

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

PODSTAWY STATYKI BUDOWLI
projekt

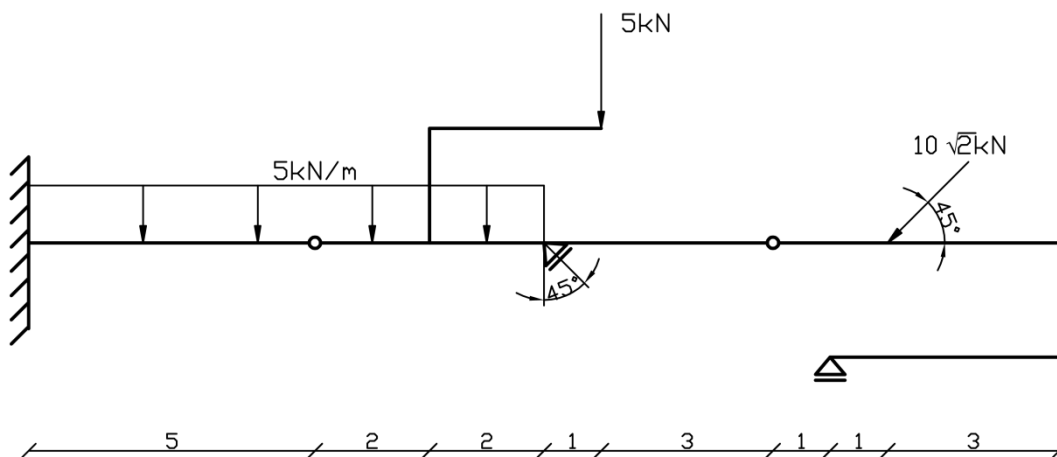
ZADANIE PROJEKTOWE

Data: 21.01.2010

Student:

Prowadzący: Dr inż. Monika Podwórna

Dla belki wieloprzęslowej przegubowej wyznaczyć reakcję i sporządzić wykresy sił przekrojowych. Zadanie rozwiązać analitycznie



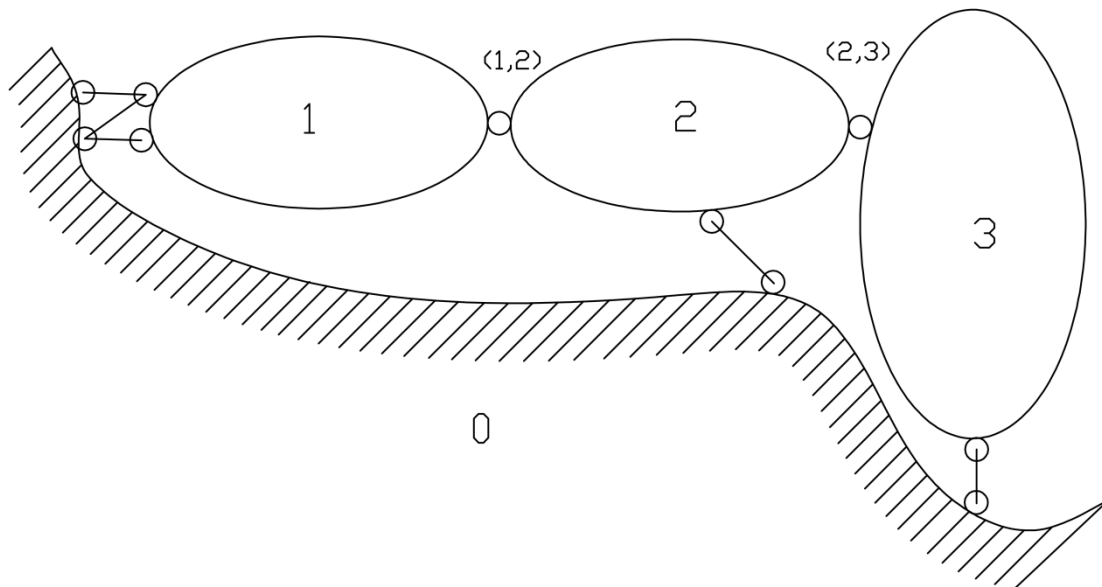
Statyczna niezmienność i geometryczna wyznaczalność układu:

Warunek ilościowy geometrycznej niezmienności:

$e=3t$ gdzie: e - ilość więzi elementarnych t - ilość tarcz	$9=3 \cdot 3$ $e=9$ $t=3$
--	--

Warunek ilościowy spełniony.

Warunek jakościowy niezmienności układu:



Korzystając z twierdzenia o 2 tarczach (tarcze połączone są 3 niezbieżnymi ani nie równoległymi więziami) można stwierdzić, że tarcze 0-1 tworzą układ geometrycznie niezmienny. Ponieważ tarcza 0 jest ostoją tak więc tarczę 1 także traktujemy również jako ostoję.

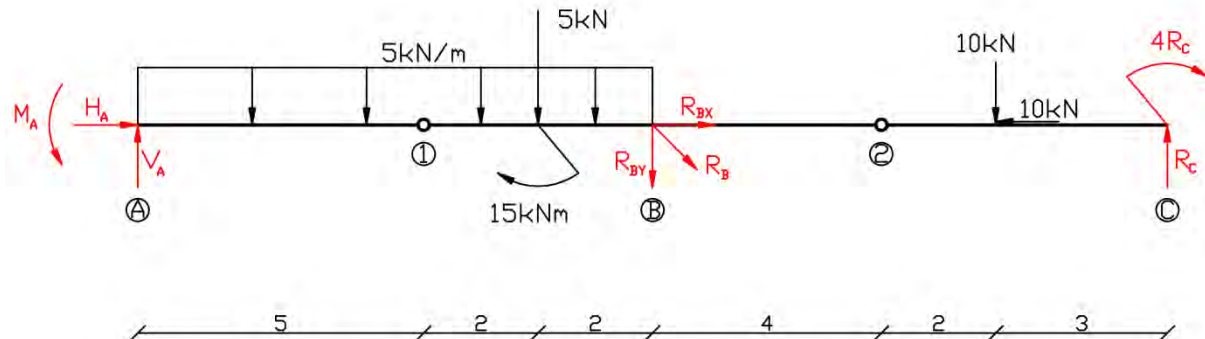
Ponownie korzystamy z twierdzenia o 2 tarczach. Tym razem tarcza 2 jest połączona 3 więziami nierównoległymi i niezbieżnymi z tarczą 0 (0-1). Tarcze (0-1)-2 traktujemy jako ostoję.

Po raz trzeci należy skorzystać z twierdzenia o 2 tarczach. Sytuacja się powtarza.

Warunek jakościowy spełniony.

**TARCZE 0-1-2-3 TWORZĄ UKŁAD GEOMETRYCZNIE NIEZMIENNY ORAZ
STATYCZNIE WYZNACZALNY**

Rozwiązanie belki metodą bezpośrednią:



Rozkład sił i reakcji na 2 składowe:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 45^{\circ} = 1$$

$$R_{BX} = R_{BY}$$

$$X^2 + Y^2 = (10\sqrt{2})^2$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 45^{\circ} = 1$$

$$X = Y$$

$$X^2 + X^2 = 200$$

$$X = 10$$

$$Y = 10$$

Wyznaczenie reakcji:

$$\sum M_2^{(P)} = 0$$

$$\sum M_1^{(P)} = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$\sum X = 0$$

$$\sum Y = 0$$

$$10 \cdot 2 + 4 \cdot R_C - 5 \cdot R_C = 0$$

$$R_C = 20kN$$

$$5 \cdot 4 \cdot 2 + 5 \cdot 2 + 15 + 4 \cdot R_{BY} + 10 \cdot 10 + 4 \cdot R_C - 13 \cdot R_C = 0$$

$$R_{BY} = R_{BX} = 3,75kN$$

$$-M_A + 5 \cdot 9 \cdot 4,5 + 5 \cdot 7 + 15 + 9 \cdot R_{BY} + 10 \cdot 15 + 4 \cdot R_C - 18 \cdot R_C = 0 \quad M_A = 156,25kNm$$

$$H_A + R_{BX} - 10 = 0$$

$$H_A = 6,25kN$$

$$-V_A + 5 \cdot 9 + 5 + R_{BY} + 10 - R_C = 0$$

$$V_A = 43,75kN$$

Sprawdzenie:

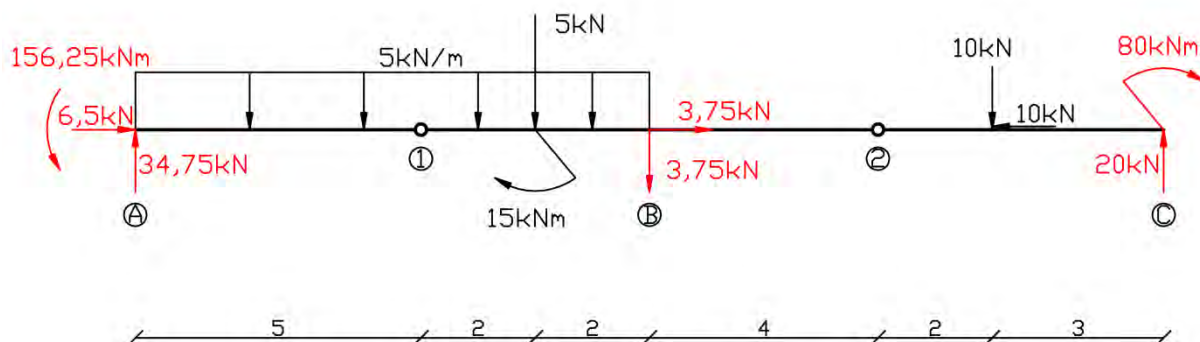
$$\sum M_1 = 0$$

$$-156,25 + 43,75 \cdot 5 - 5 \cdot 5 \cdot 2,5 + 5 \cdot 2 +$$

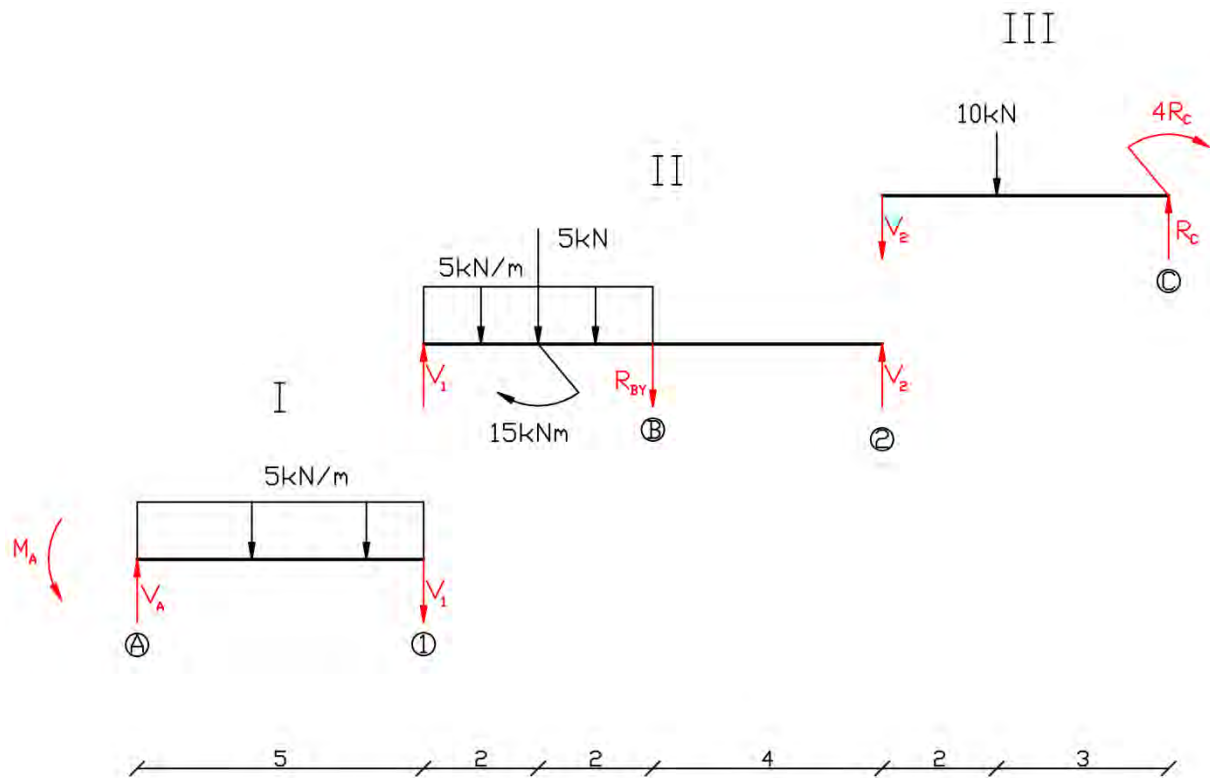
$$+15 + 5 \cdot 4 \cdot 2 + 4 \cdot 3,75 + 10 \cdot 10 + 4 \cdot 20 - 20 \cdot 13 = 0$$

$$478,75 - 478,75 = 0$$

Obliczenia wykonane poprawnie.



