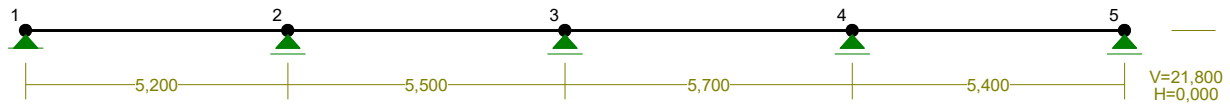


Obliczenia statyczne

Poz.1.1Płatwie stalowe

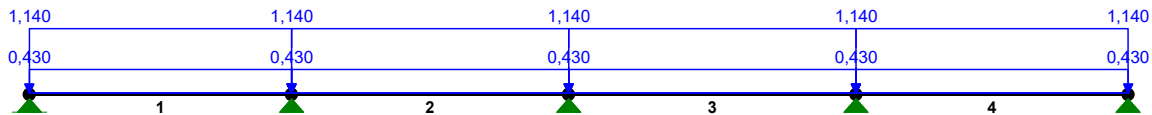
WEZŁY: Skala 1:150



WEZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:	Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000	4	16,400	0,000
2	5,200	0,000	5	21,800	0,000
3	10,700	0,000			

OBCIĄŻENIA: Skala 1:150



OBCIĄŻENIA: ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1 (Tg):	P2 (Td):	a [m]:	b [m]:
Grupa:	CW	"Ciężar własny"	Stałe	$\gamma_f = 1,10$		
Grupa:	A	""	Stałe	$\gamma_f = 1,20$		
1	Liniowe	0,0	0,430	0,430	0,00	5,20
2	Liniowe	0,0	0,430	0,430	0,00	5,50
3	Liniowe	0,0	0,430	0,430	0,00	5,70
4	Liniowe	0,0	0,430	0,430	0,00	5,40
Grupa:	S	""	Zmienne	$\gamma_f = 1,50$		
1	Liniowe	0,0	1,140	1,140	0,00	5,20
Grupa:	T	""	Zmienne	$\gamma_f = 1,50$		
4	Liniowe	0,0	1,140	1,140	0,00	5,40
Grupa:	W	""	Zmienne	$\gamma_f = 1,50$		
2	Liniowe	0,0	1,140	1,140	0,00	5,50
Grupa:	X	""	Zmienne	$\gamma_f = 1,50$		
3	Liniowe	0,0	1,140	1,140	0,00	5,70

OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa:	Znaczenie:	γ_f :	ψ_d :
CW-"Ciężar własny"	Stałe	1,10	
A -""	Stałe	1,20	
S -""	Zmienne	1 1,50	1,00
T -""	Zmienne	1 1,50	1,00

W -""	Zmienne	1	1,50	1,00
X -""	Zmienne	1	1,50	1,00

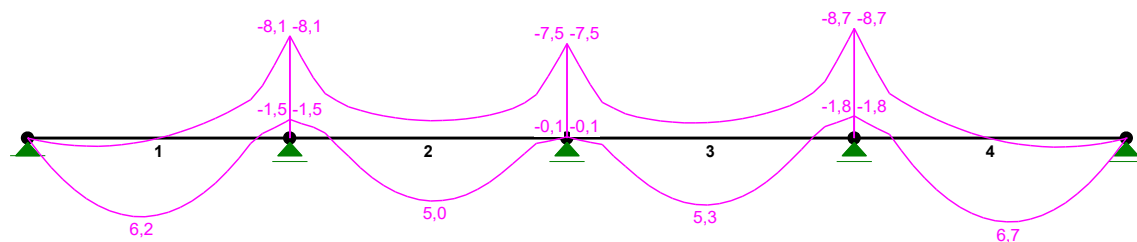
RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

Grupa obc.:	Relacje:
Ciężar wł.	ZAWSZE
CW -"Ciężar własny"	EWENTUALNIE
A -""	EWENTUALNIE
S -""	EWENTUALNIE
T -""	EWENTUALNIE
W -""	EWENTUALNIE
X -""	EWENTUALNIE

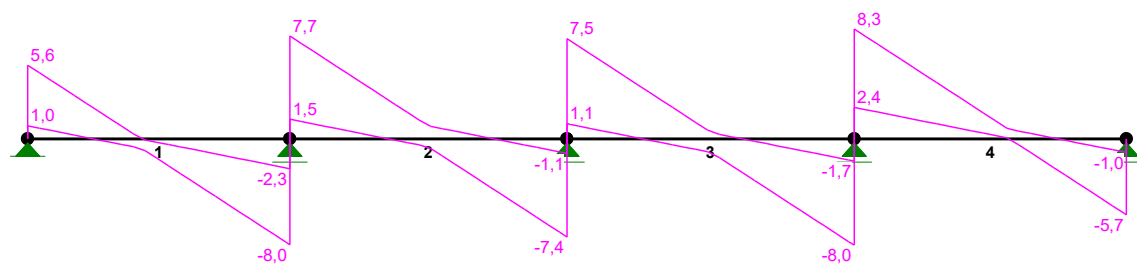
KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

Nr:	Specyfikacja:
1	ZAWSZE : CW+A EWENTUALNIE: S+T+W+X

MOMENTY-OBWIEDNIE: Skala 1:150



TNĄCE-OBWIEDNIE: Skala 1:150



SILY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Pręt: x[m]: M[kNm]: Q[kN]: N[kN]: Kombinacja obciążeń:

1	2,275	6,2*	-0,1	0,0	CW ASX
	5,200	-8,1*	-8,0	0,0	CW ASTW
	5,200	-8,1	-8,0*	0,0	CW ASTW
	5,200	-8,1	-8,0	0,0*	CW ASTW
	2,275	6,2	-0,1	0,0*	CW ASX
	5,200	-8,1	-8,0	0,0*	CW ASTW
	2,275	6,2	-0,1	0,0*	CW ASX

2	2,750	5,0*	0,3	0,0	CW ATW
	0,000	-8,1*	7,7	0,0	CW ASTW
	0,000	-8,1	7,7*	0,0	CW ASTW
	0,000	-8,1	7,7	0,0*	CW ASTW
	2,750	5,0	0,3	0,0*	CW ATW
	0,000	-8,1	7,7	0,0*	CW ASTW
	2,750	5,0	0,3	0,0*	CW ATW
3	2,850	5,3*	-0,3	0,0	CW ASX
	5,700	-8,7*	-8,0	0,0	CW ASTX
	5,700	-8,7	-8,0*	0,0	CW ASTX
	5,700	-8,7	-8,0	0,0*	CW ASTX
	2,850	5,3	-0,3	0,0*	CW ASX
	5,700	-8,7	-8,0	0,0*	CW ASTX
	2,850	5,3	-0,3	0,0*	CW ASX
4	3,038	6,7*	0,1	0,0	CW ATW
	0,000	-8,7*	8,3	0,0	CW ASTX
	0,000	-8,7	8,3*	0,0	CW ASTX
	0,000	-8,7	8,3	0,0*	CW ASTX
	3,038	6,7	0,1	0,0*	CW ATW
	0,000	-8,7	8,3	0,0*	CW ASTX
	3,038	6,7	0,1	0,0*	CW ATW

* = Wartości ekstremalne

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Węzeł: H[kN]: V[kN]: R[kN]: M[kNm]: Kombinacja obciążeń:

1	0,0*	5,6	5,6		CW ASX
	0,0*	1,0	1,0		CW ATW
	0,0*	1,5	1,5		CW A
	0,0	5,6*	5,6		CW ASX
	0,0	1,0*	1,0		CW ATW
	0,0	5,6	5,6*		CW ASX
2	0,0*	15,7	15,7		CW ASTW
	0,0*	3,7	3,7		CW AX
	0,0*	4,6	4,6		CW A
	0,0	15,7*	15,7		CW ASTW
	0,0	3,7*	3,7		CW AX
	0,0	15,7	15,7*		CW ASTW
3	0,0*	15,0	15,0		CW AWX
	0,0*	2,2	2,2		CW AST
	0,0*	4,0	4,0		CW A
	0,0	15,0*	15,0		CW AWX
	0,0	2,2*	2,2		CW AST
	0,0	15,0	15,0*		CW AWX
4	0,0*	16,3	16,3		CW ASTX
	0,0*	4,0	4,0		CW AW
	0,0*	4,8	4,8		CW A
	0,0	16,3*	16,3		CW ASTX
	0,0	4,0*	4,0		CW AW
	0,0	16,3	16,3*		CW ASTX
5	0,0*	5,7	5,7		CW ATW
	0,0*	1,0	1,0		CW ASX
	0,0*	1,6	1,6		CW A
	0,0	5,7*	5,7		CW ATW
	0,0	1,0*	1,0		CW ASX
	0,0	5,7	5,7*		CW ATW

* = Wartości ekstremalne

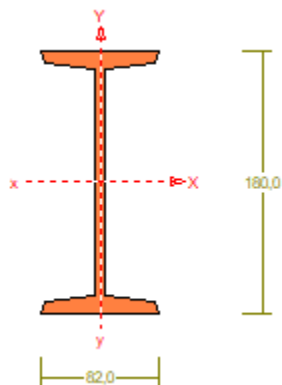
REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu Obciążenia char.: "Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,0*	4,0	4,0		CW ASX
	0,0*	0,9	0,9		CW ATW
	0,0*	1,3	1,3		CW A
	0,0	4,0*	4,0		CW ASX
	0,0	0,9*	0,9		CW ATW
	0,0	4,0	4,0*		CW ASX
2	0,0*	11,4	11,4		CW ASTW
	0,0*	3,4	3,4		CW AX
	0,0*	3,9	3,9		CW A
	0,0	11,4*	11,4		CW ASTW
	0,0	3,4*	3,4		CW AX
	0,0	11,4	11,4*		CW ASTW
3	0,0*	10,7	10,7		CW AWX
	0,0*	2,3	2,3		CW AST
	0,0*	3,5	3,5		CW A
	0,0	10,7*	10,7		CW AWX
	0,0	2,3*	2,3		CW AST
	0,0	10,7	10,7*		CW AWX
4	0,0*	11,8	11,8		CW ASTX
	0,0*	3,6	3,6		CW AW
	0,0*	4,1	4,1		CW A
	0,0	11,8*	11,8		CW ASTX
	0,0	3,6*	3,6		CW AW
	0,0	11,8	11,8*		CW ASTX
5	0,0*	4,1	4,1		CW ATW
	0,0*	1,0	1,0		CW ASX
	0,0*	1,4	1,4		CW A
	0,0	4,1*	4,1		CW ATW
	0,0	1,0*	1,0		CW ASX
	0,0	4,1	4,1*		CW ATW

* = Wartości ekstremalne

Pręt nr 4

Przekrój: I 180 Wymiary przekroju: I 180 h=180,0 g=6,9 s=82,0 t=10,3 r=6,9. Charakterystyka geometryczna przekroju: J_{xg}=1450,0 J_{yg}=81,3 A=27,90 i_x=7,2 i_y=1,7 J_w=5835,8 J_t=9,0 i_s=7,4.ateriał: St3S (X,Y,V,W). Wytrzymałość **f_d=215 MPa** dla **g=10,3**.Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.



Siły przekrojowe:

$x_a = 3,038$; $x_b = 2,363$.

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **CW ATW**

Obciążenia działające prostopadłe do płaszczyzny układu: momenty przywęzłowe $M_a = 0,0$ i $M_b = 0,0$ kNm, obciążenie rozłożone na całej długości pręta $q = 0,2$ kN/m. Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla tych obciążeń wynosi $\gamma_f = 1,430$.

$$\begin{aligned} M_x &= -6,7 \text{ kNm}, & V_y &= 0,1 \text{ kN}, & N &= 0,0 \text{ kN}, \\ M_y &= 1,2 \text{ kNm}, & V_x &= -0,1 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 100,8$ MPa $\sigma_c = -100,8$ MPa.

Naprężenia: $x_a = 3,038$; $x_b = 2,363$.

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 100,8$ MPa $\sigma_c = -100,8$ MPa.

Naprężenia:

$$\begin{aligned} - \text{normalne:} & \quad \sigma = 0,0 \quad \Delta\sigma = 100,8 \text{ MPa} & \quad \psi_{oc} &= 1,000 \\ - \text{ściananie wzdłuż osi Y:} & \quad A_v = 12,42 \text{ cm}^2 & \quad \tau &= 0,1 \text{ MPa} & \quad \psi_{ov} &= 1,000 \\ - \text{ściananie wzdłuż osi X:} & \quad A_v = 16,96 \text{ cm}^2 & \quad \tau &= 0,1 \text{ MPa} & \quad \psi_{ov} &= 1,000 \end{aligned}$$

Warunki nośności:

$$\begin{aligned} \sigma_{ec} &= \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,0 / 1,000 + 100,8 = \mathbf{100,8 < 215} \text{ MPa} \\ \tau_{ey} &= \tau / \psi_{ov} = 0,1 / 1,000 = \mathbf{0,1 < 124,7 = 0,58 \times 215} \text{ MPa} \\ \tau_{ex} &= \tau / \psi_{ov} = 0,1 / 1,000 = \mathbf{0,1 < 124,7 = 0,58 \times 215} \text{ MPa} \\ \sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} &= \sqrt{100,8^2 + 3 \times 0,1^2} = \mathbf{100,8 < 215} \text{ MPa} \end{aligned}$$

Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\kappa_a = 0,345 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,775 \quad \text{dla } l_0 = 5,400$$
$$l_w = 0,775 \times 5,400 = 4,185 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 5,400$$
$$l_w = 1,000 \times 5,400 = 5,400 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 5,400$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 5,400$ m.

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1450,0}{4,185^2} 10^{-2} = 1675,1 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 81,3}{5,400^2} 10^{-2} = 56,4 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{7,4^2} \left(\frac{3,14^2 \times 205 \times 5835,8}{5,400^2} 10^{-2} + 80 \times 9,0 \times 10^2 \right) = 1384,3 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem $l_1 = l_{\omega\omega} = 5400$ mm:

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 17}{0,415} \times \sqrt{215 / 215} = 1442 < 5400 = l_I$$

Konieczne jest sprawdzenie zwiczenia pręta.

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 zwiczenia: $A_1 = 0,610$, $A_2 = 0,530$, $B = 1,140$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,610 \times 0,00 + 0,530 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 56,4 + \sqrt{(0,000 \times 56,4)^2 + 1,140^2 \times 0,074^2 \times 56,4 \times 1384,3} = 23,6$$

Smukłość względna dla zwiczenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{34,6 / 23,6} = 1,393$$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 3,038$; $x_b = 2,363$.

$$\text{- względem osi X} \quad M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 161,1 \times 215 \times 10^{-3} = 34,6 \text{ kNm}$$

$$\text{- względem osi Y} \quad M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 19,8 \times 215 \times 10^{-3} = 4,3 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwiczenia dla $\bar{\lambda}_L = 1,393$ wynosi $\varphi_L = 0,481$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{6,7}{0,481 \times 34,6} + \frac{1,2}{4,3} = 0,676 < 1$$

Nośność przekroju na ścinanie: $x_a = 0,000$; $x_b = 5,400$.

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A V f_d = 0,58 \times 12,4 \times 215 \times 10^{-1} = 154,9 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 92,9 \text{ kN}$$

- wzdłuż osi X

$$V_R = 0,58 A V f_d = 0,58 \times 17,0 \times 215 \times 10^{-1} = 211,4 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,3 V_R = 63,4 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y:} \quad V = 7,6 < 154,9 = V_R$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi X:} \quad V = 0,9 < 211,4 = V_R$$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 3,038$; $x_b = 2,363$.

$$\text{- dla zginania względem osi X: } V_y = 0,1 < 92,9 = V_o \quad M_R, V = M_R = 34,6 \text{ kNm}$$

$$\text{- dla zginania względem osi Y: } V_x = 0,1 < 63,4 = V_o \quad M_R, V = M_R = 4,3 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{Rx, V}} + \frac{M_y}{M_{Ry, V}} = \frac{6,7}{34,6} + \frac{1,2}{4,3} = 0,469 < 1$$

Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 4,3 \text{ mm} \quad a_{gr} = l / 200 = 5400 / 200 = 27,0 \text{ mm} \quad a_{\max} = 4,3 < 27,0 = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą: $a_{\max} = 15,3 \text{ mm}$ $a_{gr} = l / 200 = 5400 / 200 = 27,0 \text{ mm}$

$$a_{\max} = 15,3 < 27,0 = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = \sqrt{15,3^2 + 4,3^2} = 15,9$$

Poz.1.2 Płatwie stalowe

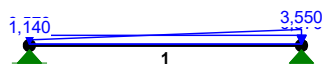
WEZŁY: Skala 1:150



WEZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000
2	5,400	0,000

OBCIĄŻENIA: Skala 1:150



OBCIĄŻENIA: ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1 (Tg):	P2 (Td):	a [m]:	b [m]:
Grupa:	CW	"Ciężar własny"		Stałe	$\gamma_f = 1,10$	
Grupa:	A	"		Stałe	$\gamma_f = 1,20$	
1	Liniowe	0,0	0,570	0,570	0,00	5,40
Grupa:	S	"		Zmienne	$\gamma_f = 1,50$	
1	Liniowe	0,0	1,140	3,550	0,00	5,40

OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa:	Znaczenie:	γ_f :	ψ_d :
CW-"Ciężar własny"	Stałe	1,10	
A -"	Stałe	1,20	
S -"	Zmienne	1 1,50	1,00

RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

Grupa obc.:	Relacje:
Ciężar wł.	ZAWSZE

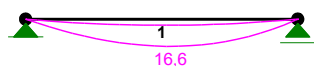
CW -"Ciężar własny"	EWENTUALNIE
A -""	EWENTUALNIE
S -""	EWENTUALNIE

KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

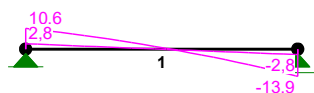
Nr: Specyfikacja:

1	ZAWSZE	: CW+A
	EWENTUALNIE:	S

MOMENTY-OBWIEDNIE: Skala 1:150



TNĄCE-OBWIEDNIE: Skala 1:150



SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Pręt: x[m]:	M[kNm]:	Q[kN]:	N[kN]:	Kombinacja obciążeń:
1	3,038	16,6*	-0,8	0,0 CW AS
	5,400	0,0*	-13,9	0,0 CW AS
	0,000	0,0*	2,8	0,0 CW A
	5,400	0,0	-13,9*	0,0 CW AS
	5,400	0,0	-13,9	0,0* CW AS
	3,038	16,6	-0,8	0,0* CW AS
	0,000	0,0	2,8	0,0* CW A
	5,400	0,0	-13,9	0,0* CW AS
	3,038	16,6	-0,8	0,0* CW AS
	0,000	0,0	2,8	0,0* CW A

* = Wartości ekstremalne

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,0*	10,6	10,6		CW AS
	0,0*	2,8	2,8		CW A
	0,0	10,6*	10,6		CW AS
	0,0	2,8*	2,8		CW A
	0,0	10,6	10,6*		CW AS
2	0,0*	13,9	13,9		CW AS
	0,0*	2,8	2,8		CW A
	0,0	13,9*	13,9		CW AS
	0,0	2,8*	2,8		CW A
	0,0	13,9	13,9*		CW AS

* = Wartości ekstremalne

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia char.: "Kombinacja obciążeń"

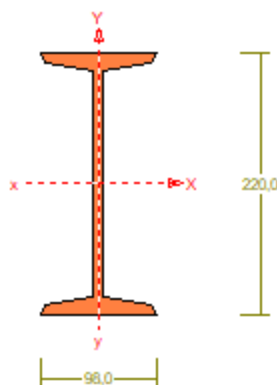
Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,0*	7,6	7,6		CW AS
	0,0*	2,4	2,4		CW A
	0,0	7,6*	7,6		CW AS
	0,0	2,4*	2,4		CW A
	0,0	7,6	7,6*		CW AS
2	0,0*	9,8	9,8		CW AS
	0,0*	2,4	2,4		CW A
	0,0	9,8*	9,8		CW AS
	0,0	2,4*	2,4		CW A
	0,0	9,8	9,8*		CW AS

* = Wartości ekstremalne

Pręt nr 1

Zadanie: Poz1,2Płatwie Przekrój: I 220 Wymiary przekroju: I 220 h=220,0 g=8,1 s=98,0 t=12,2 r=8,1.

Charakterystyka geometryczna przekroju: $J_{xg}=3060,0$ $J_{yg}=162,0$ $A=39,60$ $i_x=8,8$ $i_y=2,0$ $J_w=17577,3$ $J_t=17,6$ $i_s=9,0$. Materiał: **St3S (X,Y,V,W)**. Wytrzymałość **$f_d=215$ MPa** dla **$g=12,2$** . Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

**Siły przekrojowe:** $x_a = 2,700$; $x_b = 2,700$. Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **CW AS**

Obciążenia działające prostopadle do płaszczyzny układu: momenty przywęzłowe $M_a = 0,0$ i $M_b = 0,0$ kNm, obciążenie rozłożone na całej długości pręta $q = 0,4$ kN/m. Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla tych obciążeń wynosi $\gamma_f = 1,420$.

$$M_x = -16,6 \text{ kNm}, \quad V_y = 0,8 \text{ kN}, \quad N = 0,0 \text{ kN},$$

$$M_y = 2,3 \text{ kNm}, \quad V_x = 0,0 \text{ kN}.$$

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 128,4 \text{ MPa}$ $\sigma_c = -128,4 \text{ MPa}$.**Naprężenia:** $x_a = 2,700$; $x_b = 2,700$.Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 128,4 \text{ MPa}$ $\sigma_c = -128,4 \text{ MPa}$.

