Vybrané metody řešení soustavy rovnic

- Podmínky rovnováhy či ekvivalence vedou často na soustavu rovnic, např.

$$\curvearrowleft o: \quad 4+2R_1+1R_2+0{,}8R_3=0$$

$$\rightarrow: \quad -8+0R_1-1R_2+0{,}8R_3=0$$

$$\uparrow: \quad -2+1R_1+2R_2+0R_3=0$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 2 & 1 & 0{,}8 \\ 0 & -1 & 0{,}8 \\ 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}} \underbrace{\begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{Bmatrix}}_{\mathbf{x}} = \underbrace{\begin{Bmatrix} -4 \\ 8 \\ 2 \end{Bmatrix}}_{\mathbf{b}}$$

$$\mathbf{A}\,\mathbf{x}=\mathbf{b} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{x}=\mathbf{A}^{-1}\mathbf{b}, \quad \mathbf{A}^{-1}\mathbf{A}=\mathbf{A}\,\mathbf{A}^{-1}=\mathbf{I}, \quad \mathbf{A}^{-1} \text{ je inverzní matice}$$

1. **Výpočet A**$^{-1}$ - excel, openoffice, gnumeric, matlab, lepší kalkulačka ....

$$\begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -0{,}5 & 0{,}5 & 1 \\ -0{,}625 & 1{,}875 & 1{,}25 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -4 \\ 8 \\ 2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -14 \\ 8 \\ 20 \end{Bmatrix}$$

2. **Gaussova eliminace** - cílem je horní trojúhelníková matice

$$\left[\begin{array}{ccc|c} 2 & 1 & 0{,}8 & -4 \\ 0 & -1 & 0{,}8 & 8 \\ 1 & 2 & 0 & 2 \end{array}\right] \approx \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{Bmatrix} \text{prohodit 2. a 3. řádek}$$

$$\left[\begin{array}{ccc|c} 2 & 1 & 0{,}8 & -4 \\ 1 & 2 & 0 & 2 \\ 0 & -1 & 0{,}8 & 8 \end{array}\right] \begin{array}{l} \\ +(-\tfrac{1}{2}\cdot 1.\,\check{r}) \\ +(-\tfrac{0}{2}\cdot 1.\,\check{r}) \end{array} = \left[\begin{array}{ccc|c} 2 & 1 & 0{,}8 & -4 \\ 0 & 1{,}5 & -0{,}4 & 4 \\ 0 & -1 & 0{,}8 & 8 \end{array}\right] \begin{array}{l} \\ \\ +(\tfrac{1}{1{,}5}\cdot 2.\,\check{r}) \end{array} =$$

$$\left[\begin{array}{ccc|c} 2 & 1 & 0{,}8 & -4 \\ 0 & 1{,}5 & -0{,}4 & 4 \\ 0 & 0 & 0{,}5333 & 10{,}666 \end{array}\right]$$

- výpočtem a dosazováním odspodu obdržíme postupně řešení neznámých

3. **Cramerovo pravidlo** (výhodné pro soustavy do 3 neznámých včetně)

$$x_i = D_i / D$$

- Kde x_i je neznámá, D determinant matice **A**, D_i determinant matice **A** po nahrazení jejího i-tého sloupce vektorem **b**

$$R_1 = \begin{array}{c} \mathbf{b} \\ \left| \begin{array}{ccc} \boxed{\begin{array}{c} -4 \\ 8 \\ 2 \end{array}} & \begin{array}{c} 1 \\ -1 \\ 2 \end{array} & \begin{array}{c} 0{,}8 \\ 0{,}8 \\ 0 \end{array} \end{array} \right| \end{array} / \begin{vmatrix} 2 & 1 & 0{,}8 \\ 0 & -1 & 0{,}8 \\ 1 & 2 & 0 \end{vmatrix} =$$

$$\left[(-4)\cdot(-1)\cdot 0 + 1\cdot 0{,}8\cdot 2 + 0{,}8\cdot 8\cdot 2 - (-4)\cdot 0{,}8\cdot 2 - 1\cdot 8\cdot 0 - 0{,}8\cdot(-1)\cdot 2\right] /$$

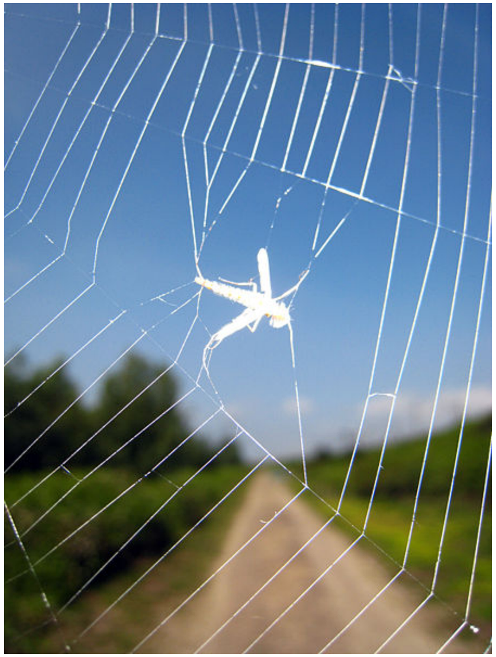
$$\left[2\cdot(-1)\cdot 0 + 1\cdot 0{,}8\cdot 1 + 0{,}8\cdot 0\cdot 2 - 2\cdot 0{,}8\cdot 2 - 1\cdot 0\cdot 0 - 0{,}8\cdot(-1)\cdot 1\right] =$$

$$22{,}4 / (-1{,}6) = -14\ \text{kN}$$

4. Metoda dosazovací - často chyby ve výpočtu, přenos chyb při dosazování

Obecná soustava sil v rovině

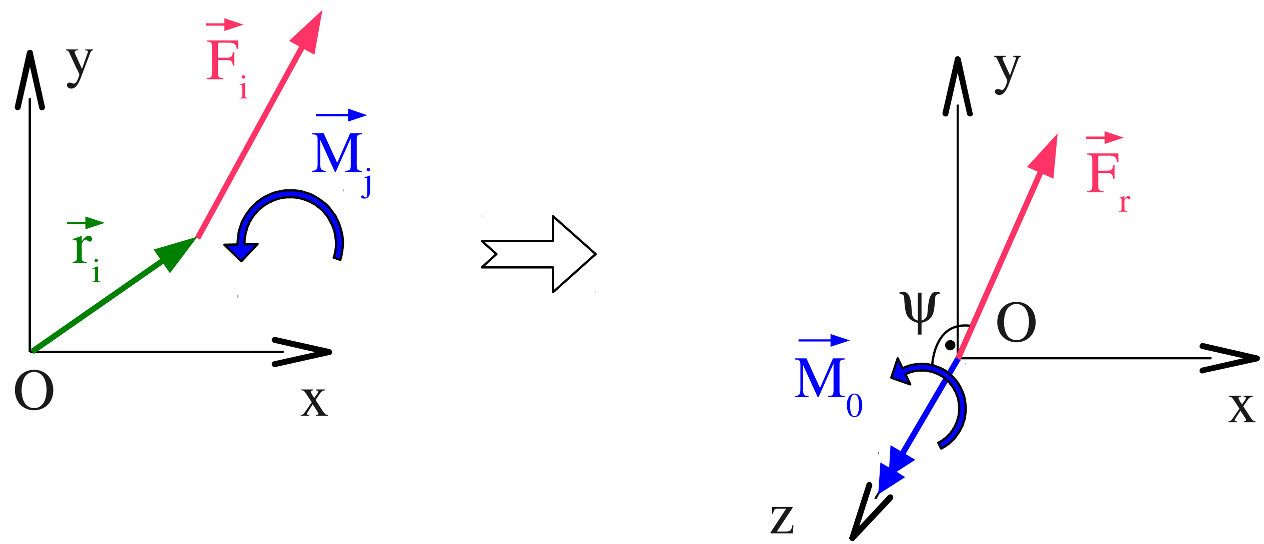
- Soustavou rozumíme určitou skupinu sil (síly od zatížení, reakce, vybrané síly...)
- Všechny síly soustavy leží v jedné rovině
- Všechny momenty jsou kolmé na tuto rovinu (moment lze nahradit dvojicí sil)
- Často volíme souřadný systém *x*-*y*, totožný s rovinou sil
- Platí všechny podmínky pro prostor (výslednice, rovnováha, ekvivalence)
- Složky F_z, M_y a M_z jsou nulové - zjednodušení výpočtu



