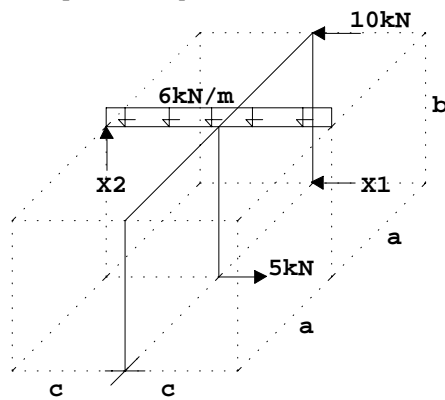
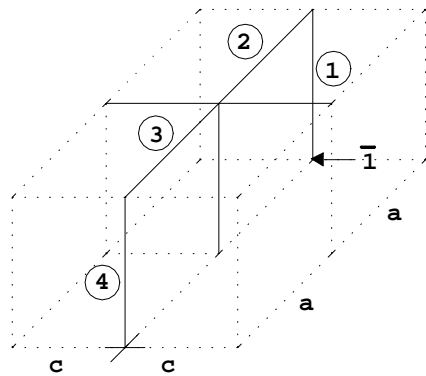


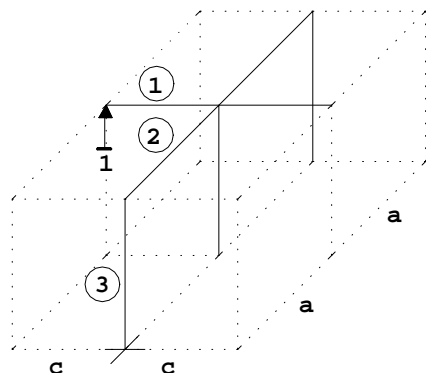
Układ podstawowy



Stan X1:



Stan X2:



Zadany przykład:

Dla przedstawionej ramy wyznaczyć wykresy sił wewnętrznych wywołanych zadaniem obciążeniem.

Przyjęto, że rama składa się z prętów stalowych o przekroju kołowym ($G=0.375E$, $I_s=2I$).

$a=2,5$ [m] $b=4$ [m] $c=3$ [m] $SSN=2$

Do obliczeń poszczególnych współczynników δ_{ik} korzystam z wzoru:

$$\sum_{j=1}^n \int \frac{M_{ix} M_{jcx}}{EI_x} dz + \sum_{j=1}^n \int \frac{M_{iy} M_{jcy}}{EI_y} dz + \sum_{j=1}^n \int \frac{M_i M_{jk}}{GI_s} dz$$

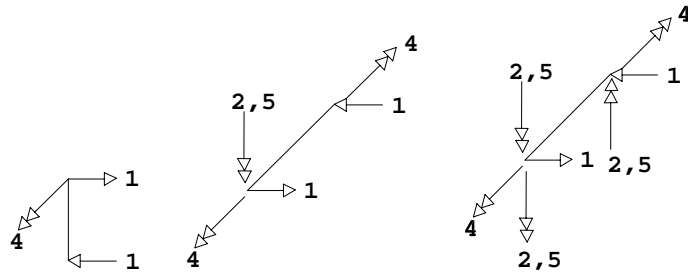
gdzie $I_x=I_y=I$; $GI_s=0.375E * 2I= 0.75EI$

Dobór układu podstawowego:

Równania kanoniczne:

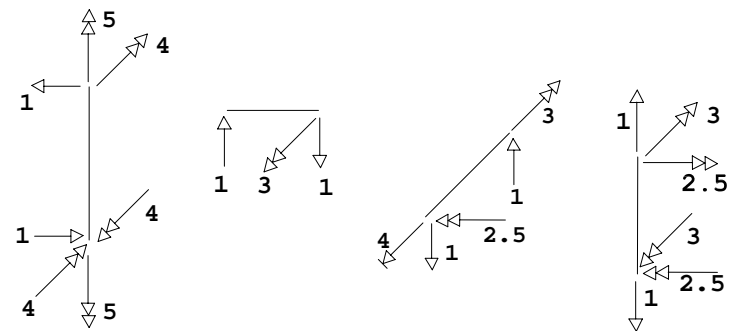
$$\begin{cases} \delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \delta_{1P} := 0 \\ \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \delta_{2P} := 0 \end{cases}$$

Wyznaczenie wartości momentów zginających i skręcających dla stanu X1:



Wyznaczenie wartości momentów zginających i skręcających dla stanu X2:

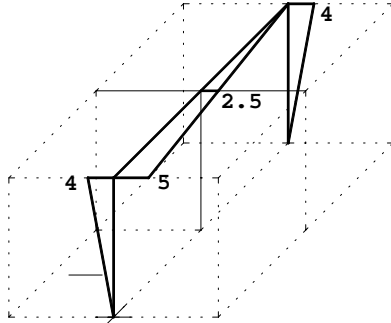
Pręt 4: Pręt nr1: Pręt nr2: Pręt nr3:



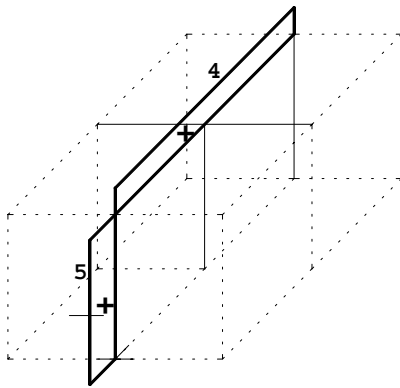


Wykresy dla stanu X1:

Momentów zginających [m]:

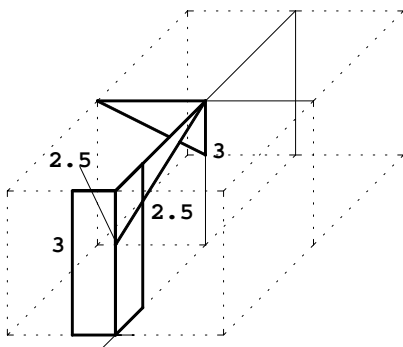


Momentów skręcających [m]:

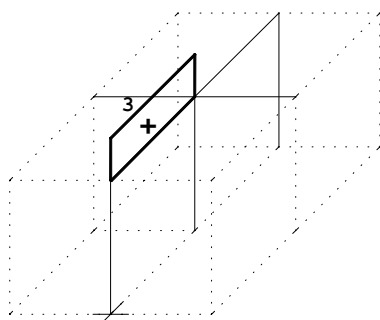


Wykresy dla stanu X2:

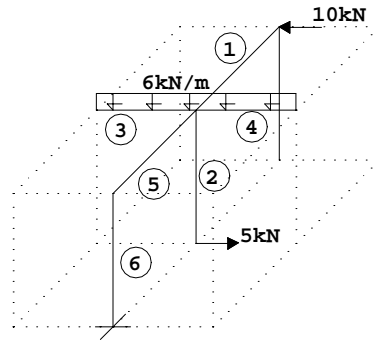
Momentów zginających [m]:



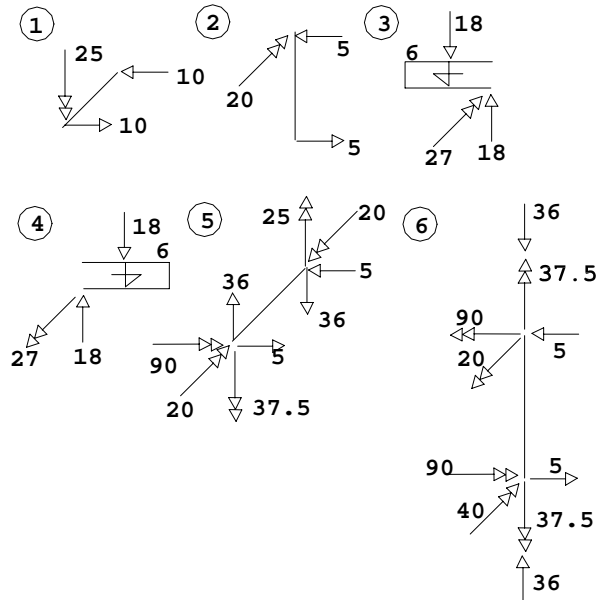
Momentów skręcających [m]:



Stan P:

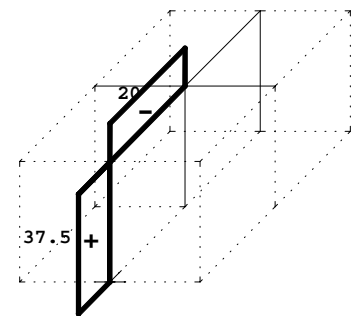
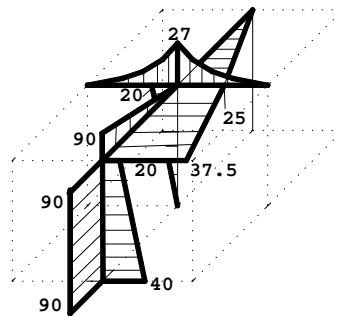


