnętrzne

Ściskanie:

$$\begin{aligned}
 N_{pl,Rd} &= \frac{N_{pl}}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{90.170 \text{ kN}}{1.00} \\
 &= 90.170 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}
 \eta_{Nc} &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} \\
 &= \frac{0.03 \text{ kN}}{90.170 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Nc} \leq \eta_{Nc,lim}$$

N_{Ed} można pominąć.

Ścinanie w osi y:

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{2.13 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 43.73 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kN}}{43.73 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Vy} \leq \eta_{Vy,lim}$$

V_{y,Ed} można pominąć.

Ścinanie w osi z:

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{2.13 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 43.73 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kN}}{43.73 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Vz} \leq \eta_{Vz,lim}$$

V_{z,Ed} można pominąć.

Napężenie styczne od skręcania:

$$\begin{aligned}
 \tau_{t,Rd} &= \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \\
 &= \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1.00} \\
 &= 204.959 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

6.2.6, Równ. 6.19

$$\begin{aligned}
 \eta_{\tau,t} &= \frac{|\tau_{t,Ed}|}{\tau_{t,Rd}} \\
 &= \frac{|0.000 \text{ N/mm}^2|}{204.959 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{\tau,t} \leq \eta_{\tau,t,lim}$$

T_{Ed} można pominąć.

Zginanie względem osi mocnej y:

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= \frac{M_{pl,y}}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{0.35 \text{ kNm}}{1.00} \\
 &= 0.35 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kNm}}{0.35 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{My} \leq \eta_{My,lim}$$

$M_{y,Ed}$ można pominąć.

Zginanie względem osi słabej z:

$$\begin{aligned}
 M_{pl,z,Rd} &= \frac{M_{pl,z}}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{0.35 \text{ kNm}}{1.00} \\
 &= 0.35 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz} &= \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kNm}}{0.35 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Mz} \leq \eta_{Mz,lim}$$

$M_{z,Ed}$ można pominąć.

Siły wewnętrzne są pomijalne.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{pl,Rd}$	Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa
N_{pl}	Plastyczna nośność osiowa
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Nc}	Składowa obliczeń dla N
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
$\eta_{Nc,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla N
$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
A_{vy}	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
f_y	Granica plastyczności
η_{vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$\eta_{vy,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla V_y
$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
A_{vz}	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
η_{vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$\eta_{vz,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla V_z
$\tau_{t,Rd}$	Obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie przy skręcaniu
$\eta_{\tau,t}$	Składowa obliczeń dla τ_t
$\tau_{t,Ed}$	Obliczeniowe naprężenie styczne od skręcania
$\eta_{\tau,t,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla τ_t
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$M_{pl,y}$	Plastyczna nośność na zginanie
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\eta_{My,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla M_y
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$M_{pl,z}$	Plastyczna nośność na zginanie
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\eta_{Mz,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla M_z

Warunek projektowy SP1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3

$$\begin{aligned}N_{pl,Rd} &= \frac{N_{pl}}{\gamma_{M0}} \\&= \frac{90.170 \text{ kN}}{1.00} \\&= 90.170 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_{t,Rd} &= N_{pl,Rd} \\&= 90.17 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \\&= \frac{83.47 \text{ kN}}{90.17 \text{ kN}} \\&= 0.926\end{aligned}$$

$$\eta = 0.926 \leq 1 \quad \checkmark$$

6.2.3, Równ. 6.6

6.2.3(2)

6.2.3, Równ. 6.5

 $N_{pl,Rd}$ Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa N_{pl} Plastyczna nośność osiowa γ_{M0} Współczynnik częściowy $N_{t,Rd}$ Obliczeniowa nośność na siłę osiową $N_{t,Ed}$ Obliczeniowa siła rozciągająca

Warunek projektowy SE0100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowność
Pomijalne ugięciaKombinacja: charakterystyczna
Typ segmentu w osi z: belka
Typ segmentu w osi y: belka
Ugięcie w kierunku z można pominąć.
Ugięcie w kierunku y można pominąć.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$



Analiza konstrukcji

KLIENT

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

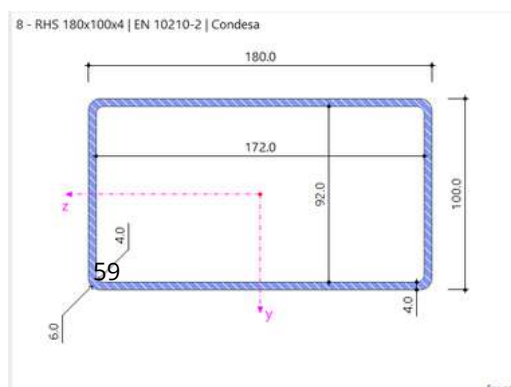
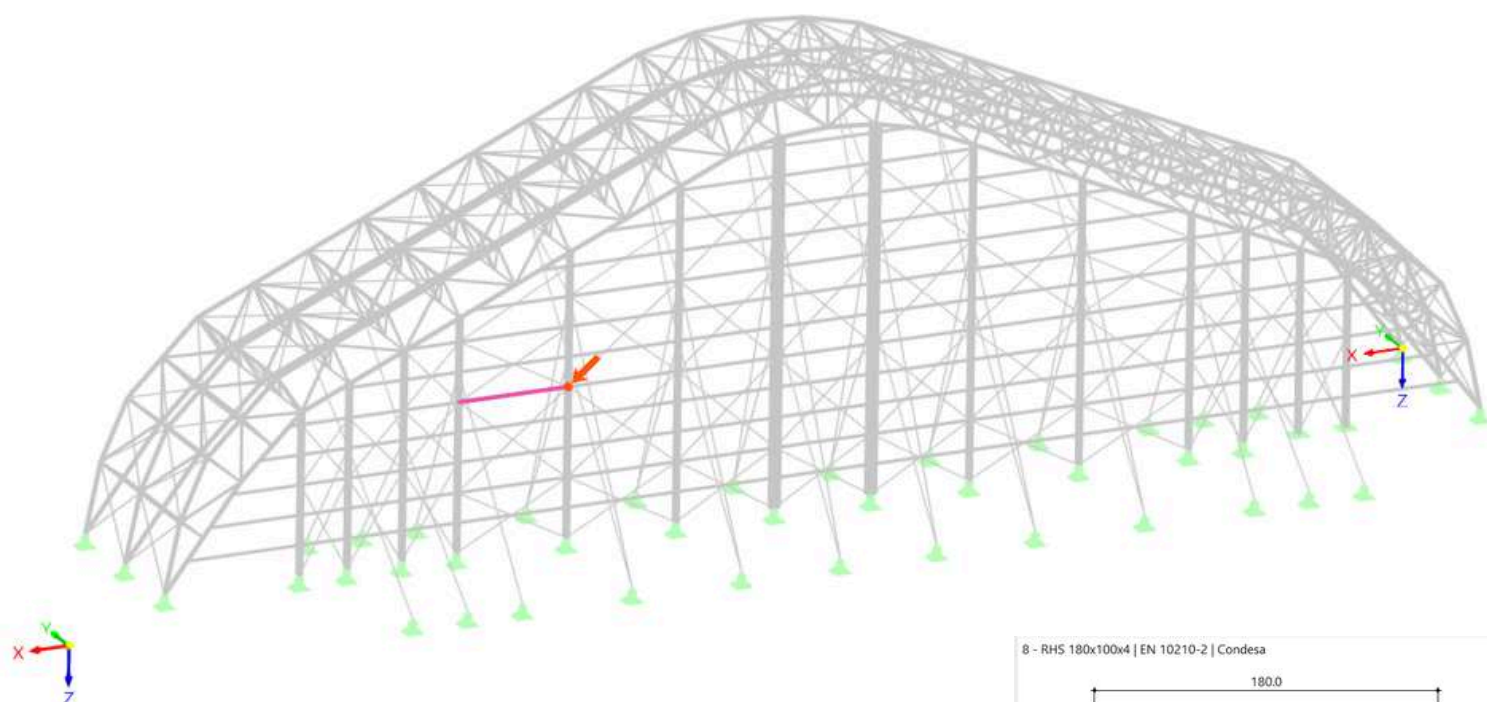
SPORZĄDZIŁ

Patrycja Piec

MODEL OBLICZENIOWY NR 2

Element 3 - Konstrukcja ściany szczytowej w osi "U"

RYGIEL RHS180x100x4



Warunek projektowy SP1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3

$$\begin{aligned}N_{pl,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\&= 21.60 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\&= 766.800 \text{ kN}\end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}N_{t,Rd} &= N_{pl,Rd} \\&= 766.80 \text{ kN}\end{aligned}$$

6.2.3(2)

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \\&= \frac{50.75 \text{ kN}}{766.80 \text{ kN}} \\&= 0.066\end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.5

$$\eta = 0.066 \leq 1 \quad \checkmark$$

 $N_{pl,Rd}$ Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa A Pole przekroju f_y Granica plastyczności γ_{M0} Współczynnik częściowy $N_{t,Rd}$ Obliczeniowa nośność na siłę osiową $N_{t,Ed}$ Obliczeniowa siła rozciągająca

Warunek projektowy SP1200 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Ściskanie wg EN 1993-1-1, 6.2.4

$$\begin{aligned} N_{c,Rd} &= A_{eff} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\ &= 19.36 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\ &= 687.32 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_N &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \\ &= \frac{37.02 \text{ kN}}{687.32 \text{ kN}} \\ &= 0.054 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_N \\ &= 0.054 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.054 \leq 1 \quad \checkmark$$

Równ. 6.11

6.2.4, Równ. 6.9

 $N_{c,Rd}$ Obliczeniowa nośność na siłę osiową A_{eff} Efektywne pole przekroju f_y Granica plastyczności γ_{M0} Współczynnik częściowy η_N Składowa obliczeń dla N $N_{c,Ed}$ Obliczeniowa siła ściskająca

Warunek projektowy SP3100.02 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Ścinanie w osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_{y,w}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{13.89 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 284.60 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{c,z,Rd} &= V_{pl,z,Rd} \\
 &= 284.60 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(1)