Naprężenia:

$$\text{- normalne: } \sigma = 0,0 \quad \Delta\sigma = 128,4 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } A_v = 17,82 \text{ cm}^2 \quad \tau = 0,5 \text{ MPa} \quad \psi_{ov} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,0 / 1,000 + 128,4 = \mathbf{128,4 < 215 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 0,5 / 1,000 = \mathbf{0,5 < 124,7 = 0,58 \times 215 \text{ MPa}}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{128,4^2 + 3 \times 0,0^2} = 128,4 < 215 \text{ MPa}$$

Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 5,400$$

$$l_w = 1,000 \times 5,400 = 5,400 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 5,400$$

$$l_w = 1,000 \times 5,400 = 5,400 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 5,400 \text{ m}$. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 5,400 \text{ m}$.

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 3060,0}{5,400^2} 10^{-2} = 2123,2 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 162,0}{5,400^2} 10^{-2} = 112,4 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{9,0^2} \left(\frac{3,14^2 \times 205 \times 17577,3}{5,400^2} 10^{-2} + 80 \times 17,6 \times 10^2 \right) = 1883,9 \text{ kN}$$

Zwichrzenie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem $l_1 = l_{\omega\omega} = 5400 \text{ mm}$:

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 20}{0,400} \times \sqrt{215 / 215} = 1767 < 5400 = l_1$$

Konieczne jest sprawdzenie zwichrzenia pręta.

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: $A_1 = 0,610$, $A_2 = 0,530$, $B = 1,140$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,610 \times 0,00 + 0,530 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 112,4 + \sqrt{(0,000 \times 112,4)^2 + 1,140^2 \times 0,090^2 \times 112,4 \times 1883,9} = 47,3$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{59,8 / 47,3} = 1,293$$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 2,700$; $x_b = 2,700$.

- względem osi X $M_R = \alpha_p W f d = 1,000 \times 278,2 \times 215 \times 10^{-3} = 59,8 \text{ kNm}$

- względem osi Y $M_R = \alpha_p W f d = 1,000 \times 33,1 \times 215 \times 10^{-3} = 7,1 \text{ kNm}$

Współczynnik zwichrzenia dla $\bar{\lambda}_L = 1,293$ wynosi $\varphi_L = 0,542$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{16,6}{0,542 \times 59,8} + \frac{2,3}{7,1} = 0,831 < 1$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 5,400$; $x_b = 0,000$.

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A V f d = 0,58 \times 17,8 \times 215 \times 10^{-1} = 222,2 \text{ kN}$$

$$V_0 = 0,6 V_R = 133,3 \text{ kN}$$

- wzdłuż osi X

$$V_R = 0,58 A V f d = 0,58 \times 23,9 \times 215 \times 10^{-1} = 297,7 \text{ kN}$$

$$V_0 = 0,3 V_R = 89,3 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } V = 13,9 < 222,2 = V_R$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi X: } V = 1,7 < 297,7 = V_R$$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 2,700$; $x_b = 2,700$.

- dla zginania względem osi X: $V_y = 0,8 < 133,3 = V_0$

$$M_{R,V} = M_R = 59,8 \text{ kNm}$$

- dla zginania względem osi Y: $V_x = 0,0 < 89,3 = V_0$

$$M_{R,V} = M_R = 7,1 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{Rx,V}} + \frac{M_y}{M_{Ry,V}} = \frac{16,6}{59,8} + \frac{2,3}{7,1} = 0,597 < 1$$

Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 5,7 \text{ mm} \quad a_{gr} = l / 200 = 5400 / 200 = 27,0 \text{ mm} \quad a_{\max} = 5,7 < 27,0 = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą: $a_{\max} = 14,7 \text{ mm}$ $a_{gr} = l / 200 = 5400 / 200 = 27,0 \text{ mm}$

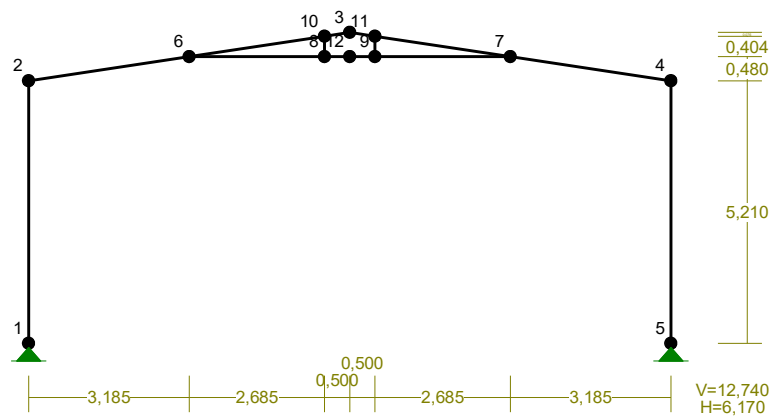
$$a_{\max} = 14,7 < 27,0 = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = \sqrt{14,7^2 + 5,7^2} = 15,7$$

Poz.2.1 Rama stalowa

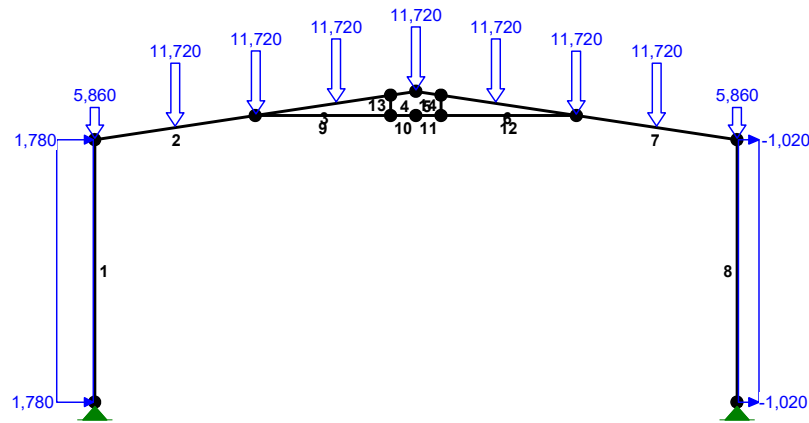
WEZŁY: Skala 1:150



WEZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:	Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000	7	9,555	5,690
2	0,000	5,210	8	5,870	5,690
3	6,370	6,170	9	6,870	5,690
4	12,740	5,210	10	5,870	6,094
5	12,740	0,000	11	6,870	6,095
6	3,185	5,690	12	6,370	5,690

OBCIĄŻENIA: Skala 1:150



OBCIĄŻENIA: ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1 (Tg):	P2 (Td):	a [m]:	b [m]:
Grupa:	CW	"Ciężar własny"		Stałe	$\gamma_f = 1,10$	
Grupa:	A	"		Stałe	$\gamma_f = 1,39$	
2	Skupione	0,0	5,860		0,00	
2	Skupione	0,0	11,720		1,61	
3	Skupione	0,0	11,720		1,62	
3	Skupione	0,0	11,720		0,01	
5	Skupione	0,0	11,720		0,00	
6	Skupione	0,0	11,720		1,10	
6	Skupione	0,0	11,720		2,71	

7	Skupione	0,0	11,720	1,61
7	Skupione	0,0	5,860	3,22

Grupa:	W	""		Zmienne	$\gamma_f = 1,50$	
1	Linowe	90,0	1,780	1,780	0,00	5,21
8	Linowe	-90,0	-1,020	-1,020	0,00	5,21

OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa:	Znaczenie:	γ_f :	ψ_d :
CW-"Ciężar własny"	Stałe	1,10	
A -""	Stałe	1,39	
W -""	Zmienne	1 1,50	1,00

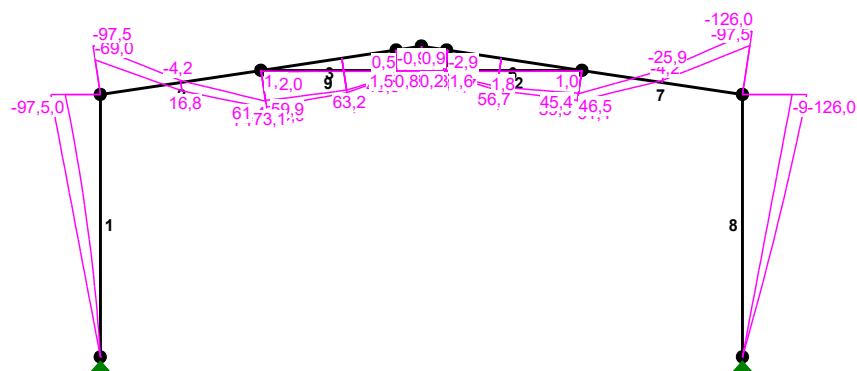
RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

Grupa obc.:	Relacje:
Ciężar wł.	ZAWSZE
CW -"Ciężar własny"	EWENTUALNIE
A -""	EWENTUALNIE
W -""	EWENTUALNIE

KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

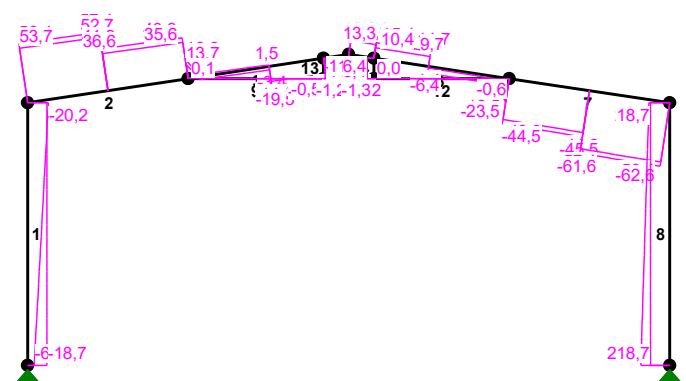
Nr:	Specyfikacja:
1	ZAWSZE : CW+A EWENTUALNIE: W

MOMENTY-OBWIEDNIE: Skala 1:150



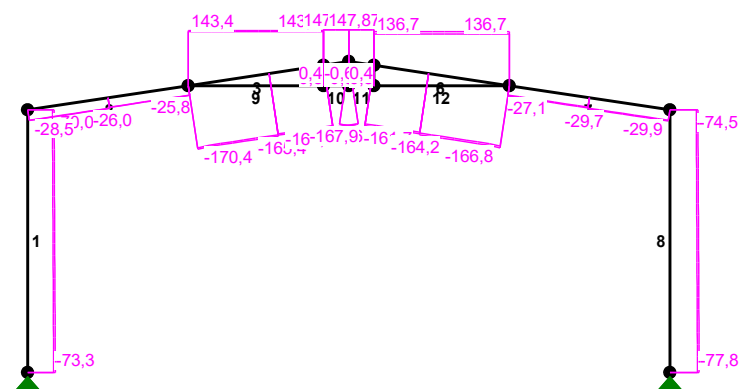
TNĄCE-OBWIEDNIE:

Skala 1:150



NORMALNE-OBWIEDNIE:

Skala 1:150



SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Pręt: x[m]: M[kNm]: Q[kN]: N[kN]: Kombinacja obciążeń:

1	0,000	0,0*	-18,7	-73,3	CW A
	0,000	0,0*	-6,3	-68,8	CW AW
	5,210	-97,5*	-18,7	-70,0	CW A
	5,210	-69,0	-20,2*	-65,5	CW AW
	5,210	-69,0	-20,2	-65,5*	CW AW
	0,000	0,0	-18,7	-73,3*	CW A
2	3,221	74,9*	35,6	-25,8	CW AW
	0,000	-97,5*	58,4	-27,7	CW A
	0,000	-97,5	58,4*	-27,7	CW A
	3,221	61,4	40,3	-25,0*	CW A
	0,000	-69,0	53,7	-28,5*	CW AW
3	0,010	73,1*	13,7	-170,4	CW AW
	0,010	73,1*	-2,4	-167,9	CW AW
	2,715	46,8*	-20,2	-165,3	CW AW
	2,715	46,8	-20,2*	-165,3	CW AW
	2,715	46,8	-15,3	-161,6*	CW A
	0,000	73,0	13,7	-170,4*	CW AW
4	0,000	46,3*	-20,1	-166,8	CW AW
	0,506	36,0*	-20,4	-166,8	CW AW
	0,506	36,0	-20,4*	-166,8	CW AW

	0,506	36,0	-20,4	-166,8*	CW AW
	0,000	45,1	-17,0	-167,9*	CW A
5	0,506	44,9*	16,6	-167,9	CW A
	0,000	36,0*	13,6	-167,8	CW AW
	0,000	36,5	16,9*	-167,9	CW A
	0,000	36,0	13,6	-167,8*	CW AW
	0,506	44,9	16,6	-167,9*	CW A
6	1,097	63,1*	14,7	-161,8	CW A
	1,097	63,1*	-1,4	-164,2	CW A
	2,715	45,4*	-23,5	-162,3	CW AW
	2,715	45,4	-23,5*	-162,3	CW AW
	0,000	45,7	10,4	-157,2*	CW AW
	2,715	59,9	-18,5	-166,8*	CW A
7	0,000	61,4*	-40,3	-25,0	CW A
	3,221	-126,0*	-62,6	-29,9	CW AW
	3,221	-126,0	-62,6*	-29,9	CW AW
	0,000	61,4	-40,3	-25,0*	CW A
	3,221	-126,0	-62,6	-29,9*	CW AW
8	5,210	0,0*	28,2	-77,8	CW AW
	5,210	0,0*	18,7	-73,3	CW A
	0,000	-126,0*	20,2	-74,5	CW AW
	5,210	0,0	28,2*	-77,8	CW AW
	0,000	-97,5	18,7	-70,0*	CW A
	5,210	0,0	28,2	-77,8*	CW AW
9	0,671	2,0*	0,0	146,2	CW AW
	2,685	1,5*	-0,5	146,2	CW AW
	2,685	1,5	-0,5*	146,2	CW AW
	2,685	1,5	-0,5	146,2*	CW AW
	0,671	2,0	0,0	146,2*	CW AW
	0,000	1,5	0,4	143,4*	CW A
	1,510	1,8	0,0	143,4*	CW A
10	0,000	1,4*	-1,1	147,8	CW AW
	0,000	0,8*	0,1	149,8	CW A
	0,500	0,8	-1,2*	147,8	CW AW
	0,000	0,8	0,1	149,8*	CW A
	0,500	0,8	0,0	149,8*	CW A
	0,500	0,8	-1,2	147,8*	CW AW
	0,000	1,4	-1,1	147,8*	CW AW
11	0,000	0,8*	0,0	149,8	CW A
	0,500	0,2*	-1,3	147,8	CW AW
	0,500	0,2	-1,3*	147,8	CW AW
	0,500	0,8	-0,1	149,8*	CW A
	0,000	0,8	0,0	149,8*	CW A
	0,500	0,2	-1,3	147,8*	CW AW
	0,000	0,8	-1,2	147,8*	CW AW
12	1,175	1,8*	0,0	143,4	CW A
	2,685	1,0*	-0,6	136,7	CW AW
	2,685	1,0	-0,6*	136,7	CW AW
	2,685	1,5	-0,4	143,4*	CW A
	1,175	1,8	0,0	143,4*	CW A
	2,685	1,0	-0,6	136,7*	CW AW
	0,168	1,8	0,0	136,7*	CW AW
13	0,000	1,7*	-6,4	0,5	CW A
	0,404	-0,9*	-6,4	0,4	CW A
	0,000	1,7	-6,4*	0,5	CW A

	0,404	-0,9	-6,4*	0,4	CW A
	0,000	1,7	-6,4	0,5*	CW A
	0,404	-0,1	-1,5	-0,6*	CW AW
14	0,405	1,6*	11,0	1,4	CW AW
	0,000	-2,9*	11,0	1,4	CW AW
	0,405	1,6	11,0*	1,4	CW AW
	0,000	-2,9	11,0*	1,4	CW AW
	0,000	-2,9	11,0	1,4*	CW AW
	0,405	0,9	6,4	0,4*	CW A

* = Wartości ekstremalne

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	18,7*	73,3	75,6		CW A
	6,3*	68,8	69,1		CW AW
	18,7	73,3*	75,6		CW A
	6,3	68,8*	69,1		CW AW
	18,7	73,3	75,6*		CW A
5	-18,7*	73,3	75,6		CW A
	-28,2*	77,8	82,7		CW AW
	-28,2	77,8*	82,7		CW AW
	-18,7	73,3*	75,6		CW A
	-28,2	77,8	82,7*		CW AW

* = Wartości ekstremalne

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia char.: "Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	13,7*	54,3	56,0		CW A
	5,4*	51,3	51,6		CW AW
	13,7	54,3*	56,0		CW A
	5,4	51,3*	51,6		CW AW
	13,7	54,3	56,0*		CW A
5	-13,7*	54,3	56,0		CW A
	-20,0*	57,3	60,7		CW AW
	-20,0	57,3*	60,7		CW AW
	-13,7	54,3*	56,0		CW A
	-20,0	57,3	60,7*		CW AW

* = Wartości ekstremalne

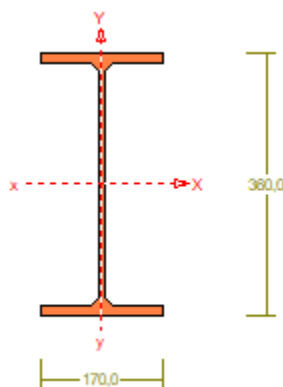
Pręt nr 8

Przekrój: I 360 PE Wymiary przekroju: I 360 PE h=360,0 g=8,0 s=170,0 t=12,7 r=18,0.

Charakterystyka geometryczna przekroju: J_{xg}=16270,0 J_{yg}=1040,0 A=72,70 i_x=15,0 i_y=3,8

J_w=313580,3 J_t=35,0 i_s=15,4. Materiał: St3S (X,Y,V,W). Wytrzymałość **fd=215** MPa dla **g=12,7**.

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.



Siły przekrojowe:

$x_a = 0,000$; $x_b = 5,210$.

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **CW AW**

$$M_x = 126,0 \text{ kNm}, \quad V_y = 20,2 \text{ kN}, \quad N = -74,5 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 129,2 \text{ MPa}$ $\sigma_c = -149,7 \text{ MPa}$.

Naprężenia: $a = 0,000$; $x_b = 5,210$. Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 129,2 \text{ MPa}$ $\sigma_c = -149,7 \text{ MPa}$.

Naprężenia:

$$\text{- normalne:} \quad \sigma = -10,2 \quad \Delta\sigma = 139,4 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } A_v = 28,80 \text{ cm}^2 \quad \tau = 7,0 \text{ MPa} \quad \psi_{ov} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 10,2 / 1,000 + 139,4 = \mathbf{149,7 < 215 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 7,0 / 1,000 = \mathbf{7,0 < 124,7 = 0,58 \times 215 \text{ MPa}}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{149,7^2 + 3 \times 0,0^2} = \mathbf{149,7 < 215 \text{ MPa}}$$

Nośność elementów rozciąganych: $x_a = 5,210$; $x_b = 0,000$. Siła osiowa: $N = -77,8 \text{ kN}$. Pole powierzchni przekroju: $A = 72,70 \text{ cm}^2$. Nośność przekroju na rozciąganie: $N_{Rt} = A f_d = 72,70 \times 215 \times 10^{-1} = 1563,0 \text{ kN}$. Warunek nośności (31): $N = \mathbf{77,8 < 1563,0 = N_{Rt}}$

Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\kappa_a = 0,382 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły przesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 2,305 \quad \text{dla } l_0 = 5,210$$

$$l_w = 2,305 \times 5,210 = 12,009 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 5,210$$

$$l_w = 1,000 \times 5,210 = 5,210 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 3,100 \text{ m}$. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 3,100 \text{ m}$.

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 16270,0}{12,009^2} 10^{-2} = 2282,6 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1040,0}{5,210^2} 10^{-2} = 775,2 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EJ_{\varpi}}{l_{\varpi}^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{15,4^2} \left(\frac{3,14^2 \times 205 \times 313580,3}{3,100^2} 10^{-2} + 80 \times 35,0 \times 10^2 \right) = 3947,8 \text{ kN}$$

Nośność przekroju na ściskanie:

$$x_a = 5,210; \quad x_b = 0,000; \quad N_{RC} = A f_d = 72,7 \times 215 \times 10^{-1} = 1563,0 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

$$\text{- dla } N_x \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_x} = 1,15 \times \sqrt{1563,0 / 2282,6} = 0,952 \Rightarrow \text{Tab.11 a} \Rightarrow \varphi = 0,741$$

$$\text{- dla } N_y \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_y} = 1,15 \times \sqrt{1563,0 / 775,2} = 1,633 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,333$$

$$\text{- dla } N_z \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_z} = 1,15 \times \sqrt{1563,0 / 3947,8} = 0,724 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,729$$

Przyjęto: $\varphi = \varphi_{\min} = 0,333$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{77,8}{0,333 \times 1563,0} = \mathbf{0,149 < 1}$$

Zwichrzenie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem $l_1 = l_{o\omega} = 3100 \text{ mm}$:

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 38}{0,550} \times \sqrt{215 / 215} = \mathbf{2412 < 3100} = l_1$$

Konieczne jest sprawdzenie zwichrzenia pręta.

