

Obliczenia statyczne: moduł kontenerowy PB1

Producent: Ryterna modul

Typ: Moduł kontenerowy PB1 (długość: 6058 mm, szerokość: 2438 mm, wysokość: 2800 mm)

Autor opracowania: inż. Radosław Noga (na podstawie opracowań producenta)

1. Stan graniczny nośności (ULS)

1.1. Kombinacja oddziaływań

Rozpatrując stan graniczny zniszczenia lub nadmiernego odkształcenia elementu konstrukcyjnego lub części podłoża (STR i GEO), należy wykazać, że:

$$E_d \leq R_d$$

gdzie:

E_d – wartość obliczeniowa efektu oddziaływań,

R_d – wartość obliczeniowa oporu przeciw oddziaływaniom.

1.2. Wartość obliczeniowa efektu oddziaływań

Wartość projektową E_d należy wyznaczyć ze wzoru:

$$E_d = \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \gamma_{Q,1} \psi_{Q,i} Q_{k,i} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

gdzie:

$G_{k,j}$ – wartość charakterystyczna obciążenia stałego „j”,

$\gamma_{G,j}$ – częściowy współczynnik obciążenia stałego,

$Q_{k,1}$ – wartość charakterystycznego dominującego oddziaływania zmiennego „1”,

$\gamma_{G,j}$ – współczynnik częściowy dla dominującego oddziaływania zmiennego „1”,

$Q_{k,i}$ – wartość charakterystyczna towarzyszących oddziaływań zmiennych,

$\gamma_{Q,i}$ – współczynnik częściowy dla towarzyszących oddziaływań zmiennych,

$\psi_{Q,i}$ – współczynniki uwzględniające zmniejszone prawdopodobieństwo jednoczesnego wystąpienia wartości charakterystycznych obciążenia.

1.3. Zebranie obciążeń

1.3.1. Obciążenia stałe

Poz.	Rodzaj obciążenia	Ciężar charakterystyczny	Składowa obciążenia
-	-	kg/m ²	kN/m ²
1	blacha ocynkowana	4	0,040
2	wełna mineralna 100 mm	14 [kg/m ³] * 0,1 [m] = 1,4	0,014
3	płyta wiórowa 12 mm	700 [kg/m ³] * 0,012 [m] = 8,4	0,084
Suma (g):			0,138
Ze względu na ciężar wykończenia obciążenie stałe powiększono o 1%:			1,01 * 0,138 = 0,139

1.3.2. Obciążenie od krokwi

Krokwie 100 mm wycięte są z drewna klasy C14.

Średnia gęstość $\rho = 3,5 \text{ kN/m}^3$.

Obliczenia statyczne: moduł kontenerowy PB1

Obciążenie na jedną krokiew:

$$F = 3,5 \text{ kN/m}^3 * 0,21 \text{ m}^2 * 0,05 \text{ m} = 0,037 \text{ kN}$$

1.3.3. Obciążenie tymczasowe

Obiekt znajduje się w II strefie obciążenia śniegiem, stąd:

Poz.	Rodzaj obciążenia	Składowa obciążenia
-	-	kN/m ²
1	obc. śniegiem (II strefa)	1,75
Suma (q):		<u>1,75</u>

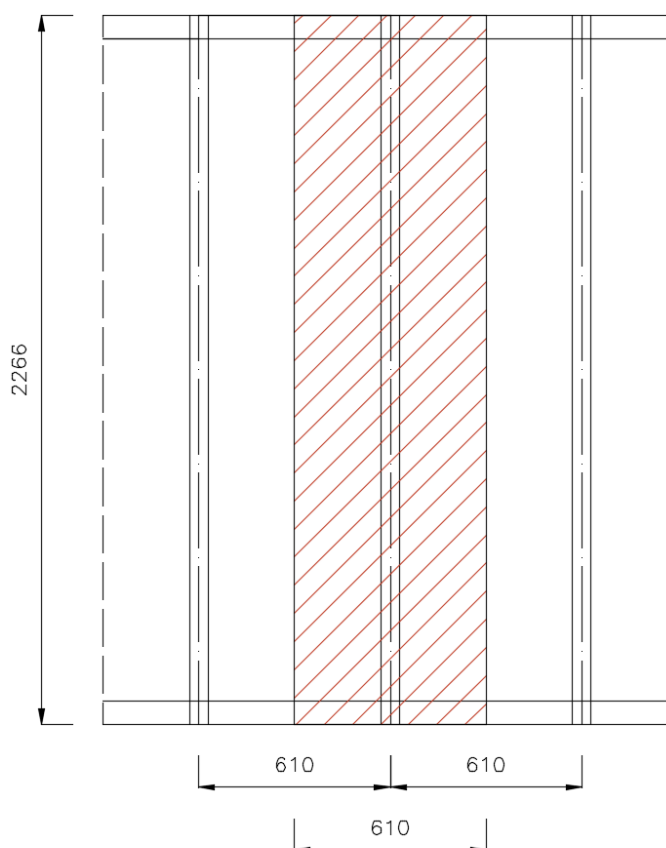
1.4. Obliczenie krokwi - wytrzymałość osiowa przekroju

