

OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE

CZĘŚĆ A – ZADASZENIE NAD BOKSAMI NR 1

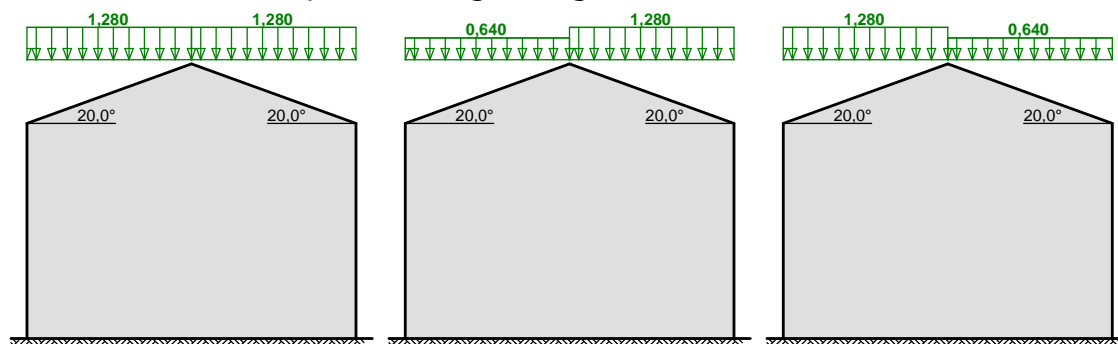
Poz.A.1.0. Zebranie oddziaływań wg PN-EN-1990

Poz.A.1.1. Oddziaływania stałe wg PN-EN-1991-1-1

Poz.A.1.1.1. Warstwy dachu zadaszenia nad boksami nr 1

L.p.	Opis oddziaływania	Rodzaj oddziaływania	Wartość char. kN/m^2	Ψ	Wartość rep. kN/m^2	γ_F	Wartość obl. kN/m^2
1.	Płyty dachowe - poliwęglan przezierny SUNTUF [12,000kN/m ³ -0,005m]	stałe	0,06	--	0,06	1,35	0,08
		Σ :	0,06		0,06		0,08

Poz.A.1.2. Oddziaływanie śniegiem wg PN-EN-1991-1-3



- Dach dwupołaciowy
- Obciążenie charakterystyczne śniegiem gruntu (wg Załącznika krajowego NA):
 - strefa obciążenia śniegiem 4 $\rightarrow s_k = 1,6 \text{ kN/m}^2$
- Warunki lokalizacyjne: normalne, przypadek A (brak wyjątkowych opadów i brak wyjątkowych zamieci)
- Sytuacja obliczeniowa: trwała lub przejściowa
- Współczynnik ekspozycji:
 - teren normalny $\rightarrow C_e = 1,0$
- Współczynnik termiczny $\rightarrow C_t = 1,0$

Połąć dachu obciążonego równomiernie - przypadek (i):

- Współczynnik kształtu dachu:
 nachylenie połaci $\alpha = 20,0^\circ$
 $\mu_1 = 0,8$

Obciążenie charakterystyczne:

$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,600 = \mathbf{1,280 \text{ kN/m}^2}$$

Obciążenie obliczeniowe:

$$s_D = \gamma \cdot s = 1,5 \cdot 1,280 = \mathbf{1,920 \text{ kN/m}^2}$$

Mniej obciążona połąć dachu obciążonego nierównomiernie - przypadek (ii)/(iii):

- Współczynnik kształtu dachu:
 nachylenie połaci $\alpha = 20,0^\circ$
 $\mu = 0,5 \cdot \mu_1 = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4$

Obciążenie charakterystyczne:

$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,600 = \mathbf{0,640 \text{ kN/m}^2}$$

Obciążenie obliczeniowe:

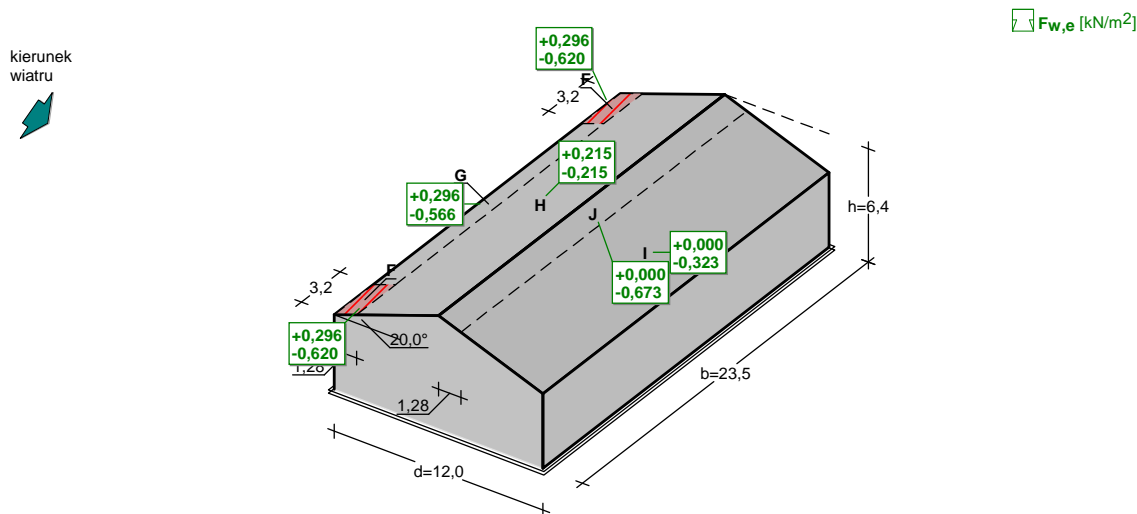
$$s_D = \gamma \cdot s = 1,5 \cdot 0,640 = \mathbf{0,960 \text{ kN/m}^2}$$

Poz.A.1.3. Oddziaływanie wiatrem wg PN-EN-1991-1-4

Poz.A.1.3.1 Dach

- Dach dwuspadowy o wymiarach: $b = 23,5 \text{ m}$, $d = 12,0 \text{ m}$, kąt nachylenia połaci $\alpha = 20,0^\circ$
- Budynek o wysokości $h = 6,4 \text{ m}$
- Wymiar $e = \min(b, 2 \cdot h) = 12,8 \text{ m}$
- Wiatr wiejący na ścianę boczną, $\theta = 0^\circ$
- Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru (wg Załącznika krajowego NA):
 - strefa obciążenia wiatrem 1; $A = 300 \text{ m n.p.m.} \rightarrow v_{b,0} = 22 \text{ m/s}$
- Współczynnik kierunkowy: $c_{dir} = 1,0$
- Współczynnik sezonowy: $c_{season} = 1,00$
- Bazowa prędkość wiatru: $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 22,00 \text{ m/s}$
- Wysokość odniesienia: $z_e = h = 6,40 \text{ m}$
- Kategoria terenu I \rightarrow współczynnik chropowatości: $c_r(z_e) = 1,2 \cdot (6,4/10)^{0,13} = 1,13$ (wg Załącznika krajowego NA.6)
- Współczynnik rzeźby terenu (orografii): $c_o(z_e) = 1,00$
- Średnia prędkość wiatru: $v_m(z_e) = c_r(z_e) \cdot c_o(z_e) \cdot v_b = 24,91 \text{ m/s}$
- Intensywność turbulencji: $I_v(z_e) = 0,155$
- Gęstość powietrza: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
- Wartość szczytowa ciśnienia prędkości:
 - $q_p(z_e) = [1 + 7 \cdot I_v(z_e)] \cdot (1/2) \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) = 808,1 \text{ Pa} = 0,808 \text{ kPa}$
- Współczynnik konstrukcyjny: $c_s c_d = 1,000$

Poz.A.1.3.1.1 Wiatr boczny



Połać - pole F - parcie:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = 0,367$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot 0,367 = \mathbf{0,296 \text{ kN/m}^2}$$

Połać - pole F - ssanie:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,767$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,767) = \mathbf{-0,620 \text{ kN/m}^2}$$

Połać - pole G - parcie:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = 0,367$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot 0,367 = \mathbf{0,296 \text{ kN/m}^2}$$

Połąć - pole G - ssanie:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,700$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,700) = -0,566 \text{ kN/m}^2$$

Połąć - pole H - parcie:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = 0,267$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot 0,267 = 0,215 \text{ kN/m}^2$$

Połąć - pole H - ssanie:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,267$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,267) = -0,215 \text{ kN/m}^2$$

Połąć - pole I - parcie:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = 0,0$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot 0,0 = 0,000 \text{ kN/m}^2$$

Połąć - pole I - ssanie:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,4$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,4) = -0,323 \text{ kN/m}^2$$

Połąć - pole J - parcie:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = 0,0$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot 0,0 = 0,000 \text{ kN/m}^2$$

Połąć - pole J - ssanie:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,833$

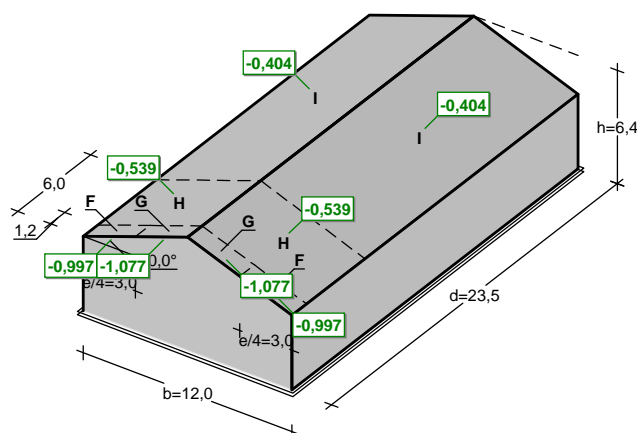
Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,833) = -0,673 \text{ kN/m}^2$$

Poz.A.1.3.1.2 Wiatr szczyt

$F_{w,e}$ [kN/m²]

kierunek
wiatru



Połąć - pole F:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -1,233$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-1,233) = -0,997 \text{ kN/m}^2$$

Połąć - pole G:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -1,333$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-1,333) = -1,077 \text{ kN/m}^2$$

Połąć - pole H:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,667$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,667) = -0,539 \text{ kN/m}^2$$

Połąć - pole I:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$

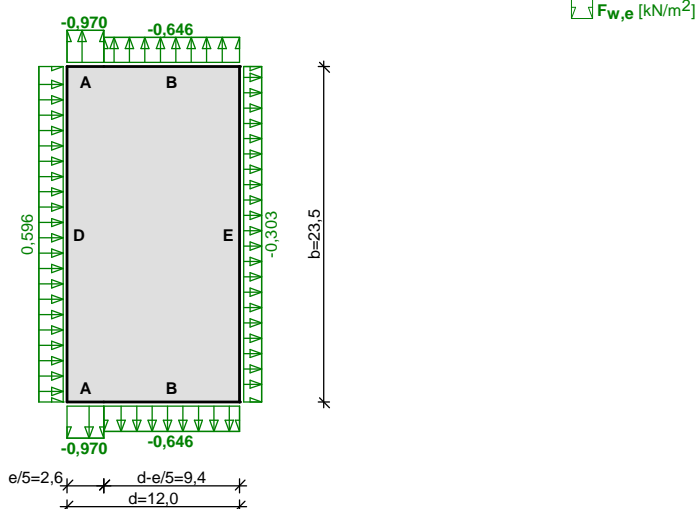
Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,5) = -0,404 \text{ kN/m}^2$$

Poz.A.1.3.2 Ściany

- Budynek o wymiarach: $d = 12,0 \text{ m}$, $b = 23,5 \text{ m}$, $h = 6,4 \text{ m}$
- Wymiar $e = \min(b, 2 \cdot h) = 12,8 \text{ m}$
- Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru (wg Załącznika krajowego NA):
- strefa obciążenia wiatrem 1; $A = 300 \text{ m n.p.m.} \rightarrow v_{b,0} = 22 \text{ m/s}$
- Współczynnik kierunkowy: $c_{dir} = 1,0$
- Współczynnik sezonowy: $c_{season} = 1,00$
- Bazowa prędkość wiatru: $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 22,00 \text{ m/s}$
- Wysokość odniesienia: $z_e = h = 6,40 \text{ m}$
- Kategoria terenu I \rightarrow współczynnik chropowatości: $c_r(z_e) = 1,2 \cdot (6,4/10)^{0,13} = 1,13$ (wg Załącznika krajowego NA.6)
- Współczynnik rzeźby terenu (orografii): $c_o(z_e) = 1,00$
- Średnia prędkość wiatru: $v_m(z_e) = c_r(z_e) \cdot c_o(z_e) \cdot v_b = 24,91 \text{ m/s}$
- Intensywność turbulencji: $I_v(z_e) = 0,155$
- Gęstość powietrza: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
- Wartość szczytowa ciśnienia prędkości:
 $q_p(z_e) = [1 + 7 \cdot I_v(z_e)] \cdot (1/2) \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) = 808,1 \text{ Pa} = 0,808 \text{ kPa}$
- Współczynnik konstrukcyjny: $c_s c_d = 1,000$

Poz.A.1.3.2.1 Wiatr boczny



Elewacja nawietrzna - pole D:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = +0,738$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot 0,738 = \mathbf{0,596 \text{ kN/m}^2}$$

Elewacja zawietrzna - pole E:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,376$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,376) = \mathbf{-0,303 \text{ kN/m}^2}$$

Elewacja boczna - pole A:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -1,2$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-1,2) = \mathbf{-0,970 \text{ kN/m}^2}$$

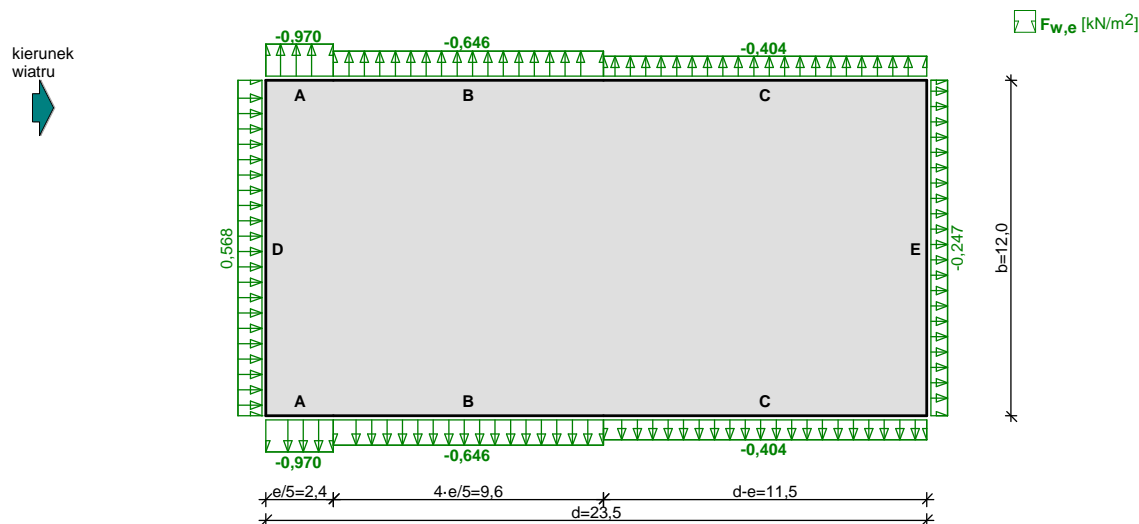
Elewacja boczna - pole B:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,8$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,8) = \mathbf{-0,646 \text{ kN/m}^2}$$

Poz.A.1.3.2.2 Wiatr szczyt



- Budynek o wymiarach: $d = 23,5 \text{ m}$, $b = 12,0 \text{ m}$, $h = 6,4 \text{ m}$

- Wymiar $e = \min(b, 2 \cdot h) = 12,0 \text{ m}$

- Wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru (wg Załącznika krajowego NA):

- strefa obciążenia wiatrem 1; $A = 300 \text{ m n.p.m.} \rightarrow v_{b,0} = 22 \text{ m/s}$

- Współczynnik kierunkowy: $c_{dir} = 1,0$

- Współczynnik sezonowy: $c_{season} = 1,00$

- Bazowa prędkość wiatru: $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 22,00 \text{ m/s}$

- Wysokość odniesienia: $z_e = h = 6,40 \text{ m}$

- Kategoria terenu I \rightarrow współczynnik chropowatości: $c_r(z_e) = 1,2 \cdot (6,4/10)^{0,13} = 1,13$ (wg Załącznika krajowego NA.6)

- Współczynnik rzeźby terenu (orografii): $c_o(z_e) = 1,00$

- Średnia prędkość wiatru: $v_m(z_e) = c_r(z_e) \cdot c_o(z_e) \cdot v_b = 24,91 \text{ m/s}$

- Intensywność turbulencji: $I_v(z_e) = 0,155$

- Gęstość powietrza: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

- Wartość szczytowa ciśnienia prędkości:

$$q_p(z_e) = [1 + 7 \cdot I_v(z_e)] \cdot (1/2) \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) = 808,1 \text{ Pa} = 0,808 \text{ kPa}$$

- Współczynnik konstrukcyjny: $c_s \cdot c_d = 1,000$

Elewacja nawietrzna - pole D:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = +0,703$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot 0,703 = \mathbf{0,568 \text{ kN/m}^2}$$

Elewacja zawietrzna - pole E:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,306$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,306) = \mathbf{-0,247 \text{ kN/m}^2}$$

Elewacja boczna - pole A:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -1,2$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-1,2) = \mathbf{-0,970 \text{ kN/m}^2}$$

Elewacja boczna - pole B:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,8$

Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,8) = \mathbf{-0,646 \text{ kN/m}^2}$$

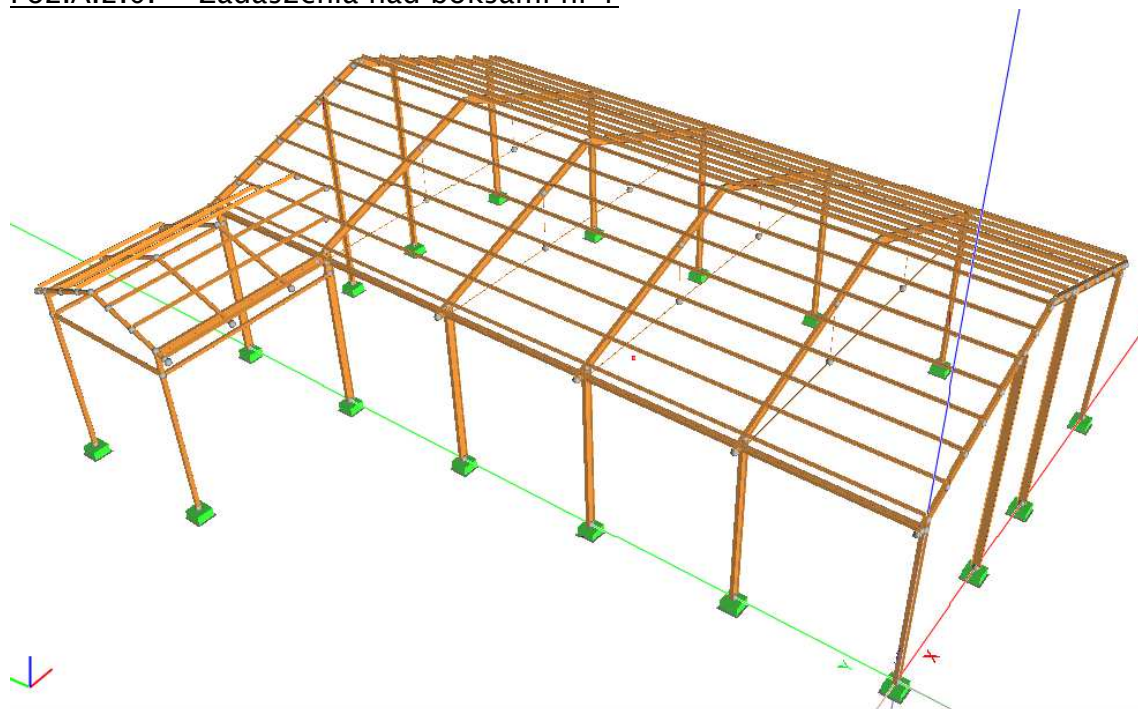
Elewacja boczna - pole C:

- Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$

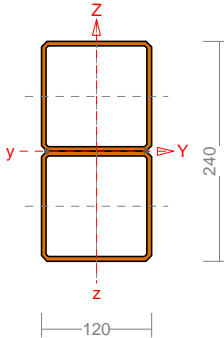
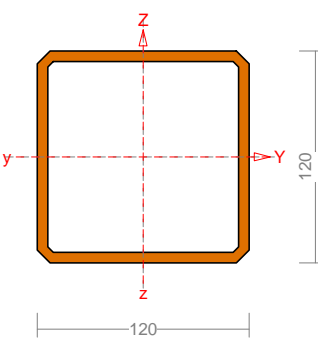
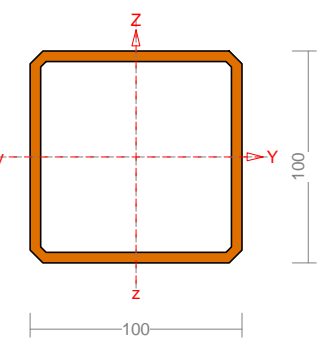
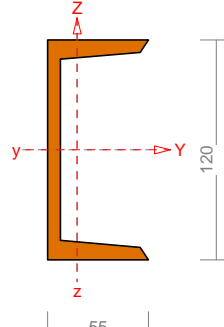
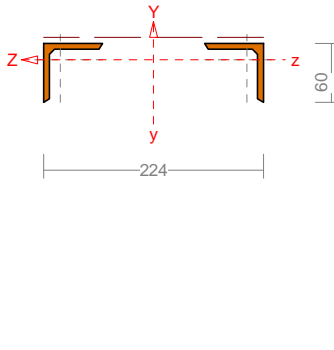
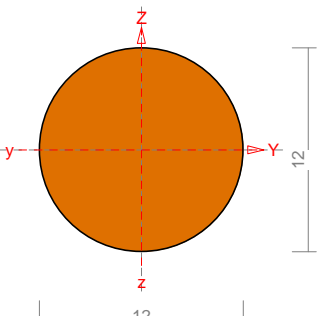
Siła oddziaływania wiatru na powierzchnię zewnętrzną:

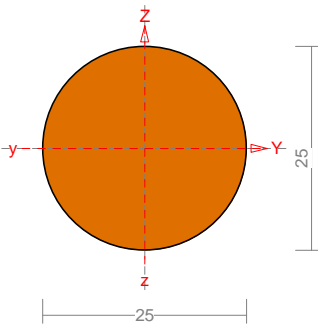
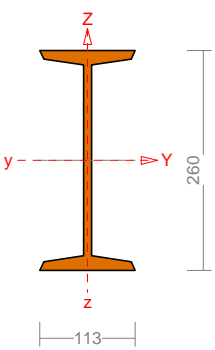
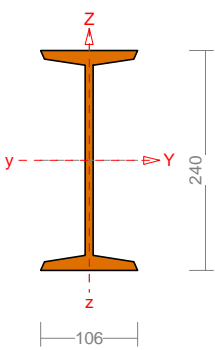
$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,000 \cdot 0,808 \cdot (-0,5) = \mathbf{-0,404 \text{ kN/m}^2}$$

Poz.A.2.0. Zadaszenia nad boksami nr 1



Poz.A.2.1. Statyka zadaszenia nad boksami nr 1

1 - 2 H 120x120x5.0~		2 - H 120x120x6.0~		3 - H 100x100x5.0~	
					
Materiał:	S 235	Materiał:	S 235	Materiał:	S 235
A [cm ²]	43,88	A [cm ²]	25,90	A [cm ²]	17,94
Jy [cm ⁴]	2522,68	Jy [cm ⁴]	544,60	Jy [cm ⁴]	261,50
Jz [cm ⁴]	943,00	Jz [cm ⁴]	544,60	Jz [cm ⁴]	261,50
Dyz [cm ⁴]	0,00	Dyz [cm ⁴]	0,00	Dyz [cm ⁴]	0,00
α [Deg]	0,00	α [Deg]	0,00	α [Deg]	0,00
Iy [cm ⁴]	2522,68	Iy [cm ⁴]	544,60	Iy [cm ⁴]	261,50
Iz [cm ⁴]	943,00	Iz [cm ⁴]	544,60	Iz [cm ⁴]	261,50
Jt [cm ⁴]	2164,73	Jt [cm ⁴]	928,01	Jt [cm ⁴]	447,54
Jω [cm ⁴]	6673,46	Jω [cm ⁴]	16,89	Jω [cm ⁴]	5,66
iy [cm]	7,58	iy [cm]	4,59	iy [cm]	3,82
iz [cm]	4,64	iz [cm]	4,59	iz [cm]	3,82
is [cm]	8,89	is [cm]	6,48	is [cm]	5,40
m [kg/m]	34,45	m [kg/m]	20,33	m [kg/m]	14,08
4 - U 120		5 - 2 L 60x60x6		6 - R 12x6	
					
Materiał:	S 235	Materiał:	S 235	Materiał:	S 235
A [cm ²]	17,00	A [cm ²]	13,82	A [cm ²]	1,13
Jy [cm ⁴]	364,00	Jy [cm ⁴]	45,60	Jy [cm ⁴]	0,10
Jz [cm ⁴]	43,20	Jz [cm ⁴]	1295,48	Jz [cm ⁴]	0,10
Dyz [cm ⁴]	0,00	Dyz [cm ⁴]	0,00	Dyz [cm ⁴]	0,00
α [Deg]	0,00	α [Deg]	90,00	α [Deg]	0,00
Iy [cm ⁴]	364,00	Iy [cm ⁴]	1295,48	Iy [cm ⁴]	0,10
Iz [cm ⁴]	43,20	Iz [cm ⁴]	45,60	Iz [cm ⁴]	0,10
Jt [cm ⁴]	3,93	Jt [cm ⁴]	1,84	Jt [cm ⁴]	0,10
Jω [cm ⁴]	899,68	Jω [cm ⁴]	0,00	Jω [cm ⁴]	0,00
iy [cm]	4,63	iy [cm]	9,68	iy [cm]	0,30
iz [cm]	1,59	iz [cm]	1,82	iz [cm]	0,30
is [cm]	5,82	is [cm]	3,23	is [cm]	0,42
m [kg/m]	13,35	m [kg/m]	10,85	m [kg/m]	0,89

7 - R 25x13		8 - I 260		9 - I 240	
					
Materiał:	S 235	Materiał:	S 235	Materiał:	S 235
A [cm ²]	4,91	A [cm ²]	53,40	A [cm ²]	46,10
Jy [cm ⁴]	1,92	Jy [cm ⁴]	5740,00	Jy [cm ⁴]	4250,00
Jz [cm ⁴]	1,92	Jz [cm ⁴]	288,00	Jz [cm ⁴]	221,00
Dyz [cm ⁴]	0,00	Dyz [cm ⁴]	0,00	Dyz [cm ⁴]	0,00
α [Deg]	0,00	α [Deg]	0,00	α [Deg]	0,00
Iy [cm ⁴]	1,92	Iy [cm ⁴]	5740,00	Iy [cm ⁴]	4250,00
Iz [cm ⁴]	1,92	Iz [cm ⁴]	288,00	Iz [cm ⁴]	221,00
Jt [cm ⁴]	1,90	Jt [cm ⁴]	31,43	Jt [cm ⁴]	23,77
Jω [cm ⁴]	0,00	Jω [cm ⁴]	43401,01	Jω [cm ⁴]	28434,53
iy [cm]	0,62	iy [cm]	10,37	iy [cm]	9,60
iz [cm]	0,62	iz [cm]	2,32	iz [cm]	2,19
is [cm]	0,88	is [cm]	10,62	is [cm]	9,85
m [kg/m]	3,85	m [kg/m]	41,92	m [kg/m]	36,19

Materiały:

Nr:	Rodzaj:	Nazwa:	E:	G:	v:	α _T :	ρ:	Ro:
			[GPa]	[GPa]	[-]	[1/K]	[kg/m ³]	[MPa]
1	Stal 1993	S 235	210	81	0,3	0	7850	235

Zestawienie Materiału

Oznaczenie	Materiał	Długości [m]:	Masa [t]:
I 240	1 - S 235	12x6,81 + 4x6,88 = 109,25	3,954
I 260	1 - S 235	12x5,24 = 62,92	2,637
R *25x13	1 - S 235	4x12,00 = 48,00	0,185
R *12x6	1 - S 235	8x1,76 = 14,05	0,012
H 120x120x6.0~	1 - S 235	2x5,24 = 10,49	0,213
H 100x100x5.0~	1 - S 235	1x4,50 + 6x2,86 + 2x5,70 = 33,03	0,465
H 120x120x5.0~	1 - S 235	4x5,70 = 22,80	0,393
L 60x60x6	1 - S 235	20x4,50 = 90,00	0,488
U 120	1 - S 235	18x22,50 + 2x6,55 + 2x7,39 + 1x5,42 + 1x4,00 = 442,29	5,902
Pozostałe przekroje			0,055
Masa całkowita ustroju			14,306
Materiał		Jednostka miary	Ilość:
Stal 1993: 1 - S 235		t	14,306

	Powierzch.	0,57	0,57	1,50		0,60					Poz.A.1.3. Wiatr szczyt	
	Powierzch.	0,57	0,57	1,50		0,60					Poz.A.1.3. Wiatr szczyt	
	Powierzch.	0,25	0,25	1,50		0,60					Poz.A.1.3. Wiatr szczyt	
	Powierzch.	0,25	0,25	1,50		0,60					Poz.A.1.3. Wiatr szczyt	

Wyniki Obliczeń wg PN-EN
Teoria I rzędu
Obwiednie sił

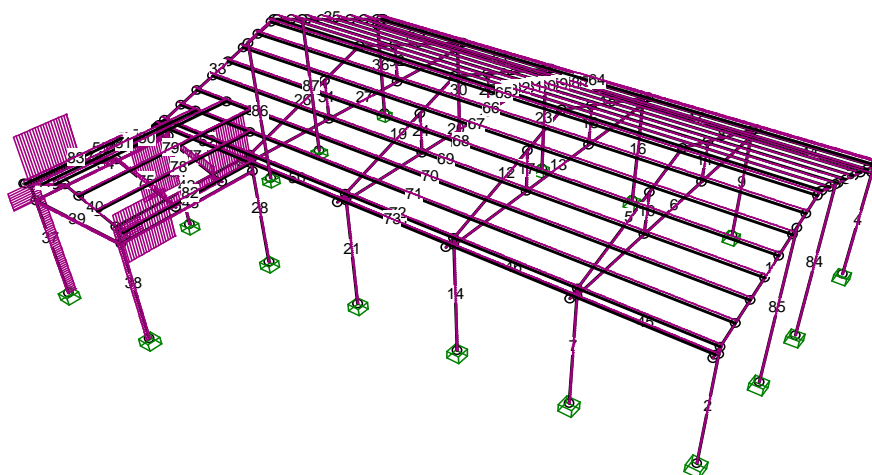
Kombinacje Obciążeń:

Nr:	Zawsze:	Ewentualnie:
1	CW+St	Sn1/Sn2/Sn3+Wb/Ws

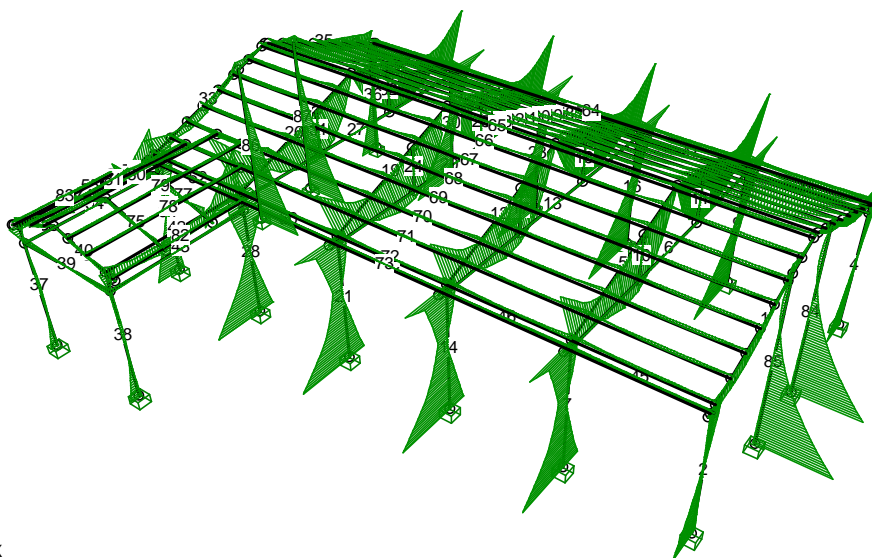
Relacje Grup Obciążeń:

Grupa obciążeń:	Relacje:
Sn1 - Poz.A.1.2. Śnieg 1	Nie występuje z: Sn2Sn3.
Sn2 - Poz.A.1.2. Śnieg 2	Nie występuje z: Sn1Sn3.
Sn3 - Poz.A.1.2. Śnieg 3	Nie występuje z: Sn1Sn2.
Wb - Poz.A.1.3. Wiatr boczny	Nie występuje z: Ws.
Ws - Poz.A.1.3. Wiatr szczyt	Nie występuje z: Wb.