Rozwiązanie metodą rozbicia na belki proste:



Wyznaczenie reakcji w belce III:

$$\sum M_2 = 0$$

$$\sum M_C = 0$$

$$10 \cdot 2 + 4 \cdot R_C - 5 \cdot R_C = 0$$

$$R_C = 20kN$$

$$-5 \cdot V_2 - 10 \cdot 3 + 4 \cdot R_C = 0$$

$$V_2 = 10kN$$

Wyznaczenie reakcji w belce II:

$$\sum M_1 = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

$$5 \cdot 2 + 15 + 5 \cdot 4 \cdot 2 + 4 \cdot R_{BY} - 10 \cdot 8 = 0$$

$$R_{BY} = 3,75kN$$

$$4 \cdot V_1 - 5 \cdot 2 + 15 - 5 \cdot 4 \cdot 2 - 10 \cdot 4 = 0$$

$$V_1 = 18,75kN$$

Wyznaczenie reakcji w belce I:

$$\sum Y = 0$$

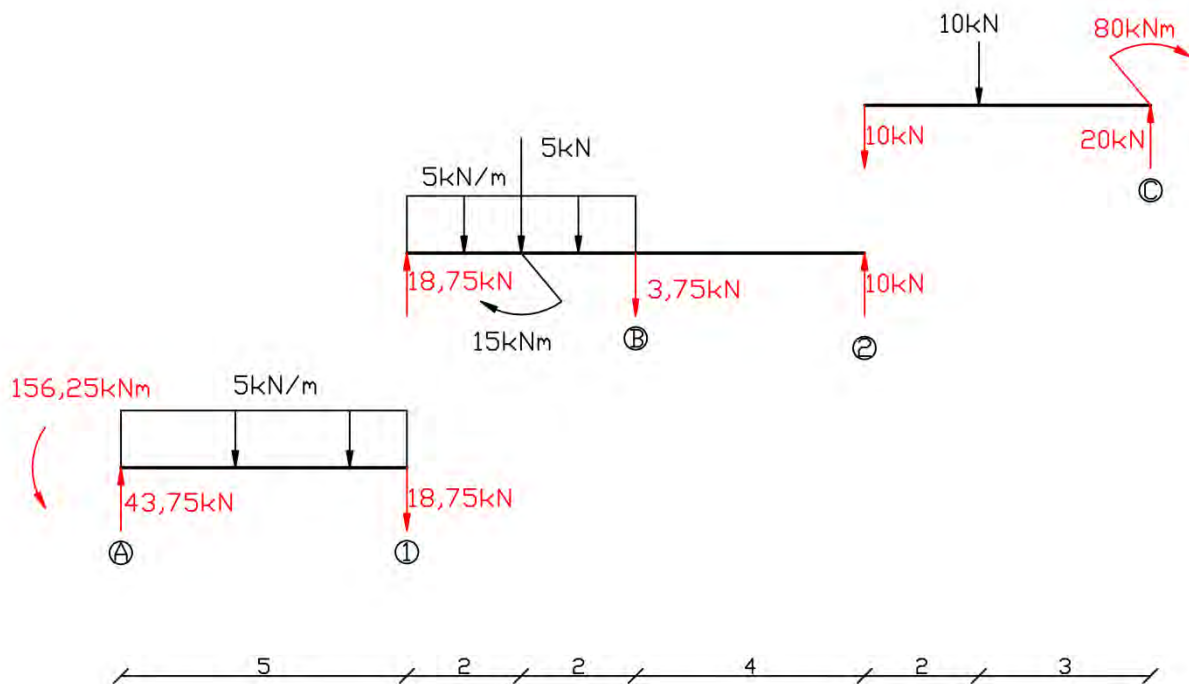
$$\sum M_A = 0$$

$$-V_A + 5 \cdot 5 + 18,75 = 0$$

$$V_A = 43,75kN$$

$$-M_A + 5 \cdot 5 \cdot 2,5 + 18,75 \cdot 5 = 0$$

$$M_A = 156,25kN$$



Momenty:

Dla belki I:

$x_1 \in (0,5)$ z prawej

$$M(x_1) = -156,35 + 43,75 \cdot x_1 - 5/2 \cdot x_1^2$$

$$M(0) = -156,35 \text{ kNm}$$

$$M(2,5) = -62,5 \text{ kNm}$$

$$M(5) = 0 \text{ kNm}$$

Dla belki II:

$x_2 \in (0,2)$ z prawej

$$M(x_2) = 18,75 \cdot x_2 - 5/2 \cdot x_2^2$$

$$M(0) = 0 \text{ kNm}$$

$$M(1) = 16,25 \text{ kNm}$$

$$M(2) = 27,5 \text{ kNm}$$

$x_3 \in (2,4)$ z prawej

$$M(x_3) = 18,75 \cdot x_3 - \frac{5}{2} \cdot x_3^2 + 15 - 5 \cdot (x_3 - 2) - \frac{5}{2} \cdot (x_3 - 2)^2$$

$$M(2) = 42,5 \text{ kNm}$$

$$M(3) = 41,25 \text{ kNm}$$

$$M(4) = 40 \text{ kNm}$$

$x_4 \in (0,4)$ z lewej

$$M(x_4) = 10 \cdot x_4$$

$$M(0) = 0\text{kNm}$$

$$M(4) = 40\text{kNm}$$

Dla belki III:

$x_5 \in (0,2)$ z prawej

$$M(x_5) = -10 \cdot x_5$$

$$M(0) = 0\text{kNm}$$

$$M(2) = -20\text{kNm}$$

$x_6 \in (2,5)$ z prawej

$$M(x_6) = -10 \cdot x_6 - 10 \cdot (x_6 - 2)$$

$$M(2) = -20\text{kNm}$$

$$M(5) = -80\text{kNm}$$

Sily tnące:

$x_1 \in (0,7)$ z prawej

$$T(x_1) = 43,75 - 5 \cdot x_1$$

$$T(0) = 43,75\text{kN}$$

$$T(7) = 8,75\text{kN}$$

$x_2 \in (7,9)$ z prawej

$$T(x_2) = 43,75 - 5 \cdot x_2 - 5$$

$$T(7) = 3,75\text{kN}$$

$$T(9) = -6,25\text{kN}$$

$x_3 \in (0,3)$ z lewej

$$T(x_3) = -20$$

$$T(0) = -20\text{kN}$$

$$T(3) = -20\text{kN}$$

$x_4 \in (3,9)$ z lewej

$$T(x_4) = -20 + 10$$

$$T(3) = -10\text{kN}$$

$$T(9) = -10\text{kN}$$

Sily osiowe:

$x_1 \in (0,9)$ z prawej

$$N(x_1) = -6,25$$

$$N(0) = -6,25\text{kN}$$

$$N(9) = -6,25\text{kN}$$

$x_2 \in (9,18)$ z prawej

$$N(x_1) = -6,25 - 3,75$$

$$N(9) = -10\text{kN}$$

$$N(18) = -10\text{kN}$$

Wyznaczenie ekstremum:

Dla belki I:

$$x_1 \in (0,5) \text{ z prawej}$$

$$M'(x) = -5 \cdot x + 43,75 = 0$$

$$x = 8,75$$

$$x \notin (0,5)$$

Dla belki II:

$$x_2 \in (0,2) \text{ z prawej}$$

$$M'(x) = -5 \cdot x + 18,75 = 0$$

$$x = 3,75$$

$$x \notin (0,2)$$

$$x_3 \in (2,4) \text{ z prawej}$$

$$M'(x) = -5x + 13,75 = 0$$

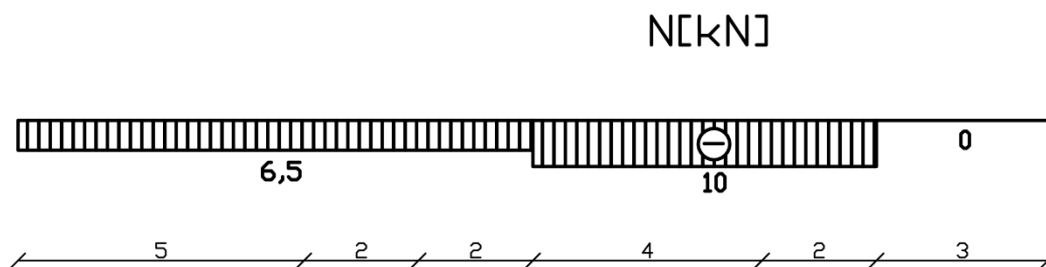
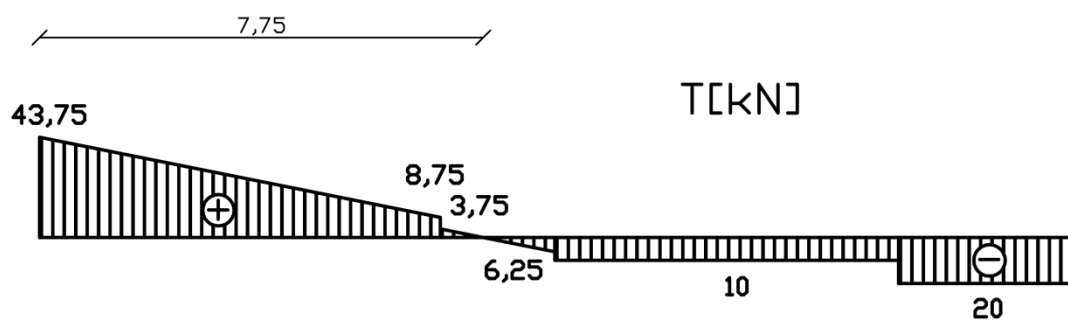
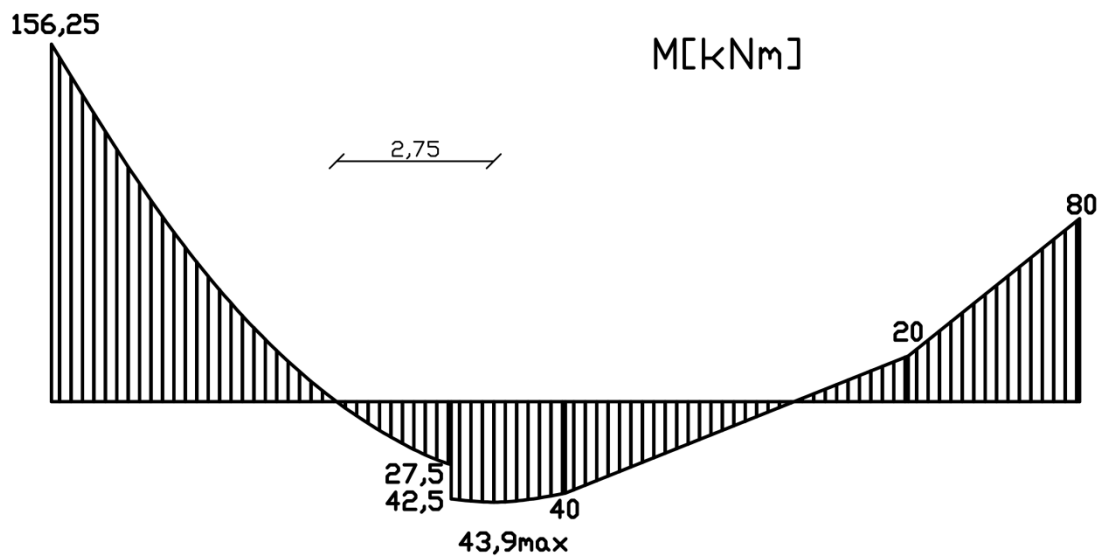
$$x = 2,75$$

