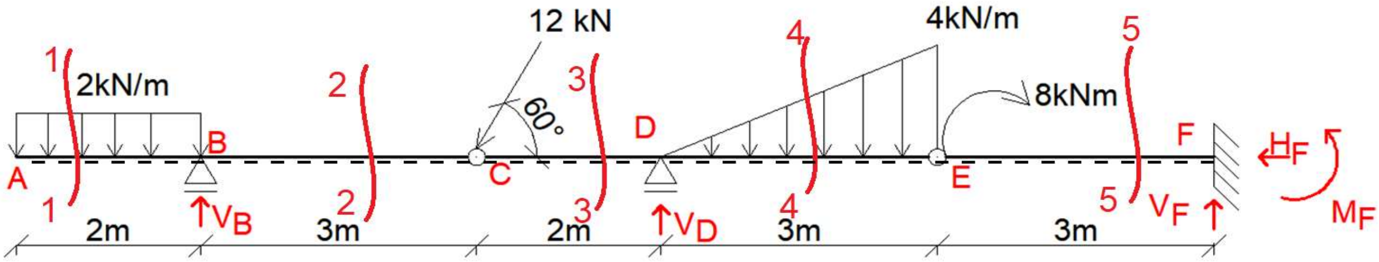
Projekt nr. II z Mechaniki Teoretycznej

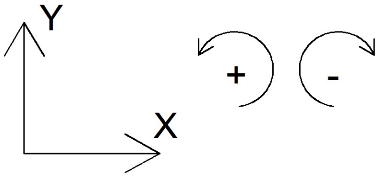
Wszystkie uwagi i objaśnienia będą zaznaczone na czerwono

Przykład wykonano w programie SMath Studio. Jest to darmowa alternatywa dla Mathcada. W większości działa tak jak Mathcad, nawet są te same skróty klawiaturowe, ale program nie ma ograniczeń wersji studenckiej Mathcada.

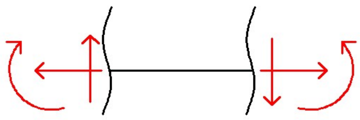
Zad. 1. Obliczenie sił wewnętrznych - belka



Ustalono kierunki dodatnie tak jak na rysunku:



Ustalono kierunki dodatnie sił wewnętrznyw w przekrojach tak jak na rysunku:
- Normalne - od przekroju do zewnątrz,
- Tnące - kręcą przekrojem zgodnie z ruchem wskazówek zegara,
- Momenty - od włókien dolnych do górnych.



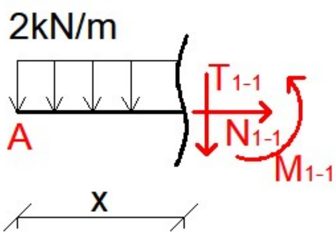
W powyższej belce nazwano wszystkie węzły i zaznaczono reakcje. Zaznaczono przekroje do policzenia sił wewnętrznych. oraz przyjęto włókna dolne linią przerywaną. Reakcje obliczono w przykładzie z projektu pierwszego, ponieważ jest to ta sama belka. W Państwa projektach trzeba je policzyć od nowa, bo są to inne zadania.

$V_B := 5.3333\ \mathrm{kN}$ $\qquad V_F := -2.0393\ \mathrm{kN}$

$V_D := 17.0983\ \mathrm{kN}$ $\qquad M_F := 14.1179\ \mathrm{kN\ m}$

$H_F := -6\ \mathrm{kN}$

Przekrój 1-1 $\qquad x \in (0;2)\mathrm{m}$



$\Sigma X = 0 \qquad N_{1\_1} = 0$

$N_{1\_1} := 0$

$\Sigma Y = 0 \qquad (-2)\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot x - T_{1\_1} = 0$

$T_{1\_1}(x) := (-2)\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot x$

Suma momentów jest zawsze względem przekroju

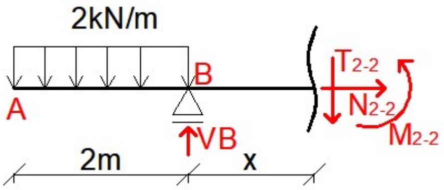
$\Sigma M = 0 \qquad 2\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} + M_{1\_1} = 0$

$M_{1\_1}(x) := (-2)\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot x \cdot \frac{x}{2}$

$x = 0 \quad => \quad T_{1\_1}(0) = 0 \qquad M_{1\_1}(0) = 0\ \mathrm{kN\ m}$

$x = 2\ \mathrm{m} \quad => \quad T_{1\_1}(2\ \mathrm{m}) = -4\ \mathrm{kN} \qquad M_{1\_1}(2\ \mathrm{m}) = -4\ \mathrm{kN\ m}$

Przekrój 2-2 $\quad x \in (0;3)\mathrm{m}$



$\Sigma X = 0 \qquad N_{2\_2} = 0$

$N_{2\_2} := 0$

$\Sigma Y = 0 \qquad (-2)\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} + V_B - T_{2\_2} = 0$

$T_{2\_2} := (-2)\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} + V_B = 1.3333\ \mathrm{kN}$

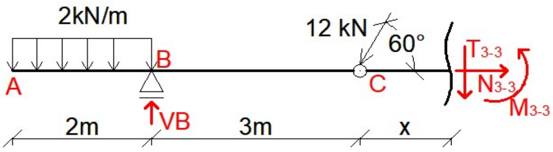
$\Sigma M = 0 \qquad 2\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} \cdot (x + 1\ \mathrm{m}) - V_B \cdot x + M_{2\_2} = 0$

$M_{2\_2}(x) := (-2)\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} \cdot (x + 1\ \mathrm{m}) + V_B \cdot x$

$x = 0 \quad => \quad M_{2\_2}(0) = -4\ \mathrm{kN\,m}$

$x = 3\ \mathrm{m} \quad => \quad M_{2\_2}(3\ \mathrm{m}) = 0\ \mathrm{kN\,m}$

Przekrój 3-3 $\quad x \in (0;2)\mathrm{m}$



$\Sigma X = 0 \qquad N_{3\_3} = 0$

$N_{3\_3} := 0$

$\Sigma Y = 0 \qquad (-2)\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} + V_B - 12\ \mathrm{kN} \cdot \sin(60\ °) - T_{3\_3} = 0$

$T_{3\_3} := (-2)\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} + V_B - 12\ \mathrm{kN} \cdot \sin(60\ °) = -9.059\ \mathrm{kN}$

