

## X. Obliczenia statyczne

### 2.1. Normy, ustawy, rozporządzenia

- PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-82/B-02000 Obciążenia budowli. Zasady ustalania wartości.
- PN-82/B-02001 Obciążenia budowli. Obciążenia stałe.
- PN-82/B-02003 Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne techn. Podst. obciąż. technologiczne i montażowe.
- PN-80/B-02010 + Az1 Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenia śniegiem.
- PN-88/B-02014 Obciążenia budowli. Obciążenie gruntem.
- Prawo budowlane, Ustawa z dnia 07.07.1994r z późniejszymi zmianami,

### 2.2. Zestawienie obciążeń

#### Obc. dachem

Lp	Opis obciążenia	Obc. char. kN/m <sup>2</sup>	$\gamma_f$	$k_d$	Obc. obl. kN/m <sup>2</sup>
1.	Obciążenie śniegiem połaci dachu jednospadowego wg PN-80/B-02010/Az1/Z1-1 (strefa 2 -> $Q_k = 0,9 \text{ kN/m}^2$ , nachylenie połaci 3,5 st. -> $C_1=0,8$ ) [0,720kN/m <sup>2</sup> ]	0,72	1,50	0,00	1,08
2.	Maksymalne obciążenie dachu niższego wg PN-80/B-02010/Az1/Z1-4 (strefa 2 -> $Q_k = 0,9 \text{ kN/m}^2$ , $C_4=2,166$ ) [1,949kN/m <sup>2</sup> ]	1,95	1,50	0,00	2,92
3.	Blacha falista stalowa o wysokości fałdy 55 (T-55) gr. 1,00 mm [0,121kN/m <sup>2</sup> ]	0,12	1,30	--	0,16
$\Sigma$ :		<b>2,79</b>	<b>1,49</b>	--	<b>4,16</b>

#### reakcja z płatwi.

Lp	Opis obciążenia	Obc. char. kN	$\gamma_f$	$k_d$	Obc. obl. kN
1.	reakcja z płatwi	8,04	1,46	--	11,74
$\Sigma$ :		<b>8,04</b>	<b>1,46</b>	--	<b>11,74</b>

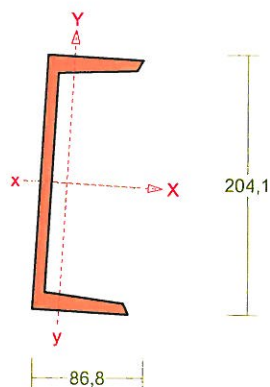
## 2.3. Wyciąg z obliczeń statycznych

**NAZWA: płatew**

### Pręt nr 2

Zadanie: płatew

Przekrój: U 200



Wymiary przekroju:

U 200 h=200,0 s=75,0 g=8,8 t=11,5 r=11,5  
 ex=20,1.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

J<sub>xg</sub>=1910,0 J<sub>yg</sub>=148,0 A=32,20 i<sub>x</sub>=7,7 i<sub>y</sub>=2,1  
 J<sub>w</sub>=9100,5 J<sub>t</sub>=12,0 x<sub>s</sub>=-4,0 i<sub>s</sub>=8,9 r<sub>y</sub>=13,1 b<sub>x</sub>=-10,6.

Materiał: St3S (X,Y,V,W). Wytrzymałość f<sub>d</sub>=215 MPa dla g=11,5.

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

### Siły przekrojowe:

x<sub>a</sub> = 2,100; x<sub>b</sub> = 2,100.

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: ABCD

M<sub>x</sub> = -11,280 kNm, V<sub>y</sub> = 0,014 kN, N = 0,000 kN,

M<sub>y</sub> = -0,676 kNm, V<sub>x</sub> = -0,001 kN.

Naprężenia w skrajnych włóknach: σ<sub>t</sub> = 84,1 MPa σ<sub>c</sub> = -68,2 MPa.

### Naprężenia:

x<sub>a</sub> = 2,100; x<sub>b</sub> = 2,100.

Naprężenia w skrajnych włóknach: σ<sub>t</sub> = 84,1 MPa σ<sub>c</sub> = -68,2 MPa.

Naprężenia:

- normalne: σ = 7,9 Δσ = 76,2 MPa ψ<sub>oc</sub> = 1,000

- ścinanie wzdłuż osi Y: A<sub>v</sub> = 17,60 cm<sup>2</sup> τ = 0,0 MPa ψ<sub>ov</sub> = 1,000

- ścinanie wzdłuż osi X: A<sub>v</sub> = 15,23 cm<sup>2</sup> τ = 0,0 MPa ψ<sub>ov</sub> = 1,000

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 7,9 / 1,000 + 76,2 = 84,1 < 215 \text{ MPa}$$

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

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

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} = \sqrt{84,1^2 + 3 \times 0,0^2} = 84,1 < 215 \text{ MPa}$$

### Długości wyboczeniowe pręta:

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

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 4,200$$

$$l_w = 1,000 \times 4,200 = 4,200 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 4,200$$

$$l_w = 1,000 \times 4,200 = 4,200 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 4,200 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 4,200 \text{ m}$ .

### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1910,0}{4,200^2} 10^{-2} = 2190,728 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 148,0}{4,200^2} 10^{-2} = 169,753 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{8,9^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 9100,5}{4,200^2} 10^{-2} + 80 \times 12,0 \times 10^2 \right) = 1336,443 \text{ kN}$$

$$N_{xz} = \frac{N_x + N_z - \sqrt{(N_x + N_z)^2 - 4 N_x N_z (1 - \mu y_s^2 / i_s^2)}}{2(1 - \mu y_s^2 / i_s^2)} =$$

$$\frac{2190,728 + 1336,443 - \sqrt{(2190,728 + 1336,443)^2 - 4 \times 2190,728 \times 1336,443 \times (1 - 1,000 \times 4,0^2 / 8,9^2)}}{2 \times (1 - 1,000 \times 4,0^2 / 8,9^2)} = 1108,689 \text{ kN}$$

### Zwicherungie:

Moment krytyczny przy zwichrzeniu ceownika zginanego w płaszczyźnie środka można wyznaczyć, jak dla dwuteownika o tych samych wymiarach, dla którego

$$N_y = 93,915 \text{ kN}, \quad N_z = 1677,412 \text{ kN}.$$

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

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

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

$$-0,000 \times 93,915 + \sqrt{(-0,000 \times 93,915)^2 + 1,140^2 \times 0,078^2 \times 93,915 \times 1677,412} = 35,519$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{34,905 / 35,519} = 1,140$$

Dla ceownika zginanego w płaszczyźnie środnika, przyjęto:

$$\bar{\lambda}_L = 1,25 \times 1,140 = 1,425$$

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 2,100$ ;  $x_b = 2,100$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 191,0 \times 215 \times 10^{-3} = 41,065 \text{ kNm}$$

- względem osi Y

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 27,0 \times 215 \times 10^{-3} = 5,796 \text{ kNm}$$

Nośność przekroju względem osi X należy zredukować do wartości:

$$M_{R, red} = W f_d \left[ 0,85 - \left( \frac{V}{V_R} \frac{e t_w}{b t_f} \right)^2 \right] =$$

$$191,0 \times 215 \times \left[ 0,85 - \left( \frac{0,014 \times 4,0 \times 0,9}{219,472 \times 7,5 \times 1,2} \right)^2 \right] \times 10^{-3} = 34,905$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 1,425$  wynosi  $\varphi_L = 0,462$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{11,280}{0,462 \times 34,905} + \frac{0,676}{5,796} = 0,816 < 1$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,200$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 17,6 \times 215 \times 10^{-1} = 219,472 \text{ kN}$$

$$V_O = 0,3 V_R = 65,842 \text{ kN}$$

- wzdłuż osi X

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 15,2 \times 215 \times 10^{-1} = 189,906 \text{ kN}$$

$$V_O = 0,3 V_R = 56,972 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } V = 10,952 < 219,472 = V_R$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi X: } V = 0,656 < 189,906 = V_R$$

### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 2,100$ ;  $x_b = 2,100$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 0,014 < 65,842 = V_O$

$$M_{R, V} = M_R = 34,905 \text{ kNm}$$

- dla zginania względem osi Y:  $V_x = 0,001 < 56,972 = V_O$

$$M_{R, V} = M_R = 5,796 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{Rx, V}} + \frac{M_y}{M_{Ry, V}} = \frac{11,280}{34,905} + \frac{0,676}{5,796} = 0,440 < 1$$

### Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,200$ .

