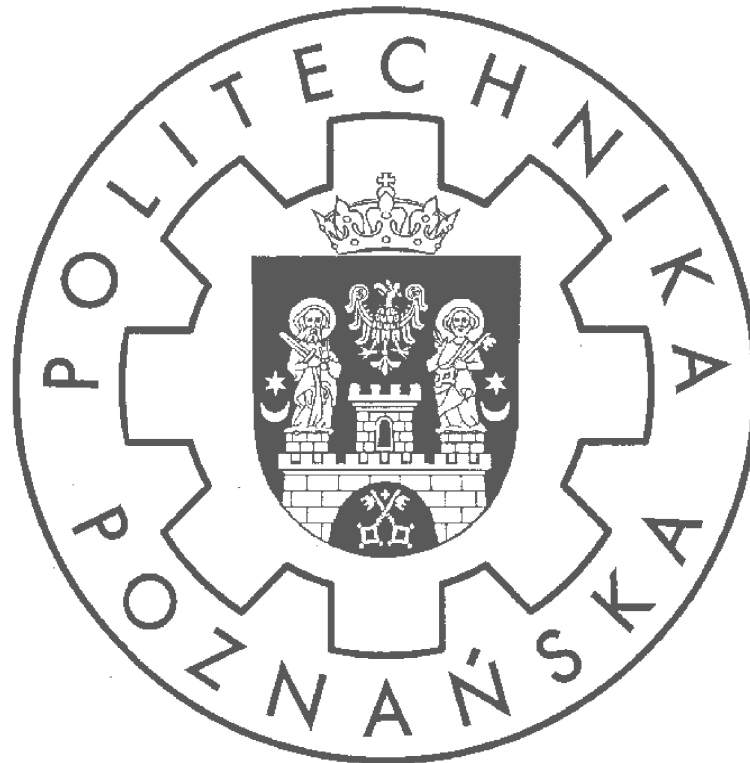


Politechnika Poznańska
Instytut Konstrukcji Budowlanych
Zakład Mechaniki Budowli



Ćwiczenie projektowe nr 2

Metoda sił

Prowadzący:

Autor:

Nr indeksu:

Semestr:

Rok:

mgr inż. Anita Kaczor

Robert Dybionka

Jakub Stasiak

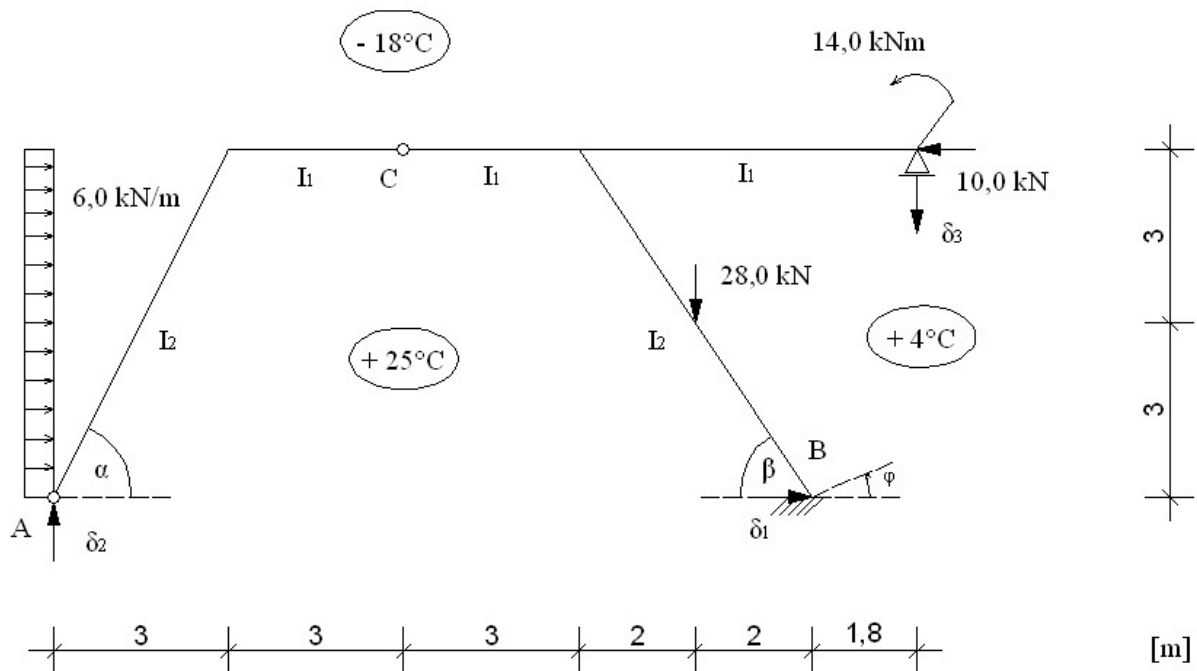
113012, 113010

III (pierwszy stopień)

2013/2014

Wyznaczyć rozkład sił wewnętrznych w ramie od zadanych sił zewnętrznych, wpływów termicznych i osiadania podpór. Obliczyć obrót przekroju w punkcie *A* od sił zewnętrznych oraz przemieszczenie pionowe w p.*C* wywołane osiadaniami podpór, z wykorzystaniem twierdzenia redukcyjnego.

1. Schemat statyczny ramy



2. Dane wyjściowe do projektu

- $t_m = +16 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\delta_1 = 0,4 \text{ cm}$
- $\delta_2 = 1,7 \text{ cm}$
- $\delta_3 = 2,5 \text{ cm}$
- $\varphi = 1,5^\circ = 0,026180 \text{ rad}$
- $\sin \alpha = 0,89443$
- $\cos \alpha = 0,44721$
- $\sin \beta = 0,83205$
- $\cos \beta = 0,55470$
- $\sigma_{\text{dop}} = 215 \text{ MPa}$
- $E = 205 \text{ GPa}$
- $\alpha_t = 1,2 \cdot 10^{-5} \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$

Przyjęto:

- przekrój nr 1: I200 PE: $I_1 = 1940 \text{ cm}^4$, $w_1 = 194 \text{ cm}^3$, $A_1 = 28,5 \text{ cm}^2$;
- przekrój nr 2: I240 PE: $I_2 = 3890 \text{ cm}^4$, $w_2 = 324 \text{ cm}^3$, $A_2 = 39,1 \text{ cm}^2$.

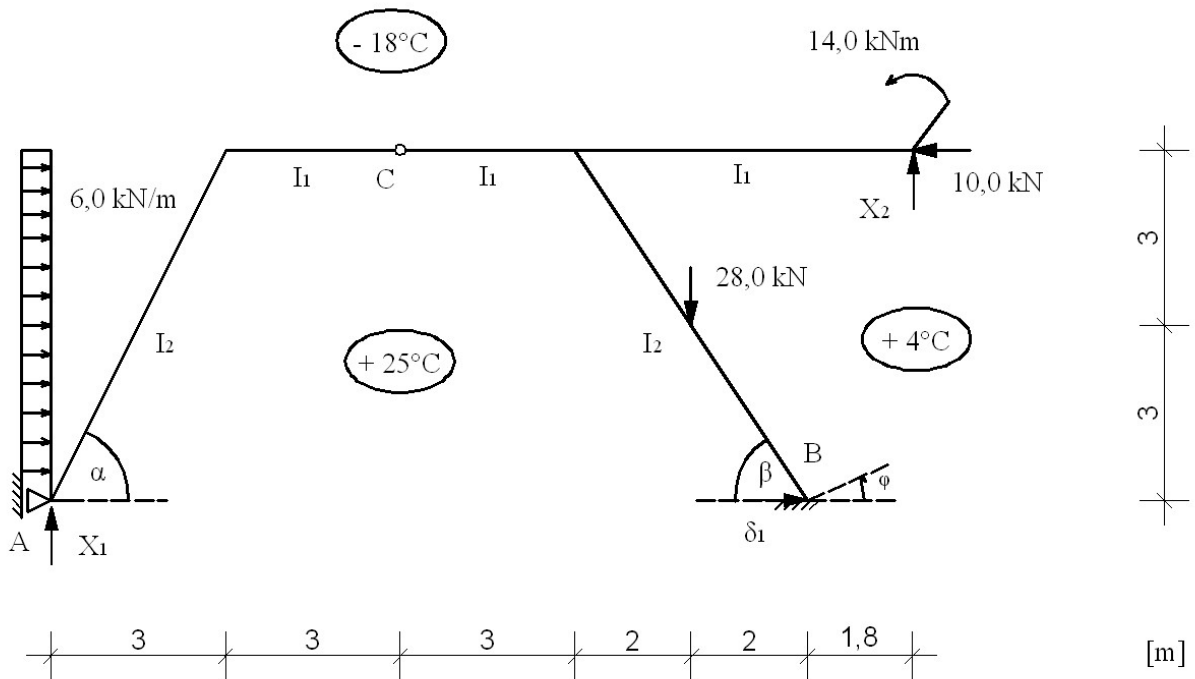
Sztywności prętów uzależniono od sztywności porównawczej EI_2 , zatem:

$$EI_2 = EI_0$$

$$EI_1 = 0,49871 \cdot EI_0$$

Stopień statycznej niewyznaczalności: $SSN = 2$

3. Układ podstawowy

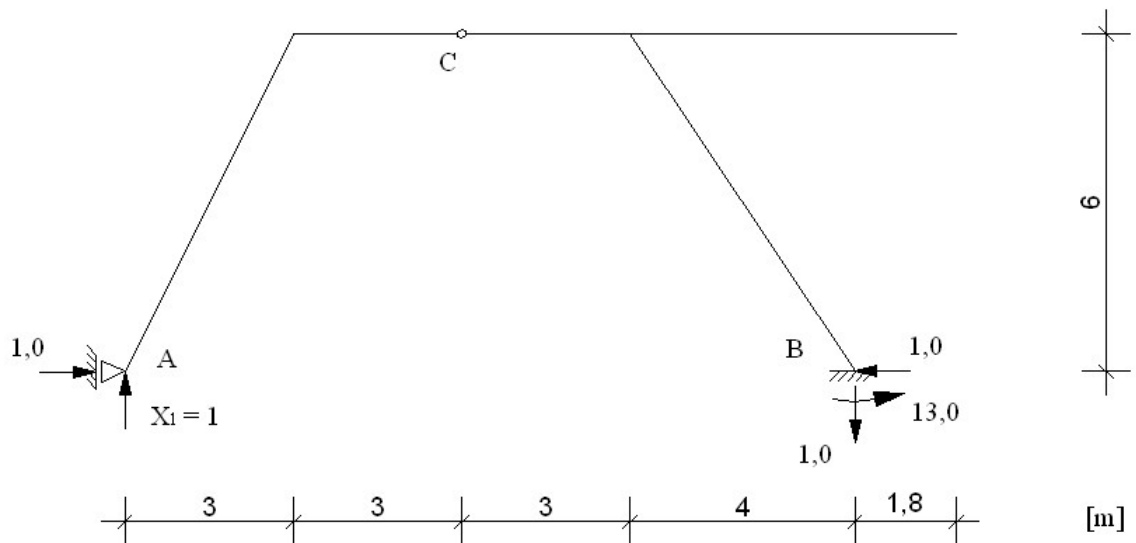


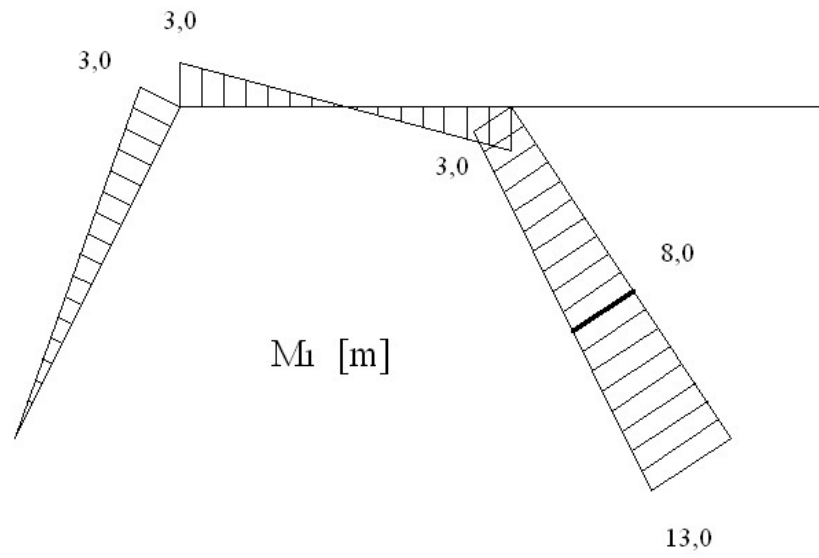
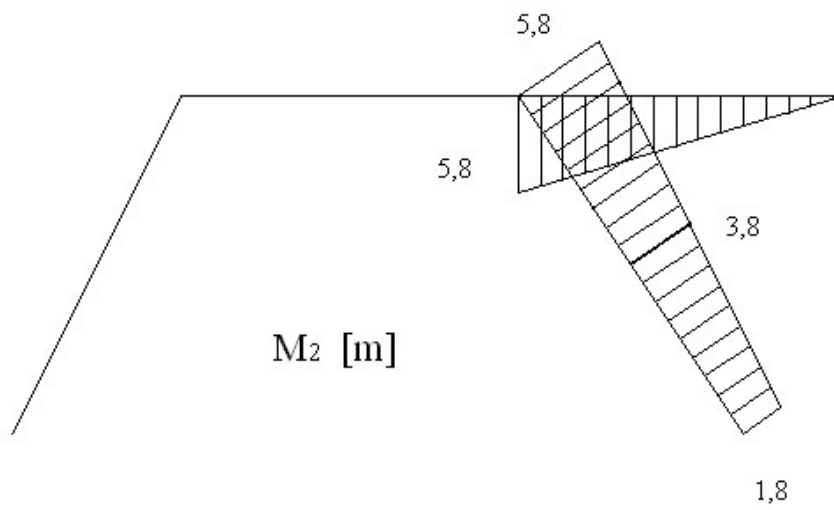
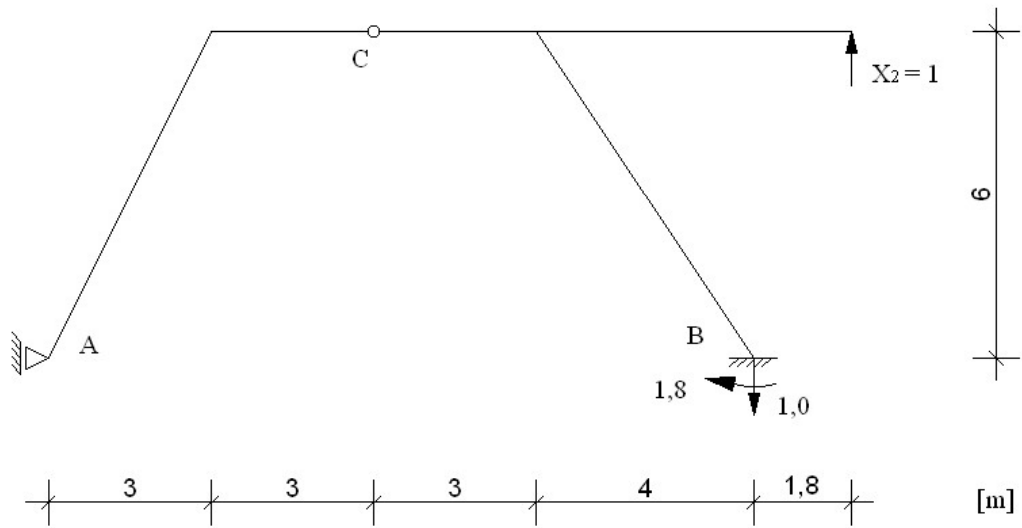
4. Układ równań kanonicznych

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

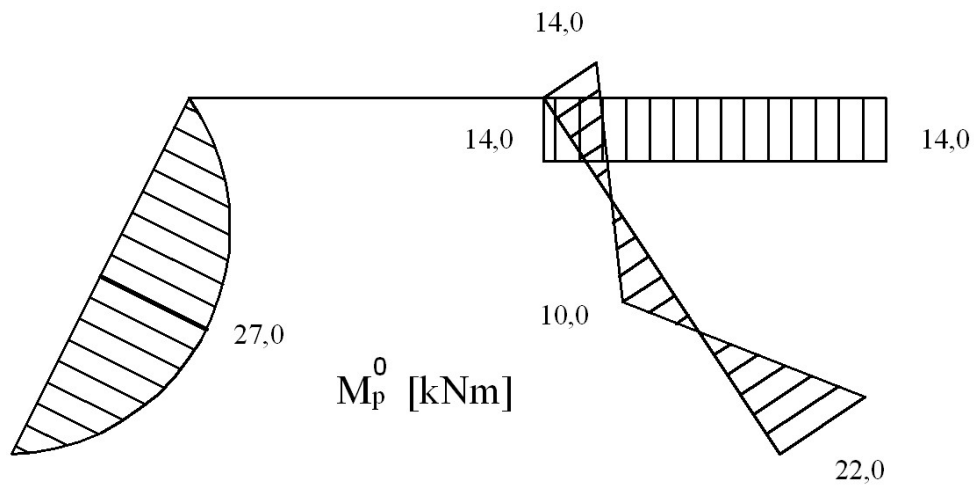
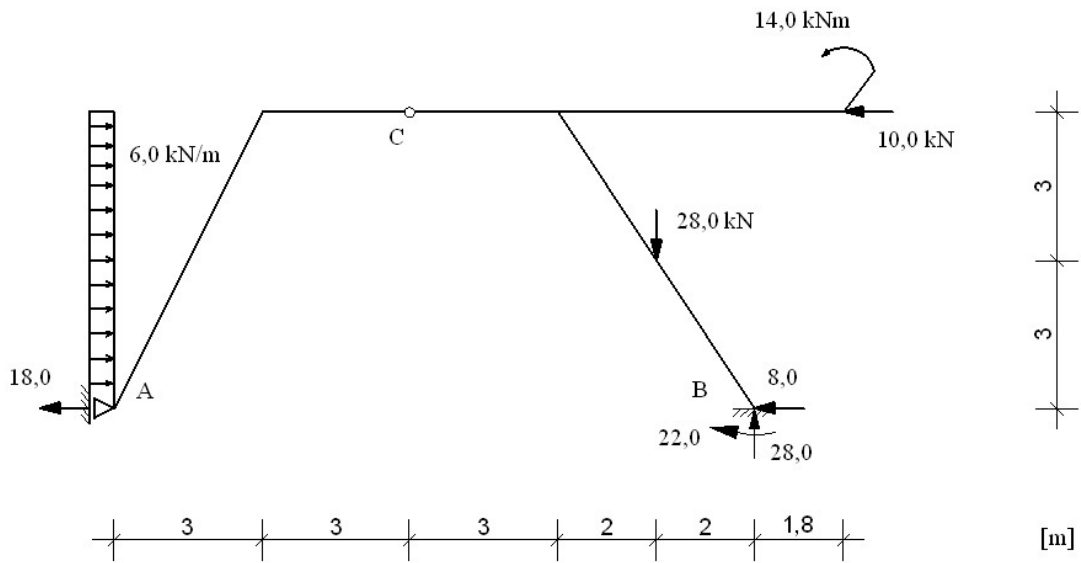
5. Stany jednostkowe