$$x \in (2,4)$$

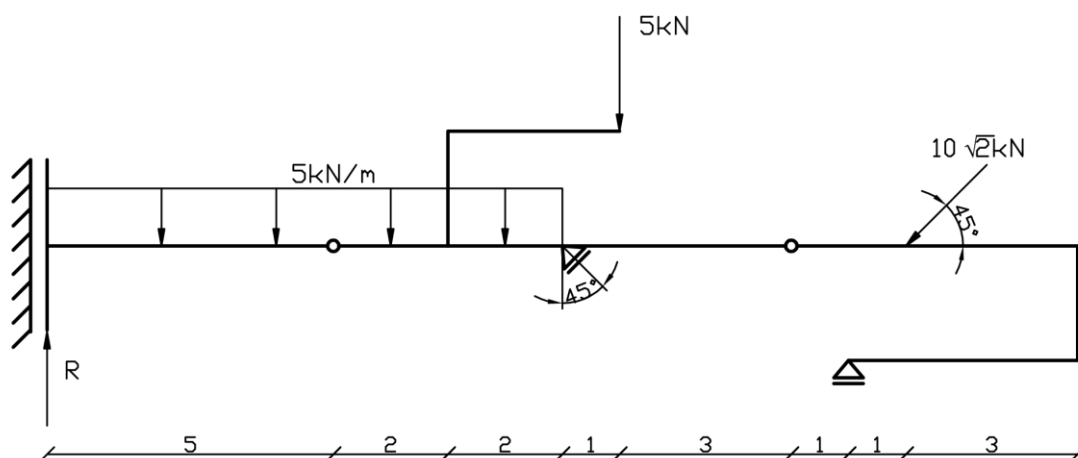
$$M(2,75) = 43,9\text{kNm}$$

Maksimum lokalne

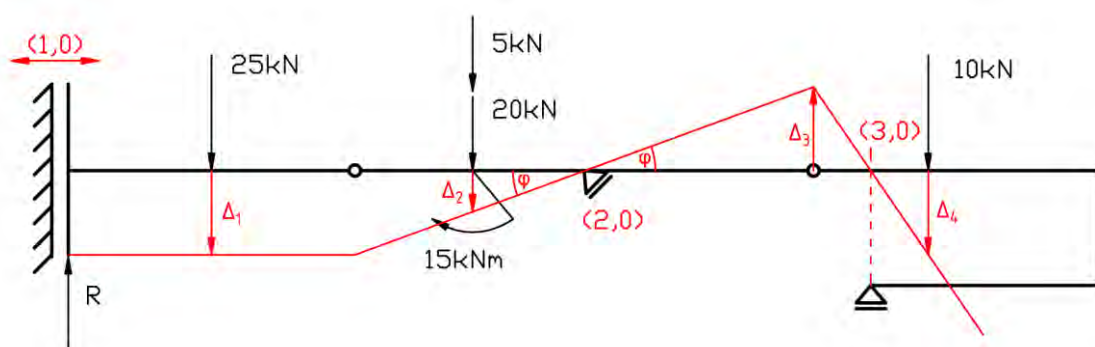
Wykresy sił przekrojowych:



Wyznaczenie wartości reakcji R metodą kinematyczną



Schemat przemieszczeń rzeczywistych:



$$L = 0$$

$$\Delta_1 = \Delta$$

$$\Delta_2 = \frac{\Delta}{2}$$

$$\Delta_3 = \Delta$$

$$\Delta_4 = \Delta$$

$$\varphi = \tan \varphi = \frac{\Delta}{4}$$

$$L = -R \cdot \Delta_1 + 25 \cdot \Delta_1 + 5 \cdot \Delta_2 + 20 \cdot \Delta_2 - 15 \cdot \varphi + 10 \cdot \Delta_4 = 0$$

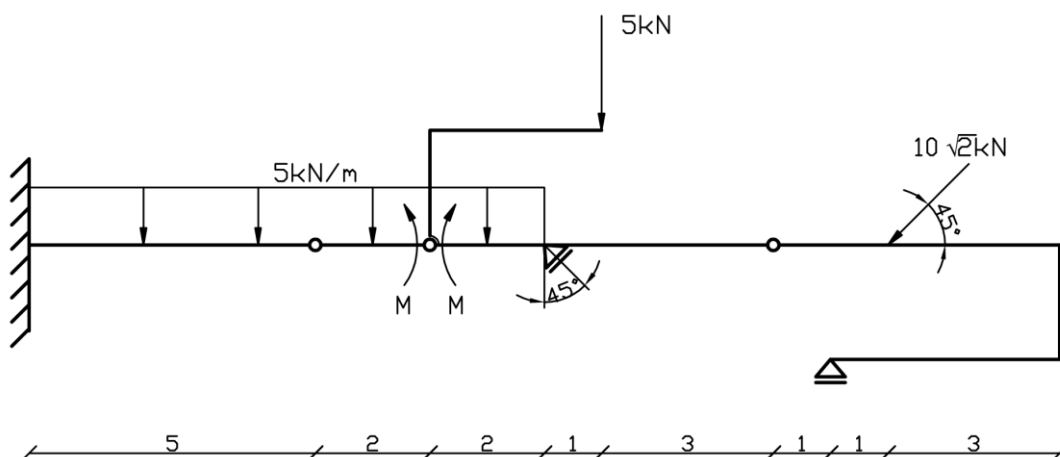
$$L = -R \cdot \Delta + 25 \cdot \Delta + 5 \cdot \frac{\Delta}{2} + 20 \cdot \frac{\Delta}{2} - 15 \cdot \frac{\Delta}{4} + 10 \cdot \Delta = 0$$

$$L = -R + 25 + \frac{5}{2} + 10 - \frac{15}{4} + 10 = 0$$

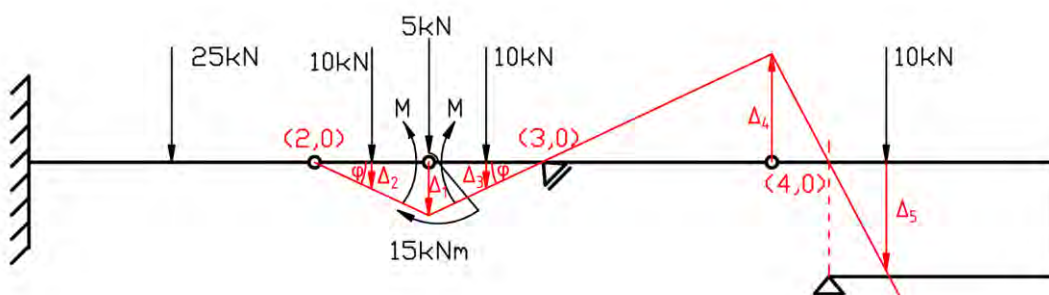
$$R = 25 + \frac{5}{2} + 10 - \frac{15}{4} + 10$$

$$R = 43,75$$

Wyznaczenie wartości M_x metodą kinematyczną



Schemat przemieszczeń rzeczywistych:



$$L = 0$$

$$\Delta_1 = \Delta$$

$$\Delta_2 = \frac{\Delta}{2}$$

$$\Delta_3 = \frac{\Delta}{2}$$

$$\Delta_4 = 2\Delta$$

$$\Delta_5 = 2\Delta$$

$$\varphi = \tan \varphi = \frac{\Delta}{2}$$

$$L = -M \cdot \varphi - M \cdot \varphi + 10 \cdot \Delta_2 + 5 \cdot \Delta_1 + 10 \cdot \Delta_3 - 15 \cdot \varphi + 10 \cdot \Delta_5 = 0$$

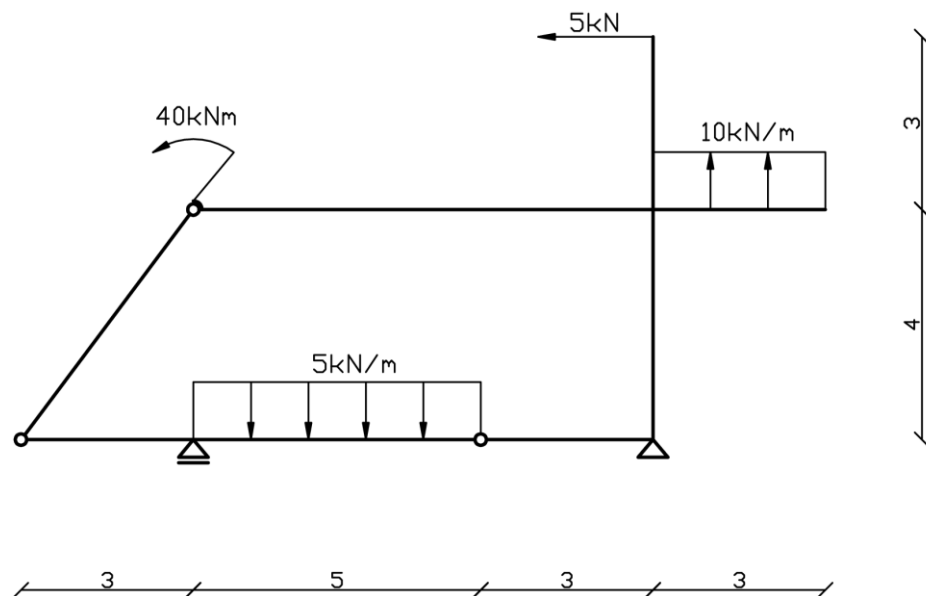
$$L = -M \cdot \frac{\Delta}{2} - M \cdot \frac{\Delta}{2} + 10 \cdot \frac{\Delta}{2} + 5 \cdot \Delta + 10 \cdot \frac{\Delta}{2} - 15 \cdot \frac{\Delta}{2} + 10 \cdot 2\Delta = 0$$

$$L = -M + 5 + 5 + 5 - \frac{15}{2} + 20 = 0$$

$$M = 25 + \frac{5}{2} + 10 - \frac{15}{4} + 10$$

$$M = 27,5$$

Ramę o schemacie statycznym przedstawionym na rysunku rozwiązać metodą analityczną. Sprawdzić równowagę zaznaczonego węzła.



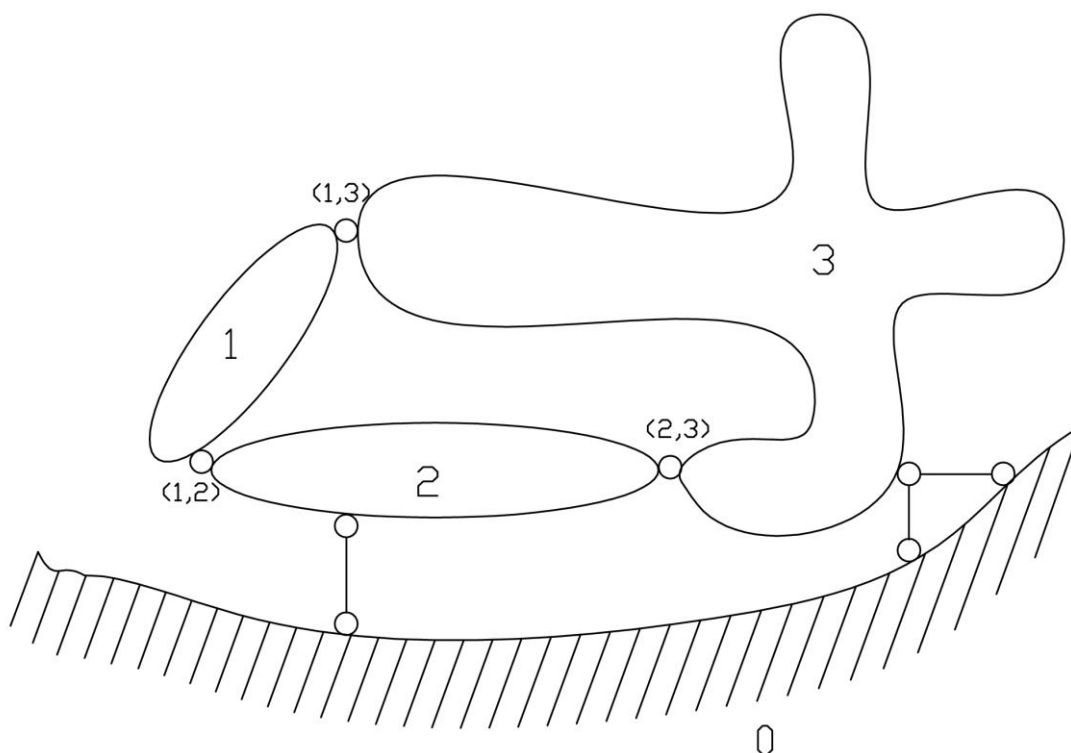
Statyczna niezmienność i geometryczna wyznaczalność układu:

Warunek ilościowy geometrycznej niezmienności:

$e=3t$ gdzie: e - ilość więzi elementarnych t - ilość tarcz	$9=3 \cdot 3$ • $e=9$ • $t=3$
--	--

Warunek ilościowy spełniony.

