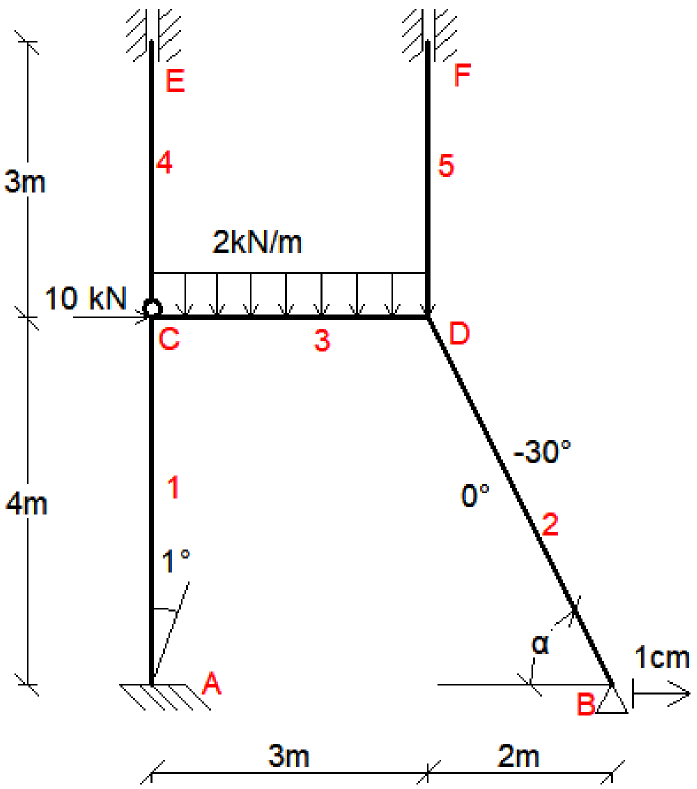
Metoda przemieszczeń - przykład

Wszystkie komentarze zaznaczono na czerwono.

Projekt wykonano w programie SMath Studio. Jest to darmowa alternatywa dla Mathcada i nie posiada ograniczeń, tak jak studencka wersja Mathcada. Skróty klawiszowe są w 90% takie same jak w Mathcadzie, więc łatwo się przyzwyczaić.



IPN 160

$E := 210\ \mathrm{GPa}$

$J := 935\ \mathrm{cm}^4$

$EJ := E \cdot J = 1963,5\ \mathrm{kN\ m}^2$

$\alpha_t := 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{\mathrm{K}}$

Długość pręta ukośnego:

$L2 := \sqrt{(2\ \mathrm{m})^2 + (4\ \mathrm{m})^2} = 4,4721\ \mathrm{m}$

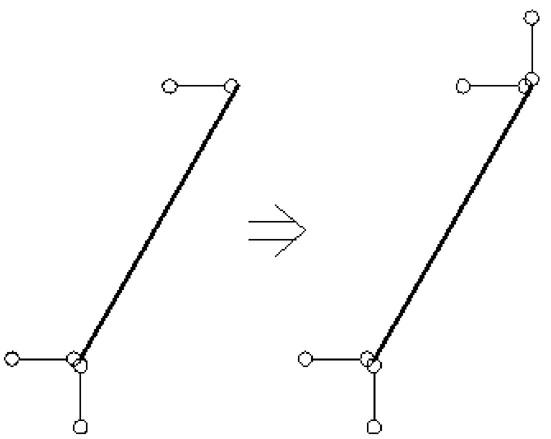
$\alpha := \mathrm{arctg}\left(\frac{4\ \mathrm{m}}{2\ \mathrm{m}}\right) = 63,4349\ °$

$\sin(\alpha) = 0,8944$

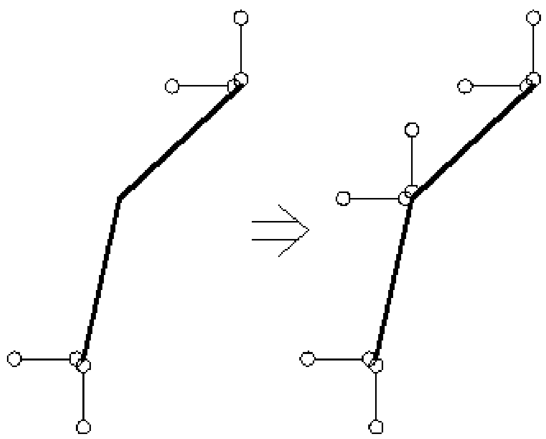
$\cos(\alpha) = 0,4472$

Przy dobieraniu blokad przesuwu w UPMP mamy zapewnić, aby każdy węzeł był zablokowany w pionie i w poziomie. Jeżeli są pręty ukośne, to można sugerować się poniższymi dwoma schematami:

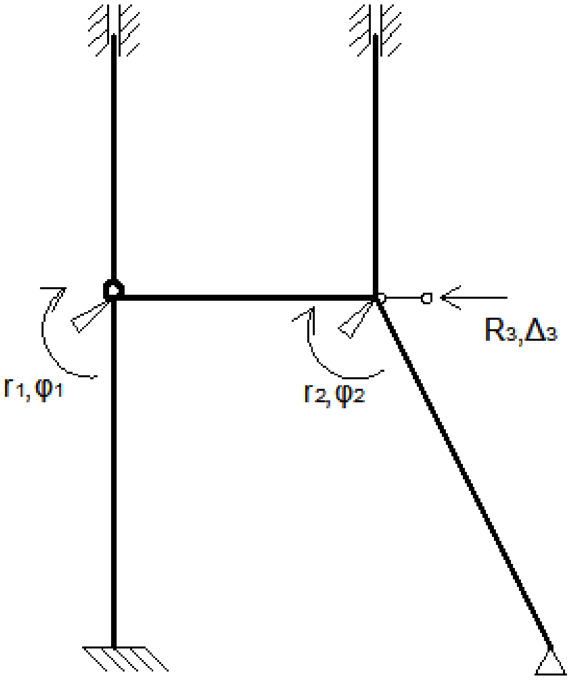
Schemat 1



Schemat 2



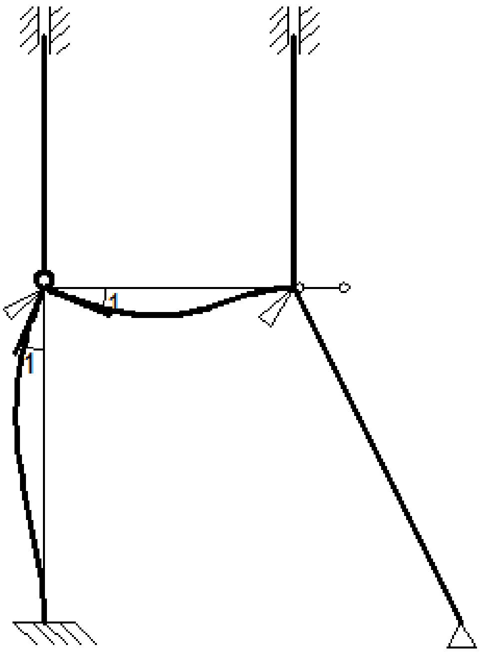
UPMP



Robimy blokadę obrotu w węzłach C i D, ponieważ do obu należą conajmniej dwa pręty sztywno połączone (bez przegubu)