Mx

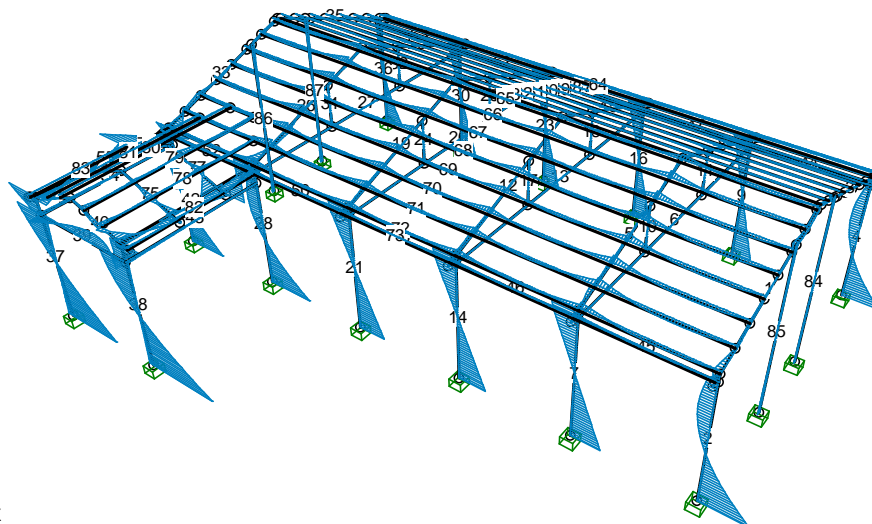


My



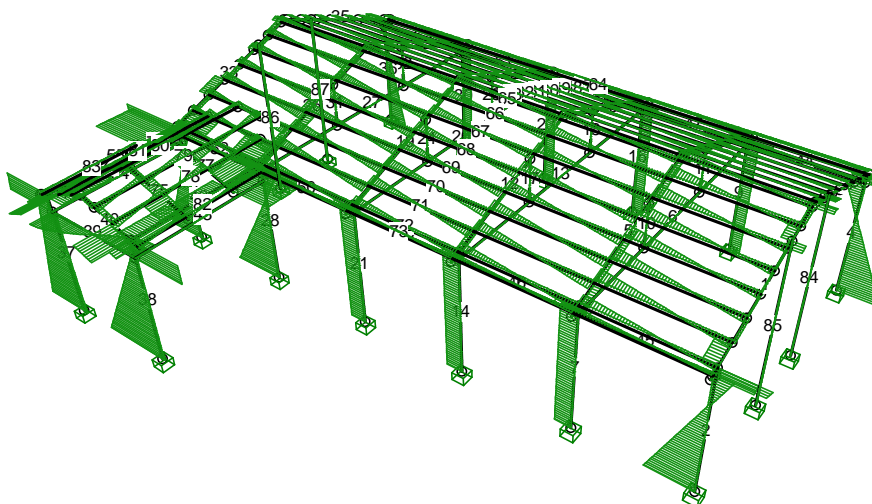
Mz





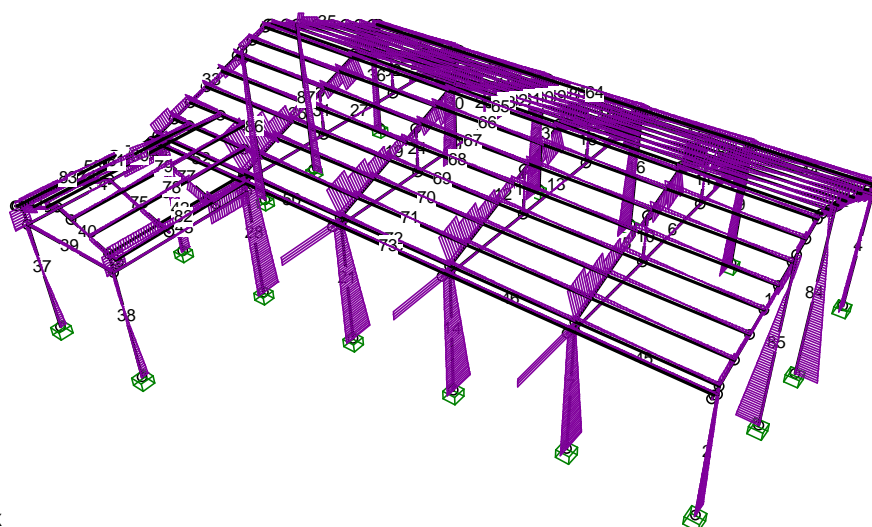
Ty

Y Z X



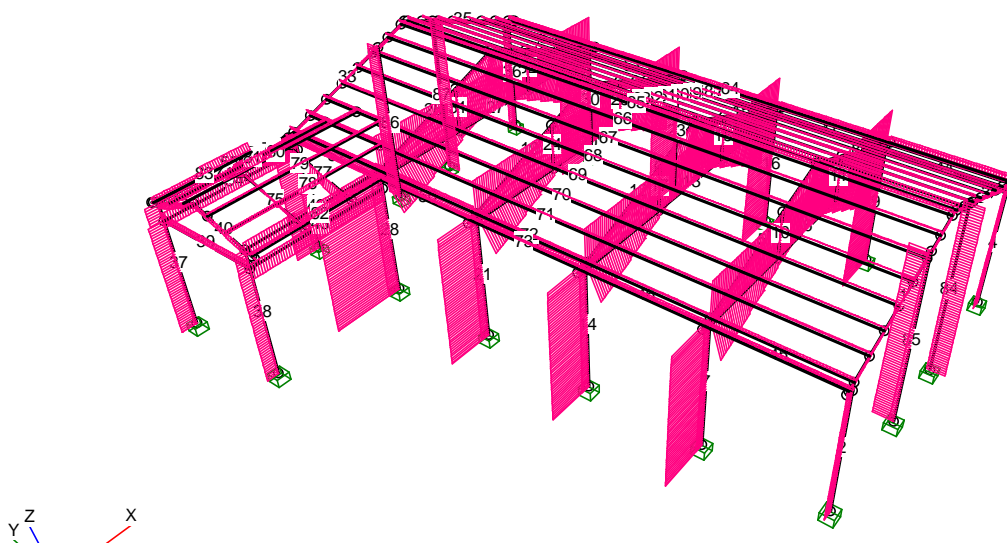
Tz

Y Z X




Y Z X


N


Reakcje podporowe: Kombinacja obliczeniowa PN-EN


Nr węzła:	Rx [kN]:	Ry [kN]:	Rz [kN]:	Mx [kNm]:	My [kNm]:	Mz [kNm]:	Obciążenia:
6	1,61	-7,28	10,91	10,99	3,72	-0,01	CW StSn3Ws
6	-11,77	-0,15	3,93	0,32	-25,53	0,02	CW St(γ_2)Wb
6	0,25	-0,02	5,32	0,03	0,4	0	CW St(γ_2)
6	0,99	-7,39	14,62	11,19	0,85	0,00	CW StSn2Ws
6	1,57	-7,37	15	11,14	2,75	-0,01	CW StSn1Ws
6	-11,77	-0,15	3,93	0,32	-25,53	0,02	CW St(γ_2)Wb
6	-11,77	-0,15	3,93	0,32	-25,53	0,02	CW St(γ_2)Wb
6	-11,22	-0,31	13,21	0,56	-25,71	0,01	CW StSn2Wb
6	0,99	-7,39	14,62	11,19	0,85	0,00	CW StSn2Ws
6	0,25	-0,02	5,32	0,03	0,4	0	CW St(γ_2)
6	1,61	-7,28	10,91	10,99	3,72	-0,01	CW StSn3Ws
6	-11,24	-0,31	13,11	0,56	-25,72	0,01	CW St(γ_2)Sn2Wb
6	-11,77	-0,15	3,93	0,32	-25,53	0,02	CW St(γ_2)Wb
6	1,61	-7,28	10,91	10,99	3,72	-0,01	CW StSn3Ws
6	-11,24	-0,31	13,11	0,56	-25,72	0,01	CW St(γ_2)Sn2Wb
6	-11,24	-0,31	13,11	0,56	-25,72	0,01	CW St(γ_2)Sn2Wb
8	-0,06	-6,58	4,92	9,06	0,23	0	CW St(γ_2)Ws
8	-10,37	-0,02	12,6	0,09	-25,91	0,02	CW StSn2Wb
8	-9,2	0,04	7,02	-0,02	-23,19	0,02	CW St(γ_2)Wb
8	-0,62	-6,72	14,2	9,29	0,38	0	CW StSn3Ws
8	-10,33	-0,1	16,69	0,2	-24,95	0,02	CW StSn1Wb
8	-0,06	-6,58	4,92	9,06	0,23	0	CW St(γ_2)Ws
8	-10,37	-0,02	12,6	0,09	-25,91	0,02	CW StSn2Wb
8	-10,33	-0,1	16,69	0,2	-24,95	0,02	CW StSn1Wb
8	-0,62	-6,72	14,2	9,29	0,38	0	CW StSn3Ws
8	-9,2	0,04	7,02	-0,02	-23,19	0,02	CW St(γ_2)Wb
8	-0,6	-6,72	14,09	9,29	0,4	0	CW St(γ_2)Sn3Ws
8	-10,37	-0,02	12,6	0,09	-25,91	0,02	CW StSn2Wb
8	-10,37	-0,02	12,6	0,09	-25,91	0,02	CW StSn2Wb
8	-0,06	-6,58	4,92	9,06	0,23	0	CW St(γ_2)Ws
8	-10,37	-0,02	12,6	0,09	-25,91	0,02	CW StSn2Wb
8	-10,37	-0,02	12,6	0,09	-25,91	0,02	CW StSn2Wb
15	8,68	-2,61	72,66	7,2	18,23	0,00	CW StSn1Ws
15	-21,13	-0,04	15,09	0,14	-48,1	0,01	CW St(γ_2)Wb
15	8,39	0,03	74,02	-0,09	17,23	0,00	CW StSn1
15	1,44	-2,64	12,64	7,27	3,41	0	CW St(γ_2)Ws
15	-13,89	-0,02	75,11	0,07	-33,29	0,01	CW StSn1Wb
15	1,44	-2,64	12,64	7,27	3,41	0	CW St(γ_2)Ws
15	-21,13	-0,04	15,09	0,14	-48,1	0,01	CW St(γ_2)Wb
15	-13,89	-0,02	75,11	0,07	-33,29	0,01	CW StSn1Wb

 ul. Głowackiego 28 10-448 Olsztyn	PROJEKT WYKONAWCZY- KONSTRUKCJA ZADASZENIE NAD BOKSAMI NR 1 BARTOSZYCE	24 z 97
--	--	----------------

15	1,44	-2,64	12,64	7,27	3,41	0	CW St(γ_2)Ws
15	6,24	0,03	49,34	-0,09	15,71	0,00	CW StSn3
15	8,68	-2,61	72,66	7,2	18,23	0,00	CW StSn1Ws
15	-21,13	-0,04	15,09	0,14	-48,1	0,01	CW St(γ_2)Wb
15	-15,42	-0,03	66,99	0,11	-39,63	0,01	CW St(γ_2)Sn2Wb
15	6,24	0,03	49,34	-0,09	15,71	0,00	CW StSn3
15	-21,13	-0,04	15,09	0,14	-48,1	0,01	CW St(γ_2)Wb
15	-21,13	-0,04	15,09	0,14	-48,1	0,01	CW St(γ_2)Wb
17	-0,87	-1,83	12,58	5,13	-1,39	0	CW St(γ_2)Ws
17	-24,07	-0,03	68,08	0,1	-60,54	0,01	CW StSn1Wb
17	-6,98	0,02	66,59	-0,05	-11,17	0	CW StSn3
17	-5,9	-1,83	47,27	5,14	-14,6	0,00	CW St(γ_2)Sn2Ws
17	-8,43	0,02	74,05	-0,03	-17,37	0,00	CW StSn1
17	-16,8	-0,05	8,04	0,13	-45,62	0,01	CW St(γ_2)Wb
17	-24,07	-0,03	68,08	0,1	-60,54	0,01	CW StSn1Wb
17	-8,43	0,02	74,05	-0,03	-17,37	0,00	CW StSn1
17	-5,9	-1,83	47,27	5,14	-14,6	0,00	CW St(γ_2)Sn2Ws
17	-6,98	0,02	66,59	-0,05	-11,17	0	CW StSn3
17	-0,87	-1,83	12,58	5,13	-1,39	0	CW St(γ_2)Ws
17	-24,07	-0,03	68,08	0,1	-60,54	0,01	CW StSn1Wb
17	-21,91	-0,05	43,37	0,13	-58,99	0,01	CW StSn2Wb
17	-6,9	0,02	65,94	-0,05	-11,01	0	CW St(γ_2)Sn3
17	-24,07	-0,03	68,08	0,1	-60,54	0,01	CW StSn1Wb
17	-24,07	-0,03	68,08	0,1	-60,54	0,01	CW StSn1Wb
28	7,94	-2,65	68,66	7,27	16,48	0	CW StSn1Ws
28	-22,32	-0,05	14,56	0,15	-52,32	0	CW St(γ_2)Wb
28	6,18	0,02	45,78	-0,07	15,97	0	CW StSn3
28	6,19	-2,66	61,2	7,31	9,41	0	CW St(γ_2)Sn2Ws
28	-15,55	-0,04	69,55	0,11	-38,38	0	CW StSn1Wb
28	1,12	0,00	13,37	-0,01	2,36	0	CW St(γ_2)
28	-22,32	-0,05	14,56	0,15	-52,32	0	CW St(γ_2)Wb
28	-15,55	-0,04	69,55	0,11	-38,38	0	CW StSn1Wb
28	1,17	-2,66	13,66	7,32	2,55	0	CW St(γ_2)Ws
28	6,18	0,02	45,78	-0,07	15,97	0	CW StSn3
28	7,94	-2,65	68,66	7,27	16,48	0	CW StSn1Ws
28	-22,32	-0,05	14,56	0,15	-52,32	0	CW St(γ_2)Wb
28	7,94	-2,65	68,66	7,27	16,48	0	CW StSn1Ws
28	-22,32	-0,05	14,56	0,15	-52,32	0	CW St(γ_2)Wb
28	-22,32	-0,05	14,56	0,15	-52,32	0	CW St(γ_2)Wb
28	-22,32	-0,05	14,56	0,15	-52,32	0	CW St(γ_2)Wb
30	-1,06	-1,8	13,43	5,1	-2,14	0	CW St(γ_2)Ws
30	-24,63	-0,04	62,53	0,11	-63,42	0,00	CW StSn1Wb
30	-6,11	0,01	61,22	-0,02	-9,12	0	CW StSn3
30	-5,99	-1,81	45,15	5,12	-15,42	0	CW St(γ_2)Sn2Ws
30	-7,73	-1,8	68,2	5,09	-15,82	0	CW StSn1Ws
30	-17,97	-0,04	7,76	0,12	-49,75	0	CW St(γ_2)Wb
30	-24,63	-0,04	62,53	0,11	-63,42	0,00	CW StSn1Wb
30	-7,73	-1,8	68,2	5,09	-15,82	0	CW StSn1Ws
30	-5,99	-1,81	45,15	5,12	-15,42	0	CW St(γ_2)Sn2Ws
30	-6,11	0,01	61,22	-0,02	-9,12	0	CW StSn3
30	-1,06	-1,8	13,43	5,1	-2,14	0	CW St(γ_2)Ws
30	-24,63	-0,04	62,53	0,11	-63,42	0,00	CW StSn1Wb
30	-1,06	-1,8	13,43	5,1	-2,14	0	CW St(γ_2)Ws
30	-24,63	-0,04	62,53	0,11	-63,42	0,00	CW StSn1Wb
30	-24,63	-0,04	62,53	0,11	-63,42	0,00	CW StSn1Wb
30	-24,63	-0,04	62,53	0,11	-63,42	0,00	CW StSn1Wb
41	7,85	0,02	66,9	-0,07	16,66	0,00	CW StSn1
41	-21,7	-0,07	14,19	0,18	-49,85	0,00	CW St(γ_2)Wb
41	6,05	0,03	45,01	-0,09	15,72	0	CW StSn3
41	0,92	-2,72	13,22	7,42	1,7	0	CW St(γ_2)Ws
41	-14,97	-0,05	67,89	0,12	-35,63	0,00	CW StSn1Wb
41	1,13	0,00	13,2	-0,01	2,44	0	CW St(γ_2)
41	-21,7	-0,07	14,19	0,18	-49,85	0,00	CW St(γ_2)Wb

 ul. Głowackiego 28 10-448 Olsztyn	PROJEKT WYKONAWCZY- KONSTRUKCJA ZADASZENIE NAD BOKSAMI NR 1 BARTOSZYCE	25 z 97
--	--	----------------

41	-14,97	-0,05	67,89	0,12	-35,63	0,00	CW StSn1Wb
41	0,92	-2,72	13,22	7,42	1,7	0	CW St(γ_2)Ws
41	6,05	0,03	45,01	-0,09	15,72	0	CW StSn3
41	7,85	0,02	66,9	-0,07	16,66	0,00	CW StSn1
41	-21,7	-0,07	14,19	0,18	-49,85	0,00	CW St(γ_2)Wb
41	5,77	-2,69	44,44	7,35	14,83	0	CW St(γ_2)Sn3Ws
41	-16,52	-0,06	60,97	0,16	-42,02	0,00	CW StSn2Wb
41	-21,7	-0,07	14,19	0,18	-49,85	0,00	CW St(γ_2)Wb
41	-21,7	-0,07	14,19	0,18	-49,85	0,00	CW St(γ_2)Wb
43	-1,08	0	13,32	0	-2,2	0	CW St(γ_2)
43	-23,76	-0,03	62,42	0,09	-60,21	0,00	CW StSn1Wb
43	-6,12	0,01	61,14	-0,03	-9,17	0	CW StSn3
43	-5,89	-1,79	44,74	5,07	-15,06	0	CW St(γ_2)Sn2Ws
43	-7,58	0,01	67,98	-0,01	-15,26	0	CW StSn1
43	-17,26	-0,03	7,76	0,1	-47,15	0,00	CW St(γ_2)Wb
43	-23,76	-0,03	62,42	0,09	-60,21	0,00	CW StSn1Wb
43	-7,58	0,01	67,98	-0,01	-15,26	0	CW StSn1
43	-5,89	-1,79	44,74	5,07	-15,06	0	CW St(γ_2)Sn2Ws
43	-6,12	0,01	61,14	-0,03	-9,17	0	CW StSn3
43	-1,08	0	13,32	0	-2,2	0	CW St(γ_2)
43	-23,76	-0,03	62,42	0,09	-60,21	0,00	CW StSn1Wb
43	-6,33	-1,77	60,95	5,04	-9,91	0,00	CW StSn3Ws
43	-21,87	-0,04	39,38	0,11	-59,28	0,00	CW St(γ_2)Sn2Wb
43	-23,76	-0,03	62,42	0,09	-60,21	0,00	CW StSn1Wb
43	-23,76	-0,03	62,42	0,09	-60,21	0,00	CW StSn1Wb
54	6,01	-0,01	102,14	-0,02	14,15	0	CW StSn1
54	-18,41	-0,08	25,44	0,21	-43,66	-0,01	CW St(γ_2)Wb
54	5,16	0,01	64,02	-0,06	13,66	0,00	CW St(γ_2)Sn3
54	3,47	-9,01	96,05	12,84	6,1	-0,01	CW StSn2Ws
54	-13,18	-0,1	108,69	0,2	-31,49	-0,01	CW StSn1Wb
54	0,79	0	18,89	-0,01	1,98	0	CW St(γ_2)
54	-18,41	-0,08	25,44	0,21	-43,66	-0,01	CW St(γ_2)Wb
54	-13,18	-0,1	108,69	0,2	-31,49	-0,01	CW StSn1Wb
54	3,41	-9,01	95,15	12,84	5,97	-0,01	CW St(γ_2)Sn2Ws
54	5,22	0,01	64,92	-0,06	13,8	0,00	CW StSn3
54	6,01	-0,01	102,14	-0,02	14,15	0	CW StSn1
54	-18,41	-0,08	25,44	0,21	-43,66	-0,01	CW St(γ_2)Wb
54	5,22	0,01	64,92	-0,06	13,8	0,00	CW StSn3
54	-15,12	-0,12	101,5	0,25	-37,68	-0,01	CW St(γ_2)Sn2Wb
54	-18,41	-0,08	25,44	0,21	-43,66	-0,01	CW St(γ_2)Wb
54	-18,41	-0,08	25,44	0,21	-43,66	-0,01	CW St(γ_2)Wb
56	-1,08	0,00	13,92	0,00	-2,14	0	CW St(γ_2)
56	-21,69	-0,03	66,44	0,09	-52,06	-0,01	CW StSn1Wb
56	-1,08	0,00	13,92	0,00	-2,14	0	CW St(γ_2)
56	-8,49	-1,78	75,33	5,05	-17,45	0,00	CW StSn1Ws
56	-8,49	-1,78	75,33	5,05	-17,45	0,00	CW StSn1Ws
56	-14,73	-0,02	6,65	0,08	-38,35	-0,01	CW St(γ_2)Wb
56	-21,69	-0,03	66,44	0,09	-52,06	-0,01	CW StSn1Wb
56	-8,49	-1,78	75,33	5,05	-17,45	0,00	CW StSn1Ws
56	-5,91	-1,78	50,33	5,06	-14,43	0,00	CW StSn2Ws
56	-7,04	-0,01	65,99	0,00	-11,41	0	CW St(γ_2)Sn3
56	-1,08	0,00	13,92	0,00	-2,14	0	CW St(γ_2)
56	-21,69	-0,03	66,44	0,09	-52,06	-0,01	CW StSn1Wb
56	-1,08	0,00	13,92	0,00	-2,14	0	CW St(γ_2)
56	-19,1	-0,03	41,45	0,1	-49,03	-0,01	CW StSn2Wb
56	-21,69	-0,03	66,44	0,09	-52,06	-0,01	CW StSn1Wb
56	-21,69	-0,03	66,44	0,09	-52,06	-0,01	CW StSn1Wb
67	1,63	-7,35	24,66	11,19	4,87	0,00	CW StSn3Ws
67	-7,91	-0,02	11,04	0,11	-22,06	0,00	CW St(γ_2)Wb
67	1,17	0,14	37,24	-0,27	3,56	0,00	CW StSn1
67	0,42	-7,43	10,28	11,34	1,37	0,00	CW St(γ_2)Ws
67	-6,89	0,1	38,67	-0,11	-19,05	0,00	CW StSn1Wb
67	0,16	0,02	9,61	-0,04	0,54	0	CW St(γ_2)

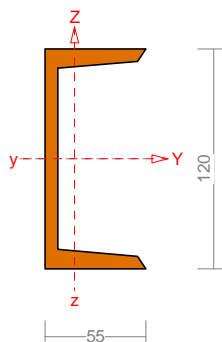
 ul. Głowackiego 28 10-448 Olsztyn	PROJEKT WYKONAWCZY- KONSTRUKCJA ZADASZENIE NAD BOKSAMI NR 1 BARTOSZYCE	26 z 97
--	--	----------------

