

**Załącznik nr 2****Obliczenia konstrukcyjne**

## **Poz. 1.1. Obliczenie płyty stropowej żelbetowej monolitycznej dwukierunkowo zbrojonej**

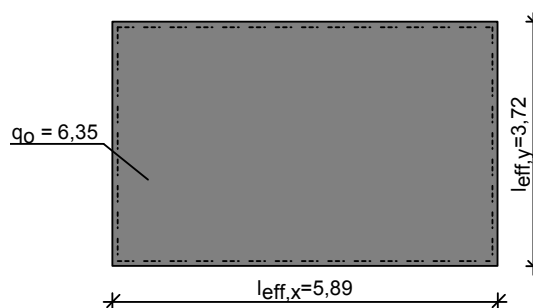
### **Poz. 1.1. Płyta żelbetowa monolityczna dwukierunkowo zbrojona**

#### **ZESTAWIENIE OBCIĄŻEŃ**

Obciążenia powierzchniowe [kN/m<sup>2</sup>]:

Lp.	Opis obciążenia	Obc.char.	$\gamma_f$	$k_d$	Obc.obl.
1.	Papa termozgrzewalna na podłożu z płyt styropianowych [0,100 kN/m <sup>2</sup> ]	0,10	1,35	--	0,14
2.	Styropian grub. 40 cm [0,45 kN/m <sup>3</sup> ·0,40 m]	0,18	1,35	--	0,24
3.	Papa podkładowa [11,0 kN/m <sup>3</sup> ·0,001 m]	0,01	1,35	--	0,01
4.	Tynk cementowo-wapienny grub. 1,5 cm [19,0 kN/m <sup>3</sup> ·0,015 m]	0,29	1,35	--	0,39
5.	Obciążenie śniegiem połaci dachu jednospadowego wg PN-80/B-02010/Az1/Z1-1 (strefa 3, A=201 m n.p.m. → $Q_k=1,2$ kN/m <sup>2</sup> , nachylenie połaci 3,0° → $C_1=0,8$ ) [0,960 kN/m <sup>2</sup> ]	0,96	1,50	0,00	1,44
6.	Płyta żelbetowa monolityczna grub. 15 cm	3,75	1,10	--	4,13
$\Sigma$ :		5,29	1,20		6,35

#### **SCHEMAT STATYCZNY**



Rozpiętość obliczeniowa płyty  $l_{eff,x} = 5,89$  m

Rozpiętość obliczeniowa płyty  $l_{eff,y} = 3,72$  m

**Grubość płyty 15,0 cm**

#### **WYNIKI OBLICZEŃ STATYCZNYCH**

Kierunek x:

Moment przęsłowy obliczeniowy  $M_{Sdx,p} = 2,70$  kNm/m

Moment przęsłowy charakterystyczny  $M_{Skx} = 2,25$  kNm/m

Moment przęsłowy charakterystyczny długotrwały  $M_{Skx,lt} = 1,84$  kNm/m

Maksymalne oddziaływanie podporowe (wzdłuż krawędzi y)  $Q_{ox,max} = 11,81$  kN/m

Zastępcze oddziaływanie podporowe (wzdłuż krawędzi y)  $Q_{ox} = 7,38$  kN/m

Kierunek y:

Moment przęsłowy obliczeniowy  $M_{Sdy} = 6,76$  kNm/m

Moment przęsłowy charakterystyczny  $M_{Sdy} = 5,63$  kNm/m

Moment przęsłowy charakterystyczny długotrwały  $M_{Sdy,lt} = 4,61$  kNm/m

Maksymalne oddziaływanie podporowe (wzdłuż krawędzi x)  $Q_{oy,max} = 11,81$  kN/m

Zastępcze oddziaływanie podporowe (wzdłuż krawędzi x)  $Q_{oy} = 9,82$  kN/m

#### **DANE MATERIAŁOWE**

Parametry betonu:

Klasa betonu **C16/20** →  $f_{cd} = 10,67$  MPa,  $f_{ctd} = 0,87$  MPa,  $E_{cm} = 29,0$  GPa

Ciężar objętościowy betonu  $\rho = 25$  kN/m<sup>3</sup>

Wilgotność środowiska  $RH = 50\%$

Wiek betonu w chwili obciążenia 28 dni

Współczynnik pełzania (obliczono)  $\phi = 3,25$

Zbrojenie główne:

Gatunek stali B500SP → klasa A-III,  $f_{yk} = 500$  MPa,  $f_{yd} = 435$  MPa

Średnica prętów w przęśle w kierunku x  $\varnothing_{d,x} = 10$  mm

Średnica prętów w przęśle w kierunku y  $\varnothing_{d,y} = 10$  mm

Otulenie:

Nominalna grubość otulenia prętów z góry płyty  
Nominalna grubość otulenia prętów z dołu płyty

$c_{nom,g} = 20 \text{ mm}$   
 $c_{nom,d} = 20 \text{ mm}$

**ZAŁOŻENIA**

Sytuacja obliczeniowa: trwała  
Graniczna szerokość rys  $w_{lim} = 0,3 \text{ mm}$   
Graniczne ugięcie  $a_{lim} = l_{eff}/200$  - jak dla stropów (tablica 8)

**WYMIAROWANIE wg PN-B-03264:2002 (metoda uproszczona)**Kierunek x:Przęsło:

Zbrojenie potrzebne (war. konstrukcyjny)  $A_s = 1,50 \text{ cm}^2/\text{mb}$ . Przyjęto **Ø10 co 20,0 cm** o  $A_s = 3,93 \text{ cm}^2/\text{mb}$   
( $\rho = 0,34\%$ )

Warunek nośności na zginanie:  $M_{Sd,x} = 2,70 \text{ kNm/mb} < M_{Rd,x} = 18,27 \text{ kNm/mb}$  (14,8%)

Szerokość rys prostopadłych: rysy nie wyznaczono ( $M_{cr} > M_{Skk}$ )

Podpora:

Warunek nośności na ścinanie:  $V_{Sd,x} = 11,81 \text{ kN/mb} < V_{Rd1,x} = 65,70 \text{ kN/mb}$  (18,0%)

Kierunek y:Przęsło:

Zbrojenie potrzebne (war. konstrukcyjny)  $A_s = 1,62 \text{ cm}^2/\text{mb}$ . Przyjęto **Ø10 co 20,0 cm** o  $A_s = 3,93 \text{ cm}^2/\text{mb}$   
( $\rho = 0,31\%$ )

Warunek nośności na zginanie:  $M_{Sd,y} = 6,76 \text{ kNm/mb} < M_{Rd,y} = 19,98 \text{ kNm/mb}$  (33,8%)

Szerokość rys prostopadłych: rysy nie wyznaczono ( $M_{cr} > M_{Skk}$ )

Podpora:

Warunek nośności na ścinanie:  $V_{Sd,y} = 11,81 \text{ kN/mb} < V_{Rd1,y} = 70,63 \text{ kN/mb}$  (16,7%)

Ugięcie całkowite płyty:

Maksymalne ugięcie od  $M_{Sk,lt}$ :  $a(M_{Sk,lt}) = 3,21 \text{ mm} < a_{lim} = 18,60 \text{ mm}$  (17,3%)

**SZKIC ZBROJENIA**

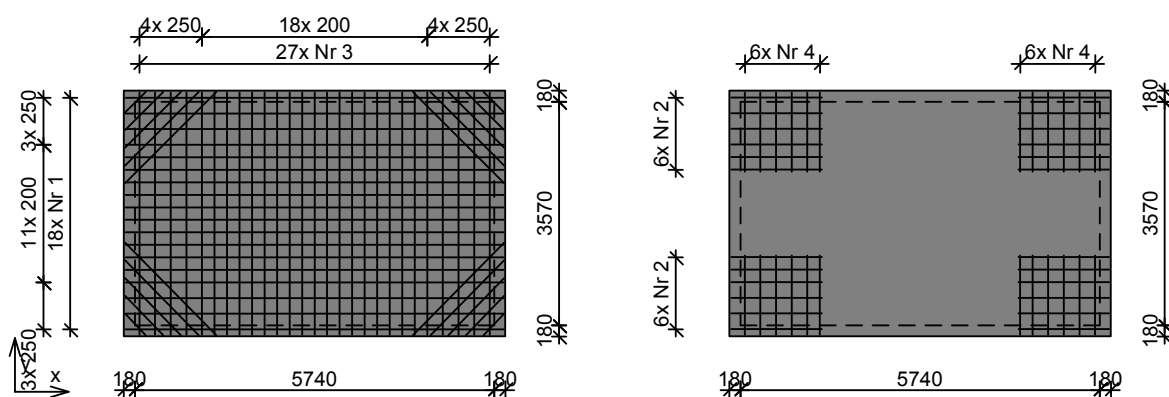
## Kierunek x:

Nr1 18Ø10 l=6060  
6060

## Kierunek y:

Nr3 27Ø10 l=3890  
3890

Schemat rozmieszczenia prętów (dołem i górej):

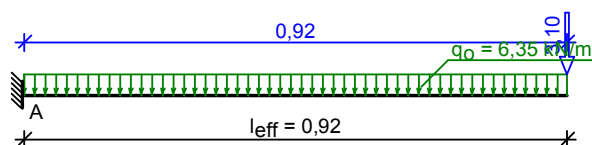


**Poz. 1.2. Płyta żelbetowa monolityczna wspornikowa****ZESTAWIENIE OBCIĄŻEŃ**Obciążenia powierzchniowe [kN/m<sup>2</sup>]:

Lp	Opis obciążenia	Obc.char.	$\gamma_f$	$k_d$	Obc.obl.
1.	Papa termozgrzewalna na podłożu z płyt styropianowych [0,100 kN/m <sup>2</sup> ]	0,10	1,35	--	0,14
2.	Styropian grub. 40 cm [0,45 kN/m <sup>3</sup> ·0,40 m]	0,18	1,35	--	0,24
3.	Papa podkładowa [11,0 kN/m <sup>3</sup> ·0,001 m]	0,01	1,35	--	0,01
4.	Tynk cementowo-wapienny grub. 1,5 cm [19,0 kN/m <sup>3</sup> ·0,015 m]	0,29	1,35	--	0,39
5.	Obciążenie śniegiem połaci dachu jednospadowego wg PN-80/B-02010/Az1/Z1-1 (strefa 3, A=201 m n.p.m. → Q <sub>k</sub> =1,2 kN/m <sup>2</sup> , nachylenie połaci 3,0° → C <sub>1</sub> =0,8) [0,960 kN/m <sup>2</sup> ]	0,96	1,50	0,00	1,44
6.	Płyta żelbetowa monolityczna grub. 15 cm	3,75	1,10	--	4,13
Σ:		5,29	1,20		6,35

Obciążenia liniowe [kN/m]:

Lp	Opis obciążenia	F <sub>k</sub>	x [m]	$\gamma_f$	$k_d$	F <sub>d</sub>
1.	Ciężar attyki żelbetowej monolitycznej [24,0 kN/m <sup>3</sup> ·0,12 m·0,80 m]	2,30	0,92	1,35	--	3,10

**SCHEMAT STATYCZNY**Rozpiętość obliczeniowa płyty  $l_{eff} = 0,92$  m**Grubość płyty 15,0 cm****WYNIKI OBLICZEŃ STATYCZNYCH**Moment podporowy obliczeniowy  $M_{Sd,p} = 5,57$  kNm/mMoment podporowy charakterystyczny  $M_{Sk} = 4,38$  kNm/mMoment podporowy charakterystyczny długotrwały  $M_{Sk,lt} = 3,97$  kNm/mReakcja podporowa obliczeniowa  $R_A = 8,98$  kN/m**DANE MATERIAŁOWE**Parametry betonu:Klasa betonu: **C16/20** →  $f_{cd} = 10,67$  MPa,  $f_{ctd} = 0,87$  MPa,  $E_{cm} = 29,0$  GPaCiężar objętościowy betonu  $\rho = 25$  kN/m<sup>3</sup>

Wilgotność środowiska RH = 50%

Wiek betonu w chwili obciążenia 28 dni

Współczynnik pełzania (obliczono)  $\phi = 3,25$ Zbrojenie główne:Gatunek stali B500SP → klasa A-III,  $f_{yk} = 500$  MPa,  $f_{yd} = 435$  MPaŚrednica prętów nad podporą  $\varnothing_g = 10$  mmZbrojenie rozdzielcze (konstrukcyjne):Gatunek stali B500SP → klasa A-III,  $f_{yk} = 500$  MPa,  $f_{yd} = 435$  MPaŚrednica prętów  $\varnothing = 6$  mmOtulenie:Nominalna grubość otulenia prętów z góry płyty  $c_{nom,g} = 20$  mmNominalna grubość otulenia prętów z dołu płyty  $c_{nom,d} = 20$  mm**ZAŁOŻENIA**

Sytuacja obliczeniowa: trwała

Graniczna szerokość rys  $w_{lim} = 0,3$  mmGraniczne ugięcie  $a_{lim} = l_{eff}/150$

**WYMIAROWANIE wg PN-B-03264:2002 (metoda uproszczona)****Podpora:**

Zbrojenie potrzebne (war. konstrukcyjny)  $A_s = 1,62 \text{ cm}^2/\text{mb}$ . Przyjęto **Ø10 co 18,0 cm** o  $A_s = 4,36 \text{ cm}^2/\text{mb}$  ( $\rho = 0,35\%$ )

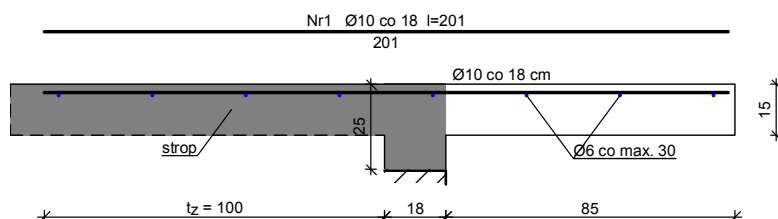
Warunek nośności na zginanie:  $M_{Sd,p} = 5,57 \text{ kNm/mb} < M_{Rd,p} = 22,03 \text{ kNm/mb}$  (25,3%)

Warunek nośności na ścinanie:  $V_{Sd} = 8,98 \text{ kN/mb} < V_{Rd1} = 71,02 \text{ kN/mb}$  (12,6%)

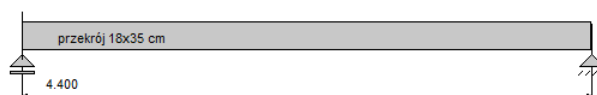
Szerokość rys prostopadłych: rysy nie wyznaczono ( $M_{cr} > M_{Sk}$ )

Maksymalne ugięcie od  $M_{Sk,lt}$ :  $a(M_{Sk,lt}) = 0,40 \text{ mm} < a_{lim} = 6,17 \text{ mm}$  (6,5%)

Przyjęto zbrojenie rozdzielcze **Ø6 co max.30,0 cm** o  $A_s = 0,94 \text{ cm}^2/\text{mb}$

**SZKIC ZBROJENIA****Poz. 1.2. Obliczenie belki żelbetowej monolitycznej – Nadproże N-1**

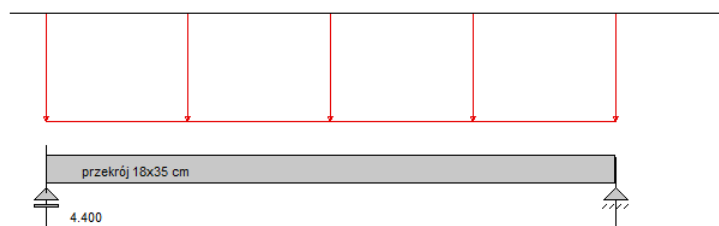
Schemat statyczny – belka jednoprzęsłowa, swobodnie podparta. Rozpiętość belki w świetle podpór  $L = 4,40 \text{ m}$ . Wymiary przekroju 18x35 cm. Szerokość podpory 30 cm. Beton klasy C20/25  $\rightarrow f_{cd} = 13,33 \text{ MPa}$ ,  $f_{ctd} = 1,00 \text{ MPa}$ . Stal klasy B500SP  $\rightarrow f_{yd} = 350 \text{ MPa}$ .

