

# OBLICZENIA STATYCZNO – WYTRZYMAŁOŚCIOWE

## ZADASZENIE TRYBUNY SPOROTOWEJ

m. Łazdoje, dz. nr goed. 241/17.

### Poz.1.0. Zebranie obciążeń wg PN-82/B-02000

### Poz.1.1. Obciążenia stałe wg PN-82/B-02001

#### Poz.1.1.1 Warstwy dachu

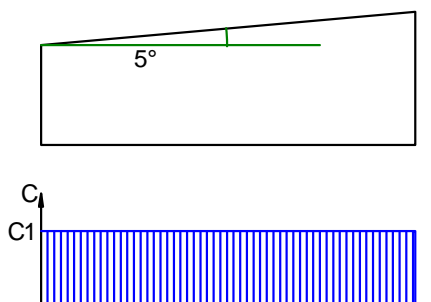
- Charakterystyczna wartość obciążenia:  
 $Q_k = 0,151 \text{ kN/m}^2$ .
- Obliczeniowe wartości obciążenia:  
 $Q_{01} = 0,181 \text{ kN/m}^2$ ,  $\gamma_{f1} = 1,20$ ,

#### Składniki obciążenia:

- Blacha trapezowa  
 $Q_k = 0,151 \text{ kN/m}^2$ .  
 $Q_{01} = 0,181 \text{ kN/m}^2$ ,  $\gamma_{f1} = 1,20$ ,

### Poz.1.2. Obciążenie śniegiem wg PN-80/B-02010 / Az1:2006

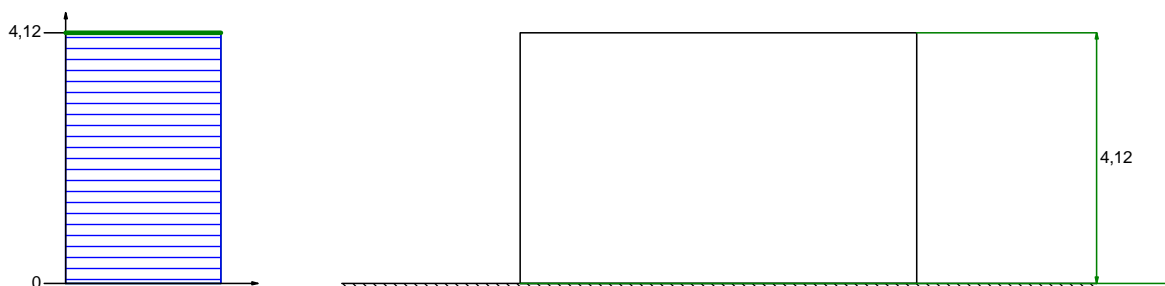
- Obciążenie charakterystyczne śniegiem gruntu  $q_k = 1,60 \text{ kN/m}^2$  przyjęto jak dla strefy IV
- Współczynnik kształtu  $C = 0,80$  jak dla dachu jednospadowego.



- Charakterystyczna wartość obciążenia śniegiem:  
 $Q_k = 1,6 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 = 1,28 \text{ kN/m}^2$ .
- Obliczeniowa wartość obciążenia śniegiem:  
 $Q_0 = 1,92 \text{ kN/m}^2$ ,  $\gamma_f = 1,50$ .

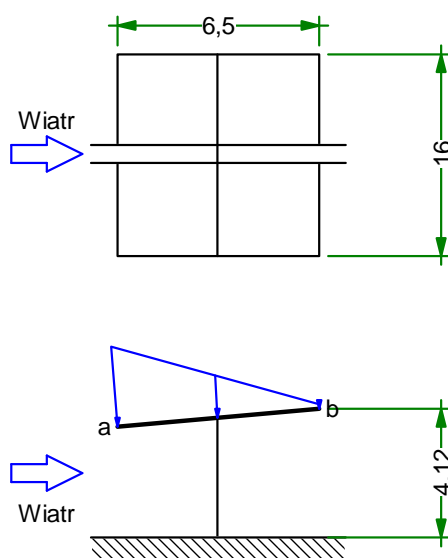
### Poz.1.3. Obciążenie wiatrem wg PN-77/B-02011/Az1:2009

- Charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru  $q_k = 0,30 \text{ kN/m}^2$  przyjęto jak dla strefy I.
- Współczynnik ekspozycji  $C_e = 1,00$  przyjęto jak dla terenu A i wysokości nad poziomem gruntu  $z = 4,12 \text{ m}$ . Ponieważ  $H/L < 2$  przyjęto stały po wysokości rozkład współczynnika ekspozycji  $C_e$  o wartości jak dla punktu najwyższego.



- Współczynnik działania porywów wiatru  $\beta = 1,80$  przyjęto jak do obliczeń budowli niepodatnych na dynamiczne działanie wiatru (logarytmiczny dekrement tłumienia  $\Delta = 0,06$ ; okres drgań własnych  $T = 0,16 \text{ s}$ ).
- Współczynnik aerodynamiczny  $C$  dla krawędzi a połaci dachu wiaty jednospadowej ( $\alpha = 5^\circ$ ) równy jest  $C = C_p = 2,00$ , gdzie  $C_p$  jest współczynnikiem różnicy ciśnienia zewnętrznego i wewnętrznego.

#### Poz.1.3.1 Wiatr dociskający



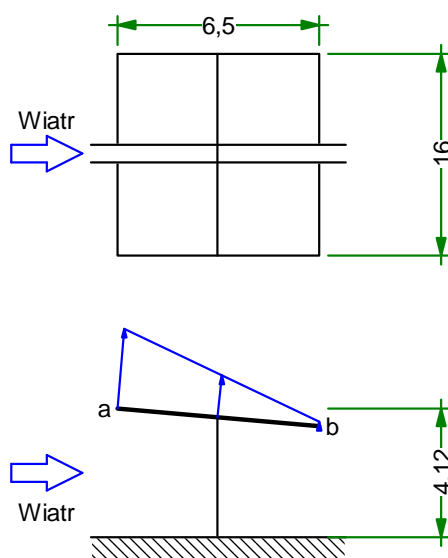
##### Poz.1.3.1.1 Krawędź „a”

- Charakterystyczna wartość obciążenia wiatrem:  
 $Q_k = 0,30 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,00 \cdot 2,00 \cdot 1,8 = 1,08 \text{ kN/m}^2$ .
- Obliczeniowa wartość obciążenia wiatrem:  
 $Q_0 = 1,62 \text{ kN/m}^2, \quad \gamma_f = 1,50$ .

##### Poz.1.3.1.2 Krawędź „b”

- Charakterystyczna wartość obciążenia wiatrem:  
 $Q_k = 0,30 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,00 \cdot 0,09 \cdot 1,8 = 0,05 \text{ kN/m}^2$ .
- Obliczeniowa wartość obciążenia wiatrem:  
 $Q_0 = 0,08 \text{ kN/m}^2, \quad \gamma_f = 1,50$ .

### Poz.1.3.2 Wiatr odrywający



#### Poz.1.3.2.1 Krawędź „a”

- Charakterystyczna wartość obciążenia wiatrem:  
 $Q_k = 0,30 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,00 \cdot (-2,00) \cdot 1,8 = -1,08 \text{ kN/m}^2$ .
- Obliczeniowa wartość obciążenia wiatrem:  
 $Q_0 = -1,62 \text{ kN/m}^2, \quad \gamma_f = 1,50$ .

#### Poz.1.3.2.2 Krawędź „b”

- Charakterystyczna wartość obciążenia wiatrem:  
 $Q_k = 0,30 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,00 \cdot (-0,09) \cdot 1,8 = -0,05 \text{ kN/m}^2$ .
- Obliczeniowa wartość obciążenia wiatrem:  
 $Q_0 = -0,08 \text{ kN/m}^2, \quad \gamma_f = 1,50$ .

## Poz.2.0 Konstrukcja przekrycia

### Poz.2.1 Blacha trapezowa FLORPROFILE TR 40/183 gr 0.75mm

#### Poz.2.1.1 Obciążenia dociskające

##### OBLICZANIE I WYMIAROWANIE BLACH TRAPEZOWYCH - FLORPROFILE

dla jednakowych rozpiętości, obciążenia dociskającego, bez sił normalnych

Współczynniki bezpieczeństwa wg:

PN

##### Schemat statyczny

Liczba przęseł 3 (max 7)  
Rozpiętość przęsła l 2,15 m  
Szer. podpór skrajn. 60 Stosuję szer. bA = 40  
Szer. podp. pośred. 60 mm = bB  
Ugięcie  $f = l / 200 = 1,08$  cm

Rozpiętość oblicz. dla przęsła skrajnego 2,14 m

Obciążenia charakterystyczne		$\gamma_M = 1,10$ wsp.obc.oblicz.
Obciąż. trwałe	0,15 kN/m <sup>2</sup>	$\gamma_F = 1,20$
Obciąż. śniegiem	1,28 kN/m <sup>2</sup>	$\gamma_F = 1,50$
Obciąż. wiatrem	1,08 kN/m <sup>2</sup>	$\gamma_F = 1,50$
Inne obciąż. zmienne	0,00 kN/m <sup>2</sup>	$\gamma_F = 1,10$
q =	2,51 kN/m <sup>2</sup>	q <sub>d</sub> = 3,72

##### PROFIL

TR 40 / 183 t = 0,75 mm

☐ Obciążenie dynamiczne NIE

Komentarz:	
WERYFIKACJA POZYTYWNA	
STOPIEN WYKORZYSTANIA	
Nośności	86 %
Ugięcia	90 %

Charakterystyczne dane przekroju				Rozpiętości graniczne	
Nomin. gr. blachy	Ciężar własny	Momenty bezwładn.		L <sub>gr</sub> [m]	
		I <sub>eff</sub> <sup>+</sup>	I <sub>eff</sub> <sup>-</sup>	Przęsło pojedyncze	Przęsło wielokrotne
t <sub>N</sub>	g	[cm <sup>4</sup> /m]	[cm <sup>4</sup> /m]		
0,75	0,08	17,61	23,43	1,4	1,7

##### Dopuszczalne obciążenia profilu (=Wartości charakteryz. wg. nowej koncepcji bezpieczeństwa)

dla skierowanych w dół obciążeń powierzchniowych

Grubość nominal. blachy	Moment przęsłowy	Siły podporowe na podporach skrajnych		Dopuszczalne obciążenia sprężyste na podporach pośrednich				Reszkowe momenty podporowe		
		Dla nośności	Dla ugięcia	maxMB >= MB <= M.....		maksym. podp.pośr.	max R <sub>B</sub>	min I	max I	max M <sub>R</sub>
		R <sub>A,T</sub>	R <sub>A,G</sub>	M <sub>d</sub> <sup>0</sup>	C	max M <sub>B</sub>	max R <sub>B</sub>	[m]	[m]	[kNm/m]
t <sub>N</sub>	M <sub>dF</sub>	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]		[kNm/m]	[kN/m]			
[mm]	[kNm/m]									
		ba+ü=	40	Szerokość podpory pośr. b <sub>B</sub> =	60 mm	ε =	2			
0,75	2,36	11,3	11,3	2,47	18,53	2,47	26,05	0	0	0
		ba+ü=	0	Szerokość podpory pośr. b <sub>B</sub> =	120 mm	ε =	2			
0,75		0	0	2,47	24,07	2,47	33,85	0	0	0

##### WERYFIKACJA NOŚNOŚCI W ZAKRESIE SPRĘŻYSTYM

Wsp. bezp.  $\gamma_F =$  1,40 dla ciężaru własnego  
1,40 dla obciążeń zmiennych

OBCIĄŻALNOŚCI:

$$M_{dBd} = M_d / \gamma_M - (istn R_{Bd} / (C / \sqrt{\gamma_M}))^e < \max M_B / \gamma_M =$$
$$= 2,00 \text{ kNm dla szer. podpory } b_B = 60 \text{ mm}$$
$$= 2,10 \text{ kNm dla szer. podpory } b_B = 120 \text{ mm}$$
$$dop M_{dBd} = 2,00 \text{ kNm dla istn. szer. podp. } b_B = 60 \text{ mm}$$

Siły podpor. Podp. skrajne istn R<sub>Ad</sub> = 3,19 kN < 10,27 kN = R<sub>A,Gd</sub> -----> 31 %  
Podp. pośrednie istn R<sub>Bd</sub> = 8,80 kN < 23,68 kN = maks R<sub>B</sub> -----> 37 %  
Momenty maks.mom.przęsłowy istn M<sub>dF</sub> = 1,36 kNm < 2,15 kNm = M<sub>dF d</sub> -----> 64 %  
maks.mom.na podp. istn M<sub>Bd</sub> = 1,72 kNm < 2,00 kNm = dop M<sub>Bd d</sub> -----> 86 %

-----> WERYFIKACJA POZYTYWNA

##### WERYFIKACJA UGIĘCIA W ZAKRESIE SPRĘŻYSTYM

Wsp. bezp.  $\gamma_F =$  1,00 dla ciężaru własnego q<sub>g</sub> = 2,51 kN/m<sup>2</sup>  
1,00 dla obciążeń zmiennych

UGIĘCIE istn f = 0,96 cm = L / 222 < L / 200 = zul f -----> 90 %  
-----> WERYFIKACJA NA UGIĘCIE- POZYTYWNA

**WYMIAROWANIE WG. ZAKRESU SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNEGO**

( W TYM PRZYPADKU ZBĘDNE )

Tylko - jeżeli  $_{istn} M_{Bd} > M_{dB}$  lub  $R_B >_{max} R_B$  :**WERYFIKACJA NOŚNOŚCI W ZAKRESIE SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNYM**

OBCIĄŻENIA		z uwzgl. momentów resztkowych na podporach			
Moment resztkowy		$M_R =$	0,00 kNm	dla szer.podpory $b_B =$	60 mm
		$M_R =$	0,00 kNm	dla szer.podpory $b_B =$	120 mm
		$_{istn} M_R =$	0,00 kNm	dla $_{istn}$ . szer.podp. $b_B =$	60 mm
Sila podp.	Podp.skrajna	$R_{Ad} =$	3,98 kN	<	10,27 kN = $R_{A,Td}$
Momenty	Przęsło skrajne	$M_{Fd} =$	2,13 kNm	<	2,15 kNm = $M_{dFd}$
	Przęsło pośrednie	$M_{Fd} \sim$	2,15 kNm	<	2,15 kNm = $M_{dFd}$

DLA UGIĘCIA

Sila podp.	Podp.skrajna	$_{istn} R_{Ag} =$	2,15 kN	<	10,27 kN = $R_{A,Gg}$
	Przęsło skrajne	$_{istn} R_{Bg} =$	5,94 kN	<	23,68 kN = $_{maks} R_{B\zeta}$
Momenty	Na podporze	$_{istn} M_{Bg} =$	1,16 kNm	<	2,00 kNm = $M_{dBg}$

**DODATKOWE OBLICZ.DLA PODP.SKRAJNEJ**

( W TYM PRZYPADKU ZBĘDNE )

TYLKO JEŻELI  $_{istn} R_{Ad} > R_{A,Gd}$  :DLA WYTRZYMAŁOŚCI

Podp.skrajna	$_{istn} R_{Ad} =$	3,19 kN	<	10,27 kN	= $R_{A,Td}$
--------------	--------------------	---------	---	----------	--------------

DLA UGIĘCIA

OBCIĄŻENIA dla ugięcia			<	OBCIĄŻEN DOPUSZCZALNYCH	
Na podp.skrajnej	$_{istn} R_{Ag} =$	2,15 kN	<	10,27 kN	= $R_{A,Gg}$

## Poz.2.1.2 Obciążenia odrywające

### OBLICZANIE I WYMIAROWANIE BLACH TRAPEZOWYCH - FLORPROFILE

dla jednakowych rozpiętości, obciążenia odrywającego, bez sił normalnych

Współczynniki bezpieczeństwa wg:

PN

#### Schemat statyczny

Liczba przęseł 3 (max 7)  
Rozpiętość przęsła l 2,15 m  
Ugięcie  $f = 1/200 = 1,08 \text{ cm}$

Mocowanie ☐ każdej półki ☒ co drugiej półki

Obciążenia charakterystyczne (+...dociskające, -...odrywające)		$\gamma_M = 1,10$
		Wsp.obc.oblicz.
Obciąż. trwałe	-0,15 kN/m <sup>2</sup>	$\gamma_F = 1,00$
Parcie wiatru (neg)	-1,08 kN/m <sup>2</sup>	$\gamma_F = 1,50$
Inne obciąż.zmienne	0,00 kN/m <sup>2</sup>	$\gamma_F = 0,00$
q = -1,23 kN/m <sup>2</sup>		q <sub>d</sub> = -1,77

#### PROFIL

TR 40 / 183 t = 0,75 mm

#### Komentarz:

WERYFIKACJA POZYTYWNA

STOPIEŃ WYKORZYSTANIA

Nośności 76 %

Ugięcia 38 %

UWAGA NA ROZPIĘTOŚĆ GRANICZNĄ!

