

11. MOMENT SILE (1.300. - 1.319.)

1.300. Na obod kotača vagona djeluje sila kočenja 75 N. Koliki je moment te sile ako je polumjer kotača 0,5 m?

$$F = 75 \text{ [N]}$$

$$r = 0,5 \text{ [m]}$$

$$M = ?$$

$$M = r \times F$$

$$M = 0,5 \times 75$$

$$M = 37,5 \text{ [N]}$$

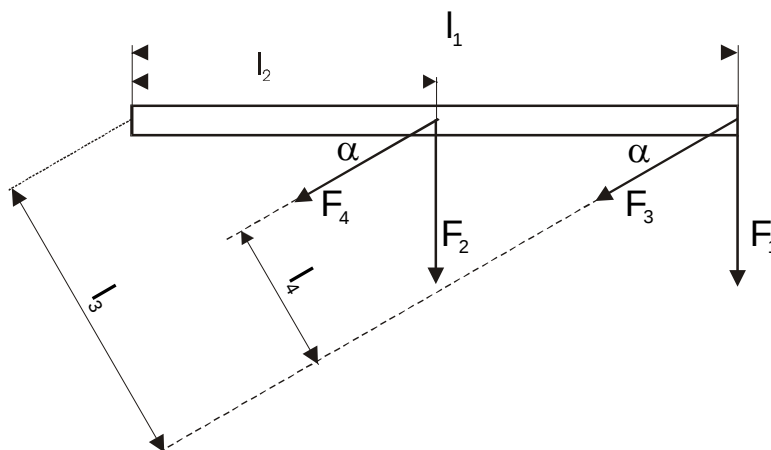
1.301. Francuskim ključem odvijamo maticu. Duljina ručke ključa jest 300 mm. Koliki je moment sile ako zakrećemo: a) kraj ručke silom 40 N okomito na duljinu ručke, b) ručku na njezinoj polovici istom silom okomito na duljinu ručke, c) kraj ručke silom 40 N koja s ručkom čini kut 30° , d) ručku na njezinoj polovici silom 40 N koja s ručkom čini kut 30° ?

$$l_1 = 300 \text{ [mm]} = 0,3 \text{ [m]}$$

$$F = 40 \text{ [N]}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$M = ?$$



a)

$$M = l_1 \times F$$

$$M = 0,3 \times 40$$

$$M = 12 \text{ [Nm]}$$

b)

$$M = l_2 \times F$$

$$M = 0,15 \times 40$$

$$M = 6 \text{ [Nm]}$$

c)

$$M = l_3 \times F$$

$$l_3 = l_1 \times \sin \alpha$$

$$l_3 = 0,3 \times \sin 30^\circ$$

$$l_3 = 0,3 \times 0,5 = 0,15 \text{ [m]}$$

$$M = 0,15 \times 40$$

$$M = 6 \text{ [Nm]}$$

d)

$$M = l_4 \times F$$

$$l_4 = l_2 \times \sin \alpha$$

$$l_4 = 0,15 \times \sin 30^\circ$$

$$l_4 = 0,15 \times 0,5 = 0,075 \text{ [m]}$$

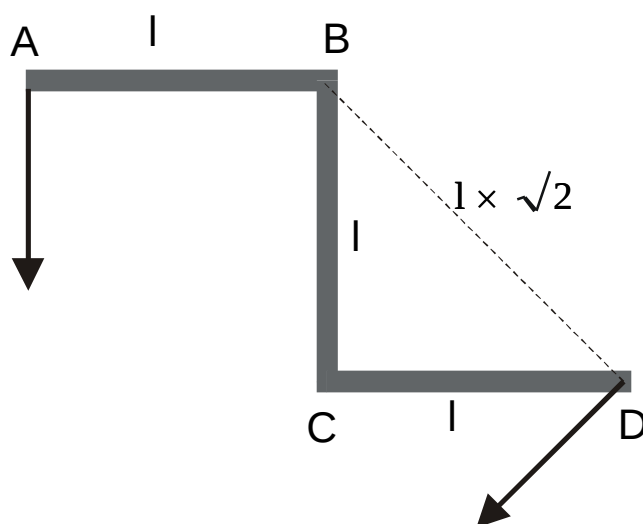
$$M = 0,075 \times 40$$

$$M = 3 \text{ [Nm]}$$

- 1.302. Koljenasta poluga ima oblik kao na slici te se može okretati oko točke B. U točki A djeluje sila $F = 20 \text{ N}$. Kolika je veličinom najmanja sila kojom u točki D možemo držati polugu u ravnoteži i koji joj je smjer?