**Geometria układu****Lista przęseł**

Nr. przęsła	Długość [m]	Podpora lewa	Podpora prawa
1	4.40	przegubowo przesuwna	przegubowo nieprzesuwna

**Lista przekrojów**

Nr. przekroju	Nr. przęsła	Długość [m]	Typ
1	1	4.40	przekrój 18x35 cm

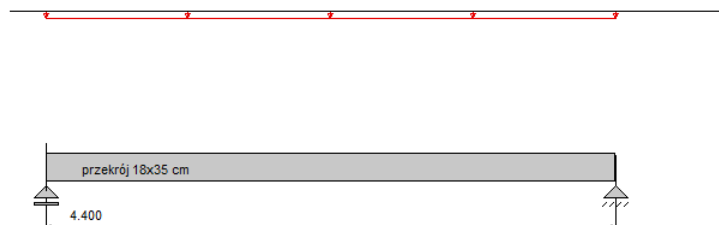
**Lista obciążeń Grupa1**

Nr	Nr przęsła	Rodzaj	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	a [m]	b [m]
1		równomierne	22.00	-	0.00	4.40

Maksymalny współczynnik obciążenia: 1.000

Minimalny współczynnik obciążenia: 1.000

### Lista obciążeń Ciężar Własny



Nr	Nr przęsła	Rodzaj	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	a [m]	b [m]
2		równomierne	1.58	-	0.00	4.40

Stały współczynnik obciążenia: 1.100

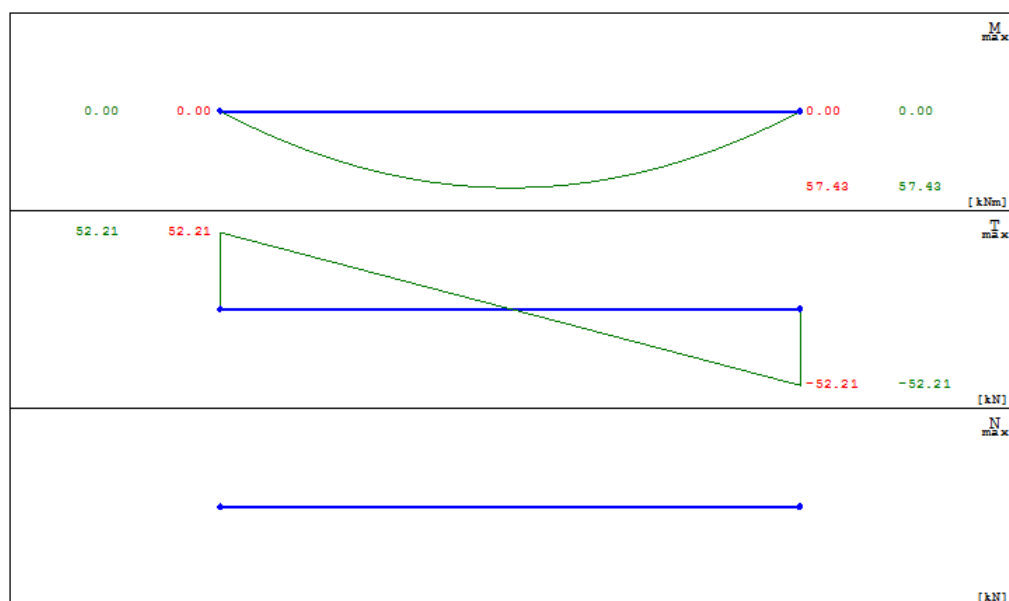
### Reakcje - Grup1

Nr Podpory	R <sub>x</sub> [kN]	R <sub>y</sub> [kN]	M <sub>z</sub> [kNm]
1	0.00	48.40	0.00
2	0.00	48.40	0.00

### Reakcje - Ciężar Własny

Nr Podpory	R <sub>x</sub> [kN]	R <sub>y</sub> [kN]	M <sub>z</sub> [kNm]
1	0.00	3.47	0.00
2	0.00	3.47	0.00

### Wykresy MNT dla przęsła nr 1



**Dane do wymiarowania**

Materiały		
Klasa betonu		C16/20
Wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie $f_{cd}$	[MPa]	10.60
Klasa stali na ścinanie		St0S
Obliczeniowa granica plastyczności stali $f_{yd}$	[MPa]	190.00
Klasa stali na zginanie		34GS
Obliczeniowa granica plastyczności stali $f_{yd}$	[MPa]	350.00
Zbrojenie na zginanie		
Średnica zbrojenia dolnego	[mm]	12
Średnica zbrojenia górnego	[mm]	12
Średnica zbrojenia konstrukcyjnego	[mm]	12
Zbrojenie na ścinanie : strzemiona		
Kąt nachylenia strzemion	°	90.00
Średnica strzemion	[mm]	6
Liczba cięć		2
Element		wewnętrzny
Ugięcie od obciążenia		długotrwałego
Wiek betonu w chwili obciążenia		14 dni
Dobór zbrojenia głównego ze względu na rysy prostopadłe do osi elementu		TAK
Dopuszczalne rozwarście rys	[mm]	0.3

**Wyniki dla zginania****ZBROJENIE GŁÓWNE - DOŁEM:****PRZĘSŁO NR 1**

Położenie x [m]	Moment maksymalny oblicz. $M_{sdmax}$ [kNm]	Moment minimalny oblicz. $M_{sdmin}$ [kNm]	Zbrojenie wyliczone $A_{s1}$ [cm <sup>2</sup> ]	Zbrojenie przyjęte $A_{u1}$ [cm <sup>2</sup> ]	Ilość sztuk: Ø 12	Ilość sztuk: Ø 12
0.00	0.00	0.00	0.85	6.78	6	0
1.03	41.10	41.10	4.17	6.78	6	0
2.05	57.18	57.18	6.21	6.78	6	0
3.08	48.24	48.24	5.03	6.78	6	0
4.11	14.29	14.29	1.33	6.78	6	0
4.40	0.00	0.00	0.85	6.78	6	0

**ZBROJENIE GŁÓWNE - GÓRĄ:****PRZĘSŁO NR 1**

Położenie x [m]	Moment maksymalny oblicz. $M_{sdmax}$ [kNm]	Moment minimalny oblicz. $M_{sdmin}$ [kNm]	Zbrojenie wyliczone $A_{s2}$ [cm <sup>2</sup> ]	Zbrojenie przyjęte $A_{u2}$ [cm <sup>2</sup> ]	Ilość sztuk: Ø 12	Ilość sztuk: Ø 12
0.00	0.00	0.00	0.85	2.26	0	2
1.03	41.10	41.10	0.85	2.26	0	2
2.05	57.18	57.18	0.85	2.26	0	2
3.08	48.24	48.24	0.85	2.26	0	2
4.11	14.29	14.29	0.85	2.26	0	2
4.40	0.00	0.00	0.85	2.26	0	2

**STAN GRANICZNY UŻYTKOWANIA:  
PRZESŁO NR 1**

Położenie x [m]	Moment maksymalny charakter. $M_{skmax}$ [kNm]	Moment minimalny charakter. $M_{skmin}$ [kNm]	Rysy dołem [mm]	Rysy górą [mm]
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
1.03	34.83	34.83	0.123	0.000
2.05	48.46	48.46	0.173	0.000
2.20	48.67	48.67	0.173	0.000
3.12	40.22	40.22	0.143	0.000
4.14	10.69	10.69	0.033	0.000
4.40	0.00	0.00	0.000	0.000

**Wyniki dla ścinania**

**PODPORA LEWA PRZESŁA NR 1**

Odcinek ścinania  $L_c=0.697$  m podział na 2 części;

Nośność przekroju betonowego  $V_{rd1}=35.92$  kN

Długość odcinka konstrukcyjnego na ścinanie  $L_k=3.007$  m;

strzemiona  $\varnothing 6$  mm 2-cięte co  $s=24.0$  cm

Maksymalny odstęp ramion strzemion w kierunku poprzecznym wynosi  $s_z=32.0$  cm

Rozstaw strzemion $\varnothing 6$ 2-cięte s [cm]	Długość odcinka $L_s$ [m]	Siła tnąca: (Wartość bezwzględna) V [kN]	Nośność krzyżulca ściskanego $V_{rd2}$ [kN]	Ilość prętów odgiętych w przekroju $\varnothing 16$
11.7	0.64	52.21	123.44	0
16.4	0.06	37.42	123.44	0

**PODPORA PRAWA PRZESŁA NR 1**

Odcinek ścinania  $L_c=0.697$  m podział na 2 części;

Nośność przekroju betonowego  $V_{rd1}=35.92$  kN

Długość odcinka konstrukcyjnego na ścinanie  $L_k=3.007$  m;

strzemiona  $\varnothing 6$  mm 2-cięte co  $s=24.0$  cm

Maksymalny odstęp ramion strzemion w kierunku poprzecznym wynosi  $s_z=32.0$  cm

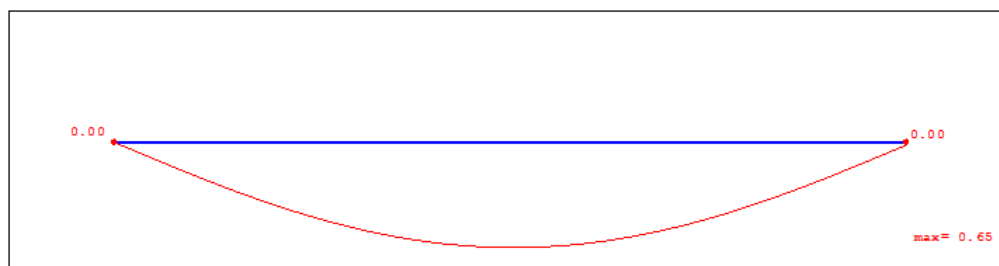
Rozstaw strzemion $\varnothing 6$ 2-cięte s [cm]	Długość odcinka $L_s$ [m]	Siła tnąca: (Wartość bezwzględna) V [kN]	Nośność krzyżulca ściskanego $V_{rd2}$ [kN]	Ilość prętów odgiętych w przekroju $\varnothing 16$
11.7	0.64	52.21	123.44	0
16.0	0.06	38.29	123.44	0

