

**Projekt Techniczny zawieszenia sztankietów
nad Proscenium
„MATECZNIK - MAZOWSZE”,
W KAROLINIE.**

PROJEKTANT: **mgr inż. Roman Nalewajko**
upr. bud. proj. nr St-350/89
(członek Izby: MAZ/BO/1129/01)

Warszawa, styczeń 2024r.

ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA

I. OPIS TECHNICZNY

II. OBLICZENIA STATYCZNE.

III. RYSUNKI

Spis rysunków

LP	NR.	WYSZCZEGÓLNIENIE
1.	PT/K-1	WSPORNIKI STALOWE DLA WCIĄGAREK

I. OPIS TECHNICZNY

Spis treści - Konstrukcja

1.0	Przedmiot, cel i zakres opracowania.	4
2.0	Podstawa opracowania	4
3.0	Normy, literatura techniczna, programy komputerowe.....	4
4.0	Opis konstrukcji.	5
5.0	Przyjęte założenia do obliczeń statycznych	5
6.0	Materiały.	5

1.0 Przedmiot, cel i zakres opracowania.

Przedmiotem niniejszego opracowania są wsporniki stalowe do zawieszenia sztankietów nad Proscenium „MATECZNIK - MAZOWSZE”, W KAROLINIE.

Celem i zakres opracowania obejmuje rozwiązania wsporników stalowych do zawieszenia sztankietów nad Proscenium.

2.0 Podstawa opracowania

- Informacje uzyskane od Inwestora,
- Projekt techniczny „Matecznik” Mazowsze, Świerkowa 2, 05-805 Otrębusy PROJEKT Sztankietów nad Proscenium wykonany przez mgr inż. Pawła Ziomeckiego.
- Polskie normy budowlane i literatura techniczna.

3.0 Normy, literatura techniczna, programy komputerowe

Normy przedmiotowe:

- PN-EN 1991-1-3 październik 2005 Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcję. Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem.
- PN-EN 1990:2004. Eurokod 0: Podstawy projektowania konstrukcji.
- PN-EN 1996-1-1:2006. . Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- PN-EN 1996-1-2:2006. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.
- PN-EN 1996-1-3:2006. . Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem.
- PN-EN 1996-1-4:2006. . Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru.
- PN-EN 1993-1-1:2006, Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków,
- PN-EN 1993-1-2:2007, Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Obliczanie konstrukcji na wypadek pożaru,
- PN-EN 1993-1-3:2005(U), Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3: Reguły ogólne - Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno,
- PN-EN 1993-1-8:2006, Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów,

Programy komputerowe:

- RM-WIN wersja 9.26

4.0 Opis konstrukcji.

Wsporniki zostały zaprojektowane w postaci trzech stalowych wsporników usytuowanych w rozstawie 6,0m. Dwa skrajne wsporniki będą podtrzymywały wciągarki łańcuchowe. Maksymalne obciążenie przyjęte na wsporniki wynosi 22,0kN wg PROJEKT Sztankietów nad Proscenium wykonanego przez mgr inż. Pawła Ziomeckiego. Wsporniki zostały zaprojektowane z dwuteownika HEA 200 z odciałem zaprojektowanym z dwóch rur o średnicy 30x3,2mm. Wsporniki zostaną zamocowane do żelbetowej ściany portalowej.

5.0 Przyjęte założenia do obliczeń statycznych

Przyjęte obciążenia

Do obliczeń przyjęto obciążenia: ciężary własne

- Obciążenia technologiczne wg. Projektu technicznego „Matecznik” Mazowsze, Świerkowa 2, 05-805 Otrębusy PROJEKT Sztankietów nad Proscenium wykonany przez mgr inż. Pawła Ziomeckiego.

6.0 Materiały.

Przyjęto do obliczeń następujące materiały:

stal profilowa S235JRG2,

II OBLICZENIA STATYCZNE

Poz.1.0. Obciążenia.

- Obciążenia technologiczne wg. Projektu technicznego „Matecznik” Mazowsze, Świerkowa 2, 05-805 Otrębusy PROJEKT Sztankietów nad Proscenium wykonany przez mgr inż. Pawła Ziomeckiego.

Poz.2.0. Wsporniki.

RM_Win v. 11.111 licencja nr 5473

NAZWA: Poz.2.0. Konstrukcja wsporcza - wspornik L=1,5m 90cm od ściany2

WĘZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000
2	1,600	0,000
3	1,200	0,000
4	0,000	0,600

PODPORY:

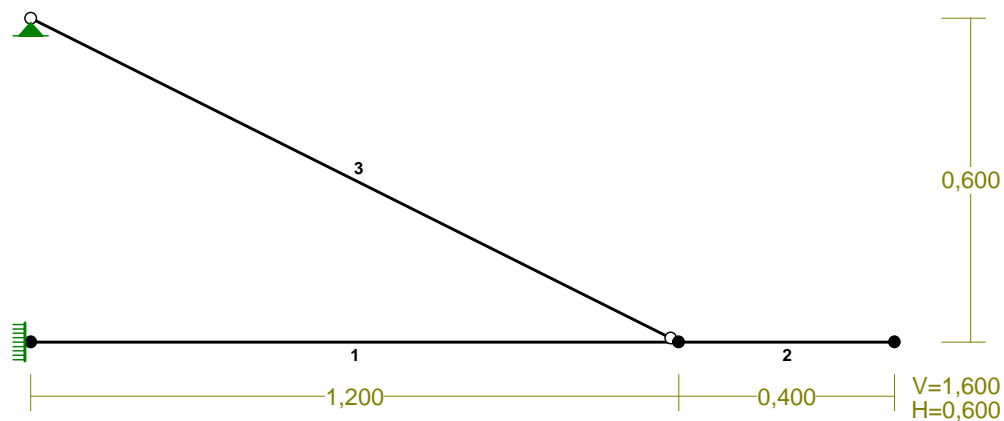
P o d a t n o ś c i

Węzeł:	Rodzaj:	Kąt:	Dx(Do*): [m / k N]	Dy:	DFi: [rad/kNm]
1	utwierdzenie	0,0	0,0	0,0	0,0
4	stała	0,0	0,0	0,0	

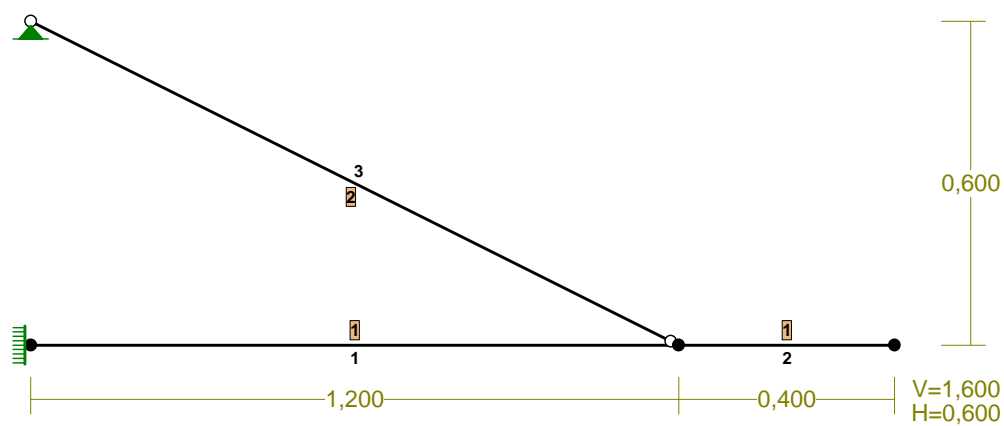
OSIADANIA:

Węzeł:	Kąt:	Wx(Wo*)[m]:	Wy[m]:	FIo[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	0	2	1,200	0,000	1,200	1,000	1 I 200 HEA
2	00	2	1	0,400	0,000	0,400	1,000	1 I 200 HEA
3	11	2	3	-1,200	0,600	1,342	1,000	2 R 30.0x 3.2

WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:

Nr.	A[cm ²]	I _x [cm ⁴]	I _y [cm ⁴]	W _g [cm ³]	W _d [cm ³]	h[cm]	Materiał:
1	53,8	3692	1336	389	389	19,0	1 S 235
2	2,7	2	2	2	2	3,0	1 S 235

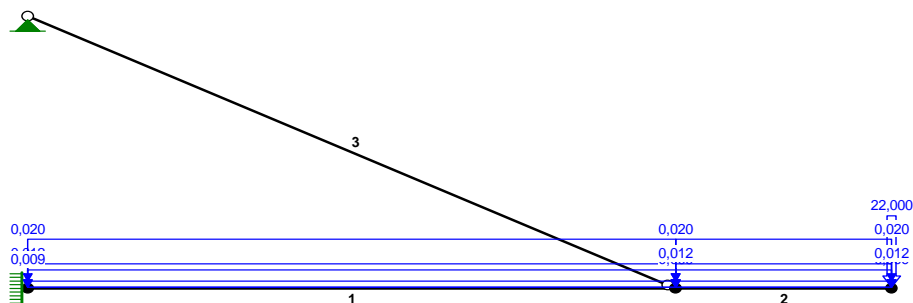
STAŁE MATERIAŁOWE:

Materiał:	Moduł E: [kN/mm ²]	Napręż.gr.: [N/mm ²]	AlfaT: [1/K]
1 S 235	210	235,000	1,2E-5

ZESTAWIENIE MATERIAŁU:

Oznaczenie:	Materiał:	Długość[m]	Masa[t]
I 200 HEA	S 235	1x 1,20 + 1x 0,40 = 1,60	0,068
R 30.0x 3.2	S 235	1x 1,34 = 1,34	0,003

MASA CAŁKOWITA USTROJU: **0,070**

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

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1(Tg):	P2(Td):	a[m]:	b[m]:
Grupa:	CW "Ciężar własny"			Stałe	$\gamma_f = 1,35/1,00$	
Grupa:	A "Stałe"			Stałe	$\gamma_f = 1,35/1,00$	
1	Liniowe	0,0	0,012	0,012	0,00	1,20
	1.1 Dac $p=1,160*0,010$					
2	Skupione	0,0	22,000		0,40	
2	Liniowe	0,0	0,012	0,012	0,00	0,40
	1.1 Dac $p=1,160*0,010$					
Grupa:	B "Zmienne"			Zmienne	$\gamma_f = 1,50$	