Charakterystyczne dane przekroju				Rozpiętości graniczne	
Nomin. gr.blachy	Ciężar własny	Momenty bezwładn.		L <sub>gr</sub> [m]	
t <sub>N</sub>	g	I <sub>eff</sub> <sup>+</sup>	I <sub>eff</sub> <sup>-</sup>	Przęsło pojedyncze	Przęsło wielokrotne
[mm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> /m]	[cm <sup>4</sup> /m]		
0,75	0,08	17,61	23,43	1,4	1,7

#### Dopuszczalne obciążenia profilu (=Wartości charakteryz. wg. nowej koncepcji bezpieczeństwa)

dla obciążeń powierzchniowych skierowanych do góry i odrywających

Grubość nominal. blachy t <sub>N</sub> [mm]	Moment przęsłowy M <sub>dF</sub> [kNm/m]	Mocowanie każdej przylegającej półki						Mocowanie co drugiej półki			
		Podpora skrajna R <sub>A</sub> [kN/m]	Podpora pośrednia, ε = 1				Podpora skrajna R <sub>A</sub> [kN/m]	Podpora pośrednia, ε = 1			
			M <sub>d</sub> <sup>0</sup> [kNm/m]	C	max M <sub>B</sub> [kNm/m]	max R <sub>B</sub> [kN/m]		M <sub>d</sub> <sup>0</sup> [kNm/m]	C	max M <sub>B</sub> [kNm/m]	max R <sub>B</sub> [kN/m]
0,75	2,47	60,56	3,07	51,28	2,36	121,12	30,28	1,54	51,28	1,18	60,56

#### WERYFIKACJA NOŚNOŚCI

Współcz. bezp.  $\gamma_F = 1,00$  dla ciężaru własnego  
1,50 dla obciążeń zmiennych

OBCIĄŻALNOŚCI:

Mocowanie w co drugiej półce ε = 1  
R<sub>A</sub> 30,28 M<sub>d</sub><sup>0</sup> 1,54 C 51,28 max M<sub>B</sub> 1,18 max R<sub>B</sub> 60,56

OBCIĄŻENIA WYNIKAJĄCE Z PRZYJĘTEGO ROZWIĄZANIA

$$M_{dBd} = M_d^0 / \gamma_M - (istn R_{Bd} / (C / \sqrt{\gamma_M}))^2 < \max M_B / \gamma_M = 1,07$$

Siły podpo Podp.skrajne istn R<sub>Ad</sub> = 1,52 kN < 27,53 kN = R<sub>A,Gd</sub> -----> 6 %  
Podp. pośrednie istn R<sub>Bd</sub> = 4,19 kN < 55,05 kN = max R<sub>Bd</sub> -----> 8 %  
Momenty maks.mom.przęsłowy istn M<sub>Fd</sub> = 0,65 kNm < 2,25 kNm = M<sub>dF d</sub> -----> 29 %  
maks.mom.na podp. istn M<sub>Bd</sub> = 0,82 kNm < 1,07 kNm = zul M<sub>dB d</sub> -----> 76 %

-----> WERYFIKACJA POZYTYWNA

#### WERYFIKACJA UGIĘCIA

Współcz. bezp.  $\gamma = 1,00$  dla ciężaru własnego  
1,15 dla obciążeń zmiennych

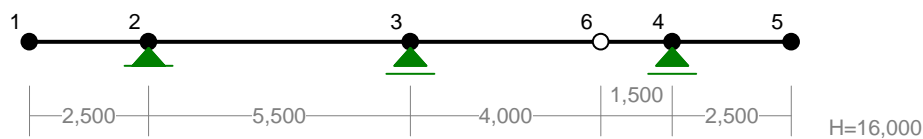
q<sub>g</sub> = -1,39 kN/m<sup>2</sup>

UGIĘCIE - istn f = 0,41 cm = L / 526

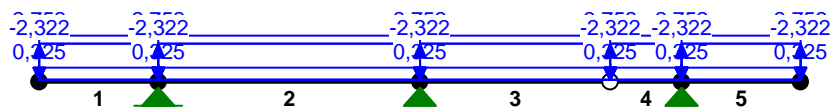
< L / 200 = zul f -----> 38 %

-----> WERYFIKACJA UGIĘCIA - POZYTYWNA

## Poz.2.2 Płatwie stalowe C200 stal S355 J2G3 (18G2)



OBCIĄŻENIA:



OBCIĄŻENIA: ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1(Tg):	P2(Td):	a[m]:	b[m]:
-----						
Grupa:	A "Blacha trapezowa"			Stałe	$\gamma_f = 1,20$	
1	Liniowe	0,0	0,325	0,325	0,00	2,50
2	Liniowe	0,0	0,325	0,325	0,00	5,50
3	Liniowe	0,0	0,325	0,325	0,00	4,00
4	Liniowe	0,0	0,325	0,325	0,00	1,50
5	Liniowe	0,0	0,325	0,325	0,00	2,50
-----						
Grupa:	B "Śnieg"			Zmienne	$\gamma_f = 1,50$	
1	Liniowe	0,0	2,752	2,752	0,00	2,50
2	Liniowe	0,0	2,752	2,752	0,00	5,50
3	Liniowe	0,0	2,752	2,752	0,00	4,00
4	Liniowe	0,0	2,752	2,752	0,00	1,50
5	Liniowe	0,0	2,752	2,752	0,00	2,50
-----						
Grupa:	C "Wiatr docisk"			Zmienne	$\gamma_f = 1,50$	
1	Liniowe	0,0	2,322	2,322	0,00	2,50
2	Liniowe	0,0	2,322	2,322	0,00	5,50
3	Liniowe	0,0	2,322	2,322	0,00	4,00
4	Liniowe	0,0	2,322	2,322	0,00	1,50
5	Liniowe	0,0	2,322	2,322	0,00	2,50
-----						
Grupa:	D "Wiatr odrywanie"			Zmienne	$\gamma_f = 1,50$	
1	Liniowe	0,0	-2,322	-2,322	0,00	2,50
2	Liniowe	0,0	-2,322	-2,322	0,00	5,50
3	Liniowe	0,0	-2,322	-2,322	0,00	4,00
4	Liniowe	0,0	-2,322	-2,322	0,00	1,50
5	Liniowe	0,0	-2,322	-2,322	0,00	2,50

### W Y N I K I Teoria I-go rzędu Kombinatoryka obciążeń

OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa:	Znaczenie:	$\psi_d$ :	$\gamma_f$ :
-----			
Ciężar wł.			1,10
A - "Blacha trapezowa"	Stałe		1,20
B - "Śnieg"	Zmienne	1	0,90
C - "Wiatr docisk"	Zmienne	1	0,90
D - "Wiatr odrywanie"	Zmienne	1	0,90

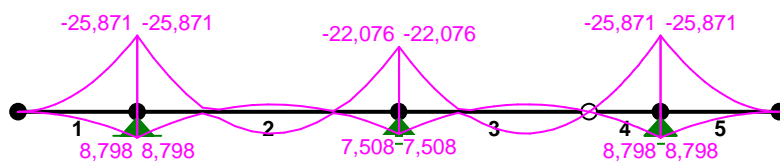
## RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

Grupa obc.:	Relacje:
Ciężar wł.	ZAWSZE
A - "Blacha trapezowa"	ZAWSZE
B - "Śnieg"	EWENTUALNIE
C - "Wiatr docisk"	EWENTUALNIE
D - "Wiatr odrywanie"	Nie występuje z: D
	EWENTUALNIE
	Nie występuje z: C

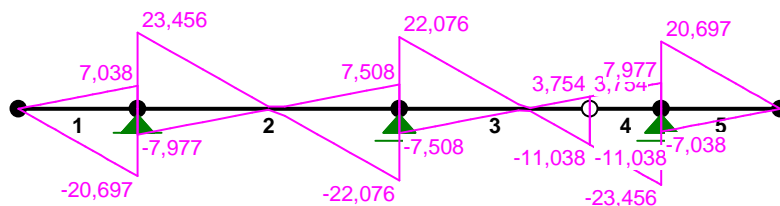
## KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

Nr:	Specyfikacja:
1	ZAWSZE : A EWENTUALNIE: B+C/D

## MOMENTY-OBWIEDNIE:



## TNĄCE-OBWIEDNIE:



## SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	M[kNm]:	Q[kN]:	N[kN]:	Kombinacja obciążeń:
1	2,500	<b>8,798*</b>	7,038	0,000	AD
	2,500	<b>-25,871*</b>	-20,697	0,000	ABC
	2,500	-25,871	<b>-20,697*</b>	0,000	ABC
	2,500	-25,871	-20,697	<b>0,000*</b>	ABC
	0,000	0,000	-0,000	<b>0,000*</b>	AB
	2,500	-25,871	-20,697	<b>0,000*</b>	ABC
	0,000	0,000	-0,000	<b>0,000*</b>	AB
	0,000	0,000	-0,000	<b>0,000*</b>	AB
2	0,000	<b>8,798*</b>	-7,977	0,000	AD
	0,000	<b>-25,871*</b>	23,456	0,000	ABC
	0,000	-25,871	<b>23,456*</b>	0,000	ABC
	0,000	-25,871	23,456	<b>0,000*</b>	ABC
	2,750	7,330	0,690	<b>0,000*</b>	ABC
	0,000	-25,871	23,456	<b>0,000*</b>	ABC
	2,750	7,330	0,690	<b>0,000*</b>	ABC
	0,000	0,000	-0,000	<b>0,000*</b>	AB
3	0,000	<b>7,508*</b>	-7,508	0,000	AD
	0,000	<b>-22,076*</b>	22,076	0,000	ABC
	0,000	-22,076	<b>22,076*</b>	0,000	ABC
	0,000	-22,076	22,076	<b>0,000*</b>	ABC
	2,750	7,330	-0,690	<b>0,000*</b>	ABC
	0,000	-22,076	22,076	<b>0,000*</b>	ABC
	2,750	7,330	-0,690	<b>0,000*</b>	ABC
	0,000	0,000	-0,000	<b>0,000*</b>	AB



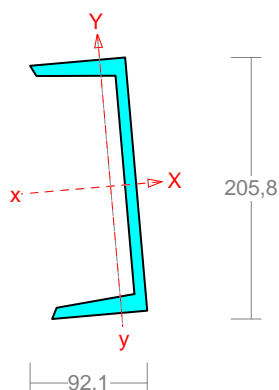
4	1,500	<b>8,798*</b>	7,977	0,000	AD
	1,500	<b>-25,871*</b>	-23,456	0,000	ABC
	1,500	-25,871	<b>-23,456*</b>	0,000	ABC
	1,500	-25,871	-23,456	<b>0,000*</b>	ABC
	0,000	0,000	-0,890	<b>0,000*</b>	A
	1,500	-25,871	-23,456	<b>0,000*</b>	ABC
	0,000	0,000	-0,890	<b>0,000*</b>	A
5	0,000	<b>8,798*</b>	-7,038	0,000	AD
	0,000	<b>-25,871*</b>	20,697	0,000	ABC
	0,000	-25,871	<b>20,697*</b>	0,000	ABC
	0,000	-25,871	20,697	<b>0,000*</b>	ABC
	2,500	0,000	-0,000	<b>0,000*</b>	ABC
	0,000	-25,871	20,697	<b>0,000*</b>	ABC
	2,500	0,000	-0,000	<b>0,000*</b>	ABC

\* = Max/Min

**REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.I rzędu  
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
2	<b>0,000*</b>	44,153	44,153		ABC
	<b>0,000*</b>	-15,015	15,015		AD
	<b>0,000*</b>	3,561	3,561		A
	0,000	<b>44,153*</b>	44,153		ABC
	0,000	<b>-15,015*</b>	15,015		AD
	0,000	44,153	<b>44,153*</b>		ABC
3	<b>0,000*</b>	44,153	44,153		ABC
	<b>0,000*</b>	-15,015	15,015		AD
	<b>0,000*</b>	3,561	3,561		A
	0,000	<b>44,153*</b>	44,153		ABC
	0,000	<b>-15,015*</b>	15,015		AD
	0,000	44,153	<b>44,153*</b>		ABC
4	<b>0,000*</b>	44,153	44,153		ABC
	<b>0,000*</b>	-15,015	15,015		AD
	<b>0,000*</b>	3,561	3,561		A
	0,000	<b>44,153*</b>	44,153		ABC
	0,000	<b>-15,015*</b>	15,015		AD
	0,000	44,153	<b>44,153*</b>		ABC

\* = Max/Min



Wymiary przekroju:

U 200 h=200,0 s=75,0 g=8,8 t=11,5 r=11,5  
ex=20,1.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

J<sub>xg</sub>=1910,0 J<sub>yg</sub>=148,0 A=32,20 i<sub>x</sub>=7,7 i<sub>y</sub>=2,1  
J<sub>w</sub>=9100,5 J<sub>t</sub>=12,0 x<sub>s</sub>=4,0 i<sub>s</sub>=8,9 r<sub>y</sub>=-13,1 b<sub>x</sub>=10,6.

Materiał: **18G2,18G2A**. Wytrzymałość **f<sub>d</sub>=305 MPa**  
dla **g=11,5**.

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

### Siły przekrojowe:

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **ABC**

**M<sub>x</sub> = 25,772 kNm, V<sub>y</sub> = 23,367 kN, N = 0,000 kN,**

**M<sub>y</sub> = -2,255 kNm, V<sub>x</sub> = 2,044 kN.**

Napężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 165,556 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -218,573 \text{ MPa}$ .

### Napężenia:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 5,500$ . Napężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 165,556 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -218,573 \text{ MPa}$ .

Napężenia:

- normalne:  $\sigma = -26,509$   $\Delta\sigma = 192,065 \text{ MPa}$   $\psi_{oc} = 1,000$
- ścinanie wzdłuż osi Y:  $A_v = 17,600 \text{ cm}^2$   $\tau = 13,277 \text{ MPa}$   $\psi_{ov} = 1,000$
- ścinanie wzdłuż osi X:  $A_v = 15,229 \text{ cm}^2$   $\tau = 1,342 \text{ MPa}$   $\psi_{ov} = 1,000$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 26,509 / 1,000 + 192,065 = 218,573 < 305 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 13,277 / 1,000 = 13,277 < 176,900 = 0.58 \times 305 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ex} = \tau / \psi_{ov} = 1,342 / 1,000 = 1,342 < 176,900 = 0.58 \times 305 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{218,573^2 + 3 \times 0,000^2} = 218,573 < 305 \text{ MPa}$$

### Długości wyboczeniowe pręta:

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

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 0,327 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,770 \quad \text{dla } l_o = 5,500$$

$$l_w = 0,770 \times 5,500 = 4,235 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 0,500$$

$$l_w = 1,000 \times 0,500 = 0,500 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 5,500 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 5,500 \text{ m}$ .

### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1910,0}{4,207^2} 10^{-2} = 2183,829 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 148,0}{0,528^2} 10^{-2} = 1,07 \text{E}+04 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{8,9^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 9100,5}{5,500^2} 10^{-2} + 80 \times 12,0 \times 10^2 \right) = 1282,012 \text{ kN}$$

$$N_{xz} = \frac{N_x + N_z - \sqrt{(N_x + N_z)^2 - 4 N_x N_z (1 - \mu y_s^2 / i_s^2)}}{2(1 - \mu y_s^2 / i_s^2)} =$$

$$\frac{2183,829 + 1282,012 - \sqrt{(2183,829 + 1282,012)^2 - 4 \times 2183,829 \times 1282,012 \times (1 - 0,878 \times 4,0^2 / 8,9^2)}}{2 \times (1 - 0,878 \times 4,0^2 / 8,9^2)} = 1090,462 \text{ kN}$$

### Zwichrzenie:

Moment krytyczny przy zwichrzeniu ceownika zginanego w płaszczyźnie środka można wyznaczyć, jak dla dwuteownika o tych samych wymiarach, dla którego

$$N_y = 5934,102 \text{ kN}, \quad N_z = 1621,671 \text{ kN}.$$

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_o = 0,00 \text{ cm}$ . Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły  $a_s = 0,00 \text{ cm}$ . Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia:  $A_1 = 0,270$ ,  $A_2 = 1,610$ ,  $B = 1,880$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,270 \times 0,00 + 1,610 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 5934,102 + \sqrt{(0,000 \times 5934,102)^2 + 1,880^2 \times 0,089^2 \times 5934,102 \times 1621,671} = 457,810$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{49,516 / 457,810} = 0,378$$

Dla ceownika zginanego w płaszczyźnie środkowej, przyjęto:

$$\bar{\lambda}_L = 1,25 \times 0,378 = 0,473$$

### Nośność przekroju na zginanie:

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 191,0 \times 305 \times 10^{-3} = 58,255 \text{ kNm}$$

- względem osi Y

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 27,0 \times 305 \times 10^{-3} = 8,222 \text{ kNm}$$

Nośność przekroju względem osi X należy zredukować do wartości:

$$M_{R, red} = W f_d \left[ 0,85 - \left( \frac{V}{V_R} \frac{e t_w}{b t_f} \right)^2 \right] = 191,0 \times 305 \times \left[ 0,85 - \left( \frac{23,367 \times 4,0 \times 0,9}{311,344 \times 7,5 \times 1,2} \right)^2 \right] \times 10^{-3} = 49,516$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 0,473$  wynosi  $\phi_L = 0,991$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\phi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{25,772}{0,991 \times 49,516} + \frac{2,255}{8,222} = 0,799 < 1$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 17,6 \times 305 \times 10^{-1} = 311,344 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,3 V_R = 93,403 \text{ kN}$$

- wzdłuż osi X

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 13,7 \times 305 \times 10^{-1} = 242,461 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,3 V_R = 72,738 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } V = 23,367 < 311,344 = V_R$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi X: } V = 2,044 < 242,461 = V_R$$

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

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 23,367 < 93,403 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 49,516 \text{ kNm}$$

- dla zginania względem osi Y:  $V_x = 2,044 < 72,738 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 8,222 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{Rx,V}} + \frac{M_y}{M_{Ry,V}} = \frac{25,772}{49,516} + \frac{2,255}{8,222} = 0,795 < 1$$

### Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y wynoszą:

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

$$a_{\text{gr}} = l / 350 = 5500 / 350 = 15,7 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,4 < 15,7 = a_{\text{gr}}$$

Ugięcia względem osi X wynoszą:

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

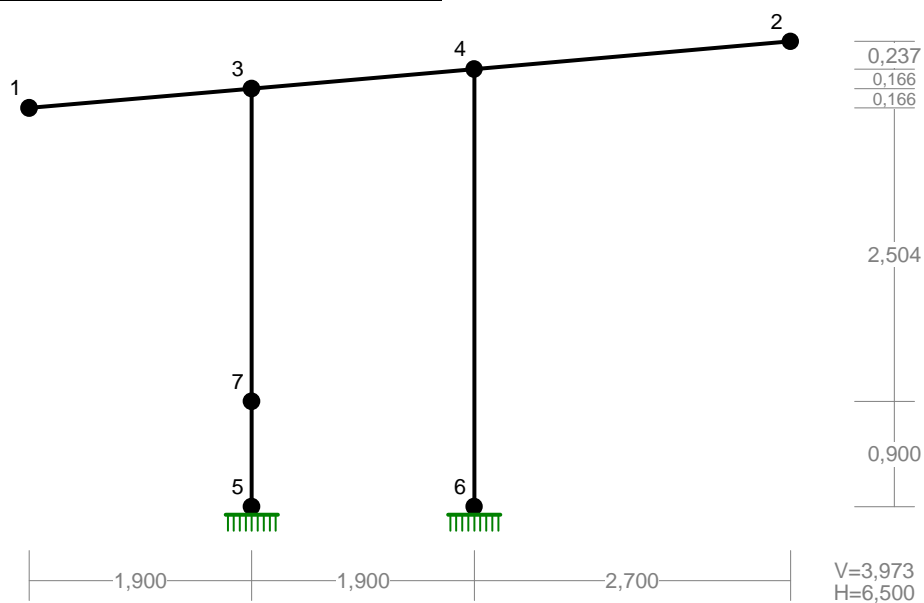
$$a_{\text{gr}} = l / 350 = 5500 / 350 = 15,7 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,6 < 15,7 = a_{\text{gr}}$$

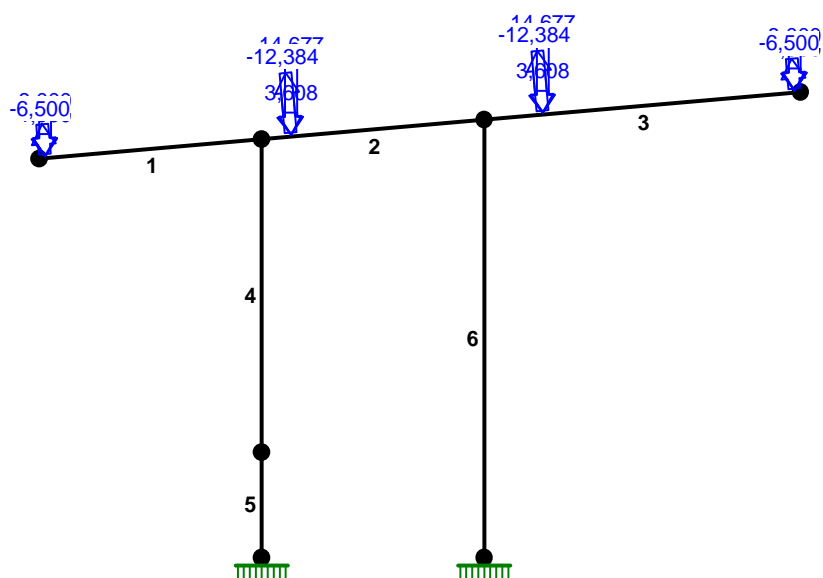
Największe ugięcie wypadkowe wynosi:

$$a = \sqrt{1,6^2 + 1,4^2} = 2,1$$

### Poz.2.3 Rama stalowa co 550cm



OBCIĄŻENIA:



**OBCIĄŻENIA:** ([kN],[kNm],[kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1(Tg):	P2(Td):	a[m]:	b[m]:
<hr/>						
Grupa:	A "Obciążenia stałe"			Stałe	$\gamma_f = 1,20$	
1	Skupione	0,0	1,900		0,05	
2	Skupione	0,0	3,608		0,25	
3	Skupione	0,0	1,900		2,66	
3	Skupione	0,0	3,608		0,50	
<hr/>						
Grupa:	B "Śnieg"			Zmienne	$\gamma_f = 1,50$	
1	Skupione	0,0	8,000		0,05	
2	Skupione	0,0	14,677		0,25	
3	Skupione	0,0	14,677		0,50	
3	Skupione	0,0	8,000		2,66	
<hr/>						
Grupa:	C "Wiatr docisk"			Zmienne	$\gamma_f = 1,50$	
1	Skupione	5,0	6,500		0,05	
2	Skupione	5,0	12,384		0,25	
3	Skupione	5,0	12,384		0,50	
3	Skupione	5,0	6,500		2,66	
<hr/>						
Grupa:	D "Wiatr odrywanie"			Zmienne	$\gamma_f = 1,50$	
1	Skupione	5,0	-6,500		0,05	
2	Skupione	5,0	-12,384		0,25	
3	Skupione	5,0	-12,384		0,50	
3	Skupione	5,0	-6,500		2,66	

**W Y N I K I**  
**Teoria II-go rzędu**  
**Kombinatoryka obciążeń**

**OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:**

Grupa:	Znaczenie:	$\psi_d$ :	$\gamma_f$ :
<hr/>			
Ciężar wł.			1,10
A - "Obciążenia stałe"	Stałe		1,20
B - "Śnieg"	Zmienne	1	1,00
C - "Wiatr docisk"	Zmienne	1	1,00
D - "Wiatr odrywanie"	Zmienne	1	1,00

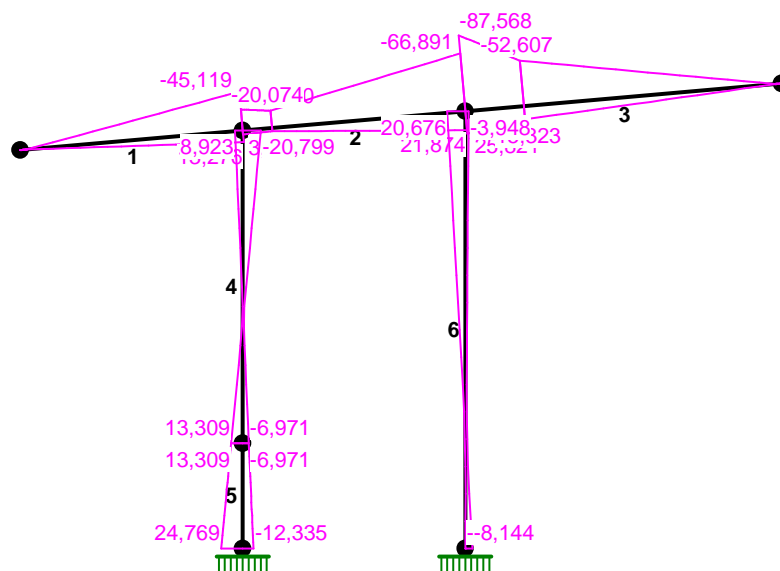
**RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:**

Grupa obc.:	Relacje:
<hr/>	
Ciężar wł.	ZAWSZE
A - "Obciążenia stałe"	ZAWSZE
B - "Śnieg"	EWENTUALNIE
C - "Wiatr docisk"	EWENTUALNIE
	Nie występuje z: D
D - "Wiatr odrywanie"	EWENTUALNIE
	Nie występuje z: C

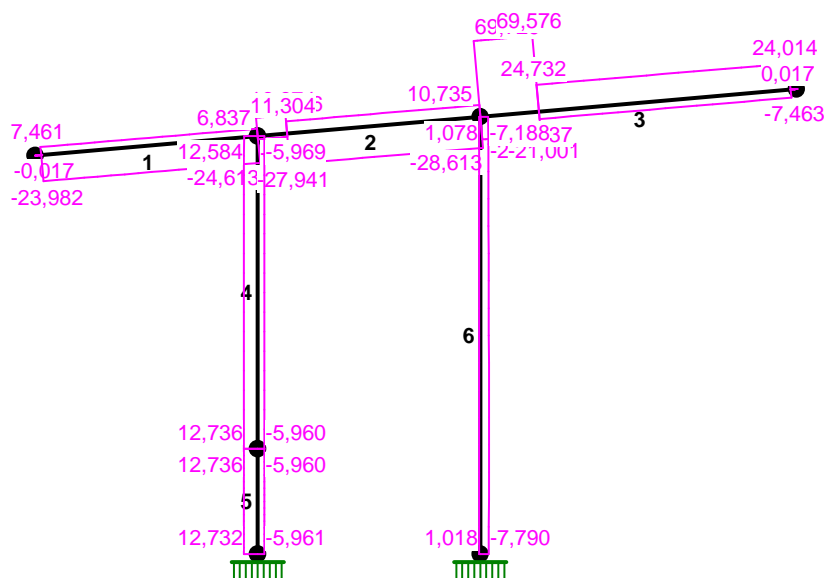
**KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:**

Nr:	Specyfikacja:
<hr/>	
1	ZAWSZE : A
	EWENTUALNIE: B+C/D

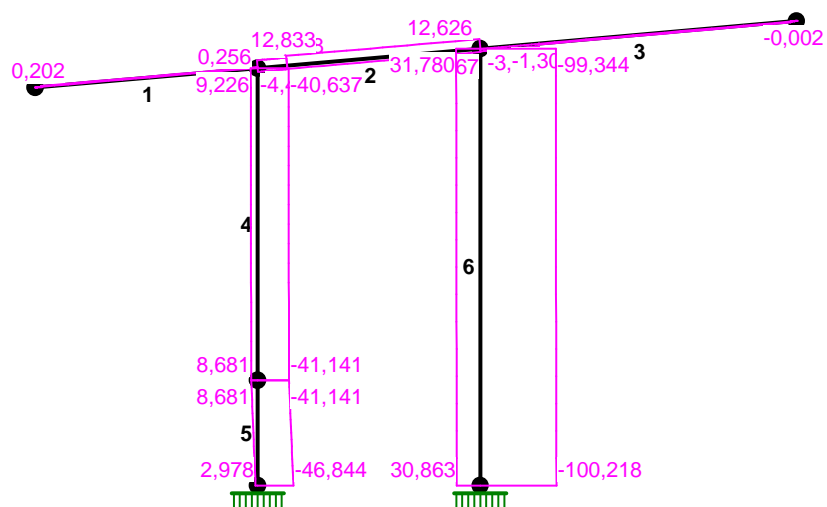
MOMENTY-OBWIEDNIE :



SIŁY PRZESKONNE-OBWIEDNIE :



NORMALNE-OBWIEDNIE :



**SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.II rzędu bez imperf.  
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	M[kNm]:	Q[kN]:	N[kN]:	Kombinacja obciążeń:
1	1,907	<b>13,276*</b>	6,837	0,261	AD
	1,907	<b>-45,119*</b>	-24,613	1,389	ABC
	1,907	-45,119	<b>-24,613*</b>	1,389	ABC
	0,514	-11,170	-24,138	<b>1,464*</b>	ABC
	0,000	-0,000	0,000	<b>0,000*</b>	AC
2	1,907	<b>21,874*</b>	10,735	-4,467	AD
	1,907	<b>-66,891*</b>	-28,613	12,626	ABC
	1,907	-66,891	<b>-28,613*</b>	12,626	ABC
	0,251	-20,074	-27,941	<b>12,833*</b>	ABC
	0,000	4,352	-2,874	<b>-4,883*</b>	AD
3	0,000	<b>25,821*</b>	-20,831	-0,619	AD
	0,000	<b>-87,568*</b>	69,729	-3,210	ABC
	0,000	-87,568	<b>69,729*</b>	-3,210	ABC
	2,710	-0,000	-0,000	<b>-0,000*</b>	ABC
	0,000	-17,000	13,059	<b>-3,619*</b>	ABD
4	2,670	<b>13,309*</b>	12,736	-41,141	ABC
	0,000	<b>-20,799*</b>	12,584	-40,637	ABC
	1,669	0,489	<b>12,840*</b>	-40,901	ABC
	0,000	8,923	-5,969	<b>9,226*</b>	AD
	2,670	13,309	12,736	<b>-41,141*</b>	ABC
5	0,900	<b>24,769*</b>	12,732	-46,844	ABC
	0,900	<b>-12,335*</b>	-5,961	2,978	AD
	0,000	13,309	<b>12,736*</b>	-41,141	ABC
	0,000	-6,971	-5,960	<b>8,681*</b>	AD
	0,900	24,769	12,732	<b>-46,844*</b>	ABC
6	0,000	<b>20,676*</b>	-7,188	-99,344	ABC
	3,736	<b>-8,144*</b>	-7,790	-100,218	ABC
	2,802	-0,806	<b>-7,895*</b>	-99,980	ABC
	0,000	-3,948	1,078	<b>31,780*</b>	AD
	3,736	-8,144	-7,790	<b>-100,218*</b>	ABC

\* = Max/Min

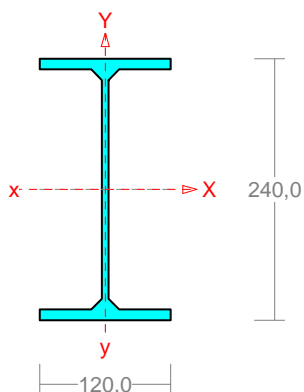
**REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.II rzędu bez imperf.  
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
5	<b>5,961*</b>	-2,978	6,663	-12,335	AD
	<b>-12,732*</b>	46,844	48,543	24,769	ABC
	-12,732	<b>46,844*</b>	48,543	24,769	ABC
	5,961	<b>-2,978*</b>	6,663	-12,335	AD
	-12,732	46,844	<b>48,543*</b>	24,769	ABC
	-12,732	46,844	48,543	<b>24,769*</b>	ABC
	5,961	-2,978	6,663	<b>-12,335*</b>	AD
6	<b>7,790*</b>	100,218	100,520	-8,144	ABC
	<b>-1,018*</b>	-30,863	30,880	-0,069	AD
	7,790	<b>100,218*</b>	100,520	-8,144	ABC
	-1,018	<b>-30,863*</b>	30,880	-0,069	AD
	7,790	100,218	<b>100,520*</b>	-8,144	ABC
	-1,018	-30,863	30,880	<b>-0,069*</b>	AD
	7,790	100,218	100,520	<b>-8,144*</b>	ABC

\* = Max/Min

## Poz.2.3.1 Wymiarowanie elementów stalowych wg PN-90/B-03200

### Poz.2.3.1.1 Rygiel dachowy IPE 240



Wymiary przekroju:

I 240 PE h=240,0 g=6,2 s=120,0 t=9,8 r=15,0.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=3890,0$   $J_{yg}=284,0$   $A=39,10$   $i_x=10,0$   $i_y=2,7$

$J_w=37391,2$   $J_t=11,2$   $i_s=10,3$ .

Materiał: **18G2,18G2A**. Wytrzymałość  **$f_d=305$  MPa** dla  **$g=9,8$** .

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **2**.

#### Siły przekrojowe:

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **ABC**

**$M_x = 87,568$  kNm,  $V_y = 69,729$  kN,  $N = -3,210$  kN,**

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 269,311$  MPa  $\sigma_c = -270,953$  MPa.

#### Naprężenia:

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 269,311$  MPa  $\sigma_c = -270,953$  MPa.

Naprężenia:

- normalne:  $\sigma = -0,821$   $\Delta\sigma = 270,132$  MPa  $\psi_{oc} = 1,000$

- ścinanie wzdłuż osi Y:  $A_v = 14,880$  cm<sup>2</sup>  $\tau = 46,861$  MPa  $\psi_{ov} = 1,000$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,821 / 1,000 + 270,132 = 270,953 < 305 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 46,861 / 1,000 = 46,861 < 176,900 = 0,58 \times 305 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{270,953^2 + 3 \times 0,000^2} = 270,953 < 305 \text{ MPa}$$

#### Długości wyboczeniowe pręta:

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

$$\chi_1 = 0,359 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły przesuwne} \Rightarrow \mu = 2,277 \quad \text{dla } l_0 = 2,710$$
$$l_w = 2,277 \times 2,710 = 6,172 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 2,710$$
$$l_w = 1,000 \times 2,710 = 2,710 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 2,710$  m. Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 2,710$  m.

#### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 3890,0}{6,172^2} 10^{-2} = 2066,409 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 284,0}{2,710^2} 10^{-2} = 782,188 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{10,3^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 37391,2}{2,710^2} 10^{-2} + 80 \times 11,2 \times 10^2 \right) = 1806,261 \text{ kN}$$



**Zwichrzenie:**

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_{000} = 2710 \text{ mm}$ :

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 27}{1,000} \times \sqrt{215 / 305} = 790 < 2710 = l_1$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwichrzeniem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_o = 0,00 \text{ cm}$ . Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły  $a_s = 0,00 \text{ cm}$ . Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia:  $A_1 = 0,000$ ,  $A_2 = 3,400$ ,  $B = 4,100$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 3,400 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 782,188 + \sqrt{(0,000 \times 782,188)^2 + 4,100^2 \times 0,103^2 \times 782,188 \times 1806,261} = 503,521$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{105,334 / 503,521} = 0,526$$

**Nośność przekroju na zginanie:**

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,065 \times 324,2 \times 305 \times 10^{-3} = 105,334 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 0,526$  wynosi  $\varphi_L = 0,984$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{3,210}{1192,550} + \frac{87,568}{0,984 \times 105,334} = 0,848 < 1$$

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

Składnik poprawkowy:

$$M_{x \max} = 87,568 \text{ kNm} \quad \beta_x = 1,000$$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{Rc}} = 1,25 \times 0,792 \times 0,877^2 \frac{1,000 \times 87,568}{105,334} \times \frac{3,210}{1192,550} = 0,002$$

$$\Delta_x = 0,002 \quad M_{y \max} = 0 \quad \Delta_y = 0$$

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{3,210}{0,792 \times 1192,550} + \frac{1,000 \times 87,568}{0,984 \times 105,334} = 0,848 < 0,998 = 1 - 0,002$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{\varphi_L M_{Ry}} = \frac{3,210}{0,413 \times 1192,550} + \frac{1,000 \times 87,568}{0,984 \times 105,334} = 0,851 < 1,000 = 1 - 0,000$$

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

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 69,729 < 157,936 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 105,334 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{Rx,V}} = \frac{3,210}{1192,550} + \frac{87,568}{105,334} = 0,834 < 1$$

**Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:**

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $c = 0,0 \text{ mm}$ .