Grupy obciążeń uwzględnione do liczenia ugięcia:

Ciężar Własny

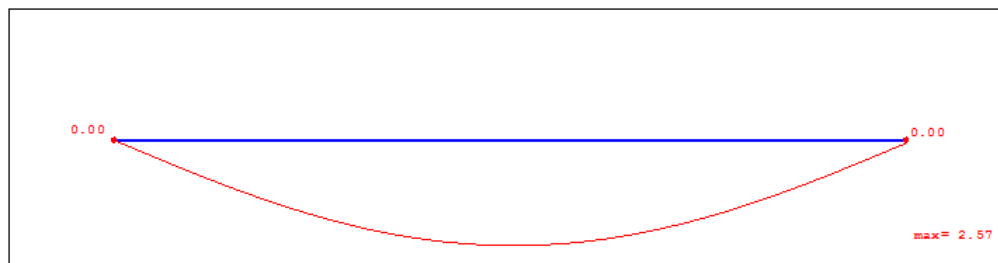
Grup1

**Ugięcie w stanie sprężystym**



**Tabela ugięć sprężystych belki**

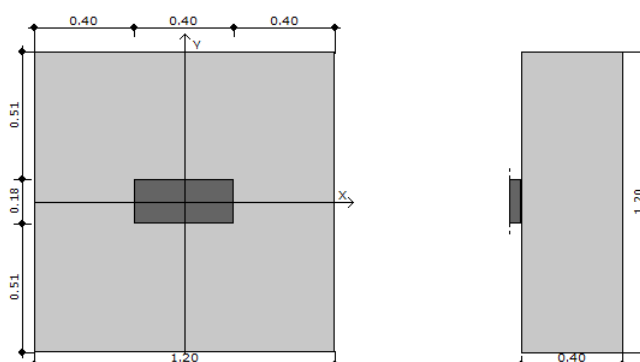
Nr podpory	Przem. podpory $y_{\max}$ [cm]	Nr przęsła	Odległość $x$ [m]	Ugięcie max $y_{\max}$ [cm]
Podpora nr 1	0.000	Przęsło nr 1	2.20	0.647
Podpora nr 2	0.000	-	-	-

**Ugięcie w stanie zarysowanym****Tabela ugięć rzeczywistych belki**

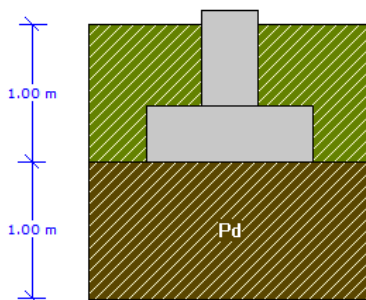
Nr podpory	Przem. podpory $y_{\max}$ [cm]	Nr przęsła	Odległość $x$ [m]	Ugięcie max $y_{\max}$ [cm]
Podpora nr 1	0.000	Przęsło nr 1	2.20	2.565
Podpora nr 2	0.000	-	-	-

**Poz. 2.1. Obliczenie stopy fundamentowej****Geometria**

Szerokość stopy $B$	[m]	1.20
Długość stopy $L$	[m]	1.20
Wysokość stopy $H_f$	[m]	0.40
Szerokość przekroju słupa $b$	[m]	0.18
Wysokość przekroju słupa $h$	[m]	0.40
Mimośród $e_x$	[m]	0.00
Mimośród $e_y$	[m]	-0.00

**Materiały**

Klasa betonu		C16/20
Klasa stali		34GS
Otulina	[cm]	7.00
Średnica prętów	[mm]	12.00

**Warunki gruntowe**

Warstwa	Nazwa gruntu	Miaższość [m]	$\rho^{(n)}$ [t/m <sup>3</sup> ]	$C_u^{(n)}$ [kPa]	$\phi_u^{(n)}$ [°]	M [kPa]	$M_o$ [kPa]
1	Piaski drobne	1.00	1.85	0.00	31.15	101597.29	81277.71

Metoda określenia parametrów geotechnicznych		B
Głębokość posadowienia	[m]	1.00
Ciężar zasypki	[kN/m <sup>3</sup> ]	20.00

**Obciążenia**

Numer zestawu	N [kN]	$M_y$ [kNm]	$T_y$ [kN]	$M_x$ [kNm]	$T_x$ [kN]
1	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Stan graniczny nośności**

DLA SCHEMATU NR 1

DLA WARSTWY NR 1

$$N=155.54 \text{ kN} \leq m \cdot Q_{fNB}=0.81 \cdot 1076.25 = 871.76 \text{ kN}$$

$$N=155.54 \text{ kN} \leq m \cdot Q_{fNL}=0.81 \cdot 1076.25 = 871.76 \text{ kN}$$

**Naprężenia pod fundamentem**

DLA SCHEMATU NR 1

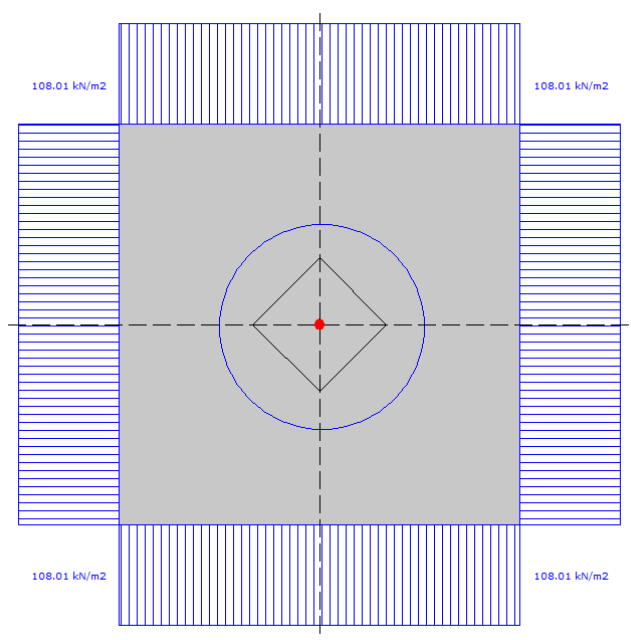
Naprężenia w narożach:

$$q_1=108.01 \text{ kN/m}^2$$

$$q_2=108.01 \text{ kN/m}^2$$

$$q_3=108.01 \text{ kN/m}^2$$

$$q_4=108.01 \text{ kN/m}^2$$



Odrywanie nie występuje.

## Wymiarowanie zbrojenia

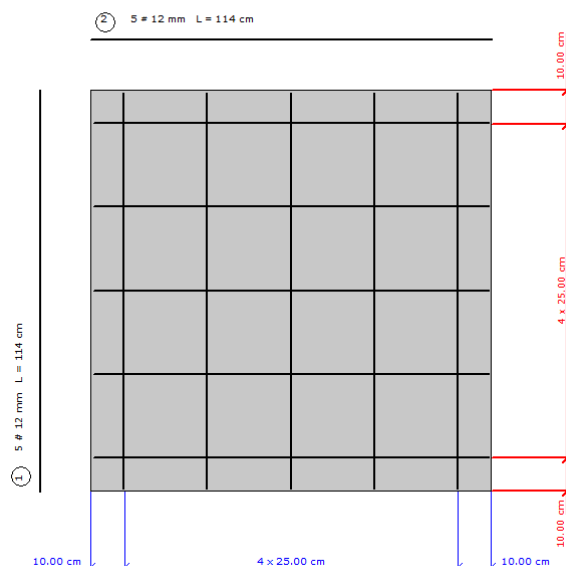
POTRZEBNE ZBROJENIE DLA SCHEMATU NR 1

$$A_y = 0.77 \text{ cm}^2/\text{mb} \quad A_x = 0.44 \text{ cm}^2/\text{mb}$$

Minimalne zbrojenie konstrukcyjne dla fundamentu wynosi:  $A_k = 4.29 \text{ cm}^2/\text{mb}$

W kierunku y (B) przyjęto  $f_i = 12.0 \text{ mm}$  w rozstawie  $s_1 = 25.0 \text{ cm}$   $A_{s1} = 5.24 \text{ cm}^2/\text{mb}$

W kierunku x (L) przyjęto  $f_i = 12.0 \text{ mm}$  w rozstawie  $s_2 = 25.0 \text{ cm}$   $A_{s2} = 5.24 \text{ cm}^2/\text{mb}$



## Wyniki obliczeń przebiecia

DLA SCHEMATU NR 1

Przebiecie OK.  $N_y = 17.6 \text{ kN} \leq A_y \cdot f_{ctd} = 0.24 \cdot 870 = 209.6 \text{ kN}$

Przebiecie OK.  $N_x = 5.3 \text{ kN} \leq A_x \cdot f_{ctd} = 0.17 \cdot 870 = 146.4 \text{ kN}$