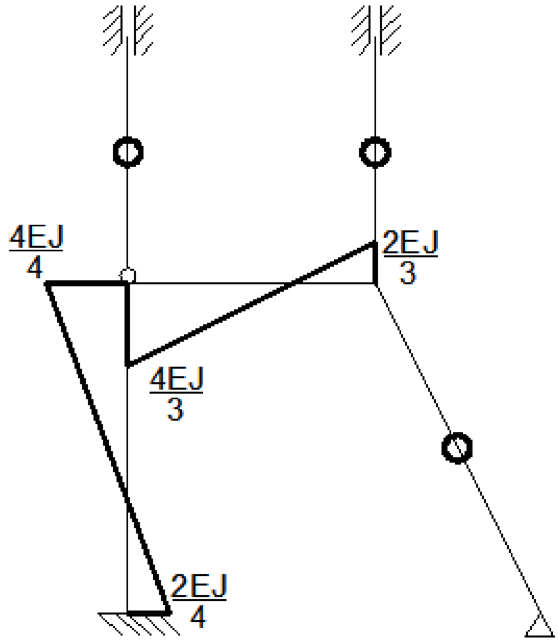
Blokada przesuwu:
Pręty 1 i 4 jej nie wymagają, bo są zablokowane reakcją pionową w podporze A.
Pręt ukośny - pręt 2 w parze z 5 to nie jest schemat 2 (brak blokady pionowej w węźle F), więc węzeł D nie jest automatycznie zablokowany.
Pręt 2 w parze z 3 to też nie jest schemat 2 (brak blokady poziomej w węźle C), więc węzeł D nie jest automatycznie zablokowany również tą parą prętów.
Trzeba więc zrobić z tego schemat 2, czyli np dodać blokadę w poziomie w węźle C lub dodać blokadę w poziomie w węźle F. Można również Zablokować węzeł D w dowolnym kierunku - w tym przypadku wybrano poziomy R3.

Stan φ1=1



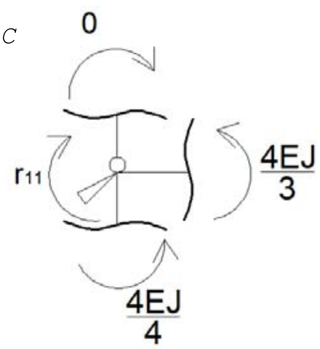
Pręt 4 się nie obraca, ponieważ jest na przegubie

M1



$$M_1 := \begin{bmatrix} 0{,}5 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1{,}333 \\ -0{,}666 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{EJ}{m}$$

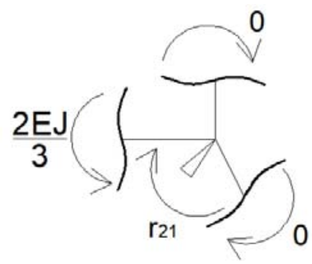
C



$$\Sigma M = r_{11} - \frac{4 \cdot EJ}{3\ m} - \frac{4 \cdot EJ}{4\ m}$$

$$r_{11} := \frac{4 \cdot EJ}{3\ m} + \frac{4 \cdot EJ}{4\ m} = 2{,}3333\ \frac{EJ}{m}$$

D

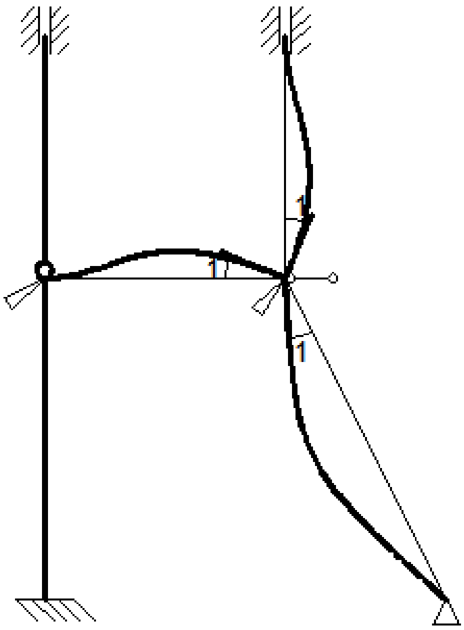


$$\Sigma M = r_{21} - \frac{2 \cdot EJ}{3\ m}$$

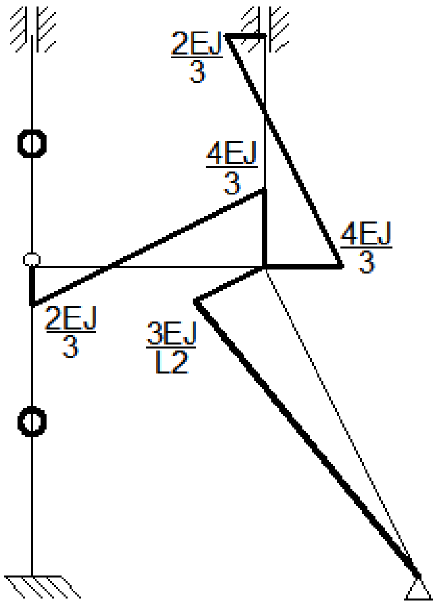
$$r_{21} := \frac{2 \cdot EJ}{3\ m}$$

R31 zostanie policzone w stanie 3

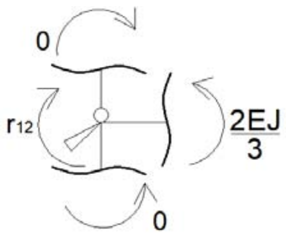
Stan φ2=1



M2

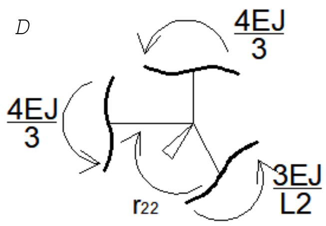


$$M_2 := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0{,}6708 \\ 0{,}666 \\ -1{,}333 \\ 0 \\ 0 \\ -1{,}333 \\ 0{,}666 \end{bmatrix} \cdot \frac{EJ}{\mathrm{m}}$$



$$\Sigma M = r_{12} - \frac{2 \cdot EJ}{3\ \mathrm{m}}$$

$$r_{12} := \frac{2 \cdot EJ}{3\ \mathrm{m}}$$

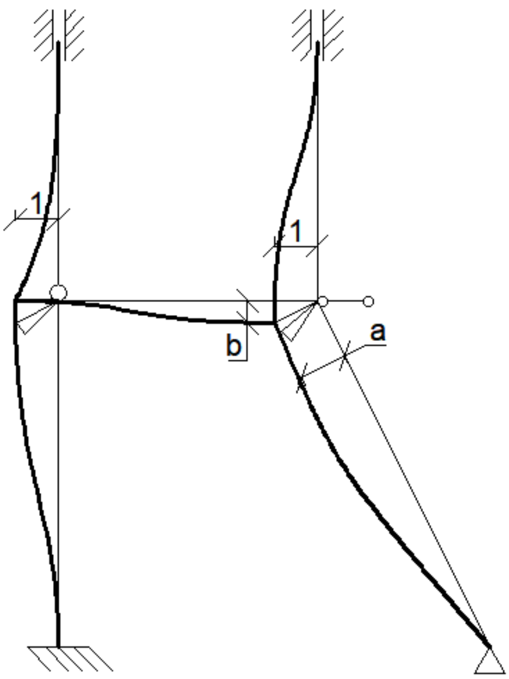


$$\Sigma M := r_{22} - \frac{4 \cdot EJ}{3\ \mathrm{m}} - \frac{4 \cdot EJ}{3\ \mathrm{m}} - \frac{3 \cdot EJ}{L2}$$

