



Inżynieria, Doradztwo, Ekologia „IDEK”
Sp. z o.o.
ul. Szymanowskiego 2, 80-280 Gdańsk
Tel. (0-58) 521-90-30, fax: (0-58) 521-90-35 www.idek.gda.pl
biuro@idek.gda.pl

Budowa dwóch hangarów do celów okołolotniskowych wraz z niezbędną infrastrukturą techniczną

Report No. ID-462-REP-LOTNISKO_HANGARY-01-00-03022020

Date: 2020.02.03

Page: 1 / 50

Budowa dwóch hangarów do celów okołolotniskowych wraz z przyłączami

ID-462-REP-LOTNISKO_HANGARY-01-00-03022020

Autorzy:

mgr inż. Mateusz Klocko

Gdańsk, styczeń 2020



Spis treści

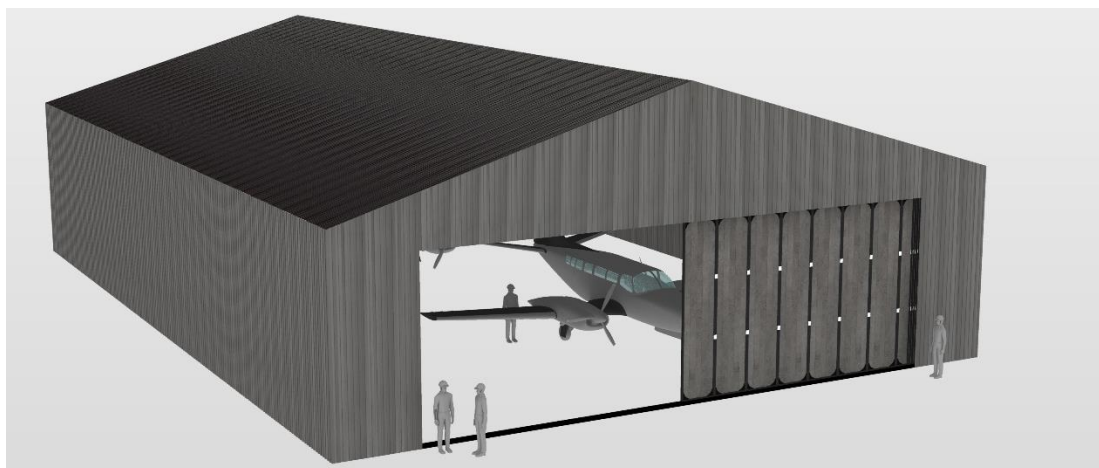
1. Opis dokumentu.	4
1.1. Lokalizacja obiektu	4
1.2. Izolacyjność cieplna przegród	5
1.2.1 Ściany zewnętrzne	5
1.2.2 Pokrycie dachu	5
2. Opis konstrukcji	6
3. Zebranie obciążeń na konstrukcję hangarów	6
3.1. Przyjęte obciążenia	6
2.3 Ciężar własny	7
2.4 Obciążenie użytkowe dachu	7
2.5 Obciążenie śniegiem	7
2.6 Obciążenie wiatrem	11
2.6.1 Obciążenie wiatrem ścian	14
2.6.2 Obciążenie wiatrem dachu	18
2.6.3 Ciśnienie wewnętrzne	21
2.6.4 Siły tarcia wiatru	23
2.6.5 Obciążenie wyjątkowe (uderzenie pojazdów, eksplozje)	24
2.6.6 Obciążenie termiczne (nie pożarowe)	24
2.7 Kombinacje obciążeń	24
2.7.1 Współczynniki i oznaczenia	24
2.7.2 Kombinacje obliczeniowe dla stanów granicznych nośności (SGN)	25
2.7.3 Kombinacje obliczeniowe dla stanów granicznych użytkowności (SGU)	26
4. Model obliczeniowy	27
4.1. Warunki brzegowe	28
5. Wyniki obliczeń	29
5.1. Stan graniczny nośności (SGN)	29
5.2. Stan graniczny użytkowności (SGU)	33



5.3. Reakcje w podstawach słupów	40
5.4. Obliczenie podstaw słupów	41
5.4.1 Podstawa słupa IPE 400.....	41
5.4.2 Podstawa słupa IPE 240.....	43
5.4.3 Podstawa słupa SHS 150x5	45
5.4.4 Podstawa słupa RHS 180x100x8	48
5.5. Stężenia hali.....	49
5.6. Wyboczenie	50

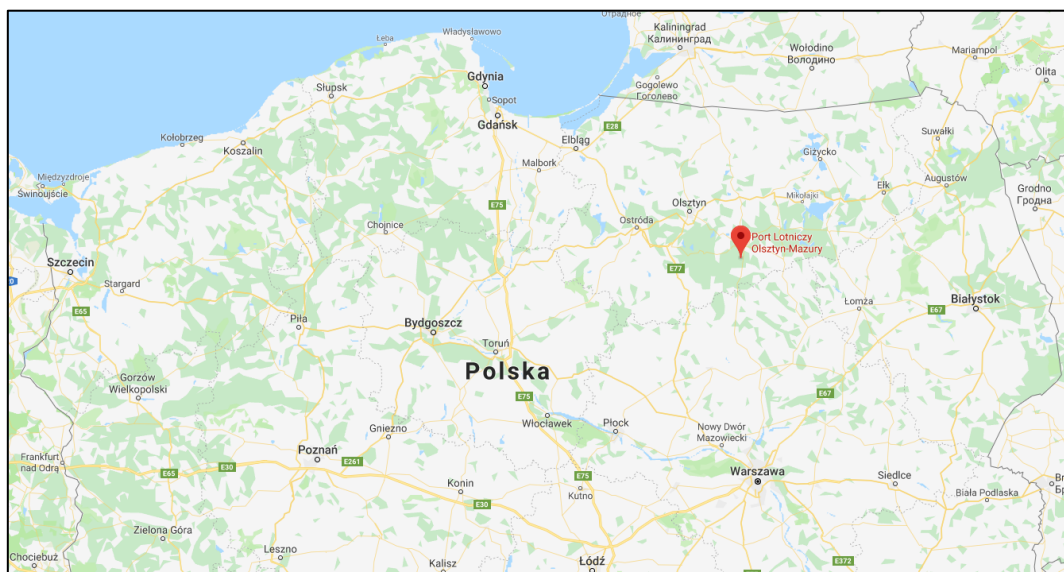
1. Opis dokumentu.

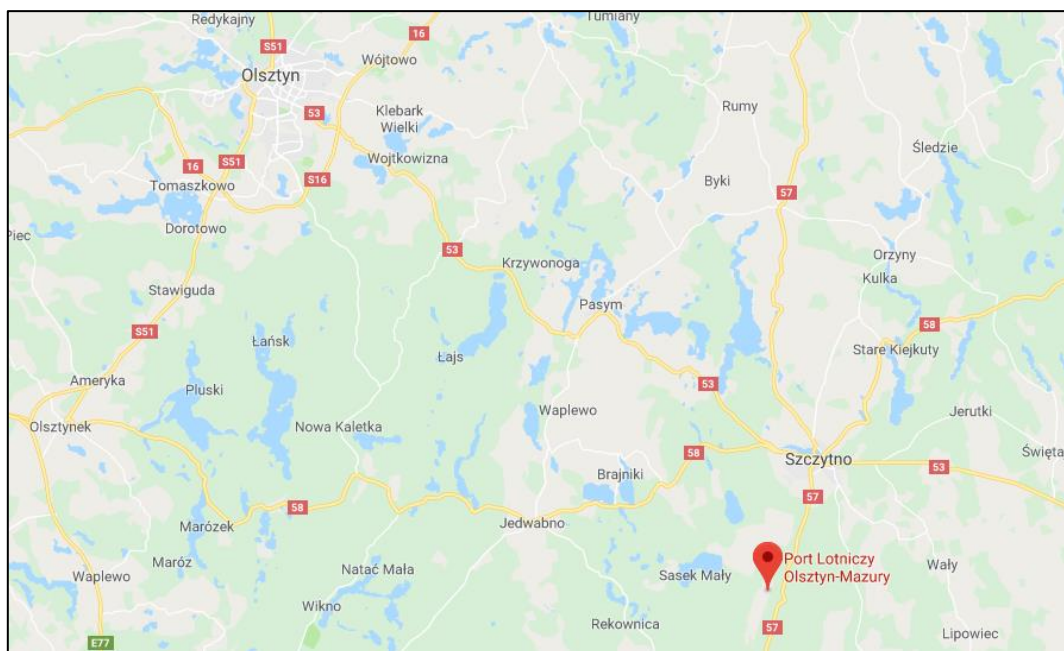
Przedmiotem dokumentu jest zaprojektowanie dwóch hangarów w porcie lotniczym Olsztyn-Mazury. Oba hangary są identyczne konstrukcyjnie i stanowią niezależne budowle. W poniższym dokumencie przedstawiono obliczenia dla jednego hangaru w związku z czym w dalszej części tego używane będzie określenie hangar w liczbie pojedynczej zamiast mnogiej.



1.1. Lokalizacja obiektu

Port lotniczy Olsztyn-Mazury znajduje się w województwie Warmińsko-mazurskim we wsi Szymany, niedaleko Szczytnej.





1.2. Izolacyjność cieplna przegród

1.2.1 Ściany zewnętrzne

Platy warstwowe ściennie PWS-W EKO o grubości 240mm i współczynnika przenikania ciepła - U_c (W/m^2K) = 0,16

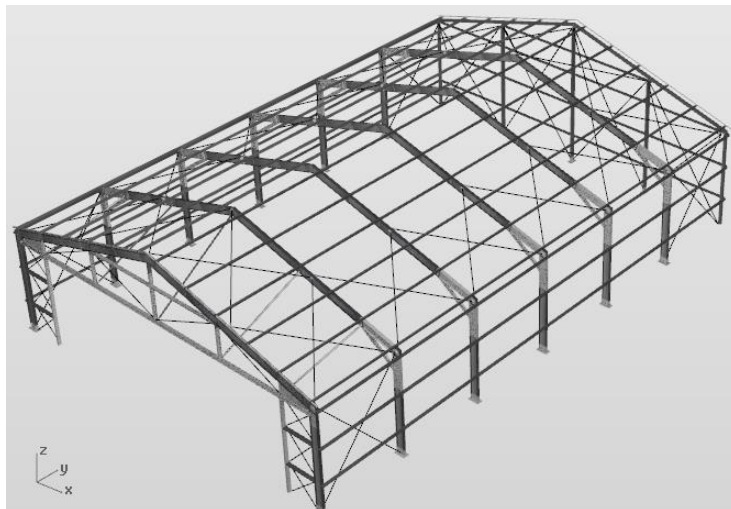
Płyty montowane trójprzęsłowo

1.2.2 Pokrycie dachu

Platy warstwowe dachowe PWD-W o grubości 150mm i współczynnika przenikania ciepła - U_c (W/m²K) = 0,29 lub mniejszej o wadze do 30kg/m²

Płyty montowane jednoprzęsłowo

2. Opis konstrukcji.



Projektowany hangar ma następujące wymiary:

Długość - 30 metrów

Szerokość - 20 metrów

Wysokość do kalenicy - 9 metrów

Wysokość do okapu - 6 metrów

Wymiary bramy wjazdowej – 16x5 metra

Rozstaw głównych ram – 6 x 5 m

Główna konstrukcja składa się z ramy zbudowanej z dwuteownika IPE400 ustawionego co 5m, który wraz z podstawami wykonany jest ze stali S460MPa (pozostałe elementy konstrukcji wykonane są ze stali S355MPa). Konstrukcja posiada 6 przęseł, ściana tylna składa się z profili SHS 150x5, które stanowią słupy narożne oraz belki dachowe oraz z trzech profili IPE240, które stanowią trzy słupy ustawione między słupami narożnymi w równych odstępach. Płatwie i rygle zaprojektowano z profili zamkniętych RHS 140x80x4 w rozstawie co 2 metry. Stężenie linowe znajduje się w osi słupów między przęsłem 1 i 2 oraz 5 i 6, ściana tylna stężona jest na całej szerokości.

3. Zebranie obciążeń na konstrukcję hangarów.

3.1. Przyjęte obciążenia

W obliczeniach elementów konstrukcyjnych hangaru oprócz ciężaru własnego uwzględniono następujące obciążenia zmienne:



- Obciążenie śniegiem według normy PN-EN 1991-1-3
- Obciążenie wiatrem według normy PN-EN 1991-1-4

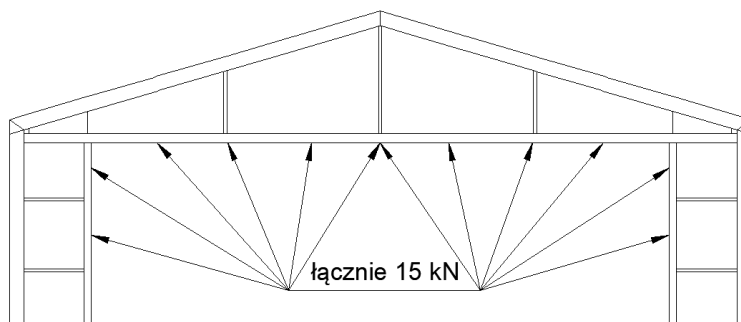
2.3 Ciężar własny

Ciężar własny został uwzględniony w modelu za pomocą grawitacji.

Profile odwzorowują rzeczywistą masę konstrukcji.

Pokrycie hangaru płytami warstwowymi o masie 28 kg/m² oraz dodatkowe wyposażenie jak na przykład oświetlenie zostało dodane jako martwa masa do poszycia o wartości 30 kg/m².

Do konstrukcji ościeżnicy bramy dodano ciężar ewentualnych elementów bramy jak prowadnice, silniki, obudowa o łącznej masie 15kN:



2.4 Obciążenie użytkowe dachu

Dach hangaru zaklasyfikowano do kategorii H (tablica 6.9 normy PN-EN 1991-1-1) jako dach bez dostępu, z wyjątkiem zwykłego utrzymania i napraw.

Ze względu na duże obciążenie śniegiem nie przewiduje się dodatkowego obciążenia użytkowego dachu (które byłoby większe niż obciążenie śniegiem). Dopuszczalne obciążenie punktowe od ciężaru robotnika (lub sprzętu) powinno zostać ustalone z producentem płyt warstwowych.

W kombinacjach obciążeń nie uwzględniono obciążenia użytkowego dachu przyjmując współczynnik $\psi = 0$ zgodnie z Tablicą A 1.1 normy PN-EN 1990.

2.5 Obciążenie śniegiem

Wartość obciążenia śniegiem przyjęto w trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej zgodnie z punktem 5.2 normy PN-EN 1991-1-3:2005P:

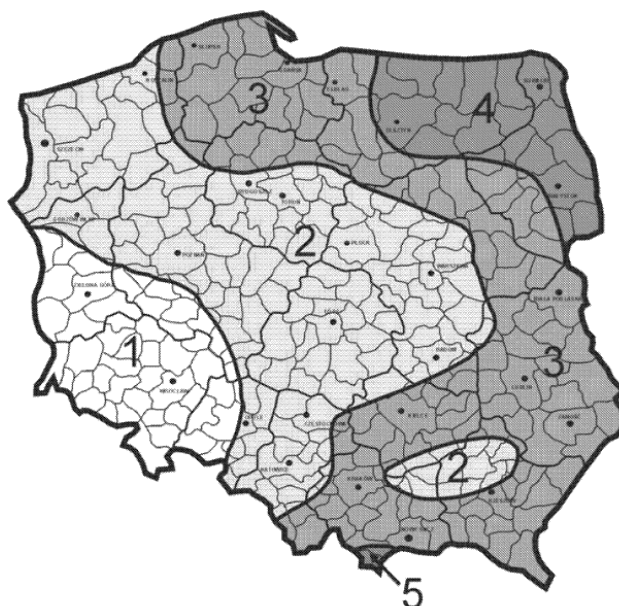
$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

gdzie:

- μ_i – współczynnik kształtu dachu według rozdziału 5.3 i załącznika B
- s_i – wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu
- C_e – współczynnik ekspozycji
- C_t – współczynnik termiczny

• **Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem:**

Zgodnie z załącznikiem krajowym NB.1 hangary znajdują się w 4 strefie obciążenia śniegiem:



Rysunek NB.1– Podział Polski na strefy obciążenia śniegiem gruntu

Tablica NB.1 – Wartości charakterystyczne obciążenia śniegiem gruntu w Polsce

Strefa	s_k , kN/m ²
1	$0,007A - 1,4$; $s_k \geq 0,70$
2	0,9
3	$0,006A - 0,6$; $s_k \geq 1,2$
4	1,6
5	$0,93\exp(0,00134A)$; $s_k \geq 2,0$
UWAGA: A = Wysokość nad poziomem morza (m)	

Przyjęto charakterystyczne obciążenie śniegiem równe:

$$s_k = 1,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

• Współczynnik ekspozycji C_e

Zgodnie z tablicą 5.1 teren na którym znajduje się projektowana hala klasyfikuje się jako **NORMALNY** w związku z czym współczynnik ekspozycji wynosi:

$$C_e = 1,0$$

Tablica 5.1 Zalecane wartości C_e dla różnych warunków terenowych

Teren	C_e
Wystawiony na działanie wiatru ^a	0,8
Normalny ^b	1,0
Oślonięty od wiatru ^c	1,2

^a *Teren wystawiony na działanie wiatru:* płaskie obszary bez przeszkód, otwarte ze wszystkich stron, bez osłon lub z niewielkimi osłonami uformowanymi przez teren, wyższe budowle lub drzewa.

^b *Teren normalny:* obszary, na których nie występuje znaczące przenoszenie śniegu przez wiatr na budowle z powodu ukształtowania terenu, innych budowli lub drzew.

^c *Teren osłonięty:* obszary, na których rozpatrywana budowla jest znacznie niższa niż otaczający teren albo otoczona wysokimi drzewami lub wyższymi budowlami.

• Współczynnik termiczny C_t

Współczynnik termiczny powinien być stosowany do oceny zmniejszenia obciążenia śniegiem dachów o wysokim współczynniku przenikania ciepła ($>1\text{W/m}^2\text{K}$) z powodu topnienia śniegu przez uchodzące ciepło.

$$C_t = 1 - 0,054 * \left(\frac{S_k}{3,5}\right)^{0,25} * \Delta t * \{\sin[57,3 * (0,4 * U - 0,1)]\}^{0,25}$$

U – współczynnik przenikania ciepła przegrody dachowej, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

Δt – różnica temperatury, $^{\circ}\text{C}$

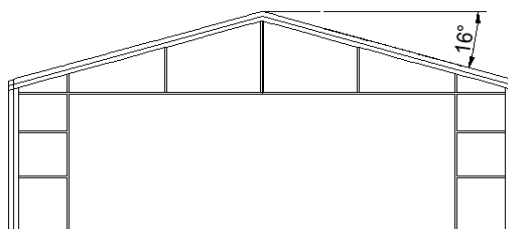
$\Delta t = t_i - 5^{\circ}\text{C}$

t_i – temperatura wewnętrzna

Ze względu na ocieplenie hangaru płytami warstwowymi przyjęto zalecaną wartość współczynnika termicznego:

$$C_t = 1,0$$

• Współczynnik kształtu dachu μ_i

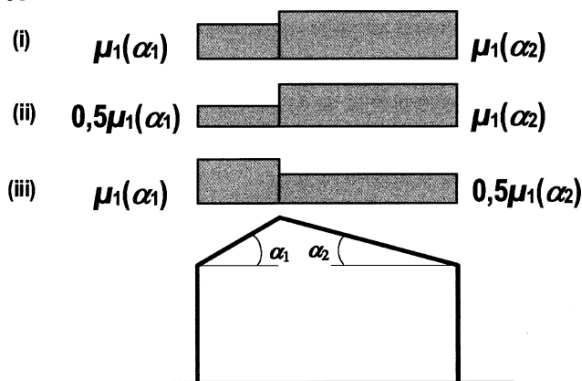


Tablica 5.2: Współczynniki kształtu dachu

Kąt spadku dachu α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	—

(3) Układ obciążenia przedstawiony na rysunku 5.2 należy stosować zarówno do obciążeń równomiernych, jak i nierównomiernych.

