

## 4. Wyciąg z obliczeń statycznych

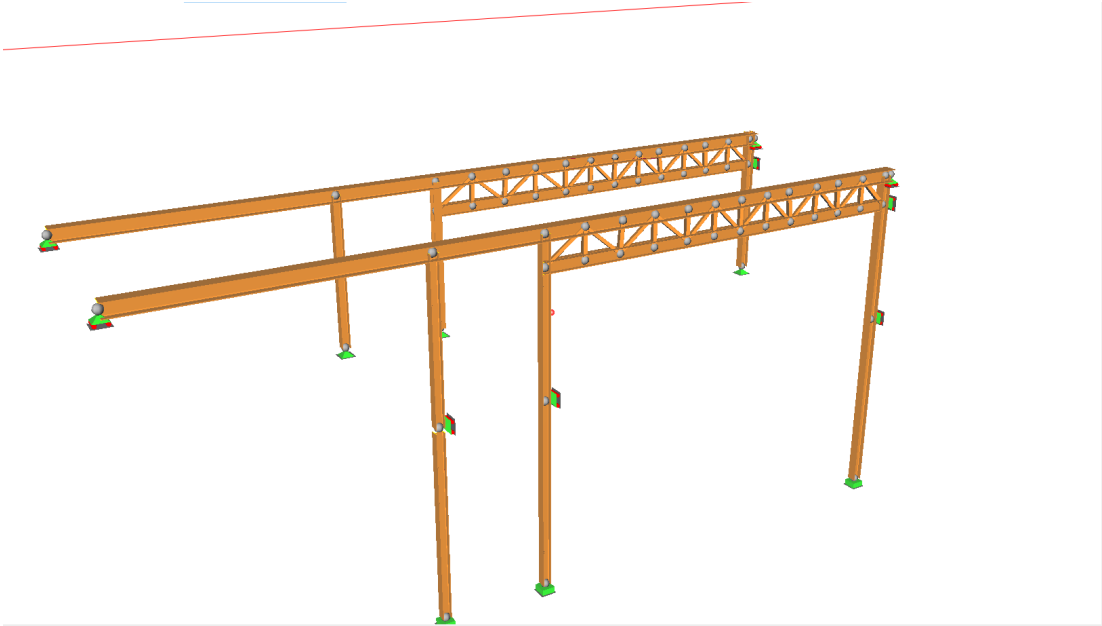
### 4.1. Zestawienie obciążeń

#### 4.1.1. Zestawienie obciążeń

Opis	Jedn.	$Q_k$	$\gamma_{f1}$	$\gamma_{f2}$	$Q_{o1}$	$Q_{o2}$
<b>1. Ciężar</b>						
1.1. Istniejący strop nad parterem	kN/m <sup>2</sup>	2,97	1,35	1,00	4,01	2,97
1.1.1. Płytki gresowe 1cm	kN/m <sup>2</sup>	0,21	1,35	1,00	0,28	0,21
1.1.2. Wylewka betonowa	kN/m <sup>2</sup>	0,92	1,35	1,00	1,24	0,92
1.1.3. styropian 3cm	kN/m <sup>2</sup>	0,01	1,35	1,00	0,02	0,01
1.1.4. gładź wyrównawcza	kN/m <sup>2</sup>	0,23	1,35	1,00	0,31	0,23
1.1.5. płyta żelbetowa 6cm	kN/m <sup>2</sup>	1,50	1,35	1,00	2,03	1,50
1.1.6. Sufit podwieszany	kN/m <sup>2</sup>	0,10	1,35	1,00	0,14	0,10
1.2. Ściana murowana	kN/m <sup>2</sup>	10,51	1,35	1,00	14,19	10,51
1.2.1. cegła pełna	kN/m <sup>2</sup>	9,18	1,35	1,00	12,39	9,18
1.2.2. tynk	kN/m <sup>2</sup>	1,33	1,35	1,00	1,80	1,33
<b>2. Użytkowe</b>						
2.1. Użytkowe (kategoria C2) - pomieszczenia gromadzenia się ludzi	kN/m <sup>2</sup>	4,00	1,50	1,00	6,00	4,00
2.2. Użytkowe (kategoria C4) - aktywność fizyczna	kN/m <sup>2</sup>	5,00	1,50	1,00	7,50	5,00
2.3. Ściany działowe o c.w. do 1.0 kN/m	kN/m <sup>2</sup>	0,50	1,50	1,00	0,75	0,50

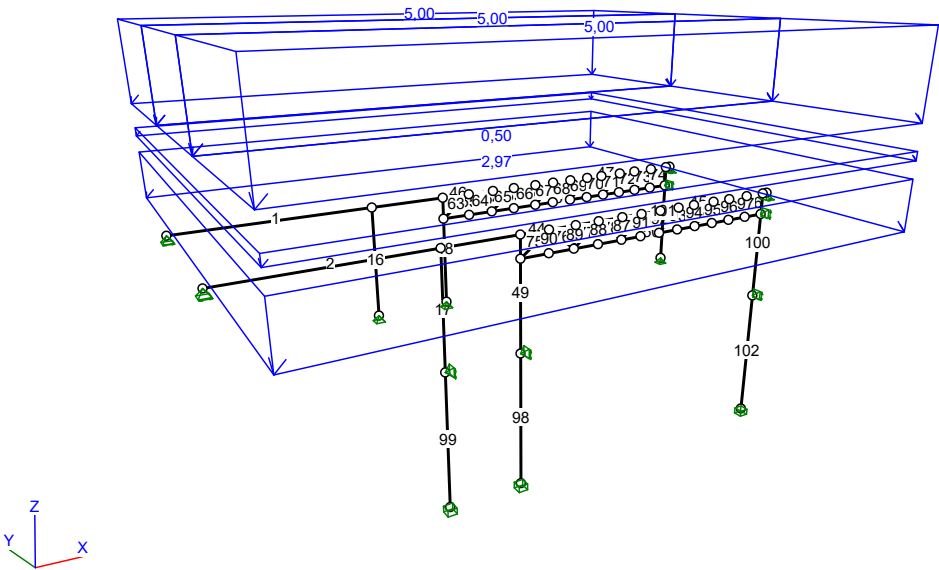
4.2. Wyciąg z obliczeń elementów konstrukcji

4.2.1. Schemat projektowanej konstrukcji



Zestawienie Materiału

Oznaczenie	Materiał	Długości [m]:	Masa [t]:
I 300 HEB	1 - S 235	$2 \times 5,96 + 2 \times 5,95 + 2 \times 5,98 = 35,77$	4,184
I 220	1 - S 235	$13 \times 4,96 + 13 \times 5,29 + 13 \times 4,91 = 197,08$	6,126
I 200 HEB	1 - S 235	$3 \times 3,60 + 1 \times 3,73 + 1 \times 4,40 + 1 \times 4,30 = 23,23$	1,424
U 260	1 - S 235	$2 \times 9,31 + 2 \times 9,12 = 36,86$	1,398
H 100x100x 5.0	1 - S 235	$20 \times 0,70 + 1 \times 1,01 + 2 \times 0,57 = 16,15$	0,238
H 80x 80x 5.6	1 - S 235	$2 \times 1,17 + 6 \times 1,11 + 12 \times 1,01 + 1 \times 1,05 + 2 \times 0,97 + 1 \times 0,04 = 24,12$	0,311
I 220 HEA	1 - S 235	$1 \times 3,87 + 1 \times 3,80 + 1 \times 4,40 = 12,07$	0,609
Pozostałe przekroje			0,057
Masa całkowita ustroju			<b>14,348</b>
Materiał		Jednostka miary	Ilość:
Stal 1993: 1 - S 235		t	14,329



Obciążenia:

Nr	Rodzaj:	Wartości char.		Współczynniki		Orient.	Kier.:	Położenie		Nazwa:	
Pręta		Pa:	Pb:	$\gamma_{G,sup}(\gamma_Q)$ :	$\gamma_{G,inf}$ :	[deg]	[deg]	xa:	xb:		
CW: Ciężar własny - Stałe $\gamma_{G,sup}=1,4$ $\gamma_{G,inf}=1$											
St: Stałe - Stałe											
	Powierzch.	2,97	2,97	1,35	1,00					Powierzchniowe	
U: użytkowe - Zmienne $\psi_0=1$ $\psi_1=1$ $\psi_2=1$											
	Powierzch.	0,50	0,50	1,50						Powierzchniowe	
U2: użytkowe - Zmienne $\psi_0=1$ $\psi_1=1$ $\psi_2=1$											
	Powierzch.	5,00	5,00	1,50						Powierzchniowe	
U3: użytkowe - Zmienne $\psi_0=1$ $\psi_1=1$ $\psi_2=1$											
	Powierzch.	5,00	5,00	1,50						Powierzchniowe	
U4: użytkowe - Zmienne $\psi_0=1$ $\psi_1=1$ $\psi_2=1$											
	Powierzch.	5,00	5,00	1,50						Powierzchniowe	

Wyniki Obliczeń wg PN-EN

Teoria I rzędu

Obwiednie sił

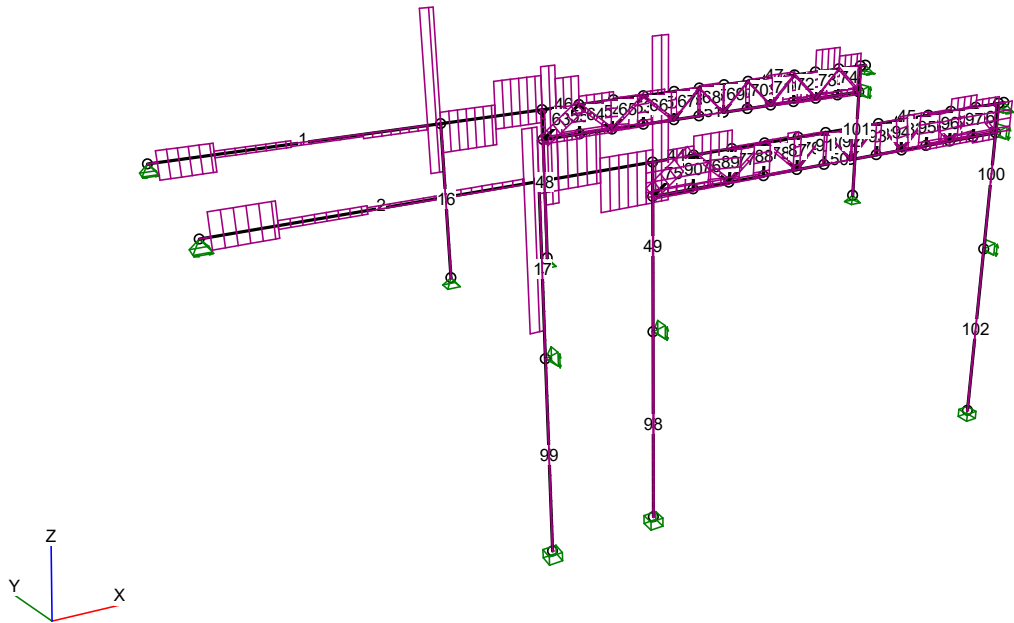
Kombinacje Obciążeń:

Nr:	Zawsze:	Ewentualnie:
1	CW+St	U+U2+U3+U4

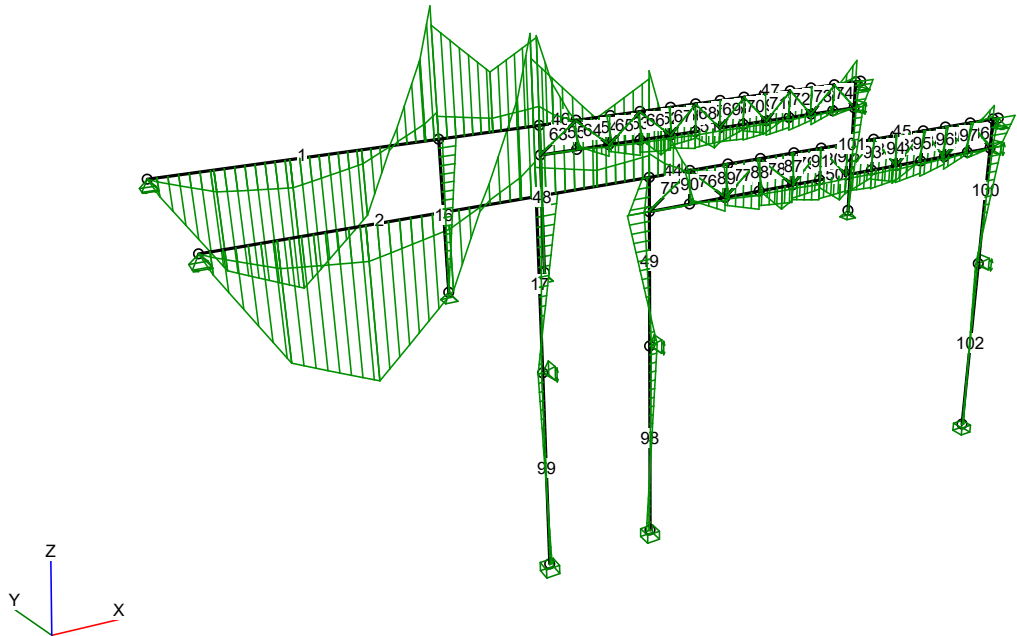
Relacje Grup Obciążeń:

Grupa obciążeń:	Relacje:
-----------------	----------

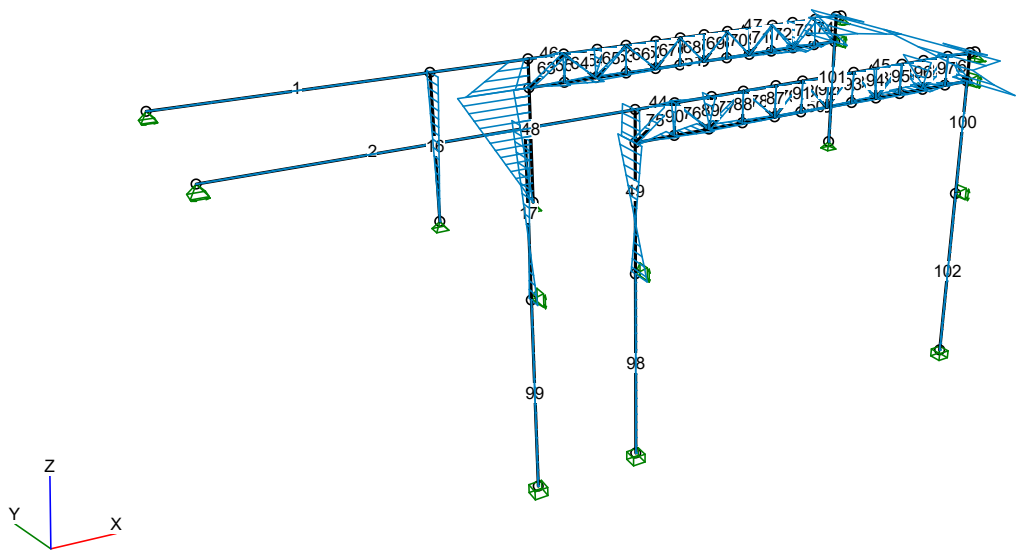
Mx



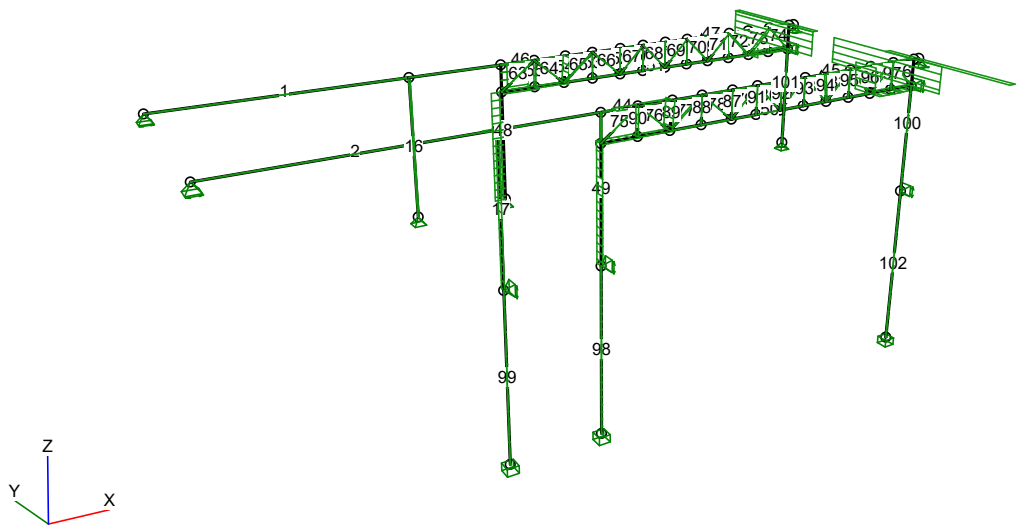
My



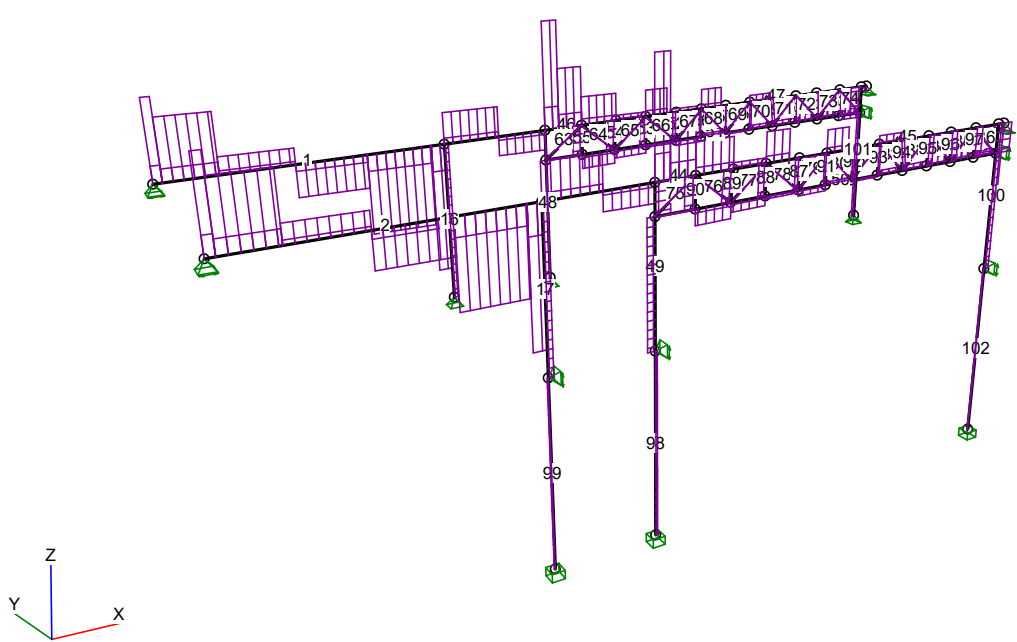
Mz



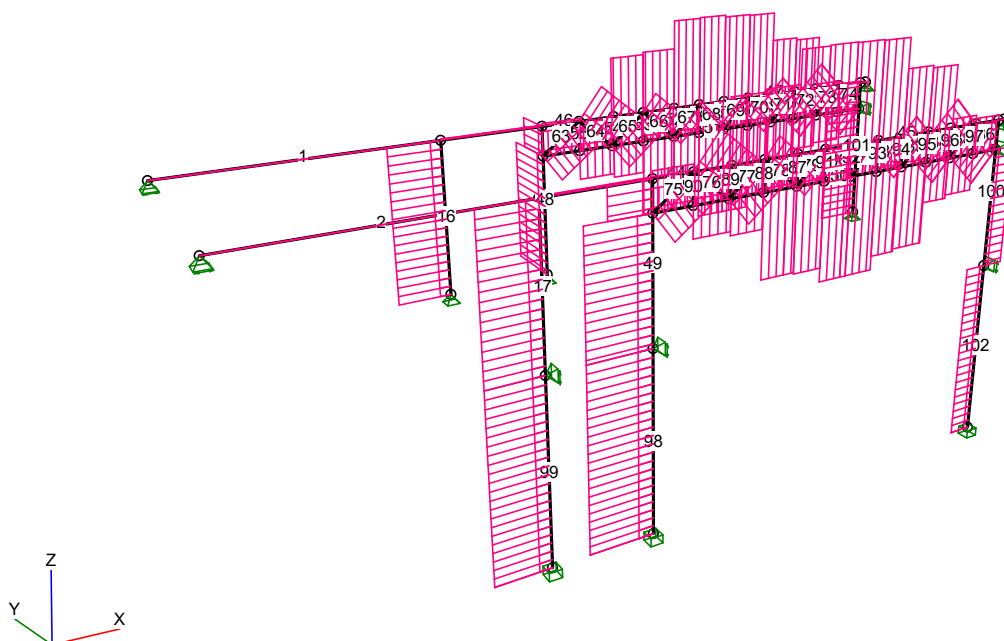
Ty



Tz



N



# Reakcje podporowe: Kombinacja obliczeniowa PN-EN

Nr węzła:	Rx [kN]:	Ry [kN]:	Rz [kN]:	Mx [kNm]:	My [kNm]:	Mz [kNm]:	Obciążenia:
<b>1</b>	<b>0</b>	-0,02	44,42	0	0	0,01	CW (γ <sub>G,inf</sub> )St (b)
1	0	<b>-0,02</b>	97,08	0	0	0,00	(γ <sub>G,inf</sub> )CW (γ <sub>G,inf</sub> )StU2 (a)
1	0	<b>-0,07</b>	107,03	0	0	0,02	CW StUU3U4 (a)
1	0	-0,05	<b>168,37</b>	0	0	0,01	CW StUU2U3 (a)
1	0	-0,04	<b>35,75</b>	0	0	0,01	(γ <sub>G,inf</sub> )CW (γ <sub>G,inf</sub> )StU4 (a)
1	0	-0,04	102,27	<b>0</b>	0	0,01	(γ <sub>G,inf</sub> )CW StU2U4 (a)
1	0	-0,06	137,18	0	<b>0</b>	0,02	CW (γ <sub>G,inf</sub> )StU2U3U4 (b)
1	0	-0,04	<b>46</b>	<b>0</b>	0	0,01	CW (γ <sub>G,inf</sub> )StUU4 (b)
1	0	-0,05	<b>111,54</b>	0	<b>0</b>	0,01	(γ <sub>G,inf</sub> )CW StUU2U4 (a)
1	<b>0</b>	<b>-0,05</b>	<b>168,37</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,01	CW StUU2U3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
1	<b>0</b>	<b>-0,04</b>	<b>35,75</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,01	(γ <sub>G,inf</sub> )CW (γ <sub>G,inf</sub> )StU4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>2</b>	<b>0</b>	-17,19	12,44	0	0	3,11	CW StUU2U3U4 (a)
2	0	<b>14,92</b>	5,99	0	0	-2,22	(γ <sub>G,inf</sub> )CW (γ <sub>G,inf</sub> )StU3 (a)
2	0	<b>-36,63</b>	10,67	0	0	6,15	CW StUU2U4 (a)
2	0	-4,52	<b>4,22</b>	0	0	0,82	(γ <sub>G,inf</sub> )CW (γ <sub>G,inf</sub> )St (a)
2	0	-35,62	10,06	<b>0</b>	0	5,97	CW StU2U4 (a)
2	0	-34,07	8,67	0	<b>0</b>	5,83	(γ <sub>G,inf</sub> )CW StU2 (a)
2	0	-34,22	<b>9,21</b>	<b>0</b>	0	5,72	CW (γ <sub>G,inf</sub> )StU2U4 (a)
2	<b>0</b>	<b>-36,63</b>	<b>10,67</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	6,15	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
2	<b>0</b>	<b>-36,63</b>	<b>10,67</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	6,15	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>3</b>	<b>0</b>	0,04	166,98	0	0	-0,02	(γ <sub>G,inf</sub> )CW StUU2U3U4 (a)
3	0	<b>0,05</b>	111,2	0	0	-0,02	CW StUU2U3 (a)
3	0	<b>0,01</b>	103,85	0	0	0,00	(γ <sub>G,inf</sub> )CW (γ <sub>G,inf</sub> )StU4 (a)
3	0	0,03	<b>175,7</b>	0	0	-0,01	CW StUU3U4 (a)
3	0	0,03	<b>39,35</b>	0	0	-0,01	(γ <sub>G,inf</sub> )CW (γ <sub>G,inf</sub> )StU2 (a)
3	0	0,03	113,04	<b>0</b>	0	-0,01	(γ <sub>G,inf</sub> )CW StUU2U4 (b)
3	0	0,04	92,16	0	<b>0</b>	-0,01	CW StU2U3 (b)
3	<b>0</b>	<b>0,03</b>	<b>175,7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,01	CW StUU3U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
3	<b>0</b>	<b>0,03</b>	<b>39,35</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,01	(γ <sub>G,inf</sub> )CW (γ <sub>G,inf</sub> )StU2 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>4</b>	<b>0</b>	22,3	169,03	0	0	-3,48	(γ <sub>G,inf</sub> )CW StUU2U3U4 (a)

4	0	<b>42,99</b>	128,2	0	0	-7	CW StUU2U4 (a)
4	0	<b>-14,56</b>	93,35	0	0	2,57	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
4	0	21,26	<b>177,34</b>	0	0	-3,38	CW StUU3U4 (a)
4	0	7,17	<b>44,2</b>	0	0	-1,05	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
4	0	19,29	161,77	0	<b>0</b>	-3,07	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU3U4 (b)
4	0	38,56	<b>109,71</b>	<b>0</b>	0	-6,37	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
4	0	-11,45	<b>102,14</b>	0	<b>0</b>	2,15	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU2U3 (a)
4	<b>0</b>	<b>42,99</b>	<b>128,2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-7	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
4	<b>0</b>	<b>39,6</b>	<b>101,39</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-6,47	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>5</b>	<b>0,02</b>	0,00	13,68	0	0	0,05	CW StUU2U3 (a)
5	<b>0,00</b>	0,00	4,15	0	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
5	0,01	<b>0,00</b>	5,31	0	0	0,03	CW StUU3U4 (a)
5	0,01	<b>0</b>	12,52	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
5	0,01	0,00	<b>14,99</b>	0	0	0,03	CW StUU2U4 (a)
5	0,01	0,00	<b>2,84</b>	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
5	0,01	0,00	13,97	<b>0</b>	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU2U4 (a)
5	0,01	0,00	<b>12,85</b>	0	<b>0</b>	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U4 (a)
5	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>14,99</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,03	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
5	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>2,84</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>6</b>	<b>0,02</b>	0	14,7	0	0	-0,06	CW StUU3U4 (a)
6	<b>0,00</b>	0	4,32	0	0	-0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
6	0,01	<b>0</b>	13,29	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
6	0,01	0	<b>15,83</b>	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (a)
6	0,01	0	<b>3,19</b>	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
6	0,01	0	14,97	<b>0</b>	0	-0,04	CW StU2U4 (a)
6	0,01	0	<b>5,48</b>	0	<b>0</b>	-0,04	CW StUU3 (a)
6	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>15,83</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,04	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
6	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>3,19</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>7</b>	<b>0,02</b>	0,00	32,33	0	0	0,05	CW StUU2U3 (a)
7	<b>0,00</b>	-0,01	8,86	0	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
7	0,01	<b>0,01</b>	6,45	0	0	0,03	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
7	0,01	<b>-0,01</b>	34,74	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U4 (a)
7	0,01	-0,01	<b>34,96</b>	0	0	0,03	CW StUU2U4 (a)
7	0,01	0,01	<b>6,22</b>	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
7	0,02	0,00	32,1	0	<b>0</b>	0,05	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U3 (a)
7	0,01	0,00	<b>11,58</b>	<b>0</b>	0	0,03	CW StUU3U4 (a)
7	<b>0,01</b>	<b>-0,01</b>	<b>34,96</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,03	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
7	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>6,22</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>8</b>	<b>0,02</b>	0	34,67	0	0	-0,06	CW StUU3U4 (a)
8	<b>0,00</b>	0	9,3	0	0	-0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
8	0,01	<b>0</b>	33,6	0	0	-0,04	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU4 (b)
8	0,01	0	<b>36,97</b>	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (a)
8	0,01	0	<b>7</b>	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
8	0,01	0	33,08	<b>0</b>	0	-0,03	CW StU2U4 (b)
8	0,02	0	34,44	0	<b>0</b>	-0,05	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU3U4 (a)
8	0,01	0	<b>10,75</b>	0	<b>0</b>	-0,03	CW StUU2U3 (b)
8	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>36,97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,04	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
8	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>9</b>	<b>0,02</b>	0,01	37,98	0	0	0,05	CW StUU2U3 (a)
9	<b>0,00</b>	-0,03	10,14	0	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
9	0,02	<b>0,01</b>	32,27	0	0	0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U3 (a)
9	0,01	<b>-0,03</b>	15,85	0	0	0,02	CW StUU4 (a)
9	0,01	-0,03	<b>40,88</b>	0	0	0,03	CW StUU2U4 (a)
9	0,01	0,01	<b>7,25</b>	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
9	0,02	0,01	34,8	<b>0</b>	0	0,05	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU2U3 (a)
9	0,01	-0,03	<b>12,44</b>	<b>0</b>	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU4 (a)
9	0,01	0,01	<b>7,34</b>	0	<b>0</b>	0,03	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (b)

9	0,01	-0,03	40,88	0	0	0,03	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
9	0,01	0,01	7,25	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
10	0,02	0	40,75	0	0	-0,06	CW StUU3U4 (a)
10	0,00	0	10,7	0	0	-0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
10	0,01	0	14,55	0	0	-0,04	CW StUU2U3 (a)
10	0,01	0	43,29	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (a)
10	0,01	0	8,17	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
10	0,01	0	37,19	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U4 (a)
10	0,02	0	41,04	0	0	-0,05	CW StUU2U3U4 (a)
10	0,01	0	9,7	0	0	-0,03	CW StU3 (b)
10	0,01	0	43,29	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
10	0,01	0	8,17	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
11	0,02	-0,03	36,59	0	0	0,05	CW StUU2U3 (a)
11	0,00	0,17	10	0	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
11	0,01	0,19	15,52	0	0	0,02	CW StUU4 (a)
11	0,02	-0,04	31,07	0	0	0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U3 (a)
11	0,01	0,17	39,67	0	0	0,03	CW StUU2U4 (a)
11	0,01	-0,03	6,93	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
11	0,02	0,11	34,93	0	0	0,05	CW StU2U3U4 (a)
11	0,01	0,17	39,44	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U4 (a)
11	0,01	-0,03	8,32	0	0	0,03	CW StU3 (b)
11	0,01	0,17	39,67	0	0	0,03	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
11	0,01	-0,03	6,93	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
12	0,02	0	39,38	0	0	-0,06	CW StUU3U4 (a)
12	0,00	0	10,54	0	0	-0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
12	0,01	0	37,19	0	0	-0,04	CW StU4 (b)
12	0,02	0	42,04	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (a)
12	0,01	0	7,88	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
12	0,01	0	39,99	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (b)
12	0,02	0	37,43	0	0	-0,05	CW StU2U3U4 (a)
12	0,01	0	9,27	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU3 (b)
12	0,02	0	42,04	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
12	0,01	0	7,88	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
13	0,02	-0,21	36,69	0	0	0,05	CW StUU2U3 (a)
13	0,00	0,5	10,36	0	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
13	0,01	0,54	15,94	0	0	0,02	CW StUU4 (a)
13	0,02	-0,24	31,11	0	0	0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U3 (a)
13	0,01	0,31	40,1	0	0	0,04	CW StUU2U4 (a)
13	0,01	-0,02	6,95	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
13	0,01	0,3	38,08	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U4 (b)
13	0,01	0,28	34,74	0	0	0,03	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U4 (a)
13	0,01	0,44	10,92	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU3U4 (a)
13	0,01	0,31	40,1	0	0	0,04	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
13	0,01	0,42	7,8	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
14	0,02	0	39,62	0	0	-0,06	CW StUU3U4 (a)
14	0,00	0	10,9	0	0	-0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
14	0,02	0	41,86	0	0	-0,04	CW StUU4 (a)
14	0,02	0	42,53	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (a)
14	0,01	0	7,99	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
14	0,01	0	38,52	0	0	-0,04	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU4 (a)
14	0,02	0	36,05	0	0	-0,05	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU3U4 (a)
14	0,01	0	13,54	0	0	-0,02	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU2 (a)
14	0,02	0	42,53	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
14	0,01	0	7,99	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
15	0,02	-0,54	37,34	0	0	0,05	CW StUU2U3 (a)
15	0,00	0,45	10,78	0	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)



15	0,01	0,39	<b>41,17</b>	0	0	0,03	CW StUU2U4 (a)
15	0,01	-0,48	<b>6,95</b>	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
15	0,02	-0,05	32,79	<b>0</b>	0	0,04	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U3U4 (b)
15	0,01	-0,03	12,02	0	<b>0</b>	0,02	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU (a)
15	0,01	0,4	<b>39,2</b>	0	<b>0</b>	0,03	CW StUU2U4 (b)
15	<b>0,01</b>	<b>0,39</b>	<b>41,17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,03	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
15	<b>0,01</b>	<b>-0,48</b>	<b>6,95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>16</b>	<b>0,02</b>	0	40,44	0	0	-0,05	CW StUU3U4 (a)
16	<b>0,00</b>	0	11,31	0	0	-0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
16	0,01	<b>0</b>	36,81	0	0	-0,03	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (b)
16	0,01	0	<b>43,7</b>	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (a)
16	0,01	0	<b>8,06</b>	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
16	0,01	0	38,26	<b>0</b>	0	-0,03	CW StU4 (b)
16	0,02	0	35,85	0	<b>0</b>	-0,05	CW StU3U4 (b)
16	0,01	0	<b>13,88</b>	<b>0</b>	0	-0,02	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU2 (b)
16	0,01	0	<b>8,29</b>	0	<b>0</b>	-0,03	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
16	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>43,7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,04	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
16	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>8,06</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>17</b>	<b>0,02</b>	-1,7	36,68	0	0	0,05	CW StUU2U3 (a)
17	<b>0,00</b>	0,44	10,33	0	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
17	0,01	-0,41	<b>40,05</b>	0	0	0,04	CW StUU2U4 (a)
17	0,01	-0,85	<b>6,97</b>	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
17	0,01	-1,07	36,98	<b>0</b>	0	0,03	CW StU2 (a)
17	0,02	-1,68	36,46	0	<b>0</b>	0,05	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U3 (a)
17	<b>0,02</b>	<b>-1,12</b>	<b>39,22</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,04	CW StUU2 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
17	<b>0,01</b>	<b>-0,85</b>	<b>6,97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>18</b>	<b>0,02</b>	0	39,67	0	0	-0,05	CW StUU3U4 (a)
18	<b>0,00</b>	0	10,89	0	0	-0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
18	0,01	<b>0</b>	40,37	0	0	-0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U4 (b)
18	0,01	0	<b>42,54</b>	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (a)
18	0,01	0	<b>8,02</b>	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
18	0,01	0	38,96	<b>0</b>	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU2U4 (a)
18	0,02	0	38,16	0	<b>0</b>	-0,05	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U3U4 (b)
18	0,01	0	<b>15,99</b>	<b>0</b>	0	-0,02	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU (a)
18	0,01	0	<b>14,01</b>	0	<b>0</b>	-0,04	CW StUU3 (a)
18	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>42,54</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,04	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
18	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>8,02</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>19</b>	<b>0,02</b>	-0,46	36,19	0	0	0,06	CW StUU2U3 (a)
19	<b>0,01</b>	0,67	9,84	0	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
19	0,02	<b>0,84</b>	12,95	0	0	0,04	CW StUU3U4 (a)
19	0,01	<b>-0,63</b>	33,09	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
19	0,02	0,02	<b>39,06</b>	0	0	0,04	CW StUU2U4 (a)
19	0,01	0,19	<b>6,98</b>	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
19	0,01	0,01	37,17	<b>0</b>	0	0,04	CW StUU2U4 (b)
19	0,02	-0,47	34,3	0	<b>0</b>	0,06	CW StUU2U3 (b)
19	0,01	0,05	<b>10,71</b>	<b>0</b>	0	0,02	CW St (b)
19	0,01	0,83	<b>9,68</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU3U4 (a)
19	<b>0,02</b>	<b>-0,61</b>	<b>38,55</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,04	CW StUU2 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
19	<b>0,01</b>	<b>0,82</b>	<b>7,49</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
<b>20</b>	<b>0,02</b>	0	39	0	0	-0,06	CW StUU3U4 (a)
20	<b>0,01</b>	0	10,42	0	0	-0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
20	0,01	<b>0</b>	9,32	0	0	-0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU3 (b)
20	0,02	0	<b>41,48</b>	0	0	-0,04	CW StUU2U4 (a)
20	0,01	0	<b>7,94</b>	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
20	0,01	0	35,62	<b>0</b>	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U4 (a)
20	0,02	0	35,99	0	<b>0</b>	-0,06	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU2U3U4 (b)
20	<b>0,02</b>	<b>0</b>	<b>41,48</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,04	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]

