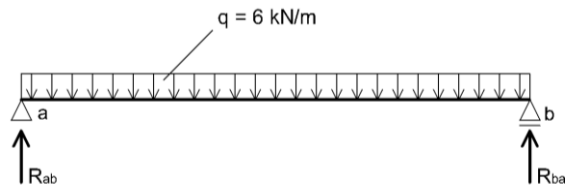


Obr.: Model konstrukce a zatížení

Zadání

Vykreslete průběhy vnitřních sil na spojitém nosníku podle obrázku. Použijte metodu třímomentových rovnic. Průřezové charakteristiky jsou konstantní na celé konstrukci. Uvažujte pokles podpory c o 5mm. Pro kontrolu vyřešte konstrukci běžnou silovou metodou. Modul pružnosti $E = 210 \text{ GPa}$, moment setrvačnosti průřezu $I = 21,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$.



Obr.: Původní zatížení prvního pole – reakce

Řešení

a) Základní soustava vznikne odebráním vnitřních vazeb

Základní soustava se vytvoří odebráním vazeb proti pootočení v bodě a a proti vzájemnému pootočení v bodě b .

K výpočtu se využije třímomentová rovnice – představuje podmínku pro pootočení, resp. vzájemné pootočení konců nosníků nad podporou.

Řešením jsou neznámé nadpodporové momenty.

Např. obecný tvar rovnice pro podporu b je:

$$M_a \frac{L_{ab}}{6EI_{ab}} + M_b \left(\frac{L_{ab}}{3EI_{ab}} + \frac{L_{bc}}{3EI_{bc}} \right) + M_c \frac{L_{bc}}{6EI_{bc}} + \varphi_{ba} + \varphi_{bc} + \frac{w_a - w_b}{L_{ab}} + \frac{w_c - w_b}{L_{bc}} + \frac{\alpha_T}{2} \left(\frac{L_{ab}}{h_{ab}} \Delta t_{ab} + \frac{L_{bc}}{h_{bc}} \Delta t_{bc} \right) = 0$$

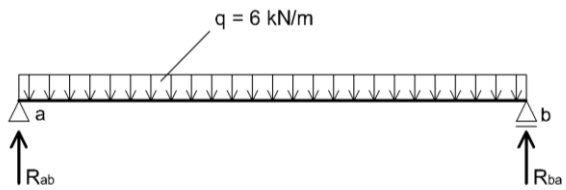
Pootočení $\varphi_{ab}, \varphi_{ba}, \varphi_{bc}$ představují pootočení v podporách prostých nosníků způsobená zatížením jednotlivých polí. Určí se metodou jednotkových sil.

Začne se původním zatížením prvního pole (viz obr.)

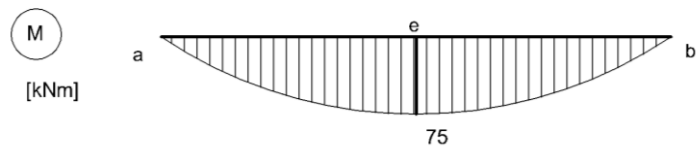
Určete moment uprostřed pole:

$$M_e = (75) \text{ [kN]}$$

Nakreslete průběh ohybových momentů.



Obr.: Původní zatížení prvního pole – reakce

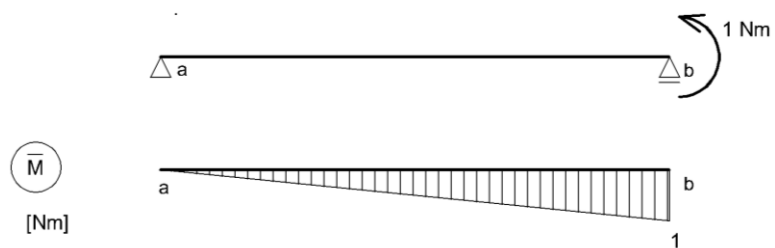


Obr.: Původní zatížení prvního pole – ohybové momenty

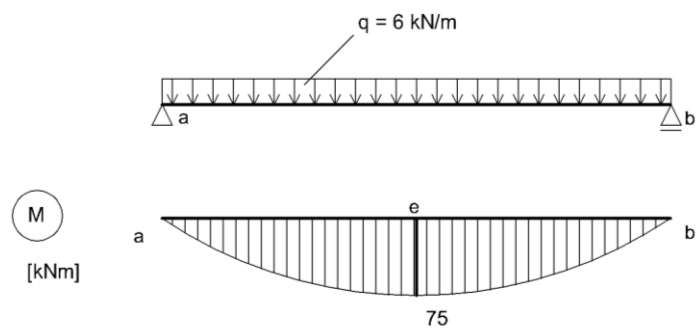
Moment uprostřed prvního pole:

$$M_e = \frac{1}{8} q \cdot L^2 = \frac{1}{8} 6 \cdot 10^2 = 75 \text{ kNm}$$

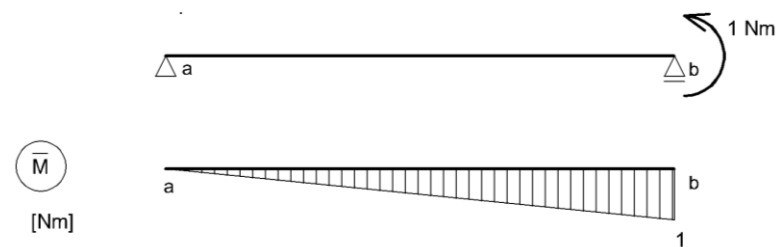
Nakreslete virtuální zatížení nosníku pro určení pootočení φ_{ba} a nakreslete průběh ohybových momentů.



Obr.: Virtuální zatížení prvního pole pro výpočet pootočení φ_{ba} – ohybové momenty



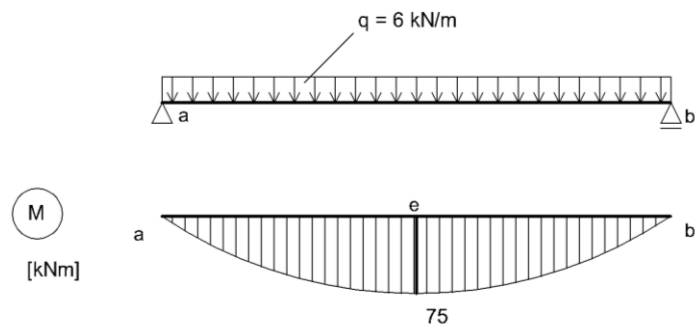
Obr.: Původní zatížení prvního pole – ohybové momenty



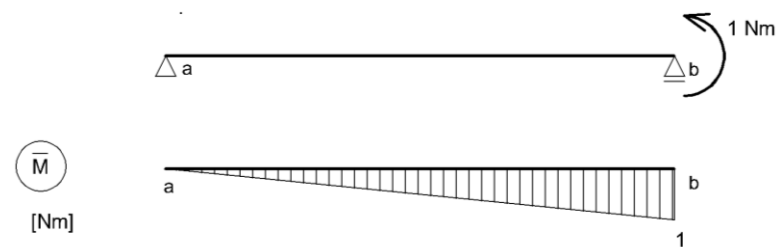
Obr. 12.3: Virtuální zatížení prvního pole – ohybové momenty

Určete pootočení:

$$\varphi_{ab} = \varphi_{ba} = (250) \frac{10^3}{EI}$$

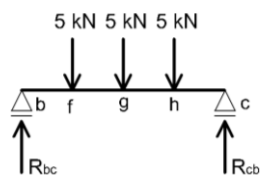


Obr.: Původní zatížení prvního pole – ohybové momenty



Obr. 12.3: Jednotkové zatížení prvního pole – ohybové momenty

$$\varphi_{ab} = \varphi_{ba} = \frac{1}{EI} \left[\frac{1}{3} M_e \bar{M}_b L_{ab} \right] = \frac{1}{EI} \frac{1}{3} 75 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10 = \frac{250 \cdot 10^3}{EI}$$



Obr.: Původní zatížení druhého pole

Pokračuje se původním zatížením druhého pole – viz. obr.

