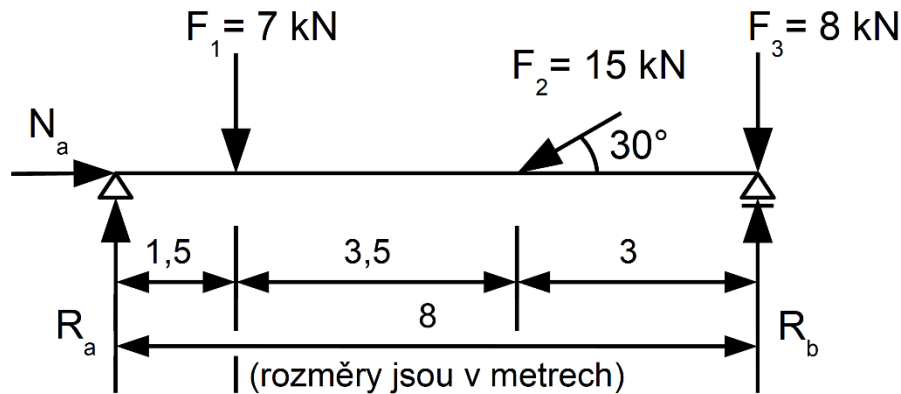


## Vnitřní síly

Postup výpočtu pro prostý nosník v hodině číslo 6.

Obrázce vnitřních sil – výpočty a grafické zakreslení vnitřních sil.

Naším úkolem je vykreslit průběh vnitřních sil na zadaném prostém nosníku.



**Řešení:**

1. Narýsujeme si nosník v měřítku délek (pro účely výuky postačuje náčrt od ruky). Délka paprsků sil v měřítku být nemusí. Z podpor a z působíště každé síly spustíme čárkovanou kolmici (kolmá na osu nosníku) směrem dolů. Poslouží nám jako vodítko k vykreslení vnitřních sil.
2. Šikmé síly ( $F_2$ ) rozložíme do složek x a y. Dále se složkami zacházíme jako se samostatnými silami.

$$F_{2,x} = \cos 30^\circ \cdot 15 = 13 \text{ kN} \quad F_{2,y} = \sin 30^\circ \cdot 15 = 7,5 \text{ kN}$$

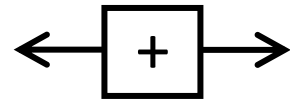
3. Vypočítáme reakce. Viz první ročník nebo 6. hodina 2. ročníku.

$$R_a = 8,5 \text{ kN} \quad R_b = 6 \text{ kN} \quad N_a = 13 \text{ kN}$$

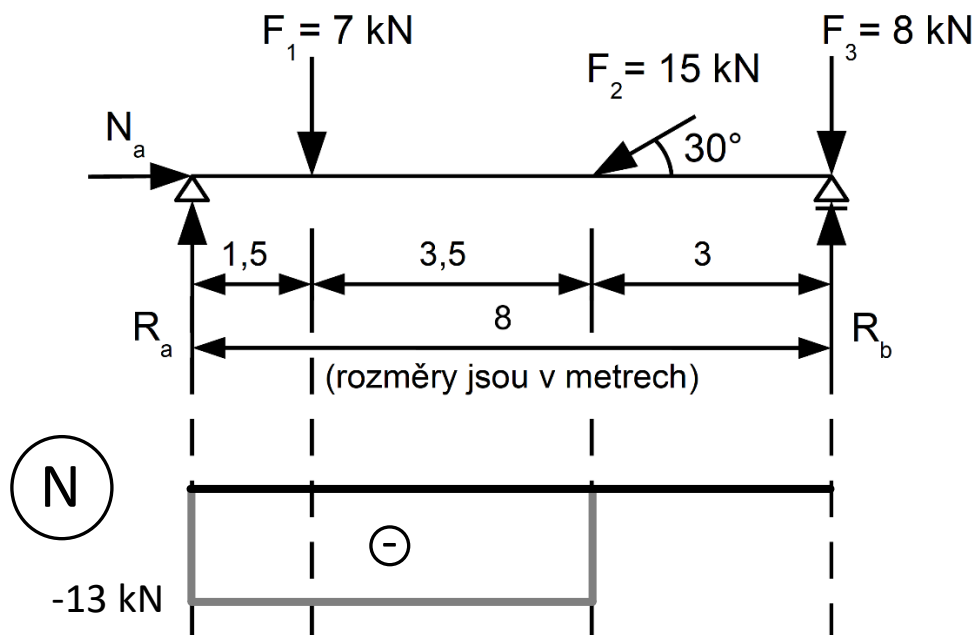
#### 4. Vykreslíme normálové síly (rovnoběžné s osou nosníku, tj. vodorovné).