20	0,01	0	7,94	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
21	0,03	1,33	37,53	0	0	0,08	CW StUU2U3 (a)
21	0,01	0,39	10,07	0	0	0,02	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
21	0,03	1,35	37,96	0	0	0,08	CW StUU2U3U4 (a)
21	0,01	0,37	9,64	0	0	0,02	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )St (a)
21	0,02	1,07	40,46	0	0	0,06	CW StUU2U4 (a)
21	0,02	0,66	7,14	0	0	0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
21	0,03	1,25	34,81	0	0	0,07	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU2U3U4 (a)
21	0,01	0,39	9,87	0	0	0,02	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )St (a)
21	0,03	1,25	35,46	0	0	0,07	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU2U3U4 (a)
21	0,02	1,07	40,46	0	0	0,06	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
21	0,02	0,66	7,14	0	0	0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
22	0,03	0	40,37	0	0	-0,08	CW StUU3U4 (a)
22	0,01	0	10,65	0	0	-0,02	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
22	0,03	0	37,17	0	0	-0,07	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU2U3U4 (b)
22	0,02	0	42,91	0	0	-0,06	CW StUU2U4 (a)
22	0,02	0	8,11	0	0	-0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
22	0,02	0	39,08	0	0	-0,05	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU4 (b)
22	0,03	0	37,94	0	0	-0,08	CW StU3U4 (a)
22	0,02	0	10,79	0	0	-0,05	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU3 (a)
22	0,02	0	42,91	0	0	-0,06	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
22	0,02	0	8,11	0	0	-0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
23	0,05	1,69	38,91	0	0	0,11	CW StUU2U3 (a)
23	0,01	0,11	10,37	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
23	0,03	0,98	41,86	0	0	0,08	CW StUU2U4 (a)
23	0,02	0,83	7,41	0	0	0,06	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
23	0,03	1,12	37,98	0	0	0,07	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU2 (a)
23	0,04	1,6	36,79	0	0	0,11	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U3 (b)
23	0,02	0,84	7,51	0	0	0,06	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (b)
23	0,03	1,26	41,47	0	0	0,08	CW StUU2 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
23	0,02	0,83	7,41	0	0	0,06	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
24	0,04	0	41,79	0	0	-0,11	CW StUU3U4 (a)
24	0,01	0	10,96	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
24	0,04	0	35,54	0	0	-0,09	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3U4 (a)
24	0,03	0	44,37	0	0	-0,08	CW StUU2U4 (a)
24	0,02	0	8,38	0	0	-0,06	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
24	0,04	0	38,3	0	0	-0,1	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU3U4 (a)
24	0,02	0	12,75	0	0	-0,06	CW StUU2U3 (b)
24	0,03	0	44,37	0	0	-0,08	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
24	0,02	0	8,38	0	0	-0,06	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
25	0,06	0,96	37,88	0	0	0,15	CW StUU2U3 (a)
25	0,01	0,71	10,2	0	0	0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
25	0,06	1,31	38,34	0	0	0,14	CW StUU2U3U4 (a)
25	0,02	0,36	9,74	0	0	0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )St (a)
25	0,04	1,23	40,85	0	0	0,1	CW StUU2U4 (a)
25	0,03	0,43	7,23	0	0	0,08	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
25	0,03	1,03	35,15	0	0	0,08	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U4 (a)
25	0,04	1,23	40,85	0	0	0,1	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
25	0,03	0,78	7,69	0	0	0,07	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
26	0,05	0	40,68	0	0	-0,14	CW StUU3U4 (a)
26	0,01	0	10,75	0	0	-0,03	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
26	0,03	0	14,36	0	0	-0,09	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U3 (a)
26	0,04	0	43,25	0	0	-0,1	CW StUU2U4 (a)
26	0,03	0	8,17	0	0	-0,07	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
26	0,03	0	37,07	0	0	-0,09	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
26	0,03	0	14,02	0	0	-0,09	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU3 (a)







26	0,04	0	43,25	0	0	-0,1	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
26	0,03	0	8,17	0	0	-0,07	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
27	0,07	-1,26	37,26	0	0	0,17	CW StUU2U3 (a)
27	0,02	0,89	10,15	0	0	0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
27	0,03	1,25	7,81	0	0	0,08	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3U4 (a)
27	0,05	-1,63	39,6	0	0	0,12	CW StUU2 (a)
27	0,05	-0,67	40,15	0	0	0,12	CW StUU2U4 (a)
27	0,04	0,29	7,26	0	0	0,09	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
27	0,06	-1,22	31,74	0	0	0,15	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U3 (b)
27	0,04	0,29	7,49	0	0	0,09	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
27	0,05	-1,63	39,6	0	0	0,12	CW StUU2 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
27	0,03	1,25	7,81	0	0	0,08	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
28	0,06	0	40	0	0	-0,16	CW StUU3U4 (a)
28	0,01	0	10,67	0	0	-0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
28	0,05	0	34,41	0	0	-0,13	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U3U4 (a)
28	0,04	0	42,49	0	0	-0,12	CW StUU2U4 (a)
28	0,03	0	8,18	0	0	-0,08	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
28	0,04	0	42,25	0	0	-0,11	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U4 (a)
28	0,05	0	36,92	0	0	-0,14	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU2U3U4 (b)
28	0,04	0	42,49	0	0	-0,12	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
28	0,03	0	8,18	0	0	-0,08	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
29	0,07	-0,3	18,26	0	0	0,18	CW StUU2U3 (a)
29	0,02	-0,08	4,86	0	0	0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
29	0,04	0,19	4,56	0	0	0,1	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
29	0,05	-0,57	18,56	0	0	0,12	CW StUU2U4 (a)
29	0,07	-0,28	17,19	0	0	0,17	CW StU2U3 (a)
29	0,05	0,16	6,34	0	0	0,11	CW StUU3 (b)
29	0,05	-0,57	18,56	0	0	0,12	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
29	0,04	0,19	4,56	0	0	0,1	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
30	0,06	0	19,49	0	0	-0,17	CW StUU3U4 (a)
30	0,01	0	5,17	0	0	-0,04	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
30	0,04	0	18,39	0	0	-0,11	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU2U4 (a)
30	0,04	0	19,75	0	0	-0,12	CW StUU2U4 (a)
30	0,04	0	4,91	0	0	-0,09	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
30	0,06	0	18,37	0	0	-0,15	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U3U4 (b)
30	0,05	0	16,54	0	0	-0,14	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3U4 (a)
30	0,04	0	6,74	0	0	-0,1	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U3 (b)
30	0,04	0	6,74	0	0	-0,1	CW StU2U3 (a)
30	0,04	0	19,75	0	0	-0,12	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
30	0,04	0	4,91	0	0	-0,09	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
32	-1,85	0,27	73,3	0	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
32	-8,68	0,25	356,93	0	0	0	CW StUU2U3 (a)
32	-5,87	0,9	240,2	0	0	0	CW StUU2U4 (a)
32	-4,65	-0,38	190,02	0	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
32	-5,38	0,88	219,98	0	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U4 (b)
32	-7,46	0,19	307,29	0	0	0	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2U3 (b)
32	-8,68	0,25	356,93	0	0	0	CW StUU2U3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
32	-1,85	0,27	73,3	0	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
34	2,68	0	379,05	0	3,93	0	CW StUU3U4 (a)
34	0,59	0	84,28	0	0,87	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
34	1,85	0	260,37	0	2,71	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U4 (a)
34	1,42	0	202,97	0	2,09	0	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
34	1,4	0	197,4	0	2,05	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
34	1,67	0	232,72	0	2,45	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U3 (a)
34	2,68	0	379,05	0	3,93	0	CW StUU3U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]

34	0,59	0	84,28	0	0,87	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
64	4,15	0,29	432,78	0	0	0,01	CW StUU2U3 (a)
64	0,93	0,42	95,05	0	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
64	2,84	1,57	295,24	0	0	0,03	CW StUU2U4 (a)
64	2,24	-0,86	232,59	0	0	-0,02	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
64	2,49	-0,82	259,26	0	0	-0,02	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU3 (b)
64	3,98	0,57	413,08	0	0	0,01	CW StUU2U3U4 (a)
64	2,39	-0,53	245,46	0	0	-0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU3U4 (a)
64	4,15	0,29	432,78	0	0	0,01	CW StUU2U3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
64	0,93	0,42	95,05	0	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
65	5,57	-23,15	0	4,33	0,29	-0,03	CW StUU3U4 (a)
65	1,36	-8,83	0	1,46	0,07	-0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
65	2,97	15,22	0	-2,43	0,15	0,02	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
65	3,96	-47,21	0	8,21	0,21	-0,05	CW StUU2U4 (a)
65	3,6	-45,46	0	7,89	0,19	-0,05	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U4 (a)
65	3,17	14,24	0	-2,25	0,17	0,01	CW StU3 (b)
65	3,46	12,9	0	-2	0,18	0,01	CW StU3 (a)
65	1,44	-6,91	0	1,27	0,08	-0,01	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )St (a)
65	3,71	9,49	0	-1,55	0,18	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U3 (a)
65	3,96	-47,21	0	8,21	0,21	-0,05	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
65	3,96	-47,21	0	8,21	0,21	-0,05	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
66	-3,49	0,00	0	0,00	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
66	-15,01	0,01	0	0,00	0	0	CW StUU3U4 (a)
66	-13,86	0,01	0	0,00	0	0	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU3U4 (a)
66	-10,62	0,00	0	0,01	0	0	CW StUU2U4 (a)
66	-7,88	0,01	0	0,00	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
66	-10,87	0,00	0	0,01	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU4 (a)
66	-10,38	0,00	0	0,01	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U4 (a)
66	-15,01	0,01	0	0,00	0	0	CW StUU3U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
66	-3,49	0,00	0	0,00	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
68	-1,11	0	105,67	0	-1,63	0,00	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
68	-4,77	0	453,13	0	-7	-0,01	CW StUU3U4 (a)
68	-3,38	0	321,01	0	-4,95	-0,01	CW StUU2U4 (a)
68	-2,51	0	237,79	0	-3,68	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
68	-1,34	0	130,81	0	-1,97	0,00	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )St (a)
68	-2,99	0	280,12	0	-4,38	0,00	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U3 (a)
68	-4,77	0	453,13	0	-7	-0,01	CW StUU3U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
68	-1,11	0	105,67	0	-1,63	0,00	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
69	12,36	15,77	0	-3,26	0,26	0,02	CW StUU2U3 (a)
69	2,91	7,28	0	-1,29	0,06	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
69	8,54	40,17	0	-7,56	0,18	0,04	CW StUU2U4 (a)
69	6,73	-17,12	0	3,01	0,14	-0,02	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
69	12,04	18,27	0	-3,6	0,25	0,02	CW StUU2U3U4 (a)
69	7,19	38,13	0	-7,16	0,15	0,04	CW StU2U4 (b)
69	10,94	13,65	0	-2,84	0,23	0,02	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU2U3 (b)
69	8,54	40,17	0	-7,56	0,18	0,04	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
69	8,54	40,17	0	-7,56	0,18	0,04	CW StUU2U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
70	-1,87	0,01	71,92	0	0	0,00	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a)
70	-8,4	0,02	318,13	0	0	0,00	CW StUU2U3 (a)
70	-2,14	0,01	82,07	0	0	0,00	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU4 (b)
70	-8,26	0,02	312,57	0	0	0,00	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU2U3 (a)
70	-4,53	0,01	171,66	0	0	0,01	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
70	-5,74	0,02	218,39	0	0	-0,02	CW StUU2U4 (a)
70	-5,62	0,02	213,84	0	0	-0,01	CW StU2 (a)
70	-8,4	0,02	318,13	0	0	0,00	CW StUU2U3 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
70	-1,87	0,01	71,92	0	0	0,00	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]

109	22,85	-1,01	0	1,19	0	0	CW StUU3U4 (a)
109	5,33	-0,68	0	0,81	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
109	12,01	1	0	-1,16	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
109	16,17	-2,69	0	3,16	0	0	CW StUU2U4 (a)
109	21,63	-0,94	0	1,11	0	0	CW StUU3U4 (b)
109	20,73	-0,89	0	1,05	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StUU3U4 (a)
109	14,9	-2,61	0	3,06	0	0	CW StU2U4 (a)
109	14,54	-2,6	0	3,06	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StU2U4 (a)
109	19,63	-1,2	0	1,42	0	0	CW StU2U3U4 (b)
109	5,33	-0,68	0	0,81	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
109	22,12	-1,35	0	1,6	0	0	CW StUU2U3U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
110	-3,18	-0,44	0	0,54	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
110	-14,35	-0,6	0	0,75	0	0	CW StUU3U4 (a)
110	-7,48	0,55	0	-0,64	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
110	-10,05	-1,59	0	1,92	0	0	CW StUU2U4 (a)
110	-9,24	-1,54	0	1,86	0	0	CW StU2U4 (a)
110	-9,57	0,43	0	-0,49	0	0	CW StUU3 (a)
110	-9,42	0,43	0	-0,49	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU3 (a)
110	-13,61	-0,56	0	0,7	0	0	CW StUU3U4 (b)
110	-13,87	-0,83	0	1,02	0	0	CW StUU2U3U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
110	-3,18	-0,44	0	0,54	0	0	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
111	2,38	0	164,33	0	3,49	0,00	CW StUU3U4 (a)
111	0,55	0	39,83	0	0,81	0,00	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
111	1,68	0	117,26	0	2,47	0,01	CW StUU2U4 (a)
111	1,25	0	86,9	0	1,83	0,00	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU3 (a)
111	2,34	0	160,98	0	3,43	0,00	( $\gamma_{G,inf}$ )CW StUU3U4 (a)
111	0,59	0	43,18	0	0,87	0,00	CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a)
111	2,38	0	164,33	0	3,49	0,00	CW StUU3U4 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]
111	0,55	0	39,83	0	0,81	0,00	( $\gamma_{G,inf}$ )CW ( $\gamma_{G,inf}$ )StU2 (a) [Bx=1,5 By=1,5 Hz=1 Ex=0 Ey=0]

#### 4.2.2. Podciąg HEB300

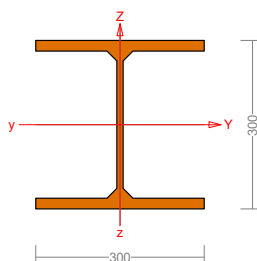
Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993

Nr pręta:	Przekrój:	Warunek decydujący:	Nośność:	Kombinacja obc.
2	9 - I 300 HEB	Środek pod obc. skup.	0,643	 1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
1	9 - I 300 HEB	Środek pod obc. skup.	0,614	 1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
46	9 - I 300 HEB	Środek pod obc. skup.	0,570	 1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
45	9 - I 300 HEB	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,459	 1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
44	9 - I 300 HEB	Zginanie	0,452	 1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
47	9 - I 300 HEB	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,440	 1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)

## Pręt nr 46 – pas górny kratownicy

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993

Przekrój: 9 - I 300 HEB



Wymiary przekroju:

$h=300,0$   $g=11,0$   $s=300,0$   $t=19,0$   $r=27,0$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$I_{yg}=25170,0$   $I_{zg}=8560,0$   $A=149,00$   $i_y=13,0$   $i_z=7,6$   $I_w=1687791,4$   $I_t=179,6$   $i_s=15,05$ .

Materiał: S 235. Granica plastyczności  $f_y=235$  MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie  $f_u=360$  dla  $g=11,0$ .

### Długości wyboczeniowe pręta:

Przęsło Yc 5 (5,090;5,950)

Przyjęto:

$\kappa_a = 0,840$   $\kappa_b = 0,854$  węzły nieprzesuwne  $\Rightarrow \mu = 0,886$  dla  $l_o = 0,860$   
 $l_w = 0,886 \times 0,860 = 0,762$  m

Przęsło Zc 5 (5,680;5,950)

Przyjęto:

$\kappa_a = 0,953$   $\kappa_b = 0,950$  węzły przesuwne  $\Rightarrow \mu = 5,000$  dla  $l_o = 0,270$   
 $l_w = 5,000 \times 0,270 = 1,348$  m

Przęsło  $\omega$  8 (5,680;5,950)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 0,270$  m. Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 0,270$  m.

### Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 25170,0}{0,762^2} \times 10^{-2} = 898540,24 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 8560,0}{1,348^2} \times 10^{-2} = 97689,6 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{15,05^2} \times \left( \frac{3,1416^2 \times 210 \times 1687791,4}{0,270^2} \times 10^{-2} + 81 \times 179,6 \times 102 \right) =$$

2126153,78 kN

### Zwichrzenie:

Przęsło nr: 1 (0,000;1,280)

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

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

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

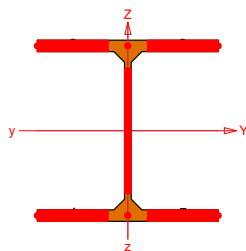
$$0,000 \times 17119,73 + \sqrt{(0,000 \times 17119,73)^2 + 0,000^2 \times 0,150^2 \times 17119,73 \times 100741,99} = 0 \text{ kNm}$$

### Stan graniczny nośności.

xa = 5,950; xb = 0,000; Przęsło nr: 5, 5, 8. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·(U+U4) (b)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe  $\gamma_M$ :

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



Klasa przekroju:

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

Nr:	c [mm]	t [mm]	$\alpha$	$\psi$	$k_\sigma$	(c/t) <sub>1</sub>	(c/t) <sub>2</sub>	(c/t) <sub>3</sub>	c/t	Klasa
1	208,0	11,0	0,712	0,217	-	48,000	55,273	56,641	18,909	1
2	117,5	19,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	6,184	1
3	117,5	19,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	6,184	1
4	117,5	19,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	6,184	1
5	117,5	19,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	6,184	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

### Nośność elementów rozciąganych:

xa = 2,780; xb = 3,170; Przęsło nr: 2, 2, 3. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(U+U2+U3) (a)

Siała osiowa:  $N_{Ed} = 19,26 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju:  $A = 149,00 \text{ cm}^2$

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

Pole powierzchni netto:  $A_{net} = 149,00 \text{ cm}^2$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{149,00 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 3501,5 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 149,00 \times 360}{1,1} \times 10^{-1} = 4388,73 \text{ kN} \quad (6.7)$$

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

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 3501,5 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{19,26}{3501,5} = \mathbf{0,006} < \mathbf{1} \quad (6.5)$$

**Nośność na ściskanie:**

$x_a = 5,950$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 5, 5, 8. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St)+1,5 \cdot (U+U2+U3)$  (a)

Klasa przekroju **1**.

Siła osiowa:

$$N_{Ed} = -742,4 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 149,00 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni przekroju efektywnego:

$$A_{eff} = 149,00 \text{ cm}^2$$

Przesunięcie środka ciężkości:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{149,00 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 3501,5 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{742,4}{3501,5} = \mathbf{0,212} < 1 \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "b")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "c")	Wyboczenie skrętne (krzywa "c")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{149 \times 235}{898540,24 \times 10}} = 0,0624$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,0624 - 0,2) + 0,0624^2] = 0,479$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,479 + \sqrt{0,479^2 - 0,0624^2}} = 1,049$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{149 \times 235}{97689,6 \times 10}} = 0,189$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,189 - 0,2) + 0,189^2] = 0,515$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,515 + \sqrt{0,515^2 - 0,189^2}} = 1,005$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{149 \times 235}{2126153,78 \times 10}} = 0,0406$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,0406 - 0,2) + 0,0406^2] = 0,462$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,462 + \sqrt{0,462^2 - 0,0406^2}} = 1,085$
przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$	Przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$	przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika  $\chi = 1,000$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,000 \times 149,00 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 3501,5 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{742,4}{3501,5} = \mathbf{0,212} < 1 \quad (6.46)$$

**Nośność przekroju na skręcanie:**

$x_a = 2,780$ ;  $x_b = 3,170$ ; Przęsło nr: 2, 2, 3. Obciążenia:  $CW+1,35 \cdot St+1,5 \cdot (U+U2+U4)$  (a)

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = \frac{J_t}{t_{max}} = \frac{179,58}{1,90} = 94,51 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{94,51 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 12,82 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{2,33}{12,82} = \mathbf{0,182} < 1 \quad (6.23)$$



### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 2,429$ ;  $x_b = 3,521$ ; Przęsło nr: 2, 2, 3. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3)$  (a)  
- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{47,35 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 642,43 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{6,9}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 642,43 = 629,27 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{243,98}{629,27} = \mathbf{0,388} < \mathbf{1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{114,00 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 1546,72 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{6,9}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 1546,72 = 1515,04 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,11}{1515,04} = \mathbf{0,000} < \mathbf{1}$$

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:

$$h_w / t_w = 208,0 / 11,0 = \mathbf{18,909} < \mathbf{59,724} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 5,950$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3)$  (a)  
Klasa przekroju 1.