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $c = 100,0$  mm.

Naprężenia ściskające w środniku wynoszą  $\sigma_c = 0,8$  MPa. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,25 - 0,5 \sigma_c / f_d = 1,25 - 0,5 \times 0,8 / 215 = 1,000$$

Nośność środnika na siłę skupioną:

$$P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 215,0 \times 8,8 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 406,801 \text{ kN}$$

Warunek nośności środnika:

$$P = 0,000 < 406,801 = P_{R,W}$$

### Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 3,6 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 4200 / 250 = 16,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 3,6 < 16,8 = a_{gr}$$

Ugięcia względem osi X liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 2,8 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 4200 / 250 = 16,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 2,8 < 16,8 = a_{gr}$$

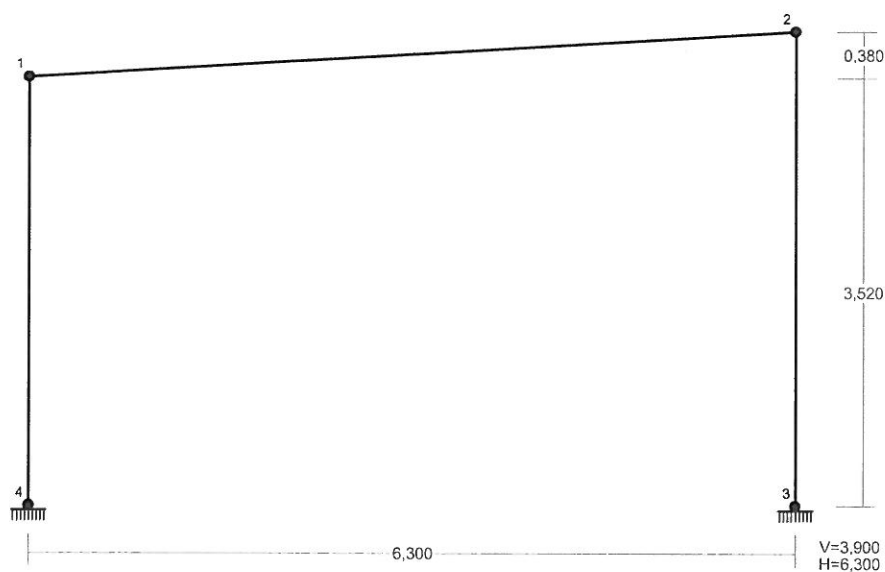
Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = \sqrt{2,8^2 + 3,6^2} = 4,6$$

250x200x22

## NAZWA: rama wiaty

WĘZŁY:



WĘZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	3,520
2	6,300	3,900
3	6,300	0,000
4	0,000	0,000

PODPORY:

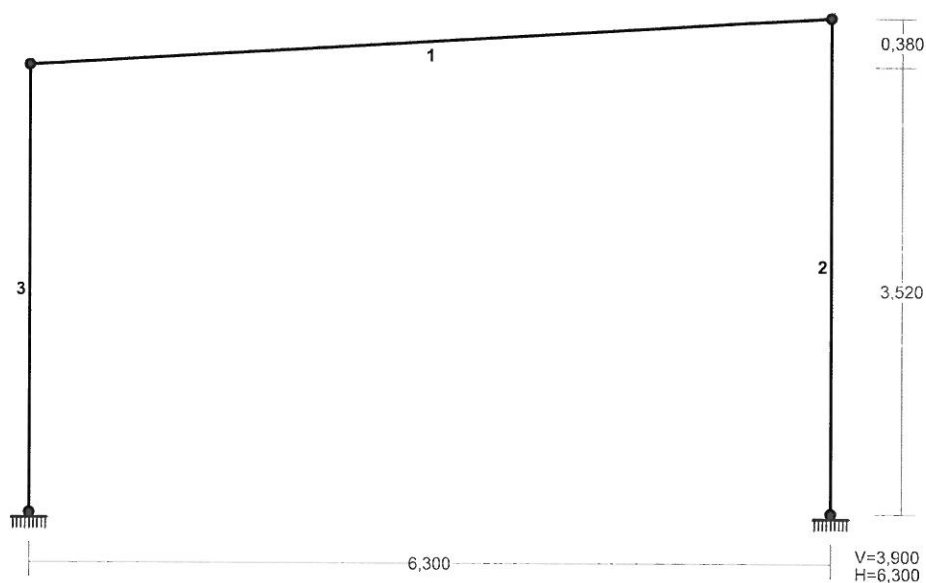
P o d a t n o ś c i

Węzeł:	Rodzaj:	Kąt:	Dx (Do*): [ m / k N ]	Dy:	DFi: [rad/kNm]
3	utwierdzenie	90,0	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
4	utwierdzenie	90,0	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00

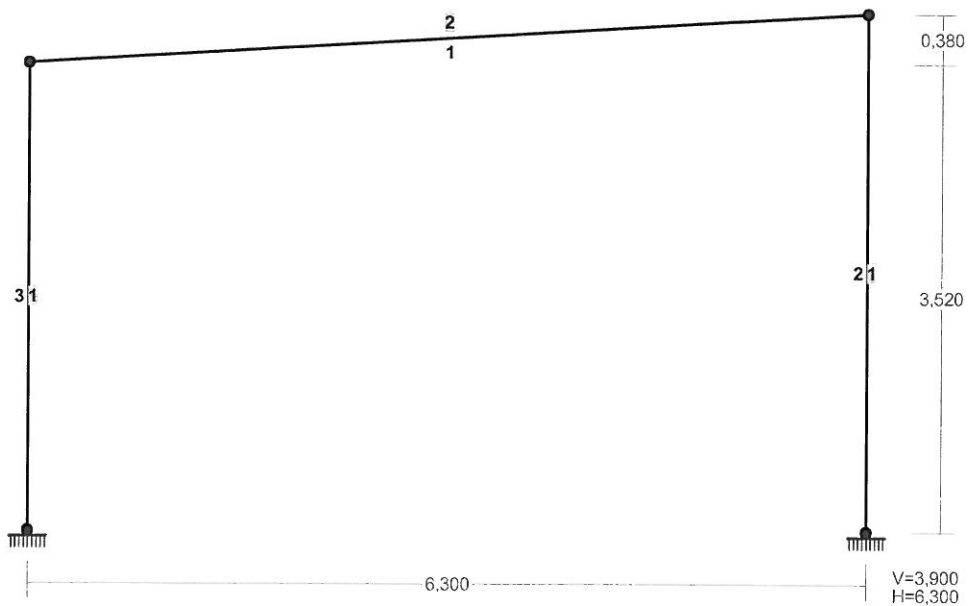
OSIADANIA:

Węzeł:	Kąt:	Wx (Wo*) [m]:	Wy [m]:	F <sub>Io</sub> [grad]:
B r a k O s i a d a ń				

# PRĘTY:



# PRZEKROJE PRĘTÓW:



# PRĘTY UKŁADU:

Typy prętów: 00 - sztyw.-sztyw.; 01 - sztyw.-przegub;  
 10 - przegub-sztyw.; 11 - przegub-przegub  
 22 - ciągnio