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} \\
 &= \frac{5.12 \text{ kN}}{284.60 \text{ kN}} \\
 &= 0.022
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_{Vz} \\
 &= 0.022
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.022 \leq 1 \quad \checkmark$$

$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,z}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,w}$	Granica plastyczności środnika
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
$V_{c,z,Rd}$	Nośność na ścinanie
η_{Vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca

Warunek projektowy SP3200.02 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Ścinanie w osi y wg EN 1993-1-1, 6.2.6(2) | Projektowanie plastyczne

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_{y,t}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{7.71 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 158.11 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 V_{c,y,Rd} &= V_{pl,y,Rd} \\
 &= 158.11 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(1)

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \\
 &= \frac{1.26 \text{ kN}}{158.11 \text{ kN}} \\
 &= 0.008
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \eta_{Vy} \\
 &= 0.008
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.008 \leq 1 \quad \checkmark$$

- $V_{pl,y,Rd}$ Obliczeniowa nośność na ścinanie
 $A_{v,y}$ Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
 $f_{y,t}$ Granica plastyczności pasa
 γ_{M0} Współczynnik częściowy
 $V_{c,y,Rd}$ Nośność na ścinanie
 η_{Vy} Składowa obliczeń dla V_y
 $V_{y,Ed}$ Obliczeniowa siła tnąca

Warunek projektowy SP3400.02 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.6(4) | Projektowanie sprężyste

$$\begin{aligned}\tau_{Rd} &= \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \\ &= \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1.00} \\ &= 204.959 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{|\tau_{Ed}|}{\tau_{Rd}} \\ &= \frac{|3.899 \text{ N/mm}^2|}{204.959 \text{ N/mm}^2} \\ &= 0.019\end{aligned}$$

$$\eta = 0.019 \leq 1 \quad \checkmark$$

6.2.6(4), Równ. 6.19

 τ_{Rd} Obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie f_y Granica plastyczności punktu naprężeń γ_{M0} Współczynnik częściowy τ_{Ed} Obliczeniowe naprężenie styczne

Warunek projektowy SP3500 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Wyboczenie przy ścinaniu wg EN 1993-1-5, 5.1, 5.2, 5.3 i 5.5

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h_w}{t_{w,min}} \\ &= \frac{172.0 \text{ mm}}{4.0 \text{ mm}} \\ &= 43.000\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{lim} &= \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon_w \\ &= \frac{72}{1.00} \cdot 0.81 \\ &= 58.580\end{aligned}$$

$$\lambda \leq \lambda_{lim}$$

Nie ma konieczności uwzględniania wyboczenia przy ścinaniu.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

EN 1993-1-1, 6.2.6(6), R)wn. 6.22

5.1(2)

 λ Smukłość środnika h_w Wysokość środnika między pasami $t_{w,min}$ Minimalna grubość środnika λ_{lim} Smukłość graniczna środnika η Współczynnik dla wyboczenia przy ścinaniu ε_w Współczynnik materiałowy dla środnika

Warunek projektowy SP6200 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju
Zginanie, siła osiowa i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.2, 6.2.9.3, 6.2.10 | Projektowanie sprężyste

$\sigma_{x,Rd}$

=

f_y

γ_{M0}

$=$

$\frac{355.000\text{ N/mm}^2}{1.00}$

$=$

355.000 N/mm^2

η

=

$\frac{|\sigma_{x,Ed}|}{\sigma_{x,Rd}}$

$=$

$\frac{|156.031\text{ N/mm}^2|}{355.000\text{ N/mm}^2}$

$=$

0.440

η

=

$0.440 \leq 1$



6.2.9.2, 6.2.9.3, 6.2.10

- $\sigma_{x,Rd}$

Obliczeniowa wytrzymałość osiowa
- f_y

Granica plastyczności punktu naprężeń
- γ_{M0}

Współczynnik częściowy
- $\sigma_{x,Ed}$

Obliczeniowe naprężenie osiowe

Warunek projektowy ST1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Wyboczenie giętne względem głównej osi y wg EN 1993-1-1, 6.3.1

$$\begin{aligned}
 N_{cr,y} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_y}{(L_{cr,y})^2} & 6.3.1.2(1) \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{945.00 \text{ cm}^4}{(7.500 \text{ m})^2} \\
 &= 348.20 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_y &= \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr,y}}} & 6.3.1.3(1) \\
 &= \sqrt{\frac{19.36 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{348.20 \text{ kN}}} \\
 &= 1.405
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{N_{cr,y}} &= \gamma_{M1} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{cr,y}} & 6.3.1.2(4) \\
 &= 1.00 \cdot \frac{37.02 \text{ kN}}{348.20 \text{ kN}} \\
 &= 0.106
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_y &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + (\bar{\lambda}_y)^2 \right] & 6.3.1.2(1) \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.210 \cdot (1.405 - 0.2) + (1.405)^2 \right] \\
 &= 1.613
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \chi_y &= \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y)^2 - (\bar{\lambda}_y)^2}} & 6.3.1.2(1), \text{ Równ. 6.49} \\
 &= \frac{1}{1.613 + \sqrt{(1.613)^2 - (1.405)^2}} \\
 &= 0.42
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{b,y,Rd} &= \chi_y \cdot A_{eff} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} & 6.3.1.1(3) \\
 &= 0.42 \cdot 19.36 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 285.57 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} & 6.3.1 \\
 &= \frac{37.02 \text{ kN}}{285.57 \text{ kN}} \\
 &= 0.130
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.130 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{cr,y}$	Sprężysta siła krytyczna
E	Moduł sprężystości
I_y	Moment bezwładności
$L_{cr,y}$	Długość wyboczenia
$\bar{\lambda}_y$	Smukłość bezwymiarowa
A_{eff}	Efektywne pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
$\eta_{N_{cr,y}}$	Kryterium $N_{Ed} / N_{cr,y}$
γ_{M1}	Współczynnik częściowy
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
Φ_y	Parametr krzywej niestateczności χ
α_y	Współczynnik imperfekcji
χ_y	Współczynnik redukcyjny dla wyboczenia
$N_{b,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na wyboczenie pręta ściskanego

Warunek projektowy ST1300 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Wyboczenie giętne względem głównej osi z wg EN 1993-1-1, 6.3.1

$$\begin{aligned}
 N_{cr,z} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_z}{(L_{cr,z})^2} & 6.3.1.2(1) \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{379.00 \text{ cm}^4}{(7.500 \text{ m})^2} \\
 &= 139.65 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_z &= \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr,z}}} & 6.3.1.3(1) \\
 &= \sqrt{\frac{19.36 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{139.65 \text{ kN}}} \\
 &= 2.219
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{N_{cr,z}} &= \gamma_{M1} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{cr,z}} & 6.3.1.2(4) \\
 &= 1.00 \cdot \frac{37.02 \text{ kN}}{139.65 \text{ kN}} \\
 &= 0.265
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_z &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - 0.2) + (\bar{\lambda}_z)^2 \right] & 6.3.1.2(1) \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.210 \cdot (2.219 - 0.2) + (2.219)^2 \right] \\
 &= 3.173
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \chi_z &= \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z)^2 - (\bar{\lambda}_z)^2}} & 6.3.1.2(1), \text{ Równ. 6.49} \\
 &= \frac{1}{3.173 + \sqrt{(3.173)^2 - (2.219)^2}} \\
 &= 0.18
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{b,z,Rd} &= \chi_z \cdot A_{eff} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} & 6.3.1.1(3) \\
 &= 0.18 \cdot 19.36 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\
 &= 126.32 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,z,Rd}} & 6.3.1 \\
 &= \frac{37.02 \text{ kN}}{126.32 \text{ kN}} \\
 &= 0.293
 \end{aligned}$$

$$\eta = 0.293 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{cr,z}$	Sprężysta siła krytyczna
E	Moduł sprężystości
I_z	Moment bezwładności
$L_{cr,z}$	Długość wyboczenia
$\bar{\lambda}_z$	Smukłość bezwymiarowa
A_{eff}	Efektywne pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
$\eta_{N_{cr,z}}$	Kryterium $N_{Ed} / N_{cr,z}$
γ_{M1}	Współczynnik częściowy
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
Φ_z	Parametr krzywej niestateczności χ
α_z	Współczynnik imperfekcji
χ_z	Współczynnik redukcyjny
$N_{b,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na wyboczenie pręta ściskanego

Warunek projektowy ST3100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Zginanie i wyboczenie względem osi głównych wg EN 1993-1-1, 6.3.3

$$\begin{aligned}
 N_{cr,y} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_y}{(L_{cr,y})^2} \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{945.00 \text{ cm}^4}{(7.500 \text{ m})^2} \\
 &= 348.20 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1)

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_y &= \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr,y}}} \\
 &= \sqrt{\frac{19.36 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{348.20 \text{ kN}}} \\
 &= 1.405
 \end{aligned}$$

6.3.1.3(1)

$$\begin{aligned}
 \Phi_y &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + (\bar{\lambda}_y)^2 \right] \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.210 \cdot (1.405 - 0.2) + (1.405)^2 \right] \\
 &= 1.613
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1)

$$\begin{aligned}
 \chi_y &= \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y)^2 - (\bar{\lambda}_y)^2}} \\
 &= \frac{1}{1.613 + \sqrt{(1.613)^2 - (1.405)^2}} \\
 &= 0.42
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1), Równ. 6.49

$$\begin{aligned}
 N_{cr,z} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_z}{(L_{cr,z})^2} \\
 &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{379.00 \text{ cm}^4}{(7.500 \text{ m})^2} \\
 &= 139.65 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1)

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_z &= \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr,z}}} \\
 &= \sqrt{\frac{19.36 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{139.65 \text{ kN}}} \\
 &= 2.219
 \end{aligned}$$

6.3.1.3(1)

$$\begin{aligned}
 \Phi_z &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - 0.2) + (\bar{\lambda}_z)^2 \right] \\
 &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.210 \cdot (2.219 - 0.2) + (2.219)^2 \right] \\
 &= 3.173
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1)

$$\begin{aligned}
 \chi_z &= \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z)^2 - (\bar{\lambda}_z)^2}} \\
 &= \frac{1}{3.173 + \sqrt{(3.173)^2 - (2.219)^2}} \\
 &= 0.18
 \end{aligned}$$

