

Politechnika Wrocławska

Wrocław, 2016

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Zakład konstrukcji betonowych

Prefabrykowana hala żelbetowa

Wykonał:

Piotr Kopka

Sprawdzający:

Dr inż. Wojciech Pawlak

Opis techniczny

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi temat ćwiczenia projektowego z przedmiotu Konstrukcje Betonowe-Obiekty wydany przez dr inż. Wojciecha Pawlaka.

2. Podstawa formalna

Podstawę formalną stanowią następujące dokumenty:

- PN-EN 1990:2004 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji
- PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- PN-EN 1991-1-2:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.
- PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne - Obciążenie śniegiem.
- PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu - Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- PN-EN 1992-1-2: 2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu - Część 1-2: Reguły ogólne - Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe

3. Podstawa merytoryczna

Podstawę merytoryczną stanowią następujące publikacje:

- Janusz Pędziwiatr, „Wstęp do projektowania konstrukcji żelbetowych wg PN-EN 1992-1:2008.”, DWE 2010
- Agnieszka Golubińska, Michał Knauff, Piotr Knyziak, „Tablice i wzory do projektowania konstrukcji żelbetowych z przykładami obliczeń”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014
- Andrzej Łapko, Zeszyt 2 Builder „Projektowanie konstrukcji żelbetowych”

4. Przedmiot opracowania

Przedmiotem opracowania jest zaprojektowanie żelbetowego słupa w hali prefabrykowanej.

Lokalizacja obiektu to Drezdenko. Hala znajduje się w II strefie śniegowej i I strefie wiatrowej. Hala składa się z dwóch naw o rozpiętości 25,35 m oraz 20,87 m i wysokości odpowiednio 15,33 m oraz 10,25 m. W wyższej nawie zaprojektowano suwnicę o udźwigu 125 kN. Klasa konstrukcji to S4.

Przyjęte materiały to beton C35/45 oraz stal B500SP.

5. Cel i zakres opracowania

Celem jest wykonanie projektu żelbetowego słupa w hali prefabrykowanej

Zakres opracowania to:

- Opis techniczny
- Obliczenia statyczno- wytrzymałościowe
- Rysunki architektoniczno – budowlane

6. Opis rozwiązań konstrukcyjnych

Hala ma wymiary 46,15 m x 132,60 m. Obudowę dachu stanowią płyty Kingspan KS1000 X-DEK 80 mm. Są one ułożone na płatwiach strunobetonowych Consolis P-200/600/12 o wysokości 600 mm, których rozstaw wynosi 5 m na wyższej nawie, 2 m na niższej nawie w obrębie worka śnieżnego oraz 3,9 m w pozostałej części nawy. Obudowę ścian stanowią płyty Kingspan KS1000 AWP 50 mm. Są one przytwierdzone do rygli ściennych stalowych zimnogiętych Pruszyński BP/Z400x85/75x3,00 400 mm ułożonych w rozstawie 1,5 m. Rama główna składa się z słupów żelbetowych oraz rygli strunobetonowych. Rozstaw rym wynosi 12 m. Rygle dachowe to dźwigary strunobetonowe Consolis I-500/1350/25 o wysokości 1350 mm oraz długości 25 m na wyższej nawie oraz Consolis I-500/1500/20,5 o wysokości 1350 mm oraz długości 20,5 m na niższej nawie. Słupy zaprojektowano jako prefabrykowane żelbetowe z betonu C35/45 o zmiennym przekroju ze wspornikami do oparcia dźwigarów dachowych oraz belek podsuwnicowych. Przyjęto belki podsuwnicowe kablobetonowe KBP 120/II oraz szyny podsuwnicowe Rialex A75. Dobrano suwnicę pomostową dwudźwigarową SPe1H o udźwigu 125 kN.

7. Technologia wykonania

Hala została zaprojektowana jako prefabrykowana. Wszystkie elementy zostaną wykonane w wytwórniach prefabrykatów oraz dostarczone na plac budowy, gdzie należy dokonać ich montażu.

8. Uwagi

Na każdym etapie montażu wymagana jest kontrola geodezyjna ustawienia elementów.

Na każdym etapie wymagany jest nadzór osoby uprawnionej do kierowania robotami budowlanymi w odpowiednim zakresie.

Obliczenia statyczno – wytrzymałościowe

1. Obciążenie śniegiem (PN-EN 1991-1-3:2005)

Drezdenko → 2 strefa obciążenia śniegiem gruntu →

charakterystyczne obciążenie śniegiem gruntu: $s_k = 0,9 \frac{kN}{m^2}$

nachylenie połaci dachu: 5%, $\alpha = 2,86^\circ$

charakterystyczne obciążenie śniegiem dachu: $s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$

współczynnik ekspozycji: $C_e = 1,0$

współczynnik termiczny: $C_t = 1,0$

współczynnik kształtu dachu: $\mu_i = 0,8$ dla $0^\circ < \alpha < 30^\circ$

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

współczynniki kształtu dachu:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

$$\mu_s = 0 \text{ dla } \alpha \leq 15^\circ$$

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \gamma \frac{h}{s_k}$$

ciężar objętościowy śniegu: $\gamma = 2 \frac{kN}{m^3}$

szerokość wyższej nawy hali: $b_1 = 25,75 \text{ m}$

szerokość niższej nawy hali: $b_2 = 20,95 \text{ m}$

$$h = 5,5 \text{ m}$$

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} = \frac{25,75 + 20,95}{2 * 5,5} = 4,25 < \gamma \frac{h}{s_k} = 2 * \frac{5,5}{0,9} = 12,22$$

$$0,8 \leq \mu_w \leq 4$$

przyjęto $\mu_w = 4$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 4 = 4$$

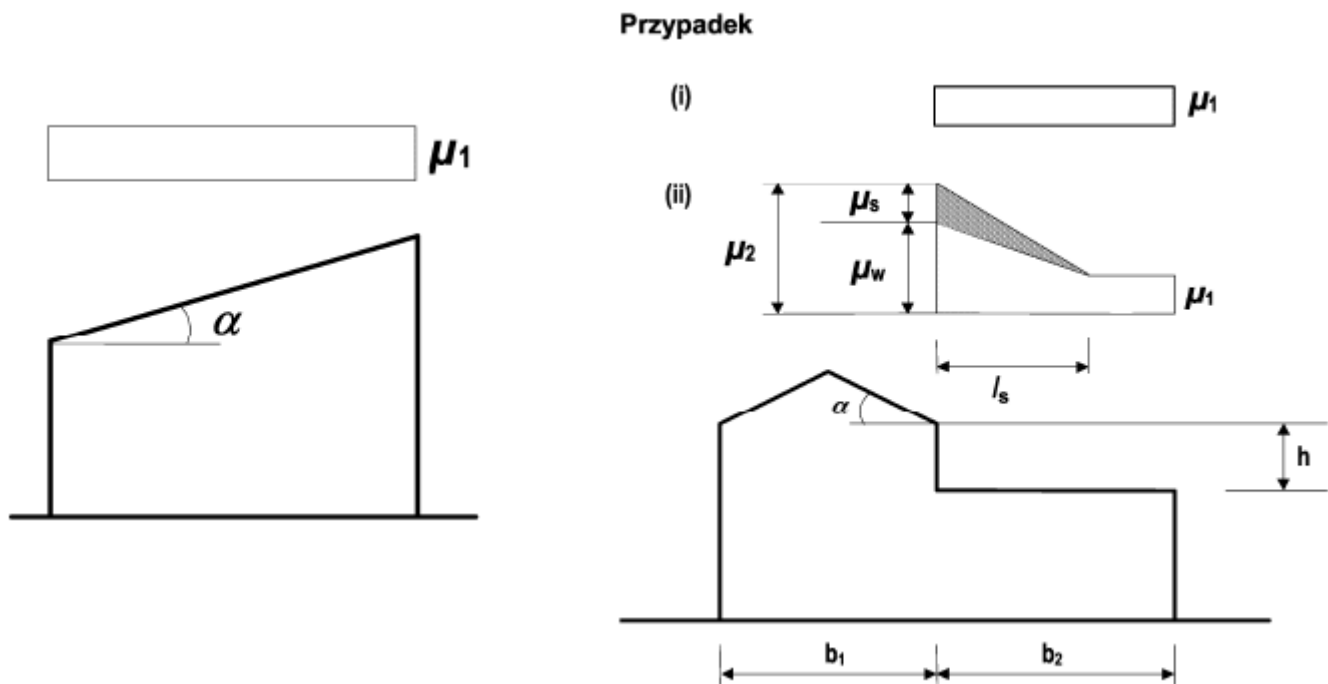
długość zasy $l_s = 2h = 2 * 5,5 = 11 \text{ m}$

$$5 \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$

Przypadki

$$(i) s_1 = \mu_1 * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,9 = 0,72 \frac{kN}{m^2}$$

$$(ii) s_2 = \mu_2 * C_e * C_t * s_k = 4 * 1,0 * 1,0 * 0,9 = 3,6 \frac{kN}{m^2}$$



2. Obciążenie wiatrem (PN-EN 1991-1-4:2008)

Drezdenko → 1 strefa wiatrowa

wysokość nad poziomem morza: $A = 28 \text{ m n. p. m.} < 300 \text{ m n. p. m.}$

kategoria terenu: III

wymiar chropowatości: $z_0 = 0,3 \text{ m}$

podstawowa bazowa prędkość wiatru: $v_{b,0} = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

bazowe ciśnienie prędkości wiatru: $q_{b,0} = 0,30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

współczynnik kierunkowy: przyjęto $C_{dir} = 1,0$

współczynnik sezonowy: przyjęto $C_{season} = 1,0$

bazowa prędkość wiatru: $v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 22 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

średnia prędkość wiatru: $v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b$

Nawa wyższa

wysokość nad poziomem terenu: $z = 15,5 \text{ m}$

współczynnik chropowatości: $c_r(z) = 0,8 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,19} = 0,8 * \left(\frac{15,5}{10}\right)^{0,19} = 0,87$

współczynnik ekspozycji: $c_e(z) = 1,9 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,26} = 1,9 * \left(\frac{15,5}{10}\right)^{0,26} = 2,13$

współczynnik orografii: przyjęto $c_0(z) = 1,0$

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,87 * 1,0 * 22 \frac{m}{s} = 19,14 \frac{m}{s}$$

Nawa niższa

wysokość nad poziomem terenu: $z = 10,5 \text{ m}$

$$\text{współczynnik chropowatości: } c_r(z) = 0,8 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,19} = 0,8 * \left(\frac{10,5}{10}\right)^{0,19} = 0,81$$

$$\text{współczynnik ekspozycji: } c_e(z) = 1,9 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,26} = 1,9 * \left(\frac{10,5}{10}\right)^{0,26} = 1,92$$

współczynnik orografii: przyjęto $c_0(z) = 1,0$

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,81 * 1,0 * 22 \frac{m}{s} = 17,82 \frac{m}{s}$$

Turbulencja wiatru

współczynnik turbulencji: przyjęto $k_l = 1,0$

Nawa wyższa

intensywność turbulencji

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{15,5}{0,3}\right)} = 0,25$$

Nawa niższa

intensywność turbulencji

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{10,5}{0,3}\right)} = 0,28$$

Wartość szczytowa ciśnienia prędkości

gęstość powietrza: przyjęto $\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3}$

Nawa wyższa

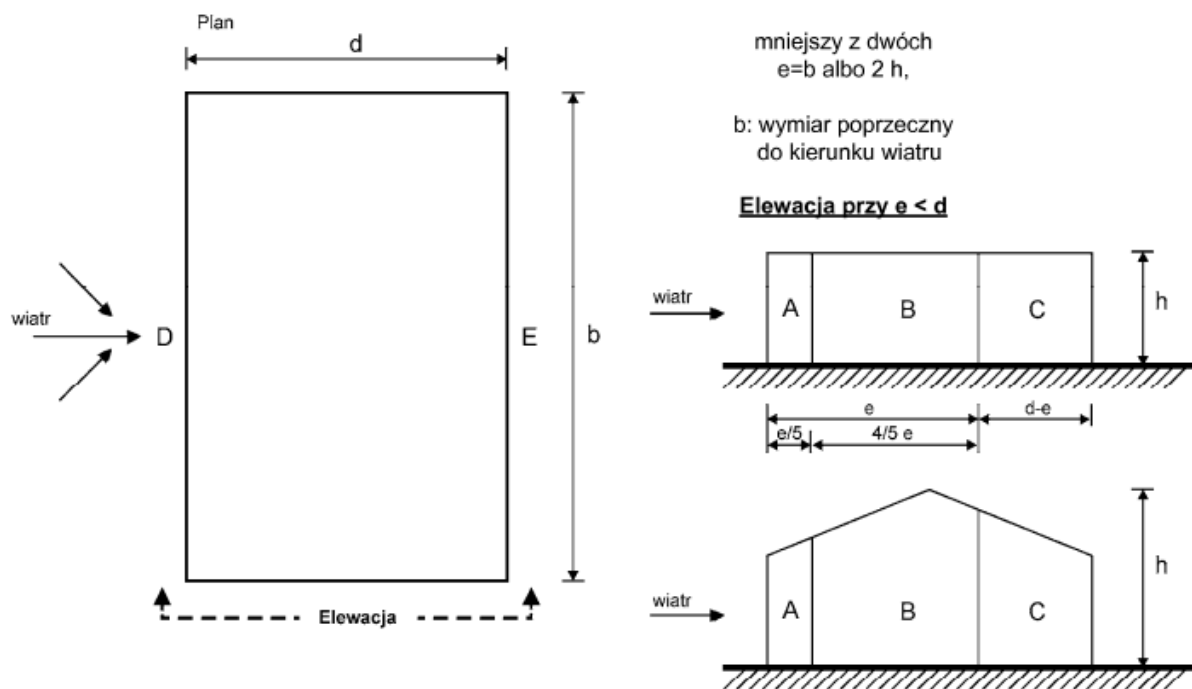
$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = [1 + 7 * 0,25] * \frac{1}{2} * 1,25 * 19,14^2 = 0,630 \frac{kN}{m^2}$$

Nawa niższa

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = [1 + 7 * 0,28] * \frac{1}{2} * 1,25 * 17,82^2 = 0,587 \frac{kN}{m^2}$$

Ciśnienie wiatru

Ściany pionowe



Wiatr od strony nawy wyższej

$$d = 46,7 \text{ m}$$

$$b = 133 \text{ m}$$

$$h = 15,5 \text{ m}$$

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{133 \text{ m}; 31 \text{ m}\} = 31 \text{ m}$$

$$e < d$$

$$\frac{h}{d} = \frac{15,5}{46,7} = 0,33$$

Pole	A	B	C	D	E
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
0,33	-1,2	-0,8	-0,5	0,71	-0,32

Wiatr od strony nawy niższej

$$d = 46,7 \text{ m}$$

$$b = 133 \text{ m}$$

$$h = 10,5 \text{ m}$$

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{133 \text{ m}; 21 \text{ m}\} = 21 \text{ m}$$

$$e < d$$

$$\frac{h}{d} = \frac{10,5}{46,7} = 0,22$$

Pole	A	B	C	D	E
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
0,22	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

Wiatr od czoła

$$d = 133 \text{ m}$$

$$b = 46,7 \text{ m}$$

$$h = 15,5 \text{ m}$$

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{46,7 \text{ m}; 31 \text{ m}\} = 31 \text{ m}$$

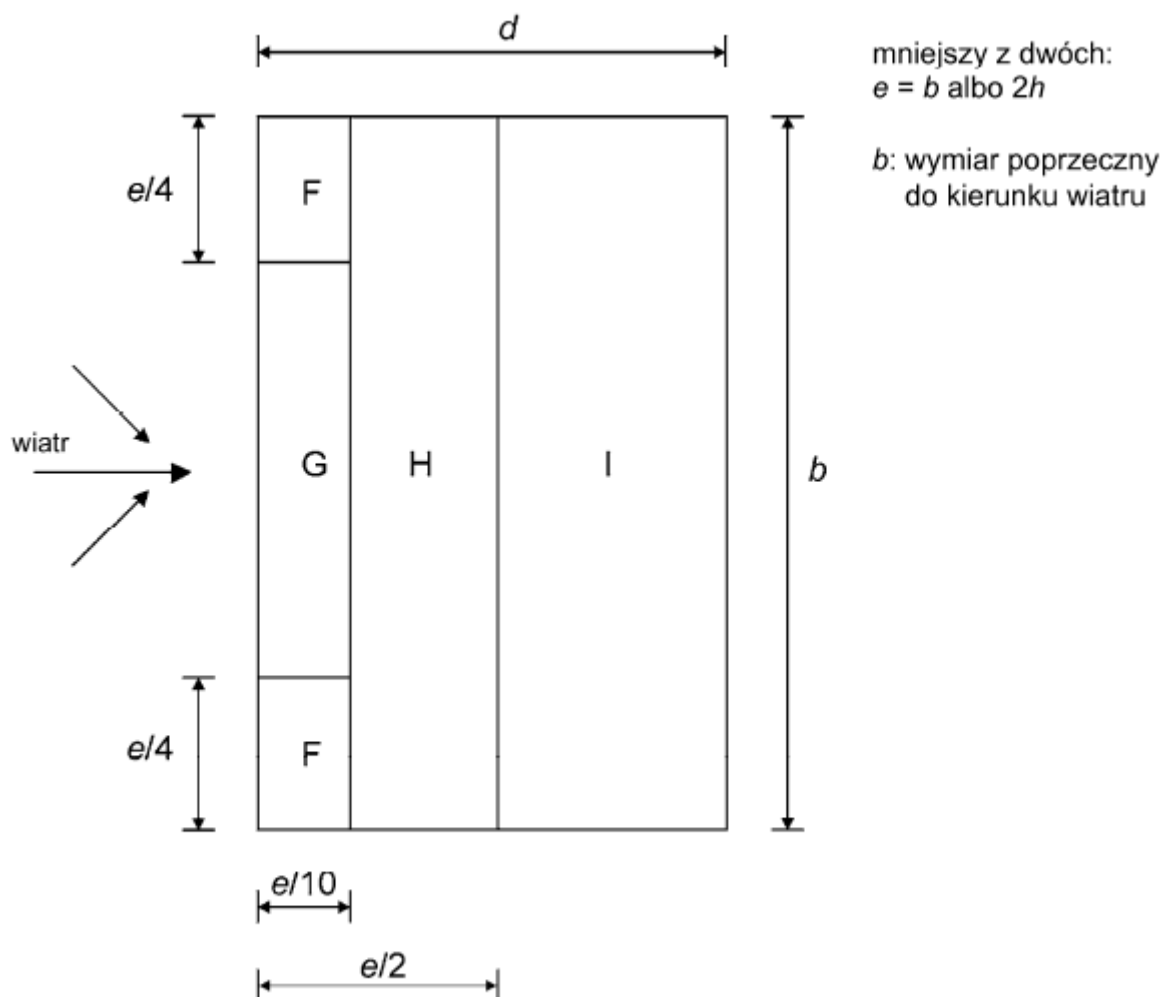
$$e < d$$

$$\frac{h}{d} = \frac{15,5}{133} = 0,12$$

Pole	A	B	C	D	E
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
0,12	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