5.1. Stan $X_1 = 1$



5.2. Stan $X_2 = 1$ 

5.3. Stan „P”

6. Obliczenie elementów macierzy podatności δ_{ik} oraz współczynników δ_{iP}

$$\begin{aligned}
 \delta_{11} &= \sum \int \frac{M_1 \cdot M_1}{EI} dx \\
 &= \frac{1}{EI_0} \left[\frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 6,7082 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 \right. \\
 &\quad + \frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 7,2111 \\
 &\quad \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 3,0 + \frac{1}{3} \cdot 13,0 \right) + \frac{1}{2} \cdot 13,0 \cdot 7,2111 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 13,0 + \frac{1}{3} \cdot 3,0 \right) \left. \right] \\
 &\quad + \frac{1}{0,49871 \cdot EI_0} \left[\frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 3,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 \cdot 2 \right] = \frac{577,82}{EI_0}
 \end{aligned}$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \sum \int \frac{M_1 \cdot M_2}{EI} dx = \frac{1}{EI_0} \left[-\frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 7,2111 \left(\frac{2}{3} \cdot 5,8 + \frac{1}{3} \cdot 1,8 \right) - \frac{1}{2} \cdot 13,0 \cdot 7,2111 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 1,8 + \frac{1}{3} \cdot 5,8 \right) \right] = -\frac{195,18}{EI_0}$$

$$\delta_{22} = \sum \int \frac{M_2 \cdot M_2}{EI} dx = \frac{1}{EI_0} \left[\frac{1}{2} \cdot 5,8 \cdot 7,2111 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 5,8 + \frac{1}{3} \cdot 1,8 \right) + \frac{1}{2} \cdot 1,8 \cdot 7,2111 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 5,8 + \frac{2}{3} \cdot 1,8 \right) \right] + \frac{1}{0,49871 \cdot EI_0} \left[\frac{1}{2} \cdot 5,8 \cdot 5,8 \cdot \frac{2}{3} \cdot 5,8 \right] = \frac{244,15}{EI_0}$$

$$\delta_{1P} = \sum \int \frac{M_1 M_P^0}{EI} dx = \frac{1}{EI_0} \left[-\frac{2}{3} \cdot \frac{6 \cdot 6^2}{8} \cdot 6,7082 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3,0 + \frac{1}{2} \cdot 22,0 \cdot 3,6056 \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot 13,0 - \frac{1}{3} \cdot 8,0 \right) + \frac{1}{2} \cdot 10,0 \cdot 3,6056 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 8,0 + \frac{1}{3} \cdot 13,0 \right) + \frac{1}{2} \cdot 10,0 \cdot 3,6056 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 8,0 + \frac{1}{3} \cdot 3,0 \right) + \frac{1}{2} \cdot 14,0 \cdot 3,6056 \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot 3,0 - \frac{1}{3} \cdot 8,0 \right) \right] = -\frac{459,95}{EI_0}$$

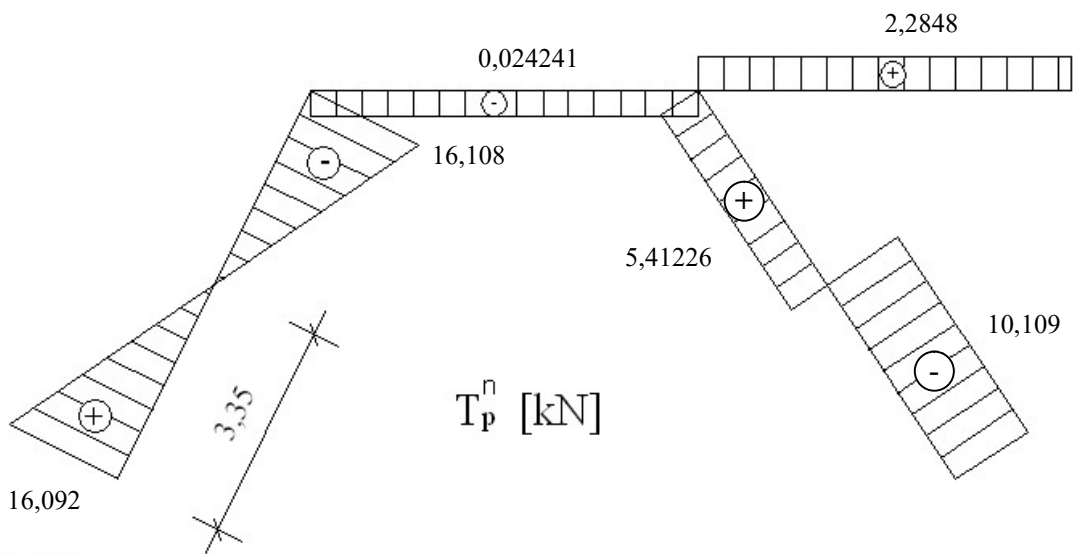
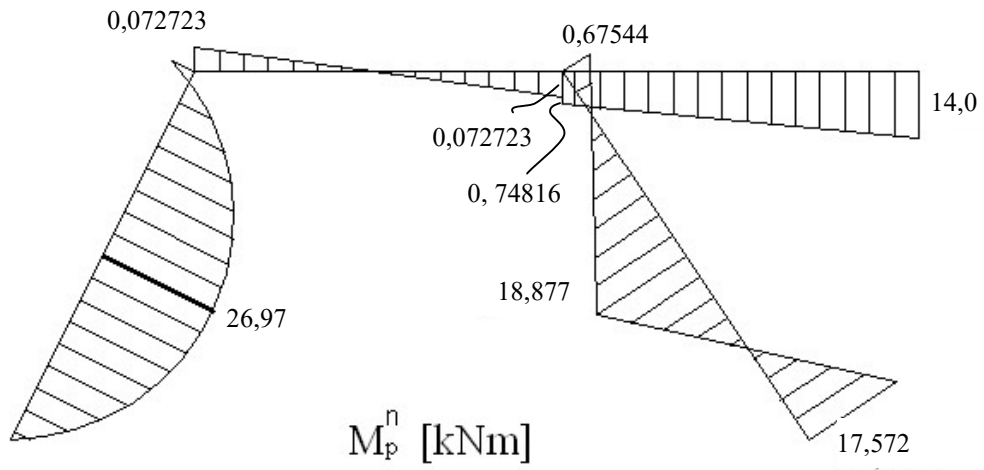
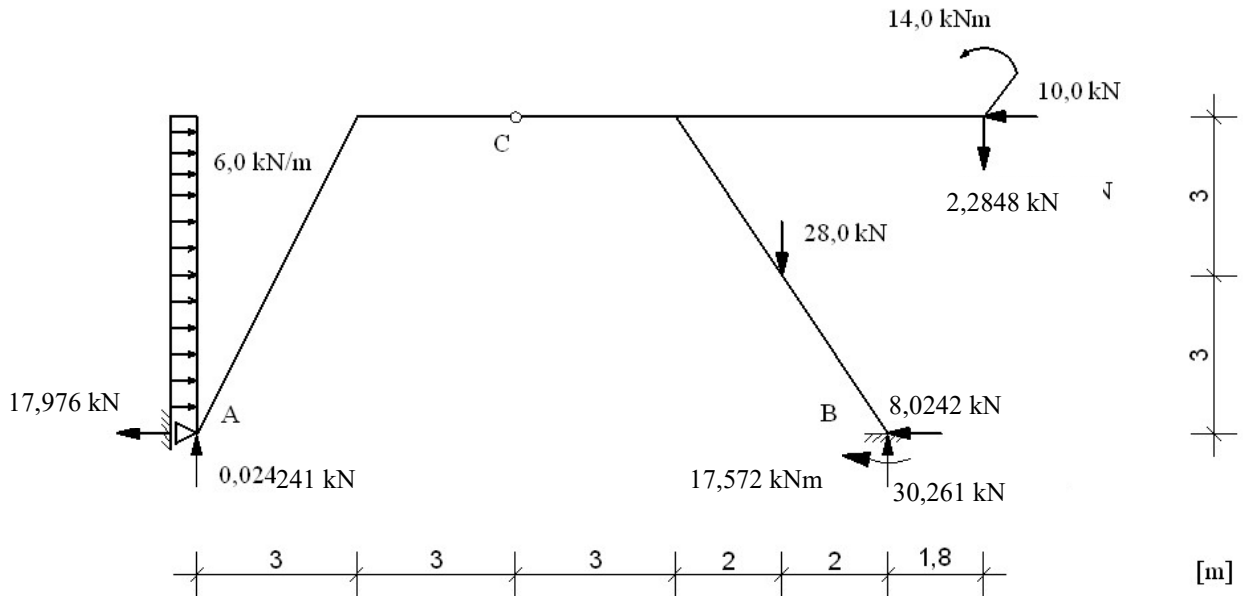
$$\delta_{2P} = \sum \int \frac{M_2 M_P^0}{EI} dx = \frac{1}{EI_0} \left[\frac{1}{2} \cdot 22,0 \cdot 3,6056 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 1,8 + \frac{1}{3} \cdot 3,8 \right) + \frac{1}{2} \cdot 10,0 \cdot 3,6056 \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot 3,8 - \frac{1}{3} \cdot 1,8 \right) + \frac{1}{2} \cdot 10,0 \cdot 3,6056 \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot 3,8 - \frac{1}{3} \cdot 5,8 \right) + \frac{1}{2} \cdot 14,0 \cdot 3,6056 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 5,8 + \frac{1}{3} \cdot 3,8 \right) \right] + \frac{1}{0,49871 \cdot EI_0} \left[\frac{1}{2} \cdot 5,8 \cdot 5,8 \cdot 14,0 \right] = \frac{562,56}{EI_0}$$