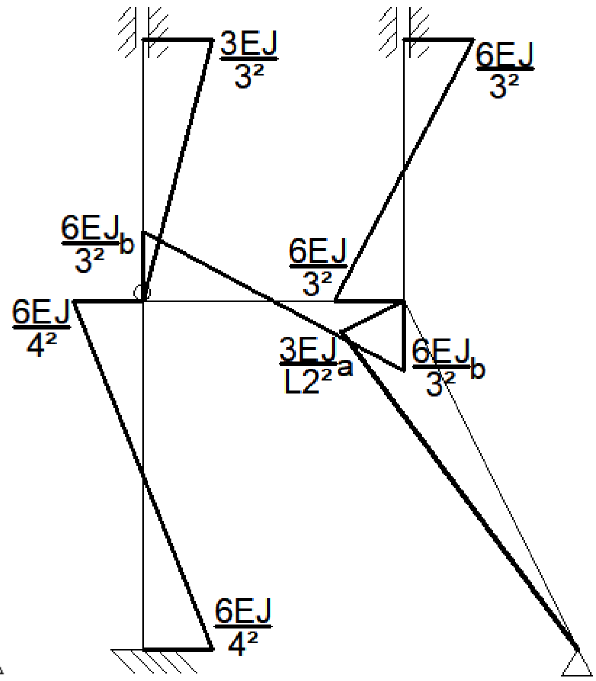
$$r_{22} := \frac{4 \cdot EJ}{3\ \mathrm{m}} + \frac{4 \cdot EJ}{3\ \mathrm{m}} + \frac{3 \cdot EJ}{L2} = 3{,}3375\ \frac{EJ}{\mathrm{m}}$$

R32 zostanie policzone w stanie 3

Stan Δ3=1



M3



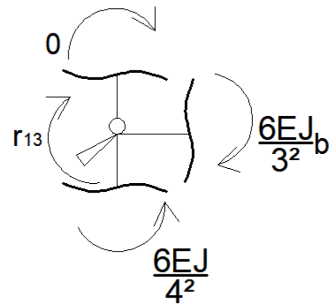
$$M_3 := \begin{bmatrix} 0{,}375 \\ -0{,}375 \\ 0 \\ 0{,}1677 \\ -0{,}333 \\ 0{,}333 \\ 0 \\ 0{,}333 \\ 0{,}666 \\ -0{,}666 \end{bmatrix} \cdot \frac{EJ}{\mathrm{m}^2}$$

Węzeł D przesuwa się o 1 w lewo, więc węzeł C również. Węzeł C nie może się przesuwać w pionie, bo trzyma go reakcja pionowa w węźle A. Węzeł D nie może przesunąć się tylko w lewo, ale też w pionie. Może przesuwać się po linii prostopadłej do pręta ukośnego. Powstał więc trójkąt 1-b-a, podobny do trójkąta utworzonego z wymiarów pręta ukośnego.

$$\frac{a}{1} = \frac{L2}{4\ \mathrm{m}} \qquad a := \frac{L2}{4\ \mathrm{m}} = 1{,}118$$

$$\frac{b}{1} = \frac{2\ \mathrm{m}}{4\ \mathrm{m}} \qquad b := \frac{2\ \mathrm{m}}{4\ \mathrm{m}} = 0{,}5$$

C

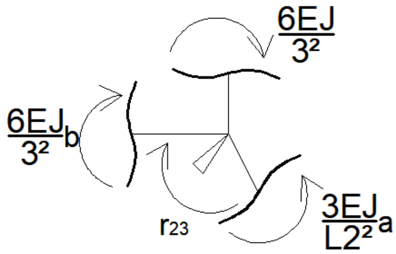


$$\Sigma M := r_{13} + \frac{6 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^2} \cdot b - \frac{6 \cdot EJ}{(4\ \text{m})^2}$$

$$r_{13} := -\frac{6 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^2} \cdot b + \frac{6 \cdot EJ}{(4\ \text{m})^2} = 0{,}0417\ \frac{EJ}{\text{m}^2}$$

$$R_{31} := r_{13}$$

D



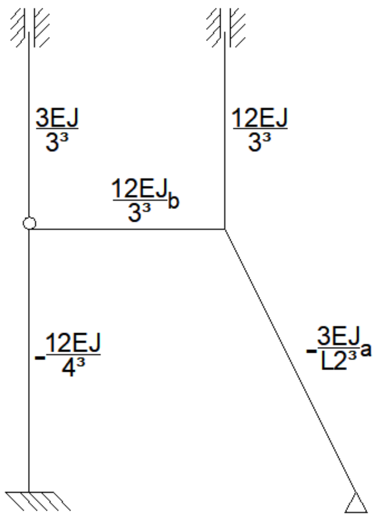
$$\Sigma M := r_{23} + \frac{6 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^2} \cdot b + \frac{6 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^2} - \frac{3 \cdot EJ}{L2^2} \cdot a$$

$$r_{23} := -\frac{6 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^2} \cdot b - \frac{6 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^2} + \frac{3 \cdot EJ}{L2^2} \cdot a = -0{,}8323\ \frac{EJ}{\text{m}^2}$$

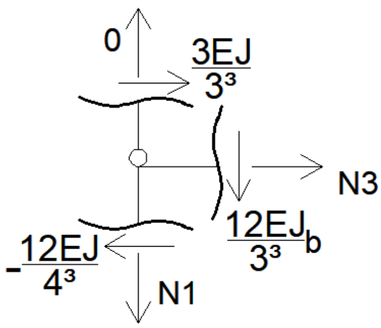
$$R_{32} := r_{23}$$

Do obliczenia R33 potrzebne są tnące i normalne. Do narysowania tnących wykorzystujemy metodę równoważenia prętów, lub korzystamy z tablic. Znak tnącej ustalamy na podstawie tablic. Ale można też ustalić kierunek tnących w węźle na podstawie strzałek na wykresie momentów.

T3



C



Normalna w pręcie 4 jest na pewno 0, ponieważ nie ma reakcji wzdłuż pręta na jego drugim końcu.