Połączeniowa

Pochylenie dachu $\alpha = 2,86^\circ < 5^\circ$ zatem obliczenia przeprowadzono jak dla dachu płaskiego



Rysunek 7.6 – Oznaczenia dachów płaskich

Nawa wyższa

Wiatr od boku

$$b = 133 \text{ m}$$

$$d = 25,65 \text{ m}$$

$$h = 15,5 \text{ m}$$

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{133 \text{ m}; 31 \text{ m}\} = 31 \text{ m}$$

Pole			
F	G	H	I
$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
-1,8	-1,2	-0,7	-0,2(0,2)

Wiatr od czoła

$$b = 25,65 \text{ m}$$

$$d = 133 \text{ m}$$

$$h = 15,5 \text{ m}$$

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{25,65 \text{ m}; 31 \text{ m}\} = 25,65 \text{ m}$$

Pole			
F	G	H	I
$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
-1,8	-1,2	-0,7	-0,2(0,2)

Nawa niższa

Wiatr od boku

$$b = 133 \text{ m}$$

$$d = 20,95 \text{ m}$$

$$h = 10,5 \text{ m}$$

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{133 \text{ m}; 21 \text{ m}\} = 21 \text{ m}$$

Pole			
F	G	H	I
$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
-1,8	-1,2	-0,7	-0,2(0,2)

Wiatr od czoła

$$b = 20,95 \text{ m}$$

$$d = 133 \text{ m}$$

$$h = 10,5 \text{ m}$$

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{20,95 \text{ m}; 21 \text{ m}\} = 20,95 \text{ m}$$

Pole			
F	G	H	I
$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
-1,8	-1,2	-0,7	-0,2(0,2)

Ciśnienie wiatru $w_e = q_p(z) * c_{pe,10}$

$$w_e(h_1) = q_p(z_1) * c_{pe,10} = 0,630 \frac{kN}{m^2} * c_{pe,10}$$

$$w_e(h_2) = q_p(z_2) * c_{pe,10} = 0,587 \frac{kN}{m^2} * c_{pe,10}$$

Wiatr od czoła						
Ściany pionowe	Pole	A	B	C	D	E
	$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
	$w_e(h_1)$	-0,756	-0,504	-0,315	0,441	-0,189
Połacie dachowe	Pole	F	G	H	I	-
	$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2	-
	$w_e(h_1)$	-1,134	-0,756	-0,441	-0,126	-
Wiatr od strony nawy wyższej						
Ściany pionowe	Pole	A	B	C	D	E
	$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,71	-0,32
	$w_e(h_1)$	-0,756	-0,504	-0,315	0,447	-0,202
Połacie dachowe	Pole	F	G	H	I	-
	$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2	-
	$w_e(h_1)$	-1,134	-0,756	-0,441	-0,126	-
Wiatr od strony nawy niższej						
Ściany pionowe	Pole	A	B	C	D	E
	$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
	$w_e(h_2)$	-0,704	-0,470	-0,294	0,411	-0,176
Połacie dachowe	Pole	F	G	H	I	-
	$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2	-
	$w_e(h_1)$	-1,134	-0,756	-0,441	-0,126	-

3. Dobór elementów

3.1. Dobór płyt dachowych

Obciążenia

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN/m²]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN/m²]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Zmienne q					
Śnieg w obrębie worka śnieżnego	3,6	1,5	0	5,4	0
Śnieg w pozostałej części	0,72	1,5	0	1,08	0

Przyjęto płyty dachowe Kingspan KS1000 X-DEK:

okładzina wewnętrzna: stal 0,9 mm

okładzina zewnętrzna: membrana PCV 1,5 mm

powłoka wewnętrzna: poliester, rdzeń izolacyjny ze sztywnej pianki poliizocyanurowej 80 mm

grubość płyty: 80 mm

ciężar własny: $15,87 \frac{kg}{m^2} = 0,16 \frac{kN}{m^2}$

dopuszczalne obciążenie:

Okładzina zewnętrzna		TR20/TR27/PVC		Okładzina wewnętrzna		0,9mm					
Grubość płyty [mm]	Stan Graniczny	Kierunek Obciążenia	Rozpiętość [m]								
			2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
			PŁYTA JEDNOPRZĘŚŁOWA								
80	Nośność (SGN)	Parcie [kN/m²]	10,380	8,260	6,850	5,355	4,704	3,561	2,758	2,279	1,915
		Ssanie [kN/m²]	15,780	10,155	7,095	5,250	3,329	2,417	1,785	1,529	1,329
	Sztywność (SGU)	Parcie [kN/m²]	6,920	5,510	4,570	3,400	2,622	1,757	1,220	0,929	0,725
		Ssanie [kN/m²]	10,520	6,770	4,730	3,500	2,500	1,728	1,240	0,946	0,740
100	Nośność (SGN)	Parcie [kN/m²]	10,380	8,260	6,850	5,355	4,704	3,639	2,885	2,378	1,993
		Ssanie [kN/m²]	15,780	10,155	7,095	5,250	3,433	2,559	1,949	1,487	1,145
	Sztywność (SGU)	Parcie [kN/m²]	6,920	5,510	4,570	3,400	2,619	1,777	1,251	0,963	0,760
		Ssanie [kN/m²]	10,520	6,770	4,730	3,500	2,350	1,717	1,300	0,969	0,740
	a _{min} (mm)		50				40				

3.2. Dobór płatwi dachowych

Obciążenia

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN/m²]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN/m²]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Stałe g					
Płyta dachowa Kingspan KS1000 X-DEK	0,16	1,35	1,0	0,22	0,16
Zmienne q					
Śnieg w obrębie worka śnieżnego	3,6	1,5	0	5,4	0
Śnieg w pozostałe części	0,72	1,5	0	1,08	0

Nawa wyższa

długość: 12 m

rozstaw: 5 m

obciążenie obliczeniowe: $E_d = (1,35 * 0,16 + 1,5 * 0,72) * 5 = 6,48 \frac{kN}{m}$

Nawa niższa

długość: 12 m

rozstaw: 2 m w obrębie worka śnieżnego

obciążenie obliczeniowe: $E_d = (1,35 * 0,16 + 1,5 * 3,6) * 2 = 11,23 \frac{kN}{m}$

4,5 m w pozostałej części

obciążenie obliczeniowe: $E_d = (1,35 * 0,16 + 1,5 * 0,72) * 4,5 = 5,83 \frac{kN}{m}$

Przyjęto płatwie strunobetonowe prostokątne P-200/600/12 firmy Consolis

długość: 12 m

szerokość przekroju poprzecznego: 200 mm

wysokość przekroju poprzecznego: 600 mm

ciężar własny: $3,00 \frac{kN}{m}$

dopuszczalne obciążenie: $14,19 \frac{kN}{m}$

Tab. 1. Płatwie

L [m]	$q_{ch,zew}$ [kN/m]									
	P-200/550/...	P-250/500/...	P-200/600/...	P-250/600/...	P-300/600/...	P-200/700/...	P-250/700/...	P-300/700/...	P-250/800/...	P-300/800/...
6	50,57	61,36	64,32	74,88	87,15	82,90	103,87	130,28	140,67	167,31
6,5	42,75	51,90	54,43	63,34	73,70	70,20	87,96	110,36	119,24	141,82
7	36,55	44,39	46,59	54,18	63,02	60,12	75,34	94,55	102,24	121,59
7,5	31,54	38,33	40,26	46,79	54,41	52,00	65,15	81,79	88,52	105,27
8	27,44	33,38	35,08	40,74	47,37	45,34	56,82	71,35	77,29	91,91
8,5	24,05	29,27	30,78	35,73	41,53	39,83	49,91	62,70	67,99	80,84
9	21,20	25,82	27,19	31,53	36,63	35,21	44,12	55,45	60,19	71,56
9,5	18,79	22,91	24,14	27,98	32,49	31,30	39,22	49,32	53,59	63,71
10	16,74	20,42	21,54	24,94	28,95	27,96	35,04	44,08	47,95	57,01
10,5	14,97	18,28	19,31	22,33	25,91	25,09	31,44	39,57	43,11	51,24
11	13,44	16,42	17,37	20,07	23,27	22,60	28,32	35,66	38,90	46,24
11,5	12,10	14,81	15,67	18,09	20,97	20,43	25,60	32,26	35,24	41,88
12	10,92	13,38	14,19	16,36	18,95	18,52	23,21	29,26	32,02	38,05
12,5						16,84	21,10	26,62	29,18	34,67
13						15,35	19,23	24,28	26,66	31,68
13,5						14,02	17,57	22,20	24,42	29,01
14						12,83	16,08	20,33	22,41	26,62
14,5						11,76	14,74	18,65	20,61	24,47
15						10,79	13,53	17,14	18,98	22,54
15,5										20,79
16										19,20
16,5										17,75
17										16,43
17,5										15,22
18										14,11
g_k [kN/m]	2,75	3,13	3,00	3,75	4,50	3,50	4,38	5,25	5,00	6,00

3.3. Dobór dźwigarów dachowych

Obciążenia

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Stałe g					
Płyta dachowa Kingspan KS1000 X-DEK	0,16 [kN/m ²]	1,35	1,0	0,22 [kN/m ²]	0,16 [kN/m ²]
Płatew strunobetonowa Consolis P-200/600/12	3,00 [kN/m]	1,35	1,0	4,05 [kN/m]	3,00 [kN/m]
Zmienne q					
Śnieg w obrębie worka śnieżnego	3,6 [kN/m ²]	1,5	0	5,4 [kN/m ²]	0
Śnieg w pozostałej części	0,72 [kN/m ²]	1,5	0	1,08 [kN/m ²]	0

Nawa wyższa

długość dźwigara: 25 m

rozstaw: 12 m

$$\text{obciążenie obliczeniowe: } E_d = 1,35 * (g_k^{\text{płyty}} * 12 + \frac{g_k^{\text{płaty}}}{5} * 12) + 1,5 * 0,72 = 1,35 * (0,16 * 12 + \frac{3,00}{5} * 12) + 1,5 * 0,72 = 13,39 \frac{kN}{m}$$

Dla nawy wyższej przyjęto dźwigary dachowe strunobetonowe dwuteowe o pasach równoległych I-500/1350/25 firmy Consolis

długość dźwigara: 25 m

wysokość: 1350 mm

szerokość półki: 500 mm

ciężar własny: $8,25 \frac{kN}{m}$

dopuszczalne obciążenie zewnętrzne: $q = 19,70 \frac{kN}{m}$

Nawa niższa

długość dźwigara: 20,5 m

rozstaw: 12 m

$$\text{obciążenie obliczeniowe: } E_d = 1,35 * (g_k^{\text{płyty}} * 12 + \frac{g_k^{\text{płaty}}}{2} * 12) + 1,5 * 3,6 = 1,35 * (0,16 * 12 + \frac{3,00}{2} * 12) + 1,5 * 3,6 = 32,29 \frac{kN}{m}$$

Dla nawy niższej przyjęto dźwigary dachowe strunobetonowe dwuteowe o pasach równoległych I-500/1500/20,5 firmy Consolis

długość dźwigara: 25 m

wysokość: 1500 mm

szerokość półki: 500 mm

ciężar własny: $8,70 \frac{kN}{m}$

dopuszczalne obciążenie zewnętrzne: $q = 47,40 \frac{kN}{m}$

L [m]	q_k [kN/m]											
	I-500/2700/...	I-500/2550/...	I-500/2400/...	I-500/2250/...	I-500/2100/...	I-500/1950/...	I-500/1800/...	I-500/1650/...	I-500/1500/...	I-500/1350/...	I-500/1200/...	I-500/1050/...
8												150,5
8,5												137
9												122,5
9,5												111
10	604,1	535,3	470,5	411,1	358,9	310,8	267,3	228,4	192,1	159,6	129	101,5
10,5	546,4	481,8	425,3	373,1	326,9	283,9	244,6	209,4	176,3	146,6	118,3	92
11	493,7	437,3	387,4	341	299,5	260,8	225,1	192,9	162,5	135,1	108,9	84,1
11,5	449,7	399,6	355,2	313,4	275,9	240,6	208	178,4	150,3	124,9	100,5	76
12	412,2	367,4	327,3	289,5	255,3	223	192,9	165,6	139,5	115,8	92,9	69,2
12,5	380	339,5	303,1	268,5	237,2	207,4	179,5	154,1	129,8	106,4	86,2	63
13	352	315,2	281,8	250	221,1	193,5	167,6	143,9	121,1	97,8	80	57,9
13,5	327,4	293,7	262,9	233,6	206,8	181	156,8	134,6	113,2	90	74,4	53
14	301,9	274,6	246,1	218,8	192,6	169,8	147,1	125,5	106	83,1	69,3	49
14,5	280,7	257,5	231	205,6	178,8	159,6	138,3	116,4	99,4	76,9	64,6	45
15	261,6	242,1	217,2	193,6	166,4	150,4	130,2	108,2	93,4	71,3	60,3	41,6
15,5	244,3	228,2	202,8	182,7	155,1	141,1	122,8	100,7	87,9	66,3	56,3	38
16	228,6	213,7	189,6	172,7	144,3	131,8	116	93,9	82,8	61,7	52,6	35,4
16,5	214,2	200,2	177,6	163,6	135,1	123,3	109,8	87,8	77,9	57,5	49,2	
17	201,2	187,9	166,7	154,4	126,7	115,6	104	82,2	72,8	53,7	45,8	
17,5	189,2	176,7	156,7	144,4	118,9	108,5	98,6	77	68,2	50,1	42,6	
18	178,2	166,4	147,5	135,9	111,9	102	92,2	72,3	64	47	39,8	
18,5	168	156,9	138,4	128,1	105,4	96,1	86,7	68	60,1	44	37,1	
19	158,7	148,2	130,7	120,9	99,4	90,6	81,7	64	56,6	41,3	34,4	
19,5	150,1	139,5	123,5	114,3	93,8	85,5	77,1	60,3	53,3	38,8	32,2	
20	142,1	132	116,9	108,1	88,7	80,8	72,8	56,9	50,2	36,4	30,2	
20,5	134,7	125,1	110,8	102,4	83,9	76,4	68,9	53,7	47,4	34,1		
21	127,2	118,7	105	97,1	79,2	72,4	65,2	50,8	44,8	31,8		
21,5	120,9	112,8	99,7	92,2	75,1	68,3	61,8	48	42,3	29,9		
22	114,9	107,2	94,8	87,6	71,3	64,8	58,6	45,5	39,7	28,2		
22,5	109,4	102	90,2	83,3	67,7	61,5	55,6	43,1	37,5	26,5		
23	104,2	97,1	85,8	79,3	64,4	58,5	52,8	40,9	35,4	25		
23,5	99,3	92,6	81,8	75,1	61,3	55,6	50,2	38,8	33,4	23,6		
24	94,8	88,3	78	71,6	58,4	52,9	47,8	36,8	31,6	22,3		
24,5	90,5	84,3	74,4	68,3	55,6	50,4	45,5	34,9	29,8	20,9		
25	86,5	80,6	71,1	65	53	48,1	43,3	33,1	28,3	19,7		
25,5	82,7	77	67,9	62,1	50,6	45,8	41,2	31,4	26,8			
26	79,1	73,7	64,6	59,4	48,3	43,7	39,2	29,6	25,4			
26,5	75,8	70,5	61,8	56,8	46,1	41,7	37,3	28,1	24,1			
27	72,6	67,6	59	54,3	44,1	39,9	35,5	26,7	22,9			
27,5	69,6	64,7	56,5	52	42	38,1	33,9	25,4	21,7			
28	66,7	62,1	54,2	49,8	40,1	36,4	32	24,2	20,6			
28,5	64	59,6	52	47,8	38,4	34,7	30,5	23				
29	61,5	57,2	49,8	45,8	36,8	33,2	29,1	21,9				
29,5	59	54,6	47,8	43,9	35,2	31,7	27,8	20,8				
30	56,8	52,4	45,9	42,2	33,8	30,3	26,6	19,8				
30,5	54,3	50,4	44,1	40,5	32,4	28,7						
31	52,2	48,4	42,4	38,9	31,1	27,4						
31,5		46,6	40,8	37,4	29,8							
32		44,8	39,2	36	28,6							
32,5			37,7	34,6								
33			36,3	33,2								
33,5				31,9								
34				30,4								
g_k [kN/m]	12,30	11,85	11,40	10,95	10,50	10,05	9,60	9,15	8,70	8,25	7,80	7,35

3.4. Dobór płyt ściennych

Obciążenia

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN/m²]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN/m²]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Zmienne q					
Wiatr (ssanie)	0,756	1,5	0	1,13	0
Wiatr (parcie)	0,447	1,5	0	0,67	0

Przyjęto płyty ścienne Kingspan KS1000 AWP:

okładzina wewnętrzna: stal 0,4 mm

okładzina zewnętrzna: stal 0,6 mm

powłoka wewnętrzna: poliestr, rdzeń izolacyjny ze sztywnej pianki poliizocyjanurowej 50 mm

grubość płyty: 50 mm

ciężar własny: $10,77 \frac{kg}{m^2} = 0,11 \frac{kN}{m^2}$

dopuszczalne obciążenie:

Okładzina zewnętrzna		TYP	M	Okładzina wewnętrzna		Typ	I					
		tn (mm)	0,6			tn(mm)	0,4					
		kolor	2			kolor						
Grubość rdzenia (mm)	Obciążenie ze względu na	Kierunek obciążenia [kN/m2]	Maksymalne obciążenie, kN/m2 przy rozpiętości przęsła [m]									
			2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
			PŁYTA JEDNOPRZĘŚŁOWA									
50	NOSNOŚĆ (SGN)	Parcie	4,49	3,59	2,99	-	-	-	-	-	-	-
		Ssanie	4,28	2,74	1,90	-	-	-	-	-	-	-
	SZTYWNOŚĆ (SGU)	Parcie	1,94	0,99	0,38	-	-	-	-	-	-	-
		Ssanie	2,04	1,20	0,58	-	-	-	-	-	-	-
60	a (mm)		40									
	NOSNOŚĆ (SGN)	Parcie	5,53	4,43	3,69	3,16	-	-	-	-	-	-
		Ssanie	5,15	3,30	2,29	1,68	-	-	-	-	-	-
	SZTYWNOŚĆ (SGU)	Parcie	2,70	1,63	0,91	0,41	-	-	-	-	-	-
		Ssanie	2,79	1,73	1,09	0,60	-	-	-	-	-	-
	a (mm)		60									
70	NOSNOŚĆ (SGN)	Parcie	6,47	5,17	4,31	3,70	2,91	-	-	-	-	-
		Ssanie	6,02	3,85	2,68	1,97	1,51	-	-	-	-	-
	SZTYWNOŚĆ (SGU)	Parcie	3,44	2,20	1,42	0,84	0,43	-	-	-	-	-
		Ssanie	3,44	2,30	1,50	1,00	0,60	-	-	-	-	-
	a (mm)		60									
	80	NOSNOŚĆ (SGN)	Parcie	6,84	5,47	4,56	3,91	3,33	2,63	2,13	-	-
Ssanie			6,89	4,41	3,06	2,25	1,72	1,36	1,10	-	-	-
SZTYWNOŚĆ (SGU)		Parcie	4,10	2,79	1,85	1,25	0,77	0,43	0,21	-	-	-
		Ssanie	4,10	2,81	1,94	1,33	0,93	0,59	0,35	-	-	-
a (mm)		60										
100		NOSNOŚĆ (SGN)	Parcie	6,06	4,85	4,04	3,46	3,03	2,69	2,42	2,20	1,86
	Ssanie		7,94	5,52	3,83	2,82	2,16	1,70	1,38	1,14	0,96	-
	SZTYWNOŚĆ (SGU)	Parcie	5,45	3,83	2,77	1,96	1,40	1,02	0,67	0,42	0,25	-
		Ssanie	5,45	3,83	2,77	2,05	1,48	1,08	0,80	0,56	0,37	-
	a (mm)		60									
	120	NOSNOŚĆ (SGN)	Parcie	4,86	3,89	3,24	2,78	2,43	2,16	1,94	1,77	1,62
Ssanie			9,54	6,63	4,61	3,38	2,59	2,05	1,66	1,37	1,15	0,98
SZTYWNOŚĆ (SGU)		Parcie	6,83	4,88	3,59	2,70	2,02	1,50	1,13	0,86	0,60	0,40
		Ssanie	6,83	4,88	3,59	2,70	2,08	1,57	1,19	0,92	0,71	0,53
a (mm)		60										
150		NOSNOŚĆ (SGN)	Parcie	5,46	4,37	3,64	3,12	2,73	2,43	2,19	1,99	1,82
	Ssanie		9,93	6,35	4,41	3,24	2,48	1,96	1,59	1,31	1,10	0,94
	SZTYWNOŚĆ (SGU)	Parcie	8,94	6,49	4,86	3,73	2,90	2,29	1,79	1,39	1,10	0,87
		Ssanie	8,94	6,49	4,86	3,73	2,90	2,29	1,84	1,46	1,16	0,93
	a (mm)		60									

3.5. Dobór rygli ściennych

Obciążenia

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN/m²]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN/m²]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Stałe g					
Płyta ścienna Kingspan KS1000 AWP	0,11	1,35	1,0	0,15	0,14
Zmienne q					
Wiatr (ssanie)	0,756	1,5	0	1,13	0
Wiatr (parcie)	0,447	1,5	0	0,67	0

obciążenie obliczeniowe: $E_d = 0,15 + 1,13 = 1,28 \frac{kN}{m^2}$

obciążenie charakterystyczne: $E_k = 0,11 + 0,756 = 0,87 \frac{kN}{m^2}$

Przyjęto rygle stalowe zimnogięte BP/Z400x85/75x3.00 firmy Pruszyński w rozstawie 1,5 m

profil: Z

wysokość: $H = 400 \text{ mm}$

szerokość półki dolnej: $B_d = 75 \text{ mm}$

szerokość półki górnej: $B_g = 85 \text{ mm}$

grubość blachy: $t = 3 \text{ mm}$

stal: S350

długość: 12 m

dopuszczalne obciążenie:

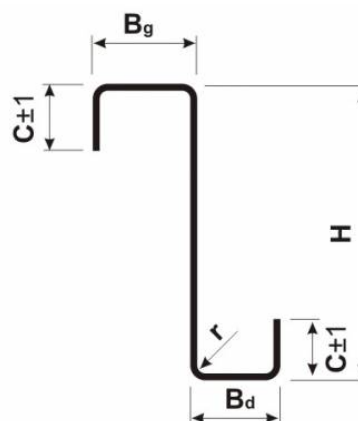
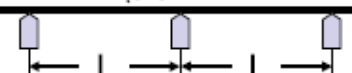


TABELA NOŚNOŚCI ZETOWNIKÓW dla belki 2-przęsłowej (gatunek stali S350)

(nośność wyliczona zgodnie z wyszczególnionymi w opisie
uwagami i przyjętymi warunkami)



BELKA 2-PRZĘŚLOWA



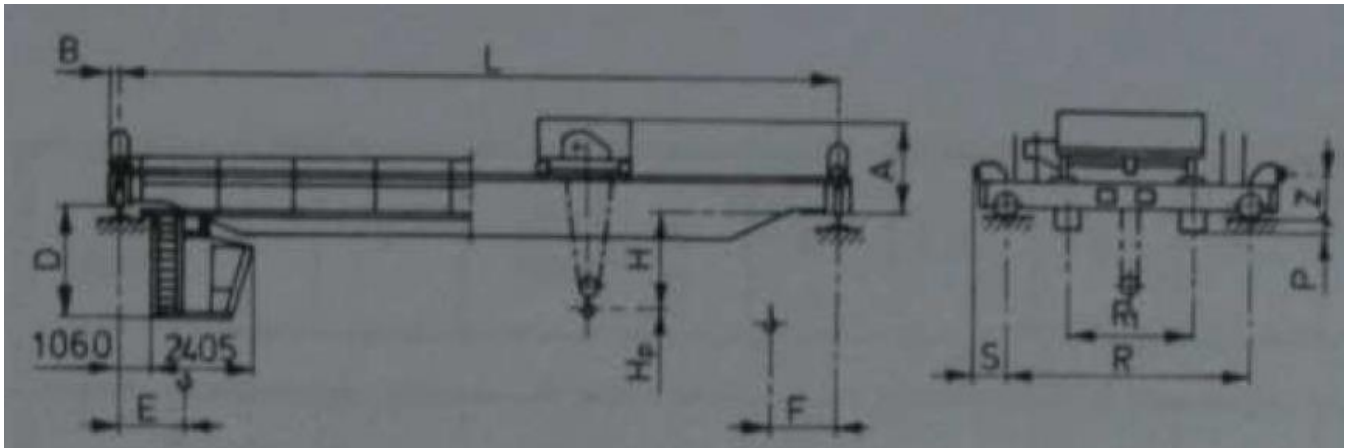
ROZPIĘTOŚĆ 12,0 m

Oznaczenie	Masa [kN/mb]	Tężnik	Obciążenie Qd [kN/mb ²] przy rozstawie [m]					Obciążenie [kN/mbb]		
			1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	Qd + N=10	Wd	q L/200
BP/Z250x75/65x1.50	5.39	3	0.50	0.34	0.25	0.20	0.17	0.42	-0.79	0.50
x2.00	7.13	3	0.78	0.52	0.39	0.31	0.26	0.69	-1.17	0.78
x2.50	8.84	3	1.03	0.69	0.52	0.41	0.34	0.95	-1.51	1.03
x3.00	10.57	3	1.26	0.84	0.63	0.51	0.42	1.15	-1.83	1.26
BP/Z280x75/65x1.50	5.77	3	0.57	0.38	0.29	0.23	0.19	0.45	-0.89	0.57
x2.00	7.64	3	0.85	0.56	0.42	0.34	0.28	0.75	-1.29	0.85
x2.50	9.48	3	1.13	0.75	0.56	0.45	0.38	1.04	-1.68	1.13
x3.00	11.34	3	1.41	0.94	0.71	0.57	0.47	1.31	-2.08	1.41
BP/Z300x75/65x1.50	6.06	3	0.62	0.42	0.31	0.25	0.21	0.50	-0.97	0.62
x2.00	8.02	3	0.91	0.61	0.46	0.37	0.30	0.81	-1.39	0.91
x2.50	9.95	3	1.21	0.81	0.60	0.48	0.40	1.11	-1.81	1.21
x3.00	11.91	3	1.53	1.02	0.77	0.61	0.51	1.43	-2.27	1.53
BP/Z350x75/65x1.50	6.70	3	0.74	0.49	0.37	0.29	0.25	0.59	-1.12	0.74
x2.00	8.88	3	1.06	0.71	0.53	0.42	0.35	0.93	-1.61	1.06
x2.50	11.03	3	1.39	0.93	0.70	0.56	0.46	1.28	-2.10	1.39
x3.00	13.20	3	1.77	1.18	0.89	0.71	0.59	1.66	-2.65	1.77
BP/Z400x75/65x1.50	7.35	3	0.84	0.56	0.42	0.34	0.28	0.68	-1.26	0.84
x2.00	9.75	3	1.22	0.81	0.61	0.49	0.41	1.08	-1.84	1.22
x2.50	12.11	3	1.60	1.06	0.80	0.64	0.53	1.48	-2.44	1.60
x3.00	14.50	3	2.03	1.36	1.02	0.81	0.68	1.88	-3.03	2.03
BP/Z280x85/75x1.50	6.08	3	0.56	0.37	0.28	0.22	0.19	0.50	-0.88	0.56
x2.00	8.05	3	0.98	0.65	0.49	0.39	0.33	0.90	-1.46	0.98
x2.50	10.00	3	1.35	0.90	0.68	0.54	0.45	1.26	-2.00	1.35
x3.00	11.91	3	1.69	1.13	0.84	0.68	0.56	1.59	-2.48	1.69
BP/Z350x85/75x1.50	6.99	3	0.70	0.46	0.35	0.28	0.23	0.61	-1.08	0.70
x2.00	9.26	3	1.23	0.82	0.62	0.49	0.41	1.14	-1.81	1.23
x2.50	11.51	3	1.70	1.13	0.85	0.68	0.57	1.60	-2.51	1.70
x3.00	13.72	3	2.13	1.42	1.07	0.85	0.71	2.03	-3.13	2.13
BP/Z400x85/75x1.50	7.64	3	0.79	0.53	0.40	0.32	0.26	0.70	-1.21	0.79
x2.00	10.13	3	1.41	0.94	0.71	0.56	0.47	1.31	-2.07	1.41
x2.50	12.59	3	2.01	1.34	1.00	0.80	0.67	1.87	-2.94	2.01
x3.00	15.02	3	2.47	1.65	1.24	0.99	0.82	2.34	-3.60	2.47

4. Suwnica

4.1. Dobór suwnicy

Przyjęto suwnicę pomostową dwudźwigarową SPe1H produkowaną przez Fabrykę Urządzeń Dźwigarowych w Mińsku Mazowieckim.



A_{max} [mm]	A_{min} [mm]	B [mm]	D [mm]	E [mm]	F [mm]	H [mm]	R [mm]	R_1 [mm]	Z [mm]	S [mm]	P [mm]	L [m]	$H_{p,max}$ [m]
2215	1780	195	2805	1000	1100	110	4500	2300	900	630	560	23,5	16,1

Parametry techniczne suwnicy

ciężar własny suwnicy $Q_c = 230 \text{ kN}$

udźwig suwnicy $Q_h = 125 \text{ kN}$

nacisk pionowy koła $Q_r = 141 \text{ kN}$

rozpiętość mostu suwnicy $L = 23,5 \text{ m}$

rozstaw kół $a = 4,5 \text{ m}$

najmniejsza odległość między położeniem haka, a osią toru jezdneho $e_{min} = 1,1 \text{ m}$

klasa wykorzystania: U_4

klasa podnoszenia: HC2

prędkość podnoszenia: $v_h = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

ciężar własny suwnicy $G_c = 230 \text{ kN}$

ciężar własny wózka suwnicy $G_t = 30 \text{ kN}$

liczba kół suwnicy na jednym torze $n = 2$

liczba torów jezdnych $n_r = 2$

liczba kół napędzanych $m_w = 2$

4.2. Obciążenia od suwnicy

Pionowe naciski kół suwnicy

Minimalne oddziaływanie kół suwnicy (bez ładunku przy maksymalnym zbliżeniu wózka do lewego toru)

$$Q_{r,min} = \frac{\varphi_1(G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_1 G_t(L - e_{min})}{nL}$$

współczynnik dynamiczny do obciążeń pionowych: przyjęto $\varphi_1 = 1,1$

$$Q_{r,min} = \frac{\varphi_1(G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_1 G_t(L - e_{min})}{nL} = \frac{1,1 * (230 - 30)}{2 * 2} + \frac{1,1 * 30 * (23,5 - 1,1)}{2 * 23,5} = 70,73 \text{ kN}$$

Minimalne dopełniające oddziaływanie kół suwnicy (bez ładunku przy maksymalnym zbliżeniu wózka do lewego toru)

$$Q_{r,(min)} = \frac{\varphi_1(G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_1 G_t e_{min}}{nL}$$

współczynnik dynamiczny do obciążeń pionowych dla wartości dopełniających: przyjęto $\varphi_1 = 1,0$

$$Q_{r,(min)} = \frac{\varphi_1(G_c - G_t)}{2n} + \frac{\varphi_1 G_t e_{min}}{nL} = \frac{1,0 * (230 - 30)}{2 * 2} + \frac{1,0 * 30 * 1,1}{2 * 23,5} = 50,70 \text{ kN}$$

Maksymalne oddziaływanie kół suwnicy (z ładunkiem przy maksymalnym zbliżeniu wózka do lewego toru)

$$Q_{r,max} = Q_{r,min} + \frac{\varphi_2 * Q_{h,nom} * (L - e_{min})}{n * L}$$

współczynnik dynamiczny do obciążeń pionowych

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 * v_h$$

Według PN-EN 1991-1-3:2009 dla klasy podnoszenia HC2 $\beta_2 = 0,34$ i $\varphi_{2,min} = 1,10$

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 * v_h = 1,10 + 0,34 * 0,2 = 1,17$$

$$Q_{r,max} = Q_{r,min} + \frac{\varphi_2 * Q_{h,nom} * (L - e_{min})}{n * L} = 70,73 + \frac{1,17 * 125 * (23,5 - 1,1)}{2 * 23,5} = 140,43 \text{ kN}$$

Maksymalne oddziaływanie dopełniające kół suwnicy (z ładunkiem przy maksymalnym zbliżeniu wózka do lewego toru)

$$Q_{r,(max)} = Q_{r,(min)} + \frac{\varphi_2 * Q_{h,nom} * e_{min}}{n * L} = 50,70 + \frac{1,17 * 125 * 1,1}{2 * 23,5} = 54,12 \text{ kN}$$

Siły poziome

Siły poziome podłużne (równoległe do toru)

$$H_{L,i} = \varphi_5 * K * \frac{1}{n_r}$$

siła napędowa suwnicy $K = K_1 + K_2 = \mu * \sum Q_{r,min}$

współczynnik tarcia (stal o stal) $\mu = 0,2$

$$\sum Q_{r,min} = m_w * Q_{r,min} = 2 * 70,73 = 141,46 \text{ kN}$$

$$K = K_1 + K_2 = \mu * \sum Q_{r,min} = 0,2 * 141,46 = 28,29 \text{ kN}$$

współczynnik dynamiczny do obciążeń poziomych: przyjęto $\varphi_5 = 1,3$ (jak dla układów, w których siły zmieniają się łagodnie)

$$H_{L,i} = \varphi_5 * K * \frac{1}{n_r} = 1,3 * 28,29 * \frac{1}{2} = 18,39 \text{ kN}$$

Siły poziome poprzeczne (prostopadłe do toru)

$$H_{T,1} = \varphi_5 * \xi_2 * \frac{M}{a}$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 * \xi_1 * \frac{M}{a}$$

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r}$$

$$\sum Q_{r,max} = 2 * Q_{r,max} = 2 * 140,43 = 280,86 \text{ kN}$$

$$\sum Q_r = 2 * (Q_{r,max} + Q_{r,(max)}) = 2 * (140,43 + 54,12) = 389,10 \text{ kN}$$

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = \frac{280,86}{389,10} = 0,72$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,72 = 0,28$$

moment napędu $M = K * L_s$

$$L_s = (\xi_1 - 0,5)L = (0,72 - 0,5) * 23,5 = 5,17 \text{ m}$$

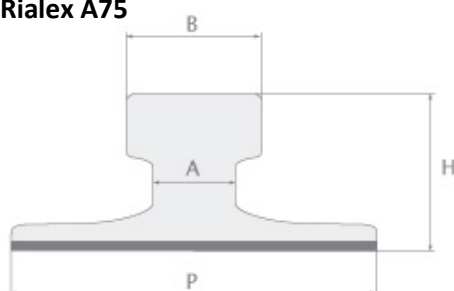
$$M = K * L_s = 28,29 * 5,17 = 146,26 \text{ kNm}$$

$$H_{T,1} = \varphi_5 * \xi_2 * \frac{M}{a} = 1,3 * 0,28 * \frac{146,26}{4,5} = 11,83 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 * \xi_1 * \frac{M}{a} = 1,3 * 0,72 * \frac{146,26}{4,5} = 30,42 \text{ kN}$$