1.4.1. Przeliczenie wartości obciążenia

Rozstaw krokwi - $a = 610 \text{ mm} = 61 \text{ cm} = 0,61 \text{ m}$

Długość obliczeniowa - $l = 2266 \text{ mm} = 226,6 \text{ cm} = 2,266 \text{ m}$

Pasma zbierania obciążenia równe jest wartości rozstawu krokwi.



Obliczenia statyczne: moduł kontenerowy PB1

Ciężar własny krokwi jako obciążenie ciągłe:

$$f = \frac{F}{l} = 0,037 \text{ kN}/2,266 \text{ m} = 0,016 \text{ kN/m}$$

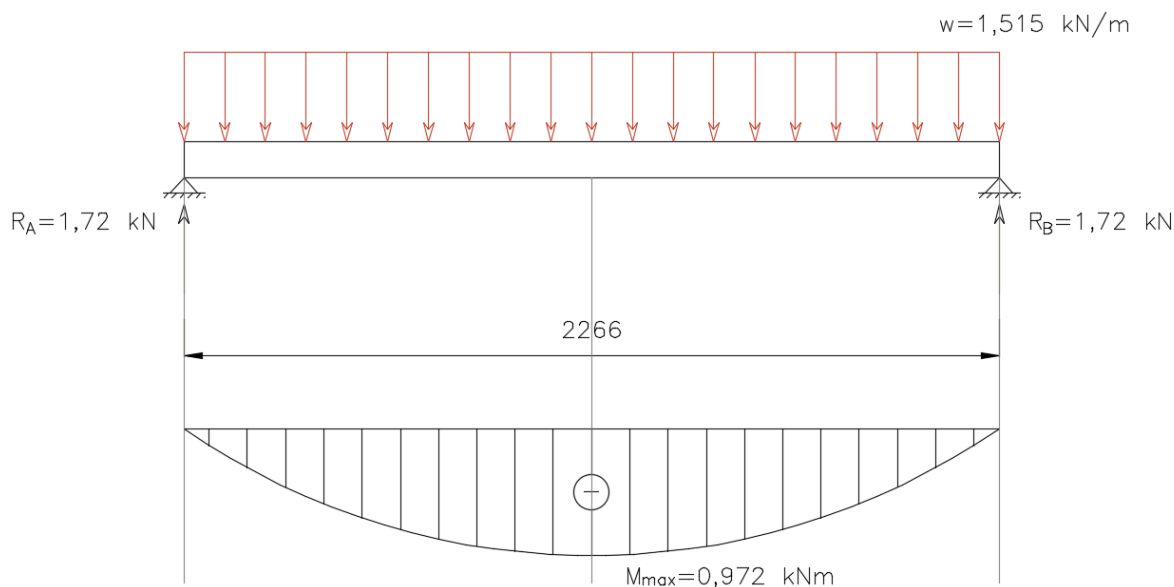
Obciążenie na pasmo:

$$\begin{aligned} W &= 1,35 * (f + g) + 1,3 * q = \\ &= (1,35 * (0,016 \text{ kN/m} + 0,139 \text{ kN/m}) + 1,3 * 1,75 \text{ kN/m} = \\ &= 2,484 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Obciążenie równomiernie rozłożone:

$$w = W * a = 2,484 \text{ kN/m}^2 * 0,61 \text{ m} = 1,515 \text{ kN/m}$$

1.4.2. Schemat statyczny



Reakcje podporowe:

$$R_A = R_B = \frac{w * l}{2} = \frac{1,515 \text{ kN/m} * 2,266 \text{ m}}{2} = 1,72 \text{ kN}$$