6.3.1.2(1), Równ. 6.49

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \alpha_{cr} \cdot M_{y,Ed} \\
 &= 41.16 \cdot 8.33 \text{ kNm} \\
 &= 342.92 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.3.2.2(1)

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda}_{LT} &= \sqrt{\frac{W_{eff,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \\
 &= \sqrt{\frac{104.78 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{342.92 \text{ kNm}}} \\
 &= 0.329
 \end{aligned}$$

6.3.2.2(1)

$$\begin{aligned}
 \eta_{M_{cr}} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{cr}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kNm}}{342.92 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

6.3.2.2(4)

$$\eta_{M_{cr}} \leq (\bar{\lambda}_{LT,0})^2$$

Efekty wyboczenia można pominąć zgodnie z EN 1993-1-1, 6.3.2.2(4).

$$\chi_{LT} = 1$$

$$\begin{aligned}
 N_{Rk} &= A_{eff} \cdot f_y \\
 &= 19.36 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 687.315 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.3.3, Tab. 6.7

$$\begin{aligned}
 M_{y,Rk} &= W_{eff,y} \cdot f_y \\
 &= 104.78 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 37.20 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.3.3, Tab. 6.7

$$\begin{aligned}
 M_{z,Rk} &= W_{eff,z} \cdot f_y \\
 &= 65.60 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 23.29 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.3.3, Tab. 6.7

$$\begin{aligned}
 a_{h,y} &= \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kNm}}{-8.33 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 C_{my} &= 0.95 + 0.05 \cdot a_{h,y} \\
 &= 0.95 + 0.05 \cdot 0.000 \\
 &= 0.950
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 a_{h,y,LT} &= \frac{M_{h,y,LT}}{M_{s,y,LT}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kNm}}{-8.33 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 C_{mLT} &= 0.95 + 0.05 \cdot a_{h,y,LT} \\
 &= 0.95 + 0.05 \cdot 0.000 \\
 &= 0.950
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 a_{h,z} &= \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kNm}}{-2.01 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 C_{mz} &= 0.95 + 0.05 \cdot a_{h,z} \\
 &= 0.95 + 0.05 \cdot 0.000 \\
 &= 0.950
 \end{aligned}$$

Tabl. B.3

$$\begin{aligned}
 k_{yy} &= C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= 0.950 \cdot \left(1 + 0.6 \cdot 1.405 \cdot \frac{32.81 \text{ kN}}{0.42 \cdot \frac{687.315 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 1.042
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{yy} &= \min \left(k_{yy}, C_{my} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right) \\
 &= \min \left(1.042, 0.950 \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{32.81 \text{ kN}}{0.42 \cdot \frac{687.315 \text{ kN}}{1.00}} \right) \right) \\
 &= 1.015
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{yz} &= C_{mz} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= 0.950 \cdot \left(1 + 0.6 \cdot 2.219 \cdot \frac{32.81 \text{ kN}}{0.18 \cdot \frac{687.315 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 1.278
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 k_{yz} &= \min \left(k_{yz}, C_{mz} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right) \\
 &= \min \left(1.278, 0.950 \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{32.81 \text{ kN}}{0.18 \cdot \frac{687.315 \text{ kN}}{1.00}} \right) \right) \\
 &= 1.098
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 k_{zy} &= 1 - 0.05 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{c,Ed}}{(C_{mLT} - 0.25) \cdot \chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 1 - 0.05 \cdot 2.219 \cdot \frac{32.81 \text{ kN}}{(0.950 - 0.25) \cdot 0.18 \cdot \frac{687.315 \text{ kN}}{1.00}} \\
 &= 0.959
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 k_{zy} &= \max \left(k_{zy}, 1 - 0.05 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{(C_{mLT} - 0.25) \cdot \chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= \max \left(0.959, 1 - 0.05 \cdot \frac{32.81 \text{ kN}}{(0.950 - 0.25) \cdot 0.18 \cdot \frac{687.315 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 0.981
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 k_{zz} &= C_{mz} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= 0.950 \cdot \left(1 + 0.6 \cdot 2.219 \cdot \frac{32.81 \text{ kN}}{0.18 \cdot \frac{687.315 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 1.278
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 k_{zz} &= \min \left(k_{zz}, C_{mz} \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right) \\
 &= \min \left(1.278, 0.950 \cdot \left(1 + 0.6 \cdot \frac{32.81 \text{ kN}}{0.18 \cdot \frac{687.315 \text{ kN}}{1.00}} \right) \right) \\
 &= 1.098
 \end{aligned}$$

6.3.3(4)

$$\begin{aligned}
 \eta_{N6.61} &= \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= \frac{32.81 \text{ kN}}{0.42 \cdot \frac{687.315 \text{ kN}}{1.00}} \\
 &= 0.115
 \end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 5.61

$$\begin{aligned}
 \eta_{My6.61} &= k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 1.015 \cdot \frac{8.33 \text{ kNm}}{1.00 \cdot \frac{37.20 \text{ kNm}}{1.00}} \\
 &= 0.227
 \end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 5.61

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz6.61} &= k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 1.098 \cdot \frac{2.01 \text{ kNm}}{\frac{23.29 \text{ kNm}}{1.00}} \\
 &= 0.095
 \end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 5.61

$$\begin{aligned}
 \eta_{6.61} &= \eta_{N6.61} + \eta_{My6.61} + \eta_{Mz6.61} \\
 &= 0.115 + 0.227 + 0.095 \\
 &= 0.437
 \end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 5.61

$$\begin{aligned}
 \eta_{N6.62} &= \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= \frac{32.81 \text{ kN}}{0.18 \cdot \frac{687.315 \text{ kN}}{1.00}} \\
 &= 0.260
 \end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 5.62

$$\begin{aligned}
 \eta_{My6.62} &= k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 0.981 \cdot \frac{8.33 \text{ kNm}}{1.00 \cdot \frac{37.20 \text{ kNm}}{1.00}} \\
 &= 0.220
 \end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 5.62

$$\begin{aligned}\eta_{Mz6.62} &= k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \\ &= 1.098 \cdot \frac{2.01 \text{ kNm}}{23.29 \text{ kNm}} \\ &= 0.095\end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 5.62

$$\begin{aligned}\eta_{6.62} &= \eta_{N6.62} + \eta_{My6.62} + \eta_{Mz6.62} \\ &= 0.260 + 0.220 + 0.095 \\ &= 0.575\end{aligned}$$

6.3.3(4), Równ. 5.62

$$\begin{aligned}\eta &= \max(\eta_{6.61}, \eta_{6.62}) \\ &= \max(0.437, 0.575) \\ &= 0.575\end{aligned}$$

6.3.3(4), równ. 6.61, 6.62

$$\eta = 0.575 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{cr,y}$	Sprężysta siła krytyczna
E	Moduł sprężystości
I_y	Moment bezwładności
$L_{cr,y}$	Długość wybowoczenia
$\bar{\lambda}_y$	Smukłość bezwymiarowa
A_{eff}	Efektywne pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
Φ_y	Parametr krzywej niestateczności χ
α_y	Współczynnik imperfekcji
χ_y	Współczynnik redukcji dla wybowoczenia
$N_{cr,z}$	Sprężysta siła krytyczna
I_z	Moment bezwładności
$L_{cr,z}$	Długość wybowoczenia
$\bar{\lambda}_z$	Smukłość bezwymiarowa
Φ_z	Parametr krzywej niestateczności χ
α_z	Współczynnik imperfekcji
χ_z	Współczynnik redukcji
M_{cr}	Sprężysty moment krytyczny zwichrzenia
α_{cr}	Mnożnik
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na przęcie lub zbiorze)
$\bar{\lambda}_{LT}$	Smukłość bezwymiarowa
$W_{eff,y}$	Efektywny wskaźnik wytrzymałości
$\eta_{M_{cr}}$	Kryterium $M_{y,Ed} / M_{cr}$
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	Smukłość graniczna
χ_{LT}	Współczynnik redukcji dla zwichrzenia
N_{Rk}	Charakterystyczna nośność na ściskanie
$M_{y,Rk}$	Wartość charakterystyczna nośności na momenty zginające
$M_{z,Rk}$	Wartość charakterystyczna nośności na momenty zginające
$W_{eff,z}$	Efektywny wskaźnik wytrzymałości
$\alpha_{h,y}$	Współczynnik
$M_{h,y}$	Moment podporowy
$M_{s,y}$	Moment przesłowy
C_{my}	Współczynnik równoważnego stałego momentu
$\alpha_{h,y,LT}$	Współczynnik
$M_{h,y,LT}$	Moment podporowy
$M_{s,y,LT}$	Moment przesłowy
C_{mLT}	Współczynnik równoważnego stałego momentu
$\alpha_{h,z}$	Współczynnik
$M_{h,z}$	Moment podporowy
$M_{s,z}$	Moment przesłowy
C_{mz}	Współczynnik równoważnego stałego momentu
k_{yy}	Współczynnik interakcji
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
γ_{M1}	Współczynnik częściowy
k_{y2}	Współczynnik interakcji
k_{zy}	Współczynnik interakcji
k_{zz}	Współczynnik interakcji
$\eta_{N 6.61}$	Składowe obliczeń dla N
$\eta_{My 6.61}$	Składowe obliczeń dla M_y

$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na segmencie)
$\eta_{Mz\ 6.61}$	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na segmencie)
$\eta_{6.61}$	Stopień wykorzystania
$\eta_N\ 6.62$	Składowa obliczeń dla N
$\eta_{My\ 6.62}$	Składowa obliczeń dla M_y
$\eta_{Mz\ 6.62}$	Składowa obliczeń dla M_z
$\eta_{6.62}$	Stopień wykorzystania

Warunek projektowy SE0100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowalność
Pomijalne ugięciaKombinacja: charakterystyczna
Typ segmentu w osi z: belka
Typ segmentu w osi y: belka
Ugięcie w kierunku z można pominąć.
Ugięcie w kierunku y można pominąć.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

Warunek projektowy SE1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowalność

Ugięcia w kierunku z

Kombinacja: charakterystyczna

$$\begin{aligned}w_{lim} &= \frac{L}{L/w_{lim}} \\&= \frac{7.500\text{ m}}{300.00} \\&= 25.0\text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{|w_{tot,z}|}{w_{lim}} \\&= \frac{|22.7\text{ mm}|}{25.0\text{ mm}} \\&= 0.906\end{aligned}$$

$$\eta = 0.906 \leq 1 \quad \checkmark$$

 w_{lim} Wartość graniczna ugięcia L Długość referencyjna L / w_{lim} Względna wartość graniczna ugięcia $w_{tot,z}$ Ugięcie całkowite

Warunek projektowy SE1200 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowalność

Ugięcia w kierunku y

Kombinacja: charakterystyczna

$$\begin{aligned}w_{lim} &= \frac{L}{L/w_{lim}} \\&= \frac{7.500\text{ m}}{300.00} \\&= 25.0\text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{|w_{tot,y}|}{w_{lim}} \\&= \frac{|13.0\text{ mm}|}{25.0\text{ mm}} \\&= 0.518\end{aligned}$$

$$\eta = 0.518 \leq 1 \quad \checkmark$$

 w_{lim} Wartość graniczna ugięcia L Długość referencyjna L / w_{lim} Względna wartość graniczna ugięcia $w_{tot,y}$ Ugięcie całkowite



Analiza konstrukcji

KLIENT

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

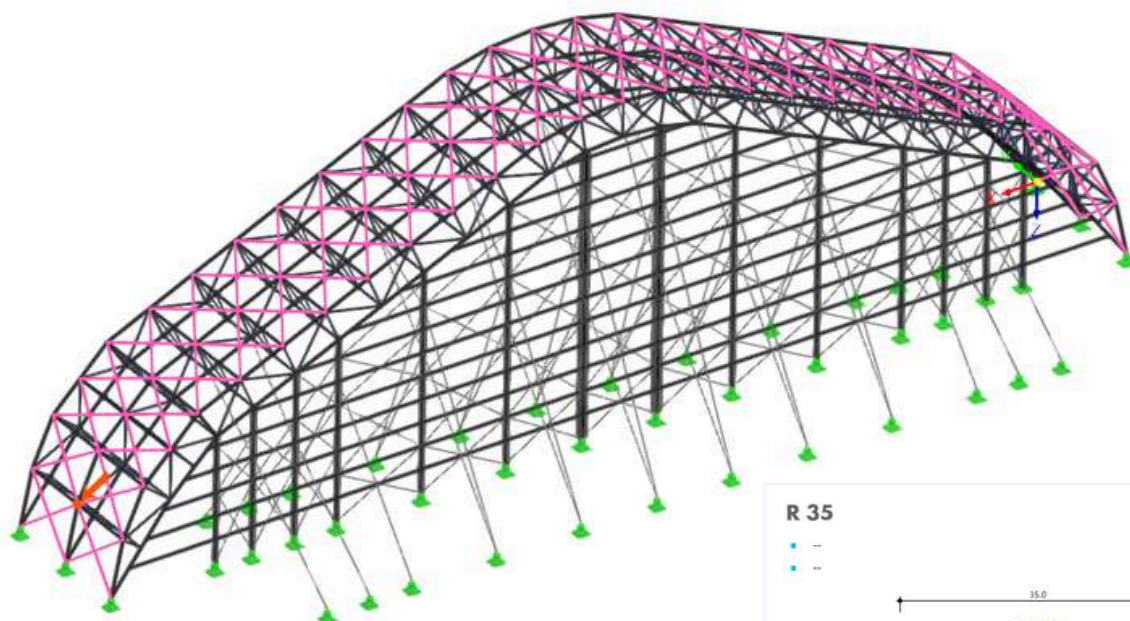
SPORZĄDZIŁ

Patrycja Piec

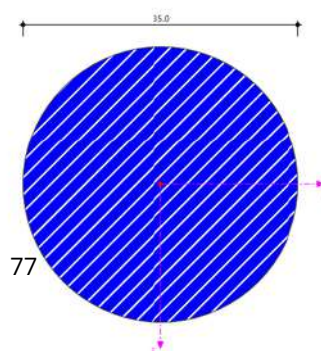
MODEL OBLICZENIOWY NR 2

Element 4 - Stężenie połaciowe typu X

R35



R 35



[mm]

Warunek projektowy SP0100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju
Pomijalne siły wewnętrzne

Rozciąganie:

$$\begin{aligned}
 N_{pl,Rd} &= \frac{N_{pl}}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{341.510 \text{ kN}}{1.00} \\
 &= 341.510 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}
 \eta_{Nt} &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} \\
 &= \frac{0.05 \text{ kN}}{341.510 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Nt} \leq \eta_{Nt,lim}$$

 N_{Ed} można pominąć.

Ścinanie w osi y:

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{8.08 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 165.62 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kN}}{165.62 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Vy} \leq \eta_{Vy,lim}$$

 $V_{y,Ed}$ można pominąć.

Ścinanie w osi z:

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{8.08 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 165.62 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kN}}{165.62 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Vz} \leq \eta_{Vz,lim}$$

 $V_{z,Ed}$ można pominąć.

Napężenie styczne od skręcania:

$$\begin{aligned}
 \tau_{t,Rd} &= \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \\
 &= \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1.00} \\
 &= 204.959 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

6.2.6, Równ. 6.19

$$\begin{aligned}
 \eta_{\tau,t} &= \frac{|\tau_{t,Ed}|}{\tau_{t,Rd}} \\
 &= \frac{|0.000 \text{ N/mm}^2|}{204.959 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{\tau,t} \leq \eta_{\tau,t,lim}$$

 T_{Ed} można pominąć.

Zginanie względem osi mocnej y:

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= \frac{M_{pl,y}}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{2.54 \text{ kNm}}{1.00} \\
 &= 2.54 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kNm}}{2.54 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{My} \leq \eta_{My,lim}$$

$M_{y,Ed}$ można pominąć.

Zginanie względem osi słabej z:

$$\begin{aligned}
 M_{pl,z,Rd} &= \frac{M_{pl,z}}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{2.54 \text{ kNm}}{1.00} \\
 &= 2.54 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz} &= \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kNm}}{2.54 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Mz} \leq \eta_{Mz,lim}$$

$M_{z,Ed}$ można pominąć.

Siły wewnętrzne są pomijalne.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{pl,Rd}$	Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa
N_{pl}	Plastyczna nośność osiowa
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Nt}	Składowa obliczeń dla N
$N_{t,Ed}$	Obliczeniowa siła rozciągająca
$\eta_{Nt,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla N
$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
A_{vy}	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
f_y	Granica plastyczności
η_{vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$\eta_{vy,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla V_y
$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
A_{vz}	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
η_{vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$\eta_{vz,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla V_z
$\tau_{t,Rd}$	Obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie przy skręcaniu
$\eta_{\tau,t}$	Składowa obliczeń dla τ_t
$\tau_{t,Ed}$	Obliczeniowe naprężenie styczne od skręcania
$\eta_{\tau,t,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla τ_t
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$M_{pl,y}$	Plastyczna nośność na zginanie
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\eta_{My,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla M_y
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$M_{pl,z}$	Plastyczna nośność na zginanie
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\eta_{Mz,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla M_z

A PRĘT NR 1357 | SO1 | KO40 | 7.647 M | SP1100

Projektowanie konstrukcji stalowych

Warunek projektowy SP1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3

$$\begin{aligned} N_{pl,Rd} &= \frac{N_{pl}}{\gamma_{M0}} \\ &= \frac{341.510 \text{ kN}}{1.00} \\ &= 341.510 \text{ kN} \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned} N_{t,Rd} &= N_{pl,Rd} \\ &= 341.51 \text{ kN} \end{aligned}$$

6.2.3(2)

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \\ &= \frac{206.27 \text{ kN}}{341.51 \text{ kN}} \\ &= 0.604 \end{aligned}$$