Při vykreslování dbáme na konvenci:

To znamená, pokud vykreslujeme zleva, jsou kladné síly ty, které směřují doleva. Pokud vykreslujeme zprava, jsou kladné síly ty, které směřují doprava.



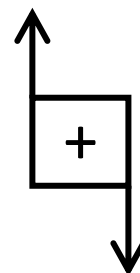
Normálové síly jsou na nosníku jen dvě. Síla  $F_{2,x}$  a reakce  $N_a$ . Všechny ostatní síly ignorujeme. Protože vykreslení normálových sil je jednoduché, ukážeme si pouze vykreslení zleva. Reakce  $N_a$  je záporná, síla  $F_{2,x}$  je kladná.



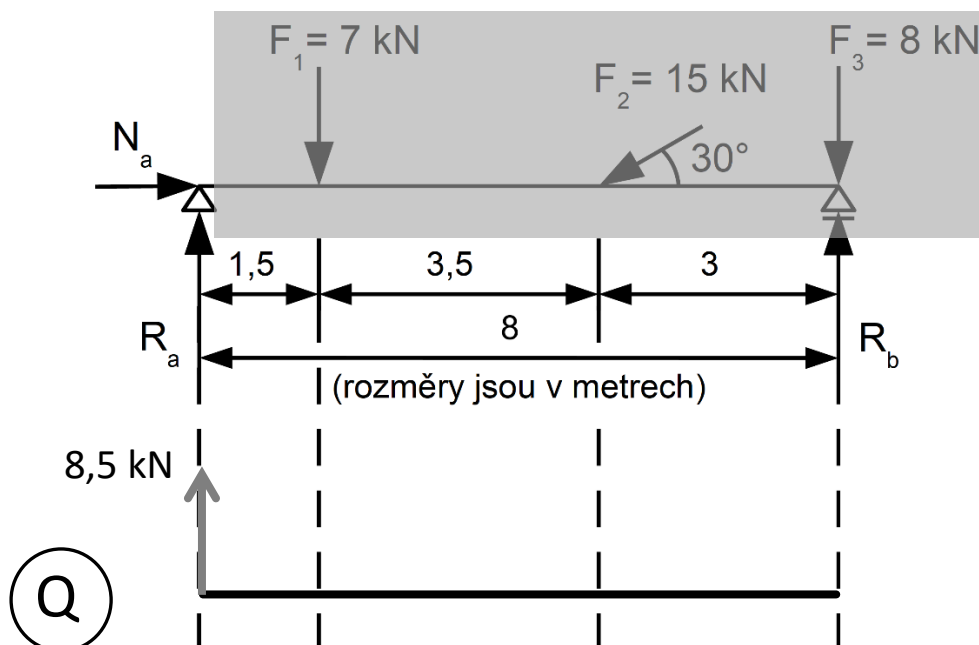
5. Vykreslíme posouvající síly (kolmé na osu nosníku, tj. svislé). Musíme se rozhodnout, zda budeme vykreslovat zleva nebo zprava. V tomto příkladu si ukážeme vykreslení zleva.