Przypadek



Rysunek 5.3: Współczynniki kształtu dachu – dachy dwupołaciowe

Przyjęto $\mu_1 = 0,8$

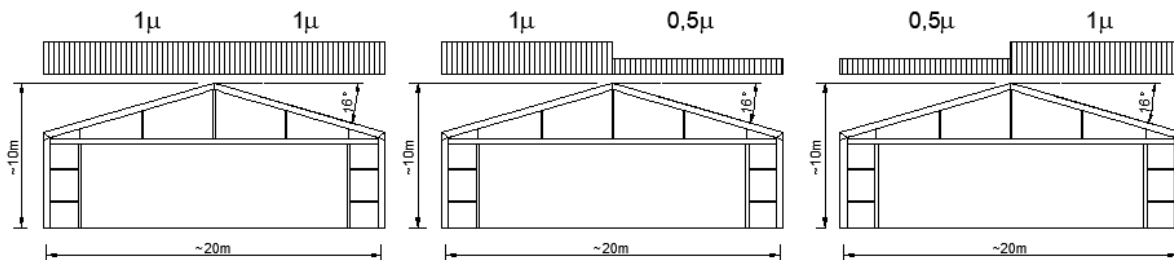
Obliczone obciążenie śniegiem dla przypadku (i):

$$s_k = \mu_i * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 1,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1,28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ze względu na kąt pochylenia dachu (możliwe stałe zaleganie śniegu na dachu), izolowany dach oraz przeanalizowane dane dotyczące maksymalnej pokrywy śnieżnej w Polsce przyjęto następujące obciążenie charakterystyczne śniegiem:

$$s_k = 1,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

W obliczeniach uwzględniono trzy przypadki obciążeń:



Obciążenia występujące w rozdziale

S-1-1	Śnieg ze współczynnikami 1 oraz 1
S-1-0,5	Śnieg ze współczynnikami 1 oraz 0,5
S-0,5-1	Śnieg ze współczynnikami 0,5 oraz 1

2.6 Obciążenie wiatrem

Wartość bazową prędkości wiatru obliczono zgodnie z punktem 4.2 normy PN-EN 1991-1-4:2008P:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0}$$

gdzie:

- v_b – bazowa prędkość wiatru określona jako funkcja kierunku wiatru i pory roku
- $v_{b,0}$ – wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru

Mapa podziału kraju na strefy wartości podstawowej bazowej prędkości wiatru jest podana na Rysunku NA.1. Na granicach stref 1 i 2, w pasach o szerokości 10 km po obu stronach granicy, można stosować wartość średnią z obu stref.



Rysunek NA.1 – Podział Polski na strefy obciążenia wiatrem



Budowa dwóch hangarów do celów okołolotniskowych wraz z niezbędną infrastrukturą techniczną

Report No. ID-462-REP-LOTNISKO_HANGARY-01-00-03022020 Date: 2020.02.03 Page: 12 / 50

Tablica NA.1 – Wartości podstawowe bazowej prędkości wiatru i ciśnienia prędkości wiatru w strefach

Strefa	$v_{b,0}$ (m/s)	$v_{b,0}$ (m/s)	$q_{b,0}$ (kN/m ²)	$q_{b,0}$ (kN/m ²)
	$A \leq 300$ m	$A > 300$ m	$A \leq 300$ m	$A > 300$ m
1	22	$22 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]$	0,30	$0,30 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]^2$
2	26	26	0,42	0,42
3	22	$22 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]$	0,30	$0,30 \cdot [1 + 0,0006 (A - 300)]^2 \cdot \left[\frac{20000 - A}{20000 + A} \right]$

UWAGA: A – wysokość nad poziomem morza (m)

Projektowane hangary znajdują się w 1 strefie obciążania wiatrem:

$A = 150$ m nad poziomem morza

$$v_{b,0} = 22 \text{ m/s}$$

$$q_{b,0} = 0,30 \text{ kN / m}^2$$

- C_{dir} – współczynnik kierunkowy

Według załącznika krajowego numer NA.4 (tablica NA.2) współczynnik kierunkowy w zależności od kierunku wiatru przyjmuje wartość od 1,0 do 0,7.

Przyjęto wartość zalecaną = 1,0

Tablica NA.2 – Wartości współczynnika kierunkowego

Strefa	Kierunek wiatru (sektor)												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	0,8	0,7						0,8	0,9	1,0		0,9	
2	1,0	0,9	0,8	0,7				0,8	0,9	1,0			
3	0,8	0,7				0,9		1,0					
UWAGA: Sektor 1 oznacza kierunek północny 0° (360°)													

$$C_{dir} = 1,0$$

- C_{season} – współczynnik sezonowy

Zgodnie z punktem 4.2 normy (uwaga 3) oraz załącznikiem krajowym NA.4 przyjęto:

$$C_{season} = 1,0$$

Wartość bazowa prędkości wiatru na wszystkich kierunkach:

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



- Wybór kategorii chropowatości terenu.**

Projektowany hangar znajdują się na terenie lotniska, na którym nie ma przeszkód oraz roślinności. W sąsiedztwie lotniska znajdują się lasy i łąki.

Zgodnie z procedurą 2 wyznaczania chropowatości terenu (załącznik A; punkt A.2) i Tablicy A.1 określono teren wokół hangarów jako „Kategorię terenu I”.

Przyjęto następujące kategorie terenu:

Na wszystkich kierunkach wiatru – kategoria I chropowatości terenu

dla $z = 10$ m – wysokość budynku

- Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru**

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Gdzie:

$c_e(z)$ – współczynnik ekspozycji

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

q_b – wartość bazowa ciśnienia prędkości

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1,25 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot 22^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 302,5 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – gęstość powietrza według rozdziału 4.5 normy PN-EN 1991-1-4

Współczynnik ekspozycji C_e został przeliczony zgodnie z załącznikiem krajowym NA.3:

$z = 10$ m – wysokość budynku nad gruntem

Tablica NA.3 – Współczynnik chropowatości i współczynnik ekspozycji oraz z_{\min} i z_{\max}

Kategoria terenu	$c_r(z)$	$c_e(z)$	$z_{\min}, \text{ m}$	$z_{\max}, \text{ m}$
0	$1,3 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,11}$	$3,0 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,17}$	1	200
I	$1,2 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,13}$	$2,8 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,19}$	1	200
II	$1,0 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,17}$	$2,3 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$	2	300
III	$0,8 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,19}$	$1,9 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,26}$	5	400
IV	$0,6 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$	$1,5 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,29}$	10	500
UWAGA: $c_r(z)$ i $c_e(z)$ dla wysokości $z > z_{\max}$ należy przyjmować jak dla z_{\max} .				



Dla kategorii I chropowatości terenu:

$$c_e(z) = 2,8 * \left(\frac{10}{10}\right)^{0,19} = 2,8$$

Przyjęto : $c_e(z) = 2,8$

Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru:

Dla kategorii I chropowatości terenu – zwany dalej $q_p(z)$:

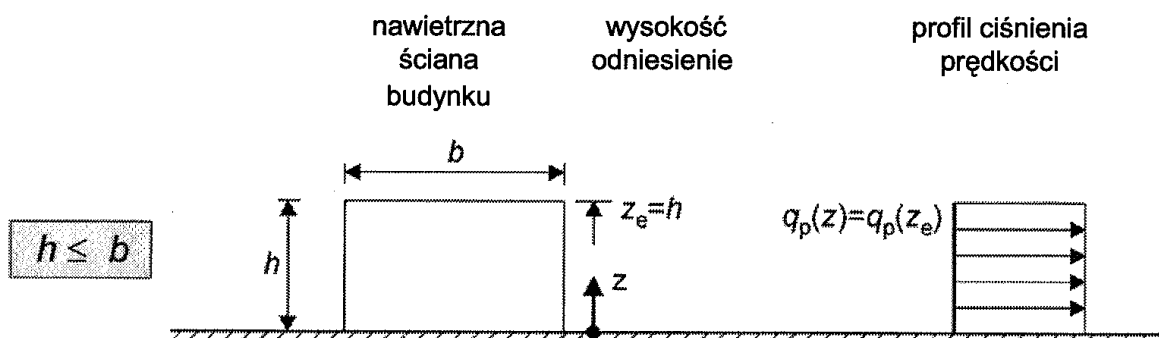
$$q_p(z) = c_e(z) * q_b = 2,8 * 302,5 \frac{N}{m^2} = 847 \frac{N}{m^2} \quad ; \text{przyjęto} \quad q_p(z) = 850 \frac{N}{m^2}$$

2.6.1 Obciążenie wiatrem ścian

Obciążenia występujące w poniższym rozdziale	
W-S-20	Wiatr na ściany na kierunku 20
W-S-200	Wiatr na ściany na kierunku 200
W-S-110	Wiatr na ściany na kierunku 110
W-S-290	Wiatr na ściany na kierunku 290

Obciążenie ścian wiatrem przyjęto zgodnie z punktem 7.2.2 normy

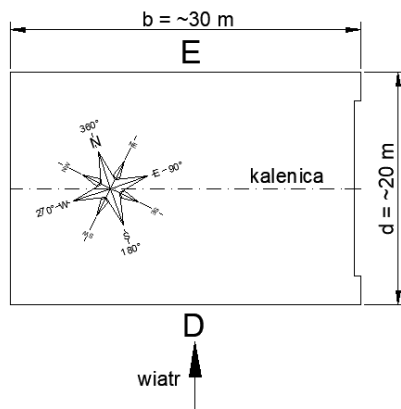
$h = 10 \text{ m} < (b = 20 \text{ m} ; d = 30 \text{ m})$



Ciśnienie wiatru przyjęto jako stałe na całej wysokości obliczanej ściany.

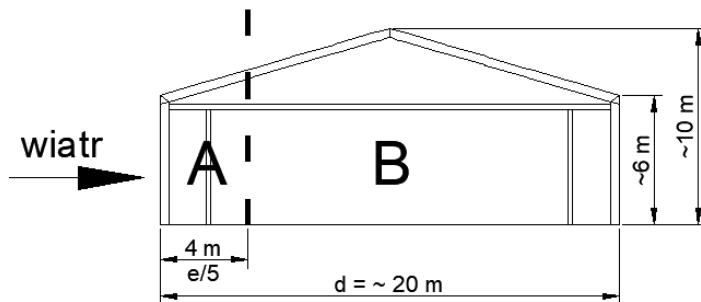
Obliczenie współczynnika ciśnienia zewnętrznego dla ścian:

Kierunek wiatru „20°” = azymut 200° względem róży wiatrów (S20) i analogiczny przypadek azymut 200° (S200)



d = 20 m	b = 30 m (wymiar poprzeczny do kierunku wiatru)	h = 10 m
$e = \min \left\{ \frac{b}{2}, \frac{h}{2} \right\} = \min \left\{ \frac{30,0\text{m}}{2}, \frac{10\text{m}}{2} \right\} = 5,0\text{m}$		
$e / d = 5,0 / 20 = 0,25$		
e < d → Przypadek I	e ≥ d → Przypadek II	e ≥ 5d → Przypadek III

Przypadek elewacji „II” e ≥ d :



Obliczenia wykonano dla elementów o powierzchni większej niż 10m² (C_{pe,10}) i użyto następujących współczynników:

$$w_e = q_p(z) * C_{pe}$$

$$q_p(z) = 850 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Wartości współczynnika ciśnienia zewnętrznego dla ścian pionowych zgodnie z tablicą 7.1



Budowa dwóch hangarów do celów okołolotniskowych wraz z niezbędną infrastrukturą techniczną

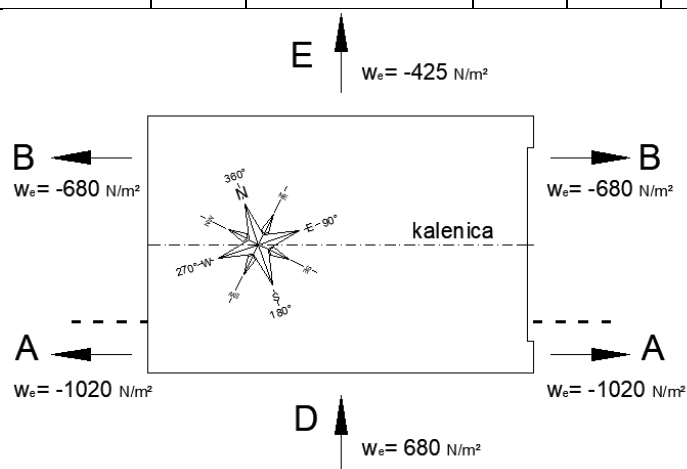
Report No. ID-462-REP-LOTNISKO_HANGARY-01-00-03022020

Date: 2020.02.03

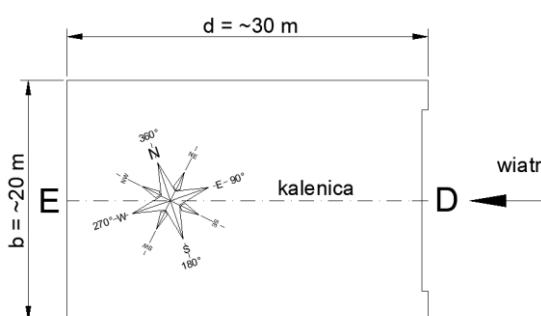
Page: 16 / 50

Wartość ciśnienia wiatru na dane pole

Pole	A		B		D		E	
$h/d = 10/20=0,5$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,8	+1,0	-0,5	
N/m^2	-1020		-680		680		-425	

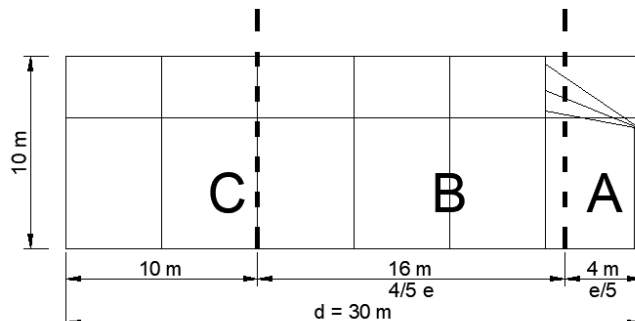


Kierunek wiatru „110°” = azymut 100° względem róży wiatrów (S110) i analogiczny przypadek azymut 290° (S290)



$d = 30 \text{ m}$	$b = 20 \text{ m}$ (wymiar poprzeczny do kierunku wiatru)	$h = 10 \text{ m}$
$e = \min \left\{ \frac{b}{2 * h} \right\} = \min \left\{ \frac{20,0m}{2 * 10m} \right\} = 20,0m$		
$e / d = 20 / 20 = 0,666$		
$e < d \rightarrow$ Przypadek I	$e \geq d \rightarrow$ Przypadek II	$e \geq 5d \rightarrow$ Przypadek III

Przypadek elewacji „I” $e < d$:



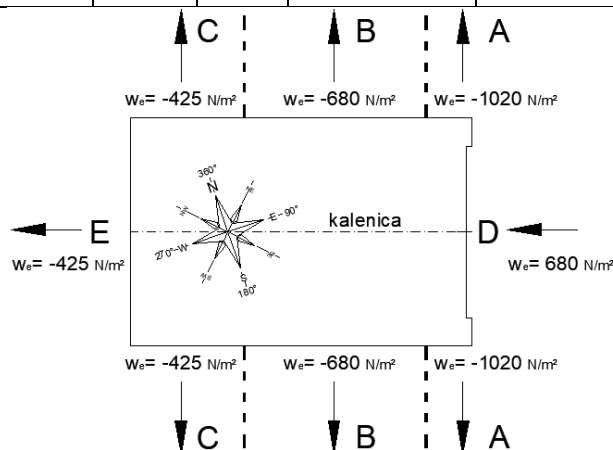
Obliczenia wykonano dla elementów o powierzchni większej niż 10m^2 ($C_{pe,10}$) i użyto następujących współczynników:

$$w_e = q_p(z) * C_{pe}$$

$$q_p(z) = 850 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Wartości współczynnika ciśnienia zewnętrznego dla ścian pionowych zgodnie z tablicą 7.1

Wartość ciśnienia wiatru na dane pole									
Pole	A		B		C		D		E
$h/d = 10/30 = 0.33$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5
N/m^2	-1020		-680		-425		680		-425





2.6.2 Obciążenie wiatrem dachu

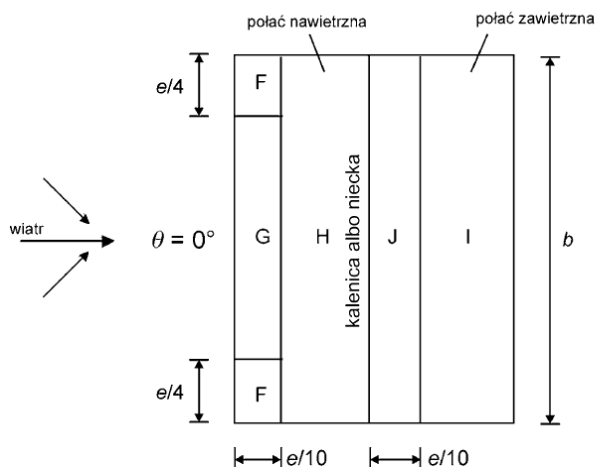
Obciążenia występujące w poniższym rozdziale

W-D-20	Wiatr na dach na kierunku 20
W-D-200	
W-D-110	
W-D-290	

Obciążenie dachu na kierunku wiatru $\phi=0^\circ$ (prostopadły do kalenicy)(W-D-20 i W-D-200)

Hala zaprojektowana jest na rzucie prostokąta z dachem dwuspadowym więc na kierunku wiatru $\theta=0^\circ$ obliczono współczynniki ciśnienia zewnętrznego zgodnie z rozdziałem 7.2.5 normy PN-EN 1991-1-4.