67	-7,91	-0,02	11,04	0,11	-22,06	0,00	CW St(γ_2)Wb
67	-7,61	0,08	38,63	-0,07	-21,12	0	CW StSn2Wb
67	0,42	-7,43	10,28	11,34	1,37	0,00	CW St(γ_2)Ws
67	1,17	0,14	37,24	-0,27	3,56	0,00	CW StSn1
67	1,63	-7,35	24,66	11,19	4,87	0,00	CW StSn3Ws
67	-7,91	-0,02	11,04	0,11	-22,06	0,00	CW St(γ_2)Wb
67	1,17	0,14	37,24	-0,27	3,56	0,00	CW StSn1
67	0,42	-7,43	10,28	11,34	1,37	0,00	CW St(γ_2)Ws
67	-7,91	-0,02	11,04	0,11	-22,06	0,00	CW St(γ_2)Wb
67	-7,91	-0,02	11,04	0,11	-22,06	0,00	CW St(γ_2)Wb
69	0,16	-3,59	4,76	6,33	0,87	0,00	CW St(γ_2)Ws
69	-8,6	0,07	14,92	-0,08	-19,48	-0,02	CW StSn1Wb
69	-0,16	0,18	13,76	-0,3	1,81	0,00	CW StSn3
69	0,16	-3,59	4,76	6,33	0,87	0,00	CW St(γ_2)Ws
69	-8,52	0,08	15,04	-0,1	-19,13	-0,01	CW StSn3Wb
69	0,16	-3,59	4,76	6,33	0,87	0,00	CW St(γ_2)Ws
69	-8,6	0,07	14,92	-0,08	-19,48	-0,02	CW StSn1Wb
69	-8,52	0,08	15,04	-0,1	-19,13	-0,01	CW StSn3Wb
69	0,16	-3,59	4,76	6,33	0,87	0,00	CW St(γ_2)Ws
69	-0,16	0,18	13,76	-0,3	1,81	0,00	CW StSn3
69	0,06	-3,44	13,44	6,07	2,49	0,00	CW StSn3Ws
69	-8,42	-0,07	6,36	0,16	-20,75	-0,01	CW St(γ_2)Wb
69	-0,07	0,03	5,08	-0,04	0,19	0	CW St(γ_2)
69	-8,6	-0,01	10,84	0,07	-20,31	-0,02	CW StSn2Wb
69	-8,42	-0,07	6,36	0,16	-20,75	-0,01	CW St(γ_2)Wb
69	-8,42	-0,07	6,36	0,16	-20,75	-0,01	CW St(γ_2)Wb
72	0,16	-7,95	16,32	16,3	0,48	-0,03	CW StSn3Ws
72	-5,25	0,81	15,46	-1,74	-5,45	-0,63	CW St(γ_2)Sn2Wb
72	-5,25	0,81	15,6	-1,74	-5,45	-0,63	CW StSn2Wb
72	0,16	-7,95	16,18	16,3	0,48	-0,03	CW St(γ_2)Sn3Ws
72	0,12	-7,75	22,5	15,96	0,41	-0,08	CW StSn1Ws
72	-5,25	0,5	2,86	-1,3	-5,5	-0,57	CW St(γ_2)Wb
72	0,16	-7,95	16,18	16,3	0,48	-0,03	CW St(γ_2)Sn3Ws
72	0,12	-7,75	22,5	15,96	0,41	-0,08	CW StSn1Ws
72	0,16	-7,95	16,18	16,3	0,48	-0,03	CW St(γ_2)Sn3Ws
72	-5,25	0,81	15,6	-1,74	-5,45	-0,63	CW StSn2Wb
72	0,16	-7,95	16,32	16,3	0,48	-0,03	CW StSn3Ws
72	-5,25	0,5	2,86	-1,3	-5,5	-0,57	CW St(γ_2)Wb
72	0,13	0,00	12,08	0,24	0,4	0,05	CW St(γ_2)Sn3
72	-5,25	0,81	15,6	-1,74	-5,45	-0,63	CW StSn2Wb
72	0,16	-7,95	16,18	16,3	0,48	-0,03	CW St(γ_2)Sn3Ws
72	0,16	-7,95	16,18	16,3	0,48	-0,03	CW St(γ_2)Sn3Ws
74	0,59	-0,53	16,6	0,98	1,38	0,14	CW StSn1
74	-5,84	0,48	1,71	-1,27	-7,28	0,1	CW St(γ_2)Wb
74	-5,84	0,48	1,71	-1,27	-7,28	0,1	CW St(γ_2)Wb
74	0,53	-11,79	12,35	19,69	1,19	0,05	CW StSn1Ws
74	0,59	-0,53	16,6	0,98	1,38	0,14	CW StSn1
74	0,03	-11,32	0,86	18,83	0,03	-0,07	CW St(γ_2)Ws
74	0,53	-11,79	12,35	19,69	1,19	0,05	CW StSn1Ws
74	0,53	-11,79	12,35	19,69	1,19	0,05	CW StSn1Ws
74	0,53	-11,79	12,35	19,69	1,19	0,05	CW StSn1Ws
74	-5,84	0,48	1,71	-1,27	-7,28	0,1	CW St(γ_2)Wb
74	0,59	-0,53	16,6	0,98	1,38	0,14	CW StSn1
74	-5,84	0,48	1,71	-1,27	-7,28	0,1	CW St(γ_2)Wb
74	-5,35	0,01	13,2	-0,41	-6,12	0,22	CW StSn1Wb
74	0,03	-11,32	0,86	18,83	0,03	-0,07	CW St(γ_2)Ws
74	0,53	-11,79	12,35	19,69	1,19	0,05	CW StSn1Ws
74	0,53	-11,79	12,35	19,69	1,19	0,05	CW StSn1Ws
132	0,00	-19,15	5,79	55,11	0	0,01	CW St(γ_2)Ws
132	-0,27	0,13	27,1	-0,87	-0,87	0	CW StSn2Wb
132	-0,05	0,23	18,67	-1,53	-0,12	0,00	CW StSn1
132	0,00	-19,15	5,79	55,11	0	0,01	CW St(γ_2)Ws
132	-0,27	0,13	27,1	-0,87	-0,87	0	CW StSn2Wb

132	0,00	-19,15	5,79	55,11	0	0,01	CW St(γ_2)Ws
132	0,00	-19,15	5,79	55,11	0	0,01	CW St(γ_2)Ws
132	-0,27	0,13	27,1	-0,87	-0,87	0	CW StSn2Wb
132	0,00	-19,15	5,79	55,11	0	0,01	CW St(γ_2)Ws
132	-0,05	0,23	18,67	-1,53	-0,12	0,00	CW StSn1
132	0,00	-19,15	5,79	55,11	0	0,01	CW St(γ_2)Ws
132	-0,27	0,13	27,1	-0,87	-0,87	0	CW StSn2Wb
132	0,00	-19,15	5,79	55,11	0	0,01	CW St(γ_2)Ws
132	-0,05	0,23	18,67	-1,53	-0,12	0,00	CW StSn1
132	0,00	-19,15	5,79	55,11	0	0,01	CW St(γ_2)Ws
132	0,00	-19,15	5,79	55,11	0	0,01	CW St(γ_2)Ws
133	0,08	-18,65	19,33	51,73	0,21	0,00	CW StSn3Ws
133	-0,2	-0,12	-4,24	0,86	-0,66	0	CW St(γ_2)Wb
133	0,05	0,18	18,65	-1,24	0,12	0	CW StSn1
133	0,01	-18,81	6,22	52,82	0,04	0,00	CW St(γ_2)Ws
133	0,08	-18,65	19,33	51,73	0,21	0,00	CW StSn3Ws
133	-0,2	-0,12	-4,24	0,86	-0,66	0	CW St(γ_2)Wb
133	0,01	-18,81	6,22	52,82	0,04	0,00	CW St(γ_2)Ws
133	0,08	-18,65	19,33	51,73	0,21	0,00	CW StSn3Ws
133	0,01	-18,81	6,22	52,82	0,04	0,00	CW St(γ_2)Ws
133	0,05	0,18	18,65	-1,24	0,12	0	CW StSn1
133	0,08	-18,65	19,33	51,73	0,21	0,00	CW StSn3Ws
133	-0,2	-0,12	-4,24	0,86	-0,66	0	CW St(γ_2)Wb
133	0,07	0,18	19,06	-1,24	0,18	0	CW StSn3
133	0,01	-18,81	6,22	52,82	0,04	0,00	CW St(γ_2)Ws
133	0,01	-18,81	6,22	52,82	0,04	0,00	CW St(γ_2)Ws
133	0,01	-18,81	6,22	52,82	0,04	0,00	CW St(γ_2)Ws
137	0,02	-11,29	10,41	44,24	0,09	0,01	CW St(γ_2)Sn3Ws
137	-0,19	-0,23	23,84	1,58	-0,61	0,00	CW StSn2Wb
137	0,01	0,00	10,16	0,01	0,05	0	CW St(γ_2)Sn3
137	-0,01	-11,37	18	44,76	0,01	0,01	CW StSn2Ws
137	-0,19	-0,23	23,84	1,58	-0,61	0,00	CW StSn2Wb
137	0,00	-0,01	5,65	0,04	0,01	0	CW St(γ_2)
137	-0,01	-11,37	18	44,76	0,01	0,01	CW StSn2Ws
137	-0,19	-0,23	23,84	1,58	-0,61	0,00	CW StSn2Wb
137	-0,01	-11,37	18	44,76	0,01	0,01	CW StSn2Ws
137	0,01	0,00	10,16	0,01	0,05	0	CW St(γ_2)Sn3
137	0,02	-11,29	10,54	44,25	0,09	0,01	CW StSn3Ws
137	-0,19	-0,23	23,71	1,57	-0,61	0,00	CW St(γ_2)Sn2Wb
137	-0,01	-11,37	17,87	44,75	0,01	0,01	CW St(γ_2)Sn2Ws
137	0,01	0,00	10,29	0,01	0,05	0	CW StSn3
137	-0,01	-11,37	18	44,76	0,01	0,01	CW StSn2Ws
137	-0,01	-11,37	18	44,76	0,01	0,01	CW StSn2Ws
138	0,09	-11,03	20,8	42,5	0,25	-0,01	CW StSn3Ws
138	-0,18	-0,05	-2,47	0,33	-0,6	0	CW St(γ_2)Wb
138	0,01	-0,01	6,34	0,08	0,03	0	CW St(γ_2)
138	0,08	-11,04	21,29	42,51	0,23	-0,01	CW StSn1Ws
138	0,08	-11,04	21,29	42,51	0,23	-0,01	CW StSn1Ws
138	-0,18	-0,05	-2,47	0,33	-0,6	0	CW St(γ_2)Wb
138	0,08	-11,04	21,29	42,51	0,23	-0,01	CW StSn1Ws
138	0,08	-11,04	21,29	42,51	0,23	-0,01	CW StSn1Ws
138	0,08	-11,04	21,29	42,51	0,23	-0,01	CW StSn1Ws
138	0,01	-0,01	6,34	0,08	0,03	0	CW St(γ_2)
138	0,09	-11,03	20,8	42,5	0,25	-0,01	CW StSn3Ws
138	-0,18	-0,05	-2,47	0,33	-0,6	0	CW St(γ_2)Wb
138	-0,18	-0,05	-2,47	0,33	-0,6	0	CW St(γ_2)Wb
138	0,09	-11,03	20,8	42,5	0,25	-0,01	CW StSn3Ws
138	0,08	-11,04	21,29	42,51	0,23	-0,01	CW StSn1Ws
138	0,08	-11,04	21,29	42,51	0,23	-0,01	CW StSn1Ws

Poz.A.2.2. Wymiarowanie elementów zadaszienia nad boksami nr 1

Poz.A.2.2.1 Płatwie C120



Wymiary przekroju:

$h=120,0$ $s=55,0$ $g=7,0$ $t=9,0$ $r=9,0$ $e_y=16,0$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$I_{yg}=364,0$ $I_{zg}=43,2$ $A=17,00$ $i_y=4,6$ $i_z=1,6$ $I_w=899,7$

$I_t=3,9$ $y_s=-3,1$ $z_s=0,0$ $i_s=5,8$ $r_z=6,5$ $b_y=-6,4$.

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u=360$ dla $g=7,0$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Pręśło Yc 1 (0,000;4,500)

Przyjęto:

$\kappa_a = 1,000$ $\kappa_b = 0,500$ węzły przesuwne $\Rightarrow \mu = 2,484$ dla $l_0 = 4,500$
 $l_w = 2,484 \times 4,500 = 11,178$ m

Pręśło Zc 1 (0,000;4,500)

Przyjęto:

$\kappa_a = 1,000$ $\kappa_b = 0,019$ węzły nieprzesuwne $\Rightarrow \mu = 0,701$ dla $l_0 = 4,500$
 $l_w = 0,701 \times 4,500 = 3,154$ m

Pręśło ω 1 (0,000;4,500)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 4,500$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 4,500$ m.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 364,0}{11,178^2} \times 10^{-2} = 60,38 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 43,2}{3,154^2} \times 10^{-2} = 89,98 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{5,82^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 899,7}{4,500^2} \times 10^{-2} + 81 \times 3,93 \times 10^2 \right) = 969,72 \text{ kN}$$

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y} + N_{cr,T} - \sqrt{(N_{cr,y} + N_{cr,T})^2 - 4 N_{cr,y} N_{cr,T} (1 - \mu y_s^2 / i_s^2)}}{2(1 - \mu y_s^2 / i_s^2)} =$$

$$\frac{60,38 + 969,72 - \sqrt{(60,38 + 969,72)^2 - 4 \times 60,38 \times 969,72 \times (1 - 2,484 \times -3,14^2 / 5,82^2)}}{2 \times (1 - 2,484 \times -3,14^2 / 5,82^2)} = 59,66 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Pręśło nr: 5 (18,000;22,500)

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_0 = 6,00$ cm. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 9,14$ cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,680$, $A_2 = 0,290$, $B = 0,970$.

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,680 \times 6,38 + 0,290 \times 9,14 = 6,987$$

$$M_{cr} = \pm A_0 N_{cr,z} + \sqrt{(A_0 N_{cr,z})^2 + B^2 i_s^2 N_{cr,z} N_{cr,T}} =$$

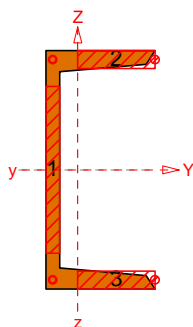
$$0,070 \times 89,98 + \sqrt{(0,070 \times 89,98)^2 + 0,970^2 \times 0,058^2 \times 89,98 \times 969,7} = 0 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 22,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 5, 5, 5. Obciążenia: CW+St $\cdot\gamma_2$ +Ws

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \gamma_{M1} = 1; \gamma_{M2} = 1,25.$$



Klasa przekroju:

$$\epsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,000$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_σ	$(c/t)_1$	$(c/t)_2$	$(c/t)_3$	c/t	Klasa
1	84,0	7,0	0,494	-1,796	-	72,867	83,999	232,282	12,007	1
2	39,0	9,0	0,000	0,000	0	INF	INF	INF	4,344	
3	39,0	9,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	4,344	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 22,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 5, 5, 5. Obciążenia: CW+St $\cdot\gamma_2$ +Ws

Siła osiowa:

$$N_{Ed} = 1,62 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 17,00 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni otworów:

$$A_o = 0,00 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni netto:

$$A_{net} = 17,00 \text{ cm}^2$$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,00 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 399,5 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 17,00 \times 360}{1,25} \times 10^{-1} = 440,64 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Pręt posiada zdolność do odkształceń plastycznych ($N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$).

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 399,5 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{1,62}{399,5} = 0,004 < 1 \quad (6.5)$$

Nośność na ściskanie:

$x_a = 4,500$; $x_b = 18,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+Sn1+Ws

Siła osiowa:

$$N_{Ed} = -1,41 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 17,00 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni przekroju efektywnego:

$$A_{eff} = 17,00 \text{ cm}^2$$


Przesunięcie środka ciężkości:

$$e_{Ny} = 0,00; \quad e_{Nz} = 0,00 \text{ cm}.$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,00 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 399,5 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1,41}{399,5} = 0,004 < 1 \quad (6.9)$$

 ul. Głowackiego 28 10-448 Olsztyn	PROJEKT WYKONAWCZY- KONSTRUKCJA ZADASZENIE NAD BOKSAMI NR 1 BARTOSZYCE	30 z 97
--	---	----------------

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "c")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "c")	Wyboczenie giętno-skrętne (krzywa "c")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{17 \times 235}{60,38 \times 10}} = 2,572$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (2,572 - 0,2) + 2,572^2] = 4,389$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{4,389 + \sqrt{4,389^2 - 2,572^2}} = 0,126$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{17 \times 235}{89,98 \times 10}} = 2,107$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (2,107 - 0,2) + 2,107^2] = 3,187$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,187 + \sqrt{3,187^2 - 2,107^2}} = 0,179$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{17 \times 235}{59,66 \times 10}} = 2,588$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (2,588 - 0,2) + 2,588^2] = 4,433$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{4,433 + \sqrt{4,433^2 - 2,588^2}} = 0,124$
przyjęto $\chi = 0,126 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,179 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,124 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,124$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,124 \times 17,00 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 49,73 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1,41}{49,73} = 0,028 < 1 \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 22,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 5, 5, 5. Obciążenia: CW+St+ γ_2 +Ws

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = \frac{J_t}{t_{max}} = \frac{3,93}{0,87} = 4,52 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{4,52 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 0,61 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,00}{0,61} = 0,000 < 1 \quad (6.23)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 18,000$; $x_b = 4,500$; Przęsło nr: 5, 5, 5. Obciążenia: CW+St+Sn1+Ws

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{8,56 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 116,16 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{0,0}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 116,16 = 116,16 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{4,75}{116,16} = 0,041 < 1$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{9,87 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 133,98 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{0,0}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 133,98 = 133,98 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{1,71}{133,98} = 0,013 < 1$$

Dla materiału o granicy plastyczności 235 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

Zgodnie z p. 5.1(2) PN-EN 1993-1-5 nie jest konieczne sprawdzanie stateczności przy ścinaniu:

$$h_w / t_w = 84,0/7,0 = 12,007 < 59,697 = 72 \times 1,000/1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 22,500$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 5, 5, 5. Obciążenia: CW+St+ $\gamma_i 2$ +Ws

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{69,24 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 16,27 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20,58 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 4,84 \text{ kNm}$$

Nośność przekroju zginanego z siłą podłużną:

$x_a = 4,500$; $x_b = 18,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+Sn3+Ws

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 1,38 / 399,5 = 0,003;$$

Dla dowolnego przekroju przyjęto:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n) = 16,27 \times (1 - 0,003) = 16,21 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n) = 4,84 \times (1 - 0,003) = 4,82 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \frac{3,48^1}{16,21} + \frac{1,81^1}{4,82} = 0,590 < 1 \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{1,38}{399,5} + \frac{3,48}{16,27} + \frac{1,81}{4,84} = 0,592 < 1 \quad (6.2)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+Sn1+Ws

Współczynniki interakcji według metody 2:

$C_{my} = 0,9$ - przechyłowa postaci wyboczenia.

$$C_{mz} = 0,1 - 0,8 \alpha_s = 0,1 - 0,8 \times 0,401 = 0,421; \quad \text{przyjęto } C_{mz} = 0,421$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,900 \times \left(1 + (2,572 - 0,2) \times \frac{1,41}{0,126 \times 399,50/1} \right) = 0,960$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = 0,920 \leq 0,920 = 0,900 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{1,41}{0,126 \times 399,50/1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2 \bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,421 \times \left(1 + (2 \times 2,107 - 0,6) \times \frac{1,41}{0,179 \times 399,50/1} \right) = 0,450$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = 0,432 \leq 0,432 = 0,421 \times \left(1 + 1,4 \times \frac{1,41}{0,179 \times 399,50/1} \right) = C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,432 = 0,259$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,920 = 0,552$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{1,41}{0,126 \times 399,5/1} + 0,920 \times \frac{3,56+0}{1,000 \times 16,27/1} + 0,259 \times \frac{1,77+0}{4,84/1} = \mathbf{0,324 < 1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{1,41}{0,179 \times 399,5/1} + 0,552 \times \frac{3,56+0}{1,000 \times 16,27/1} + 0,432 \times \frac{1,77+0}{4,84/1} = \mathbf{0,299 < 1} \quad (6.62)$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

xa = 18,000; xb = 4,500; Przęsło nr: 5, 5, 5. Obciążenia: CW+St+Sn3+Ws

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = 100,0$ mm oraz typ obciążenia środka (**a**). Dodatkowo przyjęto rozstaw żebier poprzecznych $a = 22,500$ m. Nośność najbardziej obciążonego środka:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (84,0 / 22500,0)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 51,5 / (235 \times 7,0) = 7,357$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 9,0 \times (1 + \sqrt{7,357 + 0,000}) = 166,7 \quad \text{przyjęto } l_y = 166,7 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 7,0^3 / 84,0 = 4628,00 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{166,7 \times 7,0 \times 235 \times 10^3}{4628,00}} = 0,243$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,243} = 2,054 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 166,7 = 166,7 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 166,7 \times 7,0 \times 10^3}{1} = 274,14 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środka:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{8,85}{274,14} = \mathbf{0,032 < 1} \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{1,16}{17 \times 235/1} \times 10 + \frac{3,62 + 1,16 \times 0,000}{60,67 \times 235/1} \times 10^3 + \frac{1,36 + 1,16 \times 0,000}{11,08 \times 235/1} \times 10^3 = 0,779 \quad (4.15 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,032 + 0,8 \times 0,779 = \mathbf{0,656 < 1,4} \quad (7.2 \text{ EN 1993-1-5})$$

Stan graniczny użytkowania:

Przęsło nr: 5, 5, 5. Obciążenia: CW+St+Sn1+Ws

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 4,4 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 4500 / 250 = 18,0 \text{ mm}$$

$$a_{max} = \mathbf{4,4 < 18,0} = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 12,9 \text{ mm}$$

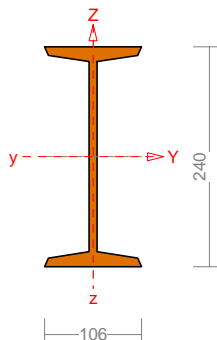
$$a_{gr} = l / 250 = 4500 / 250 = 18,0 \text{ mm}$$

$$a_{max} = \mathbf{12,9 < 18,0} = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 13,679 \text{ mm}; \quad L / a = 4500,0 / 13,679 = 329,0$$

Poz.A.2.2.2 Rygiel INP 240



Wymiary przekroju:

$h=240,0$ $g=8,7$ $s=106,0$ $t=13,1$ $r=8,7$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$I_y=4250,0$ $I_z=221,0$ $A=46,10$ $i_y=9,6$ $i_z=2,2$ $I_w=28434,5$

$I_t=23,8$ $i_s=9,8$.

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ dla $g=8,7$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc 2 (0,426;6,811)

Przyjęto:

$\kappa_a = 0,058$ $\kappa_b = 1,000$ węzły nieprzesuwne $\Rightarrow \mu = 0,708$ dla $l_0 = 6,385$
 $l_w = 0,708 \times 6,385 = 4,521$ m

Przęsło Zc 3 (0,426;1,326)

Przyjęto:

$\kappa_a = 0,087$ $\kappa_b = 0,443$ węzły nieprzesuwne $\Rightarrow \mu = 0,585$ dla $l_0 = 0,900$
 $l_w = 0,585 \times 0,900 = 0,526$ m

Przęsło ω 3 (0,426;1,326)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 0,900$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 0,900$ m.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 4250,0}{4,521^2} \times 10^{-2} = 4310,25 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 221,0}{0,526^2} \times 10^{-2} = 16523,98 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{9,85^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 28434,5}{0,900^2} \times 10^{-2} + 81 \times 23,8 \times 10^2 \right) = 9487,07 \text{ kN}$$

Zwicherungie:

Przęsło nr: 3 (0,426;1,326)

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_0 = 0,00$ cm. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00$ cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwicherungia: $A_1 = 0,680$, $A_2 = 0,290$, $B = 0,970$.

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,680 \times 0,00 + 0,290 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_0 N_{cr,z} + \sqrt{(A_0 N_{cr,z})^2 + B^2 i_s^2 N_{cr,z} N_{cr,T}} =$$

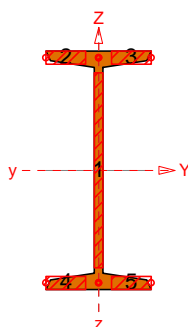
$$0,000 \times 16523,98 + \sqrt{(0,000 \times 16523,98)^2 + 0,970^2 \times 0,098^2 \times 16523,98 \times 9487,07} = 1196,04 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 6,811$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 10, 11. Obciążenia: CW+St $\cdot\gamma_2$ +Ws

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \gamma_{M1} = 1; \gamma_{M2} = 1,25.$$



Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,000$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_σ	$(c/t)_1$	$(c/t)_2$	$(c/t)_3$	c/t	Klasa
1	196,4	8,7	1,000	1,000	-	33,000	38,000	42,000	22,574	1
2	40,0	13,1	1,000	0,463	0,488	9,000	10,000	14,667	3,049	1
3	40,0	13,1	1,000	-3,817	269,857	9,000	10,000	344,974	3,049	1
4	40,0	13,1	1,000	0,463	0,488	9,000	10,000	14,667	3,049	1
5	40,0	13,1	1,000	-3,817	269,857	9,000	10,000	344,974	3,049	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 0,426$; $x_b = 6,385$; Przęsło nr: 2, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn1

Siła osiowa:

$$N_{Ed} = -84,87 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 46,10 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni otworów:

$$A_o = 0,00 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni netto:

$$A_{net} = 46,10 \text{ cm}^2$$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{46,10 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1083,35 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 46,10 \times 360}{1,25} \times 10^{-1} = 1194,91 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Pręt posiada zdolność do odkształceń plastycznych ($N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$).

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 1083,35 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{84,87}{1083,35} = 0,078 < 1 \quad (6.5)$$

Nośność na ściskanie:

$x_a = 0,426$; $x_b = 6,385$; Przęsło nr: 2, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn1

Siła osiowa:

$$N_{Ed} = -84,87 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 46,10 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni przekroju efektywnego:

$$A_{eff} = 46,10 \text{ cm}^2$$

Przesunięcie środka ciężkości:

$$e_{Ny} = 0,00; \quad e_{Nz} = 0,00 \text{ cm.}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{46,10 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1083,35 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{84,87}{1083,35} = 0,078 < 1 \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "a")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "b")	Wyboczenie skrętne (krzywa "b")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{46,1 \times 235}{4310,25 \times 10}} = 0,501$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,501 - 0,2) + 0,501^2] = 0,657$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,657 + \sqrt{0,657^2 - 0,501^2}} = 0,924$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{46,1 \times 235}{16523,98 \times 10}} = 0,256$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,256 - 0,2) + 0,256^2] = 0,542$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,542 + \sqrt{0,542^2 - 0,256^2}} = 0,980$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{46,1 \times 235}{9487,07 \times 10}} = 0,338$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,338 - 0,2) + 0,338^2] = 0,581$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,581 + \sqrt{0,581^2 - 0,338^2}} = 0,950$
przyjęto $\chi = 0,924 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,980 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,950 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,924$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,924 \times 46,1 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1000,86 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{84,87}{1000,86} = 0,085 < 1 \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 6,811$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 10, 11. Obciążenia: CW+St+Sn2+Ws

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = \frac{J_t}{t_{max}} = \frac{23,77}{1,28} = 18,57 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{18,57 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 2,52 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,16}{2,52} = 0,064 < 1 \quad (6.23)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,426$; $x_b = 6,385$; Przęsło nr: 2, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn1+Wb

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{21,74 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 294,96 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{1,6}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 294,96 = 293,55 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{45,99}{293,55} = 0,157 < 1$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{27,78 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 376,92 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{1,6}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 376,92 = 375,12 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{6,10}{375,12} = 0,016 < 1$$

Dla materiału o granicy plastyczności 235 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

Zgodnie z p. 5.1(2) PN-EN 1993-1-5 nie jest konieczne sprawdzanie stateczności przy ścinaniu:

$$h_w / t_w = 196,4/8,7 = 22,574 < 59,715 = 72 \times 1,000/1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 0,426$; $x_b = 6,385$; Przęsło nr: 2, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn1

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{421,25 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 98,99 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{78,06 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 18,34 \text{ kNm}$$

Przyjęto krzywą zwichrzenia „c”.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{421,25 \times 235}{1196,04 \times 10^3}} = 0,288$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,29 - 0,4) + 0,75 \times 0,29^2] = 0,504$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,504 + \sqrt{0,504^2 - 0,75 \times 0,288^2}} = 1,063;$$

$$\text{przyjęto } \chi_{LT} = 1,000 \leq 1,000 = \min\{1; 1/\bar{\lambda}_{LT}^2\}$$

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 421,25 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 98,99 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{59,42}{98,99} = 0,600 < 1 \quad (6.54)$$

Nośność przekroju zginanego z siłą podłużną:

$x_a = 0,426$; $x_b = 6,385$; Przęsło nr: 2, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn1

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 84,87 / 1083,35 = 0,078;$$

Dla dwuteownika bisymetrycznego:

$$a = (A - 2 b t_f) / A = (46,10 - 2 \times 10,60 \times 0,94) / 46,10 = 0,568; \quad \text{przyjęto } a = 0,500 \leq 0,5;$$

– zginanie y-y

$$N_{Ed} = 84,87 < 270,84 = 0,25 \times 1083,35 = 0,25 N_{pl,Rd} \quad (6.33)$$

$$N_{Ed} = 84,87 < 226,12 = \frac{0,5 \times 22,12 \times 0,87 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.34)$$

Nie ma potrzeby redukcji nośności na zginanie ze względu na siłę osiową.

– zginanie z-z

$$N_{Ed} = 84,87 < 452,24 = \frac{22,12 \times 0,87 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.35)$$

Nie ma potrzeby redukcji nośności na zginanie ze względu na siłę osiową.