Při vykreslování dbáme na konvenci:

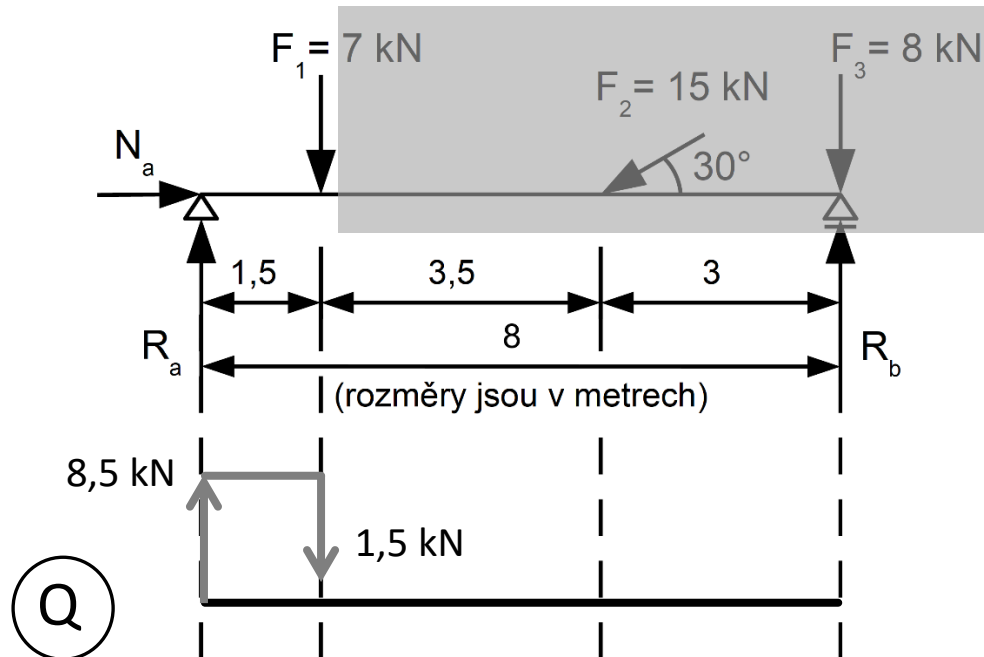
To znamená, pokud vykreslujeme zleva, jsou kladné síly ty, které směřují nahoru. Pokud vykreslujeme zprava, jsou kladné síly ty, které směřují dolů.



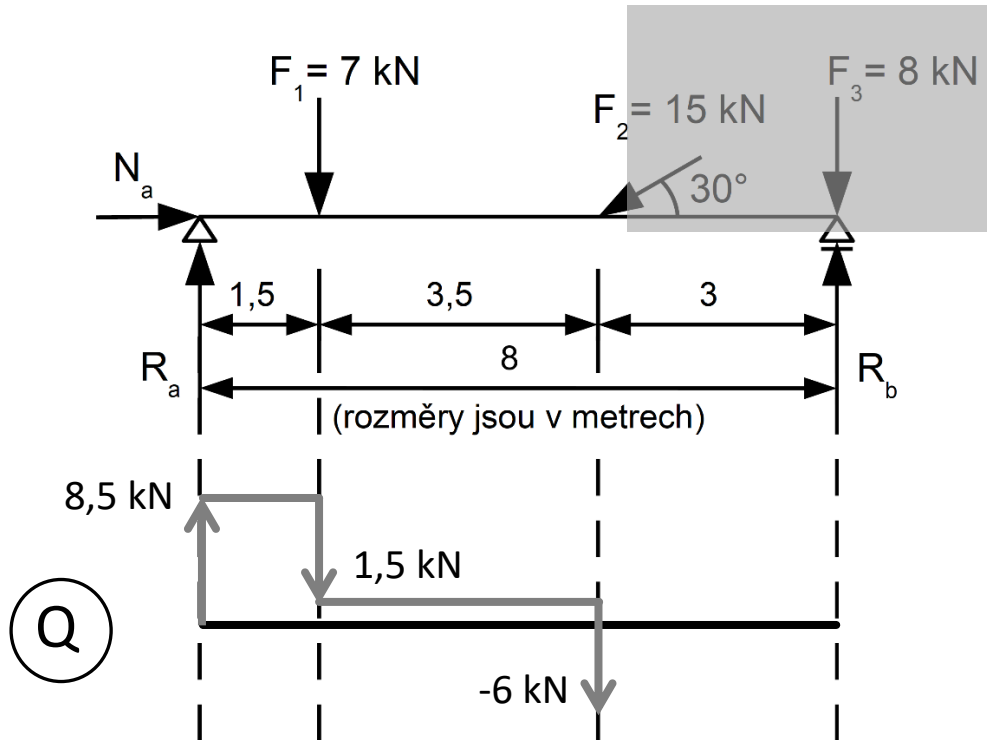
Zakryjeme celý nosník a necháme odkrytou jen první sílu zleva (reakce  $R_a$ ). Reakci  $N_a$  ignorujeme, není to posouvající síla. Síly za šedivým obdélníkem ignorujeme. Nakreslíme si osu nosníku. Odkrytá reakce směřuje nahoru a je tedy kladná. Proto ve zvoleném měřítku vyneseme reakci směrem nahoru (ve výuce můžeme pracovat od ruky).