(a) widok z boku



(b) kierunek wiatru $\theta = 0^\circ$

mniejszy z dwóch
 $e = b$ albo $2h$

b : wymiar poprzeczny
do kierunku wiatru

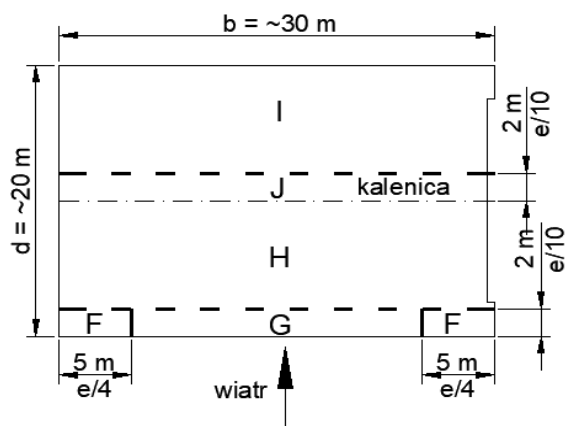
	$b = 30 \text{ m}$	$h = 10 \text{ m}$
$e = \min \left\{ \begin{matrix} b \\ 2 * h \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 30,0\text{m} \\ 2 * 10\text{m} \end{matrix} \right\} = 20,0\text{m}$		
$e / 10 = 2,0 \text{ m}$	$e / 4 = 5,0 \text{ m}$	

Budowa dwóch hangarów do celów okołolotniskowych wraz z niezbędną infrastrukturą techniczną

Report No. ID-462-REP-LOTNISCO_HANGARY-01-00-03022020

Date: 2020.02.03

Page: 19 / 50



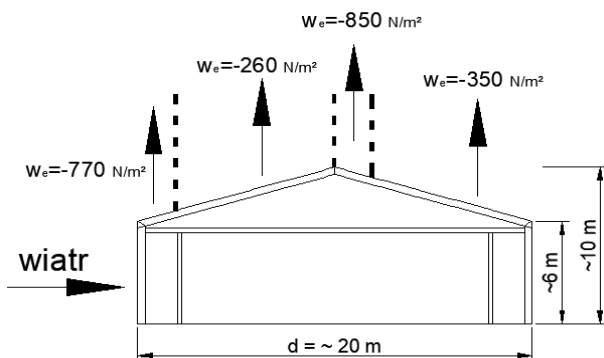
Wybrany przypadek dla $C_{pe,10}$

Kąt spadku α	Pole dla kierunku wiatru $\phi=0^\circ$				
	F	G	H	I	J
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
15°	-0.9	-0.8	-0.3	-0.4	-1
	+0.2	+0.2	+0.2	0	0

Uproszczenie dla pól:

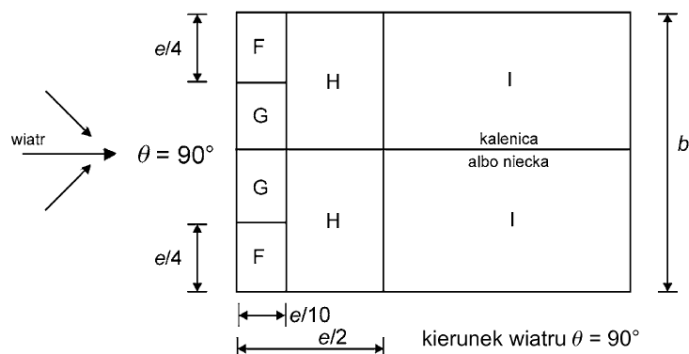
Kąt spadku α	Pole dla kierunku wiatru $\phi=0^\circ$			
	F-G	H	I	J
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
15°	-0.9	-0.3	-0.4	-1
	+0.2	+0.2	0	0
$q_p(z)$ [N/m ²]	850	850	850	850
w_e [N/m ²]	-770	-260	-350	-850
	+170	+170	0	0

Parcie pominięto ze względu na małe wartości.

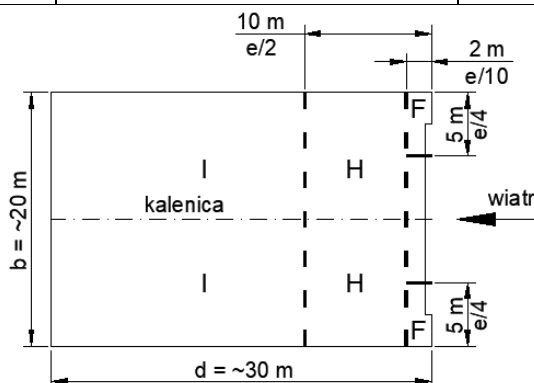


Obciążenie dachu na kierunku wiatru $\phi=90^\circ$ (równoległy do kalenicy)(W-D-110 i W-D-190)

Przyjęto zgodnie z rozdziałem 7.2.5 i tablicą 7.4b.

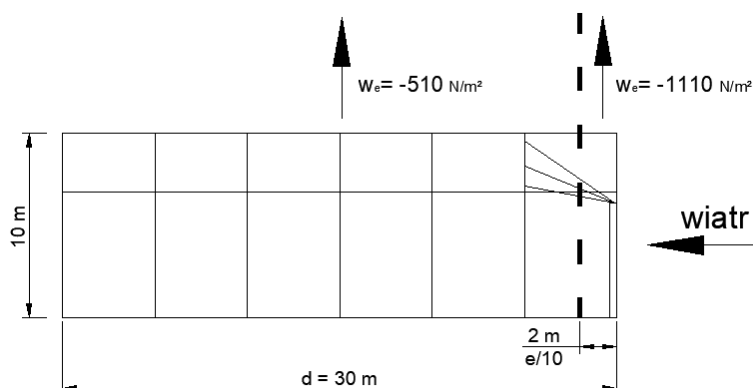


	$b = 20 \text{ m}$	$h = 10 \text{ m}$
$e = \min \left\{ \frac{b(\text{poprzez do wiatru})}{2 * h} \right\} = \min \left\{ \frac{20,0\text{m}}{2 * 10\text{m}} \right\} = 20\text{m}$		
$e / 10 = 2,0 \text{ m}$	$e / 4 = 5,0 \text{ m}$	$e / 2 = 10,0 \text{ m}$



Wartości współczynnika ciśnienia zewnętrznego dla dachów dwuspadowych zgodnie z tablicą 7.4b:

Tablica 7.4b - Współczynniki ciśnienia zewnętrznego dla dachów dwuspadowych		
Kąt spadku α	Pole dla kierunku wiatru $\phi=90^\circ$	
	F-G	H-I
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
15°	-1.3	-0.6
$q_p(z)$ [N/m ²]	850	850
W_e [N/m ²]	-1110	-510



2.6.3 Ciśnienie wewnętrzne

Obciążenia występujące w poniższym rozdziale	
W-W-20	Wiatr – ciśnienie wewnętrzne na kierunku 20 (tylko ściany)
W-W-200	
W-W-290	
W-W-110	
W-W-20-dach	Wiatr – ciśnienie wewnętrzne na kierunku 20 (tylko dach)
W-W-200-dach	
W-W-290-dach	
W-W-110-dach	

Zgodnie z punktem (1) w rozdziale 5.1 oraz rozdziału 7.2.9 normy PN-EN 1991-1-4 należy rozpatrywać jednoczesne działanie ciśnienia wewnętrznego i zewnętrznego.

Ściana wjazdowa będzie posiadała bramę o orientacyjnych wymiarach 5m x 16m. Na pozostałych ścianach nie przewiduje się żadnych bram ani okien. Brama wjazdowa będzie stanowiła ponad 50% powierzchni tej ściany, przewiduje się również, że brama może być otwarta podczas silnego wiatru a zatem z uwagi na

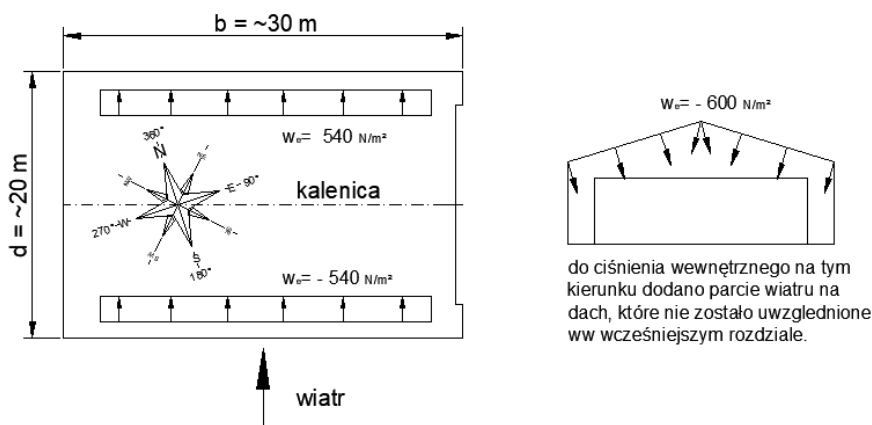
przewidziane otwory w konstrukcji halę należy przeliczyć na dodatkowe ciśnienie wewnętrzne.

Hangar posiada ścianę dominującą, która jest ścianą z bramą wjazdową, w pozostałych ścianach nie ma otworów więc ciśnienie wewnętrzne zostało wyznaczone jako część ciśnienia zewnętrznego występującego w obszarze otworów w ścianie dominującej.

Ze względu na przeciwne zwroty ciśnienia zewnętrznego i wewnętrznego (eliminowanie się wzajemnie ciśnienia wiatru) w obliczeniach uwzględniono tylko działanie na te pola, które zwiększają wartość ciśnienia wiatru.

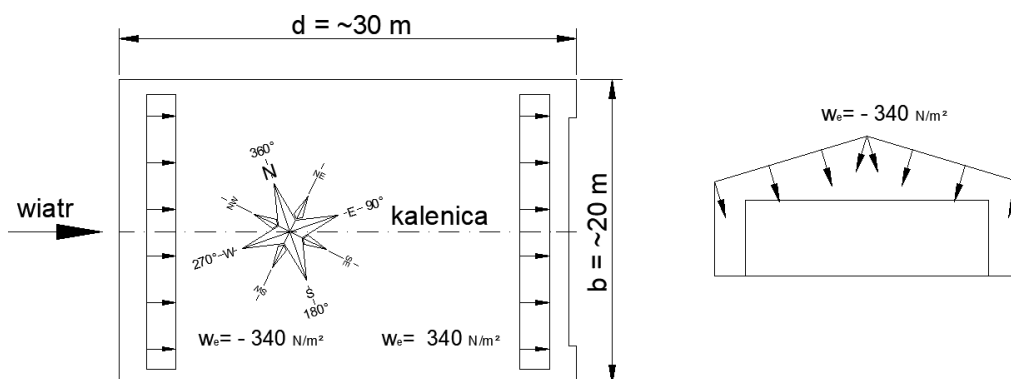
Wartość ciśnienia dla kierunku wiatru 20° (W-W-20): oraz 200° (W-W-200):

$$w_{e,wewnetrzne} = c_{pi} * q_p(z) = 0,8 * 0,8 * 850 = 540 \frac{N}{m^2}$$



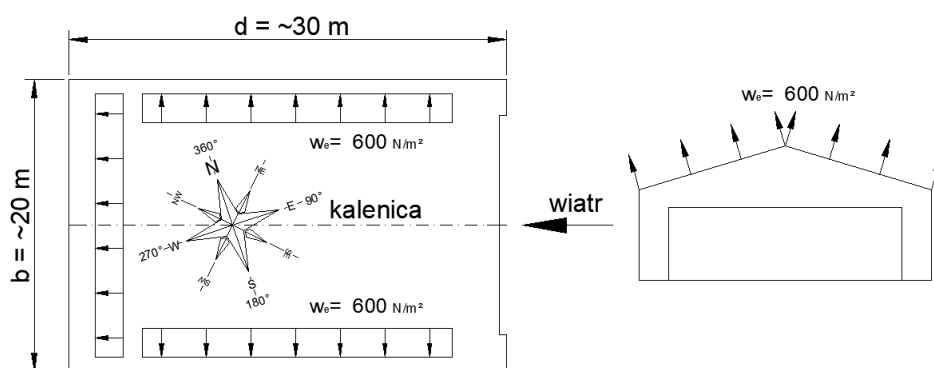
Wartość ciśnienia dla kierunku wiatru 290° (W-W-290):

$$w_{e,wewnetrzne} = c_{pi} * q_p(z) = 0,8 * 0,5 * 850 = 340 \frac{N}{m^2}$$



Wartość ciśnienia dla kierunku wiatru 110°(W-W-110):

$$w_{e,wewnętrzne} = c_{pi} * q_p(z) = 0,9 * 0,8 * 850 = 600 \frac{N}{m^2}$$

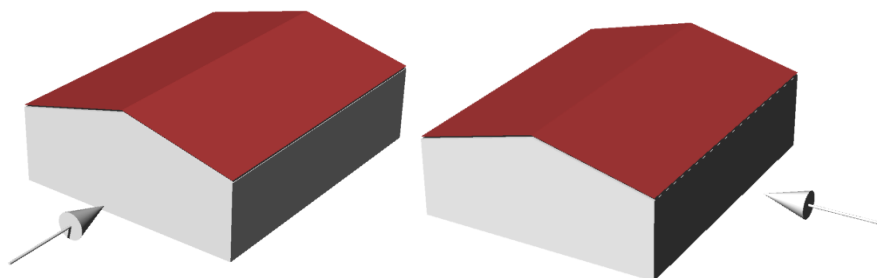


2.6.4 Siły tarcia wiatru

Obciążenia występujące w poniższym rozdziale

W-FR-20	Tarcie wiatru na kierunku 20
W-FR-200	
W-FR-110	
W-FR-290	

Ze względu na kształt hangaru można pominąć siły tarcia wiatru na konstrukcje (zgodnie z normą PN-EN 1991-1-4). Uwzględniono je jako siłę przyłożoną tylko do całego dachu.



$$W_{fr} = 18 \frac{N}{m^2}$$



2.6.5 Obciążenie wyjątkowe (uderzenie pojazdów, eksplozje)

Nie przewiduje się.

2.6.6 Obciążenie termiczne (nie pożarowe)

Nie przewiduje się.

Ze względu na fakt, że konstrukcja będzie ocieplona płytami warstwowymi różnica temperatur między konstrukcją a powietrzem jest pomijalna.

2.7 Kombinacje obciążeń

2.7.1 Współczynniki i oznaczenia

E_d – wartość obliczeniowa efektów oddziaływań

E_d – efekt oddziaływania

$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$ – współczynnik częściowy dla oddziaływania stałego niekorzystnego

$\gamma_{Gj,sup} = 1,00$ – współczynnik częściowy dla oddziaływania stałego korzystnego

$\gamma_M = 1,00$ – współczynnik częściowy dla nośności materiału (PN-EN 1993-1-1 załącz. NA.14 oraz 6.1, stosowany do wzoru 2.4.3)

$\gamma_q = 1,50$ – współczynnik częściowy dla oddziaływania zmiennego

ψ_0 – współczynnik dla wartości kombinacyjnej oddziaływania zmiennego

ψ_1 – współczynnik dla wartości częstej oddziaływania zmiennego

ψ_2 – współczynnik dla wartości prawie stałej oddziaływania zmiennego

G_k – ciężar własny konstrukcji

$Q_{k,1}$ – oddziaływanie zmienne–wiodące

$Q_{k,i}$ – oddziaływanie zmienne–towarzyszące



Oddziaływania	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Obciążenie zmienne w budynkach: Kategoria H: dachy	0	0	0
Obciążenie budynków śniegiem: Polska, miejscowości położone na wysokości $H \leq 1000$ m ponad poziom morza	0,5	0,2	0,2
Obciążenie budynków wiatrem:	0,6	0,2	0
Temperatura (nie pożarowa) w budynku:	0,6	0,5	0

2.7.2 Kombinacje obliczeniowe dla stanów granicznych nośności (SGN)

Kombinacje oddziaływań w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych ustalono na podstawie poniższego wzoru zgodnie z rozdziałem 6.4.3.2 normy PN-EN 1990:2004P:

$$E_d = E\{\gamma_{g,j} G_{k,j}; \gamma_{q,1} Q_{k,1}; \gamma_{q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i \geq 1$$

$$E_d = E\{1,35(1,0) * G_{k,j}; 1,5 * Q_{k,1}; 1,5 * \psi_{0,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i \geq 1$$

$G_{k,j}$ – ciężar własny konstrukcji

$Q_{k,i}$ – oddziaływanie zmienne



Budowa dwóch hangarów do celów okołolotniskowych wraz z niezbędną infrastrukturą techniczną

Report No. ID-462-REP-LOTNISKO_HANGARY-01-00-03022020

Date: 2020.02.03

Page: 26 / 50

Lp.	Nazwa kombinacji	Współczynnik ciężaru własnego CW	Wiatr ("-" to ssanie na dachu; "+" parcie na dachu)						Śnieg	
			$\psi \cdot \gamma$ współ. Kombinacji i obliczeniowy	Wiatr - ściany	Wiatr - dach	Wiatr - ciśnienie wew. - ściany	Wiatr - ciśnienie wew. - dach	Wiatr - tarcie	$\psi \cdot \gamma$ współ. Kombinacji i obliczeniowy	Śnieg
1	Śnieg I bez wiatru CW-1,35	1.35							1.5	S-1-1 (+)
2	Śnieg II bez wiatru CW-1,35	1.35							1.5	S-1-0,5 (+)
3	Śnieg III bez wiatru CW-1,35	1.35							1.5	S-0,5-1 (+)
4	Wiatr 20 bez śniegu CW-1	1	1.5	W-S-20	W-D-20 (-)	W-W-20		W-FR-20		
5	Wiatr 200 bez śniegu CW-1	1	1.5	W-S-200	W-D-200 (-)	W-W-200		W-FR-200		
6	Wiatr 110 bez śniegu CW-1	1	1.5	W-S-110	W-D-110 (-)	W-W-110	W-W-110 (-)	W-FR-110		
7	Wiatr 290 bez śniegu CW-1	1	1.5	W-S-290	W-D-290 (-)	W-W-290		W-FR-290		
8	Śnieg I i Wiatr 20 CW-1,35	1.35	0,6*1,5 = 0,9	W-S-20		W-W-20	W-W-20 (+)	W-FR-20	1.5	S-1-1 (+)
9	Śnieg I i Wiatr 200 CW-1,35	1.35	0,6*1,5 = 0,9	W-S-200		W-W-200	W-W-200 (+)	W-FR-200	1.5	S-1-1 (+)
10	Śnieg I i Wiatr 110 CW-1,35	1.35	0,6*1,5 = 0,9	W-S-110		W-W-110		W-FR-110	1.5	S-1-1 (+)
11	Śnieg I i Wiatr 290 CW-1,35	1.35	0,6*1,5 = 0,9	W-S-290		W-W-290	W-W-290 (+)	W-FR-290	1.5	S-1-1 (+)
12	Śnieg II i Wiatr 20 CW-1,35	1.35	0,6*1,5 = 0,9	W-S-20		W-W-20	W-W-20 (+)	W-FR-20	1.5	S-1-0,5 (+)
13	Śnieg II i Wiatr 200 CW-1,35	1.35	0,6*1,5 = 0,9	W-S-200		W-W-200	W-W-200 (+)	W-FR-200	1.5	S-1-0,5 (+)
14	Śnieg II i Wiatr 110 CW-1,35	1.35	0,6*1,5 = 0,9	W-S-110		W-W-110		W-FR-110	1.5	S-1-0,5 (+)
15	Śnieg II i Wiatr 290 CW-1,35	1.35	0,6*1,5 = 0,9	W-S-290		W-W-290	W-W-290 (+)	W-FR-290	1.5	S-1-0,5 (+)
16	Wiatr 20 i Śnieg I CW-1,35	1.35	1.5	W-S-20		W-W-20	W-W-20 (+)	W-FR-20	0,5*1,5 = 0,75	S-1-1 (+)
17	Wiatr 200 i Śnieg I CW-1,35	1.35	1.5	W-S-200		W-W-200	W-W-200 (+)	W-FR-200	0,5*1,5 = 0,75	S-1-1 (+)
18	Wiatr 110 i Śnieg I CW-1,35	1.35	1.5	W-S-110		W-W-110		W-FR-110	0,5*1,5 = 0,75	S-1-1 (+)
19	Wiatr 290 i Śnieg I CW-1,35	1.35	1.5	W-S-290		W-W-290	W-W-290 (+)	W-FR-290	0,5*1,5 = 0,75	S-1-1 (+)
20	Wiatr 20 i Śnieg II CW-1,35	1.35	1.5	W-S-20		W-W-20	W-W-20 (+)	W-FR-20	0,5*1,5 = 0,75	S-1-0,5 (+)
21	Wiatr 200 i Śnieg II CW-1,35	1.35	1.5	W-S-200		W-W-200	W-W-200 (+)	W-FR-200	0,5*1,5 = 0,75	S-1-0,5 (+)
22	Wiatr 110 i Śnieg II CW-1,35	1.35	1.5	W-S-110		W-W-110		W-FR-110	0,5*1,5 = 0,75	S-1-0,5 (+)
23	Wiatr 290 i Śnieg II CW-1,35	1.35	1.5	W-S-290		W-W-290	W-W-290 (+)	W-FR-290	0,5*1,5 = 0,75	S-1-0,5 (+)

Ze względu na symetryczność konstrukcji względem osi podłużnej uwzględniono tylko kombinacje śniegu z jednej strony hangaru.