Zavěšený most přes Odru na D47, foto W. Ullmann

Výsledný účinek soustavy sil a momentů v rovině

- Před řešením úlohy rovnováhy či ekvivalence provedeme redukci známých sil $\vec{F}_i$ a momentů $\vec{M}_j$ k danému bodu, obvykle počátku O. Tím obdržíme jedinou výslednici $\vec{F}_r$ a jediný moment $\vec{M}_O$ k danému bodu (počátku)



$\vec{F}_r$ a $\vec{M}_O$ - **bivektor**, $\psi=90^o$

$$\vec{F}_r=\sum_{i=1}^{n}\vec{F}_i$$

$$\vec{M}_O=\sum_{i=1}^{n}\vec{M}_{Oi}^{F}+\sum_{j=1}^{m}\vec{M}_j=\sum_{i=1}^{n}\left(\vec{r}_i\times\vec{F}_i\right)+\vec{M}_j$$

- Bivektorem lze nahradit jakoukoli soustavu sil a momentů

- Složky sil

$$F_{rx} = \sum_{i=1}^{n} F_{ix} = F_i \cos\alpha_i$$

$$F_{ry} = \sum_{i=1}^{n} F_{iy} = F_i \cos\beta_i$$

$$\cancel{F_{rz} = \sum_{i=1}^{n} F_{iz} = F_i \cos\gamma_i} \quad \text{identita}$$

- Složky momentů

$$\cancel{M_{Ox} = \sum_{i=1}^{n} \left(r_{iy} F_{iz} - r_{iz} F_{iy} \right) + \sum_{j=1}^{m} M_{jx}} \quad \text{identita}$$

$$\cancel{M_{Oy} = \sum_{i=1}^{n} \left(r_{iz} F_{ix} - r_{ix} F_{iz} \right) + \sum_{j=1}^{m} M_{jy}} \quad \text{identita}$$

$$M_{Oz} = \sum_{i=1}^{n} \left(r_{ix} F_{iy} - r_{iy} F_{ix} \right) + \sum_{j=1}^{m} M_{jz}$$

- Velikost síly

$$F_r = \sqrt{F_{rx}^2 + F_{ry}^2 + \cancel{F_{rz}^2}}$$

- Velikost momentu

$$M_O = \sqrt{\cancel{M_{Ox}^2} + \cancel{M_{Oy}^2} + M_{Oz}^2} = M_{Oz}$$

- Úhly

$$\cos\alpha_r = \frac{F_{rx}}{F_r}, \quad \cos\beta_r = \sin\alpha_r = \frac{F_{ry}}{F_r}$$

$$\cos\gamma_r = \cancel{\frac{F_{rz}}{F_r}} \; 0$$

- Úhly

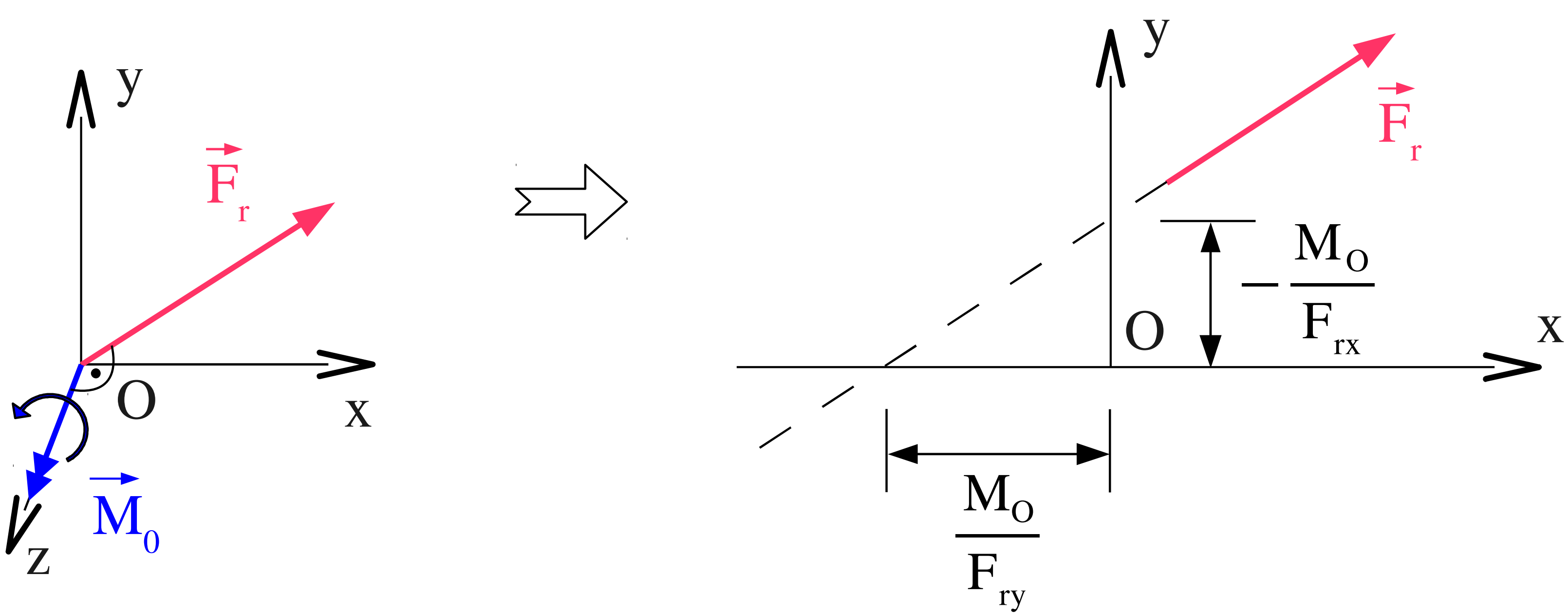
$$\cos\lambda = \cancel{\frac{M_{Ox}}{M_O}} \; 0, \quad \cos\mu = \cancel{\frac{M_{Oy}}{M_O}} \; 0, \quad \cos\nu = \frac{M_{Oz}}{M_O} \; 1$$