1	Liniowe-Y	0,0	0,020	0,020	0,00	1,20
	2.1 Tara p=2,000*0,010					
2	Liniowe-Y	0,0	0,020	0,020	0,00	0,40
	2.1 Tara p=2,000*0,010					
Grupa: C "Zmienne"				Zmienne	$\gamma_f = 1,50$	
1	Liniowe	0,0	0,009	0,009	0,00	1,20
	3.1 Dach dwuspadow p=0,864*0,010					
2	Liniowe	0,0	0,009	0,009	0,00	0,40
	3.1 Dach dwuspadow p=0,864*0,010					

=====

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

Teoria I-go rzędu

Kombinatoryka obciążeń

RM_Win v. 11.111 licencja nr 5473

=====

OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa:	Znaczenie:	γ_f :	ψ_d :
CW-"Ciężar własny"	Stałe	1,35/1,00	
A -"Stałe"	Stałe	1,35/1,00	
B -"Zmienne"	Zmienne	1 1,50	1,00
C -"Zmienne"	Zmienne	1 1,50	1,00

RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

Grupa obc.: Relacje:

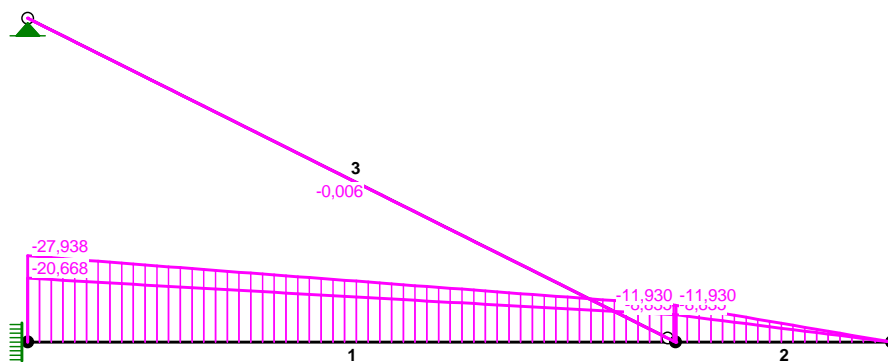
A -"Stałe"	EWENTUALNIE
B -"Zmienne"	EWENTUALNIE
C -"Zmienne"	EWENTUALNIE

KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

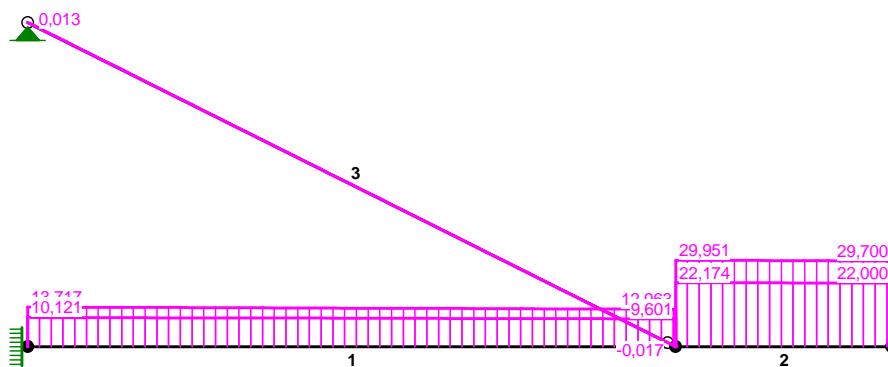
Nr: Specyfikacja:

1	ZAWSZE	: CW+A
	EWENTUALNIE:	B+C

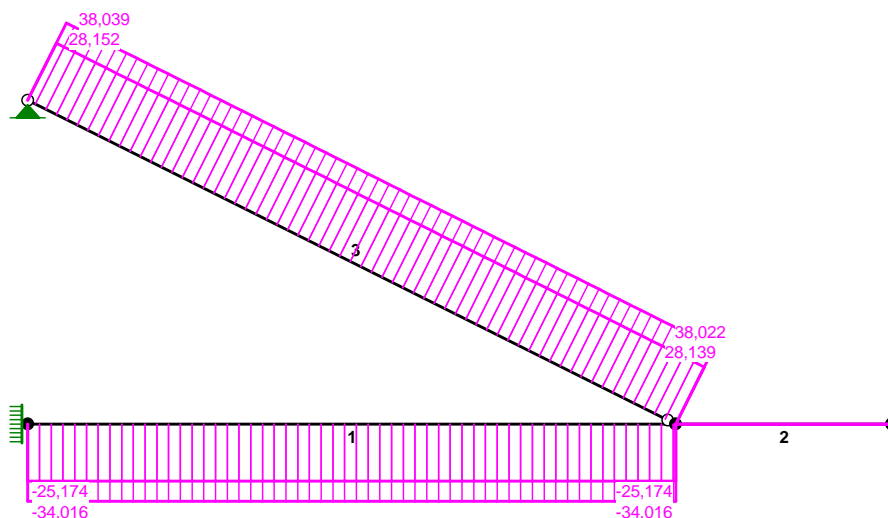
MOMENTY-OBWIEDNIE :



TNĄCE-OBWIEDNIE :



NORMALNE-OBWIEDNIE:



SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

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

1	1,200	-8,835*	9,601	-25,174	cw a
	0,000	-27,938*	13,717	-34,016	CW ABC
	0,000	-27,938	13,717*	-34,016	CW ABC
	0,000	-20,668	10,121	-25,174*	cw a
	1,200	-8,835	9,601	-25,174*	cw a
	0,000	-27,938	13,717	-34,016*	CW ABC
	1,200	-11,930	12,963	-34,016*	CW ABC
2	0,400	0,000*	29,700	0,000	cw AC
	0,400	0,000*	22,000	0,000	CW aBC
	0,000	-11,930*	29,951	0,000	CW ABC
	0,000	-11,930	29,951*	0,000	CW ABC
	0,000	-11,930	29,951	0,000*	CW ABC
	0,400	0,000	29,700	0,000*	cw AC
	0,000	-11,930	29,951	0,000*	CW ABC
0,400	0,000	29,700	0,000*	cw AC	
3	0,000	0,000*	-0,017	37,988	CW A
	1,342	0,000*	0,017	38,039	CW ABC
	0,000	0,000*	-0,013	28,139	cw a
	0,671	-0,006*	0,000	37,996	CW A
	0,671	-0,006*	0,000	38,031	CW ABC
	0,671	-0,006*	0,000	28,268	CW a
	0,000	0,000	-0,017*	37,988	CW A
	1,342	0,000	0,017*	38,005	CW A
	1,342	0,000	0,017*	38,039	CW ABC
	0,000	0,000	-0,017*	28,259	CW a
	1,342	0,000	0,017	38,039*	CW ABC
	0,000	0,000	-0,013	28,139*	cw a

* = Wartości ekstremalne

NAPRĘŻENIA - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia obl.: "Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	SigmaG:	SigmaD:	Sigma:	Kombinacja obciążeń:
		-----		[MPa]	
		Ro			
1	0,000	0,279*		65,566	CW ABC
	1,200	0,077*		18,054	cw a
	1,200		-0,117*	-27,412	cw a
2	0,000		-0,333*	-78,211	CW ABC
	0,000	0,131*		30,698	CW ABC
	0,400	0,000*		0,000	cw AC
	0,400		0,000*	0,000	cw AC
3	0,000		-0,131*	-30,698	CW ABC
	0,671	0,617*		144,891	CW ABC
	0,000	0,445*		104,607	cw a
	1,342		0,602*	141,410	CW ABC
	0,671		0,432*	101,573	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	34,016*	13,717	36,677	27,938	CW ABC
	25,174*	10,121	27,133	20,668	cw a
	34,016	13,717*	36,677	27,938	CW ABC
	25,174	10,121*	27,133	20,668	cw a
	34,016	13,717	36,677*	27,938	CW ABC
	34,016	13,717	36,677	27,938*	CW ABC
	25,174	10,121	27,133	20,668*	cw a
4	-25,174*	12,601	28,152		cw a
	-34,016*	17,027	38,039		CW ABC
	-34,016	17,027*	38,039		CW ABC
	-25,174	12,601*	28,152		cw a
	-34,016	17,027	38,039*		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	25,195*	10,157	27,165	20,692	CW ABC
	25,174*	10,121	27,133	20,668	CW A
	25,195	10,157*	27,165	20,692	CW ABC
	25,174	10,121*	27,133	20,668	CW A
	25,195	10,157	27,165*	20,692	CW ABC
	25,195	10,157	27,165	20,692*	CW ABC
	25,174	10,121	27,133	20,668*	CW A
4	-25,174*	12,601	28,152		CW A
	-25,195*	12,611	28,175		CW ABC
	-25,195	12,611*	28,175		CW ABC

-25,174	12,601*	28,152	CW A
-25,195	12,611	28,175*	CW ABC

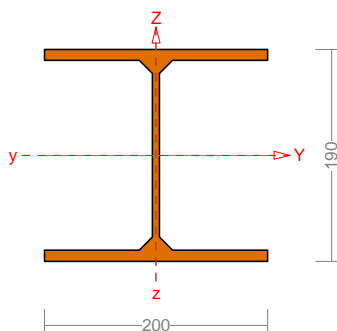
* = Wartości ekstremalne

Pręt nr 2

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993 (Stal1993_2d v. 1.49 licencja nr 5473)

Zadanie: Poz.2.0. Konstrukcja wsporcza - wspornik L=1,5m 90cm od ściany2

Przekrój: 1 - I 200 HEA



Wymiary przekroju:

$h=190,0$ $g=6,5$ $s=200,0$ $t=10,0$ $r=18,0$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$I_{yg}=3692,0$ $I_{zg}=1336,0$ $A=53,80$ $i_y=8,3$ $i_z=5,0$

$I_w=108000,0$ $I_t=18,0$ $i_s=9,667$.

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ dla $g=6,5$.

Obciążenia prostopadłe:

Obciążenia działające prostopadle do płaszczyzny układu:

- obciążenie rozłożone $q = 0$ kN/m,
- momenty przywęzłowe $M_a = 0$, $M_b = 0$ kNm,
- moment skręcający $T = 0$ kNm.

Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla tych obciążeń wynosi $\gamma_f = 1$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc

Przyjęto:

$\kappa_a = 0,750$ $\kappa_b = 1,000$ węzły przesuwne \Rightarrow $\mu = 3,303$ dla $l_o = 0,400$

$$l_w = 3,303 \times 0,400 = 1,321 \text{ m}$$

Przęsło Zc

Przyjęto następujące podatności węzłów:

$\kappa_a = 1,000$ $\kappa_b = 1,000$ węzły nieprzesuwne \Rightarrow $\mu = 1,000$ dla $l_o = 0,400$

$$l_w = 1,000 \times 0,400 = 0,400 \text{ m}$$

Przęsło ω

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 0,400$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 0,400$ m.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 3692,0}{1,321^2} \times 10^{-2} = 43837,28 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 1336,0}{0,400^2} \times 10^{-2} = 173063,513 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{9,667^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 108000,0}{0,400^2} \times 10^{-2} + 81 \times 18,0 \times 10^2 \right) =$$

151253,975 kN

Zwichrzenie:

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: $A_1 = 0,000$, $A_2 = 1,100$, $B = 2,560$.