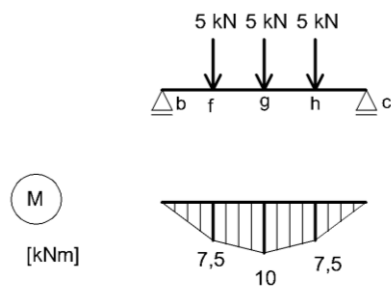
Určete ohybové momenty:

$$M_f = (7,5) [\text{kNm}]$$

$$M_g = (10) [\text{kNm}]$$

$$M_h = (7,5) [\text{kNm}]$$

Nakreslete průběhy ohybových momentů.



Obr.: Původní zatížení druhého pole – ohybové momenty

Reakce:

$$R_{ab} = R_{ba} = \frac{\sum F_i}{2} = 7,5kN$$

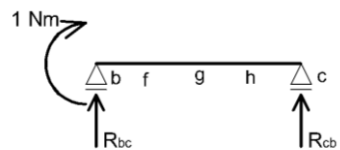
Ohybové momenty:

$$M_f = 1 \cdot R_{ab} = 7,5kNm$$

$$M_g = 2 \cdot R_{ab} - 1 \cdot 5 = 10kNm$$

$$M_h = 1 \cdot R_{ba} = 7,5kNm$$

Nakreslete virtuální zatížení nosníku pro určení pootočení φ_{bc} a nakreslete průběh ohybových momentů.



Obr.: Virtuální zatížení druhého pole pro výpočet pootočení φ_{bc}

Určete ohybové momenty:

$$M_b = (1)[\text{Nm}]$$

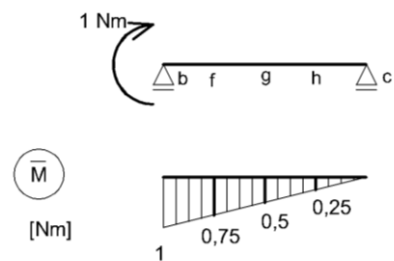
$$M_f = (0,75)[\text{Nm}]$$

$$M_g = (0,5)[\text{Nm}]$$

$$M_h = (0,25)[\text{Nm}]$$

$$M_c = (0)[\text{Nm}]$$

Nakreslete průběhy ohybových momentů.



Obr.: Virtuální zatížení druhého pole – ohybové momenty

Reakce:

$$R_{ab} = \frac{-1}{L_{bc}} = -0,25N$$

Ohybové momenty:

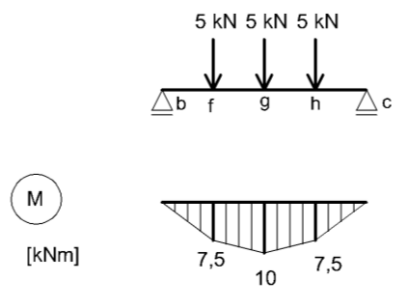
$$M_b = 1Nm$$

$$M_f = M_b + 1 \cdot R_{ab} = 0,75Nm$$

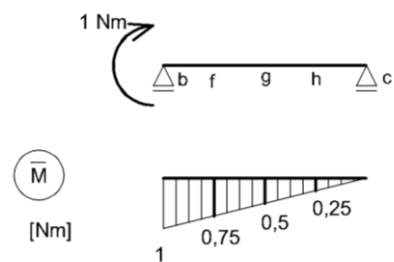
$$M_g = M_b + 2 \cdot R_{ab} = 0,5Nm$$

$$M_h = M_b + 3 \cdot R_{ab} = 0,25Nm$$

$$M_c = 0Nm$$



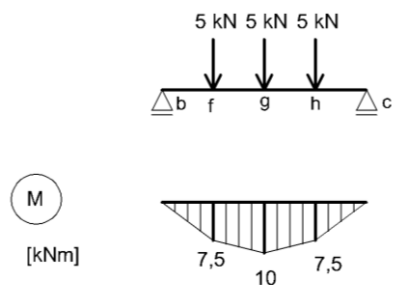
Obr.: Původní zatížení druhého pole – ohybové momenty



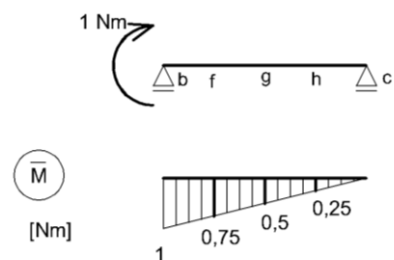
Obr. 12.3: Jednotkové zatížení druhého pole – ohybové momenty

Určete pootočení:

$$\varphi_{bc} = (12,5) \frac{10^3}{EI}$$

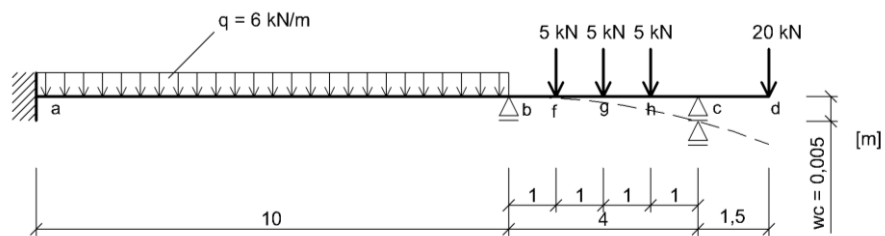


Obr.: Původní zatížení druhého pole – ohybové momenty



Obr. 12.3: Jednotkové zatížení druhého pole – ohybové momenty

$$\begin{aligned} \varphi_{bc} = & \frac{1}{EI} \left[\frac{1}{6} (M_f (2\bar{M}_f + \bar{M}_b)) L_{bf} + \frac{1}{6} (M_f (2\bar{M}_f + \bar{M}_g)) L_{fg} + \frac{1}{6} (M_g (2\bar{M}_g + \bar{M}_f)) L_{fg} \right. \\ & + \frac{1}{6} (M_g (2\bar{M}_g + \bar{M}_h)) L_{gh} + \frac{1}{6} (M_h (2\bar{M}_h + \bar{M}_g)) L_{gh} + \frac{1}{3} (M_h \bar{M}_h) L_{gh} \left. \right] \\ & \frac{1}{EI} \left[\frac{1}{6} (7,5 \cdot (2 \cdot 0,75 + 1)) \cdot 1 + \frac{1}{6} (7,5 \cdot (2 \cdot 0,75 + 0,5)) \cdot 1 + \frac{1}{6} (10 \cdot (2 \cdot 0,5 + 0,75)) \cdot 1 + \right. \\ & \frac{1}{6} (10 \cdot (2 \cdot 0,5 + 0,25)) \cdot 1 + \frac{1}{6} (7,5 \cdot (2 \cdot 0,25 + 0,5)) \cdot 1 + \frac{1}{3} (7,5 \cdot 0,25) \cdot 1 \left. \right] \cdot 10^3 \\ & = \frac{12,5 \cdot 10^3}{EI} \end{aligned}$$



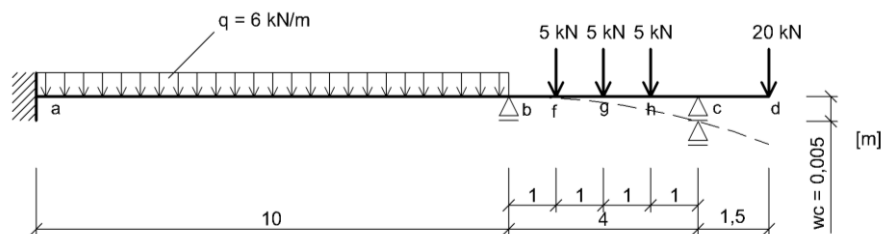
Obr.: Model konstrukce a zatížení

Třímomentové rovnice

Sestavte třímomentové rovnice pro podpory a a b . Vyřešte neznámé momenty.

$$M_a = (-58,941)[\text{kNm}]$$

$$M_b = (-32,118)[\text{kNm}]$$



Obr.: Model konstrukce a zatížení

Třímomentové rovnice

$$M_c = -30000 Nm$$

$$M_a \frac{L_{ab}}{3EI} + M_b \frac{L_{ab}}{6EI} + \varphi_{ab} = 0$$

$$M_a \frac{L_{ab}}{6EI} + M_b \left(\frac{L_{ab}}{3EI} + \frac{L_{bc}}{3EI} \right) + M_c \frac{L_{bc}}{6EI} + \varphi_{ba} + \varphi_{bc} + \frac{w_c - w_b}{L_{bc}} = 0$$

$$M_a \frac{10}{3EI} + M_b \frac{10}{6EI} + \frac{25000}{EI} = 0$$

$$M_a \frac{10}{6EI} + M_b \left(\frac{10}{3EI} + \frac{4}{3EI} \right) + (-30000) \frac{4}{6EI} + \frac{25000}{EI} + \frac{12500}{EI} + \frac{0,005 - 0}{4} = 0$$

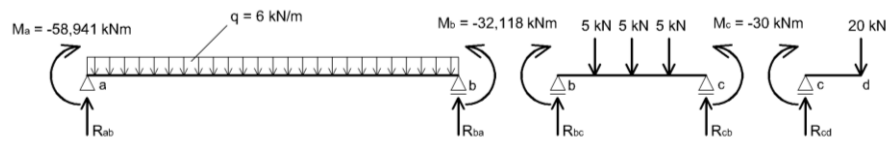
$$10M_a + 5M_b = -75000$$

$$10M_a + 28M_b = -1488705$$

Řešení:

$$M_a = -58941 Nm = -58,941 kNm$$

$$M_b = -32118 Nm = -32,118 kNm$$



Obr.: Nadpodporové momenty a reakce polí

Výsledný průběh vnitřních sil

Určete Reakce:

pole *a-b*

$$R_{ba} = (27,318)[\text{kN}]$$

$$R_a = (32,682)[\text{kN}]$$

pole *b-c*

$$R_{cb} = (6,97)[\text{kN}]$$

$$R_{bc} = (8,029)[\text{kN}]$$

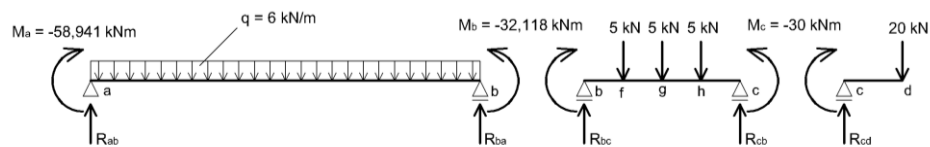
pole *c-d*

$$R_{cd} = (20)[\text{kN}]$$

Určete celkové reakce:

$$R_b = (35,347)[\text{kN}]$$

$$R_c = (26,791)[\text{kN}]$$



Obr.: Nadpodporové momenty a reakce polí

Reakce:

pole $a-b$

$$\sum M_{a,i} = 0$$

$$-M_a + M_b - 5Q + 10R_{ba} = 0 \quad 58,941 - 32,118 - 5 \cdot 6 \cdot 10 + 10R_{ba} = 0$$

$$R_{ba} = 27,318 \text{ kN}$$

$$\sum M_{b,i} = 0$$

$$-M_a + M_b + 5Q - 10R_a = 0 \quad 58,941 - 32,118 + 5 \cdot 6 \cdot 10 - 10R_a = 0$$

$$R_a = 32,682 \text{ kN}$$

pole $b-c$

$$\sum M_{b,i} = 0$$

$$-M_b + M_c - (1 + 2 + 3)F + 4R_{bc} = 0 \quad 32,118 - 30 - 6 \cdot 5 + 4R_{bc} = 0$$

$$R_{cb} = 6,971 \text{ kN}$$

$$\sum M_{c,i} = 0$$

$$-M_b + M_c + (3 + 2 + 1)F - 4R_{bc} = 0 \quad 32,118 - 30 + 6 \cdot 5 - 4R_{bc} = 0$$

$$R_{bc} = 8,029 \text{ kN}$$

pole $c-d$

$$\sum F_{z,i} = 0$$

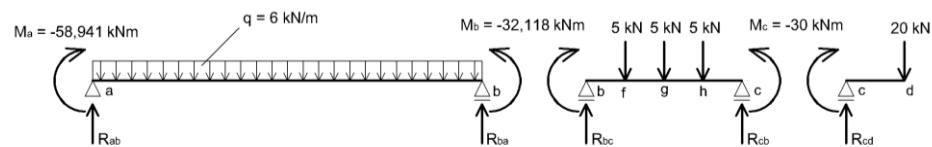
$$R_{cd} - 20 = 0$$

$$R_{cd} = 20 \text{ kN}$$

Celkové reakce:

$$R_b = R_{ba} + R_{bc} = 27,318 + 8,029 = 35,347 \text{ kN}$$

$$R_c = R_{cb} + R_{cd} = 6,971 + 20 = 26,971 \text{ kN}$$



Obr.: Nadpodporové momenty a reakce polí

Určete posouvající síly:

$$V_a = R_a = (32,682) [\text{kN}]$$

$$V_{b,L} = (-27,318) [\text{kN}]$$

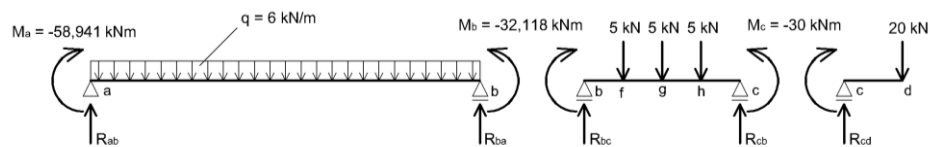
$$V_{b,P} = (8,029) [\text{kN}]$$

$$V_{f,P} = (3,029) [\text{kN}]$$

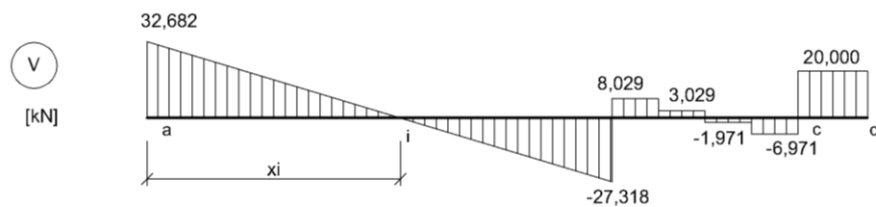
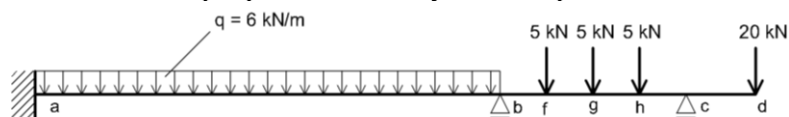
$$V_{g,P} = (-1,971) [\text{kN}]$$

$$V_{h,P} = (-6,971) [\text{kN}]$$

Vykreslete průběhy posouvajících sil.



Obr.: Nadpodporové momenty a reakce polí



Obr.: Posouvající síly

Posouvající síly:

$$V_a = R_a = 32,682 \text{ kN}$$

$$V_{b,L} = -R_{ba} = -27,318 \text{ kN}$$

$$V_{b,P} = R_{bc} = 8,029 \text{ kN}$$

$$V_{f,P} = V_{b,P} - 5 = 3,029 \text{ kN}$$

$$V_{g,P} = V_{f,P} - 5 = -1,971 \text{ kN}$$

$$V_{h,P} = -R_{cb} = -6,971 \text{ kN}$$

Poloha průřezu s nulovou posouvající silou:

$$x_i = (5,447) \text{ [m]}$$

Určete ohybové momenty:

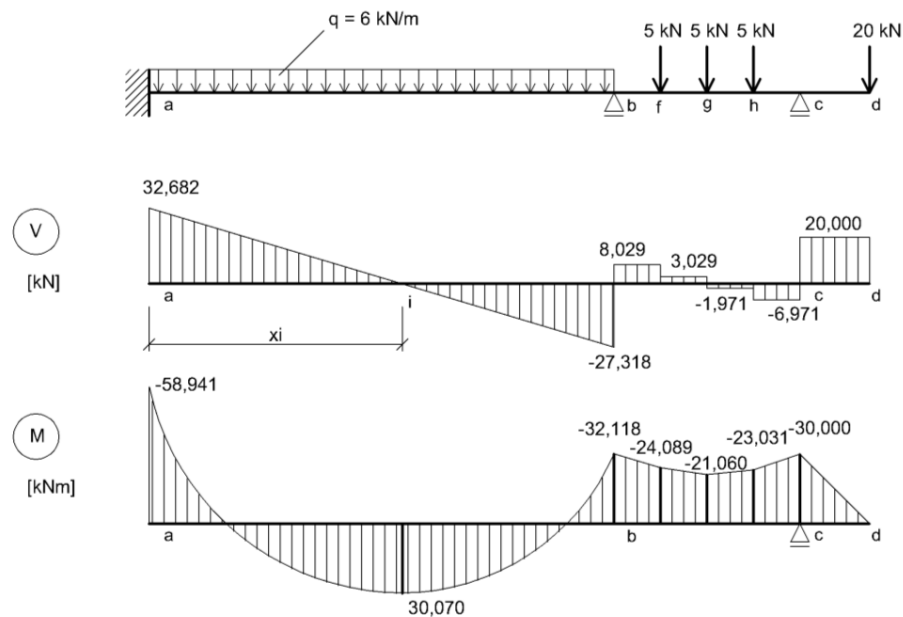
$$M_i = (-30,070) \text{ [kNm]}$$

$$M_f = (-24,089) \text{ [kNm]}$$

$$M_g = (-21,060) \text{ [kNm]}$$

$$M_h = (-23,031) \text{ [kNm]}$$

Vykreslete průběh ohybových momentů.



Obr.: Vnitřní síly

Posouvající síly:

$$V_a = R_a = 32,682 \text{ kN}$$

$$V_{b,L} = -R_{ba} = -27,318 \text{ kN}$$

$$V_{b,P} = R_{bc} = 8,029 \text{ kN}$$

$$V_{f,P} = V_{b,P} - 5 = 3,029 \text{ kN}$$

$$V_{g,P} = V_{f,P} - 5 = -1,971 \text{ kN}$$

$$V_{h,P} = -R_{cb} = -6,971 \text{ kN}$$

Poloha průřezu s nulovou posouvající silou:

$$x_i = \frac{V_a}{q} = 5,447 \text{ m}$$

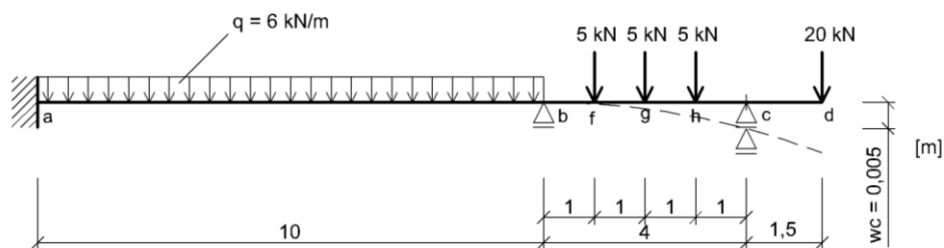
Ohybové momenty:

$$M_i = M_a + x_i V_a - \frac{q x_i^2}{2} = -30,070 \text{ kNm}$$

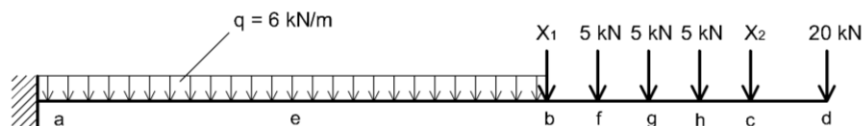
$$M_f = M_b + 1 \cdot R_{bc} = -24,089 \text{ kNm}$$

$$M_g = M_b + 2 \cdot R_{bc} - 1 \cdot 5 = -21,060 \text{ kNm}$$

$$M_h = M_c + 1 \cdot R_{cb} = -23,031 \text{ kNm}$$



Obr.: Model konstrukce a zatížení



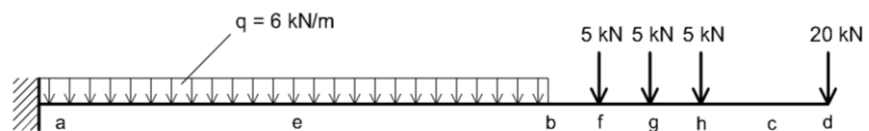
Obr.: Základní staticky určitá soustava

b) Základní soustava vznikne odebráním vnějších vazeb

V tomto případě budeme uvažovat základní soustavu vzniklou odebráním vazeb proti svislému posunu v bodech b a c . Reakce v těchto vazbách se nahradí neznámými silami X_1 , resp X_2 a účinek vazeb se nahradí doplňujícími podmínkami:

$$w_b = \delta_1 = 0$$

$$w_c = \delta_2 = 0,005m$$



Obr.: Původní zatížení základní soustavy

Vyřeší se průběhy vnitřních sil na základní soustavě od původního zatížení.

Určete ohybové momenty:

$$M_d = (0) [\text{kNm}]$$

$$M_c = (-30) [\text{kNm}]$$

$$M_h = (-50) [\text{kNm}]$$

$$M_g = (-75) [\text{kNm}]$$

$$M_f = (-105) [\text{kNm}]$$

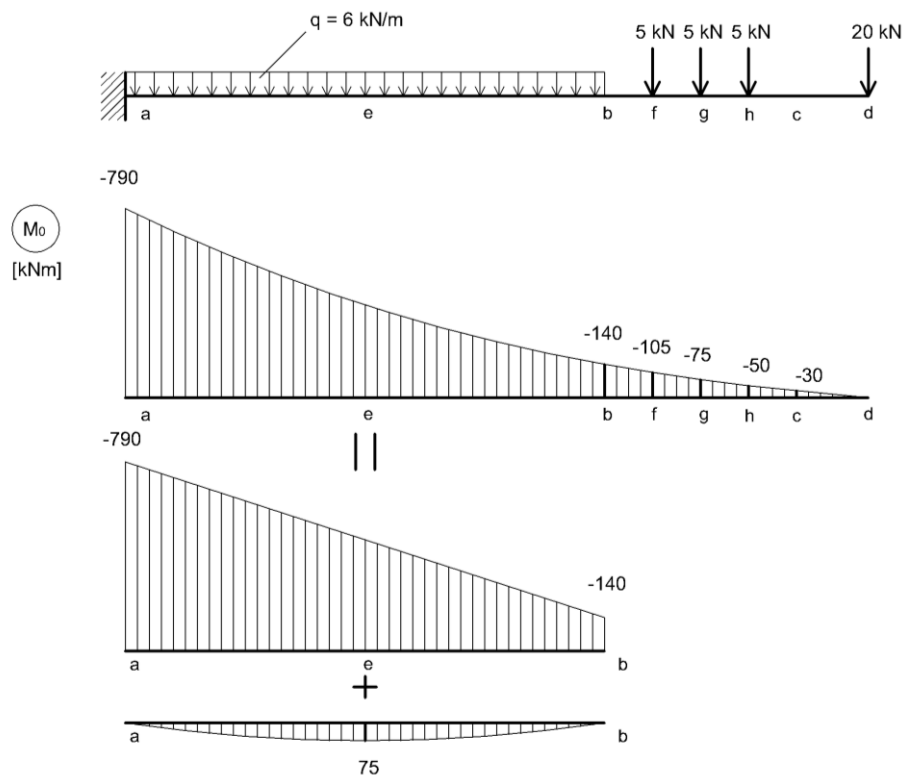
$$M_b = (-140) [\text{kNm}]$$

$$M_a = (-790) [\text{kNm}]$$

Výška parabolické části průběhu momentů v poli a-b:

$$M'_e = (75) [\text{kNm}]$$

Vykreslete průběh ohybových momentů.



Obr.: Původní zatížení základní soustavy – ohybové momenty

Ohybové momenty:

$$M_d = 0 \text{ kNm}$$

$$M_c = -1,5 \cdot 20 = -30 \text{ kNm}$$

$$M_h = -2,5 \cdot 20 = -50 \text{ kNm}$$

$$M_g = -3,5 \cdot 20 - 1 \cdot 5 = -75 \text{ kNm}$$

$$M_f = -4,5 \cdot 20 - 2 \cdot 5 - 1 \cdot 5 = -105 \text{ kNm}$$

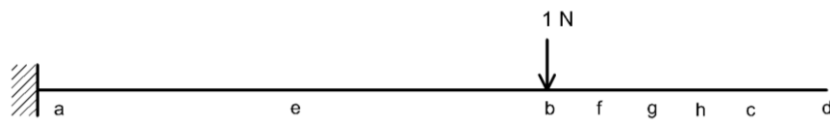
$$M_b = -5,5 \cdot 20 - 3 \cdot 5 - 2 \cdot 5 - 1 \cdot 5 = -140 \text{ kNm}$$

$$M_a = -15,5 \cdot 20 - 13 \cdot 5 - 12 \cdot 5 - 11 \cdot 5 - 6 \cdot 10 \cdot 5 = -790 \text{ kNm}$$

Výška parabolické části průběhu momentů v poli a-b:

$$M'_e = \frac{1}{8} 6 \cdot 10^2 = 75 \text{ kNm}$$

Nakreslete zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_1 .

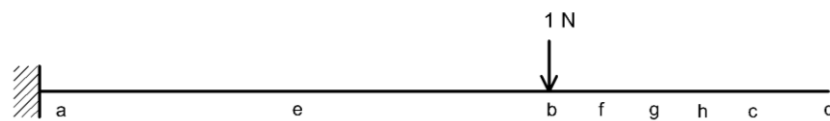


Obr.: Zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_1

Určete ohybové momenty:

$$M_a = (-10) [\text{Nm}]$$

Vykreslete průběh ohybových momentů.

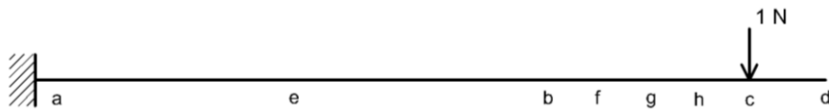


Obr.: Zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_1 - ohybové momenty

Ohybové momenty:

$$M_a = -1 \cdot 10 = -10 \text{ N}$$

Nakreslete zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_2 .



Obr.: Zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_2

Určete ohybové momenty:

$$M_d = (0)[\text{Nm}]$$

$$M_c = (0)[\text{Nm}]$$

$$M_h = (-1)[\text{Nm}]$$

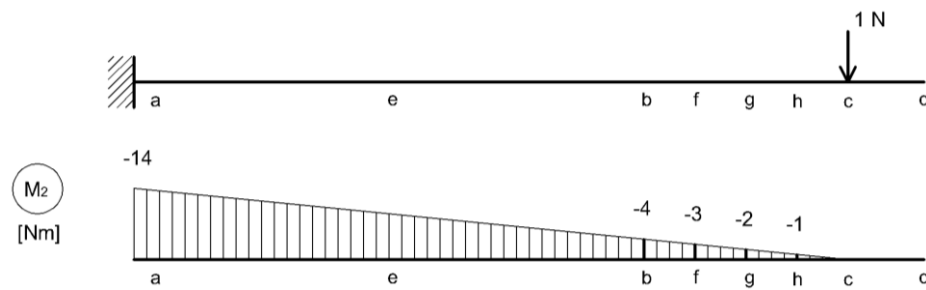
$$M_g = (-2)[\text{Nm}]$$

$$M_f = (-3)[\text{Nm}]$$

$$M_b = (-4)[\text{Nm}]$$

$$M_a = (-14)[\text{Nm}]$$

Vykreslete průběh ohybových momentů.



Obr.: Zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_2 - ohybové momenty

Ohybové momenty:

$$M_d = 0 Nm$$

$$M_c = 0 Nm$$

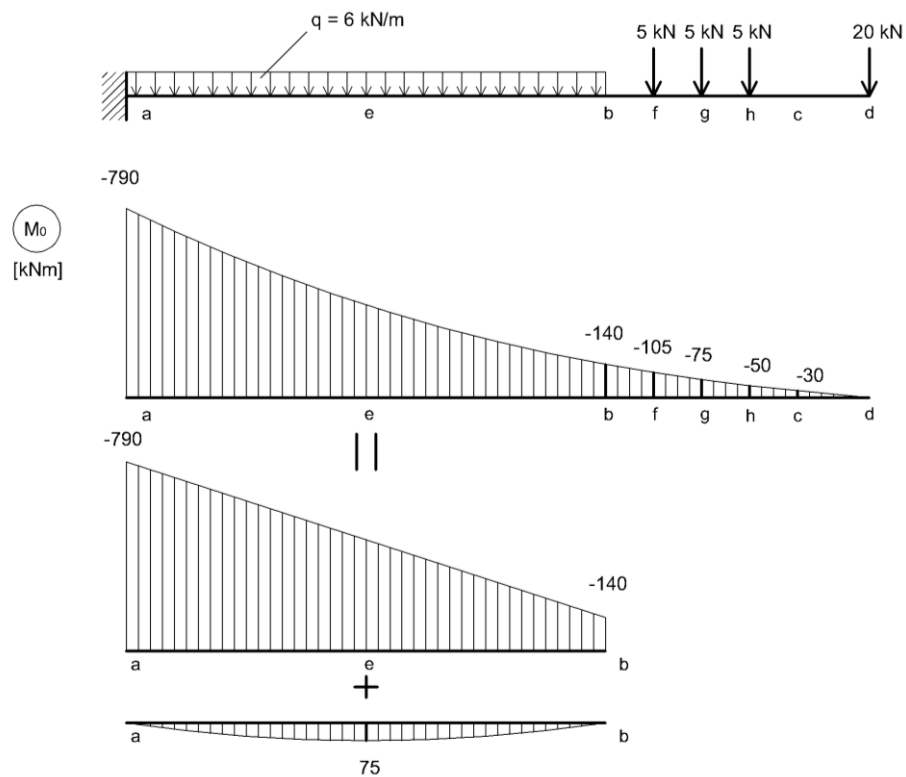
$$M_h = -1 \cdot 1 = -1 Nm$$

$$M_g = -2 \cdot 1 = -2 Nm$$

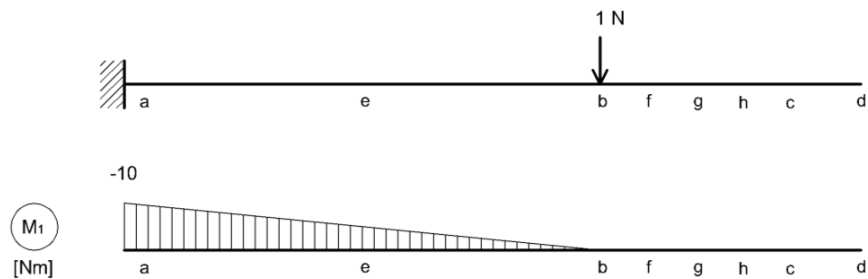
$$M_f = -3 \cdot 1 = -3 Nm$$

$$M_b = -4 \cdot 1 = -4 Nm$$

$$M_a = -14 \cdot 1 = -14 Nm$$



Obr.: Původní zatížení základní soustavy – ohybové momenty



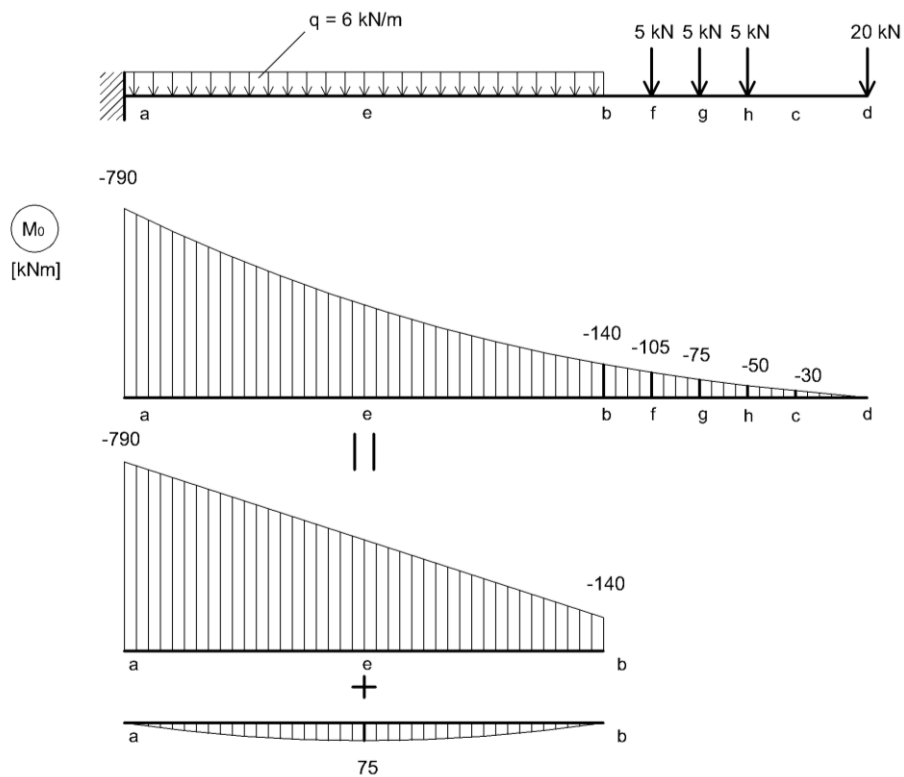
Obr.: Zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_1 - ohybové momenty

Výpočet přemístění

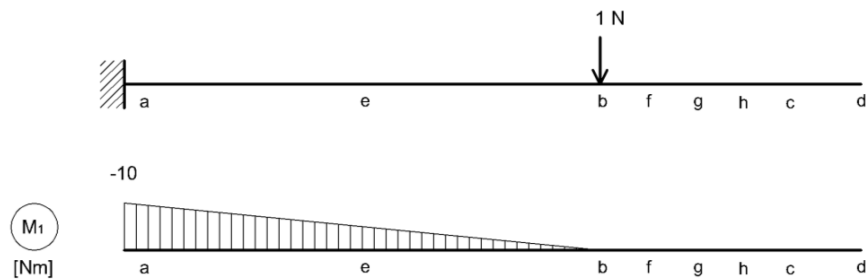
Určete posuny:

$$\delta_{1,0} = (26,1666e3) \frac{1}{EI}$$

$$\delta_{1,1} = (333,333) \frac{1}{EI}$$



Obr.: Původní zatížení základní soustavy – ohybové momenty



Obr.: Zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_I - ohybové momenty

$$\delta_{1,0} = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} M_{a,1} (2M_{a,0} + M_{b,0}) L_{ab} + \frac{1}{3} M_{a,1} M''_{e,0} L_{ab} \right\} =$$

$$\frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} \cdot (-10) \cdot (2 \cdot (-790) + (-140)) \cdot 10 + \frac{1}{3} \cdot (-10) \cdot (-75) \cdot 10 \right\} 10^3$$

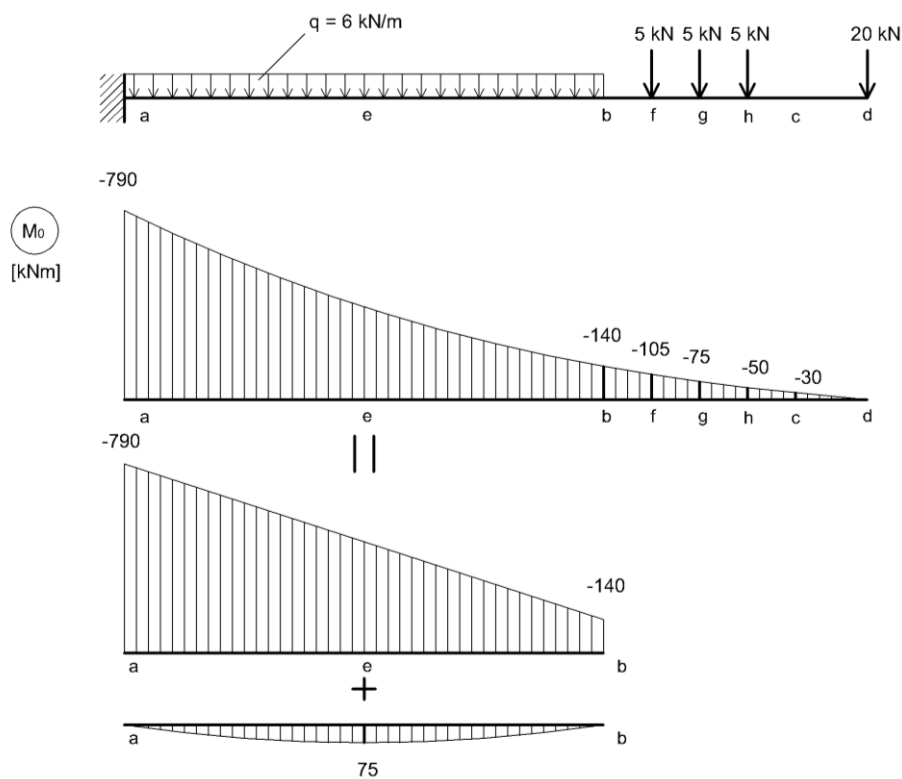
$$= \frac{26,1666 \cdot 10^3}{EI}$$

$$\delta_{1,1} = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{3} M_{a,1} M_{a,1} L_{ab} \right\} = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{3} \cdot (-10) \cdot (-10) \cdot 10 \right\} 10^3 = \frac{333,333}{EI}$$