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\left\{ \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \right\}^{1/\gamma} = \frac{59,42^2}{98,99} + \frac{4,01^{1/2}}{18,34} = 0,579^{1/2} = 0,761 < 1 \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{84,87}{1083,35} + \frac{59,42}{98,99} + \frac{4,01}{18,34} = 0,897 < 1 \quad (6.2)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Przęsło nr: 2, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn1+Wb

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \alpha_s = 0,1 - 0,8 \times 0,593 = 0,574;$$

$$\text{przyjęto } C_{my} = 0,574$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times 0,237 = 0,505;$$

$$\text{przyjęto } C_{mz} = 0,505$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,574 \times \left(1 + (0,501 - 0,2) \times \frac{78,49}{0,924 \times 1083,35/1} \right) = 0,588$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,588} \leq 0,610 = 0,574 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{78,49}{0,924 \times 1083,35/1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,505 \times \left(1 + (2 \times 0,256 - 0,6) \times \frac{78,49}{0,980 \times 1083,35/1} \right) = 0,502$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,502} \leq 0,558 = 0,505 \times \left(1 + 1,4 \times \frac{78,49}{0,980 \times 1083,35/1} \right) = C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,502 = 0,301$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,588 = 0,353$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{78,49}{0,924 \times 1083,35/1} + 0,588 \times \frac{56,56+0}{1,000 \times 98,99/1} + 0,301 \times \frac{4,44+0}{18,34/1} = \mathbf{0,487 < 1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{78,49}{0,980 \times 1083,35/1} + 0,353 \times \frac{56,56+0}{1,000 \times 98,99/1} + 0,502 \times \frac{4,44+0}{18,34/1} = \mathbf{0,397 < 1} \quad (6.62)$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 4,026$; $x_b = 2,785$; Przęsło nr: 2, 6, 6. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = \mathbf{100,0}$ mm oraz typ obciążenia środka (**a**). Dodatkowo przyjęto rozstaw żebrow poprzecznych $a = \mathbf{6,811}$ m. Nośność najbardziej obciążonego środka:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (196,4 / 6810,8)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 106,0 / (235 \times 8,7) = 12,184$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 13,1 \times (1 + \sqrt{12,184 + 0,000}) = 217,7 \quad \text{przyjęto } l_y = 217,7 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 8,7^3 / 196,4 = 3803,36 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{217,7 \times 8,7 \times 235 \times 10^3}{3803,36}} = 0,342$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,342} = 1,462 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 217,7 = 217,7 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 217,7 \times 8,7 \times 10^3}{1} = 445,06 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN } 1993-1-5)$$

Warunki nośności środka:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{9,78}{445,06} = \mathbf{0,022 < 1} \quad (6.14 \text{ EN } 1993-1-5)$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{49,66}{46,1 \times 235 / 1} \times 10 + \frac{38,46 + 49,66 \times 0,000}{354,17 \times 235 / 1} \times 10^3 + \frac{0,37 + 49,66 \times 0,000}{41,7 \times 235 / 1} \times 10^3 = 0,546 \quad (4.15 \text{ EN } 1993-1-5)$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,022 + 0,8 \times 0,546 = \mathbf{0,459 < 1,4} \quad (7.2 \text{ EN } 1993-1-5)$$

Stan graniczny użytkowania:

Przęsło nr: 2, 6, 6. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 10,2 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 6385 / 250 = 25,5 \text{ mm}$$

$$a_{max} = \mathbf{10,2 < 25,5} = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 0,1 \text{ mm}$$

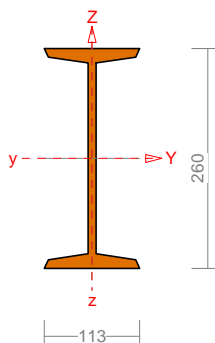
$$a_{gr} = l / 250 = 900 / 250 = 3,6 \text{ mm}$$

$$a_{max} = \mathbf{0,1 < 3,6} = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 10,179 \text{ mm}; \quad L / a = 900,0 / 10,179 = 88,4$$

Poz.A.2.2.3 Słup INP 260



Wymiary przekroju:

$$h=260,0 \quad g=9,4 \quad s=113,0 \quad t=14,0 \quad r=9,4.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$I_{yg}=5740,0 \quad I_{zg}=288,0 \quad A=53,40 \quad i_y=10,4 \quad i_z=2,3$$

$$I_w=43401,0 \quad I_t=31,4 \quad i_s=10,6.$$

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ dla $g=9,4$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc 2 (0,743;5,243)

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,089 \quad \kappa_b = 0,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,500 \quad \text{dla } l_0 = 4,500$$

$$l_w = 0,500 \times 4,500 = 2,250 \text{ m}$$

Przęsło Zc 2 (0,300;5,243)

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,239 \quad \kappa_b = 0,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,527 \quad \text{dla } l_0 = 4,943$$

$$l_w = 0,527 \times 4,943 = 2,605 \text{ m}$$

Przęsło ω 3 (0,743;5,243)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 4,500$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 4,500$ m.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 5740,0}{2,250^2} \times 10^{-2} = 23499,89 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 288,0}{2,605^2} \times 10^{-2} = 879,65 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{10,6^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 43401,0}{4,500^2} \times 10^{-2} + 81 \times 31,4 \times 10^2 \right) = 2648,63 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Przęsło nr: 3 (0,743;5,243)

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_o = 0,00$ cm. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00$ cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,270$, $A_2 = 1,610$, $B = 1,880$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,270 \times 0,00 + 1,610 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_{cr,z} + \sqrt{(A_o N_{cr,z})^2 + B^2 i_s^2 N_{cr,z} N_{cr,T}} =$$

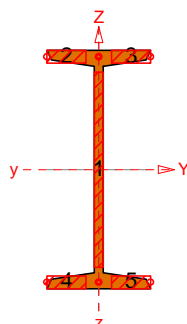
$$0,000 \times 879,65 + \sqrt{(0,000 \times 879,65)^2 + 1,880^2 \times 0,106^2 \times 879,65 \times 2648,6} = 304,89 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 5,243$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 3. Obciążenia: CW+St+ γ_f 2+Ws

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \gamma_{M1} = 1; \gamma_{M2} = 1,25.$$



Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = \sqrt{235 / 235} = 1,000$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_σ	$(c/t)_1$	$(c/t)_2$	$(c/t)_3$	c/t	Klasa
1	213,1	9,4	1,000	0,979	-	33,000	38,000	42,287	22,675	1
2	42,4	14,0	1,000	0,000	0	9,000	10,000	INF	3,023	1
3	42,4	14,0	1,000	0,260	0,52	9,000	10,000	15,145	3,023	1
4	42,4	14,0	1,000	0,000	0	9,000	10,000	INF	3,023	1
5	42,4	14,0	1,000	0,260	0,52	9,000	10,000	15,145	3,023	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

Nośność na ściskanie:

$x_a = 5,243$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 3. Obciążenia: CW+St+Sn1+Wb

Siła osiowa: $N_{Ed} = -108,69 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju: $A = 53,40 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni przekroju efektywnego: $A_{eff} = 53,40 \text{ cm}^2$

Przesunięcie środka ciężkości: $e_{Ny} = 0,00$; $e_{Nz} = 0,00 \text{ cm}$.

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{53,40 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1254,9 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{108,69}{1254,9} = \mathbf{0,087 < 1} \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "a")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "b")	Wyboczenie skrętne (krzywa "b")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{53,4 \times 235}{23499,89 \times 10}} = 0,231$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{53,4 \times 235}{879,65 \times 10}} = 1,194$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{53,4 \times 235}{2648,63 \times 10}} = 0,688$
$\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,231 - 0,2) + 0,231^2] = 0,530$	$\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (1,194 - 0,2) + 1,194^2] = 1,382$	$\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,688 - 0,2) + 0,688^2] = 0,820$

$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,530 + \sqrt{0,530^2 - 0,231^2}} = 0,993$	$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,382 + \sqrt{1,382^2 - 1,194^2}} = 0,481$	$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,820 + \sqrt{0,820^2 - 0,688^2}} = 0,790$
przyjęto $\chi = 0,993 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,481 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,790 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,481$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,481 \times 53,40 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 603,83 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{108,69}{603,83} = \mathbf{0,180 < 1} \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 0,300$; $x_b = 4,943$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+Sn1+Ws

Napężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = \frac{J_t}{t_{\max}} = \frac{31,43}{1,37} = 22,94 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{22,94 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 3,11 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,20}{3,11} = \mathbf{0,064 < 1} \quad (6.23)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$; $x_b = 5,243$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+Sn1+Wb

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{25,66 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 348,08 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{2,6}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 348,08 = 345,39 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{67,62}{345,39} = \mathbf{0,196 < 1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{31,70 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 430,1 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{2,6}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 430,1 = 426,77 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{10,10}{426,77} = \mathbf{0,024 < 1}$$

Dla materiału o granicy plastyczności 235 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

Zgodnie z p. 5.1(2) PN-EN 1993-1-5 nie jest konieczne sprawdzanie stateczności przy ścinaniu:

$h_w / t_w = 213,1 / 9,4 = \mathbf{22,675 < 59,734} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \text{ } \epsilon / \eta$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 5,243$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 3. Obciążenia: CW+St+ γ_2 +Wb

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{524,75 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 123,32 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{95,18 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 22,37 \text{ kNm}$$

Przyjęto krzywą zwichrzenia „c”.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{524,75 \times 235}{304,89 \times 10^3}} = 0,636$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,64 - 0,4) + 0,75 \times 0,64^2] = 0,709$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,709 + \sqrt{0,709^2 - 0,75 \times 0,636^2}} = 0,865;$$

$$\text{przyjęto } \chi_{LT} = \mathbf{0,865} \leq 1,000 = \min\{1; 1/\bar{\lambda}_{LT}^2\}$$

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,865 \times 524,75 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 106,61 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{43,66}{106,61} = \mathbf{0,410} < 1 \quad (6.54)$$

Nośność przekroju zginanego z siłą podłużną:

$x_a = 5,243$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 3. Obciążenia: CW+St+Sn1+Ws

Zredukowana nośność na zginanie:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{53,40 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1254,9 \text{ kN} \quad (6.6)$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 102,34 / 1254,9 = 0,082;$$

Dla dwuteownika bisymetrycznego:

$$a = (A - 2 b t_f) / A = (53,40 - 2 \times 11,30 \times 1,01) / 53,40 = 0,573; \quad \text{przyjęto } a = 0,500 \leq 0,5;$$

– zginanie y-y

$$N_{Ed} = \mathbf{102,34} < \mathbf{313,73} = 0,25 \times 1254,9 = 0,25 N_{pl,Rd} \quad (6.33)$$

$$N_{Ed} = \mathbf{102,34} < \mathbf{264,86} = \frac{0,5 \times 23,98 \times 0,94 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.34)$$

Nie ma potrzeby redukowania nośności na zginanie ze względu na siłę osiową.

– zginanie z-z

$$N_{Ed} = \mathbf{102,34} < \mathbf{529,72} = \frac{23,98 \times 0,94 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.35)$$

Nie ma potrzeby redukowania nośności na zginanie ze względu na siłę osiową.

Warunek nośności:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \frac{12,15^2}{123,32} + \frac{12,78^1}{22,37} = \mathbf{0,581} < 1 \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{102,34}{1254,9} + \frac{12,15}{123,32} + \frac{12,78}{22,37} = \mathbf{0,751} < 1 \quad (6.2)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Przęsło nr: 2, 2, 3. Obciążenia: CW+St+Sn1+Ws

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times -0,980 = 0,208; \quad \text{przyjęto } C_{my} = 0,400$$

$$C_{mz} = 0,1 (1 - \psi) - 0,8 \alpha_s = 0,1 \times (1 - -0,155) - 0,8 \times -0,157 = 0,241; \quad \text{przyjęto } C_{mz} = 0,400$$

$$C_{mLT} = ; \quad \text{przyjęto } C_{mLT} = 0,900$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,400 \times \left(1 + (0,231 - 0,2) \times \frac{102,34}{0,993 \times 1254,90/1} \right) = 0,401$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,401} \leq 0,426 = 0,400 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{102,34}{0,993 \times 1254,90/1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,400 \times \left(1 + (2 \times 1,194 - 0,6) \times \frac{102,34}{0,481 \times 1254,90/1} \right) = 0,521$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,495} \leq 0,495 = 0,400 \times \left(1 + 1,4 \times \frac{102,34}{0,481 \times 1254,90/1} \right) = C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zy} = 0,6 \times 0,495 = 0,297$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{N_{Ed}} = 1 - \frac{0,1 \times 1,194}{(0,900 - 0,25) \times 0,481 \times 1254,90/1} \times \frac{102,34}{102,34} = 0,969$$

$$\text{przyjęto } k_{zy} = \mathbf{0,974} \geq 0,974 = 1 - \frac{0,1}{(0,900 - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \times \frac{N_{Ed}}{N_{Ed}} = 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{102,34}{0,993 \times 1254,9/1} + 0,401 \times \frac{12,15+0}{0,865 \times 123,32/1} +$$

$$0,297 \times \frac{12,78+0}{22,37/1} = \mathbf{0,297} < 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{102,34}{0,481 \times 1254,9/1} + 0,974 \times \frac{12,15+0}{0,865 \times 123,32/1} +$$

$$0,495 \times \frac{12,78+0}{22,37/1} = \mathbf{0,563} < 1 \quad (6.62)$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 5,243$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Ws

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = \mathbf{100,0}$ mm oraz typ obciążenia środka (**a**). Dodatkowo przyjęto rozstaw żebier poprzecznych $a = \mathbf{5,243}$ m. Nośność najbardziej obciążonego środka:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (213,1 / 5243,0)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 113,0 / (235 \times 9,4) = 12,021$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2 t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 14,0 \times (1 + \sqrt{12,021 + 0,000}) = 225,3 \quad \text{przyjęto } l_y = 225,3 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 9,4^3 / 213,1 = 4421,37 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{225,3 \times 9,4 \times 235 \times 10^3}{4421,37}} = 0,336$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,336} = 1,490 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 225,3 = 225,3 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 225,3 \times 9,4 \times 10^3}{1} = 497,73 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środka:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{3,47}{497,73} = \mathbf{0,007 < 1} \quad (6.14 \text{ EN } 1993-1-5)$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{96,05}{53,4 \times 235 / 1} \times 10 + \frac{6,1 + 96,05 \times 0,000}{441,54 \times 235 / 1} \times 10^3 + \frac{12,84 + 96,05 \times 0,000}{50,97 \times 235 / 1} \times 10^3 = \mathbf{1,207} \quad (4.15 \text{ EN } 1993-1-5)$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,007 + 0,8 \times 1,207 = \mathbf{0,973 < 1,4} \quad (7.2 \text{ EN } 1993-1-5)$$

Stan graniczny użytkowania:

Przęsło nr: 2, 2, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Ws

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 0,3 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 4500 / 250 = 18,0 \text{ mm}$$

$$a_{max} = \mathbf{0,3 < 18,0} = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 4,4 \text{ mm}$$

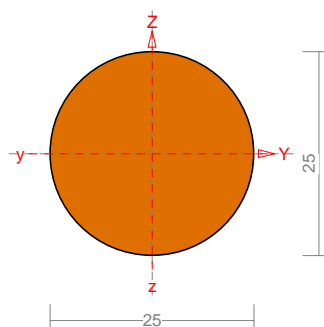
$$a_{gr} = l / 250 = 4943 / 250 = 19,8 \text{ mm}$$

$$a_{max} = \mathbf{4,4 < 19,8} = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 4,427 \text{ mm}; \quad L / a = 4500,0 / 4,427 = 1016,5$$

Poz.A.2.2.4 Ściąg Ø25



Wymiary przekroju:

$$D=25,0 \quad d=0,0 \quad g=12,5.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$I_{yg}=1,9 \quad I_{zg}=1,9 \quad A=4,91 \quad i_y=0,6 \quad i_z=0,6 \quad I_w=0,0 \quad I_t=1,9$$

$$i_s=0,9.$$

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ dla $g=12,5$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc

Przyjęto:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 12,000$$

$$l_w = 1,000 \times 12,000 = 12,000 \text{ m}$$

Przęsło Zc

Przyjęto:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 12,000$$

$$l_w = 1,000 \times 12,000 = 12,000 \text{ m}$$

Przęsło ω 3 (8,000;12,000)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 4,000$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 4,000$ m.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 1,9}{12,000^2} \times 10^{-2} = \mathbf{0,28 \text{ kN}}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 1,5}{12,000^2} \times 10^{-2} = 0,28 \text{ kN}$$

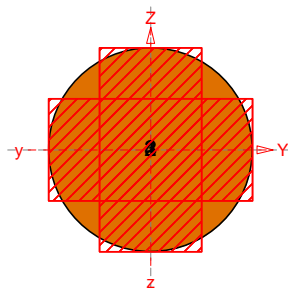
$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_{\varpi}}{l_{\varpi}^2} + GI_T \right) = \frac{1}{0,884^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 0,6}{4,000^2} \times 10^{-2} + 81 \times 1,90 \times 10^2 \right) = 19704,35 \text{ kN}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 12,000$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 3. Obciążenia: CW+St+γ2+Ws

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \gamma_{M1} = 1; \gamma_{M2} = 1,25.$$



Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = \sqrt{235 / 235} = 1,000$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_{σ}	$(c/t)_1$	$(c/t)_2$	$(c/t)_3$	c/t	Klasa
1	25,0	12,5	-	-	-	50,000	70,000	90,000	2,000	1
2	25,0	12,5	-	-	-	50,000	70,000	90,000	2,000	1
3	25,0	12,5	-	-	-	50,000	70,000	90,000	2,000	1
4	25,0	12,5	-	-	-	50,000	70,000	90,000	2,000	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 12,000$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 3. Obciążenia: CW+St+Sn1

Siała osiowa:

$$N_{Ed} = 59,91 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 4,91 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni otworów:

$$A_o = 0,00 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni netto:

$$A_{net} = 4,91 \text{ cm}^2$$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,91 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 115,36 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 4,91 \times 360}{1,25} \times 10^{-1} = 127,23 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Pręt posiada zdolność do odkształceń plastycznych ($N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$).

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 115,36 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{59,91}{115,36} = 0,519 < 1 \quad (6.5)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 8,000$; $x_b = 4,000$; Przęsło nr: 1, 1, 2. Obciążenia: $CW + St \cdot \gamma_f 2 + S_n 2 + W_b$
 - wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{6,25 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 84,8 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,01}{84,80} = \mathbf{0,000 < 1}$$

Dla materiału o granicy plastyczności 235 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

Zgodnie z p. 5.1(2) PN-EN 1993-1-5 nie jest konieczne sprawdzanie stateczności przy ścinaniu:

$h_w / t_w = 25,0 / 12,5 = \mathbf{2,000 < 59,697} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \varepsilon / \eta$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 12,000$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 3. Obciążenia: $CW + St \cdot \gamma_f 2 + W_s$

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,60 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 0,61 \text{ kNm}$$

Nośność przekroju zginanego z siłą podłużną:

$x_a = 5,750$; $x_b = 6,250$; Przęsło nr: 1, 1, 2. Obciążenia: $CW + St + S_n 1 + W_b$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 56,15 / 115,36 = 0,487;$$

Dla rury okrągłej:

$$M_{N,Y,Rd} = M_{N,Z,Rd} = M_{pl,Rd} (1 - n^{1,7}) = 0,61 \times (1 - 0,487^{1,7}) = 0,43 \text{ kNm} \quad (\text{Zmiana 24})$$

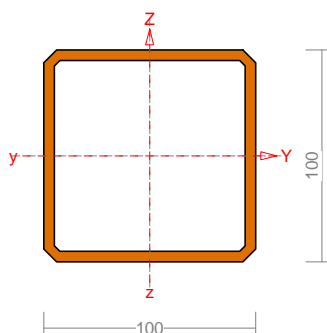
Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{0,01}{0,431} = \mathbf{0,023 < 1} \quad (6.31)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right)^2 \right]^{1/2} = \frac{56,15}{115,36} + \left[\left(\frac{0,01}{0,61} \right)^2 + \left(\frac{0}{0,61} \right)^2 \right]^{1/2} = \mathbf{0,503 < 1} \quad (6.2)$$

Poz.A.2.2.5 Rygle niskiej części RKA 100x100x5



Wymiary przekroju:

$h=100,0$ $s=100,0$ $g=5,0$ $t=5,0$ $r=5,0$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$I_y=261,5$ $I_z=261,5$ $A=17,94$ $i_y=3,8$ $i_z=3,8$ $I_w=5,7$

$I_t=447,5$ $i_s=5,4$.

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ dla $g=5,0$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc 1 (0,000;2,405)

Przyjęto:

$\kappa_a = 0,500$

$\kappa_b = 0,274$

węzły przesuwne \Rightarrow

$\mu = 1,318$

dla $l_0 = 2,405$

$l_w = 1,318 \times 2,405 = 3,170 \text{ m}$

Przęsło Zc 3 (1,534;2,405)

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,458 \quad \kappa_b = 0,100 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,590 \quad \text{dla } l_0 = 0,871$$

$$l_w = 0,590 \times 0,871 = 0,514 \text{ m}$$

Przęsło ω 3 (1,534;2,405)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 0,871 \text{ m}$. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 0,871 \text{ m}$.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 261,5}{3,170^2} \times 10^{-2} = 539,33 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 261,5}{0,514^2} \times 10^{-2} = 20519,67 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{5,40^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 5,66}{0,871^2} \times 10^{-2} + 81 \times 447,5 \times 10^2 \right) = 124352,24 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Przęsło nr: 5 (2,734;2,855)

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_0 = 0,00 \text{ cm}$. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00 \text{ cm}$. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,680$, $A_2 = 0,290$, $B = 0,970$.

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,680 \times 0,00 + 0,290 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_0 N_{cr,z} + \sqrt{(A_0 N_{cr,z})^2 + B^2 i_s^2 N_{cr,z} N_{cr,T}} =$$

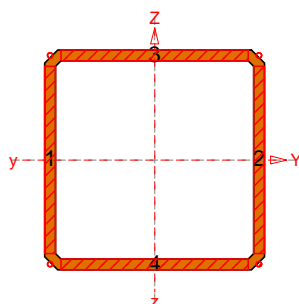
$$0,000 \times 36766,49 + \sqrt{(0,000 \times 36766,49)^2 + 0,970^2 \times 0,054^2 \times 36766,49 \times 124621,3} = 3545,14 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 2,855$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 5, 5. Obciążenia: CW+St+γ_i2+Ws

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \gamma_{M1} = 1; \gamma_{M2} = 1,25.$$



Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,000$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_σ	$(c/t)_1$	$(c/t)_2$	$(c/t)_3$	c/t	Klasa
1	85,0	5,0	0,000	0,000	-	INF	INF	INF	17,000	
2	85,0	5,0	0,000	0,000	-	INF	INF	INF	17,000	
3	85,0	5,0	0,000	0,000	-	INF	INF	INF	17,000	
4	85,0	5,0	0,000	0,000	-	INF	INF	INF	17,000	

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 2,405$; $x_b = 0,450$; Przęsło nr: 1, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

Siła osiowa:

$$N_{Ed} = -18,88 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 17,94 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni otworów: $A_o = 0,00 \text{ cm}^2$
 Pole powierzchni netto: $A_{\text{net}} = 17,94 \text{ cm}^2$
 Nośność przekroju na rozciąganie:
 - nośność plastyczna

$$N_{\text{pl,Rd}} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,94 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 421,59 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{\text{u,Rd}} = \frac{0,9 A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 17,94 \times 360}{1,25} \times 10^{-1} = 465 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Pręt posiada zdolność do odkształceń plastycznych ($N_{\text{pl,Rd}} < N_{\text{u,Rd}}$).

Nośność na rozciąganie:

$$N_{\text{t,Rd}} = N_{\text{pl,Rd}} = 421,59 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{t,Rd}}} = \frac{18,88}{421,59} = \mathbf{0,045 < 1} \quad (6.5)$$

Nośność na ściskanie:

$x_a = 2,405$; $x_b = 0,450$; Przęsło nr: 1, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

Siła osiowa: $N_{\text{Ed}} = -18,88 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju: $A = 17,94 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni przekroju efektywnego: $A_{\text{eff}} = 17,94 \text{ cm}^2$

Przesunięcie środka ciężkości: $e_{N_y} = 0,00$; $e_{N_z} = 0,00 \text{ cm}$.

$$N_{\text{c,Rd}} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,94 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 421,59 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{c,Rd}}} = \frac{18,88}{421,59} = \mathbf{0,045 < 1} \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "c")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "c")	Wyboczenie skrętne (krzywa "c")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{\text{cr,y}}}} = \sqrt{\frac{17,94 \times 235}{539,33 \times 10}} = \mathbf{0,884}$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,884 - 0,2) + 0,884^2] = 1,058$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,058 + \sqrt{1,058^2 - 0,884^2}} = \mathbf{0,610}$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{\text{cr,z}}}} = \sqrt{\frac{17,94 \times 235}{20519,67 \times 10}} = \mathbf{0,143}$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,143 - 0,2) + 0,143^2] = 0,496$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,496 + \sqrt{0,496^2 - 0,143^2}} = \mathbf{1,029}$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{\text{cr,T}}}} = \sqrt{\frac{17,94 \times 235}{124352,24 \times 10}} = \mathbf{0,0582}$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,0582 - 0,2) + 0,0582^2] = 0,467$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,467 + \sqrt{0,467^2 - 0,0582^2}} = \mathbf{1,075}$
przyjęto $\chi = 0,610 \leq 1$	przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$	przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,610$

$$N_{\text{b,Rd}} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,610 \times 17,94 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 257,01 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{b,Rd}}} = \frac{18,88}{257,01} = \mathbf{0,073 < 1} \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 2,405$; $x_b = 0,450$; Przęsło nr: 1, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = J_t \left(\frac{t}{F_s} \right)_{\min} = 447,54 \times \frac{0,50}{2,48} = 90,11 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{90,11 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 12,23 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,87}{12,23} = \mathbf{0,071 < 1} \quad (6.23)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 2,405$; $x_b = 0,450$; Przęsło nr: 1, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Ws

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{8,97 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 121,7 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{9,2}{(235 / 1,732) / 1} \times 121,7 = 113,44 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{10,45}{113,44} = \mathbf{0,092 < 1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{8,97 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 121,7 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{9,2}{(235 / 1,732) / 1} \times 121,7 = 113,44 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{6,07}{113,44} = \mathbf{0,054 < 1}$$

Dla materiału o granicy plastyczności 235 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

Zgodnie z p. 5.1(2) PN-EN 1993-1-5 nie jest konieczne sprawdzanie stateczności przy ścinaniu:

$h_w / t_w = 85,0 / 5,0 = \mathbf{17,000 < 59,717} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \varepsilon / \eta$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 2,855$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 5, 5. Obciążenia: CW+St+γ2+Ws

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{64,91 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 15,25 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{64,91 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 15,25 \text{ kNm}$$

Przyjęto krzywą zwichrzenia „d”.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{64,91 \times 235}{3545,14 \times 10^3}} = 0,0656$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,07 - 0,2) + 0,07^2] = 0,451$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,451 + \sqrt{0,451^2 - 0,0656^2}} = 1,114;$$

przyjęto $\chi_{LT} = \mathbf{1,000} \leq 1,000$

Nośność przekroju zginanego z siłą podłużną:

$x_a = 2,405$; $x_b = 0,450$; Przęsło nr: 1, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Ws

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 17,30 / 421,59 = 0,041;$$

Dla rury prostokątnej i bisymetrycznego przekroju skrzynkowego:

$$a_w = (A - 2 b t_f) / A = (17,94 - 2 \times 10,00 \times 0,50) / 17,94 = 0,443; \quad \text{przyjęto } a_w = 0,443 \leq 0,5$$

$$a_f = (A - 2 h t_w) / A = (17,94 - 2 \times 10,00 \times 0,50) / 17,94 = 0,443; \quad \text{przyjęto } a_f = 0,443 \leq 0,5$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5 a_w) = 15,25 \times (1 - 0,041) / (1 - 0,5 \times 0,443) = 18,78 \quad (6.39)$$

lecz $M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$, przyjęto $M_{N,y,Rd} = 15,25$ kNm

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5 a_f) = 15,25 \times (1 - 0,041) / (1 - 0,5 \times 0,443) = 18,78; \quad (6.40)$$

lecz $M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$, przyjęto $M_{N,z,Rd} = 15,25$ kNm

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\left\{ \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \right\}^{1/\gamma} = \frac{8,29}{15,25}^{1,66} + \frac{3,92}{15,25}^{1,66 \cdot 1/1,66} = 0,467^{1/1,66} = \mathbf{0,633 < 1} \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{17,3}{421,59} + \frac{8,29}{15,25} + \frac{3,92}{15,25} = \mathbf{0,842 < 1} \quad (6.2)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Przęsło nr: 1, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Ws

Współczynniki interakcji według metody 2:

$C_{my} = 0,9$ - przechyłowa postaci wyboczenia.