Pręt:	Typ:	A:	B:	Lx [m] :	Ly [m] :	L [m] :	Red.EJ:	Przekrój:
1	00	1	2	6,300	0,380	6,311	1,000	2 I 180 HEA
2	00	2	3	0,000	-3,900	3,900	1,000	1 I 140 HEA
3	00	1	4	0,000	-3,520	3,520	1,000	1 I 140 HEA

#### WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:

Nr.	A [cm <sup>2</sup> ]	Ix [cm <sup>4</sup> ]	Iy [cm <sup>4</sup> ]	Wg [cm <sup>3</sup> ]	Wd [cm <sup>3</sup> ]	h [cm]	Materiał:
1	31,4	1033	389	155	155	13,3	2 St3S (X,Y,V,W)
2	45,3	2510	925	294	294	17,1	2 St3S (X,Y,V,W)

#### STAŁE MATERIAŁOWE:

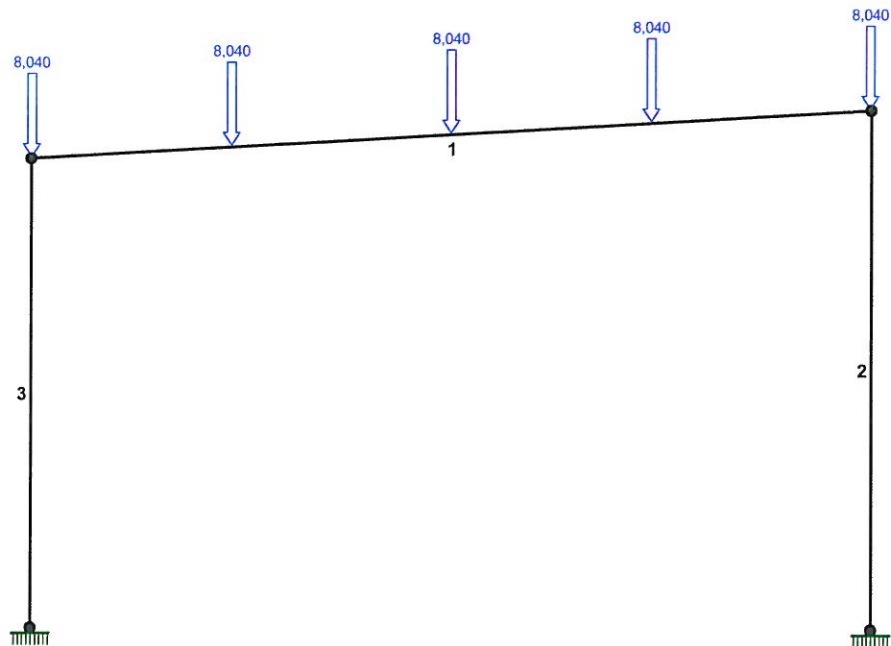
Materiał:	Moduł E: [kN/mm <sup>2</sup> ]	Napręż.gr.: [N/mm <sup>2</sup> ]	AlfaT: [1/K]
2 St3S (X,Y,V,	205	205,000	1,20E-05

#### ZESTAWIENIE MATERIAŁU:

Oznaczenie:	Materiał:	Długość [m]	Masa [t]
I 180 HEA	St3S (X,Y,V, 1x 6,31	= 6,31	0,224
I 140 HEA	St3S (X,Y,V, 1x 3,90 + 1x 3,52	= 7,42	0,183
MASA CAŁKOWITA USTROJU:			0,407



# OBCIĄŻENIA:



## OBCIĄŻENIA: ( [kN] , [kNm] , [kN/m] )

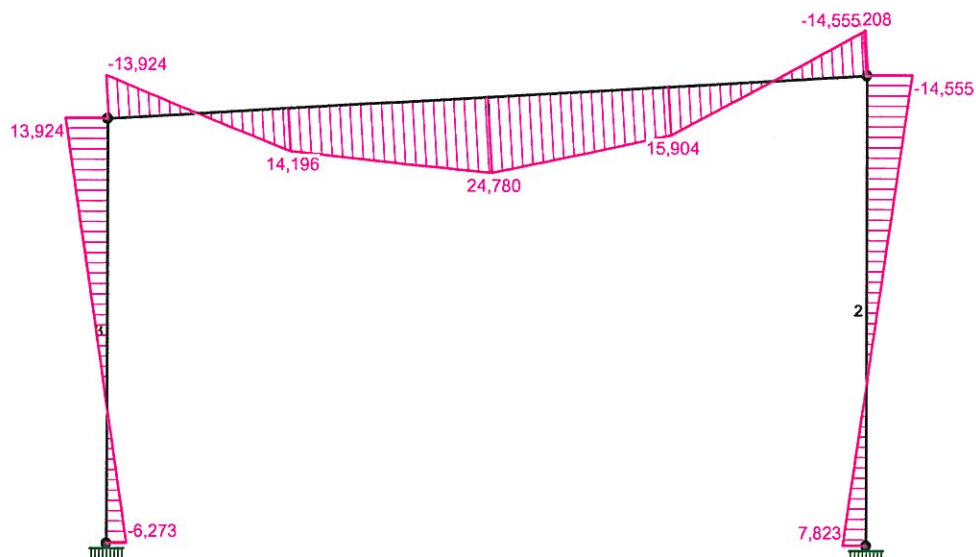
Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1 (Tg):	P2 (Td):	a [m]:	b [m]:
Grupa:	A "			Zmienne	$\gamma_f = 1,46$	
1	Skupione	0,0	8,040		0,00	
1	Skupione	0,0	8,040		4,65	
1	Skupione	0,0	8,040		6,30	
1	Skupione	0,0	8,040		1,50	
1	Skupione	0,0	8,040		3,15	

W Y N I K I wg PN 82/B-02000  
 Teoria I-go rzędu

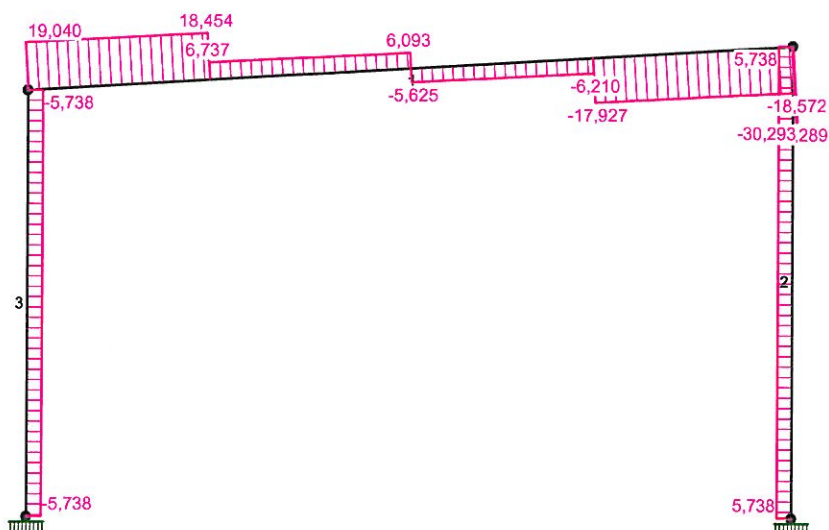
## OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa:	Znaczenie:	$\psi_d$ :	$\gamma_f$ :
Ciężar wł.			1,10
A - "	Zmienne	1	1,00
			1,46