Warunek jakościowy niezmienności układu:



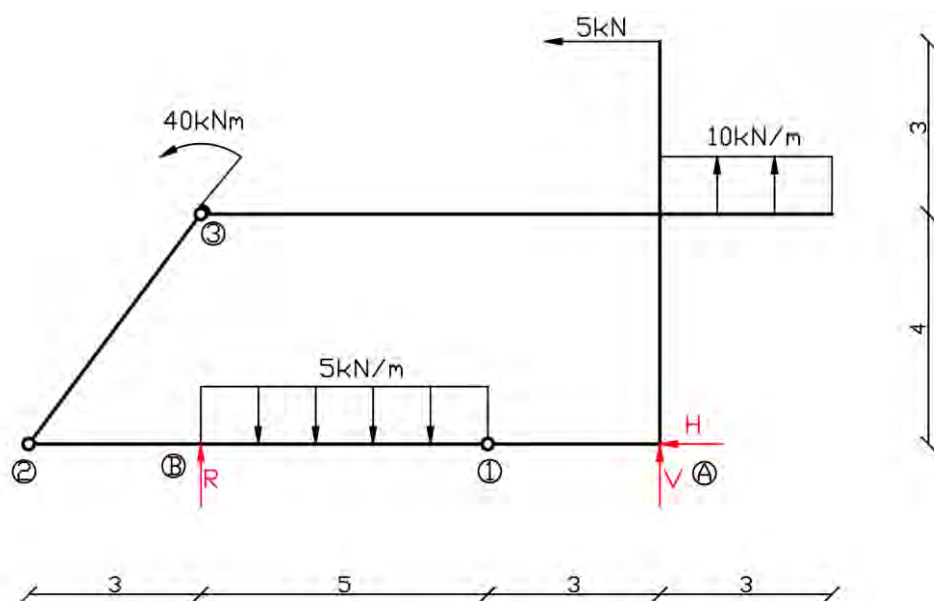
Korzystając z twierdzenia o 3 tarczach można stwierdzić, że tarcze 1-2-3 tworzą układ geometrycznie niezmienny.

Następnie korzystając z twierdzenia o 2 tarczach, tarcza (1-2-3) tworzy z tarczą 0 jedną tarczę. Tarcza 0 jest ostoją stąd całość traktujemy jako ostoję.

Warunek jakościowy spełniony.

**TARCZE 0-1-2-3 TWORZĄ UKŁAD GEOMETRYCZNIE NIEZMIENNY ORAZ
STATYCZNIE WYZNACZALNY**

Rozwiązanie ramy:



Wyznaczenie reakcji:

$$\sum M_A = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

$$\sum X = 0$$

$$-40 + R \cdot 8 - 5 \cdot 5 \cdot 5,5 - 5 \cdot 7 - 3 \cdot 10 \cdot 1,5 = 0$$

$$R = 32,1875 \text{ kN}$$

$$-40 + 5 \cdot 5 \cdot 2,5 - V \cdot 8 - 5 \cdot 7 - 3 \cdot 10 \cdot 9,5 = 0$$

$$V = -37,1875 \text{ kN}$$

$$-5 - H = 0$$

$$H = -5 \text{ kNm}$$

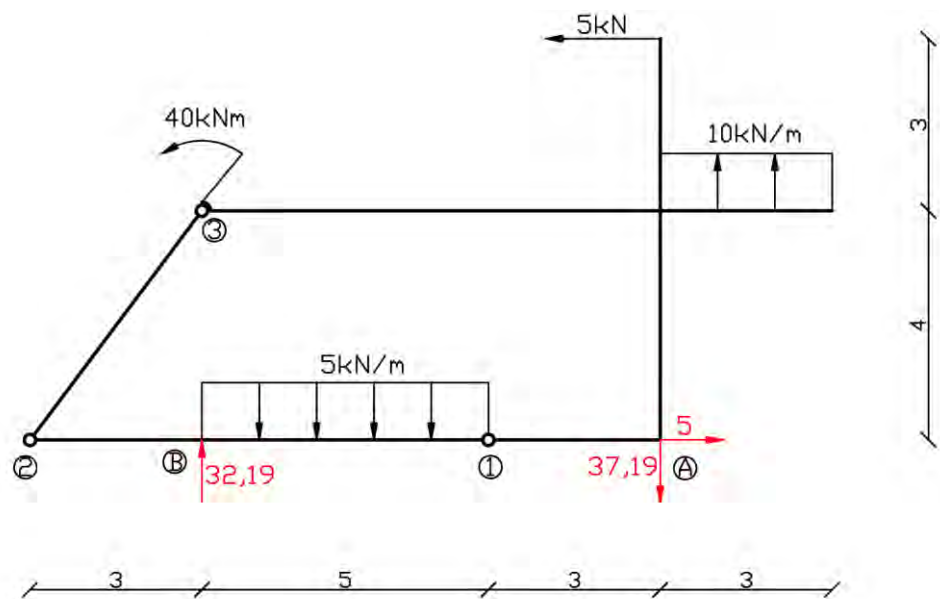
Sprawdzenie:

$$\sum Y = 0$$

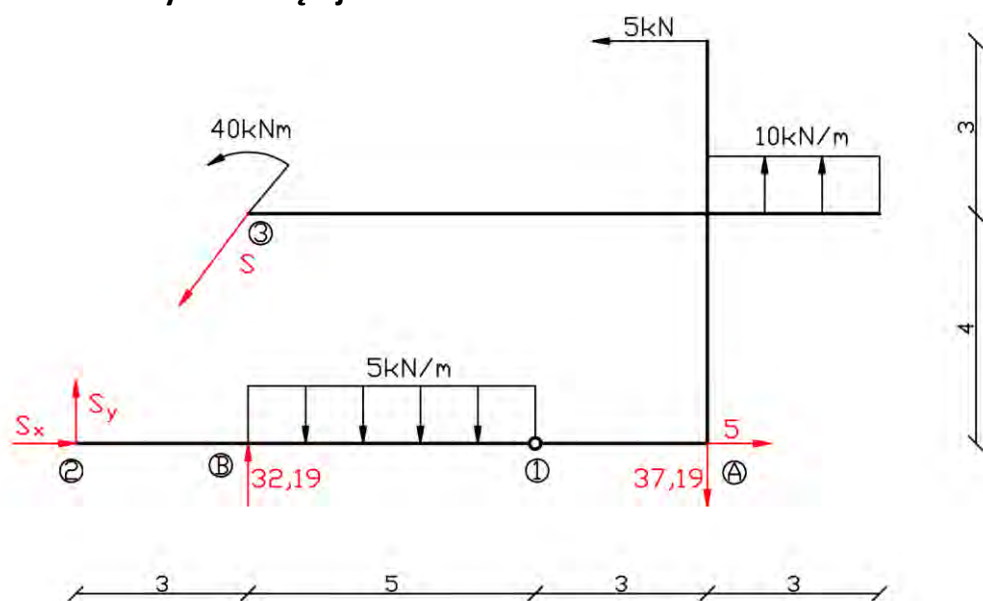
$$32,1875 - 5 \cdot 5 - 37,1875 + 10 \cdot 3 = 0$$

$$62,1875 - 62,1875 = 0$$

Obliczenia wykonane poprawnie.



Otwarcie komory zamkniętej:



Obliczenie sił:

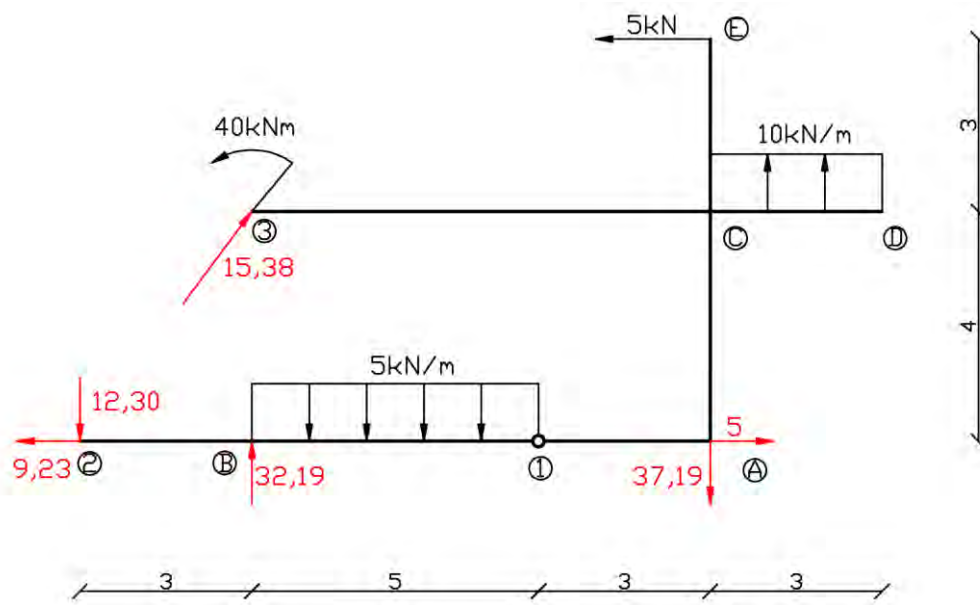
$$\sum M_1^L = 0$$

$$S_y \cdot 8 + 32,1875 \cdot 5 - 5 \cdot 5 \cdot 2,5 = 0$$

$$S_y = -12,3047 \text{ kN}$$

$$\frac{S_y}{S_x} = \frac{4}{3} \rightarrow S_x = \frac{S_y \cdot 3}{4}$$

$$S_x = -9,2285 \text{ kN}$$



Momenty:

Dla fragmentu 2-A:

$$x_1 \in (0,3)$$

$$M(x_1) = -12,3047 \cdot x_1$$

$$M(0) = 0 \text{ kNm}$$

$$M(3) = -36,91 \text{ kNm}$$

$$x_2 \in (3,8)$$

$$M(x_2) = -12,3047 \cdot x_2 + 32,1875 \cdot (x_2 - 3) - 5 \cdot (x_2 - 3) \cdot \frac{(x_2 - 3)}{2}$$

$$M(3) = -36,91 \text{ kNm}$$

$$M(4) = -19,53 \text{ kNm}$$

$$M(6) = 0,23 \text{ kNm}$$

$$M(7) = 2,62 \text{ kNm}$$

$$M(8) = 0 \text{ kNm}$$

$$x_3 \in (8,11)$$

$$M(x_3) = -12,3047 \cdot x_3 + 32,1875 \cdot (x_3 - 3) - 25 \cdot (x_3 - 8 + 2,5)$$

$$M(8) = 0 \text{ kNm}$$

$$M(11) = -15,35 \text{ kNm}$$

Dla fragmentu 3-C:

$$x_1 \in (0,8)$$

$$M(x_1) = -40 + 12,3047 \cdot x_1$$

$$M(0) = -40 \text{ kNm}$$

$$M(8) = 58,44 \text{ kNm}$$

Dla fragmentu E-C:

$$x_1 \in (0,3)$$

$$M(x_1) = -5 \cdot x_1$$

$$M(0) = 0 \text{ kNm}$$

$$M(8) = -15 \text{ kNm}$$

Dla fragmentu D-C:

$$x_1 \in (0,3)$$

$$M(x_1) = 10 \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2}$$

$$M(0) = 0 \text{ kNm}$$

$$M(1) = 5 \text{ kNm}$$

$$M(2) = 20 \text{ kNm}$$

$$M(3) = 45 \text{ kNm}$$

Dla fragmentu 2-3:

$$x_1 \in (0,5)$$

$$M(x_1) = 0$$

$$M(0) = 0 \text{ kNm}$$

$$M(5) = 0 \text{ kNm}$$

Siły tnące:

Dla fragmentu 2-A:

$$x_1 \in (0,3)$$

$$T(x_1) = -12,3047$$

$$T(0) = -12,30 \text{ kNm}$$

$$T(3) = -12,30 \text{ kNm}$$

$$x_2 \in (3,8)$$

$$T(x_2) = -12,3047 + 32,1875 - 5 \cdot x_2 + 15$$

$$T(3) = 19,88\text{kNm}$$

$$T(8) = -5,12\text{kNm}$$

$$x_3 \in (8,11)$$

$$T(x_3) = -12,3047 + 32,1875 - 25$$

$$T(8) = -5,12\text{kNm}$$

$$T(11) = -5,12\text{kNm}$$

Dla fragmentu 3-C:

$$x_1 \in (0,8)$$

$$T(x_1) = 12,3047$$

$$T(0) = 12,30\text{kNm}$$

$$T(8) = 12,30\text{kNm}$$

Dla fragmentu D-C:

$$x_1 \in (0,3)$$

$$T(x_1) = 10 \cdot x_1$$

$$T(0) = 0\text{kNm}$$

$$T(3) = 30\text{kNm}$$

Dla fragmentu E-C:

$$x_1 \in (0,3)$$

$$T(x_1) = -5$$

$$T(0) = -5\text{kNm}$$

$$T(3) = -5\text{kNm}$$

Dla fragmentu 2-3:

$$x_1 \in (0,5)$$

$$M(x_1) = 0$$

$$M(0) = 0\text{kNm}$$

$$M(5) = 0\text{kNm}$$

Dla fragmentu A-C:

$$x_1 \in (0,5)$$

$$T(x_1) = 9,2285 - 5$$

$$T(0) = 4,23\text{kNm}$$

$$T(5) = 4,23\text{kNm}$$

Sity osiowe:**Dla fragmentu 2-A:**

$$x_1 \in (0,11)$$

$$N(x_1) = 9,2285$$

$$N(0) = 9,23\text{kNm}$$

$$N(11) = 9,23\text{kNm}$$

Dla fragmentu D-C:

$$x_1 \in (0,3)$$

$$N(x_1) = 0$$

$$N(0) = 0\text{kNm}$$

$$N(3) = 0\text{kNm}$$

Dla fragmentu 2-3:**Dla fragmentu 3-C:**

$$x_1 \in (0,8)$$

$$N(x_1) = -9,2285$$

$$N(0) = -9,2285\text{kNm}$$

$$N(8) = -9,2285\text{kNm}$$

$$x_1 \in (0,5)$$

$$T(x_1) = 15,3809$$

$$T(0) = 15,38\text{kNm}$$

$$T(5) = 15,38\text{kNm}$$

Dla fragmentu A-C:**Dla fragmentu E-C:**

$$x_1 \in (0,3)$$

$$N(x_1) = 0$$

$$N(0) = 0\text{kNm}$$

$$N(3) = 0\text{kNm}$$

$$x_1 \in (0,5)$$

$$T(x_1) = 12,3047 - 32,1875 + 25 + 37,1875$$

$$T(0) = 42,30\text{kNm}$$

$$T(5) = 42,30\text{kNm}$$

Wyznaczenie ekstremum:

Dla fragmentu 2-A:

$$x_2 \in (3,8)$$

$$M'(x) = 34,8828 - 5 \cdot x$$

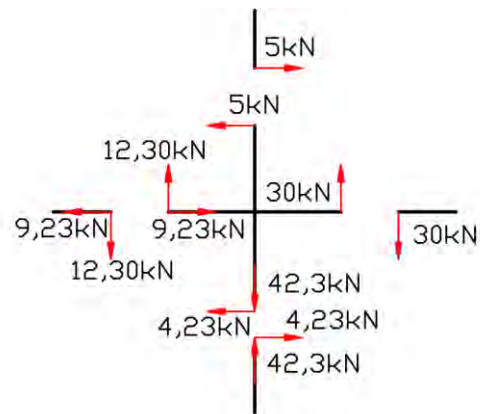
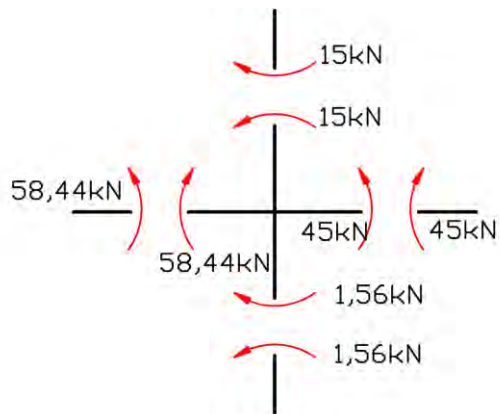
$$x = 6,98$$

$$x \in (3,8)$$

$$M(6,98) = 2,62$$

Maksimum lokalne

Sprawdzenie węzła C:



$$\sum M = 0?$$

$$58,44 + 1,56 - 15 - 45 = 0$$

$$60 - 60 = 0$$

$$\sum X = 0?$$

$$9,23 - 5 - 4,23 = 0$$

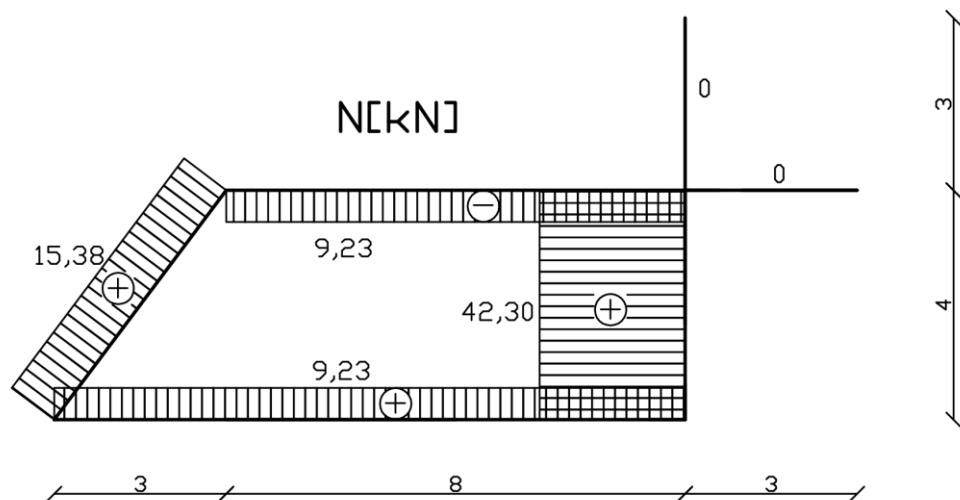
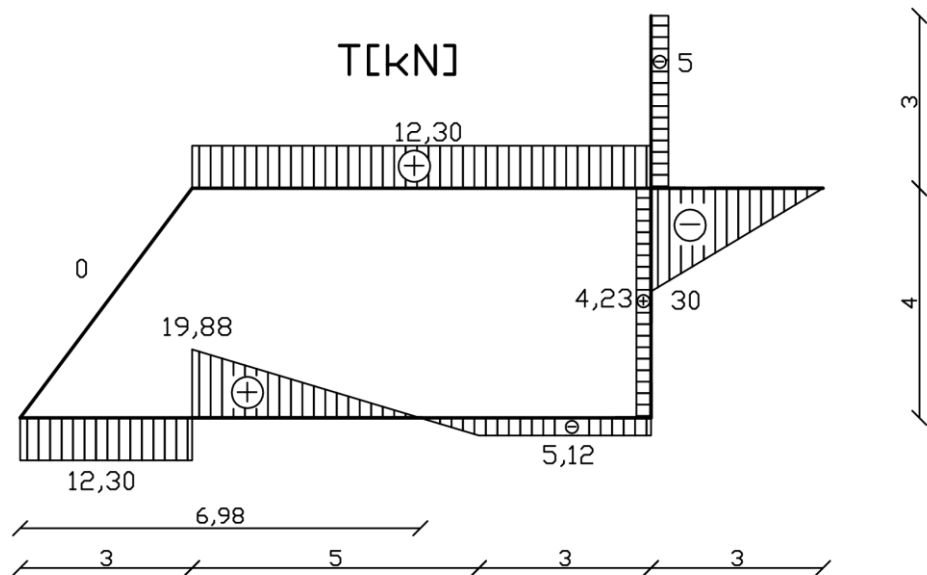
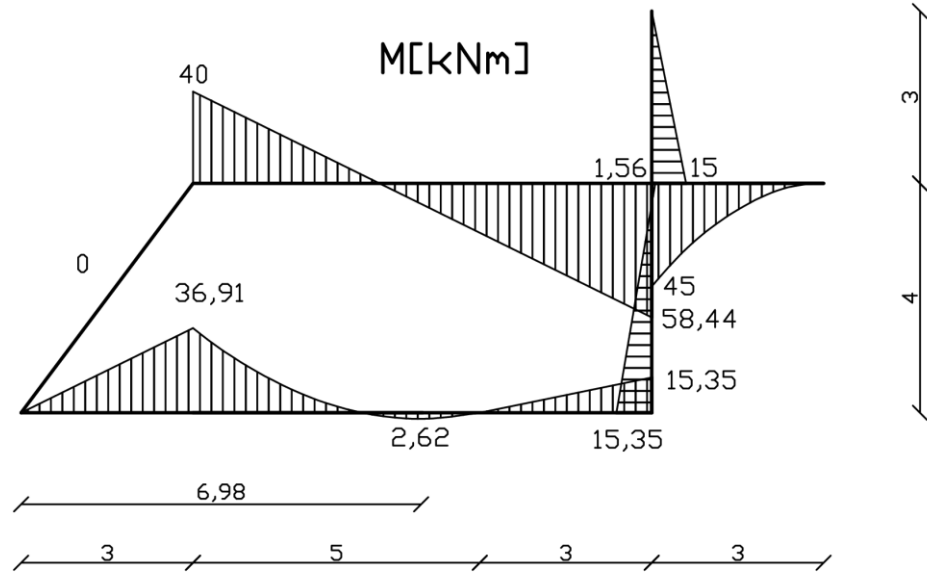
$$9,23 - 9,23 = 0$$

$$\sum Y = 0?$$

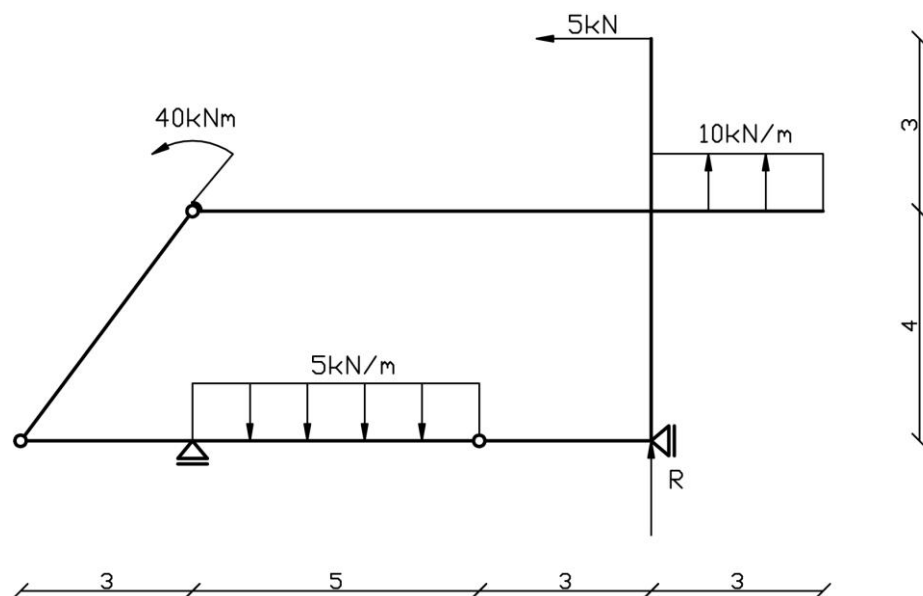
$$12,3 + 30 - 42,3 = 0$$

$$42,3 - 42,3 = 0$$

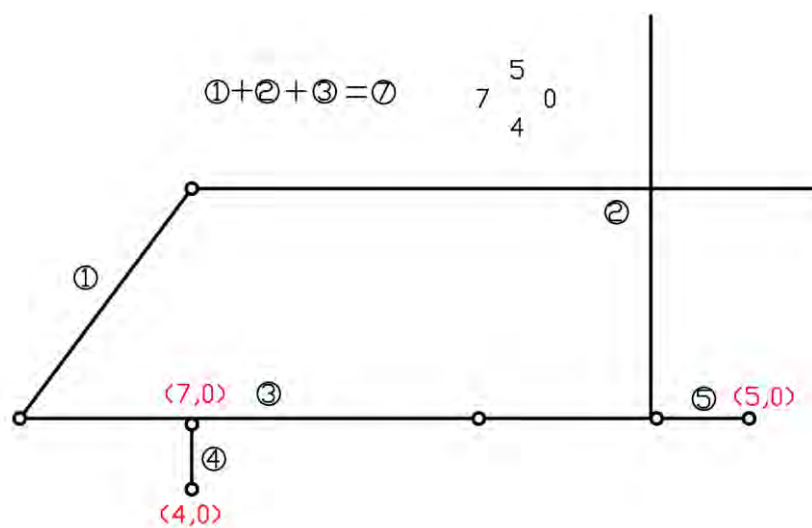
Wykresy sił przekrojowych:



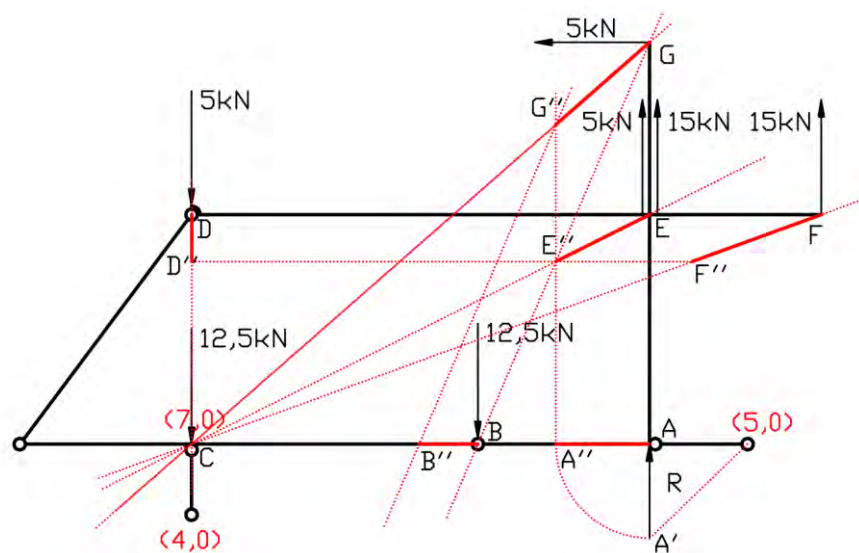
Wyznaczenie wartości reakcji R metodą kinematyczną



Wyznaczenie środków obrotu:

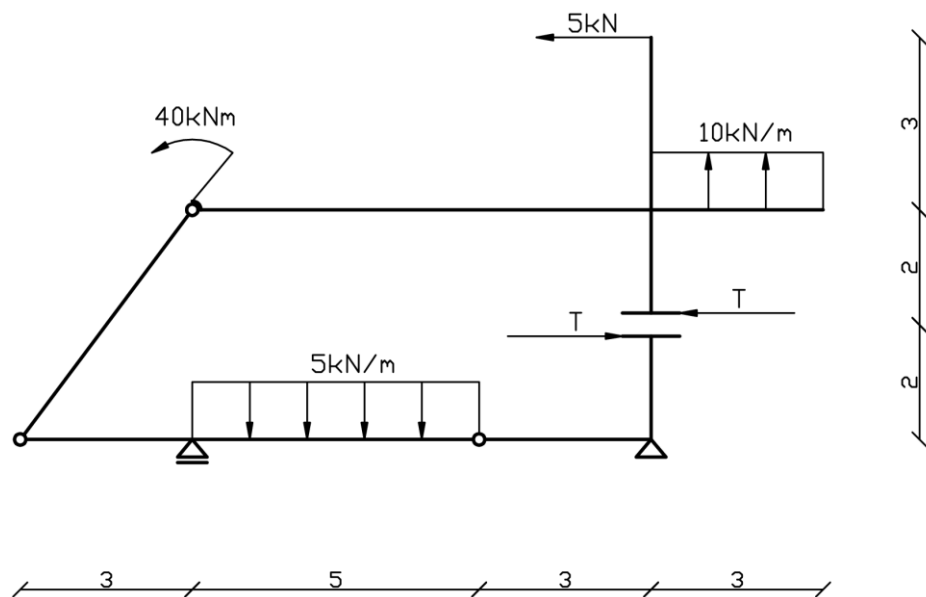


Schemat przemieszczeń obróconych i rzeczywistych:

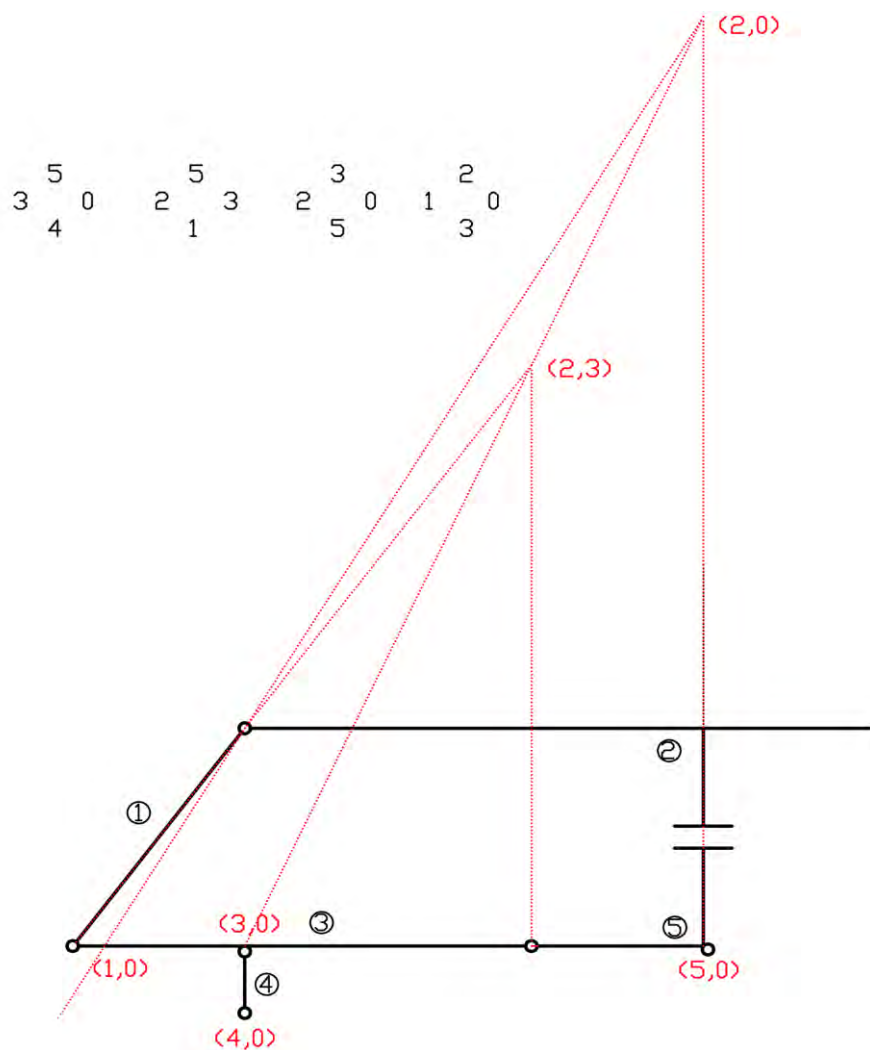


$L = 0$	$L = -R \cdot \Delta_A + 12,5 \cdot \Delta_B - 20 \cdot \Delta_E - 15 \cdot \Delta_F - 5 \cdot \Delta_G = 0$
$\Delta_A = 1,64$	$L = -R \cdot 1,64 + 12,5 \cdot 1,03 - 20 \cdot 1,64 - 15 \cdot 2,26 - 5 \cdot 1,44 = 0$
$\Delta_B = 1,03$	$L = -R \cdot 1,64 + 12,875 - 32,8 - 33,9 - 7,2 = 0$
$\Delta_E = 1,64$	$R \cdot 1,64 = -61,025$
$\Delta_F = 2,26$	$R = -37,21$
$\Delta_G = 1,44$	

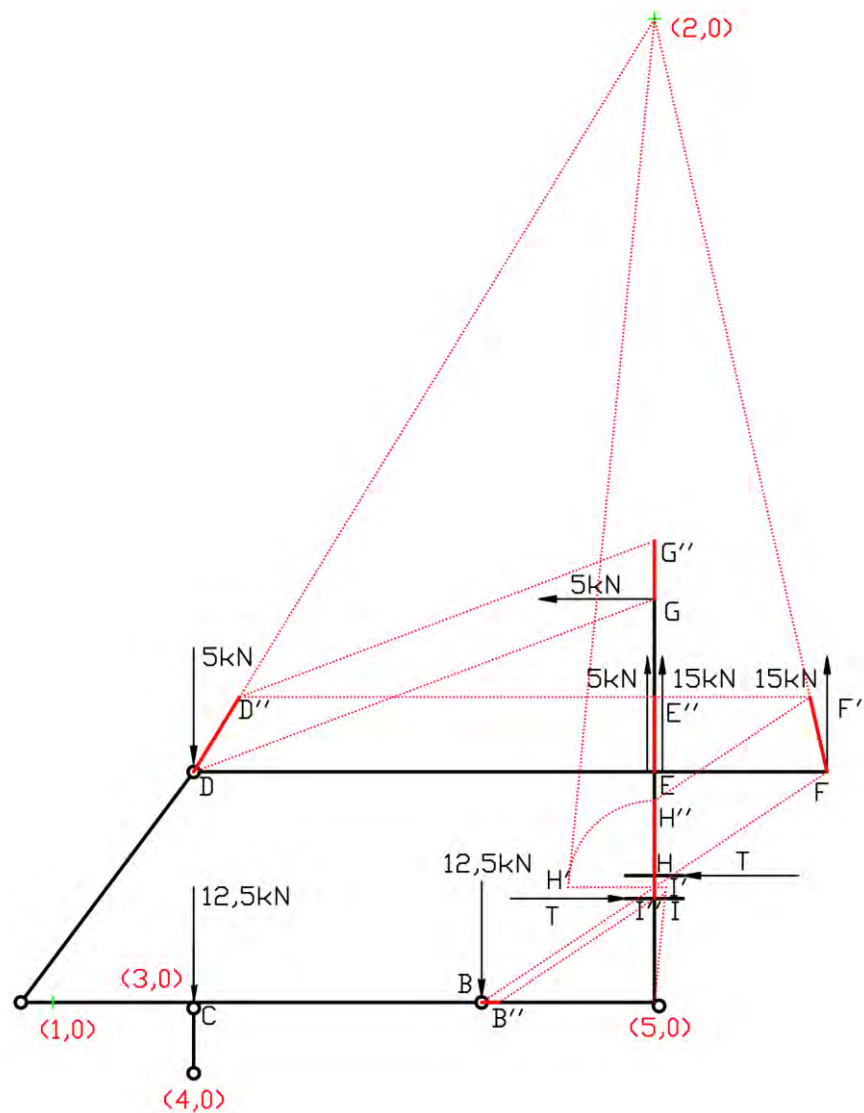
Wyznaczenie wartości T_α metodą kinematyczną



Wyznaczenie środków obrotu:



Schemat przemieszczeń rzeczywistych:



$$L = 0$$

$$\Delta_I = 0,20$$

$$\Delta_H = 1,50$$

$$\Delta_D = 0,80$$

$$\Delta_F = 0,30$$

$$\Delta_G = 1,00$$

$$\Delta_B = 0,30$$

$$L = T \cdot \Delta_I + T \cdot \Delta_H - 12,5 \cdot \Delta_B - 15 \cdot \Delta_F + 5 \cdot \Delta_G - 5 \cdot \Delta_D = 0$$

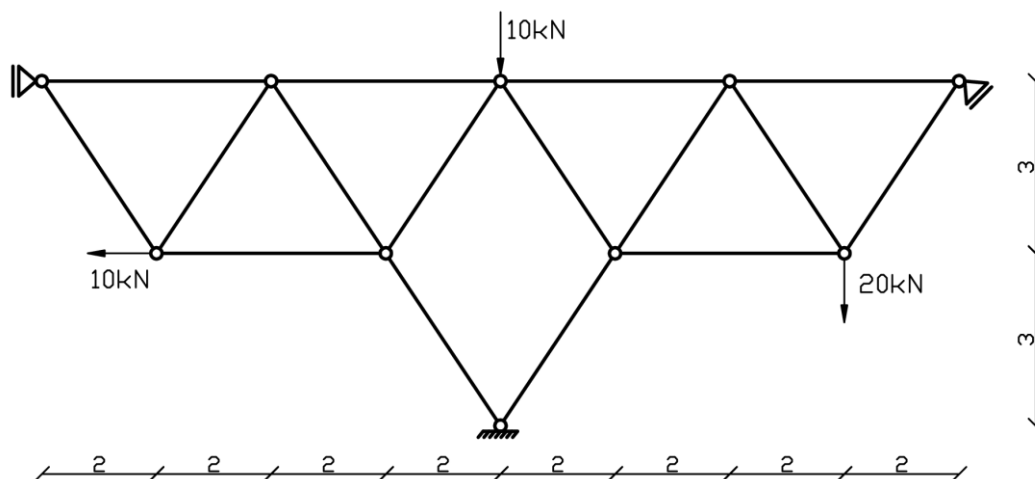
$$L = T \cdot 1,7 - 12,5 \cdot 0,3 - 15 \cdot 0,3 + 5 \cdot 1 - 5 \cdot 0,8 = 0$$

$$L = T \cdot 1,7 - 3,75 - 4,5 + 5 - 4 = 0$$

$$T \cdot 1,7 = 7,25$$

$$T = 4,26$$

Dla kratownicy o podanym schemacie statycznym:



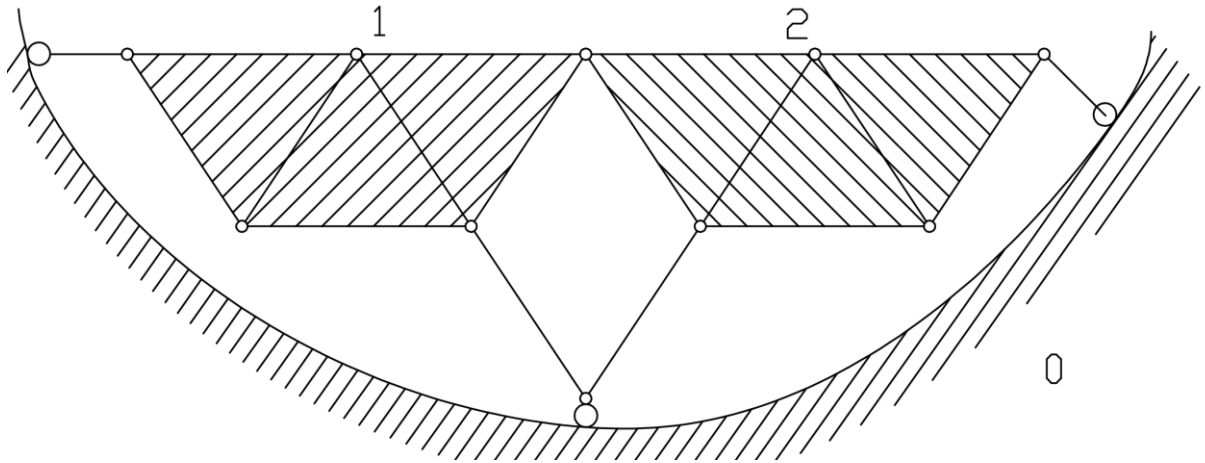
Statyczna niezmienność i geometryczna wyznaczalność układu:

Warunek ilościowy geometrycznej niezmienności:

$\underline{r+p=2w}$ gdzie: r - ilość więzi reakcji podporowych p - ilość prętów w- ilość węzłów	$4+16=2 \cdot 10$ • r=4 • p=16 • w=10
--	---

Warunek ilościowy spełniony.

Warunek jakościowy niezmienności układu:

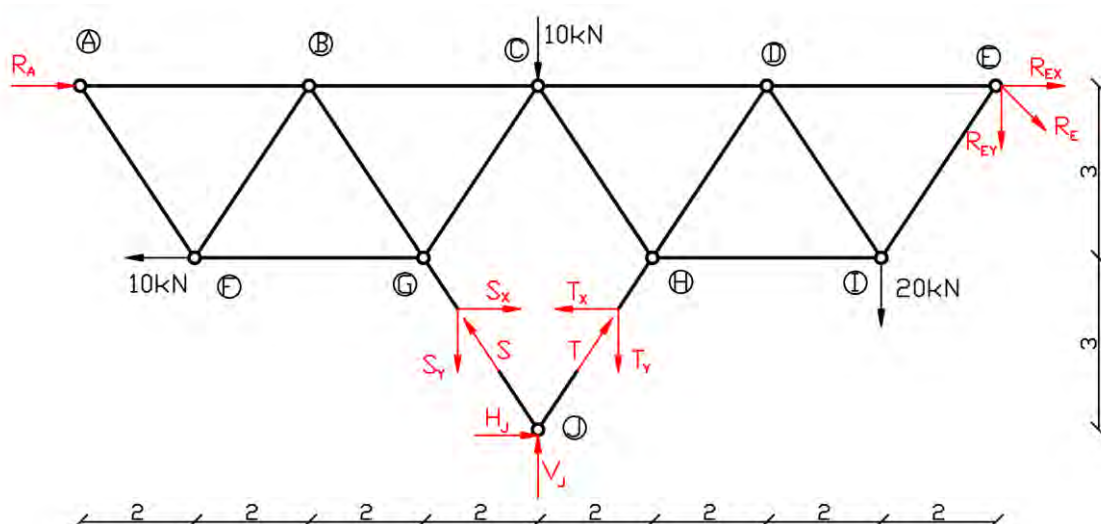


Korzystając z twierdzenia o 3 tarczach (3 tarcze połączone są parami dwiema więziami) można stwierdzić, że tarcze 0-1-2 tworzą układ geometrycznie niezmienny. Ponieważ tarcza 0 jest ostoją tak więc tarczę 1-2 także traktujemy również jako ostoję.

Warunek jakościowy spełniony.

**TARCZE 0-1-2 TWORZĄ UKŁAD GEOMETRYCZNIE NIEZMIENNY ORAZ
STATYCZNIE WYZNACZALNY**

Wyznaczyć siły we wszystkich prętach graficzną metodą równoważenia węzłów (sposób Cremony):



Rozkład sił i reakcji na 2 składowe:

$$R_{EX} = R_{EY}$$

$$T_X = \frac{2}{3}T_Y$$

$$S_X = \frac{2}{3}S_Y$$

Wyznaczenie reakcji:

$$\sum M_C^{(P)} = 0$$

$$\sum M_C^{(L)} = 0$$

$$\sum X = 0$$

$$\sum Y = 0$$

$$V + T_Y + S_Y = 0$$

$$H + T_X - S_X = 0$$

$$R_{EX} \cdot 8 + 20 \cdot 6 + 3 \cdot T_X + 2 \cdot T_Y = 0$$

$$R_{EY} = R_{EX} = 7,5kN$$

$$10 \cdot 3 - S_X \cdot 3 - S_Y \cdot 2 = 0$$

$$S_X = 7,5kN \quad S_Y = 5kN$$

$$R_A - 10 + R_{EX} + S_X - T_X = 0$$

$$R_A = -32,5kN$$

$$10 + R_{EY} + 20 + S_Y + T_Y = 0$$

$$T_X = -30kN \quad T_Y = -45kN$$

$$V + T_Y + S_Y = 0$$

$$V = 37,5kN$$

$$H + T_X - S_X = 0$$

$$H = 35kN$$

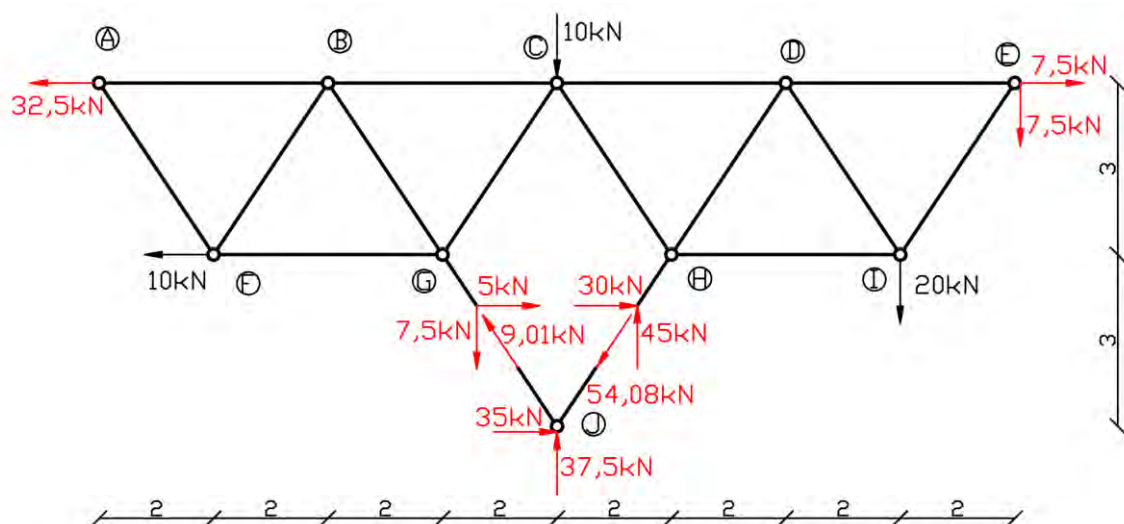
Sprawdzenie:

$$\sum M_C = 0$$

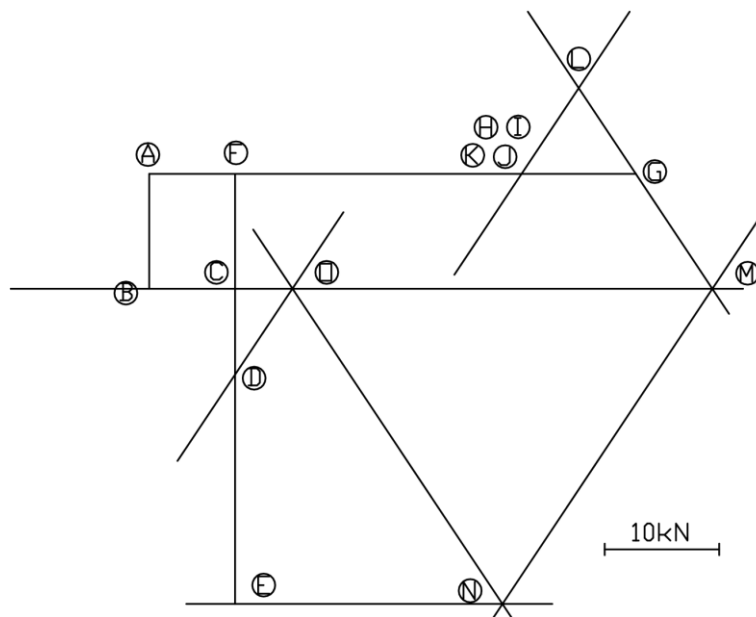
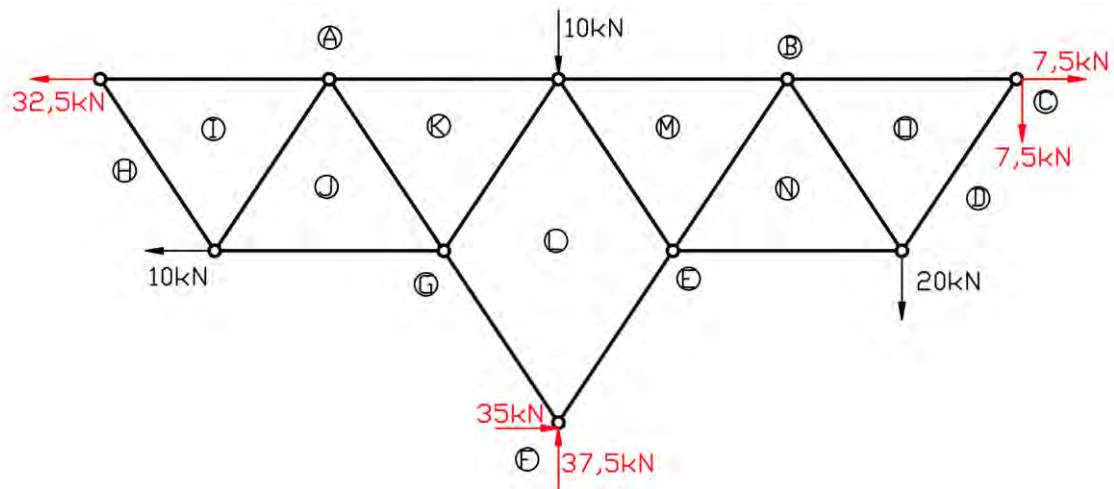
$$7,5 \cdot 8 + 20 \cdot 6 - 35 \cdot 6 + 10 \cdot 3 = 0$$

$$210 - 210 = 0$$

Obliczenia wykonane poprawnie.