Sprawdzono również:

- kombinacje z wiatrem obciążającym tylko jedną połac dachu dla wiatru 20° oraz 200° (nie uwzględniono ich w powyższej tabelce).
- Kombinacje obciążające śniegiem tylko jedną połac (dociskanie) a drugą połac obciążoną wiatrem (ssanie) (dla kombinacji numer 2 i 12).

2.7.3 Kombinacje obliczeniowe dla stanów granicznych użytkowalności (SGU)

Kombinacje charakterystyczne oddziaływań:

$$E_d = E\{G_{k,j}; Q_{k,1}; \psi_{0,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i \geq 1$$

$\gamma_{wszystkie} = 1,0$ – według PN – EN 1990 – A1.4.1 zaleca się, aby wartości współczynników częściowych dla oddziaływań były przyjmowane równe 1,0.

$G_{k,j}$ – ciężar własny konstrukcji

$Q_{k,i}$ – oddziaływanie zmienne



Budowa dwóch hangarów do celów okołolotniskowych wraz z niezbędną infrastrukturą techniczną

Report No. ID-462-REP-LOTNISKO_HANGARY-01-00-03022020

Date: 2020.02.03

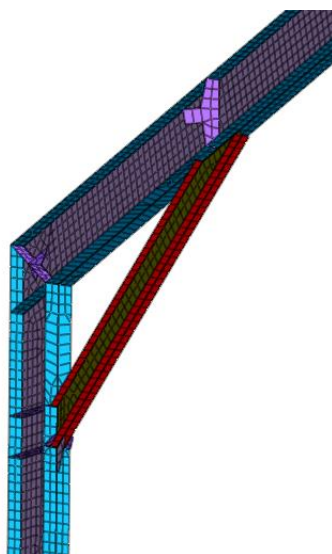
Page: 27 / 50

Ze względu na typ konstrukcji i użyte w modelu elementy tylko rozciągane do obliczeń stanów granicznych użytkowalności zastosowano analizę nieliniową. Dla uproszczenia i ze względu na ograniczenia programu przyjęto $\psi_{0,i} = 1,0$. Ograniczyło to ilość kombinacji do sprawdzenia.

Lp.	Nazwa kombinacji	CW	Wiatr ("-" to ssanie na dachu; "+" parcie na dachu)					Śnieg		
		Współczynnik ciężaru własnego	$\psi \cdot \gamma$ współ. Kombinacji i	Wiatr - ściany	Wiatr - dach	Wiatr - ciśnienie wew. -	Wiatr - ciśnienie wew. - dach	Wiatr - tarcie	$\psi \cdot \gamma$ współ. Kombinacji i	Śnieg
1	Śnieg I bez wiatru CW-1,35	1							1	S-1-1 (+)
2	Śnieg II bez wiatru CW-1,35	1							1	S-1-0,5 (+)
3	Śnieg III bez wiatru CW-1,35	1							1	S-0,5-1 (+)
4	Wiatr 20 bez śniegu CW-1	1	1	W-S-20	W-D-20 (-)	W-W-20		W-FR-20		
5	Wiatr 200 bez śniegu CW-1	1	1	W-S-200	W-D-200 (-)	W-W-200		W-FR-200		
6	Wiatr 110 bez śniegu CW-1	1	1	W-S-110	W-D-110 (-)	W-W-110	W-W-110 (-)	W-FR-110		
7	Wiatr 290 bez śniegu CW-1	1	1	W-S-290	W-D-290 (-)	W-W-290		W-FR-290		
8	Śnieg I i Wiatr 20 CW-1,35	1	1	W-S-20		W-W-20	W-W-20 (+)	W-FR-20	1	S-1-1 (+)
9	Śnieg I i Wiatr 200 CW-1,35	1	1	W-S-200		W-W-200	W-W-200 (+)	W-FR-200	1	S-1-1 (+)
10	Śnieg I i Wiatr 110 CW-1,35	1	1	W-S-110		W-W-110		W-FR-110	1	S-1-1 (+)
11	Śnieg I i Wiatr 290 CW-1,35	1	1	W-S-290		W-W-290	W-W-290 (+)	W-FR-290	1	S-1-1 (+)
12	Śnieg II i Wiatr 20 CW-1,35	1	1	W-S-20		W-W-20	W-W-20 (+)	W-FR-20	1	S-1-0,5 (+)
13	Śnieg II i Wiatr 200 CW-1,35	1	1	W-S-200		W-W-200	W-W-200 (+)	W-FR-200	1	S-1-0,5 (+)
14	Śnieg II i Wiatr 110 CW-1,35	1	1	W-S-110		W-W-110		W-FR-110	1	S-1-0,5 (+)
15	Śnieg II i Wiatr 290 CW-1,35	1	1	W-S-290		W-W-290	W-W-290 (+)	W-FR-290	1	S-1-0,5 (+)

4. Model obliczeniowy.

Obliczenia całej konstrukcji hali wykonano w programie MIDAS NFX, używając elementów powłokowych do wymodelowania wszystkich elementów konstrukcji. Wymiary elementów powłokowych to 60mm. Przykład gęstości siatki:





Płyty warstwowe wymodelowano jako bardzo cienką blachę o grubości 0,1 mm i zwiększonym ciężarze tak aby ważyła 30 kg/m². Blacha ta nie usztywnia konstrukcji tylko przenosi na nią obciążenia, które zostały przyłożone do blachy. Blacha połączona jest z konstrukcją za pomocą bardzo wiotkich pręcików połączonych przegubowo (imitacja połączenia śrubowego płyt warstwowych).

Poniżej zostały przedstawione charakterystyki materiałowe, użyte w modelu MES:

- Moduł Younga $E = 210\,000\text{ MPa}$,
- Współczynnik Poissona $\nu = 0.3$
- Gęstość stali $\rho = 7.85\text{ t/m}^3$
- Rodzaj stali S460 i S355

Granica plastyczności stali to $R_e = 355\text{ MPa}$ za wyjątkiem głównych słupów oraz ich podstaw, które zostały zaprojektowane ze stali S460 MPa.

Wymiary oraz wielkości użytych profili zostały pokazane na załączonej dokumentacji rysunkowej.

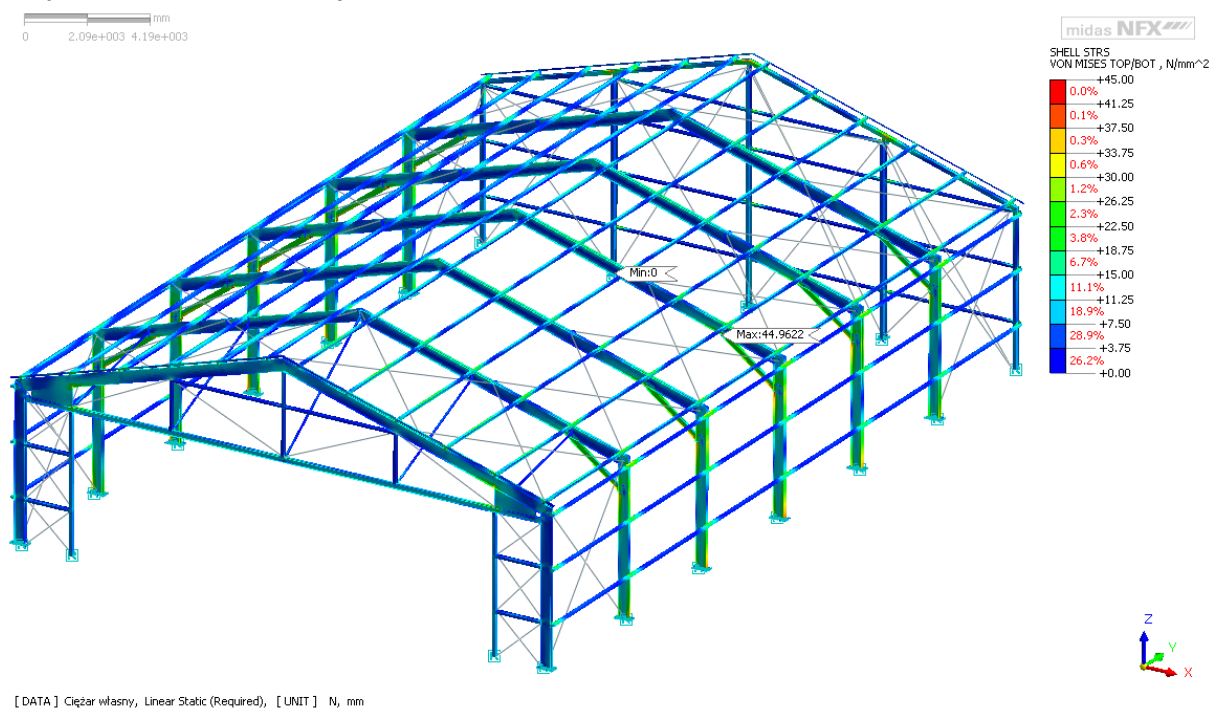
4.1. Warunki brzegowe

Słupy zostały utwierdzone w podstawie (zablokowane przesuwu oraz obroty na wszystkich kierunkach).

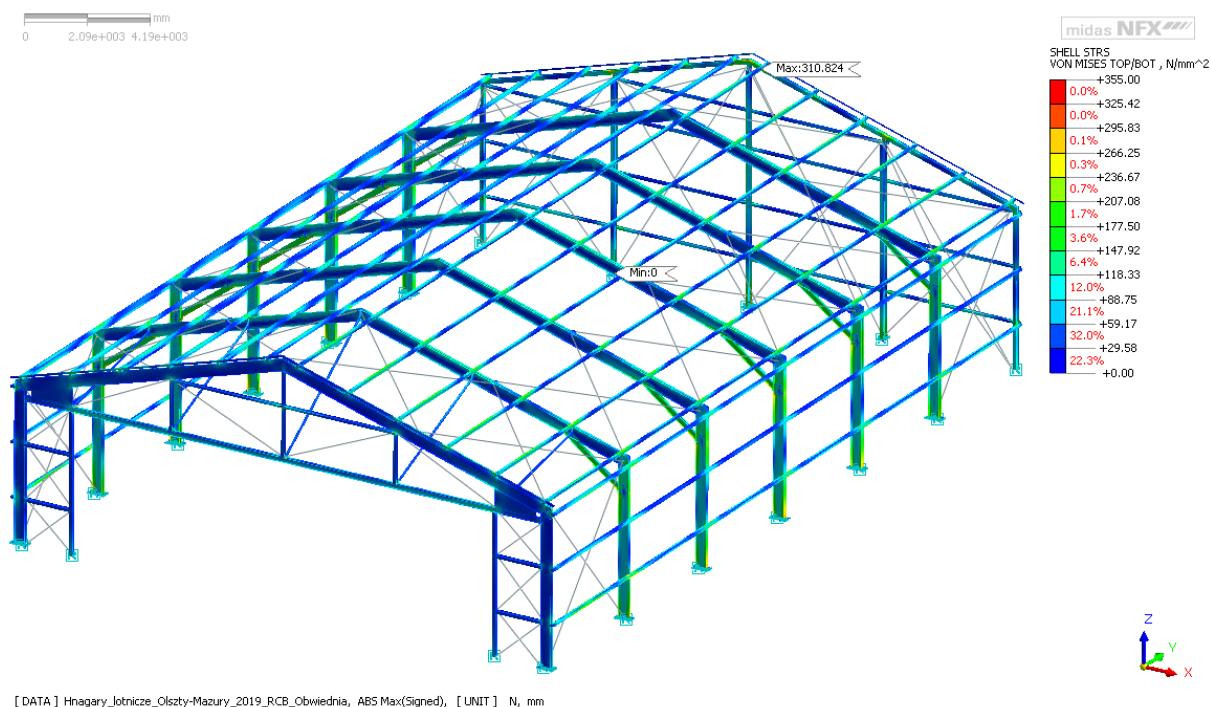
5. Wyniki obliczeń.

5.1. Stan graniczny nośności (SGN)

Poniższe wyniki stanowią obwiednie kombinacji podanych we wcześniejszym rozdziale (chyba, że podane inaczej).

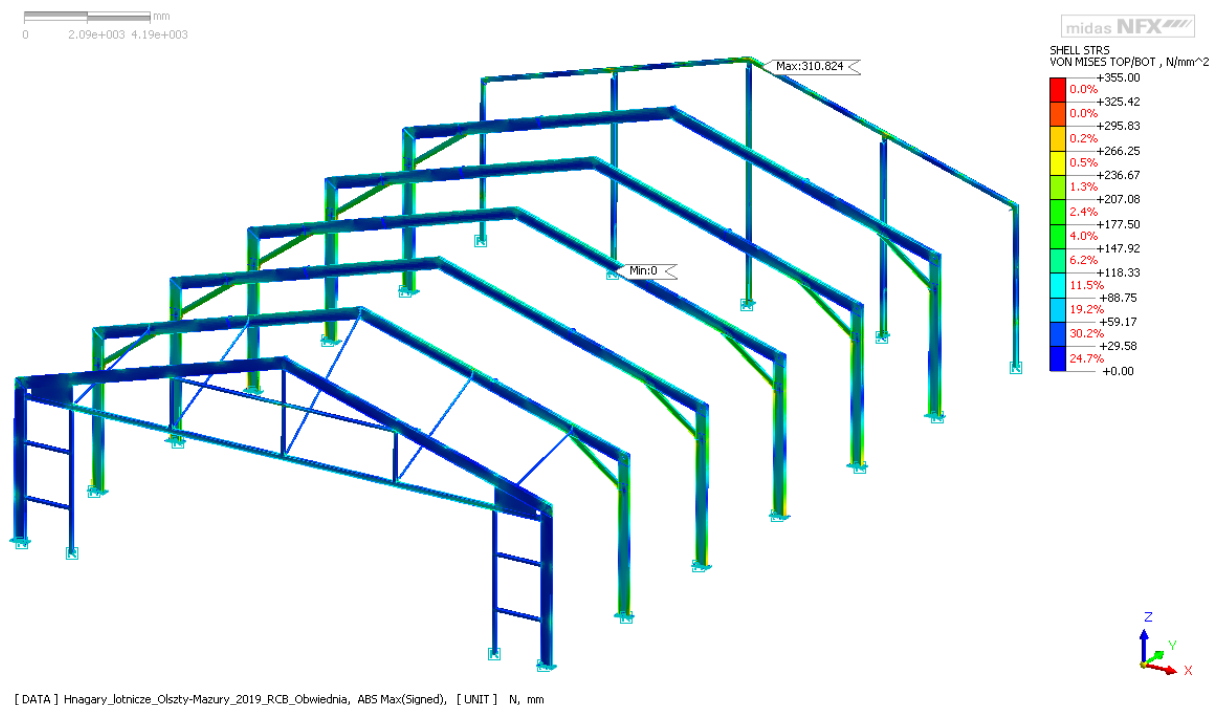


Rys.5.1 Naprężenia od ciężaru własnego (skala do 45 MPa).

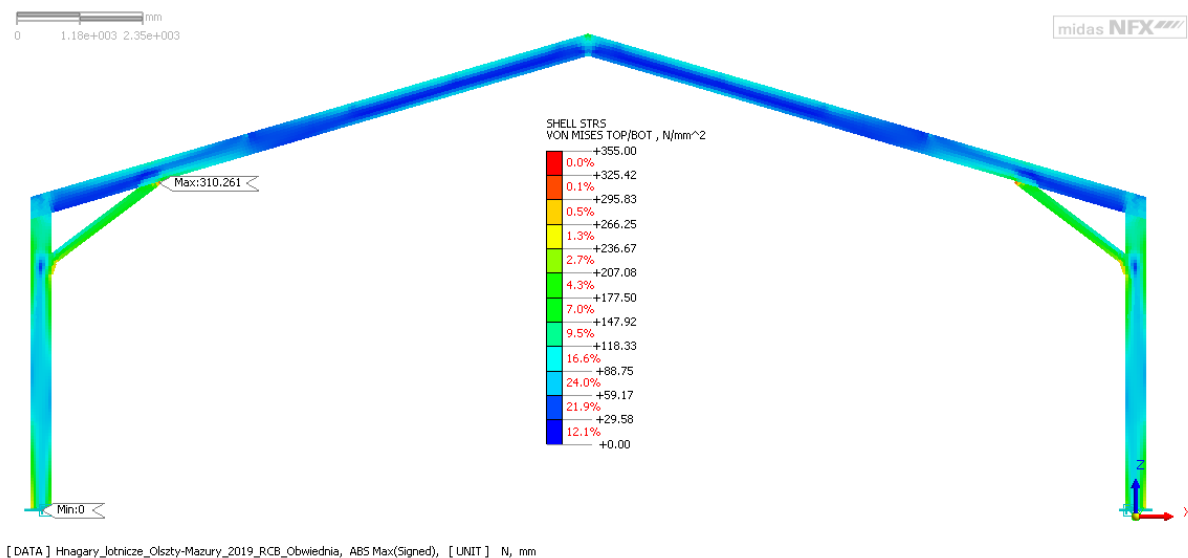




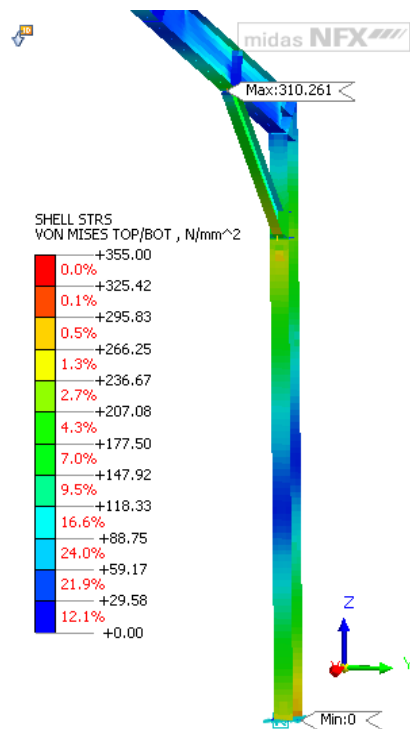
Rys.5.2 Naprężenia w całym hangarze (skala do 355MPa).



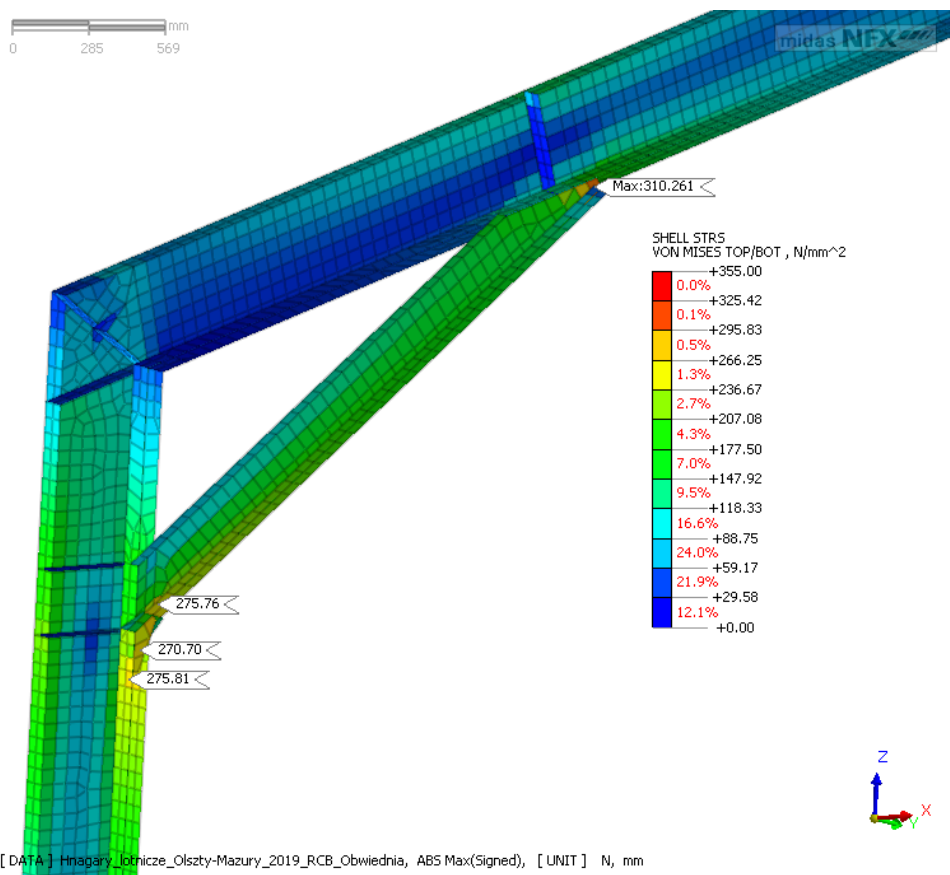
Rys.5.3 Naprężenia w głównych ramach.