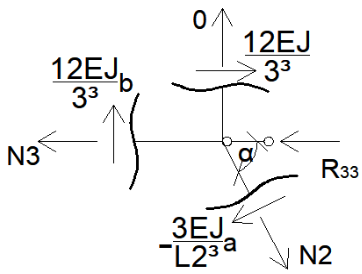
$$\Sigma Y = -N1 - \frac{12 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^3} \cdot b$$

$$N1 := -\frac{12 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^3} \cdot b = -0{,}2222\ \frac{EJ}{\text{m}^3}$$

$$\Sigma X = N3 - \left(-\frac{12 \cdot EJ}{(4\ \text{m})^3}\right) + \frac{3 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^3}$$

$$N3 := -\frac{12 \cdot EJ}{(4\ \text{m})^3} - \frac{3 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^3} = -0{,}2986\ \frac{EJ}{\text{m}^3}$$

D



Normalna w pręcie 5 jest na pewno 0, ponieważ nie ma reakcji wzdłuż pręta na jego drugim końcu.

$$\Sigma Y = \frac{12 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^3} \cdot b - \left(-\frac{3 \cdot EJ}{L2^3} \cdot a\right) \cdot \cos(\alpha) - N2 \cdot \sin(\alpha)$$

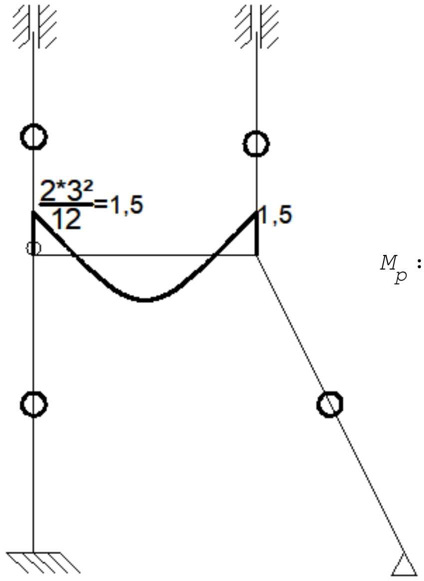
$$N2 := \frac{\frac{12 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^3} \cdot b - \left(-\frac{3 \cdot EJ}{L2^3} \cdot a\right) \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} = 0{,}2672\ \frac{EJ}{\text{m}^3}$$

$$\Sigma X = -R_{33} - N3 + \frac{12 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^3} - \left(-\frac{3 \cdot EJ}{L2^3} \cdot a\right) \cdot \sin(\alpha) + N2 \cdot \cos(\alpha)$$

$$R_{33} := -N3 + \frac{12 \cdot EJ}{(3\ \text{m})^3} - \left(-\frac{3 \cdot EJ}{L2^3} \cdot a\right) \cdot \sin(\alpha) + N2 \cdot \cos(\alpha) = 0{,}8961\ \frac{EJ}{\text{m}^3}$$

Stan p

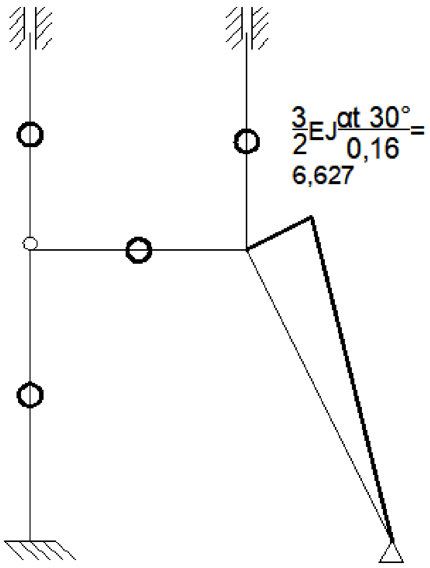
Mp [kNm]



$$M_p := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1,5 \\ -1,5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{kN m}$$

Stan Δt

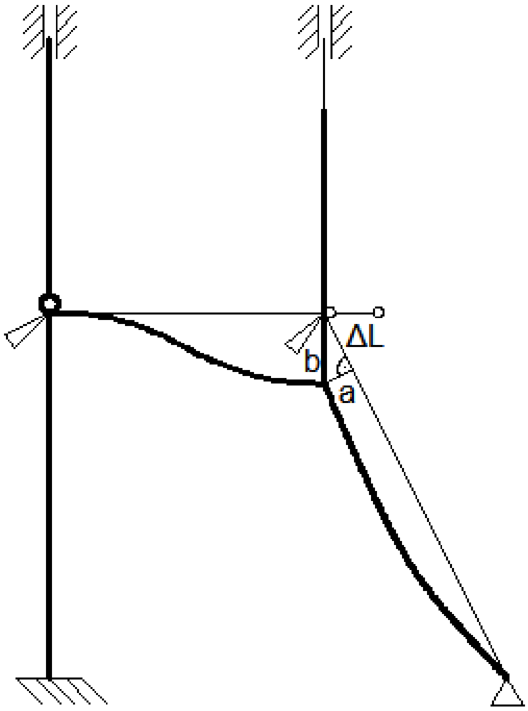
MΔt [kNm]



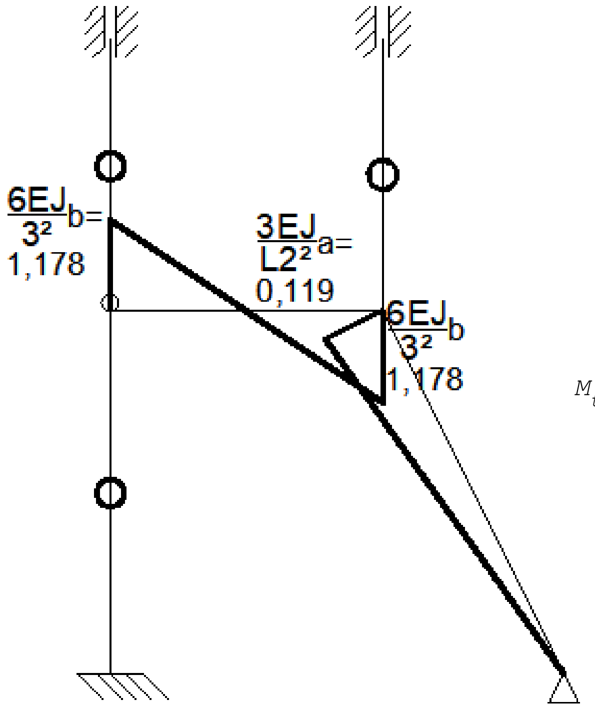
$$M_{\Delta t} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -6,627 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{kN m}$$

Uwaga, reakcje policzone zostaną po zsumowaniu wszystkich stanów rzeczywistych.

Stan t0



Mt0 [kNm]



$$M_{t0} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,119 \\ -1,178 \\ 1,178 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{kN m}$$

Pręt 2, z temperaturą skrócił się o:

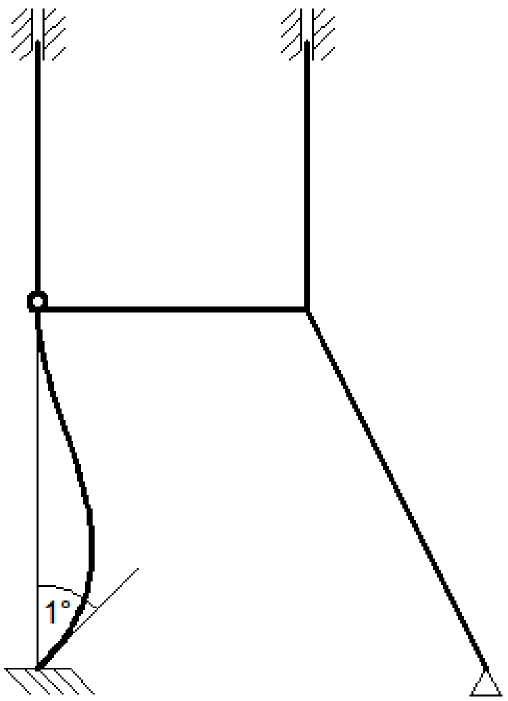
$$\Delta L := \alpha_t \cdot \left(\frac{0\ {}^\circ\text{C} - 30\ {}^\circ\text{C}}{2} \right) \cdot L2 = -0,0008\ \text{m}$$

Węzeł 4 nie może przesunąć się tylko pod ukosem, bo jest blokada R3, więc przesunie się tylko w pionie. Pręt skróci się o ΔL ale przesunie się również w bok (prostopadle do osi) tak, żeby węzeł mógł przesunąć się tylko w pionie.
Ogólnie przy pręcie ukośnym tworzymy mały trójkąt z trzech linii: rzeczywistego jego przesunięcia, linni wzdłuż pręta i linii prostopadłej do pręta.