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1867,05 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 438,76 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{870,86 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 204,65 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 8,55 / 3501,5 = 0,002; \quad \text{przyjęto } n = 0,002 \leq 1;$$

Dla dwuteownika bisymetrycznego:

$$a = (A - 2 b t_f) / A = (149,00 - 2 \times 30,00 \times 1,90) / 149,00 = 0,235; \quad \text{przyjęto } a = 0,235 \leq 0,5;$$

- zginanie y-y

$$N_{Ed} = \mathbf{8,55} < \mathbf{875,38} = 0,25 \times 3501,5 = 0,25 N_{pl,Rd} \quad (6.33)$$

$$N_{Ed} = 8,55 < 338,64 = \frac{0,5 \times 26,20 \times 1,10 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.34)$$

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

- zginanie z-z

$$N_{Ed} = 8,55 < 677,27 = \frac{26,20 \times 1,10 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.35)$$

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

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\left\{ \left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \right\}^{1/\gamma} = \left\{ \left[ \frac{191,47}{438,76} \right]^2 + \left[ \frac{0,02}{204,65} \right]^1 \right\}^{1/2} = 0,191^{1/2} = 0,437 < 1 \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{8,55}{3501,5} + \frac{191,47}{438,76} + \frac{0,02}{204,65} = 0,439 < 1 \quad (6.2)$$

### Zginanie (stateczność):

xa = 0,000; xb = 5,950; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(U+U2+U3) (a)

Nie uwzględniono zwichrzenia pręta.

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 1867,05 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 438,76 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{191,47}{438,76} = 0,436 < 1 \quad (6.54)$$

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

Przęsło nr: 5, 4, 7. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(U+U2+U3) (a)

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \alpha_h = 0,95 + 0,05 \times 0,983 = 0,999$$

$$C_{mz} = 0,95 + 0,05 \alpha_h (1 + 2 \psi) = 0,95 + 0,05 \times -0,650 \times (1 + 2 \times -0,514) = 0,951$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,999 \times \left( 1 + (0,0624 - 0,2) \times \frac{742,36}{1,000 \times 3501,50/1} \right) = 0,970$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = 0,970 \leq 1,169 = 0,999 \times \left( 1 + 0,8 \times \frac{742,36}{1,000 \times 3501,50/1} \right) = C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,951 \times \left( 1 + (2 \times 0,158 - 0,6) \times \frac{742,36}{1,000 \times 3501,50/1} \right) = 0,894$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,894} \leq 1,233 = 0,951 \times \left( 1 + 1,4 \times \frac{742,36}{1,000 \times 3501,50/1} \right) = C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,894 = 0,536$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,970 = 0,582$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{742,36}{1,000 \times 3501,5/1} +$$

$$0,970 \times \frac{88,91+0}{1,000 \times 438,76/1} + 0,536 \times \frac{0,21+0}{204,65/1} = \mathbf{0,409} < \mathbf{1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{742,36}{1,000 \times 3501,5/1} +$$

$$0,582 \times \frac{88,91+0}{1,000 \times 438,76/1} + 0,894 \times \frac{0,21+0}{204,65/1} = \mathbf{0,331} < \mathbf{1} \quad (6.62)$$

#### Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

xa = 0,000; xb = 5,950; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(U+U2+U3) (a)

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $s_s = \mathbf{100,0}$  mm oraz typ obciążenia środnika **(a)**. Dodatkowo przyjęto rozstaw żeber poprzecznych  $a = \mathbf{5,950}$  m. Nośność najbardziej obciążonego środnika:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (208,0/5949,5)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 300,0 / (235 \times 11,0) = 27,273$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 19,0 \times (1 + \sqrt{27,273 + 0,000}) = 336,4 \quad \text{przyjęto } l_y = 336,4 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 11,0^3 / 208,0 = 7259,47 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{336,4 \times 11,0 \times 235 \times 10^3}{7259,47}} = 0,346$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,346} = 1,445 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 336,4 = 336,4 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 336,4 \times 11,0 \times 10^3}{1} = 869,72 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środnika:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{353,95}{869,72} = \mathbf{0,407} < \mathbf{1} \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{8,55}{149 \times 235/1} \times 10 + \frac{191,47 + 8,55 \times 0,000}{1678 \times 235/1} \times 103$$

$$+ \frac{0,02 + 8,55 \times 0,000}{570,67 \times 235/1} \times 103 = 0,488 \quad (4.15 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,407 + 0,8 \times 0,488 = \mathbf{0,797} < \mathbf{1,4} \quad (7.2 \text{ EN 1993-1-5})$$

#### Stan graniczny użytkowalności:

Przęsło nr: 5, 5, 8. Obciążenia: CW+St+U+U2+U3 Kombinacja charakterystyczna

Ugięcia względem osi Z wynoszą:

$$a_{\max} = 8,9 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = 1 / 250 = 5950 / 250 = 23,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 8,9 < 23,8 = a_{\text{gr}}$$

Ugięcia względem osi Y wynoszą:

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

$$a_{\text{gr}} = 1 / 250 = 270 / 250 = 1,1 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,0 < 1,1 = a_{\text{gr}}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 8,949 \text{ mm}; \quad L / a = 5949,5 / 8,949 = 664,8$$

### 4.2.3. Pas dolny kratownicy

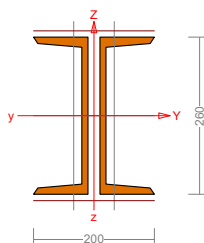
#### Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993

Nr pręta:	Grupa:	Przekrój:	Warunek decydujący:	Nośność:	Kombinacja obc.
50	Pręty	2 - 2 U 260	Nośność łączników	0,424	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U4) (a)
51	Pręty	2 - 2 U 260	Nośność łączników	0,362	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)

#### Pręt nr 50

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993

Przekrój: 2 - 2 U 260



Wymiary przekroju:

$$h=260,0 \quad s=90,0 \quad g=10,0 \quad t=14,0 \quad r=14,0 \quad e_y=23,6.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$I_{yg}=9640,0 \quad I_{zg}=1724,6 \quad A=96,60 \quad i_y=10,0 \quad i_z=4,2 \quad I_w=66465,7 \quad I_t=50,1 \quad i_s=11,47.$$

Materiał: S 235. Granica plastyczności  $f_y=235$  MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie  $f_u=360$  dla  $g=10,0$ .

#### Połączenie gałęzi:

Przyjęto, że gałęzie połączone są przewiązkami o szerokości  $b = 80,0$  mm i grubości  $g = 6,0$  mm w odstępach  $l_1 = 517,8$  mm, wykonanymi ze stali S 235.

Zastępcze momenty bezwładności elementu złożonego:

$$I_1 = 0,5 h_0^2 A_{ch} + 2 I_{ch} = 0,5 \times 6,72^2 \times 48,30 + 2 \times 317,00 = 1724,6 \text{ cm}^4$$

$$i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}} = \sqrt{\frac{1724,6}{2 \times 48,30}} = 4,23 \text{ cm}$$

$$\lambda = L / i_0 = 932,0 / 4,23 = 220,58$$

dla  $\lambda \geq 150$ , przyjęto  $\mu = 0$

$$I_{\text{zeff}} = 0,5 h_0^2 A_{\text{ch}} + 2 \mu I_{\text{ch}} = 0,5 \times 6,72^2 \times 48,30 + 2 \times 0,000 \times 317,00 = 1090,6 \text{ cm}^4$$

#### Długości wyboczeniowe pręta:

##### Przęsło Yc 12 (8,379;9,320)

Przyjęto podatności węzłów ustalone wg zasad mechaniki:

$$\kappa_a = 0,644 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \kappa_v = 0,140 \quad \Rightarrow \quad \mu = 1,194 \quad \text{dla } l_o = 0,941$$

$$l_w = 1,194 \times 0,941 = 1,124 \text{ m}$$

##### Przęsło Zc

Przyjęto podatności węzłów ustalone wg zasad mechaniki:

$$\kappa_a = 0,546 \quad \kappa_b = 0,667 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 0,740 \quad \text{dla } l_o = 9,320$$

$$l_w = 0,740 \times 9,320 = 6,897 \text{ m}$$

##### Przęsło ω 12 (8,379;9,320)

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 0,941 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 0,941 \text{ m}$ .

#### Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 9640,0}{1,124^2} \times 10^{-2} = 158115,66 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 1090,6}{6,897^2} \times 10^{-2} = 475,2 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{11,47^2} \times \left( \frac{3,1416^2 \times 210 \times 66465,7}{0,941^2} \times 10^{-2} + 81 \times 50,1 \times 102 \right) = 14900,9$$

kN

#### Zwichrzenie:

##### Przęsło nr: 8 (5,074;5,799)

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

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

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

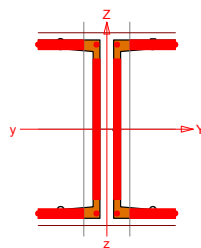
$$0,000 \times 475,2 + \sqrt{(0,000 \times 475,2)^2 + 0,000^2 \times 0,115^2 \times 475,2 \times 22991,54} = 0 \text{ kNm}$$

#### Stan graniczny nośności.

$x_a = 9,320$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 12, 1, 12. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·(U3+U4) (b)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe  $\gamma_M$ :

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



Klasa przekroju:

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

Nr:	c [mm]	t [mm]	$\alpha$	$\psi$	$k_\sigma$	(c/t) <sub>1</sub>	(c/t) <sub>2</sub>	(c/t) <sub>3</sub>	c/t	Klasa
1	204,0	10,0	1,000	0,000	-	33,000	38,000	INF	20,400	1
2	66,0	14,0	1,000	0,000	0	9,000	10,000	INF	4,714	1
3	66,0	14,0	1,000	0,000	0	9,000	10,000	INF	4,714	1
4	204,0	10,0	0,000	0,000	-	INF	INF	INF	20,400	
5	66,0	14,0	0,000	0,000	0	INF	INF	INF	4,714	
6	66,0	14,0	0,000	0,000	0	INF	INF	INF	4,714	

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

#### Nośność elementów rozciąganych:

xa = 5,074; xb = 4,246; Przęsło nr: 7, 1, 7. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(U+U3+U4) (a)

Siała osiowa:  $N_{Ed} = 847,22 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju:  $A = 96,60 \text{ cm}^2$

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

Pole powierzchni netto:  $A_{net} = 96,60 \text{ cm}^2$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{96,60 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 2270,1 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 96,60 \times 360}{1,1} \times 10^{-1} = 2845,31 \text{ kN} \quad (6.7)$$

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

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 2270,1 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{847,22}{2270,1} = \mathbf{0,373} < \mathbf{1} \quad (6.5)$$

#### Nośność przekroju na skręcanie:

xa = 0,724; xb = 8,596; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+1,35·St+1,5·(U+U2+U4) (a)

Nośność przekroju wielogąłowego wyznaczono przy założeniu zeszytywnienia konturu przekroju (brak dystorsji).

Napężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = \frac{J_t}{t_{\max}} = \frac{50,11}{1,36} = 36,85 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{36,85 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 5,00 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,15}{5,00} = \mathbf{0,030} < \mathbf{1} \quad (6.23)$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 8,379$ ;  $x_b = 0,941$ ; Przęsło nr: 11, 1, 11. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)  
- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{52,92 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 718 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{35,06}{718,00} = \mathbf{0,049} < \mathbf{1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{50,40 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 683,81 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,95}{683,81} = \mathbf{0,001} < \mathbf{1}$$

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:

$$h_w / t_w = 204,0 / 10,0 = \mathbf{20,400} < \mathbf{59,708} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 5,074$ ;  $x_b = 4,246$ ; Przęsło nr: 8, 1, 8. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Klasa przekroju 1.

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{843,41 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 198,2 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{312,19 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 73,36 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 841,87 / 2270,1 = 0,371; \quad \text{przyjęto } n = 0,371 \leq 1;$$

Dla dowolnego przekroju przyjęto:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n) = 198,2 \times (1 - 0,371) = 124,7 \text{ kNm} \quad (6.2)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n) = 73,36 \times (1 - 0,371) = 46,16 \text{ kNm} \quad (6.2)$$

Warunek nośności:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \left[ \frac{34,57}{124,7} \right]^1 + \left[ \frac{0,12}{46,16} \right]^1 = \mathbf{0,280} < \mathbf{1} \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{841,87}{2270,1} + \frac{34,57}{198,2} + \frac{0,12}{73,36} = \mathbf{0,547} < \mathbf{1} \quad (6.2)$$

**Zginanie (stateczność):**

---

$x_a = 5,074$ ;  $x_b = 4,246$ ; Przęsło nr: 8, 1, 8. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Nie uwzględniono zwichrzenia pręta.

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 843,41 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 198,2 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{34,57}{198,2} = 0,174 < 1 \quad (6.54)$$

### Nośność pręta złożonego:

$x_a = 1,448$ ;  $x_b = 7,872$ ; Przęsło nr: 2, 1, 2. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U4)$  (a)

Sztywność pręta:

- dla osi Z

$$S_v = \frac{24 EI_{ch}}{a^2 [1 + 2 I_{ch} h_0 / n I_b a]} = \frac{24 \times 210 \times 317,00}{51,78^2 \times [1 + 2 \times 317,00 \times 6,72 / (2 \times 25,60 \times 51,78)]} \times 10^2 = 22858,3 \text{ kN}$$

$$\text{Przyjęto } S_v = 22858,3 \leq 49014,15 = 2 \times \pi^2 \times 210 \times 317 / 51,78^2 \times 10^2 = 2 \pi^2 EI_{ch} / a^2$$

Siły wewnętrzne dla  $e_0 = L/500$ :

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} e_0 + M_{Ed}^1}{1 - N_{Ed} / N_{cr} - N_{Ed} / S_v} = \frac{0,00 \times 0,0186 + 4,15}{1 - 0,00 / 475,20 - 0,00 / 22858,30} = 4,15 \text{ kNm}$$

$$N_{ch,Ed,max} = \frac{N_{Ed}}{n} + \frac{M_{Ed} h_0 A_{ch}}{2 I_{eff} m} = \frac{186,94}{2} + \frac{4,15 \times 6,72 \times 48,30}{2 \times 1090,58 \times 1} \times 10^2 = 155,23 \text{ kN}$$

$$N_{ch,Ed,min} = \frac{N_{Ed}}{n} - \frac{M_{Ed} h_0 A_{ch}}{2 I_{eff} m} = \frac{186,94}{2} - \frac{4,15 \times 6,72 \times 48,30}{2 \times 1090,58 \times 1} \times 10^2 = 31,71 \text{ kN}$$

Siły poprzeczne:

$$V_{y,Ed} = 4,93 \geq 1,4 = \pi \times 4,15 / 9,32 = \pi M_{Ed} / L$$

Momenty zginające gałęzi:

$$M_{ch,y,Ed} = M_{y,Ed} / n = 16,09 / 2 = 8,05 \text{ kNm}$$

$$M_{ch,z,Ed} = V_{y,Ed} a / 2 / 2 = 4,93 \times 51,78 \times 10^{-2} / 2 / 2 = 0,64 \text{ kNm}$$

### Nośność gałęzi:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{48,30 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1135,05 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 48,30 \times 360}{1,1} \times 10^{-1} = 1422,65 \text{ kN} \quad (6.7)$$

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 1135,05 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{155,23}{1135,05} = 0,137 < 1 \quad (6.5)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):



$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{155,23}{1135,05} + \frac{8,05}{99,1} + \frac{0,64}{20,86} = \mathbf{0,249 < 1} \quad (6.2)$$

### Nośność przewiązek w kierunku osi Y:

Siły działające na przewiązkę:

$$V_{Ed} = V_{y,Ed} a / (h_0 n) = 4,93 \times 51,78 / (6,72 \times 2) = 18,99 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{y,Ed} a / (2 n) = 4,93 \times 51,78 \times 10^{-2} / 2 = 0,64 \text{ kNm}$$

Zwężenie dla wspornika:

$$M_{cr} = \frac{4,013}{6} \frac{h g^3}{1} \sqrt{EG} = \frac{4,013 \times 8,0 \times 0,6^3}{6 \times 3,36} \times \sqrt{210 \times 81} = 44,86 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{6,4 \times 235}{44,86 \times 10^3}} = 0,183$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,183 - 0,2) + 0,183^2] = 0,510$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,510 + \sqrt{0,510^2 - 0,183^2}} = 1,013; \quad \text{przyjęto } \chi_{LT} = 1,000 \leq 1$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 6,40 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 1,50 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{0,64}{1,50} = \mathbf{0,424 < 1} \quad (6.54)$$

Warunek nośności:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{4,80 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 65,13 \text{ kN}$$

$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left( \frac{2 \times 18,99}{65,13} - 1 \right)^2 = 0,174 \quad \text{przyjęto } \rho = 0,000 \leq 1$$

$$M_{v,Rd} = \frac{W_{el} f_y (1 - \rho)}{\gamma_{M0}} = \frac{6,40 \times 235 \times (1 - 0,000)}{1} \times 10^{-3} = 1,50 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{v,Rd}} = \frac{0,64}{1,50} = \mathbf{0,424 < 1}$$

Przyjęto spoiny pachwinowe o grubości  $a = 4,0 \text{ mm}$ .

$$F_{w,Ed,V} = V_{Ed} / l = 18,99 / 236,0 \times 10^3 = 80,48 \text{ kN/m}$$

$$F_{w,Ed,M} = M_{Ed} a r / J = 0,64 \times 4,0 \times 319,2 / 88772650,9 \times 10^3 = 9,18 \text{ kN/m}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} a = \frac{360 / \sqrt{3}}{0,8 \times 1,1} \times 4,0 = 944,75 \text{ kN/m} \quad (4.3 \text{ i } 4.4 \text{ EN } 1993-1-8)$$

$$F_{w,Ed} = \mathbf{89,59 < 944,75} = F_{w,Rd} \quad (4.2 \text{ EN } 1993-1-8)$$