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: $A_1 = 0,680$, $A_2 = 0,290$, $B = 0,970$. $A_0 = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,680 \times 0,00 + 0,290 \times 0,00 = 0,000$

$$M_{cr} = \pm A_0 N_y + \sqrt{(A_0 N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 775,2 + \sqrt{(0,000 \times 775,2)^2 + 0,970^2 \times 0,154^2 \times 775,2 \times 3947,8} = 261,8$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{194,3 / 261,8} = 0,991$$

Nośność przekroju na zginanie: $x_a = 0,000$; $x_b = 5,210$.

$$\text{- względem osi X} \quad M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 903,9 \times 215 \times 10^{-3} = 194,3 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla $\bar{\lambda}_L = 0,991$ wynosi $\varphi_L = 0,765$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{RC}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{74,5}{1563,0} + \frac{126,0}{0,765 \times 194,3} = \mathbf{0,895 < 1}$$

Nośność (stateczność) pręta ściskanego i zginanego:

Składnik poprawkowy: $M_{x \max} = 126,0 \text{ kNm}$ $\beta_x = 1,000$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{RC}} = 1,25 \times 0,741 \times 0,952^2 \frac{1,000 \times 126,0}{194,3} \times \frac{77,8}{1563,0} = 0,027$$

$$\Delta_x = 0,027 \quad M_{y \max} = 0 \quad \Delta_y = 0$$

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{77,8}{0,741 \times 1563,0} + \frac{1,000 \times 126,0}{0,765 \times 194,3} = \mathbf{0,915} < \mathbf{0,973} = 1 - 0,027$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{\varphi_L M_{Ry}} = \frac{77,8}{0,333 \times 1563,0} + \frac{1,000 \times 126,0}{0,765 \times 194,3} = \mathbf{0,997} < \mathbf{1,000} = 1 - 0,000$$

Nośność przekroju na ścinanie: $x_a = 5,210$; $x_b = 0,000$.

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A V f_d = 0,58 \times 28,8 \times 215 \times 10^{-1} = 359,1 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 215,5 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = \mathbf{28,2} < \mathbf{359,1} = V_R$$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 0,000$; $x_b = 5,210$.

- dla zginania względem osi X: $V_y = \mathbf{20,2} < \mathbf{215,5} = V_o$ $M_R, V = M_R = 194,3 \text{ kNm}$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{Rx, V}} = \frac{74,5}{1563,0} + \frac{126,0}{194,3} = \mathbf{0,696} < \mathbf{1}$$

Nośność przekroju na ścinanie z uwzględnieniem siły osiowej:

$x_a = 0,000$, $x_b = 5,210$.

- dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = \mathbf{20,2} < \mathbf{358,7} = 359,1 \times \sqrt{1 - \left(\frac{74,5}{1563,0} \right)^2} = V_R \sqrt{1 - \left(N / N_{Rc} \right)^2} = V_{R, N}$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym: $x_a = 5,210$; $x_b = 0,000$.

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $c = 100,0 \text{ mm}$.

Naprężenia ściskające w środku wynoszą $\sigma_c = 10,7 \text{ MPa}$. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,25 - 0,5 \sigma_c / f_d = 1,25 - 0,5 \times 10,7 / 215 = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną: $P_{R, W} = c_o \text{ tw } \eta_c f_d = 253,5 \times 8,0 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 436,0 \text{ kN}$

Warunek nośności środka: $P = \mathbf{77,8} < \mathbf{436,0} = P_{R, W}$

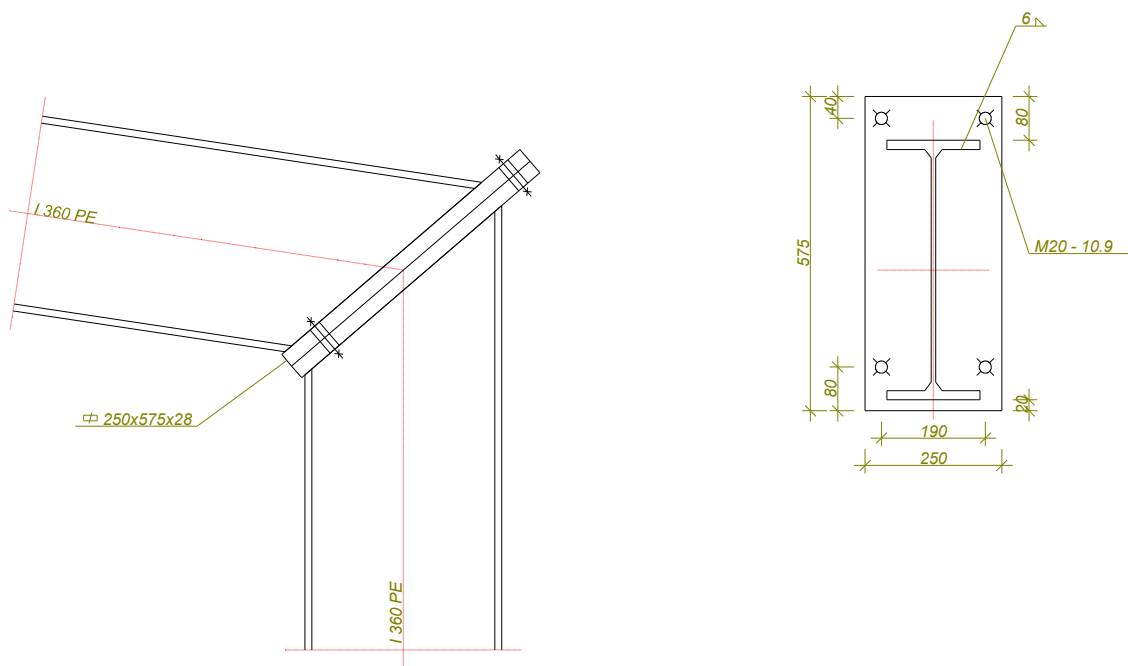
Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 5,0 \text{ mm } a_{gr} = l / 200 = 5210 / 200 = 26,1 \text{ mm} \quad a_{\max} = \mathbf{5,0} < \mathbf{26,1} = a_{gr}$$

POŁĄCZENIE DOCZOŁOWE NA ŚRUBY

węzeł nr: 4



Przyjęto połączenie **sprężane** kategorii **D** na śruby **M20** klasy **10.9**.

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

$$M = -126,0 \text{ kNm}, \quad V = 28,0 \text{ kN}, \quad N = -63,5 \text{ kN}.$$

Nośność śruby:

Pole przekroju śruby: $A_S = 245,0 \text{ mm}^2$, $A_V = 314,2 \text{ mm}^2$.

$$R_m = 1040 \text{ MPa}, \quad R_e = 940 \text{ MPa},$$

Nośność śruby: $S_{Rt} = \min \{0,65 R_m A_S; 0,85 R_e A_S\} = 165,6 \text{ kN}$,

$$S_{Rr} = 0,85 S_{Rt} = 0,85 \times 165,6 = 140,8 \text{ kN},$$

$$S_{Rv} = 0,45 R_m A_V = 0,45 \times 1040 \times 314,2 \times 10^{-3} = 147,0 \text{ kN}.$$

Siła sprężająca: $S_O = 0,7 R_m A_S = 0,7 \times 1040 \times 245,0 \times 10^{-3} = 178,4 \text{ kN}$.

Blacha czołowa:

Przyjęto blachę czołową o wymiarach 250×575 mm ze stali St3S (X,Y,V,W).

Dla połączenia niesprężanego, przy $c = 27,4$ i $b_s = 94,8 \leq 2(c+d)$

$$t_{min} = 1,2 \sqrt{\frac{c S_{Rt}}{b_s f_d}} = 1,2 \times \sqrt{\frac{27,4 \times 165,6 \times 10^3}{94,8 \times 205}} = 18,3 \text{ mm}$$

Dla połączenia sprężanego:

$$t_{min} = d \sqrt[3]{R_m / 1000} = 20 \times \sqrt[3]{1040 / 1000} = 20,3 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \max \{18,3; 20,3\} = 20,3 \text{ mm}.$$

Przyjęto grubość blachy czołowej $t = 28,0 > 20,3 = t_{min}$.

Nośność połączenia:

Współczynnik efektu dźwigni wynosi:

$$\beta = 2,67 - t / t_{min} = 2,67 - 28 / 20,3 = 1,29,$$

przyjęto $\beta = 1,29 \Rightarrow 1/\beta = 0,77$.

Nośność na zginanie

Nośność dla stanu granicznego zerwania śrub:

$$M_{Rt} = S_{Rt} \sum m_i \omega_{ti} y_i = 165,6 \times (2 \times 0,77 \times 509) \times 10^{-3} = 130,5 \text{ kNm.}$$

Przy współdziałaniu siły osiowej uwzględniamy jej wpływ na nośność połączenia:

$$M_{Rt}' = M_{Rt} + 0,5 (h-t) N_o = 130,5 + 0,5 \times (469-13) \times 31,8 \times 10^{-3} = 137,8 \text{ kNm}$$

Warunek stanu granicznego nośności połączenia:

$$M = 126,0 < 137,8 = M_{Rt}$$

Nośność na ścinanie

Siła poprzeczna przypadająca na jedną śrubę

$$S_v = V/n = 28,0 / 4 = 7,0 \text{ kN}$$

Siła rozciągająca w śrubie od siły osiowej $S_t = 0,0 \text{ kN}$, od zginania $S_t = 159,9 \text{ kN}$.

Warunek nośności śruby na ścinanie:

$$(S_t/S_{Rt})^2 + (S_v/S_{Rv})^2 = (159,9 / 165,6)^2 + (7,0 / 147,0)^2 = 0,93 < 1$$

Nośność spoin:

Przyjęto spoiny o grubości $a = 6 \text{ mm}$

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 86,30 \text{ cm}^2, \quad A_v = 49,27 \text{ cm}^2, \quad I_x = 26603,4 \text{ cm}^4, \quad I_y = 1005,1 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{||} = V/A_v = (28,0 / 49,27) \times 10 = 5,7 \text{ MPa,}$$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{126,0 \times -21,5 \times 10^3}{26603,4} + \frac{-63,5 \times 10}{86,30} = -109,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -109,1 \times \cos(65,4) = -45,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma \sin(\gamma) = -109,1 \times \sin(65,4) = -99,1 \text{ MPa}$$

Dla $R_e = 225 \text{ MPa}$, współczynnik χ wynosi 0,70.

Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych $\tau_{||} = 0,0 \text{ MPa}$.

$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{||}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{45,5^2 + 3 \times (0,0^2 + 99,1^2)} = 124,3 < 205 = f_d$$

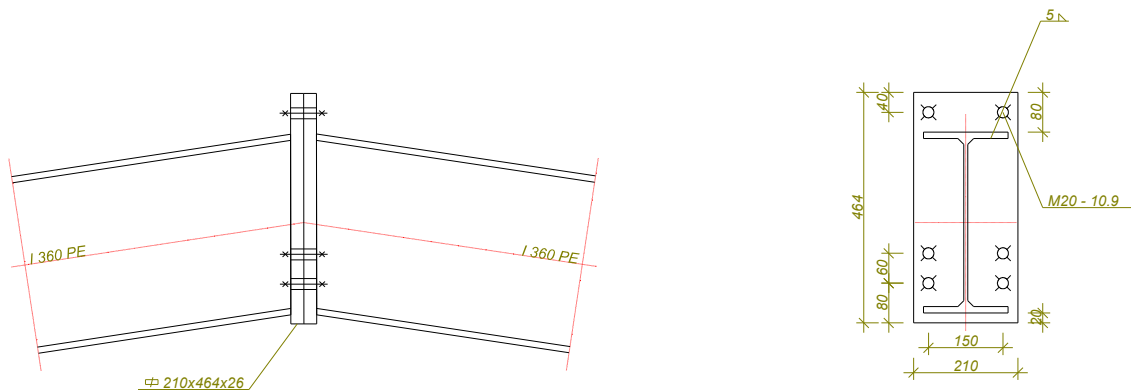
Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{126,0 \times -24,3 \times 10^3}{26603,4} + \frac{-63,5 \times 10}{86,30} = -122,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -122,7 \times \cos(24,6) = 111,5 < 205 = f_d$$

POŁĄCZENIE DOCZOŁOWE NA ŚRUBY

węzeł nr: 3



Przyjęto połączenie **sprężane** kategorii **D** na śruby **M20** klasy **10.9**.

Siły przekrojowe w odległości $l_0 = 0$ mm od węzła: $M = 36,0$ kNm, $V = -4,7$ kN, $N = -168,0$ kN.

Nośność śruby:

Pole przekroju śruby: $A_s = 245,0 \text{ mm}^2$, $A_v = 314,2 \text{ mm}^2$. $R_m = 1040 \text{ MPa}$, $R_e = 940 \text{ MPa}$,

Nośność śruby: $S_{Rt} = \min \{0,65 R_m A_s; 0,85 R_e A_s\} = 165,6 \text{ kN}$, $S_{Rr} = 0,85 S_{Rt} = 0,85 \times 165,6 = 140,8 \text{ kN}$,

$S_{Rv} = 0,45 R_m A_v = 0,45 \times 1040 \times 314,2 \times 10^{-3} = 147,0 \text{ kN}$. Siła sprężająca: $S_o = 0,7 R_m A_s = 0,7 \times 1040 \times 245,0 \times 10^{-3} = 178,4 \text{ kN}$.

Blacha czołowa:

Przyjęto blachę czołową o wymiarach 210×464 mm ze stali St3S (X,Y,V,W).

Dla połączenia niesprężanego, przy $c = 55,0$ i $b_s = 105,0 \leq 2(c+d)$

$$t_{min} = 1,2 \sqrt{\frac{c S_{Rt}}{b_s f_d}} = 1,2 \times \sqrt{\frac{55,0 \times 165,6 \times 10^3}{105,0 \times 205}} = 24,7 \text{ mm}$$

Dla połączenia sprężanego:

$$t_{min} = d \sqrt[3]{R_m / 1000} = 20 \times \sqrt[3]{1040 / 1000} = 20,3 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \max \{24,7; 20,3\} = 24,7 \text{ mm}.$$

Przyjęto grubość blachy czołowej $t = 26,0 > 24,7 = t_{min}$.

Nośność połączenia: Współczynnik efektu dźwigni wynosi: $\beta = 2,67 - t / t_{min} = 2,67 - 26 / 24,7 = 1,62$, przyjęto $\beta = 1,62 \Rightarrow 1/\beta = 0,62$.

Nośność na zginanie

Nośność dla stanu granicznego zerwania śrub:

$$M_{Rt} = S_{Rt} \sum m_i \omega_{ti} y_i = 165,6 \times (2 \times 0,80 \times 238 + 2 \times 1,00 \times 298) \times 10^{-3} = 161,6 \text{ kNm}.$$

Przy współdziałaniu siły osiowej uwzględniamy jej wpływ na nośność połączenia:

$$M_{Rt}' = M_{Rt} + 0,5 (h-t) N_o = 161,6 + 0,5 \times (358-13) \times 84,0 \times 10^{-3} = 176,1 \text{ kNm}$$

Warunek stanu granicznego nośności połączenia:

$$M = 36,0 < 176,1 = M_{Rt}'$$

Nośność na ścinanie

Siła poprzeczna przypadająca na jedną śrubę

$$S_v = V / n = 4,7 / 6 = 0,8 \text{ kN}$$

Siła rozciągająca w śrubie od siły osiowej $S_t = 0,0$ kN, od zginania $S_t = 36,9$ kN.

Warunek nośności śruby na ścinanie: $(S_t / S_{Rt})^2 + (S_v / S_{Rv})^2 = (36,9 / 165,6)^2 + (0,8 / 147,0)^2 = 0,05 < 1$

Nośność spoin: Przyjęto spoiny o grubości $a = 5$ mm

Kład spoin daje następujące wielkości: $A = 62,33 \text{ cm}^2$, $A_v = 31,47 \text{ cm}^2$, $I_x = 12239,3 \text{ cm}^4$,
 $I_y = 830,2 \text{ cm}^4$.

Naprężenia: $\tau_{||} = V / A_v = (4,7 / 31,47) \times 10 = 1,5 \text{ MPa}$,

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{-36,0 \times 18,7 \times 10^3}{12239,3} + \frac{-168,0 \times 10}{62,33} = -82,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -82,0 \times \cos(49,3) = -53,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma \sin(\gamma) = -82,0 \times \sin(49,3) = -62,1 \text{ MPa}$$

Dla $R_e = 225 \text{ MPa}$, współczynnik χ wynosi 0,70.

Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych $\tau_{||} = 0,0 \text{ MPa}$.

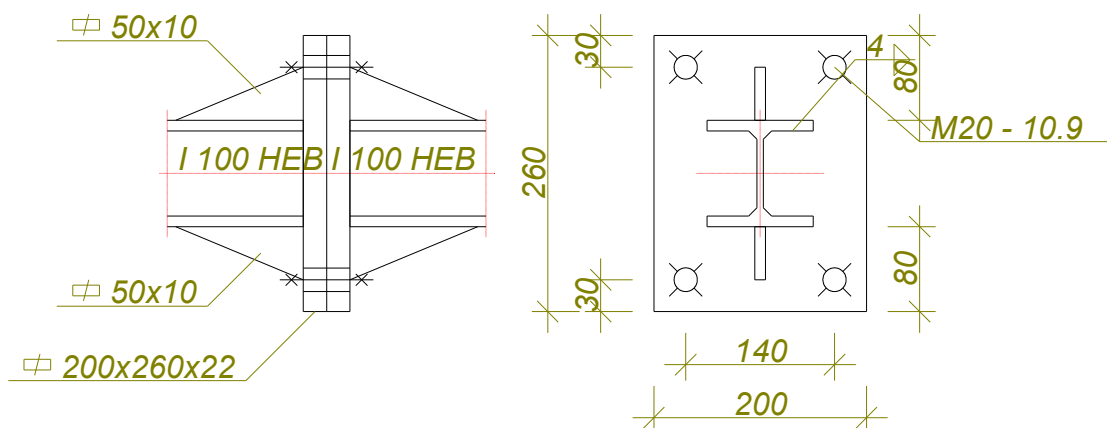
$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{||}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{53,5^2 + 3(0,0^2 + 62,1^2)} = 84,1 < 205 = f_d$$

Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{-36,0 \times 16,4 \times 10^3}{12239,3} + \frac{-168,0 \times 10}{62,33} = -75,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -75,2 \times \cos(40,7) = 57,0 < 205 = f_d$$

POŁĄCZENIE DOCZOŁOWE NA ŚRUBY węzeł nr: 12



Przyjęto połączenie **sprężane** kategorii **D** na śruby **M20** klasy **10.9**.

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

$$M = 0,8 \text{ kNm}, \quad V = 1,2 \text{ kN}, \quad N = 147,8 \text{ kN}.$$

Nośność śruby:

Pole przekroju śruby: $A_s = 245,0 \text{ mm}^2$, $A_v = 314,2 \text{ mm}^2$.

$$R_m = 1040 \text{ MPa}, \quad R_e = 940 \text{ MPa},$$

Nośność śruby: $S_{Rt} = \min \{0,65 R_m A_s; 0,85 R_e A_s\} = 165,6 \text{ kN}$,

$$S_{Rr} = 0,85 S_{Rt} = 0,85 \times 165,6 = 140,8 \text{ kN},$$

$$S_{Rv} = 0,45 R_m A_v = 0,45 \times 1040 \times 314,2 \times 10^{-3} = 147,0 \text{ kN}.$$

Siła sprężająca: $S_o = 0,7 R_m A_s = 0,7 \times 1040 \times 245,0 \times 10^{-3} = 178,4 \text{ kN}$.

Blacha czołowa:

Przyjęto blachę czołową o wymiarach $200 \times 260 \text{ mm}$ ze stali St3S (X,Y,V,W).

Dla połączenia niesprężanego, przy $c = 38,9$ i $b_s = 100,0 \leq 2(c+d)$

$$t_{min} = 1,2 \sqrt{\frac{c S_{Rt}}{b_s f_d}} = 1,2 \times \sqrt{\frac{38,9 \times 165,6 \times 10^3}{100,0 \times 205}} = 21,3 \text{ mm}$$

Dla połączenia sprężanego:

$$t_{min} = d \sqrt[3]{R_m / 1000} = 20 \times \sqrt[3]{1040 / 1000} = 20,3 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \max \{21,3; 20,3\} = 21,3 \text{ mm}.$$

Przyjęto grubość blachy czołowej $t = 22,0 > 21,3 = t_{min}$.

Nośność połączenia:

Współczynnik efektu dźwigni wynosi:

$$\beta = 2,67 - t / t_{min} = 2,67 - 22 / 21,3 = 1,64,$$

przyjęto $\beta = 1,64 \Rightarrow 1/\beta = 0,61$.