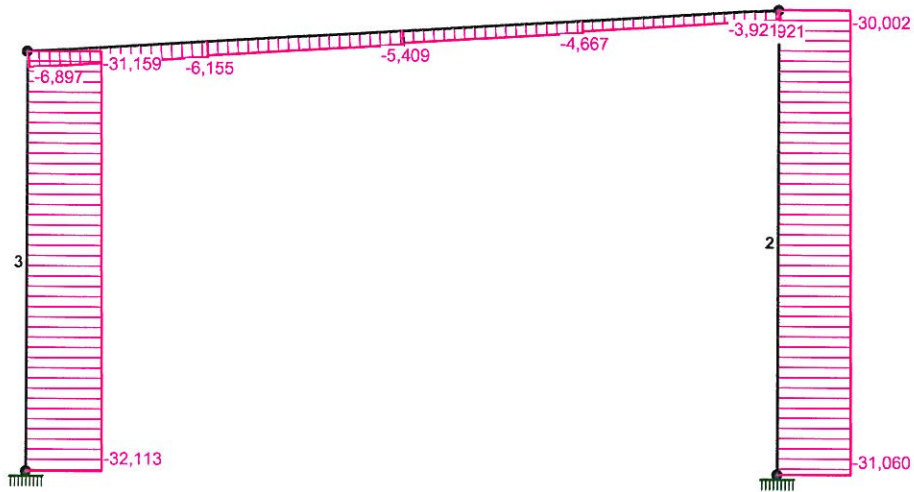
MOMENTY :



TNĄCE :



NORMALNE :

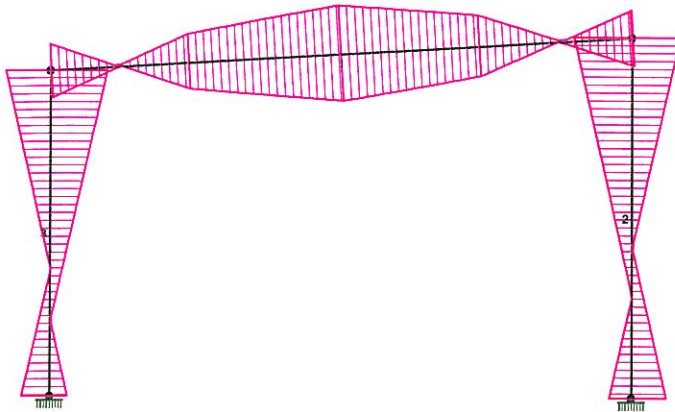


SIŁY PRZEKROJOWE: T.I rzędu  
 Obciążenia obl.: Ciężar wł.+A

Pręt:	x/L:	x[m]:	M[kNm]:	Q[kN]:	N[kN]:
1	0,00	0,000	-13,924	19,040	-6,897
	0,50	3,150	<b>24,780*</b>	6,093	-6,116
	0,50	3,150	<b>24,780*</b>	-5,625	-5,409
	1,00	6,311	-14,549	-30,293	<b>-3,921*</b>
	1,00	6,311	-14,555	-30,293	-3,921
2	0,00	0,000	-14,555	5,738	-30,002
	1,00	3,900	7,823	5,738	-31,060
3	0,00	0,000	13,924	-5,738	-31,159
	1,00	3,520	-6,273	-5,738	-32,113

\* = Wartości ekstremalne

# NAPRĘŻENIA:

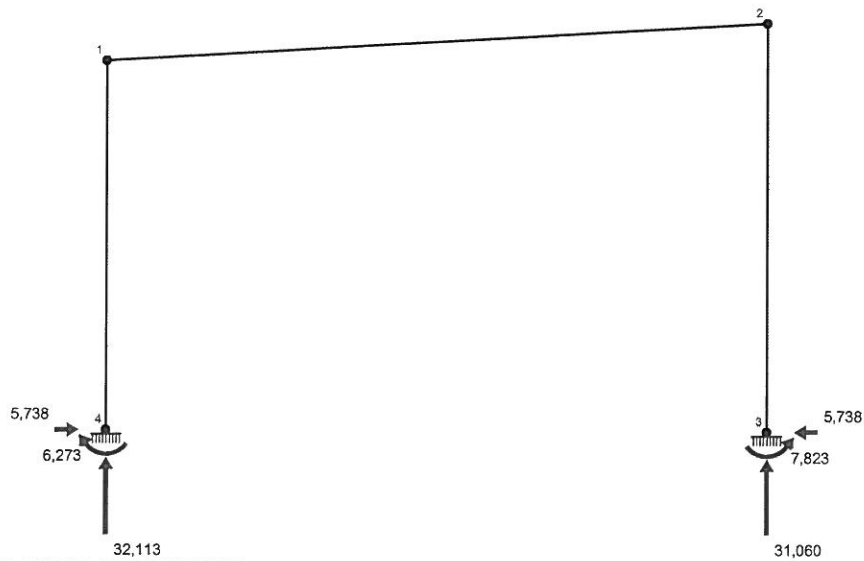


NAPRĘŻENIA: T.I rzędu  
 Obciążenia obl.: Ciężar wł.+A

Pręt:	x/L:	x[m]:	SigmaG:	SigmaD:	SigmaMax/Ro:
[MPa]					
-----					
2 St3S (X,Y,V,W)					
1	0,00	0,000	45,909	-48,954	0,239
	0,50	3,150	-85,760	83,060	<b>0,418*</b>
	1,00	6,311	48,713	-50,444	0,246
2	0,00	0,000	84,142	-103,252	<b>0,504*</b>
	1,00	3,900	-60,252	40,468	0,294
3	0,00	0,000	-99,562	79,715	<b>0,486*</b>
	1,00	3,520	30,155	-50,609	0,247
-----					

\* = Wartości ekstremalne

# REAKCJE PODPOROWE:



## REAKCJE PODPOROWE: T.I rzędu

Obciążenia obl.: Ciężar wł.+A

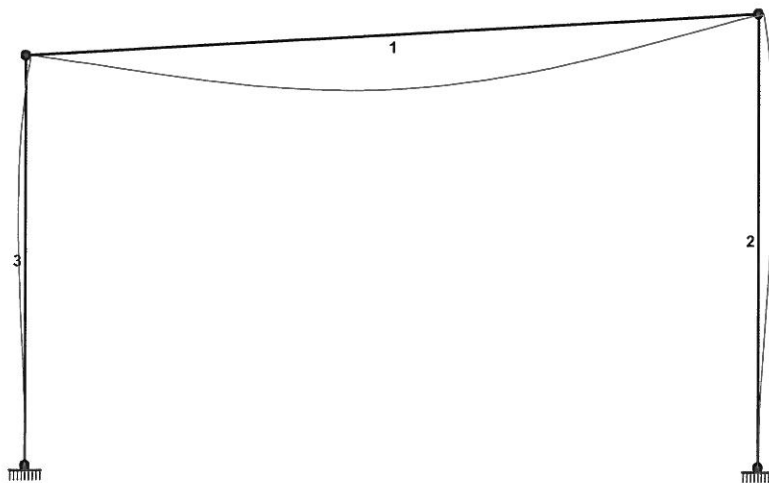
Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	Wypadkowa [kN]:	M[kNm]:
3	-5,738	31,060	31,585	7,823
4	5,738	32,113	32,622	-6,273

## PRZEMIESZCZENIA WĘZŁÓW: T.I rzędu

Obciążenia obl.: Ciężar wł.+A

Węzeł:	Ux[m]:	Uy[m]:	Wypadkowe[m]:	Fi[rad] ([deg]):
1	0,00134	-0,00017	0,00136	-0,00636 ( -0,364)
2	0,00131	-0,00018	0,00132	0,00620 ( 0,355)
3	0,00000	-0,00000	0,00000	-0,00000 ( -0,000)
4	-0,00000	-0,00000	0,00000	0,00000 ( 0,000)

PRZEMIESZCZENIA:



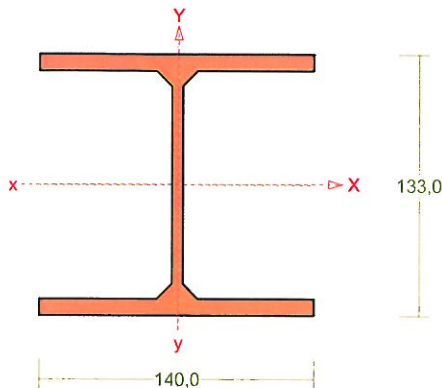
**DEFORMACJE:** T.I rzędu  
 Obciążenia obl.: Ciężar wł.+A

Pręt:	Wa[m]:	Wb[m]:	F <sub>Ia</sub> [deg]:	F <sub>Ib</sub> [deg]:	f[m]:	L/f:
1	-0,0003	-0,0003	-0,364	0,355	0,0162	389,8
2	0,0013	-0,0000	0,355	-0,000	0,0037	1060,9
3	0,0013	-0,0000	-0,364	-0,000	0,0032	1099,9

## Pręt nr 2

Zadanie: słup

Przekrój: I 140 HEA



Wymiary przekroju:

I 140 HEA  $h=133,0$   $g=5,5$   $s=140,0$   $t=8,5$   $r=12,0$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=1033,0$   $J_{yg}=389,0$   $A=31,40$   $i_x=5,7$   $i_y=3,5$

$J_w=15063,7$   $J_t=7,7$   $i_s=6,7$ .

Materiał: St3S (X,Y,V,W). Wytrzymałość  $f_d=215$  MPa dla  $g=8,5$ .

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

### Siły przekrojowe:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,900$ .

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: A

$M_x = 14,555$  kNm,  $V_y = 5,738$  kN,  $N = -30,002$  kN,

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 84,1$  MPa  $\sigma_c = -103,3$  MPa.

### Naprężenia:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,900$ .

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 84,1$  MPa  $\sigma_c = -103,3$  MPa.

Naprężenia:

- normalne:  $\sigma = -9,6$   $\Delta\sigma = 93,7$  MPa  $\psi_{oc} = 1,000$

- ścinanie wzdłuż osi Y:  $A_v = 7,32$  cm<sup>2</sup>  $\tau = 7,8$  MPa  $\psi_{ov} = 1,000$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 9,6 / 1,000 + 93,7 = 103,3 < 215 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 7,8 / 1,000 = 7,8 < 124,7 = 0,58 \times 215 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{103,3^2 + 3 \times 0,0^2} = 103,3 < 215 \text{ MPa}$$

### Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 3,900$ ;  $x_b = -0,000$ .

Siła osiowa:  $N = -31,060$  kN.

Pole powierzchni przekroju:  $A = 31,40$  cm<sup>2</sup>.

Nośność przekroju na rozciąganie:  $N_{Rt} = A f_d = 31,40 \times 215 \times 10^{-1} = 675,100$  kN.

Warunek nośności (31):

$$N = 31,060 < 675,100 = N_{Rt}$$

### Długości wyboczeniowe pręta:



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

$$\kappa_a = 0,400 \quad \kappa_b = 0,500 \quad \text{węzły przesuwne} \Rightarrow \mu = 1,387 \quad \text{dla } l_0 = 3,900$$

$$l_w = 1,387 \times 3,900 = 5,409 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 3,900$$

$$l_w = 1,000 \times 3,900 = 3,900 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_{\omega} = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega} = 3,900 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_{\omega} = 3,900 \text{ m}$ .

**Siły krytyczne:**

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1033,0}{5,409^2} 10^{-2} = 714,285 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 389,0}{3,900^2} 10^{-2} = 517,457 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_{\omega}}{l_{\omega}^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{6,7^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 15063,7}{3,900^2} 10^{-2} + 80 \times 7,7 \times 10^2 \right) = 1803,888 \text{ kN}$$

**Nośność przekroju na ściskanie:**

$$x_a = 3,900; \quad x_b = -0,000:$$

$$N_{RC} = A f_d = 31,4 \times 215 \times 10^{-1} = 675,100 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

$$\text{- dla } N_x \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_x} = 1,15 \times \sqrt{675,100 / 714,285} = 1,118 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,574$$

$$\text{- dla } N_y \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_y} = 1,15 \times \sqrt{675,100 / 517,457} = 1,314 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,409$$

$$\text{- dla } N_z \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_z} = 1,15 \times \sqrt{675,100 / 1803,888} = 0,704 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,742$$

$$\text{Przyjęto: } \varphi = \varphi_{\min} = 0,409$$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{31,060}{0,409 \times 675,100} = 0,112 < 1$$

**Zwichrzenie:**

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_{\omega} = 3900 \text{ mm}$ :

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 35}{0,400} \times \sqrt{215 / 215} = 3080 < 3900 = l_1$$

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:  $A_1 = 0,000$ ,  $A_2 = 0,000$ ,  $B = 0,000$ .

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



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

$$0,000 \times 517,457 + \sqrt{(0,000 \times 517,457)^2 + 0,000^2 \times 0,067^2 \times 517,457 \times 1803,888} = 0,000$$

Przyjęto, że pręt jest zabezpieczony przed zwichrzeniem:  $\bar{\lambda}_L = 0$ .

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,900$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 155,3 \times 215 \times 10^{-3} = 33,398 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 0,000$  wynosi  $\varphi_L = 1,000$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{\varphi_L M_{Ry}} = \frac{30,002}{675,100} + \frac{14,555}{1,000 \times 33,398} = 0,480 < 1$$

### Nośność (stateczność) pręta ściskanego i zginanego:

Składnik poprawkowy:

$$M_{x \max} = 14,555 \text{ kNm} \quad \beta_x = 1,000$$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{Rc}} = 1,25 \times 0,574 \times 1,118^2 \frac{1,000 \times 14,555}{33,398} \times \frac{31,060}{675,100} = 0,018$$

$$\Delta_x = 0,018 \quad M_{y \max} = 0 \quad \Delta_y = 0$$

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{31,060}{0,574 \times 675,100} + \frac{1,000 \times 14,555}{1,000 \times 33,398} = 0,516 < 0,982 = 1 - 0,018$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{\varphi_L M_{Ry}} = \frac{31,060}{0,409 \times 675,100} + \frac{1,000 \times 14,555}{1,000 \times 33,398} = 0,548 < 1,000 = 1 - 0,000$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,900$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 7,3 \times 215 \times 10^{-1} = 91,218 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 54,731 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 5,738 < 91,218 = V_R$$

### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,900$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 5,738 < 54,731 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 33,398 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{Rx, V}} = \frac{30,002}{675,100} + \frac{14,555}{33,398} = 0,480 < 1$$

**Nośność przekroju na ścinanie z uwzględnieniem siły osiowej:**

$x_a = 0,000$ ,  $x_b = 3,900$ .

- dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 5,738 < 91,128 = 91,218 \times \sqrt{1 - (30,002 / 675,100)^2} = V_R \sqrt{1 - (N / N_{Rc})^2} = V_{R, N}$$

**Nośność środka pod obciążeniem skupionym:**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,900$ .

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $c = 100,0$  mm.