- Úhel ψ: $\cos\psi = \dfrac{F_{rx}\cancel{M_{Ox}} + F_{ry}\cancel{M_{Oy}} + \cancel{F_{rz}}M_{Oz}}{F_r M_O} = 0$

Nahrazení rovinné soustavy jedinou silou

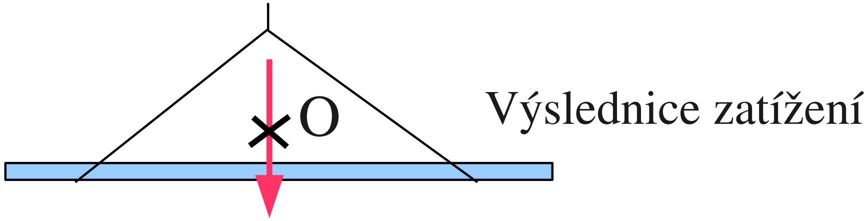
- Každý bivektor a každou soustavu sil v rovině lze nahradit jedinou silou (může být nulová - rovnováha, čistý otáčivý účinek soustavy)
- Při řešení v prostoru by taková rovinná soustava odpovídala šroubu, kde $M_C = 0$
- Rovnice paprsku výslednice

$$M_{O(z)} = x\,F_{ry} - y\,F_{rx} \qquad y = \frac{F_{ry}}{F_{rx}}\,x - \frac{M_O}{F_{rx}}$$

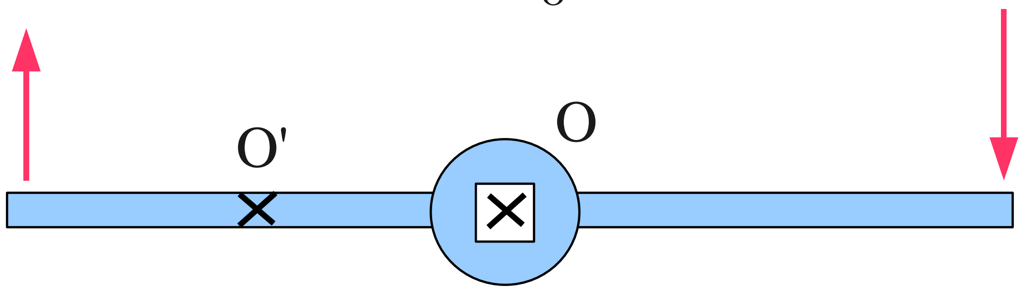


- Kromě obecných případů redukce soustavy k O mohou nastat tři specifické

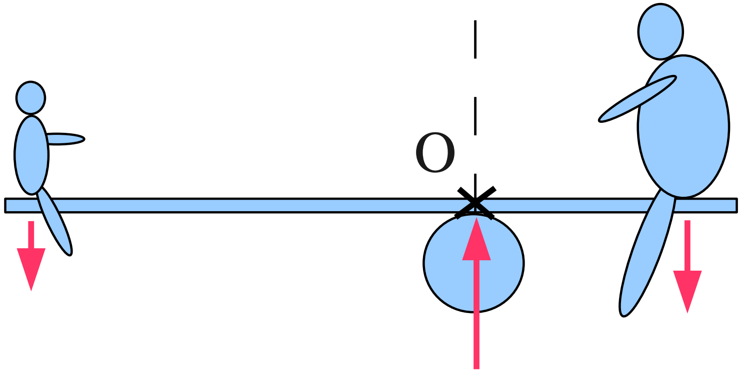
1. $\vec{F}_r \neq \vec{0}, \quad M_O = 0$ výsledným účinkem je síla $\vec{F}_r$ působící na paprsku procházející počátkem O



2. $\vec{F}_r = \vec{0}, \quad M_O \neq 0$ výsledným účinkem je dvojice sil v rovině *x*-*y* otáčející momentem M_O



3. $\vec{F}_r = \vec{0}, \quad M_O = 0$ soustava sil a momentů je v rovnováze



Obecná soustava sil v rovině - úloha rovnováhy

- Prostorová soustava sil $\{\vec{F}_1, \ldots, \vec{F}_n\}$ a momentů $\{\vec{M}_1, \ldots, \vec{M}_m\}$ je v **rovnováze** se silami $\{\vec{R}_1, \ldots, \vec{R}_o\}$ je-li výsledný účinek všech sil a všech momentů nulový

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i + \sum_{j=1}^{o} \vec{R}_j = \vec{0} \qquad \sum_{i=1}^{n} \vec{M}^F_{Oi} + \sum_{j=1}^{o} \vec{M}^R_{Oj} + \sum_{k=1}^{m} \vec{M}_k = \vec{0}$$

silové (směrové) podmínky — momentové podmínky

$$\boxed{\begin{array}{l} \rightarrow : \ \sum F_{ix} + \sum R_{jx} = 0 \\ \uparrow : \ \sum F_{iy} + \sum R_{jy} = 0 \end{array}}$$

$$\cancel{\swarrow : \ \sum F_{iz} + \sum R_{jz} = 0}$$

$$\cancel{\twoheadrightarrow : \ \sum M^F_{Oix} + \sum M^R_{Ojx} + \sum M_{kx} = 0}$$

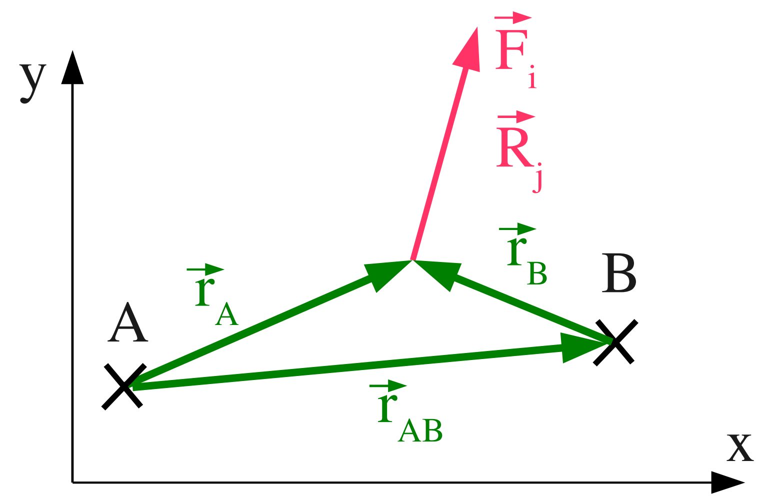
$$\cancel{\uparrow : \ \sum M^F_{Oiy} + \sum M^R_{Ojy} + \sum M_{ky} = 0}$$

$$\boxed{\circlearrowleft O : \ \sum M^F_{Oiz} + \sum M^R_{Ojz} + \sum M_{kz} = 0}$$

$$\Updownarrow$$

$$\circlearrowleft O : \ \sum (x_i F_{iy} - y_i F_{ix}) + \sum (x_j R_{jy} - y_j R_{jx}) + \sum M_{kz} = 0$$