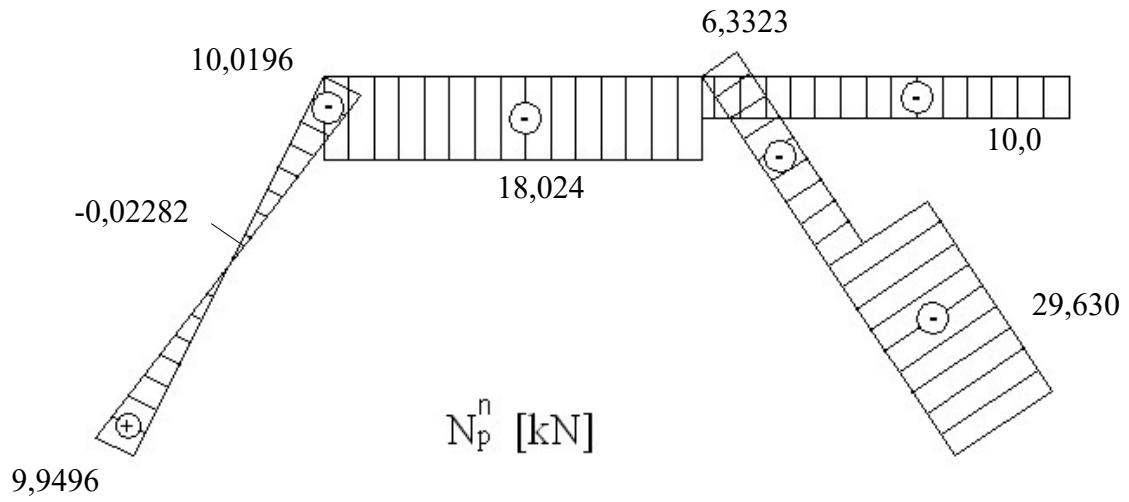
7. Obliczenie wartości niewiadomych X_1 oraz X_2

$$\begin{cases} \frac{577,82}{EI_0} \cdot X_1 - \frac{195,18}{EI_0} \cdot X_2 - \frac{459,95}{EI_0} = 0 \\ -\frac{195,18}{EI_0} \cdot X_1 + \frac{244,15}{EI_0} \cdot X_2 + \frac{562,56}{EI_0} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_1 = 0,024241 \text{ kN} \\ X_2 = -2,2848 \text{ kN} \end{cases}$$

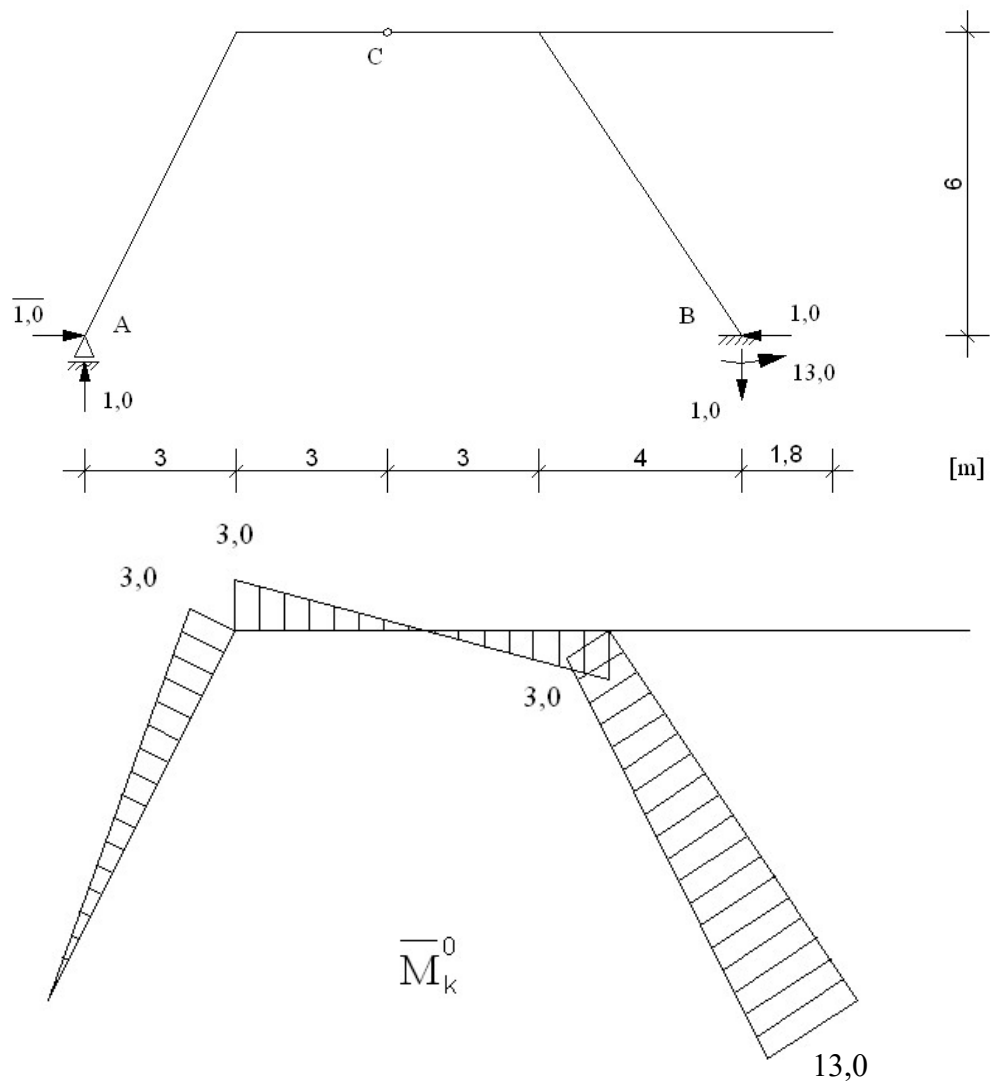
8. Siły przekrojowe (M, T, N)





9. Sprawdzenie kinematyczne

9.1. Schemat statyczny z obciążeniem wirtualnym



$$\begin{aligned}
\delta_A^h &= \sum \int \frac{\overline{M_k^0} \cdot M_P^n}{EI} dx = \\
&= \frac{1}{EI_0} \left[\frac{1}{2} \cdot 0,072723 \cdot 6,7082 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 - \frac{2}{3} \cdot \frac{6 \cdot 6^2}{8} \cdot 6,7082 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3,0 \right. \\
&+ \frac{1}{2} \cdot 17,572 \cdot 3,6056 \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot 13,0 - \frac{1}{3} \cdot 8,0 \right) + \frac{1}{2} \cdot 18,877 \cdot 3,6056 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 8,0 + \frac{1}{3} \cdot 13,0 \right) \\
&+ \frac{1}{2} \cdot 18,877 \cdot 3,6056 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 8,0 + \frac{1}{3} \cdot 3,0 \right) + \frac{1}{2} \cdot 0,67544 \cdot 3,6056 \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot 3,0 - \frac{1}{3} \cdot 8,0 \right) \left. \right] \\
&+ \frac{1}{0,49871 \cdot EI_0} \left[\frac{1}{2} \cdot 0,072723 \cdot 3,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 \cdot 2 \right] = \frac{0,036}{EI_0} \\
|\delta_A^h| &< \frac{1}{EI_0} \\
|\delta_A^h| &\cong 0
\end{aligned}$$

10. Sprawdzenie naprężeń w przekrojach

$$\sigma = \frac{|N|}{A} + \frac{|M|}{w}$$

10.1. Przekrój nr 1

$$\sigma = \frac{10,0 \cdot 10^{-3}}{28,5 \cdot 10^{-4}} + \frac{14,0 \cdot 10^{-3}}{194 \cdot 10^{-6}} = 75,67 \text{ MPa}$$

$$75,67 \text{ MPa} < 215 \text{ MPa}$$

$$\sigma < \sigma_{dop}$$

10.2. Przekrój nr 2

$$\sigma = \frac{0,02282 \cdot 10^{-3}}{39,1 \cdot 10^{-4}} + \frac{26,97 \cdot 10^{-3}}{324 \cdot 10^{-6}} = 83,25 \text{ MPa}$$