Maksymalny moment zginający:

$$M_{max} = \frac{w * l^2}{8} = \frac{1,515 \text{ kN/m} * (2,266 \text{ m})^2}{8} = 0,972 \text{ kNm}$$

1.4.3. Obliczenia wytrzymałościowe

Wskaźnik wytrzymałości przekroju:

$$W_x = \frac{b * h^2}{6} = \frac{0,05 \text{ m} * (0,1 \text{ m})^2}{6} = 0,833 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Obliczenia statyczne: moduł kontenerowy PB1

Maksymalne naprężenia przy ściskaniu osiowym:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{0,972 * 10^{-3} \text{ MNm}}{0,833 * 10^{-4} \text{ m}^3} = 11,669 \text{ MPa}$$

Charakterystyczna wytrzymałość przekroju przy ściskaniu wzdłuż włókien:

$$f_{c,0,k} = 16 \text{ MPa}$$

Obliczeniowa wytrzymałość przekroju na ściskanie wzdłuż włókien:

$$f_{c,0,d} = \frac{16 \text{ MPa}}{1,3} = 12,307 \text{ MPa}$$

Sprawdzenie warunku wytrzymałościowego:

$$\sigma_{max} = 11,669 \text{ MPa} < f_{c,0,d} = 12,307 \text{ MPa}$$

Warunek wytrzymałości na ściskanie jest spełniony.

1.5. Obliczenie profilu stropodachu - wytrzymałość na zginanie

1.5.1. Obliczenia wytrzymałościowe

Należy sprawdzić, czy spełniony jest warunek:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{C,Rd}} \leq 1,0$$

gdzie:

M_{Ed} - maksymalny obliczeniowy moment zginający w przekroju,

$M_{C,Rd}$ - obliczeniowa nośność przekroju przy jednokierunkowym zginaniu opisana wzorem:

$$M_{C,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

gdzie:

W_{pl} - plastyczny wskaźnik wytrzymałości przekroju,

f_y - granica plastyczności stali,

γ_{M0} - współczynnik częściowy nośności przekroju.

Element wykonany jest ze stali S235, a jego grubość spełnia warunek:

$$t = 3 \text{ mm} < t_{dop} = 16 \text{ mm}, \text{ zatem } f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

Współczynnik częściowy nośności przekroju: $\gamma_{M0} = 1,10 * 1,10 = 1,21$.

Parametry geometryczne przekroju:

Pole powierzchni: $A = 1158,69 \text{ mm}^2$

Momenty bezwładności: $I_x = 4281047 \text{ mm}^4, I_y = 1012494 \text{ mm}^4$

Współrzędne punktu: $y_{max} = 96 \text{ mm}, x_{max} = 54 \text{ mm}$

Wskaźnik oporu plastycznego:

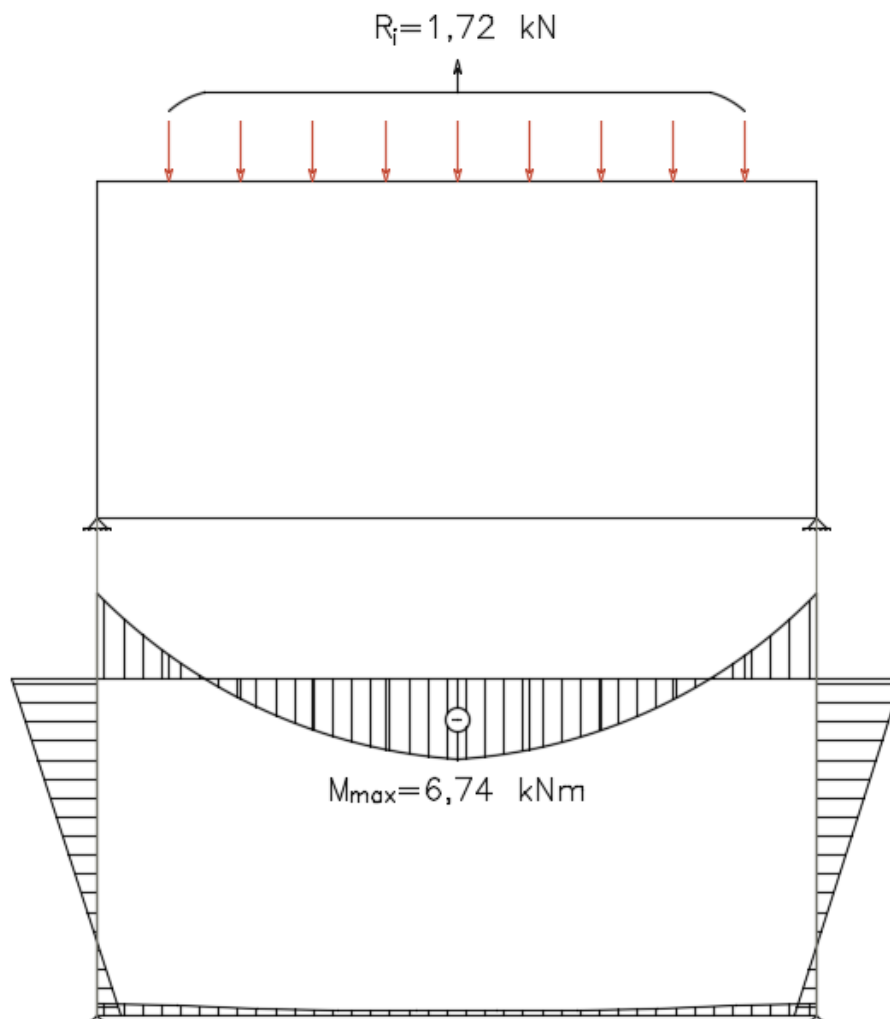
$$W_{pl} = W_x = \frac{I_x}{y_{max}} = \frac{4281047 \text{ mm}^4}{96 \text{ mm}} = 44594 \text{ mm}^3$$

Obliczenia statyczne: moduł kontenerowy PB1

Obliczeniowa nośność przekroju na zginanie:

$$M_{C,Rd} = \frac{W_{pl}f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44594 \text{ mm}^3 * 235 \text{ N/mm}^2}{1,21} = 8660818 \text{ Nmm} \cong 8,66 \text{ kNm}$$

Schemat geometryczny układu to rama prostokątna o wysokości 2,80 m i szerokości 6,00 m. Rama obciążona jest siłami skupionymi o wartości 1,72 kN przyłożonymi w punkcie połączenia krokwi z belką stropodachu (rozstaw $a = 0,61 \text{ m}$).

Maksymalny moment zginający: $M_{max} = 6,74 \text{ kNm}$.

Sprawdzenie warunku nośności:

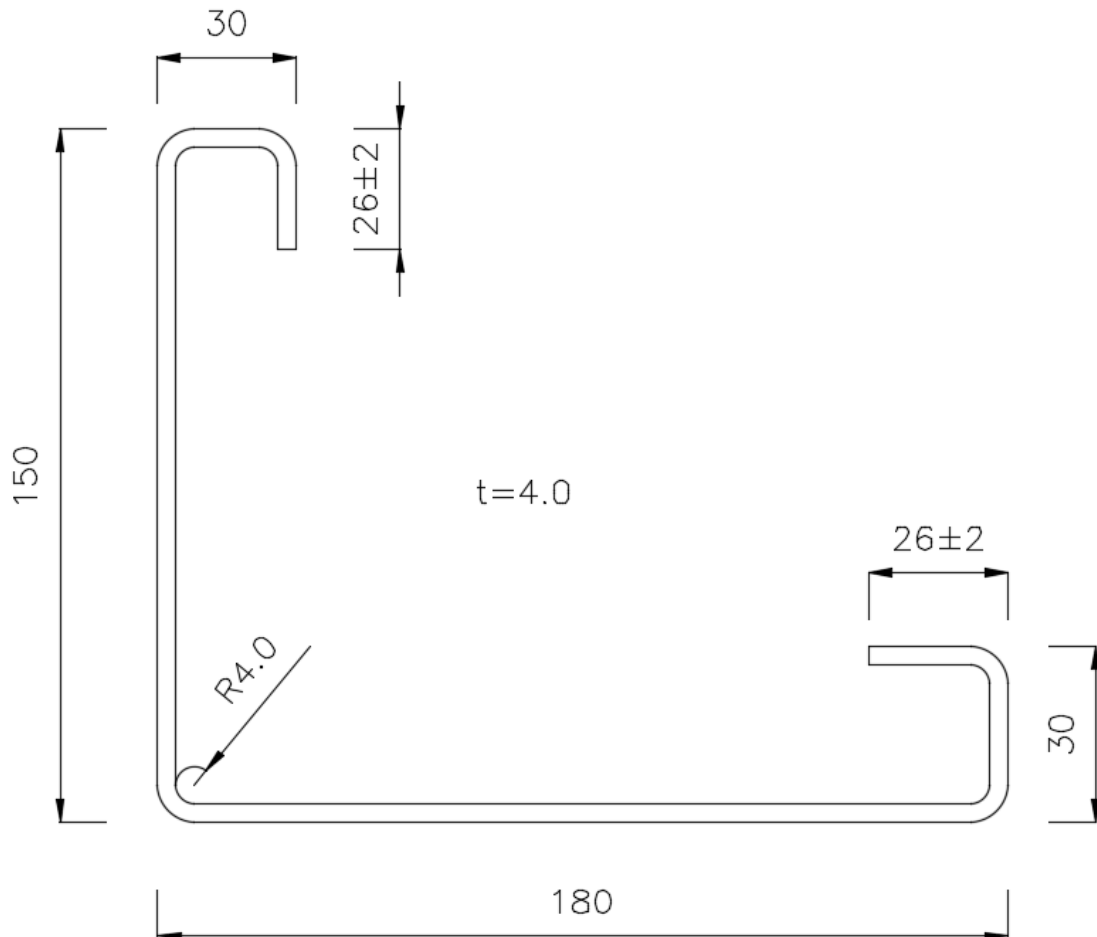
$$\frac{M_{Ed}}{M_{C,Rd}} = \frac{6,74}{8,66} = 0,79 \leq 1,00$$

Warunek nośności na zginanie jest spełniony.

Obliczenia statyczne: moduł kontenerowy PB1

2. Obliczenie słupa - sprawdzenie warunku na wyboczenie

2.1. Parametry geometryczne przekroju słupa



Momenty bezwładności przekroju: $I_x = 904 \text{ cm}^4$, $I_y = 247 \text{ cm}^4$

Pole przekroju: $A = 16,36 \text{ cm}^2$

Klasa stali - S235.

Najmniejszy promień bezwładności:

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{247}{16,36}} = 3,8 \text{ [cm]}$$

Długość obliczeniowa: $l = 280 \text{ cm}$

Smukłość pręta:

$$\lambda = \frac{l}{i_{min}} = \frac{280}{3,8} = 73,68 < 140 \text{ [-]}$$

Obliczenia statyczne: moduł kontenerowy PB1

2.2. Obliczenia właściwe

Wartość siły krytycznej (moduł Younga $E = 200 \text{ GPa}$):

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{4l^2} = \frac{\pi^2 * 200 \text{ GPa} * 247 \text{ cm}^4}{4 * (280 \text{ cm})^2} = 1,553 \text{ GPa} * \text{cm}^2 \cong 150,34 \text{ kN}$$

Naprężenia dopuszczalne:

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 * 200 \text{ GPa}}{73,68^2} = 0,36 \text{ GPa} = 360 \text{ MPa} = 36 \text{ kN/cm}^2$$

Obciążenie osiowe na słup (suma sił normalnych po zestawieniu schematów):

$$P = 9,67 + 13,34 \text{ kN} \cong 23,01 \text{ kN}$$

Sprawdzenie warunku:

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq \frac{\sigma_{kr}}{\chi_w}$$

Przyjęto współczynnik bezpieczeństwa na wyboczenie $\chi_w = 2,5$.

$$\sigma = \frac{23,01 \text{ kN}}{16,36 \text{ cm}^2} = 1,41 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{kr} = \frac{36 \text{ kN/cm}^2}{2,5} = 14,40 \text{ kN/cm}^2$$

Warunek nośności na wyboczenie jest spełniony.