Naprężenia ściskające w środku wynoszą  $\sigma_c = 74,4$  MPa. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,25 - 0,5 \sigma_c / f_d = 1,25 - 0,5 \times 74,4 / 215 = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną:

$$P_{R, W} = c_o t_w \eta_c f_d = 202,5 \times 5,5 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 239,456 \text{ kN}$$

Warunek nośności środka:

$$P = 0,000 < 239,456 = P_{R, W}$$

**Stan graniczny użytkowania:**

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 2,6 \text{ mm}$$

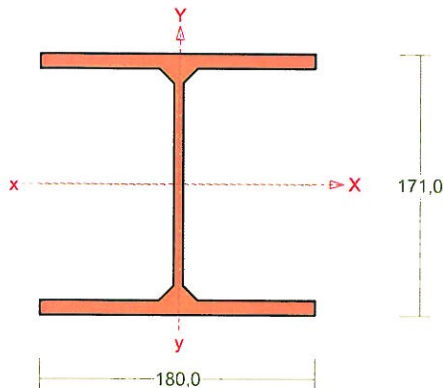
$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 3900 / 250 = 15,6 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 2,6 < 15,6 = a_{\text{gr}}$$

## Pręt nr 1

Zadanie: rygiel

Przekrój: I 180 HEA



Wymiary przekroju:

I 180 HEA  $h=171,0$   $g=6,0$   $s=180,0$   $t=9,5$   $r=15,0$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=2510,0$   $J_{yg}=925,0$   $A=45,30$   $i_x=7,4$   $i_y=4,5$

$J_w=60210,9$   $J_t=13,7$   $i_s=8,7$ .

Materiał: St3S (X,Y,V,W). Wytrzymałość  $f_d=215$  MPa dla  $g=9,5$ .

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

### Siły przekrojowe:

$x_a = 3,150$ ;  $x_b = 3,161$ .

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: A

$M_x = -24,780$  kNm,  $V_y = 6,093$  kN,  $N = -6,116$  kN,

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 83,1$  MPa  $\sigma_c = -85,8$  MPa.

### Naprężenia:

$x_a = 3,150$ ;  $x_b = 3,161$ .

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 83,1$  MPa  $\sigma_c = -85,8$  MPa.

Naprężenia:

- normalne:  $\sigma = -1,4$   $\Delta\sigma = 84,4$  MPa  $\psi_{oc} = 1,000$

- ścinanie wzdłuż osi Y:  $A_v = 10,26$  cm<sup>2</sup>  $\tau = 5,9$  MPa  $\psi_{ov} = 1,000$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 1,4 / 1,000 + 84,4 = 85,8 < 215 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 5,9 / 1,000 = 5,9 < 124,7 = 0,58 \times 215 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{85,8^2 + 3 \times 0,0^2} = 85,8 < 215 \text{ MPa}$$

### Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 6,311$ .

Przekrój jest zamocowany mimośrodowo.

Siła osiowa:  $N = -6,897$  kN.

Pole powierzchni przekroju:  $A = 45,30$  cm<sup>2</sup>.

Sprowadzone pole przekroju:  $A_\psi = 45,30$  cm<sup>2</sup>.

Nośność przekroju na rozciąganie:  $N_{Rt} = A_\psi f_d = 45,30 \times 215 \times 10^{-1} = 973,950$  kN.

Warunek nośności (32):

$$N = 6,897 < 973,950 = N_{Rt}$$

### Długości wyboczeniowe pręta:

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

$$\kappa_a = 0,404 \quad \kappa_b = 0,429 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,644 \quad \text{dla } l_0 = 6,311$$

$$l_w = 0,644 \times 6,311 = 4,065 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 6,311$$

$$l_w = 1,000 \times 6,311 = 6,311 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 6,311 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 6,311 \text{ m}$ .

### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 2510,0}{4,065^2} 10^{-2} = 3073,954 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 925,0}{6,311^2} 10^{-2} = 469,826 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{8,7^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 60210,9}{6,311^2} 10^{-2} + 80 \times 13,7 \times 10^2 \right) = 1853,077 \text{ kN}$$

### Nośność przekroju na ściskanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 6,311$ :

$$N_{RC} = A f_d = 45,3 \times 215 \times 10^{-1} = 973,950 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

$$\text{- dla } N_x \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_x} = 1,15 \times \sqrt{973,950 / 3073,954} = 0,647 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,870$$

$$\text{- dla } N_y \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_y} = 1,15 \times \sqrt{973,950 / 469,826} = 1,656 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,293$$

$$\text{- dla } N_z \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_z} = 1,15 \times \sqrt{973,950 / 1853,077} = 0,834 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,660$$

Przyjęto:  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,293$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{6,897}{0,293 \times 973,950} = 0,024 < 1$$

### Zwicherungie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_{\omega\omega} = 6311 \text{ mm}$ :

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 45}{0,576} \times \sqrt{215 / 215} = 2747 < 6311 = l_1$$

Konieczne jest sprawdzenie zwicherungia 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 zwicherungia:  $A_1 = 0,610$ ,  $A_2 = 0,530$ ,  $B = 1,140$ .

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,610 \times 0,00 + 0,530 \times -0,00 = 0,000$$

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

$$0,000 \times 469,826 + \sqrt{(0,000 \times 469,826)^2 + 1,140^2 \times 0,087^2 \times 469,826 \times 1853,077} = 92,626$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{66,474 / 92,626} = 0,974$$

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 3,150$ ;  $x_b = 3,161$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,053 \times 293,6 \times 215 \times 10^{-3} = 66,474 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 0,974$  wynosi  $\varphi_L = 0,777$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{6,116}{973,950} + \frac{24,780}{0,777 \times 66,474} = 0,486 < 1$$

### Nośność (stateczność) pręta ściskanego i zginanego:

Składnik poprawkowy:

$$M_{x \max} = -24,780 \text{ kNm} \quad \beta_x = 1,000$$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{Rc}} = 1,25 \times 0,870 \times 0,647^2 \frac{1,000 \times 24,780}{66,474} \times \frac{6,897}{973,950} = 0,001$$

$$\Delta_x = 0,001 \quad M_{y \max} = 0 \quad \Delta_y = 0$$

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{6,897}{0,870 \times 973,950} + \frac{1,000 \times 24,780}{0,777 \times 66,474} = 0,488 < 0,999 = 1 - 0,001$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{\varphi_L M_{Ry}} = \frac{6,897}{0,293 \times 973,950} + \frac{1,000 \times 24,780}{0,777 \times 66,474} = 0,504 < 1,000 = 1 - 0,000$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 6,311$ ;  $x_b = -0,000$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 10,3 \times 215 \times 10^{-1} = 127,942 \text{ kN}$$

$$V_O = 0,6 V_R = 76,765 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 30,293 < 127,942 = V_R$$

### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 3,150$ ;  $x_b = 3,161$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 6,093 < 76,765 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 66,474 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{R,x,V}} = \frac{6,116}{973,950} + \frac{24,780}{66,474} = 0,379 < 1$$

**Nośność przekroju na ścinanie z uwzględnieniem siły osiowej:**

$x_a = 3,150$ ,  $x_b = 3,161$ .

- dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 6,093 < 127,940 = 127,942 \times \sqrt{1 - (6,116 / 973,950)^2} = V_R \sqrt{1 - (N / N_{Rc})^2} = V_{R,N}$$

**Nośność środka pod obciążeniem skupionym:**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 6,311$ .

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

Naprężenia ściskające w środku wynoszą  $\sigma_c = 32,3 \text{ MPa}$ . Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną:

$$P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 222,5 \times 6,0 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 287,025 \text{ kN}$$