- Celkem k dispozici 3 statické podmínky = 3 neznámé, jednoznačné řešení pokud determinant soustavy ≠ 0
- Momentové podmínky rovnováhy lze volit k libovolnému bodu
- Pro úlohu **ekvivalence** postačí vložit “-” před neznámé členy $\vec{R}$ a $\vec{M}^R$ a tím je převést na pravou stranu všech rovnic
- Předpokládejme, že $M_A = 0$ i $M_B = 0$



$$M_A = \sum \vec{r}_{Ai} \times \vec{F}_i + \sum \vec{r}_{Aj} \times \vec{R}_j = 0$$

$$\vec{r}_{AB} + \vec{r}_B = \vec{r}_A, \quad \vec{r}_B = \vec{r}_A - \vec{r}_{AB}$$

$$M_B = \sum (\vec{r}_{Ai} - \vec{r}_{AB}) \times \vec{F}_i + \sum (\vec{r}_{Aj} - \vec{r}_{AB}) \times \vec{R}_j = 0$$

$$\underbrace{M_B}_{0} = \underbrace{M_A}_{0} - \vec{r}_{AB} \times \underbrace{\left(\sum \vec{F}_i + \sum \vec{R}_j\right)}_{\text{silová podmínka rovnováhy}} = 0$$

obecně splněno pouze pokud $\vec{r}_{AB} \perp \left(\sum \vec{F}_i + \sum \vec{R}_j\right)$

- **Dvě momentové** podmínky k bodu A a B tedy nahrazují **jednu silovou** v kolmém směru k úsečce AB

- Alternativní formulace podmínek rovnováhy v rovině
  - 1 silová a 2 momentové

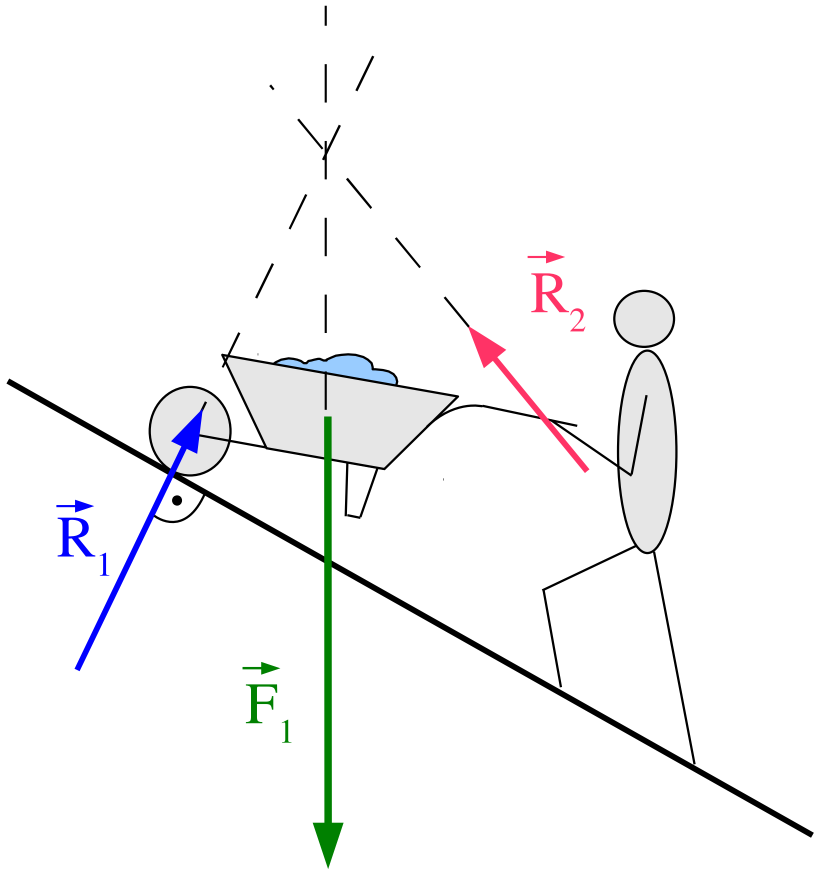
$$\left.\begin{aligned}
\rightarrow:&\quad \sum F_{ix}+\sum R_{jx}=0\\
\circlearrowleft_{A}:&\quad \sum M_{Ai}^{F}+\sum M_{Aj}^{R}+\sum M_{k}=0\\
\circlearrowleft_{B}:&\quad \sum M_{Bi}^{F}+\sum M_{Bj}^{R}+\sum M_{k}=0
\end{aligned}\right\}\quad \text{Směr nesmí být kolmý na } AB$$

  - 3 momentové

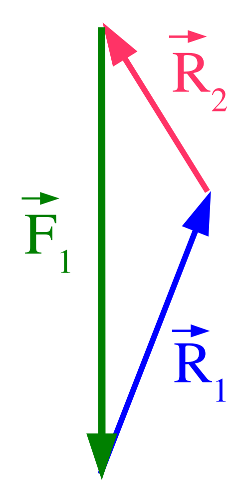
$$\left.\begin{aligned}
\circlearrowleft_{A}:&\quad \sum M_{Ai}^{F}+\sum M_{Aj}^{R}+\sum M_{k}=0\\
\circlearrowleft_{B}:&\quad \sum M_{Bi}^{F}+\sum M_{Bj}^{R}+\sum M_{k}=0\\
\circlearrowleft_{C}:&\quad \sum M_{Ci}^{F}+\sum M_{Cj}^{R}+\sum M_{k}=0
\end{aligned}\right\}\quad \text{Body } ABC \text{ nesmí ležet na přímce}$$

Věta o rovnováze třech sil

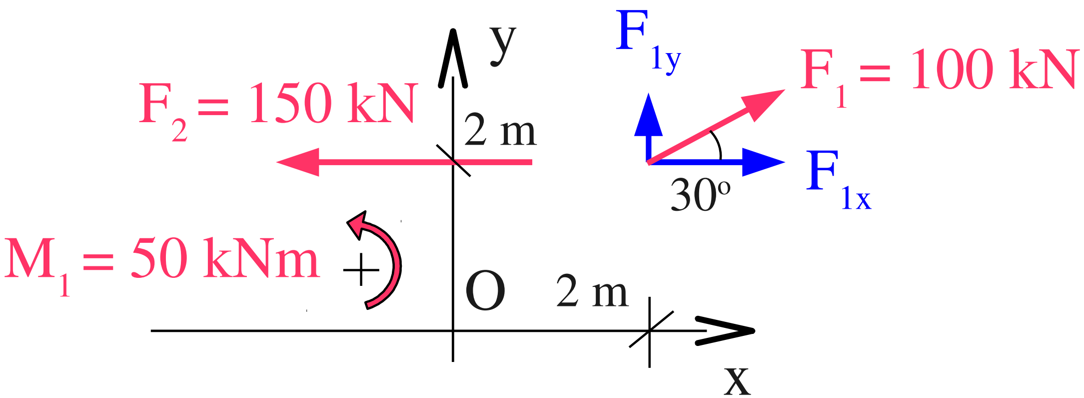
- Tři síly mohou být v rovnováze jen tehdy, tvoří-li rovinný svazek sil (průsečík v bodě nebo v nekonečnu)
- Pouze tehdy mohou splnit momentovou podmínku rovnováhy
- Kterákoli z nich je výslednicí ostatních dvou s opačnou orientací
- Zde pro zadanou reakci $\vec{R}_1$ a zatížení $\vec{F}_1$ vyplývá reakce $\vec{R}_2$