Naprężenia ściskające w środniku wynoszą  $\sigma_c = 215,126 \text{ MPa}$ . Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,25 - 0,5 \sigma_c / f_d = 1,25 - 0,5 \times 215,126 / 305 = 0,897$$

Nośność środnika na siłę skupioną:

$$P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 124,0 \times 6,2 \times 0,897 \times 305 \times 10^{-3} = 210,411 \text{ kN}$$

Warunek nośności środnika:

$$P = 69,729 < 210,411 = P_{R,w}$$

### Stan graniczny użytkowania:

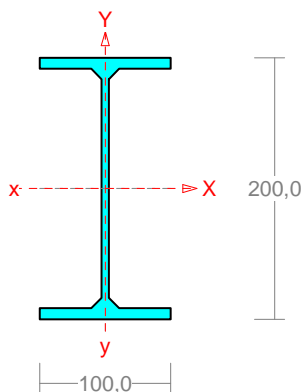
Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 2,6 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 150 = 2710 / 150 = 18,1 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 2,6 < 18,1 = a_{gr}$$

### Poz.2.3.1.2 Słup przedni IPE 200



Wymiary przekroju:

I 200 PE  $h=200,0$   $g=5,6$   $s=100,0$   $t=8,5$   $r=12,0$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=1940,0$   $J_{yg}=142,0$   $A=28,50$   $i_x=8,3$   $i_y=2,2$

$J_w=12988,1$   $J_t=6,3$   $i_s=8,5$ .

Materiał: **18G2,18G2A**. Wytrzymałość  **$f_d=305$  MPa** dla  **$g=8,5$** .

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 2.

### Siły przekrojowe:

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **ABC**

$$M_x = -20,676 \text{ kNm}, \quad V_y = -7,188 \text{ kN}, \quad N = -99,344 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 71,722 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -141,437 \text{ MPa}$ .

### Naprężenia:

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 71,722 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -141,437 \text{ MPa}$ .

Naprężenia:

$$\text{- normalne: } \sigma = -34,858 \quad \Delta\sigma = 106,580 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } A_v = 11,200 \text{ cm}^2 \quad \tau = 6,418 \text{ MPa} \quad \psi_{ov} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 34,858 / 1,000 + 106,580 = 141,437 < 305 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 6,418 / 1,000 = 6,418 < 176,900 = 0,58 \times 305 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{141,437^2 + 3 \times 0,000^2} = 141,437 < 305 \text{ MPa}$$

### Nośność elementów rozciąganych:

Siała osiowa:  $N = -100,218 \text{ kN}$ .

Pole powierzchni przekroju:  $A = 28,50 \text{ cm}^2$ .

Nośność przekroju na rozciąganie:  $N_{Rt} = A f_d = 28,50 \times 305 \times 10^{-1} = 869,250 \text{ kN}$ .

Warunek nośności (31):

$$N = 100,218 < 869,250 = N_{Rt}$$

### Długości wyboczeniowe pręta:

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

$$\chi_1 = 0,300 \quad \chi_2 = 0,500 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,638 \quad \text{dla } l_0 = 3,736$$

$$l_w = 0,638 \times 3,736 = 2,384 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 3,736$$

$$l_w = 1,000 \times 3,736 = 3,736 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 3,736 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 3,736 \text{ m}$ .

### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1940,0}{2,384^2} 10^{-2} = 6908,762 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 142,0}{3,736^2} 10^{-2} = 205,839 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_{\omega}}{l_{\omega}^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{8,5^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 12988,1}{3,736^2} 10^{-2} + 80 \times 6,3 \times 10^2 \right) = 943,059 \text{ kN}$$

### Nośność przekroju na ściskanie:

$x_a = 3,736$ ;  $x_b = 0,000$ :

$$N_{RC} = A f_d = 28,5 \times 305 \times 10^{-1} = 869,250 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wybożeniowych:

$$\text{- dla } N_x \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_x} = 1,15 \times \sqrt{869,250 / 6908,762} = 0,410 \quad \Rightarrow \text{Tab.11 a} \Rightarrow \varphi = 0,986$$

$$\text{- dla } N_y \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_y} = 1,15 \times \sqrt{869,250 / 205,839} = 2,373 \quad \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,171$$

$$\text{- dla } N_z \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_z} = 1,15 \times \sqrt{869,250 / 943,059} = 1,104 \quad \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,505$$

Przyjęto:  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,171$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{100,218}{0,171 \times 869,250} = 0,674 < 1$$

### Zwichrzenie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_{\omega\omega} = 3736 \text{ mm}$ :

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 22}{1,000} \times \sqrt{215 / 305} = 658 < 3736 = l_1$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwichrzeniem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_o = 0,00 \text{ cm}$ . Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły  $a_s = 0,00 \text{ cm}$ . Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia:  $A_1 = 3,325$ ,  $A_2 = 0,000$ ,  $B = 2,875$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 3,325 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 205,839 + \sqrt{(0,000 \times 205,839)^2 + 2,875^2 \times 0,085^2 \times 205,839 \times 943,059} = 108,265$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{63,208 / 108,265} = 0,879$$

### Nośność przekroju na zginanie:

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,068 \times 194,0 \times 305 \times 10^{-3} = 63,208 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 0,879$  wynosi  $\varphi_L = 0,845$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{RC}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{99,344}{869,250} + \frac{20,676}{0,845 \times 63,208} = 0,501 < 1$$

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

Składnik poprawkowy:

$$M_{x \max} = -20,676 \text{ kNm} \quad \beta_x = 0,400$$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{RC}} = 1,25 \times 0,986 \times 0,410^2 \frac{0,400 \times 20,676}{63,208} \times \frac{100,218}{869,250} = 0,003$$

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

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\phi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\phi_x M_{Rx}} = \frac{100,218}{0,986 \times 869,250} + \frac{0,400 \times 20,676}{0,845 \times 63,208} = 0,272 < 0,997 = 1 - 0,003$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\phi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{\phi_y M_{Ry}} = \frac{100,218}{0,171 \times 869,250} + \frac{0,400 \times 20,676}{0,845 \times 63,208} = 0,829 < 1,000 = 1 - 0,000$$

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

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 7,188 < 118,877 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 63,208 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{Rx,V}} = \frac{99,344}{869,250} + \frac{20,676}{63,208} = 0,441 < 1$$

**Stan graniczny użytkowania:**

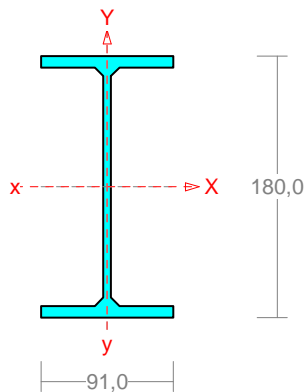
Ugięcia względem osi Y wynoszą:

$$a_{\max} = 1,9 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 350 = 3736 / 350 = 10,7 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,9 < 10,7 = a_{gr}$$

#### Poz.2.3.1.3 Słup tylny IPE 180



Wymiary przekroju:

I 180 PE  $h=180,0$   $g=5,3$   $s=91,0$   $t=8,0$   $r=9,0$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=1320,0$   $J_{yg}=101,0$   $A=23,90$   $i_x=7,4$   $i_y=2,1$

$J_w=7431,2$   $J_t=4,8$   $i_s=7,7$ .

Materiał: **18G2,18G2A**. Wytrzymałość  **$f_d=305$  MPa**  
dla  **$g=8,0$** .

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

**Siły przekrojowe:**

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **ABC**

$$M_x = 20,799 \text{ kNm}, \quad V_y = 12,584 \text{ kN}, \quad N = -40,637 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 124,806 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -158,812 \text{ MPa}$ .

**Naprężenia:**

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 124,806 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -158,812 \text{ MPa}$ .

Naprężenia:

$$\text{- normalne: } \sigma = -17,003 \quad \Delta\sigma = 141,809 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

$$\text{- ścinanie wzdłuż osi Y: } A_v = 9,540 \text{ cm}^2 \quad \tau = 13,191 \text{ MPa} \quad \psi_{ov} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 17,003 / 1,000 + 141,809 = 158,812 < 305 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ey} = \tau / \psi_{ov} = 13,191 / 1,000 = 13,191 < 176,900 = 0,58 \times 305 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_e^2} = \sqrt{158,812^2 + 3 \times 0,000^2} = 158,812 < 305 \text{ MPa}$$

**Długości wyboczeniowe pręta:**

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

$$\chi_1 = 0,300 \quad \chi_2 = 0,300 \quad \text{węzły przesuwne} \Rightarrow \mu = 1,209 \quad \text{dla } l_0 = 2,670$$

$$l_w = 1,209 \times 2,670 = 3,228 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 2,670$$

$$l_w = 1,000 \times 2,670 = 2,670 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 2,670 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 2,670 \text{ m}$ .

**Siły krytyczne:**

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1320,0}{3,228^2} 10^{-2} = 2563,022 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 101,0}{2,670^2} 10^{-2} = 286,650 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{7,7^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 7431,2}{2,670^2} 10^{-2} + 80 \times 4,8 \times 10^2 \right) = 994,075 \text{ kN}$$

**Nośność przekroju na ściskanie:**

$$N_{RC} = A f_d = 23,9 \times 305 \times 10^{-1} = 728,950 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

$$\text{- dla } N_x \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_x} = 1,15 \times \sqrt{728,950 / 2563,022} = 0,616 \Rightarrow \text{Tab.11 a} \Rightarrow \varphi = 0,935$$

$$\text{- dla } N_y \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_y} = 1,15 \times \sqrt{728,950 / 286,650} = 1,842 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,271$$

$$\text{- dla } N_z \quad \bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{N_{RC} / N_z} = 1,15 \times \sqrt{728,950 / 994,075} = 0,985 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,570$$

Przyjęto:  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,271$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{41,141}{0,271 \times 728,950} = 0,208 < 1$$

**Zwichrzenie:**

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_{\omega\omega} = 2670 \text{ mm}$ :

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 20}{1,000} \times \sqrt{215 / 305} = 602 < 2670 = l_1$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwichrzeniem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_o = 0,00 \text{ cm}$ . Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły  $a_s = 0,00 \text{ cm}$ . Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia:  $A_1 = 1,471$ ,  $A_2 = 0,000$ ,  $B = 1,272$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 1,471 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 286,650 + \sqrt{(0,000 \times 286,650)^2 + 1,272^2 \times 0,077^2 \times 286,650 \times 994,075} = 52,362$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{47,718 / 52,362} = 1,098$$

### Nośność przekroju na zginanie:

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,067 \times 146,7 \times 305 \times 10^{-3} = 47,718 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwężenia dla  $\bar{\lambda}_L = 1,098$  wynosi  $\varphi_L = 0,683$

Warunek nośności (54):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{40,637}{728,950} + \frac{20,799}{0,683 \times 47,718} = 0,694 < 1$$

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

Składnik poprawkowy:

$$M_{x \max} = 20,799 \text{ kNm} \quad \beta_x = 0,904$$

$$\Delta_x = 1,25 \varphi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x \max}}{M_{Rx}} \frac{N}{N_{Rc}} = 1,25 \times 0,935 \times 0,616^2 \frac{0,904 \times 20,799}{47,718} \times \frac{41,141}{728,950} = 0,010$$

$$\Delta_x = 0,010 \quad M_{y \max} = 0 \quad \Delta_y = 0$$

Warunki nośności (58):

- dla wyboczenia względem osi X:

$$\frac{N}{\varphi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{41,141}{0,935 \times 728,950} + \frac{0,904 \times 20,799}{0,683 \times 47,718} = 0,637 < 0,990 = 1 - 0,010$$

- dla wyboczenia względem osi Y:

$$\frac{N}{\varphi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{\varphi_L M_{Ly}} = \frac{41,141}{0,271 \times 728,950} + \frac{0,904 \times 20,799}{0,683 \times 47,718} = 0,785 < 1,000 = 1 - 0,000$$

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

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 12,584 < 101,258 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 47,718 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x}{M_{Rx,V}} = \frac{40,637}{728,950} + \frac{20,799}{47,718} = 0,492 < 1$$

### Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y wynoszą:

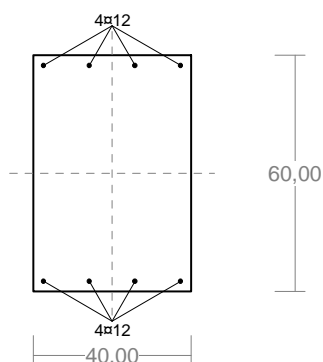
$$a_{\max} = 2,5 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 350 = 2670 / 350 = 7,6 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 2,5 < 7,6 = a_{gr}$$

### Poz.2.3.2 Trzpień żelbetowy wg PN-B-03264:2002

#### Cechy przekroju:



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=60,0, \quad b=40,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

**BETON: B20**

$$f_{ck} = 16,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 16,0 / 1,50 = 10,7 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c = 2400 \text{ cm}^2, \quad J_{cx} = 720000 \text{ cm}^4, \quad J_{cy} = 320000 \text{ cm}^4$$

**STAL: A-III (34GS)**

$$f_{yk} = 410 \text{ MPa}, \quad \gamma_s = 1,15, \quad f_{yd} = 350 \text{ MPa}$$

$$\xi_{lim} = 0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 350 / 200000) = 0,67,$$

Zbrojenie główne:

$$A_{s1} + A_{s2} = 9,05 \text{ cm}^2, \quad \rho = 100 (A_{s1} + A_{s2}) / A_c = 100 \times 9,05 / 2400 = 0,38 \%,$$

$$J_{sx} = 6793 \text{ cm}^4, \quad J_{sy} = 1522 \text{ cm}^4,$$

### Siły przekrojowe:

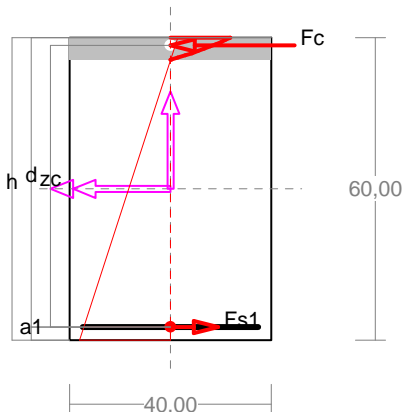
Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **ABC**

Momenty zginające:  $M_x = -24,630 \text{ kNm}$ ,  $M_y = 0,000 \text{ kNm}$ ,

Siły poprzeczne:  $V_y = 12,709 \text{ kN}$ ,  $V_x = 0,000 \text{ kN}$ ,

Siła osiowa:  $N = -47,050 \text{ kN} = N_{sd}$ .

### Zbrojenie wymagane:



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{sd} = -47,050 \text{ kN},$$

$$M_{sd} = \sqrt{(M_{sdx})^2 + (M_{sdy})^2} = \sqrt{(-25,100^2 + 0,000^2)} = 25,100 \text{ kNm}$$

$f_{cd} = 10,7 \text{ MPa}$ ,  $f_{yd} = 350 \text{ MPa}$  ( $f_{td} = 435 \text{ MPa}$  - uwzgl. wzmocnienia),

Zbrojenie rozciągane ( $\epsilon_{s1} = 10,00 \text{ ‰}$ ):

$$A_{s1} = 0,55 \text{ cm}^2 < \min A_{s1} = 3,44 \text{ cm}^2, \text{ przyjęto}$$

$$A_{s1} = 3,44 \text{ cm}^2 \Rightarrow (4 \times 12 = 4,52 \text{ cm}^2),$$

Dodatkowe zbrojenie ściskane (\* $A_{s2} = 0$  nie jest obliczeniowo wymagane.\*|\* ( $\epsilon_c = -0,83 \text{ ‰}$ ),

$$A_{s2} = 0,00 \text{ cm}^2 \Rightarrow (0 \times 12 = 0,00 \text{ cm}^2) *$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 0,55 \text{ cm}^2, \rho = 100 \times A_s / A_c =$$

$$100 \times 0,55 / 2400 = 0,02 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h = 60,0, d = 57,4, x = 4,4 (\xi = 0,077),$$

$$a_1 = 2,6, a_c = 1,5, z_c = 55,9, A_{cc} = 177 \text{ cm}^2,$$

$$\epsilon_c = -0,83 \text{ ‰}, \epsilon_{s1} = 10,00 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -68,006, F_{s1} = 20,955,$$

$$M_c = 19,359, M_{s1} = 5,742,$$

Warunki równowagi wewnętrznej:

$$F_c + F_{s1} = -68,006 + (20,955) = -47,050 \text{ kN} (N_{sd} = -47,050 \text{ kN})$$

$$M_c + M_{s1} = 19,359 + (5,742) = 25,100 \text{ kNm} (M_{sd} = 25,100 \text{ kNm})$$

Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu:

podatności węzłów ustalone według załącznika C normy, współczynnik  $\beta$  obliczono jak dla pręta dwustronnie zamocowanego w układzie przesuwym

$$\text{ze wzoru (C.1)} \quad l_o = \beta l_{col}, \quad l_{col} = 0,900 \text{ m},$$

$$\text{podatności węzłów: } \kappa_a = 0,996 \Rightarrow k_A = (1/\kappa_a - 1) = 0,004, \hat{e}_b = 0,000 \Rightarrow k_B = (1/\kappa_b - 1) = \infty,$$

$$\beta = 1 + 1/(5k_A + 1) + 1/(5k_B + 1) + 0,2/(k_A + k_B) = 1 + 1/(5 \times 0,004 + 1) + 1/(5 \times \infty + 1) + 0,2/(0,004 + \infty) = 1,979 \Rightarrow l_o = 1,979 \times 0,900 = 1,781 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

podatności węzłów ustalone według załącznika C normy, współczynnik  $\beta$  obliczono jak dla pręta swobodnego:

$$\text{ze wzoru (C.1)} \quad l_o = \beta l_{col}, \quad l_{col} = 0,900 \text{ m},$$

$$\text{podatności węzłów: } \kappa_a = 1,000 \Rightarrow k_A = (1/\kappa_a - 1) = 0,000, \hat{e}_b = 1,000 \Rightarrow k_B = (1/\kappa_b - 1) = 0,000,$$

$$\beta = 1,000 \Rightarrow l_o = 1,000 \times 0,900 = 0,900 \text{ m}$$

Uwzględnienie wpływu smukłości pręta:

- w płaszczyźnie ustroju:

mimośród niezamierzony: ( $l_{col} = 0,900 \text{ m}$ ,  $h = 0,600 \text{ m}$ ,  $n = 1$ )

$$e_a = \max \left\langle \frac{l_{col}}{600} \left( 1 + \frac{1}{n} \right), \frac{h}{30} \right\rangle = \max \langle 0,003, 0,020, 0,010 \rangle = 0,020 \text{ m}, \text{ przyjęto: } e_a = 0,010 \text{ m},$$