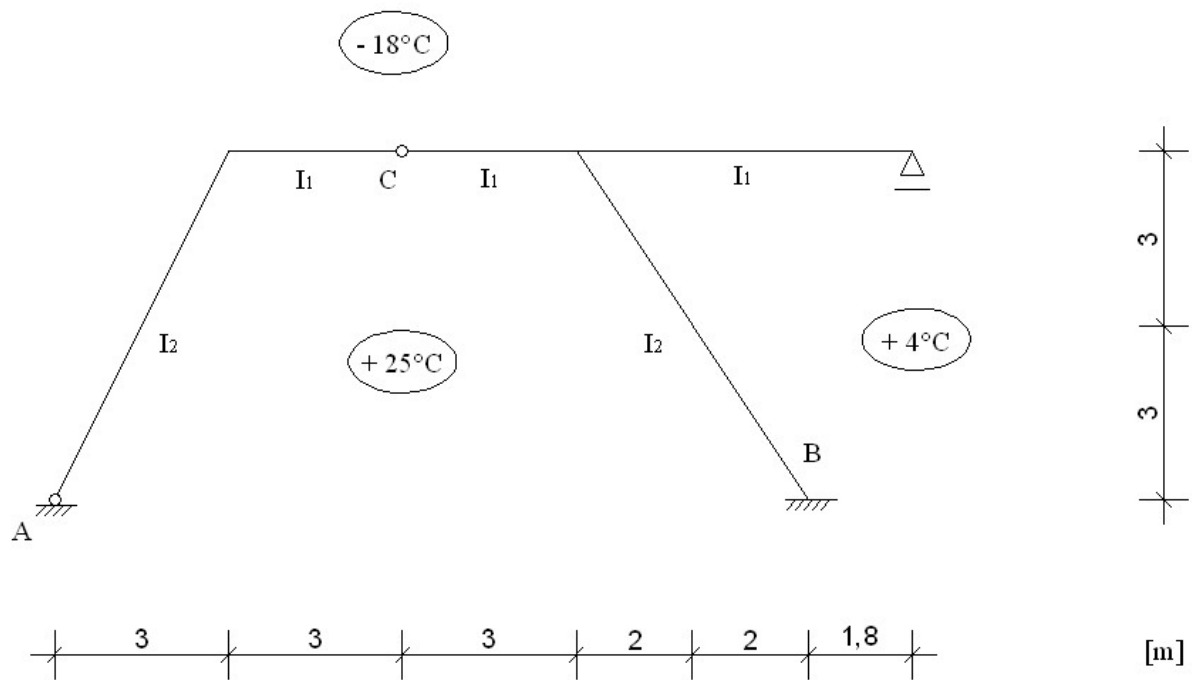
$$83,25 \text{ MPa} < 215 \text{ MPa}$$

$$\sigma < \sigma_{dop}$$

10.3. Wnioski

Naprężenia w obu grupach przekrojów I_1 oraz I_2 nie przekraczają wartości dopuszczalnych naprężeń (215 MPa). Jednak przyjęte przekroje są za duże, co jest nieekonomiczne, więc należałoby przyjąć mniejsze przekroje, wyznaczyć rozkład momentów zginających dla nowego współczynnika $n = \frac{l_1}{l_2}$ i ponownie sprawdzić naprężenia dla obu grup prętów.

11. Obliczenie sił przekrojowych od wpływu temperatury

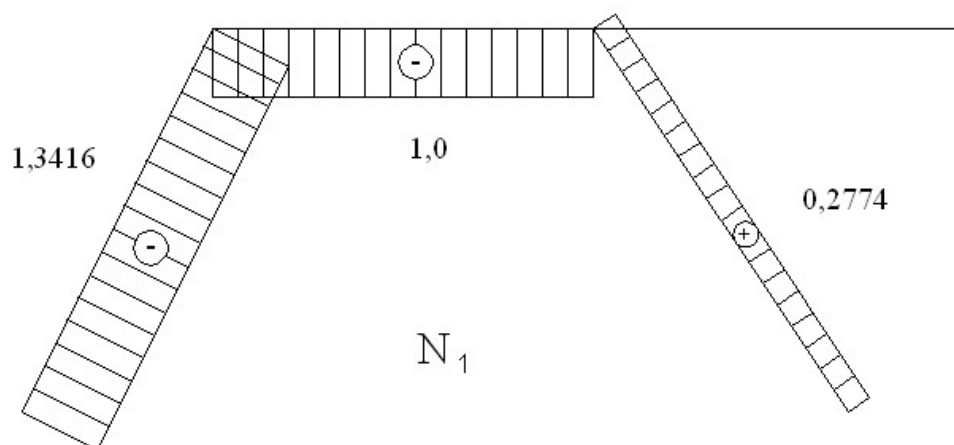


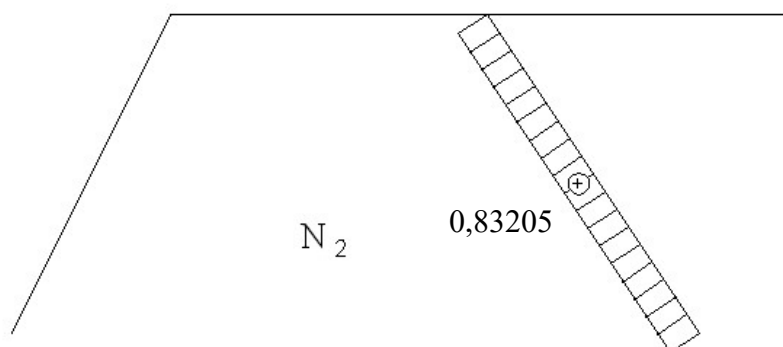
11.1. Macierz podatności – jak poprzednio:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \frac{577,82}{EI_0} & -\frac{195,18}{EI_0} \\ -\frac{195,18}{EI_0} & \frac{244,15}{EI_0} \end{bmatrix}$$

11.2. Wykresy momentów zginających w stanach jednostkowych – jak poprzednio (pkt. 5)

11.3. Wykresy sił normalnych N_1 i N_2 :





11.4. Obliczenie współczynników δ_{iT}

$$\delta_{iT} = \sum \int M_i \cdot \alpha_t \cdot \frac{\Delta t}{h} dx + \sum \int N_i \cdot \alpha_t \cdot t_0 dx$$

$$\begin{aligned} \delta_{1T} &= 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{43}{0,24} \cdot \left[-\frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 6,7082 \right] \\ &+ 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{21}{0,24} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 7,2111 + \frac{1}{2} \cdot 13,0 \cdot 7,2111 \right] \\ &+ 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{43}{0,2} \cdot \left[-\frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 3,0 + \frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 3,0 \right] \\ &+ 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{25-18}{2} - 16 \right) \cdot [(-1,3416) \cdot 6,7082 + (-1,0) \cdot 6,0] \\ &+ 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{25+4}{2} - 16 \right) \cdot [0,27735 \cdot 7,2111] = \mathbf{0,041153 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{2T} &= 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{21}{0,24} \cdot \left[-\frac{1}{2} \cdot 5,8 \cdot 7,2111 - \frac{1}{2} \cdot 1,8 \cdot 7,2111 \right] \\ &+ 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{22}{0,2} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot 5,8 \cdot 5,8 \right] \\ &+ 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{25+4}{2} - 16 \right) \cdot [0,83205 \cdot 7,2111] = \mathbf{-0,0066779 \text{ m}} \end{aligned}$$

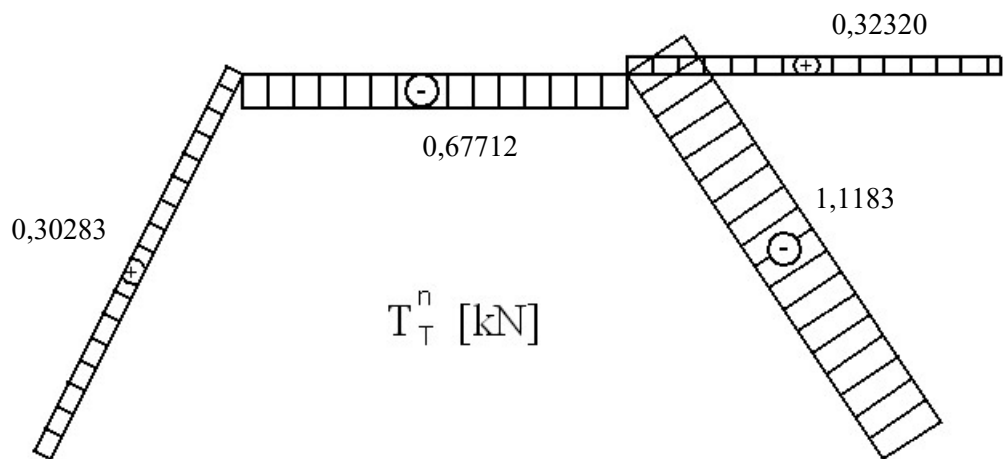
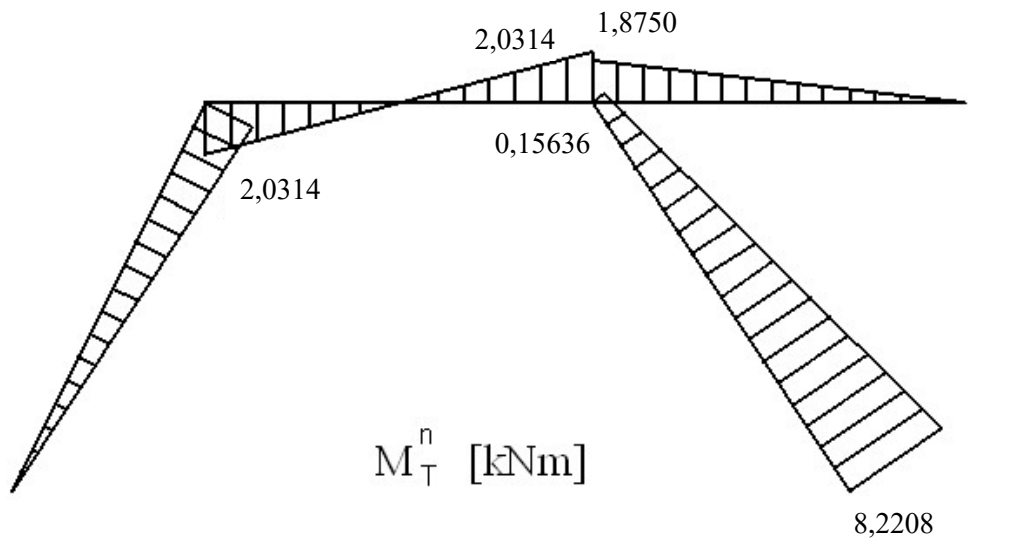
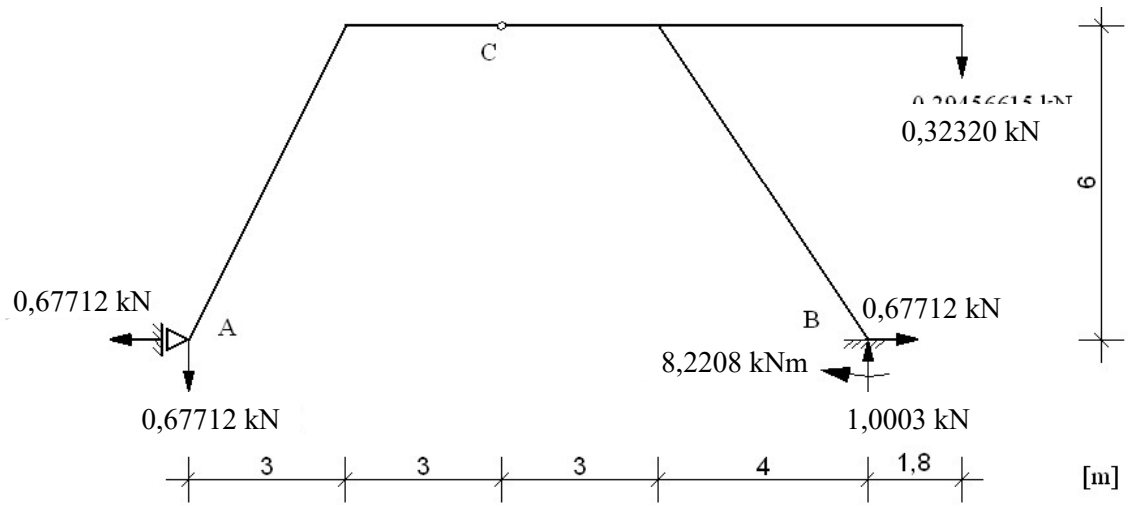
11.5. Obliczenie wartości niewiadomych X_1 oraz X_2