$$F = 20 \text{ [N]}$$

$$F_1 = ?$$



$$F \times l = F_1 \times l \times \sqrt{2} \Rightarrow F_1 = \frac{F}{\sqrt{2}}$$

$$F_1 = \frac{F \times \sqrt{2}}{2}$$

$$F_1 = \frac{20 \times \sqrt{2}}{2}$$

$$F_1 = 14,1 \text{ [N]}$$

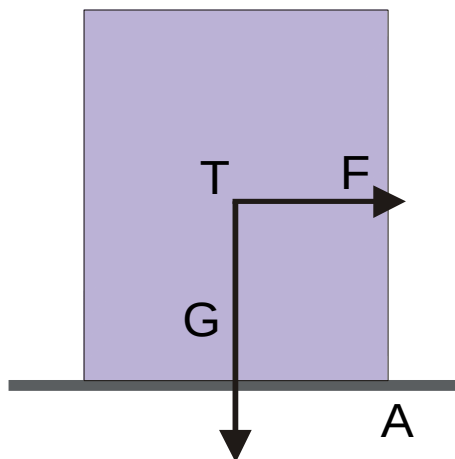
1.303. Sanduk visine 2 m stoji na horizontalnom podu svojim podnožjem dimenzija $1\text{ m} \times 1\text{ m}$. S bočne strane na njega puše vjetar i tlači ga 300 N/m^2 . Hoće li vjetar prevrnuti sanduk mase 100 kg ?

$$h = 2\text{ [m]}$$

$$B = 1 \times 1 = 1\text{ [m}^2\text{]}$$

$$p = 300\text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$m = 100\text{ [kg]}$$



- moment zbog vjetra
oko točke A:

$$F = p \times S$$

$$F = 300 \times 2$$

$$F = 600\text{ [N]}$$

$$M = F \times \frac{h}{2}$$

$$M = 600 \times \frac{2}{2}$$

$$M = 600\text{ [Nm]}$$

- moment zbog sile teže
oko točke A:

$$G = m \times g$$

$$G = 100 \times 9,81$$

$$G = 981\text{ [N]}$$

$$M = G \times k$$

$$k = \frac{1}{2} = 0,5\text{ [m]}$$

$$M = 981 \times 0,5$$

$$M = 490,5\text{ [Nm]}$$

Sanduk će se prevrnuti, jer je moment sile vjetra veći od momenta sile teže.

1.304. Na krajevima 14 cm dugačke poluge drže međusobno ravnotežu dva tijela masa 2 kg i $3,6\text{ kg}$. Nađi duljine krakova poluge ako njezinu masu zanemarimo.

$$l = 14\text{ [cm]}$$

$$m_1 = 2\text{ [kg]}$$

$$m_2 = 3,6\text{ [kg]}$$

$$k_1 = ?, k_2 = ?$$

$$l = k_1 + k_2 \Rightarrow k_1 = l - k_2$$

$$m_1 \times k_1 = m_2 \times k_2$$

$$m_1 \times (l - k_2) = m_2 \times k_2$$

$$m_1 \times l - m_1 \times k_2 = m_2 \times k_2$$

$$(m_1 + m_2) \times k_2 = m_1 \times l$$

$$k_2 = \frac{m_1 \times l}{m_1 + m_2}$$

$$k_2 = \frac{2 \times 14}{2 + 3,6}$$

$$k_2 = 5\text{ [cm]}$$

$$k_1 = 14 - 5$$

$$k_1 = 9\text{ [cm]}$$

1.305. Na dasi dugačkoj 5 m mase 40 kg njišu se dva dječaka od 25 i 45 kg. Na kojemu mjestu treba dasku poduprijeti ako dječaci sjede na njezinim krajevima?