Nośność na siłę osiową

Nośność na siłę osiową dla stanu granicznego zerwania śrub:

$$N_{Rt} = S_{Rt} \sum i \omega_{ti} = 165,6 \times (2 \times 1,00 + 2 \times 1,00) = 662,5 \text{ kN}.$$

Warunek stanu granicznego nośności połączenia:

$$N = 147,8 < 662,5 = N_{Rt}$$

Nośność na zginanie

Nośność dla stanu granicznego zerwania śrub:

$$M_{Rt} = S_{Rt} \sum i m_i \omega_{ti} y_i = 165,6 \times (2 \times 0,90 \times 145) \times 10^{-3} = 43,2 \text{ kNm}.$$

Przy współdziałaniu siły osiowej uwzględniamy jej wpływ na nośność połączenia:

$$M_{Rt}' = M_{Rt} - 0,5 (h-t) N_o = 43,2 - 0,5 \times (95-10) \times 147,8 \times 10^{-3} = 36,9 \text{ kNm}$$

Warunek stanu granicznego nośności połączenia:

$$M = 0,8 < 36,9 = M_{Rt}'$$

Nośność na ścinanie

Siła poprzeczna przypadająca na jedną śrubę

$$S_v = V / n = 1,2 / 4 = 0,3 \text{ kN}$$

Siła rozciągająca w śrubie od siły osiowej $S_t = 37,0 \text{ kN}$, od zginania $S_t = 3,1 \text{ kN}$.

Warunek nośności śruby na ścinanie:

$$(S_t / S_{Rt})^2 + (S_v / S_{Rv})^2 = (40,0 / 165,6)^2 + (0,3 / 147,0)^2 = 0,06 < 1$$

Nośność spoin:

Przyjęto spoiny o grubości $a = 4 \text{ mm}$ Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 26,62 \text{ cm}^2, \quad A_v = 13,15 \text{ cm}^2, \quad I_x = 769,9 \text{ cm}^4, \quad I_y = 138,0 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia: $\tau_{||} = V / A_v = (1,2 / 13,15) \times 10 = 0,9 \text{ MPa},$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{-0,8 \times -10,0 \times 10^3}{769,9} + \frac{147,8 \times 10}{26,62} = 65,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = 65,9 \times \cos(45,0) = 46,6 \text{ MPa} \quad \tau_{\perp} = \sigma \sin(\gamma) = 65,9 \times \sin(45,0) = 46,6 \text{ MPa}$$

Dla $R_e = 225 \text{ MPa}$, współczynnik χ wynosi 0,70.

Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych $\tau_{||} = 0,9 \text{ MPa}.$

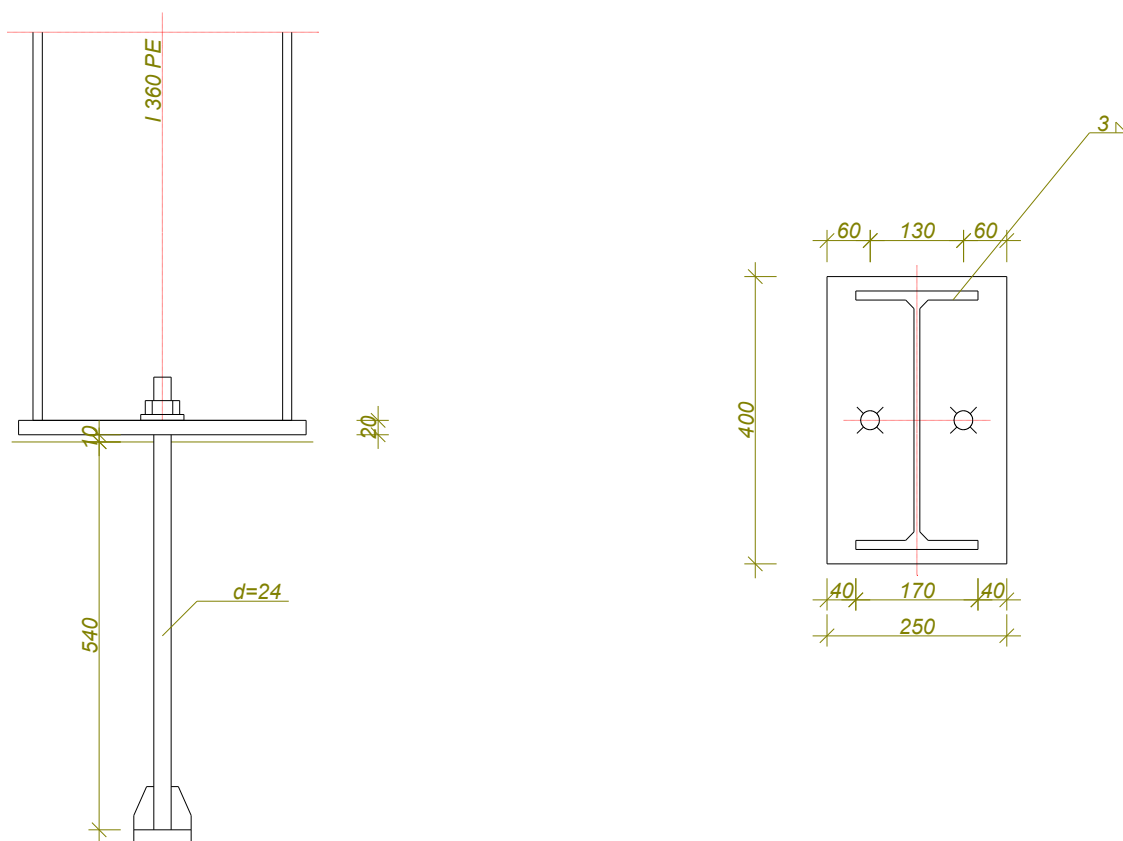
$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{||}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{46,6^2 + 3 \times (0,9^2 + 46,6^2)} = 65,3 < 205 = f_d$$

Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{-0,8 \times -10,0 \times 10^3}{769,9} + \frac{147,8 \times 10}{26,62} = 65,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = 65,9 \times \cos(45,0) = 46,6 < 205 = f_d$$

PODSTAWA SŁUPA wg PN-B-03215:1998 węzeł nr: 5



Przyjęto zakotwienie słupa na śruby płytkowe $d=24$ ze stali klasy **5.6** w fundamencie wykonanym z betonu klasy **B20**. Moment dokręcenia śrub $M_S = 0,20 \text{ kNm}$.

Siły przekrojowe sprowadzone do środka blachy podstawy:

$$M = 0,0 \text{ kNm}, \quad N = -77,8 \text{ kN}, \quad V = -28,2 \text{ kN}, \quad e = 0 \text{ mm}$$

Nośność śrub kotwiących:

Nośność śruby:

$$S_{Rt} = \min\{0,65 R_m A_s; 0,85 R_e A_s\} = \\ \min\{0,65 \times 500 \times 353,0 \times 10^{-3}; 0,85 \times 300 \times 353,0 \times 10^{-3}\} = \\ \min\{114,7; 90,0\} = \mathbf{90,0 \text{ kN}}.$$

Dla $e = 0 < 67 = a/6$ siła w śrubach $F_t = 0$.

Dla słupów krępych ($\bar{\lambda} = 0,956 \leq 1$), śruby muszą mieć zdolność do przeniesienia siły rozciągającej równej $0,1N$.

$$0,1N = \mathbf{7,8} < \mathbf{180,0} = n S_{Rt}$$

Sprawdzenie zakotwienia śrub:

Nośność zakotwienia ze względu na ścinanie:

$$S_{Ra} = 0,75 (4 a l) l_{a f c t d} = 3 \times 80 \times 540 \times 0,7 \times 10^{-3} = \mathbf{90,7} > \mathbf{90,0} = S_{Rt}$$

Nośność zakotwienia ze względu na docisk:

$$S_{Ra} = 2 a l^2 f_{cd} = 2 \times 80^2 \times 8,9 \times 10^{-3} = \mathbf{113,9} > \mathbf{90,0} = S_{Rt}$$

Naprężenia docisku:

$$f_b = 0,8 f_{cd} = 0,8 \times 8,9 = 7,12 \text{ MPa}$$

Dla modelu sprężystego przyjęto $A_c = 250 \times 400 \times 10^{-2} = 1000,00 \text{ cm}^2$. $N_{Rc} = A_c f_b = 1000,00 \times 7,12 \times 10^{-1} = 712,0 \text{ kN}$

Warunek nośności:

$$N = \mathbf{77,8} < \mathbf{712,0} = N_{Rc}$$

Nośność na siłę poprzeczną:

Siła poprzeczna działająca na podstawę słupa $V = -28,2 \text{ kN}$, musi być przeniesiona przez tarcie lub śruby kotwiące.

- tarcie pomiędzy fundamentem i blachą podstawy:

$$V_{Rj} = 0,3 N_c = 0,3 \times 77,8 = 23,3 \text{ kN}$$

- ścinanie i docisk śrub kotwiących:

$$V_{Rj} = n (0,45 R_m A_v) = n S_{Rv} = 2 \times (0,45 \times 500 \times 353,0) \times 10^{-3} = 158,8 \text{ kN}$$

$$V_{Rj} = 7 n d^2 f_{cd} = 7 \times 2 \times 24^2 \times 8,9 \times 10^{-3} = 71,8 \text{ kN}$$

Przyjęto nośność na siłę poprzeczną $V_{Rj} = 71,8 \text{ kN}$.

$$V = \mathbf{28,2} < \mathbf{71,8} = V_{Rj}$$

Blacha podstawy:

Przyjęto blachę podstawy o wymiarach $400 \times 250 \text{ mm}$ ze stali St3S (X,Y,V,W).

Grubość blachy ze względu na naprężenia docisku. Największą grubość blachy uzyskuje się dla pola opartego na 3 krawędziach o wymiarach $b = 85$ i $l = 360 \text{ mm}$:

$$t_d = \omega \sqrt{\sigma_c / f_d} = 1,730 \times 85 \times \sqrt{0,78 / 205} = \mathbf{9} < \mathbf{20} = t$$

Nośność spoin poziomych:

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

Siła przenoszona przez spoiny wynosi $F = 0,25 N = 19,4 \text{ kN}$.

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 37,19 \text{ cm}^2, \quad A_v = 18,67 \text{ cm}^2, \quad I_x = 7153,2 \text{ cm}^4, \quad I_y = 495,5 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{||} = V / A_v = (28,2 / 18,67) \times 10 = 15,1 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{-19,4 \times 10}{37,19} = -5,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -5,2 \times \cos(45,0) = -3,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma \sin(\gamma) = -5,2 \times \sin(45,0) = -3,7 \text{ MPa}$$

Dla $R_e = 225 \text{ MPa}$, współczynnik χ wynosi 0,70.

Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych $\tau_{\parallel} = 15,1 \text{ MPa}$.

$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{3,7^2 + 3 \times (15,1^2 + 3,7^2)} = 19,0 < 205 = f_d$$

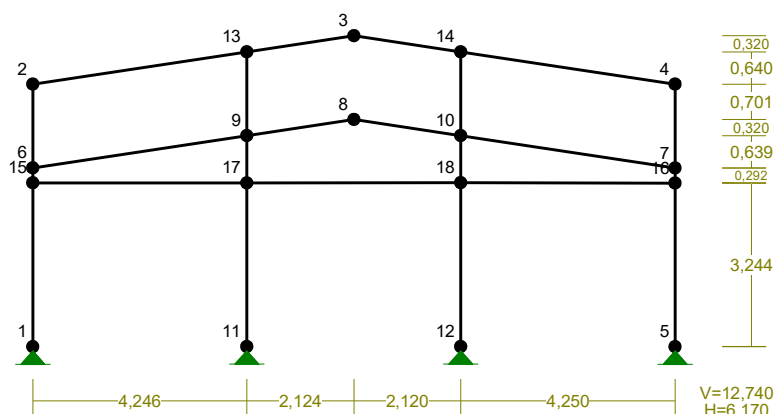
Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{-19,4 \times 10}{37,19} = -5,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -5,2 \times \cos(45,0) = 3,7 < 205 = f_d$$

Poz.2.2 Rama stalowa

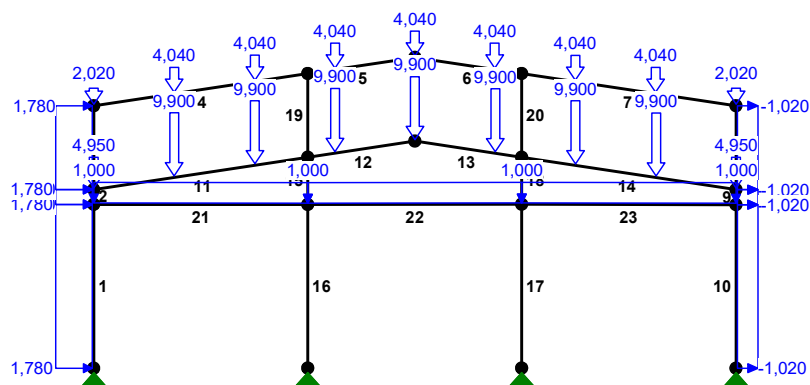
WĘZŁY: Skala 1:150



WĘZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:	Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000	10	8,490	4,189
2	0,000	5,210	11	4,246	0,003
3	6,370	6,170	12	8,490	0,003
4	12,740	5,210	13	4,246	5,850
5	12,740	0,000	14	8,490	5,850
6	0,000	3,550	15	0,000	3,252
7	12,740	3,547	16	12,740	3,247
8	6,370	4,509	17	4,246	3,251
9	4,246	4,189	18	8,490	3,255

OBCIĄŻENIA: Skala 1:150



OBCIĄŻENIA: ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a [m]: b [m]:

Grupa: CW "Ciężar własny" Stałe $\gamma_f = 1,10$

Grupa: A "" Stałe $\gamma_f = 1,40$

4	Skupione	0,0	2,020	0,00
4	Skupione	0,0	4,040	1,61
4	Skupione	0,0	4,040	3,23
5	Skupione	0,0	4,040	0,55
6	Skupione	0,0	4,040	0,00
6	Skupione	0,0	4,040	1,60
7	Skupione	0,0	4,040	2,69
7	Skupione	0,0	2,020	4,30
7	Skupione	0,0	4,040	1,08

Grupa: B "" Stałe $\gamma_f = 1,41$

11	Skupione	0,0	4,950	0,00
11	Skupione	0,0	9,900	1,61
11	Skupione	0,0	9,900	3,23
12	Skupione	0,0	9,900	0,55
13	Skupione	0,0	9,900	0,00
13	Skupione	0,0	9,900	1,61
14	Skupione	0,0	4,950	4,30
14	Skupione	0,0	9,900	2,70
14	Skupione	0,0	9,900	1,08

Grupa: C "" Stałe $\gamma_f = 1,20$

21	Liniowe	0,1	1,000	1,000	0,00	4,25
22	Liniowe	0,1	1,000	1,000	0,00	4,24
23	Liniowe	0,1	1,000	1,000	0,00	4,25

Grupa: W "" Zmienne $\gamma_f = 1,50$

1	Liniowe	90,0	1,780	1,780	0,00	3,25
2	Liniowe	90,0	1,780	1,780	0,00	0,30
3	Liniowe	90,0	1,780	1,780	0,00	1,66
8	Liniowe	-90,0	-1,020	-1,020	0,00	1,66
9	Liniowe	-90,0	-1,020	-1,020	0,00	0,30
10	Liniowe	-90,0	-1,020	-1,020	0,00	3,25

OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa: Znaczenie: γ_f : ψ_d :

CW-"Ciężar własny"	Stałe	1,10		
A -""	Stałe	1,40		
B -""	Stałe	1,41		
C -""	Stałe	1,20		
W -""	Zmienne	1	1,50	1,00

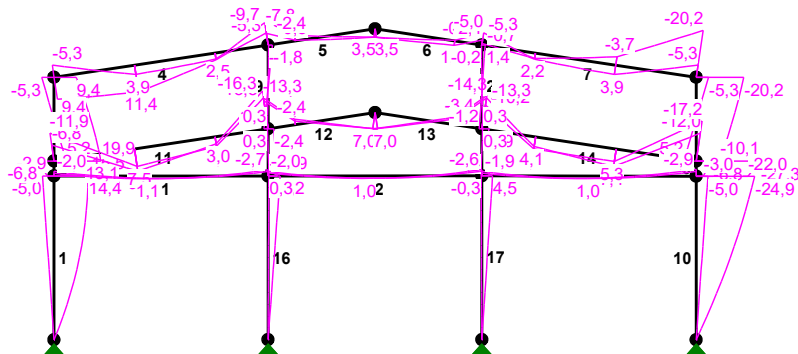
RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

Grupa obc.:	Relacje:
Ciężar wł.	ZAWSZE
CW -"Ciężar własny"	EWENTUALNIE
A -""	EWENTUALNIE
B -""	EWENTUALNIE
C -""	EWENTUALNIE
W -""	EWENTUALNIE

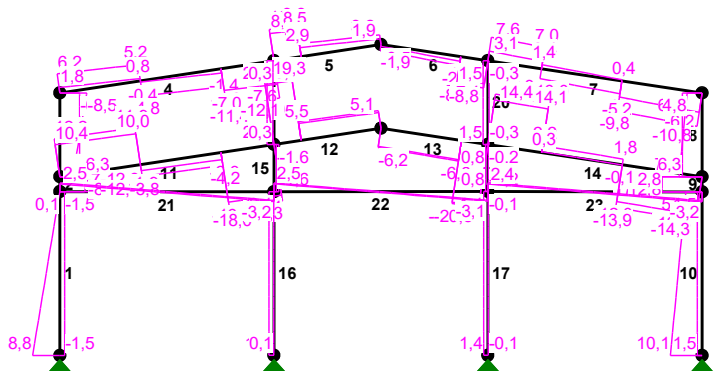
KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

Nr:	Specyfikacja:
1	ZAWSZE : CW+A+B+C EWENTUALNIE: W

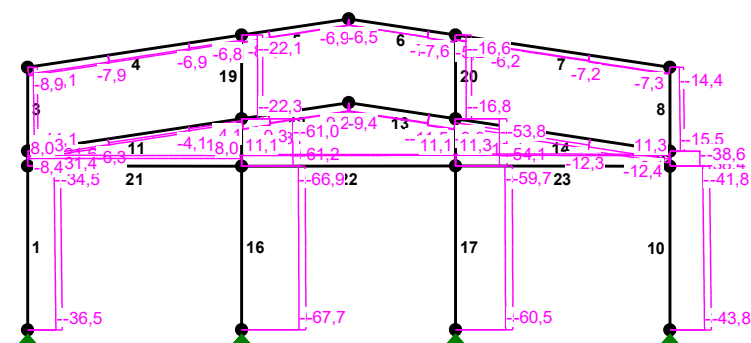
MOMENTY-OBWIEDNIE: Skala 1:150



TNĄCE-OBWIEDNIE: Skala 1:150



NORMALNE-OBWIEDNIE: Skala 1:150



SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Pręt: x[m]: M[kNm]: Q[kN]: N[kN]: Kombinacja obciążeń:

1	3,252	14,4*	0,1	-27,8	CW ABCW
	3,252	-5,0*	-1,5	-34,5	CW ABC
	0,000	0,0	8,8*	-29,8	CW ABCW
	3,252	14,4	0,1	-27,8*	CW ABCW
	0,000	0,0	-1,5	-36,5*	CW ABC
2	0,000	15,5*	-7,9	-25,3	CW ABCW
	0,298	-6,8*	-12,8	-31,4	CW ABC
	0,000	-2,9	-12,8*	-31,6	CW ABC
	0,298	-6,8	-12,8*	-31,4	CW ABC
	0,298	13,1	-8,7	-25,1*	CW ABCW
	0,000	-2,9	-12,8	-31,6*	CW ABC
3	0,000	19,9*	-4,1	-6,9	CW ABCW
	1,660	-5,3*	-6,3	-10,1	CW ABC
	1,660	9,4	-8,5*	-5,9	CW ABCW
	1,660	9,4	-8,5	-5,9*	CW ABCW
	0,000	5,2	-6,3	-11,1*	CW ABC
4	1,613	11,4*	-4,8	-7,9	CW ABCW
	1,613	11,4*	0,8	-8,8	CW ABCW
	4,294	-9,7*	-12,1	-6,8	CW ABCW
	4,294	-9,7	-12,1*	-6,8	CW ABCW
	4,294	-5,3	-7,6	-5,2*	CW ABC
	0,000	9,4	1,8	-8,9*	CW ABCW
5	2,148	3,5*	1,9	-6,3	CW ABC
	0,000	-7,8*	10,1	-8,0	CW ABCW
	0,000	-7,8	10,1*	-8,0	CW ABCW
	2,148	3,5	1,9	-6,3*	CW ABC
	0,000	-7,8	10,1	-8,0*	CW ABCW
6	0,000	3,5*	-1,9	-6,3	CW ABC
	2,144	-5,0*	-8,8	-7,4	CW ABC
	2,144	-5,0	-8,8*	-7,4	CW ABC
	0,000	3,5	-1,9	-6,3*	CW ABC
	2,144	-2,1	-7,4	-7,6*	CW ABCW
7	2,686	3,9*	-5,2	-7,2	CW ABC
	2,686	3,9*	0,4	-6,3	CW ABC
	4,298	-20,2*	-10,8	-6,5	CW ABCW
	4,298	-20,2	-10,8*	-6,5	CW ABCW
	0,000	-0,7	3,1	-4,4*	CW ABCW
	4,298	-5,3	-6,2	-7,3*	CW ABC