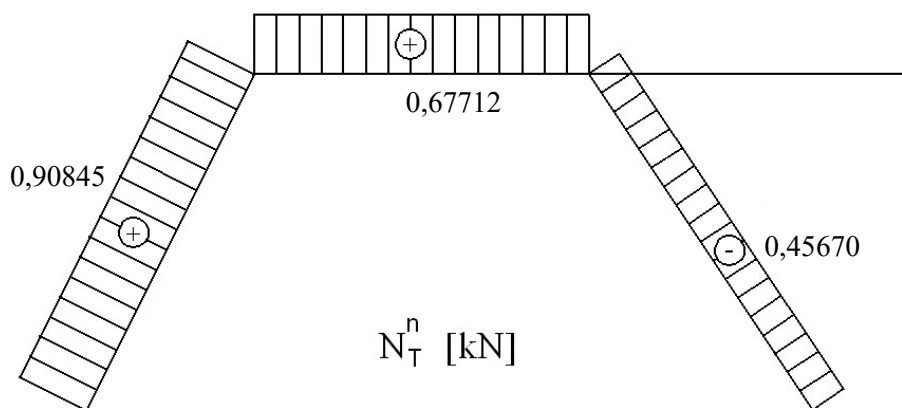
$$\begin{cases} \frac{577,82}{EI_0} \cdot X_1 - \frac{195,18}{EI_0} \cdot X_2 + 0,041153 = 0 \\ -\frac{195,18}{EI_0} \cdot X_1 + \frac{244,15}{EI_0} \cdot X_2 - 0,0066779 = 0 \end{cases}$$

Mnożąc całość przez EI_0 oraz podstawiając: $EI_0 = 7974,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$, otrzymujemy:

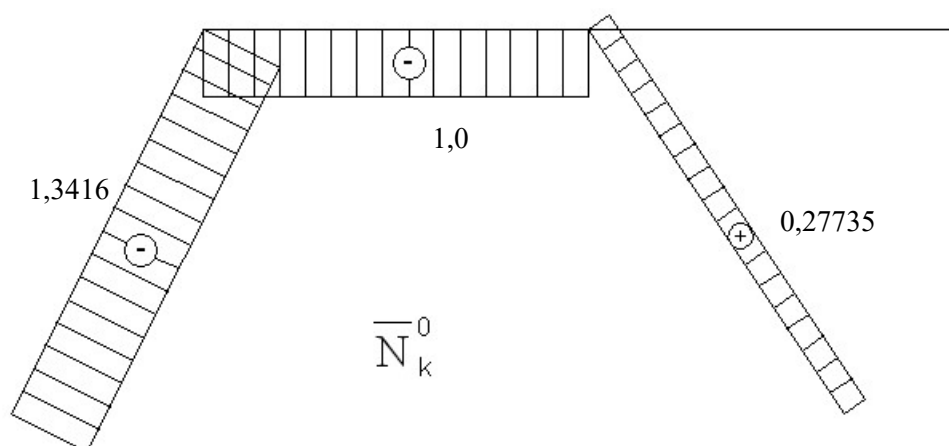
$$\begin{cases} 577,82 \cdot X_1 - 195,18 \cdot X_2 + 328,17 = 0 \\ -195,18 \cdot X_1 + 244,15 \cdot X_2 - 53,253 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_1 = -0,67712 \text{ kN} \\ X_2 = -0,32320 \text{ kN} \end{cases}$$

11.6. Wykresy sił przekrojowych (M, T, N)

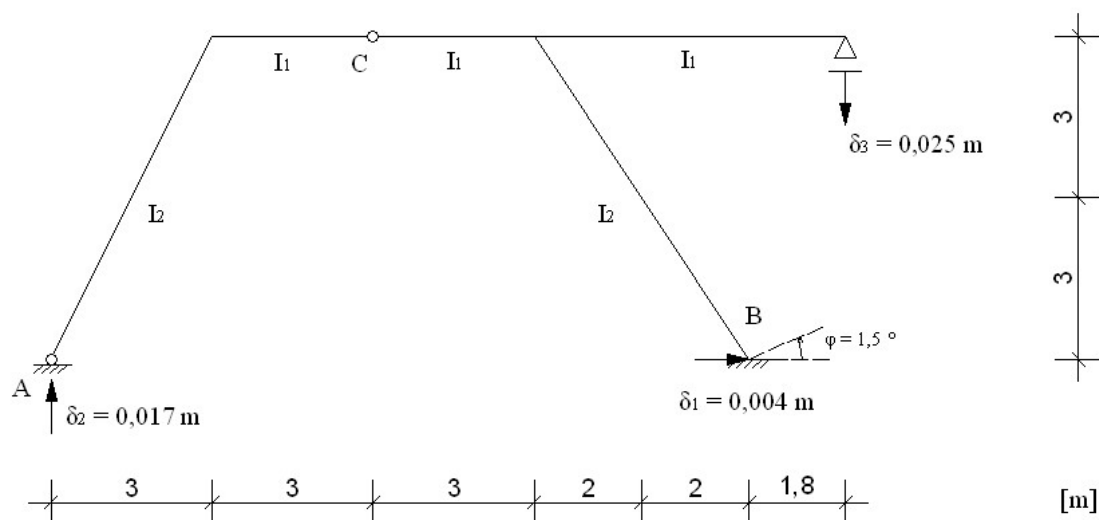


11.7. Sprawdzenie kinematyczne – schemat oraz wykres momentów zginających od obciążenia wirtualnego jak poprzednio (pkt. 9), wykres sił normalnych:



$$\begin{aligned}
 \delta_A^h &= \sum \int \frac{\bar{M}_k^0 \cdot M_T^n}{EI} dx + \sum \int \bar{M}_k^0 \cdot \alpha_t \cdot \frac{\Delta t}{h} dx + \sum \int \bar{N}_k^0 \cdot \alpha_t \cdot t_0 dx \\
 &= \frac{1}{EI_0} \left[-\frac{1}{2} \cdot 2,0314 \cdot 6,7082 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 - \frac{1}{2} \cdot 8,2208 \cdot 7,2111 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 13,0 + \frac{1}{3} \cdot 3,0 \right) \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{2} \cdot 0,15636 \cdot 7,2111 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 3,0 + \frac{1}{3} \cdot 13,0 \right) \right] \\
 &\quad + \frac{1}{0,49871 \cdot EI_0} \cdot \left[-\frac{1}{2} \cdot 2,0314 \cdot 3,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 \cdot 2 \right] + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{43}{0,24} \cdot \left[-\frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 6,7082 \right] \\
 &\quad + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{21}{0,24} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot 13,0 \cdot 7,2111 + \frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 7,2111 \right] \\
 &\quad + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{43}{0,2} \cdot \left[-\frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 3,0 + \frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 3,0 \right] \\
 &\quad + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (-12,5) \cdot [-1,3416 \cdot 6,7082 - 1,0 \cdot 6,0] \\
 &\quad + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (-1,5) \cdot 0,27735 \cdot 7,2111 = -\frac{329,4}{EI_0} + 0,041153 \\
 &= -\frac{329,4}{EI_0} + \frac{0,041153 \cdot 7974,5}{EI_0} = -\frac{328,16}{EI_0} + \frac{328,17}{EI_0} = \frac{\mathbf{0,01}}{EI_0} \\
 &\quad |\delta_A^h| < \frac{1}{EI_0} \\
 &\quad |\delta_A^h| \cong 0
 \end{aligned}$$

12. Obliczenie sił przekrojowych od osiadania podpór



12.1. Macierz podatności – jak poprzednio:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \frac{577,82}{EI_0} & -\frac{195,18}{EI_0} \\ -\frac{195,18}{EI_0} & \frac{244,15}{EI_0} \end{bmatrix}$$