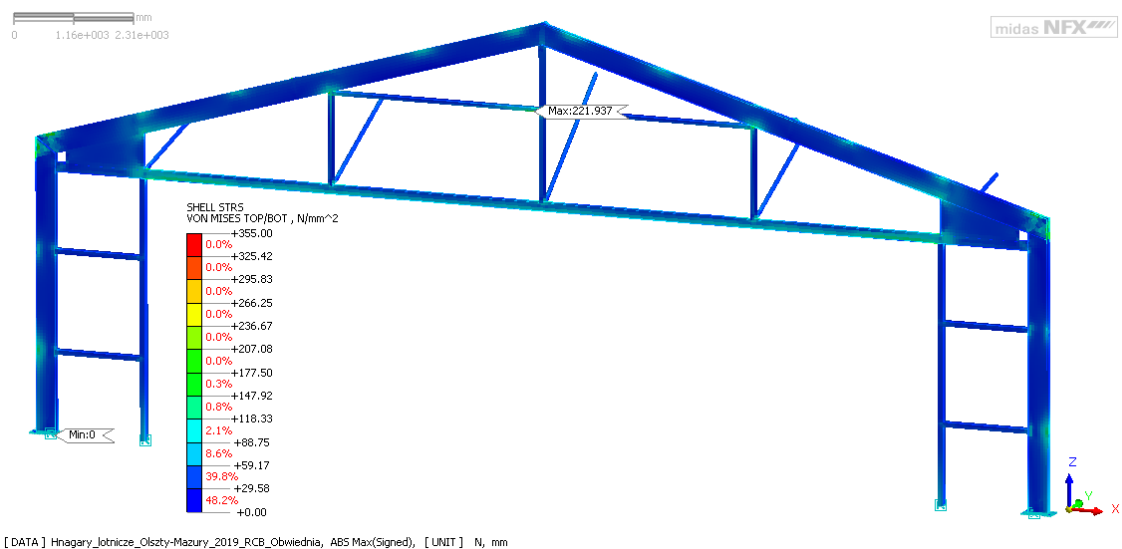
Rys.5.4 Naprężenia w głównych ramach.



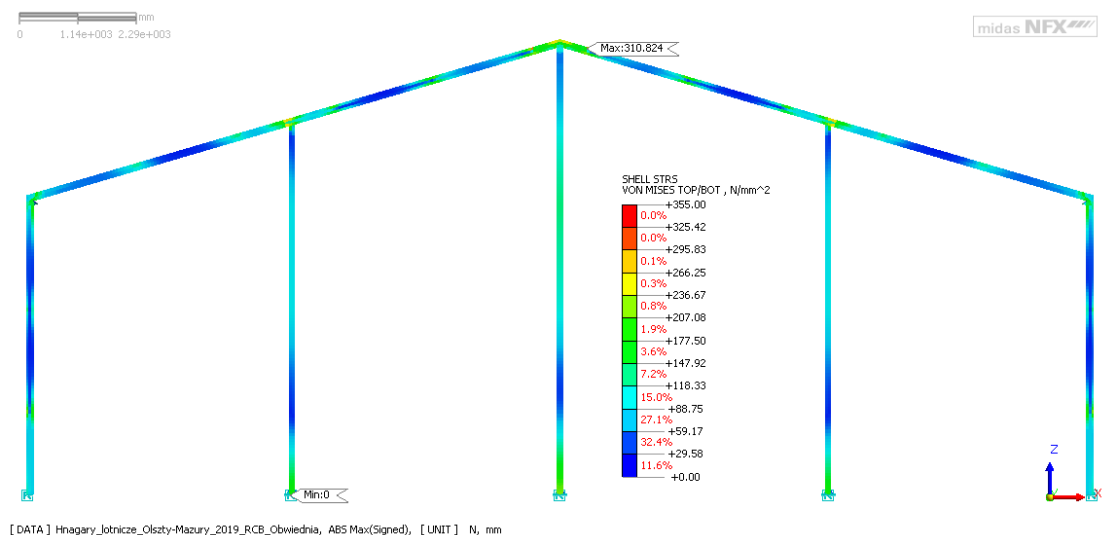
Rys.5.5 Naprężenia w narożach ram.



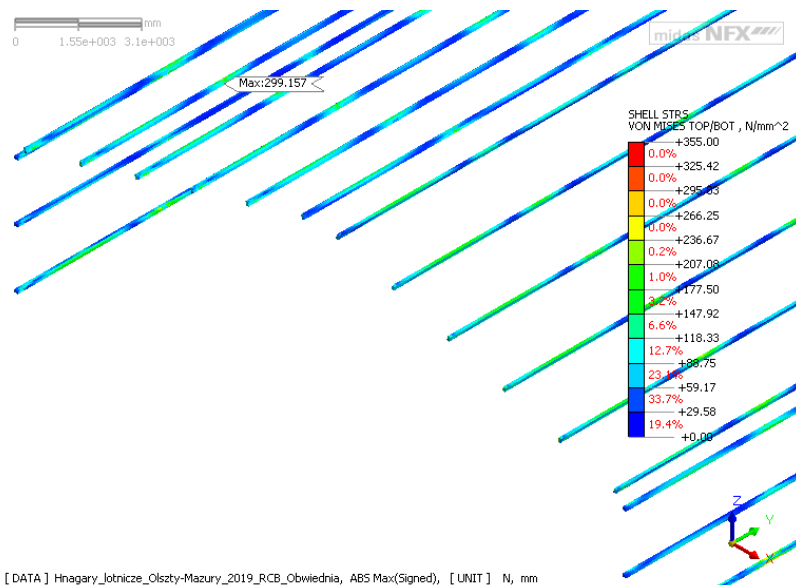
Rys.5.6 Naprężenia w narożach ram.



Rys.5.7 Naprężenia w bramie.



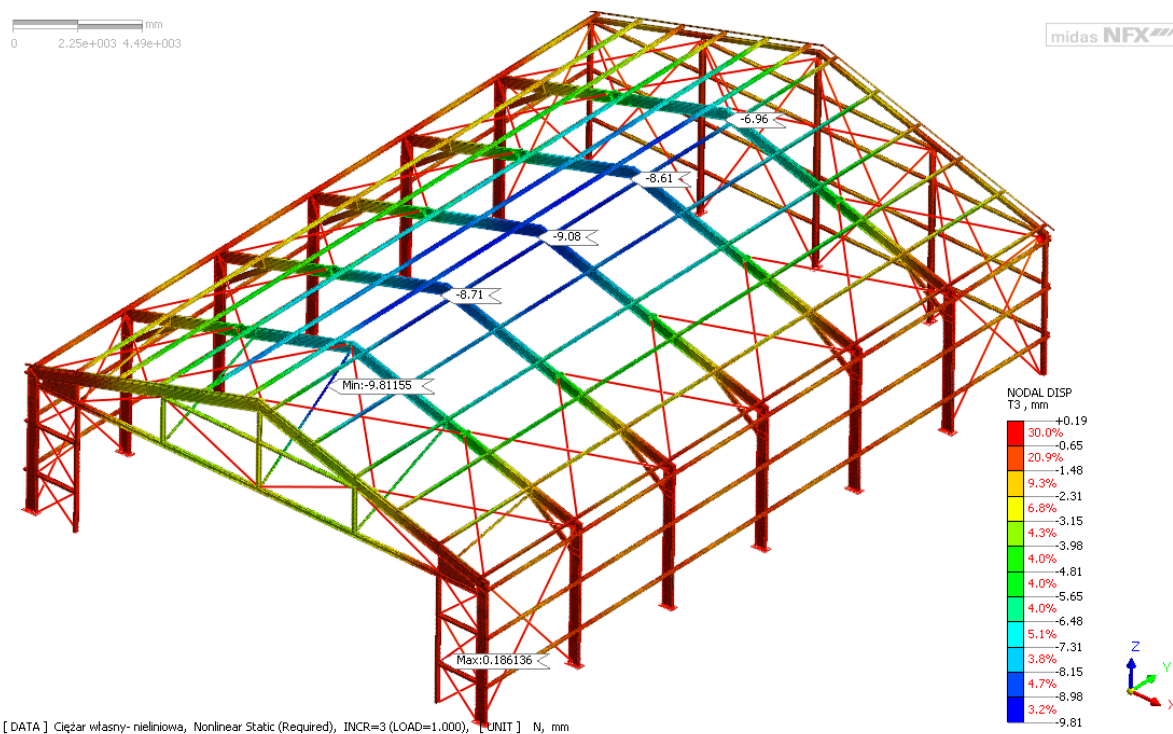
Rys.5.8 Naprężenia w ścianie tylnej.



Rys.5.9 Naprężenia w płatwiach i ryglach.

5.2. Stan graniczny użytkowości (SGU)

Poniższe wyniki stanowią obwiednie kombinacji podanych we wcześniejszym rozdziale (chyba, że podane inaczej).



Rys.5.10 Ugięcia hangaru od ciężaru własnego.

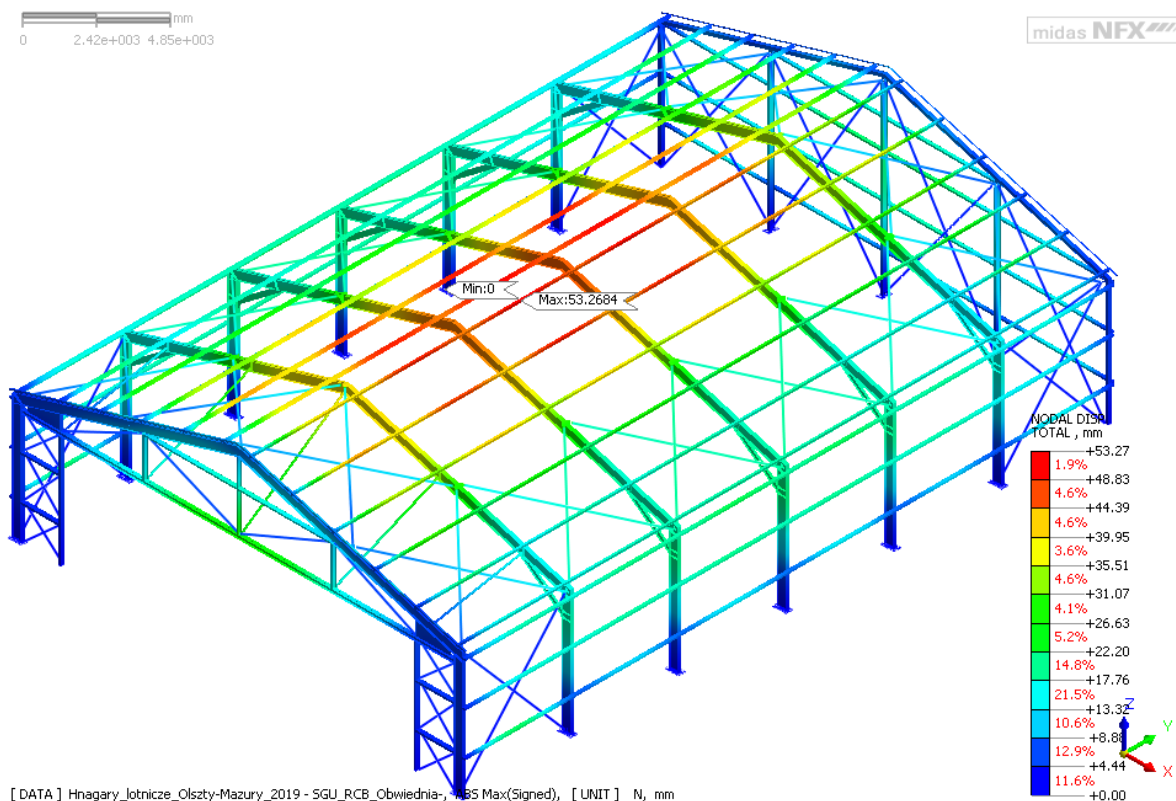


Budowa dwóch hangarów do celów okołolotniskowych wraz z niezbędną infrastrukturą techniczną

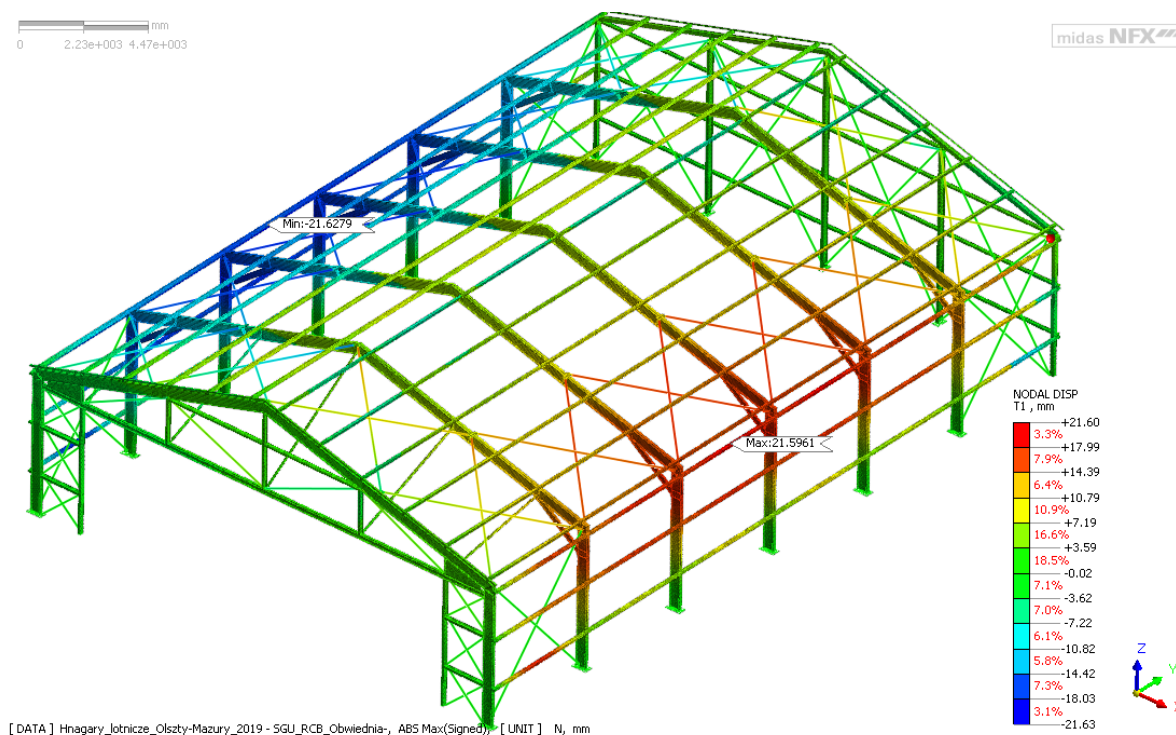
Report No. ID-462-REP-LOTNISKO_HANGARY-01-00-03022020

Date: 2020.02.03

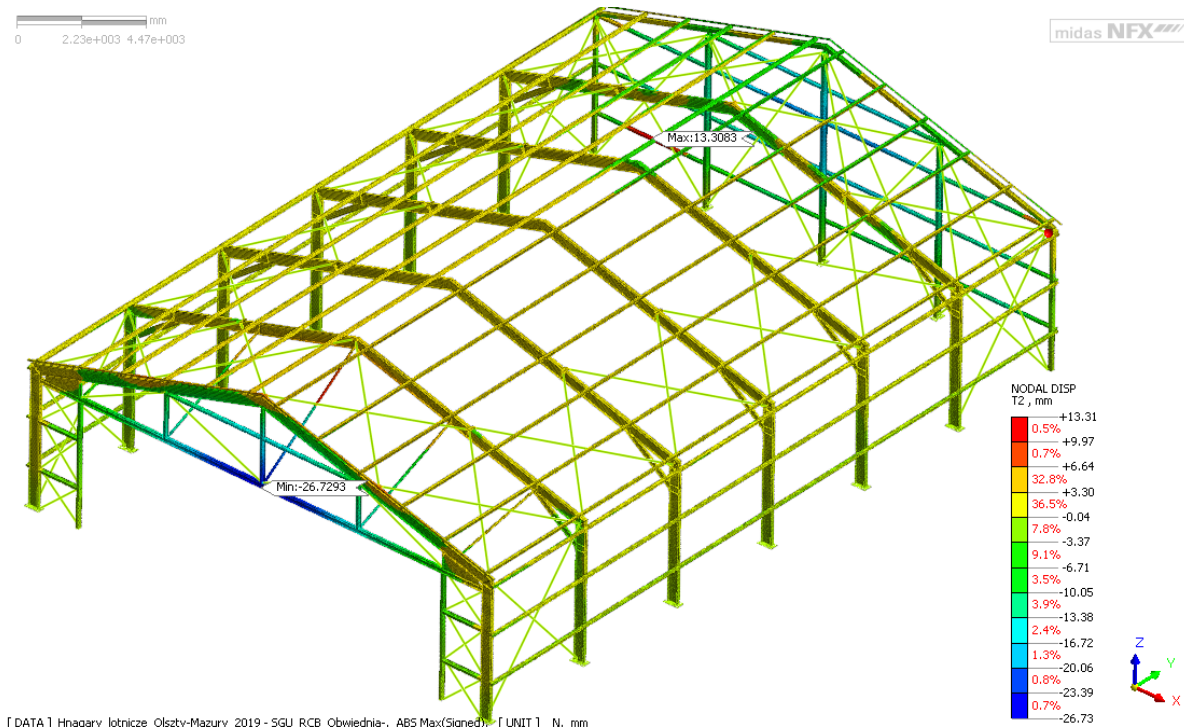
Page: 34 / 50



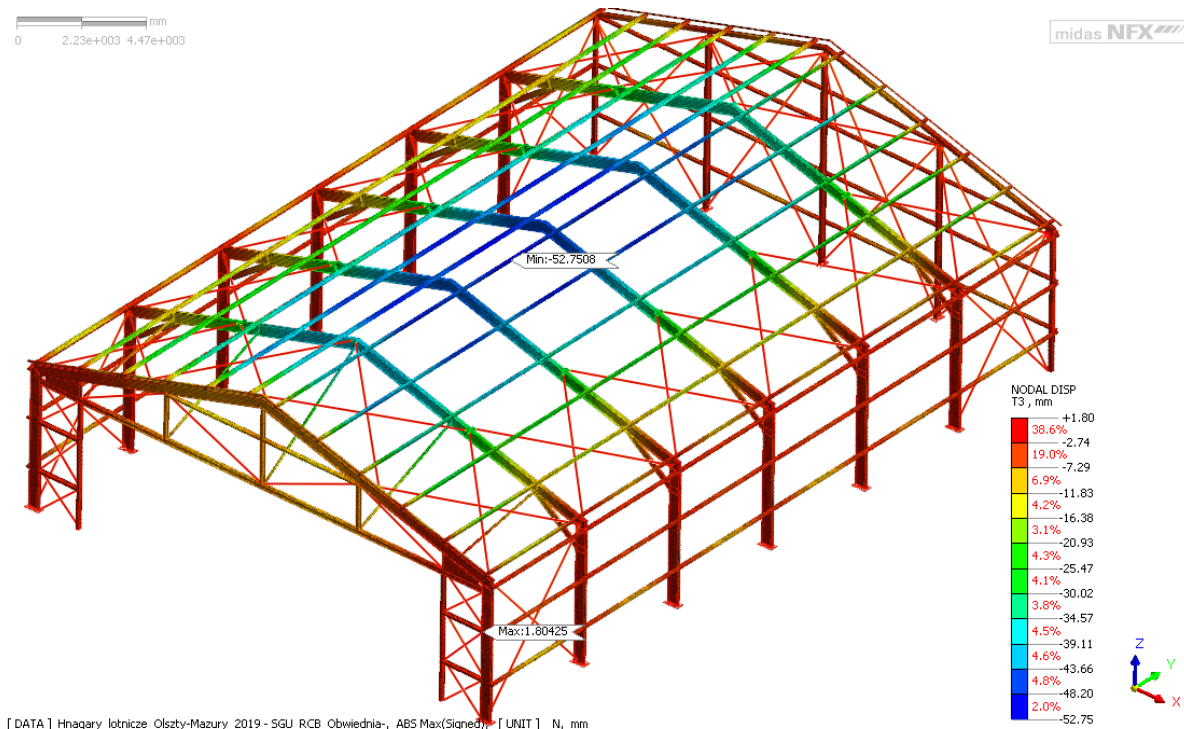
Rys.5.11 Przemieszczenia całkowite na osiach XYZ.