## Stateczność fundamentu

STATECZNOŚĆ NA OBRÓT:

DLA SCHEMATU NR 1

Stateczność OK.  $M_{wyp} = 0.0 \text{ kNm} \leq m \cdot M_{otrzym} = 0.72 \cdot 88.1 = 63.5 \text{ kNm}$

Stateczność OK.  $M_{wyp} = 0.0 \text{ kNm} \leq m \cdot M_{otrzym} = 0.72 \cdot 88.1 = 63.5 \text{ kNm}$

STATECZNOŚĆ NA PRZESUW:

DLA SCHEMATU NR 1

Przesuw po warstwie 1

Stateczność OK.  $T_x = 0.0 \text{ kN} \leq m \cdot T_{ux} = 0.72 \cdot 46.5 = 33.5 \text{ kN}$

Stateczność OK.  $T_y = 0.0 \text{ kN} \leq m \cdot T_{uy} = 0.72 \cdot 46.5 = 33.5 \text{ kN}$

## Osiadanie fundamentu

DLA SCHEMATU NR1

Osiadania pierwotne = 0.074 cm

Osiadania wtórne = 0.000 cm

Osiadania całkowite = 0.074 cm

Tangens kąta nachylenia względem osi X = 0.00000

Tangens kąta nachylenia względem osi Y = 0.00000

Przechyłka = 0.00000 rad

Warunek naprężeniowy  $0.3 \cdot \sigma_{zp} = 0.3 \cdot 52.63 \text{ kN/m}^2 = 15.79 \text{ kN/m}^2 \geq \sigma_{zd} = 14.81 \text{ kN/m}^2$

Głębokość, na której zachodzi warunek wytrzymałościowy = 2.90 m

Rozkład naprężeń pod analizowanym fundamentem:

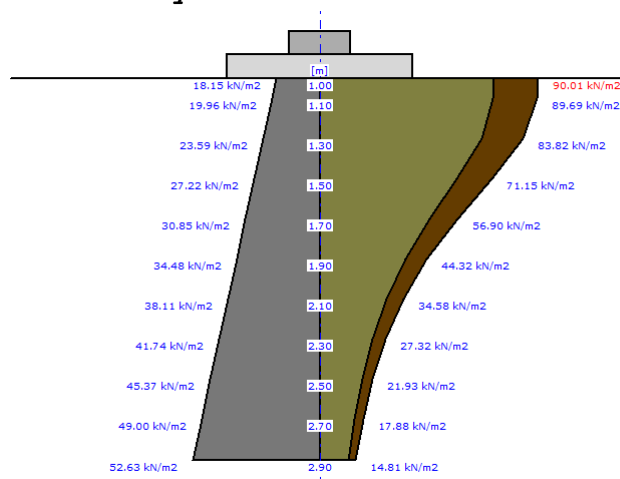


Tabela z wartościami:

Nr	H [m]	$\sigma_{ZR}$ [kN/m²]	$\sigma_{ZS}$ [kN/m²]	$\sigma_{ZD}$ [kN/m²]	Suma = $\sigma_{ZS} + \sigma_{ZD} + \sigma_{ZSiła} + \sigma_{ZDfund}$
0	1.00	18.15	18.15	71.86	90.01
1	1.10	19.96	18.08	71.61	89.69
2	1.30	23.59	16.90	66.92	83.82
3	1.50	27.22	14.35	56.80	71.15
4	1.70	30.85	11.47	45.43	56.90
5	1.90	34.48	8.94	35.38	44.32
6	2.10	38.11	6.97	27.61	34.58
7	2.30	41.74	5.51	21.81	27.32
8	2.50	45.37	4.42	17.51	21.93
9	2.70	49.00	3.61	14.28	17.88
10	2.90	52.63	2.99	11.82	14.81

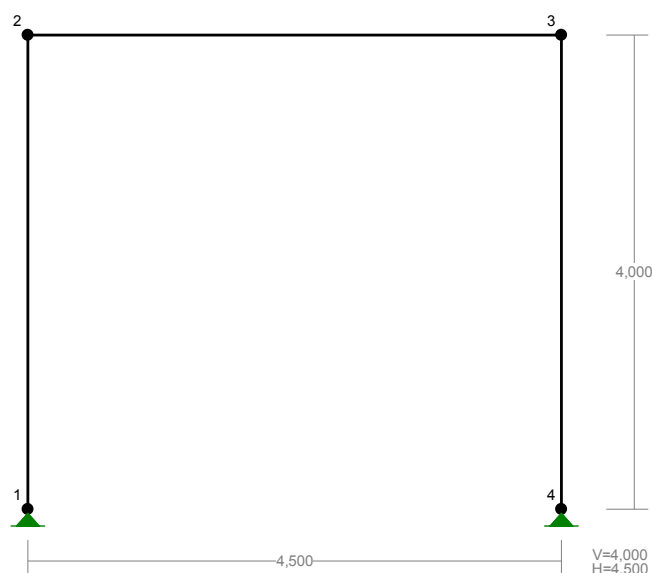
Legenda:

- H [m] - głębokość liczona od poziomemu terenu
- $\sigma_{ZR}$  [kN/m²] - naprężenia pierwotne
- $\sigma_{ZS}$  [kN/m²] - naprężenia wtórne
- $\sigma_{ZD}$  [kN/m²] - naprężenia dodatkowe

### Poz. 3. Obliczenie ramy stalowej pergoli

#### 3.1. Analiza statyczna ramy stalowej

WĘZŁY:



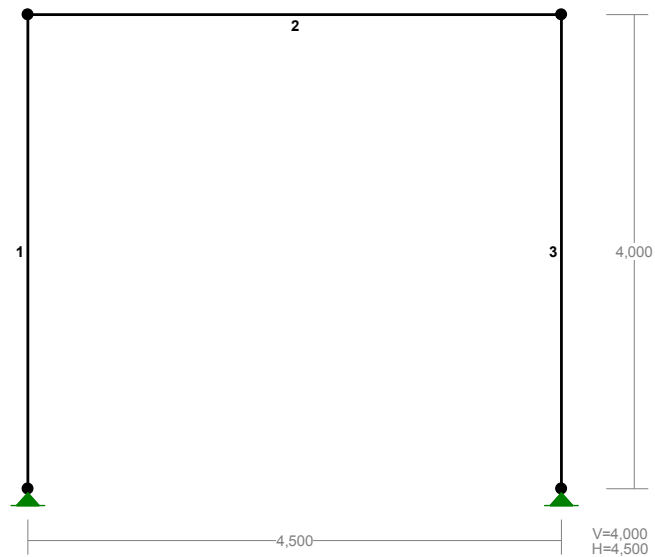
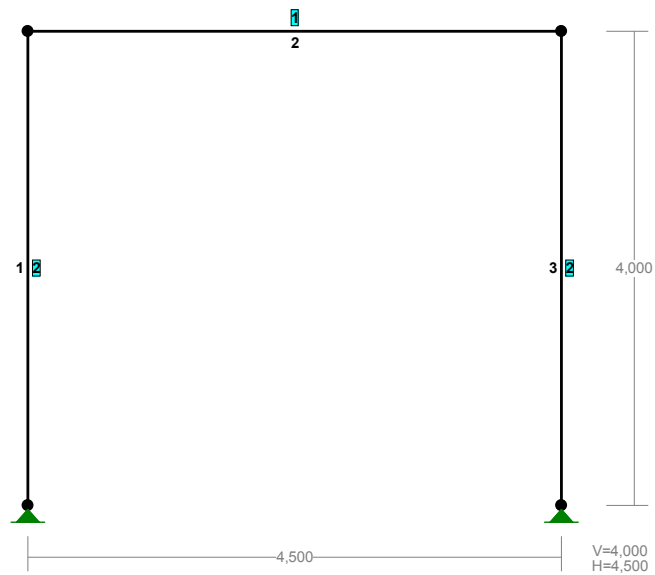
**WĘZŁY:**

Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000
2	0,000	4,000
3	4,500	4,000
4	4,500	0,000

**PODPORY:**

P o d a t n o ś c i

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

**PRĘTY:****PRZEKROJE PRĘTÓW:**

**PRĘTY UKŁADU:**

Typy prętów: 00 - sztywny-sztywny, 01 - sztywny-przegub,  
10 - przegub-sztywny, 11 - przegub-przegub, 22 - ciągnio