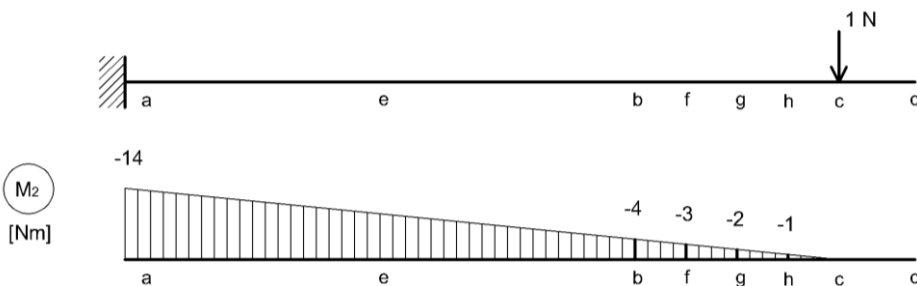
Určete posuny

$$\delta_{2,0} = (43,5433e3) \frac{1}{EI}$$

$$\delta_{2,2} = (914,666) \frac{1}{EI}$$



Obr.: Původní zatížení základní soustavy – ohybové momenty



Obr.: Zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_2 - ohybové momenty

$$\delta_{2,0} = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} M_{a,2} [2M_{a,0} + M_{b,0}] L_{ab} + \frac{1}{6} M_{b,2} [M_{a,0} + 2M_{b,0}] L_{ab} + \frac{1}{3} [M_{a,2} + M_{b,2}] M''_{e,0} L_{ab} \right\}$$

$$+ \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} M_{b,2} [2M_{b,0} + M_{f,0}] L_{bf} + \frac{1}{6} M_{f,2} [M_{b,0} + 2M_{f,0}] L_{bf} \right\}$$

$$+ \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} M_{f,2} [2M_{f,0} + M_{g,0}] L_{fg} + \frac{1}{6} M_{g,2} [M_{f,0} + 2M_{g,0}] L_{fg} \right\}$$

$$+ \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} M_{g,2} [2M_{g,0} + M_{h,0}] L_{gh} + \frac{1}{6} M_{h,2} [M_{g,0} + 2M_{h,0}] L_{gh} \right\}$$

$$+ \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} M_{h,2} [2M_{h,0} + M_{c,0}] L_{hc} \right\}$$

$$\delta_{2,0} = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} \cdot (-14) \cdot [2 \cdot (-790) + (-140)] \cdot 10 + \frac{1}{6} \cdot (-4) \cdot [(-790) + 2 \cdot (-140)] \cdot 10 \right.$$

$$+ \frac{1}{3} \cdot [(-14) + (-4)] \cdot (-75) \cdot 10 \Big\} 10^3$$

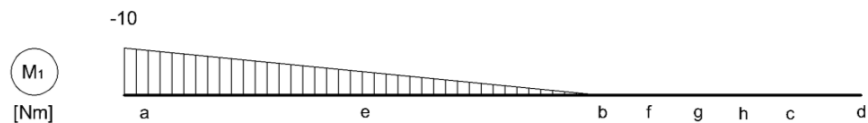
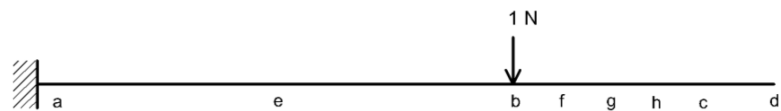
$$+ \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} \cdot (-4) \cdot [2 \cdot (-140) + (-105)] \cdot 1 + \frac{1}{6} \cdot (-3) \cdot [(-140) + 2 \cdot (-105)] \cdot 1 \right\} 10^3$$

$$+ \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} \cdot (-3) \cdot [2 \cdot (-105) + (-75)] \cdot 1 + \frac{1}{6} \cdot (-2) \cdot [(-105) + 2 \cdot (-75)] \cdot 1 \right\} 10^3$$

$$+ \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} \cdot (-2) \cdot [2 \cdot (-75) + (-50)] \cdot 1 + \frac{1}{6} \cdot (-1) \cdot [(-75) + 2 \cdot (-50)] \cdot 1 \right\} 10^3$$

$$+ \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} \cdot (-1) \cdot [2 \cdot (-50) + (-30)] \cdot 1 \right\} 10^3 = \frac{43,54333 \cdot 10^3}{EI}$$

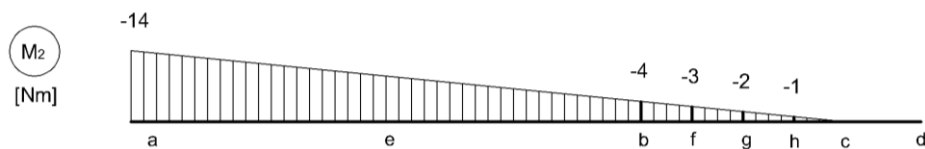
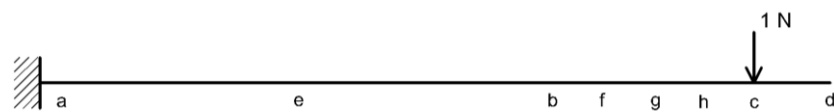
$$\delta_{2,2} = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{3} M_{a,2} \cdot M_{a,2} \cdot L_{ac} \right\} = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{3} \cdot (-14) \cdot (-14) \cdot 14 \right\} 10^3 = \frac{914,666}{EI}$$



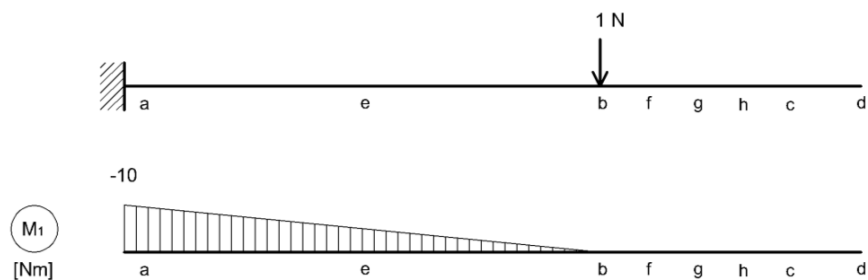
Obr.: Zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_1 - ohybové momenty

Určete posuny:

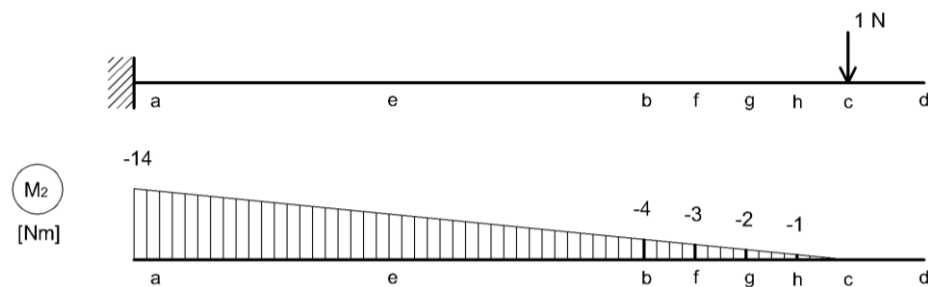
$$\delta_{1,2} = \delta_{2,1} = (533,333) \frac{1}{EI}$$



Obr.: Zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_2 - ohybové momenty



Obr.: Zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_1 - ohybové momenty

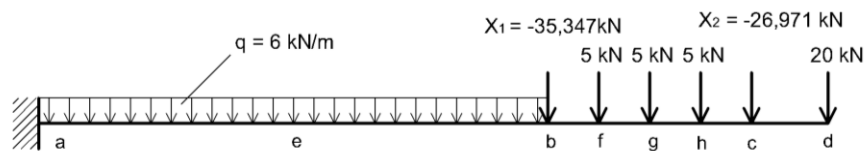


Obr.: Zatížení základní soustavy jednotkovou silou ve směru X_2 - ohybové momenty

$$\delta_{1,2} = \delta_{2,1} = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{3} M_{a,1} [2M_{a,2} + M_{b,2}] L_{ab} \right\}$$

$$= \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{3} \cdot (-10) \cdot [2 \cdot (-14) + (-14)] \cdot 10 \right\} 10^3 = \frac{533,333}{EI}$$

Sestavte kanonické rovnice (deformační podmínky) a určete velikost neznámých sil X_1 a X_2 .