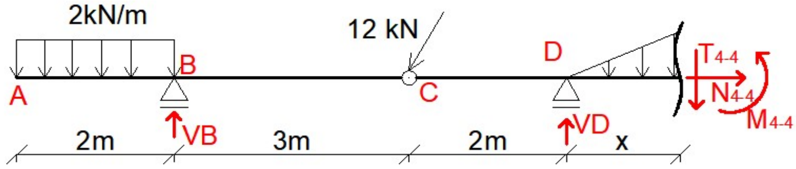
$\Sigma M = 0 \qquad 2\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} \cdot (x + 4\ \mathrm{m}) - V_B \cdot (x + 3\ \mathrm{m}) + 12\ \mathrm{kN} \cdot \sin(60\ °) \cdot x = 0$

$M_{3\_3}(x) := (-2)\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} \cdot (x + 4\ \mathrm{m}) + V_B \cdot (x + 3\ \mathrm{m}) - 12\ \mathrm{kN} \cdot \sin(60\ °) \cdot x$

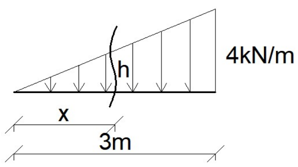
$x = 0 \quad => \quad M_{3\_3}(0) = 0\ \mathrm{kN\,m}$

$x = 2\ \mathrm{m} \quad => \quad M_{3\_3}(2\ \mathrm{m}) = -18.118\ \mathrm{kN\,m}$

Przekrój 4-4 $\quad x \in (0;3)\mathrm{m}$



wysokość obciążenia obliczono z proporcji:



$h(x) := \frac{4\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}}}{3\ \mathrm{m}} \cdot x$

$\Sigma X = 0 \qquad -12\ \mathrm{kN} \cdot \cos(60\ °) + N_{4\_4} = 0$

$N_{4\_4} := 12\ \mathrm{kN} \cdot \cos(60\ °) = 6\ \mathrm{kN}$

Należy pamiętać, że środek ciężkości obciażenia trójkątnego jest w 1/3 jego długości, bliżej jego szczytu.

$\Sigma Y = 0 \qquad (-2)\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} + V_B - 12\ \mathrm{kN} \cdot \sin(60\ °) + V_D - h \cdot x \cdot \frac{1}{2} - T_{4\_4} = 0$

$T_{4\_4}(x) := (-2)\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} + V_B - 12\ \mathrm{kN} \cdot \sin(60\ °) + V_D - h(x) \cdot x \cdot \frac{1}{2} \qquad B(x) := \left| h(x) \cdot x \cdot \frac{1}{2} \right|$

$\Sigma M = 0 \qquad 2\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} \cdot (x + 7\ \mathrm{m}) - V_B \cdot (x + 5\ \mathrm{m}) + 12\ \mathrm{kN} \cdot \sin(60\ °) \cdot (x + 2\ \mathrm{m}) - V_D \cdot x + h \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x \cdot \frac{1}{3} = 0$

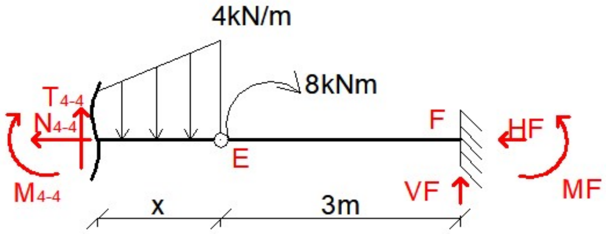
$M_{4\_4}(x) := (-2)\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 2\ \mathrm{m} \cdot (x + 6\ \mathrm{m}) + V_B \cdot (x + 5\ \mathrm{m}) - 12\ \mathrm{kN} \cdot \sin(60\ °) \cdot (x + 2\ \mathrm{m}) + V_D \cdot x - h(x) \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x \cdot \frac{1}{3}$

$x = 0 \quad => \quad T_{4\_4}(0) = 8.0393\ \mathrm{kN} \qquad M_{4\_4}(0) = -18.118\ \mathrm{kN\,m}$

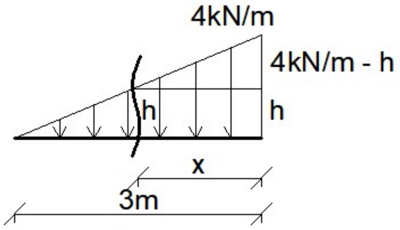
$x = 3\ \mathrm{m} \quad => \quad T_{4\_4}(3\ \mathrm{m}) = 2.0393\ \mathrm{kN} \qquad M_{4\_4}(3\ \mathrm{m}) = 0\ \mathrm{kN\,m}$

Przekrój 4-4 $\quad x \in (0;3)\mathrm{m}$

Próba podejścia z drugiej strony dla porównania.
W projekcie nie jest wymagana.



wysokość obciążenia obliczono z proporcji:



$$h(x) := \frac{4\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}}}{3\ \mathrm{m}} \cdot (3\ \mathrm{m} - x)$$

Rozbijamy obciążenie trapezowe na prostokąt i trójkąt

$\Sigma X = 0 \qquad -N_{4\_4} - H_F = 0$

$N_{4\_4} := -H_F = 6\ \mathrm{kN}$

$\Sigma Y = 0 \qquad T_{4\_4} - h(x) \cdot x - \left(4\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} - h(x)\right) \cdot x \cdot \frac{1}{2} - V_F = 0$

$T_{4\_4}(x) := h(x) \cdot x + \left(4\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} - h(x)\right) \cdot x \cdot \frac{1}{2} - V_F$

$\Sigma M = 0 \qquad -M_{4\_4} - h(x) \cdot x \cdot \frac{x}{2} - \left(4\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} - h(x)\right) \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x \cdot \frac{2}{3} - 8\ \mathrm{kN\ m} + V_F \cdot (x + 3\ \mathrm{m}) + M_F$

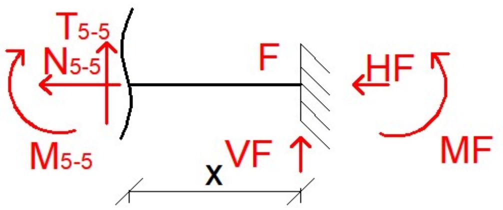
$M_{4\_4}(x) := -h(x) \cdot x \cdot \frac{x}{2} - \left(4\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} - h(x)\right) \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x \cdot \frac{2}{3} - 8\ \mathrm{kN\ m} + V_F \cdot (x + 3\ \mathrm{m}) + M_F$

$x = 0 \quad => \quad T_{4\_4}(0) = 2.0393\ \mathrm{kN} \qquad M_{4\_4}(0) = 0\ \mathrm{kN\ m}$

$x = 3\ \mathrm{m} \quad => \quad T_{4\_4}(3\ \mathrm{m}) = 8.0393\ \mathrm{kN} \qquad M_{4\_4}(3\ \mathrm{m}) = -18.118\ \mathrm{kN\ m}$

Wyniki wyszły takie same, za to obliczenia trochę krótsze, dlatego najlepiej wybierać tą stronę, po której jest mniej sił.

