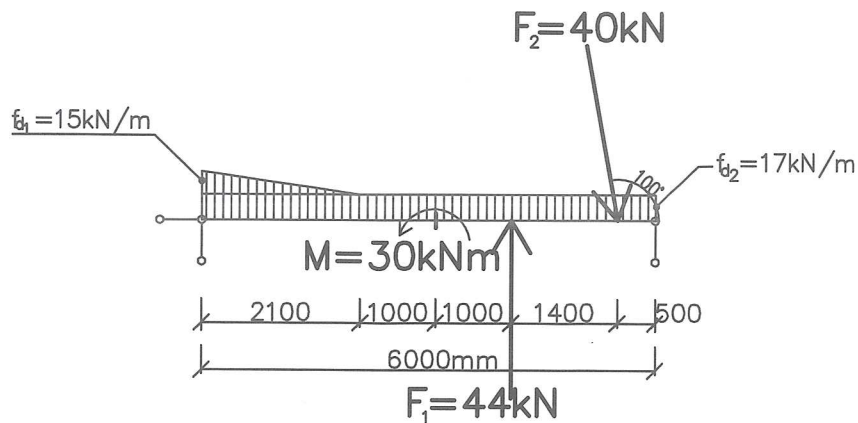
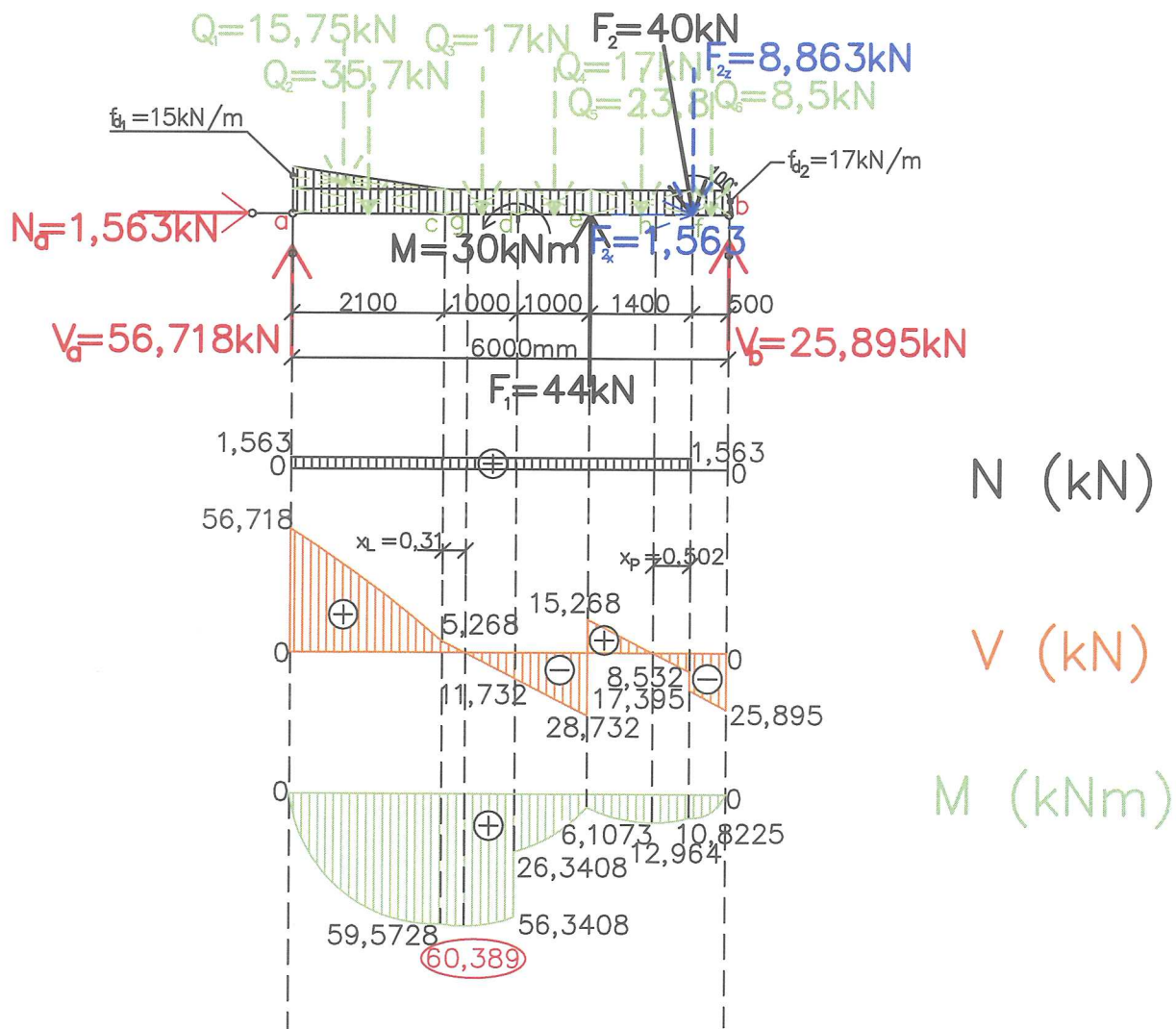