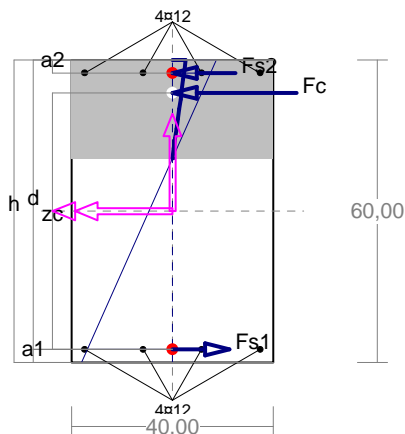
uwzględnienie wpływu smukłości nie jest wymagane,

## - w płaszczyźnie prostopadłej do ustroju:

uwzględnienie wpływu smukłości zaniechano

### Nośność przekroju prostopadłego:

zadanie rama, pręt nr 5, przekrój:  $x_a=0,90$  m,  $x_b=0,00$  m



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Sd} = -47,050 \text{ kN},$$

$$M_{Sd} = \sqrt{(M_{Sdx})^2 + (M_{Sdy})^2} = \sqrt{(-25,100^2 + 0,000^2)} = 25,100 \text{ kNm}$$

$$f_{cd} = 10,7 \text{ MPa}, \quad f_{yd} = 350 \text{ MPa} \quad (f_{td} = 435 \text{ MPa} - \text{uwzgl. wzmocnienia}),$$

$$\text{Zbrojenie rozciągane: } A_{s1} = 4,52 \text{ cm}^2,$$

$$\text{Zbrojenie ściskane: } A_{s2} = 4,52 \text{ cm}^2,$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 9,05 \text{ cm}^2, \quad \rho = 100 \times A_s / A_c = 100 \times 9,05 / 2400 = 0,38 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h = 60,0, \quad d = 57,4, \quad x = 19,5 \quad (\xi = 0,340),$$

$$a_1 = 2,6, \quad a_2 = 2,6, \quad a_c = 6,5, \quad z_c = 50,9, \quad A_{cc} = 780 \text{ cm}^2,$$

$$\epsilon_c = -0,15 \text{ ‰}, \quad \epsilon_{s2} = -0,13 \text{ ‰}, \quad \epsilon_{s1} = 0,30 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -61,857, \quad F_{s1} = 26,730, \quad F_{s2} = -11,923,$$

$$M_c = 14,509, \quad M_{s1} = 7,324, \quad M_{s2} = 3,267,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

$$M_{Rd} = 180,694 \text{ kNm} > M_{Sd} = M_c + M_{s1} + M_{s2} = 14,509 + (7,324) + (3,267) = 25,100 \text{ kNm}$$

### Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy  $\phi = 6$  mm ze stali A-0,  $f_{ywd} = 190$  MPa.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \times \sqrt{16} / 410 = 0,00078$$

Rozstaw strzemion:

#### Strefa nr 1

Początek i koniec strefy:  $x_a = 0,0$   $x_b = 90,0$  cm

Maksymalny rozstaw strzemion:

$$s_{max} = 0,75 d = 0,75 \times 574 = 431 \quad s_{max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto  $s_{max} = 400$  mm.

Ze względu na pręty ściskane  $s_{max} = 15 \phi = 15 \times 12,0 = 180,0$  mm.

Przyjęto strzemiona 4-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **18,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,13 / (18,0 \times 40,0 \times 1,000) = 0,00157$$

$$\rho_w = 0,00157 > 0,00078 = \rho_{w,min}$$

### Ścinanie

Przyjęto podparcie i obciążenie bezpośrednie.

#### Odcinek nr 1

Początek i koniec odcinka:  $x_a = 0,0$   $x_b = 90,0$  cm

Siły przekrojowe:  $N_{Sd} = -41,348$ ;

$$V_{Sd,max} = 12,709 \text{ kN}$$

Siła poprzeczna w odległości  $d$  od podpory wynosi:

$$V_{Sd} = 12,709 \text{ kN}$$

Rodzaj odcinka:

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b_w d} = \frac{4,52}{40,0 \times 57,4} = 0,00197; \quad \rho_L \leq 0,01$$



Przyjęto  $\rho_L = 0,00197$ .

$$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_c = 41,348 / 2400,00 \times 10 = 0,172 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd}$$

Przyjęto  $\sigma_{cp} = 0,172 \text{ MPa}$ .

$$V_{Rd1} = [0,35 k f_{ctd} (1,2 + 40 \rho_L) + 0,15 \sigma_{cp}] b_w d = \\ = [0,35 \times 1,03 \times 0,90 \times (1,2 + 40 \times 0,00197) + 0,15 \times 0,172] \times 40,0 \times 57,4 \times 10^{-1} = 101,197 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 12,709 < 101,197 = V_{Rd1}$$

Nośność odcinka I-go rodzaju:

$$V_{Sd} = \mathbf{12,709} < \mathbf{101,197} = V_{Rd1}$$

$$v = 0,6 (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \times (1 - 16 / 250) = 0,562$$

$$V_{Rd2} = 0,5 v f_{cd} b_w z = 0,5 \times 0,562 \times 10,7 \times 40,0 \times 48,8 \times 10^{-1} = 586,351 \text{ kN}$$

$$\alpha_c = 1 + \sigma_{cp} / f_{cd} = 1 + 0,172 / 10,7 = 1,016$$

$$V_{Rd2,red} = \alpha_c V_{Rd2} = 1,016 \times 586,351 = 595,792 \text{ kN}$$

Przyjęto  $V_{Rd2,red} = 586,351 \text{ kN}$

$$V_{Sd} = \mathbf{12,709} < \mathbf{586,351} = V_{Rd2,red}$$

### Nośność zbrojenia podłużnego

Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla  $x = 0,591 \text{ m}$ :

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Sd}| (\cot \theta - V_{Rd32} / V_{Rd3} \cot \alpha) = 0,5 \times 12,709 \times (1,000) = 6,355 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 20,444 + 6,355 = 26,799 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 26,730 \text{ kN}$$

Przyjęto  $F_{td} = 26,730 \text{ kN}$

$$F_{td} = \mathbf{26,730} < \mathbf{158,336} = 4,52 \times 350 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

### Zarysowanie

Położenie przekroju:

$$x = 0,591 \text{ m}$$

Siły przekrojowe:

$$M_{Sd} = 14,071 \text{ kNm}$$

$$N_{Sd} = -31,970 \text{ kN} \quad e = 45,0 \text{ cm}$$

$$V_{Sd} = 8,653 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 40,0 \text{ cm}$$

$$d = h - a_1 = 60,0 - 2,6 = 57,4 \text{ cm}$$

$$A_c = 2400 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 24000 \text{ cm}^3$$

### Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi, wynosi:

$$A_s = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_{s,lim} = \\ = 0,4 \times 1,0 \times 1,9 \times 927 / 280 = 2,52 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = \mathbf{4,52} > \mathbf{2,52} = A_s$$

### Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,9 \times 24000 \times 10^{-3} = 45,600 \text{ kNm}$$

$$N_{cr} = \frac{f_{ctm}}{e / W_c - 1 / A_c} = \frac{1,9}{45,0 / 24000,00 - 1 / 2400,00} \times 10^{-1} = -130,237 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = 31,970 < 130,237 = N_{cr}$$

### Przekrój niezarysowany.

#### Szerokość rozwarcia rysy ukośnej:

Rysy ukośne nie występują.

## Ugięcia

Ugięcia wyznaczono dla charakterystycznych obciążeń długotrwałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy  $\phi(t, t_0) = 2,00$ .

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(t, t_0)} = \frac{29000}{1 + 2,00} = 9667 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,9 \times 24000 \times 10^{-3} = 45,600 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający  $M_{Sd} = 16,748 \text{ kN}$  nie powoduje zarysowania przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu  $M_{Sd} = 16,748 \text{ kNm}$ .

Wielkości geometryczne przekroju:  $x_I = 30,0 \text{ cm}$   $I_I = 860539 \text{ cm}^4$

$$B = E_{c,eff} I_I = 9667 \times 860539 \times 10^{-5} = 83185 \text{ kNm}^2$$

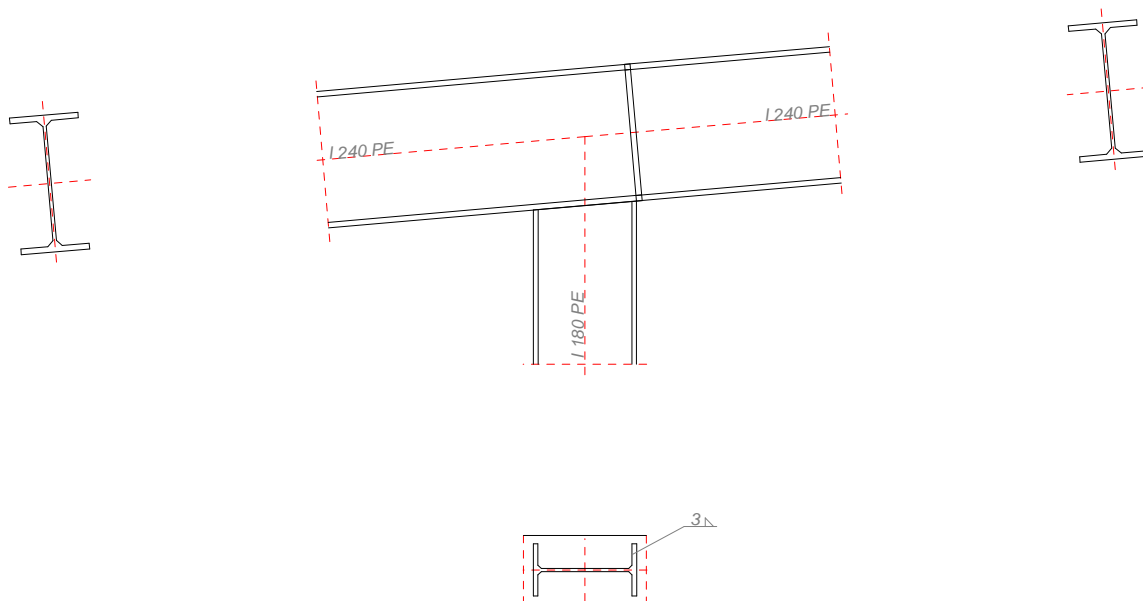
Ugięcie w punkcie o współrzędnej  $x = 0,000 \text{ cm}$ , wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ( $1/\rho$ ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty,d} = 0,1 \text{ mm}$$

$$a = 0,1 < 4,5 = a_{lim}$$

### Poz.2.3.3 Połączenia wg PN-90/B-03200

#### Poz.2.3.3.1 Połączenie słupa IPE 180 z ryglem IPE 240



Siły przekrojowe w odległości  $l_0 = 120 \text{ mm}$  od węzła:

$$M = -19,211 \text{ kNm}, \quad V = -9,108 \text{ kN}, \quad N = -41,773 \text{ kN}.$$

#### Nośność spoin:

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

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 19,08 \text{ cm}^2, \quad A_v = 9,18 \text{ cm}^2, \quad I_x = 930,0 \text{ cm}^4, \quad I_y = 76,8 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{\parallel} = V / A_v = (9,108 / 9,18) \times 10 = 9,923 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{19,211 \times 9,3 \times 10^3}{930,0} + \frac{41,773 \times 10}{19,08} = -214,708 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = -214,708 / \sqrt{2} = -151,821 \text{ MPa}$$

Dla  $R_e = 355 \text{ MPa}$ , współczynnik  $\chi$  wynosi 0,85.

### Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych  $\tau_{\parallel} = 0,000 \text{ MPa}$ .

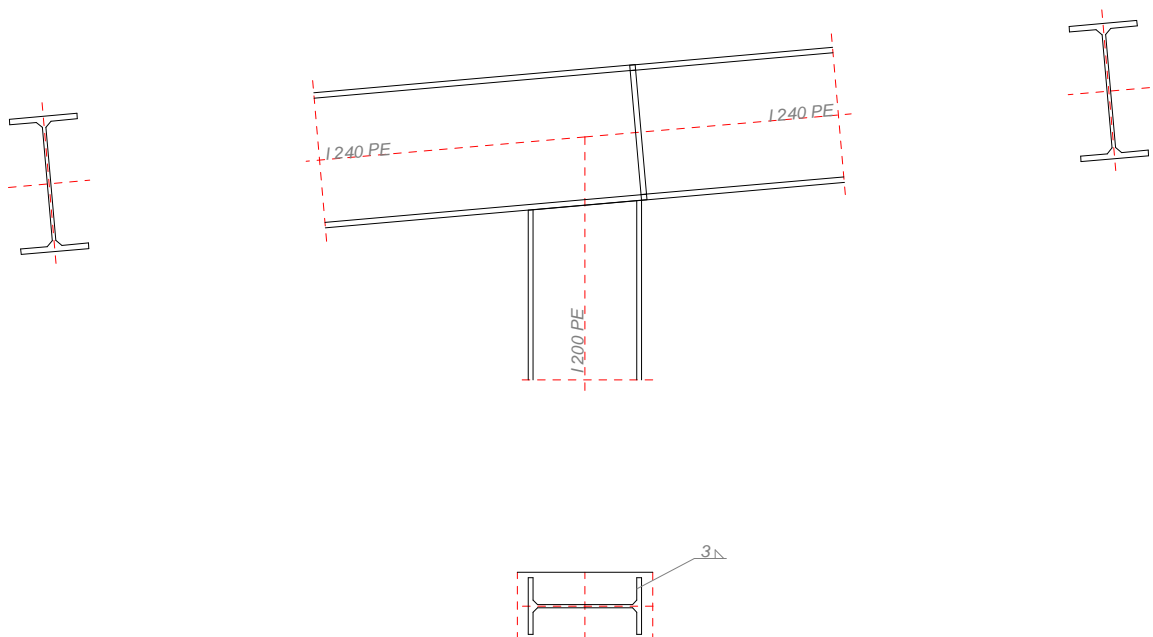
$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,85 \times \sqrt{151,821^2 + 3 \times (0,000^2 + 151,821^2)} = 258,096 < 305 = f_d$$

### Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{19,211 \times 9,3 \times 10^3}{930,0} + \frac{41,773 \times 10}{19,08} = -214,708 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 151,821 < 305 = f_d$$

### Poz.2.3.3.2 Połączenie słupa IPE 200 z ryglem IPE 240



Siły przekrojowe w odległości  $l_0 = 120 \text{ mm}$  od węzła:

$$\mathbf{M} = 20,005 \text{ kNm}, \quad \mathbf{V} = 16,365 \text{ kN}, \quad \mathbf{N} = -98,070 \text{ kN}.$$

### Nośność spoin:

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

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 20,81 \text{ cm}^2, \quad A_v = 10,08 \text{ cm}^2, \quad I_x = 1246,0 \text{ cm}^4, \quad I_y = 101,5 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{\parallel} = V / A_v = (16,365 / 10,08) \times 10 = 16,231 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{20,005 \times 10,3 \times 10^3}{1246,0} + \frac{98,070 \times 10}{20,81} = -213,102 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = -213,102 / \sqrt{2} = -150,686 \text{ MPa}$$

Dla  $R_e = 355 \text{ MPa}$ , współczynnik  $\chi$  wynosi 0,85.

### Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych  $\tau_{\parallel} = 0,000 \text{ MPa}$ .

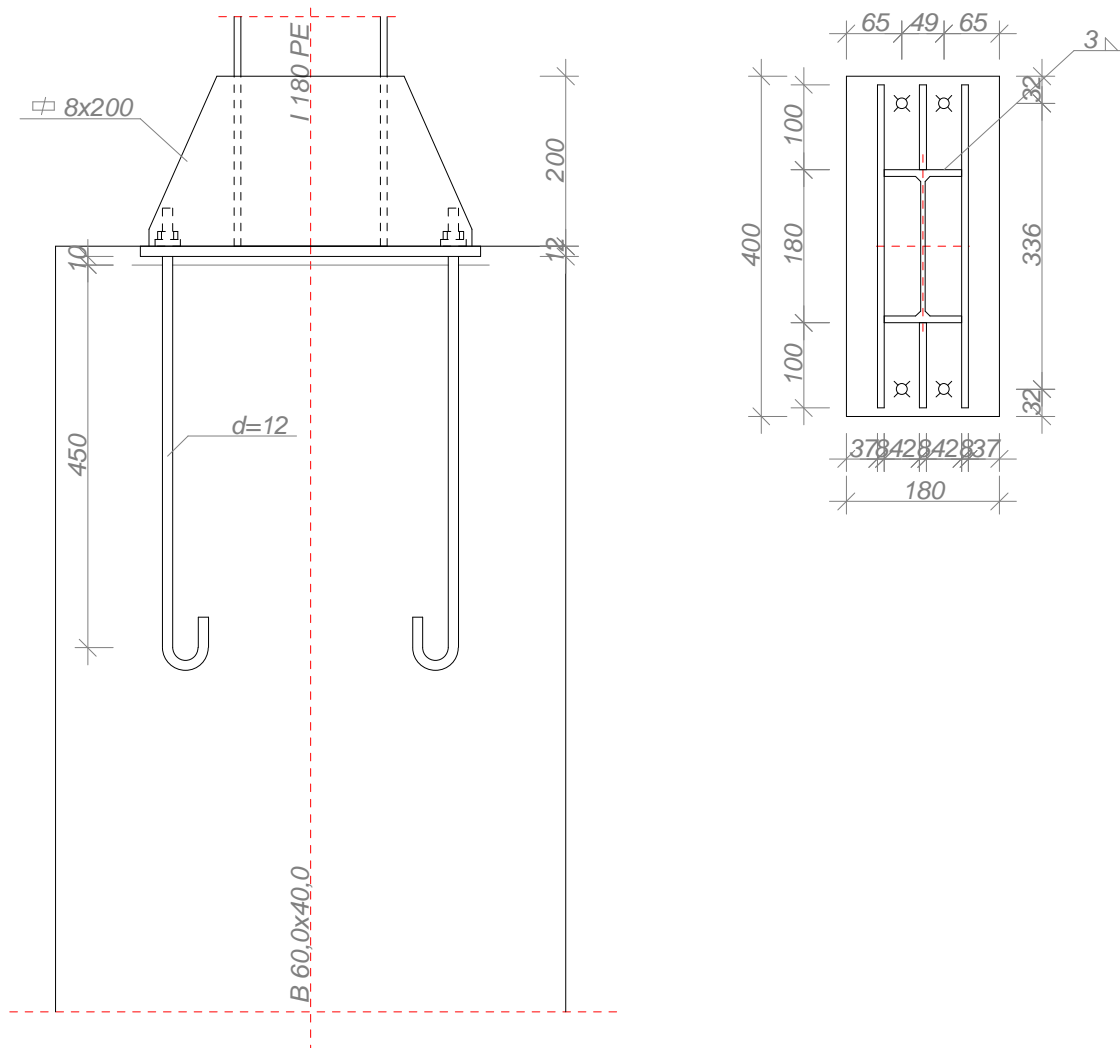
$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,85 \times \sqrt{150,686^2 + 3 \times (0,000^2 + 150,686^2)} = \mathbf{256,166} < \mathbf{305} = f_d$$

**Największe naprężenia prostopadłe:**

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{N}{A} = \frac{20,005 \times 10,3 \times 10^3}{1246,0} + \frac{98,070 \times 10}{20,81} = -213,102 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = \mathbf{150,686} < \mathbf{305} = f_d$$

#### Poz.2.3.3.3 Połączenie słupa IPE 180 ze stopą



Przyjęto zakotwienie słupa na śruby fajkowe **d=12** ze stali St3S w fundamencie wykonanym z betonu klasy **B20**. Moment dokręcenia śrub  $M_s = 0,05 \text{ kNm}$ .