Przekrój 5-5 $\quad x \in (0;3)\mathrm{m}$



$\Sigma X = 0 \qquad -N_{5\_5} - H_F = 0$

$N_{5\_5} := -H_F = 6\ \mathrm{kN}$

$\Sigma Y = 0 \qquad T_{5\_5} - V_F = 0$

$T_{5\_5} := V_F = -2.0393\ \mathrm{kN}$

$\Sigma M = 0 \qquad -M_{5\_5} + V_F \cdot x + M_F = 0$

$M_{5\_5}(x) := V_F \cdot x + M_F$

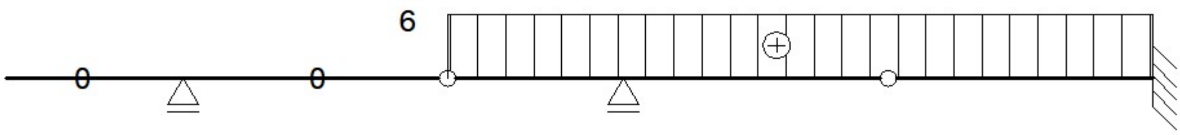
$x = 0 \quad => \quad M_{5\_5}(0) = 14.118\ \mathrm{kN\ m}$

$x = 3\ \mathrm{m} \quad => \quad M_{5\_5}(3\ \mathrm{m}) = 8\ \mathrm{kN\ m}$

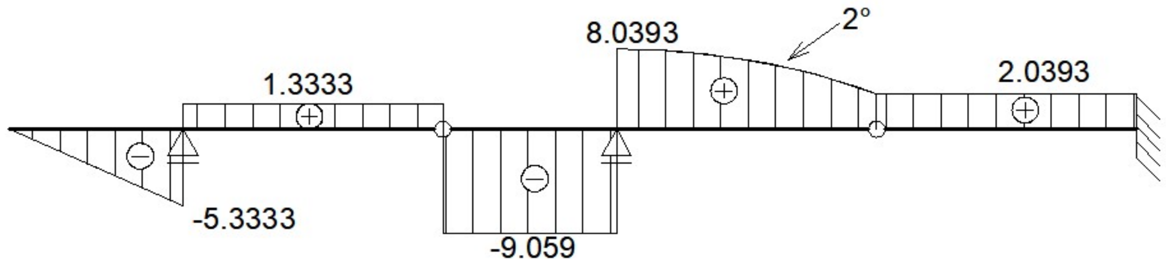
Wykresy

Należy pamiętać, że Normalne i Tnące dodatnie rysujemy po stronie włókien górnych, a Momenty dodatnie po stronie włókien dolnych.
Warto pamiętać, że przy Normalnych i Tnących większe znaczenie ma znak, niż to, po której stronie są narysowane, a przy Momentach większe znaczenie ma po której stronie są narysowane. Znak nawet można pominąć.
NIE WAŻNE, JAK PRZYJMIEMY WŁÓKNA DOLNE - MOMENTY I TAK ZAWSWZE BĘDĄ PO STRONIE WŁÓKIEN ROZCIĄGANYCH.

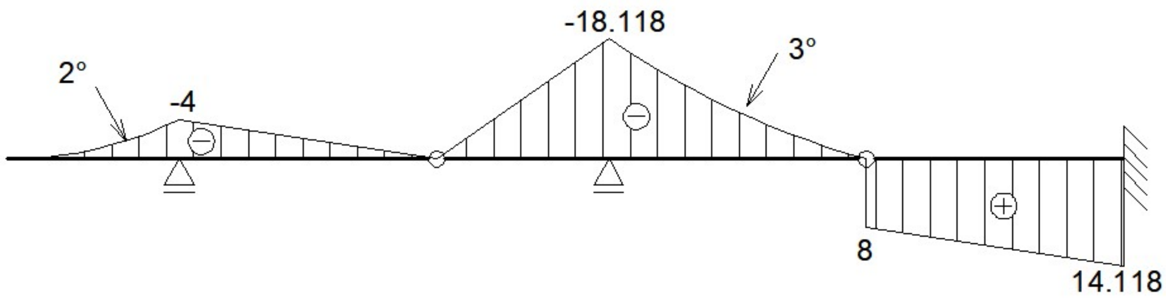
N [kN]



T [kN]

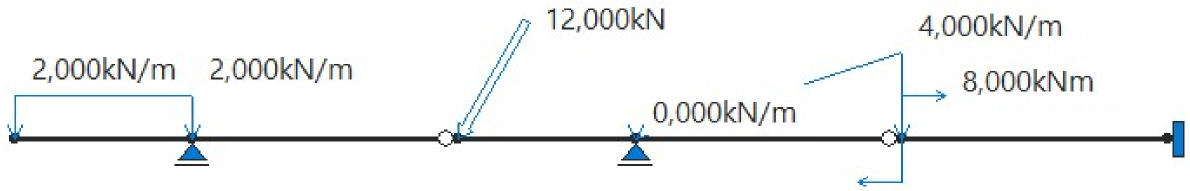


M [kNm]



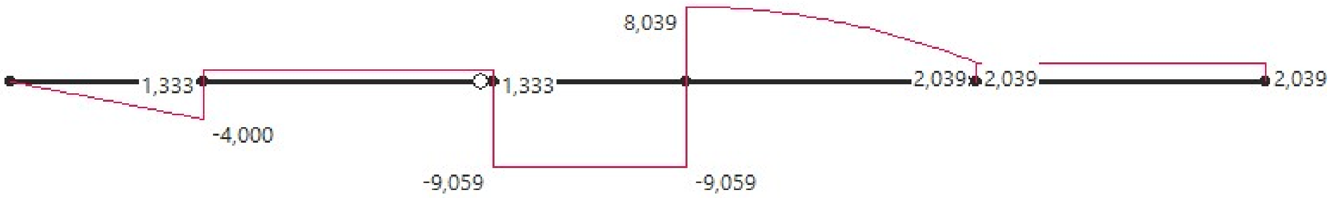
O czym należy pamiętać przy rysowaniu:
- wartości rysujemy w proporcjach,
- jeśli mamy krzywą to zaznaczamy, którego stopnia jest to krzywa (2°, 3°) - moment przy obciążeniu równomiernym jest to zawsze parabola, tak samo jak tnące przy obciążeniu trójkątnym. Moment przy obciążeniu trójkątnym to zawsze krzywa trzeciego stopnia,
- zaznaczamy znak +/- w kółku na wykresie,
- rysujemy kreskowanie prostopadłe do prętów,
- jeżeli krzywa ma ekstremum, to też musimy je obliczyć i zaznaczyć. Przykład belki, w której trzeba liczyć ekstremum momentów jest poniżej.

Sprawdzenie w Soldisie lub innym programie MES.