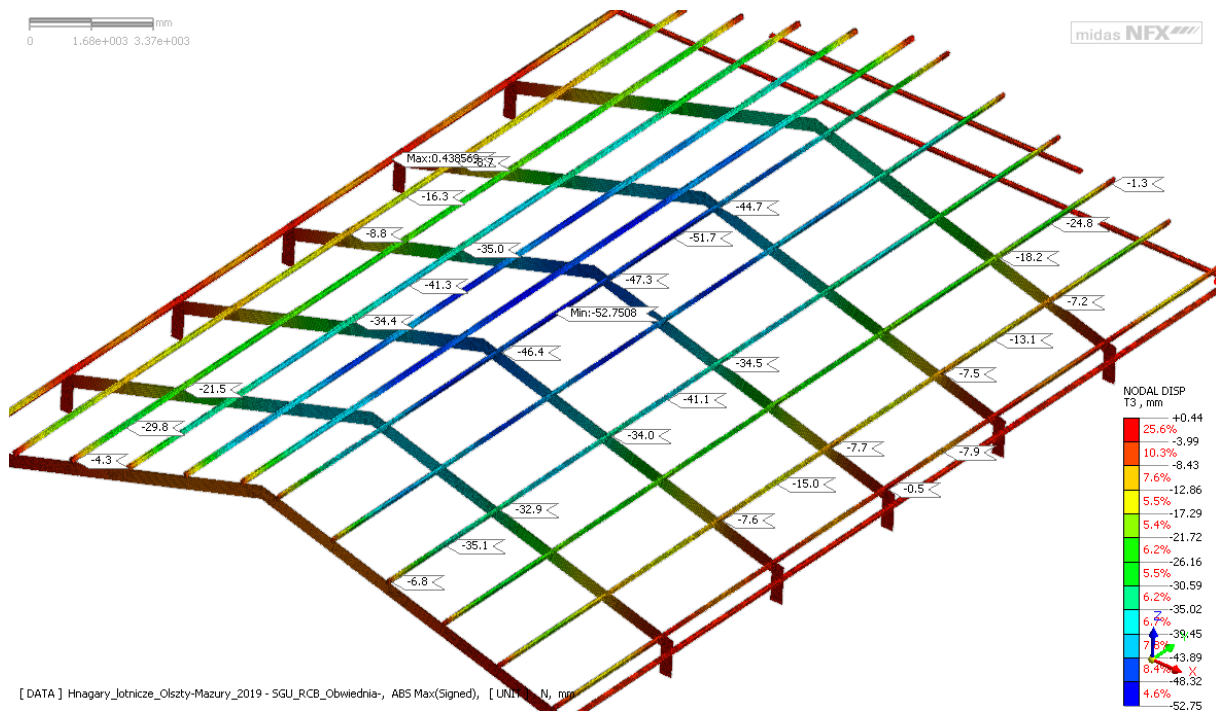
Rys.5.12 Całkowite przemieszczenia na osi X (mm).



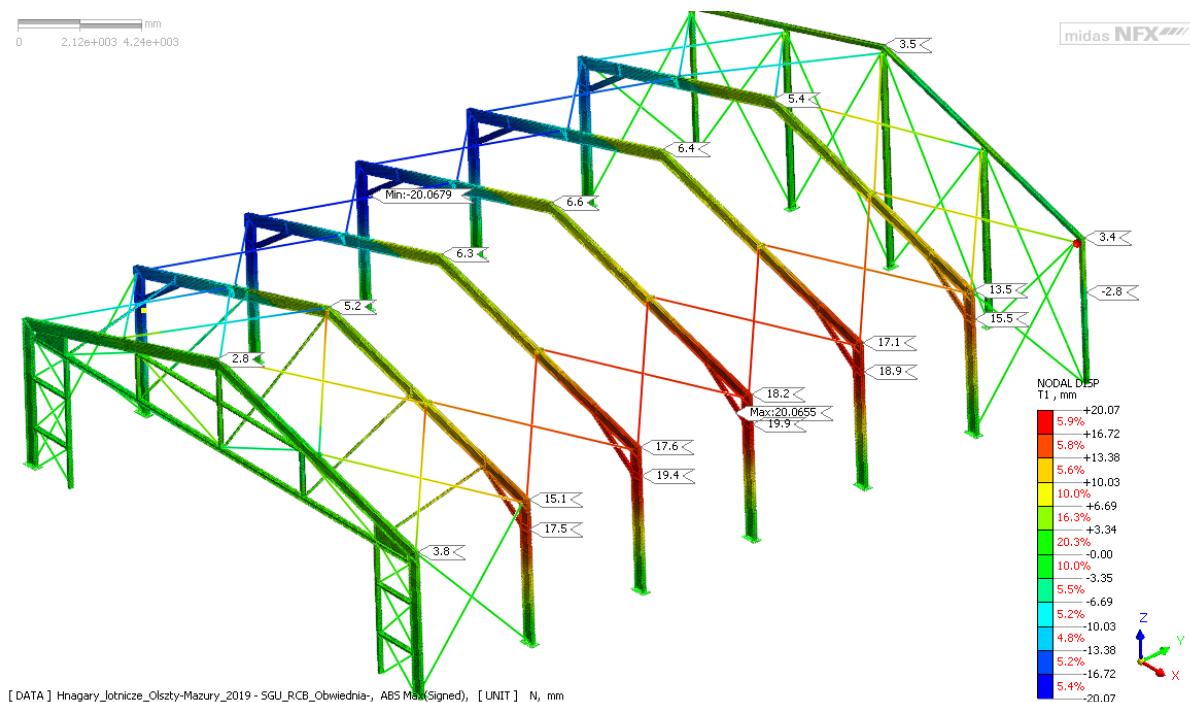
Rys.5.13 Całkowite przemieszczenia na osi Y (mm).



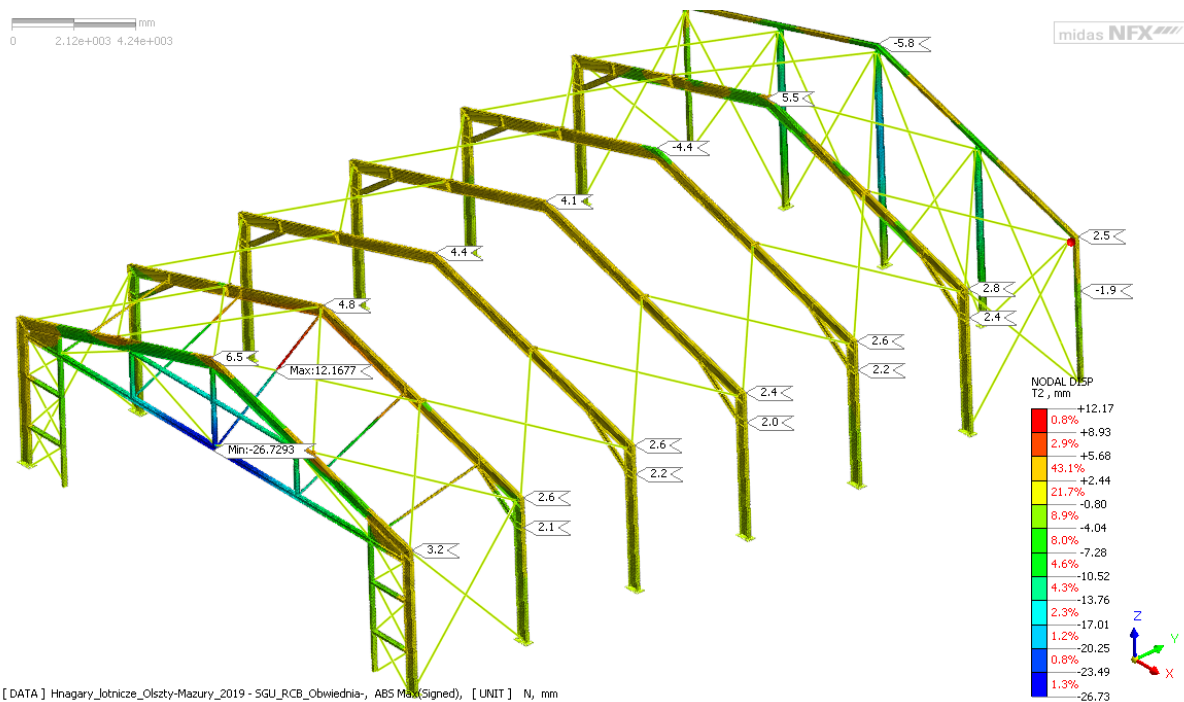
Rys.5.14 Całkowite przemieszczenia na osi Z (mm).



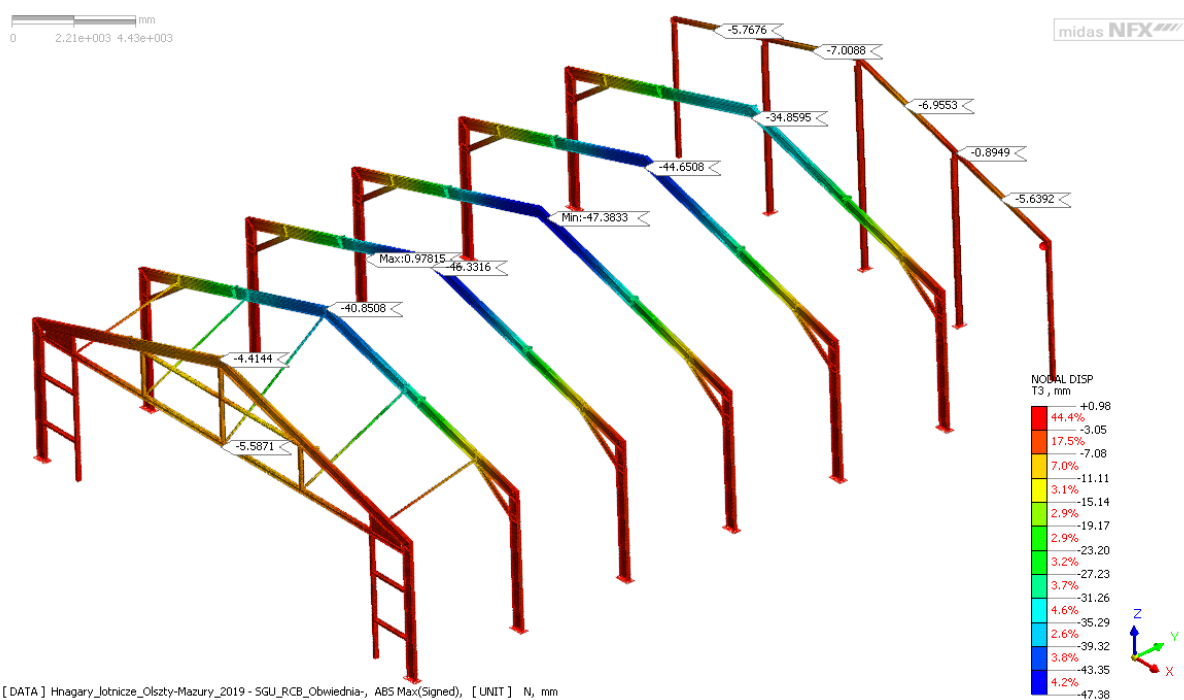
Rys.5.15 Ugięcia płatwi nie przekraczają 10mm (L/500).



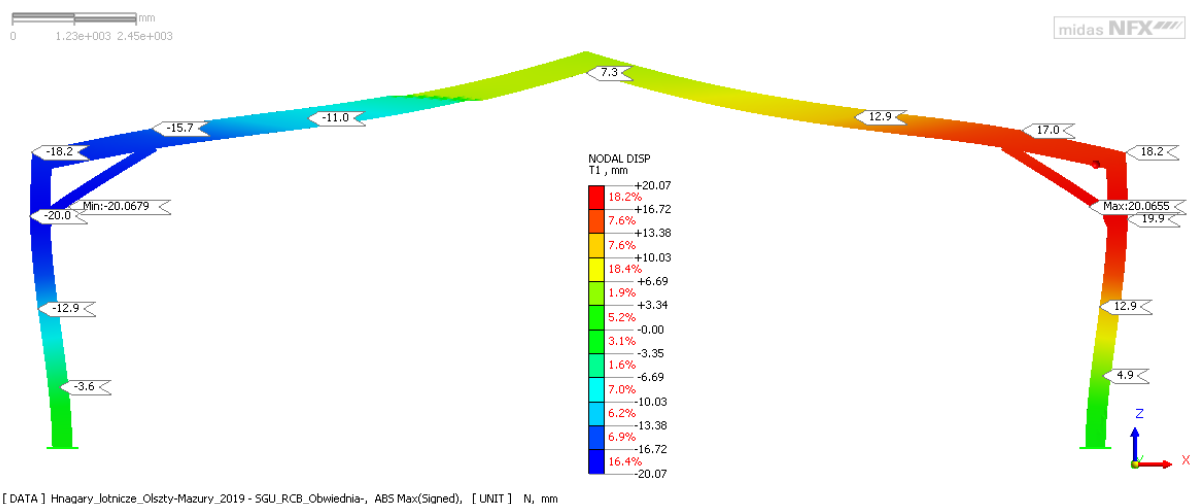
Rys.5.16 Przemieszczenia ram na osi X.



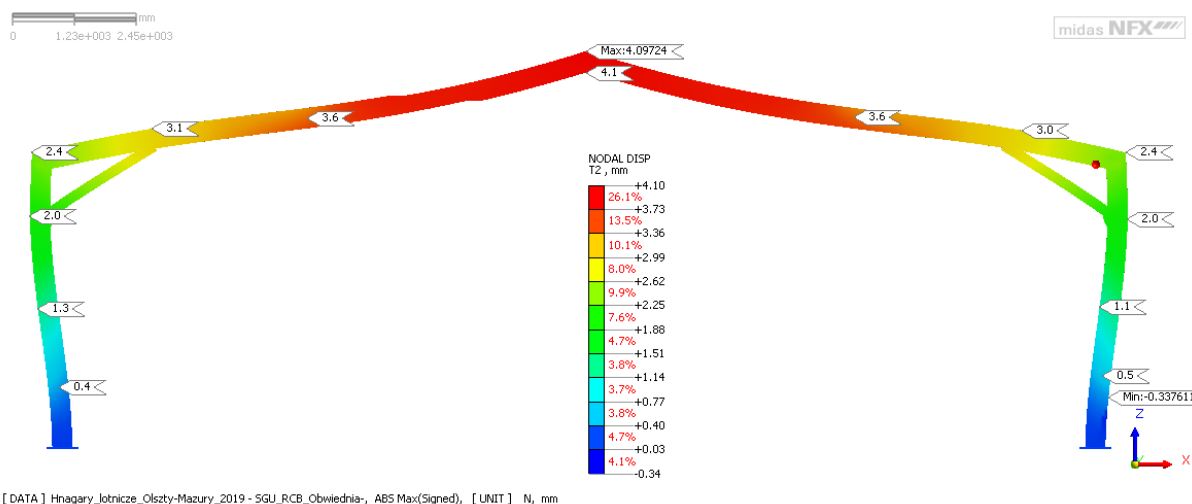
Rys.5.17 Przemieszczenia ram na osi Y.



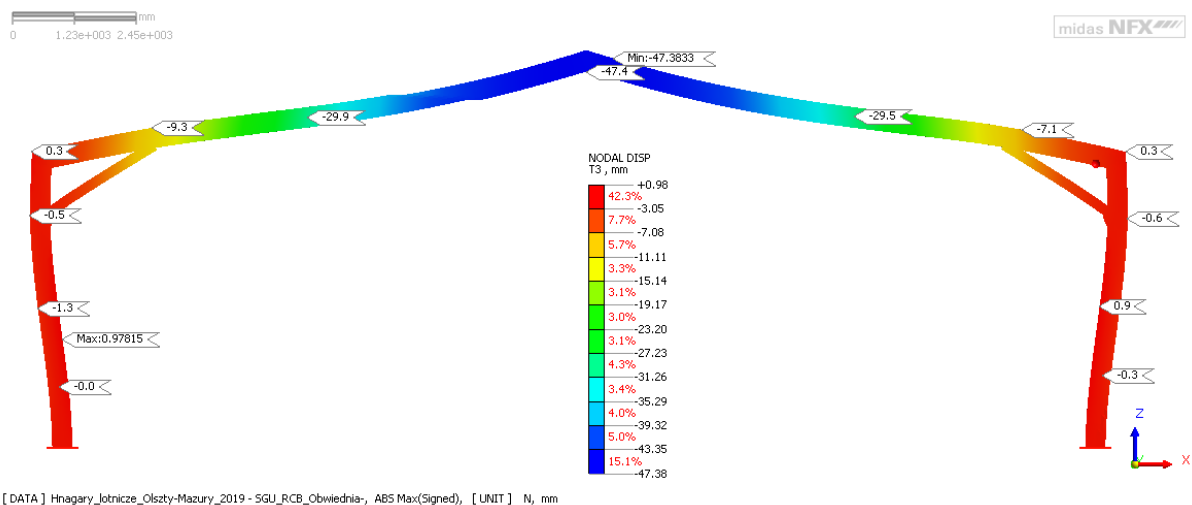
Rys.5.18 Przemieszczenia ram na osi Z.