6.2.3, Równ. 6.5

$$\eta = 0.604 \leq 1 \quad \checkmark$$

 $N_{pl,Rd}$ Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa

 N_{pl} Plastyczna nośność osiowa

 γ_{M0} Współczynnik częściowy

 $N_{t,Rd}$ Obliczeniowa nośność na siłę osiową

 $N_{t,Ed}$ Obliczeniowa siła rozciągająca



Analiza konstrukcji

KLIENT

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

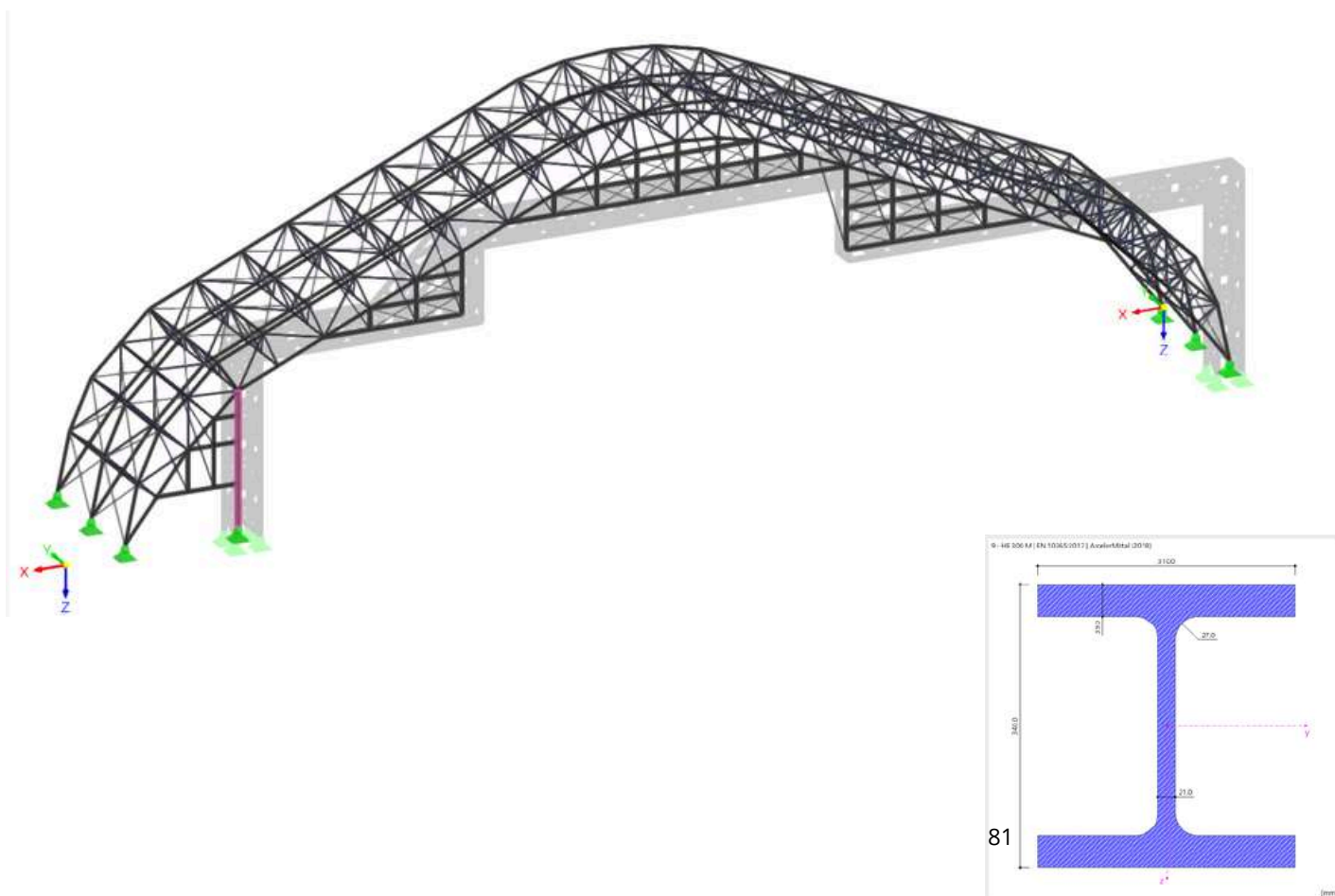
SPORZĄDZIŁ

Patrycja Piec

MODEL OBLICZENIOWY NR 3

Element 5 - Konstrukcja ściany szczytowej w osi "A"

SŁUP HEM300



Warunek projektowy SP5100.03 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju
Zginanie względem osi z wg EN 1993-1-1, 6.2.5 | Projektowanie plastyczne

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_{y,f}}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

$$= \frac{241.80 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}}\right)}{1.00}$$

$$= 4955.92 \text{ kN}$$

[1], 6.2.6(2), Równ. 6.18

$$V_{pl,y,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\left|\tau_{t,f,Ed}\right|}{\frac{f_{y,f}}{1.25 \cdot \frac{\sqrt{3}}{\gamma_{M0}}}}} \cdot V_{pl,y,Rd}$$

$$= \sqrt{1 - \frac{\left|-3.621 \text{ N/mm}^2\right|}{\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.25 \cdot \frac{\sqrt{3}}{1.00}}}} \cdot 4955.92 \text{ kN}$$

$$= 4920.77 \text{ kN}$$

[1], 6.2.7(9), Równ. 6.26

$$V_{y,Rd,min} = \min(V_{pl,y,Rd}, V_{pl,y,T,Rd})$$

$$= \min(4955.92 \text{ kN}, 4920.77 \text{ kN})$$

$$= 4920.77 \text{ kN}$$

$$\eta_{Vy} = \frac{V_{y,Ed}}{V_{y,Rd,min}}$$

$$= \frac{33.45 \text{ kN}}{4920.77 \text{ kN}}$$

$$= 0.007$$

Zgodnie z EN 1993-1-1, 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w osi y jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza 50% nośności na ścinanie.

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= \frac{1913.00 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00}$$

$$= 679.11 \text{ kNm}$$

[1], 6.2.5, Równ. 6.13

$$\eta_{Mz} = \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$$

$$= \frac{114.34 \text{ kNm}}{679.11 \text{ kNm}}$$

$$= 0.168$$

$$\eta = \eta_{Mz}$$

$$= 0.168$$

$$\eta = 0.168 \leq 1 \quad \checkmark$$

$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$A_{v,y}$	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
$f_{y,f}$	Granica plastyczności pasa
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
$V_{pl,y,T,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$\tau_{t,f,Ed}$	Obliczeniowe naprężenie styczne przy skręcaniu w pasie
η_{Vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$V_{y,Rd,min}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
f_y	Granica plastyczności
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający

Odniesienia:

- [1] EN 1993-1-1:2005
[2] EN 1993-1-5:2006

Warunek projektowy SP6500.04 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Zginanie dwukierunkowe i ścinanie wg EN 1993-1-1, 6.2.9.1, 6.2.10 | Projektowanie plastyczne

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_{y,w}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$= \frac{90.55 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00}$$

$$= 1855.91 \text{ kN}$$

[1], 6.2.6(2), Równ. 6.18

$$V_{pl,z,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{|\tau_{t,w,Ed}|}{f_{y,w}} \cdot \frac{1.25 \cdot \frac{\sqrt{3}}{\gamma_{M0}}}{V_{pl,z,Rd}}}$$

$$= \sqrt{1 - \frac{|-1.814 \text{ N/mm}^2|}{\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}}} \cdot \frac{1.25 \cdot \frac{\sqrt{3}}{1.00}}{1855.91 \text{ kN}}}$$

$$= 1849.32 \text{ kN}$$

[1], 6.2.7(9), Równ. 6.25

$$V_{z,Rd,min} = \min(V_{pl,z,Rd}, V_{pl,z,T,Rd})$$

$$= \min(1855.91 \text{ kN}, 1849.32 \text{ kN})$$

$$= 1849.32 \text{ kN}$$

$$\eta_{Vz} = \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,Rd,min}}$$

$$= \frac{128.91 \text{ kN}}{1849.32 \text{ kN}}$$

$$= 0.070$$

Zgodnie z EN 1993-1-1, 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w kierunku osi z jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza połowy nośności na ścinanie.

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_{y,f}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$= \frac{241.80 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00}$$

$$= 4955.92 \text{ kN}$$

[1], 6.2.6(2), Równ. 6.18

$$V_{pl,y,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{|\tau_{t,f,Ed}|}{f_{y,f}} \cdot \frac{1.25 \cdot \frac{\sqrt{3}}{\gamma_{M0}}}{V_{pl,y,Rd}}}$$

$$= \sqrt{1 - \frac{|-3.369 \text{ N/mm}^2|}{\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}}} \cdot \frac{1.25 \cdot \frac{\sqrt{3}}{1.00}}{4955.92 \text{ kN}}}$$

$$= 4923.22 \text{ kN}$$

[1], 6.2.7(9), Równ. 6.25

$$V_{y,Rd,min} = \min(V_{pl,y,Rd}, V_{pl,y,T,Rd})$$

$$= \min(4955.92 \text{ kN}, 4923.22 \text{ kN})$$

$$= 4923.22 \text{ kN}$$

$$\eta_{Vy} = \frac{V_{y,Ed}}{V_{y,Rd,min}}$$

$$= \frac{28.10 \text{ kN}}{4923.22 \text{ kN}}$$

$$= 0.006$$

Zgodnie z EN 1993-1-1, 6.2.8(2) lub 6.2.10(2) wpływ siły ścinającej/naprężenia ścinającego w osi y jest pomijany, ponieważ jej/jego wartość nie przekracza 50% nośności na ścinanie.

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= \frac{4078.00 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00}$$

$$= 1447.69 \text{ kNm}$$

[1], 6.2.5, Równ. 6.13

$$M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= 1913.00 \text{ cm}^3 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00}$$

$$= 679.11 \text{ kNm}$$

[1], 6.2.5, Równ. 6.13

$$\alpha = 2$$

$$\beta = 5 \cdot n$$

$$= 5 \cdot 0.000$$

$$= 0.00$$

[1], 6.2.9.1(5)

$$\beta = \max(\beta, 1)$$

$$= \max(0.00, 1)$$

$$= 1.00$$

[1], 6.2.9.1(5)

$$\eta_{My} = \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right)^\alpha$$

$$= \left(\frac{472.28 \text{ kNm}}{1447.69 \text{ kNm}} \right)^{2.00}$$

$$= 0.106$$

$$\eta_{Mz} = \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \right)^\beta$$

$$= \left(\frac{96.06 \text{ kNm}}{679.11 \text{ kNm}} \right)^{1.00}$$

$$= 0.141$$

$$\eta = \eta_{My} + \eta_{Mz}$$

$$= 0.106 + 0.141$$

$$= 0.248$$

$$\eta = 0.248 \leq 1$$

- $V_{pl,z,Rd}$

Obliczeniowa nośność na ścinanie
- $A_{v,z}$

Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
- $f_{y,w}$

Granica plastyczności środniczka
- γ_{M0}

Współczynnik częściowy
- $V_{pl,z,T,Rd}$

Obliczeniowa nośność na ścinanie
- $\tau_{t,w,Ed}$

Obliczeniowe naprężenie styczne przy skręcaniu na środniczku
- η_{Vz}

Składowa obliczeń dla V_z
- $V_{z,Ed}$

Obliczeniowa siła tnąca
- $V_{z,Rd,min}$

Obliczeniowa nośność na ścinanie
- $V_{ply,Rd}$

Obliczeniowa nośność na ścinanie
- $A_{v,y}$

Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
- $f_{y,f}$

Granica plastyczności pasa
- $V_{ply,T,Rd}$

Obliczeniowa nośność na ścinanie
- $\tau_{t,f,Ed}$

Obliczeniowe naprężenie styczne przy skręcaniu w pasie
- η_{Vy}

Składowa obliczeń dla V_y
- $V_{y,Ed}$

Obliczeniowa siła tnąca
- $V_{y,Rd,min}$

Obliczeniowa nośność na ścinanie
- $M_{pl,y,Rd}$

Obliczeniowa nośność na zginanie
- $W_{pl,y}$

Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
- f_y

Granica plastyczności
- $M_{pl,z,Rd}$

Obliczeniowa nośność na zginanie
- $W_{pl,z}$

Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
- α

Parametr interakcji przy dwukierunkowym zginaniu
- β

Parametr interakcji przy dwukierunkowym zginaniu
- n

Stosunek obliczeniowej siły osiowej do obliczeniowej nośności plastycznej
- η_{My}