4.3. Dobór szyny podsuwnicowej

Przyjęto szynę podsuwnicową Rialex A75



Sekcja	Oznakowanie	Rozmiar główny				Moment bezwładności	Wskaźnik przekroju	Wytrzymałość na rozciąganie	Waga
		H	B	P	A	Jx cm ⁴	Wx cm ³	Kg/mm ²	Kg/m
1	A 45	55	45	125	24	90	27,0	70	22,1
2	A 55	65	55	150	31	178	45,6	70	31,8
3	A 65	75	65	175	38	319	71,4	70	43,1
4	A 75	85	75	200	45	531	105,4	70	56,2
5	A 100	95	100	200	60	858	162,2	70	74,3
6	A 120	105	120	220	72	1361	235,1	70	100,0
7	A 150	150	150	220	80	4373	565,7	70	150,3

$$g_{szyny} = 0,56 \cdot 12 = 6,72 \text{ kN}$$

4.4. Statyka belki podsuwnicowej

Wstępnie przyjęto belkę podsuwnicową kablobetonową KBP-120 o ciężarze własnym $g_{bp} = 150 \text{ kN}$

długość belki podsuwnicowej $L_{eff} = 12 \text{ m}$

rozstaw kół suwnicy $a = 4,5 \text{ m}$

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Stałe g					
Belka podsuwnicowa KBP-120	150	1,35	1,0	202,5	150
Szyna Rialex A75	6,72	1,35	1,0	9,07	6,72
Σ	156,72	-	-	211,57	156,72
Zmienne q					
Oddziaływanie suwnicy $Q_{r\,max}$	140,43	1,5	0	210,65	0

$$a = 4,5 \text{ m} < 0,586 L_{eff} = 7,03 \text{ m}$$

$$M_{Ed}^{max} = \frac{Q_{r,max,d}}{8 * L_{eff}} * (2 * L_{eff} - a)^2 = \frac{210,65}{8 * 12} * (2 * 12 - 4,5)^2 = 834,37 \text{ kNm}$$

$$a = 4,5 \text{ m} < L_{eff} = 12 \text{ m}$$

$$V_{Ed}^{max} = Q_{r,max,d} * \frac{2L_{eff} - a}{L_{eff}} = 210,65 * \frac{2 * 12 - 4,5}{12} = 342,31 \text{ kN}$$

Przyjęto belkę podsuwnicową kablobetonową KBP 120/II

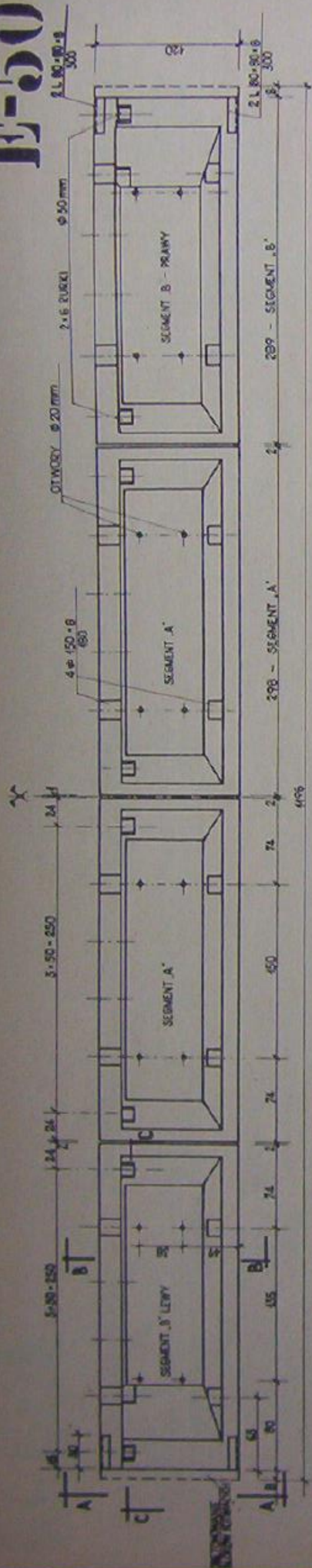
długość: 12 m

wysokość: 1,2 m

dopuszczalny moment zginający wywołany obciążeniem suwnicą (bez ciężaru własnego belki): $M_{max} = 862 \text{ kNm}$

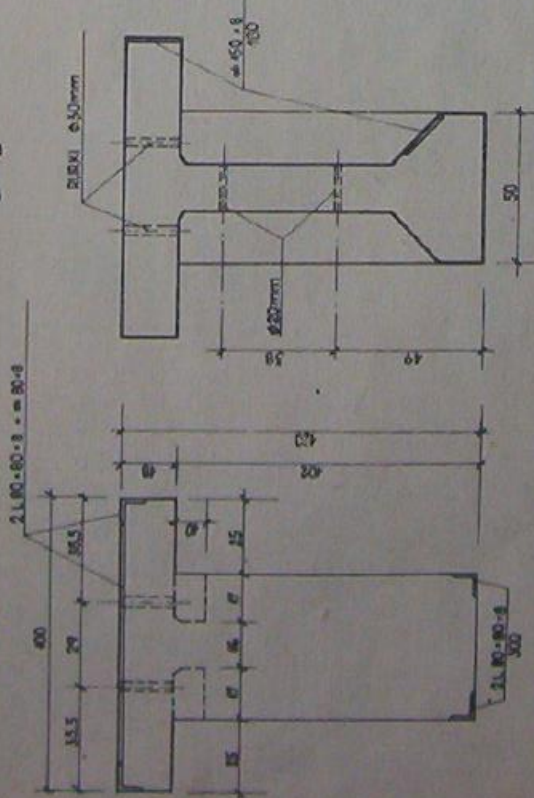
dopuszczalna siła tnąca wywołana obciążeniem suwnicą (bez ciężaru własnego belki): $V_{max} = 443 \text{ kN}$

ciężar własny: $g = 150 \text{ kN}$

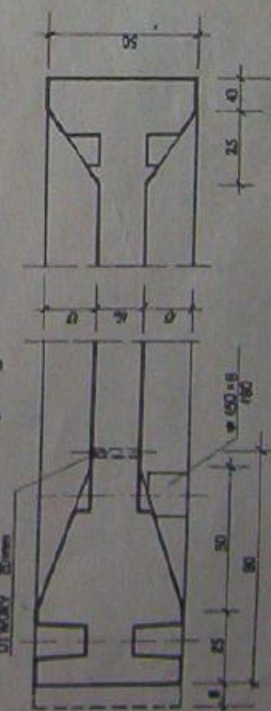


B - B

A - A



C - C



ZESTAWIENIE ZUŻYCIA MATERIAŁÓW

BETON	400	M ³	5.55
ZBROJENIE ZWYKŁE	KG	SPRĘŻAKI	CIĘŻAR
BELKA	9x10	ST 35X	42 45
KBP - 420/1		455.40	14.850
KBP - 420/3	644.2	13.6	4.950
KBP - 420/III		340.80	450.00

CIĘŻAR SEGMENTU „A” - 3400 KG
 CIĘŻAR SEGMENTU „B” - 3600 KG
 CIĘŻAR CAŁEJ BELKI - 45000 KG
 KLASA ODPORNOŚCI OGNIOWEJ „C” (1 GODZ.)

GAT 1 STALI (45) - 8x 45000 kg/cm²
 GAT 2 STALI (45) - 8x 45000 kg/cm²

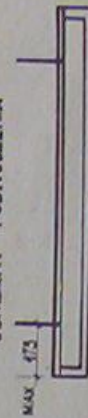
CECHY WYTRZYMAŁOŚCIOWE BELKI

DOPUSZCZALNE MOMENTY ZGINIAJĄCE
 I SIŁY POPRZECZNE (PIONOWE)

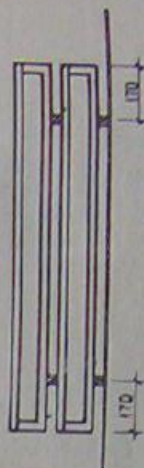
TYP BELKI	M	q	SYMBOL
KBP - 420/1	377	25.6	E-506A
KBP - 420/3	86.2	44.5	E-506B
KBP - 420/III	417.0	53.4	E-506C

PODANE M I Q WYKŁADANE SA WYŁĄCZNIE OBLICZENIAMI
 SZYBKOŚCIAMI (BEZ OZDARU WŁASNEGO BELKI)

SCHEMAT PODNOSZENIA



SCHEMAT SKŁADOWANIA

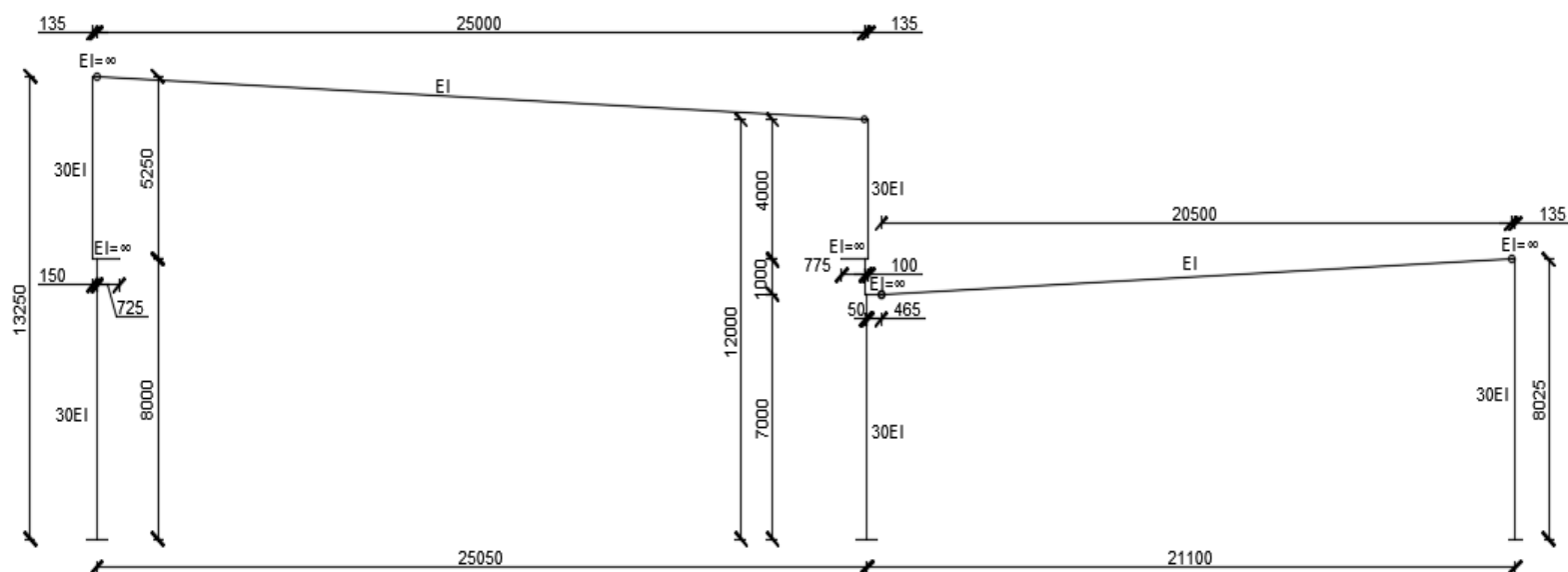


KB4 - 34.8.2(3) - 69

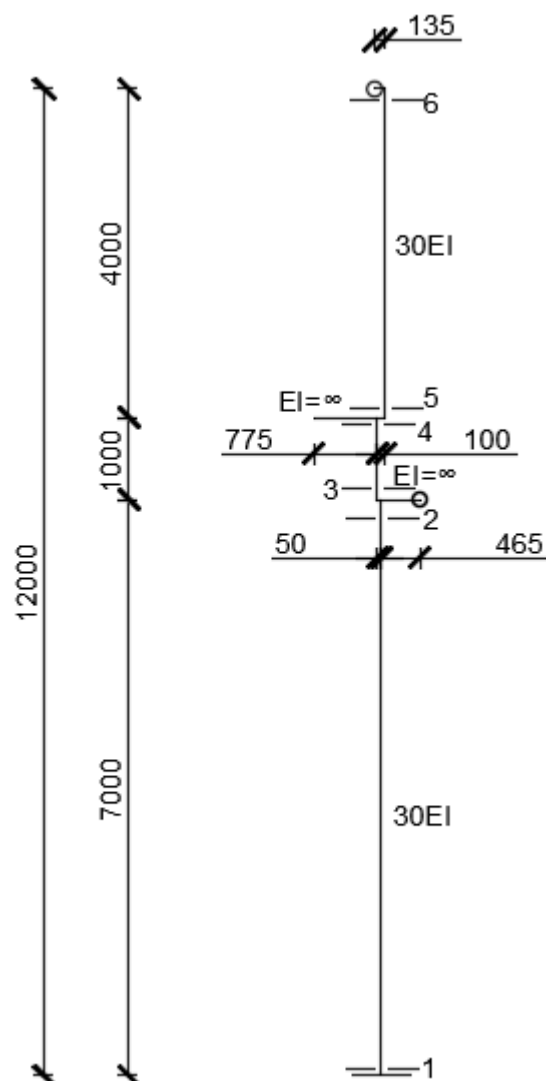
PROJEKT BISTYPU NR 44575/3

5. Obliczenia statyczne układu poprzecznego hali

Schemat statyczny układu poprzecznego



Schemat statyczny słupa środkowego



Kombinacje obciążeń (PN-EN 1990)

6.10a

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\max \gamma_{G,j} = 1,35$$

$$\min \gamma_{G,j} = 1,0$$

6.10b

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\max \xi_j \gamma_{G,j} = 1,15$$

$$\min \xi_j \gamma_{G,j} = 1,0$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

$$\text{śnieg } \Psi_0 = 0,5$$

$$\text{wiatr } \Psi_0 = 0,6$$

$$\text{suwnica } \Psi_0 = 1,0$$

Zebranie obciążeń

Obciążenia stałe – dach

Kombinacja 6.10a

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN/m]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN/m]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Płyta dachowa Kingspan KS1000 X-DEK $0,16 \frac{kN}{m^2} * 12m$	1,92	1,35	1,0	2,59	1,92
Nawa niższa Płatew strunobetonowa Consolis P-200/600/12 $3,00 \frac{kN}{m} * 12m$	18,00	1,35	1,0	24,30	18,00
Nawa wyższa Płatew strunobetonowa Consolis P-200/600/12 $3,00 \frac{kN}{m} * 12m$	7,20	1,35	1,0	9,72	7,20
Nawa niższa Dźwigar dachowy strunobetonowy Consolis I-500/1500/20,5	8,70	1,35	1,0	11,75	8,70
Nawa wyższa Dźwigar dachowy strunobetonowy Consolis I-500/1350/25	8,25	1,35	1,0	11,14	8,25

Nawa wyższa

$$\max: 2,59 + 9,72 + 11,14 = 23,45 \frac{kN}{m}$$

$$\min: 1,92 + 7,20 + 8,25 = 17,37 \frac{kN}{m}$$

Nawa niższa

$$\max: 2,59 + 24,30 + 11,75 = 38,64 \frac{kN}{m}$$

$$\min: 1,92 + 18,00 + 8,70 = 28,62 \frac{kN}{m}$$

Kombinacja 6.10b

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN/m]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN/m]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Płyta dachowa Kingspan KS1000 X-DEK $0,16 \frac{kN}{m^2} * 12m$	1,92	1,15	1,0	2,21	1,92
Nawa niższa Płatew strunobetonowa Consolis P-200/600/12 $\frac{3,00 \frac{kN}{m}}{2m} * 12m$	18,00	1,15	1,0	20,70	18,00
Nawa wyższa Płatew strunobetonowa Consolis P-200/600/12 $\frac{3,00 \frac{kN}{m}}{5m} * 12m$	7,20	1,15	1,0	8,28	7,20
Nawa niższa Dźwigar dachowy strunobetonowy Consolis I-500/1500/20,5	8,70	1,15	1,0	10,01	8,70
Nawa wyższa Dźwigar dachowy strunobetonowy Consolis I-500/1350/25	8,25	1,15	1,0	9,49	8,25

Nawa wyższa

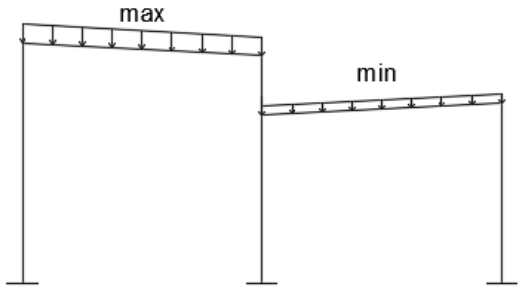
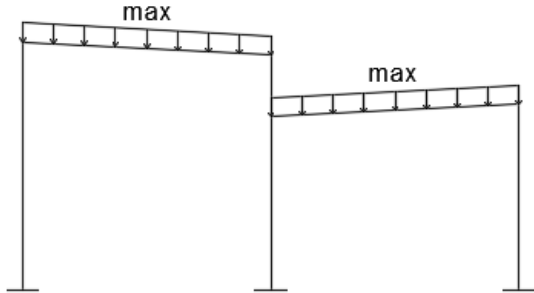
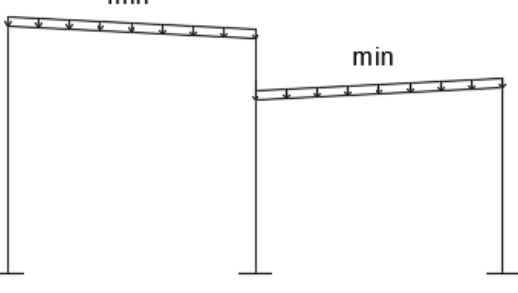
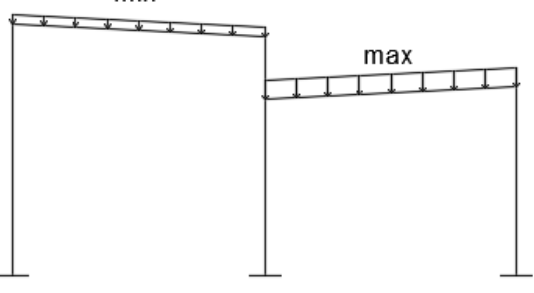
$$\text{max: } 2,21 + 8,28 + 9,49 = 19,98 \frac{kN}{m}$$

$$\text{min: } 1,92 + 7,20 + 8,25 = 17,37 \frac{kN}{m}$$

Nawa niższa

$$\text{max: } 2,21 + 20,70 + 10,01 = 32,92 \frac{kN}{m}$$

$$\text{min: } 1,92 + 18,00 + 8,70 = 28,62 \frac{kN}{m}$$

1	2
	
3	4
	

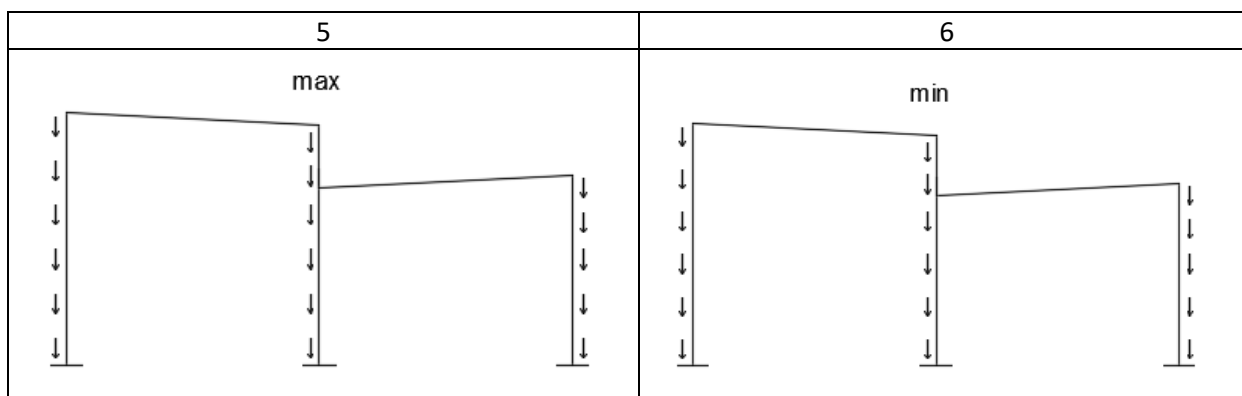
Obciążenia stałe – słupy i obudowa ścian

