

## Sily działające na górne węzły dźwigara

$$P_1 = 0,06/0,900 + 0,5 \times 1,204/ \times 3,0 = 0,27 \text{ KN,}$$

$$H_1 = P_1 \times \text{tg } \alpha = 0,10 \text{ KN,}$$

$$P_2 = 0,06/1,204 + 1,574/ \times 0,5 \times 3,0 = 0,25 \text{ KN,}$$

$$H_2 = P_2 \times \text{tg } \alpha = 0,09 \text{ KN,}$$

$$P_3 = 0,06 \times 0,5 \times 2 \times 1,574 \times 3,0 = 0,28 \text{ KN,}$$

$$H_3 = P_3 \times \text{tg } \alpha = 0,10 \text{ KN,}$$

$$P_4 = 0,5/0,23 - 0,06/ \times 0,5 \times 2 \times 1,574 \times 3,0 = 0,40 \text{ KN,}$$

$$H_4 = 0,5/0,23 + 0,06/ \times 0,5 \times 2 \times 1,574 \times \text{tg } \alpha \times 3,0 = 0,25 \text{ KN,}$$

$$P_5 = 0,23 \times 0,5 \times 2 \times 1,574 \times 3,0 = 1,09 \text{ KN,}$$

$$H_5 = P_5 \times \text{tg } \alpha = 0,40 \text{ KN,}$$

$$P_6 = 0,23/1,204 + 1,574/ \times 0,5 \times 3,0 = 0,96 \text{ KN,}$$

$$H_6 = P_6 \times \text{tg } \alpha = 0,35 \text{ KN,}$$

$$P_7 = 0,23/0,900 + 0,5 \times 1,204/ \times 3,0 = 1,04 \text{ KN,}$$

$$H_7 = P_7 \times \text{tg } \alpha = 0,38 \text{ KN.}$$

## Schemat 4a - obciążenie wiatrem wg 3.3.

## Wariant II - wiatr działający z prawej strony.

## Sily działające na górne węzły dźwigara /por. schemat 4/

$$P_1 = -1,04 \text{ KN,}$$

$$H_1 = -0,36 \text{ KN,}$$

$$P_2 = -0,96 \text{ KN,}$$

$$H_2 = 0,35 \text{ KN,}$$

$$P_3 = -1,09 \text{ KN,}$$

$$H_3 = -0,40 \text{ KN,}$$

$$P_4 = 0,40 \text{ KN,}$$

$$H_4 = -0,25 \text{ KN,}$$

Znak "-" oznacza kierunek działania siły przeciwny do kierunku zaznaczonego na schemacie 4.

## 5.2. Reakcje i sily w prętach dźwigara

Reakcje i sily w prętach obliczono za pomocą programu E150 na maszynie matematycznej CompuCorp 425 G model 22 wydruki załączono do egzemplarza archiwalnego Zespołu Sprawdzającego "Bisprol" dla wszystkich możliwych kombinacji obciążeń przyjętych w niniejszym projekcie.

Uwagi:

1. Zgodnie z p. 4.2.2. normy PN-82/B-02000 przyjęto współczynnik jednoczesności obciążeń zmiennych  $\psi = 0,9$  do obciążenia wiatrem przy jednoczesnym obciążeniu śniegiem ze współczynnikiem  $\psi = 1,0$ .

2. Składowa reakcja o kierunku osi X, tj. składowa pozioma, dotyczy podpory stałej. 3. Dodatnie zwroty reakcji przyjęto zgodnie z założonymi zwrotami osi X i Y.

## 5.2.1. Reakcje pionowe i poziome

Lp.	Schematy			Reakcje w kN		
	Pionowe		R <sub>1</sub>	Poziome		H
1	1	33,265	33,265	0	0	0
2	1 + 2	64,640	64,640	0	0	0
3	1 + 2a	67,420	64,640	0	0	0
4	1+2 + /0,9x3/	54,340	60,480	2,450	0	0
5	1+2+/0,9x3a/	57,699	57,121	-2,450	0	0
6	1+2a+/0,9x3/	57,121	57,699	2,450	0	0
7	1+2a+/0,9x3a/	60,480	54,340	-2,450	0	0
8	1+2+/0,9x4/	64,351	63,829	-2,270	0	0
9	1+2+/0,9x4a/	61,048	67,132	2,270	0	0
10	1+2a+/0,9x4/	67,132	61,048	-2,270	0	0
11	1+2a+/0,9x4a/	63,829	64,801	2,270	0	0
12	1+3	22,725	26,325	2,540	0	0
13	1+3a	26,114	22,956	-2,410	0	0
14	1+4	33,025	29,675	-2,280	0	0
15	1+4a	29,463	32,967	2,310	0	0

## 5.2.2. Ekstremalne sily podluzne w pretach dzwigara

Numery pretow	Sciskajace		Rozciagajace	
	P	Schematy	P	Schematy
1 ! 9			156,615	1+2a+0,9x4a/
2 ! 8			164,970	1+2a+0,9x4a/
3 ! 7			123,485	1+2 ! 1 + 2a
4 ! 6			89,196	1+2, 1+2a
5			88,011	1+2 ! 1+2a
10 ! 19	-165,883	1+2 ! 1 + 2a		
11 ! 18	-145,295	1+2		
12 ! 17	-139,807	1+2a		
13 ! 16	-121,793	1+2a		
14 ! 15	-126,524	1+2 ! 1+2a		
20 ! 35			9,562	wszystkie
21 ! 34	-28,667	1+2a+0,9x4a/		
22 ! 33	-8,675	1+2+0,9x4a/		
23 ! 32			18,070	1 + 2a + 0,9 x 4/
24 ! 31	-20,772	1+2+0,9x4a/		
25 ! 30	-13,171	1+2+0,9x4a/		
26 ! 29			46,385	1+2+0,9x4a/
27 ! 28			4,277	wszystkie