8	1,663	5,2*	6,3	-11,1	CW ABC
	0,000	-20,2*	4,8	-14,4	CW ABCW
	1,663	-10,1	7,4*	-15,5	CW ABCW
	0,000	-5,3	6,3	-10,1*	CW ABC
	1,663	-10,1	7,4	-15,5*	CW ABCW
9	0,300	-3,0*	12,8	-31,8	CW ABC
	0,000	-27,3*	17,5	-38,4	CW ABCW
	0,300	-22,0	17,9*	-38,6	CW ABCW
	0,000	-6,8	12,8	-31,6*	CW ABC
	0,300	-22,0	17,9	-38,6*	CW ABCW
10	3,247	0,0*	10,1	-43,8	CW ABCW
	3,247	0,0*	1,5	-36,6	CW ABC
	0,000	-24,9*	5,2	-41,8	CW ABCW
	3,247	0,0	10,1*	-43,8	CW ABCW
	0,000	-5,0	1,5	-34,6*	CW ABC
	3,247	0,0	10,1	-43,8*	CW ABCW
11	1,613	9,6*	10,0	-6,2	CW ABCW
	1,613	9,6*	-3,8	-4,1	CW ABCW
	4,294	-16,3*	-18,3	-1,9	CW ABCW
	4,294	-16,3	-18,3*	-1,9	CW ABCW
	4,294	-16,3	-18,3	-1,9*	CW ABCW
	0,000	-11,9	12,2	-8,4*	CW ABC
12	2,148	7,1*	5,7	-8,5	CW ABC
	0,000	-13,3*	20,1	-10,7	CW ABC
	0,000	-13,3	20,1*	-10,7	CW ABC
	2,148	7,1	5,7	-8,5*	CW ABC
	0,000	-12,1	19,4	-11,4*	CW ABCW
13	0,000	7,1*	-5,8	-8,5	CW ABC
	2,144	-14,3*	-20,5	-11,5	CW ABCW
	2,144	-14,3	-20,5*	-11,5	CW ABCW
	0,000	7,1	-5,8	-8,5*	CW ABC
	2,144	-14,3	-20,5	-11,5*	CW ABCW
14	2,696	7,4*	-12,0	-8,4	CW ABC
	2,696	7,4*	1,8	-6,3	CW ABC
	4,298	-17,2*	-14,3	-12,4	CW ABCW
	0,000	-13,3	16,3*	-4,1	CW ABC
	0,000	-13,3	16,3	-4,1*	CW ABC
	4,298	-17,2	-14,3	-12,4*	CW ABCW
15	0,000	0,3*	-0,8	-53,8	CW ABC
	0,938	-3,9*	-1,6	-61,2	CW ABCW
	0,000	-2,4	-1,6*	-61,0	CW ABCW
	0,938	-3,9	-1,6*	-61,2	CW ABCW
	0,000	0,3	-0,8	-53,8*	CW ABC
	0,938	-3,9	-1,6	-61,2*	CW ABCW
16	3,248	5,2*	1,6	-66,9	CW ABCW
	0,000	0,0*	1,6	-67,7	CW ABCW
	0,000	0,0*	0,1	-60,5	CW ABC
	3,248	5,2	1,6*	-66,9	CW ABCW
	0,000	0,0	1,6*	-67,7	CW ABCW
	3,248	0,3	0,1	-59,7*	CW ABC
	0,000	0,0	1,6	-67,7*	CW ABCW
17	3,252	4,5*	1,4	-52,0	CW ABCW
	3,252	-0,3*	-0,1	-59,7	CW ABC
	3,252	4,5	1,4*	-52,0	CW ABCW

	0,000	0,0	1,4*	-52,8	CW ABCW
	3,252	4,5	1,4	-52,0*	CW ABCW
	0,000	0,0	-0,1	-60,5*	CW ABC
18	0,000	3,1*	-0,2	-46,4	CW ABCW
	0,000	-0,4*	0,8	-54,1	CW ABC
	0,934	0,3	0,8*	-53,8	CW ABC
	0,000	-0,4	0,8*	-54,1	CW ABC
	0,934	2,9	-0,2	-46,2*	CW ABCW
	0,000	-0,4	0,8	-54,1*	CW ABC
19	1,661	1,8*	2,2	-22,3	CW ABCW
	0,000	-1,8*	2,2	-22,1	CW ABCW
	1,661	1,8	2,2*	-22,3	CW ABCW
	0,000	-1,8	2,2*	-22,1	CW ABCW
	0,000	-0,2	0,3	-16,6*	CW ABC
	1,661	1,8	2,2	-22,3*	CW ABCW
20	1,661	1,4*	1,5	-10,9	CW ABCW
	0,000	-1,2*	1,5	-11,1	CW ABCW
	1,661	1,4	1,5*	-10,9	CW ABCW
	0,000	-1,2	1,5*	-11,1	CW ABCW
	1,661	1,4	1,5	-10,9*	CW ABCW
	0,000	0,3	-0,3	-16,8*	CW ABC
21	1,858	1,1*	0,0	8,0	CW ABCW
	4,246	-2,7*	-3,2	8,0	CW ABCW
	4,246	-2,7	-3,2*	8,0	CW ABCW
	0,000	-2,0	2,8	11,3*	CW ABC
	4,246	-2,7	-3,2	8,0*	CW ABCW
22	1,857	1,0*	0,1	11,1	CW ABCW
	4,244	-2,6*	-3,1	11,1	CW ABCW
	4,244	-2,6	-3,1*	11,1	CW ABCW
	4,244	-2,0	-2,8	12,1*	CW ABC
	0,000	-1,4	2,5	11,1*	CW ABCW
23	2,125	1,0*	0,0	11,3	CW ABC
	4,250	-2,9*	-3,2	12,7	CW ABCW
	4,250	-2,9	-3,2*	12,7	CW ABCW
	0,000	-1,2	2,4	12,7*	CW ABCW
	4,250	-2,0	-2,9	11,3*	CW ABC

* = Wartości ekstremalne

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	1,5*	36,5	36,6		CW ABC
	-8,8*	29,8	31,1		CW ABCW
	1,5	36,5*	36,6		CW ABC
	-8,8	29,8*	31,1		CW ABCW
	1,5	36,5	36,6*		CW ABC
5	-1,5*	36,6	36,7		CW ABC
	-10,1*	43,8	45,0		CW ABCW
	-10,1	43,8*	45,0		CW ABCW
	-1,5	36,6*	36,7		CW ABC
	-10,1	43,8	45,0*		CW ABCW
11	-0,1*	60,5	60,5		CW ABC
	-1,6*	67,7	67,8		CW ABCW

	-1,6	67,7*	67,8	CW ABCW
	-0,1	60,5*	60,5	CW ABC
	-1,6	67,7	67,8*	CW ABCW
12	0,1*	60,5	60,5	CW ABC
	-1,4*	52,8	52,8	CW ABCW
	0,1	60,5*	60,5	CW ABC
	-1,4	52,8*	52,8	CW ABCW
	0,1	60,5	60,5*	CW ABC

* = Wartości ekstremalne

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia char.: "Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	1,1*	27,4	27,4		CW ABC
	-5,7*	22,9	23,6		CW ABCW
	1,1	27,4*	27,4		CW ABC
	-5,7	22,9*	23,6		CW ABCW
	1,1	27,4	27,4*		CW ABC
5	-1,1*	27,5	27,5		CW ABC
	-6,9*	32,3	33,0		CW ABCW
	-6,9	32,3*	33,0		CW ABCW
	-1,1	27,5*	27,5		CW ABC
	-6,9	32,3	33,0*		CW ABCW
11	-0,1*	44,7	44,7		CW ABC
	-1,1*	49,5	49,5		CW ABCW
	-1,1	49,5*	49,5		CW ABCW
	-0,1	44,7*	44,7		CW ABC
	-1,1	49,5	49,5*		CW ABCW
12	0,1*	44,7	44,7		CW ABC
	-0,9*	39,5	39,6		CW ABCW
	0,1	44,7*	44,7		CW ABC
	-0,9	39,5*	39,6		CW ABCW
	0,1	44,7	44,7*		CW ABC

* = Wartości ekstremalne

Pręt nr 14

Przekrój: I 200 PE Wymiary przekroju: I 200 PE h=200,0 g=5,6 s=100,0 t=8,5 r=12,0.

Charakterystyka geometryczna przekroju: J_{xg}=1940,0 J_{yg}=142,0 A=28,50 i_x=8,3 i_y=2,2 J_w=12988,1 J_t=6,3 i_s=8,5. Materiał: St3S (X,Y,V,W). Wytrzymałość **f_d=215 MPa** dla **g=8,5**.

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

Siły przekrojowe: x_a = 4,298; x_b = 0,000.

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **CW ABCW**

M_x = 17,2 kNm, V_y = -14,3 kN, N = -12,4 kN,

Naprężenia w skrajnych włóknach: **σ_t = 84,4 MPa σ_C = -93,1 MPa.**

Naprężenia:

x_a = 4,298; x_b = 0,000.

Naprężenia w skrajnych włóknach: **σ_t = 84,4 MPa σ_C = -93,1 MPa.**

Naprężenia:

- normalne: **σ = -4,3 Δσ = 88,8 MPa ψ_{oc} = 1,000**

- ścinanie wzdłuż osi Y: $A_v = 11,20 \text{ cm}^2$ $\tau = 12,7 \text{ MPa}$ $\psi_{ov} = 1,000$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 4,3 / 1,000 + 88,8 = \mathbf{93,1 < 215 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 12,7 / 1,000 = \mathbf{12,7 < 124,7 = 0,58 \times 215 \text{ MPa}}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{93,1^2 + 3 \times 0,0^2} = \mathbf{93,1 < 215 \text{ MPa}}$$

Nośność elementów rozciąganych: $x_a = 4,298$; $x_b = 0,000$.

Siała osiowa: $N = -12,4 \text{ kN}$.

Pole powierzchni przekroju: $A = 28,50 \text{ cm}^2$.

Nośność przekroju na rozciąganie: $N_{Rt} = A f_d = 28,50 \times 215 \times 10^{-1} = 612,8 \text{ kN}$.

Warunek nośności (31): $N = \mathbf{12,4 < 612,8 = N_{Rt}}$

Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$\kappa_a = 0,300$ $\kappa_b = 0,300$ węzły nieprzesuwne $\Rightarrow \mu = 0,592$ dla $l_0 = 4,298$

$$l_w = 0,592 \times 4,298 = 2,545 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$\kappa_a = 1,000$ $\kappa_b = 1,000$ węzły nieprzesuwne $\Rightarrow \mu = 1,000$ dla $l_0 = 4,298$

$$l_w = 1,000 \times 4,298 = 4,298 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 4,298 \text{ m}$. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 4,298 \text{ m}$.

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1940,0}{2,545^2} 10^{-2} = 6062,3 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 142,0}{4,298^2} 10^{-2} = 155,5 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{8,5^2} \left(\frac{3,14^2 \times 205 \times 12988,1}{4,298^2} 10^{-2} + 80 \times 6,3 \times 10^2 \right) = 880,0 \text{ kN}$$

Nośność przekroju na ściskanie: $x_a = 4,298$; $x_b = 0,000$: $N_{RC} = A f_d = 28,5 \times 215 \times 10^{-1} = 612,8 \text{ kN}$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

- dla N_x $\bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_x} = 1,15 \times \sqrt{612,8 / 6062,3} = 0,366 \Rightarrow \text{Tab.11 a} \Rightarrow \varphi = 0,991$

- dla N_y $\bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_y} = 1,15 \times \sqrt{612,8 / 155,5} = 2,283 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,184$

- dla N_z $\bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_z} = 1,15 \times \sqrt{612,8 / 880,0} = 0,960 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,584$

Przyjęto: $\varphi = \varphi_{\min} = 0,184$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{12,4}{0,184 \times 612,8} = \mathbf{0,110 < 1}$$

Zwichrzenie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem $l_1 = l_{\omega\omega} = 4298 \text{ mm}$:

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 22}{0,817} \times \sqrt{215 / 215} = \mathbf{960 < 4298} = l_I$$

Konieczne jest sprawdzenie zwichrzenia pręta.

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: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 1,230$, $B = 1,230$.
 $A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 1,230 \times 0,00 = 0,000$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 155,5 + \sqrt{(0,000 \times 155,5)^2 + 1,230^2 \times 0,085^2 \times 155,5 \times 880,0} = 38,9$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{41,7 / 38,9} = 1,191$$

Nośność przekroju na zginanie: $x_a = 4,298$; $x_b = 0,000$.

- względem osi X $M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 194,0 \times 215 \times 10^{-3} = 41,7$ kNm

Współczynnik zwichrzenia dla $\bar{\lambda}_L = 1,191$ wynosi $\varphi_L = 0,613$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{12,4}{612,8} + \frac{17,2}{0,613 \times 41,7} = \mathbf{0,694 < 1}$$

Nośność (stateczność) pręta ściskanego i zginanego:

Składnik poprawkowy: $M_{x \max} = 17,2$ kNm $\beta_x = 1,000$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{Rc}} = 1,25 \times 0,991 \times 0,366^2 \frac{1,000 \times 17,2}{41,7} \times \frac{12,4}{612,8} = 0,001$$

$$\Delta_x = 0,001 \quad M_y \max = 0 \quad \Delta_y = 0$$

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{12,4}{0,991 \times 612,8} + \frac{1,000 \times 17,2}{0,613 \times 41,7} = \mathbf{0,694 < 0,999} = 1 - 0,001$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{12,4}{0,184 \times 612,8} + \frac{1,000 \times 17,2}{0,613 \times 41,7} = \mathbf{0,783 < 1,000} = 1 - 0,000$$

Nośność przekroju na ścinanie: $x_a = 0,000$; $x_b = 4,298$.

- wzdłuż osi Y $V_R = 0,58 A V f_d = 0,58 \times 11,2 \times 215 \times 10^{-1} = 139,7$ kN $V_o = 0,6 V_R = 83,8$ kN

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y: $V = \mathbf{14,4 < 139,7} = V_R$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna: $x_a = 4,298$; $x_b = 0,000$.

- dla zginania względem osi X: $V_y = \mathbf{14,3 < 83,8} = V_o$ $M_R, V = M_R = 41,7$ kNm

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{Rx, V}} = \frac{12,4}{612,8} + \frac{17,2}{41,7} = \mathbf{0,433 < 1}$$

Nośność przekroju na ścinanie z uwzględnieniem siły osiowej: $x_a = 4,298$, $x_b = 0,000$.

- dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 14,3 < 139,6 = 139,7 \times \sqrt{1 - (12,4 / 612,8)^2} = V_R \sqrt{1 - (N / N_{Rc})^2} = V_{R,N}$$

Nośność środnika pod obciążeniem skupionym: $x_a = 1,077$; $x_b = 3,221$.

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $c = 100,0$ mm. Naprężenia ściskające w środniku wynoszą $\sigma_c = 23,9$ MPa. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,25 - 0,5 \sigma_c / f_d = 1,25 - 0,5 \times 23,9 / 215 = 1,000$$

Nośność środnika na siłę skupioną: $P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 202,5 \times 5,6 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 243,8$ kN

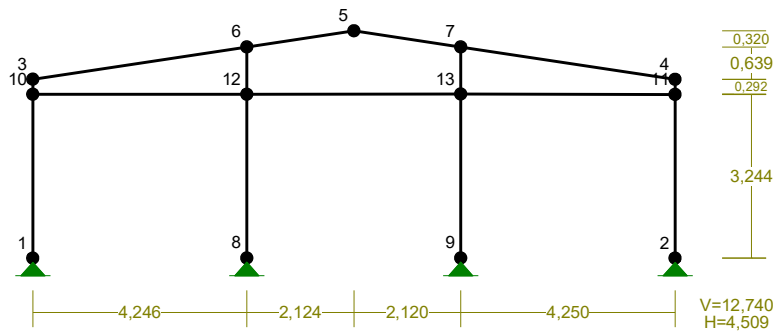
Warunek nośności środnika: $P = 9,8 < 243,8 = P_{R,W}$

Stan graniczny użytkowania: Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 1,1 \text{ mm } a_{gr} = l / 200 = 4298 / 200 = 21,5 \text{ mm} \quad a_{\max} = 1,1 < 21,5 = a_{gr}$$

Poz.2.3 Rama stalowa

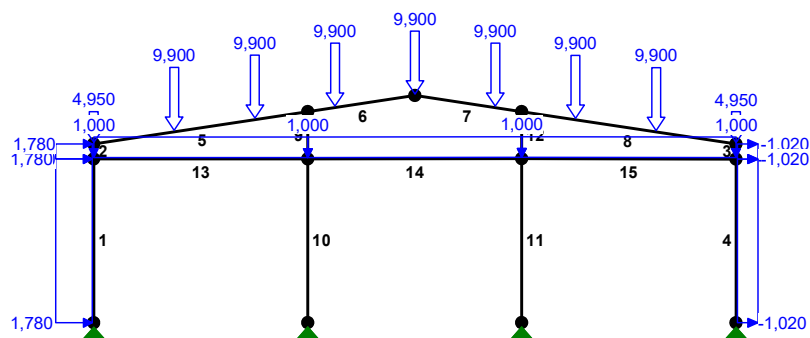
WEZŁY: Skala 1:150



WEZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:	Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000	8	4,246	0,003
2	12,740	0,000	9	8,490	0,003
3	0,000	3,550	10	0,000	3,252
4	12,740	3,547	11	12,740	3,247
5	6,370	4,509	12	4,246	3,251
6	4,246	4,189	13	8,490	3,255
7	8,490	4,189			

OBCIĄŻENIA: Skala 1:150



OBCIĄŻENIA: ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a[m]: b[m]:

Grupa: CW "Ciężar własny" Stałe $\gamma_f = 1,10$

Grupa: B "" Stałe $\gamma_f = 1,41$

5	Skupione	0,0	4,950	0,00
5	Skupione	0,0	9,900	1,61
5	Skupione	0,0	9,900	3,23
6	Skupione	0,0	9,900	0,55
7	Skupione	0,0	9,900	0,00
7	Skupione	0,0	9,900	1,61
8	Skupione	0,0	4,950	4,30
8	Skupione	0,0	9,900	2,70
8	Skupione	0,0	9,900	1,08

Grupa: C "" Stałe $\gamma_f = 1,20$

13	Liniowe	0,1	1,000	1,000	0,00	4,25
14	Liniowe	0,1	1,000	1,000	0,00	4,24
15	Liniowe	0,1	1,000	1,000	0,00	4,25

Grupa: W "" Zmienne $\gamma_f = 1,50$

1	Liniowe	90,0	1,780	1,780	0,00	3,25
2	Liniowe	90,0	1,780	1,780	0,00	0,30
3	Liniowe	-90,0	-1,020	-1,020	0,00	0,30
4	Liniowe	-90,0	-1,020	-1,020	0,00	3,25

OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa: Znaczenie: γ_f : ψ_d :

CW-"Ciężar własny"	Stałe	1,10	
B -""	Stałe	1,41	
C -""	Stałe	1,20	
W -""	Zmienne	1	1,50
			1,00

RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

Grupa obc.: Relacje:

Ciężar wł. ZAWSZE

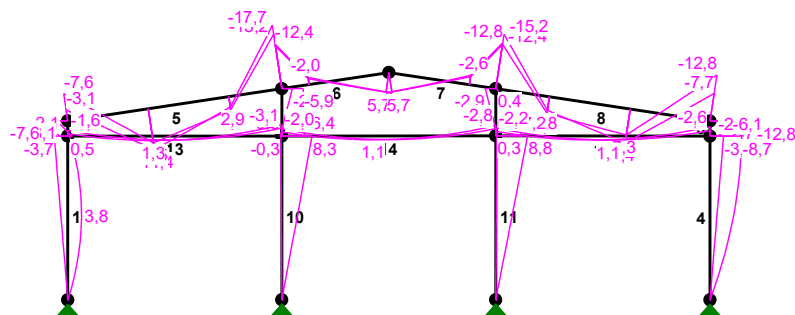
CW - "Ciężar własny"	EWENTUALNIE
B - ""	EWENTUALNIE
C - ""	EWENTUALNIE
W - ""	EWENTUALNIE

KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

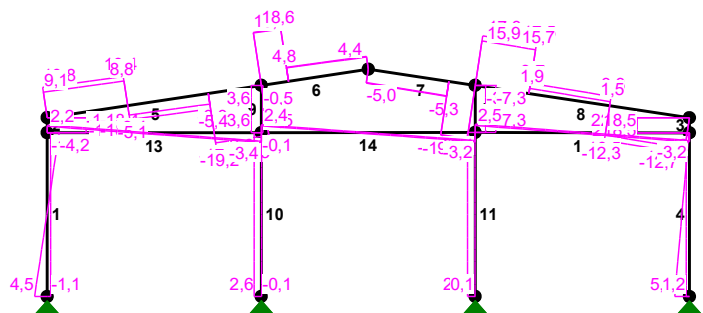
Nr: Specyfikacja:

1	ZAWSZE	: CW+B+C
	EWENTUALNIE:	W

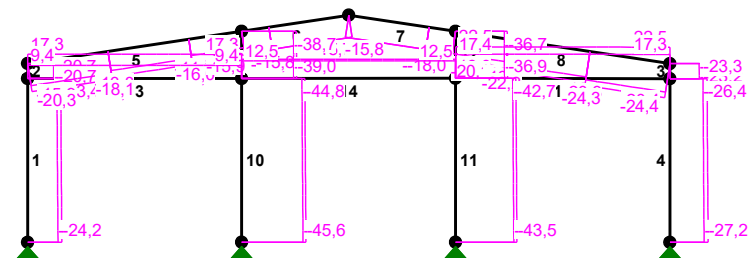
MOMENTY-OBWIEDNIE: Skala 1:150



TNĄCE-OBWIEDNIE: Skala 1:150



NORMALNE-OBWIEDNIE: Skala 1:150



SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Pręt: x[m]: M[kNm]: Q[kN]: N[kN]: Kombinacja obciążeń:

1	1,626	3,8*	0,1	-21,1	CW BCW
---	-------	------	-----	-------	--------

2	3,252	-3,7*	-1,1	-23,4	CW BC
	0,000	0,0	4,5*	-21,5	CW BCW
	3,252	0,5	-4,2	-20,7*	CW BCW
	0,000	0,0	-1,1	-24,2*	CW BC
	0,000	1,1*	-13,6	-18,5	CW BCW
	0,298	-7,6*	-18,4	-20,7	CW BC
	0,000	-2,1	-18,4*	-20,7	CW BC
	0,298	-7,6	-18,4*	-20,7	CW BC
	0,298	-3,1	-14,4	-18,4*	CW BCW
3	0,000	-2,1	-18,4	-20,7*	CW BC
	0,300	-2,2*	18,5	-20,9	CW BC
	0,000	-12,8*	22,2	-23,2	CW BCW
	0,300	-6,1	22,7*	-23,3	CW BCW
	0,000	-7,7	18,5	-20,8*	CW BC
	0,300	-6,1	22,7	-23,3*	CW BCW
	3,247	0,0*	5,2	-27,2	CW BCW
	3,247	0,0*	1,2	-24,3	CW BC
	0,000	-8,7*	0,2	-26,4	CW BCW
4	3,247	0,0	5,2*	-27,2	CW BCW
	0,000	-3,8	1,2	-23,5*	CW BC
	3,247	0,0	5,2	-27,2*	CW BCW
	1,613	11,4*	8,8	-15,9	CW BCW
	1,613	11,4*	-5,1	-13,8	CW BCW
	4,294	-17,7*	-19,5	-11,6	CW BCW
	4,294	-17,7	-19,5*	-11,6	CW BCW
	4,294	-17,7	-19,5	-11,6*	CW BCW
	0,000	-7,6	10,8	-20,3*	CW BC
5	2,148	5,7*	4,6	-15,7	CW BC
	0,000	-12,4*	19,0	-17,9	CW BC
	0,000	-12,4	19,0*	-17,9	CW BC
	2,148	5,7	4,6	-15,7*	CW BC
	0,000	-11,9	18,7	-17,9*	CW BCW
	0,000	5,7*	-4,7	-15,7	CW BC
	2,144	-12,8*	-19,3	-18,0	CW BCW
	2,144	-12,8	-19,3*	-18,0	CW BCW
	0,000	5,7	-4,7	-15,7*	CW BC
6	2,144	-12,8	-19,3	-18,0*	CW BCW
	2,696	9,4*	-10,5	-20,3	CW BC
	2,696	9,4*	3,3	-18,2	CW BC
	0,000	-15,2*	17,8	-16,0	CW BC
	0,000	-15,2	17,8*	-16,0	CW BC
	0,000	-15,2	17,8	-16,0*	CW BC
	4,298	-12,8	-12,7	-24,4*	CW BCW
	0,938	0,5*	3,6	-36,9	CW BC
	0,938	-6,4*	-0,5	-39,0	CW BCW
7	0,938	0,5	3,6*	-36,9	CW BC
	0,000	-2,9	3,6*	-36,7	CW BC
	0,000	-2,9	3,6	-36,7*	CW BC
	0,938	-6,4	-0,5	-39,0*	CW BCW
	3,248	8,3*	2,6	-44,8	CW BCW
	3,248	-0,3*	-0,1	-42,7	CW BC
	3,248	8,3	2,6*	-44,8	CW BCW
	0,000	0,0	2,6*	-45,6	CW BCW
	3,248	-0,3	-0,1	-42,7*	CW BC
8	0,000	0,0	2,6	-45,6*	CW BCW

11	3,252	8,8*	2,7	-40,5	CW BCW
	0,000	0,0*	2,7	-41,3	CW BCW
	0,000	0,0*	0,1	-43,5	CW BC
	3,252	8,8	2,7*	-40,5	CW BCW
	0,000	0,0	2,7*	-41,3	CW BCW
	3,252	8,8	2,7	-40,5*	CW BCW
	0,000	0,0	0,1	-43,5*	CW BC
12	0,000	7,2*	-7,3	-34,7	CW BCW
	0,934	-2,9*	-3,6	-36,7	CW BC
	0,000	7,2	-7,3*	-34,7	CW BCW
	0,934	0,4	-7,3*	-34,5	CW BCW
	0,934	0,4	-7,3	-34,5*	CW BCW
	0,000	0,5	-3,6	-36,9*	CW BC
13	1,592	1,2*	0,1	9,4	CW BCW
	4,246	-3,1*	-3,4	9,4	CW BCW
	4,246	-3,1	-3,4*	9,4	CW BCW
	0,000	-1,6	2,7	17,3*	CW BC
	4,246	-3,1	-3,4	9,4*	CW BCW
14	1,857	1,1*	0,0	12,5	CW BCW
	4,244	-2,8*	-3,2	12,5	CW BCW
	4,244	-2,8	-3,2*	12,5	CW BCW
	4,244	-2,0	-2,8	13,6*	CW BC
	0,000	-1,1	2,4	12,5*	CW BCW
15	2,125	1,1*	0,1	17,3	CW BC
	4,250	-2,6*	-3,2	22,5	CW BCW
	4,250	-2,6	-3,2*	22,5	CW BCW
	0,000	-1,3	2,5	22,5*	CW BCW
	4,250	-1,6	-2,7	17,3*	CW BC

* = Wartości ekstremalne

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	1,1*	24,2	24,3		CW BC
	-4,5*	21,5	22,0		CW BCW
	1,1	24,2*	24,3		CW BC
	-4,5	21,5*	22,0		CW BCW
	1,1	24,2	24,3*		CW BC
2	-1,2*	24,3	24,3		CW BC
	-5,2*	27,2	27,7		CW BCW
	-5,2	27,2*	27,7		CW BCW
	-1,2	24,3*	24,3		CW BC
	-5,2	27,2	27,7*		CW BCW
8	0,1*	43,5	43,5		CW BC
	-2,6*	45,6	45,7		CW BCW
	-2,6	45,6*	45,7		CW BCW
	0,1	43,5*	43,5		CW BC
	-2,6	45,6	45,7*		CW BCW
9	-0,1*	43,5	43,5		CW BC
	-2,7*	41,3	41,4		CW BCW
	-0,1	43,5*	43,5		CW BC
	-2,7	41,3*	41,4		CW BCW
	-0,1	43,5	43,5*		CW BC

* = Wartości ekstremalne

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia char.: "Kombinacja obciążeń"

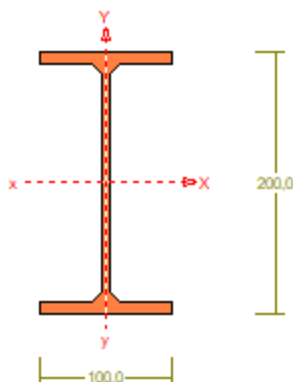
Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,9*	17,8	17,9		CW BC
	-2,9*	16,0	16,3		CW BCW
	0,9	17,8*	17,9		CW BC
	-2,9	16,0*	16,3		CW BCW
	0,9	17,8	17,9*		CW BC
2	-0,9*	17,9	17,9		CW BC
	-3,5*	19,8	20,1		CW BCW
	-3,5	19,8*	20,1		CW BCW
	-0,9	17,9*	17,9		CW BC
	-3,5	19,8	20,1*		CW BCW
8	0,1*	32,0	32,0		CW BC
	-1,7*	33,4	33,4		CW BCW
	-1,7	33,4*	33,4		CW BCW
	0,1	32,0*	32,0		CW BC
	-1,7	33,4	33,4*		CW BCW
9	-0,1*	32,0	32,0		CW BC
	-1,8*	30,5	30,6		CW BCW
	-0,1	32,0*	32,0		CW BC
	-1,8	30,5*	30,6		CW BCW
	-0,1	32,0	32,0*		CW BC

* = Wartości ekstremalne

Pręt nr 5

Przekrój: I 200 PE Wymiary przekroju: I 200 PE h=200,0 g=5,6 s=100,0 t=8,5 r=12,0.

Charakterystyka geometryczna przekroju: $J_{xg}=1940,0$ $J_{yg}=142,0$ $A=28,50$ $i_x=8,3$ $i_y=2,2$ $J_w=12988,1$ $J_t=6,3$ $i_s=8,5$. Materiał: **St3S (X,Y,V,W)**. Wytrzymałość **$f_d=215$ MPa** dla **$g=8,5$** . Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.



Siły przekrojowe: $x_a = 4,294$; $x_b = 0,000$.

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **CW BCW**

$M_x = 17,7$ kNm, **$V_y = -19,5$ kN,** **$N = -11,6$ kN,**

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 87,3$ MPa $\sigma_C = -95,4$ MPa.

Naprężenia: $x_a = 4,294$; $x_b = 0,000$.

Naprężenia w skrajnych włóknach: $\sigma_t = 87,3 \text{ MPa}$ $\sigma_c = -95,4 \text{ MPa}$.

Naprężenia:

- normalne: $\sigma = -4,1$ $\Delta\sigma = 91,4 \text{ MPa}$ $\psi_{oc} = 1,000$

- ścinanie wzdłuż osi Y: $A_v = 11,20 \text{ cm}^2$ $\tau = 17,4 \text{ MPa}$ $\psi_{ov} = 1,000$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 4,1 / 1,000 + 91,4 = \mathbf{95,4 < 215 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 17,4 / 1,000 = \mathbf{17,4 < 124,7 = 0,58 \times 215 \text{ MPa}}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{95,4^2 + 3 \times 0,0^2} = \mathbf{95,4 < 215 \text{ MPa}}$$

Nośność elementów rozciąganych: $x_a = 0,000$; $x_b = 4,294$.

Siała osiowa: $N = -15,9 \text{ kN}$. Pole powierzchni przekroju: $A = 28,50 \text{ cm}^2$.

Nośność przekroju na rozciąganie: $N_{Rt} = A f_d = 28,50 \times 215 \times 10^{-1} = 612,8 \text{ kN}$.

Warunek nośności (31): $N = \mathbf{15,9 < 612,8} = N_{Rt}$

Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\kappa_a = 0,300 \quad \kappa_b = 0,300 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,592 \quad \text{dla } l_0 = 4,294$$

$$l_w = 0,592 \times 4,294 = 2,542 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 4,294$$

$$l_w = 1,000 \times 4,294 = 4,294 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 4,294 \text{ m}$. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 4,294 \text{ m}$.

Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1940,0}{2,542^2} 10^{-2} = 6074,7 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 142,0}{4,294^2} 10^{-2} = 155,8 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{8,5^2} \left(\frac{3,14^2 \times 205 \times 12988,1}{4,294^2} 10^{-2} + 80 \times 6,3 \times 10^2 \right) = 880,4 \text{ kN}$$

Nośność przekroju na ściskanie:

$$x_a = 0,000; \quad x_b = 4,294: \quad N_{RC} = A f_d = 28,5 \times 215 \times 10^{-1} = 612,8 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

$$\text{- dla } N_x \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_x} = 1,15 \times \sqrt{612,8 / 6074,7} = 0,365 \Rightarrow \text{Tab.11 a} \Rightarrow \varphi = 0,991$$

$$\text{- dla } N_y \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_y} = 1,15 \times \sqrt{612,8 / 155,8} = 2,280 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,184$$

$$\text{- dla } N_z \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_z} = 1,15 \times \sqrt{612,8 / 880,4} = 0,959 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,584$$

Przyjęto: $\varphi = \varphi_{\min} = 0,184$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{15,9}{0,184 \times 612,8} = \mathbf{0,141 < 1}$$

Zwicherungie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem $l_1 = l_{ow} = 4294$ mm:

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 22}{0,628} \times \sqrt{215 / 215} = 1248 < 4294 = l_1$$

Konieczne jest sprawdzenie zwicherungia pręta.

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 zwicherungia: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 1,230$, $B = 1,230$.
 $A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 1,230 \times 0,00 = 0,000$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$
$$0,000 \times 155,8 + \sqrt{(0,000 \times 155,8)^2 + 1,230^2 \times 0,085^2 \times 155,8 \times 880,4} = 38,9$$

Smukłość względna dla zwicherungia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{41,7 / 38,9} = 1,190$$

Nośność przekroju na zginanie: $x_a = 4,294$; $x_b = 0,000$.

- względem osi X $M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 194,0 \times 215 \times 10^{-3} = 41,7$ kNm

Współczynnik zwicherungia dla $\bar{\lambda}_L = 1,190$ wynosi $\varphi_L = 0,614$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{11,6}{612,8} + \frac{17,7}{0,614 \times 41,7} = 0,711 < 1$$

Nośność (stateczność) pręta ściskanego i zginanego:

Składnik poprawkowy: $M_{x \max} = 17,7$ kNm $\beta_x = 1,000$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{Rc}} = 1,25 \times 0,991 \times 0,365^2 \frac{1,000 \times 17,7}{41,7} \times \frac{15,9}{612,8} = 0,002$$

$$\Delta_x = 0,002 \quad M_y \max = 0 \quad \Delta_y = 0$$

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{15,9}{0,991 \times 612,8} + \frac{1,000 \times 17,7}{0,614 \times 41,7} = 0,718 < 0,998 = 1 - 0,002$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{15,9}{0,184 \times 612,8} + \frac{1,000 \times 17,7}{0,614 \times 41,7} = 0,833 < 1,000 = 1 - 0,000$$

Nośność przekroju na ścinanie: $x_a = 4,294$; $x_b = 0,000$.

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A V f_d = 0,58 \times 11,2 \times 215 \times 10^{-1} = 139,7$$
 kN

$$V_o = 0,6 V_R = 83,8$$
 kN

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y: $V = 19,5 < 139,7 = V_R$

Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna: $x_a = 4,294$; $x_b = 0,000$.

- dla zginania względem osi X: $V_y = 19,5 < 83,8 = V_0$ $M_R, V = M_R = 41,7 \text{ kNm}$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{Rx, V}} = \frac{11,6}{612,8} + \frac{17,7}{41,7} = 0,444 < 1$$

Nośność przekroju na ścinanie z uwzględnieniem siły osiowej: $x_a = 4,294, x_b = 0,000$.

- dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 19,5 < 139,6 = 139,7 \times \sqrt{1 - (11,6 / 612,8)^2} = V_R \sqrt{1 - (N / N_{Rc})^2} = V_{R, N}$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym: $x_a = 1,613; x_b = 2,681$.

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $c = 100,0 \text{ mm}$.

Napężenia ściskające w środku wynoszą $\sigma_c = 52,2 \text{ MPa}$. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,25 - 0,5 \sigma_c / f_d = 1,25 - 0,5 \times 52,2 / 215 = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną: $P_{R, W} = c_0 t_w \eta_c f_d = 202,5 \times 5,6 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 243,8 \text{ kN}$

Warunek nośności środka: $P = 9,8 < 243,8 = P_{R, W}$

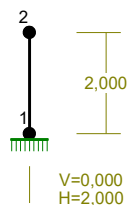
Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

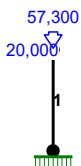
$$a_{\max} = 2,5 \text{ mm } a_{\text{gr}} = l / 200 = 4294 / 200 = 21,5 \text{ mm} \quad a_{\max} = 2,5 < 21,5 = a_{\text{gr}}$$

Poz.2.1.a

WĘZŁY: Skala 1:150



OBCIĄŻENIA: Skala 1:150



OBCIĄŻENIA: ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1 (Tg):	P2 (Td):	a [m]:	b [m]:
Grupa:	CW	"Ciężar własny"		Stałe	$\gamma_f = 1,10$	
Grupa:	A	"		Zmienne	$\gamma_f = 1,41$	
1	Skupione	90,0	20,000		2,00	

Grupa: B "" Zmienne $\gamma_f = 1,36$
 1 Skupione 0,0 57,300 2,00

MOMENTY-OBWIEDNIE: Skala 1:150



TNĄCE-OBWIEDNIE: Skala 1:150



NORMALNE-OBWIEDNIE: Skala 1:150



SILY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
 Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Pręt: x[m]: M[kNm]: Q[kN]: N[kN]: Kombinacja obciążeń:

1	2,000	0,0*	28,2	0,0	CW A
	2,000	0,0*	0,0	0,0	CW
	0,000	0,0*	0,0	-88,5	CW B
	0,000	-56,4*	28,2	-10,6	CW A
	0,000	-56,4*	28,2	-88,5	CW AB
	2,000	0,0	28,2*	0,0	CW A
	0,000	-56,4	28,2*	-10,6	CW A
	0,000	-56,4	28,2*	-88,5	CW AB
	2,000	0,0	28,2	0,0*	CW A
	2,000	0,0	0,0	0,0*	CW
	0,000	-56,4	28,2	-88,5*	CW AB
	0,000	0,0	0,0	-88,5*	CW B

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
 Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Węzeł: H[kN]: V[kN]: R[kN]: M[kNm]: Kombinacja obciążeń:

1	0,0*	88,5	88,5	0,0	CW B
	0,0*	10,6	10,6	0,0	CW
	-28,2*	88,5	92,9	56,4	CW AB
	-28,2*	10,6	30,1	56,4	CW A
	0,0	88,5*	88,5	0,0	CW B
	-28,2	88,5*	92,9	56,4	CW AB
	0,0	10,6*	10,6	0,0	CW

-28,2	10,6*	30,1	56,4	CW A
-28,2	88,5	92,9*	56,4	CW AB
-28,2	10,6	30,1	56,4*	CW A
-28,2	88,5	92,9	56,4*	CW AB
0,0	10,6	10,6	0,0*	CW
0,0	88,5	88,5	0,0*	CW B

* = Wartości ekstremalne

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia char.: "Kombinacja obciążeń"

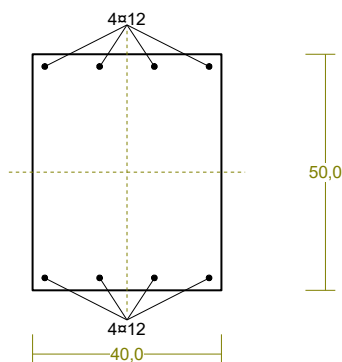
Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,0*	66,9	66,9	0,0	CW B
	0,0*	9,6	9,6	0,0	CW
	-20,0*	66,9	69,8	40,0	CW AB
	-20,0*	9,6	22,2	40,0	CW A
	0,0	66,9*	66,9	0,0	CW B
	-20,0	66,9*	69,8	40,0	CW AB
	0,0	9,6*	9,6	0,0	CW
	-20,0	9,6*	22,2	40,0	CW A
	-20,0	66,9	69,8*	40,0	CW AB
	-20,0	9,6	22,2	40,0*	CW A
	-20,0	66,9	69,8	40,0*	CW AB
	0,0	9,6	9,6	0,0*	CW
	0,0	66,9	66,9	0,0*	CW B

* = Wartości ekstremalne

Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-B-03264:2002 (Skrócone)

Cechy przekroju:

zadanie Poz2,1asłupŻelb, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,00$ m, $x_b=1,00$ m



Wymiary przekroju [cm]:

$h=50,0$, $b=40,0$,

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: B20

$f_{ck}=16,0$ MPa, $f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck}/\gamma_c=1,00 \times 16,0/1,50=10,7$ MPa

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$A_c=2000$ cm², $J_{cx}=416667$ cm⁴, $J_{cy}=266667$ cm⁴

STAL: A-IIIN (RB 500)

$f_{yk}=500$ MPa, $\gamma_s=1,15$, $f_{yd}=420$ MPa

$\xi_{lim}=0,0035/(0,0035+f_{yd}/E_s)=0,0035/$

$(0,0035+420/200000)=0,625$,

Zbrojenie główne:

$A_{s1}+A_{s2}=9,05$ cm², $\rho=100 (A_{s1}+A_{s2})/A_c=100 \times 9,05/2000=0,45$ %,

$J_{sx}=4540$ cm⁴, $J_{sy}=1522$ cm⁴,

Siły przekrojowe:

zadanie: Poz2,1asłupŻelb, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,00$ m, $x_b=1,00$ m

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **CW AB**

Momenty zginające: $M_x=28,2$ kNm, $M_y=0,0$ kNm,

Siły poprzeczne: $V_y=28,2$ kN, $V_x=0,0$ kN,

Siła osiowa: $N = -83,2 \text{ kN} = N_{Sd}$,

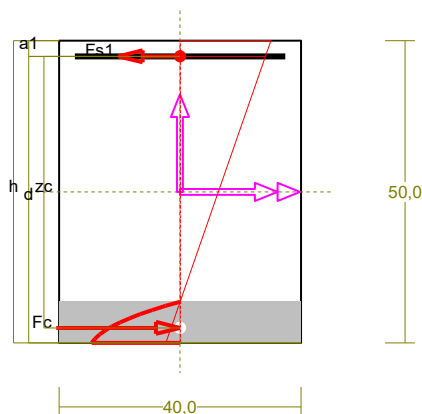
Uwzględnienie smukłości pręta:

- w płaszczyźnie ustroju: $e_{ey} = M_x/N = (28,2)/(-83,2) = -0,339 \text{ m}$,

$M_{Sdx} = \eta_x (e_{ay} + e_{ey}) N = 1,012 \times (-0,020 - 0,339) \times (-83,2) = 30,2 \text{ kNm}$.