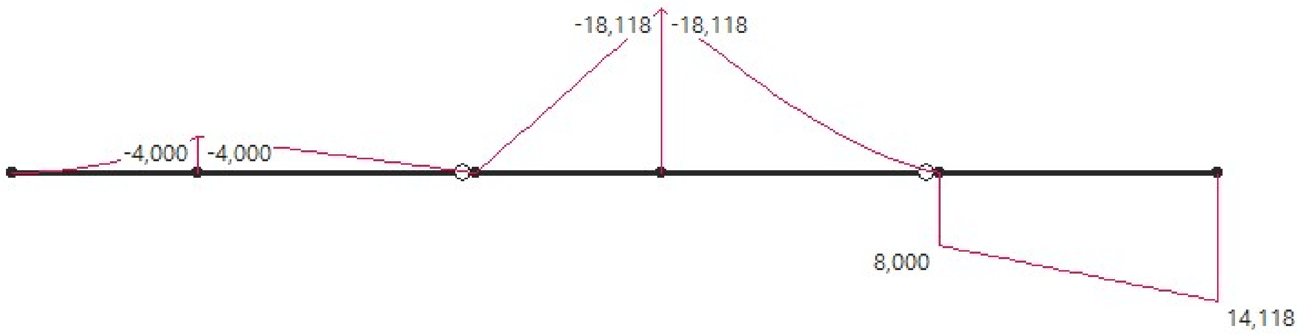


N [kN]

T [kN]

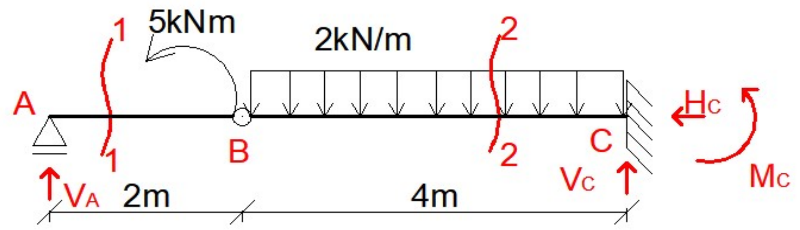


M [kNm]



W celu sprawdzenia, czy zadanie jest zrobione dobrze patrzymy, czy tnące i normalne mają te same znaki (mogą być po różnych stronach) i czy momenty są po tych samych stronach (znaki nie muszą się zgadzać).

Przykład liczenia momentów ekstremalnych



Reakcje

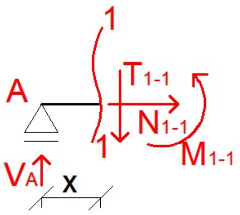
$\Sigma X = 0 \qquad -H_C = 0 \qquad H_C := 0$

$\Sigma M_B^{\ L} = 0 \qquad -V_A \cdot 2\ \mathrm{m} + 5\ \mathrm{kN\ m} = 0 \qquad V_A := \dfrac{5\ \mathrm{kN\ m}}{2\ \mathrm{m}} = 2.5\ \mathrm{kN}$

$\Sigma Y = 0 \qquad V_A + V_C - 2\ \dfrac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 4\ \mathrm{m} = 0 \qquad V_C := -V_A + 2\ \dfrac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 4\ \mathrm{m} = 5.5\ \mathrm{kN}$

$\Sigma M_B^{\ P} = 0 \qquad \left(-2\ \dfrac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}}\right) \cdot 4\ \mathrm{m} \cdot 2\ \mathrm{m} + V_C \cdot 4\ \mathrm{m} + M_C = 0 \qquad M_C := 2\ \dfrac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot 4\ \mathrm{m} \cdot 2\ \mathrm{m} - V_C \cdot 4\ \mathrm{m} = -6\ \mathrm{kN\ m}$

Przekrój 1-1 $\quad x \in (0;2)\mathrm{m}$



$\Sigma X = 0 \qquad N_{1\_1} = 0 \qquad N_{1\_1} := 0$

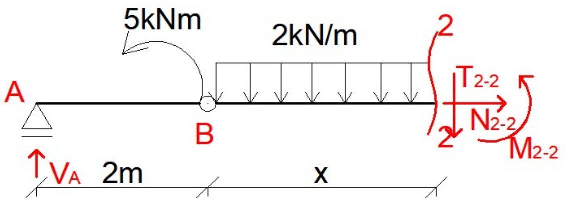
$\Sigma Y = 0 \qquad V_A - T_{1\_1} = 0 \qquad T_{1\_1} := V_A = 2.5\ \mathrm{kN}$

$\Sigma M = 0 \qquad -V_A \cdot x + M_{1\_1} = 0 \qquad M_{1\_1}(x) := V_A \cdot x$

$x = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{1\_1}(0) = 0\ \mathrm{kN\ m}$

$x = 2\ \mathrm{m} \quad \Rightarrow \quad M_{1\_1}(2\ \mathrm{m}) = 5\ \mathrm{kN\ m}$

Przekrój 2-2 $\quad x \in (0;4)\mathrm{m}$



$\Sigma X = 0 \qquad N_{2\_2} = 0$

$N_{2\_2} := 0$

$\Sigma Y = 0 \qquad V_A - 2\ \dfrac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot x - T_{2\_2} = 0$

$T_{2\_2}(x) := V_A - 2\ \dfrac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot x$

$\Sigma M = 0 \qquad -V_A \cdot (x + 2\ \mathrm{m}) + 5\ \mathrm{kN\ m} + 2\ \dfrac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot x \cdot \dfrac{x}{2} + M_{2\_2} = 0$

$M_{2\_2}(x) := V_A \cdot (x + 2\ \mathrm{m}) - 5\ \mathrm{kN\ m} - 2\ \dfrac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}} \cdot x \cdot \dfrac{x}{2}$

$x = 0 \quad \Rightarrow \quad T_{2\_2}(0) = 2.5\ \mathrm{kN} \qquad M_{2\_2}(0) = 0\ \mathrm{kN\ m}$

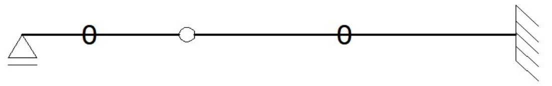
$x = 4\ \mathrm{m} \quad \Rightarrow \quad T_{2\_2}(4\ \mathrm{m}) = -5.5\ \mathrm{kN} \qquad M_{2\_2}(4\ \mathrm{m}) = -6\ \mathrm{kN\ m}$

Tnąca ma różne znaki na początku i końcu pręta, a to oznacza, że będzie ekstremum momentów. Tnąca to pochodna momentu, dlatego trzeba znaleźć miejsce, w którym T=0 i w tym miejscu policzyć moment.