12.2. Stany jednostkowe – jak poprzednio (pkt. 5)

12.3. Obliczenie współczynników $\delta_{i\Delta}$

$$\delta_{i\Delta} = -\sum R_i \cdot \Delta$$

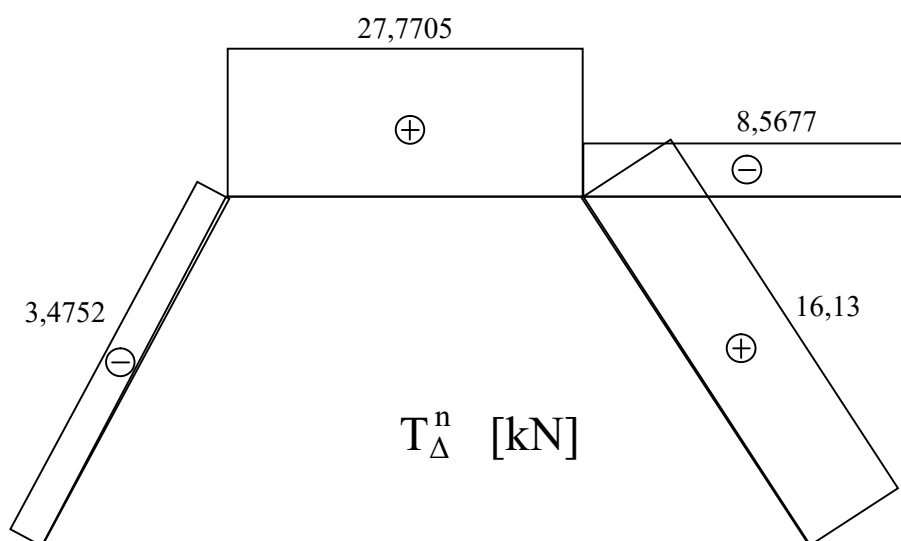
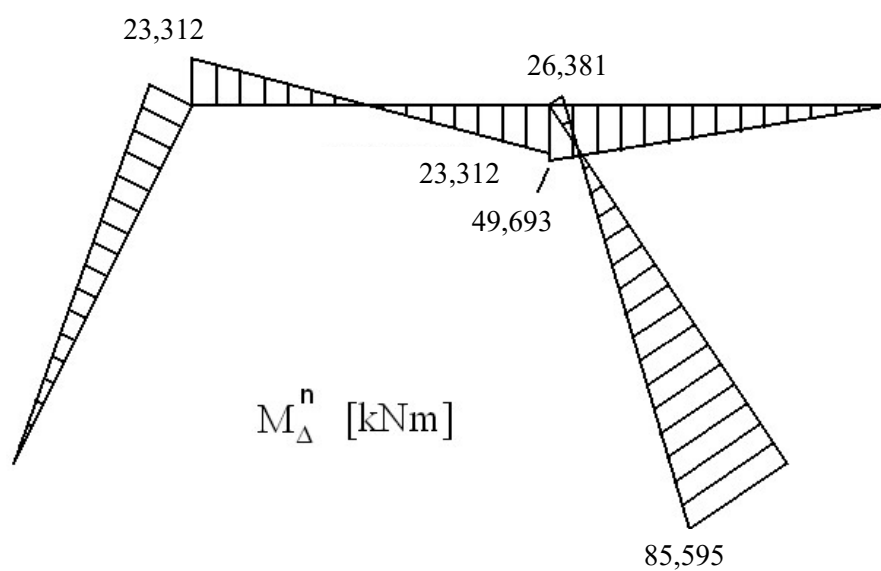
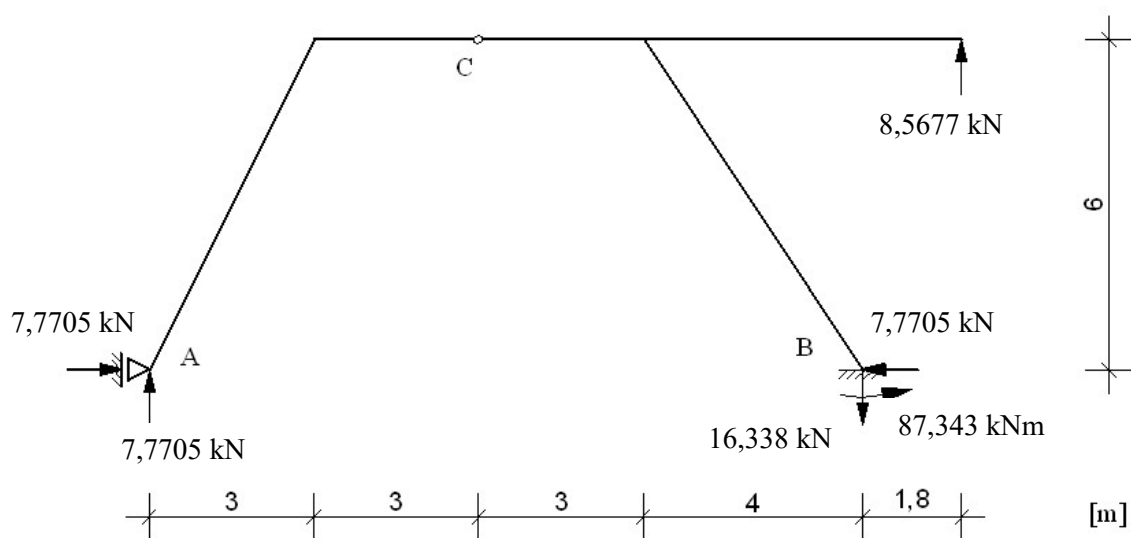
$$\begin{aligned} \delta_{1\Delta} &= -\sum R_1 \cdot \Delta = -(13,0 \cdot 0,026180 - 1,0 \cdot 0,004 + 1,0 \cdot 0,017) \\ &= -\mathbf{0,35334 \text{ m}} \end{aligned}$$

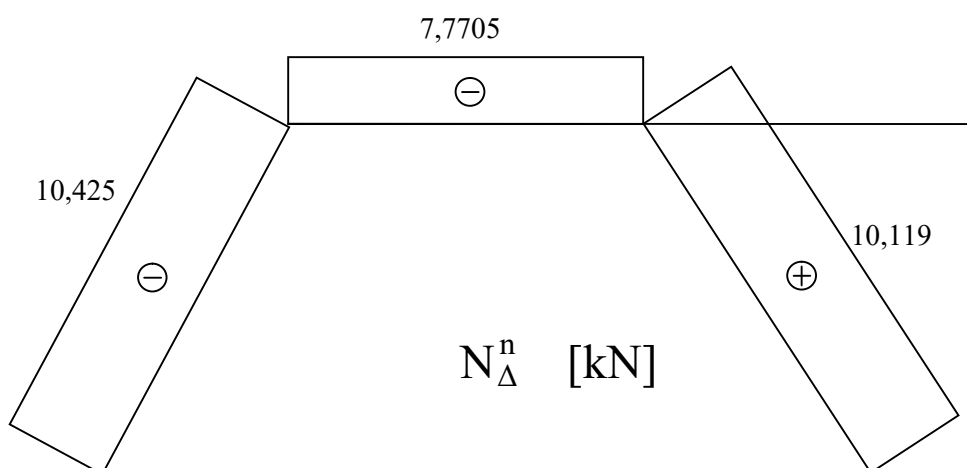
$$\delta_{2\Delta} = -\sum R_2 \cdot \Delta = -(-1,8 \cdot 0,026180 - 1,0 \cdot 0,025) = \mathbf{0,072124 \text{ m}}$$

12.4. Obliczenie wartości niewiadomych X_1 oraz X_2

$$\begin{cases} \frac{577,82}{EI_0} \cdot X_1 - \frac{195,18}{EI_0} \cdot X_2 - 0,35334 = 0 \\ -\frac{195,18}{EI_0} \cdot X_1 + \frac{244,15}{EI_0} \cdot X_2 + 0,072124 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_1 = 7,7705 \text{ kN} \\ X_2 = 8,5677 \text{ kN} \end{cases}$$

12.5. Wyznaczenie sił przekrojowych (M , T , N)



12.6. Sprawdzenie kinematyczne (schemat jak poprzednio – pkt. 9)

$$\begin{aligned}
 \delta_A^h &= \sum \int \frac{\overline{M}_k^0 \cdot M_{\Delta}^n}{EI} dx - \sum \overline{R}_k^0 \cdot \Delta \\
 &= \frac{1}{EI_0} \left[\frac{1}{2} \cdot 23,312 \cdot 6,7082 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 \right. \\
 &\quad + \frac{1}{2} \cdot 85,595 \cdot 7,2111 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 13,0 + \frac{1}{3} \cdot 3,0 \right) \\
 &\quad \left. - \frac{1}{2} \cdot 26,381 \cdot 7,2111 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 3,0 + \frac{1}{3} \cdot 13,0 \right) \right] \\
 &\quad + \frac{1}{0,49871 \cdot EI_0} \left[\frac{1}{2} \cdot 23,312 \cdot 3,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 \cdot 2 \right] \\
 &\quad - [13,0 \cdot 0,026180 - 1,0 \cdot 0,004 + 1,0 \cdot 0,017] = \frac{2817,7}{EI_0} - 0,35334 \\
 &= \frac{2817,7}{EI_0} - \frac{0,35334 \cdot 9794,5}{EI_0} = \frac{2817,7}{EI_0} - \frac{2817,7}{EI_0} = \frac{\mathbf{0,0}}{EI_0} \text{ m}
 \end{aligned}$$