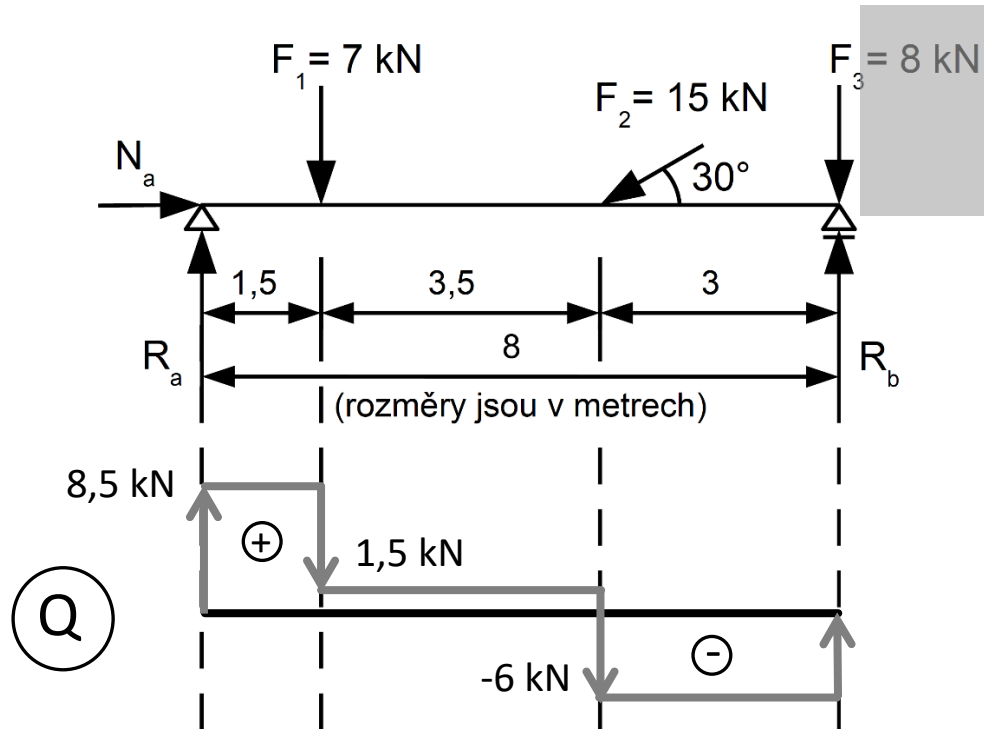
Zakrytí nosníku odsouváme tak daleko, dokud nenarazíme na další sílu nebo zatížení. Narazíme na sílu  $F_1$ . Odkrytá síla směřuje dolů a je tedy záporná. Proto ve zvoleném měřítku vyneseme sílu směrem dolů, tudíž ji vlastně odečteme od reakce. Protože mezi reakcí a silou není žádné silové působení, tvoří průběh posouvající síly vodorovná přímka.