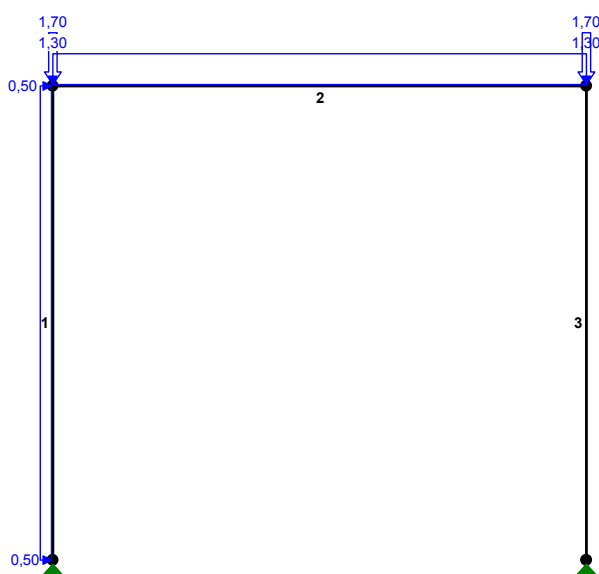
Pręt:	Typ:	A:	B:	Lx[m]:	Ly[m]:	L[m]:	Red.EJ:	Przekrój:
1	00	2	1	0,000	-4,000	4,000	1,000	2 słupy
2	00	2	3	4,500	0,000	4,500	1,000	1 rygle
3	00	3	4	0,000	-4,000	4,000	1,000	2 słupy

**WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:**

Nr.	A[cm2]	Ix[cm4]	Iy[cm4]	Wg[cm3]	Wd[cm3]	h[cm]	Materiał:
1	29,0	1328	706	148	148	18,0	Stal St3
2	29,0	1328	706	148	148	18,0	Stal St3

**STAŁE MATERIAŁOWE:**

Materiał:	Moduł E: [N/mm2]	Napręż.gr.: [N/mm2]	AlfaT: [1/K]
Stal St3	205000	215,000	1,20E-05

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

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1 (Tg):	P2 (Td):	a [m]:	b [m]:
Grupa:	D "Ciężar deski okalającej"			Stałe	γf= 1,35	
1	Skupione	0,0	1,70		0,00	
3	Skupione	0,0	1,70		0,00	
Grupa:	P "Ciężar zadaszienia pergoli"			Zmienne	γf= 1,50	
2	Liniowe	0,0	1,30	1,30	0,00	4,50
Grupa:	W "Obciążenie wiatrem"			Zmienne	γf= 1,50	
1	Liniowe	90,0	0,50	0,50	0,00	4,00

=====

**W Y N I K I**

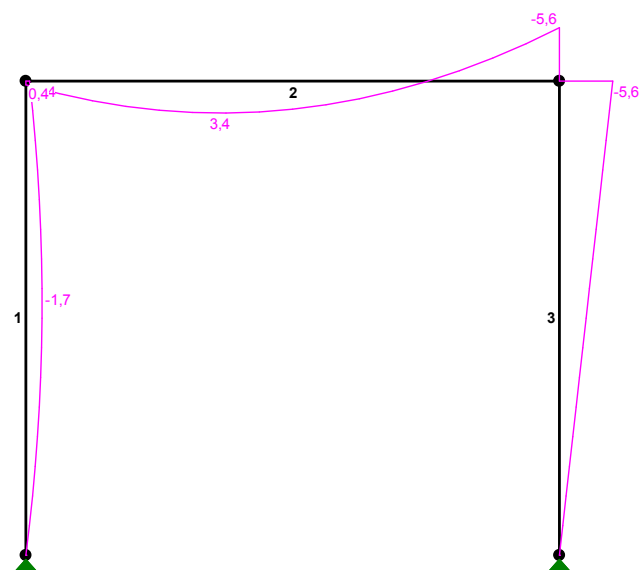
**Teoria I-go rzędu**

=====

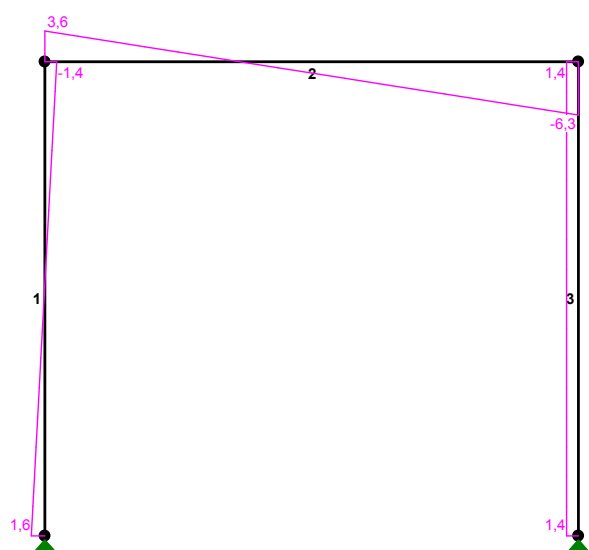
**OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁCZYNNIKI BEZPIECZEŃSTWA:**

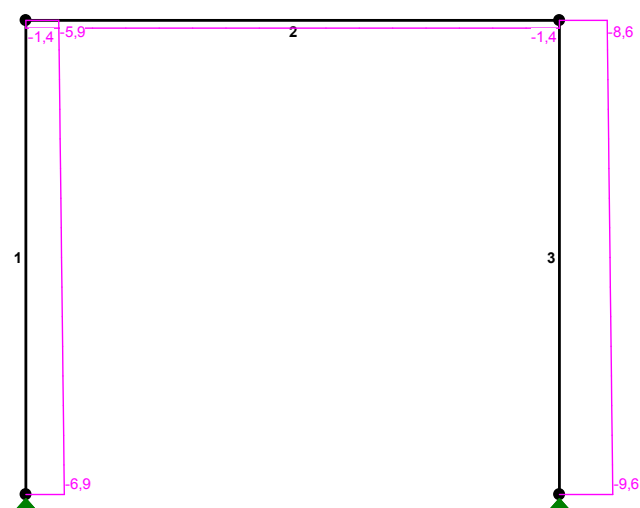
Grupa:	Znaczenie:	$\psi_d$ :	$\gamma_f$ :
Ciężar własny			1,10
D - "Ciężar deski okalającej"	Stałe		1,35
P - "Ciężar zadaszenia pergoli"	Zmienne	1	1,00
W - "Obciążenie wiatrem"	Zmienne	1	1,00

**MOMENTY :**



**TNĄCE :**

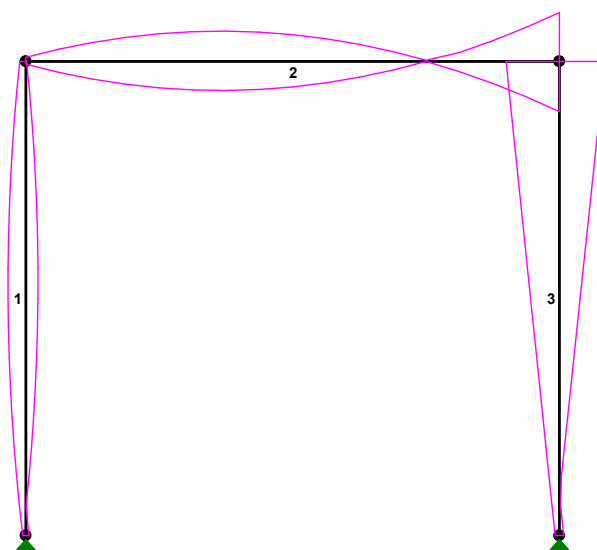


**NORMALNE :****SIŁY PRZEKROJOWE:** T.I rzędu

Obciążenia obliczeniowe: Ciężar własny + DPW

Pręt:	x/L:	x[m]:	M [kNm]:	Q [kN]:	N [kN]:
1	0,00	0,000	-0,4	-1,4	-5,9
	0,47	1,875	<b>-1,7*</b>	0,0	-6,4
	1,00	4,000	0,0	1,6	-6,9
2	0,00	0,000	0,4	3,6	-1,4
	0,37	1,652	<b>3,4*</b>	-0,0	-1,4
	1,00	4,500	-5,6	-6,3	-1,4
3	0,00	0,000	-5,6	1,4	-8,6
	1,00	4,000	0,0	1,4	-9,6

\* = Wartości ekstremalne

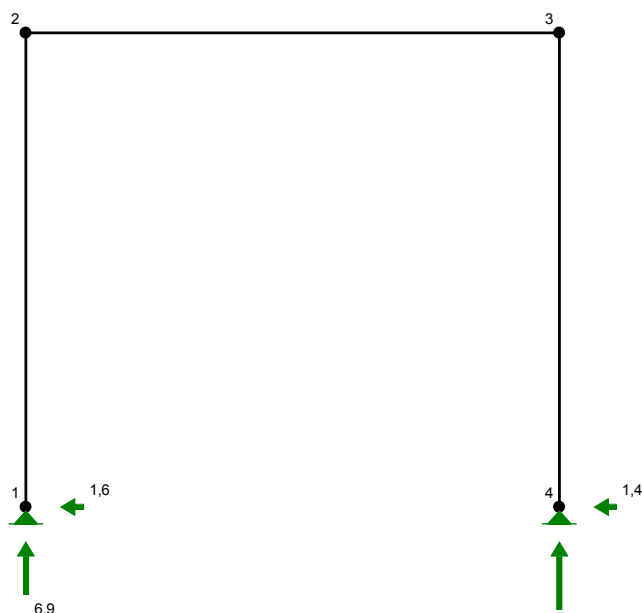
**NAPRĘŻENIA:**

**NAPRĘŻENIA:** T.I rzędu

Obciążenia obliczeniowe: Ciężar własny + DPW

Pręt:	x/L:	x[m]:	SigmaG:	SigmaD:	SigmaMax/Ro:
[MPa]					
<b>Stal St3</b>					
1	0,00	0,000	0,6	-4,7	0,022
	0,47	1,891	9,3	-13,7	<b>0,064*</b>
	1,00	4,000	-2,4	-2,4	0,011
2	0,00	0,000	-3,1	2,2	0,015
	1,00	4,500	37,5	-38,5	<b>0,179*</b>
3	0,00	0,000	35,0	-41,0	<b>0,191*</b>
	1,00	4,000	-3,3	-3,3	0,015