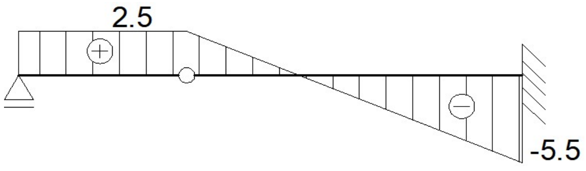
$T_{2\_2} = 0 \qquad x_{max} := \dfrac{V_A}{2\ \dfrac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}}} = 1.25\ \mathrm{m} \qquad M_{max} := M_{2\_2}(x_{max}) = 1.5625\ \mathrm{kN\ m}$

Wykresy

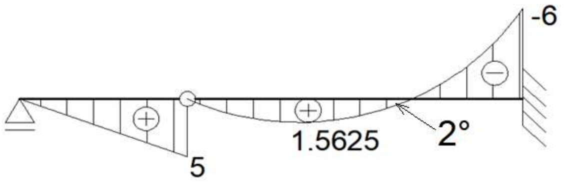
N [kN]



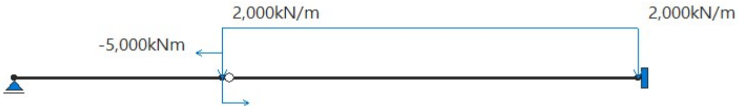
T [kN]



M [kNm]

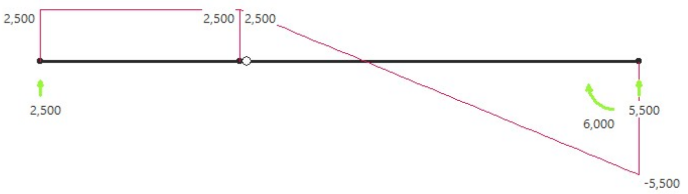


Sprawdzenie

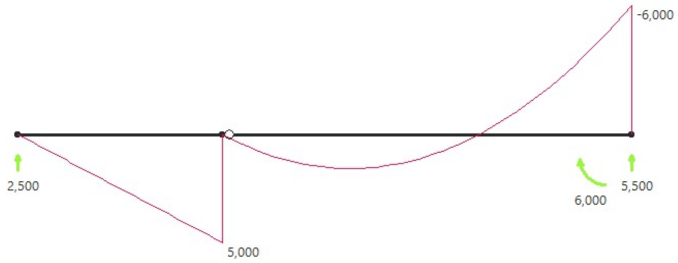


N [kN]

T [kN]

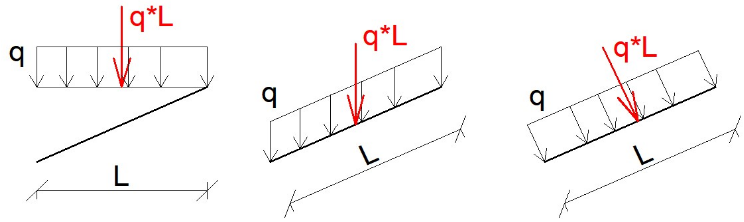


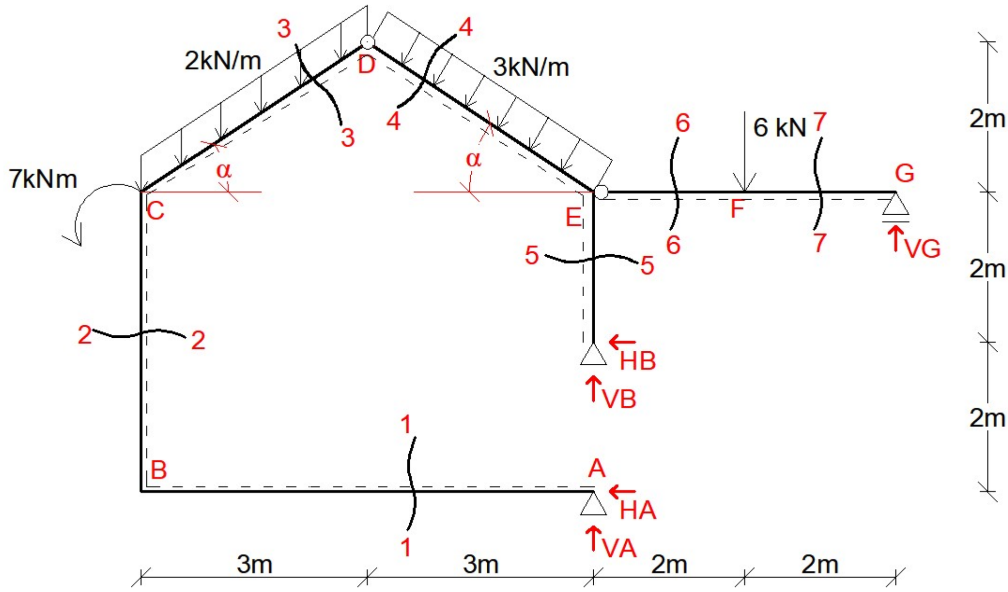
M [kNm]



Zad. 2. Siły wewnętrzne w ramie

Proszę pamiętać, jak rozpatrujemy obciażenie ciągłe na prętach ukośnych:





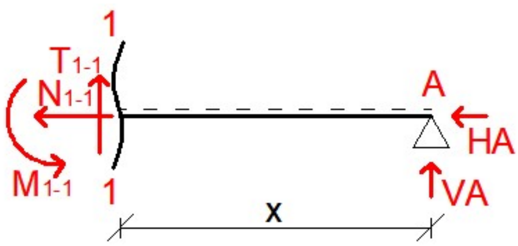
W powyższej ramie nazwano wszystkie węzły i zaznaczono reakcje. Zaznaczono przekroje do policzenia sił wewnętrznych, oraz przyjęto włókna dolne linią przerywaną. Reakcje obliczono w przykładzie z projektu pierwszego, ponieważ jest to ta sama rama.

Proszę zwrócić uwagę, że włókna dolne w przekroju pierwszym są na górze, dlatego, żeby były po tej samej stronie, co w przekroju pierwszym. Jest to zrobione, żeby usystematyzować znaki na wykresach. Oczywiście włókna dolne można ustawić tak, jak się chce, aby potem się trzymać tego, co się przyjęło.

$L := \sqrt{(2\ \mathrm{m})^2 + (3\ \mathrm{m})^2} = 3.6056\ \mathrm{m}$ $\sin(\alpha) = \frac{2\ \mathrm{m}}{L}$ $\cos(\alpha) = \frac{3\ \mathrm{m}}{L}$ $\alpha := \arcsin\left(\frac{2\ \mathrm{m}}{L}\right)$

$V_G := 3\ \mathrm{kN}$ $H_A := 35.47498\ \mathrm{kN}$ $H_B := -41.47498\ \mathrm{kN}$ $V_A := 65.01108\ \mathrm{kN}$ $V_B := -45.79997\ \mathrm{kN}$

Przekrój 1-1 x∈(0;6)m



Proszę zwrócić uwagę, że x zmienia się od 0 do 6 czyli od punktu A do B.

Proszę również zwrócić uwagę, że ze względu na to, że włókna dolne przyjęto na górze pręta, to moment jest w drugą stronę niż w belce.

Uwaga, tym razem nie będziemy pisać równań na ΣX, ΣY i ΣM, tylko od razu równania na siły wewnętrzne. Wymaga to zmiany pewnych przyzwyczajeń - obciążenia zgodne z siłą będą pisane z minusem, a przeciwne z minusem. Czyli teraz nie patrzymy, czy np. siła kręci zgodnie czy przeciwnie z ruchem wskazówek zegara, tylko czy zgodnie/przeciwnie do momentu w przekroju. Oczywiście, jeśli komuś jest wygodniej pisać równania równowagi to jak najbardziej można.

$N_{1\_1} := -H_A = -35.475\ \mathrm{kN}$

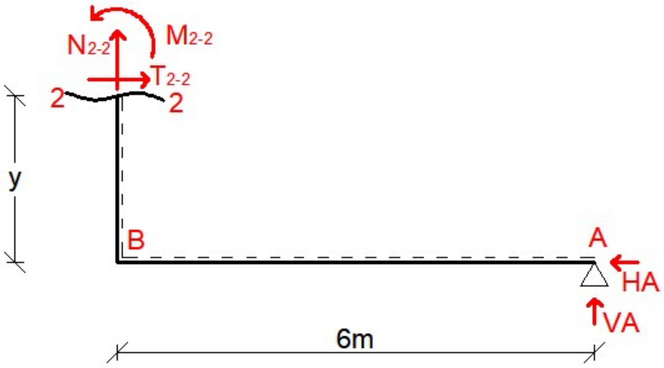
$T_{1\_1} := -V_A = -65.0111\ \mathrm{kN}$

$M_{1\_1}(x) := -V_A \cdot x$

$x = 0$ => $M_{1\_1}(0) = 0$

$x = 6\ \mathrm{m}$ => $M_{1\_1}(6\ \mathrm{m}) = -390.0665\ \mathrm{kN\ m}$

Przekrój 2-2 $\quad y \in (0;4)$m



Tutaj proszę zwrócić uwagę na to, że jest to pręt pionowy, więc zmienia się nie x tylko y.

$$N_{2\_2} := -V_A = -65.0111 \text{ kN}$$

$$T_{2\_2} := H_A = 35.475 \text{ kN}$$

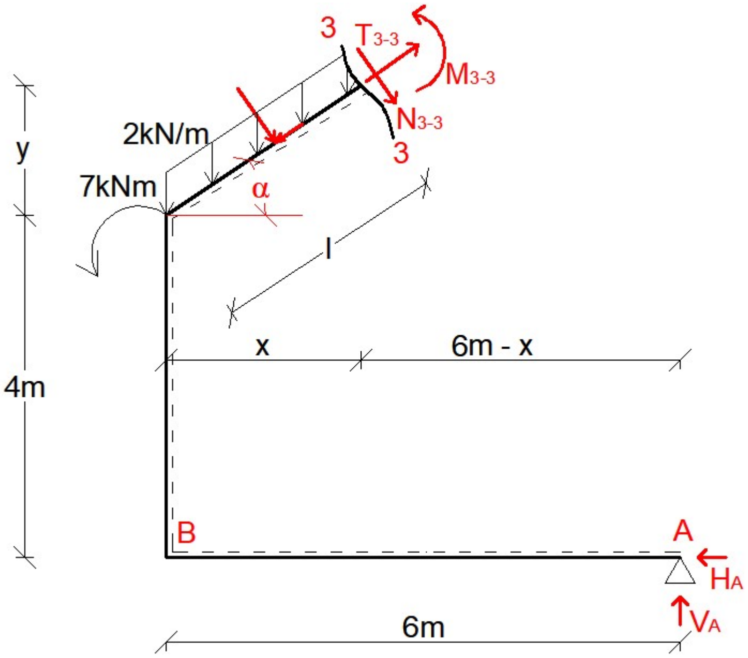
$$M_{2\_2}(y) := -V_A \cdot 6 \text{ m} + H_A \cdot y$$

Proszę zwrócić uwagę, że siłę pionową (V) mnożymy przez długość poziomą, a siłę poziomą (H) mnożymy przez długość poziomą.
W skrócie: ramię to długość prostopadła do siły.

$y = 0$ => $M_{2\_2}(0) = -390.0665 \text{ kN m}$

$y = 4 \text{ m}$ => $M_{2\_2}(4 \text{ m}) = -248.1666 \text{ kN m}$

Przekrój 3-3 $\quad x \in (0;3)$m



Proszę tutaj dobrze się skupić.
Jest to pręt ukośny, więc można tutaj zdefiniować trzy długości zależne od siebie. Oznaczamy przedział np. dla x, natomiast y i l to funkcje zależne od x:

$$y(x) := \frac{2 \text{ m}}{3 \text{ m}} \cdot x \qquad l(x) := \frac{L}{3 \text{ m}} \cdot x$$

Teraz kolejna kwestia. Jako, że Tnąca i Normalna są pod ukosem, to można je znaleźć na dwa sposoby.

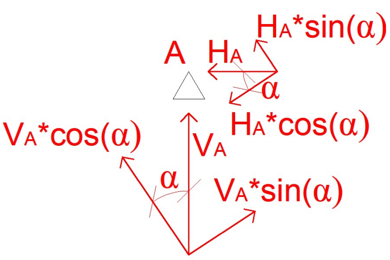
Robimy ΣX i ΣY, i wtedy w obu równaniach mamy składowe ukośnych T i N, co oznacza, że żeby je znaleźć należy rozwiązać układ równań.

lub

Obracamy układ współrzędnych i piszemy równania na T i N. Wtedy wszystkie siły będzie trzeba rozbić na składowe ukośne (równoległe i prostopadłe do pręta), ale za to nie mamy układu równań do policzenia.

Skorzystamy z drugiego sposobu.