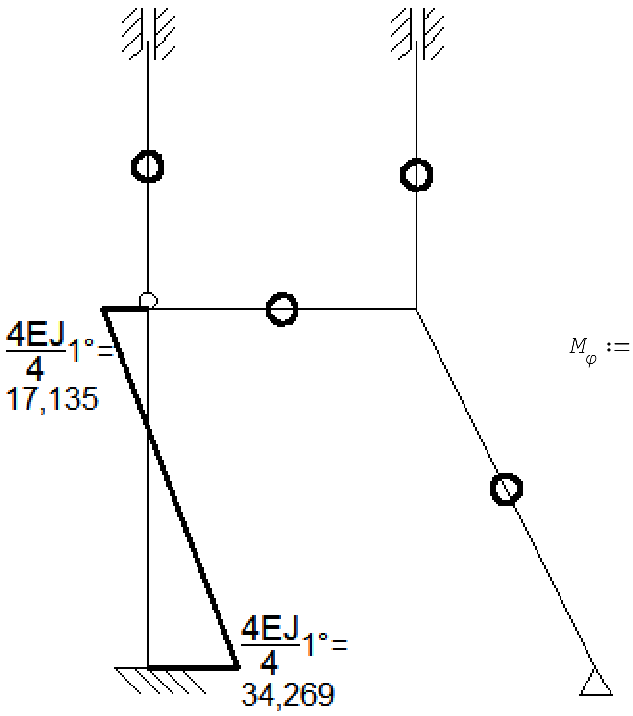
$$\frac{a}{\Delta L} = \frac{2\ \text{m}}{4\ \text{m}} \qquad a := \frac{2\ \text{m}}{4\ \text{m}} \cdot \Delta L = -0,0004\ \text{m}$$

$$\frac{b}{\Delta L} = \frac{L2}{4\ \text{m}} \qquad b := \frac{L2}{4\ \text{m}} \cdot \Delta L = -0,0009\ \text{m}$$

Stan φ

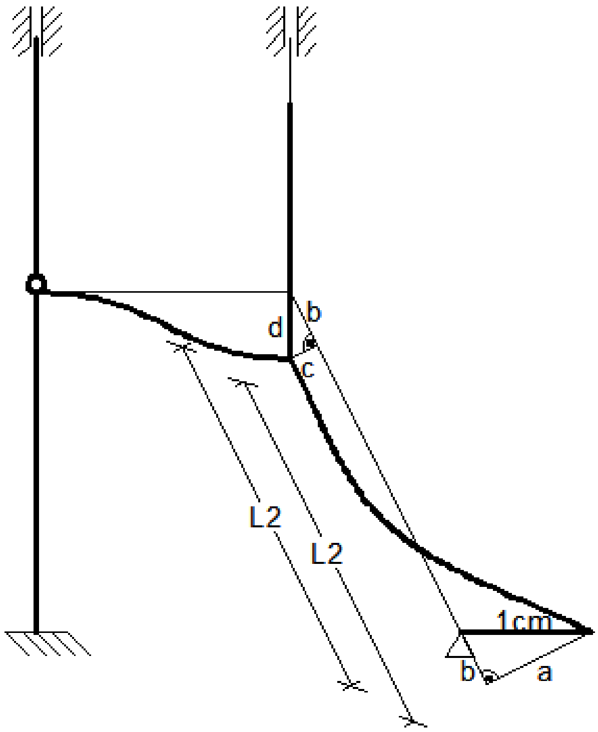


Mφ [kNm]

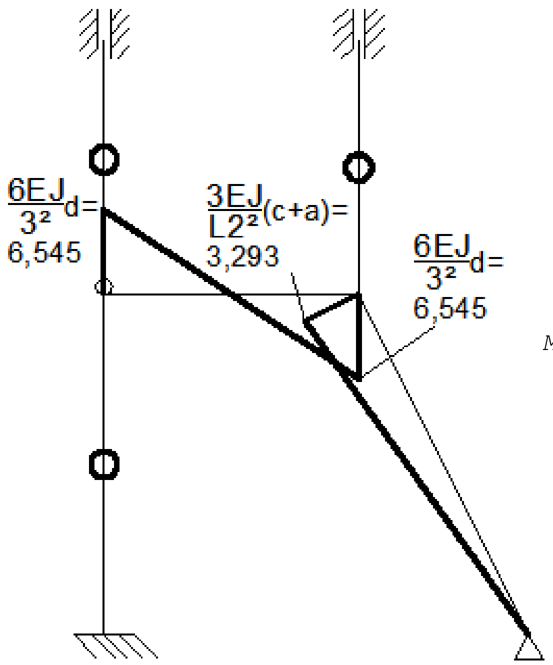


$$M_{\varphi} := \begin{bmatrix} 34,269 \\ -17,135 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \mathrm{kN\ m}$$

Stan Δ



MΔ [kNm]



$$M_{\Delta} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3,293 \\ -6,545 \\ 6,545 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \mathrm{kN\ m}$$

Węzeł B przesuwa się w prawo o 1cm, więc w swojej osi przesunął się o "b". Na górze również musi się przesunąć o "b" w swojej osi. Na górze działa to tak samo jak w stanie t0.

$$\frac{a}{1\ \mathrm{cm}} = \frac{4\ \mathrm{m}}{L2} \qquad a := \frac{4\ \mathrm{m}}{L2} \cdot 1\ \mathrm{cm} = 0,0089\ \mathrm{m}$$

$$\frac{b}{1\ \mathrm{cm}} = \frac{2\ \mathrm{m}}{L2} \qquad b := \frac{2\ \mathrm{m}}{L2} \cdot 1\ \mathrm{cm} = 0,0045\ \mathrm{m}$$

$$\frac{c}{b} = \frac{2\ \mathrm{m}}{4\ \mathrm{m}} \qquad c := \frac{2\ \mathrm{m}}{4\ \mathrm{m}} \cdot b = 0,0022\ \mathrm{m}$$

$$\frac{d}{b} = \frac{L2}{4\ \mathrm{m}} \qquad d := \frac{L2}{4\ \mathrm{m}} \cdot b = 0,005\ \mathrm{m}$$