Warunek nośności środka:

$$P = 0,000 < 287,025 = P_{R,W}$$

**Stan graniczny użytkowania:**

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

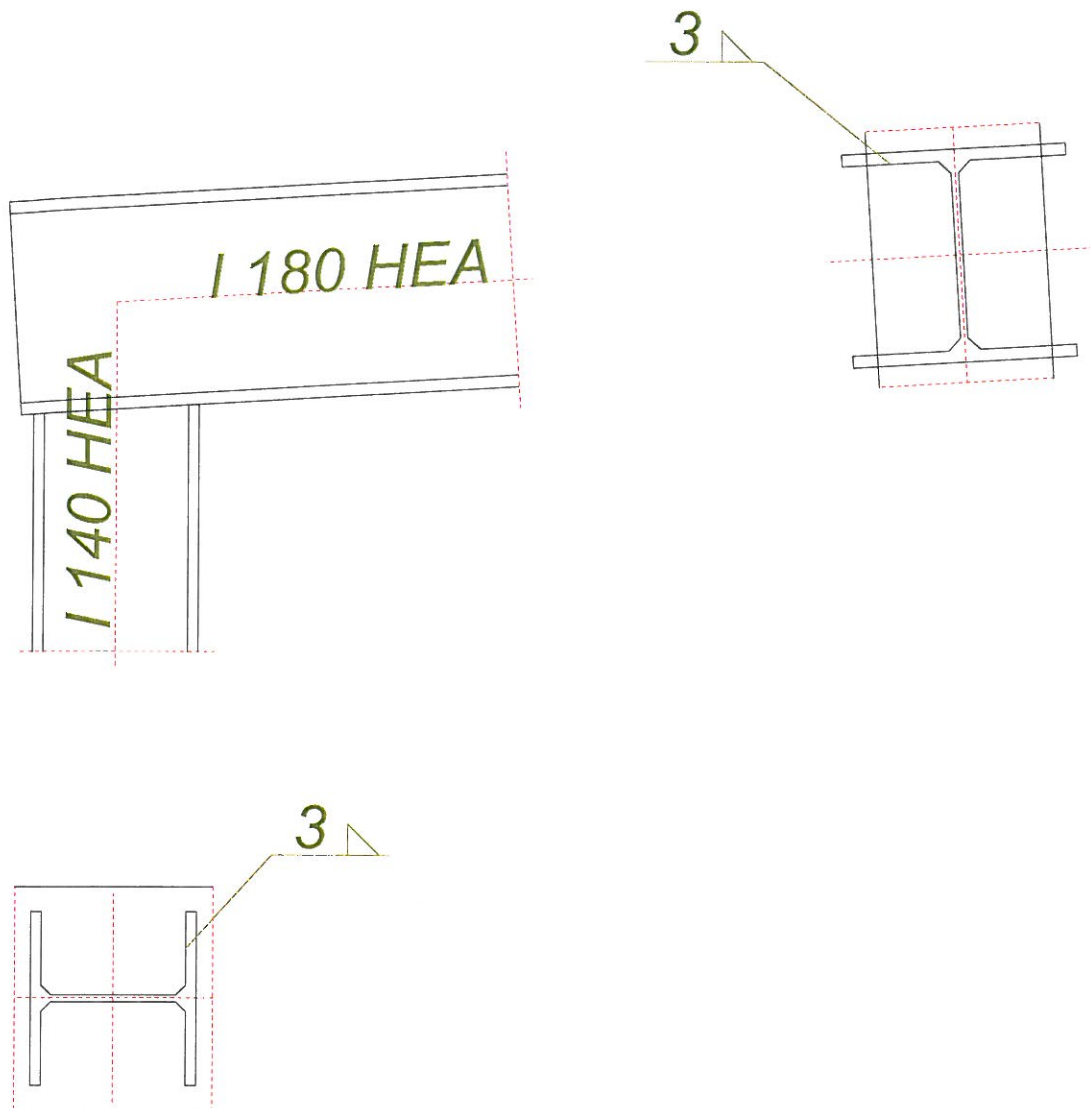
$$a_{\max} = 11,3 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 6311 / 250 = 25,2 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 11,3 < 25,2 = a_{\text{gr}}$$

## POŁĄCZENIE DOCZOŁOWE SPAWANE

Zadanie: rygiel; węzeł nr: 1



Siły przekrojowe w odległości  $l_0 = 86$  mm od węzła:

$$M = 13,433 \text{ kNm}, \quad V = 7,605 \text{ kN}, \quad N = -30,780 \text{ kN}.$$

### Nośność spoin:

Przyjęto spoiny o grubości  $a = 3$  mm

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 21,57 \text{ cm}^2, \quad A_v = 6,03 \text{ cm}^2, \quad I_x = 669,4 \text{ cm}^4, \quad I_y = 275,1 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{\parallel} = V / A_v = (7,605 / 6,03) \times 10 = 12,6 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{-13,433 \times 7,0 \times 10^3}{669,4} + \frac{-30,780 \times 10}{21,57} = -154,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -154,0 \times \cos(46,7) = -105,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma \sin(\gamma) = -154,0 \times \sin(46,7) = -112,1 \text{ MPa}$$

Dla  $R_e = 235$  MPa, współczynnik  $\chi$  wynosi 0,70.

**Naprężenia zredukowane:**

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

$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{105,6^2 + 3 \times (0,0^2 + 112,1^2)} = 154,7 < 215 = f_d$$

**Największe naprężenia prostopadłe:**

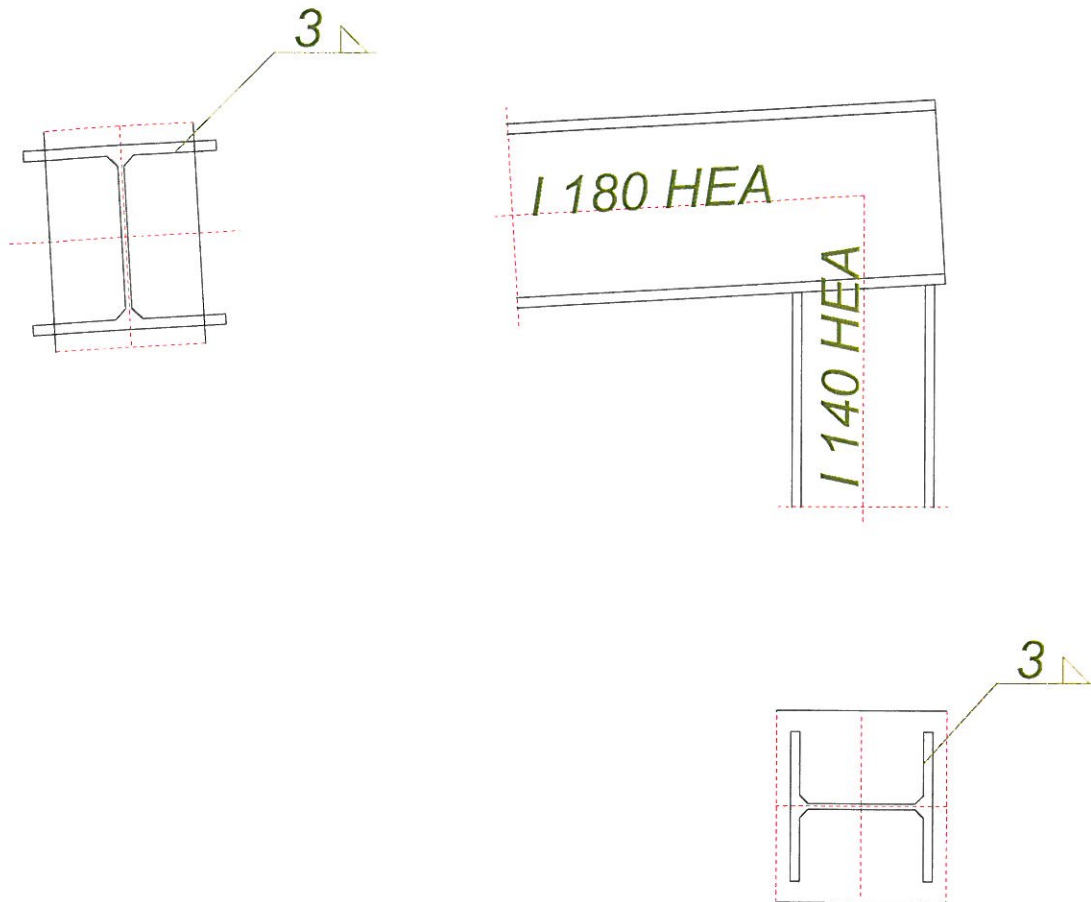
$$\sigma = \frac{M_x \cdot y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{-13,433 \times 7,0 \times 10^3}{669,4} + \frac{-30,780 \times 10}{21,57} = -154,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -154,0 \times \cos(46,7) = 105,6 < 215 = f_d$$