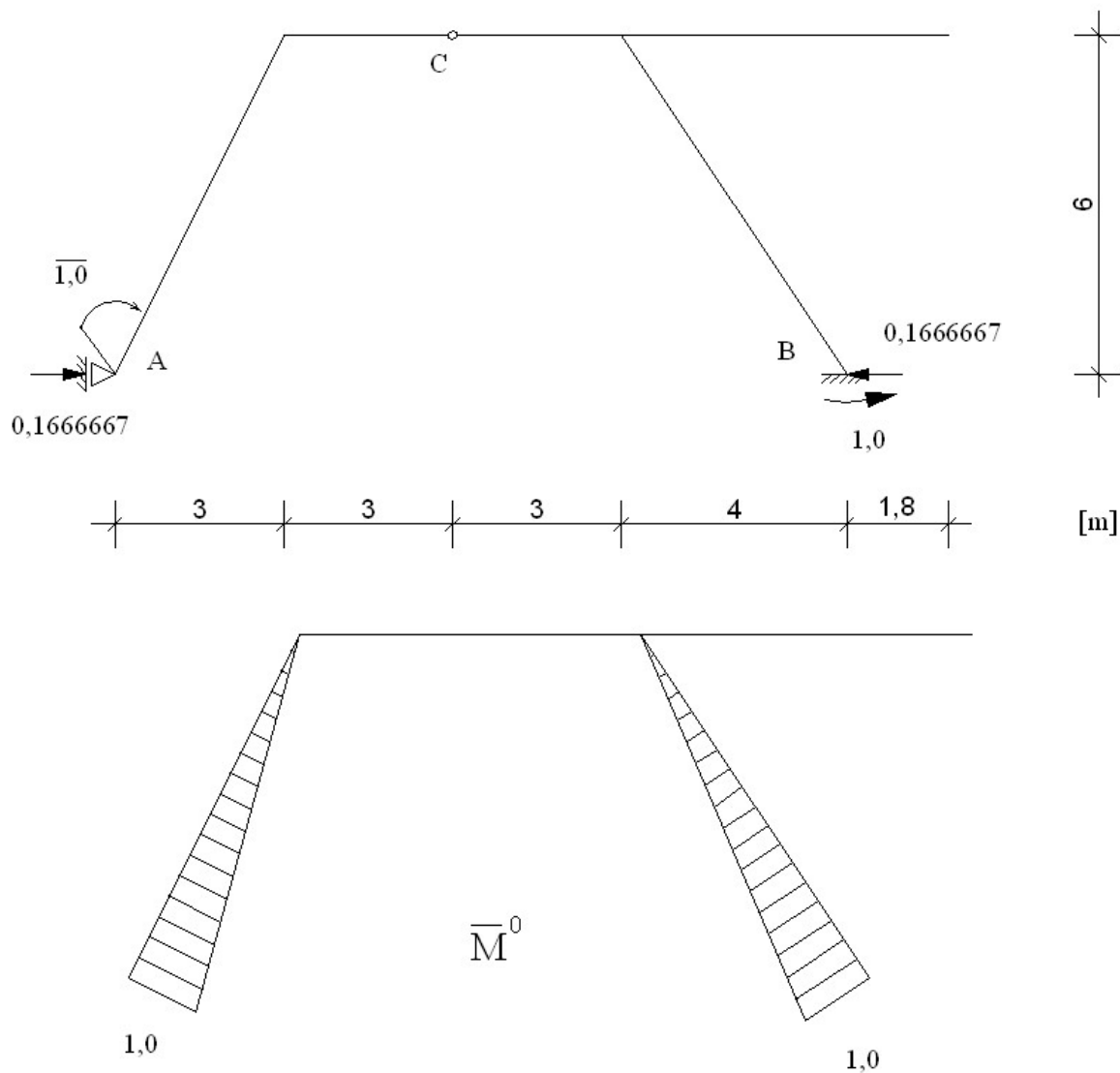
$$\begin{aligned}
 |\delta_A^h| &< \frac{1}{EI_0} \\
 |\delta_A^h| &\cong 0
 \end{aligned}$$

13. Obliczenie obrotu przekroju w pkt. A wywołanego działaniem sił zewnętrznych z wykorzystaniem twierdzenia redukcyjnego

$$\varphi_A^{(P)} = \sum \int \frac{\overline{M}^0 \cdot M_P^n}{EI} dx$$

13.1. Wykres momentów zginających M_P^n – patrz p.8.

13.2. Wykres momentów zginających od obciążenia wirtualnego



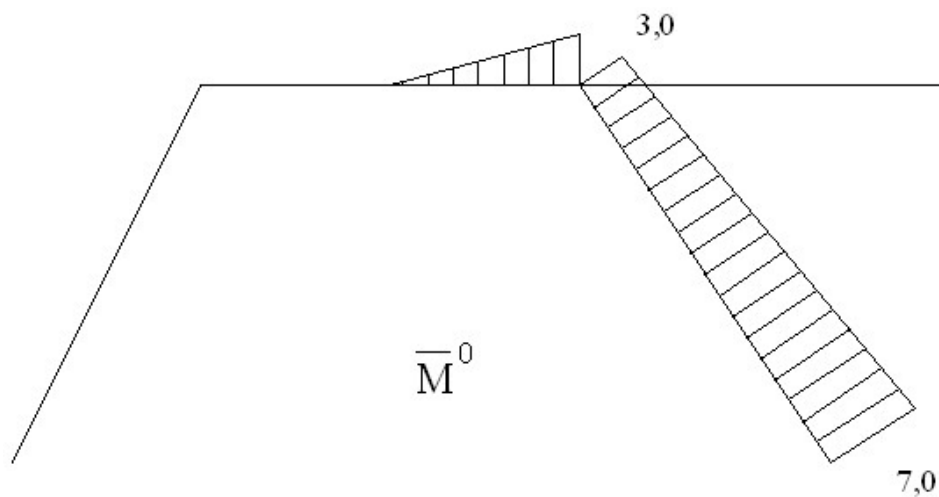
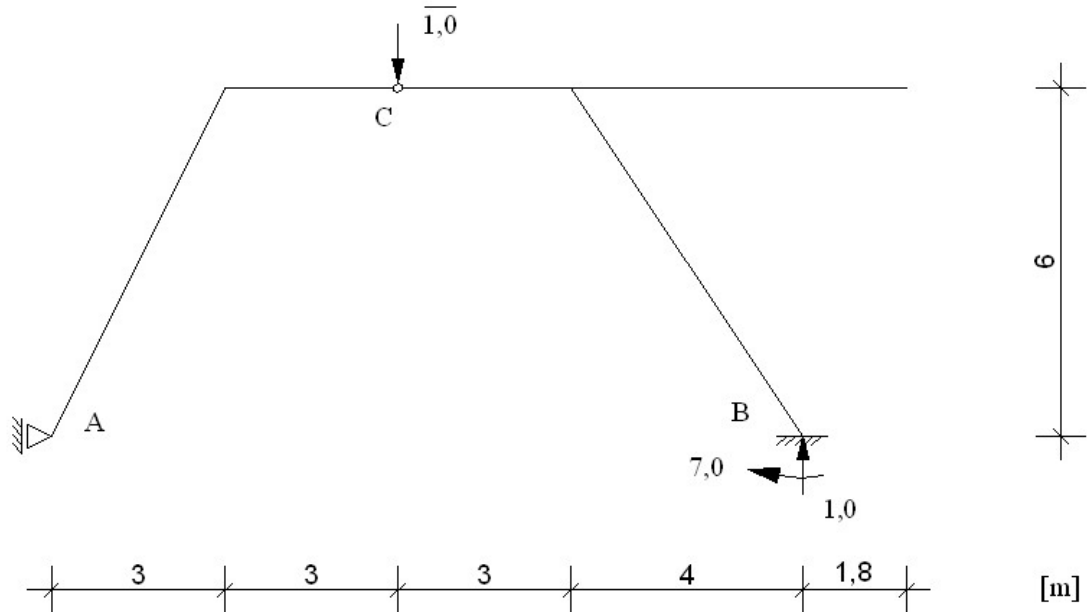
$$\begin{aligned} \varphi_A^{(P)} &= \sum \int \frac{\overline{M}^0 \cdot M_P^n}{EI} dx = \frac{1}{EI_0} \left[-\frac{1}{2} \cdot 0,072723 \cdot 6,7082 \cdot \frac{1}{3} \cdot 1,0 \right. \\ &+ \frac{2}{3} \cdot \frac{6 \cdot 6^2}{8} \cdot 6,7082 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,0 + \frac{1}{2} \cdot 17,572 \cdot 3,6056 \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot 1,0 - \frac{1}{3} \cdot 0,5 \right) \\ &+ \frac{1}{2} \cdot 18,877 \cdot 3,6056 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 0,5 + \frac{1}{3} \cdot 1,0 \right) + \frac{1}{2} \cdot 18,877 \cdot 3,6056 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,5 \\ &\left. - \frac{1}{2} \cdot 0,67544 \cdot 3,6056 \cdot \left(-\frac{1}{3} \cdot 0,5 \right) \right] = \frac{68,128}{7974,5} = \mathbf{0,0085432 \text{ rad}} \end{aligned}$$

14. Obliczenie przemieszczenia pionowego w pkt. C wywołanego osiadaniem podpór z wykorzystaniem twierdzenia redukcyjnego

$$v_C^{(\Delta)} = \sum \int \frac{\overline{M}^0 \cdot M_{\Delta}^n}{EI} dx - \sum \overline{R}^0 \cdot \Delta$$

14.1. Wykres momentów zginających M_{Δ}^n – patrz p.12.8.

14.2. Wykres momentów zginających od obciążenia wirtualnego



$$\begin{aligned} v_A^h &= \sum \int \frac{\overline{M}^0 \cdot M_{\Delta}^n}{EI} dx - \sum \overline{R}^0 \cdot \Delta = \frac{1}{EI_0} \left[-\frac{1}{2} \cdot 85,595 \cdot 7,2111 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 7,0 + \frac{1}{3} \cdot 3,0 \right) \right. \\ &+ \frac{1}{2} \cdot 26,381 \cdot 7,2111 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 3,0 + \frac{1}{3} \cdot 7,0 \right) \left. \right] - \frac{1}{0,49871 \cdot EI_0} \left[\frac{1}{2} \cdot 23,312 \cdot 3,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,0 \right] \\ &- (-7,0 \cdot 0,026180) = -\frac{1476,9}{7974,5} + 0,18326 = -0,001943 \text{ m} \end{aligned}$$