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times -0,348 = 0,461; \quad \text{przyjęto } C_{mz} = 0,461$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,900 \times \left(1 + (0,884 - 0,2) \times \frac{17,30}{0,610 \times 421,59 / 1} \right) = 0,941$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,941} \leq 0,948 = 0,900 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{17,30}{0,610 \times 421,59 / 1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,461 \times \left(1 + (0,143 - 0,2) \times \frac{17,30}{1,000 \times 421,59 / 1} \right) = 0,460$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,460} \leq 0,476 = 0,461 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{17,30}{1,000 \times 421,59 / 1} \right) = C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,460 = 0,276$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,941 = 0,565$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{17,3}{0,610 \times 421,59 / 1} + 0,941 \times \frac{8,29 + 0}{1,000 \times 15,25 / 1} + 0,276 \times \frac{3,92 + 0}{15,25 / 1} = \mathbf{0,650 < 1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{17,3}{1,000 \times 421,59 / 1} + 0,565 \times \frac{8,29 + 0}{1,000 \times 15,25 / 1} + 0,460 \times \frac{3,92 + 0}{15,25 / 1} = \mathbf{0,466 < 1} \quad (6.62)$$

Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 2,405$; $x_b = 0,450$; Przęsło nr: 1, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Ws

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = \mathbf{100,0}$ mm oraz typ obciążenia środnika (**a**). Dodatkowo

przyjęto rozstaw żebier poprzecznych $a = \mathbf{2,855}$ m. Nośność najbardziej obciążonego środnika:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (85,0 / 2855,2)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 47,5 / (235 \times 5,0) = 9,500$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right) = 100,0 + 2 \times 5,0 \times (1 + \sqrt{9,500 + 0,000}) = 140,8 \quad \text{przyjęto } l_y = 140,8 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 5,0^3 / 85,0 = 1668,14 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{140,8 \times 5,0 \times 235 \times 10^3}{1668,14}} = 0,315$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,315} = 1,588 \text{ przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 140,8 = 140,8 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 140,8 \times 5,0 \times 10^3}{1} = 165,47 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środka:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{5,90}{165,47} = 0,036 < 1 \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\frac{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \sigma_{z,Ed} + 3\tau_{Ed}^2}{(f_y / \gamma_{M0})^2} = \frac{196,3^2 + 0,7^2 - 196,3 \times 0,7 + 3 \times 13,5^2}{(235/1)^2} = 0,710 < 1 \quad (6.1)$$

Stan graniczny użytkowania:

Przęsło nr: 1, 2, 2. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 2,0 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 2405 / 250 = 9,6 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 2,0 < 9,6 = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

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

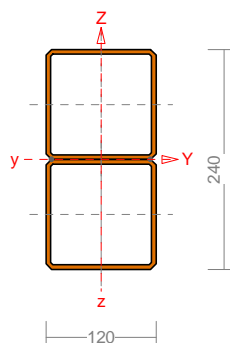
$$a_{gr} = l / 250 = 871 / 250 = 3,5 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 0,0 < 3,5 = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 2,000 \text{ mm}; \quad L / a = 871,1 / 2,000 = 435,4$$

Poz.A.2.2.6 Okap niskiej części 2xRKA 120x120x5



Wymiary przekroju:

$$h=120,0 \quad s=120,0 \quad g=5,0 \quad t=5,0 \quad r=5,0.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$I_{yg}=2522,7 \quad I_{zg}=943,0 \quad A=43,88 \quad i_y=7,6 \quad i_z=4,6 \quad I_w=6673,5$$

$$I_t=2164,7 \quad i_s=8,9.$$

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ dla $g=5,0$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc 2 (2,000;4,000)

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,474 \quad \kappa_b = 0,438 \quad \text{węzły przesuwne} \Rightarrow \mu = 1,392 \quad \text{dla } l_0 = 2,000$$

$$l_w = 1,392 \times 2,000 = 2,784 \text{ m}$$

Przęsło Zc 2 (2,000;4,000)

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,248 \quad \kappa_b = 0,238 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,569 \quad \text{dla } l_0 = 2,000$$

$$l_w = 0,569 \times 2,000 = 1,138 \text{ m}$$

Przęsło ω 2 (2,000;4,000)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 2,000 \text{ m}$. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 2,000 \text{ m}$.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 2522,7}{2,784^2} \times 10^{-2} = 6745,94 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 943,6}{1,138^2} \times 10^{-2} = 15091,98 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{8,89^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 6673,4}{2,000^2} \times 10^{-2} + 81 \times 2164,7 \times 10^2 \right) = 222445 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Przęsło nr: 3 (4,000;5,700)

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_0 = 0,00 \text{ cm}$. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00 \text{ cm}$. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 0,000$, $B = 0,000$.

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_0 N_{cr,z} + \sqrt{(A_0 N_{cr,z})^2 + B^2 i_s^2 N_{cr,z} N_{cr,T}} =$$

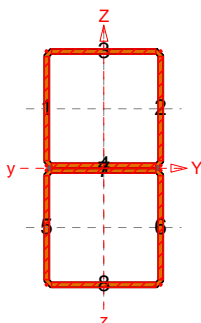
$$0,000 \times 20454,89 + \sqrt{(0,000 \times 20454,89)^2 + 0,000^2 \times 0,089^2 \times 20454,89 \times 222613,1} = 0 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 5,700$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: CW+St+γ₂+Ws

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \quad \gamma_{M1} = 1; \quad \gamma_{M2} = 1,25.$$



Klasa przekroju:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,000$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_σ	$(c/t)_1$	$(c/t)_2$	$(c/t)_3$	c/t	Klasa
1	105,0	5,0	1,000	-71,632	-	33,000	38,000	38112,98 1	21,000	1
2	105,0	5,0	1,000	0,000	-	33,000	38,000	INF	21,000	1
3	105,0	5,0	0,505	0,000	-	71,199	81,986	INF	21,000	1

4	105,0	5,0	0,505	-0,417	-	71,199	81,986	78,880	21,000	1
5	105,0	5,0	1,000	0,135	-	33,000	38,000	58,767	21,000	1
6	105,0	5,0	1,000	0,063	-	33,000	38,000	60,796	21,000	1
7	105,0	5,0	1,000	0,225	-	33,000	38,000	56,434	21,000	1
8	105,0	5,0	1,000	0,932	-	33,000	38,000	42,962	21,000	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 2,000$; $x_b = 3,700$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+ γ_2 +Sn2+Wb

Siła osiowa: $N_{Ed} = 13,26 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju: $A = 43,88 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni otworów: $A_o = 0,00 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni netto: $A_{net} = 43,88 \text{ cm}^2$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{43,88 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1031,18 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 43,88 \times 360}{1,25} \times 10^{-1} = 1137,37 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Pręt posiada zdolność do odkształceń plastycznych ($N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$).

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 1031,18 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{13,26}{1031,18} = 0,013 < 1 \quad (6.5)$$

Nośność na ściskanie:

$x_a = 4,000$; $x_b = 1,700$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+Sn1+Ws

Siła osiowa: $N_{Ed} = -8,79 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju: $A = 43,88 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni przekroju efektywnego: $A_{eff} = 43,88 \text{ cm}^2$

Przesunięcie środka ciężkości: $e_{Ny} = 0,00$; $e_{Nz} = 0,00 \text{ cm}$.

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{43,88 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1031,18 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{8,79}{1031,18} = 0,009 < 1 \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "d")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "d")	Wyboczenie skrętne (krzywa "d")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{43,88 \times 235}{6745,94 \times 10}} = 0,391$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,391 - 0,2) + 0,391^2] = 0,649$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,649 + \sqrt{0,649^2 - 0,391^2}} = 0,857$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{43,88 \times 235}{15091,98 \times 10}} = 0,261$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,261 - 0,2) + 0,261^2] = 0,557$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,557 + \sqrt{0,557^2 - 0,261^2}} = 0,952$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{43,88 \times 235}{222445 \times 10}} = 0,0681$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,0681 - 0,2) + 0,0681^2] = 0,452$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,452 + \sqrt{0,452^2 - 0,0681^2}} = 1,112$
przyjęto $\chi = 0,857 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,952 \leq 1$	przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,857$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,857 \times 43,88 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 883,6 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{8,79}{883,6} = \mathbf{0,010 < 1} \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 5,700$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = J_t \left(\frac{t}{F_s} \right)_{\min} = 2164,73 \times \frac{0,50}{4,01} = 269,93 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{269,93 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 36,62 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{3,81}{36,62} = \mathbf{0,104 < 1} \quad (6.23)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 5,700$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{21,94 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 297,68 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{25,30}{297,68} = \mathbf{0,085 < 1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{21,94 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 297,68 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{8,55}{297,68} = \mathbf{0,029 < 1}$$

Dla materiału o granicy plastyczności 235 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

Zgodnie z p. 5.1(2) PN-EN 1993-1-5 nie jest konieczne sprawdzanie stateczności przy ścinaniu:

$h_w / t_w = 105,0 / 5,0 = \mathbf{21,000 < 59,704} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \epsilon / \eta$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 5,700$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{268,97 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 63,21 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{191,64 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 45,04 \text{ kNm}$$

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 268,97 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 63,21 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{38,65}{63,21} = \mathbf{0,611 < 1} \quad (6.54)$$

Nośność przekroju zginanego z siłą podłużną:

$x_a = 5,700$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 6,74 / 1031,18 = 0,007;$$

Dla dowolnego przekroju przyjęto:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n) = 63,21 \times (1 - 0,007) = 62,79 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n) = 45,04 \times (1 - 0,007) = 44,74 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \frac{38,65^1}{62,79} + \frac{6,68^1}{44,74} = \mathbf{0,765 < 1} \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{6,74}{1031,18} + \frac{38,65}{63,21} + \frac{6,68}{45,04} = \mathbf{0,766 < 1} \quad (6.2)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Pręśło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

Współczynniki interakcji według metody 2:

$C_{my} = 0,9$ - przechyłowa postaci wyboczenia.

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times -0,849 = 0,260; \quad \text{przyjęto } C_{mz} = 0,400$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,900 \times \left(1 + (0,296 - 0,2) \times \frac{0,00}{0,926 \times 1031,18/1} \right) = 0,900$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,900} \leq 0,900 = 0,900 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{0,00}{0,926 \times 1031,18/1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,400 \times \left(1 + (2 \times 0,225 - 0,6) \times \frac{0,00}{0,981 \times 1031,18/1} \right) = 0,400$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,400} \leq 0,400 = 0,400 \times \left(1 + 1,4 \times \frac{0,00}{0,981 \times 1031,18/1} \right) = C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,400 = 0,240$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,900 = 0,540$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{0}{0,926 \times 1031,18/1} + 0,900 \times \frac{38,65+0}{1,000 \times 63,21/1} + 0,240 \times \frac{7,86+0}{45,04/1} = \mathbf{0,592 < 1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{0}{0,981 \times 1031,18/1} + 0,540 \times \frac{38,65+0}{1,000 \times 63,21/1} + 0,400 \times \frac{7,86+0}{45,04/1} = \mathbf{0,400 < 1} \quad (6.62)$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 5,700$; $x_b = 0,000$; Pręśło nr: 3, 3, 3. Obciążenia: CW+St+Sn2+Wb

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = 100,0$ mm oraz typ obciążenia środka (**a**). Dodatkowo przyjęto rozstaw żebier poprzecznych $a = 5,700$ m. Nośność najbardziej obciążonego środka:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (105,0 / 5700,0)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 57,5 / (235 \times 5,0) = 11,500$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2 t_f \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) = 100,0 + 2 \times 5,0 \times (1 + \sqrt{11,500 + 0,000}) = 143,9 \quad \text{przyjęto } l_y = 143,9 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 5,0^3 / 105,0 = 1350,15 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{143,9 \times 5,0 \times 235 \times 10^3}{1350,15}} = 0,354$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,354} = 1,413 \text{ przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 143,9 = 143,9 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 143,9 \times 5,0 \times 10^3}{1} = 169,10 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środknika:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{12,65}{169,10} = 0,075 < 1 \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\frac{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \sigma_{z,Ed} + 3 \tau_{Ed}^2}{(f_y / \gamma_{M0})^2} = \frac{214,6^2 + 1,2^2 - 214,6 \times 1,2 + 3 \times 12,2^2}{(235/1)^2} = 0,847 < 1 \quad (6.1)$$

Stan graniczny użytkowania:

Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+Sn1

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 2,5 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 5700 / 250 = 22,8 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 2,5 < 22,8 = a_{gr}$$

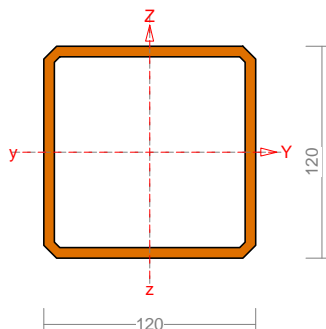
Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 0,3 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 2000 / 250 = 8,0 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 0,3 < 8,0 = a_{gr}$$

Poz.A.2.2.7 Słupy niskiej części RKA 120x120x5



Wymiary przekroju:

$$h=120,0 \quad s=120,0 \quad g=6,0 \quad t=6,0 \quad r=6,0.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$I_{yg}=544,6 \quad I_{zg}=544,6 \quad A=25,90 \quad i_y=4,6 \quad i_z=4,6 \quad I_w=16,9$$

$$I_t=928,0 \quad i_s=6,5.$$

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ dla $g=6,0$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc 2 (0,743;5,243)

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,065 \quad \kappa_b = 0,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,500 \quad \text{dla } l_o = 4,500$$

$$l_w = 0,500 \times 4,500 = 2,250 \text{ m}$$

Przęsło Zc 2 (0,743;5,243)

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,063 \quad \kappa_b = 0,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,500 \quad \text{dla } l_o = 4,500$$

$$l_w = 0,500 \times 4,500 = 2,250 \text{ m}$$

Przęsło ω 2 (0,743;5,243)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 4,500$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 4,500$ m.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 544, \epsilon}{2,250^2} \times 10^{-2} = 2229,62 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 544, \epsilon}{2,250^2} \times 10^{-2} = 2229,62 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_{\varpi}}{l_{\varpi}^2} + GI_T \right) = \frac{1}{6,48^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 16, \epsilon}{4,500^2} \times 10^{-2} + 81 \times 928,0 \times 10^3 \right) = 178744,4 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Przęsło nr: 2 (0,743;5,243)

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia $a_o = 0,00 \text{ cm}$. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły $a_s = 0,00 \text{ cm}$. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia: $A_1 = 0,270$, $A_2 = 1,610$, $B = 1,880$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,270 \times 0,00 + 1,610 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_{cr,z} + \sqrt{(A_o N_{cr,z})^2 + B^2 i_s^2 N_{cr,z} N_{cr,T}} =$$

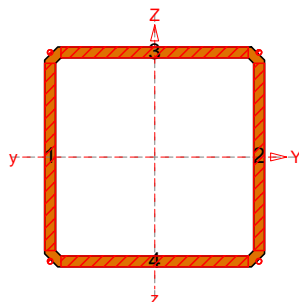
$$0,000 \times 2229,62 + \sqrt{(0,000 \times 2229,62)^2 + 1,880^2 \times 0,065^2 \times 2229,62 \times 178744,4} = 2433,85 \text{ kNm}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 5,243$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+ γ_f 2+Ws

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

$$\gamma_{M0} = 1; \gamma_{M1} = 1; \gamma_{M2} = 1,25.$$



Klasa przekroju:

$$\epsilon = \sqrt{235 / f_y} = \sqrt{235 / 235} = 1,000$$

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_{σ}	(c/t) ₁	(c/t) ₂	(c/t) ₃	c/t	Klasa
1	102,0	6,0	0,505	0,000	-	71,175	81,959	INF	17,000	1
2	102,0	6,0	1,000	0,997	-	33,000	38,000	42,039	17,000	1
3	102,0	6,0	0,505	-1,000	-	71,175	81,959	123,505	17,000	1
4	102,0	6,0	1,000	-0,993	-	33,000	38,000	122,660	17,000	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 5,243$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+Sn1

Siała osiowa:

$$N_{Ed} = -16,6 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 25,90 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni otworów:

$$A_o = 0,00 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni netto:

$$A_{net} = 25,90 \text{ cm}^2$$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{25,90 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 608,65 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 25,90 \times 360}{1,25} \times 10^{-1} = 671,33 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Pręt posiada zdolność do odkształceń plastycznych ($N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$).

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 608,65 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{16,6}{608,65} = \mathbf{0,027 < 1} \quad (6.5)$$

Nośność na ściskanie:

$x_a = 5,243$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+Sn1

Siła osiowa:

$$N_{Ed} = -16,6 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 25,90 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni przekroju efektywnego:

$$A_{eff} = 25,90 \text{ cm}^2$$

Przesunięcie środka ciężkości:

$$e_{Ny} = 0,00; \quad e_{Nz} = 0,00 \text{ cm.}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{25,90 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 608,65 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{16,6}{608,65} = \mathbf{0,027 < 1} \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "c")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "c")	Wyboczenie skrętne (krzywa "c")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{25,9 \times 235}{2229,62 \times 10}} = 0,522$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,522 - 0,2) + 0,522^2] = 0,715$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,715 + \sqrt{0,715^2 - 0,522^2}} = 0,830$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{25,9 \times 235}{2229,62 \times 10}} = 0,522$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,522 - 0,2) + 0,522^2] = 0,715$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,715 + \sqrt{0,715^2 - 0,522^2}} = 0,830$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{25,9 \times 235}{178744,4 \times 10}} = 0,0584$ $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,0584 - 0,2) + 0,0584^2] = 0,467$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,467 + \sqrt{0,467^2 - 0,0584^2}} = 1,075$
przyjęto $\chi = 0,830 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,830 \leq 1$	przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika $\chi = 0,830$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,830 \times 25,90 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 505,39 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{16,6}{505,39} = \mathbf{0,033 < 1} \quad (6.46)$$

Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 0,743$; $x_b = 4,500$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+γ2+Wb

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = J_t \left(\frac{t}{F_s} \right)_{\min} = 928,01 \times \frac{0,60}{3,58} = 155,72 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{155,72 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 21,13 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{1,81}{21,13} = \mathbf{0,086 < 1} \quad (6.23)$$

Nośność przekroju na ścinanie:
 $x_a = 0,743$; $x_b = 4,500$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St $\cdot\gamma_2$ +Wb
- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{12,95 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 175,7 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{11,6}{(235 / 1,732) / 1} \times 175,7 = 160,65 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{11,40}{160,65} = 0,071 < 1$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{12,95 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 175,7 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{11,6}{(235 / 1,732) / 1} \times 175,7 = 160,65 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{1,55}{160,65} = 0,010 < 1$$

Dla materiału o granicy plastyczności 235 MPa, przyjęto $\eta = 1,2$.

Zgodnie z p. 5.1(2) PN-EN 1993-1-5 nie jest konieczne sprawdzanie stateczności przy ścinaniu:

 $h_w / t_w = 102,0 / 6,0 = 17,000 < 59,705 = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \text{ } \epsilon / \eta$
Nośność przekroju na zginanie:
 $x_a = 5,243$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St $\cdot\gamma_2$ +Ws

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{112,16 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 26,36 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{112,16 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 26,36 \text{ kNm}$$

Przyjęto krzywą zwichrzenia „d”.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{112,16 \times 235}{2433,85 \times 10^3}} = 0,104$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,10 - 0,2) + 0,10^2] = 0,469$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,469 + \sqrt{0,469^2 - 0,104^2}} = 1,080;$$

przyjęto $\chi_{LT} = 1,000 \leq 1,000$
Nośność przekroju zginanego z siłą podłużną:
 $x_a = 5,243$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+Sn1+Ws

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 12,35 / 608,65 = 0,020;$$

Dla rury prostokątnej i bisymetrycznego przekroju skrzynkowego:

$$a_w = (A - 2 b t_f) / A = (25,90 - 2 \times 12,00 \times 0,60) / 25,90 = 0,444; \quad \text{przyjęto } a_w = 0,444 \leq 0,5$$

$$a_f = (A - 2 h t_w) / A = (25,90 - 2 \times 12,00 \times 0,60) / 25,90 = 0,444; \quad \text{przyjęto } a_f = 0,444 \leq 0,5$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5a_w) = 26,36 \times (1 - 0,020) / (1 - 0,5 \times 0,444) = 33,19 \quad (6.39)$$

lecz $M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$, przyjęto $M_{N,y,Rd} = 26,36$ kNm

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5a_f) = 26,36 \times (1 - 0,020) / (1 - 0,5 \times 0,444) = 33,19; \quad (6.40)$$

lecz $M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$, przyjęto $M_{N,z,Rd} = 26,36$ kNm

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\left\{ \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \right\}^{1/\gamma} = \frac{1,19^{1,66}}{26,36} + \frac{19,69^{1,66}}{26,36} = 0,622^{1/1,66} = \mathbf{0,751 < 1} \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{12,35}{608,65} + \frac{1,19}{26,36} + \frac{19,69}{26,36} = \mathbf{0,812 < 1} \quad (6.2)$$

Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:

Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+Sn1+Ws

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times -0,993 = 0,203; \quad \text{przyjęto } C_{my} = 0,400$$

$$C_{mz} = 0,1 (1 - \psi) - 0,8 \alpha_s = 0,1 \times (1 - -0,445) - 0,8 \times -0,035 = 0,172; \quad \text{przyjęto } C_{mz} = 0,400$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,400 \times \left(1 + (0,522 - 0,2) \times \frac{12,35}{0,830 \times 608,65/1} \right) = 0,403$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,403} \leq 0,408 = 0,400 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{12,35}{0,830 \times 608,65/1} \right) = C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,400 \times \left(1 + (0,522 - 0,2) \times \frac{12,35}{0,830 \times 608,65/1} \right) = 0,403$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,403} \leq 0,408 = 0,400 \times \left(1 + 0,8 \times \frac{12,35}{0,830 \times 608,65/1} \right) = C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,403 = 0,242$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,403 = 0,242$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{12,35}{0,830 \times 608,65/1} + 0,403 \times \frac{1,19+0}{1,000 \times 26,36/1} + 0,242 \times \frac{19,69+0}{26,36/1} = \mathbf{0,223 < 1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{12,35}{0,830 \times 608,65/1} + 0,242 \times \frac{1,19+0}{1,000 \times 26,36/1} + 0,403 \times \frac{19,69+0}{26,36/1} = \mathbf{0,337 < 1} \quad (6.62)$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 5,243$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+Sn3+Ws

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = \mathbf{100,0}$ mm oraz typ obciążenia środka (**a**). Dodatkowo przyjęto rozstaw żeber poprzecznych $a = \mathbf{5,243}$ m. Nośność najbardziej obciążonego środka:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (102,0 / 5243,0)^2 = 6,00$$


$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 57,0 / (235 \times 6,0) = 9,500$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2 t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 6,0 \times (1 + \sqrt{9,500 + 0,000}) = 149,0 \quad \text{przyjęto } l_y = 149,0 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 6,0^3 / 102,0 = 2401,71 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{149,0 \times 6,0 \times 235 \times 10^3}{2401,71}} = 0,296$$

 ul. Głowackiego 28 10-448 Olsztyn	PROJEKT WYKONAWCZY- KONSTRUKCJA ZADASZENIE NAD BOKSAMI NR 1 BARTOSZYCE	60 z 97
--	--	---------

$$\chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} = \frac{0,5}{0,296} = 1,691 \text{ przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 149,0 = 149,0 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 149,0 \times 6,0 \times 10^3}{1} = 210,07 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środka:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{0,23}{210,07} = \mathbf{0,001 < 1} \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\frac{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \sigma_{z,Ed} + 3\tau_{Ed}^2}{(f_y / \gamma_{M0})^2} = \frac{212,9^2 + 0,0^2 - 212,9 \times 0,0 + 3 \times 9,0^2}{(235/1)^2} = \mathbf{0,825 < 1} \quad (6.1)$$

Stan graniczny użytkowania:

Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+St+Sn3+Ws

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 0,4 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 4500 / 250 = 18,0 \text{ mm}$$

$$a_{max} = \mathbf{0,4 < 18,0} = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 3,4 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 4500 / 250 = 18,0 \text{ mm}$$

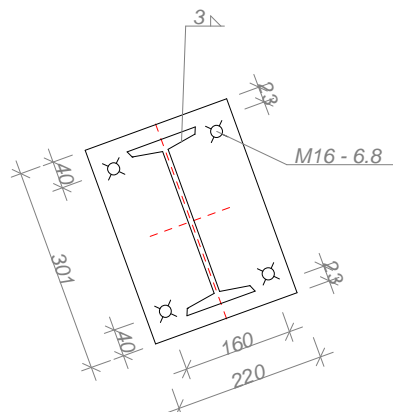
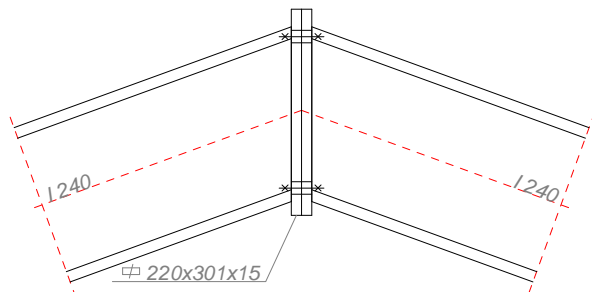
$$a_{max} = \mathbf{3,4 < 18,0} = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 3,423 \text{ mm}; \quad L / a = 4500,0 / 3,423 = 1314,6$$

Poz.A.2.3. Połączenia

Poz.A.2.3.1 Połączenie rygli w kalenicy



Przyjęto połączenie kategorii **D** na śruby **M16** klasy **6.8**.

Siły przekrojowe w odległości $l_0 = 0$ mm od węzła:

$$\mathbf{M} = -15,629 \text{ kNm}, \quad \mathbf{V} = -57,148 \text{ kN}, \quad \mathbf{N} = -29,974 \text{ kN}.$$

Nośność śruby:

Pole przekroju śruby: $A_s = 157,0 \text{ mm}^2$, $A_v = 201,1 \text{ mm}^2$.

$$R_m = 600 \text{ MPa}, \quad R_e = 480 \text{ MPa},$$

Nośność śruby: $S_{Rt} = \min \{0,65 R_m A_s; 0,85 R_e A_s\} = 61,230 \text{ kN}$,

$$S_{Rr} = 0,85 S_{Rt} = 0,85 \times 61,230 = 52,046 \text{ kN},$$

$$S_{Rv} = 0,45 R_m A_v = 0,45 \times 600 \times 201,1 \times 10^{-3} = 54,287 \text{ kN}.$$

Blacha czołowa:

Przyjęto blachę czołową o wymiarach 220×286 mm ze stali St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.

Dla połączenia niesprężanego, przy $c = 23$ i $b_s = 2(c+d) = 77$

$$t_{min} = 1,2 \sqrt{\frac{c S_{Rt}}{b_s f_d}} = 1,2 \times \sqrt{\frac{23 \times 61,230 \times 10^3}{77 \times 215}} = 11 \text{ mm}$$

Przyjęto grubość blachy czołowej $t = 15 \text{ mm}$.

Nośność połączenia:

Współczynnik efektu dźwigni wynosi:

$$\beta = 2,67 - t / t_{min} = 2,67 - 15 / 11 = 1,31,$$

przyjęto $\beta = 1,31 \Rightarrow 1/\beta = 0,77$.

Nośność spoin:

Przyjęto spoiny o grubości $a = 3 \text{ mm}$

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 25,00 \text{ cm}^2, \quad A_v = 13,26 \text{ cm}^2, \quad I_x = 2284,2 \text{ cm}^4, \quad I_y = 111,5 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{||} = V / A_v = (57,148 / 13,26) \times 10 = 43,113 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{15,629 \times 11,0 \times 10^3}{2284,2} + \frac{29,974 \times 10}{25,00} = -87,571 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = -87,571 / \sqrt{2} = -61,922 \text{ MPa}$$

Dla $R_e = 235 \text{ MPa}$, współczynnik χ wynosi 0,70.

Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych $\tau_{||} = 43,113 \text{ MPa}$.

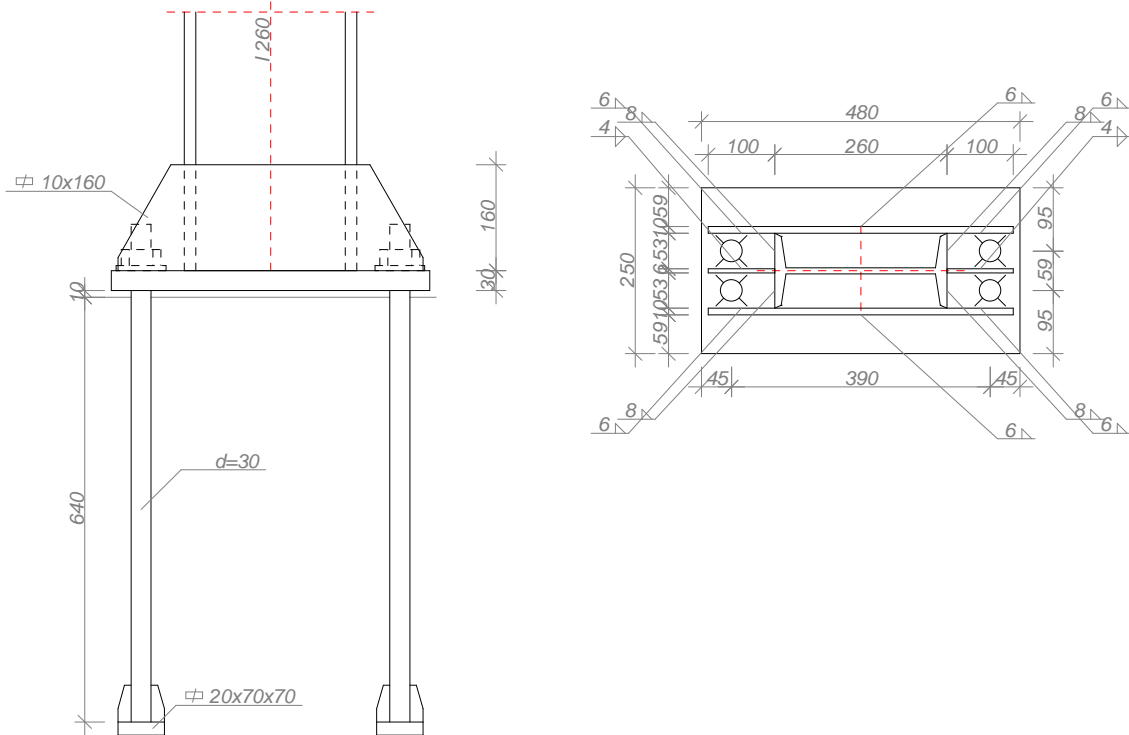
$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{||}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{61,922^2 + 3 \times (43,113^2 + 61,922^2)} = 101,230 < 215 = f_d$$

Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{M_x \cdot y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{15,629 \times 13,1 \times 10^3}{2284,2} + \frac{29,974 \times 10}{25,00} = -101,420 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 71,714 < 215 = f_d$$

Poz.A.2.3.2 Podstawa słupa



Przyjęto zakotwienie słupa na śruby płytkowe $d=30$ ze stali **St3S** w fundamencie wykonanym z betonu klasy **B25**. Moment dokręcenia śrub $M_s = 0,30 \text{ kNm}$.