### 3.1.6 Prostý nosník zatížený kombinovaným zatížením

#### ZADÁNÍ



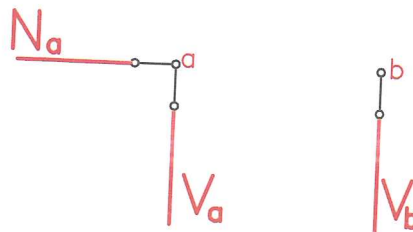
#### ŘEŠENÍ



## POSTUP K ŘEŠENÍ:

### A/ VYŘEŠÍME REAKCE

- 1) Označíme podpory **a**, **b** a další zajímavá místa c, d, e, f
- 2) Naznačíme průběh reakcí podle typu podpory



- 3) Rozložení šikmé síly

$$F_2 \begin{cases} F_{2x} = F_2 \cdot \cos 80^\circ = 9 \cdot \cos 80^\circ = \underline{1,563 \text{ kN}} \\ F_{2z} = F_2 \cdot \sin 80^\circ = 9 \cdot \sin 80^\circ = \underline{8,863 \text{ kN}} \end{cases}$$

- 4) Výpočet náhradních břemen

$$Q_1 = \frac{1}{2} \cdot f_{d1} \cdot l_1 = \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 2,1 = 15,75 \text{ kN}$$

$$Q_2 = f_{d2} \cdot l_2 = 17 \cdot 2,1 = 35,7 \text{ kN}$$

$$Q_3 = Q_4 = f_{d2} \cdot l_3 = 17 \cdot 1 = 17 \text{ kN}$$

$$Q_5 = f_{d2} \cdot l_5 = 17 \cdot 1,4 = 23,8 \text{ kN}$$

$$Q_6 = f_{d2} \cdot l_6 = 17 \cdot 0,5 = 8,5 \text{ kN}$$

- 5) Vypočítáme reakce

- a) Pomocí silové podmínky rovnováhy do osy x vypočítáme reakci  $N_a$ .

$$\sum_{i=1}^n F_{xi} = 0 \quad \leftarrow \quad \begin{matrix} - & + \\ \leftarrow & \rightarrow \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} N_a + F_{2x} &= 0 \\ N_a + 1,563 &= 0 \\ N_a &= \underline{-1,563 \text{ kN}} \leftarrow \end{aligned}$$

- b) Pomocí momentové podmínky rovnováhy k bodu **b** vypočítáme reakci  $V_a$ .

$$\sum_{i=1}^n M_{bi} = 0 \quad \begin{matrix} + & - \\ \curvearrowright & \curvearrowleft \end{matrix}$$

$$V_a \cdot 6 - Q_1 \cdot 5,3 - Q_2 \cdot 4,95 - Q_3 \cdot 3,4 - M - Q_4 \cdot 2,4 + F_1 \cdot 1,9 - Q_5 \cdot 1,2 - F_{2z} \cdot 0,5 - Q_6 \cdot 0,25 = 0$$

$$V_a \cdot 6 - 15,75 \cdot 5,3 - 35,7 \cdot 4,95 - 17 \cdot 3,4 - 30 - 17 \cdot 2,4 + 44 \cdot 1,9 - 23,8 \cdot 1,2 - 8,863 \cdot 0,5 - 8,5 \cdot 0,25 = 0$$

$$V_a \cdot 6 = 340,3065$$

$$V_a = \underline{56,718 \text{ kN}} \quad \curvearrowright$$

- c) Reakci  $V_b$  je možno také určit pomocí momentové podmínky rovnováhy k bodu **a**.