Kombinacja 6.10a

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN/m]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN/m]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Płyta ścienna Kingspan KS1000 AWP $0,11 \frac{kN}{m^2} * 12m$	1,32	1,35	1,0	1,78	1,32
Słup 0,4m x 0,7m $25 \frac{kN}{m^3} * 0,4m * 0,7m$	7,00	1,35	1,0	9,45	7,00
Słup 0,4m x 0,6m $25 \frac{kN}{m^3} * 0,4m * 0,6m$	6,00	1,35	1,0	8,10	6,00
Słup 0,4m x 0,4m $25 \frac{kN}{m^3} * 0,4m * 0,4m$	4,00	1,35	1,0	5,40	4,00

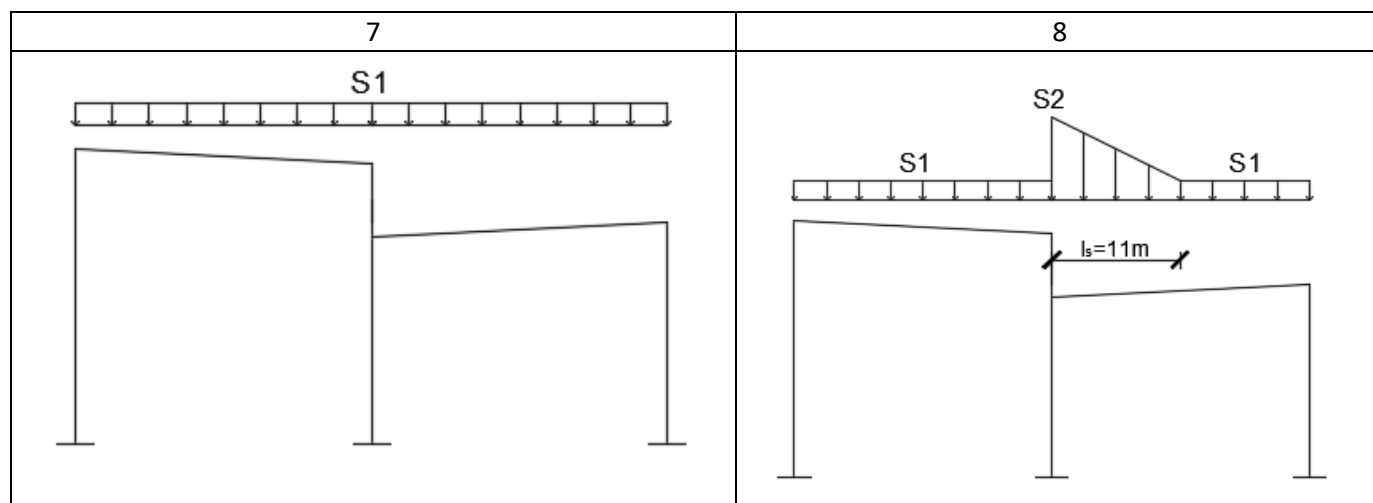
Kombinacja 6.10b

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN/m]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN/m]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Płyta ścienna Kingspan KS1000 AWP $0,11 \frac{kN}{m^2} * 12m$	1,32	1,15	1,0	1,52	1,32
Słup 0,4m x 0,7m $25 \frac{kN}{m^3} * 0,4m * 0,7m$	7,00	1,15	1,0	8,05	7,00
Słup 0,4m x 0,6m $25 \frac{kN}{m^3} * 0,4m * 0,6m$	6,00	1,15	1,0	6,90	6,00
Słup 0,4m x 0,4m $25 \frac{kN}{m^3} * 0,4m * 0,4m$	4,00	1,15	1,0	4,60	4,00



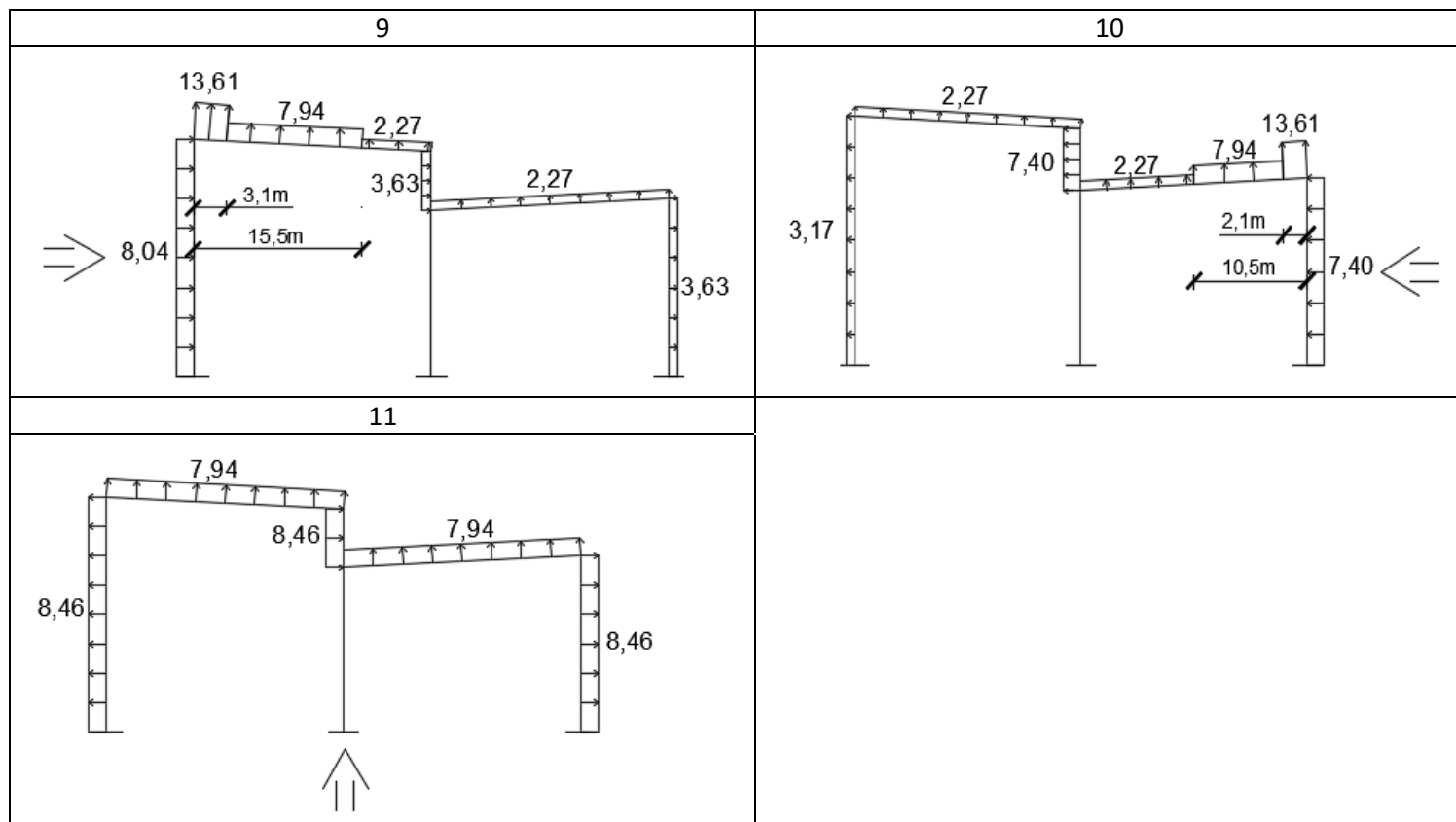
Obciążenia zmienne – śnieg

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN/m]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN/m]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
S2 Śnieg w obrębie worka śnieżnego $3,6 \frac{kN}{m^2} * 12m$	43,20	1,5	0	64,80	0
S1 Śnieg w pozostałej części $0,72 \frac{kN}{m^2} * 12m$	8,64	1,5	0	12,96	0



Obciążenia zmienne – wiatr

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN/m]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN/m]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Wiatr od strony nawy wyższej					
Pole G $-0,756 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	-9,07	1,5	0	-13,61	0
Pole H $-0,441 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	-5,29	1,5	0	-7,94	0
Pole I $-0,126 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	-1,51	1,5	0	-2,27	0
Pole D $0,447 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	5,36	1,5	0	8,04	0
Pole E $-0,202 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	-2,42	1,5	0	-3,63	0
Wiatr od strony nawy niższej					
Pole G $-0,756 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	-9,07	1,5	0	-13,61	0
Pole H $-0,441 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	-5,29	1,5	0	-7,94	0
Pole I $-0,126 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	-1,51	1,5	0	-2,27	0
Pole D $0,411 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	4,93	1,5	0	7,40	0
Pole E $-0,176 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	-2,11	1,5	0	-3,17	0
Wiatr od czoła					
Pole H $-0,441 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	-5,29	1,5	0	-7,94	0
Pole B $-0,470 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 12m$	-5,64	1,5	0	-8,46	0



Obciążenia zmienne – suwnica

Obciążenie	Obciążenie charakterystyczne k [kN]	γ_F		Obciążenie obliczeniowe d [kN]	
		>1	≤ 1	>1	≤ 1
Stałe g					
Belka podsuwnicowa P70 KBP-120/II	150	1,35	1,0	202,5	150
Szyna Rialex A75	6,72	1,35	1,0	9,07	6,72
Σ	156,72	-	-	211,57	156,72
Zmienne q					
Oddziaływanie suwnicy $Q_{r,max}$	140,43	1,5	0	210,65	0
Oddziaływanie suwnicy dopełniające $Q_{r,(max)}$	54,12	1,5	0	81,18	0
Siła pozioma $H_{T,1}$	11,83	1,5	0	17,75	0
Siła pozioma $H_{T,2}$	30,42	1,5	0	45,63	0

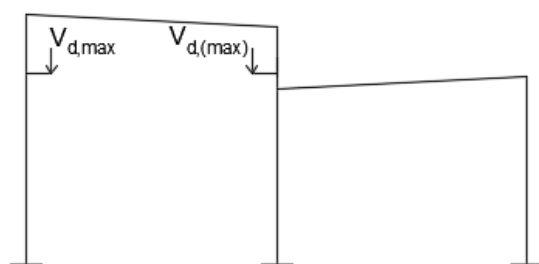
$$V_{d,max} = 211,57 + 210,65 = 422,22 \text{ kN}$$

$$V_{d,(max)} = 211,57 + 81,18 = 292,75 \text{ kN}$$

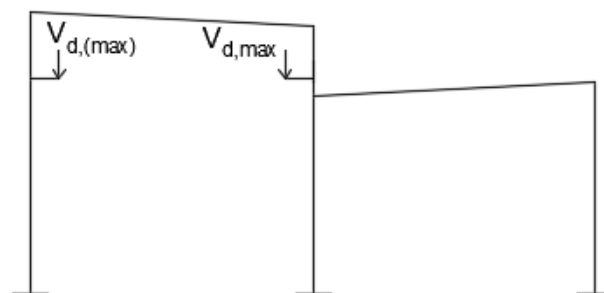
$$H_{T,1} = 17,75 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = 45,63 \text{ kN}$$

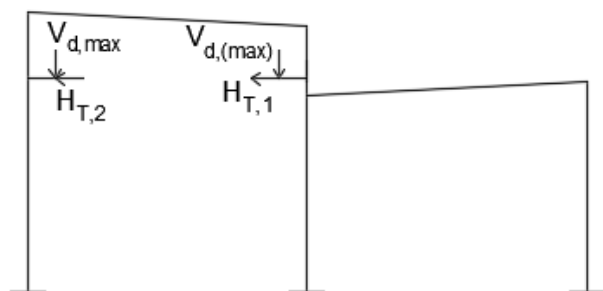
12



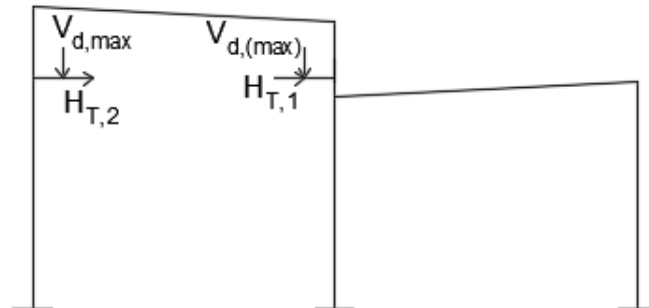
13



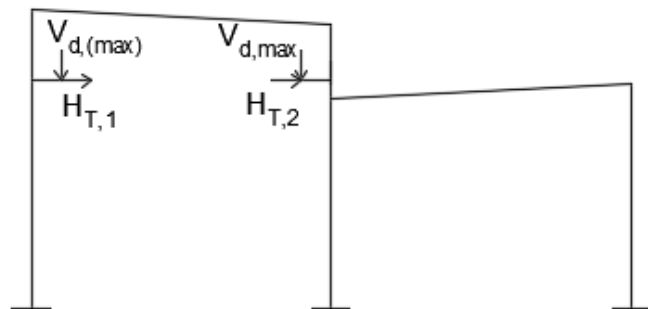
14



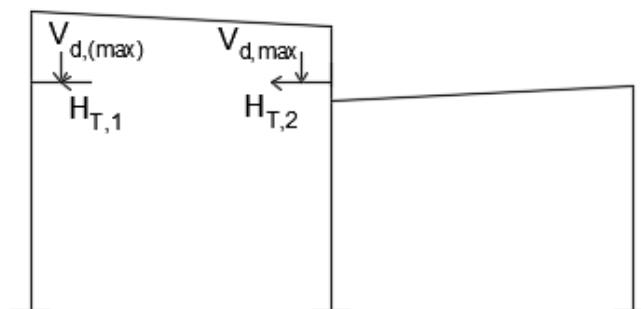
15



16



17



Wyniki obliczeń

Kombinacja 6.10a

Schemat obciążenia	Przekroje stupa																	
	1			2			3			4			5			6		
	M	N	V	M	N	V	M	N	V	M	N	V	M	N	V	M	N	V
Obciążenia stałe - dach																		
1	0,80	587,47	-14,40	-99,99	587,47	-14,40	22,22	293,16	-2,39	19,82	293,16	-2,39	49,14	293,14	-2,39	39,57	293,14	-2,39
2	0,49	690,47	-20,27	-141,37	690,47	-20,27	28,77	293,10	-3,70	25,07	293,10	-3,70	54,38	293,08	-3,70	39,56	293,08	-3,70
3	0,37	511,43	-15,01	-104,71	511,43	-15,01	21,31	217,11	-2,74	18,57	217,11	-2,74	40,28	217,09	-2,74	29,31	217,09	-2,74
4	0,07	614,43	-20,88	-146,09	614,43	-20,88	27,86	217,05	-4,05	23,81	217,05	-4,05	45,52	217,03	-4,05	29,30	217,03	-4,05
Obciążenia stałe - słupy i obudowa ścian																		
5	2,15	117,18	-0,15	1,09	38,57	-0,15	-0,85	38,58	-0,40	-1,25	28,70	-0,40	1,62	28,70	-0,40	0,00	0,00	-0,40
6	1,59	86,81	-0,11	0,80	28,57	-0,11	-0,63	28,59	-0,30	-0,93	21,27	-0,30	1,20	21,26	-0,30	0,00	0,00	-0,30
Obciążenia zmienne - śnieg																		
7	0,52	294,93	-6,28	-43,41	294,93	-6,28	10,40	161,83	-0,95	9,45	161,83	-0,95	25,63	161,82	-0,95	21,85	161,82	-0,95
8	-16,06	529,02	-16,94	-134,61	529,02	-16,94	28,13	161,68	-4,50	23,64	161,88	-4,50	39,81	161,65	-4,50	21,82	161,65	-4,50
Obciążenia zmienne - wiatr																		
9	-274,92	-77,77	18,31	-146,78	-77,77	18,31	-154,31	-55,56	39,54	-116,58	-55,56	35,91	-122,12	-55,61	35,91	-7,51	-55,61	21,39
10	281,56	-68,13	-25,18	105,34	-68,13	-25,18	88,27	-28,42	-36,35	55,62	-28,42	-28,95	52,77	-28,38	-28,95	-3,83	-28,38	0,65
11	-74,61	-184,12	28,47	124,71	-184,12	28,47	91,27	-101,33	2,19	89,23	-101,33	-6,27	79,09	-101,31	-6,27	-13,68	-101,31	-40,11
Obciążenia zmienne - suwnica																		
12	-81,29	294,33	25,63	98,12	294,33	25,63	83,50	294,18	28,69	112,19	294,18	28,69	-114,55	1,44	28,69	0,19	1,44	28,69
13	-25,57	423,12	34,38	215,07	423,12	34,38	193,70	423,52	26,71	220,42	423,52	26,71	-106,68	1,33	26,71	0,18	1,33	26,71
14	66,68	292,89	14,60	168,86	292,89	14,60	153,83	293,62	0,42	154,25	293,62	0,42	-72,56	0,90	18,17	0,12	0,90	18,17
15	-229,27	295,76	36,67	27,43	295,76	36,67	13,18	294,75	56,95	70,13	294,75	56,95	-156,54	1,98	39,20	0,27	1,98	39,20
16	-223,77	424,07	57,60	179,42	424,07	57,60	158,54	423,45	70,25	228,79	423,45	70,25	-98,31	1,23	24,62	0,17	1,23	24,62
17	172,63	422,16	11,16	250,73	422,16	11,16	228,87	423,59	-16,82	212,05	423,59	-16,82	-115,05	1,42	28,81	0,19	1,42	28,81