Zbrojenie wymagane:

(zadanie Poz2,1aślupŻelb, pręt nr 1, przekrój: $x_a=0,00 \text{ m}$, $x_b=2,00 \text{ m}$)



Wielkości obliczeniowe:

$N_{Sd} = -88,5 \text{ kN}$,

$M_{Sd} = \sqrt{(M_{Sdx})^2 + (M_{Sdy})^2} = \sqrt{(58,9^2 + 0,0^2)} = 58,9 \text{ kNm}$

$f_{cd} = 10,7 \text{ MPa}$, $f_{yd} = 420 \text{ MPa} = f_{td}$,

Zbrojenie rozciągane ($\epsilon_{s1} = 10,00 \text{ ‰}$):

$A_{s1} = 2,06 \text{ cm}^2 < \min A_{s1} = 2,84 \text{ cm}^2$, przyjęto

$A_{s1} = 2,84 \text{ cm}^2 \Rightarrow (3 \times 12 = 3,39 \text{ cm}^2)$,

Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.

$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2,06 \text{ cm}^2$, $\rho = 100 \times A_s / A_c = 100 \times 2,06 / 2000 = 0,10 \text{ ‰}$

Wielkości geometryczne [cm]:

$h = 50,0$, $d = 47,4$, $x = 6,8$ ($\xi = 0,143$),

$a_1 = 2,6$, $a_c = 2,5$, $z_c = 44,9$, $A_{cc} = 272 \text{ cm}^2$,

$\epsilon_c = -1,67 \text{ ‰}$, $\epsilon_{s1} = 10,00 \text{ ‰}$,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$F_c = -175,2$, $F_{s1} = 86,7$,

$M_c = 39,4$, $M_{s1} = 19,4$,

Warunki równowagi wewnętrznej:

$F_c + F_{s1} = -175,2 + (86,7) = -88,5 \text{ kN}$ ($N_{Sd} = -88,5 \text{ kN}$)

$M_c + M_{s1} = 39,4 + (19,4) = 58,9 \text{ kNm}$ ($M_{Sd} = 58,9 \text{ kNm}$)

Długości wyboczeniowe pręta:

zadanie Poz2,1aślupŻelb, pręt nr 1

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu:

podatności węzłów ustalone według załącznika C normy, współczynnik β obliczono jak dla pręta jednostronnie zamocowanego w układzie przesuwym

ze wzoru (C.1) $l_0 = \beta l_{col}$, $l_{col} = 2,000 \text{ m}$,

podatności węzłów: $\kappa_a = 0,000 \Rightarrow k_A = (1/\kappa_a - 1) = \infty$, $\kappa_b = 1,000 \Rightarrow k_B = (1/\kappa_b - 1) = 0,000$,

$\Rightarrow \beta = 2 + 1/(3k) = 2 + 1/(3 \times \infty) \Rightarrow l_0 = 2,000 \times 2,000 = 4,000 \text{ m}$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

podatności węzłów ustalone według załącznika C normy, współczynnik β obliczono jak dla pręta dwustronnie zamocowanego w układzie nieprzesuwym:

ze wzoru (C.1) $l_0 = \beta l_{col}$, $l_{col} = 2,000 \text{ m}$,

podatności węzłów: $\kappa_a = 1,000 \Rightarrow k_A = (1/\kappa_a - 1) = 1,000$, $\kappa_b = 1,000 \Rightarrow k_B = (1/\kappa_b - 1) = 1,000$,

$\beta = 0,5 + 0,25/(k_A + 1) + 0,25/(k_B + 1) = 0,5 + 0,25/(1,000 + 1) + 0,25/(1,000 + 1) = 1,000 \Rightarrow$

$l_0 = 1,000 \times 2,000 = 2,000 \text{ m}$

Uwzględnienie wpływu smukłości pręta:

zadanie Poz2,1aśłupŻelb, pręt nr 1

- w płaszczyźnie ustroju:

$$\text{mimośród niezamierzony: } (l_{col}=2,000 \text{ m, } h=0,500 \text{ m, } n=1) e_a = \max \left\langle \frac{l_{col}}{600} \left(1 + \frac{1}{n}\right), \frac{h}{30}, 0,01 \right\rangle$$

$$= \max \langle 0,007, 0,017, 0,010 \rangle = 0,017 \text{ m, przyjęto: } e_a = 0,020 \text{ m,}$$

$$\text{mimośród statyczny: } M_{\max} = \max M_{Sd} = 56,4 \text{ kNm, } N_{Sd} = -88,5 \text{ kN} \Rightarrow e_e = |M_{\max}/N| = |56,4/(-88,5)| = 0,637 \text{ m,}$$

$$\text{mimośród początkowy: } e_o = e_a + e_e = 0,020 + 0,637 = 0,657 \text{ m,}$$

obliczenie siły krytycznej:

- długość wyboczeniowa: $l_o = 4,000 \text{ m}$ (obliczona wg PN),

- moduł sprężystości betonu: $E_{cm} = 29,0 \cdot 10^6 \text{ kPa,}$

- momenty bezwładności: $I_c = 41,6667 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4,$

$$I_s = 0,4540 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \text{ (dla zbrojenia rzeczywistego)}$$

$$- e_o/h = \max \langle (e_a + e_e)/h, 0,05, 0,5 - 0,01(l_o/h + f_{cd}) \rangle = \max \langle 1,315, 0,05, 0,313 \rangle = 1,315,$$

$$- k_{lt} = 1 + 0,5 (N_{Sd,lt}/N_{Sd}) \phi(t, t_o) = 1 + 0,5 \times 1,000 \times 3,10 = 2,550,$$

$$N_{crit} = \frac{9}{l_o^2} \left[\frac{E_{cm} I_c}{2k_{lt}} \left(\frac{0,11}{0,1 + \frac{e_o}{h}} + 0,1 \right) + E_s I_s \right] =$$

$$\frac{9}{4,000^2} \left[\frac{0,000 \cdot 10^{290} \times 0,000 \cdot 10^0}{2 \times 2,550} \left(\frac{0,11}{0,1 + 1,315} + 0,1 \right) + 0,0 \cdot 10^{200} \times 0,000 \cdot 10^0 \right] = 7476,4 \text{ kN}$$

współczynnik zwiększający mimośród początkowy:

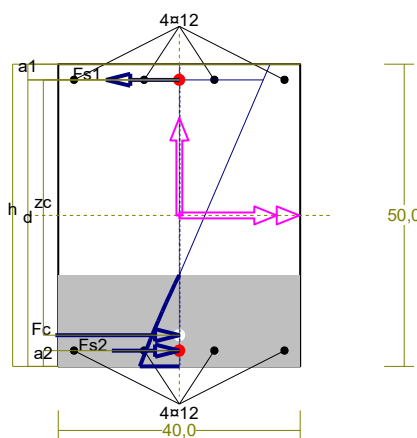
$$\eta = \frac{1}{1 - N_{Sd}/N_{crit}} = \frac{1}{1 - (88,5/7476,4)} = 1,012,$$

- w płaszczyźnie prostopadłej do ustroju:

uwzględnienie wpływu smukłości zaniechano

Nośność przekroju prostopadłego:

zadanie Poz2,1aśłupŻelb, pręt nr 1, przekrój: $x_a = 0,00 \text{ m, } x_b = 2,00 \text{ m}$



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Sd} = -88,5 \text{ kN, } M_{Sd} = \sqrt{(M_{Sdx}^2 + M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(58,9^2 + 0,0^2)} = 58,9 \text{ kNm}$$

$$f_{cd} = 10,7 \text{ MPa, } f_{yd} = 420 \text{ MPa} = f_{td},$$

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1} = 4,52 \text{ cm}^2$, Zbrojenie ściskane:

$$A_{s2} = 4,52 \text{ cm}^2,$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 9,05 \text{ cm}^2, \rho = 100 \times A_s / A_c = 100$$

$$\times 9,05 / 2000 = 0,45 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]: $h = 50,0, d = 47,4, x = 15,1$

$$(\xi = 0,319), a_1 = 2,6, a_2 = 2,6, a_c = 5,2, z_c = 42,2,$$

$$A_{cc} = 605 \text{ cm}^2, \varepsilon_c = -0,49 \text{ ‰, } \varepsilon_{s2} = -0,41 \text{ ‰,}$$

$$\varepsilon_{s1} = 1,06 \text{ ‰, Wielkości statyczne [kN, kNm]: } F_c = -146,9,$$

$$F_{s1} = 95,5, F_{s2} = -37,1, M_c = 29,2, M_{s1} = 21,4, M_{s2} = 8,3,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

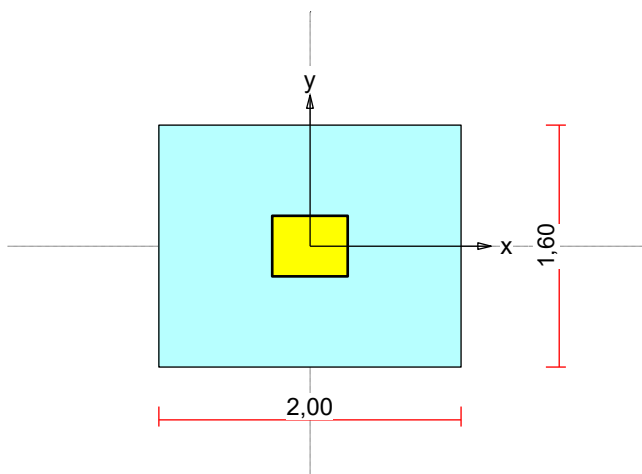
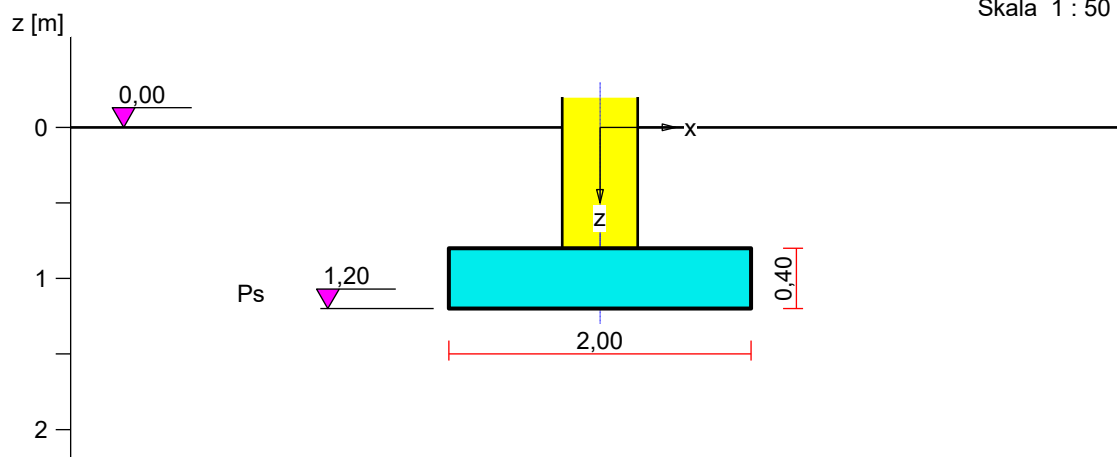
$$M_{Rd} = 126,2 \text{ kNm} > M_{Sd} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 29,2 + (21,4) + (8,3) = 58,9 \text{ kNm}$$

Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

Rozstaw strzemion: Przyjęto strzemiona 4-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **18,0** cm,

FUNDAMENT 1. STOPA PROSTOKĄTNA

Nazwa fundamentu: Poz3,1



1. Podłoże gruntowe

1.1. Teren

Istniejący względny poziom terenu: $z_t = 0,00$ m,

Projektowany względny poziom terenu: $z_{tp} = 0,00$ m.

1.2. Warstwy gruntu

Lp.	Poziom stropu	Grubość warstwy	Nazwa gruntu	Poz. wody grunt.
	[m]	[m]		[m]
1	0,00	nieokreśl.	Piasek średni	brak wody

2. Konstrukcja na fundamencie

Typ konstrukcji: **słup prostokątny**

Wymiary słupa: $b = 0,50$ m, $l = 0,40$ m,

Współrzędne osi słupa: $x_0 = 2,20$ m, $y_0 = 1,20$ m,

Kąt obrotu układu lokalnego względem globalnego: $\phi = 0,00^0$.

3. Obciążenie od konstrukcji

Względny poziom przyłożenia obciążenia: $z_{obc} = 0,80$ m.

Lista obciążeń:

Lp	Rodzaj	N	H _x	H _y	M _x	M _y	γ
	obciążenia*	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[–]
1	D+K	84,3	28,2	0,0	0,00	56,40	1,20

* D – obciążenia stałe, zmienne długotrwałe,

D+K - obciążenia stałe, zmienne długotrwałe i krótkotrwałe.

4. Materiał

Rodzaj materiału: **żelbet**

Klasa betonu: B20, nazwa stali: RB 500,

Średnica prętów zbrojeniowych:

na kierunku x: $d_x = 12,0$ mm, na kierunku y: $d_y = 12,0$ mm,

Kierunek zbrojenia głównego: x,

Grubość otuliny: 5,0 cm.

W warunku na przebicie nie uwzględniać strzemion.

5. Wymiary fundamentu

Względny poziom posadowienia: $z_f = 1,20$ m

Kształt fundamentu: **prosty**

Wymiary podstawy: $B_x = 2,00$ m, $B_y = 1,60$ m,

Wysokość: $H = 0,40$ m,

Mimośrod: $E_x = 0,00$ m, $E_y = 0,00$ m.

6. Stan graniczny I

6.1. Zestawienie wyników analizy nośności i mimośrodów

Nr obc.	Rodzaj obciążenia	Poziom [m]	Wsp. nośności	Wsp. mimośr.
* 1	D+K	1,20	0,21	0,94

6.2. Analiza stanu granicznego I dla obciążenia nr 1

Wymiary podstawy fundamentu rzeczywistego: $B_x = 2,00$ m, $B_y = 1,60$ m.

Względny poziom posadowienia: $H = 1,20$ m.

Rodzaj obciążenia: D+K,

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji:

siła pionowa: $N = 84,30$ kN, mimośrody wzgl. podst. fund. $E_x = 0,00$ m, $E_y = 0,00$ m,

siła pozioma: $H_x = 28,20$ kN, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,40$ m,

siła pozioma: $H_y = 0,00$ kN, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,40$ m,

moment: $M_x = 0,00$ kNm, moment: $M_y = 56,40$ kNm.

Ciężar własny fundamentu, gruntu, posadzek, obciążenia posadzek:

siła pionowa: $G = 82,56$ kN/m, momenty: $M_{Gx} = 0,00$ kNm/m, $M_{Gy} = 0,00$ 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:

$$N_r = N + G = 84,30 + 82,56 + 60,27 = 166,86 + 144,57 \text{ kN}.$$

Momenty względem środka podstawy:

$$M_{rx} = N \cdot E_y - H_y \cdot E_z + M_x + M_{Gx} = 84,30 \cdot 0,00 - 0,00 \cdot 0,40 + 0,00 + (0,00) + 0,00 = 0,00 + 0,00 \text{ kNm}.$$

$$M_{ry} = -N \cdot E_x + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy} = -84,30 \cdot 0,00 + 28,20 \cdot 0,40 + 56,40 + 0,00 + (0,00) = 67,68 +$$

67,68 kNm.

Mimośrodowość sił względem środka podstawy:

$$e_{rx} = |M_{ry}/N_r| = 67,68/144,57 = 0,47 \text{ m},$$

$$e_{ry} = |M_{rx}/N_r| = 0,00/144,57 = 0,00 \text{ m}.$$

$$e_{rx}/B_x + e_{ry}/B_y = 0,234 + 0,000 = 0,234 \text{ m} < 0,250.$$

Wniosek: Warunek położenia wypadkowej jest spełniony.

Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

$$B_x' = B_x - 2 \cdot e_{rx} = 2,00 - 2 \cdot 0,41 = 1,19 \text{ m}, \quad B_y' = B_y - 2 \cdot e_{ry} = 1,60 - 2 \cdot 0,00 = 1,60 \text{ m}.$$

Obciążenie podłoża obok ławy (min. średnia gęstość dla pola 1):

$$\text{średnia gęstość obliczeniowa: } \rho_{D(r)} = 1,53 \text{ t/m}^3,$$

$$\text{minimalna wysokość: } D_{\min} = 1,20 \text{ m},$$

$$\text{obciążenie: } \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} = 1,53 \cdot 9,81 \cdot 1,20 = 18,01 \text{ kPa}.$$

Współczynniki nośności podłoża:

$$\text{obliczeniowy kąt tarcia wewnętrzznego: } \Phi_{u(r)} = \Phi_{u(n)} \cdot \gamma_m = 32,70 \cdot 0,90 = 29,43^\circ,$$

$$\text{spójność: } c_{u(r)} = c_{u(n)} \cdot \gamma_m = 0,00 \text{ kPa},$$

$$N_B = 6,88 \quad N_C = 28,81, \quad N_D = 17,25.$$

Wpływ odchylenia wypadkowej obciążenia od pionu:

$$\text{tg } \delta_x = |H_x|/N_r = 28,20/166,86 = 0,17, \quad \text{tg } \delta_x/\text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,1690/0,5642 = 0,300,$$

$$i_{Bx} = 0,53, \quad i_{Cx} = 0,70, \quad i_{Dx} = 0,72.$$

$$\text{tg } \delta_y = |H_y|/N_r = 0,00/166,86 = 0,00, \quad \text{tg } \delta_y/\text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,0000/0,5642 = 0,000,$$

$$i_{By} = 1,00, \quad i_{Cy} = 1,00, \quad i_{Dy} = 1,00.$$

Ciężar objętościowy gruntu pod ławą fundamentową:

$$\rho_{B(n)} \cdot \gamma_m \cdot g = 1,70 \cdot 0,90 \cdot 9,81 = 15,01 \text{ kN/m}^3.$$

Współczynniki kształtu:

$$m_B = 1 - 0,25 \cdot B_x' / B_y' = 0,81, \quad m_C = 1 + 0,3 \cdot B_x' / B_y' = 1,22, \quad m_D = 1 + 1,5 \cdot B_x' / B_y' = 2,11$$

Odpór graniczny podłoża:

$$Q_{fNBx} = B_x' \cdot B_y' (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{Cx} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_{Dx} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B_x' \cdot i_{Bx}) = 994,88 \text{ kN}.$$

$$Q_{fNBy} = B_x' \cdot B_y' (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{Cy} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_{Dy} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B_y' \cdot i_{By}) = 1505,68 \text{ kN}.$$

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

$$N_r = 166,86 \text{ kN} < m \cdot \min(Q_{fNBx}, Q_{fNBy}) = 0,81 \cdot 994,88 = 805,85 \text{ kN}.$$

Wniosek: warunek nośności jest spełniony.

7. Wymiarowanie fundamentu

7.1. 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	45	223	–

7.2. Sprawdzenie stopy na przebicie dla obciążenia nr 1

Zestawienie obciążeń:

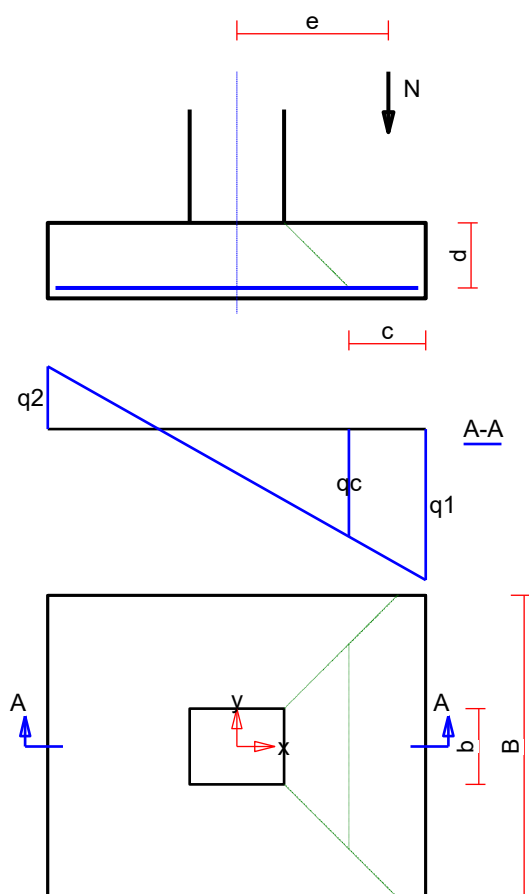
Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 84 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$, $M_{yr} = 67,68 \text{ kNm}$.