$$\sum_{i=1}^n M_{ai} = 0 \quad \begin{matrix} + & - \\ \curvearrowright & \curvearrowleft \end{matrix}$$

$$Q_1 \cdot 0,7 + Q_2 \cdot 1,05 + Q_3 \cdot 2,6 - M + Q_4 \cdot 3,6 - F_1 \cdot 4,1 + Q_5 \cdot 4,8 + F_{2z} \cdot 5,5 + Q_6 \cdot 5,75 + V_b \cdot 6 = 0$$

$$15,75 \cdot 0,7 + 35,7 \cdot 1,05 + 17 \cdot 2,6 - 30 + 17 \cdot 3,6 - 44 \cdot 4,1 + 23,8 \cdot 4,8 + 8,863 \cdot 5,5 + 8,5 \cdot 5,75 + V_b \cdot 6 = 0$$

$$V_b \cdot 6 = -155,3715$$

$$V_b = \underline{-25,895 \text{ kN}} \quad \curvearrowleft$$

c) Správnost výpočtu lze ověřit pomocí silové podmínky do osy z.

$$\sum_{i=1}^n F_{zi} = 0$$

$$V_a - Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4 + F_1 - Q_5 - F_{2z} - Q_6 + V_b = 0$$

$$56,718 - 15,75 - 35,7 - 17 - 17 + 44 - 23,8 - 8,863 - 8,5 + 25,895 = 0$$

$$0 = 0 \quad \checkmark$$

## B/ VYŘEŠÍME PRŮBĚHY VNITŘNÍCH SIL

1) Výpočet průběhu normálových sil (znaménková konvence  $\leftarrow \oplus \rightarrow$ )

- Mezi jednotlivými působišti normálových sil **a** a **f** je konstantní průběh, který se mění vždy skokem v působišti nové síly a to právě o hodnotu této normálové síly.

-  
v bodě a:  $N_a^L = N_a = 1,563 \text{ kN}$

v bodě c:  $N_c^L = N_a^L = 1,563 \text{ kN}$

v bodě d:  $N_d^L = N_c^L = 1,563 \text{ kN}$

v bodě e:  $N_e^L = N_d^L = 1,563 \text{ kN}$

v bodě f:  $N_f^L = N_e^L = 1,563 \text{ kN}$

$$N_f^{L'} = N_f^L - F_{2x} = 1,563 - 1,563 = 0$$

v bodě b:  $N_b^L = N_f^{L'} = 0$

2) Výpočet průběhu posouvajících sil (znaménková konvence  $\uparrow \oplus \downarrow$ )

- Z bodu **a** do bodu **c** je průběh křivka 2.stupně a mění se o velikost náhradního břemena  $Q_1$  a  $Q_2$ .

- V bodě **c** dojde v průběhu ke zlomu.

- Z bodu **c** do bodu **d** je průběh křivka 2.stupně a mění se o velikost náhradního břemena  $Q_3$ .

- Z bodu **d** do bodu **e** je průběh křivka 2.stupně a mění se o velikost náhradního břemena  $Q_4$ .

- V bodě **e** dojde v průběhu ke skoku o velikosti hodnoty síly  $F_1$ .

- Z bodu **e** do bodu **f** je průběh křivka 2.stupně a mění se o velikost náhradního břemena  $Q_5$ .

- V bodě **f** dojde v průběhu ke skoku o velikosti hodnoty síly  $F_{2z}$ .

- Z bodu **f** do bodu **b** je průběh křivka 2.stupně a mění se o velikost náhradního břemena  $Q_6$ .

- V bodě **b** dojde v průběhu ke skoku o velikosti hodnoty reakce  $V_b$ .

-  
v bodě a:  $V_a^L = V_a^L = 56,718 \text{ kN}$

v bodě c:  $V_c^L = V_a^L - Q_1 - Q_2 = 56,718 - 15,75 - 35,7 = 5,268 \text{ kN}$

v bodě d:  $V_d^L = V_c^L - Q_3 = 5,268 - 17 = -11,732 \text{ kN}$

v bodě e:  $V_e^L = V_d^L - Q_4 = -11,732 - 17 = -28,732 \text{ kN}$

$$V_e^{L'} = V_e^L + F_1 = -28,732 + 44 = 15,268 \text{ kN}$$

v bodě f:  $V_f^L = V_e^{L'} - Q_5 = 15,268 - 23,8 = -8,532 \text{ kN}$

$$V_f^{L'} = V_f^L - F_{2z} = -8,532 - 8,863 = -17,395 \text{ kN}$$

v bodě b:  $V_b^L = V_f^{L'} - Q_6 = -17,395 - 8,5 = -25,895 \text{ kN}$

$$V_b^{L'} = V_b^L + V_b = -25,895 + 25,895 = 0$$

Mezi body **c** a **d** může být místo nebezpečného průřezu. Přesné místo musíme najít. Určíme ho například zleva od bodu **c** (značíme  $x_L$ ) a místo nebezpečného průřezu označíme **g**.