Dodatkowy moment uwzględniający wyboczenie słupa:

$$\Delta M = N (1 / \varphi - 1) W / A = [32,786 \times (1 / 0,904 - 1) 441,54 / 53,40] \times 10^{-2} = 0,288 \text{ kNm}.$$

Siły przekrojowe sprowadzone do środka blachy podstawy:

$$M = 77,527 \text{ kNm}, \quad N = -32,786 \text{ kN}, \quad V = 23,196 \text{ kN}, \quad e = 2365 \text{ mm}$$

Nośność śrub kotwiących:

Nośność śruby:

$$S_{Rt} = \min\{0,65 R_m A_s; 0,85 R_e A_s\} = \min\{0,65 \times 375 \times 561,0 \times 10^{-3}; 0,85 \times 225 \times 561,0 \times 10^{-3}\} = \min\{136,7; 107,3\} = 107,291 \text{ kN}.$$

W celu wyznaczenia siły działającej w śrubach należy wyliczyć wielkość strefy docisku z warunku:

$$x^3 + 3(e - a/2)x^2 + \frac{6nA_sE}{bE_c}(x - a + e_s)(a - e_s + e - a/2) = 0$$

Przyjmując $E/E_c = 6$, w rozwiązaniu otrzymamy $x = 137 \text{ mm}$.

$$F_t = \frac{N(e - a/2 + x/3)}{a - e_s - x/3} = \frac{32,786 \times (2365 - 480/2 + 137/3)}{480 - 45 - 137/3} = 182,849 \text{ kN}.$$

$$F_t = 182,849 < 214,582 = 2,000 \times 107,291 = n S_{Rt}$$

Sprawdzenie zakotwienia śrub:

Nośność zakotwienia ze względu na ścinanie:

$$S_{Ra} = 0,75 (4 a_1) l_a f_{ctd} = 3 \times 70 \times 640 \times 0,8 \times 10^{-3} = 107,520 > 107,291 = S_{Rt}$$

Nośność zakotwienia ze względu na docisk:

$$S_{Ra} = 2 a_1^2 f_{cd} = 2 \times 70^2 \times 11,1 \times 10^{-3} = 108,780 > 107,291 = S_{Rt}$$

Naprężenia docisku:

Przyjęto, że marka zaprawy podlewki nie jest niższa niż 5 i podkładki wyrównawcze zajmują co najmniej 25% powierzchni docisku lub podlewka jest zbrojona.

$$\omega_u = \sqrt{A_{c1} / A_c} = \sqrt{(137 + 2 \times 100) \times (250 + 2 \times 63) / (137 \times 250)} = 1,922$$

$$f_b = f_{cud} = \omega_u f_{cd} = 1,922 \times 11,1 = 21,329 \text{ MPa}$$

Ponieważ $e = 2365 > 80 = a/6$ naprężenia pod stopą wynoszą:

$$\sigma_c = \frac{2(N_c + F_t)}{x b} = \frac{2 \times (32,786 + 182,849)}{137 \times 250} \times 10^{-3} = 12,549 < 21,329 = f_b$$

Nośność na siłę poprzeczną:

Siła poprzeczna działająca na podstawę słupa $V = 23,196 \text{ kN}$, musi być przeniesiona przez tarcie lub śruby kotwiące.

- tarcie pomiędzy fundamentem i blachą podstawy:

$$V = 23,196 > 9,836 = 0,3 \times 32,786 = 0,3 N_c = V_{Rj}$$

- ścinanie i docisk śrub kotwiących:

$$V = 23,196 < 378,675 = 4 \times (0,45 \times 375 \times 561,0) \times 10^{-3} = n (0,45 R_m A_v) = n S_{Rv}$$

$$V = 23,196 < 279,720 = 7 \times 4 \times 30^2 \times 11,1 \times 10^{-3} = 7 n d^2 f_{cd} = V_{Rj}$$

Blacha podstawy:

Przyjęto blachę podstawy o wymiarach 480×250 mm ze stali St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.

Grubość blachy dla $\Omega = 4 \pi$:

$$t_d = 2,2 \sqrt{\frac{S}{\Omega f_d}} = 2,2 \times \sqrt{\frac{91,424 \times 10^3}{12,57 \times 205}} = 13 < 30 = t$$

Grubość blachy ze względu na naprężenia docisku. Największą grubość blachy uzyskuje się dla wspornika o wysięgu $l = 69 \text{ mm}$:

$$t_d = \omega \sqrt{\sigma_c / f_d} = 1,730 \times 69 \times \sqrt{12,549 / 205} = 29 < 30 = t$$

Nośność przekroju blach trapezowych i blachy podstawy:

Charakterystyka przekroju:

$$y = 43 \text{ mm}, \quad J_x = 2763,2 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 188,5 \text{ cm}^3, A_v = 32,0 \text{ cm}^2$$

Siły działające na przekrój:

$$M_1 = \sigma_d b c^2 / 2 = (12,549 \times 250 \times 110^2 / 2) \times 10^{-6} = 18,980 \text{ kNm},$$

$$M_2 = nZ (c - e_s) = 182,849 \times (110 - 45) \times 10^{-3} = 11,885 \text{ kNm}.$$

$$V_1 = \sigma_d b c = 12,549 \times 250 \times 110 \times 10^{-3} = 345,098 \text{ kN},$$

$$V_2 = nZ = 182,849 \text{ kN}.$$

Naprężenia:

$$\sigma_M = M / W = (18,980 / 188,5) \times 10^3 = 100,691 \text{ MPa},$$

$$\tau = V / A_v = (345,098 / 32,0) \times 10 = 107,843 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_M^2 + 3 \tau^2} = \sqrt{100,691^2 + 3 \times 107,843^2} = 212,201 < 215 = f_d$$


Nośność spoin poziomych:

Przyjęto spoiny o grubości zależnej od grubości ścianki $a = 0,60 \times t$.

Siła przenoszona przez spoiny wynosi $F = N = 32,786 \text{ kN}$.

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 112,32 \text{ cm}^2, \quad A_v = 95,20 \text{ cm}^2, \quad I_x = 26101,9 \text{ cm}^4, \quad I_y = 3552,2 \text{ cm}^4.$$

 ul. Głowackiego 28 10-448 Olsztyn	PROJEKT WYKONAWCZY- KONSTRUKCJA ZADASZENIE NAD BOKSAMI NR 1 BARTOSZYCE	64 z 97
--	--	----------------

Naprężenia:

$$\tau_{||} = V / A_v = (23,196 / 95,20) \times 10 = 2,437 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{F}{A} = \frac{77,527 \times 23,0 \times 10^3}{26101,9} + \frac{32,786 \times 10}{112,32} = 71,233 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 71,233 / \sqrt{2} = 50,369 \text{ MPa}$$

Naprężenia pochodzące od siły rozwarstwiającej między blachami pionowymi i blachą podstawy:

- dla naprężeń docisku

$$\tau_{||} = Q S / b_s J = \frac{207,026 \times 213,1 \times 10}{3,2 \times 2763} = 49,890 \text{ MPa}$$

- dla sił w kotwach

$$\tau_{||} = Q S / b_s J = \frac{182,849 \times 213,1 \times 10}{3,2 \times 2763} = 44,063 \text{ MPa}$$

Dla $R_e = 235 \text{ MPa}$, współczynnik χ wynosi 0,70.

Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych $\tau_{||} = 46,500 \text{ MPa}$.

$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{||}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{50,369^2 + 3 \times (46,500^2 + 50,369^2)} = 90,284 < 205 = f_d$$

Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{F}{A} = \frac{77,527 \times 23,0 \times 10^3}{26101,9} + \frac{32,786 \times 10}{112,32} = 71,233 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 50,369 < 205 = f_d$$

Nośność spoin pionowych:

Przyjęto 8 spoin o grubości $a = 3 \text{ mm}$ i długości 160 mm.

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 38,40 \text{ cm}^2,$$

$$I_o = I_x + I_y = 6149,2 + 819,2 = 6968,4 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia w spoinach:

$$\tau_F = F / A = (32,786 / 38,40) \times 10 = 8,538 \text{ MPa},$$

$$\tau_M = M_o r / I_o = (77,527 \times 15,3 / 6968,4) \times 10^3 = 169,823 \text{ MPa},$$

Dla $R_e = 235 \text{ MPa}$, współczynniki α wynoszą $\alpha_{\perp} = 0,9$, $\alpha_{||} = 0,8$.

Nośność spoin:

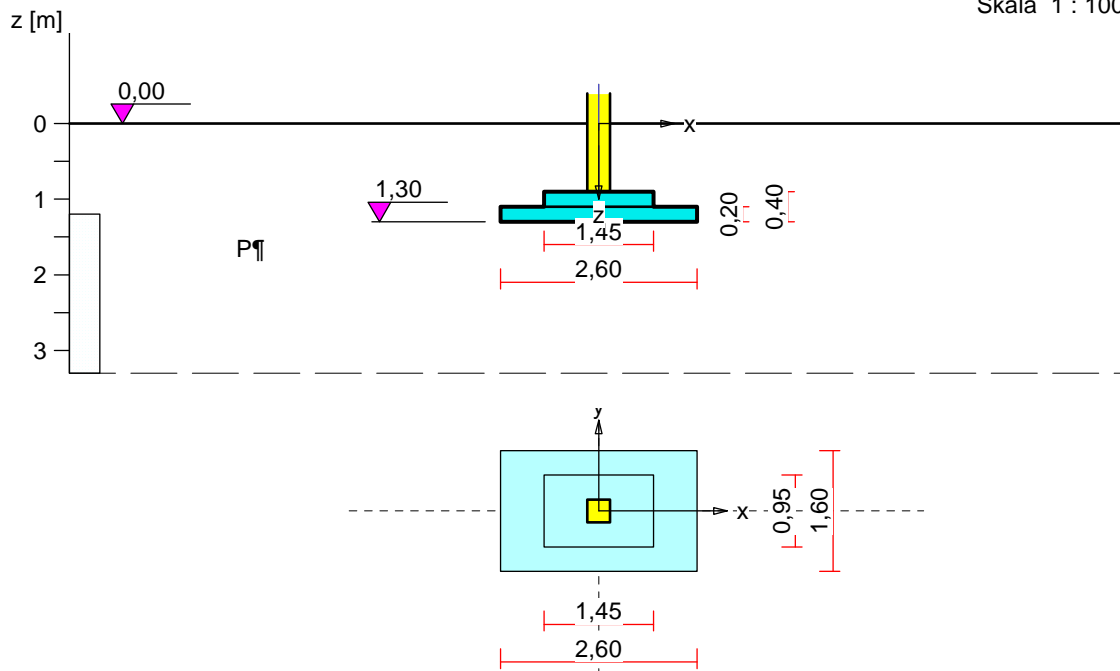
$$\tau_F = 8,538 < 172,000 = 0,8 \times 215 = \alpha_{||} f_d$$

$$\sqrt{(\tau_M + \tau_F \cos \theta)^2 + (\tau_F \sin \theta)^2} = \sqrt{(169,823 + 8,538 \times 0,52)^2 + (8,538 \times 0,85)^2} = 174,449 < 193,500 = 0,9 \times 215 = \alpha_{\perp} f_d$$

Poz.A.3.0. Stopy fundamentowe

Poz.A.3.1. Stopa St1 – pod główne słupy zadaszenia

Skala 1 : 100



Warstwy gruntu

Lp.	Poziom stropu [m]	Grubość warstwy [m]	Nazwa gruntu	Poz. wody grunt. [m]
1	0,00	nieokreśl.	Piasek pylasty	1,20

Obciążenie od konstrukcji

Względny poziom przyłożenia obciążenia: $z_{obc} = 0,85$ m.

Lista obciążeń:

Lp	Rodzaj obciążenia*	N [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	γ [–]
1	D+K	10,9	-1,6	7,3	-11,00	-3,70	1,20
2	D+K	3,9	11,8	0,2	-0,30	25,50	1,20
3	D+K	5,3	-0,3	0,0	0,00	-0,40	1,20
4	D+K	14,6	-1,0	7,4	-11,20	-0,80	1,20
5	D+K	15,0	-1,6	7,4	-11,10	-2,80	1,20
6	D+K	13,1	11,2	0,3	-0,60	25,70	1,20
7	D+K	72,7	-8,7	2,6	-7,20	-18,20	1,20
8	D+K	15,1	21,1	0,0	-0,10	48,10	1,20
9	D+K	74,0	-8,4	0,0	0,10	-17,20	1,20
10	D+K	12,6	-1,4	2,6	-7,30	-3,40	1,20
11	D+K	75,1	13,9	0,0	-0,10	33,30	1,20
12	D+K	49,3	-6,2	0,0	0,10	-15,70	1,20
13	D+K	67,0	15,4	0,0	-0,10	39,60	1,20
14	D+K	68,7	-7,9	2,6	-7,30	-16,50	1,20
15	D+K	14,6	22,3	0,1	-0,20	52,30	1,20
16	D+K	45,8	-6,2	0,0	0,10	-16,00	1,20
17	D+K	61,2	-6,2	2,7	-7,30	-9,40	1,20
18	D+K	69,6	15,6	0,0	-0,10	38,40	1,20
19	D+K	13,4	-1,1	0,0	0,00	-2,40	1,20

20	D+K	13,7	-1,2	2,7	-7,30	-2,50	1,20
21	D+K	66,9	-7,9	0,0	0,10	-16,70	1,20
22	D+K	14,2	21,7	0,1	-0,20	49,80	1,20
23	D+K	45,0	-6,0	0,0	0,10	-15,70	1,20
24	D+K	13,2	-0,9	2,7	-7,40	-1,70	1,20
25	D+K	67,9	15,0	0,0	-0,10	35,60	1,20
26	D+K	13,2	-1,1	0,0	0,00	-2,40	1,20
27	D+K	44,4	-5,8	2,7	-7,30	-14,80	1,20
28	D+K	61,0	16,5	0,1	-0,20	42,00	1,20
29	D+K	102,1	-6,0	0,0	0,00	-14,10	1,20
30	D+K	25,4	18,4	0,1	-0,20	43,70	1,20
31	D+K	64,0	-5,2	0,0	0,10	-13,70	1,20
32	D+K	96,0	-3,5	9,0	-12,80	-6,10	1,20
33	D+K	108,7	13,2	0,1	-0,20	31,50	1,20
34	D+K	18,9	-0,8	0,0	0,00	-2,00	1,20
35	D+K	95,1	-3,4	9,0	-12,80	-6,00	1,20
36	D+K	64,9	-5,2	0,0	0,10	-13,80	1,20
37	D+K	101,5	15,1	0,1	-0,30	37,70	1,20
38	D+K	24,7	-1,6	7,4	-11,20	-4,90	1,20
39	D+K	11,0	7,9	0,0	-0,10	22,10	1,20
40	D+K	37,2	-1,2	-0,1	0,30	-3,60	1,20
41	D+K	10,3	-0,4	7,4	-11,30	-1,40	1,20
42	D+K	38,7	6,9	-0,1	0,10	19,00	1,20
43	D+K	9,6	-0,2	0,0	0,00	-0,50	1,20
44	D+K	4,9	0,1	6,6	-9,10	-0,20	1,20
45	D+K	12,6	10,4	0,0	-0,10	25,90	1,20
46	D+K	7,0	9,2	0,0	0,00	23,20	1,20
47	D+K	14,2	0,6	6,7	-9,30	-0,40	1,20
48	D+K	16,7	10,3	0,1	-0,20	24,90	1,20
49	D+K	14,1	0,6	6,7	-9,30	-0,40	1,20
50	D+K	24,7	-1,6	7,4	-11,20	-4,90	1,20
51	D+K	11,0	7,9	0,0	-0,10	22,10	1,20
52	D+K	37,2	-1,2	-0,1	0,30	-3,60	1,20
53	D+K	10,3	-0,4	7,4	-11,30	-1,40	1,20
54	D+K	38,7	6,9	-0,1	0,10	19,00	1,20
55	D+K	9,6	-0,2	0,0	0,00	-0,50	1,20
56	D+K	4,9	0,1	6,6	-9,10	-0,20	1,20
57	D+K	12,6	10,4	0,0	-0,10	25,90	1,20
58	D+K	7,0	9,2	0,0	0,00	23,20	1,20
59	D+K	14,2	0,6	6,7	-9,30	-0,40	1,20
60	D+K	16,7	10,3	0,1	-0,20	24,90	1,20
61	D+K	14,1	0,6	6,7	-9,30	-0,40	1,20
62	D+K	12,6	0,9	1,8	-5,10	1,40	1,20
63	D+K	68,1	24,1	0,0	-0,10	60,50	1,20
64	D+K	66,6	7,0	0,0	0,10	11,20	1,20
65	D+K	47,3	5,9	1,8	-5,10	14,60	1,20
66	D+K	74,0	8,4	0,0	0,00	17,40	1,20
67	D+K	8,0	16,8	0,0	-0,10	45,60	1,20
68	D+K	43,4	21,9	0,0	-0,10	59,00	1,20

69	D+K	65,9	6,9	0,0	0,00	11,00	1,20
70	D+K	13,4	1,1	1,8	-5,10	2,10	1,20
71	D+K	62,5	24,6	0,0	-0,10	63,40	1,20
72	D+K	61,2	6,1	0,0	0,00	9,10	1,20
73	D+K	45,2	6,0	1,8	-5,10	15,40	1,20
74	D+K	68,2	7,7	1,8	-5,10	15,80	1,20
75	D+K	7,8	18,0	0,0	-0,10	49,70	1,20
76	D+K	13,3	1,1	0,0	0,00	2,20	1,20
77	D+K	62,4	23,8	0,0	-0,10	60,20	1,20
78	D+K	61,1	6,1	0,0	0,00	9,20	1,20
79	D+K	44,7	5,9	1,8	-5,10	15,10	1,20
80	D+K	68,0	7,6	0,0	0,00	15,30	1,20
81	D+K	7,8	17,3	0,0	-0,10	47,20	1,20
82	D+K	60,9	6,3	1,8	-5,00	9,90	1,20
83	D+K	39,4	21,9	0,0	-0,10	59,30	1,20
84	D+K	13,9	1,1	0,0	0,00	2,10	1,20
85	D+K	66,4	21,7	0,0	-0,10	52,10	1,20
86	D+K	75,3	8,5	1,8	-5,10	17,50	1,20
87	D+K	6,7	14,7	0,0	-0,10	38,30	1,20
88	D+K	50,3	5,9	1,8	-5,10	14,40	1,20
89	D+K	66,0	7,0	0,0	0,00	11,40	1,20
90	D+K	41,5	19,1	0,0	-0,10	49,00	1,20
91	D+K	4,8	-0,2	3,6	-6,30	-0,90	1,20
92	D+K	14,9	8,6	-0,1	0,10	19,50	1,20
93	D+K	13,8	0,2	-0,2	0,30	-1,80	1,20
94	D+K	15,0	8,5	-0,1	0,10	19,10	1,20
95	D+K	13,4	-0,1	3,4	-6,10	-2,50	1,20
96	D+K	6,4	8,4	0,1	-0,20	20,80	1,20
97	D+K	5,1	0,1	0,0	0,00	-0,20	1,20
98	D+K	10,8	8,6	0,0	-0,10	20,30	1,20

* D – obciążenia stałe, zmienne długotrwałe,

D+K - obciążenia stałe, zmienne długotrwałe i krótkotrwałe.

Stan graniczny I

Zestawienie wyników analizy nośności i mimośrodków

Nr obc.	Rodzaj obciążenia	Poziom [m]	Wsp. nośności	Wsp. mimośr.
1	D+K	1,30	0,09	0,44
2	D+K	1,30	0,08	0,54
3	D+K	1,30	0,06	0,01
4	D+K	1,30	0,10	0,38
5	D+K	1,30	0,10	0,42
6	D+K	1,30	0,09	0,50
7	D+K	1,30	0,12	0,35
8	D+K	1,30	0,12	0,89
9	D+K	1,30	0,11	0,20
10	D+K	1,30	0,08	0,28
11	D+K	1,30	0,12	0,38
12	D+K	1,30	0,09	0,21
13	D+K	1,30	0,12	0,47
14	D+K	1,30	0,11	0,34
* 15	D+K	1,30	0,12	0,97

16	D+K	1,30	0,09	0,22
17	D+K	1,30	0,11	0,27
18	D+K	1,30	0,12	0,45
19	D+K	1,30	0,07	0,05
20	D+K	1,30	0,08	0,26
21	D+K	1,30	0,11	0,21
22	D+K	1,30	0,12	0,93
23	D+K	1,30	0,09	0,22
24	D+K	1,30	0,08	0,25
25	D+K	1,30	0,12	0,43
26	D+K	1,30	0,07	0,05
27	D+K	1,30	0,10	0,37
28	D+K	1,30	0,12	0,53
29	D+K	1,30	0,12	0,14
30	D+K	1,30	0,11	0,73
31	D+K	1,30	0,10	0,17
32	D+K	1,30	0,14	0,30
33	D+K	1,30	0,14	0,30
34	D+K	1,30	0,07	0,03
35	D+K	1,30	0,14	0,30
36	D+K	1,30	0,10	0,17
37	D+K	1,30	0,14	0,37
38	D+K	1,30	0,10	0,41
39	D+K	1,30	0,08	0,41
40	D+K	1,30	0,08	0,06
41	D+K	1,30	0,09	0,41
42	D+K	1,30	0,09	0,28
43	D+K	1,30	0,07	0,01
44	D+K	1,30	0,09	0,34
45	D+K	1,30	0,09	0,48
46	D+K	1,30	0,08	0,46
47	D+K	1,30	0,09	0,31
48	D+K	1,30	0,09	0,45
49	D+K	1,30	0,09	0,31
50	D+K	1,30	0,10	0,41
51	D+K	1,30	0,08	0,41
52	D+K	1,30	0,08	0,06
53	D+K	1,30	0,09	0,41
54	D+K	1,30	0,09	0,28
55	D+K	1,30	0,07	0,01
56	D+K	1,30	0,09	0,34
57	D+K	1,30	0,09	0,48
58	D+K	1,30	0,08	0,46
59	D+K	1,30	0,09	0,31
60	D+K	1,30	0,09	0,45
61	D+K	1,30	0,09	0,31
62	D+K	1,30	0,08	0,18
63	D+K	1,30	0,15	0,72
64	D+K	1,30	0,10	0,15
65	D+K	1,30	0,10	0,31
66	D+K	1,30	0,11	0,21
67	D+K	1,30	0,10	0,88
68	D+K	1,30	0,13	0,83

69	D+K	1,30	0,10	0,14
70	D+K	1,30	0,08	0,19
71	D+K	1,30	0,15	0,78
72	D+K	1,30	0,10	0,12
73	D+K	1,30	0,10	0,33
74	D+K	1,30	0,11	0,29
75	D+K	1,30	0,11	0,96
76	D+K	1,30	0,07	0,04
77	D+K	1,30	0,14	0,74
78	D+K	1,30	0,10	0,13
79	D+K	1,30	0,10	0,32
80	D+K	1,30	0,10	0,19
81	D+K	1,30	0,11	0,92
82	D+K	1,30	0,10	0,23
83	D+K	1,30	0,13	0,86
84	D+K	1,30	0,07	0,04
85	D+K	1,30	0,14	0,63
86	D+K	1,30	0,12	0,30
87	D+K	1,30	0,10	0,76
88	D+K	1,30	0,10	0,30
89	D+K	1,30	0,10	0,15
90	D+K	1,30	0,12	0,70
91	D+K	1,30	0,08	0,24
92	D+K	1,30	0,08	0,36
93	D+K	1,30	0,07	0,04
94	D+K	1,30	0,08	0,36
95	D+K	1,30	0,08	0,23
96	D+K	1,30	0,08	0,42
97	D+K	1,30	0,06	0,00
98	D+K	1,30	0,08	0,39

Analiza stanu granicznego I dla obciążenia nr 15

Wymiary podstawy fundamentu rzeczywistego: $B_x = 2,60 \text{ m}$, $B_y = 1,60 \text{ m}$.

Względny poziom posadowienia: $H = 1,30 \text{ m}$.

Rodzaj obciążenia: D+K,

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji:

siła pionowa: $N = 14,60 \text{ kN}$, mimośrodowy wzgl. podst. fund. $E_x = 0,00 \text{ m}$, $E_y = 0,00 \text{ m}$,

siła pozioma: $H_x = 22,30 \text{ kN}$, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,45 \text{ m}$,

siła pozioma: $H_y = 0,10 \text{ kN}$, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,45 \text{ m}$,

moment: $M_x = -0,20 \text{ kNm}$, moment: $M_y = 52,30 \text{ kNm}$.

Ciężar własny fundamentu, gruntu, posadzek, obciążenia posadzek:

siła pionowa: $G = 121,27 \text{ kN/m}$, momenty: $M_{Gx} = 0,00 \text{ kNm/m}$, $M_{Gy} = 0,00 \text{ kNm/m}$.

Uwaga: Przy sprawdzaniu położenia wypadkowej alternatywnie brano pod uwagę obciążenia obliczeniowe wyznaczone przy zastosowaniu dolnych współczynników obciążenia.

Sprawdzenie położenia wypadkowej obciążenia względem podstawy fundamentu

Obciążenie pionowe:

$$N_r = N + G = 14,60 + 121,27 \mid 84,92 = 135,87 \mid 99,52 \text{ kN}.$$

Momenty względem środka podstawy:

$$M_{rx} = N \cdot E_y - H_y \cdot E_z + M_x + M_{Gx} = 14,60 \cdot 0,00 - 0,10 \cdot 0,45 + (-0,20) + (0,00) \mid (0,00) = -0,25 \mid -0,25 \text{ kNm}.$$

$$M_{ry} = -N \cdot E_x + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy} = -14,60 \cdot 0,00 + 22,30 \cdot 0,45 + 52,30 + 0,00 \mid (0,00) = 62,34 \mid 62,34 \text{ kNm}.$$

Mimośrodody sił względem środka podstawy:

$$e_{rx} = |M_{ry}/N_r| = 62,34/99,52 = 0,63 \text{ m},$$

$$e_{ry} = |M_{rx}/N_r| = 0,25/99,52 = 0,00 \text{ m}.$$

$$e_{rx}/B_x + e_{ry}/B_y = 0,241 + 0,002 = 0,242 \text{ m} < 0,250.$$

Wniosek: Warunek położenia wypadkowej jest spełniony.

Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

$$B'_x = B_x - 2 \cdot e_{rx} = 2,60 - 2 \cdot 0,46 = 1,68 \text{ m}, \quad B'_y = B_y - 2 \cdot e_{ry} = 1,60 - 2 \cdot 0,00 = 1,60 \text{ m}.$$

Obciążenie podłoża obok ławy (min. średnia gęstość dla pola 1):

$$\text{średnia gęstość obliczeniowa: } \rho_{D(r)} = 1,64 \text{ t/m}^3,$$

$$\text{minimalna wysokość: } D_{\min} = 1,30 \text{ m},$$

$$\text{obciążenie: } \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} = 1,64 \cdot 9,81 \cdot 1,30 = 20,97 \text{ kPa}.$$

Współczynniki nośności podłoża:

$$\text{obliczeniowy kąt tarcia wewnętrzznego: } \Phi_{u(r)} = \Phi_{u(n)} \cdot \gamma_m = 29,90 \cdot 0,90 = 26,91^\circ,$$

$$\text{spójność: } c_{u(r)} = c_{u(n)} \cdot \gamma_m = 0,00 \text{ kPa},$$

$$N_B = 4,60 \quad N_C = 23,78, \quad N_D = 13,07.$$

Wpływ odchylenia wypadkowej obciążenia od pionu:

$$\text{tg } \delta_x = |H_x|/N_r = 22,30/135,87 = 0,16, \quad \text{tg } \delta_x/\text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,1641/0,5075 = 0,323,$$

$$i_{Bx} = 0,55, \quad i_{Cx} = 0,71, \quad i_{Dx} = 0,74.$$

$$\text{tg } \delta_y = |H_y|/N_r = 0,10/135,87 = 0,00, \quad \text{tg } \delta_y/\text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,0007/0,5075 = 0,001,$$

$$i_{By} = 1,00, \quad i_{Cy} = 1,00, \quad i_{Dy} = 1,00.$$

Ciężar objętościowy gruntu pod ławą fundamentową:

$$\rho_{B(n)} \cdot \gamma_m \cdot g = 0,95 \cdot 0,90 \cdot 9,81 = 8,42 \text{ kN/m}^3.$$

Współczynniki kształtu:

$$m_B = 1 - 0,25 \cdot B'_y/B'_x = 0,76, \quad m_C = 1 + 0,3 \cdot B'_y/B'_x = 1,28, \quad m_D = 1 + 1,5 \cdot B'_y/B'_x = 2,42$$

Odpór graniczny podłoża:

$$Q_{fNBx} = B'_x \cdot B'_y (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{Cx} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_{Dx} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B'_x \cdot i_{Bx}) = 1385,71 \text{ kN}.$$

$$Q_{fNBy} = B'_x \cdot B'_y (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{Cy} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_{Dy} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B'_y \cdot i_{By}) = 1908,41 \text{ kN}.$$

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

$$N_r = 135,87 \text{ kN} < m \cdot \min(Q_{fNBx}, Q_{fNBy}) = 0,81 \cdot 1385,71 = 1122,43 \text{ kN}.$$

Wniosek: warunek nośności jest spełniony.