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,80 \text{ m}$, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$.



Przebiecie stopy w przekroju 1:

Siła ścinająca: $V_{Sd} = \int A_c q \cdot dA = 45 \text{ kN}$.

Nośność betonu na ścinanie: $V_{Rd} = (b+d) \cdot d \cdot f_{ctd} = (0,40+0,34) \cdot 0,34 \cdot 870 = 223 \text{ kN}$.

$V_{Sd} = 45 \text{ kN} < V_{Rd} = 223 \text{ kN}$.

Wniosek: warunek na przebicie jest spełniony.

7.3. Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na zginanie

Nr obc.	Kierunek	Przekrój	Moment zginający M [kNm]	Nośność przekroju M _r [kNm]
* 1	x	1	39	103
	y	1	11	114

Uwaga: Momenty zginające wyznaczono metodą wsporników prostokątnych.

7.4. Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 1 na kierunku x

Zestawienie obciążeń:

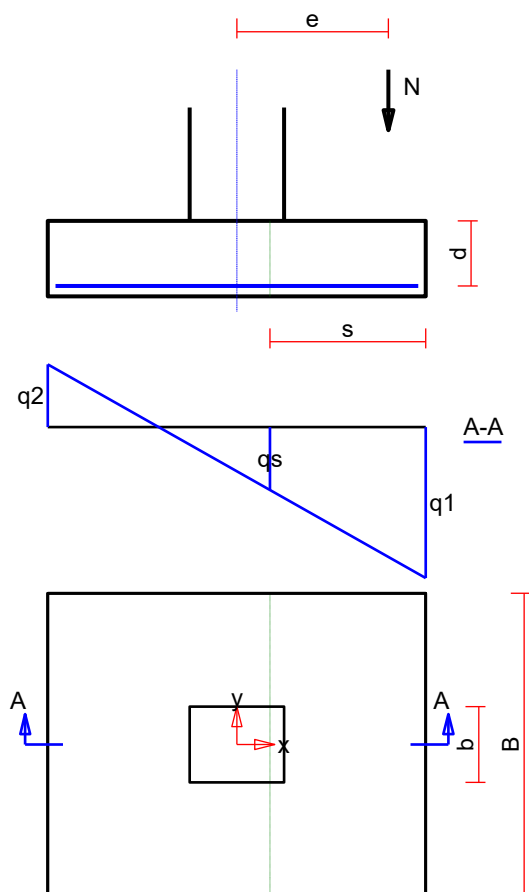
Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 84 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$, $M_{yr} = 67,68 \text{ kNm}$.

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,80 \text{ m}$, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$.



Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$$M_{sd} = (2 \cdot q_1 + q_s) \cdot b \cdot s^2 / 6 = (2 \cdot 90 + 37) \cdot 1,60 \cdot 0,68^2 / 6 = 39 \text{ kNm}.$$

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_s = 3,0 \text{ cm}^2$.

Przyjęta powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_{Rs} = 7,9 \text{ cm}^2$.

$$A_s = 3,0 \text{ cm}^2 < A_{Rs} = 7,9 \text{ cm}^2.$$

Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.

7.5. Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 1 na kierunku y

Zestawienie obciążeń:

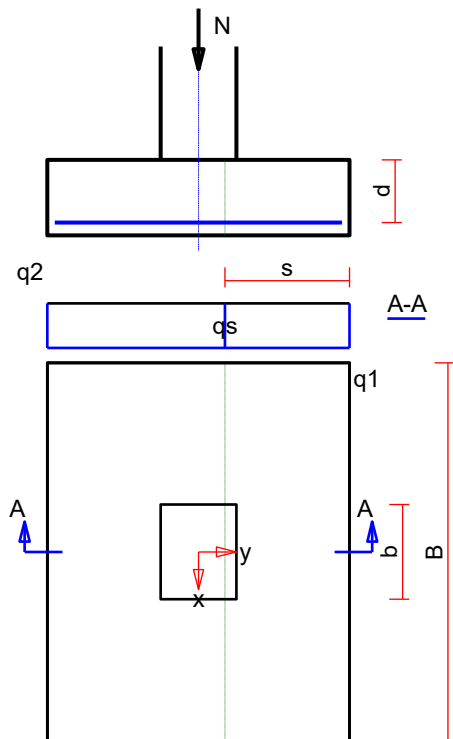
Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 84 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xR} = 0,00 \text{ kNm}$, $M_{yR} = 67,68 \text{ kNm}$.

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$e_{xR} = |M_{yR}/N_R| = 0,80 \text{ m}$, $e_{yR} = |M_{xR}/N_R| = 0,00 \text{ m}$.



Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$$M_{Sd} = (2 \cdot q_1 + q_s) \cdot B \cdot s^2 / 6 = (2 \cdot 26 + 26) \cdot 2,00 \cdot 0,44^2 / 6 = 11 \text{ kNm}.$$

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_s = 0,9 \text{ cm}^2$.

Przyjęta powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_{Rs} = 9,0 \text{ cm}^2$.

$$A_s = 0,9 \text{ cm}^2 < A_{Rs} = 9,0 \text{ cm}^2.$$

Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.

8. Zbrojenie stopy

Zbrojenie główne na kierunku x:

Średnica prętów: $\phi = 12 \text{ mm}$.

Konieczna liczba prętów: $L_{xs} = 7$.

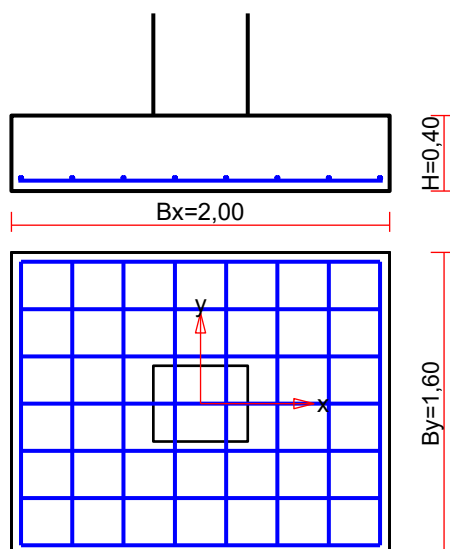
Przyjęta liczba prętów: $L_{xR} = 7$ co $25,0 \text{ cm}$.

Zbrojenie główne na kierunku y:

Średnica prętów: $\phi = 12 \text{ mm}$.

Konieczna liczba prętów: $L_{ys} = 8$.

Przyjęta liczba prętów: $L_{yR} = 8$ co $27,1 \text{ cm}$.

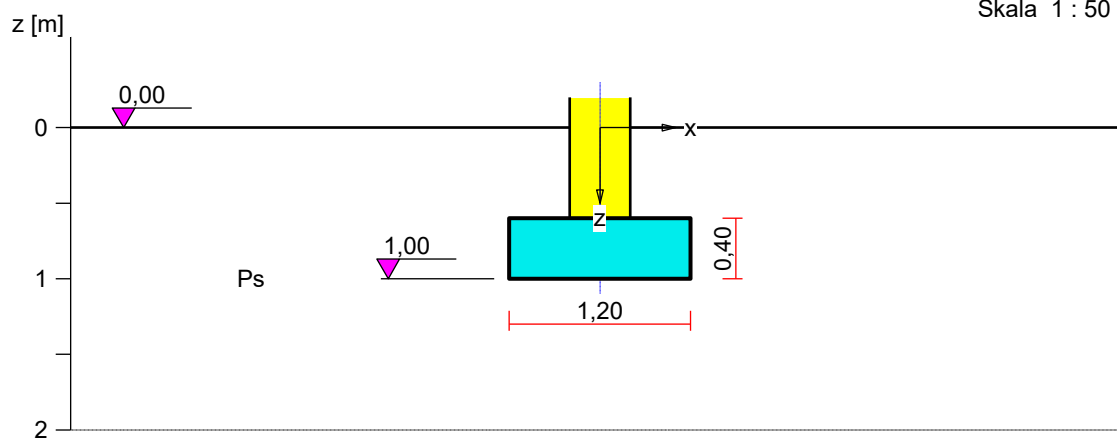


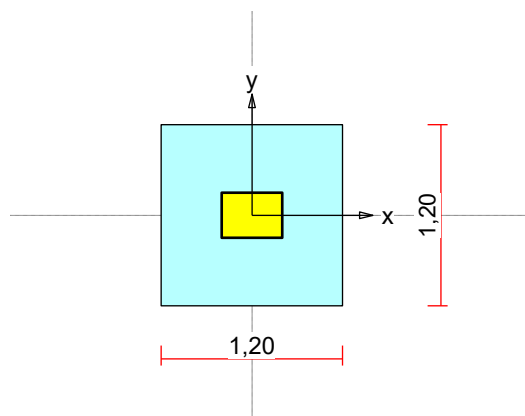
Ilość stali: 22 kg. Ilość betonu: $1,28 \text{ m}^3$. Ilość stali na 1 m^3 betonu: $17,5 \text{ kg/m}^3$.

FUNDAMENT 2. STOPA PROSTOKĄTNA

Nazwa fundamentu: Poz3,2

Skala 1 : 50





1. Podłoże gruntowe

1.1. Teren

Istniejący względny poziom terenu: $z_t = 0,00$ m,

Projektowany względny poziom terenu: $z_{tp} = 0,00$ m.

1.2. Warstwy gruntu

Lp.	Poziom stropu	Grubość warstwy	Nazwa gruntu	Poz. wody grunt.
	[m]	[m]		[m]
1	0,00	nieokreśl.	Piasek średni	brak wody

2. Konstrukcja na fundamencie

Typ konstrukcji: **słup prostokątny**

Wymiary słupa: $b = 0,40$ m, $l = 0,30$ m,

Współrzędne osi słupa: $x_0 = 4,90$ m, $y_0 = 3,90$ m,

Kąt obrotu układu lokalnego względem globalnego: $\phi = 0,00^\circ$.

3. Obciążenie od konstrukcji

Względny poziom przyłożenia obciążenia: $z_{obc} = 0,80$ m.

Lista obciążeń:

Lp	Rodzaj	N	H_x	H_y	M_x	M_y	γ
	obciążenia*	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[-]
1	D+K	52,1	2,6	0,0	0,00	5,20	1,20

* D – obciążenia stałe, zmienne długotrwałe,

D+K - obciążenia stałe, zmienne długotrwałe i krótkotrwałe.

4. Materiał

Rodzaj materiału: **żelbet**

Klasa betonu: B20, nazwa stali: RB 500,

Średnica prętów zbrojeniowych:

na kierunku x: $d_x = 12,0$ mm, na kierunku y: $d_y = 12,0$ mm,

Kierunek zbrojenia głównego: x,

Grubość otuliny: 5,0 cm.

W warunku na przebicie nie uwzględniać strzemion.

5. Wymiary fundamentu

Względny poziom posadowienia: $z_f = 1,00$ m

Kształt fundamentu: **prosty**

Wymiary podstawy: $B_x = 1,20 \text{ m}$, $B_y = 1,20 \text{ m}$,

Wysokość: $H = 0,40 \text{ m}$,

Mimośrod: $E_x = 0,00 \text{ m}$, $E_y = 0,00 \text{ m}$.

6. Stan graniczny I

6.1. Zestawienie wyników analizy nośności i mimośródów

Nr obc.	Rodzaj obciążenia	Poziom [m]	Wsp. nośności	Wsp. mimośr.
* 1	D+K	1,00	0,12	0,25

6.2. Analiza stanu granicznego I dla obciążenia nr 1

Wymiary podstawy fundamentu rzeczywistego: $B_x = 1,20 \text{ m}$, $B_y = 1,20 \text{ m}$.

Względny poziom posadowienia: $H = 1,00 \text{ m}$.

Rodzaj obciążenia: D+K,

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji:

siła pionowa: $N = 52,10 \text{ kN}$, mimośrody wzgl. podst. fund. $E_x = 0,00 \text{ m}$, $E_y = 0,00 \text{ m}$,

siła pozioma: $H_x = 2,60 \text{ kN}$, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,20 \text{ m}$,

siła pozioma: $H_y = 0,00 \text{ kN}$, mimośród względem podstawy fund. $E_z = 0,20 \text{ m}$,

moment: $M_x = 0,00 \text{ kNm}$, moment: $M_y = 5,20 \text{ kNm}$.

Ciężar własny fundamentu, gruntu, posadzek, obciążenia posadzek:

siła pionowa: $G = 31,39 \text{ kN/m}$, 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:

$$N_r = N + G = 52,10 + 31,39 = 83,49 \text{ kN}.$$

Momenty względem środka podstawy:

$$M_{rx} = N \cdot E_y - H_y \cdot E_z + M_x + M_{Gx} = 52,10 \cdot 0,00 - 0,00 \cdot 0,20 + 0,00 + (0,00) = 0,00 \text{ kNm}.$$

$$M_{ry} = -N \cdot E_x + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy} = -52,10 \cdot 0,00 + 2,60 \cdot 0,20 + 5,20 + 0,00 = 5,72 \text{ kNm}.$$

kNm.

Mimośrody sił względem środka podstawy:

$$e_{rx} = |M_{ry}/N_r| = 5,72/83,49 = 0,07 \text{ m},$$

$$e_{ry} = |M_{rx}/N_r| = 0,00/83,49 = 0,00 \text{ m}.$$

$$e_{rx}/B_x + e_{ry}/B_y = 0,07/1,20 + 0,00/1,20 = 0,06 \text{ m} < 0,250.$$

Wniosek: Warunek położenia wypadkowej jest spełniony.

Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

$$B_x' = B_x - 2 \cdot e_{rx} = 1,20 - 2 \cdot 0,07 = 1,06 \text{ m}, \quad B_y' = B_y - 2 \cdot e_{ry} = 1,20 - 2 \cdot 0,00 = 1,20 \text{ m}.$$

Obciążenie podłoża obok ławy (min. średnia gęstość dla pola 1):

$$\text{średnia gęstość obliczeniowa: } \rho_{D(r)} = 1,53 \text{ t/m}^3,$$

$$\text{minimalna wysokość: } D_{\min} = 1,00 \text{ m},$$

$$\text{obciążenie: } \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} = 1,53 \cdot 9,81 \cdot 1,00 = 15,01 \text{ kPa}.$$

Współczynniki nośności podłoża:

$$\text{obliczeniowy kąt tarcia wewnętrznego: } \Phi_{u(r)} = \Phi_{u(n)} \cdot \gamma_m = 32,70 \cdot 0,90 = 29,43^\circ,$$

spójność: $c_{u(r)} = c_{u(n)} \cdot \gamma_m = 0,00 \text{ kPa}$,
 $N_B = 6,88$ $N_C = 28,81$, $N_D = 17,25$.

Wpływ odchylenia wypadkowej obciążenia od pionu:

$\text{tg } \delta_x = |H_x|/N_r = 2,60/83,49 = 0,03$, $\text{tg } \delta_x / \text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,0311/0,5642 = 0,055$,
 $i_{B_x} = 0,90$, $i_{C_x} = 0,94$, $i_{D_x} = 0,95$.

$\text{tg } \delta_y = |H_y|/N_r = 0,00/83,49 = 0,00$, $\text{tg } \delta_y / \text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,0000/0,5642 = 0,000$,
 $i_{B_y} = 1,00$, $i_{C_y} = 1,00$, $i_{D_y} = 1,00$.

Ciężar objętościowy gruntu pod ławą fundamentową:

$\rho_B(n) \cdot \gamma_m \cdot g = 1,70 \cdot 0,90 \cdot 9,81 = 15,01 \text{ kN/m}^3$.

Współczynniki kształtu:

$m_B = 1 - 0,25 \cdot B_x' / B_y' = 0,78$, $m_C = 1 + 0,3 \cdot B_x' / B_y' = 1,27$, $m_D = 1 + 1,5 \cdot B_x' / B_y' = 2,33$

Odpór graniczny podłoża:

$Q_{fNBx} = B_x' \cdot B_y' \cdot (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{C_x} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_D(r) \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_{D_x} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_B(r) \cdot g \cdot B_x' \cdot i_{B_x}) =$
 $825,36 \text{ kN}$.

$Q_{fNBy} = B_x' \cdot B_y' \cdot (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{C_y} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_D(r) \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_{D_y} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_B(r) \cdot g \cdot B_y' \cdot i_{B_y}) =$
 $892,29 \text{ kN}$.

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

$N_r = 83,49 \text{ kN} < m \cdot \min(Q_{fNBx}, Q_{fNBy}) = 0,81 \cdot 825,36 = 668,55 \text{ kN}$.

Wniosek: warunek nośności jest spełniony.

7. Wymiarowanie fundamentu

7.1. 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	211	–

7.2. Sprawdzenie stopy na przebicie dla obciążenia nr 1

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 52 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$, $M_{yr} = 5,72 \text{ kNm}$.

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,11 \text{ m}$, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$.

Przebicie stopy w przekroju 1:

Siła ścinająca: $V_{Sd} = \int A_c q \cdot dA = 5 \text{ kN}$.

Nośność betonu na ścinanie: $V_{Rd} = (b+d) \cdot d \cdot f_{ctd} = (0,40+0,33) \cdot 0,33 \cdot 870 = 211 \text{ kN}$.

$V_{Sd} = 5 \text{ kN} < V_{Rd} = 211 \text{ kN}$.

Wniosek: warunek na przebicie jest spełniony.

7.3. Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na zginanie

Nr obc.	Kierunek	Przekrój	Moment zginający	Nośność przekroju
			M [kNm]	M _r [kNm]
* 1	x	1	6	74
	y	1	5	71

Uwaga: Momenty zginające wyznaczono metodą wsporników prostokątnych.

7.4. Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 1 na kierunku x

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 52 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$, $M_{yr} = 5,72 \text{ kNm}$.

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,11 \text{ m}$, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$.

Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$M_{sd} = (2 \cdot q_1 + q_s) \cdot B \cdot s^2 / 6 = (2 \cdot 56 + 41) \cdot 1,20 \cdot 0,21 / 6 = 6 \text{ kNm}$.

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_s = 0,5 \text{ cm}^2$.

Przyjęta powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_{Rs} = 5,7 \text{ cm}^2$.

$A_s = 0,5 \text{ cm}^2 < A_{Rs} = 5,7 \text{ cm}^2$.

Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.

7.5. Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 1 na kierunku y

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 52 \text{ kN}$,

momenty: $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$, $M_{yr} = 5,72 \text{ kNm}$.

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,11 \text{ m}$, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$.

Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$M_{sd} = (2 \cdot q_1 + q_s) \cdot B \cdot s^2 / 6 = (2 \cdot 36 + 36) \cdot 1,20 \cdot 0,25 / 6 = 5 \text{ kNm}$.

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_s = 0,4 \text{ cm}^2$.

Przyjęta powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_{Rs} = 5,7 \text{ cm}^2$.

$A_s = 0,4 \text{ cm}^2 < A_{Rs} = 5,7 \text{ cm}^2$.

Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.

8. Zbrojenie stopy

Zbrojenie główne na kierunku x:

Średnica prętów: $\phi = 12 \text{ mm}$.

Konieczna liczba prętów: $L_{xs} = 5$.

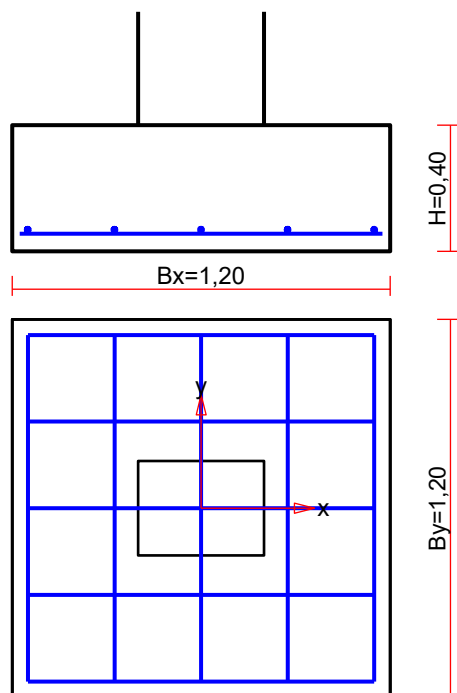
Przyjęta liczba prętów: $L_{xr} = 5$ co 27,5 cm.

Zbrojenie główne na kierunku y:

Średnica prętów: $\phi = 12 \text{ mm}$.

Konieczna liczba prętów: $L_{ys} = 5$.

Przyjęta liczba prętów: $L_{yr} = 5$ co 27,5 cm.



Ilość stali: 10 kg. Ilość betonu: $0,58 \text{ m}^3$. Ilość stali na 1 m^3 betonu: $16,9 \text{ kg/m}^3$.

PROJEKTANT	mgr inż. Piotr Bogusiewicz LUB/0073/PWOK/10 upr. bud. w spec. konstrukcyjnej	
SPRAWDZAJĄCY	mgr inż. Ryszard Mieszalski GT.VI-8386/4/78 upr. bud. w spec. konstrukcyjnej	