Složkový obrazec sil



Zredukujte soustavu sil k počátku a nahraďte jedinou silou



$$F_{1x} = F_1 \cos 30^o = 86{,}6 \text{ kN}$$

$$F_{1y} = F_1 \sin 30^o = 50 \text{ kN}$$

$$\text{K:} \quad \sqrt{86{,}6^2 + 50^2} = 100 \text{ kN} \quad \text{O.K.}$$

$$\rightarrow: F_{rx} = F_{1x} + F_{2x} = 86{,}6 - 150 = -64{,}3 \text{ kN}$$

$$\uparrow: F_{ry} = F_{1y} + F_{2y} = 50 + 0 = 50 \text{ kN}$$

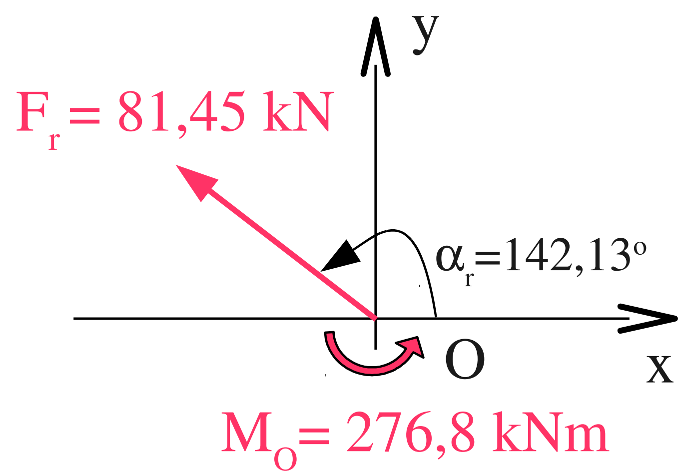
$$\circlearrowleft O: M_O = M_1^F + M_2^F + M_1 = (2 \cdot 50 - 2 \cdot 86{,}6) + 2 \cdot 150 + 50 = 276{,}8 \text{ kNm}$$

$$F_r = \sqrt{(-64{,}3)^2 + 50^2} = 81{,}45 \text{ kN}$$

$$\cos \alpha_r = \frac{F_{rx}}{F_r} = \frac{-64{,}3}{81{,}45} = -0{,}78944$$

$$\sin \alpha_r = \frac{F_{ry}}{F_r} = \frac{50}{81{,}45} = 0{,}61387$$

$$\alpha = 142{,}13^o$$



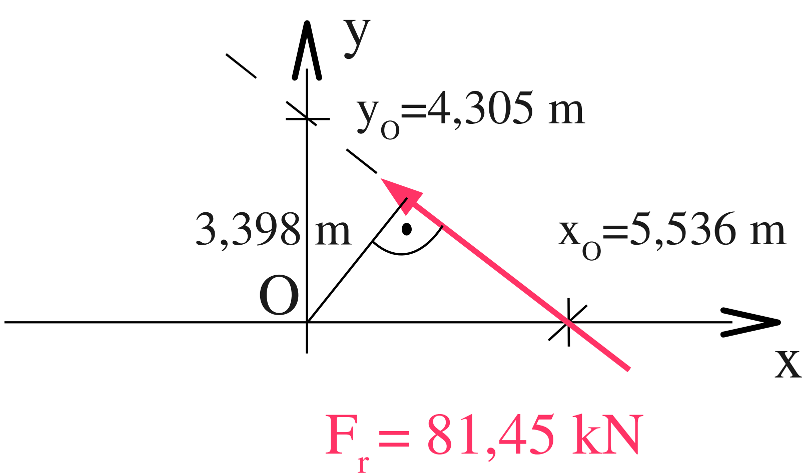
- Náhrada jedinou silou

$$M_O = x\,F_{ry} - y\,F_{rx}$$

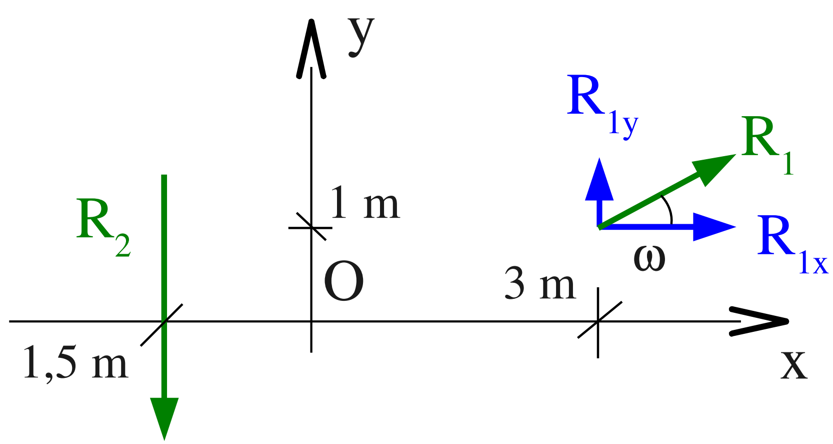
$$y = \frac{F_{ry}}{F_{rx}}\,x - \frac{M_O}{F_{rx}} = \frac{50}{-64{,}3}\,x - \frac{276{,}8}{-64{,}3} = -0{,}7776\,x + 4{,}305$$

$$x = 0 \quad \Rightarrow \quad y_0 = 4{,}305\,\mathrm{m}$$

$$y = 0 \quad \Rightarrow \quad x_0 = \frac{4{,}305}{0{,}7776} = 5{,}536\,\mathrm{m}$$



Uveďte předchozí soustavu do rovnováhy reakcemi R_1 a R_2



známé

$$\rightarrow:\ \boxed{F_{rx}}+R_{1x}+R_{2x}=0 \quad\Rightarrow\quad -64{,}3+R_{1x}+0=0 \quad\Rightarrow\quad R_{1x}=64{,}3\,\mathrm{kN}$$

$$\uparrow:\ \boxed{F_{ry}}+R_{1y}+R_{2y}=0 \quad\Rightarrow\quad 50+R_{1y}-R_2=0$$

$$\circlearrowleft_O:\ \boxed{M_O}+M_1^R+M_2^R=0 \quad\Rightarrow\quad 276{,}8+(3\cdot R_{1y}-1\cdot R_{1x})+1{,}5\cdot R_2=0$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 3 & 1{,}5 \end{bmatrix}\cdot\begin{Bmatrix} R_{1x} \\ R_{1y} \\ R_2 \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} 64{,}3 \\ -50 \\ -276{,}8 \end{Bmatrix}$$