## POŁĄCZENIE DOCZOŁOWE SPAWANE

Zadanie: rygiel; węzeł nr: 2



Siły przekrojowe w odległości  $l_0 = 86$  mm od węzła:

$$M = -14,063 \text{ kNm}, \quad V = -3,920 \text{ kN}, \quad N = -30,316 \text{ kN}.$$

### Nośność spoin:

Przyjęto spoiny o grubości  $a = 3$  mm

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 21,57 \text{ cm}^2, \quad A_v = 6,03 \text{ cm}^2, \quad I_x = 669,4 \text{ cm}^4, \quad I_y = 275,1 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{\parallel} = V / A_v = (3,920 / 6,03) \times 10 = 6,5 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{14,063 \times -7,0 \times 10^3}{669,4} + \frac{-30,316 \times 10}{21,57} = -160,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -160,3 \times \cos(43,3) = -116,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma \sin(\gamma) = -160,3 \times \sin(43,3) = -109,9 \text{ MPa}$$

Dla  $R_e = 235$  MPa, współczynnik  $\chi$  wynosi 0,70.

### Naprężenia zredukowane:

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

$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{116,7^2 + 3(0,0^2 + 109,9^2)} = 156,3 < 215 = f_d$$

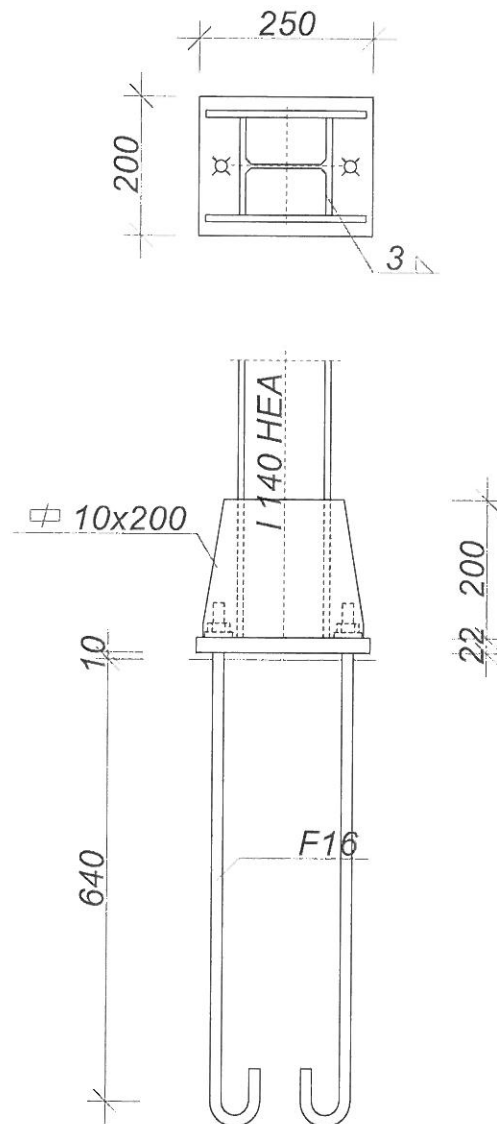
**Największe naprężenia prostopadle:**

$$\sigma = \frac{M_x \cdot y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{14,063 \times -7,0 \times 10^3}{669,4} + \frac{-30,316 \times 10}{21,57} = -160,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -160,3 \times \cos(43,3) = \mathbf{116,7} < \mathbf{215} = f_d$$

## PODSTAWA SŁUPA wg PN-85/B-03215

Zadanie: rygiel; węzeł nr: 3



Przyjęto zakotwienie słupa na śruby **F16** ze stali St3 w fundamencie wykonanym z betonu klasy **B20**.  
 Moment dokręcenia śrub  $M_s = 0,10$  kNm.

Siły przekrojowe sprowadzone do środka blachy podstawy:

$$M = 7,823 \text{ kNm}, N = -31,060 \text{ kN}, e = 252 \text{ mm}$$

### Nośność śrub kotwiących:

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

$$x^3 + 3(e - l/2)x^2 + \frac{6 E n A_s}{E_b b} (l + e_s + e - l/2)(x - l + e_s) = 0$$

Przyjmując  $E / E_b = 6$ , w rozwiązaniu otrzymamy  $x = 59$  mm.

$$\sigma_M = M / W = (3,119 / 248,7) \times 10^3 = 12,5 \text{ MPa},$$

$$\tau = V / A_v = (106,618 / 40,0) \times 10 = 26,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_M^2 + 3 \tau^2} = \sqrt{12,5^2 + 3 \times 26,7^2} = 47,8 < 215 = f_d$$

### Nośność spoin poziomych:

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

Siła przenoszona przez spoiny wynosi  $F = 0,75 N = 23,295 \text{ kN}$ .

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 41,18 \text{ cm}^2, \quad A_v = 25,64 \text{ cm}^2, \quad I_x = 1765,9 \text{ cm}^4, \quad I_y = 1464,9 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{\parallel} = V / A_v = (5,738 / 25,64) \times 10 = 2,2 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{F}{A} = \frac{-7,823 \times 11,5 \times 10^3}{1765,9} + \frac{-23,295 \times 10}{41,18} = -56,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -56,6 \times \cos(45,0) = -40,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma \sin(\gamma) = -56,6 \times \sin(45,0) = -40,0 \text{ MPa}$$

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

### Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych  $\tau_{\parallel} = 2,2 \text{ MPa}$ .

$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{40,0^2 + 3 \times (2,2^2 + 40,0^2)} = 56,1 < 205 = f_d$$

### Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{F}{A} = \frac{-7,823 \times 11,5 \times 10^3}{1765,9} + \frac{-23,295 \times 10}{41,18} = -56,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -56,6 \times \cos(45,0) = 40,0 < 205 = f_d$$

### Nośność spoin pionowych:

Przyjęto 4 spoiny o grubości  $a = 3 \text{ mm}$  i długości 200 mm.

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 24,00 \text{ cm}^2,$$

$$I_o = I_x + I_y = 1061,5 + 800,0 = 1861,5 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia w spoinach:

$$\tau_F = F / A = (23,295 / 24,00) \times 10 = 9,7 \text{ MPa},$$

$$\tau_M = M_o r / I_o = (7,823 \times 12,0 / 1861,5) \times 10^3 = 50,5 \text{ MPa},$$

Dla  $R_e = 235 \text{ MPa}$ , współczynniki  $\alpha$  wynoszą  $\alpha_{\perp} = 0,9$ ,  $\alpha_{\parallel} = 0,8$ .

Nośność spoin:

$$\tau_F = 9,7 < 172,0 = 0,8 \times 215 = \alpha_{\parallel} f_d$$

$$\sqrt{(\tau_M + \tau_F \cos \theta)^2 + (\tau_F \sin \theta)^2} = \sqrt{(50,47 + 9,71 \times 0,83)^2 + (9,71 \times 0,55)^2} =$$

$$= 58,8 < 193,5 = 0,9 \times 215 = \alpha_{\perp} f_d$$

  
 mgr inż. ŁUKASZ PIWOWARSKI  
 uprawnienia w specjalności konstrukcyjno - budowlanej  
 do projektowania i kierowania robotami  
 budowlanymi - bez ograniczeń  
 Upr. nr. MAZ/0798/PWBKb/16, tel: 508-617-568

PROJEKTANT  
 mgr inż. Henryka Romanowska  
 specjalność architektoniczna  
 GP-III-7342/161/92  
 specjalność konstrukcyjno-budowlana  
 MAZ/0017/P00K/09