Zakrytí nosníku opět odsouváme až k další síle. Narazíme na sílu  $F_2$ . Budeme počítat pouze se složkou  $y$ . Složku  $x$  ignorujeme. Odkrytá síla (její složka  $y$ ) směřuje dolů a je tedy záporná. Proto ve zvoleném měřítku vyneseme sílu směrem dolů, tudíž ji vlastně odečteme od hodnoty v působišti síly  $F_1$ . Protože mezi silami není žádné silové působení, tvoří průběh posouvající síly vodorovná přímka.



Zakrytí nosníku opět odsouváme až k další síle. Narazíme na sílu  $F_3$  a reakci  $R_b$ . Sílu  $F_3$  ignorujeme, protože působí přímo v podpoře a nezatěžuje řešený nosník. Odkrytá reakce působí směrem nahoru a je tedy kladná. Proto ve zvoleném měřítku vyneseme sílu směrem nahoru, tudíž ji vlastně přičteme k hodnotě v působišti síly  $F_2$ . Protože mezi silami není žádné silové působení, tvoří průběh posouvající síly vodorovná přímka. Pokud máme výpočet správný, musí nám v podpoře b (na konci nosníku) vyjít posouvající síla 0.

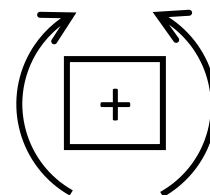


**Máme hotovo!!**

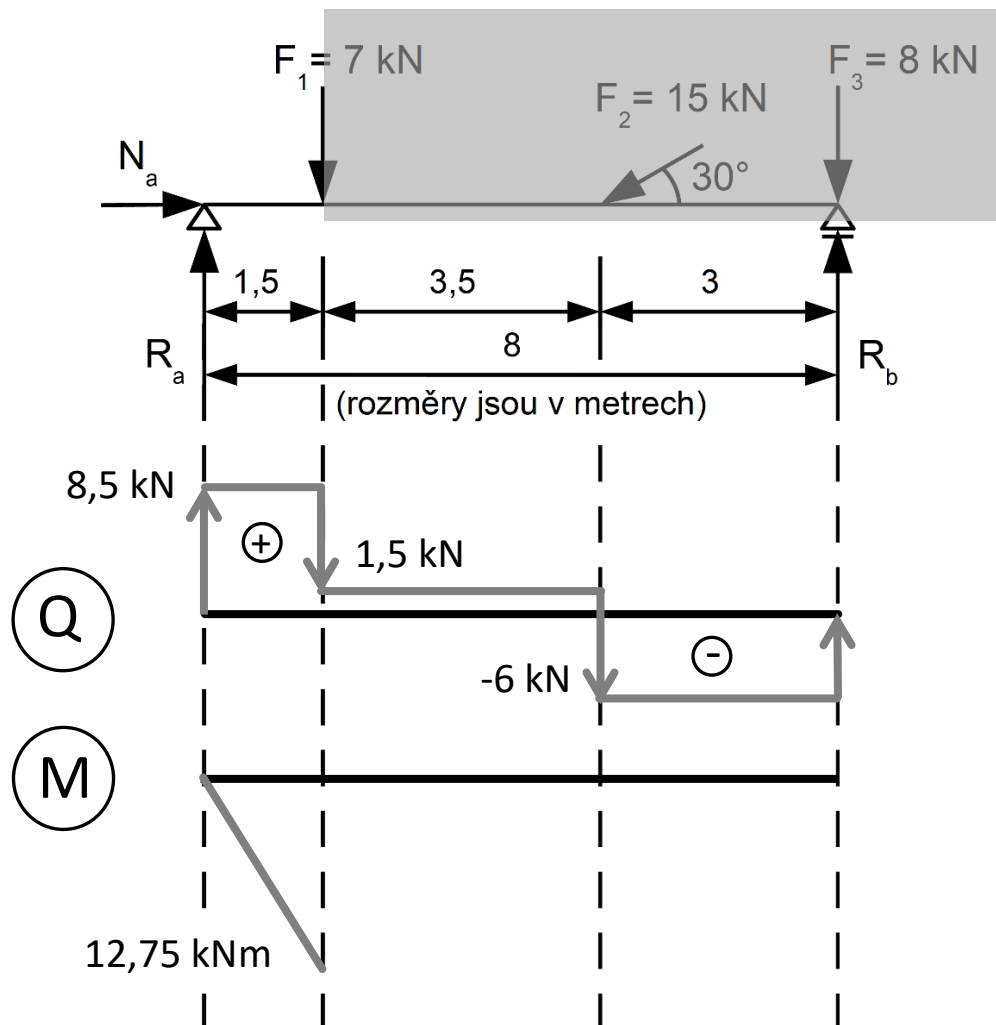
6. Vykreslíme ohybové momenty. Musíme se rozhodnout, zda budeme vykreslovat zleva nebo zprava. My si ukážeme vykreslení zleva.