\* = Wartości ekstremalne

**REAKCJE PODPOROWE:****REAKCJE PODPOROWE:** T.I rzędu

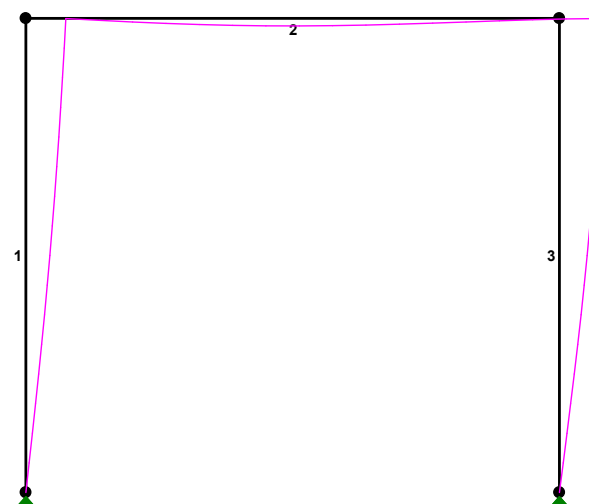
Obciążenia obliczeniowe: Ciężar własny + DPW

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	Wypadkowa[kN]:	M[kNm]:
1	-1,6	6,9	7,1	
4	-1,4	9,6	9,7	

**PRZEMIESZCZENIA WĘZŁÓW:** T.I rzędu

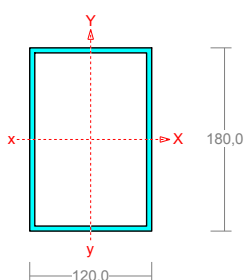
Obciążenia obliczeniowe: Ciężar własny + DPW

Węzeł:	Ux[m]:	Uy[m]:	Wypadkowe[m]:	Fi[rad] ([deg]):
1	0,00000	-0,00000	0,00000	-0,00350 ( -0,200)
2	0,01067	-0,00004	0,01067	-0,00174 ( -0,100)
3	0,01066	-0,00006	0,01066	0,00008 ( 0,005)
4	0,00000	-0,00000	0,00000	-0,00404 ( -0,231)

**PRZEMIESZCZENIA:****DEFORMACJE:** T.I rzędu

Obciążenia obliczeniowe: Ciężar własny + DPW

Pręt:	Wa[m]:	Wb[m]:	F1a[deg]:	F1b[deg]:	f[m]:	L/f:
1	0,0107	-0,0000	-0,100	-0,200	0,0011	3768,7
2	-0,0000	-0,0001	-0,100	0,005	0,0020	2295,7
3	0,0107	-0,0000	0,005	-0,231	0,0021	1893,8

**3.2. Wymiarowanie prętów ramy stalowej****Rygiel – Pręt nr 2**

Wymiary przekroju:

 $h=180,0$   $s=120,0$   $g=5,0$   $t=5,0$   $v_x=0,0$   $v_y=0,0$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

 $J_{xg}=1328,4$   $J_{yg}=706,4$   $A=29,00$   $i_x=6,8$   $i_y=4,9$ .Materiał: **St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W**.Wytrzymałość  **$f_d=215$  MPa** dla  **$g=5,0$** .Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **2**.**Siły przekrojowe:** $x_a = 4,500$ ;  $x_b = 0,000$ .Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **DPW** $M_x = 5,6$  kNm,  $V_y = -6,3$  kN,  $N = -1,4$  kN,Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 37,5$  MPa  $\sigma_c = -38,5$  MPa.**Naprężenia:** $x_a = 4,500$ ;  $x_b = 0,000$ .Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 37,5$  MPa  $\sigma_c = -38,5$  MPa.

Naprężenia:

- normalne:  $\sigma = -0,5$   $\Delta\sigma = 38,0$  MPa  $\psi_{oc} = 1,000$ - ścinanie wzdłuż osi Y:  $A_v = 17,0$  cm<sup>2</sup>  $\tau = 3,7$  MPa  $\psi_{ov} = 1,000$ 

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,5 / 1,000 + 38,0 = 38,5 < 215 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 3,7 / 1,000 = 3,7 < 124,7 = 0,58 \times 215 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{38,5^2 + 3 \times 0,0^2} = 38,5 < 215 \text{ MPa}$$

### Nośność elementów rozciąganych:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,500$ .

Siała osiowa:  $N = -1,4 \text{ kN}$ .

Pole powierzchni przekroju:  $A = 29,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność przekroju na rozciąganie:  $N_{Rt} = A f_d = 29,00 \times 215 \times 10^{-1} = 623,5 \text{ kN}$ .

Warunek nośności (31):

$$N = 1,4 < 623,5 = N_{Rt}$$

### Długości wyboczeniowe pręta:

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

$\chi_1 = 0,372$ ;  $\chi_2 = 0,372$  węzły nieprzesuwne  $\Rightarrow \mu = 0,624$  dla  $l_0 = 4,500$

$$l_w = 0,624 \times 4,500 = 2,808 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$\chi_1 = 1,000$ ;  $\chi_2 = 1,000$  węzły nieprzesuwne  $\Rightarrow \mu = 1,000$  dla  $l_0 = 4,500$

$$l_w = 1,000 \times 4,500 = 4,500 \text{ m}$$

### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1328,4}{2,808^2} 10^{-2} = 3408,7 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 706,4}{4,500^2} 10^{-2} = 705,8 \text{ kN}$$

### Nośność przekroju na ściskanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,500$ :

$$N_{RC} = A f_d = 29,0 \times 215 \times 10^{-1} = 623,5 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

- dla  $N_x$   $\bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_x} = 1,15 \times \sqrt{623,5 / 3408,7} = 0,494 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,940$

- dla  $N_y$   $\bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_y} = 1,15 \times \sqrt{623,5 / 705,8} = 1,085 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,594$

Przyjęto:  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,594$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{1,4}{0,594 \times 623,5} = 0,004 < 1$$

### Zwicherungie:

Dla przekroju rurowego lub skrzynkowego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_0 = 4500 \text{ mm}$ :

$$100 b_o \sqrt{215 / f_d} = 100 \times 115,0 \times \sqrt{215 / 215} = 11500 > 4500 = l_1$$

Pręt jest zabezpieczony przed zwicherungiem.

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 4,500$ ;  $x_b = 0,000$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 147,6 \times 215 \times 10^{-3} = 31,7 \text{ kNm}$$

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

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{RC}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{1,4}{623,5} + \frac{5,6}{1,000 \times 31,7} = 0,179 < 1$$

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

Składnik poprawkowy:

$$M_{x \max} = 5,6 \text{ kNm} \quad \beta_x = 1,000$$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{Rc}} = 1,25 \times 0,940 \times 0,494^2 \frac{1,000 \times 5,6}{31,7} \times \frac{1,4}{623,5} = 0,000$$

$$\Delta_x = 0,000 \quad M_{y \max} = 0 \quad \Delta_y = 0$$

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{1,4}{0,940 \times 623,5} + \frac{1,000 \times 5,6}{1,000 \times 31,7} = 0,179 < 1,000 = 1 - 0,000$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{\varphi_L M_{Ry}} = \frac{1,4}{0,594 \times 623,5} + \frac{1,000 \times 5,6}{1,000 \times 31,7} = 0,181 < 1,000 = 1 - 0,000$$

**Nośność przekroju na ścinanie:** $x_a = 4,500$ ;  $x_b = 0,000$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 17,0 \times 215 \times 10^{-1} = 212,0 \text{ kN}$$

$$V_O = 0,3 V_R = 63,6 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 6,3 < 212,0 = V_R$$

**Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:** $x_a = 4,500$ ;  $x_b = 0,000$ .- dla zginania względem osi X:  $V_y = 6,3 < 63,6 = V_O$ 

$$M_{R,V} = M_R = 31,7 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{Rx,V}} = \frac{1,4}{623,5} + \frac{5,6}{31,7} = 0,179 < 1$$