Składowa obliczeń dla M_y
- $M_{y,Ed}$

Obliczeniowy moment zginający
- η_{Mz}

Składowa obliczeń dla M_z
- $M_{z,Ed}$

Obliczeniowy moment zginający

Odniesienia:

[1] EN 1993-1-1:2005

[2] EN 1993-1-5:2006

Warunek projektowy ST3100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Stateczność

Zginanie i wyboczenie względem osi głównych wg EN 1993-1-1, 6.3.3

$$\begin{aligned} N_{cr,y} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_y}{(L_{cr,y})^2} & [1], 6.3.1.2(1) \\ &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{59200.00 \text{ cm}^4}{(10.813 \text{ m})^2} \\ &= 10494.70 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_y &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} & [1], 6.3.1.3(1) \\ &= \sqrt{\frac{303.10 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{10494.70 \text{ kN}}} \\ &= 1.013 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_y &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + (\bar{\lambda}_y)^2 \right] & [1], 6.3.1.2(1) \\ &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.340 \cdot (1.013 - 0.2) + (1.013)^2 \right] \\ &= 1.151 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \chi_y &= \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{(\Phi_y)^2 - (\bar{\lambda}_y)^2}} & [1], 6.3.1.2(1), \text{ Równ. 6.49} \\ &= \frac{1}{1.151 + \sqrt{(1.151)^2 - (1.013)^2}} \\ &= 0.59 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{cr,z} &= (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_z}{(L_{cr,z})^2} & [1], 6.3.1.2(1) \\ &= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{19400.00 \text{ cm}^4}{(10.813 \text{ m})^2} \\ &= 3439.15 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_z &= \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} & [1], 6.3.1.3(1) \\ &= \sqrt{\frac{303.10 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{3439.15 \text{ kN}}} \\ &= 1.769 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_z &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - 0.2) + (\bar{\lambda}_z)^2 \right] & [1], 6.3.1.2(1) \\ &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.490 \cdot (1.769 - 0.2) + (1.769)^2 \right] \\ &= 2.449 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \chi_z &= \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z)^2 - (\bar{\lambda}_z)^2}} & [1], 6.3.1.2(1), \text{ Równ. 6.49} \\ &= \frac{1}{2.449 + \sqrt{(2.449)^2 - (1.769)^2}} \\ &= 0.24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \alpha_{cr} \cdot M_{y,Ed} & [1], 6.3.2.2(1) \\ &= 4.22 \cdot 504.01 \text{ kNm} \\ &= 2127.98 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_{LT} &= \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} & [1], 6.3.2.2(1) \\ &= \sqrt{\frac{4078.00 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{2127.98 \text{ kNm}}} \\ &= 0.825 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{LT} &= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot (\bar{\lambda}_{LT})^2 \right] & [1], 6.3.2.3(1) \\ &= 0.5 \cdot \left[1 + 0.340 \cdot (0.825 - 0.400) + 0.750 \cdot (0.825)^2 \right] \\ &= 0.827 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \chi_{LT} &= \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{(\Phi_{LT})^2 - \beta \cdot (\bar{\lambda}_{LT})^2}} & [1], 6.3.2.3(1), \text{ Równ. 6.57} \\ &= \frac{1}{0.827 + \sqrt{(0.827)^2 - 0.750 \cdot (0.825)^2}} \\ &= 0.80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= 1 - 0.5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left(1 - 2 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2\right) \\ &= 1 - 0.5 \cdot (1 - 0.940) \cdot \left(1 - 2 \cdot (0.825 - 0.8)^2\right) \\ &= 0.970 \end{aligned}$$

[1], 6.3.2.3(2)

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_{LT,mod} &= \frac{\bar{\lambda}_{LT}}{f} \\ &= \frac{0.80}{0.970} \\ &= 0.83 \end{aligned}$$

[1], 6.3.2.3(2), Równ. 6.58

$$\begin{aligned} N_{Rk} &= A \cdot f_y \\ &= 303.10 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2 \\ &= 10760.100 \text{ kN} \end{aligned}$$

[1], 6.3.3, Tab. 6.7

$$\begin{aligned} M_{y,Rk} &= W_{pl,y} \cdot f_y \\ &= 4078.00 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2 \\ &= 1447.69 \text{ kNm} \end{aligned}$$

[1], 6.3.3, Tab. 6.7

$$\begin{aligned} M_{z,Rk} &= W_{pl,z} \cdot f_y \\ &= 1913.00 \text{ cm}^3 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2 \\ &= 679.11 \text{ kNm} \end{aligned}$$

[1], 6.3.3, Tab. 6.7

$$\begin{aligned} u_{h,y} &= \frac{M_{h,y}}{M_{e,y}} \\ &= \frac{26.76 \text{ kNm}}{471.08 \text{ kNm}} \\ &= 0.057 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.3

$$\begin{aligned} C_{my} &= 0.9 + 0.1 \cdot u_{h,y} \\ &= 0.9 + 0.1 \cdot 0.057 \\ &= 0.906 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.3

$$\begin{aligned} u_{h,y,LT} &= \frac{M_{h,y,LT}}{M_{s,y,LT}} \\ &= \frac{26.76 \text{ kNm}}{471.08 \text{ kNm}} \\ &= 0.057 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.3

$$\begin{aligned} C_{mLT} &= 0.9 + 0.1 \cdot u_{h,y,LT} \\ &= 0.9 + 0.1 \cdot 0.057 \\ &= 0.906 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.3

$$\begin{aligned} u_{h,z} &= \frac{M_{h,z}}{M_{e,z}} \\ &= \frac{-30.75 \text{ kNm}}{-58.30 \text{ kNm}} \\ &= 0.528 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.3

$$\begin{aligned} C_{mz} &= 0.9 + 0.1 \cdot u_{h,z} \\ &= 0.9 + 0.1 \cdot 0.528 \\ &= 0.953 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.3

$$\begin{aligned} k_{yy} &= C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \\ &= 0.906 \cdot \left(1 + (1.013 - 0.2) \cdot \frac{12.59 \text{ kN}}{0.59 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}}\right) \\ &= 0.907 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.1

$$\begin{aligned} k_{yy} &= \min \left(k_{yy}, C_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \right) \\ &= \min \left(0.907, 0.906 \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{12.59 \text{ kN}}{0.59 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}}\right) \right) \\ &= 0.907 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.1

$$\begin{aligned}
 k_{yz} &= 0.6 \cdot C_{mz} \cdot \left(1 + \left(2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6 \right) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= 0.6 \cdot 0.953 \cdot \left(1 + \left(2 \cdot 1.769 - 0.6 \right) \cdot \frac{12.59 \text{ kN}}{0.24 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 0.580
 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.1

$$\begin{aligned}
 k_{yz} &= \min \left(k_{yz}, 0.6 \cdot C_{mz} \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right) \\
 &= \min \left(0.580, 0.6 \cdot 0.953 \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{12.59 \text{ kN}}{0.24 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \right) \right) \\
 &= 0.576
 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.1

$$\begin{aligned}
 k_{zy} &= 1 - 0.1 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{c,Ed}}{(C_{mLT} - 0.25) \cdot \chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 1 - 0.1 \cdot 1.769 \cdot \frac{12.59 \text{ kN}}{(0.906 - 0.25) \cdot 0.24 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \\
 &= 0.999
 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.2

$$\begin{aligned}
 k_{zy} &= \max \left(k_{zy}, 1 - 0.1 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{(C_{mLT} - 0.25) \cdot \chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= \max \left(0.999, 1 - 0.1 \cdot \frac{12.59 \text{ kN}}{(0.906 - 0.25) \cdot 0.24 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 0.999
 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.2

$$\begin{aligned}
 k_{zz} &= C_{mz} \cdot \left(1 + \left(2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6 \right) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\
 &= 0.953 \cdot \left(1 + \left(2 \cdot 1.769 - 0.6 \right) \cdot \frac{12.59 \text{ kN}}{0.24 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \right) \\
 &= 0.966
 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.1

$$\begin{aligned}
 k_{zz} &= \min \left(k_{zz}, C_{mz} \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right) \\
 &= \min \left(0.966, 0.953 \cdot \left(1 + 1.4 \cdot \frac{12.59 \text{ kN}}{0.24 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \right) \right) \\
 &= 0.959
 \end{aligned}$$

[1], Załącznik B, Tab. B.1

$$\begin{aligned}
 {}^{\eta} N_{6.61} &= \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= \frac{12.59 \text{ kN}}{0.59 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

[1], 6.3.3(4), Równ. 6.61

$$\begin{aligned}
 {}^{\eta} M_{y6.61} &= k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 0.907 \cdot \frac{504.01 \text{ kNm}}{0.83 \cdot \frac{1447.69 \text{ kNm}}{1.00}} \\
 &= 0.381
 \end{aligned}$$

[1], 6.3.3(4), Równ. 6.61

$$\begin{aligned}
 {}^{\eta} M_{z6.61} &= k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\
 &= 0.576 \cdot \frac{114.34 \text{ kNm}}{\frac{679.11 \text{ kNm}}{1.00}} \\
 &= 0.097
 \end{aligned}$$

[1], 6.3.3(4), Równ. 6.61

$$\begin{aligned}\eta_{6.61} &= \eta_{N6.61} + \eta_{My6.61} + \eta_{Mz6.61} \\ &= 0.002 + 0.381 + 0.097 \\ &= 0.480\end{aligned}$$

[1], 6.3.3(4), Równ. 6.61

$$\begin{aligned}\eta_{N6.62} &= \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ &= \frac{12.59 \text{ kN}}{0.24 \cdot \frac{10760.100 \text{ kN}}{1.00}} \\ &= 0.005\end{aligned}$$

[1], 6.3.3(4), Równ. 6.62

$$\begin{aligned}\eta_{My6.62} &= k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ &= 0.999 \cdot \frac{504.01 \text{ kNm}}{0.83 \cdot \frac{1447.69 \text{ kNm}}{1.00}} \\ &= 0.420\end{aligned}$$