Stan graniczny II

Osiadanie fundamentu

Osiadanie całkowite:

$$\text{Osiadanie pierwotne: } s' = 0,00 \text{ cm}.$$

$$\text{Osiadanie wtórne: } s'' = 0,00 \text{ cm}.$$

$$\text{Współczynnik stopnia odprężenia podłoża: } \lambda = 0.$$

$$\text{Osiadanie: } s = s' + \lambda \cdot s'' = 0,00 + 0 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ cm},$$

Sprawdzenie warunku osiadania:

$$\text{Dopuszczalne osiadanie: } s_{\text{dop}} = 3,00 \text{ cm}.$$

$$s = 0,00 \text{ cm} < s_{\text{dop}} = 3,00 \text{ cm}$$

Wniosek: Warunek osiadania jest spełniony.

Wymiarowanie fundamentu

Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na przebicie

Nr obc.	Przekrój	Siła tnąca	Nośność betonu	Nośność strzemion
		V [kN]	V _r [kN]	V _s [kN]
1	1	5	207	–
	2	5	204	–
2	1	16	221	–

	2	10	156	-
3	1	2	221	-
	2	1	156	-
4	1	6	207	-
	2	6	204	-
5	1	6	207	-
	2	6	204	-
6	1	18	221	-
	2	11	156	-
7	1	31	221	-
	2	18	156	-
8	1	31	221	-
	2	20	156	-
9	1	31	221	-
	2	18	156	-
10	1	6	221	-
	2	3	156	-
11	1	40	221	-
	2	24	156	-
12	1	23	221	-
	2	13	156	-
13	1	41	221	-
	2	25	156	-
14	1	29	221	-
	2	17	156	-
15	1	33	221	-
	2	21	156	-
16	1	22	221	-
	2	13	156	-
17	1	23	221	-
	2	13	156	-
18	1	41	221	-
	2	25	156	-
19	1	5	221	-
	2	3	156	-
20	1	5	221	-
	2	3	156	-
21	1	29	221	-
	2	17	156	-
22	1	32	221	-
	2	21	156	-
23	1	22	221	-
	2	13	156	-
24	1	5	221	-
	2	3	156	-
25	1	39	221	-
	2	24	156	-
26	1	5	221	-
	2	3	156	-
27	1	21	221	-
	2	12	156	-
28	1	41	221	-
	2	25	156	-

29	1	37	221	-
	2	21	156	-
30	1	32	221	-
	2	20	156	-
31	1	26	221	-
	2	15	156	-
32	1	31	221	-
	2	18	156	-
33	1	49	221	-
	2	29	156	-
34	1	7	221	-
	2	4	156	-
35	1	31	221	-
	2	17	156	-
36	1	26	221	-
	2	15	156	-
37	1	50	221	-
	2	30	156	-
38	1	10	221	-
	2	6	156	-
39	1	15	221	-
	2	10	156	-
40	1	13	221	-
	2	7	156	-
41	1	5	207	-
	2	5	204	-
42	1	22	221	-
	2	13	156	-
43	1	3	221	-
	2	2	156	-
44	1	4	207	-
	2	4	204	-
45	1	18	221	-
	2	11	156	-
46	1	15	221	-
	2	9	156	-
47	1	5	207	-
	2	5	204	-
48	1	19	221	-
	2	12	156	-
49	1	5	207	-
	2	5	204	-
50	1	10	221	-
	2	6	156	-
51	1	15	221	-
	2	10	156	-
52	1	13	221	-
	2	7	156	-
53	1	5	207	-
	2	5	204	-
54	1	22	221	-
	2	13	156	-
55	1	3	221	-

	2	2	156	-
56	1	4	207	-
	2	4	204	-
57	1	18	221	-
	2	11	156	-
58	1	15	221	-
	2	9	156	-
59	1	5	207	-
	2	5	204	-
60	1	19	221	-
	2	12	156	-
61	1	5	207	-
	2	5	204	-
62	1	4	221	-
	2	3	156	-
*63	1	53	221	-
	2	33	156	-
64	1	26	221	-
	2	15	156	-
65	1	22	221	-
	2	13	156	-
66	1	31	221	-
	2	18	156	-
67	1	27	221	-
	2	18	156	-
68	1	45	221	-
	2	28	156	-
69	1	26	221	-
	2	15	156	-
70	1	5	221	-
	2	3	156	-
71	1	53	221	-
	2	33	156	-
72	1	23	221	-
	2	13	156	-
73	1	22	221	-
	2	13	156	-
74	1	29	221	-
	2	17	156	-
75	1	29	221	-
	2	19	156	-
76	1	5	221	-
	2	3	156	-
77	1	51	221	-
	2	32	156	-
78	1	23	221	-
	2	13	156	-
79	1	21	221	-
	2	13	156	-
80	1	28	221	-
	2	16	156	-
81	1	28	221	-
	2	18	156	-

82	1	24	221	–
	2	14	156	–
83	1	44	221	–
	2	27	156	–
84	1	5	221	–
	2	3	156	–
85	1	48	221	–
	2	29	156	–
86	1	32	221	–
	2	18	156	–
87	1	23	221	–
	2	15	156	–
88	1	22	221	–
	2	13	156	–
89	1	26	221	–
	2	15	156	–
90	1	39	221	–
	2	24	156	–
91	1	3	207	–
	2	3	204	–
92	1	15	221	–
	2	10	156	–
93	1	5	221	–
	2	3	156	–
94	1	15	221	–
	2	9	156	–
95	1	5	221	–
	2	3	156	–
96	1	13	221	–
	2	9	156	–
97	1	2	221	–
	2	1	156	–
98	1	14	221	–
	2	9	156	–

Sprawdzenie stopy na przebiecie dla obciążenia nr 63

Zestawienie obciążeń:

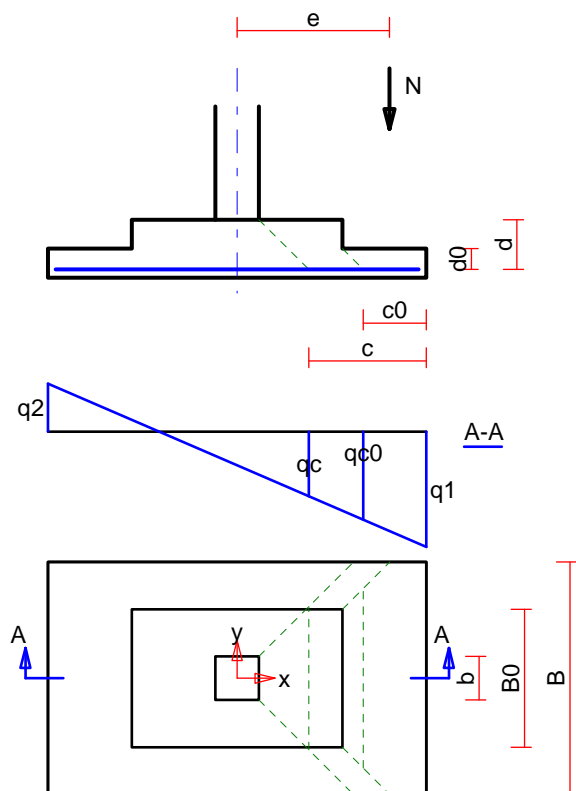
Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 68 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = -0,10 \text{ kNm}$, $M_{yr} = 71,34 \text{ kNm}$.

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 1,05 \text{ m}$, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$.



Przebiecie stopy w przekroju 1:

Siła ścinająca: $V_{sd} = \int_{Ac} q \cdot dA = 53 \text{ kN}$.

Nośność betonu na ścinanie: $V_{rd} = (b+d) \cdot d \cdot f_{ctd} = (0,30+0,34) \cdot 0,34 \cdot 1000 = 221 \text{ kN}$.

$V_{sd} = 53 \text{ kN} < V_{rd} = 221 \text{ kN}$.

Wniosek: warunek na przebiecie jest spełniony.

Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na zginanie

Nr obc.	Kierunek	Przekrój	Moment zginający M [kNm]	Nośność przekroju M _r [kNm]
1	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	7	96
	y	2	2	38
2	x	1	15	70
	x	2	4	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38
3	x	1	2	70
	x	2	0	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38
4	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	8	96
	y	2	2	38
5	x	1	6	70

	x	2	1	29
	y	1	8	96
	y	2	2	38
6	x	1	17	70
	x	2	5	29
	y	1	2	96
	y	2	1	38
7	x	1	30	70
	x	2	7	29
	y	1	14	96
	y	2	3	38
8	x	1	29	70
	x	2	8	29
	y	1	2	96
	y	2	1	38
9	x	1	30	70
	x	2	7	29
	y	1	11	96
	y	2	2	38
10	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	5	96
	y	2	1	38
11	x	1	38	70
	x	2	10	29
	y	1	11	96
	y	2	2	38
12	x	1	22	70
	x	2	5	29
	y	1	7	96
	y	2	2	38
13	x	1	39	70
	x	2	10	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
14	x	1	28	70
	x	2	7	29
	y	1	14	96
	y	2	3	38
15	x	1	31	70
	x	2	9	29
	y	1	2	96
	y	2	1	38
16	x	1	21	70
	x	2	5	29
	y	1	7	96
	y	2	2	38
17	x	1	22	70
	x	2	5	29
	y	1	13	96
	y	2	3	38
18	x	1	39	70
	x	2	10	29

	y	1	11	96
	y	2	2	38
19	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	2	96
	y	2	0	38
20	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	5	96
	y	2	1	38
21	x	1	27	70
	x	2	7	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
22	x	1	30	70
	x	2	8	29
	y	1	2	96
	y	2	0	38
23	x	1	20	70
	x	2	5	29
	y	1	7	96
	y	2	1	38
24	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	5	96
	y	2	1	38
25	x	1	37	70
	x	2	10	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
26	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	2	96
	y	2	0	38
27	x	1	20	70
	x	2	5	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
28	x	1	38	70
	x	2	10	29
	y	1	9	96
	y	2	2	38
29	x	1	35	70
	x	2	9	29
	y	1	15	96
	y	2	3	38
30	x	1	30	70
	x	2	8	29
	y	1	4	96
	y	2	1	38
31	x	1	25	70
	x	2	6	29
	y	1	10	96

	y	2	2	38
* 32	x	1	30	70
	x	2	7	29
	y	1	21	96
	y	2	5	38
33	x	1	46	70
	x	2	12	29
	y	1	17	96
	y	2	4	38
34	x	1	6	70
	x	2	1	29
	y	1	3	96
	y	2	1	38
35	x	1	29	70
	x	2	7	29
	y	1	21	96
	y	2	5	38
36	x	1	25	70
	x	2	6	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
37	x	1	47	70
	x	2	12	29
	y	1	15	96
	y	2	3	38
38	x	1	9	70
	x	2	2	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
39	x	1	14	70
	x	2	4	29
	y	1	2	96
	y	2	0	38
40	x	1	12	70
	x	2	3	29
	y	1	6	96
	y	2	1	38
41	x	1	4	70
	x	2	1	29
	y	1	7	96
	y	2	2	38
42	x	1	20	70
	x	2	5	29
	y	1	6	96
	y	2	1	38
43	x	1	3	70
	x	2	1	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38
44	x	1	1	70
	x	2	0	29
	y	1	6	96
	y	2	1	38

45	x	1	17	70
	x	2	5	29
	y	1	2	96
	y	2	0	38
46	x	1	14	70
	x	2	4	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38
47	x	1	4	70
	x	2	1	29
	y	1	7	96
	y	2	2	38
48	x	1	18	70
	x	2	5	29
	y	1	3	96
	y	2	1	38
49	x	1	4	70
	x	2	1	29
	y	1	7	96
	y	2	2	38
50	x	1	9	70
	x	2	2	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
51	x	1	14	70
	x	2	4	29
	y	1	2	96
	y	2	0	38
52	x	1	12	70
	x	2	3	29
	y	1	6	96
	y	2	1	38
53	x	1	4	70
	x	2	1	29
	y	1	7	96
	y	2	2	38
54	x	1	20	70
	x	2	5	29
	y	1	6	96
	y	2	1	38
55	x	1	3	70
	x	2	1	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38
56	x	1	1	70
	x	2	0	29
	y	1	6	96
	y	2	1	38
57	x	1	17	70
	x	2	5	29
	y	1	2	96
	y	2	0	38
58	x	1	14	70

	x	2	4	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38
59	x	1	4	70
	x	2	1	29
	y	1	7	96
	y	2	2	38
60	x	1	18	70
	x	2	5	29
	y	1	3	96
	y	2	1	38
61	x	1	4	70
	x	2	1	29
	y	1	7	96
	y	2	2	38
62	x	1	4	70
	x	2	1	29
	y	1	4	96
	y	2	1	38
*63	x	1	50	70
	x	2	13	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
64	x	1	25	70
	x	2	6	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
65	x	1	21	70
	x	2	5	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
66	x	1	30	70
	x	2	7	29
	y	1	11	96
	y	2	2	38
67	x	1	26	70
	x	2	7	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38
68	x	1	42	70
	x	2	11	29
	y	1	7	96
	y	2	1	38
69	x	1	24	70
	x	2	6	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
70	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	4	96
	y	2	1	38
71	x	1	50	70
	x	2	13	29

	y	1	9	96
	y	2	2	38
72	x	1	22	70
	x	2	5	29
	y	1	9	96
	y	2	2	38
73	x	1	20	70
	x	2	5	29
	y	1	9	96
	y	2	2	38
74	x	1	27	70
	x	2	7	29
	y	1	13	96
	y	2	3	38
75	x	1	28	70
	x	2	8	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38
76	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	2	96
	y	2	0	38
77	x	1	48	70
	x	2	13	29
	y	1	9	96
	y	2	2	38
78	x	1	22	70
	x	2	5	29
	y	1	9	96
	y	2	2	38
79	x	1	20	70
	x	2	5	29
	y	1	9	96
	y	2	2	38
80	x	1	27	70
	x	2	7	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
81	x	1	26	70
	x	2	7	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38
82	x	1	22	70
	x	2	5	29
	y	1	12	96
	y	2	3	38
83	x	1	41	70
	x	2	11	29
	y	1	6	96
	y	2	1	38
84	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	2	96

	y	2	0	38
85	x	1	45	70
	x	2	12	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
86	x	1	30	70
	x	2	7	29
	y	1	14	96
	y	2	3	38
87	x	1	22	70
	x	2	6	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38
88	x	1	21	70
	x	2	5	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
89	x	1	25	70
	x	2	6	29
	y	1	10	96
	y	2	2	38
90	x	1	37	70
	x	2	10	29
	y	1	6	96
	y	2	1	38
91	x	1	2	70
	x	2	0	29
	y	1	4	96
	y	2	1	38
92	x	1	14	70
	x	2	4	29
	y	1	2	96
	y	2	1	38
93	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	2	96
	y	2	0	38
94	x	1	14	70
	x	2	4	29
	y	1	2	96
	y	2	1	38
95	x	1	5	70
	x	2	1	29
	y	1	5	96
	y	2	1	38
96	x	1	13	70
	x	2	3	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38
97	x	1	1	70
	x	2	0	29
	y	1	1	96
	y	2	0	38

98	x	1	14	70
	x	2	4	29
	y	1	2	96
	y	2	0	38

Uwaga: Momenty zginające wyznaczono metodą współników prostokątnych.

Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 32 na kierunku y

Zestawienie obciążeń:

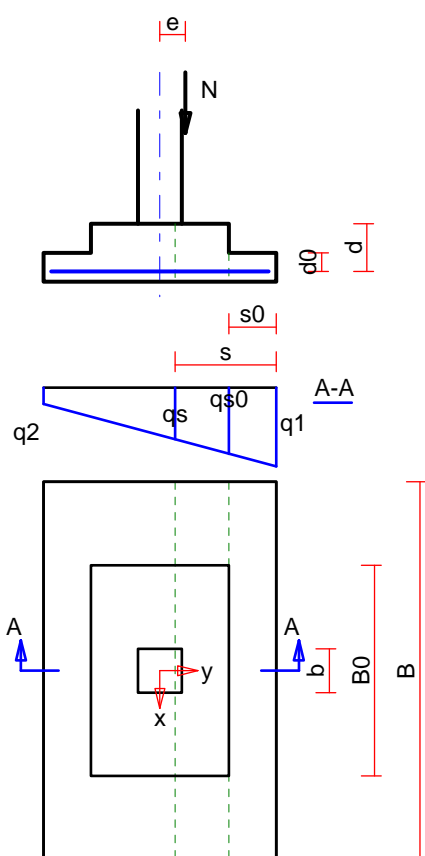
Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 96 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = -16,85 \text{ kNm}$, $M_{yr} = -7,67 \text{ kNm}$.

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,08 \text{ m}$, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,18 \text{ m}$.



Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$$M_{sd} = (2 \cdot q_1 + q_s) \cdot B \cdot s^2 / 6 = (2 \cdot 38 + 25) \cdot 2,60 \cdot 0,48^2 / 6 = 21 \text{ kNm}.$$

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_s = 3,4 \text{ cm}^2$.

Przyjęta powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_{Rs} = 15,4 \text{ cm}^2$.

$$A_s = 3,4 \text{ cm}^2 < A_{Rs} = 15,4 \text{ cm}^2.$$

Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.

Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 63 na kierunku x

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 68 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = -0,10 \text{ kNm}$, $M_{yr} = 71,34 \text{ kNm}$.

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 1,05 \text{ m}$, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$.

Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$M_{sd} = (2 \cdot q_1 + q_s) \cdot B \cdot s^2 / 6 = (2 \cdot 56 + 20) \cdot 1,60 \cdot 1,43^2 / 6 = 50 \text{ kNm}$.

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_s = 7,7 \text{ cm}^2$.

Przyjęta powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_{Rs} = 10,8 \text{ cm}^2$.

$A_s = 7,7 \text{ cm}^2 < A_{Rs} = 10,8 \text{ cm}^2$.

Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.

Zbrojenie stopy

Zbrojenie główne na kierunku x:

Średnica prętów: $\phi = 14 \text{ mm}$.

Konieczna liczba prętów: $L_{xs} = 7$.

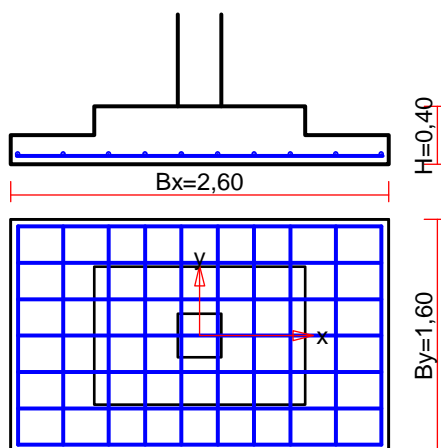
Przyjęta liczba prętów: $L_{xr} = 7$ co $25,0 \text{ cm}$.

Zbrojenie główne na kierunku y:

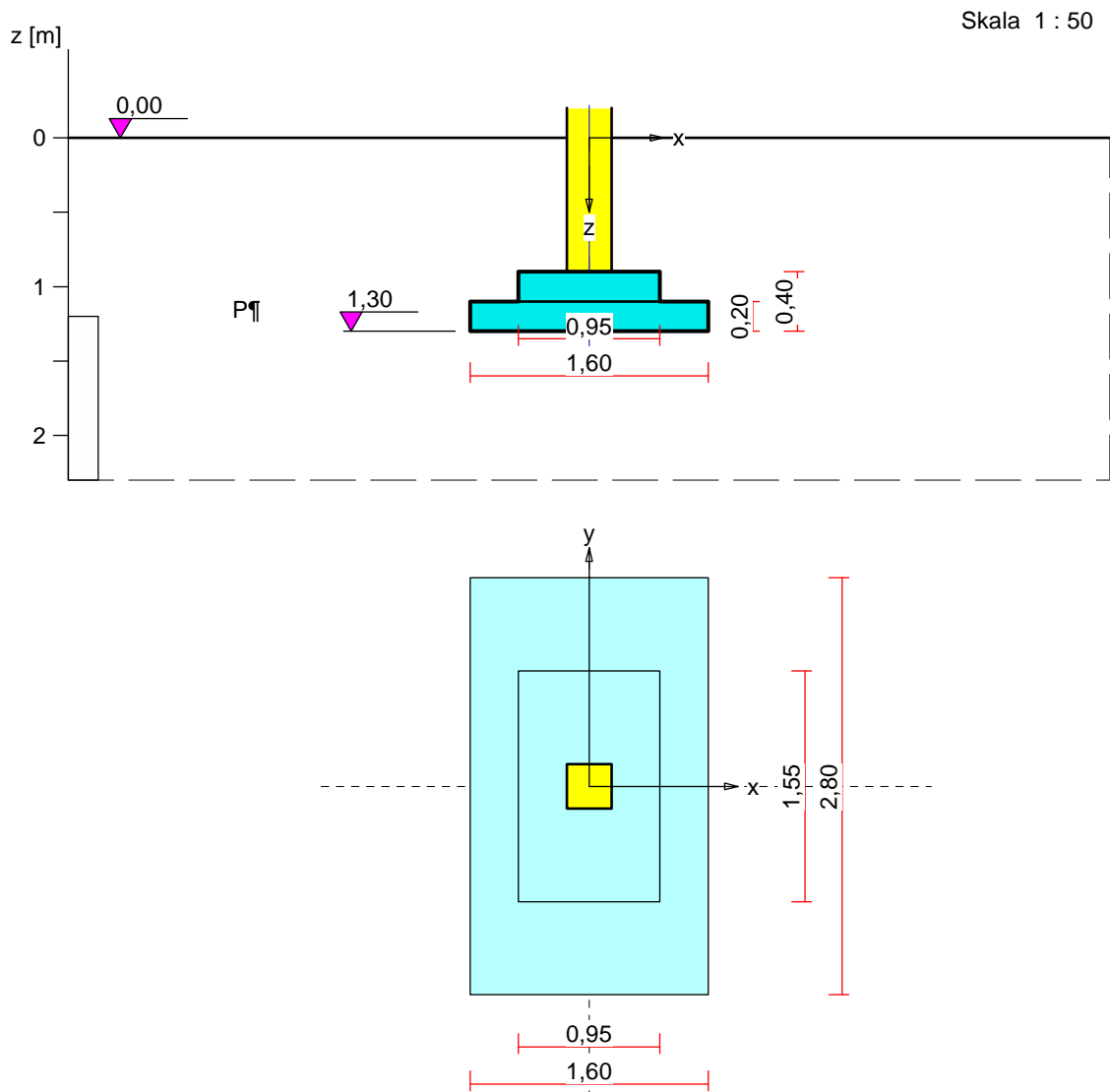
Średnica prętów: $\phi = 14 \text{ mm}$.

Konieczna liczba prętów: $L_{ys} = 10$.

Przyjęta liczba prętów: $L_{yr} = 10$ co $25,0/31,3 \text{ cm}$.



Poz.A.3.2. Stopa St2 – pod słupy w ścianach szczytowych



Warstwy gruntu

Lp.	Poziom stropu	Grubość warstwy	Nazwa gruntu	Poz. wody grunt.
	[m]	[m]		[m]
1	0,00	nieokreśl.	Piasek pylasty	1,20

Obciążenie od konstrukcji

Względny poziom przyłożenia obciążenia: $z_{obc} = 0,85$ m.

Lista obciążeń:

Lp	Rodzaj	N	H_x	H_y	M_x	M_y	γ
	obciążenia*	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[-]
1	D+K	5,8	0,0	19,1	-55,10	0,00	1,20
2	D+K	27,1	0,3	-0,1	0,90	0,90	1,20
3	D+K	18,7	0,0	-0,2	1,50	0,10	1,20
4	D+K	19,3	-0,1	18,7	-51,70	-0,20	1,20
5	D+K	-4,2	0,2	0,1	-0,90	0,70	1,20
6	D+K	18,6	0,0	-0,2	1,20	-0,10	1,20
7	D+K	6,2	0,0	18,8	-52,80	0,00	1,20

8	D+K	19,1	-0,1	-0,2	1,20	-0,20	1,20
9	D+K	20,8	-0,1	11,0	-42,50	-0,30	1,20
10	D+K	-2,5	0,2	0,0	-0,30	0,60	1,20
11	D+K	6,3	0,0	0,0	-0,10	0,00	1,20
12	D+K	21,3	-0,1	11,0	-42,50	-0,20	1,20
13	D+K	10,4	0,0	11,3	-44,20	-0,10	1,20
14	D+K	23,8	0,2	0,2	-1,60	0,60	1,20
15	D+K	10,2	0,0	0,0	0,00	-0,10	1,20
16	D+K	18,0	0,0	11,4	-44,80	0,00	1,20
17	D+K	5,7	0,0	0,0	0,00	0,00	1,20
18	D+K	10,5	0,0	11,3	-44,20	-0,10	1,20
19	D+K	23,7	0,2	0,2	-1,60	0,60	1,20
20	D+K	17,9	0,0	11,4	-44,80	0,00	1,20
21	D+K	10,3	0,0	0,0	0,00	-0,10	1,20

* D – obciążenia stałe, zmienne długotrwałe,
 D+K - obciążenia stałe, zmienne długotrwałe i krótkotrwałe.

Stan graniczny I

Zestawienie wyników analizy nośności i mimośrodów

Nr obc.	Rodzaj obciążenia	Poziom [m]	Wsp. nośności	Wsp. mimośr.
* 1	D+K	1,30	0,11	0,93
2	D+K	1,30	0,08	0,03
3	D+K	1,30	0,07	0,02
4	D+K	1,30	0,11	0,78
5	D+K	1,30	0,06	0,04
6	D+K	1,30	0,07	0,02
7	D+K	1,30	0,11	0,90
8	D+K	1,30	0,07	0,02
9	D+K	1,30	0,10	0,61
10	D+K	1,30	0,06	0,02
11	D+K	1,30	0,07	0,00
12	D+K	1,30	0,10	0,61
13	D+K	1,30	0,09	0,69
14	D+K	1,30	0,08	0,04
15	D+K	1,30	0,07	0,00
16	D+K	1,30	0,10	0,65
17	D+K	1,30	0,07	0,00
18	D+K	1,30	0,09	0,69
19	D+K	1,30	0,08	0,04
20	D+K	1,30	0,10	0,65
21	D+K	1,30	0,07	0,00

Analiza stanu granicznego I dla obciążenia nr 1

Wymiary podstawy fundamentu rzeczywistego: $B_x = 1,60$ m, $B_y = 2,80$ m.

Względny poziom posadowienia: $H = 1,30$ m.

Rodzaj obciążenia: D+K,

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji:


siła pionowa: $N = 5,80$ kN, mimośrodowo wzgl. podst. fund. $E_x = 0,00$ m, $E_y = 0,00$ m,

siła pozioma: $H_x = 0,00$ kN, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,45$ m,

siła pozioma: $H_y = 19,10$ kN, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,45$ m,

moment: $M_x = -55,10$ kNm, moment: $M_y = 0,00$ kNm.

Ciążar własny fundamentu, gruntu, posadzek, obciążenia posadzek:

 ul. Głowackiego 28 10-448 Olsztyn	PROJEKT WYKONAWCZY- KONSTRUKCJA ZADASZENIE NAD BOKSAMI NR 1 BARTOSZYCE	87 z 97
--	--	---------

siła pionowa: $G = 130,73 \text{ kN/m}$, momenty: $M_{Gx} = 0,00 \text{ kNm/m}$, $M_{Gy} = 0,00 \text{ kNm/m}$.

Uwaga: Przy sprawdzaniu położenia wypadkowej alternatywnie brano pod uwagę obciążenia obliczeniowe wyznaczone przy zastosowaniu dolnych współczynników obciążenia.