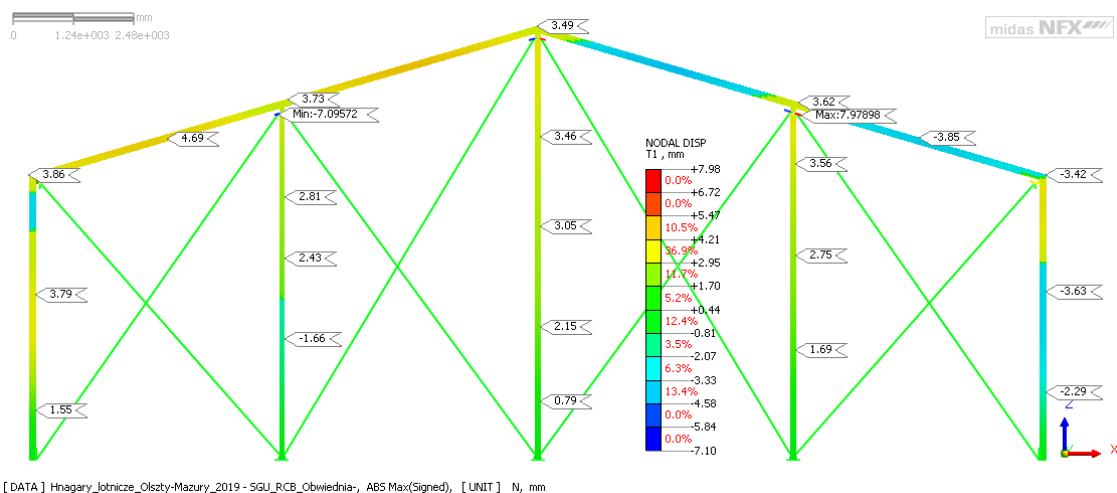
Rys.5.19 Przemieszczenia ramy na osi X wraz z deformacją.



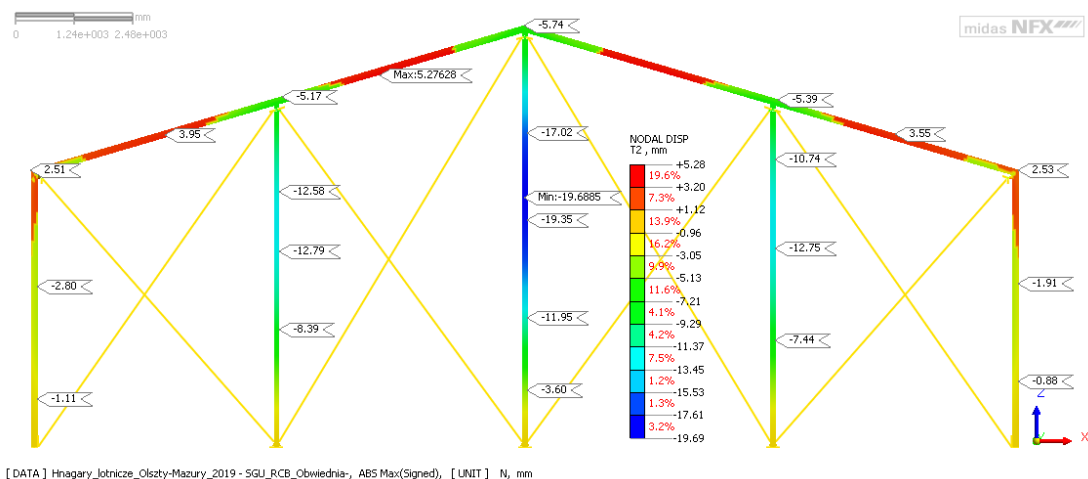
Rys.5.20 Przemieszczenia ramy na osi Y wraz z deformacją.



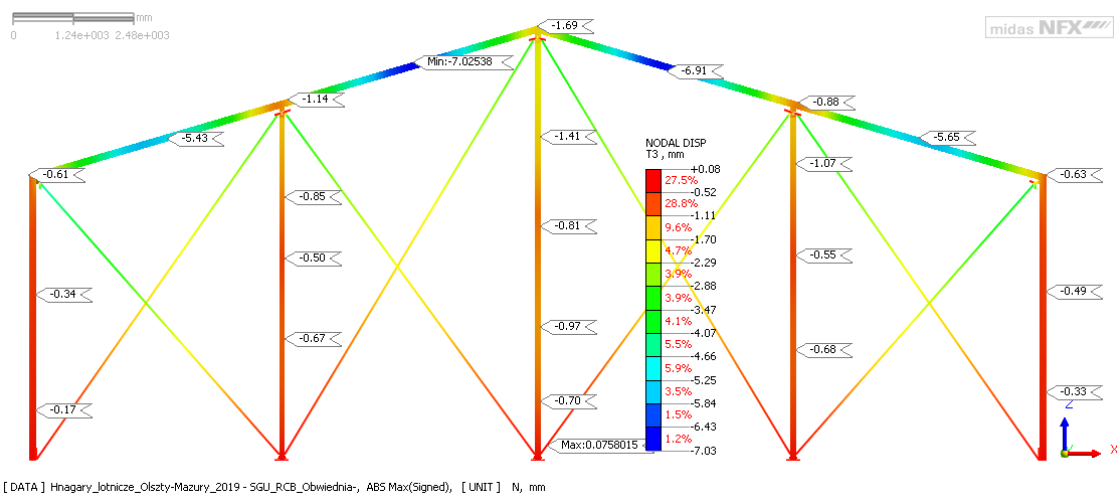
Rys.5.21 Przemieszczenia ramy na osi Z wraz z deformacją.



Rys.5.22 Przemieszczenia tylnej ściany na osi X.



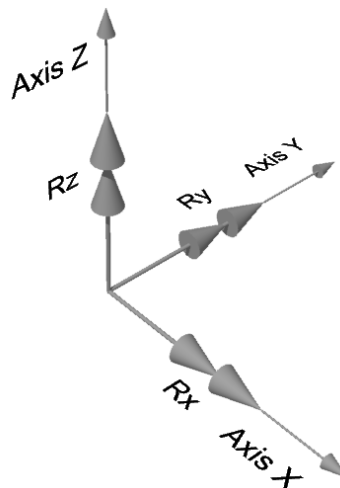
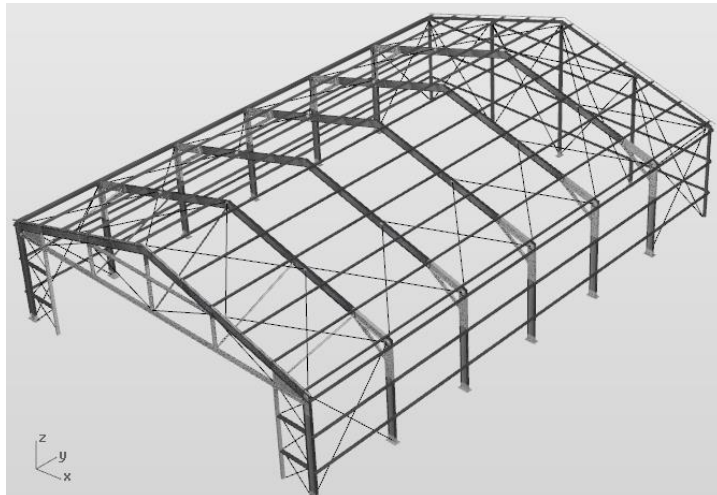
Rys.5.23 Przemieszczenia tylnej ściany na osi Y.



Rys.5.24 Przemieszczenia tylnej ściany na osi Z.

5.3. Reakcje w podstawach słupów

Reakcje z poszczególnych podstaw słupów przedstawiono w poniższej tabeli.



Rodzaj słupów	Ustawienie	Numer kombinacji	Wartości reakcji						
			Tx kN	Ty kN	Tz (-) docisk kN	Tz (+) odrywanie kN	Rx kNm	Ry kNm	Rz kNm
Słupy IPE400 (bez słupów w osi bramy frontowej)		8 i 9	142	4,5	-194		1,38	314	0,6
		16 i 17	130	5	-164		1,5	285	0,6
		Obwiednia z kombinacji: 1-7; 10-15; 18-23	127	12	-186	60	3,8	274	0,6
Słupy IPE400 (w osi bramy frontowej)		Obwiednia ze wszystkich kombinacji: 1-23	42	16	-206	66	10	47	1,0
Słupy IPE240		6 i 7	3,5	-40	-6	2	71,5	0,3	0,1
		18 i 19	5	-39	-84,5		71	0,25	0,1
		22 i 23	7	-39	-77,5		71	0,5	0,1
		Obwiednia z kombinacji: 1-5, 8-17, 20, 21	20	31	-112		48	2,5	0,3
Słupy SHS 150x5		Obwiednia ze wszystkich kombinacji: 1-23	18,5	15	-80	30	7	10	8,5
Słupy RHS 180x100x8 (brama)		Obwiednia ze wszystkich kombinacji: 1-23	14	7	-120	42	8,5	2,5	1

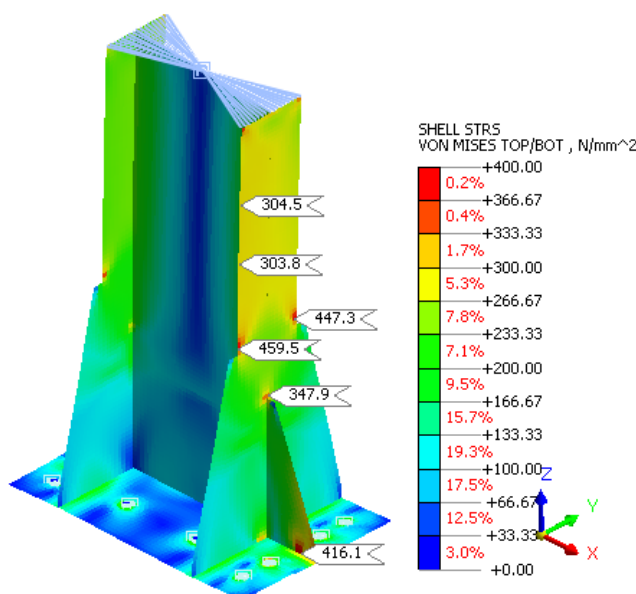
5.4. Obliczenie podstaw słupów

Podstawy słupów wraz z siłami w śrubach policzono na modelach lokalnych i przykładając siły z poprzedniego rozdziału.

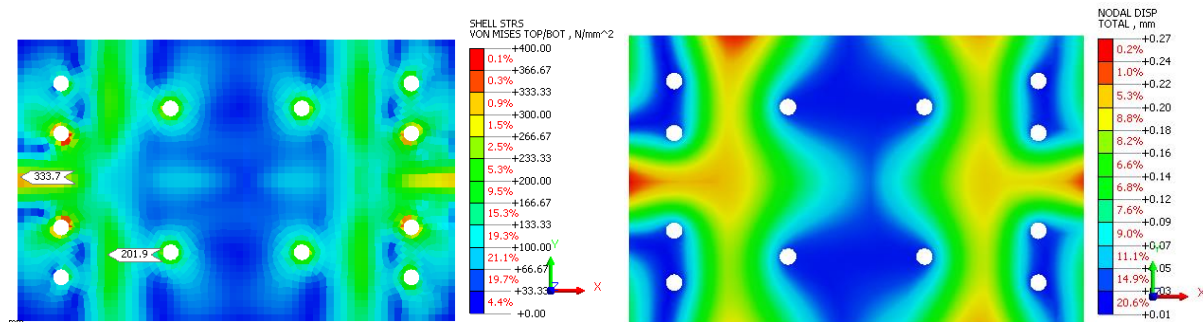
5.4.1 Podstawa słupa IPE 400

Słupy oraz podstawy wykonane są ze stali S460MPa

Grubość blachy podstawy = 30mm



Rys.5.1 Naprężenia w słupie.



Rys.5.1 Naprężenia i przemieszczenia w podstawie.

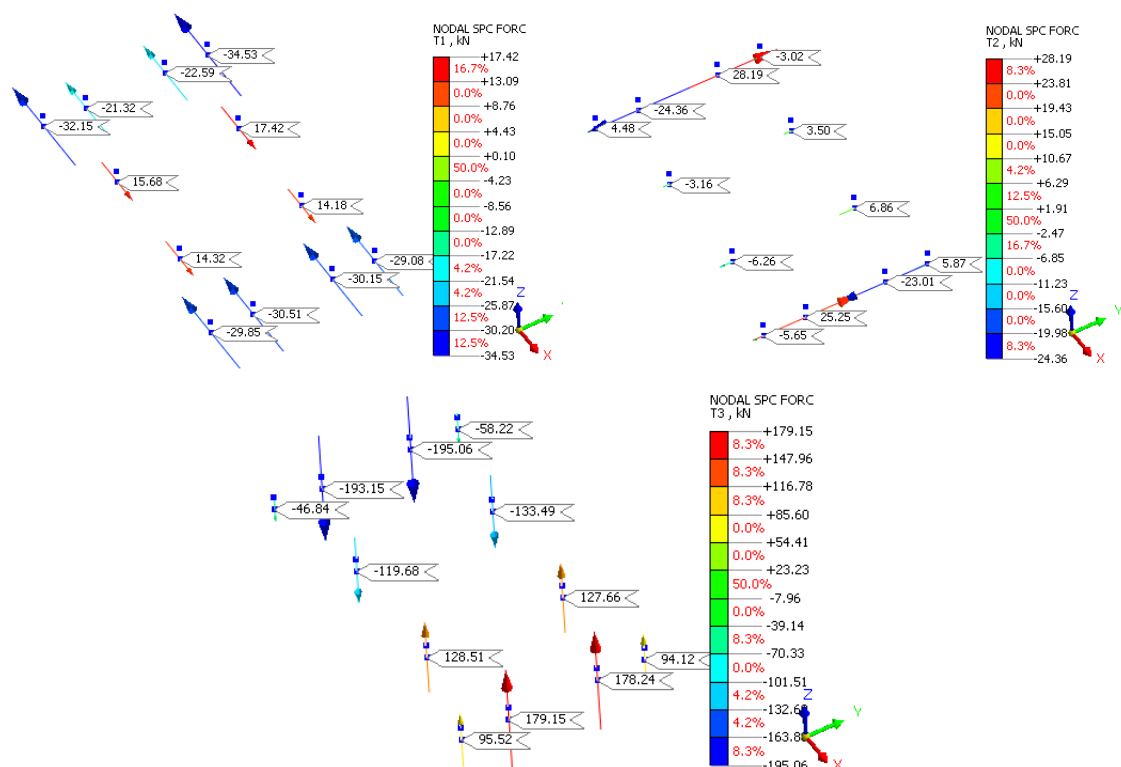


Budowa dwóch hangarów do celów okołolotniskowych wraz z niezbędną infrastrukturą techniczną

Report No. ID-462-REP-LOTNISKO_HANGARY-01-00-03022020

Date: 2020.02.03

Page: 42 / 50



Rys.5.2 Siły w kotwach.

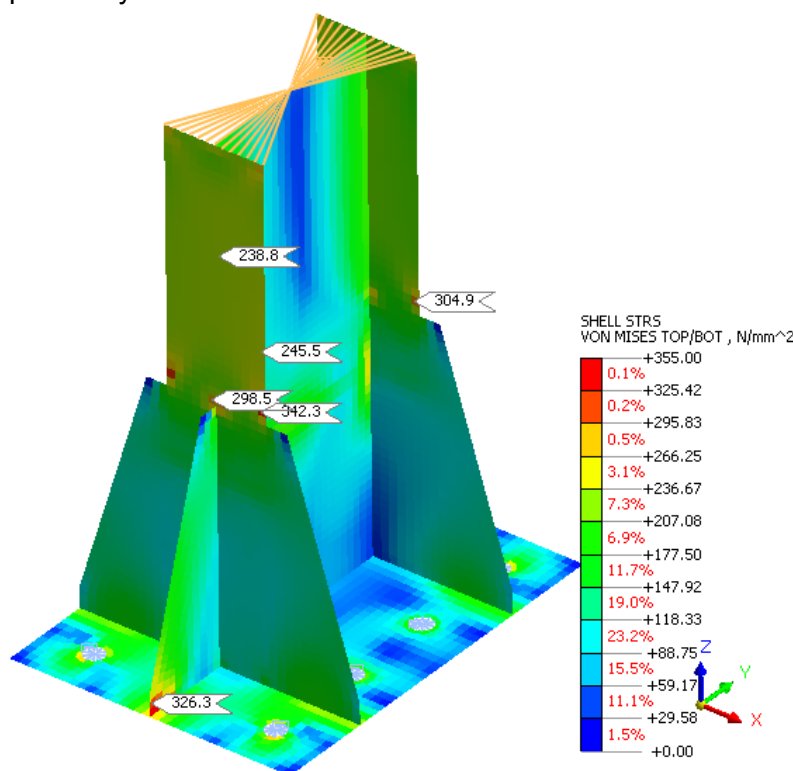
Kotwy M30 klasy 8.8	
Klasa kotew	8.8
Wytrzymałość na rozciąganie R_m (MPa)	800
Granica plastyczności R_e (MPa)	640
Średnica nominalna kotwy (mm)	30
Przekrój netto A_s (mm ²)	561
Nośność na ścinanie dla kotew w jednej płaszczyźnie $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$ (kN)	89,04
Nośność na rozciąganie $F_{t,Rd}$ ($B_{p,Rd}$) $F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$ (kN)	323,14
Maksymalne siły w jednej kotwie	$T_x = 35,0$ kN, siła ścinająca $T_y = 28,5$ kN, siła ścinająca $F_{v,Ed} = T_{x,y} = 45,1$ kN, wypadkowa siła ścinająca $F_{t,Ed} = T_z = 196,0$ kN, siła rozciągająca
Sprawdzenie warunku nośności na ścinanie	$45,1 / 89,04 = 0,507 < 1$

$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	Warunek spełniony
Sprawdzenie warunku nośności na rozciąganie $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	196,0 / 323,14 = 0,607 < 1 Warunek spełniony
Sprawdzenie warunku nośności na ścinanie z rozciąganiem $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1,0$	$\frac{45,1}{89,04} + \frac{196,0}{1,4 * 323,14} = 0,507 + 0,433 = 0,94 \leq 1,0$ Warunek spełniony

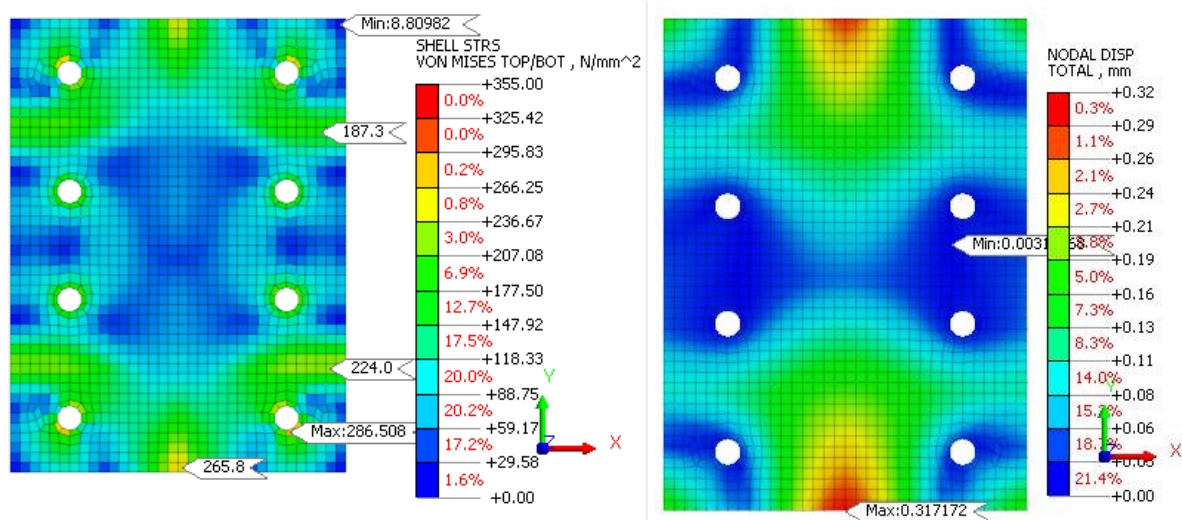
5.4.2 Podstawa słupa IPE 240

Słupy oraz podstawy wykonane są ze stali S355MPa

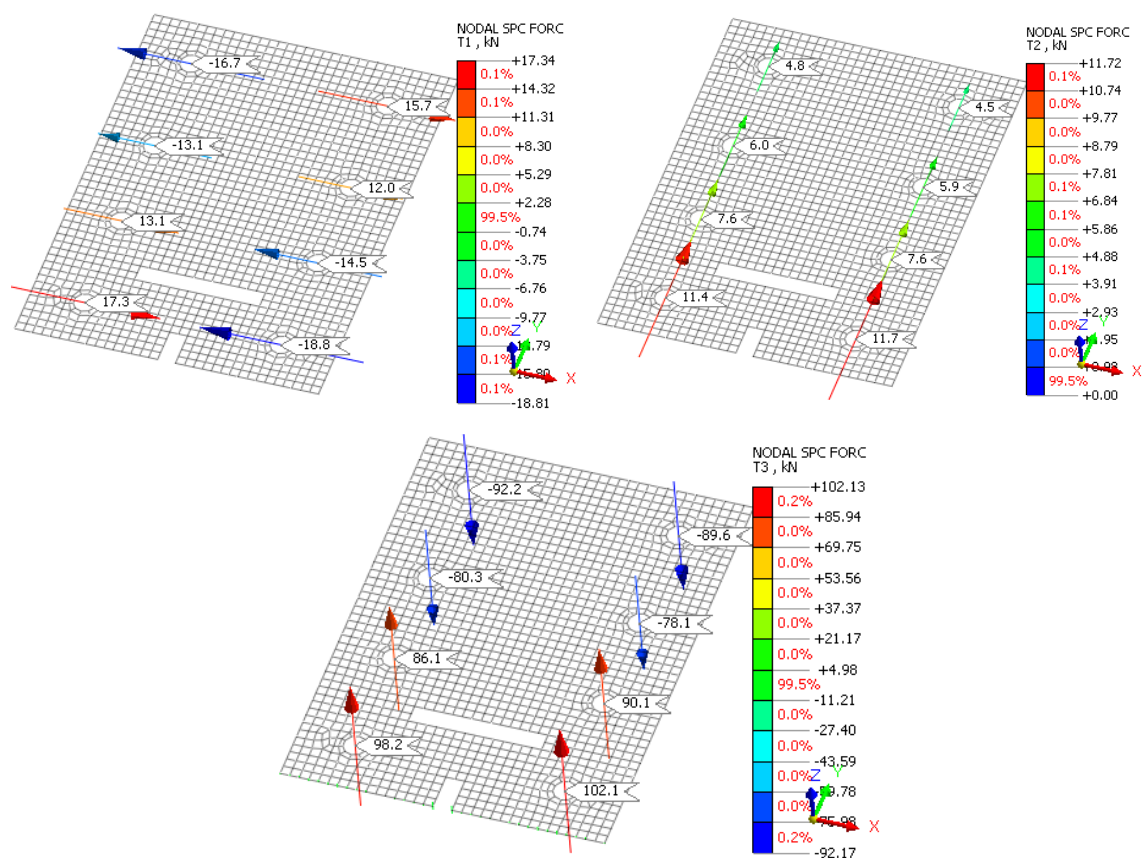
Grubość blachy podstawy = 25mm



Rys.5.1 Naprężenia w słupie.