Przekroje stupa																	
1			2			3			4			5			6		
1	M _{max} ⁺	344,78	1	M _{max} ⁺	226,66	1	M _{max} ⁺	325,84	1	M _{max} ⁺	318,29	1	M _{max} ⁺	123,36	1	M _{max} ⁺	50,77
	N _{Tow}	1233,40		N _{Tow}	937,73		N _{Tow}	765,32		N _{Tow}	757,96		N _{Tow}	341,82		N _{Tow}	376,03
	V _{Tow}	-21,64		V _{Tow}	13,69		V _{Tow}	-21,76		V _{Tow}	60,24		V _{Tow}	-10,11		V _{Tow}	35,94
2	M _{min} ⁻	-400,59	2	M _{min} ⁻	-300,66	2	M _{min} ⁻	-72,13	2	M _{min} ⁻	-52,63	2	M _{min} ⁻	-188,33	2	M _{min} ⁻	21,09
	N _{Tow}	1214,85		N _{Tow}	860,85		N _{Tow}	222,35		N _{Tow}	212,47		N _{Tow}	206,96		N _{Tow}	156,24
	V _{Tow}	18,20		V _{Tow}	-18,47		V _{Tow}	20,58		V _{Tow}	18,41		V _{Tow}	57,71		V _{Tow}	-28,42
3	N _{max}	1496,23	3	N _{max}	1417,62	3	N _{max}	836,25	3	N _{max}	826,39	3	N _{max}	404,73	3	N _{max}	376,03
	M _{Tow}	-229,16		M _{Tow}	-28,17		M _{Tow}	255,44		M _{Tow}	242,44		M _{Tow}	-92,97		M _{Tow}	50,77
	V _{Tow}	28,71		V _{Tow}	28,71		V _{Tow}	-20,09		V _{Tow}	-21,86		V _{Tow}	35,94		V _{Tow}	35,94

Kombinacja 6.10b

Schemat obciążenia	Przekroje słupa																	
	1			2			3			4			5			6		
	M	N	V	M	N	V	M	N	V	M	N	V	M	N	V	M	N	V
Obciążenia stałe - dach																		
1	0,55	544,07	-14,75	-102,68	544,07	-14,75	21,70	249,76	-2,59	19,11	249,76	-2,59	44,08	249,74	-2,59	33,71	249,74	-2,59
2	0,42	588,27	-17,27	-120,44	588,27	-17,27	24,51	249,73	-3,16	21,36	249,73	-3,16	46,33	249,71	-3,16	33,71	249,71	-3,16
3	0,37	511,43	-15,01	-104,71	511,43	-15,01	21,31	217,11	-2,74	18,57	217,11	-2,74	40,28	217,09	-2,74	29,31	217,09	-2,74
4	0,24	555,63	-17,53	-122,47	555,63	-17,53	24,12	217,08	-3,31	20,82	217,08	-3,31	42,53	217,06	-3,31	29,30	217,06	-3,31
Obciążenia stałe - słupy i obudowa ścian																		
5	1,83	99,86	-0,13	0,93	32,87	-0,13	-0,72	32,88	-0,35	-1,07	24,46	-0,35	1,38	24,46	-0,35	0,00	0,00	-0,35
6	1,59	86,81	-0,11	0,80	28,57	-0,11	-0,63	28,59	-0,30	-0,93	21,27	-0,30	1,20	21,26	-0,30	0,00	0,00	-0,30
Obciążenia zmienne - śnieg																		
7	0,52	294,93	-6,28	-43,41	294,93	-6,28	10,40	161,83	-0,95	9,45	161,83	-0,95	25,63	161,82	-0,95	21,85	161,82	-0,95
8	-16,06	529,02	-16,94	-134,61	529,02	-16,94	28,13	161,68	-4,50	23,64	161,88	-4,50	39,81	161,65	-4,50	21,82	161,65	-4,50
Obciążenia zmienne - wiatr																		
9	-274,92	-77,77	18,31	-146,78	-77,77	18,31	-154,31	-55,56	39,54	-116,58	-55,56	35,91	-122,12	-55,61	35,91	-7,51	-55,61	21,39
10	281,56	-68,13	-25,18	105,34	-68,13	-25,18	88,27	-28,42	-36,35	55,62	-28,42	-28,95	52,77	-28,38	-28,95	-3,83	-28,38	0,65
11	-74,61	-184,12	28,47	124,71	-184,12	28,47	91,27	-101,33	2,19	89,23	-101,33	-6,27	79,09	-101,31	-6,27	-13,68	-101,31	-40,11
Obciążenia zmienne - suwnica																		
12	-81,29	294,33	25,63	98,12	294,33	25,63	83,50	294,18	28,69	112,19	294,18	28,69	-114,55	1,44	28,69	0,19	1,44	28,69
13	-25,57	423,12	34,38	215,07	423,12	34,38	193,70	423,52	26,71	220,42	423,52	26,71	-106,68	1,33	26,71	0,18	1,33	26,71
14	66,68	292,89	14,60	168,86	292,89	14,60	153,83	293,62	0,42	154,25	293,62	0,42	-72,56	0,90	18,17	0,12	0,90	18,17
15	-229,27	295,76	36,67	27,43	295,76	36,67	13,18	294,75	56,95	70,13	294,75	56,95	-156,54	1,98	39,20	0,27	1,98	39,20
16	-223,77	424,07	57,60	179,42	424,07	57,60	158,54	423,45	70,25	228,79	423,45	70,25	-98,31	1,23	24,62	0,17	1,23	24,62
17	172,63	422,16	11,16	250,73	422,16	11,16	228,87	423,59	-16,82	212,05	423,59	-16,82	-115,05	1,42	28,81	0,19	1,42	28,81

Przekroje słupa																	
1			2			3			4			5			6		
1	M _{max} ⁺	456,83	1	M _{max} ⁺	223,81	1	M _{max} ⁺	321,58	1	M _{max} ⁺	314,58	1	M _{max} ⁺	146,71	1	M _{max} ⁺	55,83
	N _{Tow}	1145,43		N _{Tow}	888,63		N _{Tow}	721,95		N _{Tow}	714,59		N _{Tow}	253,69		N _{Tow}	413,54
	V _{Tow}	-32,04		V _{Tow}	13,36		V _{Tow}	-21,22		V _{Tow}	60,78		V _{Tow}	-12,03		V _{Tow}	35,31
2	M _{min} ⁻	-510,39	2	M _{min} ⁻	-335,76	2	M _{min} ⁻	-133,72	2	M _{min} ⁻	-99,08	2	M _{min} ⁻	-188,33	2	M _{min} ⁻	15,62
	N _{Tow}	1124,94		N _{Tow}	770,94		N _{Tow}	194,43		N _{Tow}	186,01		N _{Tow}	206,96		N _{Tow}	115,75
	V _{Tow}	28,87		V _{Tow}	-7,80		V _{Tow}	36,45		V _{Tow}	32,82		V _{Tow}	57,71		V _{Tow}	-43,72
3	N _{max}	1641,22	3	N _{max}	1574,23	3	N _{max}	787,15	3	N _{max}	778,75	3	N _{max}	438,00	3	N _{max}	413,54
	M _{Tow}	-237,58		M _{Tow}	-74,70		M _{Tow}	255,05		M _{Tow}	241,91		M _{Tow}	-85,45		M _{Tow}	55,83
	V _{Tow}	23,26		V _{Tow}	23,26		V _{Tow}	-20,24		V _{Tow}	-22,01		V _{Tow}	35,31		V _{Tow}	35,31

Przykładowe obliczenia dla przekroju 1

Kombinacja 6.10a

$$M_{max}^+ = 0,80 + 2,15 + 0,5 * 0,52 + 0,6 * 281,56 + 1,0 * 172,63 = 344,78 \text{ kNm}$$

$$N_{Tow} = 587,47 + 117,18 + 0,5 * 294,93 + 0,6 * (-68,13) + 1,0 * 422,16 = 1233,40 \text{ kN}$$

$$V_{Tow} = -14,40 + (-0,15) + 0,5 * (-6,28) + 0,6 * (-25,18) + 1,0 * 11,16 = -21,64 \text{ kN}$$

$$M_{min}^- = 0,07 + 1,59 + 0,5 * (-16,06) + 0,6 * (-274,92) + 1,0 * (-229,27) = -400,59 \text{ kNm}$$

$$N_{Tow} = 614,43 + 86,81 + 0,5 * 529,02 + 0,6 * (-77,77) + 1,0 * 295,76 = 1214,85 \text{ kN}$$

$$V_{Tow} = -20,88 + (-0,11) + 0,5 * (-16,94) + 0,6 * 18,31 + 1,0 * 36,67 = 18,20 \text{ kN}$$

$$N_{max} = 690,47 + 117,18 + 0,5 * 529,02 + 0,6 * 0 + 1,0 * 424,07 = 1496,23 \text{ kN}$$

$$M_{Tow} = 0,49 + 2,15 + 0,5 * (-16,06) + 0,6 * 0 + 1,0 * (-223,77) = -229,16 \text{ kNm}$$

$$V_{Tow} = -20,27 + (-0,15) + 0,5 * (-16,94) + 0,6 * 0 + 1,0 * 57,60 = 28,71 \text{ kN}$$

Kombinacja 6.10b

$$M_{max}^+ = 0,55 + 1,83 + 281,56 + 0,5 * 0,52 + 1,0 * 172,63 = 456,83 \text{ kNm}$$

$$N_{Tow} = 544,07 + 99,86 + (-68,13) + 0,5 * 294,93 + 1,0 * 422,16 = 1145,43 \text{ kN}$$

$$V_{Tow} = -14,75 + (-0,13) + (-25,18) + 0,5 * (-6,28) + 1,0 * 11,16 = -32,04 \text{ kN}$$

$$M_{min}^- = 0,24 + 1,59 + (-274,92) + 0,5 * (-16,06) + 1,0 * (-229,27) = -510,39 \text{ kNm}$$

$$N_{Tow} = 555,63 + 86,81 + (-77,77) + 0,5 * 529,02 + 1,0 * 295,76 = 1124,94 \text{ kN}$$

$$V_{Tow} = -17,53 + (-0,11) + 18,31 + 0,5 * (-16,94) + 1,0 * 36,67 = 28,87 \text{ kN}$$

$$N_{max} = 588,27 + 99,86 + 529,02 + 0,6 * 0 + 1,0 * 424,07 = 1641,22 \text{ kN}$$

$$M_{Tow} = 0,42 + 1,83 + (-16,06) + 0,6 * 0 + 1,0 * (-223,77) = -237,58 \text{ kNm}$$

$$V_{Tow} = -17,27 + (-0,13) + (-16,94) + 0,6 * 0 + 1,0 * 57,60 = 23,26 \text{ kN}$$

6. Wymiarowanie słupa

Beton: C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{35}{1,4} = 25 \text{ MPa}$$

Stal: B500SP

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

Otulina

Klasa ekspozycji: XC3

Klasa konstrukcji: S4

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min,dur} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

$$a = c_{nom} + \emptyset_s + \frac{1}{2}\emptyset = 30 + 8 + 12,5 = 50,5 \text{ mm}$$

Przekrój 1 – Kombinacja 6.10b – M_{max}^+

Wymiary

$$b = 0,4 \text{ m}$$

$$h = 0,7 \text{ m}$$

$$l = 7 \text{ m}$$

Siły przekrojowe

$$M_{max} = 456,83 \text{ kNm}$$

$$N_{Tow} = 1145,43 \text{ kN}$$

Smukłość

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

$$l_0 = 1,6 * l = 1,6 * 7 = 11,2 \text{ m}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,4 * 0,7^3}{12} = 0,01143 \text{ m}^4$$

$$A = bh = 0,4 * 0,7 = 0,28 \text{ m}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0,01143}{0,28}} = 0,20 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{11,2}{0,20} = 56$$

Pętanie

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u}$$

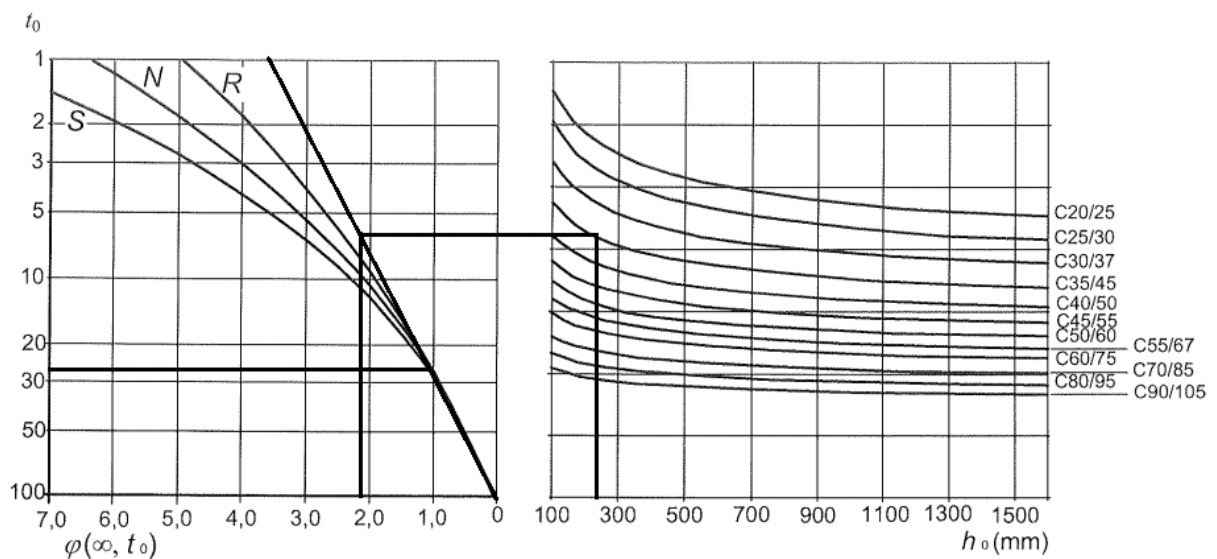
$$A_c = b * h = 0,4 * 0,7 = 0,28 \text{ m}^2$$

$$u = 2 * 0,4 + 2 * 0,7 = 2,2 \text{ m}$$

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} = \frac{2 * 0,28}{2,2} = 0,255 \text{ m} = 255 \text{ mm}$$

$$RH = 50\%$$

$$t_0 = 28 \text{ dni}$$



a) środowisko we wnętrzach RH = 50 %

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) = 2,1$$

Smukłość graniczna

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}}$$

$$A = \frac{1}{1 + 0,2 * \varphi_{ef}} = \frac{1}{1 + 0,2 * 2,1} = 0,7$$

$$B = 1,1$$

$$C = 0,7$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} = \frac{1145,43}{0,28 * 25000} = 0,16$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} = \frac{20 * 0,7 * 1,1 * 0,7}{\sqrt{0,16}} = 26,95$$

$$\lambda_{lim} = 26,95 < \lambda = 56 - \text{Należy uwzględnić efekty II rzędu}$$

Efekty II rzędu

$$e_s = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{456,83}{1145,43} = 0,399 \text{ m}$$

$$e_i = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{30} = \frac{700}{30} = 23 \text{ mm} \\ \frac{l_0}{400} = \frac{11200}{400} = 28 \text{ mm} \end{array} \right. = 28 \text{ mm} = 0,028 \text{ m}$$

$$e_0 = e_s + e_i = 0,399 + 0,028 = 0,427 \text{ m}$$

$$M_{0,Ed} = N_{Ed} * e_0 = 1145,43 * 0,427 = 489,10 \text{ kNm}$$

$$N_B = \pi^2 \frac{EI}{l_0^2}$$

$$EI = K_c * E_{cd} * I_c + K_s * E_s * I_s$$

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{CE}} = \frac{34}{1,2} = 28,33 \text{ GPa}$$

$$E_{cd,eff} = \frac{E_{cd}}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{28,33}{1 + 2,1} = 9,14 \text{ GPa}$$

$$I_c = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,4 * 0,7^3}{12} = 0,01143 \text{ m}^4$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$I_s = \rho * b * h * \left(\frac{h}{2} - a \right)^2 = 0,02 * 0,4 * 0,7 * \left(\frac{0,7}{2} - 0,051 \right)^2 = 0,0005006 \text{ m}^4$$

$$K_s = 1,0$$

$$K_c = \frac{k_1 k_2}{1 + \varphi_{ef}}$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} = \sqrt{\frac{35}{20}} = 1,32$$

$$k_2 = n \frac{\lambda}{170} = 0,16 * \frac{56}{170} = 0,053 < k_{2,max} = 0,20$$

$$K_c = \frac{k_1 k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1,32 * 0,053}{1 + 2,1} = 0,023$$

$$EI = K_c * E_{cd} * I_c + K_s * E_s * I_s = 0,023 * 9140000 * 0,01143 + 1 * 200000000 * 0,0005006 = 102522,81 \text{ kN} * \text{m}^2$$

$$N_B = \pi^2 \frac{EI}{l_0^2} = \pi^2 * \frac{102522,81}{11,2^2} = 8066,48 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M_{0,Ed} \left(1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1} \right)$$

$$\beta = 1,0$$

$$M_{Ed} = M_{0,Ed} \left(1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1} \right) = 489,10 * \left(1 + \frac{1}{\frac{8066,48}{1145,43} - 1} \right) = 570,05 \text{ kNm}$$