### Stan graniczny użytkowalności:

Przęsło nr: 7, 1, 7. Obciążenia: CW+St+U+U3+U4 Kombinacja charakterystyczna

Ugięcia względem osi Z wynoszą:

$$a_{\max} = 10,5 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 9320 / 250 = 37,3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 10,5 < 37,3 = a_{\text{gr}}$$

Ugięcia względem osi Y wynoszą:

$$a_{\max} = 1,2 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 9320 / 250 = 37,3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,2 < 37,3 = a_{\text{gr}}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 10,563 \text{ mm}; \quad L / a = 9320,0 / 10,563 = 882,3$$

## 4.2.4. Słupki i krzyżulce kratownicy

### Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993

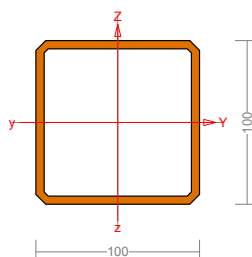
Nr pręta:	Przekrój:	Warunek decydujący:	Nośność:	Kombinacja obc.
86	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,807	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
75	6 - H 80x 80x 5.6	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,786	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
76	6 - H 80x 80x 5.6	Rozciąganie	0,774	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
74	6 - H 80x 80x 5.6	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,763	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
64	6 - H 80x 80x 5.6	Środek pod obc. skup.	0,735	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
63	6 - H 80x 80x 5.6	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,702	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
77	6 - H 80x 80x 5.6	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,698	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
73	6 - H 80x 80x 5.6	Środek pod obc. skup.	0,680	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
85	6 - H 80x 80x 5.6	Rozciąganie	0,679	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
65	6 - H 80x 80x 5.6	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,638	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
84	6 - H 80x 80x 5.6	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,630	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
72	6 - H 80x 80x 5.6	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,594	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
90	3 - H 100x100x 5.0	Środek pod obc. skup.	0,588	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
55	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,547	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
89	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,534	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
97	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,520	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
62	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,501	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
54	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,496	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
96	3 - H 100x100x 5.0	Środek pod obc. skup.	0,475	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U4) (a)
61	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,448	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
78	6 - H 80x 80x 5.6	Rozciąganie	0,440	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
83	6 - H 80x 80x 5.6	Rozciąganie	0,421	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
71	6 - H 80x 80x 5.6	Rozciąganie	0,418	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)

88	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,415		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4) \cdot (a)$
66	6 - H 80x 80x 5.6	Rozciąganie	0,409		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3) \cdot (a)$
53	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,387		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3) \cdot (a)$
95	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,358		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4) \cdot (a)$
60	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,353		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3) \cdot (a)$
79	6 - H 80x 80x 5.6	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,279		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4) \cdot (a)$
82	6 - H 80x 80x 5.6	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,265		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4) \cdot (a)$
70	6 - H 80x 80x 5.6	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,264		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3) \cdot (a)$
67	6 - H 80x 80x 5.6	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,253		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3) \cdot (a)$
94	3 - H 100x100x 5.0	Środek pod obc. skup.	0,242		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4) \cdot (a)$
87	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,241		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4) \cdot (a)$
59	3 - H 100x100x 5.0	Środek pod obc. skup.	0,239		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3) \cdot (a)$
52	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,222		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3) \cdot (a)$
58	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,128		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3) \cdot (a)$
91	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,125		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4) \cdot (a)$
93	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,123		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4) \cdot (a)$
56	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie	0,110		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3) \cdot (a)$
69	6 - H 80x 80x 5.6	Rozciąganie	0,106		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3) \cdot (a)$
92	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,098		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3+U4) \cdot (a)$
57	3 - H 100x100x 5.0	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,096		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3+U4) \cdot (a)$
81	6 - H 80x 80x 5.6	Rozciąganie	0,096		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4) \cdot (a)$
80	6 - H 80x 80x 5.6	Rozciąganie	0,083		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4) \cdot (a)$
68	6 - H 80x 80x 5.6	Rozciąganie	0,067		$1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3) \cdot (a)$

## Pręt nr 86

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993

Przekrój: 3 - H 100x100x 5.0



Wymiary przekroju:

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

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$I_{yg}=281,0$   $I_{zg}=281,0$   $A=18,80$   $i_y=3,9$   $i_z=3,9$   $I_w=0,6$   $I_t=434,2$   $i_s=5,468$ .

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

### Długości wyboczeniowe pręta:

#### Przęsło Yc

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,028 \quad \kappa_b = 0,033 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,500 \quad \text{dla } l_o = 1,007$$
$$l_w = 0,500 \times 1,007 = 0,504 \text{ m}$$

#### Przęsło Zc

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,128 \quad \kappa_b = 0,000 \quad \text{węzły przesuwne} \Rightarrow \mu = 1,036 \quad \text{dla } l_o = 1,007$$
$$l_w = 1,036 \times 1,007 = 1,043 \text{ m}$$

#### Przęsło $\omega$

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 1,007 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 1,007 \text{ m}$ .

### Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 281,0}{0,504^2} \times 10^{-2} = 22970,58 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 281,0}{1,043^2} \times 10^{-2} = 5350,48 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{5,468^2} \times \left( \frac{3,1416^2 \times 210 \times 0,579}{1,007^2} \times 10^{-2} + 81 \times 434,2 \times 10^2 \right) = 117650 \text{ kN}$$

### Zwichrzenie:

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

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

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

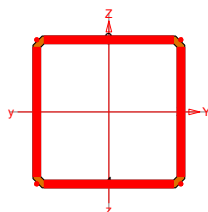
$$0,000 \times 5350,48 + \sqrt{(0,000 \times 5350,48)^2 + 0,000^2 \times 0,055^2 \times 5350,48 \times 117650} = 0 \text{ kNm}$$

### Stan graniczny nośności.

$x_a = 1,007$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·(U+U4) (b)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe  $\gamma_M$ :

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



Klasa przekroju:

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

Nr:	c [mm]	t [mm]	$\alpha$	$\psi$	$k_\sigma$	(c/t) <sub>1</sub>	(c/t) <sub>2</sub>	(c/t) <sub>3</sub>	c/t	Klasa
1	85,0	5,0	1,000	0,575	-	33,000	38,000	48,849	17,000	1

2	85,0	5,0	0,994	0,339	-	33,212	38,244	53,714	17,000	1
3	85,0	5,0	0,994	0,399	-	33,212	38,244	52,398	17,000	1
4	85,0	5,0	1,000	0,682	-	33,000	38,000	46,917	17,000	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

### Nośność na ściskanie:

$x_a = 1,007$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Klasa przekroju **1**.

Siła osiowa:

$$N_{Ed} = -289,96 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 18,80 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni przekroju efektywnego:

$$A_{eff} = 18,80 \text{ cm}^2$$

Przesunięcie środka ciężkości:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18,80 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 441,8 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{289,96}{441,8} = \mathbf{0,656} < \mathbf{1} \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "a")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "a")	Wyboczenie skrętne (krzywa "a")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{18,8 \times 235}{22970,58 \times 10}} = 0,139$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,139 - 0,2) + 0,139^2] = 0,503$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,503 + \sqrt{0,503^2 - 0,139^2}} = 1,013$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{18,8 \times 235}{5350,48 \times 10}} = 0,287$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,287 - 0,2) + 0,287^2] = 0,550$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,550 + \sqrt{0,550^2 - 0,287^2}} = 0,980$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{18,8 \times 235}{117650 \times 10}} = 0,0613$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,0613 - 0,2) + 0,0613^2] = 0,487$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,487 + \sqrt{0,487^2 - 0,0613^2}} = 1,030$
przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$	Przyjęto $\chi = 0,980 \leq 1$	przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika  $\chi = 0,980$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,980 \times 18,80 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 433,15 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{289,96}{433,15} = \mathbf{0,669} < \mathbf{1} \quad (6.46)$$

### Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 1,007$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $CW+St+1,5 \cdot (U+U2+U4)$  (b)

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = J_t \left( \frac{t}{F_s} \right)_{\min} = 434,19 \times \frac{0,50}{2,41} = 90,13 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{90,13 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 12,23 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,06}{12,23} = \mathbf{0,005} < \mathbf{1} \quad (6.23)$$

**Nośność przekroju na ścinanie:**

$x_a = 1,007$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)  
- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{9,40 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 127,54 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{0,2}{(235 / 1,732) / 1} \times 127,54 = 127,33 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{4,10}{127,33} = \mathbf{0,032} < 1$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{9,40 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 127,54 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{0,2}{(235 / 1,732) / 1} \times 127,54 = 127,33 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,02}{127,33} = \mathbf{0,000} < 1$$

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

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

$hw / tw = 85,0 / 5,0 = \mathbf{17,000} < \mathbf{59,856} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \varepsilon / \eta$

**Nośność przekroju na zginanie:**

$x_a = 1,007$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Klasa przekroju 1.

**Nośność na zginanie względem osi Y:**

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

**Nośność na zginanie względem osi Z:**

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

Zredukowana nośność na zginanie:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18,80 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 441,8 \text{ kN} \quad (6.6)$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 289,96 / 441,8 = 0,656; \quad \text{przyjęto } n = 0,656 \leq 1;$$

Dla rury prostokątnej i bisymetrycznego przekroju skrzynkowego:

$$a_w = (A - 2 b t_f) / A = (18,80 - 2 \times 10,00 \times 0,50) / 18,80 = 0,468; \quad \text{przyjęto } a_w = 0,468 \leq 0,5$$

$$a_f = (A - 2 h t_w) / A = (18,80 - 2 \times 10,00 \times 0,50) / 18,80 = 0,468; \quad \text{przyjęto } a_f = 0,468 \leq 0,5$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n)/(1 - 0,5a_w) = 15,25 \times (1 - 0,656)/(1 - 0,5 \times 0,468) = 6,84 \quad (6.39)$$

lecz  $M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$ , przyjęto  $M_{N,y,Rd} = 6,84 \text{ kNm}$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n)/(1 - 0,5a_f) = 15,25 \times (1 - 0,656)/(1 - 0,5 \times 0,468) = 6,84; \quad (6.40)$$

lecz  $M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$ , przyjęto  $M_{N,z,Rd} = 6,84 \text{ kNm}$

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\left\{ \left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \right\}^{1/\gamma} = \left\{ \left[ \frac{3,56}{6,84} \right]^{3,23} + \left[ \frac{0,75}{6,84} \right]^{3,23} \right\}^{1/3,23} = 0,122^{1/3,23} = \mathbf{0,521} < \mathbf{1} \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{289,96}{441,8} + \frac{3,56}{15,25} + \frac{0,75}{15,25} = \mathbf{0,939} < \mathbf{1} \quad (6.2)$$

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

Przesło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times -0,142 = 0,543; \quad \text{przyjęto } C_{my} = 0,543$$

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

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,543 \times \left( 1 + (0,139 - 0,2) \times \frac{289,96}{1,000 \times 441,80/1} \right) = 0,521$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,521} \leq 0,828 = 0,543 \times \left( 1 + 0,8 \times \frac{289,96}{1,000 \times 441,80/1} \right) = C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,900 \times \left( 1 + (0,287 - 0,2) \times \frac{289,96}{0,980 \times 441,80/1} \right) = 0,953$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,953} \leq 1,382 = 0,900 \times \left( 1 + 0,8 \times \frac{289,96}{0,980 \times 441,80/1} \right) = C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,953 = 0,572$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,521 = 0,313$$

Warunki nośności:

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} &= \frac{289,96}{1,000 \times 441,8/1} + 0,521 \times \frac{3,56+0}{1,000 \times 15,25/1} \\ &+ 0,572 \times \frac{0,77+0}{15,25/1} = \mathbf{0,807} < \mathbf{1} \quad (6.61) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} &= \frac{289,96}{0,980 \times 441,8/1} + 0,313 \times \frac{3,56+0}{1,000 \times 15,25/1} \\ &+ 0,953 \times \frac{0,77+0}{15,25/1} = \mathbf{0,791} < \mathbf{1} \quad (6.62) \end{aligned}$$

**Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:**

$x_a = 1,007$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $s_s = 100,0$  mm oraz typ obciążenia środnika (a). Dodatkowo przyjęto rozstaw żebier poprzecznych  $a = 1,007$  m. Nośność najbardziej obciążonego środnika:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (85,0 / 1007,1)^2 = 6,01$$

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

$$m_2 = 0,000$$

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

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,01 \times 210 \times 5,0^3 / 85,0 = 1671,61 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{140,8 \times 5,0 \times 235 \times 10^3}{1671,61}} = 0,315$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,315} = 1,589 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

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

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

Warunki nośności środnika:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{2,05}{165,47} = 0,012 < 1 \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{289,96}{18,8 \times 235 / 1} \times 10 + \frac{3,56 + 289,96 \times 0,000}{56,2 \times 235 / 1} \times 103 + \frac{0,75 + 289,96 \times 0,000}{56,2 \times 235 / 1} \times 103 = 0,983 \quad (4.15 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,012 + 0,8 \times 0,983 = 0,799 < 1,4 \quad (7.2 \text{ EN 1993-1-5})$$

**Stan graniczny użytkowalności:**

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+U+U2+U4 Kombinacja charakterystyczna

Ugięcia względem osi Z liczone od cięciwy pręta wynoszą:

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

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 1007 / 250 = 4,0 \text{ mm}$$

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

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

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

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 1007 / 250 = 4,0 \text{ mm}$$

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

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

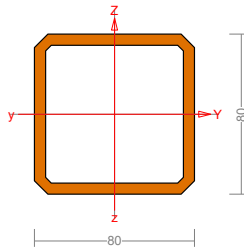
$$a = 0,342 \text{ mm}; \quad L / a = 1007,1 / 0,342 = 2942,6$$



## Pręt nr 75

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993

Przekrój: 6 - H 80x 80x 5.6



Wymiary przekroju:

$h=80,0$   $s=80,0$   $g=5,6$   $t=5,6$   $r=5,6$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$I_{yg}=151,0$   $I_{zg}=151,0$   $A=16,40$   $i_y=3,0$   $i_z=3,0$   $I_w=0,3$   $I_t=234,5$   $i_s=4,291$ .

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

### Długości wyboczeniowe pręta:

#### Przęsło Yc

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,017 \quad \kappa_b = 0,013 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,500 \quad \text{dla } l_o = 1,173$$
$$l_w = 0,500 \times 1,173 = 0,586 \text{ m}$$

#### Przęsło Zc

Przyjęto:

$$\kappa_a = 0,210 \quad \kappa_b = 0,054 \quad \text{węzły przesuwne} \Rightarrow \mu = 1,080 \quad \text{dla } l_o = 1,173$$
$$l_w = 1,080 \times 1,173 = 1,267 \text{ m}$$

#### Przęsło $\omega$

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 1,173$  m. Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 1,173$  m.

### Siły krytyczne:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 151,0}{0,586^2} \times 10^{-2} = 9101,26 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 151,0}{1,267^2} \times 10^{-2} = 1950,72 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{4,291^2} \times \left( \frac{3,1416^2 \times 210 \times 0,343}{1,173^2} \times 10^{-2} + 81 \times 234,5 \times 10^2 \right) = 103144,83$$

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

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

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

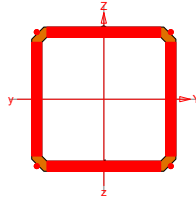
$$0,000 \times 1950,72 + \sqrt{(0,000 \times 1950,72)^2 + 0,000^2 \times 0,043^2 \times 1950,72 \times 103144,83} = 0 \text{ kNm}$$

### Stan graniczny nośności.

xa = 1,173; xb = 0,000; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·(U2+U4) (b)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe  $\gamma_M$ :

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



Klasa przekroju:

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

Nr:	c [mm]	t [mm]	$\alpha$	$\psi$	$k_\sigma$	(c/t) <sub>1</sub>	(c/t) <sub>2</sub>	(c/t) <sub>3</sub>	c/t	Klasa
1	63,2	5,6	1,000	0,964	-	33,000	38,000	42,502	11,286	1
2	63,2	5,6	0,951	0,939	-	34,852	40,133	42,863	11,286	1
3	63,2	5,6	1,000	0,639	-	33,000	38,000	47,678	11,286	1
4	63,2	5,6	0,951	0,623	-	34,852	40,133	47,972	11,286	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

### Nośność na ściskanie:

xa = 0,000; xb = 1,173; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(U+U3+U4) (a)

Klasa przekroju **1**.

Siła osiowa:

$$N_{Ed} = -251,48 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 16,40 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni przekroju efektywnego:

$$A_{eff} = 16,40 \text{ cm}^2$$

Przesunięcie środka ciężkości:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16,40 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 385,4 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{251,48}{385,4} = \mathbf{0,653} < 1 \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "a")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "a")	Wyboczenie skrętne (krzywa "a")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{16,4 \times 235}{9101,26 \times 10}} = 0,206$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,206 - 0,2) + 0,206^2] = 0,522$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,522 + \sqrt{0,522^2 - 0,206^2}} = 0,999$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{16,4 \times 235}{1950,72 \times 10}} = 0,444$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,444 - 0,2) + 0,444^2] = 0,624$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,624 + \sqrt{0,624^2 - 0,444^2}} = 0,941$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{16,4 \times 235}{103144,83 \times 10}} = 0,0611$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,0611 - 0,2) + 0,0611^2] = 0,487$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,487 + \sqrt{0,487^2 - 0,0611^2}} = 1,030$
przyjęto $\chi = 0,999 \leq 1$	Przyjęto $\chi = 0,941 \leq 1$	przyjęto $\chi = 1,000 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika  $\chi = 0,941$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,941 \times 16,40 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 362,54 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{251,48}{362,54} = \mathbf{0,694} < 1 \quad (6.46)$$

#### Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 1,173$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U4)$  (a)

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = J_t \left( \frac{t}{F_s} \right)_{\min} = 234,49 \times \frac{0,56}{2,12} = 61,82 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{61,82 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 8,39 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,25}{8,39} = \mathbf{0,030} < 1 \quad (6.23)$$

#### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 1,173$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

- wzdłuż osi Z

$$= \frac{8,20 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 111,26 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{1,5}{(235 / 1,732) / 1} \times 111,26 = 110,06 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{1,59}{110,06} = \mathbf{0,014} < 1$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{8,20 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 111,26 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} = 1 - \frac{1,5}{(235 / 1,732) / 1} \times 111,26 = 110,06 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,01}{110,06} = \mathbf{0,000} < 1$$

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

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

$$h_w / t_w = 63,2 / 5,6 = \mathbf{11,286} < \mathbf{59,762} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

**Nośność przekroju na zginanie:**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 1,173$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Klasa przekroju 1.