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 1,100 \times 0,00 = 0,000$$

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

$$0,000 \times 173063,513 + \sqrt{(0,000 \times 173063,513)^2 + 2,560^2 \times 0,097^2 \times 173063,513 \times 151253,975} =$$

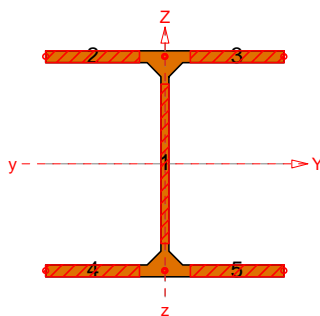
40040,788 kNm

Stan graniczny nośności.

$x_a = 0,400$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+1,35-A+1,5-C

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

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



Klasa przekroju:

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

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_σ	(c/t) ₁	(c/t) ₂	(c/t) ₃	c/t	Klasa
1	134,0	6,5	0,000	0,000	-	INF	INF	INF	20,615	
2	78,8	10,0	0,000	0,000	0	INF	INF	INF	7,875	
3	78,8	10,0	0,000	0,000	0	INF	INF	INF	7,875	
4	78,8	10,0	0,000	0,000	0	INF	INF	INF	7,875	
5	78,8	10,0	0,000	0,000	0	INF	INF	INF	7,875	

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$; $x_b = 0,400$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot (CW+A) + 1,5 \cdot (B+C)$

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{18,05 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 244,898 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{29,951}{244,898} = \mathbf{0,122} < \mathbf{1}$$

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

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

$$h_w / t_w = 134,0 / 6,5 = \mathbf{20,615} < \mathbf{62,155} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 0,000$; $x_b = 0,400$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot (CW+A) + 1,5 \cdot (B+C)$

Klasa przekroju **1**.

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{429,02 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 100,819 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{53,80 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1264,3 \text{ kN} \quad (6.6)$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 0,000 / 1264,3 = 0,000; \quad \text{przyjęto } n = 0,000 \leq 1;$$

Dla dwuteownika bisymetrycznego:

$$a = (A - 2 b t_f) / A = (53,80 - 2 \times 20,00 \times 1,00) / 53,80 = 0,257; \quad \text{przyjęto } a = 0,257 \leq 0,5;$$

- zginanie y-y

$$N_{Ed} = \mathbf{0} < \mathbf{316,075} = 0,25 \times 1264,3 = 0,25 N_{pl,Rd} \quad (6.33)$$

$$N_{Ed} = \mathbf{0} < \mathbf{129,838} = \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \times 10^{-1} \quad (6.34)$$

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

– zginanie z-z

$$N_{Ed} = 0 < 259,675 = \frac{17,00 \times 0,65 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.35)$$

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

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{11,93}{100,819} = 0,118 < 1 \quad (6.31)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{0}{1264,3} + \frac{11,93}{100,819} + \frac{0}{47,942} = 0,118 < 1 \quad (6.2)$$

Zginanie (stateczność):

$x_a = 0,000$; $x_b = 0,400$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot (CW+A) + 1,5 \cdot (B+C)$

Przyjęto krzywą zwichrzenia „b”.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{429,02 \times 235}{40040,788 \times 10^3}} = 0,0502$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,05 - 0,4) + 0,75 \times 0,05^2] = 0,441$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,441 + \sqrt{0,441^2 - 0,75 \times 0,0502^2}} = 1,135;$$

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

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 429,02 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 100,819 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{11,93}{100,819} = 0,118 < 1 \quad (6.54)$$

Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 0,400$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $CW + 1,35 \cdot A + 1,5 \cdot C$

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego $s_s = 100,0$ mm oraz typ obciążenia środka (a). Dodatkowo przyjęto rozstaw żebier poprzecznych $a = 0,400$ m. Nośność najbardziej obciążonego środka:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (134,0 / 400,0)^2 = 6,22$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 200,0 / (235 \times 6,5) = 30,769$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) = 100,0 + 2 \times 10,0 \times (1 + \sqrt{30,769 + 0,000}) = 230,9 \quad \text{przyjęto } l_y = 230,9 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,22 \times 210 \times 6,5^3 / 134,0 = 2411,00 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{230,9 \times 6,5 \times 235 \times 10^3}{2411,00}} = 0,383$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,383} = 1,307 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 230,9 = 230,9 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 230,9 \times 6,5 \times 10^3}{1} = 352,76 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN } 1993-1-5)$$

Warunki nośności środka:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{29,70}{352,76} = \mathbf{0,084} < \mathbf{1} \quad (6.14 \text{ EN } 1993-1-5)$$

Stan graniczny użyteczności:

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+A+B+C Kombinacja charakterystyczna

Ugięcia względem osi Z wynoszą:

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

$$a_{\text{gr}} = 1 / 250 = 1600 / 250 = 6,4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = \mathbf{2,5} < \mathbf{6,4} = a_{\text{gr}}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