## 5.3. Momenty zginajace w pretach pasa gornego

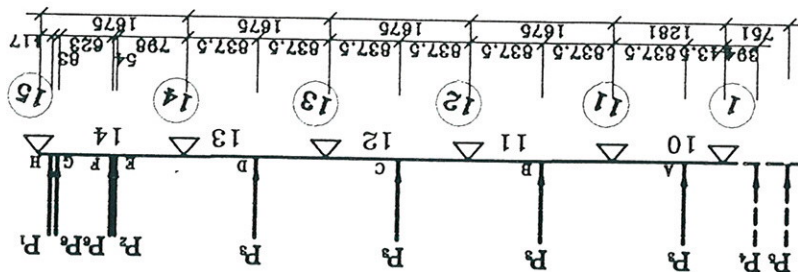
Pas gorny w przestach midzywzlotowych obciazony jest platwiami oraz wymianami wentylatora. Obciazenia obliczeniowe pasa gornego prostopadłe do potaci dachowej /wyliczone w oparciu o obciazenia platwi i wymian wentylatora/:

a/ reakcja od platwi kalenicowej, to jest z pola o szerokosci  $b = 0,117 + 0,5 \times 0,760 = 0,497 \text{ m}$ ;

$$P_1 = \frac{1,33 \times 0,497}{3,0} = 2,37 \text{ kN}, \quad 0,8375$$

Belkę policzono na maszynie matematycznej CompuCorp 425G wg schematu C-K.1.3./2/, Wydruki zamieszczono w egzemplarzu archiwalnym.

$$M_1 = -1,80 \times 0,751 - 2,85 \times 0,394 = -2,47 \text{ kNm.}$$



Schemat statyczny pasa górnego

$$P_6 = 0,5 \times 0,5 \times 6,0 \times \cos \alpha \times 1,2 + 0,5 \times 3,0 \times 0,07 = 1,80 \text{ kN.}$$

f/ reakcja od wymiann wentylatora:

$$0,8375$$

$$P_5 = \frac{1,33 \times 0,3785}{3,0} \times 3,0 = 1,80 \text{ kN,}$$

$$1,33 \times 0,3785$$

$$b = 0,200 + 0,5 \times 0,357 = 0,3785 \text{ m.}$$

e/ reakcja od płyt okapowej, to jest z pola o szerokości

$$0,8375$$

$$P_4 = \frac{1,33 \times 0,5973}{3,0} \times 3,0 = 2,85 \text{ kN,}$$

$$1,33 \times 0,5973$$

$$b = 0,5 / 0,8375 + 0,3571 = 0,5973 \text{ m.}$$

d/ reakcja od płyty przykrapowej, to jest z pola o szerokości

$$P_3 = 1,33 \times 3,0 = 3,99 \text{ kN,}$$

$$b = 0,8375 \text{ m.}$$

c/ reakcja od płyty pośrednich, to jest z pola o szerokości

$$0,8375$$

$$P_2 = \frac{1,33 \times 0,779}{3,0} \times 3,0 = 3,71 \text{ kN,}$$

$$1,33 \times 0,779$$

$$b = 0,5 / 0,798 + 0,7601 = 0,779 \text{ m.}$$

b/ reakcja od płyty przykalencowej, to jest z pola o szerokości

**Momenty podporowe:**

$$M_1 = -2,47 \text{ kNm}, \quad M_{11} = -0,22 \text{ kNm}, \quad M_{12} = -1,04 \text{ kNm},$$

$$M_{13} = -0,62 \text{ kNm}, \quad M_{14} = -1,50 \text{ kNm}, \quad M_{15} = 0.$$

**Sily poprzeczne:**

$$T_P^1 = 4,37 \text{ kN}, \quad T_P^{11} = 0,38 \text{ kN}, \quad T_P^{12} = 2,49 \text{ kN}, \quad T_P^{12} = 2,25 \text{ kN},$$

$$T_P^{13} = 1,74 \text{ kN}, \quad T_P^{13} = 1,47 \text{ kN}, \quad T_P^{14} = 2,52 \text{ kN}, \quad T_P^{14} = 4,10 \text{ kN},$$

$$T_P^{15} = 5,58 \text{ kN}.$$

**Momenty przęslowe:**

$$M_A^{10} = -2,47 + 4,37 \times 0,4435 = -0,53 \text{ kNm},$$

$$M_B^{11} = -0,22 + 1,50 \times 0,8375 = 1,04 \text{ kNm},$$

$$M_C^{12} = -1,04 + 2,25 \times 0,8375 = 0,84 \text{ kNm},$$

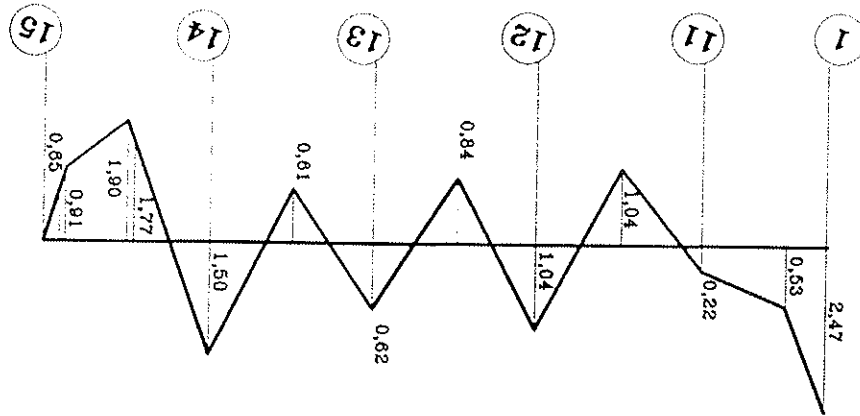
$$M_D^{13} = -0,62 + 1,47 \times 0,8375 = 0,61 \text{ kNm},$$