Wyznaczenie wartości momentów zginających i skręcających dla stanu P:



Wykresy dla stanu P:

Momentów zginających [kNm]: Momentów skręcających [kNm]:





Sprawdzenie kinematyczne:

Przyjmuje jako układ wirtualny, układ X1, przykładając w miejscu siły X1 siłę wirtualną równą 1.

$$\bar{1} \cdot \delta := \frac{1}{2} \cdot 14.149 \cdot 4 \cdot \frac{2}{3} \cdot 4 + \frac{1}{2} \cdot 20.929 \cdot 4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 4 + \frac{1}{2} \cdot 4.0259 \cdot 2.5 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 5 + \frac{1}{3} \cdot 2.5 \right) + \frac{1}{2} \cdot 8.26295 \cdot 2.5 \cdot \left(2.5 \cdot \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \cdot 5 \right) \\ + \frac{1}{2} \cdot 2.5 \cdot 8.26295 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2.5 + \frac{1}{2} \cdot 26.779 \cdot 4 \cdot \left(\frac{-2}{3} \cdot 4 \right) + \frac{1}{0.75} \cdot (4.0259 \cdot 4 \cdot 5 + 14.149 \cdot 2.5 \cdot 4 - 26.779 \cdot 2.5 \cdot 4)$$

$$\bar{1} \cdot \delta := \frac{1.9666666666666665 \cdot 10^{-2}}{EJ} \quad | \quad [\text{m}] \text{ Wynik jest bliski zeru zatem obliczenia uznaję za poprawne.}$$

Błąd procentowy wynosi:

$$\bar{1} \cdot \delta := 61.062333333333333333 + -61.042666666666666665 \quad | \\ \frac{1.9666666666666665 \cdot 10^{-2}}{61.062333333333333333} = 3.221 \times 10^{-4} \quad \blacksquare$$

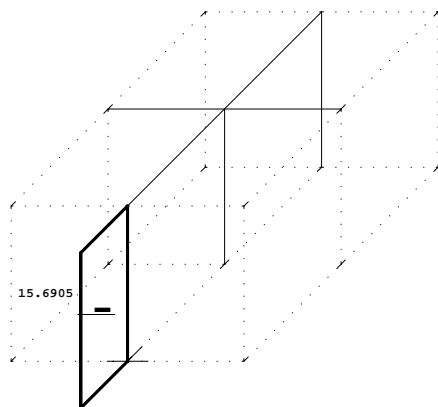
Błąd jest < 0,1% zatem zakładam, że kontrola jest poprawna.

Kontrolne sprawdzenie dla drugiego układu wirtualnego, przyjmuję w miejscu siły X2 siłę wirtualną równą 1.

$$\bar{1} \cdot \delta := \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 33.929 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 + \frac{2}{3} \cdot \frac{6 \cdot 3^2}{8} \cdot 3 \cdot 1.5 + \frac{1}{2} \cdot 2.5 \cdot 39.226 \cdot \frac{2}{3} \cdot (-2.5) + 39.226 \cdot 4 \cdot (-2.5) \\ + \frac{1}{2} \cdot (14.149 + 20.929) \cdot 4 \cdot 3 + \frac{1}{0.75} \cdot (14.149 \cdot 2.5 \cdot 3)$$

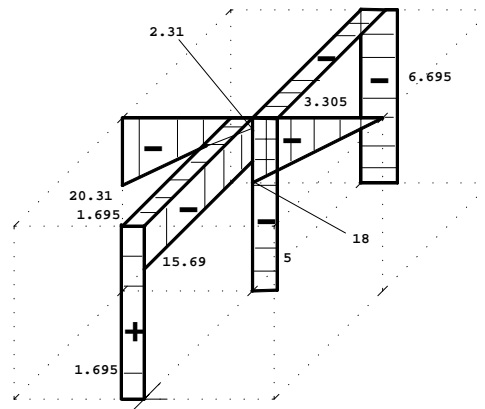
$$\bar{1} \cdot \delta := \frac{1.4166666666666667 \cdot 10^{-2}}{EJ} \quad | \quad [\text{m}] \text{ Wynik jest bliski zeru, co jest potwierdzeniem poprawności obliczeń.}$$

Wykres sil Normalnych występujących w ramie:



N[kN]

Wykres sil Tnących występujących w ramie:



T[kN]