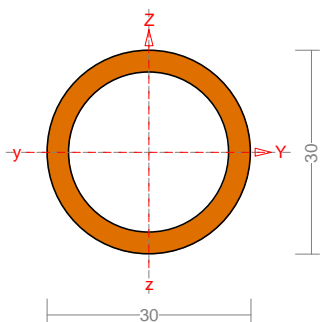
$$a = 2,521 \text{ mm}; \quad L / a = 400,0 / 2,521 = 158,7$$

Pręt nr 3

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993 (Stal1993_2d v. 1.49 licencja nr 5473)

Zadanie: Poz.2.0. Konstrukcja wsporcza - wspornik L=1,5m 90cm od ściany2

Przekrój: 2 - R 30.0x 3.2



Wymiary przekroju:

$$D=30,0 \quad d=23,6 \quad g=3,2.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$I_{yg}=2,5 \quad I_{zg}=2,5 \quad A=2,69 \quad i_y=1,0 \quad i_z=1,0 \quad I_w=0,0 \quad I_t=4,8$$

$$i_s=1,350.$$

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności $f_y=235$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ dla $g=3,2$.

Obciążenia prostopadłe:

Obciążenia działające prostopadle do płaszczyzny układu:

- obciążenie rozłożone $q = 0 \text{ kN/m}$,
- momenty przywęzłowe $M_a = 0, \quad M_b = 0 \text{ kNm}$,
- moment skręcający $T = 0 \text{ kNm}$.

Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla tych obciążeń wynosi $\gamma_f = 1$.

Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc

Przyjęto:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 1,342$$

$$l_w = 1,000 \times 1,342 = 1,342 \text{ m}$$

Przęsło Zc

Przyjęto następujące podatności węzłów:

$$\kappa_a = 1,000 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 1,342$$

$$l_w = 1,000 \times 1,342 = 1,342 \text{ m}$$

Przęsło ω

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej $\mu_\omega = 1,000$. Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem $l_{\omega\omega} = 1,342$ m. Długość wyboczeniowa $l_\omega = 1,342$ m.

Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 2,5}{1,342^2} \times 10^{-2} = 28,211 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 2,5}{1,342^2} \times 10^{-2} = 28,211 \text{ kN}$$

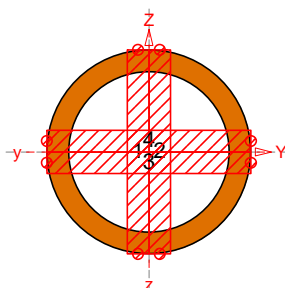
$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{1,350^2} \times \left(\frac{3,1416^2 \times 210 \times 0,0}{1,342^2} \times 10^{-2} + 81 \times 4,79 \times 10^2 \right) = 21321,735 \text{ kN}$$

Stan graniczny nośności.

$x_a = 1,342$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+1,35-A+1,5-(B+C)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe γ_M :

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



Klasa przekroju:

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

Nr:	c [mm]	t [mm]	α	ψ	k_σ	(c/t) ₁	(c/t) ₂	(c/t) ₃	c/t	Klasa
1	30,0	3,2	-	-	-	50,000	70,000	90,000	9,375	1

2	30,0	3,2	-	-	-	50,000	70,000	90,000	9,375	1
3	30,0	3,2	-	-	-	50,000	70,000	90,000	9,375	1
4	30,0	3,2	-	-	-	50,000	70,000	90,000	9,375	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 1,342$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot (CW+A) + 1,5 \cdot (B+C)$

Siała osiowa: $N_{Ed} = 38,039 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju: $A = 2,69 \text{ cm}^2$

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

Pole powierzchni netto: $A_{net} = 2,69 \text{ cm}^2$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,69 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 63,215 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 2,69 \times 360}{1,1} \times 10^{-1} = 79,233 \text{ kN} \quad (6.7)$$

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

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 63,215 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{38,039}{63,215} = \mathbf{0,602} < \mathbf{1} \quad (6.5)$$

Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 1,342$; $x_b = 0,000$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot CW + A + 1,5 \cdot C$

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1,71 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 23,235 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,017}{23,235} = \mathbf{0,001} < \mathbf{1}$$

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

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

$$h_w / t_w = 30,0 / 3,2 = \mathbf{9,375} < \mathbf{59,708} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 0,755$; $x_b = 0,587$; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: $1,35 \cdot (CW+A) + 1,5 \cdot (B+C)$

Klasa przekroju **1**.

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,31 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 0,543 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 38,032 / 63,215 = 0,602; \text{ przyjęto } n = 0,602 \leq 1;$$

Dla rury okrągłej:

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{pl,Rd} (1 - n^{1,7}) = 0,543 \times (1 - 0,602^{1,7}) = 0,314 \text{ kNm} \quad (24 \text{ AC:2009})$$

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{0,006}{0,314} = \mathbf{0,019} < \mathbf{1} \quad (6.31)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right)^2 \right]^{1/2} = \frac{38,032}{63,215} + \left[\left(\frac{0,006}{0,543} \right)^2 + \left(\frac{0}{0,543} \right)^2 \right]^{1/2} = \mathbf{0,613} < \mathbf{1} \quad (6.2)$$

Stan graniczny użytkowości:

Prześło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+A Kombinacja charakterystyczna

Ugięcia względem osi Z liczone od cięciwy pręta wynoszą:

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

$$a_{gr} = 1 / 250 = 1342 / 250 = 5,4 \text{ mm}$$

$$a_{max} = \mathbf{0,2} < \mathbf{5,4} = a_{gr}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 0,155 \text{ mm}; \quad L / a = 1341,6 / 0,155 = 8663,1$$

POŁĄCZENIE DOCZOŁOWE SPAWANE

RM_SPol v. 4.15 licencja nr 5473

Zadanie: Poz.2.0. Konstrukcja wsporcza - wspornik L=1,5m 90cm od ściany2; węzeł nr: 3

Siły przekrojowe w odległości $l_0 = 5 \text{ mm}$ od węzła: $N = 38,022 \text{ kN}$.