$$x_L = |V_c^L| / f_{d2} = 5,268 / 17 = 0,31 \text{ m}$$

Určíme náhradní břemeno od bodu c do g, které označíme  $Q_L$ :

$$Q_L = f_{d2} \cdot x_L = 17 \cdot 0,31 = \underline{5,268 \text{ kN}}$$

Mezi body e a f může být také místo nebezpečného průřezu. Přesné místo musíme najít.

Určíme ho například zprava od bodu f (značíme  $x_P$ ) a místo nebezpečného průřezu označíme h.

$$x_P = |V_f^L| / f_{d2} = 8,532 / 17 = \underline{0,502 \text{ m}}$$

Určíme náhradní břemeno od bodu h do f, které označíme  $Q_P$ .

$$Q_P = f_{d2} \cdot x_P = 17 \cdot 0,502 = \underline{8,532 \text{ kN}}$$

3) Výpočet průběhu ohybových momentů (znaménková konvence )

- Z bodu a do bodu c je křivka 3.stupně, v bodě c je zlom
- Z bodu c do bodu d je průběh křivka 2.stupně, v bodě d je skok o velikosti momentu M působícím v tomto bodě a v bodě g je vrchol této křivky a zároveň nebezpečný průřez.
- Z bodu d do bodu e je průběh křivka 2.stupně, v bodě e je zlom.
- Z bodu e do bodu f je průběh křivka 2.stupně, v bodě f je zlom a v bodě h je vrchol této křivky.
- Z bodu f do bodu b je průběh křivka 2.stupně.

v bodě a:  $M_a^L = 0$

v bodě c:  $M_c^L = V_a \cdot 2,1 - Q_1 \cdot 1,4 - Q_2 \cdot 1,05 = 56,718 \cdot 2,1 - 15,75 \cdot 1,4 - 35,7 \cdot 1,05 = \underline{59,5728 \text{ kNm}}$

v bodě g:  $M_g^L = V_a \cdot 2,41 - Q_1 \cdot 1,71 - Q_2 \cdot 1,36 - Q_L \cdot 0,155 = 56,718 \cdot 2,41 - 15,75 \cdot 1,71 - 35,7 \cdot 1,36 - 5,268 \cdot 0,155 = \underline{60,389 \text{ kNm}}$

v bodě d:  $M_d^L = V_a \cdot 3,1 - Q_1 \cdot 2,4 - Q_2 \cdot 2,05 - Q_3 \cdot 0,5 = 56,718 \cdot 3,1 - 15,75 \cdot 2,4 - 35,7 \cdot 2,05 - 17 \cdot 0,5 = \underline{56,3408 \text{ kNm}}$

$$M_d^{L'} = M_d^L - M = \underline{26,3408 \text{ kNm}}$$

v bodě e:  $M_e^P = V_b \cdot 1,9 - Q_6 \cdot 1,65 - F_{2z} \cdot 1,4 - Q_5 \cdot 0,7 = 25,895 \cdot 1,9 - 8,5 \cdot 1,65 - 8,863 \cdot 1,4 - 23,8 \cdot 0,7 = \underline{6,9073 \text{ kNm}}$

v bodě h:  $M_h^P = V_b \cdot 1,002 - Q_6 \cdot 0,752 - F_{2z} \cdot 0,502 - Q_P \cdot 0,251 = 25,895 \cdot 1,002 - 8,5 \cdot 0,752 - 8,863 \cdot 0,502 - 8,532 \cdot 0,251 = \underline{12,964 \text{ kNm}}$

v bodě f:  $M_f^P = V_b \cdot 0,5 - Q_6 \cdot 0,25 = 25,895 \cdot 0,5 - 8,5 \cdot 0,25 = \underline{10,8225 \text{ kNm}}$

v bodě b:  $M_b^P = 0$

**Poznámka:** NEBEZPEČNÝ PRŮŘEZ je v bodě g, tzn. že ohybový moment má v tomto místě maximální hodnotu o velikost 60,389 kNm.