**Nośność na zginanie względem osi Y:**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{43,77 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 10,29 \text{ kNm}$$

**Nośność na zginanie względem osi Z:**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{43,77 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 10,29 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16,40 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 385,4 \text{ kN} \quad (6.6)$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 251,48 / 385,4 = 0,653; \quad \text{przyjęto } n = 0,653 \leq 1;$$

Dla rury prostokątnej i bisymetrycznego przekroju skrzynkowego:

$$a_w = (A - 2 b t_f) / A = (16,40 - 2 \times 8,00 \times 0,56) / 16,40 = 0,454; \quad \text{przyjęto } a_w = 0,454 \leq 0,5$$

$$a_f = (A - 2 h t_w) / A = (16,40 - 2 \times 8,00 \times 0,56) / 16,40 = 0,454; \quad \text{przyjęto } a_f = 0,454 \leq 0,5$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5 a_w) = 10,29 \times (1 - 0,653) / (1 - 0,5 \times 0,454) = 4,62 \quad (6.39)$$

lecz  $M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$ , przyjęto  $M_{N,y,Rd} = 4,62 \text{ kNm}$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5 a_f) = 10,29 \times (1 - 0,653) / (1 - 0,5 \times 0,454) = 4,62; \quad (6.40)$$

lecz  $M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$ , przyjęto  $M_{N,z,Rd} = 4,62 \text{ kNm}$

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\left\{ \left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \right\}^{1/\gamma} = \left\{ \left[ \frac{1,6}{4,62} \right]^{3,2} + \left[ \frac{0,37}{4,62} \right]^{3,2} \right\}^{1/3,2} = 0,0339^{1/3,2} = \mathbf{0,347} < 1 \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{251,48}{385,4} + \frac{1,6}{10,29} + \frac{0,37}{10,29} = \mathbf{0,844} < 1 \quad (6.2)$$

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

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times -0,107 = 0,557; \quad \text{przyjęto } C_{my} = 0,557$$

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

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,557 \times \left( 1 + (0,206 - 0,2) \times \frac{251,48}{0,999 \times 385,40 / 1} \right) = 0,559$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,559} \leq 0,848 = 0,557 \times \left( 1 + 0,8 \times \frac{251,48}{0,999 \times 385,40 / 1} \right) = C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,900 \times \left( 1 + (0,444 - 0,2) \times \frac{251,48}{0,941 \times 385,40/1} \right) = 1,053$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = 1,053 \leq 1,399 = 0,900 \times \left( 1 + 0,8 \times \frac{251,48}{0,941 \times 385,40/1} \right) = C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 1,053 = 0,632$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,559 = 0,335$$

Warunki nośności:

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} &= \frac{251,48}{0,999 \times 385,4/1} + 0,559 \times \frac{1,6+0}{1,000 \times 10,29/1} \\ &+ 0,632 \times \frac{0,39+0}{10,29/1} = \mathbf{0,764} < \mathbf{1} \quad (6.61) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} &= \frac{251,48}{0,941 \times 385,4/1} + 0,335 \times \frac{1,6+0}{1,000 \times 10,29/1} + \\ 1,053 \times \frac{0,39+0}{10,29/1} &= \mathbf{0,786} < \mathbf{1} \quad (6.62) \end{aligned}$$

#### Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

xa = 0,000; xb = 1,173; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(U+U3+U4) (a)

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $s_s = 100,0$  mm oraz typ obciążenia środnika **(a)**. Dodatkowo przyjęto rozstaw żebier poprzecznych  $a = 1,173$  m. Nośność najbardziej obciążonego środnika:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (63,2 / 1172,8)^2 = 6,01$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 37,2 / (235 \times 5,6) = 6,643$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 5,6 \times (1 + \sqrt{6,643 + 0,000}) = 140,1 \quad \text{przyjęto } l_y = 140,1 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,01 \times 210 \times 5,6^3 / 63,2 = 3154,13 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{140,1 \times 5,6 \times 235 \times 10^3}{3154,13}} = 0,242$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,242} = 2,068 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

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

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 140,1 \times 5,6 \times 10^3}{1} = 184,33 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środnika:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{0,80}{184,33} = \mathbf{0,004} < \mathbf{1} \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{251,48}{16,4 \times 235/1} \times 10 + \frac{1,6 + 251,48 \times 0,000}{37,75 \times 235/1} \times 103 + \\ &\frac{0,37 + 251,48 \times 0,000}{37,75 \times 235/1} \times 103 = \mathbf{0,875} \quad (4.15 \text{ EN 1993-1-5}) \end{aligned}$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,004 + 0,8 \times 0,875 = \mathbf{0,704} < \mathbf{1,4} \quad (7.2 \text{ EN } 1993-1-5)$$

#### Stan graniczny użytkowalności:

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+U+U2+U4 Kombinacja charakterystyczna

Ugięcia względem osi Z liczone od cięciwy pręta wynoszą:

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

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 1173 / 250 = 4,7 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = \mathbf{0,2} < \mathbf{4,7} = a_{\text{gr}}$$

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

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

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 1173 / 250 = 4,7 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = \mathbf{0,4} < \mathbf{4,7} = a_{\text{gr}}$$

Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 0,427 \text{ mm}; \quad L / a = 1172,8 / 0,427 = 2746,8$$

## 4.2.5. Słupy podpierające konstrukcje

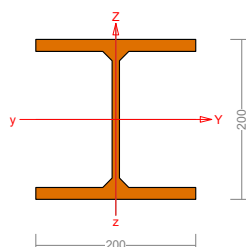
#### Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993

Nr pręta:	Przekrój:	Warunek decydujący:	Nośność:	Kombinacja obc.
48	8 - I 200 HEB	SGU	0,603	CW+St+U+U2+U3
100	11 - I 220 HEA	Zginanie	0,579	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
101	11 - I 220 HEA	Zginanie	0,481	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
49	8 - I 200 HEB	Środek pod obc. skup.	0,391	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
16	8 - I 200 HEB	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,362	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U2+U3) (a)
17	8 - I 200 HEB	Zginanie i ściskanie (Stateczność)	0,333	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
98	8 - I 200 HEB	Ściskanie (Stateczność)	0,297	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
99	8 - I 200 HEB	Ściskanie (Stateczność)	0,249	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)
102	11 - I 220 HEA	Ściskanie (Stateczność)	0,143	1,35·(CW+St) +1,5·(U+U3+U4) (a)

#### Pręt nr 48

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993

Przekrój: 8 - I 200 HEB



Wymiary przekroju:

$$h=200,0 \quad g=9,0 \quad s=200,0 \quad t=15,0 \quad r=18,0.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$I_{yg}=5700,0 \quad I_{zg}=2000,0 \quad A=78,10 \quad i_y=8,5 \quad i_z=5,1 \quad I_w=171125,0 \quad I_t=59,4 \quad i_s=9,929.$$

Materiał: **S 235**. Granica plastyczności  $f_y=235$  MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie  $f_u = 360$  dla  $g=9,0$ .

**Długości wyboczeniowe pręta:****Przęsło Yc 2 (0,700;3,600)**

Przyjęto podatności węzłów ustalone wg zasad mechaniki:

$$\kappa_a = 0,327 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \kappa_v = 0,007 \quad \Rightarrow \quad \mu = 0,773 \quad \text{dla } l_o = 2,900$$

$$l_w = 0,773 \times 2,900 = 2,242 \text{ m}$$

**Przęsło Zc 2 (0,700;3,600)**

Przyjęto podatności węzłów ustalone wg zasad mechaniki:

$$\kappa_a = 0,215 \quad \kappa_b = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 0,742 \quad \text{dla } l_o = 2,900$$

$$l_w = 0,742 \times 2,900 = 2,152 \text{ m}$$

**Przęsło ω 2 (0,700;3,600)**

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 2,900 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 2,900 \text{ m}$ .

**Siły krytyczne:**

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 5700,0}{2,242^2} \times 10^{-2} = 23509,26 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 2000,0}{2,152^2} \times 10^{-2} = 8952,52 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EI_\omega}{l_\omega^2} + GI_T \right) = \frac{1}{9,929^2} \times \left( \frac{3,1416^2 \times 210 \times 171125,0}{2,900^2} \times 10^{-2} + 81 \times 59,4 \times 102 \right) = 9157,26$$

kN

**Zwichrzenie:****Przęsło nr: 2 (0,700;3,600)**

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

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

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

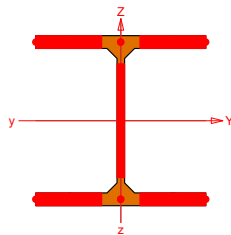
$$0,000 \times 8952,52 + \sqrt{(0,000 \times 8952,52)^2 + 0,000^2 \times 0,099^2 \times 8952,52 \times 9157,26} = 0 \text{ kNm}$$

**Stan graniczny nośności.**

$x_a = 3,600$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia:  $CW + 1,35 \cdot 0,85 \cdot St + 1,5 \cdot (U2 + U3)$  (b)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe  $\gamma_M$ :

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



Klasa przekroju:

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

Nr:	c [mm]	t [mm]	$\alpha$	$\psi$	$k_\sigma$	(c/t) <sub>1</sub>	(c/t) <sub>2</sub>	(c/t) <sub>3</sub>	c/t	Klasa
1	134,0	9,0	1,000	1,000	-	33,000	38,000	42,000	14,889	1
2	77,5	15,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	5,167	1
3	77,5	15,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	5,167	1
4	77,5	15,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	5,167	1
5	77,5	15,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	5,167	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

#### Nośność na ściskanie:

$x_a = 3,600$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3)$  (a)

Klasa przekroju **1**.

Siła osiowa:

$$N_{Ed} = -432,78 \text{ kN}$$

Pole powierzchni przekroju:

$$A = 78,10 \text{ cm}^2$$

Pole powierzchni przekroju efektywnego:

$$A_{eff} = 78,10 \text{ cm}^2$$

Przesunięcie środka ciężkości:

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{78,10 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1835,35 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{432,78}{1835,35} = \mathbf{0,236} < \mathbf{1} \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "b")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "c")	Wyboczenie skrętne (krzywa "c")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{78,1 \times 235}{23509,26 \times 10}} = 0,279$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,279 - 0,2) + 0,279^2] = 0,553$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,553 + \sqrt{0,553^2 - 0,279^2}} = 0,972$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{78,1 \times 235}{8952,52 \times 10}} = 0,453$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,453 - 0,2) + 0,453^2] = 0,664$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,664 + \sqrt{0,664^2 - 0,453^2}} = 0,869$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{78,1 \times 235}{9157,26 \times 10}} = 0,448$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,448 - 0,2) + 0,448^2] = 0,661$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,661 + \sqrt{0,661^2 - 0,448^2}} = 0,872$
przyjęto $\chi = 0,972 \leq 1$	Przyjęto $\chi = 0,869 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,872 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika  $\chi = 0,869$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,869 \times 78,10 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1594,97 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{432,78}{1594,97} = \mathbf{0,271} < \mathbf{1} \quad (6.46)$$

#### Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 0,700$ ;  $x_b = 2,900$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $CW + 1,35 \cdot St + 1,5 \cdot (U + U2 + U4)$  (a)

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = \frac{J_t}{t_{max}} = \frac{59,39}{1,50} = 39,60 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{39,60 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 5,37 \text{ kNm}$$



$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,14}{5,37} = \mathbf{0,026 < 1} \quad (6.23)$$

#### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,700$ ;  $x_b = 2,900$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3)$  (a)

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{24,85 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 337,16 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{0,8}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 337,16 = 336,4 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,34}{336,40} = \mathbf{0,001 < 1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{60,00 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 814,06 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{0,8}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 814,06 = 812,24 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{10,73}{812,24} = \mathbf{0,013 < 1}$$

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

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

$$h_w / t_w = 134,0 / 9,0 = \mathbf{14,889 < 59,728} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

#### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 0,700$ ;  $x_b = 2,900$ ; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U2+U3)$  (a)

Klasa przekroju 1.

Nośność na zginanie względem osi Y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{642,08 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 150,89 \text{ kNm}$$

Nośność na zginanie względem osi Z:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{306,05 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 71,92 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{78,10 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1835,35 \text{ kN} \quad (6.6)$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 430,38 / 1835,35 = 0,234; \text{ przyjęto } n = 0,234 \leq 1;$$

Dla dwuteownika bisymetrycznego:

$$a = (A - 2 b t_f) / A = (78,10 - 2 \times 20,00 \times 1,50) / 78,10 = 0,232; \text{ przyjęto } a = 0,232 \leq 0,5;$$

- zginanie y-y

$$N_{Ed} = 430,38 < 458,84 = 0,25 \times 1835,35 = 0,25 N_{pl,Rd} \quad (6.33)$$

$$N_{Ed} = 430,38 > 179,78 = \frac{0,5 \times 17,00 \times 0,90 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.34)$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1-n) / (1-0,5a) = 150,89 \times (1-0,234) / (1-0,5 \times 0,232) = 130,65; \quad (6.36)$$

$$M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}; \text{ przyjęto } M_{N,y,Rd} = 130,65 \text{ kNm}$$

- zginanie z-z

$$N_{Ed} = 430,38 > 359,55 = \frac{17,00 \times 0,90 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.35)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] = 71,92 \times \left[ 1 - \left( \frac{0,234-0,232}{1-0,232} \right)^2 \right] = 71,92 \text{ kNm} \quad (6.38)$$

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\left\{ \left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \right\}^{1/\gamma} = \left\{ \left[ \frac{0,85}{130,65} \right]^2 + \left[ \frac{12,03}{71,92} \right]^{1,17} \right\}^{1/1,17} = 0,123^{1/1,17} = 0,167 < 1 \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{430,38}{1835,35} + \frac{0,85}{150,89} + \frac{12,03}{71,92} = 0,407 < 1 \quad (6.2)$$

**Zginanie (stateczność):**

$x_a = 0,700$ ;  $x_b = 2,900$ ; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia:  $CW + 1,35 \cdot St + 1,5 \cdot (U + U2 + U4)$  (a)

Nie uwzględniono zwichrzenia pręta.

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 642,08 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 150,89 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{4,54}{150,89} = 0,030 < 1 \quad (6.54)$$

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

Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW + St) + 1,5 \cdot (U + U2 + U3)$  (a)

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times 0,000 = 0,600; \quad \text{przyjęto } C_{my} = 0,600$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times 0,000 = 0,600; \quad \text{przyjęto } C_{mz} = 0,600$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,600 \times \left( 1 + (0,279 - 0,2) \times \frac{432,78}{0,972 \times 1835,35/1} \right) = 0,612$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,612} \leq 0,716 = 0,600 \times \left( 1 + 0,8 \times \frac{432,78}{0,972 \times 1835,35/1} \right) = C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,600 \times \left( 1 + (2 \times 0,453 - 0,6) \times \frac{432,78}{0,869 \times 1835,35/1} \right) = 0,650$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,650} \leq 0,828 = 0,600 \times \left( 1 + 1,4 \times \frac{432,78}{0,869 \times 1835,35/1} \right) = C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,650 = 0,390$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,612 = 0,367$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{432,78}{0,972 \times 1835,35/1} +$$

$$0,612 \times \frac{0,85+0}{1,000 \times 150,89/1} + 0,390 \times \frac{12,03+0}{71,92/1} = \mathbf{0,311} < \mathbf{1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{432,78}{0,869 \times 1835,35/1} +$$

$$0,367 \times \frac{0,85+0}{1,000 \times 150,89/1} + 0,650 \times \frac{12,03+0}{71,92/1} = \mathbf{0,382} < \mathbf{1} \quad (6.62)$$

### Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:

xa = 0,700; xb = 2,900; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: 1,35·(CW+St)+1,5·(U+U2+U3) (a)

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $s_s = \mathbf{100,0}$  mm oraz typ obciążenia środnika **(a)**. Dodatkowo przyjęto rozstaw żeber poprzecznych  $a = \mathbf{3,600}$  m. Nośność najbardziej obciążonego środnika:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (134,0/3600,0)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 200,0 / (235 \times 9,0) = 22,222$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 15,0 \times (1 + \sqrt{22,222 + 0,000}) = 271,4 \quad \text{przyjęto } l_y = 271,4 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 9,0^3 / 134,0 = 6172,15 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{271,4 \times 9,0 \times 235 \times 10^3}{6172,15}} = 0,305$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,305} = 1,639 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 271,4 = 271,4 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 271,4 \times 9,0 \times 10^3}{1} = 574,06 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środnika:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{0,04}{574,06} = \mathbf{0,000} < \mathbf{1} \quad (6.14 \text{ EN } 1993-1-5)$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{430,38}{78,1 \times 235 / 1} \times 10 + \frac{0,85 + 430,38 \times 0,000}{570 \times 235 / 1} \times 103 + \frac{12,03 + 430,38 \times 0,000}{200 \times 235 / 1} \times 103 = 0,497 \quad (4.15 \text{ EN } 1993-1-5)$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,000 + 0,8 \times 0,497 = \mathbf{0,398} < \mathbf{1,4} \quad (7.2 \text{ EN } 1993-1-5)$$

### Stan graniczny użytkowalności:

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+U+U2+U3 Kombinacja charakterystyczna

Ugięcia względem osi Z wynoszą:

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

$$a_{\text{gr}} = 1 / 250 = 700 / 250 = 2,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = \mathbf{0,0} < \mathbf{2,8} = a_{\text{gr}}$$

Ugięcia względem osi Y wynoszą:

$$a_{\max} = 1,7 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = 1 / 250 = 700 / 250 = 2,8 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = \mathbf{1,7} < \mathbf{2,8} = a_{\text{gr}}$$

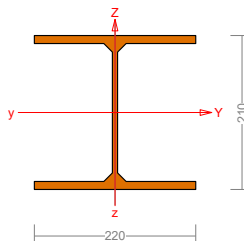
Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = 1,688 \text{ mm}; \quad L / a = 2900,0 / 1,688 = 1717,9$$

### Pręt nr 100

Wyniki wymiarowania stali wg PN-EN 1993

Przekrój: 11 - I 220 HEA



Wymiary przekroju:

$$h=210,0 \quad g=7,0 \quad s=220,0 \quad t=11,0 \quad r=18,0.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$I_y=5410,0 \quad I_z=1955,0 \quad A=64,30 \quad i_y=9,2 \quad i_z=5,5 \quad I_w=193266,1 \quad I_t=26,2 \quad i_s=10,70.$$

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

### Długości wybozeniowe pręta:

**Przęsło Yc 2** (0,701;3,600)

Przyjęto podatności węzłów ustalone wg zasad mechaniki:

$$\kappa_a = 0,265 \quad \kappa_b = 0,607 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 0,656 \quad \text{dla } l_o = 2,899$$

$$l_w = 0,656 \times 2,899 = 1,902 \text{ m}$$

**Przęsło Zc 2** (0,701;3,600)

Przyjęto podatności węzłów ustalone wg zasad mechaniki:

$$\kappa_a = 0,000 \quad \kappa_b = 0,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \quad \Rightarrow \quad \mu = 0,500 \quad \text{dla } l_o = 2,899$$

$$l_w = 0,500 \times 2,899 = 1,449 \text{ m}$$

**Przęsło w 2 (0,701;3,600)**

Dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_w = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{ow} = 2,899$  m. Długość wyboczeniowa  $l_w = 2,899$  m.