Przyjęto blachę czołową o wymiarach 50×50 mm i grubości $t = 10 \text{ mm}$ ze stali St3S (X,Y,V,W).

Nośność spoin:

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

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 2,82 \text{ cm}^2, \quad A_v = 1,50 \text{ cm}^2, \quad I_x = 3,8 \text{ cm}^4, \quad I_y = 3,8 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{\parallel} = V / A_v = (0,017 / 1,50) \times 10 = 0,1 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{38,022 \times 10}{2,82} = 134,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = 134,7 \times \cos(45,0) = 95,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma \sin(\gamma) = 134,7 \times \sin(45,0) = 95,2 \text{ MPa}$$

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

Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych $\tau_{\parallel} = 0,1$ MPa.

$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{95,2^2 + 3 \times (0,1^2 + 95,2^2)} = 133,3 < 215 = f_d$$

Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{38,022 \times 10}{2,82} = 134,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = 134,7 \times \cos(45,0) = 95,2 < 215 = f_d$$

POŁĄCZENIE DOCZOŁOWE NA ŚRUBY

RM_SPol v. 4.15 licencja nr 5473

Zadanie: Poz.2.0. Konstrukcja wsporcza - wspornik L=1,5m 90cm od ściany2; węzeł nr: 4

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

Siły przekrojowe w odległości $l_0 = 16$ mm od węzła:

$$\mathbf{M} = 0,000 \text{ kNm}, \quad \mathbf{V} = -0,017 \text{ kN}, \quad \mathbf{N} = 38,039 \text{ kN}.$$

Nośność śruby:

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

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

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

$$S_{Rr} = 0,6 S_{Rt} = 0,6 \times 61,230 = 36,738 \text{ kN},$$

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

Blacha czołowa:

Przyjęto blachę czołową o wymiarach 110×124 mm ze stali St3S (X,Y,V,W).

Dla połączenia niesprężanego, przy $c = 14,1$ i $b_s = 55,0 \leq 2(c+d)$

$$t_{min} = 1,2 \sqrt{\frac{c S_{Rt}}{b_s f_d}} = 1,2 \times \sqrt{\frac{14,1 \times 61,230 \times 10^3}{55,0 \times 215}} = 10,3 \text{ mm}$$

Przyjęto grubość blachy czołowej $t = 16,0 > 10,3 = t_{min}$.

Nośność połączenia:

Współczynnik efektu dźwigni wynosi:

$$\beta = 2,67 - t / t_{min} = 2,67 - 16 / 10,3 = 1,12,$$

przyjęto $\beta = 1,12 \Rightarrow 1/\beta = 0,90$.

Nośność na siłę osiową

Nośność na siłę osiową dla stanu granicznego zerwania śrub:

$$N_{Rt} = S_{Rt} \sum_i \omega_i = 61,230 \times (2 \times 0,90 + 2 \times 0,90) = 219,344 \text{ kN}.$$

Warunek stanu granicznego nośności połączenia:

$$N = 38,039 < 219,344 = N_{Rt}$$

Nośność na ścinanie

Siła poprzeczna przypadająca na jedną śrubę

$$S_v = V / n = 0,017 / 4 = 0,004 \text{ kN}$$

Siła rozciągająca w śrubie od siły osiowej $S_t = 10,619$ kN, od zginania $S_t = 0,000$ kN.

Warunek nośności śruby na ścinanie:

$$(S_t / S_{Rt})^2 + (S_v / S_{Rv})^2 = (10,619 / 61,230)^2 + (0,004 / 54,287)^2 = 0,03 < 1$$

Nośność spoin:

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

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 2,82 \text{ cm}^2, \quad A_v = 1,50 \text{ cm}^2, \quad I_x = 3,8 \text{ cm}^4, \quad I_y = 3,8 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{\parallel} = V / A_v = (0,017 / 1,50) \times 10 = 0,1 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{38,039 \times 10}{2,82} = 134,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = 134,8 \times \cos(45,0) = 95,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma \sin(\gamma) = 134,8 \times \sin(45,0) = 95,3 \text{ MPa}$$

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

Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych $\tau_{\parallel} = 0,1 \text{ MPa}$.

$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{95,3^2 + 3 \times (0,1^2 + 95,3^2)} = 133,4 < 215 = f_d$$

Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{38,039 \times 10}{2,82} = 134,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = 134,8 \times \cos(45,0) = 95,3 < 215 = f_d$$

POŁĄCZENIE DOCZOŁOWE NA ŚRUBY

RM_SPol v. 4.15 licencja nr 5473

Zadanie: Poz.2.0. Konstrukcja wsporcza - wspornik L=1,5m 90cm od ściany2; węzeł nr: 1

Przyjęto połączenie **sprężane obciążone dynamicznie** kategorii **E** na śruby **M20** klasy **8.8**.