Rys.5.1 Naprężenia i przemieszczenia w podstawie.



Rys.5.2 Siły w kotwach.



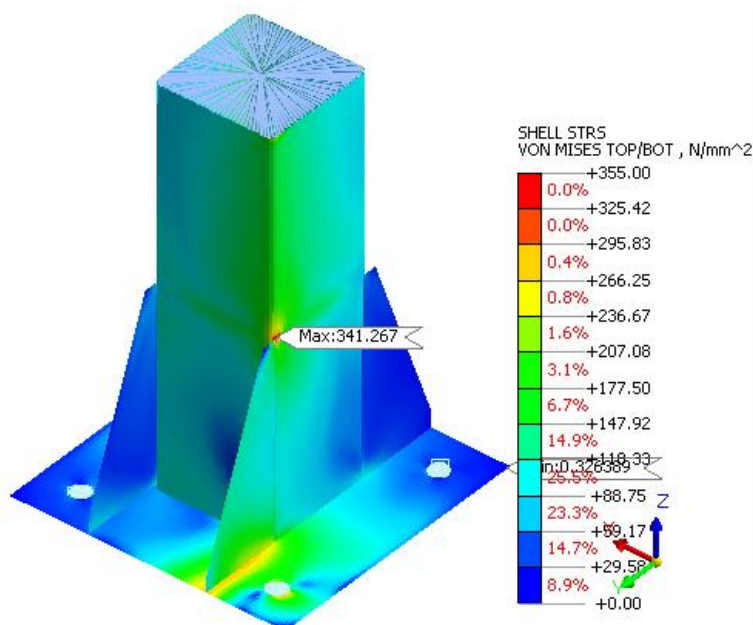
Kotwy M24 klasy 8.8	
Klasa kotew	8.8
Wytrzymałość na rozciąganie R_m (MPa)	800
Granica plastyczności R_e (MPa)	640
Średnica nominalna kotwy (mm)	24
Przekrój netto A_s (mm ²)	353
Nośność na ścinanie dla kotew w jednej płaszczyźnie $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_b * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$ (kN)	56,03
Nośność na rozciąganie $F_{t,Rd}$ ($B_{p,Rd}$) $F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$ (kN)	203,33
Maksymalne siły w jednej kotwie	$T_x = 19,0$ kN, siła ścinająca $T_y = 12,0$ kN, siła ścinająca $F_{v,Ed} = T_{x,y} = 22,5$ kN, wypadkowa siła ścinająca $F_{t,Ed} = T_z = 92,0$ kN, siła rozciągająca
Sprawdzenie warunku nośności na ścinanie $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	$22,50 / 56,03 = 0,4 < 1$ Warunek spełniony
Sprawdzenie warunku nośności na rozciąganie $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	$92,0 / 203,33 = 0,452 < 1$ Warunek spełniony
Sprawdzenie warunku nośności na ścinanie z rozciąganiem $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1,0$	$\frac{18,0}{56,03} + \frac{92,0}{1,4 * 203,33} = 0,04 + 0,323 = 0,724 \leq 1,0$ Warunek spełniony

5.4.3 Podstawa słupa SHS 150x5

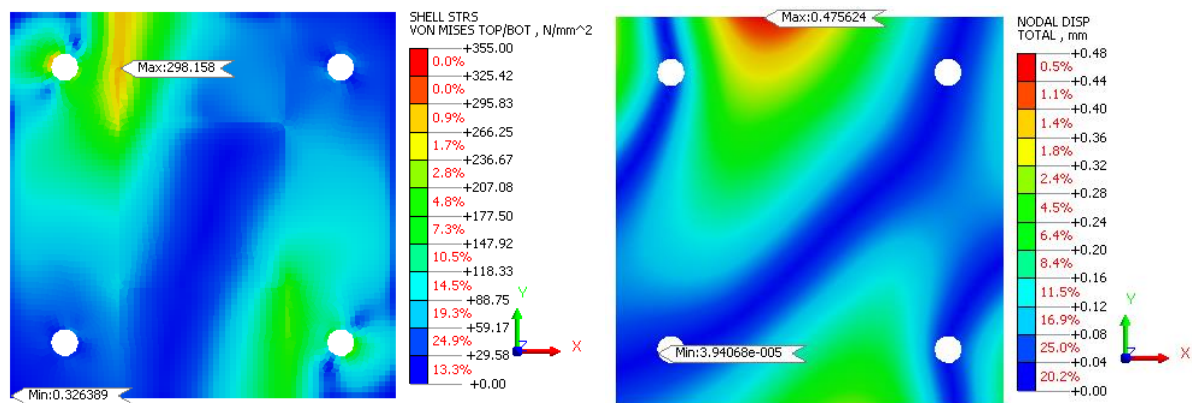
Słupy oraz podstawy wykonane są ze stali S355MPa

Grubość blachy podstawy = 20mm

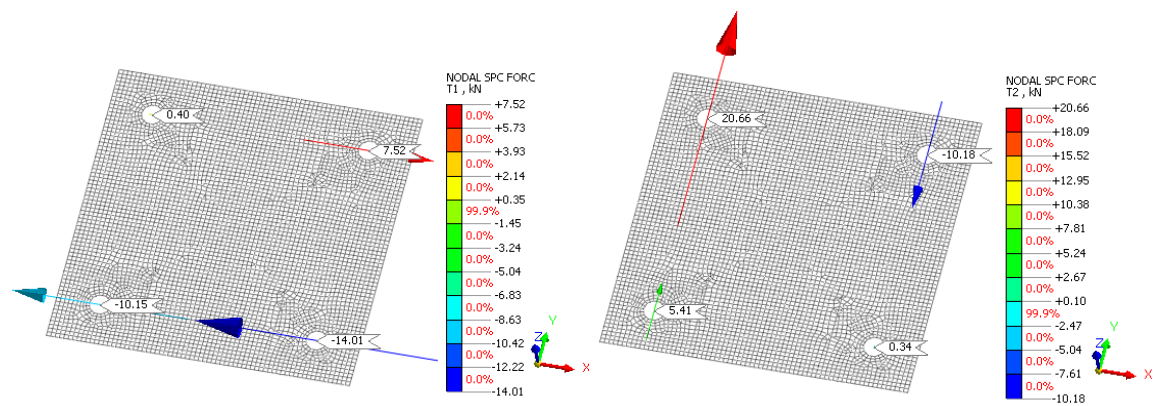
Ze względu na niesymetryczne ustawienie węzłówek momenty oraz siły zaokrąglono w wzwyż aby były równe na obu kierunkach.

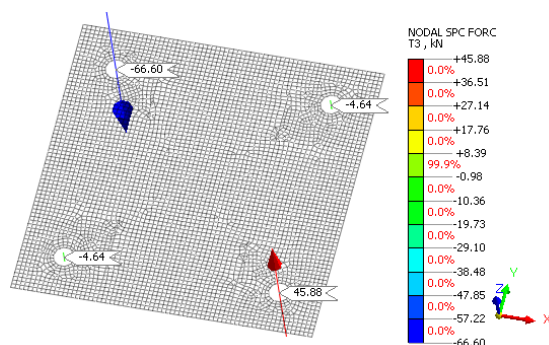


Rys.5.1 Naprężenia w słupie i podstawie.



Rys.5.1 Naprężenia i przemieszczenia w podstawie.





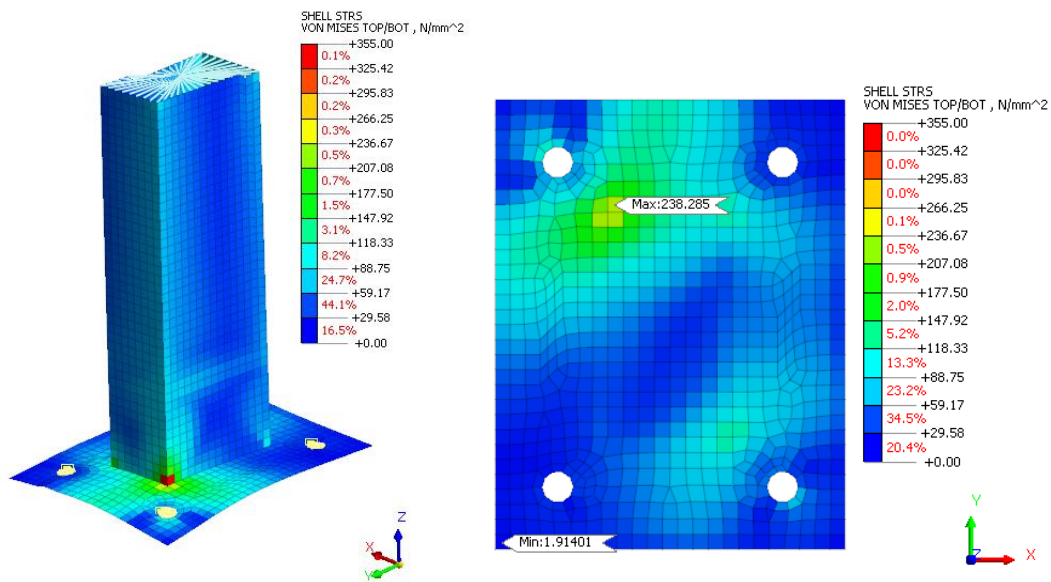
Rys.5.2 Siły w kotwach.

Kotwy M24 klasy 8.8	
Klasa kotew	8.8
Wytrzymałość na rozciąganie R_m (MPa)	800
Granica plastyczności R_e (MPa)	640
Średnica nominalna kotwy (mm)	20
Przekrój netto A_s (mm ²)	353
Nośność na ścinanie dla kotew w jednej płaszczyźnie $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$ (kN)	56,03
Nośność na rozciąganie $F_{t,Rd}$ ($B_{p,Rd}$) $F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$ (kN)	203,33
Maksymalne siły w jednej kotwie	$T_x = 14,0$ kN, siła ścinająca $T_y = 21,0$ kN, siła ścinająca $F_{v,Ed} = T_{x,y} = 25,2$ kN, wypadkowa siła ścinająca $F_{t,Ed} = T_z = 67,0$ kN, siła rozciągająca
Sprawdzenie warunku nośności na ścinanie $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	$25,2 / 56,03 = 0,45 < 1$ Warunek spełniony
Sprawdzenie warunku nośności na rozciąganie $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	$67,0 / 203,33 = 0,33 < 1$ Warunek spełniony
Sprawdzenie warunku nośności na ścinanie z rozciąganiem $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$	$\frac{25,2}{56,03} + \frac{67,0}{1,4 \cdot 203,33} = 0,69 \leq 1,0$ Warunek spełniony

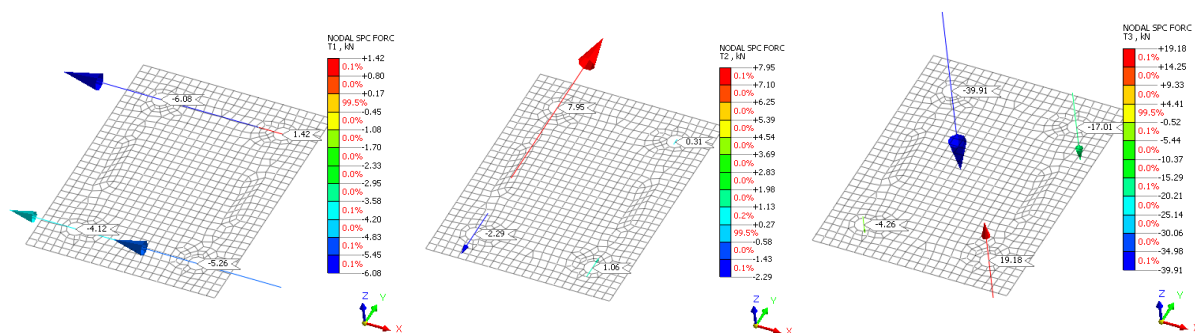
5.4.4 Podstawa słupa RHS 180x100x8

Słupy oraz podstawy wykonane są ze stali S355MPa

Grubość blachy podstawy = 20mm



Rys.5.1 Naprężenia w słupie i podstawie.



Rys.5.2 Siły w kotwach.

Kotwy M20 klasy 8.8	
Klasa kotew	8.8
Wytrzymałość na rozciąganie Rm (MPa)	800
Granica plastyczności Re (MPa)	640
Średnica nominalna kotwy (mm)	20
Przekrój netto As (mm ²)	245
Nośność na ścinanie dla kotew w jednej	38,88

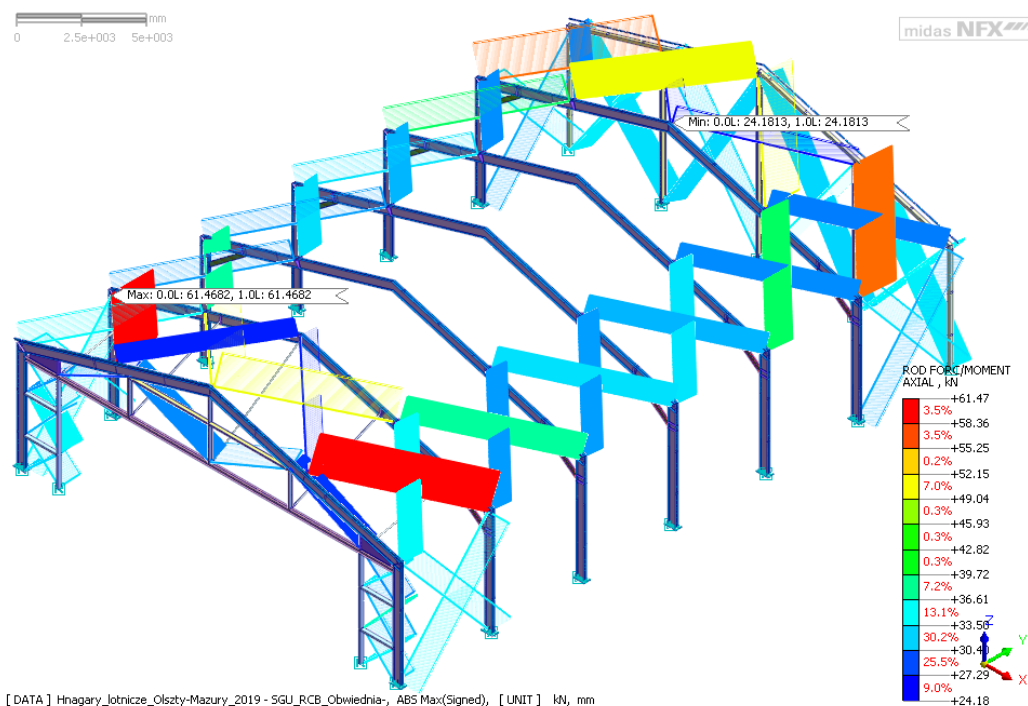


płaszczyźnie $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_b * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$ (kN)	
Nośność na rozciąganie $F_{t,Rd}$ ($B_{p,Rd}$) $F_{t,Rd} = \frac{k_z * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$ (kN)	141,12
Maksymalne siły w jednej kotwie	$T_x = 6,1$ kN, siła ścinająca $T_y = 8,0$ kN, siła ścinająca $F_{v,Ed} = T_{x,y} = 10,1$ kN, wypadkowa siła ścinająca $F_{t,Ed} = T_z = 40,0$ kN, siła rozciągająca
Sprawdzenie warunku nośności na ścinanie $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	$10,1 / 38,88 = 0,26 < 1$ Warunek spełniony
Sprawdzenie warunku nośności na rozciąganie $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	$40,0 / 141,12 = 0,283 < 1$ Warunek spełniony
Sprawdzenie warunku nośności na ścinanie z rozciąganiem $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1,0$	$\frac{10,1}{38,88} + \frac{40,0}{1,4 * 141,12} = 0,26 + 0,202 = 0,46 \leq 1,0$ Warunek spełniony

5.5. Stężenia hali

Stężenia hali zaprojektowano jako liny ocynkowane o średnicy 14mm i wytrzymałości 1770 N/mm² i sile zrywającej 129,4kN.

W modelu obliczeniowym liny zamodelowano jako pręty tylko rozciągane. Zastosowano sprężenia lin 1,4mm/1m aby nie występowała w nich siła ściskająca. Poniższe wyniki to obwódka sił w linach dla kombinacji SGU.



5.6. Wyboczenie

Wyboczenie sprawdzono na modelu bez blachy zastępującej płyty warstwowe i bez stężeń.

Obciążenie charakterystyczne przyłożono bezpośrednio do rygli i płatwi. Sprawdzono kilka kombinacji obciążenia, najgorszym okazał się przypadek 8 kombinacji gdzie najmniejszy mnożnik obciążenia powodującego wyboczenie wyniósł = 2,24 (oznacza to, że siła musiałaby być 2,24 większa od zadanej aby doszło do wyboczenia się elementów konstrukcji). Elementem, który się wyboczy jako pierwszy są skosy w narożach ram:

