

1. Dane:

- a) rozpiętość ramy $B := 24 \cdot \text{m}$
b) długość hali $L := 60 \cdot \text{m}$
c) rozstaw ram $a := 6 \text{m}$
d) wysokość użytkowa $h_1 := 5 \cdot \text{m}$

$$b := 2 \text{m}$$

$$\alpha := 5 \cdot \text{deg}$$

Lokalizacja: Gdynia

2. Obliczenia statyczne i wymiarowanie:

2.1 Płatew

2.1.1 Zestawienie obciążeń na płatew

a) Obciążenia stałe

Lp.	Rodzaj obciążeń	wartość charakterystyczna $[\text{kN/m}^2]$	współczynnik częściowy	wartość oblicz. $[\text{kN/m}^2]$
OBCIĄŻENIE STAŁE				
1..1	3x papa na lepiku (wg PN82/B 02001)	0.15	1.35	0.2
1.2	płyta twarda z wełny min. 14 cm (dane producenta	0.29	1.35	0.39
1.3	folia paroizolacyjna pominięto z uwagi na mały ciężar			
1.4	blacha fałdowana T55 1mm (dane producenta Florex SA)	0.13	1.35	0.18
SUMA		0.57	-	0.77

$$\gamma_G := 1.35$$

$$\gamma_Q := 1.5$$

warunki bezpieczeństwa

Ciężar własny pokrycia dachowego na 1 mb płatwi (wartość charakterystyczna)

$$W_O := 0.77 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad G_{1.k} := W_O \cdot \frac{b}{\cos(\alpha)} = 1.546 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}$$

Ciężar własny elementów konstrukcyjnych (wartość charakterystyczna)

$$G_{2,k} := 0.188 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{ciężar 1 mb płatwi - IPE 160}$$

Całkowity ciężar własny (wartość charakterystyczna)

$$G_{b,k} := G_{1,k} + G_{2,k} = 1.734 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}$$

b) Obciążenie śniegiem

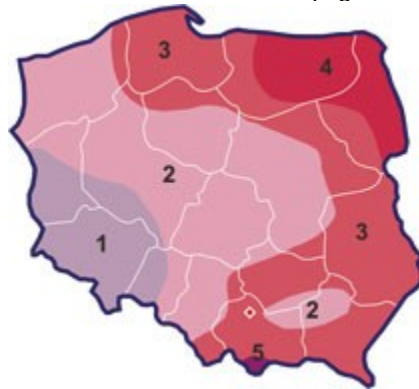
PN-EN 1991-1-3

Gdynia

wysokość $A := 25 \cdot \text{m}$ n.p.m

strefa obciążenia śniegiem

(rys.NB.1)



Strefa	$s_k, \text{kN/m}^2$
1	$0.007A - 1.4; \quad s_k \geq 0.70$
2	0.9
3	$0.006A - 0.6; \quad s_k \geq 1.2$
4	1.6
5	$0.93 \exp(0.00134A); \quad s_k \geq 2.0$

UWAGA: A = Wysokość nad poziomem morza (m)

$$S_k = 0.006 \cdot A - 0.6 \quad S_k = 0.006 \cdot 25 - 0.6 = -0.45 \quad \text{więc przyjmujemy} \quad S_k := 1.2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

kąt nachylenia

$$\alpha = 5^\circ$$

Obciążenie śniegiem dachu (wartość charakterystyczna)

$$\mu_1 := 0.8 \quad \text{współczynnik kształtu dachu (tab.5.2)}$$

$$C_e := 1 \quad \text{współczynnik ekspozycji (tab.5.1)} \quad \text{teren normalny}$$

$$C_t := 1 \quad (\text{p.5.2.(8)})$$

$$s_k := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0.96 \frac{1}{\text{m}^2} \cdot \text{kN}$$

Obciążenie śniegiem na 1 mb płatwi (charakterystyczne)

$$b = 2 \text{ m} \quad \text{- rozstaw płatwi}$$

$$S_{b,k} := s \cdot b = 1.92 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}$$

2.2 Wymiarowanie płatwi - zginanie jednokierunkowe

2.2.1 Stan graniczny nośności

a) Obliczeniowy moment zginający

Obliczeniowe obciążenie płatwi na 1 mb (ciężar własny + śnieg)

$$G_{y,d} := (1.35 \cdot G_{b,k} + 1.5 \cdot S_{b,k}) \cdot \cos(\alpha) = 5.201 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed,max} := \frac{G_{y,d} \cdot a^2}{8} = 23.404 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

b) klasyfikacja przekroju płatwi wg PN-EN 1993-1-1 tablica 5.2:

Gatunek stali S355 $f_y := 355 \cdot \text{MPa}$

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

IPE

160

$$h := 180 \text{ mm} \quad t_w := 5.3 \text{ mm} \quad I_y := 1320 \cdot \text{cm}^4$$

$$t_f := 7.4 \text{ mm} \quad b_f := 91 \text{ mm} \quad I_z := 101 \text{ cm}^4$$

$$r := 9 \text{ mm} \quad W_{y,pl} := 146 \cdot \text{cm}^3 \quad W_{z,pl} := 22.2 \cdot \text{cm}^3$$

Środek

$$c_w := h - 2(r + t_f) = 0.147 \text{ m}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = 27.774 \quad 72 \cdot \varepsilon = 58.58$$

$$25.44 < 72\varepsilon = 1 \quad \Rightarrow \text{klasa 1}$$

Pas

$$c_f := 0.5(b_f - 2 \cdot r - t_w) = 0.034 \text{ m}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = 4.574 \quad 9 \cdot \varepsilon = 7.323$$

$$3.986 < \varepsilon \cdot 9 = 1 \quad \Rightarrow \text{klasa 1}$$

c) stan graniczny nośności $f_y = 355 \cdot \text{MPa}$

$$\gamma_{M0} := 1$$

$$W_{y,pl} = 0.015 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}$$

$$M_{Rd} := \frac{W_{y.pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 51.83 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed.max} = 23.404 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$\frac{M_{Ed.max}}{M_{Rd}} = 0.452 \quad 0.452 \cdot 100 = 45.2 \% \quad < 1 \quad \text{warunek nośności spełniony}$$

d) stan graniczny użytkowości

$$G_{y.k} := (G_{b.k} + S_{b.k}) \cdot \cos(\alpha) = 3.64 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

$$E := 210 \text{ GPa} \quad \text{moduł Younga}$$

$$I_y = 1.32 \text{ L} \cdot \text{cm}$$

$$u := \frac{5 \cdot G_{y.k} \cdot (a)^4}{384 \cdot E \cdot 1320 \cdot \text{cm}^4} = 22.159 \cdot \text{mm}$$

$$u_{dop} := \frac{a}{150} = 0.04 \text{ m}$$

$$\frac{u}{u_{dop}} = 0.554 \quad 0.554 < 1 = 1 \quad \text{SGU spełniony} \quad u < u_{dop}$$

2.3 Wymiarowanie płatwi - zginanie dwukierunkowe

2.3.1 Stan graniczny nośności

całkowity ciężar własny rozłożony na kierunku Y i Z

$$g_{yk} := G_{b.k} \cdot \cos(\alpha) = 1.727 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

$$g_{yd} := g_{yk} \cdot \gamma_G = 2.332 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

$$g_{zk} := G_{b.k} \cdot \sin(\alpha) = 0.151 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

$$g_{zd} := g_{zk} \cdot \gamma_G = 0.204 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

obciążenie śniegiem rozłożone na kierunki
Y i Z

$$S_{yk} := S_{b,k} \cdot \cos(\alpha) = 1.913 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

$$S_{yd} := S_{yk} \cdot \gamma_Q = 2.869 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

$$S_{zk} := S_{b,k} \cdot \sin(\alpha) = 0.167 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

$$S_{zd} := S_{zk} \cdot \gamma_Q = 0.251 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

dociążenie względem osi Y i Z

$$G_{yd} := g_{yd} + S_{yd} = 5.201 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

$$G_{zd} := g_{zd} + S_{zd} = 0.455 \frac{1}{m} \cdot \text{kN}$$

maksymalny moment zginający od dociążenia

$$M_{Ed,y} := \frac{G_{yd} \cdot a^2}{8} = 23.404 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed,z} := \frac{G_{zd} \cdot a^2}{8} = 2.048 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

nośność na zginanie względem osi Y i Z

$$M_{Ry} := \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 51.83 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$M_{Rz} := \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 7.881 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{Ry}} + \frac{M_{Ed,z}}{M_{Rz}} = 0.711 \quad 0.711 < 1 \quad \text{warunek nośności jest spełniony}$$

2.3.2 Stan graniczny użytkowości

$$G_{yk} := g_{yk} + S_{yk} = 3.64 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

$$G_{zk} := g_{zk} + S_{zk} = 318.457 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

ugięcie

$$u_y := \frac{5 \cdot G_{yk} \cdot a^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = 0.022 \text{ m}$$

$$u_z := \frac{5 \cdot G_{zk} \cdot a^4}{384 \cdot E \cdot I_z} = 0.025 \text{ m}$$

$$U := \sqrt{u_y^2 + u_z^2} = 3.366 \cdot \text{cm}$$

$$u_{\text{dop}} = 0.04 \text{ m}$$

$$\frac{U}{u_{\text{dop}}} = 0.841 \quad 0.841 < 1 = 1 \quad \text{Warunek ugięcia nie spełniony}$$

Aby warunki SGN i SGU się sprawdziły dobrano płatew IPE 180

3.1 Obciążenie wiatrem

(PN – EN)1991 – 1 – 4

Gdynia - 2 strefa obciążenia wiatrem

$$A = 25 \text{ m}$$

tab. Na.1

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



$$v_{b0} := 26 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru

$$q_{b0} := 0.42 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

wartość podstawowa ciśnienia prędkości wiatru

Bazowa prędkość wiatru:

$$c_{dir} := 1.0$$

współczynnik kierunkowy: przyjęto wartość najbardziej niekorzystną wg.tab.NA.2 zakładając kierunek wiatru 0 stopni i 270-330 stopni (2 strefa wiatrowa)

Strefa	Kierunek wiatru (sektor)											
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
I	0,8				0,7			0,8	0,9	1,0		0,9
II	1,0	0,9	0,8		0,7		0,8	0,9		1,0		
III	0,8			0,7		0,9			1,0			

$$c_{season} := 1.0$$

współczynnik sezonowy, wartość zalecana wg NA.4

$$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b0} \quad 1 \cdot 1 \cdot 26 = 26 \frac{m}{s} \quad V_b := 26 \frac{m}{s}$$

kategoria terenu IV (teren miejski)

$$z_0 := 1 \cdot m \quad \text{wymiar chropowatości}$$

$$z_{min} := 10m \quad \text{wysokość minimalna}$$

współczynnik chropowatości

$$z := 12 \quad \text{wysokość kalenicy}$$

$$c_{r,z} := 0.6 \cdot \left(\frac{12}{10} \right)^{0.24} = 0.627$$

IV	$0.6 \left(\frac{z}{10} \right)^{0.24}$	$1.5 \left(\frac{z}{10} \right)^{0.29}$	10	500
Uwaga: $c_r(z)$ i $c_e(z)$ dla wysokości $z > z_{max}$ należy przyjmować jak dla z_{max}				

współczynnik rzeźby terenu

$$c_{0,z} := 1$$

średnia prędkość wiatru

$$v_{m,z} = c_{0,z} \cdot c_{r,z} \cdot V_0 \quad 0.627 \cdot 1 \cdot 26 = 16.302 \frac{m}{s} \quad v_{m,z} := 16.302 \frac{m}{s}$$

wartość szczytowa ciśnienia prędkości

$$\rho := 1.25 \cdot \frac{kg}{m^3}$$

$$q_b := 0.5 \cdot \rho \cdot V_b^2$$

wartość bazowa ciśnienia prędkości

$$q_{b,max} := 422.5Pa$$

$$c_{e,z} := 1.5 \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^{0.29} = 1.581$$

współczynnik ekspozycji ta. NA.3

$$q_{p,z} := c_{e,z} \cdot q_b = 668.16 \cdot \text{Pa}$$

3.2 Obciążenie płatwi

Ciśnienie działające na powierzchnie zewnętrzne

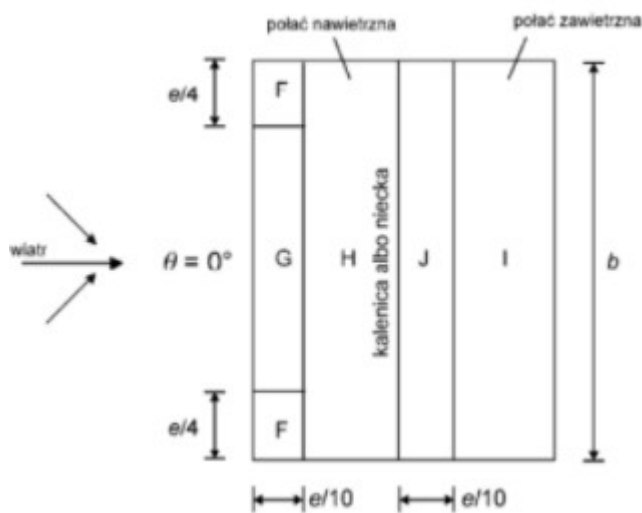
$$w_e := q_{p,z} \cdot C_{p,e}$$

$$h_k := 12 \cdot \text{m}$$

$$z_e := 12 \cdot \text{m}$$

$C_{p,e}$ - współczynnik ciśnienia zewnętrznego dla dachu dwuspadowego $\alpha=5^\circ$ dla kierunku wiatru $\Theta=0^\circ$ stopni

Obliczenia są prowadzone dla stref G, H, I, J rys.7.8



szerokość stref przykrawędziowych Gi J:

$$b := 60 \text{ m} \quad h := 12 \text{ m}$$

$$e := \min(b, 2 \cdot h) = 24 \text{ m} \quad \frac{e}{10} = 2.4 \text{ m}$$

Dla kąta $\alpha=5^\circ$ stopni otrzymano wartości $C_{p,e,10}$:

a) dla strefy F

$$C_{p,e,10F} := -1.7$$

b) dla strefy G

$$C_{pe10G} := -1.2$$

c) dla strefy H

$$C_{pe10H} := -0.6$$

d) dla strefy I

$$C_{pe10I} := -0.6$$

e) dla strefy J

$$C_{pe10J} := -0.6$$

Ciśnienie działające na powierzchnie zewnętrzne:

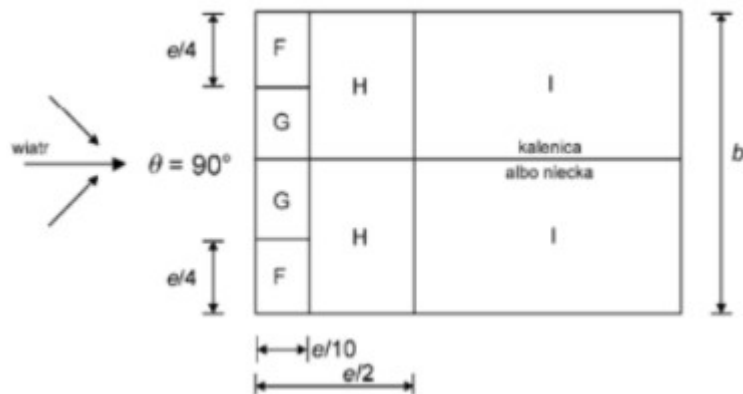
$$w_{eF} := q_{p,z} \cdot C_{pe10F} = -1135.872 \cdot \text{Pa}$$

$$w_{eG} := q_{p,z} \cdot C_{pe10G} = -801.792 \text{ Pa}$$

$$w_{eH} := q_{p,z} \cdot C_{pe10H} = -400.896 \text{ Pa}$$

$$w_{eI} := q_{p,z} \cdot C_{pe10I} = -400.896 \text{ Pa}$$

$$w_{eJ} := q_{p,z} \cdot C_{pe10J} = -400.896 \text{ Pa}$$



szerokość stref przykrawędziowych Gi J:

$$b := 24 \text{ m} \quad h := 12 \text{ m}$$

$$e := \min(b, 2 \cdot h) = 24 \text{ m} \quad \frac{e}{10} = 2.4 \text{ m} \quad \frac{e}{2} = 12 \text{ m}$$

Dla kąta $\alpha = 5$ stopni otrzymano wartości C_{pe10} :

a) dla strefy F

$$C_{pe10F} := -1.6$$

b) dla strefy G

$$C_{pe10G} := -1.3$$

c) dla strefy H

$$C_{pe10H} := -0.7$$

d) dla strefy I

$$C_{pe10I} := -0.6$$

$$w_{eF} := q_{p,z} \cdot C_{pe10F} = -1.069 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$w_{eG} := q_{p,z} \cdot C_{pe10G} = -868.608 \text{ Pa}$$

$$w_{eH} := q_{p,z} \cdot C_{pe10H} = -467.712 \text{ Pa}$$

$$w_{eI} := q_{p,z} \cdot C_{pe10I} = -467.712 \text{ Pa}$$

Stan Graniczny nośności

Obciążenie

Obciążenie równomiernie rozłożone

ciężar własny pokrycia $G_{1.k} = 1.546 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

ciężar własny płatwi $G_{2.k} = 188 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

obciążenie śniegiem $S_{b.k} = 1.92 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

obciążenie wiatrem ssanie $w_{s.k} := w_{eF} \cdot 2\text{m} = -2.138 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}$

Częściowe współczynniki bezpieczeństwa:

$$\gamma_{G_{\max}} := 1.35 \quad \gamma_{M0} = 1$$

$$\gamma_{G_{\min}} := 1 \quad \gamma_{M1} := 1$$

$$\gamma_Q = 1.5$$

Kombinacja obciążeń w SGN

Odrywanie

$$\gamma_{G_{\min}} \cdot G_{b.k} + \gamma_Q \cdot w_{s.k} = -1.473 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}$$

Maksymalny moment zginający przy odrywaniu w środku rozpiętości:

$$M_{\max Ed} := \frac{-1.473 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 6^2}{8} = -6.628 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}$$

Nośność na zginanie przy odrywaniu

$$M_{Rd} = 51.83 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$\frac{|M_{\max Ed}|}{M_{Rd}} = 0.128 \frac{1}{\text{m}^2} = \blacksquare \quad 12.8\% < 1 \quad \text{SGN spełniony}$$

Stan Graniczny Użytkowości

$$g_{z.k} := w_{s.k} + G_{2.k} = -1.95 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kN}$$

$$u_s := \frac{5 |g_{z,k}| a^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = 11.872 \cdot \text{mm}$$

$$u_{\text{dop}} = 0.04 \text{ m}$$

$$\frac{u_s}{u_{\text{dop}}} = 0.297 = \blacksquare \quad 29.7\% < 1 \quad \text{warunek spełniony}$$

Sprawdzenie nośności elementu na zwichrzenie:

Obliczenie momentu krytycznego przy zwichrzeniu sprężystym:

$$I_z = 1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \quad I_w := 7430 \cdot \text{cm}^6 \quad I_t := 4.79 \cdot \text{cm}^4$$

$$L_p := 2 \text{ m} \quad \underline{\underline{G}} := 80 \text{ GPa}$$

$$\frac{\pi \cdot E \cdot I_z}{L_p^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{I_w}{I_z}\right) + \left(\frac{L_p^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}\right)} = 20.182 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$M_{\text{cr}} := 20.182 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

Smukłość

$$\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{\text{cr}}}} = 1.603$$

Dla profili walcowanych

$$\lambda_{LT,0} := 0.4$$

$$\lambda_{LT} > \lambda_{LT,0} = 1$$

Współczynnik zwichrzenia

$$\frac{h}{b} = 0.5 \quad \frac{h}{b} \leq 2 \quad \text{stąd krzywa b}$$

współczynnik imperfekcji przy zwichrzeniu dla krzywej zwichrzenia b:

$$\alpha_{LT} := 0.34$$

$$\beta := 0.75$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \left[1 + 0.34 \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2 \right] = 1.667$$

$$\chi_{LT} := \min \left(1, \frac{1}{\lambda_{LT}^2}, \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} \right) = 0.386$$

Nośność obliczeniowa na zginanie z uwzględnieniem zwichrzenia

$$M_{b,Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 19.998 \text{ m} \cdot \text{kN} \quad \gamma_{M1} = 1$$

$$\frac{|M_{\max Ed}|}{M_{b,Rd}} = 0.331 \frac{1}{\text{m}^2} < 1 \quad \text{warunek spełniony}$$

Wymiarowanie wiaźara

Wyznaczenie sił skupionych od poszczególnych obciążeń:

a) Ciężar własny wiaźara (wartość charakterystyczna):

$$\text{Rozpiętość wiaźara: } L_w := 24$$

$$\text{Ciężar własny wiaźara} = \blacksquare \quad 0.9 \cdot L_w = 21.6 \quad 21.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$g_w := \frac{21.6}{100} = 0.216 \quad g_w := 0.216 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_{wk} := 0.216 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2\text{m} \cdot 6\text{m} = 2.592 \cdot \text{kN}$$

$$G_{wd} := G_{wk} \cdot 1.35 = 3.499 \cdot \text{kN}$$

ciężar pokrycia:

$$0.57 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$2\text{m} \cdot 6\text{m} \cdot 0.57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 6.84 \cdot \text{kN}$$

$$\text{ciężar płatwi: } 0.188 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$0.188 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 6\text{m} = 1.128 \cdot \text{kN}$$

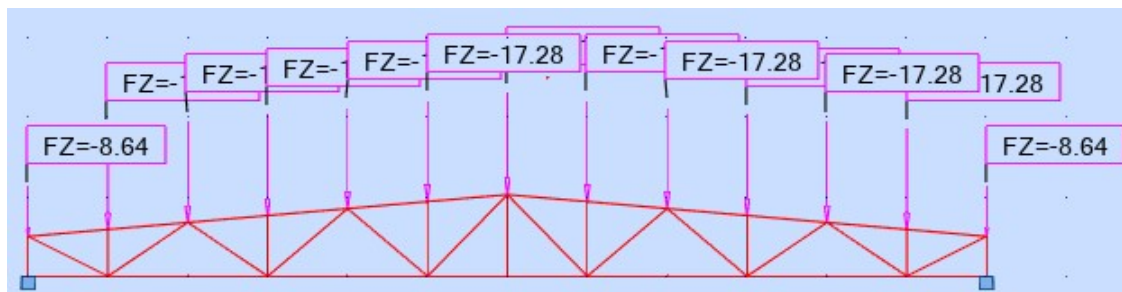
b) Obciążenie śniegiem:

$$s = 960 \text{ Pa}$$

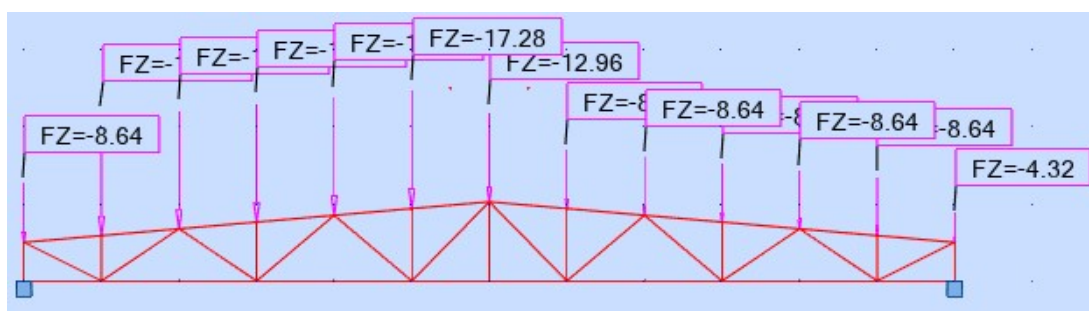
$$S_k := 960\text{Pa} \cdot 2\text{m} \cdot 6\text{m} = 11.52 \cdot \text{kN}$$

$$S_d := S_k \cdot 1.5 = 17.28 \cdot \text{kN}$$

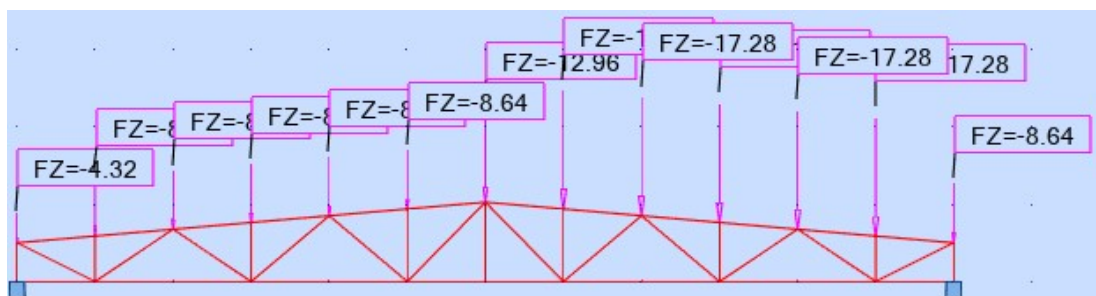
Śnieg całość:



Śnieg lewa:



Śnieg prawa:

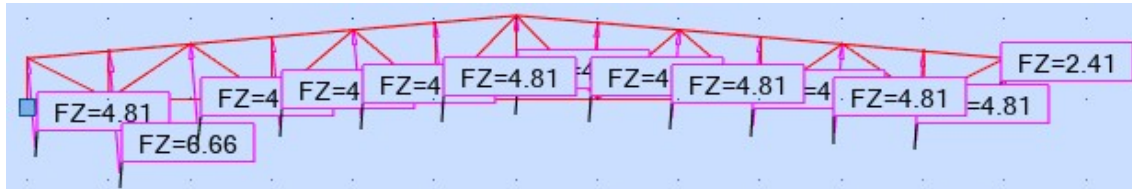


Obliczenia są prowadzone dla stref G, H, I, J
rys.7.8

Wiatr

1

Obciążenie wiatrem w poszczególnych węzłach



węzeł 1:

$$\frac{e}{10} = 2.4 \text{ m} \quad a_p := 2 \text{ m} \quad \text{rozstaw osiowy płatwi}$$

$$a_w := 6 \cdot \text{m} \quad \text{rozstaw wiązarów}$$

$$W_1 := w_{eG} \cdot \frac{a_p \cdot a_w}{2} = -4.811 \cdot \text{kN}$$

węzeł 2:

$$W_2 := w_{eG} \cdot 0.75 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} + w_{eH} \cdot 1.27 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -6.663 \cdot \text{kN}$$

węzeł 3-12:

$$W_3 := w_{eH} \cdot 2 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -4.811 \cdot \text{kN}$$

węzeł 13

$$W_{13} := w_{eH} \cdot 1 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -2.405 \cdot \text{kN}$$

Parcie

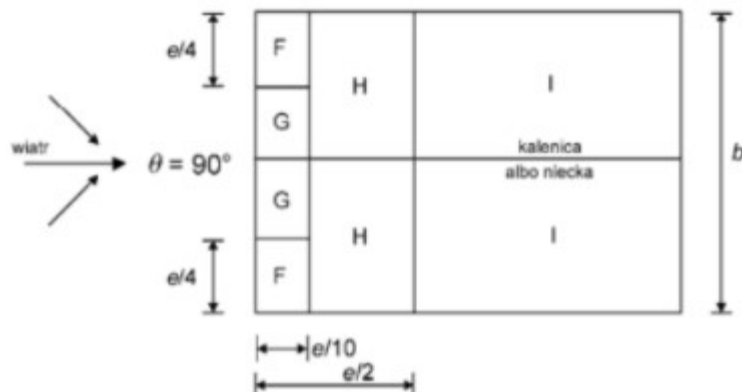
Węzeł 2-12

$$W_{1p} := 2 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} \cdot q_{p,z} \cdot 0.2 = 1.604 \cdot \text{kN}$$

1 i 13 węzeł

$$\frac{W_{1p}}{2} = 0.802 \cdot \text{kN}$$





szerokość stref przykrawędziowych G_i

J: $h := 12\text{m}$

$b := 24\text{m}$

$e := \min(b, 2 \cdot h) = 24\text{m}$ $\frac{e}{10} = 2.4\text{m}$ $\frac{e}{2} = 12\text{m}$

Dla kąta $\alpha = 5$ stopni otrzymano wartości
C.pe.10:

a) dla strefy F

$C_{pe10F} := -1.6$

b) dla strefy G

$C_{pe10G} := -1.3$

c) dla strefy H

$C_{pe10H} := -0.7$

d) dla strefy I

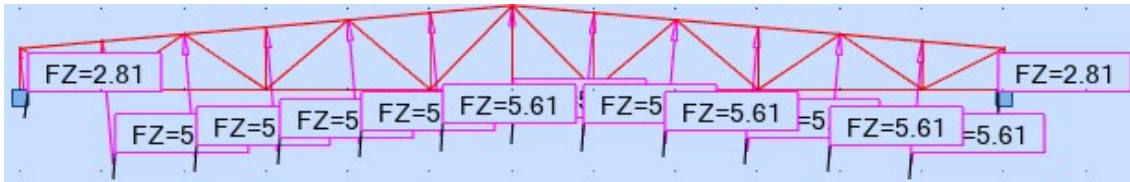
$W_{eF} := q_{p,z} \cdot C_{pe10F} = -1.069 \times 10^3 \text{ Pa}$

$W_{eG} := q_{p,z} \cdot C_{pe10G} = -868.608 \text{ Pa}$

$W_{eH} := q_{p,z} \cdot C_{pe10H} = -467.712 \text{ Pa}$

$W_{eI} := q_{p,z} \cdot C_{pe10H} = -467.712 \text{ Pa}$

Wiatr 2



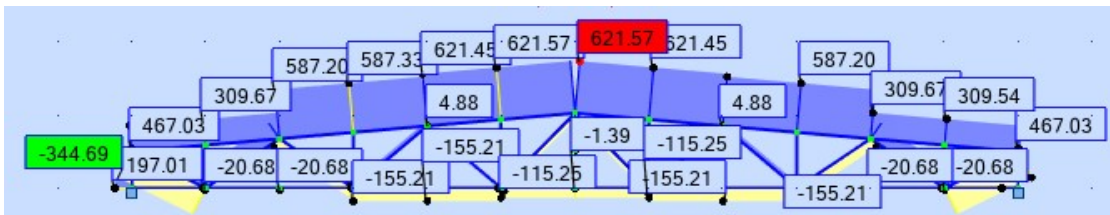
węzeł 1 i 13

$$W_{12} := w_{el} \cdot \frac{2m \cdot 6m}{2} = -2.806 \cdot kN$$

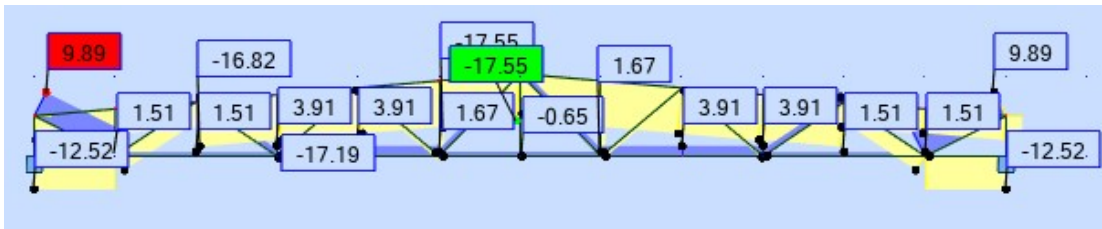
węzeł 2-12

$$W_{22} := w_{el} \cdot 2m \cdot 6m = -5.613 \cdot kN$$

Kombinacja 1:



Kombinacja 2:



Wymiarowanie elementów kratownicy:

Pas górny: HEA 140

$$A_{pg} := 31.4 \text{ cm}^2$$

$$i_{y.pg} := 5.73 \text{ cm}$$

$$i_{z.pg} := 3.52 \text{ cm}$$

Pas dolny: HEA 100

$$A_{pd} := 20.2 \text{ cm}^2$$

$$i_{y.pd} := 4.06 \text{ cm}$$

$$i_{z.pd} := 2.51 \text{ cm}$$

Słupy: RK 60X60 gr. blachy 5mm

$$A_{s1} := 10.15 \text{ cm}^2$$

$$i_{y.s1} := 2.67 \text{ cm}$$

$$i_{z.s1} := 2.67 \text{ cm}$$

Krzyżulce:

RP 80x80 gr. blachy 5mm

$$A_{k1} := 14.36 \text{ cm}^2$$

$$i_{y.k1} := 3.02 \text{ cm}$$

$$i_{z.k1} := 3.02 \text{ cm}$$

RP 40X40 gr. blachy 3mm

$$A_{k2} := 8.36 \cdot \text{cm}^2$$

$$i_{y.k2} := 1.8 \text{ cm}$$

$$i_{z.k2} := 1.8 \text{ cm}$$

Długości wyboczeniowe:

współczynnik długości wyboczeniowej:

$$\mu := 1$$

Pas górny:

$$L_{pg} := 2.0 \text{ m}$$

$$L_{pg.wy} := L_{pg} \cdot \mu = 2 \text{ m}$$

$$L_{pg.wz} := L_{pg} \cdot \mu = 2 \text{ m}$$

Pas dolny:

$$L_{pd} := 12\text{m}$$

$$L_{pd.wy} := L_{pd} \cdot \mu = 12\text{ m}$$

$$L_{pd.wz} := L_{pd} \cdot \mu = 12\text{ m}$$

Krzyżulce K1-K3, K10-K12:

$$L_{k1} := 2.75\text{m}$$

$$L_{k1.wy} := L_{k1} \cdot \mu = 2.75\text{ m}$$

$$L_{k1.wz} := L_{k1} \cdot \mu = 2.75\text{ m}$$

Krzyżulce K4-K10:

$$L_{k2} := 3.45\text{m}$$

$$L_{k2.wy} := L_{k2} \cdot \mu = 3.45\text{ m}$$

$$L_{k2.wz} := L_{k2} \cdot \mu = 3.45\text{ m}$$

słupy S1 i S9:

$$L_{s1} := 1\text{m}$$

$$L_{s1.wy} := L_{s1} \cdot \mu = 1\text{ m}$$

$$L_{s1.wz} := L_{s1} \cdot \mu = 1\text{ m}$$

słupy S2 - S8

$$L_{s2} := 2\text{m}$$

$$L_{s2.wy} := L_{s2} \cdot \mu = 2\text{ m}$$

$$L_{s2.wz} := L_{s2} \cdot \mu = 2\text{ m}$$

Wymiarowanie pasa górnego:

$$f_{yd} := 355000 \cdot \text{kPa}$$

$$A_{pg} = 3.14 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Ściskanie:

$$N_{cRd} := \frac{f_{yd} \cdot A_{pg}}{\gamma_{M0}} = 1.115 \times 10^3 \text{ kN}$$

obliczeniowa nośność plastyczna dla klasy przekroju 1 wg.PN-En 1993-1-1

$$N_{c,max} := 621.57 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{N_{c,max}}{N_{cRd}} < 1 = 1 \quad \text{warunek spełniony}$$

Stateczność:

$$\text{HEA 120} \quad \overset{\text{mm}}{h} := 133 \text{ mm} \quad \overset{\text{mm}}{b} := 140 \text{ mm} \quad \frac{h}{b} = 0.95$$

wyboczenie względem osi Y : krzywa wyboczenia: "b" wg PN-EN 1993-1-1

parametr imperfekcji: $\overset{\text{mm}}{\alpha} := 0.34$ wg PN-EN 1993-1-1

$$\lambda_1 := \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}} = 76.409$$

$$\lambda_y := \frac{L_{pg.wy} \cdot 1}{i_{y.pg} \cdot \lambda_1} = 0.457$$

$$\phi_y := 0.5 \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right] = 0.648 \quad \text{współczynnik wyboczenia}$$

$$\chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.903$$

$$N_{by} := \frac{\chi_y \cdot A_{pg} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} = 1.006 \times 10^6 \text{ N} \quad \text{nośność na wyboczenie elementu ściskanego}$$

Stateczność:

$$\text{HEA 120} \quad h = 0.133 \text{ m} \quad b = 0.14 \text{ m} \quad \frac{h}{b} = 0.95$$

wyboczeniei względem osi Z: krzywa wyboczenia: "c"

$$\overset{\text{mm}}{\alpha} := 0.49$$

parametr imperfekcji:

$$\overset{\text{mm}}{\lambda_1} := \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}} = 76.409$$

$$\lambda_z := \frac{L_{pg.wz} \cdot 1}{i_{z.pg} \cdot \lambda_1} = 0.744$$

$$\phi_z := 0.5 \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right] = 0.91$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.698 \quad \text{współczynnik wyboczenia}$$

$$N_{bz} := \frac{\chi_z \cdot A_{pg} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} = 7.775 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{nośność na wyboczenie elementu ściskanego}$$

$$N_R := \min(N_{bz}, N_{by}) = 7.775 \times 10^5 \text{ N}$$

$$\frac{N_{c.\max}}{N_R} < 1 = 1 \quad \text{warunek się nie spełnił więc jesteśmy zmuszeni przyjąć większy kształtownik dobieram HEA 140}$$

Wymiarowanie pasa dolnego:

$$f_{yd} = 3.55 \times 10^8 \text{ Pa} \quad A_{pd} = 2.02 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$N_{tRd2} := \frac{A_{pd} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 7.171 \times 10^5 \text{ N}$$

$$N_{t.\max2} := 155.21 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t.\max2}}{N_{tRd2}} < 1 = 1 \quad \text{warunek spełniony}$$

Wymiarowanie Krzyżulców K1-K3, K10-K12

Rozciąganie:

$$N_{t.Rd.k1} := \frac{A_{k1} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 5.098 \times 10^5 \text{ N}$$

$$N_{t.k1.\max} := 344.03 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{N_{t.k1.\max}}{N_{t.Rd.k1}} < 1 = 1 \quad \text{warunek spełniony}$$

Ściskanie:

$$N_{c.Rd.k1} := 438.8 \text{ kN}$$

$$N_{c.Rd.k1.\max} := 216.45 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c.Rd.k1.\max}}{N_{c.Rd.k1}} < 1 = 1 \quad \text{warunek spełniony}$$

Stateczność: (Y i Z taka sama bo rura kwadratowa)

Krzywa wyboczenia "c"

parametr imperfekcji: $\alpha := 0.49$

$$\lambda_{k1} := \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}} = 76.409$$

$$\lambda_z := \frac{L_{k1.wz} \cdot i}{i_{z.k1} \cdot \lambda_1} = 1.192$$

$$\phi_z := 0.5 \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right] = 1.453$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.438 \quad \text{współczynnik wyboczenia}$$

$$N_b := \frac{\chi_z \cdot A_{k1} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} = 2.231 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{nośność na wyboczenie elementu ściskanego}$$

$$\frac{N_{c.Rd.k1.max}}{N_R} < 1 = 1 \quad \text{warunek się nie spełnił więc jesteśmy zmuszeni przyjąć większy kształtownik dobieram RK 80x80x5}$$

Wymiarowanie krzyżulców K3-K10

Rozciąganie:

$$N_{t.Rd.k2} := \frac{A_{k2} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 2.968 \times 10^5 \text{ N}$$

$$N_{t.k2.max} := 49.32 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t.k2.max}}{N_{t.Rd.k2}} < 1 = 1$$

Ściskanie:

$$N_{c.Rd.k2} := \frac{A_{k2} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 2.968 \times 10^5 \text{ N}$$

$$N_{c.k2.max} := 116.97 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c.k2.max}}{N_{c.Rd.k2}} < 1 = 1$$

Stateczność: (Y i Z taka sama bo rura kwadratowa)