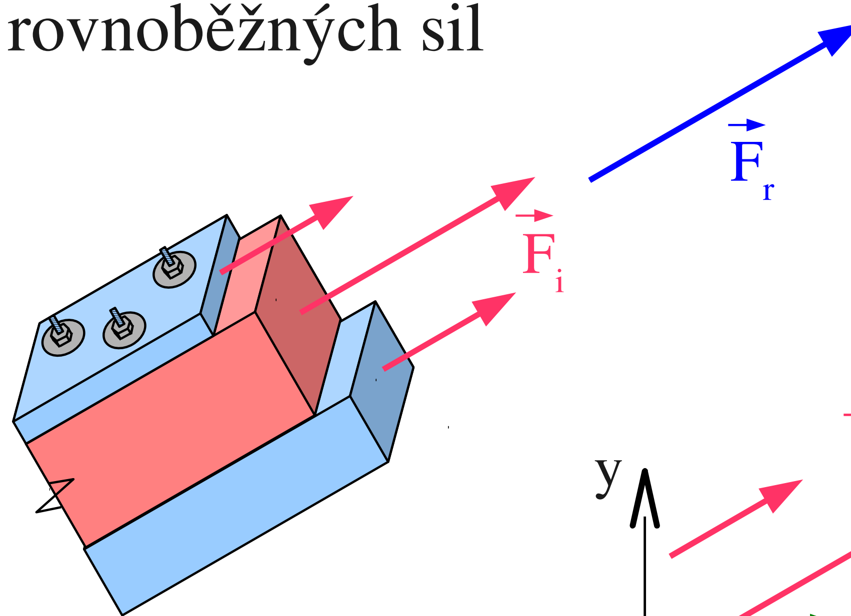
řešení: $R_{1x}=64{,}3\,\mathrm{kN}$, $\quad R_{1y}=-63{,}89\,\mathrm{kN}$, $\quad R_2=-13{,}89\,\mathrm{kN}$

$$R_1=\sqrt{(-64{,}3)^2+(-63{,}89)^2}=90{,}64\,\mathrm{kN}, \quad \omega=315{,}18^\circ$$

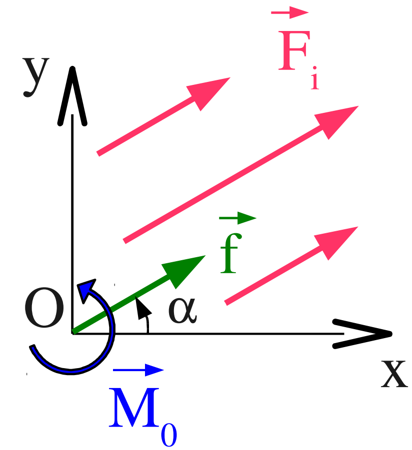
Rovinná soustava rovnoběžných sil

- Paprsky všech sil jsou rovnoběžné
- Násobky jednotkového vektoru $\vec{f}$

$$\vec{F}_i = F_i\,\vec{f}$$
$$\vec{f} = 1\cdot(\cos\alpha;\sin\alpha)$$

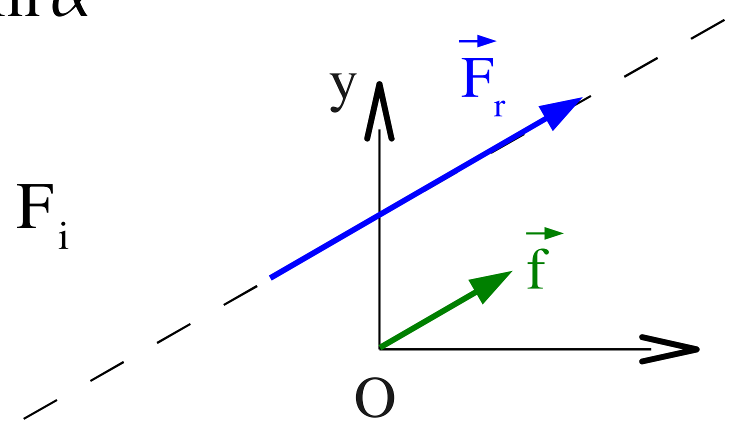


Zesílení trámu příložkami



- Výslednice

$$\rightarrow:\ F_{rx} = \sum F_{ix} = \sum F_i \cos\alpha = \cos\alpha \sum F_i = F_r \cos\alpha$$
$$\uparrow:\ F_{ry} = \sum F_{iy} = \sum F_i \sin\alpha = \sin\alpha \sum F_i = F_r \sin\alpha$$
$$\circlearrowleft O:\ M_O = \sum M_{Oi} = F_i\left(x_i \sin\alpha - y_i \cos\alpha\right)$$
$$F_r = \sqrt{F_{rx}^2 + F_{ry}^2} = \sqrt{\left(\sum F_i\right)^2 (\cos^2\alpha + \sin^2\alpha)} = \sum F_i$$



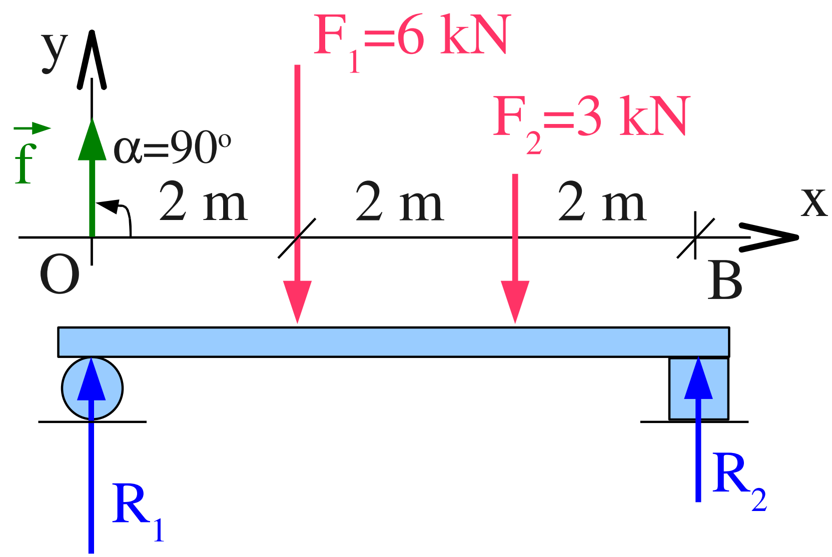
- Náhrada jednou silou, její paprsek určen

$$M_O = x\,F_{ry} - y\,F_{rx}$$

Určete reakce na soustavě rovnoběžných sil

$\cos 90^\circ = 0, \quad \sin 90^\circ = 1$

$\vec{f} = (0\,;1)$



- Možno použít podmínky rovnováhy pro ↑ a ↶O). Lépe je však použít ↶O) a ↶B), tím je automaticky splněna i kolmá silová podmínka ↑. Nemusíme řešit soustavu 2 rovnic.

$$\curvearrowright O : 2\,F_1 + 4\,F_2 - 6\,R_2 = 0$$

$$2\cdot 6 + 4\cdot 3 - 6\,R_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad R_2 = 4\,\text{kN}$$

$$\curvearrowleft B : 2\,F_2 + 4\,F_1 - 6\,R_1 = 0$$

$$2\cdot 3 + 4\cdot 6 - 6\,R_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad R_1 = 5\,\text{kN}$$

$$\uparrow K: R_1 + R_2 - F_1 - F_2 = 5 + 4 - 6 - 3 = 0 \quad \text{O.K.}$$

Statický střed rovinné soustavy rovnoběžných sil (těžiště)