[1], 6.3.3(4), Równ. 6.62

$$\begin{aligned}\eta_{Mz6.62} &= k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ &= 0.959 \cdot \frac{114.34 \text{ kNm}}{\frac{679.11 \text{ kNm}}{1.00}} \\ &= 0.161\end{aligned}$$

[1], 6.3.3(4), Równ. 6.62

$$\begin{aligned}\eta_{6.62} &= \eta_{N6.62} + \eta_{My6.62} + \eta_{Mz6.62} \\ &= 0.005 + 0.420 + 0.161 \\ &= 0.586\end{aligned}$$

[1], 6.3.3(4), Równ. 6.62

$$\begin{aligned}\eta &= \max(\eta_{6.61}, \eta_{6.62}) \\ &= \max(0.480, 0.586) \\ &= 0.586\end{aligned}$$

[1], 6.3.3(4), Równ. 6.61 lub 6.62

$$\eta = 0.586 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{cr,y}$	Sprężysta siła krytyczna
E	Moduł sprężystości
I_y	Moment bezwładności
$L_{cr,y}$	Długość wyboczenia
$\bar{\lambda}_y$	Smukłość bezwymiarowa
A	Pole przekroju
f_y	Granica plastyczności
Φ_y	Parametr krzywej niestateczności χ
α_y	Współczynnik imperfekcji
χ_y	Współczynnik redukcyjny dla wyboczenia
$N_{cr,z}$	Sprężysta siła krytyczna
I_z	Moment bezwładności
$L_{cr,z}$	Długość wyboczenia
$\bar{\lambda}_z$	Smukłość bezwymiarowa
Φ_z	Parametr krzywej niestateczności χ
α_z	Współczynnik imperfekcji
χ_z	Współczynnik redukcyjny
M_{cr}	Sprężysty moment krytyczny zwichrzenia
α_{cr}	Mnożnik
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na przecie lub zbiorze)
$\bar{\lambda}_{LT}$	Smukłość bezwymiarowa
$W_{pl,y}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
Φ_{LT}	Parametr krzywej niestateczności χ
α_{LT}	Współczynnik imperfekcji
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	Smukłość graniczna
β	Parametr
χ_{LT}	Współczynnik redukcyjny dla zwichrzenia
f	Współczynnik modyfikacji
k_c	Współczynnik poprawkowy
$\chi_{LT,mod}$	Zmodyfikowany współczynnik redukcyjny dla zwichrzenia
N_{Rk}	Charakterystyczna nośność na ściskanie
$M_{y,Rk}$	Wartość charakterystyczna nośności na momenty zginające
$M_{z,Rk}$	Wartość charakterystyczna nośności na momenty zginające

$W_{pl,z}$	Plastyczny wskaźnik wytrzymałości
$\alpha_{h,y}$	Współczynnik
$M_{h,y}$	Moment podporowy
$M_{s,y}$	Moment przęsłowy
$C_{m,y}$	Współczynnik równoważnego stałego momentu
$\alpha_{h,y,LT}$	Współczynnik
$M_{h,y,LT}$	Moment podporowy
$M_{s,y,LT}$	Moment przęsłowy
$C_{m,LT}$	Współczynnik równoważnego stałego momentu
$\alpha_{h,z}$	Współczynnik
$M_{h,z}$	Moment podporowy
$M_{s,z}$	Moment przęsłowy
$C_{m,z}$	Współczynnik równoważnego stałego momentu
k_{yy}	Współczynnik interakcji
$N_{c,Ed}$	Obliczeniowa siła ściskająca
γ_{M1}	Współczynnik częściowy
k_{yz}	Współczynnik interakcji
k_{zy}	Współczynnik interakcji
k_{zz}	Współczynnik interakcji
$\eta_{N\ 6.61}$	Składowa obliczeń dla N
$\eta_{My\ 6.61}$	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na segmencie)
$\eta_{Mz\ 6.61}$	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający (maksymalny na segmencie)
$\eta_{6.61}$	Stopień wykorzystania
$\eta_{N\ 6.62}$	Składowa obliczeń dla N
$\eta_{My\ 6.62}$	Składowa obliczeń dla M_y
$\eta_{Mz\ 6.62}$	Składowa obliczeń dla M_z
$\eta_{6.62}$	Stopień wykorzystania

Odniesienia:

- [1] EN 1993-1-1:2005
 [2] EN 1993-1-5:2005

Warunek projektowy SE1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowność
Ugięcia w kierunku z

Kombinacja: charakterystyczna

$$w_{lim,z} = \frac{L}{L/w_{lim}}$$

$$= \frac{10.813\text{ m}}{300}$$

$$= 36.0\text{ mm}$$

$$\eta = \frac{|w_{tot,z}|}{w_{lim,z}}$$

$$= \frac{|32.3\text{ mm}|}{36.0\text{ mm}}$$

$$= 0.895$$

η
 $=$
0.895
 $\leq$ 1


[1]. 7.2

- $w_{lim,z}$ Wartość graniczna ugięcia
- L Długość referencyjna
- L / w_{lim} Względna wartość graniczna ugięcia
- $w_{tot,z}$ Całkowite ugięcie

Odniesienia:
[1] EN 1993-1-1:2005

Warunek projektowy SE1200 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowalność
Ugięcia w kierunku y

Kombinacja: charakterystyczna

$$w_{lim,y} = \frac{L}{L/w_{lim}}$$

$$= \frac{10.813\text{ m}}{300}$$

$$= 36.0\text{ mm}$$

$$\eta = \frac{|w_{tot,y}|}{w_{lim,y}}$$

$$= \frac{|14.5\text{ mm}|}{36.0\text{ mm}}$$

$$= 0.402$$

$$\eta = 0.402 \leq 1$$

[1]. 7.2

- w_{lim,y} Wartość graniczna ugięcia
- L Długość referencyjna
- L / w_{lim} Względna wartość graniczna ugięcia
- w_{tot,y} Całkowite ugięcie

Odniesienia:
[1] EN 1993-1-1:2005



Analiza konstrukcji

KLIENT

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

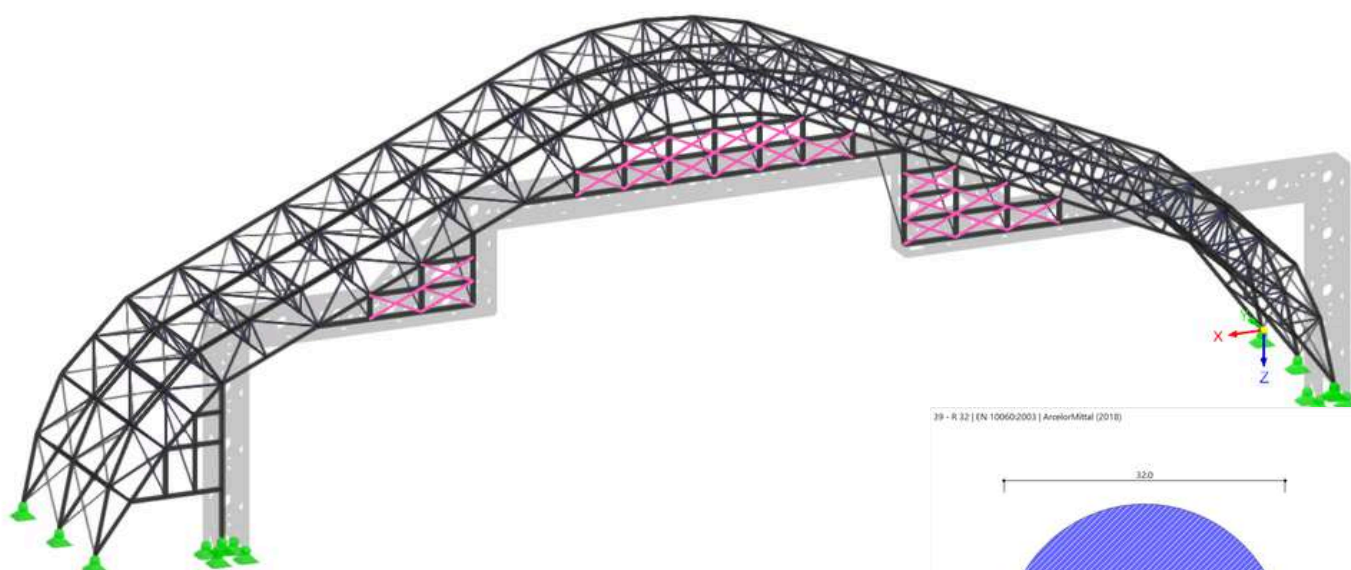
SPORZĄDZIŁ

Patrycja Piec

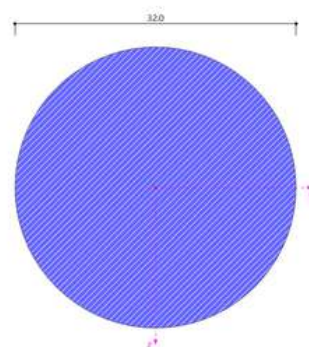
MODEL OBLICZENIOWY NR 3

Element 5 - Konstrukcja ściany szczytowej w osi "A"

Stężenia ścienne R32



29 - R 32 | EN 10960:2003 | ArcelorMittal (2018)



Warunek projektowy SP0100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju
Pomijalne siły wewnętrzne

Rozciąganie:

$$\begin{aligned}
 N_{pl,Rd} &= \frac{N_{pl}}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{285.420 \text{ kN}}{1.00} \\
 &= 285.420 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

[1], 6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}
 \eta_{Nt} &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} \\
 &= \frac{0.10 \text{ kN}}{285.420 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Nt} \leq \eta_{Nt,lim}$$

 N_{Ed} można pominąć.

Ścinanie w osi y:

$$\begin{aligned}
 V_{pl,y,Rd} &= \frac{A_{v,y} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{6.75 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 138.42 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

[1], 6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vy} &= \frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kN}}{138.42 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Vy} \leq \eta_{Vy,lim}$$

 $V_{y,Ed}$ można pominąć.