Proszę zobaczyć, jak siły są rozbijane na składowe, na przykładzie reakcji w węźle A:



$$N_{3\_3}(x) := -V_A \cdot \sin(\alpha) + H_A \cdot \cos(\alpha) + 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot l(x) \cdot \sin(\alpha)$$

$$T_{3\_3}(x) := V_A \cdot \cos(\alpha) + H_A \cdot \sin(\alpha) - 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot l(x) \cdot \cos(\alpha)$$

W przypadku momentów na szczęście nie trzeba (a nawet nie powinno się, żeby sobie nie utrudniać) rozbijać na te składowe. Proszę tylko zwrócić uwagę, że długość obciążenia ciągłego jest l(x) natomiast ramie to x/2, dlatego, że siła działa pionowo:

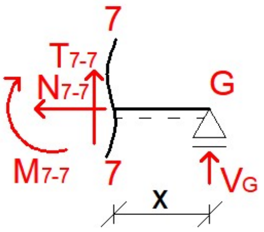
$$M_{3\_3}(x) := -V_A \cdot (6 \text{ m} - x) + H_A \cdot (4 \text{ m} + y(x)) - 7 \text{ kN m} - 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot l(x) \cdot \frac{x}{2}$$

$x = 0$ => $N_{3\_3}(0) = -6.5447 \text{ kN}$ $\quad T_{3\_3}(0) = 73.7705 \text{ kN}$ $\quad M_{3\_3}(0) = -255.1666 \text{ kN m}$

$x = 3 \text{ m}$ => $N_{3\_3}(3 \text{ m}) = -2.5447 \text{ kN}$ $\quad T_{3\_3}(3 \text{ m}) = 67.7705 \text{ kN}$ $\quad M_{3\_3}(3 \text{ m}) = 0 \text{ kN m}$

Przekrój 7-7 $x \in (0;2)\text{m}$

Przekrojów nie trzeba liczyć po kolei. Ważne, żeby policzyć wszystkie.



$N_{7\_7} := 0$

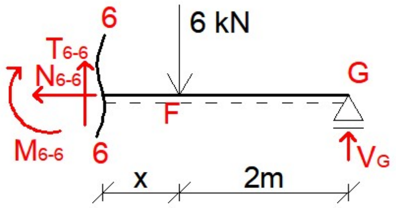
$T_{7\_7} := -V_G = -3\ \text{kN}$

$M_{7\_7}(x) := V_G \cdot x$

$x = 0$ => $M_{7\_7}(0) = 0$

$x = 2\ \text{m}$ => $M_{7\_7}(2\ \text{m}) = 6\ \text{kN m}$

Przekrój 6-6 $x \in (0;2)\text{m}$



$N_{6\_6} := 0$

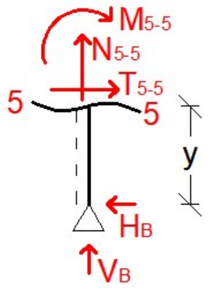
$T_{6\_6} := -V_G + 6\ \text{kN} = 3\ \text{kN}$

$M_{6\_6}(x) := V_G \cdot (x + 2\ \text{m}) - 6\ \text{kN} \cdot x$

$x = 0$ => $M_{6\_6}(0) = 6\ \text{kN m}$

$x = 2\ \text{m}$ => $M_{6\_6}(2\ \text{m}) = 0\ \text{kN m}$

Przekrój 5-5 $y \in (0;2)\text{m}$



$N_{5\_5} := -V_B = 45.8\ \text{kN}$

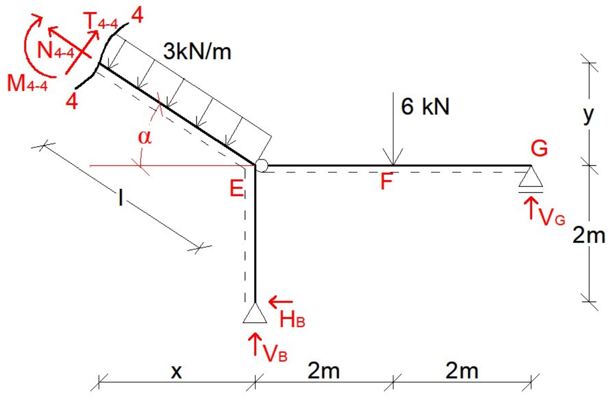
$T_{5\_5} := H_B = -41.475\ \text{kN}$

$M_{5\_5}(y) := -H_B \cdot y$

$y = 0$ => $M_{5\_5}(0) = 0\ \text{kN m}$

$y = 2\ \text{m}$ => $M_{5\_5}(2\ \text{m}) = 82.95\ \text{kN m}$

Przekrój 4-4 $x \in (0;3)\text{m}$



$y(x) := \frac{2\ \text{m}}{3\ \text{m}} \cdot x \qquad l(x) := \frac{L}{3\ \text{m}} \cdot x$

$N_{4\_4} := -H_B \cdot \cos(\alpha) - V_B \cdot \sin(\alpha) - V_G \cdot \sin(\alpha) + 6\ \text{kN} \cdot \sin(\alpha) = 61.5786\ \text{kN}$

$T_{4\_4}(x) := H_B \cdot \sin(\alpha) - V_B \cdot \cos(\alpha) - V_G \cdot \cos(\alpha) + 6\ \text{kN} \cdot \cos(\alpha) + 3\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot l(x)$

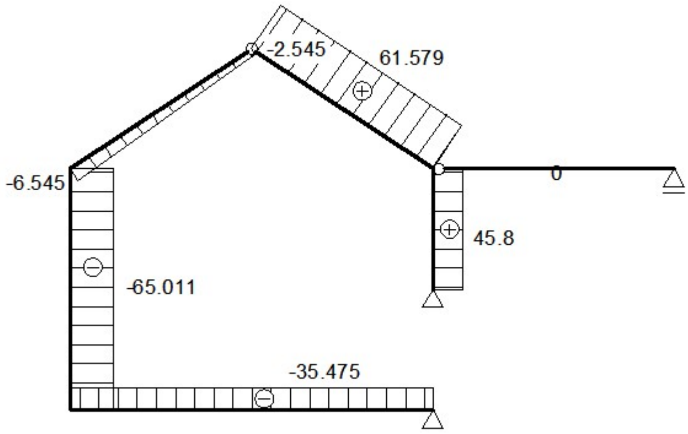
$M_{4\_4}(x) := -H_B \cdot (y(x) + 2\ \text{m}) + V_B \cdot x + V_G \cdot (x + 4\ \text{m}) - 6\ \text{kN} \cdot (x + 2\ \text{m}) - 3\ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot l(x) \cdot \frac{l(x)}{2}$

$x = 0$ => $T_{4\_4}(0) = 17.5978\ \text{kN}$ $\qquad M_{4\_4}(0) = 82.95\ \text{kN m}$

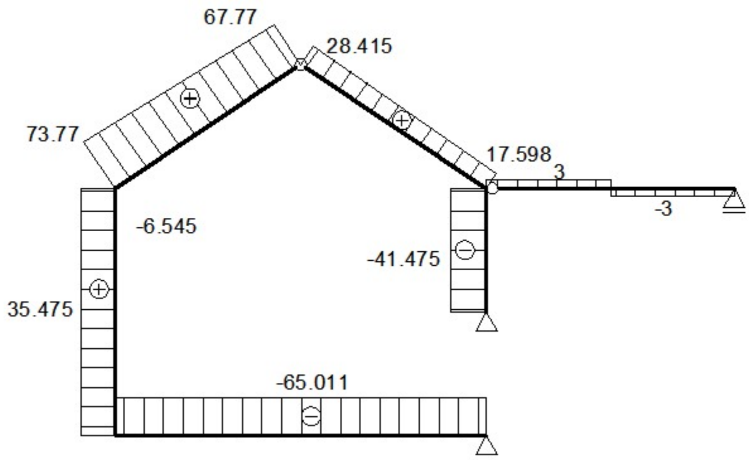
$x = 3\ \text{m}$ => $T_{4\_4}(3\ \text{m}) = 28.4145\ \text{kN}$ $\qquad M_{4\_4}(3\ \text{m}) = 0\ \text{kN m}$