$$M_E^{14} = -1,50 + 4,10 \times 0,798 = 1,77 \text{ kNm},$$

$$M_F^{14} = -1,50 + 4,10 \times 0,852 - 1,80 \times 0,054 = 1,90 \text{ kNm},$$

$$M_G^{14} = -1,50 + 4,10 \times 1,475 - 3,71 \times 0,677 - 1,80 \times 0,623 = 0,91 \text{ kNm},$$

$$M_H^{14} = -5,58 \times 0,117 = 0,65 \text{ kNm}.$$

**5.4. Wymiarowanie wg PN-90/B-03200**

ElementyX dzwigara projektuje się ze stali S13SX.

Współczynnik sprężystości podłużnej  $E = 205 \text{ GPa}$ .

Współczynnik sprężystości poprzecznej  $G = 80 \text{ GPa}$ .

Wytrzymałość obliczeniowa stali  $f_d = 215 \text{ MPa}$ .

Smukłość porównawcza wg wzoru /38/:

$$\lambda_p = 84 \quad \frac{f}{215} = 84$$

### 5.4.1. Pas górny

Pas górny dźwigara projektuje się z L 100 x 100 x 11.

Cechy geometryczne:

$$h = b = 10,0 \text{ cm,}$$

$$t_w = t = 1,1 \text{ cm, } r = 1,1 \text{ cm,}$$

$$e_1 = 2,74 \text{ cm,}$$

$$e_2 = 10,0 - 2,74 = 7,26 \text{ cm,}$$

$$A = 20,9 \text{ cm}^2,$$

$$J_x = 179,0 \text{ cm}^4,$$

$$W_x = 24,6 \text{ cm}^3,$$

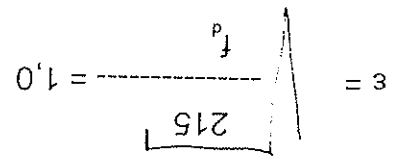
$$W_x = 179,0$$

$$W_x = \frac{179,0}{2,74} = 65,3 \text{ cm}^3,$$

$$i_x = 2,92 \text{ cm,}$$

$$i_y = 2,05 \text{ cm.}$$

Sprawdzenie klasy przekroju wg tabl. 6:



- szerokość stopki od brzegu do zaokrąglenia środkowego:  
 $b_f = 10,0 \times 0,5 - 1,1 - 1,1 - 1,1 \times 0,5 = 3,45 \text{ cm,}$

- szerokość środkowego od brzegu do zaokrąglenia stopki:  
 $h_w = 10,0 - 1,1 - 1,1 - 1,1 = 7,8 \text{ cm,}$

- warunek dla stopki:

$$\frac{b_f}{t_p} = \frac{3,45}{1,1} = 3,14 > 9 \quad \epsilon = 9,$$

- warunek dla środniaka:

$$\frac{h^w}{l^w} = \frac{7,8}{1,1} = 7,09 > 9 \varepsilon = 9,$$

Przekrój spełnia warunki dla przekroju klasy 1 w założeniu ściskania osiowego. Tymbardziel spełnia warunki przy ścisaniu i zginaniu.

Nośność obliczeniowa przekroju przy osiowym ścisaniu wg wzoru /33/:

$$N^{rc} = \psi A f_d \text{ dla przekroju klasy 1: } \psi = 1,$$

$$N^{rc} = 20,9 \times 215 \times 10^{-1} = 449,35 \text{ kN.}$$

Nośność obliczeniowa przekroju przy jednokierunkowym zginaniu dla przekroju

klasy 1 wg wzoru /42/:

$$M_R = \alpha^p W f_d \quad \alpha^p = 1,$$

$$M^{rx1} = 65,3 \times 215 \times 10^{-3} = 14,04 \text{ kNm,}$$

$$M^{rx2} = 24,6 \times 215 \times 10^{-3} = 5,28 \text{ kNm.}$$

### Sprawdzenie nośności /stateczności/ pręta Nr 10 :

Siła ścisająca:  $N = 165,883 \text{ kN.}$

Momenty zginające:

$$M_1 = -2,47 \text{ kNm,}$$

$$M_0 = -2,47 - 0,22 / 0,5 = -1,35 \text{ kNm,}$$

$$M_A = -0,53 \text{ kNm,}$$

$$M_{11} = -0,22 \text{ kNm.}$$

Przyjęto do obliczenia nośności pręta:

$$\beta^x M^x = -1,35 \text{ kNm.}$$

$$\beta^y M^y = 0.$$

Zwężenia nie uwzględnia się:  $\varphi_L = 1,0$

Długość wyboczeniowa pręta:

$$l_{ex}^x = \mu^x l_{ox} = 1,0 \times 128,1 = 128,1 \text{ cm,}$$

$$l_{ey}^y = \mu^y l_{oy} = 1,0 \times 83,75 = 83,75 \text{ cm.}$$

Smukłości gięte:

$$\lambda^x = \frac{l^x}{l_{ex}} = \frac{2,92}{128,1} = 43,87$$

$$\lambda^y = \frac{l^y}{l_{ey}} = \frac{2,05}{83,75} = 40,85$$

Smukłości względne i współczynniki wyboczeniowe z tabl. 11, wg krzywej wybocze-  
niowej "C" /por. tabl. 10 normy/:

$$\lambda^x = \frac{\lambda^x}{\lambda_p} = \frac{43,87}{84} = 0,52, \quad \phi^x = 0,854,$$

$$\lambda^y = \frac{\lambda^y}{\lambda_p} = \frac{40,85}{84} = 0,49, \quad \phi^y = 0,870.$$