**Nośność przekroju na ścinanie z uwzględnieniem siły osiowej:** $x_a = 4,500$ ,  $x_b = 0,000$ .

- dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 6,3 < 212,0 = 212,0 \times \sqrt{1 - (1,4 / 623,5)^2} = V_R \sqrt{1 - (N / N_{Rc})^2} = V_{R,N}$$

**Nośność środka pod obciążeniem skupionym:** $x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,500$ .Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $c = 100,0 \text{ mm}$ . Dodatkowo przyjęto usztywnienie środka o rozstawie  $a_1 = 4500,0 \text{ mm}$ .

$$k_c = \left( 15 + 25 \frac{c_o}{h_w} \right) \sqrt{\frac{t_f 215}{t_w f_d}} = \left( 15 + 25 \times \frac{110,0}{170,0} \right) \times \sqrt{\frac{5,0 \times 215}{5,0 \times 215}} = 31,176$$

$$k_c \leq c_o / t_w = 110,0 / 5,0 = 22,000$$

Przyjęto  $k_c = 22,000$ 

Warunek dodatkowy:

$$k_c > 20 \sqrt{\frac{215}{f_d}} = 20 \times \sqrt{\frac{215}{215}} = 20,000$$

Siła nie może zmieniać położenie na przecię.

Naprężenia ściskające w środku wynoszą  $\sigma_c = 2,0 \text{ MPa}$ . Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,000$$

Nośność środnika na siłę skupioną:

$$P_{R,c} = k_c t_w^2 \eta_c f_d = 22,000 \times (5,0)^2 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 118,2 \text{ kN}$$

Warunek nośności środnika:

$$P = 0,0 < 118,2 = P_{R,c}$$

### Stan graniczny użytkowania:

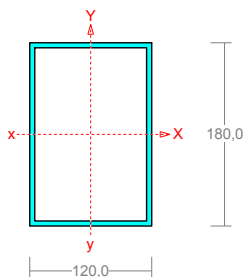
Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 1,4 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 350 = 4500 / 350 = 12,9 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,4 < 12,9 = a_{gr}$$

### Słup – Pręt nr 3



Wymiary przekroju:

$$h=180,0 \quad s=120,0 \quad g=5,0 \quad t=5,0 \quad v_x=0,0 \quad v_y=0,0.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg}=1328,4 \quad J_{yg}=706,4 \quad A=29,00 \quad i_x=6,8 \quad i_y=4,9.$$

Materiał: **St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.**

Wytrzymałość **fd=215 MPa** dla **g=5,0**.

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 2.

### Siły przekrojowe:

$$x_a = 0,000; \quad x_b = 4,000.$$

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **DPW**

$$M_x = 5,6 \text{ kNm}, \quad V_y = 1,4 \text{ kN}, \quad N = -8,6 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 35,0 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -41,0 \text{ MPa}$ .

### Naprężenia:

$$x_a = 0,000; \quad x_b = 4,000.$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 35,0 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -41,0 \text{ MPa}$ .

Naprężenia:

$$\text{- normalne:} \quad \sigma = -3,0 \quad \Delta\sigma = 38,0 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y:} \quad A_v = 17,0 \text{ cm}^2 \quad \tau = 0,8 \text{ MPa} \quad \psi_{ov} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 3,0 / 1,000 + 38,0 = 41,0 < 215 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{41,0^2 + 3 \times 0,8^2} = 41,0 < 215 \text{ MPa}$$

### Nośność elementów rozciąganych:

$$x_a = 4,000; \quad x_b = 0,000.$$

Siła osiowa:  $N = -9,6 \text{ kN}$ .

Pole powierzchni przekroju:  $A = 29,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność przekroju na rozciąganie:  $N_{Rt} = A f_d = 29,00 \times 215 \times 10^{-1} = 623,5 \text{ kN}$ .

Warunek nośności (31):

$$N = 9,6 < 623,5 = N_{Rt}$$

### Długości wyboczeniowe pręta:

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

$$\chi_1 = 0,529 \quad \chi_2 = 1,000 \text{ węzły przesuwne} \Rightarrow \mu = 2,541 \text{ dla } l_0 = 4,000$$

$$l_w = 2,541 \times 4,000 = 10,164 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \text{ węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \text{ dla } l_0 = 4,000$$

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

**Siły krytyczne:**

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1328,4}{10,164^2} 10^{-2} = 260,2 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 706,4}{4,000^2} 10^{-2} = 893,3 \text{ kN}$$

**Nośność przekroju na ściskanie:**

$x_a = 4,000$ ;  $x_b = 0,000$ :

$$N_{RC} = A f_d = 29,0 \times 215 \times 10^{-1} = 623,5 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wybocheniowych:

$$\text{- dla } N_x \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_x} = 1,15 \times \sqrt{623,5 / 260,2} = 1,788 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,286$$

$$\text{- dla } N_y \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_y} = 1,15 \times \sqrt{623,5 / 893,3} = 0,965 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,671$$

Przyjęto:  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,286$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{9,6}{0,286 \times 623,5} = 0,054 < 1$$

**Zwichrzenie:**

Dla przekroju rurowego lub skrzynkowego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_w = 4000 \text{ mm}$ :

$$100 b_o \sqrt{215 / f_d} = 100 \times 115,0 \times \sqrt{215 / 215} = 11500 > 4000 = l_1$$

Pręt jest zabezpieczony przed zwichrzeniem.

**Nośność przekroju na zginanie:**

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

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 147,6 \times 215 \times 10^{-3} = 31,7 \text{ kNm}$$

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

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{RC}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{9,6}{623,5} + \frac{5,6}{1,000 \times 31,7} = 0,191 < 1$$

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

Składnik poprawkowy:

$$M_{x \max} = 5,6 \text{ kNm} \quad \beta_x = 1,000$$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{RC}} = 1,25 \times 0,286 \times 1,788^2 \times \frac{1,000 \times 5,6}{31,7} \times \frac{9,6}{623,5} = 0,003$$

$$\Delta_x = 0,003 \quad M_{y \max} = 0 \quad \Delta_y = 0$$

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{RC}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{9,6}{0,286 \times 623,5} + \frac{1,000 \times 5,6}{1,000 \times 31,7} = 0,230 < 0,997 = 1 - 0,003$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{RC}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{9,6}{0,671 \times 623,5} + \frac{1,000 \times 5,6}{1,000 \times 31,7} = 0,200 < 1,000 = 1 - 0,000$$

**Nośność przekroju na ścinanie:**

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

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 17,0 \times 215 \times 10^{-1} = 212,0 \text{ kN}$$

$$V_O = 0,3 V_R = 63,6 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 1,4 < 212,0 = V_R$$

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

$$x_a = 0,000; \quad x_b = 4,000.$$

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 1,4 < 63,6 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 31,7 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{Rxx,V}} = \frac{8,6}{623,5} + \frac{5,6}{31,7} = 0,191 < 1$$

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

$$x_a = 0,000, \quad x_b = 4,000.$$

- dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 1,4 < 212,0 = 212,0 \times \sqrt{1 - (8,6 / 623,5)^2} = V_R \sqrt{1 - (N / N_{Rc})^2} = V_{R,N}$$

**Nośność środka pod obciążeniem skupionym:**

$$x_a = 0,000; \quad x_b = 4,000.$$

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $c = 100,0 \text{ mm}$ . Dodatkowo przyjęto usztywnienie środka o rozstawie  $a_1 = 4000,0 \text{ mm}$ .

$$k_c = \left( 15 + 25 \frac{c_o}{h_w} \right) \sqrt{\frac{t_f}{t_w} \frac{215}{f_d}} = \left( 15 + 25 \times \frac{110,0}{170,0} \right) \times \sqrt{\frac{5,0 \times 215}{5,0 \times 215}} = 31,176$$

$$k_c \leq c_o / t_w = 110,0 / 5,0 = 22,000$$

Przyjęto  $k_c = 22,000$

Warunek dodatkowy:

$$k_c > 20 \sqrt{\frac{215}{f_d}} = 20 \times \sqrt{\frac{215}{215}} = 20,000$$

Siła nie może zmieniać położenie na przecie.

Napężenia ściskające w środku wynoszą  $\sigma_c = 38,9 \text{ MPa}$ . Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,25 - 0,5 \sigma_c / f_d = 1,25 - 0,5 \times 38,9 / 215 = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną:

$$P_{R,c} = k_c t_w^2 \eta_c f_d = 22,000 \times (5,0)^2 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 118,2 \text{ kN}$$

Warunek nośności środka:

$$P = 0,0 < 118,2 = P_{R,c}$$

**Stan graniczny użytkowania:**

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 1,4 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 350 = 4000 / 350 = 11,4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,4 < 11,4 = a_{\text{gr}}$$

**Opracował:**