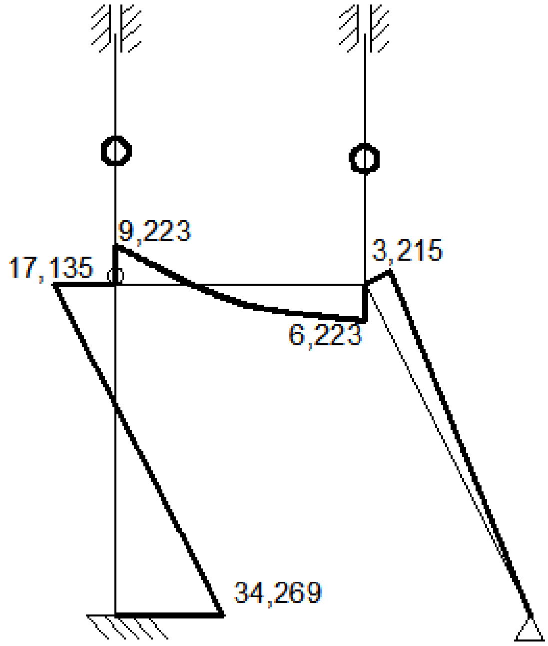
Pręty wyginają się o odległości prostopadłe do nich, czyli:
pręt 3 wygiął się o odległość d,
pręt 2 wygiął się o c+a, ponieważ na górze odległość prostopadła do pręta to c, a na dole a.

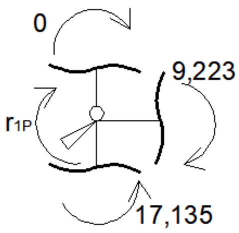
Stan P - stan zsumowany

dodajemy do siebie wszystkie momenty w stanach rzeczywistych: p, Δt, t0, φ, Δ.

MP [kNm]

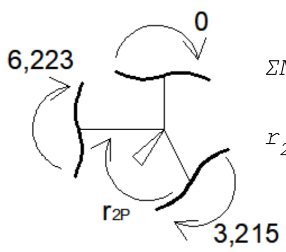
$$M_P := M_p + M_{\Delta t} + M_{t0} + M_{\varphi} + M_{\Delta} = \begin{bmatrix} 34,269 \\ -17,135 \\ 0 \\ -3,215 \\ -9,223 \\ 6,223 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{kN m}$$





$$\Sigma M = r_{1P} + 9,223 \text{ kN m} - 17,135 \text{ kN m}$$

$$r_{1P} := -9,223 \text{ kN m} + 17,135 \text{ kN m} = 7,912 \text{ kN m}$$

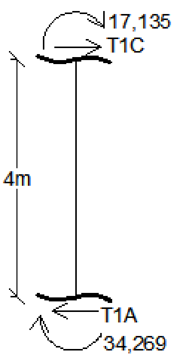


$$\Sigma M = r_{2P} + 6,223 \text{ kN m} + 3,215 \text{ kN m}$$

$$r_{2P} := -6,223 \text{ kN m} - 3,215 \text{ kN m} = -9,438 \text{ kN m}$$

Do znalezienia tnących wykorzystano metodę równoważenia prętów,

1

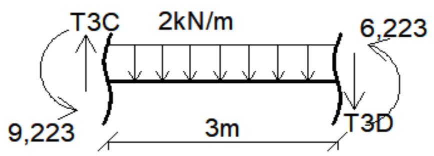


$$\Sigma M_A = 17,135 \text{ kN m} + 34,269 \text{ kN m} + T_{1C} \cdot 4 \text{ m}$$

$$T_{1C} := \frac{-17,135 \text{ kN m} - 34,269 \text{ kN m}}{4 \text{ m}} = -12,851 \text{ kN}$$

$$T_{1A} := T_{1C}$$

3



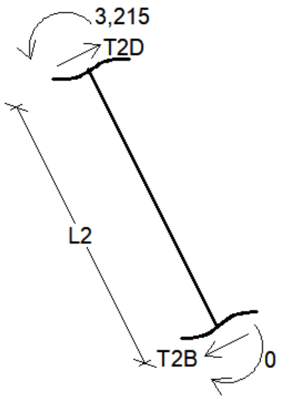
$$\Sigma M_C = -9{,}223\ \text{kN m} - 6{,}223\ \text{kN m} + 2\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3\ \text{m} \cdot \frac{3\ \text{m}}{2} + T_{3D} \cdot 3\ \text{m}$$

$$T_{3D} := \frac{9{,}223\ \text{kN m} + 6{,}223\ \text{kN m} - 2\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3\ \text{m} \cdot \frac{3\ \text{m}}{2}}{3\ \text{m}} = 2{,}1487\ \text{kN}$$

$$\Sigma Y = T_{3C} - T_{3D} - 2\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3\ \text{m}$$

$$T_{3C} := T_{3D} + 2\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3\ \text{m} = 8{,}1487\ \text{kN}$$

2

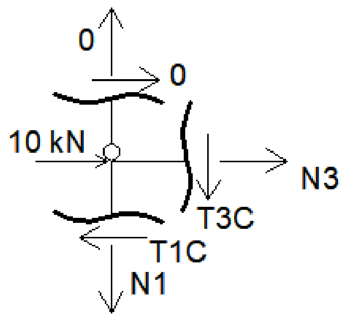


$$\Sigma M_B = -3{,}215\ \text{kN m} + T_{1D} \cdot L2$$

$$T_{2D} := \frac{3{,}215\ \text{kN m}}{L2} = 0{,}7189\ \text{kN}$$

$$T_{2B} := T_{2D}$$

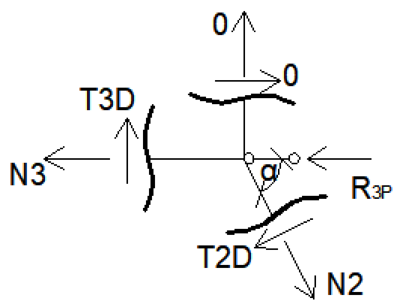
C



$$\Sigma X = N_3 - T_{1C} + 10\ \text{kN}$$

$$N_3 := T_{1C} - 10\ \text{kN} = -22{,}851\ \text{kN}$$

D



$$\Sigma Y = T_{3D} - N_2 \cdot \sin(\alpha) - T_{2D} \cdot \cos(\alpha)$$

$$N_2 := \frac{T_{3D} - T_{2D} \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} = 2{,}0428\ \text{kN}$$

$$\Sigma X = -N_3 - R_{3P} - T_{2D} \cdot \sin(\alpha) + N_2 \cdot \cos(\alpha)$$

$$R_{3P} := -N_3 - T_{2D} \cdot \sin(\alpha) + N_2 \cdot \cos(\alpha) = 23{,}1216\ \text{kN}$$

Układ równań

$$r_{11} \cdot \varphi_1 + r_{12} \cdot \varphi_2 + r_{13} \cdot \Delta_3 + r_{1P} = 0$$

$$r_{21} \cdot \varphi_1 + r_{22} \cdot \varphi_2 + r_{23} \cdot \Delta_3 + r_{2P} = 0$$

$$R_{31} \cdot \varphi_1 + R_{32} \cdot \varphi_2 + R_{33} \cdot \Delta_3 + R_{3P} = 0$$

rozwiązanie metodą macierzową

$$X := \begin{bmatrix} \frac{r_{11}}{\text{m}} & \frac{r_{12}}{\text{m}} & r_{13} \\ \frac{r_{21}}{\text{m}} & \frac{r_{22}}{\text{m}} & r_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33}\ \text{m} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \left(-\begin{bmatrix} \frac{r_{1P}}{\text{m}} \\ \frac{r_{2P}}{\text{m}} \\ R_{3P} \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} -0{,}0008 \\ -0{,}0022 \\ -0{,}0151 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \Delta_3 \end{bmatrix} := \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3\ \text{m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0{,}0008 \\ -0{,}0022 \\ -0{,}0151\ \text{m} \end{bmatrix}$$

Ze względu na ograniczenia programu (a raczej własności macierzy) konieczne było ustawienie jednakowych jednostek w macierzach, a następnie dopasowanie jednostek do odpowiednich niewiadomych.