Składnik poprawkowy  $\Delta_i$  wg wzoru /57/:

$$\Delta_i = 1,25 \phi \lambda^2 \frac{\beta^i M_{i,max}}{N} \leq 0,1$$

$$\Delta^x = 1,25 \times 0,854 \times 0,52^2 \times \frac{1,35}{165,883} = 0,03$$

Nośność /stacność/ pręta ściskanego i zginanego sprawdza się wzorem /58/:

$$N + \beta^x M_{x,max} + \beta^y M_{y,max} + \phi^i N_{RC} + \phi^i M_{RX} + M_{RY} \leq 1 - 0,03 = 0,97$$

$$165,883 + 1,35 + 5,28 + 0,854 \times 449,35 = 0,43 + 0,26 = 0,69 > 1 - 0,03 = 0,97.$$



Sprawdzenie nośności /stateczności pręta Nr 14:

Siła ściskająca:  $N = 126.524 \text{ kN}$ .

Momenty zginające:

$M_4 = -1,50 \text{ kNm}$ ,

$M_F = +1,90 \text{ kNm}$ ,

Przyjęto do obliczenia nośności pręta:

$\beta^x M_x = M_{x_{\max}} = M_F = +1,90 \text{ kNm}$ ,

$\beta^x = 1,0$ ,

$\beta^y M_y = 0$ .

Zwężenia nie uwzględnia się:  $\varphi = 1,0$

Długość wyboczeniowa pręta:

$l^{ex} = \mu^x l^{ox} = 1,0 \times 167,5 = 167,5 \text{ cm}$ ,

$l^{ey} = \mu^y l^{oy} = 1,0 \times 79,8 = 79,8 \text{ cm}$ .

Smukłości gięte:

$$l^{ex} = \frac{l^{ex}}{167,5} = \frac{167,5}{167,5} = 1,0$$

$$l^{ey} = \frac{l^{ey}}{79,8} = \frac{79,8}{79,8} = 1,0$$

$$\lambda_y = \frac{l^{ey}}{i_y} = \frac{79,8}{2,05} = 38,93$$

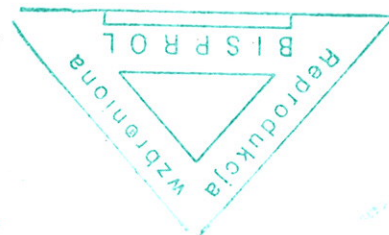
$$\lambda_x = \frac{l^{ex}}{i_x} = \frac{167,5}{2,92} = 57,36$$

Smukłości względne i współczynniki wyboczeniowe z tabl. 11, wg krzywej wybocze-  
niowej "C" /por. tabl. 10 normy/:

$$\bar{\lambda}_x = \frac{\lambda_x}{57,36} = \frac{57,36}{57,36} = 1,0 \quad \varphi_x = 0,757,$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{38,93} = \frac{38,93}{38,93} = 1,0 \quad \varphi_y = 0,887.$$

Składnik poprawkowy  $\Delta$ , wg wzoru /57/:



$$\Delta^x = 1,25 \times 0,757 \times 0,68^2 \times \frac{1,90}{126,524} \times \frac{14,04}{449,35} = 0,02$$

Nośność /stateczność/ pręta ściskanego i zginanego sprawdza się wzorem /58/:

$$\frac{126,524}{1,90} + \frac{0,757 \times 449,35}{14,04} = 0,37 + 0,14 = 0,51 < 1 - 0,02 = 0,98$$

#### 5.4.2. Pas dolny

Pas dolny projektuje się z L 60 x 60 x 7,

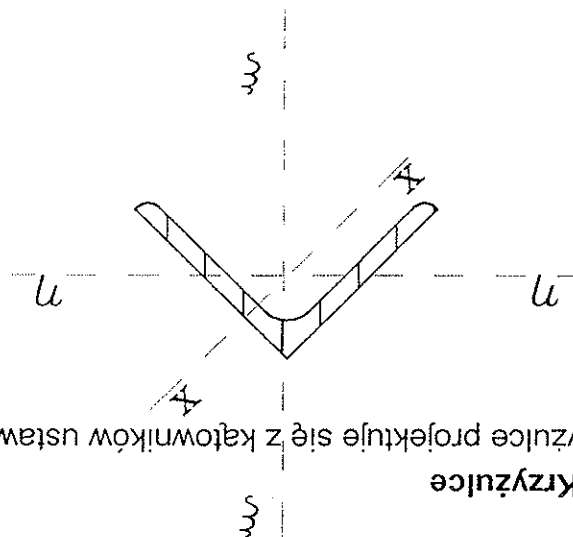
Sprawdzone pole przekroju:  $A^w = A = 7,94 \text{ cm}^2$ ,

Maksymalna siła rozciągająca:  $N = 164,970 \text{ kN}$ .