**Siły krytyczne:**

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{wy}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 5410,0}{1,902^2} \times 10^{-2} = 31006,74 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_{wz}^2} = \frac{3,1416^2 \times 210 \times 1955,0}{1,449^2} \times 10^{-2} = 19287,38 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EI_{\varpi}}{l_{\varpi}^2} + GI_T \right) = \frac{1}{10,70^2} \times \left( \frac{3,1416^2 \times 210 \times 193266,1}{2,899^2} \times 10^{-2} + 81 \times 26,2 \times 102 \right) = 6010,84$$

kN

**Zwichrzenie:****Przęsło nr: 1 (0,000;0,701)**

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

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

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

$$0,000 \times 203766,86 + \sqrt{(0,000 \times 203766,86)^2 + 0,000^2 \times 0,107^2 \times 203766,86 \times 73016,37} = 0$$

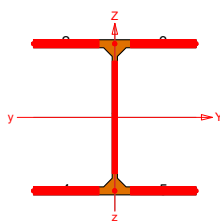
kNm

**Stan graniczny nośności.**

$x_a = 3,600$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia: CW+1,35·0,85·St+1,5·(U+U3+U4) (b)

Przyjęto następujące współczynniki częściowe  $\gamma_M$ :

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



Klasa przekroju:

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

Nr:	c [mm]	t [mm]	$\alpha$	$\psi$	$k_{\sigma}$	(c/t) <sub>1</sub>	(c/t) <sub>2</sub>	(c/t) <sub>3</sub>	c/t	Klasa
1	152,0	7,0	0,803	0,438	-	41,975	48,335	51,565	21,714	1
2	88,5	11,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	8,045	1
3	88,5	11,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	8,045	1
4	88,5	11,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	8,045	1
5	88,5	11,0	1,000	1,000	0,431	9,000	10,000	13,792	8,045	1

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

**Nośność elementów rozciąganych:**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,600$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Siła osiowa:  $N_{Ed} = 59,8 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju:  $A = 64,30 \text{ cm}^2$

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

Pole powierzchni netto:  $A_{net} = 64,30 \text{ cm}^2$

Nośność przekroju na rozciąganie:

- nośność plastyczna

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{64,30 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1511,05 \text{ kN} \quad (6.6)$$

- nośność graniczna

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 64,30 \times 360}{1,1} \times 10^{-1} = 1893,93 \text{ kN} \quad (6.7)$$

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

Nośność na rozciąganie:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 1511,05 \text{ kN}$$

Warunek nośności (6.5):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{59,8}{1511,05} = 0,040 < 1 \quad (6.5)$$

**Nośność na ściskanie:**

$x_a = 3,600$ ;  $x_b = 0,000$ ; Przęsło nr: 2, 2, 2. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Klasa przekroju 1.

Siła osiowa:  $N_{Ed} = -161,33 \text{ kN}$

Pole powierzchni przekroju:  $A = 64,30 \text{ cm}^2$

Pole powierzchni przekroju efektywnego:  $A_{eff} = 64,30 \text{ cm}^2$

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{64,30 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1511,05 \text{ kN} \quad (6.10)$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{161,33}{1511,05} = 0,107 < 1 \quad (6.9)$$

Stateczność elementu ściskanego:

Wyboczenie dla osi Y (krzywa "b")	Wyboczenie dla osi Z (krzywa "c")	Wyboczenie skrętne (krzywa "c")
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{64,3 \times 235}{31006,74 \times 10}} = 0,221$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,221 - 0,2) + 0,221^2] = 0,528$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,528 + \sqrt{0,528^2 - 0,221^2}} = 0,993$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{64,3 \times 235}{19287,38 \times 10}} = 0,280$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,280 - 0,2) + 0,280^2] = 0,559$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,559 + \sqrt{0,559^2 - 0,280^2}} = 0,959$	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{64,3 \times 235}{6010,84 \times 10}} = 0,501$ $\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,501 - 0,2) + 0,501^2] = 0,700$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,700 + \sqrt{0,700^2 - 0,501^2}} = 0,842$
przyjęto $\chi = 0,993 \leq 1$	Przyjęto $\chi = 0,959 \leq 1$	przyjęto $\chi = 0,842 \leq 1$

Przyjęto najmniejszą wartość współczynnika  $\chi = 0,842$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,842 \times 64,30 \times 235}{1} \times 10^{-1} = 1272,63 \text{ kN} \quad (6.47)$$

Warunek stateczności:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{161,33}{1272,63} = \mathbf{0,127} < \mathbf{1} \quad (6.46)$$

#### Nośność przekroju na skręcanie:

$x_a = 0,701$ ;  $x_b = 2,899$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $CW + 1,35 \cdot 0,85 \cdot St + 1,5 \cdot (U + U4)$  (b)

Naprężenia przy skręcaniu swobodnym:

$$W_t = \frac{J_t}{t_{\max}} = \frac{26,16}{1,10} = 23,78 \text{ cm}^3$$

$$T_{Rd} = \frac{W_t f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{23,78 \times 235}{1,732 \times 1} \times 10^{-3} = 3,23 \text{ kNm}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,07}{3,23} = \mathbf{0,022} < \mathbf{1} \quad (6.23)$$

#### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,701$ ;  $x_b = 2,899$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW + St) + 1,5 \cdot (U + U3 + U4)$  (a)

- wzdłuż osi Z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{20,63 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 279,9 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{1,3}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 279,9 = 278,86 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{42,51}{278,86} = \mathbf{0,152} < \mathbf{1}$$

- wzdłuż osi Y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{48,40 \times 235 / 1,732}{1} \times 10^{-1} = 656,68 \text{ kN}$$

Uwzględnienie występowania skręcania swobodnego:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{1,3}{1,25 \times (235 / 1,732) / 1}} \times 656,68 = 654,23 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{21,46}{654,23} = \mathbf{0,033} < \mathbf{1}$$

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:

$$h_w / t_w = 152,0 / 7,0 = \mathbf{21,714} < \mathbf{59,737} = 72 \times 1,000 / 1,200 = 72 \varepsilon / \eta$$

**Nośność przekroju na zginanie:**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,600$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Klasa przekroju 1.

**Nośność na zginanie względem osi Y:**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{567,94 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 133,47 \text{ kNm}$$

**Nośność na zginanie względem osi Z:**

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{270,80 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 63,64 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność na zginanie:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 59,80 / 1511,05 = 0,040; \quad \text{przyjęto } n = 0,040 \leq 1;$$

Dla dwuteownika bisymetrycznego:

$$a = (A - 2 b t_f) / A = (64,30 - 2 \times 22,00 \times 1,10) / 64,30 = 0,247; \quad \text{przyjęto } a = 0,247 \leq 0,5;$$

- zginanie y-y

$$N_{Ed} = 59,8 < 377,76 = 0,25 \times 1511,05 = 0,25 N_{pl,Rd} \quad (6.33)$$

$$N_{Ed} = 59,8 < 154,63 = \frac{0,5 \times 18,80 \times 0,70 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.34)$$

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

- zginanie z-z

$$N_{Ed} = 59,8 < 309,26 = \frac{18,80 \times 0,70 \times 235}{1} \times 10^{-1} = \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.35)$$

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

Zlinearyzowany warunek nośności:

$$\left\{ \left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \right\}^{1/\gamma} = \left\{ \left[ \frac{56,09}{133,47} \right]^2 + \left[ \frac{10,06}{63,64} \right]^1 \right\}^{1/2} = 0,335^{1/2} = 0,579 < 1 \quad (6.41)$$

Ostrożne przybliżenie nośności (nie jest warunkiem decydującym):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{59,8}{1511,05} + \frac{56,09}{133,47} + \frac{10,06}{63,64} = 0,618 < 1 \quad (6.2)$$

**Zginanie (stateczność):**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,600$ ; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Nie uwzględniono zwichrzenia pręta.

Warunek stateczności przy zginaniu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,000 \times 567,94 \times \frac{235}{1} \times 10^{-3} = 133,47 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{56,09}{133,47} = 0,420 < 1 \quad (6.54)$$



**Nośność (stateczność) pręta zginanego i ściskanego:**Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Współczynniki interakcji według metody 2:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times 0,469 = 0,787;$$

$$\text{przyjęto } C_{my} = 0,787$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6 + 0,4 \times -0,496 = 0,402;$$

$$\text{przyjęto } C_{mz} = 0,402$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,787 \times \left( 1 + (0,0667 - 0,2) \times \frac{0,00}{1,000 \times 1511,05/1} \right) = 0,787$$

$$\text{przyjęto } k_{yy} = \mathbf{0,787} \leq 0,787 = 0,787 \times \left( 1 + 0,8 \times \frac{0,00}{1,000 \times 1511,05/1} \right) = C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,402 \times \left( 1 + (2 \times 0,0861 - 0,6) \times \frac{0,00}{1,000 \times 1511,05/1} \right) = 0,402$$

$$\text{przyjęto } k_{zz} = \mathbf{0,402} \leq 0,402 = 0,402 \times \left( 1 + 1,4 \times \frac{0,00}{1,000 \times 1511,05/1} \right) = C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \times 0,402 = 0,241$$

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \times 0,787 = 0,472$$

Warunki nośności:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{0}{1,000 \times 1511,05/1} +$$

$$0,787 \times \frac{56,09+0}{1,000 \times 133,47/1} + 0,241 \times \frac{10,06+0}{63,64/1} = \mathbf{0,369} < \mathbf{1} \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{0}{1,000 \times 1511,05/1} +$$

$$0,472 \times \frac{56,09+0}{1,000 \times 133,47/1} + 0,402 \times \frac{10,06+0}{63,64/1} = \mathbf{0,262} < \mathbf{1} \quad (6.62)$$

**Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:**xa = 0,000; xb = 3,600; Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U4)$  (a)Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $s_s = \mathbf{100,0}$  mm oraz typ obciążenia środnika (**a**). Dodatkowo przyjęto rozstaw żeber poprzecznych  $a = \mathbf{3,600}$  m. Nośność najbardziej obciążonego środnika:

$$k_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 = 6 + 2 \times (152,0/3600,0)^2 = 6,00$$

$$m_1 = f_{yf} b_f / f_{yw} t_w = 235 \times 220,0 / (235 \times 7,0) = 31,429$$

$$m_2 = 0,000$$

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 100,0 + 2 \times 11,0 \times (1 + \sqrt{31,429 + 0,000}) = 245,3 \quad \text{przyjęto } l_y = 245,3 \leq a$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w = 0,9 \times 6,00 \times 210 \times 7,0^3 / 152,0 = 2560,48 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{245,3 \times 7,0 \times 235 \times 10^3}{2560,48}} = 0,397$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,397} = 1,259 \quad \text{przyjęto } \chi_F = 1,000 \leq 1,0$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1,000 \times 245,3 = 245,3 \text{ mm}$$

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \times 245,3 \times 7,0 \times 10^3}{1} = 403,58 \text{ kN} \quad (6.1 \text{ EN 1993-1-5})$$

Warunki nośności środnika:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{31,66}{403,58} = \mathbf{0,078} < \mathbf{1} \quad (6.14 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff} / \gamma_{M0}} = \frac{45,13}{64,3 \times 235 / 1} \times 10 + \frac{41,63 + 45,13 \times 0,000}{515,24 \times 235 / 1} \times 103 + \frac{19,19 + 45,13 \times 0,000}{177,73 \times 235 / 1} \times 103 = 0,833 \quad (4.15 \text{ EN 1993-1-5})$$

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 = 0,078 + 0,8 \times 0,833 = \mathbf{0,745} < \mathbf{1,4} \quad (7.2 \text{ EN 1993-1-5})$$

### Stan graniczny użytkowalności:

Przęsło nr: 1, 1, 1. Obciążenia: CW+St+U+U3+U4 Kombinacja charakterystyczna

Ugięcia względem osi Z wynoszą:

$$a_{\max} = 1,6 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 3600 / 250 = 14,4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = \mathbf{1,6} < \mathbf{14,4} = a_{\text{gr}}$$

Ugięcia względem osi Y wynoszą:

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

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 3600 / 250 = 14,4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = \mathbf{0,0} < \mathbf{14,4} = a_{\text{gr}}$$

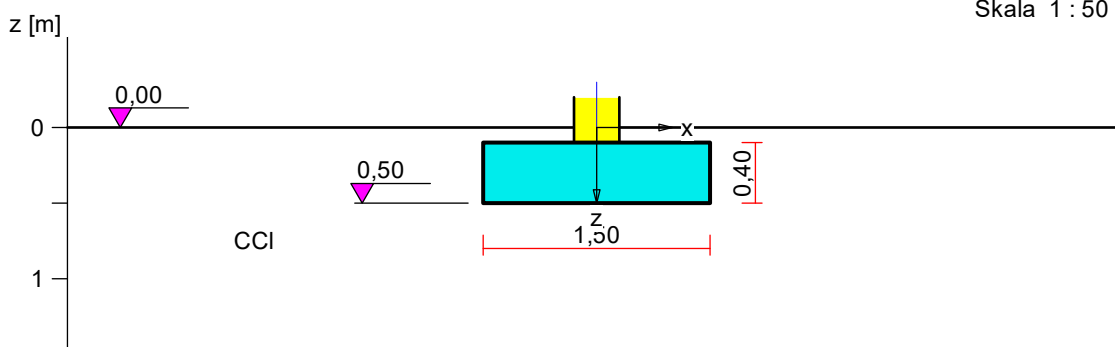
Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

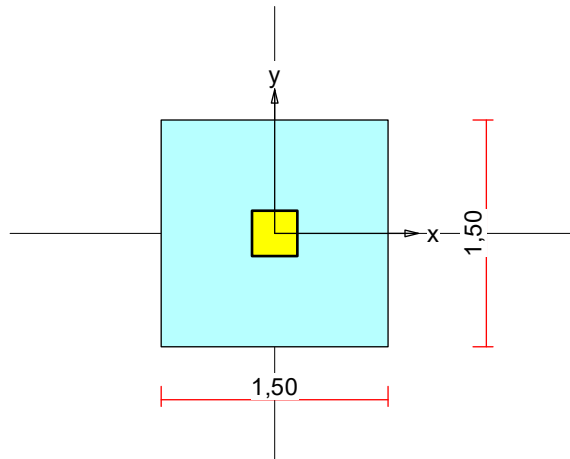
$$a = 1,632 \text{ mm}; \quad L / a = 3600,0 / 1,632 = 2206,0$$

## 4.2.7. Stopa Sf1

Nazwa fundamentu: stopa prostokątna

Skala 1 : 50





## Wymiary fundamentu

Względny poziom posadowienia:  $z_f = 0,50$  m

Kształt fundamentu: **prosty**

Wymiary podstawy:  $B_x = 1,50$  m,  $B_y = 1,50$  m,

Wysokość:  $H = 0,40$  m,

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

## Podłoże gruntowe

### Teren

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

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

### Warstwy gruntu

Lp.	Poz. stropu	Grubość	Nazwa gruntu	Identyfikator	Poz. wody gr.
1	0,00	nieokreśl.	Gлина	CCl_c:30,96_f:22,7	brak wody

## Konstrukcja na fundamencie

Typ konstrukcji: **słup prostokątny**

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

Współrzędne osi słupa:  $x_0 = 0,00$  m,  $y_0 = 0,00$  m,

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

## Obciążenie od konstrukcji

Względny poziom przyłożenia obciążenia:  $z_{obc} = 1,05$  m.

Parametry importu obciążenia:

Nazwa zadania: D:KonturLewandowskaBrzezinyprojektowany V5a-spawame.rm3.

Data utworzenia: 06.05.2025 11:11.

Oznaczenie podpory: Węzeł nr 68.

Lista kombinacji obciążeń fundamentu:

Lp.	Rodzaj	N	$H_x$	$H_y$	$M_x$	$M_y$
	obciążenia	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1	podst.- trwała	163,6	1,7	0,0	0,00	2,45

		121,2	1,2	0,0	0,00	1,81
2	podst.- trwała	139,0	1,4	0,0	0,00	2,08
		121,2	1,2	0,0	0,00	1,81
3	podst.- trwała	286,1	3,0	0,0	0,00	4,39
		202,8	2,1	0,0	0,00	3,11
4	podst.- trwała	261,5	2,7	0,0	0,00	4,02
		202,8	2,1	0,0	0,00	3,11
5	podst.- trwała	318,1	3,3	0,0	0,00	4,84
		224,2	2,3	0,0	0,00	3,41
6	podst.- trwała	293,6	3,1	0,0	0,00	4,48
		224,2	2,3	0,0	0,00	3,41
7	podst.- trwała	449,1	4,7	0,0	0,00	6,85
		311,5	3,2	0,0	0,00	4,75
8	podst.- trwała	424,5	4,4	0,0	0,00	6,48
		311,5	3,2	0,0	0,00	4,75
9	podst.- trwała	147,1	1,5	0,0	0,00	2,23
		110,2	1,1	0,0	0,00	1,67
10	podst.- trwała	122,6	1,3	0,0	0,00	1,86
		110,2	1,1	0,0	0,00	1,67
11	podst.- trwała	293,7	3,0	0,0	0,00	4,46
		207,9	2,2	0,0	0,00	3,16
12	podst.- trwała	269,1	2,8	0,0	0,00	4,10
		207,9	2,2	0,0	0,00	3,16
13	podst.- trwała	278,1	2,9	0,0	0,00	4,23
		197,5	2,0	0,0	0,00	3,00
14	podst.- trwała	253,5	2,6	0,0	0,00	3,86
		197,5	2,0	0,0	0,00	3,00
15	podst.- trwała	129,6	1,3	0,0	0,00	1,92
		121,2	1,2	0,0	0,00	1,81
16	podst.- trwała	124,7	1,3	0,0	0,00	1,86
		121,2	1,2	0,0	0,00	1,81
17	podst.- trwała	104,7	1,1	0,0	0,00	1,59
		110,2	1,1	0,0	0,00	1,67
18	podst.- trwała	104,7	1,1	0,0	0,00	1,59
		110,2	1,1	0,0	0,00	1,67
19	podst.- trwała	251,3	2,6	0,0	0,00	3,83
		207,9	2,2	0,0	0,00	3,16
20	podst.- trwała	251,3	2,6	0,0	0,00	3,83
		207,9	2,2	0,0	0,00	3,16
21	podst.- trwała	235,7	2,5	0,0	0,00	3,60
		197,5	2,0	0,0	0,00	3,00
22	podst.- trwała	235,7	2,5	0,0	0,00	3,60
		197,5	2,0	0,0	0,00	3,00
23	podst.- trwała	277,6	2,9	0,0	0,00	4,28
		202,8	2,1	0,0	0,00	3,11
24	podst.- trwała	258,0	2,7	0,0	0,00	3,98
		202,8	2,1	0,0	0,00	3,11

## Material

Rodzaj materiału: **żelbet**

Klasa betonu: C20/25, Klasa stali:  $f_{yk}=500$ ,

Zbrojenie dolne:

Średnica prętów zbrojeniowych:

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

strzemiona  $d_s = 6$  mm.

Kierunek zbrojenia głównego: x,

Grubość otuliny: 50 mm.

Zbrojenie górne:

Średnica prętów zbrojeniowych:

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

Kierunek zbrojenia głównego: x,

Grubość otuliny: 50 mm.