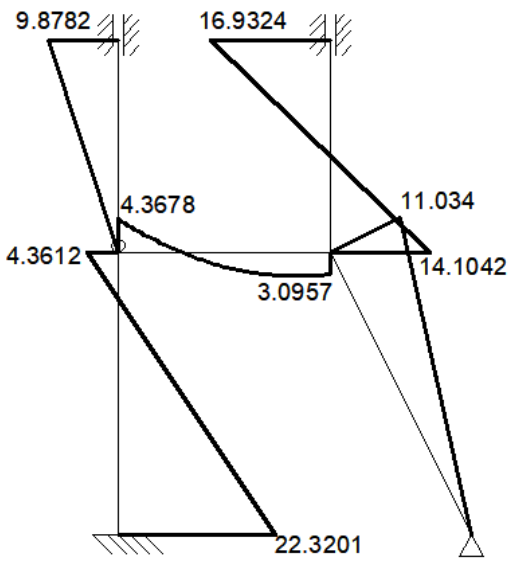
$\varphi_1 = -0{,}00084$ $\qquad \varphi_2 = -0{,}00216$ $\qquad \Delta_3 = -0{,}015108\ \text{m}$

Liczenie momentów ostatecznych

$$M_{ost} := M_1 \cdot \varphi_1 + M_2 \cdot \varphi_2 + M_3 \cdot \Delta_3 + M_P$$

$$M_{ost} = \begin{bmatrix} 22,3201 \\ -4,3612 \\ 0 \\ -11,034 \\ -4,3678 \\ 3,0957 \\ 0 \\ -9,8782 \\ -14,1042 \\ 16,9324 \end{bmatrix} \text{kN m}$$

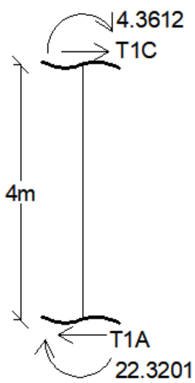
Most [kNm]



Liczenie tnących ostatecznych

Metoda równoważenia prętów

1

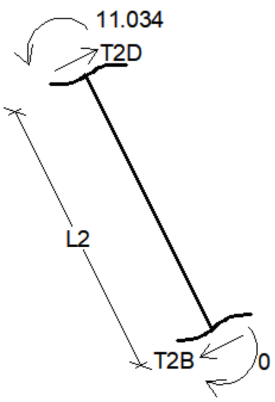


$$\Sigma M_A = 22,3201 \text{ kN m} + 4,3612 \text{ kN m} + T_{1C} \cdot 4 \text{ m}$$

$$T_{1C} := \frac{-22,3201 \text{ kN m} - 4,3612 \text{ kN m}}{4 \text{ m}} = -6,6703 \text{ kN}$$

$$T_{1A} := T_{1C}$$

2

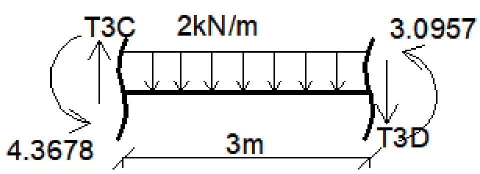


$$\Sigma M_D = -11,034 \text{ kN m} + T_{2B} \cdot L2$$

$$T_{2B} := \frac{11,034 \text{ kN m}}{L2} = 2,4673 \text{ kN}$$

$$T_{2D} := T_{2B}$$

3



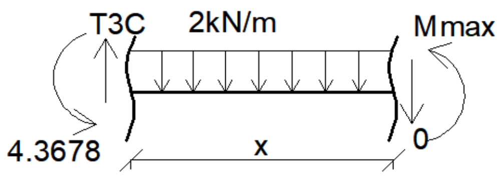
$$\Sigma M_C = -4,3678 \text{ kN m} - 3,0957 \text{ kN m} + 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3 \text{ m} \cdot \frac{3 \text{ m}}{2} + T_{3D} \cdot 3 \text{ m}$$

$$T_{3D} := \frac{4,3678 \text{ kN m} + 3,0957 \text{ kN m} - 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3 \text{ m} \cdot \frac{3 \text{ m}}{2}}{3 \text{ m}} = -0,5122 \text{ kN}$$

$$\Sigma Y = T_{3C} - T_{3D} - 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3 \text{ m}$$

$$T_{3C} := T_{3D} + 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3 \text{ m} = 5,4878 \text{ kN}$$

Szukanie ekstremum momentów:



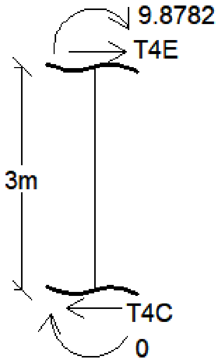
$$\Sigma Y = T_{3C} - 2\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot x$$

$$x := \frac{T_{3C}}{2\ \frac{\text{kN}}{\text{m}}} = 2{,}7439\ \text{m}$$

$$\Sigma M_C = -4{,}3678\ \text{kN m} - M_{max} + 2\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot x \cdot \frac{x}{2}$$

$$M_{max} := -4{,}3678\ \text{kN m} + 2\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 3{,}1613\ \text{kN m}$$

4

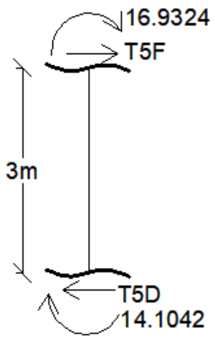


$$\Sigma M_C = 9{,}8782\ \text{kN m} + T_{4E} \cdot 3\ \text{m}$$

$$T_{4E} := \frac{-9{,}8782\ \text{kN m}}{3\ \text{m}} = -3{,}2927\ \text{kN}$$

$$T_{4C} := T_{4E}$$

5

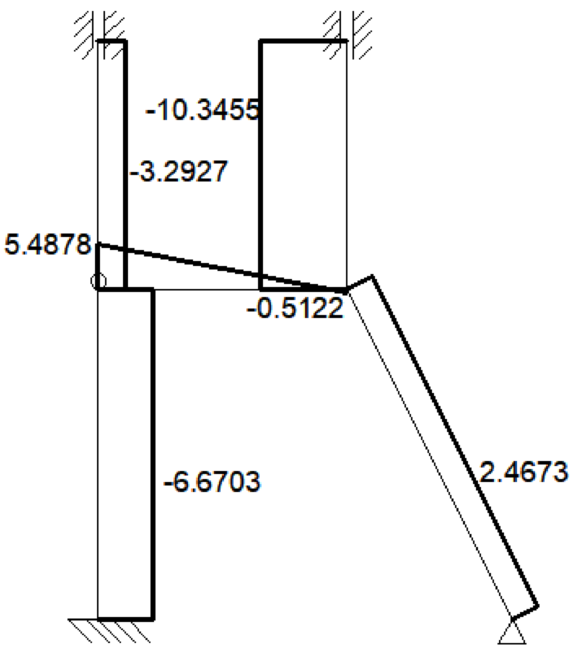


$$\Sigma M_D = 14{,}1042\ \text{kN m} + 16{,}9324\ \text{kN m} + T_{5F} \cdot 3\ \text{m}$$