Obr: Výsledné zatížení základní soustavy

Kanonické rovnice – deformační podmínky

$$\delta_{10} + \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 = 0$$

$$\delta_{20} + \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 = 0,005$$

$$333,333X_1 + 533,333X_2 = -26,1666 \cdot 10^3$$

$$533,333X_1 + 914,666X_2 = -43,5433 \cdot 10^3$$

Řešení

$$X_1 = -35,347 \cdot 10^3 = -35,347 \text{ kN}$$

$$X_2 = -26,971 \cdot 10^3 = -26,971 \text{ kN}$$

Určete posouvající síly:

$$V_{c,P} = (20) [\text{kN}]$$

$$V_{h,P} = (-6,971) [\text{kN}]$$

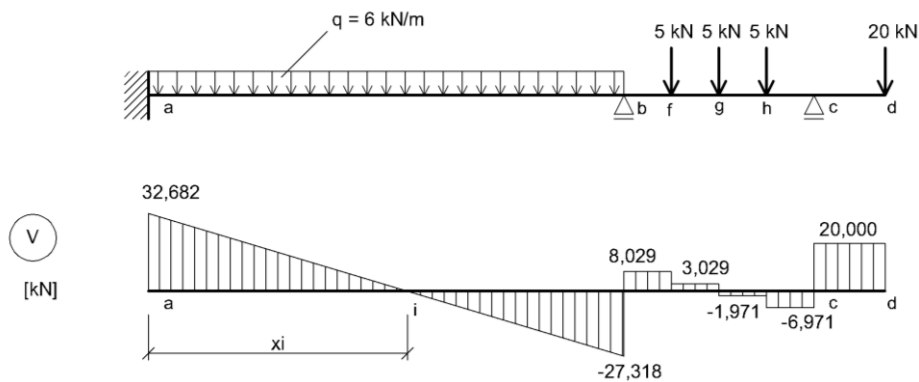
$$V_{g,P} = (-1,971) [\text{kN}]$$

$$V_{f,P} = (3,029) [\text{kN}]$$

$$V_{b,P} = (8,029) [\text{kN}]$$

$$V_{b,L} = (-27,318) [\text{kN}]$$

$$V_a = (32,682) [\text{kN}]$$



Obr.: Posouvající síly

Posouvající síly:

$$V_{c,P} = 20 \text{ kN}$$

$$V_{h,P} = V_{c,P} + X_2 = -6,971 \text{ kN}$$

$$V_{g,P} = V_{h,P} + 5 = -1,971 \text{ kN}$$

$$V_{f,P} = V_{g,P} + 5 = 3,029 \text{ kN}$$

$$V_{b,P} = V_{f,P} + 5 = 8,029 \text{ kN}$$

$$V_{b,L} = V_{b,P} + X_1 = -27,318 \text{ kN}$$

$$V_a = V_{b,L} + 6 \cdot 10 = 32,682 \text{ kN}$$

Určete polohu průřezu s nulovou posouvající silou:

$$x_i = \frac{V_a}{q} = 5,447 \text{ m } (5,447) [\text{m}]$$

Určete ohybové momenty:

$$M_d = (0) [\text{kNm}]$$

$$M_c = (-30) [\text{kNm}]$$

$$M_h = (-23,031) [\text{kNm}]$$

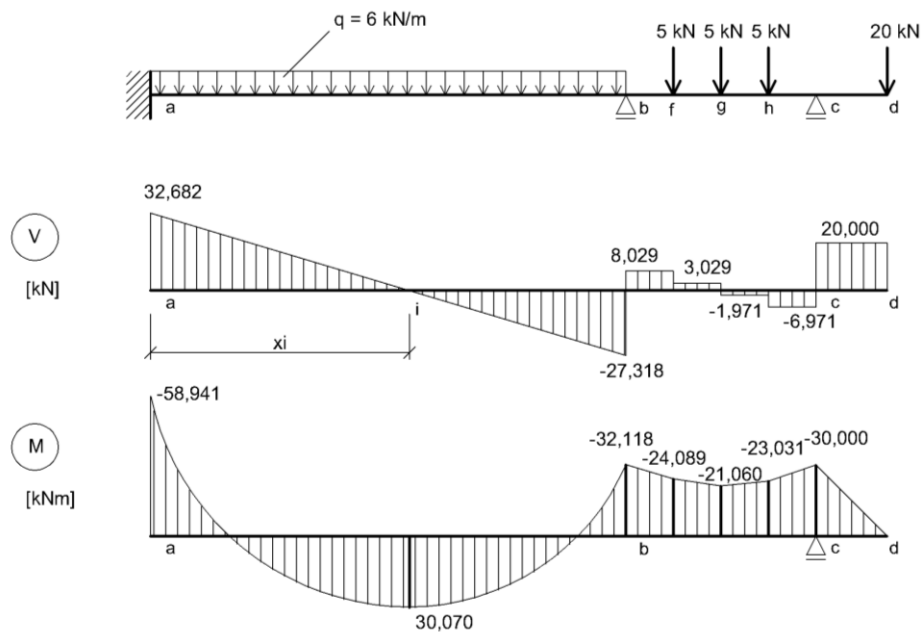
$$M_g = (-21,060) [\text{kNm}]$$

$$M_f = (-24,089) [\text{kNm}]$$

$$M_b = (-32,118) [\text{kNm}]$$

$$M_a = (-58,941) [\text{kNm}]$$

$$M_i = (-30,070) [\text{kNm}]$$



Obr.: Vnitřní síly

Posouvající síly:

$$V_{c,P} = 20 \text{ kN}$$

$$V_{h,P} = V_{c,P} + X_2 = -6,971 \text{ kN}$$

$$V_{g,P} = V_{h,P} + 5 = -1,971 \text{ kN}$$

$$V_{f,P} = V_{g,P} + 5 = 3,029 \text{ kN}$$

$$V_{b,P} = V_{f,P} + 5 = 8,029 \text{ kN}$$

$$V_{b,L} = V_{b,P} + X_1 = -27,318 \text{ kN}$$

$$V_a = V_{b,L} + 6 \cdot 10 = 32,682 \text{ kN}$$

Poloha průřezu s nulovou posouvající silou:

$$x_i = \frac{V_a}{q} = 5,447 \text{ m}$$

Ohybové momenty:

$$M_d = 0 \text{ kNm}$$

$$M_c = -1,5 \cdot 20 = -30 \text{ kNm}$$

$$M_h = -2,5 \cdot 20 - 1 \cdot X_2 = -23,031 \text{ kNm}$$

$$M_g = -3,5 \cdot 20 - 2 \cdot X_2 - 1 \cdot 5 = -21,060 \text{ kNm}$$

$$M_f = -4,5 \cdot 20 - 3 \cdot X_2 - 2 \cdot 5 - 1 \cdot 5 = -24,089 \text{ kNm}$$

$$M_b = -5,5 \cdot 20 - 4 \cdot X_2 - 3 \cdot 5 - 2 \cdot 5 - 1 \cdot 5 = -32,118 \text{ kNm}$$

$$M_a = -15,5 \cdot 20 - 14 \cdot X_2 - 13 \cdot 5 - 12 \cdot 5 - 11 \cdot 5 - 10 \cdot X_1 - 6 \cdot 10 \cdot 5 = -58,941 \text{ kNm}$$

$$M_i = M_a + x_i V_a - \frac{q x_i^2}{2} = -30,070 \text{ kNm}$$