Siły przekrojowe w odległości $l_0 = 20 \text{ mm}$ od węzła:

$$\mathbf{M} = -27,664 \text{ kNm}, \quad \mathbf{V} = -13,705 \text{ kN}, \quad \mathbf{N} = -34,016 \text{ kN}.$$

Nośność śruby:

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

$$R_m = 830 \text{ MPa}, \quad R_e = 660 \text{ MPa},$$

Nośność śruby: $S_{Rt} = \min \{0,65 R_m A_s; 0,85 R_e A_s\} = 132,178 \text{ kN}$,

$$S_{Rr} = 0,6 S_{Rt} = 0,6 \times 132,178 = 79,307 \text{ kN},$$

$$S_{Rv} = 0,45 R_m A_v = 0,45 \times 830 \times 314,2 \times 10^{-3} = 117,338 \text{ kN}.$$

Siła sprężająca: $S_o = 0,7 R_m A_s = 0,7 \times 830 \times 245,0 \times 10^{-3} = 142,345 \text{ kN}$.

Blacha czołowa:

Przyjęto blachę czołową o wymiarach 300×290 mm ze stali St3S (X,Y,V,W).

Dla połączenia niesprężanego, przy $c = 11,3$ i $b_s = 62,6 \leq 2(c+d)$

$$t_{min} = 1,2 \sqrt{\frac{c S_{Rt}}{b_s f_d}} = 1,2 \times \sqrt{\frac{11,3 \times 132,178 \times 10^3}{62,6 \times 205}} = 12,9 \text{ mm}$$

Dla połączenia sprężanego:

$$t_{min} = d \sqrt[3]{R_m/1000} = 20 \times \sqrt[3]{830/1000} = 18,8 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \max \{12,9; 18,8\} = 18,8 \text{ mm.}$$

Przyjęto grubość blachy czołowej $t = 20,0 > 18,8 = t_{min}$.

Nośność połączenia:

Współczynnik efektu dźwigni wynosi:

$$\beta = 2,67 - t / t_{min} = 2,67 - 20 / 18,8 = 1,61,$$

przyjęto $\beta = 1,61 \Rightarrow 1/\beta = 0,62$.

Nośność na zginanie

Nośność dla stanu granicznego zerwania śrub:

$$M_{Rt} = S_{Rt} \sum_i m_i \omega_i y_i = 132,178 \times (2 \times 0,62 \times 205) \times 10^{-3} = 33,740 \text{ kNm.}$$

Przy współdziałaniu siły osiowej uwzględniamy jej wpływ na nośność połączenia:

$$M_{Rt}' = M_{Rt} + 0,5 (h-t) N_o = 33,740 + 0,5 \times (185-10) \times 17,008 \times 10^{-3} = 35,229 \text{ kNm}$$

Nośność dla stanu granicznego rozwarcia styku:

$$M_{Rr} = S_{Rr} (m_l \omega_r y_l + \sum_i m_i \omega_i y_i^2 / y_2) = 79,307 \times [2 \times 0,62 \times 205 + () / 205] \times 10^{-3} = 20,244 \text{ kNm.}$$

Wpływ siły osiowej na nośność połączenia:

$$M_{Rr}' = M_{Rr} + 0,5 (h-t) N_o = 20,244 + 0,5 \times (185-10) \times 17,008 \times 10^{-3} = 21,732 \text{ kNm}$$

Warunek stanu granicznego nośności połączenia:

$$M = 27,664 < 35,229 = M_{Rt}$$

Warunek stanu granicznego rozwarcia styku:

$$M_k = 20,489 < 21,732 = M_{Rr}$$

Nośność na ścinanie

Siła poprzeczna przypadająca na jedną śrubę

$$S_v = V / n = 13,705 / 4 = 3,426 \text{ kN}$$

Siła rozciągająca w śrubie od siły osiowej $S_t = 0,000 \text{ kN}$, od zginania $S_t = 108,373 \text{ kN}$.

Warunek nośności śruby na ścinanie:

$$(S_t / S_{Rt})^2 + (S_v / S_{Rv})^2 = (108,373 / 132,178)^2 + (3,426 / 117,338)^2 = 0,67 < 1$$

Nośność spoin:

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

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 56,14 \text{ cm}^2, \quad A_v = 11,73 \text{ cm}^2, \quad I_x = 3888,8 \text{ cm}^4, \quad I_y = 1600,7 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{||} = V / A_v = (13,705 / 11,73) \times 10 = 11,7 \text{ MPa,}$$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{27,664 \times -10,1 \times 10^3}{3888,8} + \frac{-34,016 \times 10}{56,14} = -77,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -77,9 \times \cos(45,0) = -55,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma \sin(\gamma) = -77,9 \times \sin(45,0) = -55,1 \text{ MPa}$$

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

Naprężenia zredukowane:

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

$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{||}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,70 \times \sqrt{55,1^2 + 3 \times (0,0^2 + 55,1^2)} = 77,1 < 205 = f_d$$

Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{27,664 \times 10,1 \times 10^3}{3888,8} + \frac{-34,016 \times 10}{56,14} = -77,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cos(\gamma) = -77,9 \times \cos(45,0) = \mathbf{55,1} < \mathbf{205} = f_d$$