Zbrojenie na przebicie strzemionami: średnica  $d_{sp} = 6$  mm.

## Stan graniczny I

### Zestawienie wyników analizy nośności, przesunięcia i mimośrod

Nr komb.	Rodzaj komb.	Poziom [m]	Wsp. nośności	Wsp. przes.	Wsp. mimośr.
1	podstawowa	0,50	0,131	0,026	0,032
2	podstawowa	0,50	0,115	0,022	0,031
3	podstawowa	0,50	0,212	0,031	0,035
4	podstawowa	0,50	0,196	0,029	0,035
5	podstawowa	0,50	0,233	0,032	0,035
6	podstawowa	0,50	0,217	0,030	0,035
* 7	podstawowa	0,50	0,320	0,034	0,036
8	podstawowa	0,50	0,303	0,032	0,036
9	podstawowa	0,50	0,120	0,025	0,032
10	podstawowa	0,50	0,104	0,021	0,031
11	podstawowa	0,50	0,217	0,031	0,035
12	podstawowa	0,50	0,201	0,029	0,035
13	podstawowa	0,50	0,206	0,031	0,035
14	podstawowa	0,50	0,190	0,028	0,034
15	podstawowa	0,50	0,109	0,020	0,031
16	podstawowa	0,50	0,105	0,020	0,031
17	podstawowa	0,50	0,092	0,018	0,030
18	podstawowa	0,50	0,092	0,018	0,030
19	podstawowa	0,50	0,189	0,027	0,034
20	podstawowa	0,50	0,189	0,027	0,034
21	podstawowa	0,50	0,179	0,026	0,034
22	podstawowa	0,50	0,179	0,026	0,034
23	podstawowa	0,50	0,206	0,031	0,035
24	podstawowa	0,50	0,193	0,029	0,035

Uwaga: Nośność podłoża w warunkach bez odpływu nie była wyznaczana, ponieważ parametr  $c_{uk}$  nie jest określony.

Uwaga: Do warunku na przesuw fundamentu przyjęto  $\varphi'_{cv} = \varphi'$ , ponieważ parametr  $\varphi'_{cv}$  nie jest określony.

### Analiza stanu granicznego I dla kombinacji obciążenia nr 7

Literał kombinacji obciążeń:  $1,35 \cdot (CW+St) + 1,5 \cdot (U+U3+U4)$  (a)

Wymiary podstawy fundamentu rzeczywistego:  $B_x = 1,50$  m,  $B_y = 1,50$  m.

Względny poziom posadowienia:  $H = 0,50$  m.

Rodzaj kombinacji obciążenia: podstawowa.

Sytuacja obliczeniowa: trwała.

#### Zestawienie obciążeń:

Pozycja	Obc. char.	$E_x$	$E_y$	$\gamma$	Obc. obl.	Mom. obl.	Mom. obl.
	[kN]	[m]	[m]	[-]	G [kN]	$M_{Gx}$ [kNm]	$M_{Gy}$ [kNm]
Fundament	22,50	0,00	0,00	1,35(1,0)	30,38	0,00	0,00
Grunt - pole 1	1,11	0,39	-0,39	1,35(1,0)	1,49	-0,58	0,58
Grunt - pole 2	1,11	-0,39	-0,39	1,35(1,0)	1,49	-0,58	-0,58
Grunt - pole 3	1,11	-0,39	0,39	1,35(1,0)	1,49	0,58	-0,58
Grunt - pole 4	1,11	0,39	0,39	1,35(1,0)	1,49	0,58	0,58

Wartości obliczeniowe | charakterystyczne obciążenia zewnętrznego fundamentu:

siła pionowa  $N = 449,1 \mid 311,5$  kN, mimośrod  $E_x = 0,00$  m,  $E_y = 0,00$  m,

siła pozioma  $H_x = 4,7 \mid 3,2$  kN, mimośród względem podstawy fund.  $E_z = -0,55$  m,

siła pozioma  $H_y = 0,0 \mid 0,0$  kN, mimośród względem podstawy fund.  $E_z = -0,55$  m,

moment  $M_x = 0,0 \mid 0,0$  kNm, moment  $M_y = 6,8 \mid 4,7$  kNm.

### Sprawdzenie położenia wypadkowej obciążenia względem podstawy fundamentu

Obciążenie pionowe:

$$N_r = N + G = 485,4 \mid 476,0 \text{ kN.}$$

Momenty względem środka podstawy:

$$M_{rx} = N \cdot E_y - H_y \cdot E_z + M_x + M_{Gx} = 0,0 \mid 0,0 \text{ kNm.}$$

$$M_{ry} = -N \cdot E_x + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy} = 4,3 \mid 4,3 \text{ kNm.}$$

Mimośrody sił względem środka podstawy:

$$e_{rx} = |M_{ry}/N_r| = 4,3/476,0 = 0,01 \text{ m,}$$

$$e_{ry} = |M_{rx}/N_r| = 0,0/476,0 = 0,00 \text{ m.}$$

$$e_{rx}/B_x + e_{ry}/B_y = 0,006 + 0,000 = 0,006 \text{ m} < 0,167.$$

### Wniosek: Wypadkowa obciążenia wewnątrz rdzenia podstawy fundamentu.

### Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

Obciążenia charakterystyczne:  $V_k = 338,4$  kN,  $M_{xk} = 0,0$  kNm,  $M_{yk} = 3,0$  kNm.

$$e_x = |M_{yk}/V_k| = 3,0/338,4 = 0,01 \text{ m, } e_y = |M_{xk}/V_k| = 0,0/338,4 = 0,00 \text{ m.}$$

$$B'_x = B_x - 2 \cdot e_x = 1,50 - 2 \cdot 0,01 = 1,48 \text{ m, } B'_y = B_y - 2 \cdot e_y = 1,50 - 2 \cdot 0,00 = 1,50 \text{ m.}$$

Efektywne naprężenie w poz. posadowienia fund.:  $q' = 10,25$  kPa.

Efektywny ciężar obj. gruntu poniżej posadowienia fund.:  $\gamma' = 20,50$  kN/m<sup>3</sup>.

Współczynniki nośności podłoża:

$$\text{efektywny kąt tarcia wewnętrznego: } \varphi'_d = \varphi'/\gamma_{\varphi'} = 22,67^\circ,$$

$$\text{efektywna spójność: } c'_d = c'/\gamma_c = 30,96 \text{ kPa,}$$

$$N_c = 17,65, \quad N_q = 8,37, \quad N_\gamma = 6,16,$$

wykładnik:  $m = 1,50$ ,  
 $i_c = 0,99$ ,  $i_q = 0,99$ ,  $i_\gamma = 0,98$ ,  
współczynniki kształtu:  $s_c = 1,43$ ,  $s_q = 1,38$ ,  $s_\gamma = 0,70$ ,  
 $b_c = 1,00$ ,  $b_q = 1,00$ ,  $b_\gamma = 1,00$ .

Odpór graniczny podłoża:

$$R_k = B_x' B_y' (c'_d \cdot b_c \cdot s_c \cdot N_c \cdot i_c + q' \cdot b_q \cdot s_q \cdot N_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot \min\{B_x', B_y'\} \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma) = 2126,2 \text{ kN}.$$

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

$$V_d = 485,4 \text{ kN} < R_d = R_k / \gamma_{R,v} = 2126,2 / 1,40 = 1518,7 \text{ kN}.$$

**Wniosek: warunek nośności jest spełniony.**

### Sprawdzenie warunku przesunięcia fundamentu rzeczywistego

Całkowite obciążenie poziome fundamentu:

$$H_d = (H_x^2 + H_y^2)^{0,5} = 4,7 \text{ kN}.$$

Obliczeniowy kąt tarcia jest równy  $\delta_d = \varphi'_{cv} / \gamma_{\varphi'} = 22,7^\circ$ .

Opór tarcia na podstawie fundamentu:  $R_k = V_k \cdot \tan \delta_d = 141,3 \text{ kN}$ .

Opór powierzchni bocznej na przesunięcie:  $R_{p,k} = A_b \cdot \sigma_{p0} = 8,6 \text{ kN}$ .

Sprawdzenie warunku na przesuw:

$$H_d = 4,7 \text{ kN} < R_d + \kappa \cdot R_{p,d} = R_k / \gamma_{R,h} + \kappa \cdot R_{p,k} / \gamma_{R,h} = 128,5 + 7,8 = 136,3 \text{ kN}.$$

**Wniosek: warunek przesunięcia jest spełniony.**

## Przebiecie fundamentu

### Zestawienie wyników wymiarowania stopy na przebiecie

Nr komb.	Przekrój	Napr. styczne	Nośność betonu	Min nośność strzemion
		$V_{Ed} \text{ [kPa]}$	$V_{Rd} \text{ [kPa]}$	$V_{Rs} \text{ [kPa]}$
1	1	130	990	-
2	1	111	990	-
3	1	228	990	-
4	1	208	990	-
5	1	253	990	-
6	1	234	990	-
* 7	1	357	990	-
8	1	338	990	-
9	1	117	990	-
10	1	97	990	-
11	1	234	990	-
12	1	214	990	-
13	1	221	990	-
14	1	202	990	-
15	1	103	990	-
16	1	99	990	-
17	1	83	990	-
18	1	83	990	-
19	1	200	990	-
20	1	200	990	-
21	1	187	990	-
22	1	187	990	-
23	1	221	990	-

24	1	205	990	-
----	---	-----	-----	---

Nie jest wymagane zbrojenie fundamentu z uwagi na przebicie.

**Wniosek: warunki wytrzymałości przebicia fundamentu są spełnione.**

### Wymiarowanie stopy na przebicie dla kombinacji obciążenia nr 7

#### Zestawienie obciążeń:

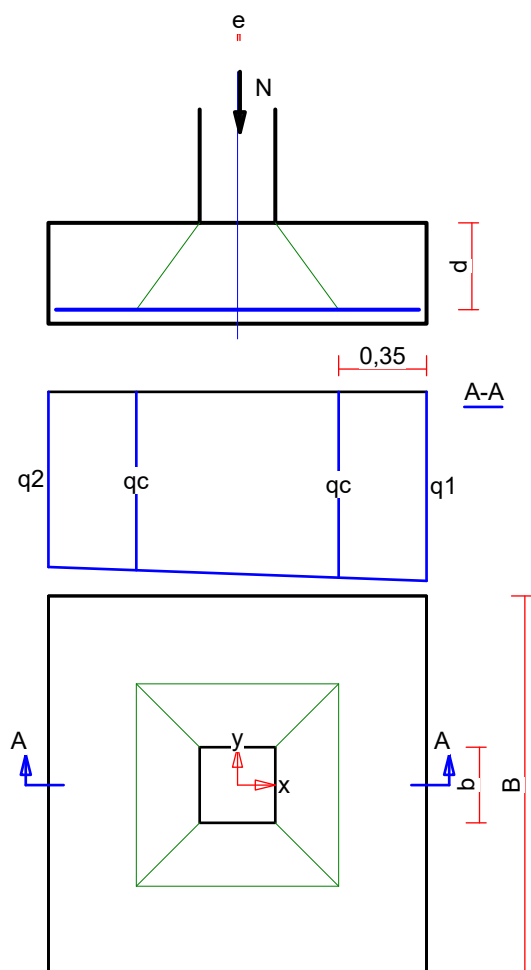
Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa:  $N_r = 449 \text{ kN}$ ,

momenty:  $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$ ,  $M_{yr} = 4,28 \text{ kNm}$ .

Mimośrodowość względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,01 \text{ m}$ ,  $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$ .



#### Oddziaływanie podłoża wywołana obciążeniem zewnętrznym:

Oddziaływania w narożach fundamentu:

$q_1 = 207 \text{ kPa}$ ,  $q_2 = 192 \text{ kPa}$ ,  $q_3 = 192 \text{ kPa}$ ,  $q_4 = 207 \text{ kPa}$ .

Oddziaływania na krawędziach fundamentu w przekroju środkowym A-A:

$q_1 = 207 \text{ kPa}$ ,  $q_2 = 192 \text{ kPa}$ .

Oddziaływanie podłoża w przekroju 1:  $q_c = 195,52 \mid 203,66 \text{ kPa}$ .



### Przebiecie stopy na obwodzie kontrolnym 1:

Naprężenie styczne w przekroju ścinania:  $v_{Ed} = 357 \text{ kPa}$ .

Nośność betonu na ścinanie:  $v_{Rd} = 990 \text{ kPa}$ .

$$v_{Ed} = 357 \text{ kN/m} < v_{Rd} = 990 \text{ kN/m}.$$

### Zginanie fundamentu

#### Zestawienie wyników wymiarowania stopy na zginanie

Nr komb.	Kierunek	Przekrój	Moment zginający		Min. przekrój zbrojenia
			$M_{dod}$	$M_{ujemny}$ [kNm]	
					$A_{s,dł}$   $A_{s,gł}$ [cm <sup>2</sup> ]
1	x	1	23	–	1,6   –
	y	1	23	–	1,6   –
2	x	1	20	–	1,3   –
	y	1	19	–	1,4   –
3	x	1	41	–	2,8   –
	y	1	40	–	2,8   –
4	x	1	37	–	2,5   –
	y	1	36	–	2,6   –
5	x	1	45	–	3,1   –
	y	1	44	–	3,1   –
6	x	1	42	–	2,9   –
	y	1	41	–	2,9   –
*7	x	1	64	–	4,4   –
	y	1	62	–	4,4   –
8	x	1	60	–	4,2   –
	y	1	59	–	4,2   –
9	x	1	21	–	1,4   –
	y	1	20	–	1,4   –
10	x	1	17	–	1,2   –
	y	1	17	–	1,2   –
11	x	1	42	–	2,9   –
	y	1	41	–	2,9   –
12	x	1	38	–	2,6   –
	y	1	37	–	2,6   –
13	x	1	40	–	2,7   –
	y	1	39	–	2,7   –
14	x	1	36	–	2,5   –
	y	1	35	–	2,5   –
15	x	1	18	–	1,3   –
	y	1	18	–	1,3   –
16	x	1	18	–	1,2   –
	y	1	17	–	1,2   –
17	x	1	15	–	1,0   –
	y	1	15	–	1,0   –
18	x	1	15	–	1,0   –
	y	1	15	–	1,0   –
19	x	1	36	–	2,4   –
	y	1	35	–	2,5   –
20	x	1	36	–	2,4   –

	y	1	35		-	2,5		-
21	x	1	34		-	2,3		-
	y	1	33		-	2,3		-
22	x	1	34		-	2,3		-
	y	1	33		-	2,3		-
23	x	1	40		-	2,7		-
	y	1	38		-	2,7		-
24	x	1	37		-	2,5		-
	y	1	36		-	2,5		-

Uwaga: Momenty zginające wyznaczone metodą wydzielenych współników trapezowych.

Obliczone minimalne zbrojenie w przekroju:

na kier. x:  $A_{sx} = 6,7 \mid 0,0 \text{ cm}^2$ , na kier. y:  $A_{sy} = 6,5 \mid 0,0 \text{ cm}^2$ .

**Wniosek: warunki wytrzymałości na zginanie fundamentu spełnione.**

### Wymiarowanie stopy na zginanie dla kombinacji obciążenia nr 7

#### Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa:  $N_r = 449 \text{ kN}$ ,

momenty:  $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$ ,  $M_{yr} = 4,28 \text{ kNm}$ .

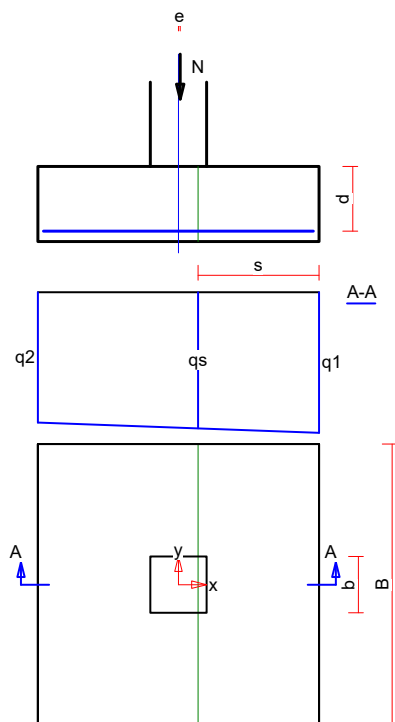
Mimośrodowość względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,01 \text{ m}$ ,  $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$ .

Oddziaływania w narożach fundamentu:

$q_1 = 207 \text{ kPa}$ ,  $q_2 = 192 \text{ kPa}$ ,  $q_3 = 192 \text{ kPa}$ ,  $q_4 = 207 \text{ kPa}$ .

#### Wymiarowanie stopy na zginanie na kierunku x



Oddziaływania na krawędziach fundamentu w przekroju środkowym A-A:

$$q_k = 207 \text{ kPa}, \quad q_p = 192 \text{ kPa}.$$

Oddziaływanie podłoża w przekroju 1:  $s = 0,65 \text{ m}$ ,  $q_s = 201 \text{ kPa}$ .

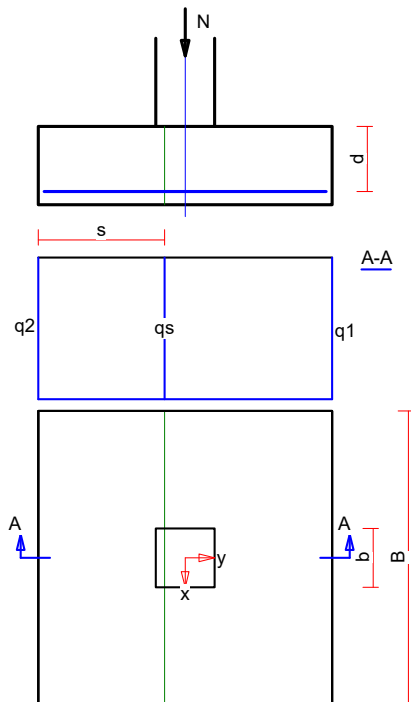
### Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$$M_{sd} = (2 \cdot q_k + q_s) \cdot B \cdot s^2 / 6 = 63,97 \text{ kNm}.$$

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia:  $A_s = 4,40 \text{ cm}^2$ .

### Wymiarowanie stopy na zginanie na kierunku y



Oddziaływania na krawędziach fundamentu w przekroju środkowym A-A:

$$q_k = 200 \text{ kPa}, \quad q_p = 200 \text{ kPa}.$$

Oddziaływanie podłoża w przekroju 1:  $s = 0,65 \text{ m}$ ,  $q_s = 200 \text{ kPa}$ .

### Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$$M_{sd} = (2 \cdot q_p + q_s) \cdot B \cdot s^2 / 6 = 62,28 \text{ kNm}.$$

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia:  $A_s = 4,44 \text{ cm}^2$ .

*Uwaga: W przypadku wystąpienia innych warunków gruntowych od założonych (w szczególności niejednorodnego uwarstwienia w poziomie posadowienia), konieczny jest odbiór wykopów przez projektanta w obecności geologa.*