Nośność wg wzoru /32/:  $A^w f^d = 7,94 \times 215 \times 10^{-1} = 170,71 \text{ kN} > N$ .

#### 5.4.3. Krzyżlice

Krzyżlice projektuje się z kątowników ustawionych w płaszczyźnie kratownicy.



Pręty rozciągane oznaczone numerami: 20, 23, 27, 28, 32 i 35 przyjęto z L 30x30x4  
 $N^{\max} = 18,070 \text{ kN}$ ,  
 $A = 2,27 \text{ cm}^2$ ,  $A^w = 2,27 - 0,4 \sqrt{2 \times 0,6^2} = 1,93 \text{ cm}^2$ ,  
 $A^w f^d = 1,93 \times 215 \times 10^{-1} = 41,50 \text{ kN} > N$

Pręty rozciągane nr 26 i nr 29 przyjęto z L 40x40x5  
 $N = 46,385 \text{ kN}$ ,  
 $A = 3,79 \text{ cm}^2$ ,  $A^w = 3,79 - 0,5 \sqrt{2 \times 0,6^2} = 3,37 \text{ cm}^2$ ,  
 $A^w f^d = 3,37 \times 215 \times 10^{-1} = 72,45 \text{ kN} > N$

Pręty ściskane nr 21 i nr 34 przyjęto z L 60x60x6

Cechy geometryczne przekroju:

$$A = 6,71 \text{ cm}^2, i^x = 1,82 \text{ cm}, i^y = 2,28 \text{ cm}, i^z = 1,17 \text{ cm}.$$

Sprawdzenie klasy przekroju:  $\epsilon = 1,0, 60/6 = 10 = 10 \epsilon = 10$ .

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 2.

Nośność obliczeniowa przekroju przy osiowym ściskaniu wg wzoru /33/:

$$N_{RC} = \psi A f_d, \quad \psi = 1,0.$$

$$N_{RC} = 6,91 \times 215 \times 10^{-1} = 148,56 \text{ kN}.$$

Siła podłużna ściskająca:  $N = 28,667 \text{ kN}$ .

Długość krzyżulca w osiach węzłów:  $l = 240,1 \text{ cm}$

Współczynniki długości wybooczeniowej:  $\mu^x = 0,8, \mu^y = 1,0$ .

Smukłości giętne:

$$\lambda^y = \frac{0,8 \times 240,1}{1,17} = 164,17$$

$$\lambda^z = \frac{1,0 \times 240,1}{2,28} = 105,31$$

Smukłość względna przy wybooczeniu w płaszczyźnie kratownicy:

$$\lambda = \frac{164,17}{1,95} = 84$$

Współczynnik wybooczeniowy z tabl. 11. wg krzywej wybooczeniowej "C" /por. tabl. 10 normy/  $\phi = 0,226$ .

Sprawdzenie nośności /stateczności / wg wzoru /39/:

$$N = \frac{\phi N_{RC}}{28,667} = \frac{0,226 \times 148,56}{28,667} = 0,85 < 1$$

Pręty ściskane nr 22 i nr 33 przyjęto z L 30 x 30 x 4

Cechy geometryczne przekroju:

$$A = 2,27 \text{ cm}^2, i^x = 0,89 \text{ cm}, i^y = 1,12 \text{ cm}, i^z = 0,57 \text{ cm}.$$

Sprawdzenie klasy przekroju:  $\epsilon = 1,0, 30/4 = 7,5 < 9 \epsilon = 9$ ,

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

$$N_{RC} = 2,27 \times 215 \times 10^{-1} = 48,80 \text{ kN.}$$

$$N = 8,675 \text{ kN, } l = 128,1 \text{ cm.}$$

$$\lambda_n = \frac{0,8 \times 128,1}{0,57} = 179,79,$$

$$\lambda_s = \frac{128,1}{1,12} = 114,38,$$

$$\bar{\lambda} = \frac{84}{179,79} = 2,14,$$

$$\lambda = 0,193, \quad \phi = 0,193,$$

$$N = \frac{\phi N_{RC}}{8,675} = \frac{0,193 \times 48,80}{8,675} = 0,92 < 1,$$

Pręty ściskane nr 24 i nr 31 przyjęto z L 60 x 60 x 6

Cechy geometryczne przekroju oraz nośność obliczeniowa  $N_{RC}$

jak prętów nr 21 i nr 34

$$N = 20,772 \text{ kN, } l = 176,9 \text{ cm,}$$

$$\lambda_n = \frac{0,8 \times 176,9}{1,17} = 120,96,$$

$$\lambda_s = \frac{1,0 \times 176,9}{2,28} = 77,59,$$

$$\lambda = \frac{84}{120,96} = 1,44,$$

$$\phi = 0,361,$$

$$N = \frac{\phi N_{RC}}{20,772} = \frac{0,361 \times 148,56}{20,772} = 0,39 < 1,$$

Pręty ściskane nr 25 i nr 30 przyjęto z L 60x60x6

Cechy geometryczne przekroju oraz nośność obliczeniowa  $N_{RC}$  jak dla prętów nr 21

i nr 34.