Ścinanie w osi z:

$$\begin{aligned}
 V_{pl,z,Rd} &= \frac{A_{v,z} \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{6.75 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \right)}{1.00} \\
 &= 138.42 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

[1], 6.2.6(2), Równ. 6.18

$$\begin{aligned}
 \eta_{Vz} &= \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kN}}{138.42 \text{ kN}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Vz} \leq \eta_{Vz,lim}$$

 $V_{z,Ed}$ można pominąć.

Napężenie styczne od skręcania:

$$\begin{aligned}
 \tau_{t,Rd} &= \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \\
 &= \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1.00} \\
 &= 204.959 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

[1], 6.2.6(4), Równ. 6.19

$$\begin{aligned}
 \eta_{\tau,t} &= \frac{|\tau_{t,Ed}|}{\tau_{t,Rd}} \\
 &= \frac{|0.000 \text{ N/mm}^2|}{204.959 \text{ N/mm}^2} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{\tau,t} \leq \eta_{\tau,t,lim}$$

 T_{Ed} można pominąć.

Zginanie względem osi mocnej y:

$$\begin{aligned}
 M_{pl,y,Rd} &= \frac{M_{pl,y}}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{1.94 \text{ kNm}}{1.00} \\
 &= 1.94 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

[1], 6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{My} &= \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kNm}}{1.94 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{My} \leq \eta_{My,lim}$$

$M_{y,Ed}$ można pominąć.

Zginanie względem osi słabej z:

$$\begin{aligned}
 M_{pl,z,Rd} &= \frac{M_{pl,z}}{\gamma_{M0}} \\
 &= \frac{1.94 \text{ kNm}}{1.00} \\
 &= 1.94 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

[1], 6.2.5, Równ. 6.13

$$\begin{aligned}
 \eta_{Mz} &= \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \\
 &= \frac{0.00 \text{ kNm}}{1.94 \text{ kNm}} \\
 &= 0.000
 \end{aligned}$$

$$\eta_{Mz} \leq \eta_{Mz,lim}$$

$M_{z,Ed}$ można pominąć.

Siły wewnętrzne są pomijalne.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

$N_{pl,Rd}$	Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa
N_{pl}	Plastyczna nośność osiowa
γ_{M0}	Współczynnik częściowy
η_{Nt}	Składowa obliczeń dla N
$N_{t,Ed}$	Obliczeniowa siła rozciągająca
$\eta_{Nt,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla N
$V_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
A_{vy}	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
f_y	Granica plastyczności
η_{Vy}	Składowa obliczeń dla V_y
$V_{y,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$\eta_{Vy,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla V_y
$V_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na ścinanie
A_{vz}	Pole przekroju czynnego przy ścinaniu
η_{Vz}	Składowa obliczeń dla V_z
$V_{z,Ed}$	Obliczeniowa siła tnąca
$\eta_{Vz,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla V_z
$T_{t,Rd}$	Obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie przy skręcaniu
$\eta_{\tau,t}$	Składowa obliczeń dla τ_t
$T_{t,Ed}$	Obliczeniowe naprężenie styczne od skręcania
$\eta_{\tau,t,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla τ_t
$M_{pl,y,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$M_{pl,y}$	Plastyczna nośność na zginanie
η_{My}	Składowa obliczeń dla M_y
$M_{y,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\eta_{My,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla M_y
$M_{pl,z,Rd}$	Obliczeniowa nośność na zginanie
$M_{pl,z}$	Plastyczna nośność na zginanie
η_{Mz}	Składowa obliczeń dla M_z
$M_{z,Ed}$	Obliczeniowy moment zginający
$\eta_{Mz,lim}$	Graniczny stopień wykorzystania dla M_z

Odniesienia:

[1] EN 1993-1-1:2005

Warunek projektowy SP1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3

$$\begin{aligned} N_{pl,Rd} &= \frac{N_{pl}}{\gamma_{M0}} \\ &= \frac{285.420 \text{ kN}}{1.00} \\ &= 285.420 \text{ kN} \end{aligned}$$

[1], 6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned} N_{t,Rd} &= N_{pl,Rd} \\ &= 285.42 \text{ kN} \end{aligned}$$

[1], 6.2.3(2)

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \\ &= \frac{155.25 \text{ kN}}{285.42 \text{ kN}} \\ &= 0.544 \end{aligned}$$

[1], 6.2.3, Równ. 6.5

$$\eta = 0.544 \leq 1 \quad \checkmark$$

 $N_{pl,Rd}$ Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa N_{pl} Plastyczna nośność osiowa γ_{M0} Współczynnik częściowy $N_{t,Rd}$ Obliczeniowa nośność na siłę osiową $N_{t,Ed}$ Obliczeniowa siła rozciągająca**Odniesienia:**

[1] EN 1993-1-1:2005

Warunek projektowy SE0100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Użytkowalność
Pomijalne ugięcia

Kombinacja: charakterystyczna
Ugięcie w kierunku z można pominąć.
Ugięcie w kierunku y można pominąć.

$$\eta = 0.000 \leq 1 \quad \checkmark$$

Odniesienia:

[1] EN 1993-1-1:2005



Analiza konstrukcji

KLIENT

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

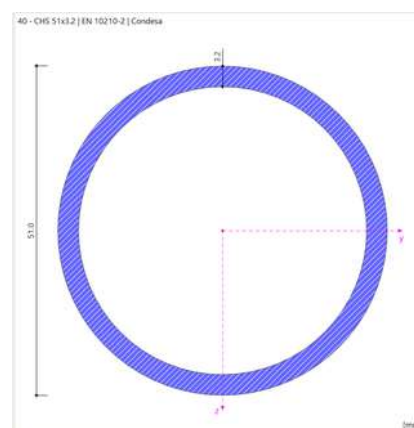
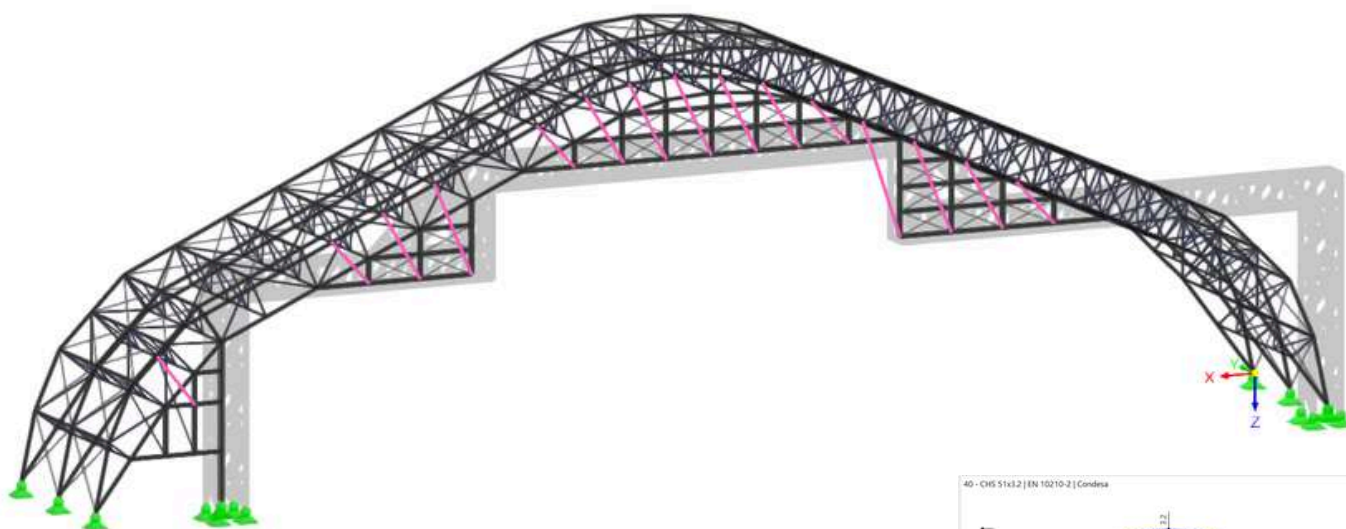
SPORZĄDZIŁ

Patrycja Piec

MODEL OBLICZENIOWY NR 3

Element 5 - Konstrukcja ściany szczytowej w osi "A"

Podwieszenia rygli CHS 51x3.2



Warunek projektowy SP1100 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Rozciąganie wg EN 1993-1-1, 6.2.3

$$\begin{aligned}N_{pl,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\&= 4.81 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\&= 170.755 \text{ kN}\end{aligned}$$

[1], 6.2.3, Równ. 6.6

$$\begin{aligned}N_{t,Rd} &= N_{pl,Rd} \\&= 170.76 \text{ kN}\end{aligned}$$

[1], 6.2.3(2)

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \\&= \frac{121.87 \text{ kN}}{170.76 \text{ kN}} \\&= 0.714\end{aligned}$$

[1], 6.2.3, Równ. 6.5

$$\eta = 0.714 \leq 1 \quad \checkmark$$

 $N_{pl,Rd}$ Obliczeniowa plastyczna nośność osiowa A Pole przekroju f_y Granica plastyczności γ_{M0} Współczynnik częściowy $N_{t,Rd}$ Obliczeniowa nośność na siłę osiową $N_{t,Ed}$ Obliczeniowa siła rozciągająca**Odniesienia:**

[1] EN 1993-1-1:2005

Warunek projektowy SP1200 | EN 1993 | PN | 2015-08

Sprawdzenie przekroju

Ściskanie wg EN 1993-1-1, 6.2.4

$$\begin{aligned}N_{c,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\&= 4.81 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\&= 170.76 \text{ kN}\end{aligned}$$

[1], 6.2.4, Równ. 6.10

$$\begin{aligned}\eta_N &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \\&= \frac{114.61 \text{ kN}}{170.76 \text{ kN}} \\&= 0.671\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \eta_N \\&= 0.671\end{aligned}$$

[1], 6.2.4, Równ. 6.9

$$\eta = 0.671 \leq 1 \quad \checkmark$$

 $N_{c,Rd}$ Obliczeniowa nośność na siłę osiową A Pole przekroju f_y Granica plastyczności γ_{M0} Współczynnik częściowy η_N Składowa obliczeń dla N $N_{c,Ed}$ Obliczeniowa siła ściskająca**Odniesienia:**

[1] EN 1993-1-1:2005