Zbrojenie

$$d = h - a = 0,7 - 0,051 = 0,649 \text{ m}$$

$$e_0 = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{570,05}{1145,43} = 0,498 \text{ m}$$

$$e_{s1} = e_0 + 0,5h - a = 0,498 + 0,5 * 0,7 - 0,051 = 0,797 \text{ m}$$

$$e_{s2} = e_{s1} - d + a = 0,797 - 0,649 + 0,051 = 0,199 \text{ m}$$

$$x_{eff} = x_{eff,lim} = \xi_{eff,lim} * d = 0,5 * 0,649 = 0,325 \text{ m}$$

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,10 N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,10 * 1145,43}{434780} = 0,0002634 \text{ m}^2 = 2,63 \text{ cm}^2 \\ 0,002 * A = 0,002 * 0,28 = 0,00056 \text{ m}^2 = 5,6 \text{ cm}^2 \end{array} \right. = 5,6 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s2} &= \frac{N_{Ed} * e_{s1} - f_{cd} * b * x_{eff} * (d - 0,5x_{eff})}{f_{yd} * (d - a_2)} \\ &= \frac{1145,43 * 0,797 - 25000 * 0,4 * 0,325 * (0,649 - 0,5 * 0,325)}{434780 * (0,649 - 0,051)} \\ &= -0,002570 \text{ m}^2 < 0 \end{aligned}$$

$$A_{s2} = A_{s,min} = 5,6 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 x_{eff} &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * [N_{Ed} e_{s1} - f_{yd} A_{s2} (d - a_2)]}{f_{cd} b}} \\
 &= 0,649 \\
 &= \sqrt{0,649^2 - \frac{2 * [1145,43 * 0,797 - 434780 * 0,000628 * (0,649 - 0,051)]}{25000 * 0,4}} \\
 &= 0,128 \text{ m} > 2a = 2 * 0,051 = 0,102 \text{ m} \\
 A_{s1} &= \frac{f_{cd} b x_{eff} - N_{Ed}}{f_{yd}} + A_{s2} = \frac{25000 * 0,4 * 0,128 - 1145,43}{434780} + 0,000628 = 0,0009375 \text{ m}^2 \\
 &= 9,38 \text{ cm}^2 > A_{s,min}
 \end{aligned}$$

Wyniki dla pozostałych przekrojów i kombinacji oraz przyjęte zbrojenie

Przekrój 1										
b [m]	h [m]	l [m]	6.10a				A _{s1}	A _{s2}	A _{s1,przyjęte}	A _{s2,przyjęte}
0,4	0,7	7	M _{max} ⁺	344,78	N _{Tow}	1233,40	5,6	5,6	4Ø20=12,57	5Ø20=15,71
			M _{min} ⁻	-400,59	N _{Tow}	1214,85	5,6	6,24		
			N _{max}	1496,23	M _{Tow}	-229,16	5,6	5,6		
			6.10b							
			M _{max} ⁺	456,83	N _{Tow}	1145,43	9,38	5,6		
			M _{min} ⁻	-510,39	N _{Tow}	1124,92	5,6	12,38		
			N _{max}	1641,22	M _{Tow}	-237,58	5,6	5,6		
Przekrój 2										
b [m]	h [m]	l [m]	6.10a				A _{s1}	A _{s2}	A _{s1,przyjęte}	A _{s2,przyjęte}
0,4	0,7	7	M _{max} ⁺	226,66	N _{Tow}	937,73	5,6	5,6	4Ø20=12,57	5Ø20=15,71
			M _{min} ⁻	-300,66	N _{Tow}	860,85	5,6	5,6		
			N _{max}	1417,62	M _{Tow}	-28,17	5,6	5,6		
			6.10b							
			M _{max} ⁺	223,81	N _{Tow}	888,63	5,6	5,6		
			M _{min} ⁻	-335,76	N _{Tow}	770,94	5,6	5,99		
			N _{max}	1574,23	M _{Tow}	-74,70	5,6	5,6		
Przekrój 3										
b [m]	h [m]	l [m]	6.10a				A _{s1}	A _{s2}	A _{s1,przyjęte}	A _{s2,przyjęte}
0,4	0,6	1	M _{max} ⁺	325,84	N _{Tow}	765,32	4,8	4,8	2Ø20=6,28	2Ø20=6,28
			M _{min} ⁻	-72,13	N _{Tow}	222,35	4,8	4,8		
			N _{max}	836,25	M _{Tow}	255,44	4,8	4,8		
			6.10b							
			M _{max} ⁺	321,58	N _{Tow}	721,95	4,8	4,8		
			M _{min} ⁻	-133,72	N _{Tow}	194,43	4,8	4,8		
			N _{max}	787,15	M _{Tow}	255,05	4,8	4,8		

Przekrój 4											
b [m]	h [m]	l [m]	6.10a				A _{s1}	A _{s2}	A _{s1,przyjęte}	A _{s2,przyjęte}	
0,4	0,6	1	M _{max} ⁺	318,29	N _{Tow}	757,96	4,8	4,8	2Ø20=6,28	2Ø20=6,28	
			M _{min} ⁻	-52,63	N _{Tow}	212,47	4,8	4,8			
			N _{max}	826,39	M _{Tow}	242,44	4,8	4,8			
			6.10b								
			M _{max} ⁺	314,58	N _{Tow}	714,59	4,8	4,8			
			M _{min} ⁻	-99,08	N _{Tow}	186,01	4,8	4,8			
			N _{max}	778,75	M _{Tow}	241,91	4,8	4,8			
Przekrój 5											
b [m]	h [m]	l [m]	6.10a				A _{s1}	A _{s2}	A _{s1,przyjęte}	A _{s2,przyjęte}	
0,4	0,4	4	M _{max} ⁺	123,36	N _{Tow}	341,82	8,43	3,2	4Ø20=12,57	5Ø20=15,71	
			M _{min} ⁻	-188,33	N _{Tow}	206,96	3,2	14,21			
			N _{max}	404,73	M _{Tow}	-92,97	3,2	5,40			
			6.10b								
			M _{max} ⁺	146,71	N _{Tow}	253,69	10,46	3,2			
			M _{min} ⁻	-188,33	N _{Tow}	206,96	3,2	14,21			
			N _{max}	438,00	M _{Tow}	-85,45	3,2	4,63			
Przekrój 6											
b [m]	h [m]	l [m]	6.10a				A _{s1}	A _{s2}	A _{s1,przyjęte}	A _{s2,przyjęte}	
0,4	0,4	4	M _{max} ⁺	50,77	N _{Tow}	376,03	3,2	3,2	4Ø20=12,57	5Ø20=15,71	
			M _{min} ⁻	21,09	N _{Tow}	156,24	3,2	3,2			
			N _{max}	376,03	M _{Tow}	50,77	3,2	3,2			
			6.10b								
			M _{max} ⁺	55,83	N _{Tow}	413,54	3,2	3,2			
			M _{min} ⁻	15,62	N _{Tow}	115,75	3,2	3,2			
			N _{max}	413,54	M _{Tow}	55,83	3,2	3,2			

Sprawdzenie ścinania

Przekrój 1 i 2

$$V_{Ed,max} = 32,04 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} * k * (100\rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d > (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,4} = 0,129$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{649}} = 1,56 < 2,0$$

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$b = 0,4 \text{ m}$$

$$d = 0,649 \text{ m}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{bd} = \frac{28,28}{40 * 64,9} = 0,01 < 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * \sqrt{f_{ck}} = 0,035 * 1,56^{\frac{3}{2}} * \sqrt{35} = 0,40$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= \left[C_{Rd,c} * k * (100\rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d \\ &= \left[0,129 * 1,46 * (100 * 0,01 * 35)^{\frac{1}{3}} \right] * 400 * 649 = 175,28 \text{ kN} \\ &> (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 0,40 * 0,4 * 0,649 = 104,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,c} = 175,28 \text{ kN} > V_{Ed} = 32,04 \text{ kN}$$

Wyniki dla pozostałych przekrojów

Przekrój	$V_{Ed,max}$		$V_{Rd,c}$
1 i 2	32,04	<	175,28
3 i 4	60,78	<	123,34
5 i 6	57,71	<	130,96

Strzemiona

Rozstaw maksymalny

$$s_{max} = \min \begin{cases} 20\phi = 20 * 25 = 500 \text{ mm} \\ b = 400 \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \end{cases} = 400 \text{ mm}$$

$$0,6 s_{max} = 0,6 * 400 = 240 \text{ mm}$$

Przyjęto strzemiona dwucięte $\Phi 8$ w rozstawie 400 mm, na odcinkach równych $h = 700 \text{ mm}$ powyżej i poniżej połączenia ze wspornikami oraz w strefie połączenia prętów podłużnych na zakład rozstaw zmniejszono do 240 mm.

Długość zakładu prętów

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 1,0$$

$$\eta_2 = 1,0$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} * \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1,0 * \frac{2,2}{1,4} = 1,57 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 2,25 * 1,0 * 1,0 * 1,57 = 3,53 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} * \frac{434,78}{3,53} = 615 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} = 1,0 * 0,7 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 615 = 430 \text{ mm}$$

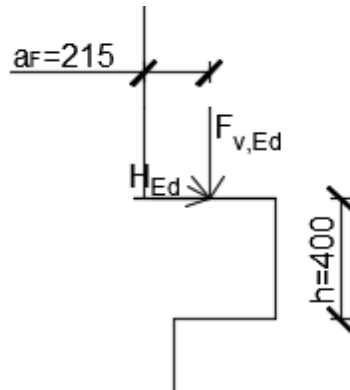
$$l_{b,min} = \max\{0,3 * l_{b,rqd}; 15\phi; 200\text{mm}\} = \max\{185 \text{ mm}; 300 \text{ mm}; 200\text{mm}\} = 300 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 430 \text{ mm} > l_{b,min} = 300 \text{ mm}$$

Przyjęto $l_{bd} = 430 \text{ m}$

7. Wymiarowanie wsporników

Wspornik pod dźwigar dachowy nawy niższej



$$F_{v,Ed} = 705,92 \text{ kN}$$

$$H_{Ed} = 0,2 * F_{v,Ed} = 0,2 * 705,92 = 141,18 \text{ kN}$$

Sprawdzenie geometrii

$$\frac{a_F}{h} = \frac{215}{400} = 0,54$$

$$0,3 < \frac{a_F}{h} = 0,54 < 1,0$$

$$\nu = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,52$$

$$a_H = c_{nom} + \frac{1}{2} \emptyset = 30 + \frac{1}{2} * 20 = 40 \text{ mm}$$

$$d = h - a = 400 - 40 = 360 \text{ mm}$$

$$F_{v,Ed} = 705,92 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 0,5 * \nu * f_{cd} * b * d = 0,5 * 0,52 * 25000 * 0,4 * 0,36 = 936 \text{ kN}$$

Wymiarowanie zbrojenia

Zbrojenie główne

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} * \left(F_{v,Ed} * \frac{a}{z} + H_{Ed} * \frac{a_H + z}{z} \right)$$

$$a_1 = \frac{F_{v,Ed}}{f_{cd}} * b = \frac{705,92}{25000} * 0,4 = 0,011 \text{ m}$$

$$a = a_F + 0,5 * a_1 = 0,215 + 0,5 * 0,011 = 0,221 \text{ m}$$

$$a_2 = d - \sqrt{d^2 - 2 * a_1 * a} = 0,36 - \sqrt{0,36^2 - 2 * 0,011 * 0,221} = 0,007 \text{ m}$$

$$z = d - 0,5 * a_2 = 0,36 - 0,5 * 0,007 = 0,357 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} * \left(F_{v,Ed} * \frac{a}{z} + H_{Ed} * \frac{a_H + z}{z} \right) = \frac{1}{434780} * \left(705,92 * \frac{0,221}{0,357} + 141,18 * \frac{0,04 + 0,357}{0,357} \right) \\ = 0,001355 \text{ m}^2 = 13,55 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \rho_{min} * b * h = 0,004 * 0,4 * 0,4 = 0,00064 \text{ m}^2 = 6,4 \text{ cm}^2 < A_s = 13,55 \text{ cm}^2$$

Przyjęto 2 pętle $\phi 25$ o $A_s = 19,63 \text{ cm}^2$

Długość zakotwienia zbrojenia głównego

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} * f_{yd} = \frac{13,55}{19,63} * 434,78 = 300,12 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 1,0$$

$$\eta_2 = 1,0$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} * \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1,0 * \frac{2,2}{1,4} = 1,57 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 2,25 * 1,0 * 1,0 * 1,57 = 3,53 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{25}{4} * \frac{300,12}{3,53} = 531 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} = 1,0 * 0,7 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 531 = 372 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 * l_{b,rqd}; 10\phi; 100\text{mm}\} = \max\{159 \text{ mm}; 250 \text{ mm}; 100\text{mm}\} = 250 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 372 \text{ mm} > l_{b,min} = 250 \text{ mm}$$

Przyjęto $l_{bd} = 380 \text{ mm}$

Zbrojenie poprzeczne

Strzemiona poziome

$$A_{sw,h} \geq 0,3A_s = 0,3 * 19,63 \text{ cm}^2 = 5,89 \text{ cm}^2$$

$$0,3 < \frac{a_F}{h} = 0,54 < 0,6$$

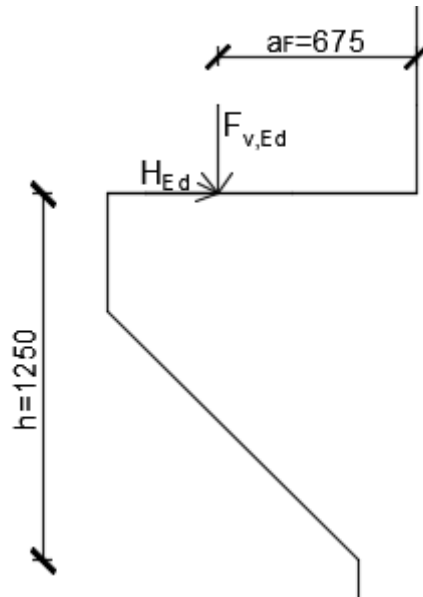
$$A_{sw,h} \geq 0,5A_s = 0,5 * 19,63 \text{ cm}^2 = 9,82 \text{ cm}^2$$

$$s \leq 0,25 h = 0,25 * 0,4 = 0,1 \text{ m}$$

$$s \leq 0,15 \text{ m}$$

Przyjęto 7 strzemion dwuciętych $\phi 10$ o $A_s = 11,00 \text{ cm}^2$

Wspornik pod belkę podsuwnicową



$$F_{v,Ed} = 422,22 \text{ kN}$$

$$H_{Ed} = \min\{0,2 * F_{v,Ed}; H_{T,1}; H_{T,2}\} = 0,2 * F_{v,Ed} = 0,2 * 422,22 = 84,44 \text{ kN}$$

Sprawdzenie geometrii

$$\frac{a_F}{h} = \frac{675}{1250} = 0,54$$

$$0,3 < \frac{a_F}{h} = 0,54 < 1,0$$

$$\nu = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,52$$

$$a_H = c_{nom} + \frac{1}{2} \emptyset = 30 + \frac{1}{2} * 25 = 42,5 \text{ mm}$$

$$d = h - a = 1250 - 42,5 = 1208 \text{ mm}$$

$$F_{v,Ed} = 422,22 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 0,5 * \nu * f_{cd} * b * d = 0,5 * 0,52 * 25000 * 0,4 * 1,208 = 3140,8 \text{ kN}$$

Wymiarowanie zbrojenia

Zbrojenie główne

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} * \left(F_{v,Ed} * \frac{a}{z} + H_{Ed} * \frac{a_H + z}{z} \right)$$

$$a_1 = \frac{F_{v,Ed}}{f_{cd}} * b = \frac{422,22}{25000} * 0,4 = 0,007 \text{ m}$$

$$a = a_F + 0,5 * a_1 = 0,675 + 0,5 * 0,007 = 0,679 \text{ m}$$

$$a_2 = d - \sqrt{d^2 - 2 * a_1 * a} = 1,208 - \sqrt{1,208^2 - 2 * 0,007 * 0,679} = 0,004 \text{ m}$$

$$z = d - 0,5 * a_2 = 1,208 - 0,5 * 0,004 = 1,206 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} * \left(F_{v,Ed} * \frac{a}{z} + H_{Ed} * \frac{a_H + z}{z} \right) = \frac{1}{434780} * \left(422,22 * \frac{0,679}{1,206} + 84,44 * \frac{0,043 + 1,206}{1,206} \right) \\ = 0,000748 \text{ m}^2 = 7,48 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \rho_{min} * b * h = 0,004 * 0,4 * 1,2 = 0,00192 \text{ m}^2 = 19,2 \text{ cm}^2 > A_s = 7,48 \text{ cm}^2$$

Przyjęto 2 pętle $\phi 25$ o $A_s = 19,63 \text{ cm}^2$

Długość zakotwienia zbrojenia głównego

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} * f_{yd} = \frac{19,2}{19,63} * 434,78 = 425,26 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 1,0$$

$$\eta_2 = 1,0$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} * \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1,0 * \frac{2,2}{1,4} = 1,57 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 2,25 * 1,0 * 1,0 * 1,57 = 3,53 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{25}{4} * \frac{425,26}{3,53} = 753 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} = 1,0 * 0,7 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 752,94 = 527 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 * l_{b,rqd}; 10\phi; 100\text{mm}\} = \max\{226 \text{ mm}; 250 \text{ mm}; 100\text{mm}\} = 250 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 527 \text{ mm} > l_{b,min} = 250 \text{ mm}$$

Przyjęto $l_{bd} = 530 \text{ mm}$

Zbrojenie poprzeczne

Strzemiona poziome

$$A_{sw,h} \geq 0,3A_s = 0,3 * 19,63 \text{ cm}^2 = 5,89 \text{ cm}^2$$

$$0,3 < \frac{a_F}{h} = 0,54 < 0,6$$

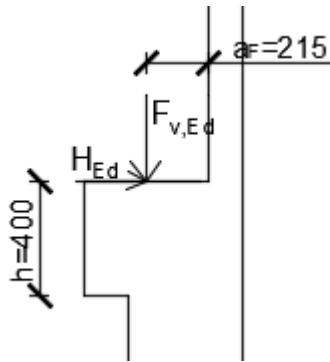
$$A_{sw,h} \geq 0,5A_s = 0,5 * 19,63 \text{ cm}^2 = 9,82 \text{ cm}^2$$

$$s \leq 0,25 h = 0,25 * 1,25 = 0,313 \text{ m}$$

$$s \leq 0,15 \text{ m}$$

Przyjęto 8 strzemion dwuciętych $\phi 10$ o $A_s = 12,57 \text{ cm}^2$

Wspornik pod dźwigar dachowy nawy wyższej



$$F_{v,Ed} = 411,57 \text{ kN}$$

$$H_{Ed} = 0,2 * F_{v,Ed} = 0,2 * 411,57 = 82,31 \text{ kN}$$

Sprawdzenie geometrii

$$\frac{a_F}{h} = \frac{215}{400} = 0,54$$

$$0,3 < \frac{a_F}{h} = 0,54 < 1,0$$

$$\nu = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,52$$

$$a_H = c_{nom} + \frac{1}{2}\varnothing = 30 + \frac{1}{2} * 25 = 42,5 \text{ mm}$$

$$d = h - a = 400 - 42,5 = 358 \text{ mm}$$

$$F_{v,Ed} = 411,57 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 0,5 * \nu * f_{cd} * b * d = 0,5 * 0,52 * 25000 * 0,4 * 0,358 = 930,8 \text{ kN}$$