$$N = 13,171 \text{ kN, } l = 229,5 \text{ cm,}$$

$$\lambda_n = \frac{0,8 \times 229,5}{1,17} = 156,92,$$

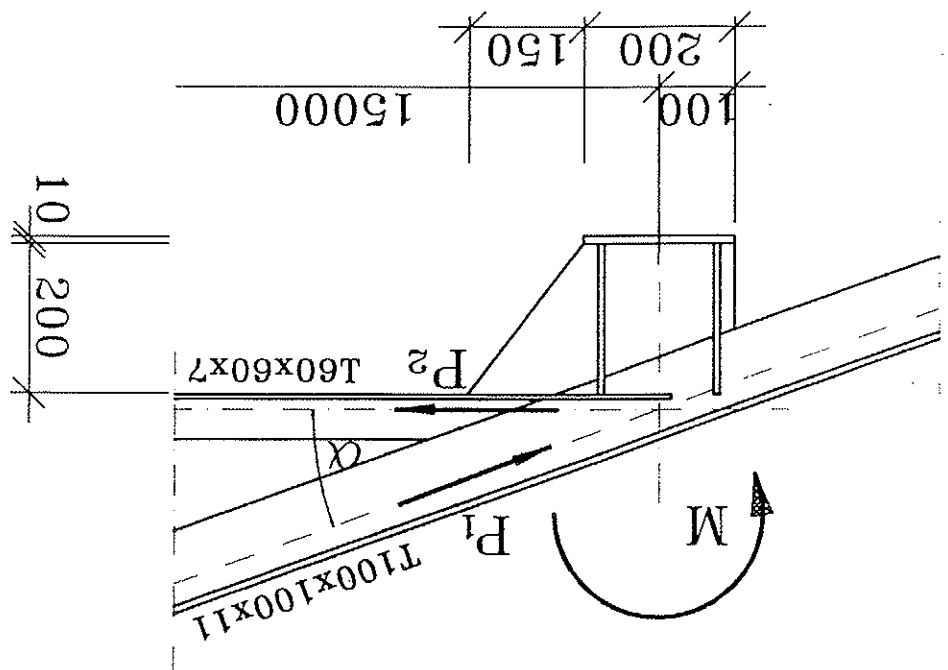
$$\lambda_s = \frac{1,0 \times 229,5}{2,28} = 100,66,$$

$$\lambda = \frac{156,92}{84} = 1,87, \quad \phi = 0,242,$$

$$N = 13,171 \quad \phi N_{Rc} = 0,242 \times 148,56 = 35,81$$

$$35,81 < 13,171$$

5.4.4. Węzły  
Węzeł podporowy



$$\alpha = 20^\circ \quad \cos \alpha = 0,940,$$

$$P_1 = -165,883 \text{ kN},$$

$$P_2 = 156,615 \text{ kN},$$

$$M = -2,47 \text{ kNm}.$$

Spoina czołowa między blachą węzłową i pasem górnym.

$$a = 11 - 2 \times 0,5 \times 100 \times 0,04 = 7 \text{ mm,}$$

$$l = \frac{200}{\cos \alpha} = 213 \text{ mm,}$$

$$\sigma_2 = \frac{165,883 \times 10}{0,7 \times 21} = 113 \text{ MPa} < 0,6 f_d = 0,6 \times 215 = 129 \text{ MPa,}$$

$$\sigma = \frac{6M}{6 \times 2,47 \times 10^3} = \frac{a \times h^2}{0,7 \times 21^2} = 48 \text{ MPa} < f_d = 215 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{1}{48} \left( \frac{1}{2} + 3 \times 113^2 \right) = 202 \text{ MPa} < 1,1 f_d = 1,1 \times 215 = 236 \text{ MPa,}$$

Spoina pachwinowa między blachą węzłową i pasem dolnym,

$$a = 3 \text{ mm,}$$

$$2l = \frac{156,615 \times 10}{0,85 \times 215 \times 3} = 286 \text{ mm,}$$

$$L = 0,5 \times 286 = 143 \text{ mm, przyjęto } = 3 \times 100 \text{ mm.}$$

Blacha węzłowa

$$2P = -165,883 \times \cos \alpha + 156,615 = 0,74 \text{ kN,}$$

$$2M = -2,47 + 0,74 \times 0,2166 = -2,31 \text{ kNm,}$$

przyjęto blachę o grubości 8 mm.

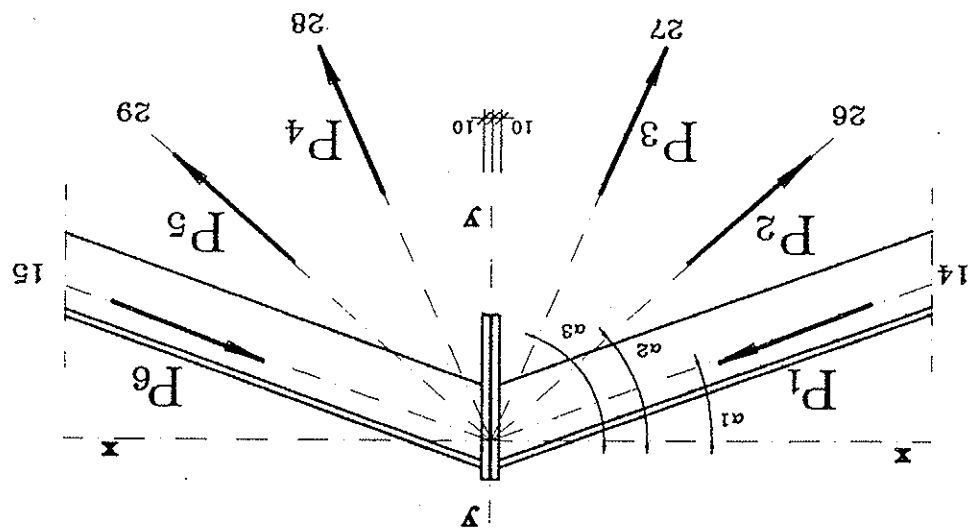
$$\sigma = \frac{0,8 \times 20^2}{2,31 \times 10^3 \times 6} = 43 \text{ MPa} < f_d,$$

Spoina między blachą pionową i poziomą

$$\sigma = \frac{2,31 \times 10^3 \times 6}{2 \times 0,3 \times 20^2} = 58 \text{ MPa} < 0,8 f_d = 0,8 \times 2,15 = 172 \text{ MPa,}$$

przyjęto 2 spoiny pachwinowe o grubości 3 mm.