Sprawdzenie położenia wypadkowej obciążenia względem podstawy fundamentu

Obciążenie pionowe:

$$N_r = N + G = 5,80 + 130,73 = 136,53 \text{ kN}.$$

Momenty względem środka podstawy:

$$M_{rx} = N \cdot E_y - H_y \cdot E_z + M_x + M_{Gx} = 5,80 \cdot 0,00 - 19,10 \cdot 0,45 + (-55,10) + 0,00 = -63,70 \text{ kNm}.$$

$$M_{ry} = -N \cdot E_x + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy} = -5,80 \cdot 0,00 + 0,00 \cdot 0,45 + 0,00 + 0,00 = 0,00 \text{ kNm}.$$

Mimośrodowość sił względem środka podstawy:

$$e_{rx} = |M_{ry}/N_r| = 0,00/136,53 = 0,00 \text{ m},$$

$$e_{ry} = |M_{rx}/N_r| = 63,70/136,53 = 0,47 \text{ m}.$$

$$e_{rx}/B_x + e_{ry}/B_y = 0,000 + 0,234 = 0,234 \text{ m} < 0,250.$$

Wniosek: Warunek położenia wypadkowej jest spełniony.

Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

$$B'_x = B_x - 2 \cdot e_{rx} = 1,60 - 2 \cdot 0,00 = 1,60 \text{ m}, \quad B'_y = B_y - 2 \cdot e_{ry} = 2,80 - 2 \cdot 0,47 = 1,87 \text{ m}.$$

Obciążenie podłoża obok ławy (min. średnia gęstość dla pola 1):

$$\text{średnia gęstość obliczeniowa: } \rho_{D(r)} = 1,64 \text{ t/m}^3,$$

$$\text{minimalna wysokość: } D_{\min} = 1,30 \text{ m},$$

$$\text{obciążenie: } \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} = 1,64 \cdot 9,81 \cdot 1,30 = 20,97 \text{ kPa}.$$

Współczynniki nośności podłoża:

$$\text{obliczeniowy kąt tarcia wewnętrznego: } \Phi_{u(r)} = \Phi_{u(n)} \cdot \gamma_m = 29,90 \cdot 0,90 = 26,91^\circ,$$

$$\text{spójność: } c_{u(r)} = c_{u(n)} \cdot \gamma_m = 0,00 \text{ kPa},$$

$$N_B = 4,60 \quad N_C = 23,78, \quad N_D = 13,07.$$

Wpływ odchylenia wypadkowej obciążenia od pionu:

$$\text{tg } \delta_x = |H_x|/N_r = 0,00/136,53 = 0,00, \quad \text{tg } \delta_x/\text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,0000/0,5075 = 0,000,$$

$$i_{Bx} = 1,00, \quad i_{Cx} = 1,00, \quad i_{Dx} = 1,00.$$

$$\text{tg } \delta_y = |H_y|/N_r = 19,10/136,53 = 0,14, \quad \text{tg } \delta_y/\text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,1399/0,5075 = 0,276,$$

$$i_{By} = 0,61, \quad i_{Cy} = 0,75, \quad i_{Dy} = 0,77.$$

Ciężar objętościowy gruntu pod ławą fundamentową:

$$\rho_{B(n)} \cdot \gamma_m \cdot g = 0,95 \cdot 0,90 \cdot 9,81 = 8,42 \text{ kN/m}^3.$$

Współczynniki kształtu:

$$m_B = 1 - 0,25 \cdot B'_x/B'_y = 0,79, \quad m_C = 1 + 0,3 \cdot B'_x/B'_y = 1,26, \quad m_D = 1 + 1,5 \cdot B'_x/B'_y = 2,29$$

Odpór graniczny podłoża:

$$Q_{fNBx} = B'_x \cdot B'_y (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{Cx} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_{Dx} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B'_x \cdot i_{Bx}) = 2016,91 \text{ kN}.$$

$$Q_{fNBy} = B'_x \cdot B'_y (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{Cy} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_{Dy} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B'_y \cdot i_{By}) = 1552,45 \text{ kN}.$$

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

$$N_r = 136,53 \text{ kN} < m \cdot \min(Q_{fNBx}, Q_{fNBy}) = 0,81 \cdot 1552,45 = 1257,49 \text{ kN}.$$

Wniosek: warunek nośności jest spełniony.

Stan graniczny II

Osiadanie fundamentu

Osiadanie całkowite:

$$\text{Osiadanie pierwotne: } s' = 0,00 \text{ cm}.$$

$$\text{Osiadanie wtórne: } s'' = 0,00 \text{ cm}.$$

$$\text{Współczynnik stopnia odprężenia podłoża: } \lambda = 0.$$

$$\text{Osiadanie: } s = s' + \lambda \cdot s'' = 0,00 + 0 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ cm},$$

Sprawdzenie warunku osiadania:

Warunek nie jest określony.

Wymiarowanie fundamentu

Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na przebiecie

Nr obc.	Przekrój	Siła tnąca	Nośność betonu	Nośność strzemion
		V [kN]	V _r [kN]	V _s [kN]
1	1	31	207	–
	2	20	139	–
2	1	9	207	–
	2	5	139	–
3	1	6	207	–
	2	4	139	–
* 4	1	33	207	–
	2	21	139	–
5	1	2	221	–
	2	0	139	–
6	1	6	207	–
	2	4	139	–
7	1	30	207	–
	2	19	139	–
8	1	6	207	–
	2	4	139	–
9	1	28	207	–
	2	18	139	–
10	1	1	221	–
	2	0	139	–
11	1	2	207	–
	2	1	139	–
12	1	28	207	–
	2	18	139	–
13	1	25	207	–
	2	17	139	–
14	1	8	207	–
	2	5	139	–
15	1	3	207	–
	2	2	139	–
16	1	28	207	–
	2	18	139	–
17	1	2	207	–
	2	1	139	–
18	1	26	207	–
	2	17	139	–
19	1	8	207	–
	2	5	139	–
20	1	28	207	–
	2	18	139	–
21	1	3	207	–
	2	2	139	–

Sprawdzenie stopy na przebiecie dla obciążenia nr 4

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 19 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = -60,12 \text{ kNm}$, $M_{yr} = -0,25 \text{ kNm}$.

Mimośrodowy siły względem środka podstawy:

$$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,01 \text{ m}, \quad e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 3,11 \text{ m}.$$

Przebiecie stopy w przekroju 1:

Siła ścinająca: $V_{sd} = \int_{Ac} q \cdot dA = 33 \text{ kN}$.

Nośność betonu na ścinanie: $V_{Rd} = (b+d) \cdot d \cdot f_{ctd} = (0,30+0,33) \cdot 0,33 \cdot 1000 = 207 \text{ kN}$.

$$V_{sd} = 33 \text{ kN} < V_{Rd} = 207 \text{ kN}.$$

Wniosek: warunek na przebiecie jest spełniony.

Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na zginanie

Nr obc.	Kierunek	Przekrój	Moment zginający	Nośność przekroju
			M [kNm]	M_r [kNm]
1	x	1	1	110
	x	2	0	46
	y	1	30	67
	y	2	9	26
* 2	x	1	5	110
	x	2	1	46
	y	1	9	67
	y	2	2	26
3	x	1	3	110
	x	2	1	46
	y	1	6	67
	y	2	2	26
* 4	x	1	3	110
	x	2	1	46
	y	1	32	67
	y	2	9	26
5	x	1	-1	110
	x	2	0	46
	y	1	-2	67
	y	2	0	26
6	x	1	3	110
	x	2	1	46
	y	1	6	67
	y	2	1	26
7	x	1	1	110
	x	2	0	46
	y	1	29	67
	y	2	8	26
8	x	1	3	110
	x	2	1	46
	y	1	6	67
	y	2	1	26
9	x	1	3	110
	x	2	1	46
	y	1	27	67
	y	2	7	26
10	x	1	-1	110
	x	2	0	46
	y	1	-1	67
	y	2	0	26
11	x	1	1	110

	x	2	0	46
	y	1	2	67
	y	2	0	26
12	x	1	3	110
	x	2	1	46
	y	1	27	67
	y	2	8	26
13	x	1	2	110
	x	2	0	46
	y	1	25	67
	y	2	7	26
14	x	1	4	110
	x	2	1	46
	y	1	8	67
	y	2	2	26
15	x	1	2	110
	x	2	0	46
	y	1	3	67
	y	2	1	26
16	x	1	3	110
	x	2	1	46
	y	1	28	67
	y	2	8	26
17	x	1	1	110
	x	2	0	46
	y	1	2	67
	y	2	0	26
18	x	1	2	110
	x	2	0	46
	y	1	25	67
	y	2	7	26
19	x	1	4	110
	x	2	1	46
	y	1	8	67
	y	2	2	26
20	x	1	3	110
	x	2	1	46
	y	1	28	67
	y	2	8	26
21	x	1	2	110
	x	2	0	46
	y	1	3	67
	y	2	1	26

Uwaga: Momenty zginające wyznaczone metodą wsporników prostokątnych.

Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 2 na kierunku x

Zestawienie obciążeń:


Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 27 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = 0,95 \text{ kNm}$, $M_{yr} = 1,04 \text{ kNm}$.

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,04 \text{ m}$, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,03 \text{ m}$.

 ul. Głowackiego 28 10-448 Olsztyn	PROJEKT WYKONAWCZY- KONSTRUKCJA ZADASZENIE NAD BOKSAMi NR 1 BARTOSZYCE	91 z 97
--	--	---------

Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$$M_{sd} = (2 \cdot q_1 + q_s) \cdot B \cdot s^2 / 6 = (2 \cdot 7 + 6) \cdot 2,80 \cdot 0,48 / 6 = 5 \text{ kNm.}$$

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_s = 0,7 \text{ cm}^2$.

Przyjęta powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_{Rs} = 16,9 \text{ cm}^2$.

$$A_s = 0,7 \text{ cm}^2 < A_{Rs} = 16,9 \text{ cm}^2.$$

Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.

Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 4 na kierunku y

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 19 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = -60,12 \text{ kNm}$, $M_{yr} = -0,25 \text{ kNm}$.

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$$e_{xr} = |M_{yr} / N_r| = 0,01 \text{ m}, \quad e_{yr} = |M_{xr} / N_r| = 3,11 \text{ m}.$$

Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$$M_{sd} = (2 \cdot q_1 + q_s) \cdot B \cdot s^2 / 6 = (2 \cdot 33 + 6) \cdot 1,60 \cdot 1,68 / 6 = 32 \text{ kNm.}$$

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_s = 5,2 \text{ cm}^2$.

Przyjęta powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_{Rs} = 10,8 \text{ cm}^2$.

$$A_s = 5,2 \text{ cm}^2 < A_{Rs} = 10,8 \text{ cm}^2.$$

Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.

Zbrojenie stopy

Zbrojenie główne na kierunku x (dolna warstwa zbrojenia):

Średnica prętów: $\phi = 14 \text{ mm}$.

Konieczna liczba prętów: $L_{xs} = 11$.

Przyjęta liczba prętów: $L_{xr} = 11$ co $22,5/33,8 \text{ cm}$.

Zbrojenie główne na kierunku y (dolna warstwa zbrojenia):

Średnica prętów: $\phi = 14 \text{ mm}$.

Konieczna liczba prętów: $L_{ys} = 7$.

Przyjęta liczba prętów: $L_{yr} = 7$ co $25,0 \text{ cm}$.

Zbrojenie główne na kierunku x (górna warstwa zbrojenia):

Średnica prętów: $\phi = 14 \text{ mm}$.

Konieczna liczba prętów: $L_{xs} = 11$.

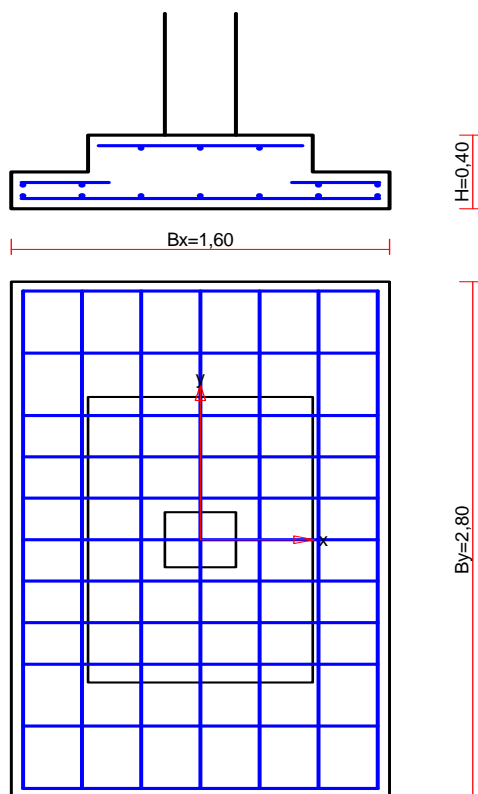
Przyjęta liczba prętów: $L_{xr} = 11$ co $22,5/33,8 \text{ cm}$.

Zbrojenie główne na kierunku y (górna warstwa zbrojenia):

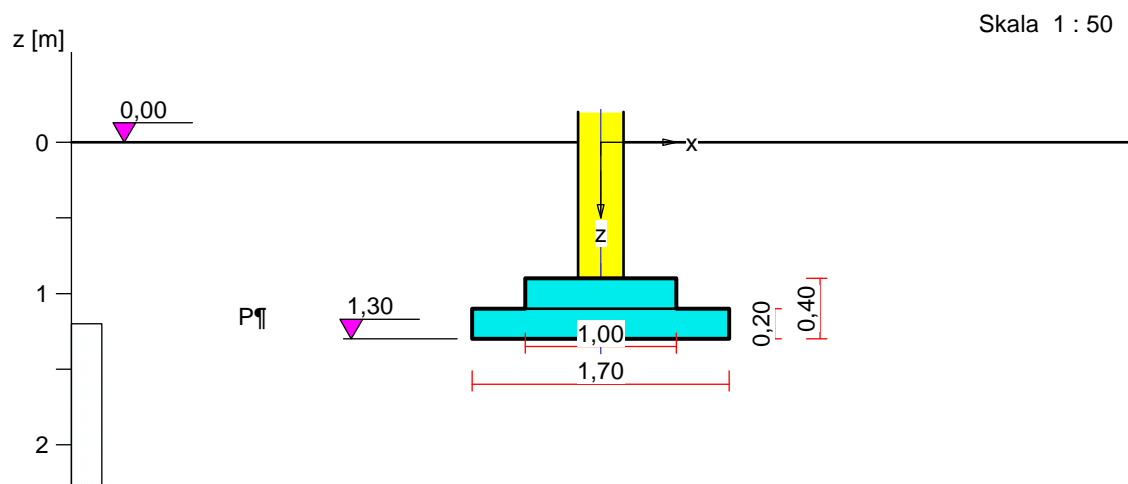
Średnica prętów: $\phi = 14 \text{ mm}$.

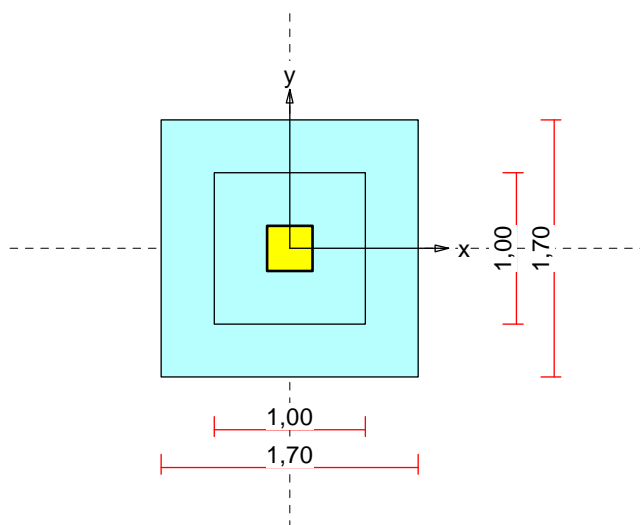
Konieczna liczba prętów: $L_{ys} = 7$.

Przyjęta liczba prętów: $L_{yr} = 7$ co $25,0 \text{ cm}$.



Poz.A.3.3. Stopa St3 – pod słupy w części niskiej





Warstwy gruntu

Lp.	Poziom stropu [m]	Grubość warstwy [m]	Nazwa gruntu	Poz. wody grunt. [m]
1	0,00	nieokreśl.	Piasek pylasty	1,20

Obciążenie od konstrukcji

Względny poziom przyłożenia obciążenia: $z_{obc} = 0,85$ m.

Lista obciążeń:

Lp	Rodzaj	N	H_x	H_y	M_x	M_y	γ
	obciążenia*	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[-]
1	D+K	16,3	-0,2	8,0	-16,30	-0,50	1,20
2	D+K	15,5	5,3	-0,8	1,70	5,50	1,20
3	D+K	15,6	5,3	-0,8	1,70	5,50	1,20
4	D+K	16,2	-0,2	8,0	-16,30	-0,50	1,20
5	D+K	22,5	-0,1	7,7	-16,00	-0,40	1,20
6	D+K	2,9	5,2	-0,5	1,30	5,50	1,20
7	D+K	12,1	-0,1	0,0	-0,20	-0,40	1,20
8	D+K	16,6	-0,6	0,5	-1,00	-1,40	1,20
9	D+K	1,7	5,8	-0,5	1,30	7,30	1,20
10	D+K	12,4	-0,5	11,8	-19,70	-1,20	1,20
11	D+K	0,9	0,0	11,3	-18,80	0,00	1,20
12	D+K	13,2	5,3	0,0	0,40	6,10	1,20

* D – obciążenia stałe, zmienne długotrwałe,

D+K - obciążenia stałe, zmienne długotrwałe i krótkotrwałe.

Stan graniczny I

Zestawienie wyników analizy nośności i mimośrodów

Nr obc.	Rodzaj obciążenia	Poziom [m]	Wsp. nośności	Wsp. mimośr.
1	D+K	1,30	0,10	0,64
2	D+K	1,30	0,08	0,32
3	D+K	1,30	0,08	0,32
4	D+K	1,30	0,10	0,64
5	D+K	1,30	0,10	0,58
6	D+K	1,30	0,07	0,36
7	D+K	1,30	0,06	0,02

8	D+K	1,30	0,06	0,09
9	D+K	1,30	0,07	0,45
10	D+K	1,30	0,13	0,88
* 11	D+K	1,30	0,12	0,94
12	D+K	1,30	0,07	0,29

Analiza stanu granicznego I dla obciążenia nr 11

Wymiary podstawy fundamentu rzeczywistego: $B_x = 1,70 \text{ m}$, $B_y = 1,70 \text{ m}$.

Względny poziom posadowienia: $H = 1,30 \text{ m}$.

Rodzaj obciążenia: D+K,

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji:

siła pionowa: $N = 0,90 \text{ kN}$, mimośrodów wzgl. podst. fund. $E_x = 0,00 \text{ m}$, $E_y = 0,00 \text{ m}$,

siła pozioma: $H_x = 0,00 \text{ kN}$, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,45 \text{ m}$,

siła pozioma: $H_y = 11,30 \text{ kN}$, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,45 \text{ m}$,

moment: $M_x = -18,80 \text{ kNm}$, moment: $M_y = 0,00 \text{ kNm}$.

Ciężar własny fundamentu, gruntu, posadzek, obciążenia posadzek:

siła pionowa: $G = 83,71 \text{ kN/m}$, momenty: $M_{Gx} = 0,00 \text{ kNm/m}$, $M_{Gy} = 0,00 \text{ kNm/m}$.

Uwaga: Przy sprawdzaniu położenia wypadkowej alternatywnie brano pod uwagę obciążenia obliczeniowe wyznaczone przy zastosowaniu dolnych współczynników obciążenia.

Sprawdzenie położenia wypadkowej obciążenia względem podstawy fundamentu

Obciążenie pionowe:

$$N_r = N + G = 0,90 + 83,71 = 84,61 \text{ kN}.$$

Momenty względem środka podstawy:

$$M_{rx} = N \cdot E_y - H_y \cdot E_z + M_x + M_{Gx} = 0,90 \cdot 0,00 - 11,30 \cdot 0,45 + (-18,80) + 0,00 = -23,89 \text{ kNm}.$$

$$M_{ry} = -N \cdot E_x + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy} = -0,90 \cdot 0,00 + 0,00 \cdot 0,45 + 0,00 + (0,00) = 0,00 \text{ kNm}.$$

Mimośrodów sił względem środka podstawy:

$$e_{rx} = |M_{ry}/N_r| = 0,00/84,61 = 0,00 \text{ m},$$

$$e_{ry} = |M_{rx}/N_r| = 23,89/84,61 = 0,28 \text{ m}.$$

$$e_{rx}/B_x + e_{ry}/B_y = 0,000 + 0,236 = 0,236 \text{ m} < 0,250.$$

Wniosek: Warunek położenia wypadkowej jest spełniony.

Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

$$B'_x = B_x - 2 \cdot e_{rx} = 1,70 - 2 \cdot 0,00 = 1,70 \text{ m}, \quad B'_y = B_y - 2 \cdot e_{ry} = 1,70 - 2 \cdot 0,28 = 1,14 \text{ m}.$$

Obciążenie podłoża obok ławy (min. średnia gęstość dla pola 1):

$$\text{średnia gęstość obliczeniowa: } \rho_{D(r)} = 1,64 \text{ t/m}^3,$$

$$\text{minimalna wysokość: } D_{\min} = 1,30 \text{ m},$$

$$\text{obciążenie: } \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} = 1,64 \cdot 9,81 \cdot 1,30 = 20,97 \text{ kPa}.$$

Współczynniki nośności podłoża:

$$\text{obliczeniowy kąt tarcia wewnętrznego: } \Phi_{u(r)} = \Phi_{u(n)} \cdot \gamma_m = 29,90 \cdot 0,90 = 26,91^\circ,$$

$$\text{spójność: } c_{u(r)} = c_{u(n)} \cdot \gamma_m = 0,00 \text{ kPa},$$

$$N_B = 4,60 \quad N_C = 23,78, \quad N_D = 13,07.$$

Wpływ odchylenia wypadkowej obciążenia od pionu:

$$\text{tg } \delta_x = |H_x|/N_r = 0,00/84,61 = 0,00, \quad \text{tg } \delta_x/\text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,0000/0,5075 = 0,000,$$

$$i_{Bx} = 1,00, \quad i_{Cx} = 1,00, \quad i_{Dx} = 1,00.$$

$$\text{tg } \delta_y = |H_y|/N_r = 11,30/84,61 = 0,13, \quad \text{tg } \delta_y/\text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,1336/0,5075 = 0,263,$$

$$i_{By} = 0,62, \quad i_{Cy} = 0,76, \quad i_{Dy} = 0,78.$$

Ciężar objętościowy gruntu pod ławą fundamentową:

$$\rho_{B(n)} \cdot \gamma_m \cdot g = 0,95 \cdot 0,90 \cdot 9,81 = 8,42 \text{ kN/m}^3.$$

Współczynniki kształtu:

$$m_B = 1 - 0,25 \cdot B'_y/B'_x = 0,83, \quad m_C = 1 + 0,3 \cdot B'_y/B'_x = 1,20, \quad m_D = 1 + 1,5 \cdot B'_y/B'_x = 2,00$$

Odpór graniczny podłoża:

$$Q_{fNBx} = B_x' \cdot B_y' (m_c \cdot N_c \cdot C_{u(r)} \cdot i_{cx} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{min} \cdot i_{Dx} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B_x' \cdot i_{Bx}) = 1165,03 \text{ kN.}$$

$$Q_{fNBy} = B_x' \cdot B_y' (m_c \cdot N_c \cdot C_{u(r)} \cdot i_{cy} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{min} \cdot i_{Dy} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B_y' \cdot i_{By}) = 875,23 \text{ kN.}$$

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

$$N_r = 84,61 \text{ kN} < m \cdot \min(Q_{fNBx}, Q_{fNBy}) = 0,81 \cdot 875,23 = 708,93 \text{ kN.}$$

Wniosek: warunek nośności jest spełniony.

Stan graniczny II

Osiadanie fundamentu

Osiadanie całkowite:

Osiadanie pierwotne: $s' = 0,00 \text{ cm.}$

Osiadanie wtórne: $s'' = 0,00 \text{ cm.}$

Współczynnik stopnia odprężenia podłoża: $\lambda = 0.$

Osiadanie: $s = s' + \lambda \cdot s'' = 0,00 + 0 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ cm,}$

Sprawdzenie warunku osiadania:

Dopuszczalne osiadanie: $s_{dop} = 1,00 \text{ cm.}$

$s = 0,00 \text{ cm} < s_{dop} = 1,00 \text{ cm}$

Wniosek: Warunek osiadania jest spełniony.

Wymiarowanie fundamentu

Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na przebiecie

Nr obc.	Przekrój	Siła tnąca	Nośność betonu	Nośność strzemion
		$V \text{ [kN]}$	$V_r \text{ [kN]}$	$V_s \text{ [kN]}$
1	1	12	207	–
	2	9	146	–
2	1	6	221	–
	2	4	163	–
3	1	6	221	–
	2	4	163	–
4	1	12	207	–
	2	9	146	–
5	1	13	207	–
	2	9	146	–
6	1	4	221	–
	2	3	163	–
7	1	2	207	–
	2	1	146	–
8	1	3	207	–
	2	2	146	–
9	1	5	221	–
	2	3	163	–
*10	1	14	207	–
	2	10	146	–
11	1	12	207	–
	2	8	146	–
12	1	6	221	–
	2	4	163	–

Sprawdzenie stopy na przebiecie dla obciążenia nr 10

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 12 \text{ kN,}$

momenty: $M_{xr} = -25,01 \text{ kNm,} \quad M_{yr} = -1,43 \text{ kNm.}$

Mimośrodowy siły względem środka podstawy:

$$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,11 \text{ m}, \quad e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 2,02 \text{ m}.$$

Przebiecie stopy w przekroju 2:

Siła ścinająca: $V_{sd0} = \int_{Ac0} q \cdot dA = 10 \text{ kN}$.

Nośność betonu na ścinanie: $V_{Rd0} = (B_0 + d_0) \cdot d_0 \cdot f_{ctd} = (1,00 + 0,13) \cdot 0,13 \cdot 1000 = 146 \text{ kN}$.

$$V_{sd0} = 10 \text{ kN} < V_{Rd0} = 146 \text{ kN}.$$

Wniosek: warunek na przebiecie jest spełniony.

Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na zginanie

Nr obc.	Kierunek	Przekrój	Moment zginający	Nośność przekroju
			M [kNm]	M_r [kNm]
1	x	1	3	70
	x	2	1	29
	y	1	11	67
	y	2	3	26
2	x	1	6	70
	x	2	1	29
	y	1	3	67
	y	2	1	26
* 3	x	1	6	70
	x	2	1	29
	y	1	3	67
	y	2	1	26
4	x	1	3	70
	x	2	1	29
	y	1	11	67
	y	2	3	26
5	x	1	4	70
	x	2	1	29
	y	1	12	67
	y	2	3	26
6	x	1	4	70
	x	2	1	29
	y	1	1	67
	y	2	0	26
7	x	1	2	70
	x	2	0	29
	y	1	2	67
	y	2	0	26
8	x	1	3	70
	x	2	1	29
	y	1	3	67
	y	2	1	26
9	x	1	4	70
	x	2	1	29
	y	1	1	67
	y	2	0	26
*10	x	1	3	70
	x	2	1	29
	y	1	12	67
	y	2	3	26
11	x	1	0	70

	x	2	0	29
	y	1	10	67
	y	2	3	26
12	x	1	6	70
	x	2	1	29
	y	1	2	67
	y	2	1	26

Uwaga: Momenty zginające wyznaczono metodą wsporników prostokątnych.

Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 3 na kierunku x

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 16 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = 2,06 \text{ kNm}$, $M_{yr} = 7,89 \text{ kNm}$.

Mimośrod y siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,51 \text{ m}$, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,13 \text{ m}$.

Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$M_{sd} = (2 \cdot q_1 + q_s) \cdot B \cdot s^2 / 6 = (2 \cdot 15 + 7) \cdot 1,70 \cdot 0,56 / 6 = 6 \text{ kNm}$.

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_s = 0,9 \text{ cm}^2$.

Przyjęta powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_{Rs} = 10,8 \text{ cm}^2$.

$A_s = 0,9 \text{ cm}^2 < A_{Rs} = 10,8 \text{ cm}^2$.

Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.

Zbrojenie stopy

Zbrojenie główne na kierunku x:

Średnica prętów: $\phi = 14 \text{ mm}$.

Konieczna liczba prętów: $L_{xs} = 7$.

Przyjęta liczba prętów: $L_{xr} = 7$ co 26,7 cm.

Zbrojenie główne na kierunku y:

Średnica prętów: $\phi = 14 \text{ mm}$.

Konieczna liczba prętów: $L_{ys} = 7$.

Przyjęta liczba prętów: $L_{yr} = 7$ co 26,7 cm.

PROJEKTANT KONSTRUKCJI

inż. Tomasz Sikorski

Upr. bud. WAM/0056/PWOK/08

Członek Warmińsko Mazurskiej
Izby Inżynierów Budownictwa
WAM / BO / 0177 / 08