Dodatkowy moment uwzględniający wyboczenie słupa:

$$\Delta M = N (1 / \varphi - 1) W / A = [41,348 \times (1 / 0,935 - 1) 146,67 / 23,90] \times 10^{-2} = 0,176 \text{ kNm}.$$

Siły przekrojowe sprowadzone do środka blachy podstawy:

$$\mathbf{M = 13,368 \text{ kNm}, \quad N = -41,348 \text{ kN}, \quad V = 12,709 \text{ kN}, \quad e = 323 \text{ mm}}$$

**Nośność śrub kotwiących:**

$$\begin{aligned} S_{Rt} &= \min\{0,65 R_m A_s; 0,85 R_e A_s\} = \\ &= \min\{0,65 \times 375 \times 84,3 \times 10^{-3}; 0,85 \times 235 \times 84,3 \times 10^{-3}\} = \\ &= \min\{20,5; 16,8\} = \mathbf{16,839 \text{ kN}}. \end{aligned}$$

Sprawdzenie zakotwienia śrub przy założeniu,  $S_{Ra} \geq S_{Rt}$ .

$$S_{Ra} = \pi d l_a f_{bd} = \pi \times 12 \times 450 \times (0,24 \times \sqrt{16,0}) \times 10^{-3} = \\ = 16,965 > 16,839 = S_{Rt}$$

### Nośność połączenia:

$$f_b = 0,8 f_{cd} = 0,8 \times 8,9 = 7,120 \text{ MPa}$$

Przy ściskaniu osiowym pole docisku wynosi:

$$c = 0,58 t \sqrt{f_d / f_b} = 0,58 \times 12 \times \sqrt{305 / 7,120} = 46 \text{ mm}$$

$$A_c = A_{be} = 720,00 \text{ cm}^2$$

$$N_c = 41,348 < 512,640 = 720,00 \times 7,120 \times 10^{-1} = A_c f_b = N_{Rc}$$

Do sprawdzenia nośności połączenia podstawy z fundamentem przyjęto model plastyczny.

Sprawdzenie wielkości mimośrodów:

$$N_c = 41,348 < 256,320 = 0,5 \times 512,640 = 0,5 N_{Rc}$$

Nośność śrub i strefy docisku dla przypadku dużego mimośrodu:

$$F_{Rc} = A_x f_b = 331,20 \times 7,120 \times 10^{-1} = 235,814 \text{ kN}$$

$$F_{Rt} = n S_{Rt} = 2 \times 16,839 = 33,678 \text{ kN}$$

Nośność ze względu na docisk:

$$M = 13,368 < 58,138 = 276 \times 235,814 \times 10^{-3} - 168 \times 41,348 \times 10^{-3} = z F_{Rc} - z_t N_c = M_{Rj,N}$$

Nośność ze względu na wyrywanie:

$$M = 13,368 < 13,761 = 276 \times 33,678 \times 10^{-3} + 108 \times 41,348 \times 10^{-3} = z F_{Rt} + z_c N_c = M_{Rj,N}$$

### Nośność na siłę poprzeczną:

Siła poprzeczna działająca na podstawę słupa  $V = 12,709 \text{ kN}$ , musi być przeniesiona przez tarcie lub śruby kotwiące.

- tarcie pomiędzy fundamentem i blachą podstawy:

$$V = 12,709 > 12,404 = 0,3 \times 41,348 = 0,3 N_c = V_{Rj}$$

- ścinanie i docisk śrub kotwiących:

$$V = 12,709 < 56,902 = 4 \times (0,45 \times 375 \times 84,3) \times 10^{-3} = n (0,45 R_m A_v) = n S_{Rv}$$

$$V = 12,709 < 35,885 = 7 \times 4 \times 12^2 \times 8,9 \times 10^{-3} = 7 n d^2 f_{cd} = V_{Rj}$$

### Blacha podstawy:

Przyjęto blachę podstawy o wymiarach  $400 \times 180 \text{ mm}$  ze stali 18G2,18G2A.

Grubość blachy dla  $\Omega = 4 \pi$ :

$$t_d = 2,2 \sqrt{\frac{S}{\Omega f_d}} = 2,2 \times \sqrt{\frac{16,839 \times 10^3}{12,57 \times 305}} = 5 < 12 = t$$

### Nośność przekroju blach trapezowych i blachy podstawy:

Charakterystyka przekroju:

$$y = 69 \text{ mm}, \quad J_x = 2518,2 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 176,4 \text{ cm}^3, \quad A_v = 32,0 \text{ cm}^2$$

Siły działające na przekrój:

$$M_1 = \sigma_d b c^2 / 2 = (7,120 \times 198 \times 110^2 / 2) \times 10^{-6} = 8,538 \text{ kNm},$$

$$M_2 = nZ (c - e_s) = 33,678 \times (110 - 32) \times 10^{-3} = 2,627 \text{ kNm}.$$

$$V_1 = \sigma_d b c = 7,120 \times 198 \times 110 \times 10^{-3} = 155,240 \text{ kN},$$

$$V_2 = nZ = 33,678 \text{ kN}.$$

Naprężenia:

$$\sigma_M = M / W = (8,538 / 176,4) \times 10^3 = 48,389 \text{ MPa},$$

$$\tau = V / A_v = (155,240 / 32,0) \times 10 = 48,513 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_M^2 + 3 \tau^2} = \sqrt{48,389^2 + 3 \times 49^2} = 96,964 < 305 = f_d$$

### Nośność spoin poziomych:

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

Siła przenoszona przez spoiny wynosi  $F = N = 41,348 \text{ kN}$ .

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 51,78 \text{ cm}^2, \quad A_v = 46,80 \text{ cm}^2, \quad I_x = 8064,6 \text{ cm}^4, \quad I_y = 963,7 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{\parallel} = V / A_v = (12,709 / 46,80) \times 10 = 2,716 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{F}{A} = \frac{13,368 \times 9,0 \times 10^3}{8064,6} + \frac{41,348 \times 10}{51,78} = 22,904 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 22,904 / \sqrt{2} = 16,196 \text{ MPa}$$

Napężenia pochodzące od siły rozwarstwiającej między blachami pionowymi i blachą podstawy:  
- dla naprężeń docisku

$$\tau_{\parallel} = Q S / b_s J = \frac{155,240 \times 136,7 \times 10}{1,8 \times 2518} = 46,815 \text{ MPa}$$

- dla sił w kotwach

$$\tau_{\parallel} = Q S / b_s J = \frac{33,678 \times 136,7 \times 10}{1,8 \times 2518} = 10,156 \text{ MPa}$$

Dla  $R_e = 355 \text{ MPa}$ , współczynnik  $\chi$  wynosi 0,85.

#### **Napężenia zredukowane:**

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych  $\tau_{\parallel} = 49,531 \text{ MPa}$ .

$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,85 \times \sqrt{16,196^2 + 3 \times (49,531^2 + 16,196^2)} = \mathbf{77,946} < \mathbf{305} = f_d$$

#### **Największe napężenia prostopadłe:**

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{F}{A} = \frac{13,368 \times 19,0 \times 10^3}{8064,6} + \frac{41,348 \times 10}{51,78} = 39,481 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = \mathbf{27,917} < \mathbf{305} = f_d$$

#### **Nośność spoin pionowych:**

Przyjęto 8 spoiny o grubości  $a = 3 \text{ mm}$  i długości 200 mm.

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 48,00 \text{ cm}^2,$$

$$I_o = I_x + I_y = 3719,4 + 1600,0 = 5319,4 \text{ cm}^4.$$

Napężenia w spoinach:

$$\tau_F = F / A = (41,348 / 48,00) \times 10 = 8,614 \text{ MPa},$$

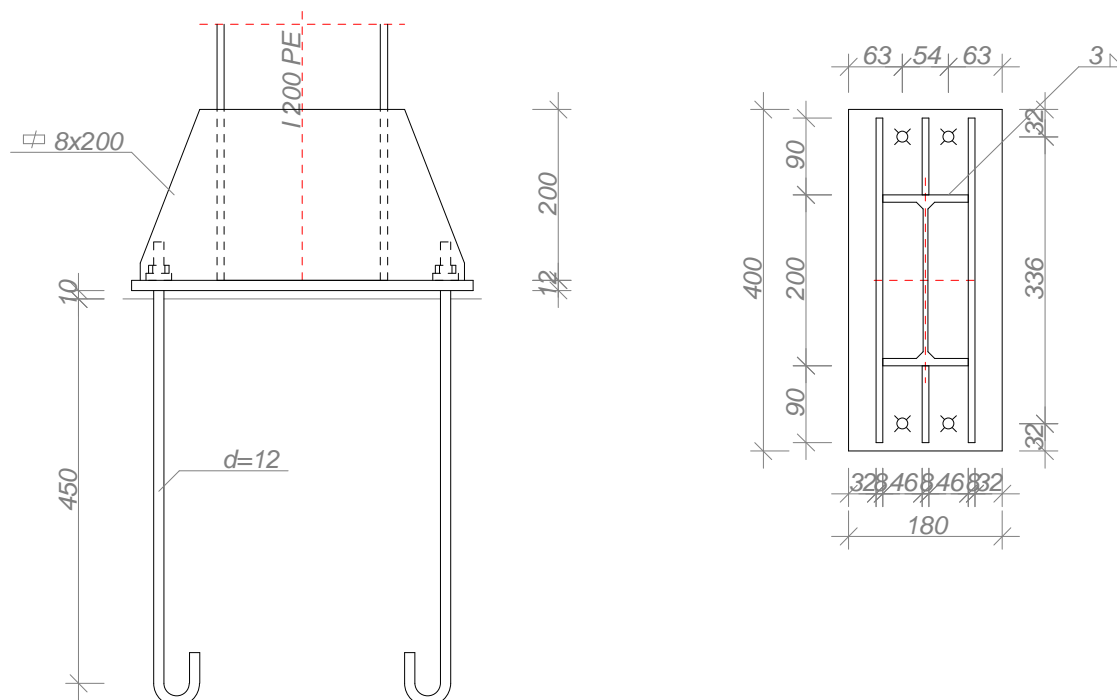
$$\tau_M = M_o r / I_o = (13,368 \times 13,5 / 5319,4) \times 10^3 = 33,811 \text{ MPa},$$

Dla  $R_e = 355 \text{ MPa}$ , współczynniki  $\alpha$  wynoszą  $\alpha_{\perp} = 0,8$ ,  $\alpha_{\parallel} = 0,7$ .

Nośność spoin:

$$\begin{aligned} \tau_F &= \mathbf{8,614} < \mathbf{213,500} = 0,7 \times 305 = \alpha_{\parallel} f_d \\ \sqrt{(\tau_M + \tau_F \cos \theta)^2 + (\tau_F \sin \theta)^2} &= \sqrt{(33,811 + 8,614 \times 0,74)^2 + (8,614 \times 0,67)^2} = \\ &= \mathbf{40,624} < \mathbf{244,000} = 0,8 \times 305 = \alpha_{\perp} f_d \end{aligned}$$

#### Poz.2.3.3.4 Połączenie słupa IPE 200 ze stopą



Przyjęto zakotwienie słupa na śruby fajkowe  $d=12$  ze stali St3S w fundamencie wykonanym z betonu klasy **B20**. Moment dokręcenia śrub  $M_s = 0,05$  kNm.

Dodatkowy moment uwzględniający wyboczenie słupa:

$$\Delta M = N (1 / \varphi - 1) W / A = [100,012 \times (1 / 0,986 - 1) 194,00 / 28,50] \times 10^{-2} = 0,097 \text{ kNm.}$$

Siły przekrojowe sprowadzone do środka blachy podstawy:

$$M = 8,173 \text{ kNm}, \quad N = -100,012 \text{ kN}, \quad V = -7,767 \text{ kN}, \quad e = 82 \text{ mm}$$

**Nośność śrub kotwiących:**

$$S_{Rt} = \min\{0,65 R_m A_s; 0,85 R_e A_s\} = \min\{0,65 \times 375 \times 84,3 \times 10^{-3}; 0,85 \times 235 \times 84,3 \times 10^{-3}\} = \min\{20,5; 16,8\} = \mathbf{16,839 \text{ kN.}}$$

Sprawdzenie zakotwienia śrub przy założeniu,  $S_{Ra} \geq S_{Rt}$ .

$$S_{Ra} = \pi d l_a f_{bd} = \pi \times 12 \times 450 \times (0,24 \times \sqrt{16,0}) \times 10^{-3} = \mathbf{16,965} > \mathbf{16,839} = S_{Rt}$$

**Nośność połączenia:**

$$f_b = 0,8 f_{cd} = 0,8 \times 8,9 = 7,120 \text{ MPa}$$

Przy ściskaniu osiowym pole docisku wynosi:

$$c = 0,58 t \sqrt{f_d / f_b} = 0,58 \times 12 \times \sqrt{305 / 7,120} = 46 \text{ mm}$$

$$A_c = A_{be} = 720,00 \text{ cm}^2$$

$$N_c = \mathbf{100,012} < \mathbf{512,640} = 720,00 \times 7,120 \times 10^{-1} = A_c f_b = N_{Rc}$$

Do sprawdzenia nośności połączenia podstawy z fundamentem przyjęto model plastyczny.

Sprawdzenie wielkości mimośrodów:

$$N_c = 100,012 < 256,320 = 0,5 \times 512,640 = 0,5 N_{Rc}$$

Nośność śrub i strefy docisku dla przypadku dużego mimośrodu:

$$F_{Rc} = A_x f_b = 331,20 \times 7,120 \times 10^{-1} = 235,814 \text{ kN}$$

$$F_{Rt} = n S_{Rt} = 2 \times 16,839 = 33,678 \text{ kN}$$

Nośność ze względu na docisk:

$$M = \mathbf{8,173} < \mathbf{48,283} = 276 \times 235,814 \times 10^{-3} - 168 \times 100,012 \times 10^{-3} = z F_{Rc} - z_t N_c = M_{Rj,N}$$

Nośność ze względu na wyrywanie:

$$M = 8,173 < 20,096 = 276 \times 33,678 \times 10^{-3} + 108 \times 100,012 \times 10^{-3} = z F_{Rt} + z_c N_c = M_{Rj,N}$$

### Nośność na siłę poprzeczną:

Siła poprzeczna działająca na podstawę słupa  $V = -7,767$  kN, musi być przeniesiona przez tarcie lub śruby kotwiące.

- tarcie pomiędzy fundamentem i blachą podstawy:

$$V = 7,767 < 30,004 = 0,3 \times 100,012 = 0,3 N_c = V_{Rj}$$

- ścinanie i docisk śrub kotwiących:

$$V = 7,767 < 56,902 = 4 \times (0,45 \times 375 \times 84,3) \times 10^{-3} = n (0,45 R_m A_v) = n S_{Rv}$$

$$V = 7,767 < 35,885 = 7 \times 4 \times 12^2 \times 8,9 \times 10^{-3} = 7 n d^2 f_{cd} = V_{Rj}$$

### Blacha podstawy:

Przyjęto blachę podstawy o wymiarach 400×180 mm ze stali 18G2,18G2A.

Grubość blachy dla  $\Omega = 4 \pi$ :

$$t_d = 2,2 \sqrt{\frac{S}{\Omega f_d}} = 2,2 \times \sqrt{\frac{16,839 \times 10^3}{12,57 \times 305}} = 5 < 12 = t$$

### Nośność przekroju blach trapezowych i blachy podstawy:

Charakterystyka przekroju:

$$y = 69 \text{ mm}, \quad J_x = 2518,2 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 176,4 \text{ cm}^3, \quad A_v = 32,0 \text{ cm}^2$$

Siły działające na przekrój:

$$M_1 = \sigma_d b c^2 / 2 = (7,120 \times 198 \times 100^2 / 2) \times 10^{-6} = 7,056 \text{ kNm},$$

$$M_2 = nZ (c - e_s) = 33,678 \times (100 - 32) \times 10^{-3} = 2,290 \text{ kNm}.$$

$$V_1 = \sigma_d b c = 7,120 \times 198 \times 100 \times 10^{-3} = 141,128 \text{ kN},$$

$$V_2 = nZ = 33,678 \text{ kN}.$$

Naprężenia:

$$\sigma_M = M / W = (7,056 / 176,4) \times 10^3 = 39,991 \text{ MPa},$$

$$\tau = V / A_v = (141,128 / 32,0) \times 10 = 44,102 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_M^2 + 3 \tau^2} = \sqrt{39,991^2 + 3 \times 44^2} = 86,223 < 305 = f_d$$

### Nośność spoin poziomych:

Przyjęto spoiny o grubości  $a = 3$  mm

Siła przenoszona przez spoiny wynosi  $F = 0,25 N = 25,003$  kN.