Wymiarowanie zbrojenia

Zbrojenie główne

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} * \left(F_{v,Ed} * \frac{a}{z} + H_{Ed} * \frac{a_H + z}{z} \right)$$

$$a_1 = \frac{F_{v,Ed}}{f_{cd}} * b = \frac{411,57}{25000} * 0,4 = 0,007 \text{ m}$$

$$a = a_F + 0,5 * a_1 = 0,215 + 0,5 * 0,007 = 0,219 \text{ m}$$

$$a_2 = d - \sqrt{d^2 - 2 * a_1 * a} = 0,358 - \sqrt{0,358^2 - 2 * 0,007 * 0,219} = 0,004 \text{ m}$$

$$z = d - 0,5 * a_2 = 0,358 - 0,5 * 0,004 = 0,356 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} * \left(F_{v,Ed} * \frac{a}{z} + H_{Ed} * \frac{a_H + z}{z} \right) = \frac{1}{434780} * \left(411,57 * \frac{0,219}{0,356} + 82,31 * \frac{0,043 + 0,356}{0,356} \right) \\ = 0,000795 \text{ m}^2 = 7,95 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \rho_{min} * b * h = 0,004 * 0,4 * 0,4 = 0,00064 \text{ m}^2 = 6,4 \text{ cm}^2 < A_s = 7,95 \text{ cm}^2$$

Przyjęto pętlę $\phi 25$ o $A_s = 9,82 \text{ cm}^2$

Długość zakotwienia zbrojenia głównego

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} * f_{yd} = \frac{7,95}{9,82} * 434,78 = 351,99 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{cta}$$

$$\eta_1 = 1,0$$

$$\eta_2 = 1,0$$

$$f_{cta} = \alpha_{ct} * \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1,0 * \frac{2,2}{1,4} = 1,57 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{cta} = 2,25 * 1,0 * 1,0 * 1,57 = 3,53 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{25}{4} * \frac{351,99}{3,53} = 623 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} = 1,0 * 0,7 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 623,21 = 436 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 * l_{b,rqd}; 10\phi; 100\text{mm}\} = \max\{187 \text{ mm}; 250 \text{ mm}; 100\text{mm}\} = 250 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 436 \text{ mm} > l_{b,min} = 250 \text{ mm}$$

Przyjęto $l_{bd} = 440 \text{ mm}$

Zbrojenie poprzeczne

Strzemiona poziome

$$A_{sw,h} \geq 0,3A_s = 0,3 * 9,82 \text{ cm}^2 = 2,95 \text{ cm}^2$$

$$0,3 < \frac{a_F}{h} = 0,54 < 0,6$$

$$A_{sw,h} \geq 0,5A_s = 0,5 * 9,82 \text{ cm}^2 = 4,91 \text{ cm}^2$$

$$s \leq 0,25 h = 0,25 * 0,4 = 0,1 \text{ m}$$

$$s \leq 0,15 \text{ m}$$

Przyjęto 4 strzemiona dwucięte $\phi 10$ o $A_s = 6,28 \text{ cm}^2$

8. Faza składowania

$$g_1 = b * h * \gamma_b * 1,35 = 0,4 * 0,7 * 25 * 1,35 = 9,45 \frac{kN}{m}$$

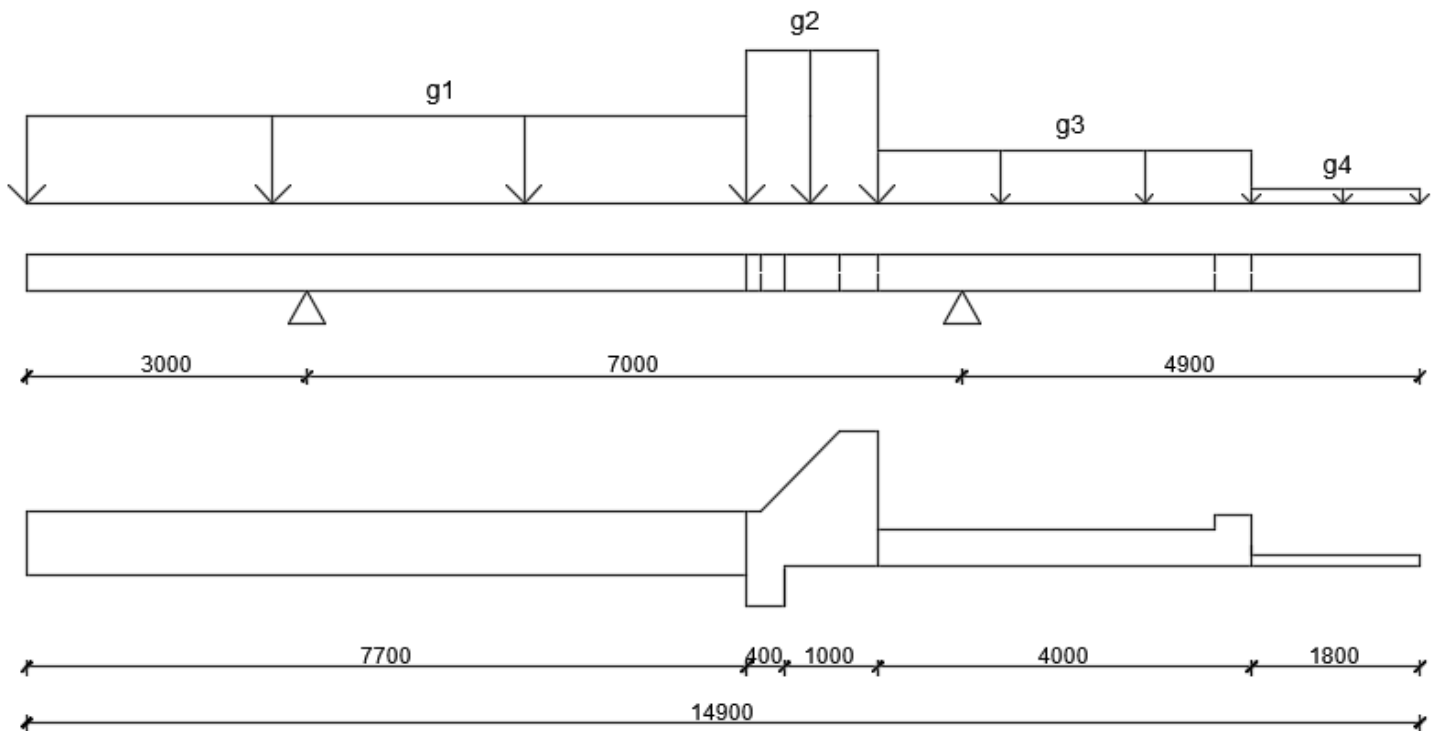
$$g_2 = b * h * \gamma_b * 1,35$$

$$= \frac{0,4 * 1,03 * 0,4 + 0,4 * \frac{0,85}{2} * 0,85 + 0,4 * 0,85 * 0,4 + 0,4 * 0,6 * 1}{1,4} * 25 * 1,35$$

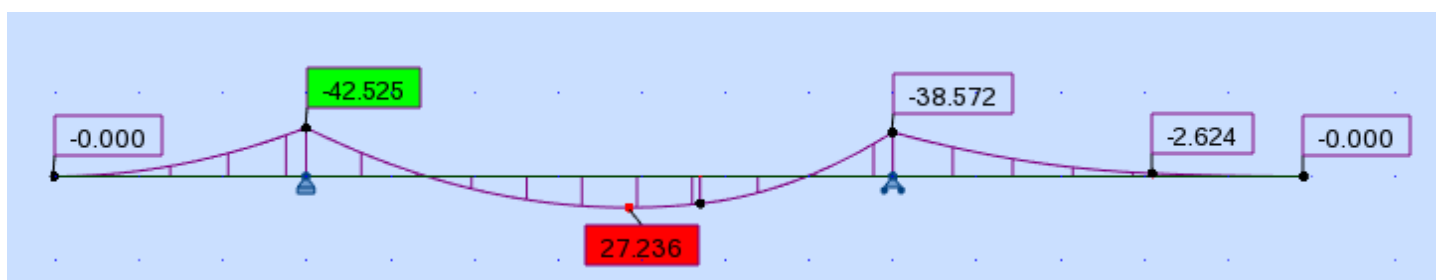
$$= 16,52 \frac{kN}{m}$$

$$g_3 = b * h * \gamma_b * 1,35 = \frac{0,4 * 0,4 * 3,6 + 0,4 * 0,55 * 0,4}{4} * 25 * 1,35 = 5,60 \frac{kN}{m}$$

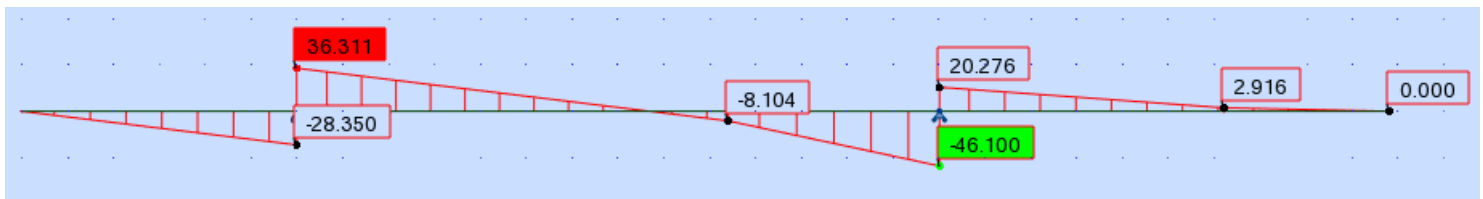
$$g_4 = b * h * \gamma_b * 1,35 = 0,4 * 0,12 * 25 * 1,35 = 1,62 \frac{kN}{m}$$



Wykres momentów zginających [kNm]



Wykres sił tnących [kN]



Nośność przekroju

$$d = h - c_{nom} - \phi_{strz} - \frac{\phi}{2} = 0,4 - 0,03 - 0,008 - \frac{0,02}{2} = 0,352 \text{ m}$$

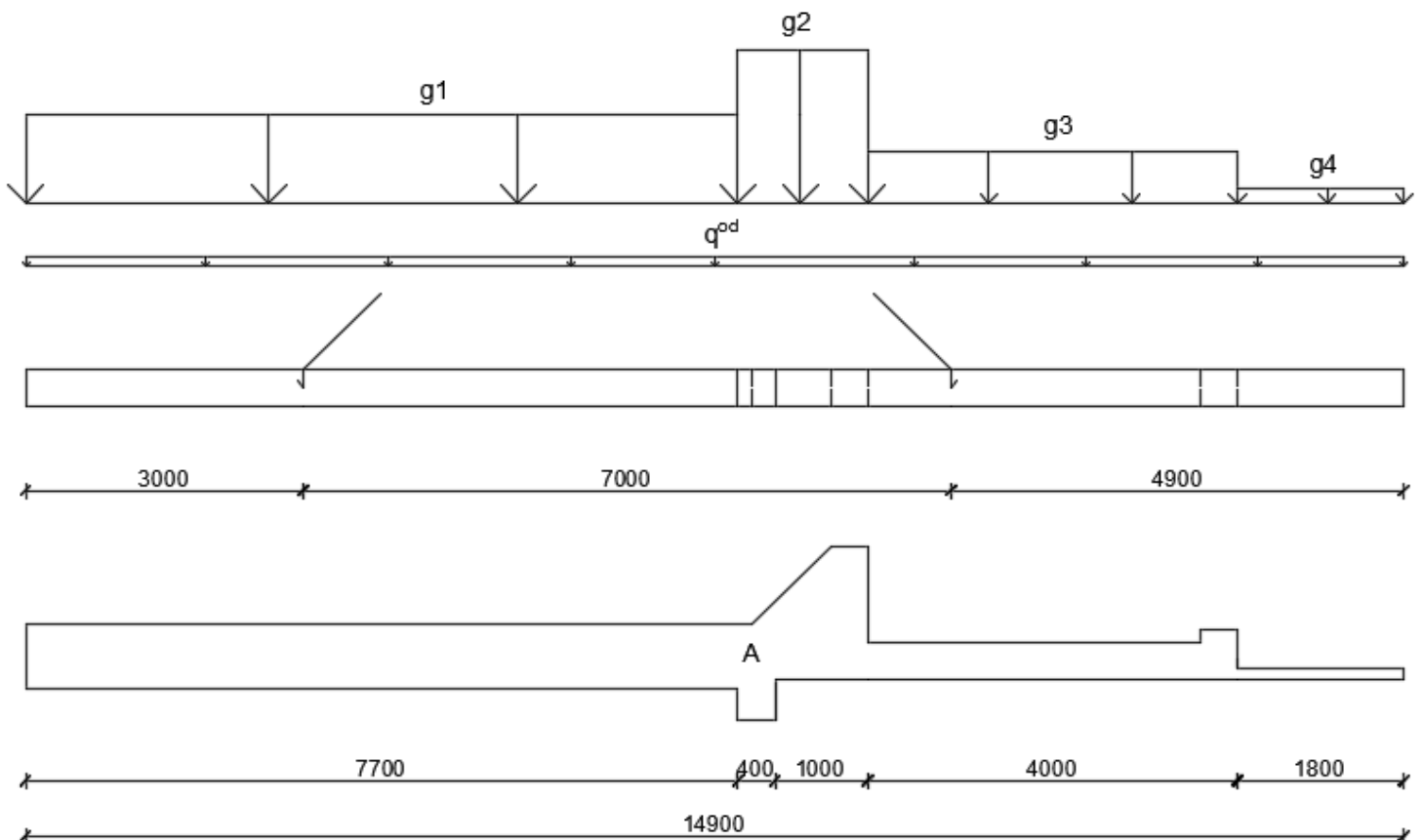
$$\xi_{eff} = \frac{A * f_{yd}}{b * d * f_{cd}} = \frac{2 * \frac{\pi * 0,02^2}{4} * 434780}{0,4 * 0,352 * 21430} = 0,091$$

$$M_{Rd,min} = \xi_{eff} * \left(1 - \frac{\xi_{eff}}{2}\right) * d^2 * b * f_{cd} = 0,091 * \left(1 - \frac{0,091}{2}\right) * 0,352^2 * 0,4 * 21430$$

$$= 92,25 \text{ kNm} > M_{Ed,max} = 42,53 \text{ kNm}$$

$$V_{Rd,c,min} = 123,34 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 46,10 \text{ kN}$$

9. Faza montażu



$$q^{od} = 1 \frac{kN}{m^2}$$

Przyjęto współczynnik dynamiczny $\gamma_d = 1,1$

$$P = (g_1 * 7,7 + g_2 * 1,4 + g_3 * 4 + g_4 * 1,8 + A * q^{od}) * \gamma_d$$

$$= (9,45 * 7,7 + 16,52 * 1,4 + 5,60 * 4 + 1,62 * 1,8 + 9,08 * 1) * 1,1 = 143,32 \text{ kN}$$

Dobrano hak kulowy Pfeifer DR 15,0

Nr katalogowy	Typ/ rozmiar	N _{R,dop} [*] [kN]	Wymiary [mm]				Ciężar ok. [kg/szt.]
			h	D	d	b	
05.180.013.h.2	DR 1,3	13	55, 65, 85, 120	18	10	25	0,06 – 0,10
05.180.025.h.2	DR 2,5	25	70, 85, 120, 140, 170	25	14	35	0,16 – 0,27
05.180.050.h.2	DR 5,0	50	75, 95, 120, 160, 180, 210, 240	36	20	50	0,34 – 0,76
05.180.075.h.2	DR 7,5	75	85, 95, 120, 140, 165, 200, 300	46	24	60	0,58 – 1,36
05.180.100.h.2	DR 10,0	100	120, 135, 150, 170, 200 220, 250, 340	46	28	70	0,93 – 1,98
05.180.150.h.2	DR 15,0	150	400	69	34	85	3,70
05.180.200.h.2	DR 20,0	200	500	69	39	99	5,87

Dobrano uchwyt kulowy Pfeifer WK/DR 20,0

PFEIFER – uchwyt kulowy WK

Nr katalogowy	Typ/rozmiar	N _{R,dop} [kN]	V _{R,dop} [kN]	Dla kotew o nośności	Wymiary [mm]							Ciężar [kg/szt.]
					D	H	h	B	s	d	f	
05.184.013.3	WK/DR 1,3	13	6,5	1,3	54,0	162,0	74,0	33,0	11,5	46,0	74,0	0,99
05.184.025.3	WK/DR 2,5	25	12,5	2,5	63,0	194,0	89,0	42,0	16,0	55,0	86,0	1,41
05.184.050.3	WK/DR 5,0	50	25,0	5,0	82,0	236,0	112,0	60,0	21,5	70,0	118,0	3,22
05.184.100.3	WK/DR 10,0	100	50,0	10,0	105,0	339,0	155,0	84,0	29,0	84,0	160,0	8,92
05.184.200.3	WK/DR 20,0	200	100,0	20,0	153,0	441,0	231,0	115,0	41,0	118,0	186,0	22,00

Dobrano zawiesie linowe dwucięgnowe firmy Warmel o dopuszczalnym obciążeniu 16 t = 160 kN

Dopuszczalne obciążenie robocze DOR [t] zawiesi linowych						
średnica liny	Jednocięgnowe		Dwucięgnowe		Trzy i Czterocięgnowe	
[mm]	W linii prostej	W obw. zamkniętym	0 - 90	90 - 120	0 - 90	90 - 120
8	0,6	0,5	0,8	0,6	1,2	0,9
10	1,0	0,8	1,5	1,0	2,0	1,6
12	1,5	1,2	2,0	1,5	3,2	2,3
14	1,8	1,4	2,5	1,8	4,0	2,8
16	2,4	1,9	3,2	2,4	5,0	3,7
18	3,4	2,7	4,8	3,4	7,2	5,2
20	4,3	3,4	6,0	4,3	9,0	6,5
22	5,2	4,1	7,2	5,2	11,0	7,8
25	6,6	5,3	9,4	6,6	14,0	10,0
28	8,4	6,7	11,8	8,4	18,0	12,5
32	10,0	8,0	14,0	10,0	20,5	15,0
36	14,0	11,2	20,0	14,0	29,0	21,0
40	16,0	12,5	20,0	16,0		