Při vykreslování dbáme na konvenci:

To znamená, pokud vykreslujeme zleva, jsou kladné momenty ty, které otáčí ve směru hodinových ručiček. Pokud vykreslujeme zprava, jsou kladné síly ty, které otáčí proti směru hodinových ručiček.



Zakryjeme celý nosník a necháme odkrytou jen levou část po druhou sílu zleva. Opět si připravíme osu nosníku, tentokrát pod obrázek posouvajících sil. Na odkryté části působí pouze reakce  $R_a$ . Reakci  $N_a$  ignorujeme, protože působí v ose nosníku a vyvozuje nulový moment. K působišťům všech sil na ose řešeného nosníku má reakce  $N_a$  rameno 0 m. Reakce vyvozuje na odkryté části ohybový moment, jehož velikost je rovna násobku reakce a jejího ramena. Rameno se posouváním zakrývajících obdélníků zvětšuje. Vždy se rameno stanovuje jako vzdálenost okraje zakrývajících obdélníků a reakce (síly). V tomto případě bude střed otáčení v působišti síly  $F_1$ . Rameno reakce 1,5 m. Sílu  $F_1$  nebereme v potaz, protože má nulové rameno (působí ve středu otáčení). Protože mezi silami  $R_a$  a  $F_1$  nepůsobí žádné spojitě zatížení, bude průběh ohybového momentu tvořit šikmá přímka. Šikmá proto, že velikost momentu narůstá přímo úměrou se vzdáleností od podpory. Protože s působišťem síly  $F_1$  otáčí reakce ve směru hodinových ručiček, vyvozuje kladný moment, který u prostého nosníku vynášíme směrem dolů (strana tažených vláken).