- Bod C kterým prochází výslednice této soustavy při libovolném natočení $\vec{f}$ o α
- Velikost výslednice je stejná při libovolném natočení
- Aby byla splněna momentová podmínka rovnováhy, musí výslednice také procházet bodem $C[x_C;y_C]$, který leží někde na paprsku výslednice

$$O: \quad M_O = x_C \underbrace{F_r \sin\alpha}_{F_{ry}} - y_C \underbrace{F_r \cos\alpha}_{F_{rx}} = \sum \left(x_i \underbrace{F_i \sin\alpha}_{F_{iy}} - y_i \underbrace{F_i \cos\alpha}_{F_{ix}} \right)$$

$$\sin\alpha \left(x_C F_r - \sum x_i F_i \right) = \cos\alpha \left(y_C F_r - \sum y_i F_i \right)$$

$$\sin\alpha \left(x_C F_r - \sum x_i F_i \right) - \cos\alpha \left(y_C F_r - \sum y_i F_i \right) = 0$$

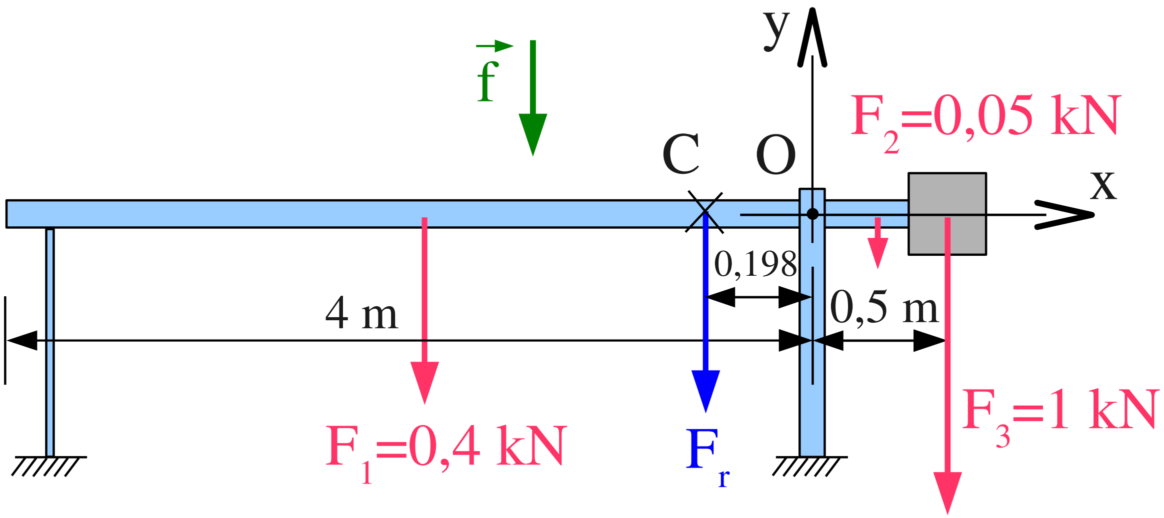
- Rovnice bude splněna pro libovolný úhel α, pokud závorky budou 0
- Výslednice tedy prochází stejným bodem $C[x_C;y_C]$ při lib. natočení soustavy

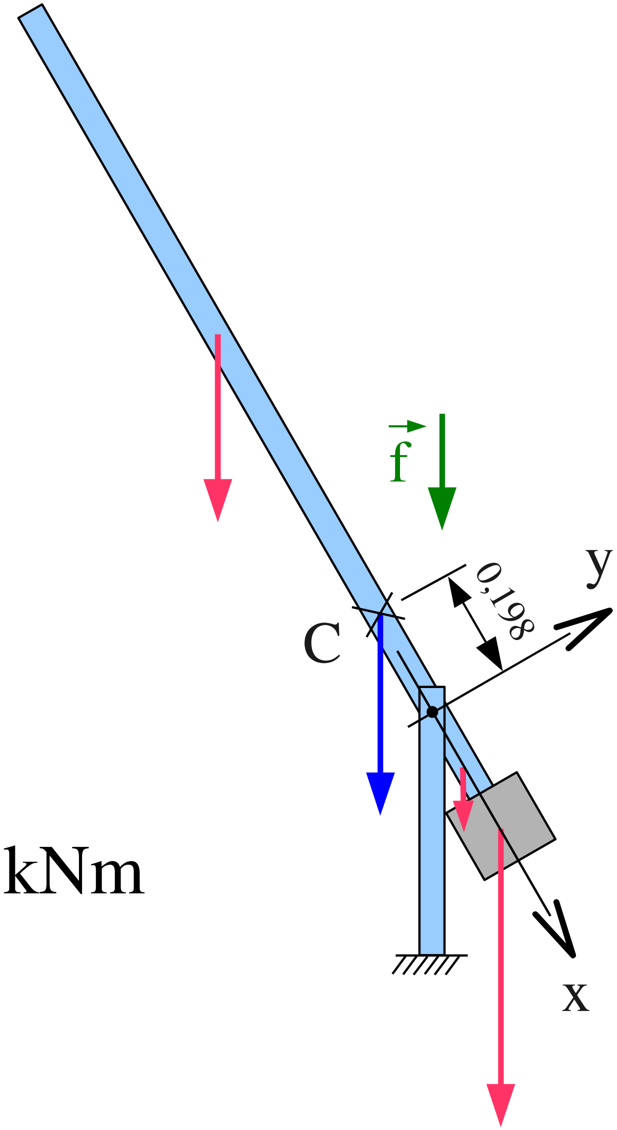
$$x_C F_r - \sum x_i F_i = 0 \quad \Rightarrow \quad x_C = \frac{\sum x_i F_i}{F_r}$$

$$y_C F_r - \sum y_i F_i = 0 \quad \Rightarrow \quad y_C = \frac{\sum y_i F_i}{F_r}$$

$$F_r = \sum F_i$$

Určete vzdálenost statického středu (těžiště) od čepu závory





- Velikost výslednice

$$F_r = \sum F_i = 0{,}4 + 0{,}05 + 1 = 1{,}45\,\mathrm{kN}$$

$$\circlearrowleft_O : \quad M_O = 2 \cdot 0{,}4 - 0{,}25 \cdot 0{,}05 - 0{,}5 \cdot 1 = 0{,}2875\,\mathrm{kNm}$$