Krzywa wyboczenia "c"

parametr imperfekcji: $\alpha := 0.49$

$$\lambda_1 := \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}} = 76.409$$

$$\lambda_z := \frac{L_{k2.wz} \cdot 1}{i_{z.k2} \cdot \lambda_1} = 2.508$$

$$\phi_z := 0.5 \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right] = 4.212$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.132 \quad \text{współczynnik wyboczenia}$$

$$N_{kz} := \frac{\chi_z \cdot A_{k2} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} = 3.908 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{nośność na wyboczenie elementu ściskanego}$$

$$\frac{N_{c.k2.max}}{N_R} < 1 = 1$$

Wymiarowanie słupów S1-S9

Rozciąganie:

$$N_{r.Rd.s1} := \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 3.603 \times 10^5 \text{ N}$$

$$N_{t.s1.max} := 197.01 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t.s1.max}}{N_{r.Rd.s1}} < 1 = 1$$

Ściskanie:

$$N_{c.Rd.s1} := \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 3.603 \times 10^5 \text{ N}$$

$$N_{c.s1.max} := 5.97 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c.s1.max}}{N_{c.Rd.s1}} < 1 = 1$$

Stateczność: (Y i Z taka sama bo rura kwadratowa)

Krzywa wyboczenia "c"

parametr imperfekcji: $\alpha := 0.49$

$$\lambda_1 := \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}} = 76.409$$

$$\lambda_z := \frac{L_{s1.wz} \cdot 1}{i_{z.s1} \cdot \lambda_1} = 0.49$$

$$\phi_z := 0.5 \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right] = 0.691$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.848 \quad \text{współczynnik wyboczenia}$$

$$N_{kz} := \frac{\chi_z \cdot A_{s1} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} = 3.057 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{nośność na wyboczenie elementu ściskanego}$$

$$\frac{N_{c.s1.max}}{N_R} < 1 = 1$$

Styk montażowy pasa dolnego:

Kategoria połączenia D:

Kryteria:

$$F_{t.Ed} \leq F_{t.Rd}$$

$$F_{t.Ed} \leq B_p.Rd$$

$F_{t.Ed}$ - obliczeniowa nośność śruby na rozciąganie

$F_{t.Rd}$ - obliczeniowa siła rozciągająca przypadająca na śrubę w stanie granicznym nośności

$B_p.Rd$ - obliczeniowa nośność śruby na przeciągnięcie łba lub nakrętki

Przyjęto śrubę M22 kl.5.8:

$e_s := 39.55\text{mm}$ średnica opisanej w łeb śruby

$s_s := 36\text{mm}$ średnica wpisanej w łeb śruby

Nośność na rozciąganie:

$$F_{t.Ed} := 621.57\text{kN}$$

$k_2 := 0.9$ dla śrub z łbem zwykłym

$f_{ub} := 500\text{MPa}$ wytrzymałość na rozciąganie śrub

$A_s := 303\text{mm}^2$ pole przekroju czynnego śruby przy rozciąganiu

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$F_{t.Rd.1} := \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1.091 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{nośność na rozciąganie jednej śruby}$$

$$F_{t.Rd} := 6 \cdot F_{t.Rd.1} = 6.545 \times 10^5 \text{ N}$$

$$\frac{F_{t.Ed}}{F_{t.Rd}} < 1 = 1 \quad \text{Warunek spełniony}$$

Nośność na przeciągnięcie:

$d.m$ - średnia ze średnic wpisanej i opisanej na łbie śruby lub nakrętki

t_p - grubość blachy pod łbem lub nakrętką śruby narażona na przeciągnięcie

f_u - wytrzymałość na rozciąganie

$$t_p := 7\text{mm}$$

$$f_u := 355 \text{ MPa}$$

$$d_m := \frac{e + s}{2} = 0.038 \text{ m}$$

$$B_{p.Rd.1} := \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 1.416 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{nośność na przeciągnięcie jednej śruby}$$

$$B_{p.Rd} := 6 \cdot B_{p.Rd.1} = 8.493 \times 10^5 \text{ N}$$

$$\frac{F_{t.Rd}}{B_{p.Rd}} < 1 = 1 \quad \text{warunek spełniony}$$

Rozplanowanie śrub:

$$d := 22 \text{ mm} \quad \text{średnica śruby}$$

$$\Delta_{d0} := 2 \text{ mm} \quad \text{luz montażowy}$$

$$d_0 := d + \Delta_{d0} = 0.024 \text{ m}$$

$$\text{odległość czołowa:} \quad 1.2 \cdot d_0 = 0.029 \text{ m} \leq e_1 \quad \text{przyjęto} \quad e_1 := 30 \text{ mm}$$

$$\text{odległość boczna:} \quad 1.2 \cdot d_0 = 0.029 \text{ m} \leq e_2 \quad \text{przyjęto} \quad e_2 := 30 \text{ mm}$$

$$t := t_p \quad \text{grubość cieńszej zewnętrznej blachy łączonej}$$

$$\text{rozstaw } p_1 \quad 2.2 \cdot d_0 = 0.053 \text{ m} \leq p_1 \quad \text{przyjęto} \quad p_1 := 160 \text{ mm}$$

$$\text{rozstaw } p_2 \quad 2.4 \cdot d_0 = 0.058 \text{ m} \leq p_2 \quad \text{przyjęto} \quad p_2 := 160 \text{ mm}$$

rozstaw śrub z war. dogodnego dokręcenia śruby:

$$2.5 \cdot d + 5 \text{ mm} = 0.06 \text{ m} < p_1 = 0.16 \text{ m}$$

$$< p_2 = 0.16 \text{ m}$$

Styk montażowy pasa górnego:

Ze względu na to, że w pasie górnym występuje tylko siła ściskająca oraz, że kąt pochylenia wiązara jest niewielki (co skutkuje znikomą siłą ścinającą styk) możemy zastosować styk pasa dolnego bez uwzględnienia innych obliczeń.

Przyjęto rozwiązanie styku jak w pasie dolnym

|

