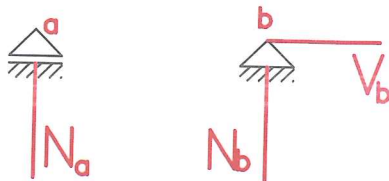


POSTUP K ŘEŠENÍ:

A/ VYŘEŠÍME REAKCE

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



- 3) Rozložení šikmých sil

$$\begin{aligned} F_1 & \begin{cases} F_{1x} = F_1 \cdot \cos 33^\circ = 52 \cdot \cos 33^\circ = \underline{43,611 \text{ kN}} \\ F_{1z} = F_1 \cdot \sin 33^\circ = 52 \cdot \sin 33^\circ = \underline{28,321 \text{ kN}} \end{cases} \\ F_2 & \begin{cases} F_{2x} = F_2 \cdot \sin 48^\circ = 47 \cdot \sin 48^\circ = \underline{34,928 \text{ kN}} \\ F_{2z} = F_2 \cdot \cos 48^\circ = 47 \cdot \cos 48^\circ = \underline{31,449 \text{ kN}} \end{cases} \end{aligned}$$

- 4) Vypočítáme náhradní břemena

$$Q_1 = \frac{1}{2} \cdot f_{d1} \cdot l_1 = \frac{1}{2} \cdot 26 \cdot 2 = \underline{26 \text{ kN}}$$

$$Q_2 = f_{d2} \cdot l_2 = 15 \cdot 3 = \underline{45 \text{ kN}}$$

$$Q_3 = f_{d2} \cdot l_3 = 15 \cdot 1,5 = \underline{22,5 \text{ kN}}$$

$$Q_4 = f_{d3} \cdot l_4 = 34 \cdot 1 = \underline{34 \text{ kN}}$$

- 5) Vypočítáme reakce

- a) Pomocí silové podmínky do osy **x** vypočítáme reakci **V_b**.

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

$$\begin{aligned} Q_1 - F_{1x} - F_{2x} - Q_4 + V_b &= 0 \\ 26 - 43,611 - 34,928 - 34 + V_b &= 0 \\ V_b &= \underline{86,539 \text{ kN}} \rightarrow \end{aligned}$$

- b) Pomocí momentové podmínky rovnováhy k bodu **a** vypočítáme reakci **N_b**.

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

$$\begin{aligned} Q_1 \cdot 0,6 + Q_2 \cdot 1,5 + F_{1z} \cdot 3 - F_{1x} \cdot 2 + Q_3 \cdot 3,75 - F_{2x} \cdot 1,5 - F_{2z} \cdot 4,5 + Q_4 \cdot 0,5 - V_b \cdot 1 + N_b \cdot 4,5 &= 0 \\ 26 \cdot 0,6 + 45 \cdot 1,5 + 28,321 \cdot 3 - 43,611 \cdot 2 + 22,5 \cdot 3,75 - 34,928 \cdot 1,5 - 31,449 \cdot 4,5 + 34 \cdot 0,5 - & \\ 86,539 \cdot 1 + N_b \cdot 4,5 &= 0 \\ N_b \cdot 4,5 &= 96,502 \\ N_b &= \underline{21,445 \text{ kN}} \end{aligned}$$

- c) Pomocí momentové podmínky rovnováhy k bodu **b** vypočítáme reakci **N_a**.

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

$$N_a \cdot 4,5 + Q_1 \cdot 1,6 - Q_2 \cdot 3 - F_{1z} \cdot 1,5 - F_{1x} \cdot 3 - Q_3 \cdot 0,75 - F_{2x} \cdot 2,5 - Q_4 \cdot 0,5 = 0$$

$$N_a \cdot 4,5 + 26 \cdot 1,6 - 45 \cdot 3 - 28,321 \cdot 1,5 - 43,611 \cdot 3 - 22,5 \cdot 0,75 - 34,928 \cdot 2,5 - 34 \cdot 0,5 = 0$$

$$N_a \cdot 4,5 = 386,176$$

$$N_a = \underline{\underline{85,817 \text{ kN}}} \quad \curvearrowright$$

d) Pomocí silové podmínky rovnováhy do osy z si ověříme, že máme reakce vypočítány správně.

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

$$\begin{array}{c} \uparrow + \\ \downarrow - \end{array} \quad N_a - Q_2 - F_{1z} - Q_3 + F_{2z} + N_b = 0$$

$$85,817 - 45 - 28,321 - 22,5 + 31,449 - 21,445 = 0$$

$$\underline{0 = 0} \quad \checkmark$$

B/ VYŘEŠÍME PRŮBĚHY VNITŘNÍCH SIL

1) Průběh normálových sil na nosníku (znaménková konvence $\leftarrow \oplus \rightarrow$)

!Podélná osa nosníku se po délce mění a tím se mění i vnímání normálových sil!

- Průběh od bodu a do bodu c je konstantní, protože jde o průběh mezi „osamělými“ břemeny.
- Průběh od bodu c do bodu e je konstantní, protože jde o průběh mezi „osamělými“ břemeny, přičemž v bodě d se mění skokem o velikost síly F_{1x} .
- Průběh od bodu b do bodu e je konstantní, protože jde o průběh mezi „osamělými“ břemeny, přičemž v bodě f se mění skokem o velikost síly F_{2z} .

LEVÉ SVISLÉ RAMENO:

v bodě a: $N_a^L = -N_a = \underline{\underline{-85,817 \text{ kN}}}$

v bodě c: $N_c^L = N_a^L = \underline{\underline{-85,817 \text{ kN}}}$

VODOROVNÉ RAMENO:

v bodě c: $N_c^L = -Q_1^L = \underline{\underline{-26 \text{ kN}}}$

v bodě d: $N_d^L = N_c^L = \underline{\underline{-26 \text{ kN}}}$

$$N_d^{L'} = N_d^L + F_{1x} = -26 + 43,611 = \underline{\underline{17,611 \text{ kN}}}$$

v bodě e: $N_e^L = N_d^{L'} = \underline{\underline{17,611 \text{ kN}}}$

PRAVÉ SVISLÉ RAMENO:

v bodě b: $N_b^P = N_b = \underline{\underline{21,445 \text{ kN}}}$

v bodě g: $N_g^P = N_b^P = \underline{\underline{21,445 \text{ kN}}}$

v bodě f: $N_f^P = N_g^P = \underline{\underline{21,445 \text{ kN}}}$

$$N_f^{P'} = N_f^P - F_{2z} = 21,445 - 31,449 = \underline{\underline{-10,004 \text{ kN}}}$$

v bodě e: $N_e^P = N_f^{P'} = \underline{\underline{-10,004 \text{ kN}}}$



2) Průběh posouvajících sil na nosníku (znaménková konvence $\uparrow \oplus \downarrow$)

!Podélná osa nosníku se mění po délce a tím se mění vnímání posouvajících sil!

- Průběh od bodu a do bodu c je křivka 2°, protože jde o průběh mezi začátkem a koncem spojitěho trojúhelníkového zatížení.
- Průběh od bodu c do bodu d je lineární (křivka 1°), protože jde o průběh mezi začátkem a koncem spojitěho rovnoměrného zatížení.
- V bodě d dojde ke skoku, průběh se mění o velikost síly F_{1z} .
- Průběh od bodu d do bodu e je lineární (křivka 1°), protože jde o průběh mezi začátkem a koncem spojitěho rovnoměrného zatížení.

- Průběh od bodu e do bodu f je konstantní, protože jde o průběh mezi dvěma osamělými břemeny.
- V bodě f dojde ke skoku, průběh se mění o velikost síly F_{2x} .
- Průběh od bodu f do bodu g je konstantní, protože jde o průběh mezi dvěma osamělými břemeny.
- Průběh od bodu g do bodu b je lineární (křivka 1°), protože jde o průběh mezi začátkem a koncem spojitěho rovnoměrného zatížení.

LEVÉ SVISLÉ RAMENO:

v bodě a: $V_a^L = 0$

v bodě c: $V_c^L = V_a^L - Q_1 = 0 - 26 = -26 \text{ kN}$

VODOROVNÉ RAMENO:

v bodě c: $V_c^L = N_a = 85,817 \text{ kN}$

v bodě d: $V_d^L = V_c^L - Q_2 = 85,817 - 45 = 40,817 \text{ kN}$

$V_d^{L'} = V_d^L - F_{1z} = 40,817 - 28,321 = 12,496 \text{ kN}$

v bodě e: $V_e^L = V_d^{L'} - Q_3 = 12,496 - 22,5 = -10,004 \text{ kN}$

Z průběhu posouvajících sil je možné (i když v tomto případě málo pravděpodobné), že mezi bodem d a e se bude vyskytovat nebezpečný průřez, proto určíme jeho polohu.

Vzdálenost určíme od bodu e a označíme x_P .

$$x_P = |V_e^L| / f_{d2} = 10,004 / 15 = 0,667 \text{ m}$$

Určíme náhradní břemena zprava: $Q_P = f_{d2} \cdot x_P = 15 \cdot 0,667 = 10,004 \text{ kN}$

PRAVÉ SVISLÉ RAMENO:

v bodě b: $V_b^P = -V_b = -86,539 \text{ kN}$

v bodě g: $V_g^P = V_b^P + Q_4 = -86,539 + 34 = -52,539 \text{ kN}$

v bodě f: $V_f^P = V_g^P = -52,539 \text{ kN}$

$V_f^{P'} = V_f^P + F_{2x} = -52,539 + 34,928 = -17,611 \text{ kN}$

v bodě e: $V_e^P = V_f^{P'} = -17,611 \text{ kN}$

3) Průběh ohybových momentů na nosníku (znaménková konvence )

- Průběh od bodu a do bodu c je křivka 3° , protože jde o průběh mezi začátkem a koncem spojitěho trojúhelníkového zatížení.
- Průběh od bodu c do bodu d je křivka 2° , protože jde o průběh mezi začátkem a koncem spojitěho rovnoměrného zatížení. V bodě d je zlom.
- Průběh od bodu d do bodu e je křivka 2° , protože jde o průběh mezi začátkem a koncem spojitěho rovnoměrného zatížení.
- Průběh od bodu e do bodu f je lineární (křivka 1°), protože jde o průběh mezi dvěma osamělými břemeny. V bodě f je zlom.
- Průběh od bodu f do bodu g je lineární (křivka 1°), protože jde o průběh mezi dvěma osamělými břemeny. V bodě g je zlom.
- Průběh od bodu g do bodu b je křivka 2° , protože jde o průběh mezi začátkem a koncem spojitěho rovnoměrného zatížení.

v bodě a: $M_a^P = 0$

v bodě c: $M_c^L = -Q_1 \cdot 1,3 = -26 \cdot 1,3 = -34,6 \text{ kNm}$

v bodě d: $M_d^L = N_a \cdot 3 - Q_1 \cdot 1,3 - Q_2 \cdot 1,5 = 85,817 \cdot 3 - 26 \cdot 1,3 - 45 \cdot 1,5 = \underline{155,284 \text{ kNm}}$

v bodě e: $M_e^P = V_b \cdot 3 - Q_4 \cdot 2,5 - F_{2x} \cdot 0,5 = 86,539 \cdot 3 - 34 \cdot 2,5 - 34,928 \cdot 0,5 =$
 $= \underline{157,153 \text{ kNm}}$

v bodě f: $M_f^P = V_b \cdot 2,5 - Q_4 \cdot 2 = 86,539 \cdot 2,5 - 34 \cdot 2 = \underline{148,3475 \text{ kNm}}$

v bodě g: $M_g^P = V_b \cdot 1 - Q_4 \cdot 0,5 = 86,539 \cdot 1 - 34 \cdot 0,5 = \underline{69,539 \text{ kNm}}$

v bodě h: $M_h^P = -N_b \cdot 0,667 + V_b \cdot 3 - Q_4 \cdot 2,5 - F_{2x} \cdot 0,5 - Q_p \cdot 0,3335 = -21,445 \cdot 0,667 +$
 $86,539 \cdot 3 - 34 \cdot 2,5 - 34,928 \cdot 0,5 - 10,004 \cdot 0,3335 = \underline{139,513 \text{ kNm}}$

v bodě b: $M_b^P = \underline{0}$

Poznámka: NEBEZPEČNÝ PRŮŘEZ je v bodě e, kde je maximální ohybový moment o velikosti 157,153 kNm.