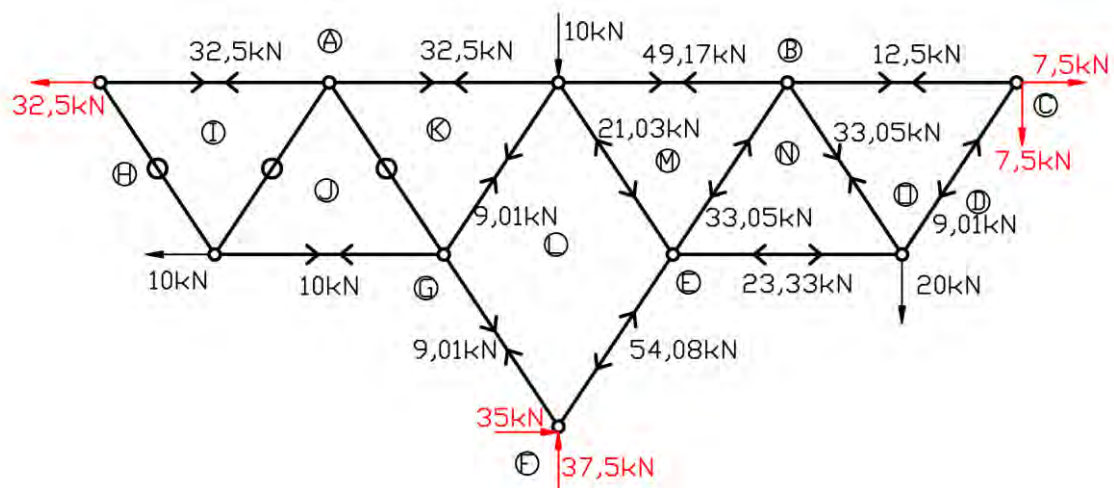


Cremona:

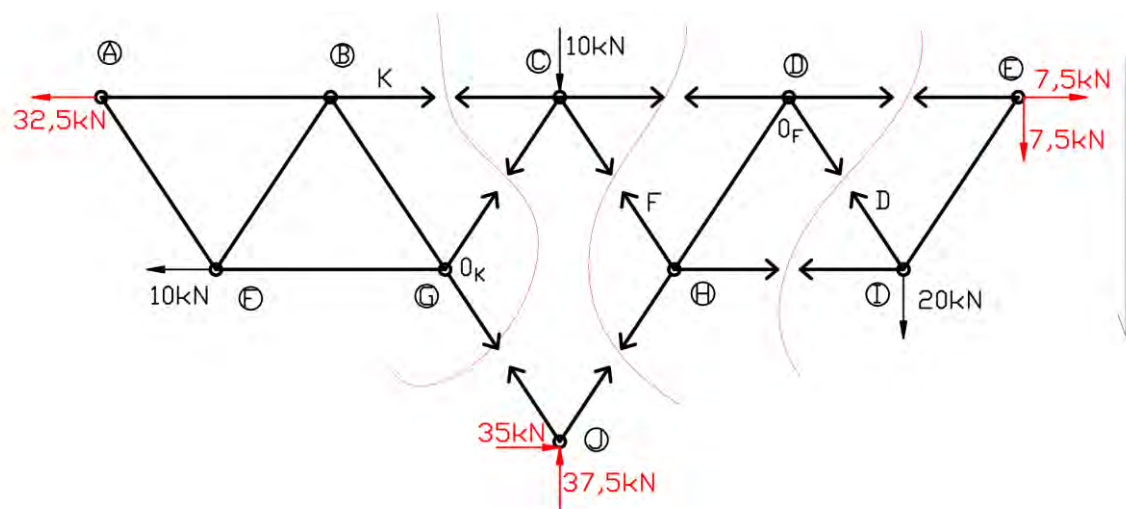


$$\begin{aligned}\Delta DO &= -9,01 \\ \Delta OB &= +12,50 \\ \Delta EN &= -23,33 \\ \Delta NO &= +33,05 \\ \Delta NM &= -33,05 \\ \Delta MB &= +49,17 \\ \Delta EL &= -54,08 \\ \Delta LM &= -21,03\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta GL &= +9,01 \\ \Delta AI &= +32,5 \\ \Delta IH &= 0 \\ \Delta IJ &= 0 \\ \Delta JG &= +10 \\ \Delta AK &= +32,5 \\ \Delta KJ &= 0 \\ \Delta KL &= +9,01\end{aligned}$$



Wyznaczyć siły we wskazanych prętach metodą analityczną (metodą przecięć):



$$\sum M_{0K} = 0$$

$$-32,5 \cdot 3 + K \cdot 3 = 0$$

$$\underline{K = 32,5}$$

$$\sum M_{0F} = 0$$

$$F_x = \frac{2F}{\sqrt{13}}$$

$$F_y = \frac{3F}{\sqrt{13}}$$

$$7,5 \cdot 4 + 20 \cdot 2 + F_x \cdot 3 + F_y \cdot 2 = 0$$

$$\underline{F = -21,03}$$

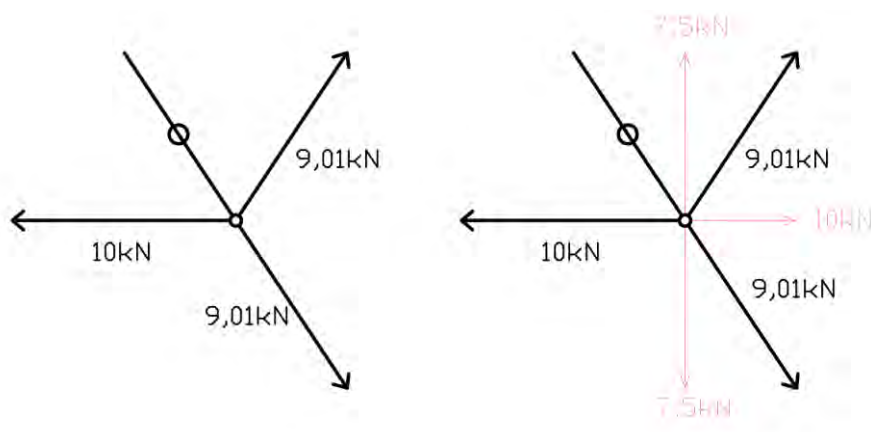
$$\sum Y = 0$$

$$D_y = \frac{3D}{\sqrt{13}}$$

$$7,5 - \frac{3D}{\sqrt{13}} + 20 = 0$$

$$\underline{D = 33,05}$$

Sprawdzenie analityczne równowagę wyznaczonego węzła:



$$\sum X = 0$$

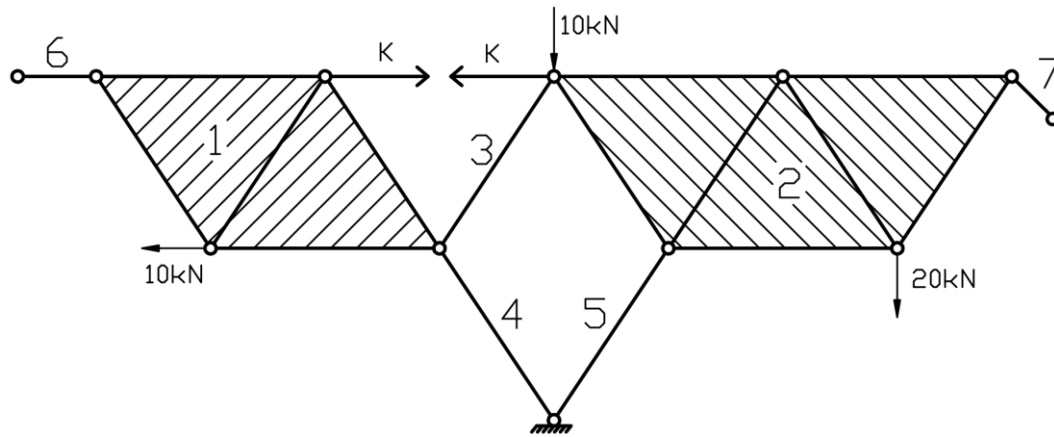
$$\sum Y = 0$$

$$-10 + 10 = 0$$

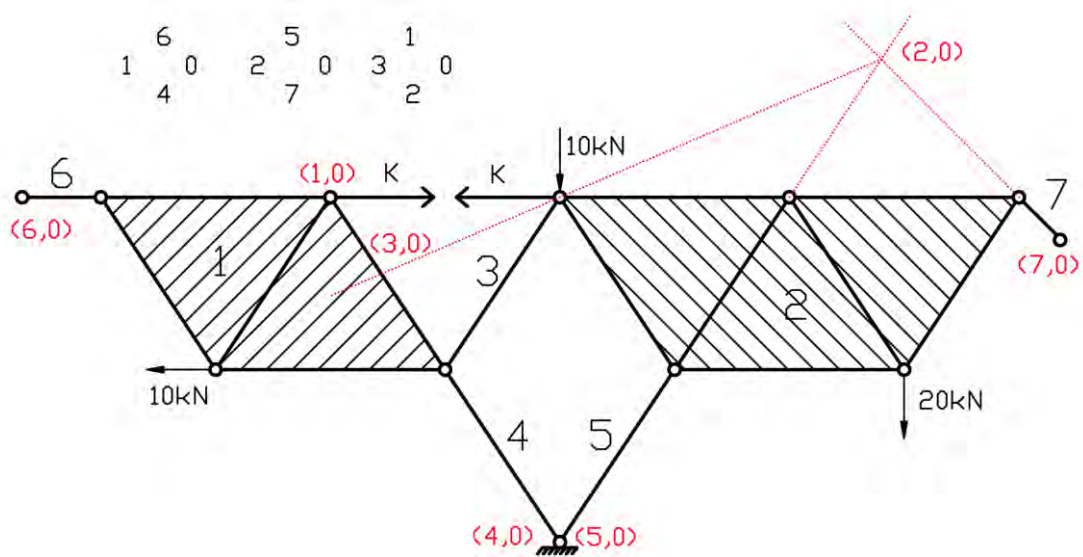
$$7,5 - 7,5 = 0$$

Obliczenia wykonane poprawnie

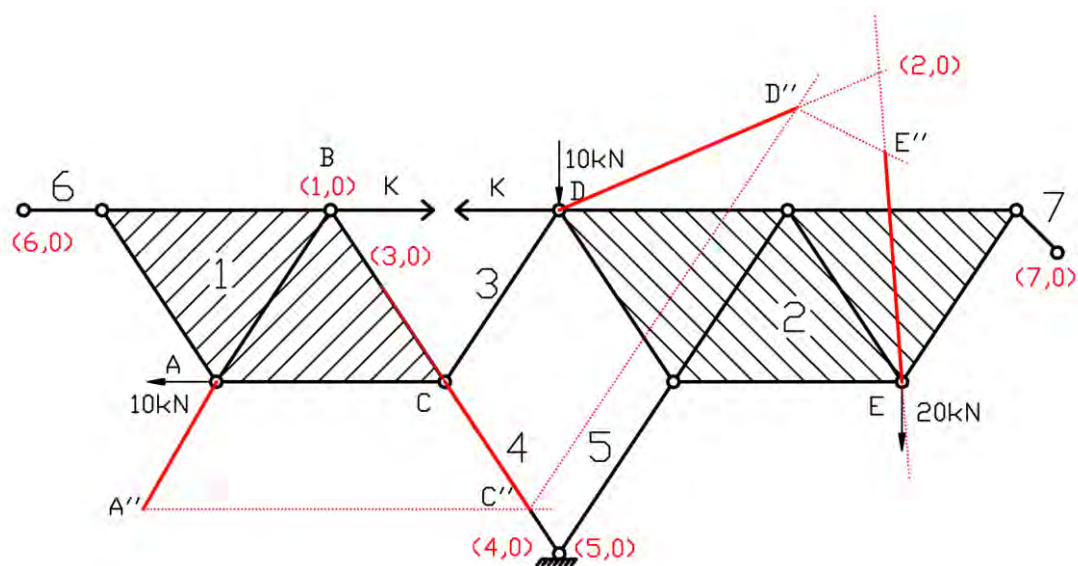
Wyznaczenie siły K metodą kinematyczną:



Wyznaczenie środków obrotu:



Schemat przemieszczeń rzeczywistych:



$$\begin{aligned}
 L &= 0 & L &= K \cdot \Delta_{DY} - 10 \cdot \Delta_A - 10 \cdot \Delta_{DX} + 20 \cdot \Delta_E = 0 \\
 \Delta_A &= 2,22 & L &= K \cdot 1,78 - 10 \cdot 2,22 - 10 \cdot 4,15 + 20 \cdot 0,3 = 0 \\
 \Delta_E &= 0,3 & L &= K \cdot 1,78 - 22,2 - 41,5 + 5,8 = 0 \\
 \Delta_{DX} &= 4,15 & K \cdot 1,78 &= 57,9 \\
 \Delta_{DY} &= 1,78 & K &= 32,53
 \end{aligned}$$