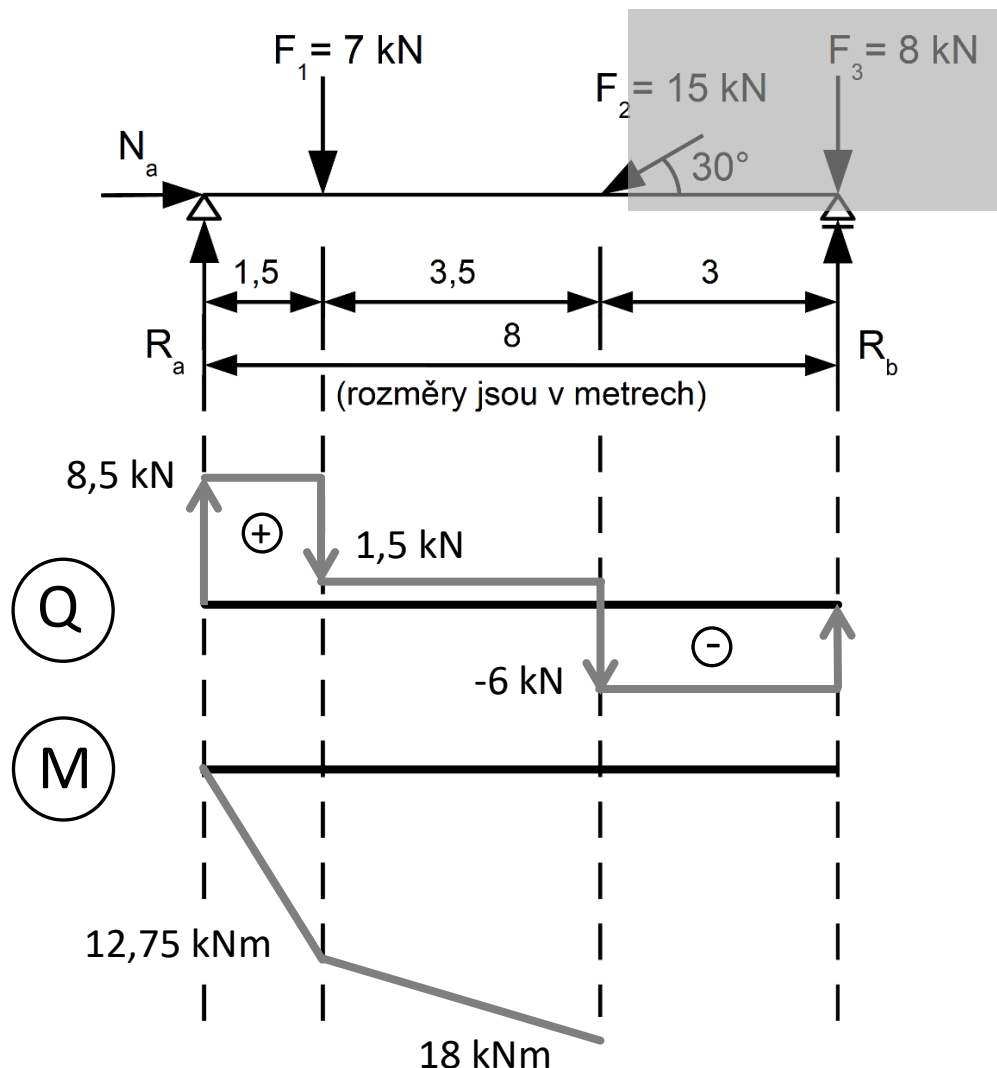


Výpočet momentu v místě síly  $F_1$ :

$$M_{F_1} = R_a \cdot 1,5 = 8,5 \cdot 1,5 = 12,75 \text{ kNm}$$



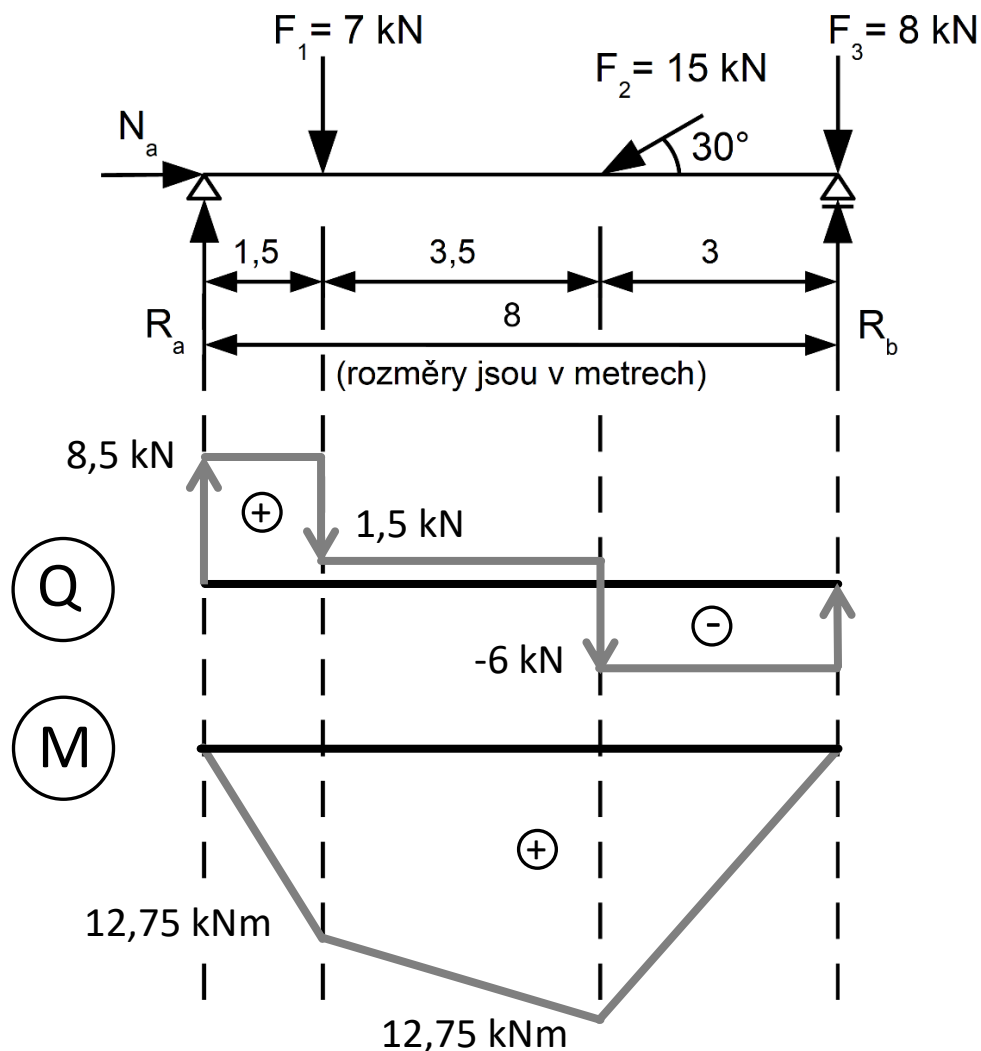
Postupně odkrýváme nosník směrem doleva. Odkryjeme nosník až po sílu  $F_2$ . Nyní na odkryté části vyvozuje kladný ohybový moment reakce  $R_a$  a záporný ohybový moment síla  $F_1$ . Oba momenty působí proti sobě, proto mezi silami  $F_1$  a  $F_2$  bude průběh ohybového momentu méně šikmý. Veškeré vzdálenosti (ramena) sil měříme od příslušné síly k síle  $F_2$ .



Výpočet momentu v místě síly  $F_2$ :

$$M_{F_2} = R_a \cdot 5 - F_1 \cdot 3,5 = 8,5 \cdot 5 - 7 \cdot 3,5 = 18 \text{ kNm}$$

Postupně odkrýváme nosník směrem doleva. Odkryjeme nosník až po reakci  $R_b$ . Nyní na odkryté části vyvozuje kladný ohybový moment reakce  $R_a$  a záporný ohybový moment síly  $F_1$  a  $F_{2,y}$ . Složku  $F_{2,x}$  ignorujeme (důvod viz reakce  $N_a$ ). Veškeré vzdálenosti (ramena) sil měříme od příslušné síly k podpoře b. Pokud jsou výpočty správné musí nám na konci nosníku (tj. v podpoře b) vyjít nulový moment.



$$M_b = R_a \cdot 8 - F_1 \cdot 6,5 - F_{2,y} \cdot 3$$

$$M_b = 8,5 \cdot 8 - 7 \cdot 6,5 - 7,5 \cdot 3 = 0$$

Máme hotovo!

Všimněte si, že maximální moment nám vyšel v místě působení síly  $F_2$ . Ve stejném bodě přechází obrazec posouvající síly z kladné do záporné části.