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 49,92 \text{ cm}^2, \quad A_v = 44,40 \text{ cm}^2, \quad I_x = 7999,5 \text{ cm}^4, \quad I_y = 1114,8 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia:

$$\tau_{\parallel} = V / A_v = (7,767 / 44,40) \times 10 = 1,749 \text{ MPa},$$

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{F}{A} = \frac{8,173 \times 10,3 \times 10^3}{7999,5} + \frac{25,003 \times 10}{49,92} = 15,532 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 15,532 / \sqrt{2} = 10,982 \text{ MPa}$$

Naprężenia pochodzące od siły rozwarstwiającej między blachami pionowymi i blachą podstawy:

- dla naprężeń docisku

$$\tau_{\parallel} = Q S / b_s J = \frac{141,128 \times 136,7 \times 10}{1,8 \times 2518} = 42,559 \text{ MPa}$$

- dla sił w kotwach

$$\tau_{\parallel} = Q S / b_s J = \frac{33,678 \times 136,7 \times 10}{1,8 \times 2518} = 10,156 \text{ MPa}$$

Dla  $R_e = 355$  MPa, współczynnik  $\chi$  wynosi 0,85.

### Naprężenia zredukowane:

W miejscu występowania największych naprężeń zredukowanych  $\tau_{\parallel} = 42,559$  MPa.

$$\chi \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 0,85 \times \sqrt{10,982^2 + 3 \times (42,559^2 + 10,982^2)} = 65,380 < 305 = f_d$$



### Największe naprężenia prostopadłe:

$$\sigma = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{F}{A} = \frac{8,173 \times 19,0 \times 10^3}{7999,5} + \frac{25,003 \times 10}{49,92} = 24,420 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 17,267 < 305 = f_d$$

### Nośność spoin pionowych:

Przyjęto 8 spoiny o grubości  $a = 3 \text{ mm}$  i długości  $200 \text{ mm}$ .

Kład spoin daje następujące wielkości:

$$A = 48,00 \text{ cm}^2,$$

$$I_o = I_x + I_y = 4600,7 + 1600,0 = 6200,7 \text{ cm}^4.$$

Naprężenia w spoinach:

$$\tau_F = F / A = (25,003 / 48,00) \times 10 = 5,209 \text{ MPa},$$

$$\tau_M = M_o r / I_o = (8,173 \times 14,1 / 6200,7) \times 10^3 = 18,640 \text{ MPa},$$

Dla  $R_e = 355 \text{ MPa}$ , współczynniki  $\alpha$  wynoszą  $\alpha_{\perp} = 0,8$ ,  $\alpha_{\parallel} = 0,7$ .

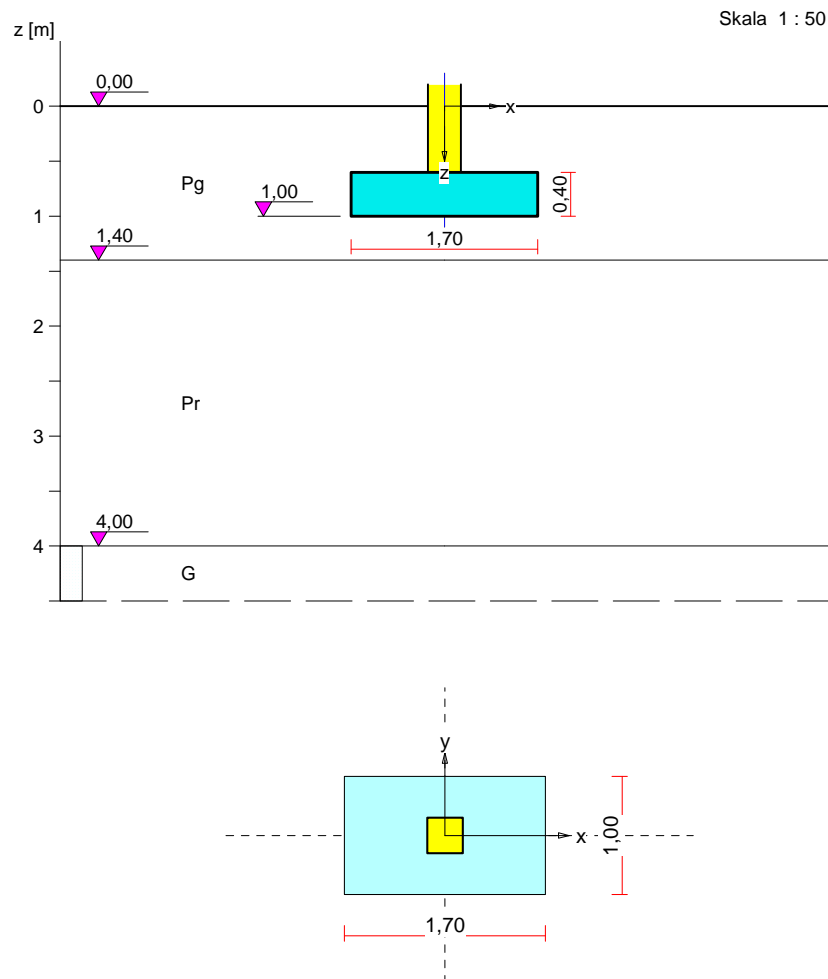
Nośność spoin:

$$\tau_F = 5,209 < 213,500 = 0,7 \times 305 = \alpha_{\parallel} f_d$$

$$\sqrt{(\tau_M + \tau_F \cos \theta)^2 + (\tau_F \sin \theta)^2} = \sqrt{(18,640 + 5,209 \times 0,71)^2 + (5,209 \times 0,71)^2} = 22,625 < 244,000 = 0,8 \times 305 = \alpha_{\perp} f_d$$

## Poz.3.0 Fundamenty

### Poz.3.1 Stopy w osi „1”



## Podłoże gruntowe

### Warstwy gruntu

Lp.	Poziom	Grubość	Nazwa gruntu	Poz. wody	$I_D/I_L$	Stopień
	stropu [m]	warstwy [m]		gruntowej [m]		wilgotn.
1	0,00	1,40	Piasek gliniasty	brak wody	0,20	m.wilg.
2	1,40	2,60	Piasek gruby	brak wody	0,50	wilg.
3	4,00	nieokreśl.	Gлина	4,00	0,15	m.wilg.

### Obciążenie od konstrukcji

Poziom przyłożenia obciążenia:  $z_{obc} = 0,55$  m.

Lista obciążeń:

Lp	Rodzaj	N	$H_x$	$H_y$	$M_x$	$M_y$	$\gamma$
	obciążenia	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[-]
1	D	-3,0	-6,0	0,0	0,00	-12,30	1,20
2	D	46,8	12,7	0,0	0,00	24,80	1,20

### Stan graniczny I

#### Zestawienie wyników analizy nośności i mimośrodków

Nr obc.	Rodzaj obciążenia	Poziom [m]	Wsp. nośności	Wsp. mimośr.
* 1	D	1,00	0,11	0,89
	D	1,40	0,05	0,64
2	D	1,00	0,22	0,80
	D	1,40	0,10	0,71

#### Analiza stanu granicznego I dla obciążenia nr 1

Wymiary podstawy fundamentu rzeczywistego:  $B_x = 1,70$  m,  $B_y = 1,00$  m.

Poziom posadowienia:  $H = 1,00$  m.

#### Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji:

siła pionowa:  $N = -3,00$  kN, mimośrodowo wzgl. podst. fund.  $E_x = 0,00$  m,  $E_y = 0,00$  m,

siła pozioma:  $H_x = -6,00$  kN, mimośrodek względem podstawy fund.  $E_z = 0,45$  m,

siła pozioma:  $H_y = 0,00$  kN, mimośrodek względem podstawy fund.  $E_z = 0,45$  m,

momenty:  $M_x = 0,00$  kNm,  $M_y = -12,30$  kNm.

Ciężar własny fundamentu, gruntu, posadzek, obciążenia posadzek:

siła pionowa:  $G = 42,79$  kN/m, momenty:  $M_{Gx} = 0,00$  kNm/m,  $M_{Gy} = 0,00$  kNm/m.

#### Sprawdzenie położenia wypadkowej obciążenia względem podstawy fundamentu

Obciążenie pionowe:

$$N_r = N + G = -3,00 + 42,79 = 39,79 \text{ kN.}$$

Momenty względem środka podstawy:

$$M_{rx} = N \cdot E_y - H_y \cdot E_z + M_x + M_{Gx} = -3,00 \cdot 0,00 + (0,00) = 0,00 \text{ kNm.}$$

$$M_{ry} = -N \cdot E_x + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy} = 3,00 \cdot 0,00 + (-6,00) \cdot 0,45 + (-12,30) + 0,00 = -15,00 \text{ kNm.}$$

Mimośrodowość sił względem środka podstawy:

$$e_{rx} = |M_{ry}/N_r| = 15,00/39,79 = 0,38 \text{ m,}$$

$$e_{ry} = |M_{rx}/N_r| = 0,00/39,79 = 0,00 \text{ m.}$$

$$e_{rx}/B_x + e_{ry}/B_y = 0,222 + 0,000 = 0,222 \text{ m} < 0,250.$$

**Wniosek: Warunek położenia wypadkowej jest spełniony.**

## Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

$$B_x' = B_x - 2 \cdot e_{rx} = 1,70 - 2 \cdot 0,38 = 0,95 \text{ m}, \quad B_y' = B_y - 2 \cdot e_{ry} = 1,00 - 2 \cdot 0,00 = 1,00 \text{ m}.$$

Obciążenie podłoża obok ławy (min. średnia gęstość dla pola 1):

$$\text{średnia gęstość obl.: } \rho_{D(r)} = 1,93 \text{ t/m}^3, \quad \text{min. wysokość: } D_{\min} = 1,00 \text{ m},$$

$$\text{obciążenie: } \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} = 1,93 \cdot 9,81 \cdot 1,00 = 18,98 \text{ kPa}.$$

Współczynniki nośności podłoża:

$$\text{kąt tarcia wewn.: } \Phi_{u(r)} = \Phi_{u(n)} \cdot \gamma_m = 18,30 \cdot 0,90 = 16,47^\circ, \quad \text{spójność: } c_{u(r)} = c_{u(n)} \cdot \gamma_m = 28,35 \text{ kPa},$$

$$N_B = 0,78 \quad N_C = 11,96, \quad N_D = 4,53.$$

Wpływ odchylenia wypadkowej obciążenia od pionu:

$$\text{tg } \delta_x = |H_x|/N_r = 6,00/39,79 = 0,15, \quad \text{tg } \delta_x / \text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,1508/0,2956 = 0,510,$$

$$i_{Bx} = 0,54, \quad i_{Cx} = 0,71, \quad i_{Dx} = 0,77.$$

$$\text{tg } \delta_y = |H_y|/N_r = 0,00/39,79 = 0,00, \quad \text{tg } \delta_y / \text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,0000/0,2956 = 0,000,$$

$$i_{By} = 1,00, \quad i_{Cy} = 1,00, \quad i_{Dy} = 1,00.$$

Ciężar objętościowy gruntu pod ławą fundamentową:

$$\rho_{B(n)} \cdot \gamma_m \cdot g = 1,97 \cdot 0,90 \cdot 9,81 = 17,39 \text{ kN/m}^3.$$

Współczynniki kształtu:

$$m_B = 1 - 0,25 \cdot B_y' / B_x' = 0,76, \quad m_C = 1 + 0,3 \cdot B_y' / B_x' = 1,28, \quad m_D = 1 + 1,5 \cdot B_y' / B_x' = 2,42$$

Odpór graniczny podłoża:

$$Q_{fNBx} = B_x' B_y' (m_C N_C c_{u(r)} i_{Cx} + m_D N_D \rho_{D(r)} g D_{\min} i_{Dx} + m_B N_B \rho_{B(r)} g B_x' i_{Bx}) = 446,96 \text{ kN}.$$

$$Q_{fNBy} = B_x' B_y' (m_C N_C c_{u(r)} i_{Cy} + m_D N_D \rho_{D(r)} g D_{\min} i_{Dy} + m_B N_B \rho_{B(r)} g B_y' i_{By}) = 618,60 \text{ kN}.$$

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

$$N_r = 39,79 \text{ kN} < m \cdot \min(Q_{fNBx}, Q_{fNBy}) = 0,81 \cdot 446,96 = 362,04 \text{ kN}.$$

**Wniosek: warunek nośności jest spełniony.**

## Stan graniczny II

### Osiadanie fundamentu

Osiadanie pierwotne:  $s' = 0,05 \text{ cm}$ , osiadanie wtórne:  $s'' = 0,00 \text{ cm}$ .

Współczynnik stopnia odprężenia podłoża:  $\lambda = 0$ .

Osiadanie całkowite:  $s = s' + \lambda \cdot s'' = 0,05 + 0 \cdot 0,00 = 0,05 \text{ cm}$ ,

Sprawdzenie warunku osiadania:

Dopuszczalne osiadanie:  $s_{\text{dop}} = 1,00 \text{ cm}$ .

$$s = 0,05 \text{ cm} < s_{\text{dop}} = 1,00 \text{ cm}$$

**Wniosek: Warunek osiadania jest spełniony.**

## Wymiarowanie fundamentu

### Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na przebicie

Nr obc.	Przekrój	Siła tnąca	Nośność betonu	Nośność strzemion
		V [kN]	V <sub>r</sub> [kN]	V <sub>s</sub> [kN]
1	1	-10	184	-
* 2	1	28	184	-

### Sprawdzenie stopy na przebicie dla obciążenia nr 2

#### Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa:  $N_r = 47 \text{ kN}$ ,

momenty:  $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$ ,  $M_{yr} = 30,52 \text{ kNm}$ .

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,65 \text{ m}, \quad e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}.$$

**Przebiecie stopy w przekroju 1:**

Siła ścinająca:  $V_{Sd} = \int_{Ac} q \cdot dA = 28 \text{ kN}$ .

Nośność betonu na ścinanie:  $V_{Rd} = (b+d) \cdot d \cdot f_{ctd} = (0,30+0,33) \cdot 0,33 \cdot 870 = 184 \text{ kN}$ .

$$V_{Sd} = 0 \text{ kN} < V_{Rd} = 184 \text{ kN}.$$

**Wniosek: warunek na przebiecie jest spełniony.**

**Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na zginanie**

Nr obc.	Kierunek	Przekrój	Moment zginający M [kNm]	Nośność betonu M <sub>r</sub> [kNm]
1	x	1	-5	-
	y	1	0	-
* 2	x	1	14	-
	y	1	2	-

**Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 2 na kierunku x****Zestawienie obciążeń:**

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa:  $N_r = 47 \text{ kN}$ ,

momenty:  $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$ ,  $M_{yr} = 30,52 \text{ kNm}$ .

Mimośrodki siły względem środka podstawy:

$$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,65 \text{ m}, \quad e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}.$$

**Zginanie stopy w przekroju 1:**

Moment zginający:

$$M_{Sd} = [(b+3 \cdot B) \cdot q_1 + (b+B) \cdot q_s] \cdot s^2 / 12 = [(0,30+3 \cdot 1,00) \cdot 91 + (0,30+1,00) \cdot 39] \cdot 0,49 / 12 = 14 \text{ kNm}.$$

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia:  $A_s = 1,2 \text{ cm}^2$ .

**Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.**

**Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 2 na kierunku y****Zestawienie obciążeń:**

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa:  $N_r = 47 \text{ kN}$ ,

momenty:  $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$ ,  $M_{yr} = 30,52 \text{ kNm}$ .

Mimośrodki siły względem środka podstawy:

$$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,65 \text{ m}, \quad e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}.$$

**Zginanie stopy w przekroju 1:**

Moment zginający:

$$M_{Sd} = [(b+3 \cdot B) \cdot q_1 + (b+B) \cdot q_s] \cdot s^2 / 12 = [(0,30+3 \cdot 1,70) \cdot 28 + (0,30+1,70) \cdot 28] \cdot 0,12 / 12 = 2 \text{ kNm}.$$

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia:  $A_s = 0,2 \text{ cm}^2$ .

**Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.**

**Zbrojenie stopy****Zbrojenie główne na kierunku x (dolna warstwa zbrojenia):**

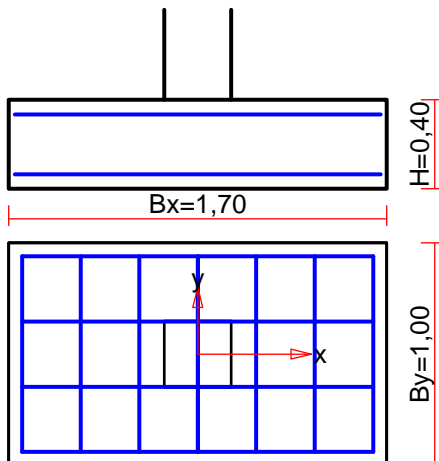
Obliczona powierzchnia przekroju poprzecznego  $A_{xs} = 1,5 \text{ cm}^2$ .

Średnica prętów:  $\phi = 12 \text{ mm}$ , rozstaw prętów:  $s = 29 \text{ cm}$ .

**Zbrojenie główne na kierunku y (dolna warstwa zbrojenia):**

Obliczona powierzchnia przekroju poprzecznego  $A_{ys} = 1,4 \text{ cm}^2$ .

Średnica prętów:  $\phi = 12 \text{ mm}$ ,      rozstaw prętów:  $s = 26 \text{ cm}$ .