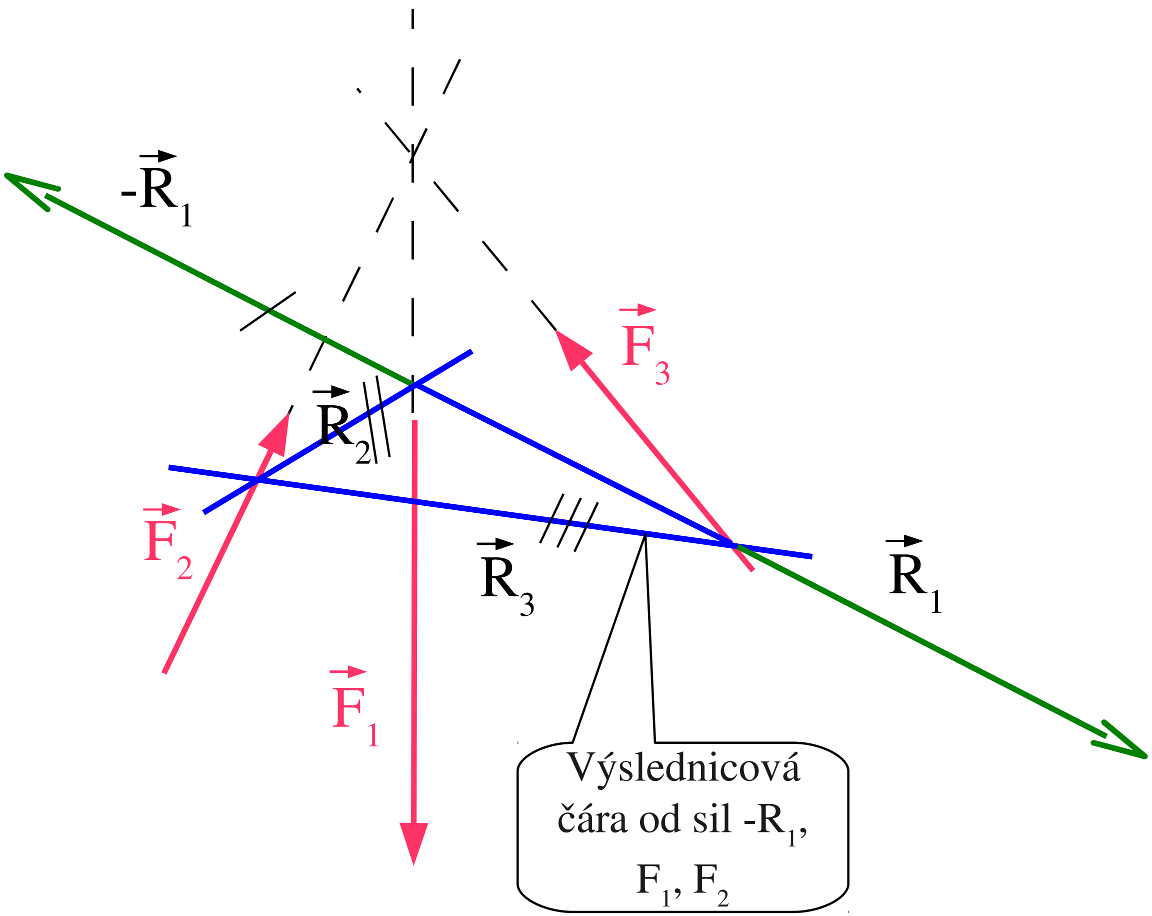
$$x_C = \frac{\sum x_i F_i}{F_r} = \frac{-M_O}{F_r} = \frac{-0{,}2875}{1{,}45} = -0{,}198\,\mathrm{m}$$

<u>Pozn.</u> statický střed ve směru *y* leží na ose symetrie závory

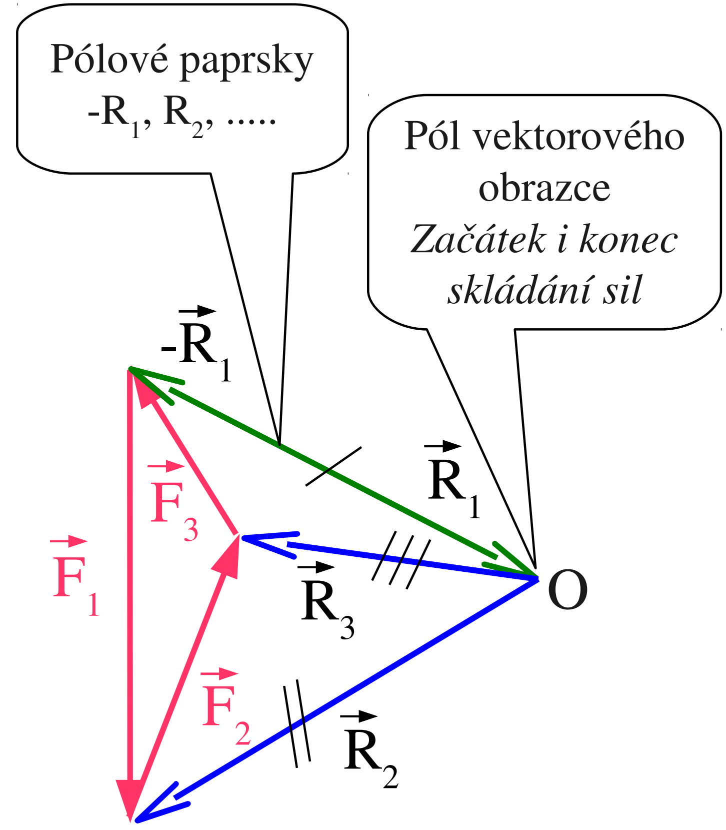
Grafická kontrola řešení soustavy sil

- V historii často používaná metoda (L. Cremona, C. Culmann)
- **Silové** podmínky rovnováhy znamenají uzavřený vektorový obrazec sil
- **Momentová** podmínka rovnováhy znamená uzavřenou výslednicovou čáru
- Postup řešení
  - K soustavě připojíme libovolnou dvojici sil $-\vec{R}_1$ a $\vec{R}_1$
  - Zvolit lib. pól vektorového obrazce O, konstrukce vektorového obrazce sil
  - Konstrukce výslednicové čáry. Složíme sílu $-\vec{R}_1$ s další silou z vektorového obrazce. V obrazci výslednicových čar zjistíme jejich průsečík. Směr a velikost výslednice je dána z vektorového obrazce.
  - Tuto výslednici skládáme s dalšími silami z vektorového obrazce. Nakonec přičteme sílu $\vec{R}_1$

Př. Ověřte graficky rovnováhu sil $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$



Zadaná soustava sil - obrazec výslednicových čar
(vláknový obrazec)
Rovnováha momentů

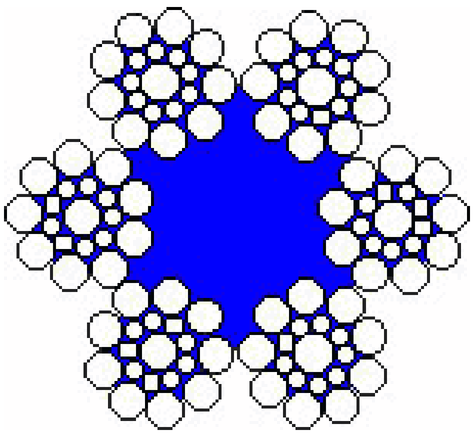


Složkový obrazec sil
Rovnováha sil

$\vec{R}_2$ je výslednice $-\vec{R}_1$ a $\vec{F}_1$. Velikost je určena ve složkovém obrazci sil, působiště na paprsku v obrazci výslednicových čar

Otázky

- Přenesená síla je úměrná ploše drátu. Jaké budou výsledné síly v pramenu a v laně a kde budou jejich působiště ?



Řez šestipramenným lanem 6 x 19 drátů, propylenová duše

- Kolikrát se zmenší nosnost lana, přeruší-li se jeden pramen ? Kam se posune výslednice lana ?

Přednášky z předmětu SM1, Stavební fakulta ČVUT v Praze

Autor Vít Šmilauer

Náměty, připomínky, úpravy, vylepšení zasílejte prosím na

vit.smilauer@fsv.cvut.cz

Created 10/2007 in OpenOffice 2.3, ubuntu linux 6.06

Last update Feb 21, 2011