**Węzeł kalenicowy**



**Sily ekstremalne:**

$P_1 = P_6 = -126,524 \text{ kN /schemat obciążen 1 + 2 lub 1 + 2a/}$   
 $P_2 = P_5 = 46,385 \text{ kN /schemat obciążen 1 + 2 + /0,9 x 4a/ lub 1 + 2a /0,9x4/}$   
 $P_3 = P_4 = 4,277 \text{ kN.}$

**Nachylenie przętów**

$\alpha_1 = 20^\circ$

$$\text{tg } \alpha_2 = \frac{1,5 \times 1574}{2730} = 1,1563$$

$$\alpha_2 = 49^\circ 08' 44''$$

$$\sin \alpha_2 = 0,7564, \cos \alpha_2 = 0,6541,$$

2730

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{0,5 \times 1574}{3,4689} = 3,4689$$

$$\alpha_3 = 73^\circ 55' 08''$$

$$\sin \alpha_3 = 0,9609, \quad \cos \alpha_3 = 0,2770$$

Najniekorzystniejszy układ sił w prętach przy obliczeniach połączeń śrubowych występuje w kombinacji obciążeń wg sumy schematów 1+2a + 1/0,9x4a/ lub 1+2+1/0,9x4/:

$$P_1 = -118,576 \text{ kN}$$

$$P_2 = 37,900 \text{ kN}$$

$$P_3 = 4,277 \text{ kN}$$

### Spojna między pasem górnym i blachą łącznikową

$$P_{sc} = 126,524 \times \sin \alpha_1 = 43,27 \text{ kN}$$

$$l_{sp} = 110 - 2 \times 11/ : \cos \alpha_1 = 94 \text{ mm}$$

przyjęto obustronne spoiny pachwinowe o grub. 3 mm,

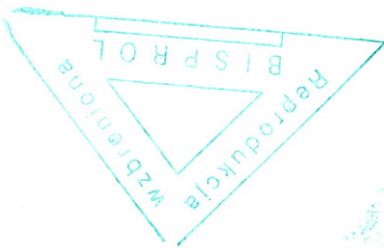
$$\tilde{\sigma} = \frac{43,27 \times 10}{2 \times 0,3 \times 9,4} = 77 \text{ MPa} < 0,8 f_d$$

### Spojna między blachą węzłową krzyżulców i blachą łącznikową

Przyjęto obustronne spoiny pachwinowe o grub. 3 mm i długości minimalnej 50 mm

$$P_{sc} = 46,385 \times \sin \alpha_2 + 4,277 \times \sin \alpha_3 = 39,20 \text{ kN}$$

$$\tilde{\sigma} = \frac{39,20 \times 10}{2 \times 0,3 \times 5,0} = 131 \text{ MPa} < 0,8 f_d$$



### Montażowe połączenie połówek dźwigara

$$P_{obl} = 118,576 \times \cos \alpha_1 - 37,900 \times \cos \alpha_2 - 4,277 \times \cos \alpha_3 = 85,45 \text{ kN}$$

$$P_{sc} = 118,576 \times \sin \alpha_1 - 37,900 \times \sin \alpha_2 - 4,277 \times \sin \alpha_3 = 7,78 \text{ kN}$$

Potrzebny przekrój śrub:

$$A_{sr} = \frac{85,45 \times 10}{7,78 \times 10} + \frac{356}{120} = 2,40 + 0,65 = 3,05 \text{ cm}^2$$



Przyjęto 4 śruby M-20:  $A_r = 4 \times 2,20 = 8,80 \text{ cm}^2$ , przy założeniu, że pracują tylko 2

śruby:

$$A = 2 \times 2,20 = 4,40 \text{ cm}^2 > A_{sr} = 3,05 \text{ cm}^2$$

Wzięty pośrednie krzyżulców z pasami - dla L 30 x 30 x 4

$$P^{\max} = 18,070 \text{ kN}, e = 1,24 \text{ cm},$$

$$M = 18,070 \times 1,24 \times 10^{-2} = 0,22 \text{ kNm},$$

przyjęto obustronne spoiny pachwinowe o grub. 3 mm i minimalnej długości 50 mm,

$$A_{sp} = 2 \times 0,3 \times 5 = 3,0 \text{ cm}^2,$$

$$W_{sp} = \frac{2 \times 0,3 \times 5^2}{6} = 2,5 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_a = \frac{18,070 \times 10}{3,0} = 60 \text{ MPa} < 0,8 f_d$$

$$\sigma_M = \frac{0,22 \times 10^3}{2,5} = 88 \text{ MPa} < 0,8 f_d$$

$$\tau = \sqrt{60^2 + 88^2} = 107 \text{ MPa} < 1,1 \times 0,8 \times f_d = 189 \text{ MPa},$$