Wykresy

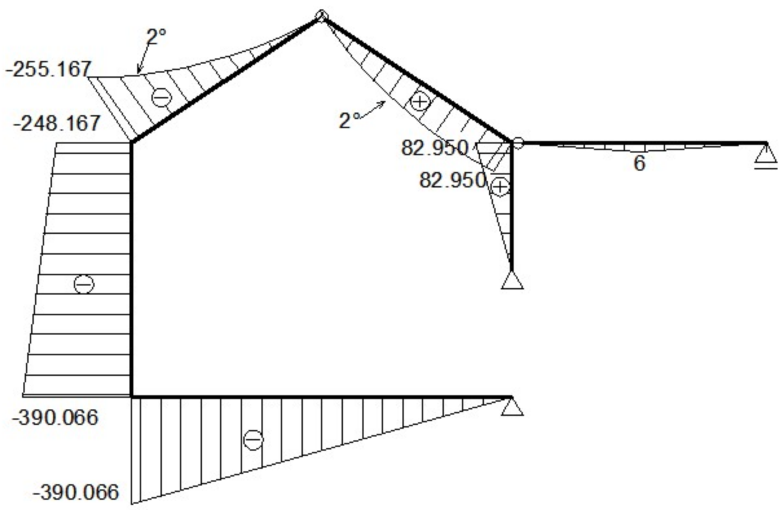
N [kN]



T [kN]

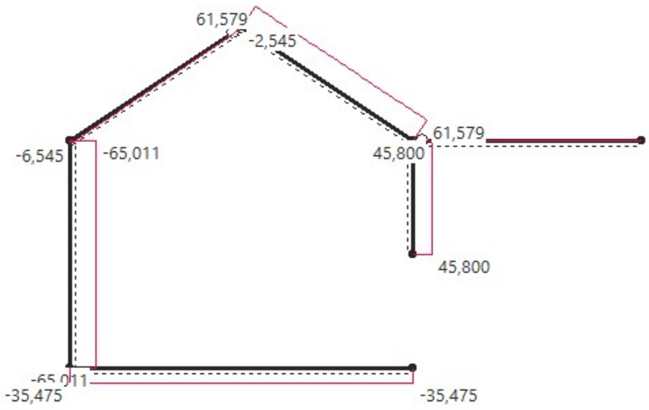


M [kNm]

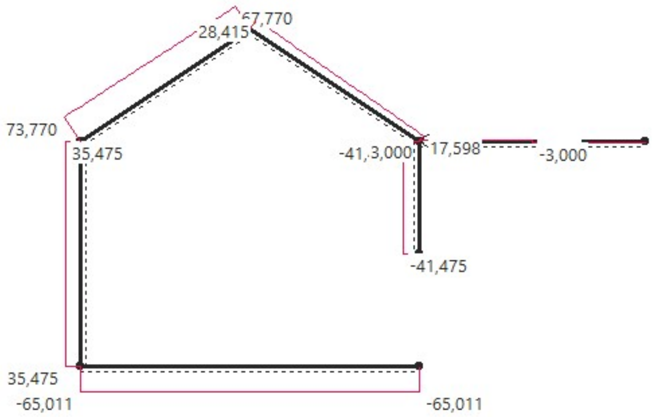


Sprawdzenie

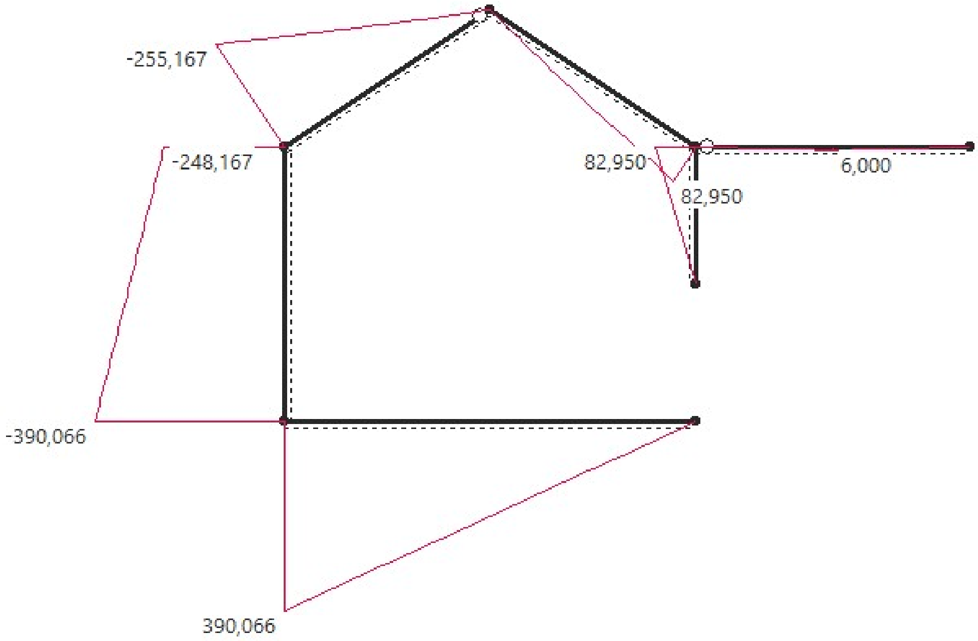
N [kN]



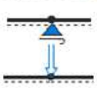
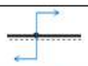
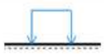
T [kN]



M [kNm]



Na koniec pomocna tabelka, która pokazuje zależność wykresu momentów i tnących od elementów na belce/ramie

Element	Schemat	M	T
Pręt bez niczego		Funkcja liniowa	Wartość stała
Przegub		0	Nie zależy od elementu
Reakcja/siła na końcu belki		0	Wartość równa reakcji/sile
Reakcja/siła wewnątrz belki		Załamanie wykresu	Skok wykresu o wartość reakcji/siły
Reakcja/moment na końcu belki		Wartość równa reakcji/momentowi skupionemu	Nie zależy od elementu
Moment wewnątrz belki		Skok wykresu o wartość momentu	Nie zależy od elementu
Obciążenie równomierne		Krzywa 2°	Funkcja liniowa
Obciążenie trójkątne		Krzywa 3°	Krzywa 2°