$$T_{5F} := \frac{-14{,}1042\ \text{kN m} - 16{,}9324\ \text{kN m}}{3\ \text{m}} = -10{,}3455\ \text{kN}$$

$$T_{5D} := T_{5F}$$

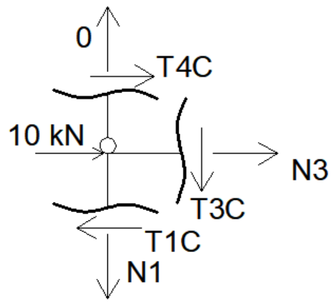
Tost [kN]



Liczenie normalnych ostatecznych

Metoda równoważenia węzłów

C



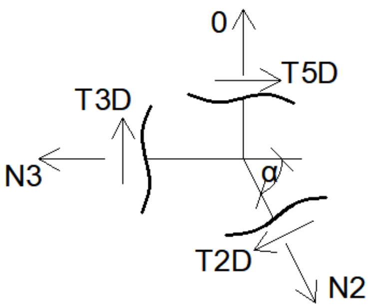
$$\Sigma Y = -N_1 - T_{3C}$$

$$N_1 := -T_{3C} = -5,4878 \text{ kN}$$

$$\Sigma X = T_{4C} - T_{1C} + N_3 + 10 \text{ kN}$$

$$N_3 := -T_{4C} + T_{1C} - 10 \text{ kN} = -13,3776 \text{ kN}$$

D



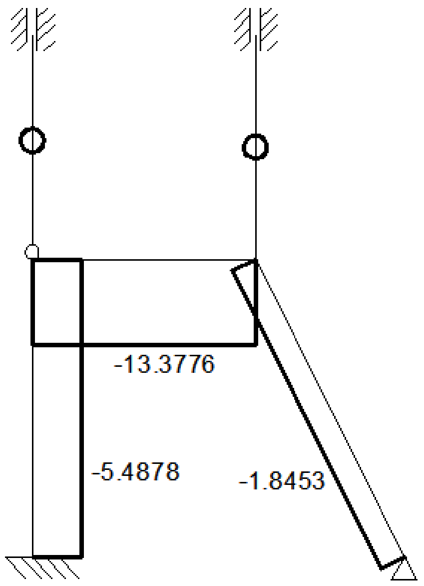
$$\Sigma X = -N_3 + T_{5D} - T_{2D} \cdot \sin(\alpha) + N_2 \cdot \cos(\alpha)$$

$$N_2 := \frac{N_3 - T_{5D} + T_{2D} \cdot \sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = -1,8453 \text{ kN}$$

Sprawdzenie:

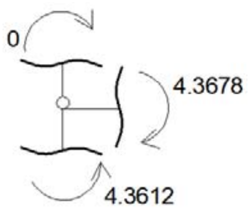
$$\Sigma Y := T_{3D} - N_2 \cdot \sin(\alpha) - T_{2D} \cdot \cos(\alpha) = 0,0349 \text{ kN} \quad =0$$

Warunek spełniony



Sprawdzenie równowagi momentów w węzłach

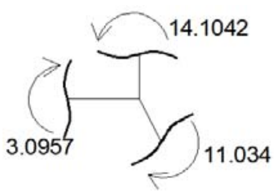
C



$$\Sigma M := 0 + 4,3678 \text{ kN m} - 4,3612 \text{ kN m} = 0,0066 \text{ kN m} \quad = 0$$

Warunek spełniony

D



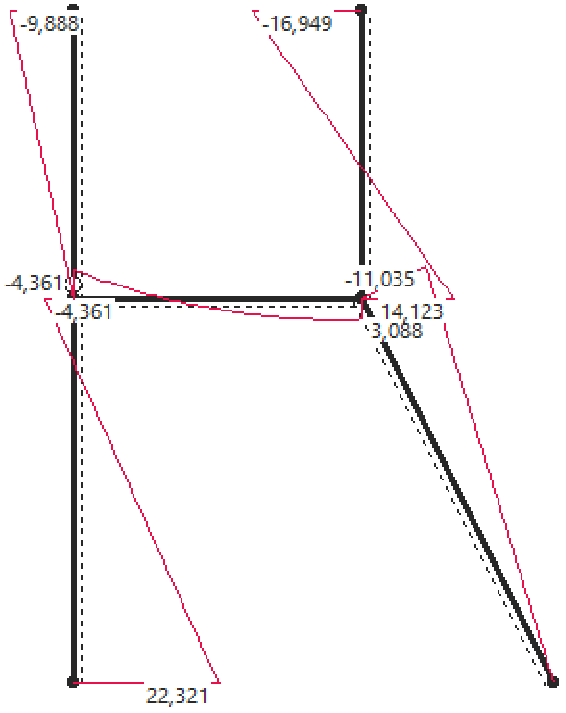
$$\Sigma M := 3,0957 \text{ kN m} - 14,1042 \text{ kN m} + 11,034 \text{ kN m} = 0,0255 \text{ kN m} \quad = 0$$

Warunek spełniony

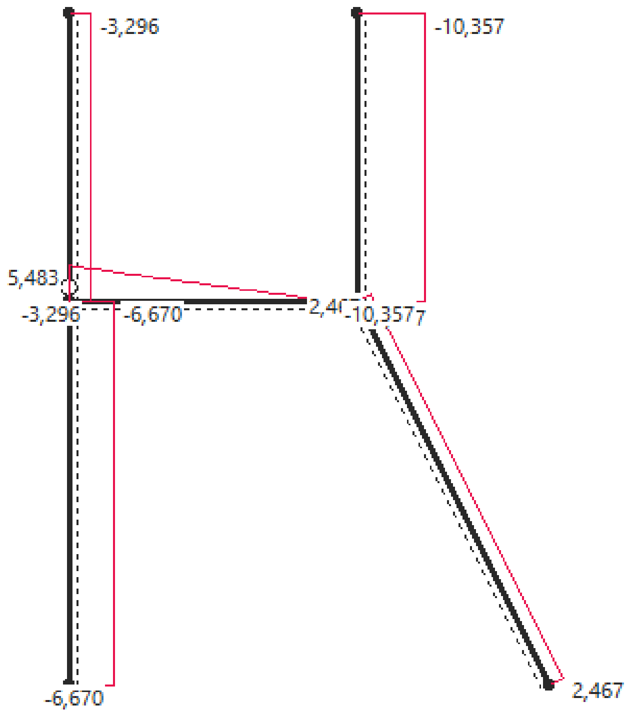
Sprawdzenie w Soldisie

lub innym programie MES

M [kNm]



T [kN]



N [kN]