- dla L 40 x 40 x 5

$$P^{\max} = 46,385 \text{ kN}, e = 1,65 \text{ cm},$$

$$M = 46,385 \times 1,65 \times 10^{-2} = 0,77 \text{ kNm},$$

przyjęto obustronne spoiny pachwinowe o grub. 3 mm i minimalnej długości 75 mm,

$$A_{sp} = 2 \times 0,3 \times 7,5 = 4,5 \text{ cm}^2,$$

$$W_{sp} = \frac{2 \times 0,3 \times 7,5^2}{6} = 5,6 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_a = \frac{46,385 \times 10}{4,5} = 103 \text{ MPa} < 0,8 f_d$$

$$\sigma_M = \frac{0,77 \times 10^3}{5,6} = 138 \text{ MPa} < 0,8 f_d$$

- dla L 60 x 60 x 6

$$\sigma = \sqrt{103^2 + 138^2} = 172 \text{ MPa} < 1,1 \times 0,8 \times f_d = 189 \text{ MPa}$$

$$P^{\max} = 28,667 \text{ kN}, \quad e = 2,40 \text{ cm},$$

$$M = 28,667 \times 2,40 \times 10^{-2} = 0,69 \text{ kNm},$$

przyjęto obustronne spoiny pachwinowe o grub. 3 mm i minimalnej długości 70 mm,

$$A^{\text{sp}} = 2 \times 0,3 \times 7,0 = 4,2 \text{ cm}^2,$$

$$W^{\text{sp}} = \frac{2 \times 0,3 \times 7,0^2}{6} = 4,9 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_a = \frac{28,667 \times 10}{4,2} = 68 \text{ MPa} < 0,8 f_d$$

$$\sigma_M = \frac{0,69 \times 10^3}{4,9} = 141 \text{ MPa} < 0,8 f_d$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{68^2 + 141^2}}{4,9} = 157 \text{ MPa} < 1,1 \times 0,8 \times f_d = 189 \text{ MPa}$$

**Wzrost montażowy pasa dolnego**  
Wzrost projektuje się w osi kalenicy.

$$P = 88,011 \text{ kN},$$

potrzebna długość spoiny między obcietym teownikiem a blachą przy grubości spoiny  $a = 4 \text{ mm}$ :

$$l = \frac{88,011 \times 10^3}{2 \times 4 \times 0,8 \times 215} = 64 \text{ mm, przyjęto } l = 150 \text{ mm.}$$

**Połączenie śrubowe pasa dolnego kratownicy:**

$$A = 2 \times 0,8 \times 4,5 = 7,2 \text{ cm}^2,$$

$$f_d = 215 \text{ MPa}, \quad R_s = 235 \text{ MPa}, \quad R_m = 375 \text{ MPa}.$$

Przyjęto śruby M20-4,8/4/ wg tablicy Z2-2 Normy:

$$S_{Rv} = 59,3 \text{ kN}.$$

Sprawdzone pole przekroju wg wzorów /5/ i /6/ Normy, przyjmując  $d_o = 22 \text{ mm}$ :

$$A^w = A_n \frac{R_s}{0,8 R_m} + (A - A_n) \frac{R_s}{0,8 R_m}$$

$$A^w = \frac{18 - 2,21 \times 0,9 \times \frac{235}{0,8 \times 375} + 7,2 - 8 \times 0,9}{235} = 6,66 \text{ cm}^2.$$

Nośność przekroju pręta:

$$N = N_{Rt} = A_y f_d = 6,66 \times 215 \times 10^{-1} = 143,19 \text{ kN}$$

Przyjęto dwie blachy łączące 45 x 8 mm:

$$A_p^w = 2 \times 4,5 \times 0,8 = 7,2 \text{ cm}^2 > A^w$$

Nośność śruby ze względu na docisk do ścianki otworu, przyjmując  $\alpha = 2,0$ ,

z tabl. 16 Normy:

$$S_{Rp} = \alpha f_d \Sigma t = 2,0 \times 2,15 \times 10^{-1} \times 2,0 \times 0,9 = 77,40 \text{ kN}$$

$$2 S_{Rv} = 2 \times 59,3 = 118,6 \text{ kN}.$$

Potrzebna ilość śrub

$$n = \frac{88,011}{77,40} = 1,14, \text{ przyjęto } n = 2.$$

Rozstaw śrub wg tabl. 15 i 16 Normy:

$$a_1 = 1,5 d = 1,5 \times 2,0 = 30 \text{ mm, przyjęto } a_1 = 40 \text{ mm,}$$

$$a_3 = 2,5 d = 2,5 \times 2,0 = 50 \text{ mm, przyjęto } a_3 = 60 \text{ mm,}$$

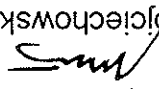
$$\alpha = \frac{40}{60} = 2 > 2,5, \alpha = \frac{20}{60} = 2,25 > 2,5.$$

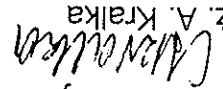
Długość połączenia:  $l = 60 \text{ mm} < 15 d = 15 \times 2,0 = 300 \text{ mm}$ , a więc redukcja nośności wg wzoru /78/ Normy nie jest potrzebna:  $\eta = 1,0$ .

Nośność połączenia wg wzoru /77/ Normy:

$$F \leq F_{Rj} = n \eta S_{Rj}$$

$$F_{Rvj} = 2 \times 1,0 \times 77,40 = 154,80 \text{ kN} > F = P = 88,011 \text{ kN.}$$

Obliczenia sprawdził:  
  
inż. W. Wojciechowski

Obliczenia wykonał:  
  
inż. A. Kraika