**Zbrojenie główne na kierunku x (górna warstwa zbrojenia):**

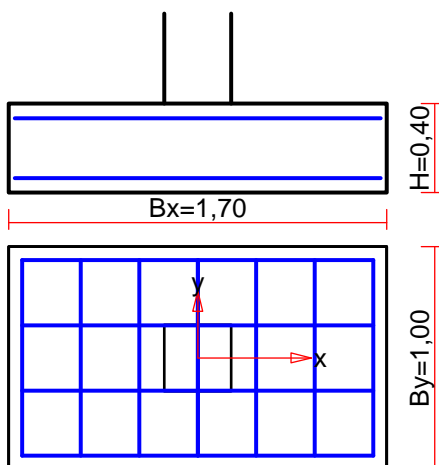
Obliczona powierzchnia przekroju poprzecznego  $A_{xs} = 1,5 \text{ cm}^2$ .

Średnica prętów:  $\phi = 12 \text{ mm}$ ,      rozstaw prętów:  $s = 29 \text{ cm}$ .

**Zbrojenie główne na kierunku y (górna warstwa zbrojenia):**

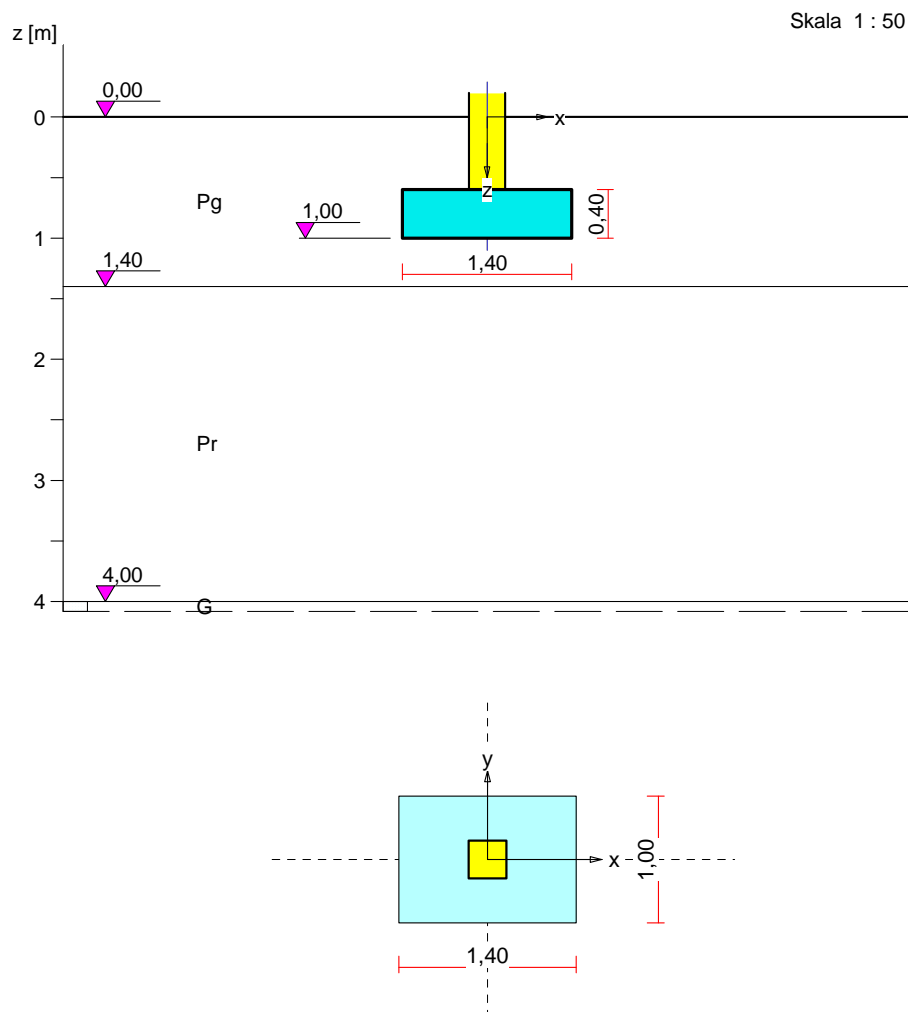
Obliczona powierzchnia przekroju poprzecznego  $A_{ys} = 1,4 \text{ cm}^2$ .

Średnica prętów:  $\phi = 12 \text{ mm}$ ,      rozstaw prętów:  $s = 26 \text{ cm}$ .



Ilość stali: 22 kg.

## Poz.3.2 Stopy w osi „2”



## Podłoże gruntowe

### Warstwy gruntu

Lp.	Poziom stropu [m]	Grubość warstwy [m]	Nazwa gruntu	Poz. wody gruntowej [m]	$I_D/I_L$	Stopień wilgotn.
1	0,00	1,40	Piasek gliniasty	brak wody	0,20	m.wilg.
2	1,40	2,60	Piasek gruby	brak wody	0,50	wilg.
3	4,00	nieokreśl.	Gлина	4,00	0,15	m.wilg.

## Obciążenie od konstrukcji

Poziom przyłożenia obciążenia:  $z_{obc} = 0,55$  m.

Lista obciążeń:

Lp	Rodzaj	N	$H_x$	$H_y$	$M_x$	$M_y$	$\gamma$
	obciążenia	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[-]
1	D	100 , 2	-7 , 8	0 , 0	0 , 00	-8 , 10	1 , 20
2	D	-30 , 9	1 , 0	0 , 0	0 , 00	-0 , 10	1 , 20

## Stan graniczny I

### Zestawienie wyników analizy nośności i mimośródów

Nr obc.	Rodzaj obciążenia	Poziom [m]	Wsp. nośności	Wsp. mimośr.
* 1	D	1 , 00	0 , 24	0 , 25

*	D	1,40	0,11	0,25
2	D	1,00	0,01	0,24
	D	1,40	0,01	0,10

### Analiza stanu granicznego I dla obciążenia nr 1

Wymiary podstawy fundamentu rzeczywistego:  $B_x = 1,40 \text{ m}$ ,  $B_y = 1,00 \text{ m}$ .

Poziom posadowienia:  $H = 1,00 \text{ m}$ .

#### Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji:

siła pionowa:  $N = 100,20 \text{ kN}$ , mimośrodowy wzgl. podst. fund.  $E_x = 0,00 \text{ m}$ ,  $E_y = 0,00 \text{ m}$ ,

siła pozioma:  $H_x = -7,80 \text{ kN}$ , mimośród względem podstawy fund.  $E_z = 0,45 \text{ m}$ ,

siła pozioma:  $H_y = 0,00 \text{ kN}$ , mimośród względem podstawy fund.  $E_z = 0,45 \text{ m}$ ,

momenty:  $M_x = 0,00 \text{ kNm}$ ,  $M_y = -8,10 \text{ kNm}$ .

Ciężar własny fundamentu, gruntu, posadzek, obciążenia posadzek:

siła pionowa:  $G = 35,00 \text{ kN/m}$ , momenty:  $M_{Gx} = 0,00 \text{ kNm/m}$ ,  $M_{Gy} = 0,00 \text{ kNm/m}$ .

#### Sprawdzenie położenia wypadkowej obciążenia względem podstawy fundamentu zastępczego

Wymiary podstawy fundamentu zastępczego:  $B_x = 1,53 \text{ m}$ ,  $B_y = 1,13 \text{ m}$ .

Poziom posadowienia:  $H = 1,40 \text{ m}$ .

Ciężar fundamentu zastępczego:  $G_z = 16,13 \text{ kN}$ .

Całkowite obciążenie pionowe fundamentu zastępczego:

$N_r = N + G + G_z = 100,20 + 35,00 + 16,13 = 151,33 \text{ kN}$ .

Moment względem środka podstawy:

$M_{rx} = N \cdot E_y - H_y \cdot E_z + M_x + M_{Gx} = 100,20 \cdot 0,00 + (0,00) = 0,00 \text{ kNm}$ .

$M_{ry} = -N \cdot E_x + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy} = -100,20 \cdot 0,00 + (-7,80) \cdot 0,85 + (-8,10) + 0,00 = -14,73 \text{ kNm}$ .

Mimośrodowy sił względem środka podstawy:

$e_{rx} = |M_{ry}/N_r| = 14,73/151,33 = 0,10 \text{ m}$ ,

$e_{ry} = |M_{rx}/N_r| = 0,00/151,33 = 0,00 \text{ m}$ .

$e_{rx}/B_x + e_{ry}/B_y = 0,063 + 0,000 = 0,063 \text{ m} < 0,250$ .

**Wniosek: Warunek położenia wypadkowej jest spełniony.**

#### Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

$B'_x = B_x - 2 \cdot e_{rx} = 1,40 - 2 \cdot 0,09 = 1,23 \text{ m}$ ,  $B'_y = B_y - 2 \cdot e_{ry} = 1,00 - 2 \cdot 0,00 = 1,00 \text{ m}$ .

Obciążenie podłoża obok ławy (min. średnia gęstość dla pola 1):

średnia gęstość obl.:  $\rho_{D(r)} = 1,93 \text{ t/m}^3$ , min. wysokość:  $D_{\min} = 1,00 \text{ m}$ ,

obciążenie:  $\rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} = 1,93 \cdot 9,81 \cdot 1,00 = 18,98 \text{ kPa}$ .

Współczynniki nośności podłoża:

kąt tarcia wewn.:  $\Phi_{u(r)} = \Phi_{u(n)} \cdot \gamma_m = 18,30 \cdot 0,90 = 16,47^\circ$ , spójność:  $c_{u(r)} = c_{u(n)} \cdot \gamma_m = 28,35 \text{ kPa}$ ,

$N_B = 0,78$   $N_C = 11,96$ ,  $N_D = 4,53$ .

Wpływ odchylenia wypadkowej obciążenia od pionu:

$\text{tg } \delta_x = |H_x|/N_r = 7,80/135,20 = 0,06$ ,  $\text{tg } \delta_x / \text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,0577/0,2956 = 0,195$ ,

$i_{Bx} = 0,83$ ,  $i_{Cx} = 0,90$ ,  $i_{Dx} = 0,91$ .

$\text{tg } \delta_y = |H_y|/N_r = 0,00/135,20 = 0,00$ ,  $\text{tg } \delta_y / \text{tg } \Phi_{u(r)} = 0,0000/0,2956 = 0,000$ ,

$i_{By} = 1,00$ ,  $i_{Cy} = 1,00$ ,  $i_{Dy} = 1,00$ .

Ciężar objęściowy gruntu pod ławą fundamentową:

$\rho_{B(n)} \cdot \gamma_m \cdot g = 1,97 \cdot 0,90 \cdot 9,81 = 17,39 \text{ kN/m}^3$ .

Współczynniki kształtu:

$m_B = 1 - 0,25 \cdot B'_y/B'_x = 0,80$ ,  $m_C = 1 + 0,3 \cdot B'_y/B'_x = 1,24$ ,  $m_D = 1 + 1,5 \cdot B'_y/B'_x = 2,22$

Odpór graniczny podłoża:

$$Q_{fNBx} = B_x \cdot B_y' \cdot (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{Cx} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_{Dx} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B_x' \cdot i_{Bx}) = 696,16 \text{ kN.}$$

$$Q_{fNB y} = B_x \cdot B_y' \cdot (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{Cy} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_{Dy} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B_y' \cdot i_{By}) = 766,21 \text{ kN.}$$

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

$$N_r = 135,20 \text{ kN} < m \cdot \min(Q_{fNBx}, Q_{fNB y}) = 0,81 \cdot 696,16 = 563,89 \text{ kN.}$$

**Wniosek: warunek nośności jest spełniony.**

## Stan graniczny II

### Osiadanie fundamentu

Osiadanie pierwotne:  $s' = 0,11 \text{ cm}$ , osiadanie wtórne:  $s'' = 0,00 \text{ cm}$ .

Współczynnik stopnia odprężenia podłoża:  $\lambda = 0$ .

Osiadanie całkowite:  $s = s' + \lambda \cdot s'' = 0,11 + 0 \cdot 0,00 = 0,11 \text{ cm}$ ,

Sprawdzenie warunku osiadania:

Dopuszczalne osiadanie:  $s_{\text{dop}} = 1,00 \text{ cm}$ .

$$s = 0,11 \text{ cm} < s_{\text{dop}} = 1,00 \text{ cm}$$

**Wniosek: Warunek osiadania jest spełniony.**

## Wymiarowanie fundamentu

### Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na przebicie

Nr obc.	Przekrój	Siła tnąca	Nośność betonu	Nośność strzemion
		V [kN]	V <sub>r</sub> [kN]	V <sub>s</sub> [kN]
* 1	1	22	184	–
2	1	–5	184	–

### Sprawdzenie stopy na przebicie dla obciążenia nr 1

#### Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa:  $N_r = 100 \text{ kN}$ ,

momenty:  $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$ ,  $M_{yr} = -11,61 \text{ kNm}$ .

Mimośrodowość siły względem środka podstawy:

$$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,12 \text{ m}, \quad e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m.}$$

### Przebicie stopy w przekroju 1:

Siła ścinająca:  $V_{sd} = \int_{Ac} q \cdot dA = 22 \text{ kN}$ .

Nośność betonu na ścinanie:  $V_{Rd} = (b+d) \cdot d \cdot f_{ctd} = (0,30+0,33) \cdot 0,33 \cdot 870 = 184 \text{ kN}$ .

$$V_{sd} = 0 \text{ kN} < V_{Rd} = 184 \text{ kN.}$$

**Wniosek: warunek na przebicie jest spełniony.**

### Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na zginanie

Nr obc.	Kierunek	Przekrój	Moment zginający	Nośność betonu
			M [kNm]	M <sub>r</sub> [kNm]
* 1	x	1	12	–
	y	1	5	–
2	x	1	–3	–
	y	1	–1	–

### Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 1 na kierunku x

#### Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:



siła pionowa:  $N_r = 100 \text{ kN}$ ,

momenty:  $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$ ,  $M_{yr} = -11,61 \text{ kNm}$ .

Mimośrody siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,12 \text{ m}$ ,  $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$ .

#### Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$M_{Sd} = [(b+3 \cdot B) \cdot q_2 + (b+B) \cdot q_s] \cdot s^2 / 12 = [(0,30+3 \cdot 1,00) \cdot 107 + (0,30+1,00) \cdot 79] \cdot 0,30 / 12 = 12 \text{ kNm}$ .

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia:  $A_s = 1,0 \text{ cm}^2$ .

**Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.**

#### Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 1 na kierunku y

##### Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa:  $N_r = 100 \text{ kN}$ ,

momenty:  $M_{xr} = 0,00 \text{ kNm}$ ,  $M_{yr} = -11,61 \text{ kNm}$ .

Mimośrody siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0,12 \text{ m}$ ,  $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0,00 \text{ m}$ .

#### Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$M_{Sd} = [(b+3 \cdot B) \cdot q_1 + (b+B) \cdot q_s] \cdot s^2 / 12 = [(0,30+3 \cdot 1,40) \cdot 72 + (0,30+1,40) \cdot 72] \cdot 0,12 / 12 = 5 \text{ kNm}$ .

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia:  $A_s = 0,4 \text{ cm}^2$ .

**Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.**

## 9. Zbrojenie stopy

#### Zbrojenie główne na kierunku x (dolna warstwa zbrojenia):

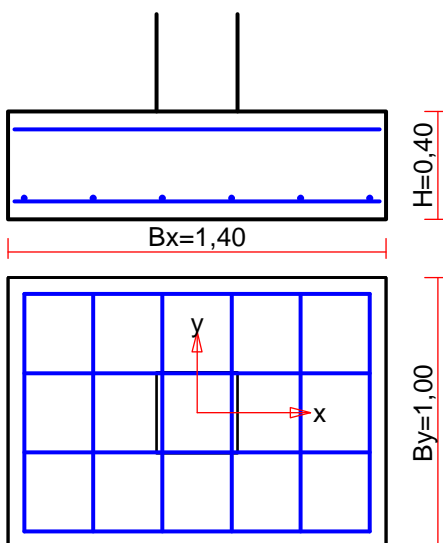
Obliczona powierzchnia przekroju poprzecznego  $A_{xs} = 1,5 \text{ cm}^2$ .

Średnica prętów:  $\phi = 12 \text{ mm}$ , rozstaw prętów:  $s = 29 \text{ cm}$ .

#### Zbrojenie główne na kierunku y (dolna warstwa zbrojenia):

Obliczona powierzchnia przekroju poprzecznego  $A_{ys} = 1,4 \text{ cm}^2$ .

Średnica prętów:  $\phi = 12 \text{ mm}$ , rozstaw prętów:  $s = 26 \text{ cm}$ .



**Zbrojenie główne na kierunku x (górna warstwa zbrojenia):**

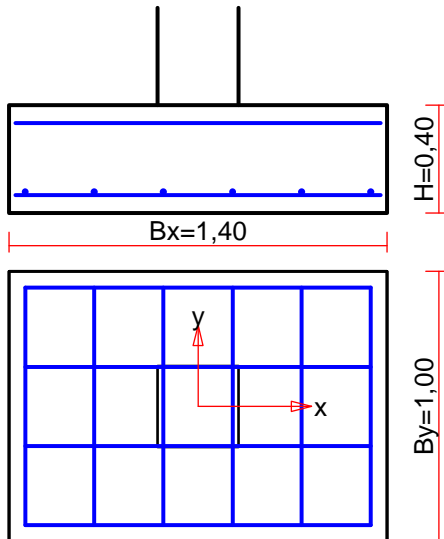
Obliczona powierzchnia przekroju poprzecznego  $A_{xs} = 1,5 \text{ cm}^2$ .

Średnica prętów:  $\phi = 12 \text{ mm}$ ,      rozstaw prętów:  $s = 29 \text{ cm}$ .

**Zbrojenie główne na kierunku y (górna warstwa zbrojenia):**

Obliczona powierzchnia przekroju poprzecznego  $A_{ys} = 1,4 \text{ cm}^2$ .

Średnica prętów:  $\phi = 12 \text{ mm}$ ,      rozstaw prętów:  $s = 26 \text{ cm}$ .



**Ilość stali: 18 kg.**

OBLICZENIA ZAKOŃCZONO

ASYSTENT PROJEKTANTA

mgr inż. Paweł Hawryszko

PROJEKTANT KONSTRUKCJI

inż. Tomasz Sikorski

Upr. bud. WAM/0056/PWOK/08

Członek Warmińsko Mazurskiej  
Izby Inżynierów Budownictwa  
WAM / BO / 0177 / 08