$$l = 5 \text{ [m]}$$

$$m = 40 \text{ [kg]}$$

$$m_1 = 25 \text{ [kg]}$$

$$m_2 = 45 \text{ [kg]}$$

$$k_1 = ?, k_2 = ?$$

$$l = k_1 + k_2 \Rightarrow k_1 = l - k_2$$

$$m_1 \times k_1 + m \times \frac{l}{2} = m_2 \times k_2$$

$$m_1 \times (l - k_2) + m \times \frac{l}{2} = m_2 \times k_2$$

$$m_1 \times l - m_1 \times k_2 + m \times \frac{l}{2} = m_2 \times k_2$$

$$(m_1 + m_2) \times k_2 = l \times (m_1 + \frac{m}{2})$$

$$k_2 = \frac{m_1 + \frac{m}{2}}{m_1 + m_2} \times l$$

$$k_2 = \frac{25 + \frac{40}{2}}{25 + 45}$$

$$k_2 = 0,643 \text{ [m]}$$

$$k_1 = 5 - 0,643$$

$$k_1 = 4,357 \text{ [m]}$$

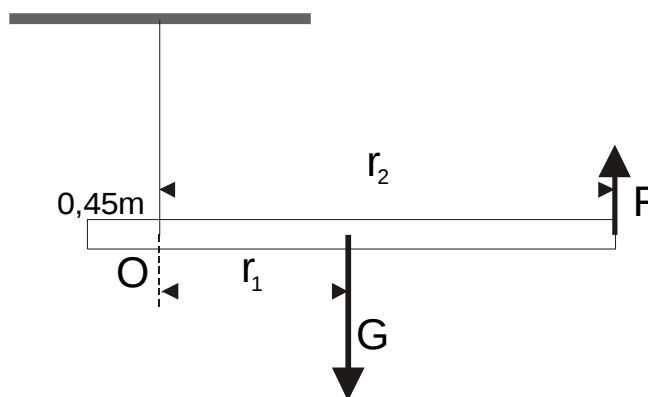
1.306. Drvena greda mase 40 kg i duljine 2 m obješena je 45 cm daleko od jednoga svojeg kraja. Kolikom će silom drugi kraj pritiskivati na našu ruku ako gredu držimo u horizontalnom položaju?

$$m = 40 \text{ [kg]}$$

$$l = 2 \text{ [m]}$$

$$k_1 = 45 \text{ [cm]}$$

$$F = ?$$



$$r_1 = \frac{l}{2} - 0,45 = \frac{2}{2} - 0,45 = 0,55 \text{ [m]}$$

$$r_2 = l - 0,45 = 2 - 0,45 = 1,55 \text{ [m]}$$

$$G \times r_1 = F \times r_2 \Rightarrow F = \frac{G \times r_1}{r_2}$$

$$F = \frac{m \times g \times r_1}{r_2}$$

$$F = \frac{40 \times 9,81 \times 0,55}{1,55}$$

$$F = 139,24 \text{ [N]}$$

- 1.307. Metarski štap položen je na dasku stola tako da četvrtinom duljine viri izvan stola. Najveći uteg m_1 , koji možemo objesiti na vanjski kraj štapa a da se pritom štap ne preokrene, jest uteg od 250 g. Kolika je masa štapa?

$$l = 1 \text{ [m]}$$

$$k_1 = (l/4) = 0,25 \text{ [m]}$$

$$m_1 = 250 \text{ [g]}$$

$$m = ?$$

$$k_2 = \frac{l}{2} - k_1$$

$$k_2 = 0,5 - 0,25 = 0,25 \text{ [m]}$$

$$m_1 \times k_1 = m \times k_2 \Rightarrow m = \frac{m_1 \times k_1}{k_2}$$

$$m = \frac{250 \times 0,25}{0,25}$$

$$m = 250 \text{ [g]} = 0,25 \text{ [kg]}$$

- 1.308. Greda mase 150 kg uzidana je te se opire o točke A i B kao na slici. Na njezinu drugom kraju C obješen je teret 150 kg. Pretpostavimo da točke A i B nose sav teret. Kolike su sile koje djeluju na te točke ako su $AC = 1,5 \text{ m}$ i $AB = 0,5 \text{ m}$ ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

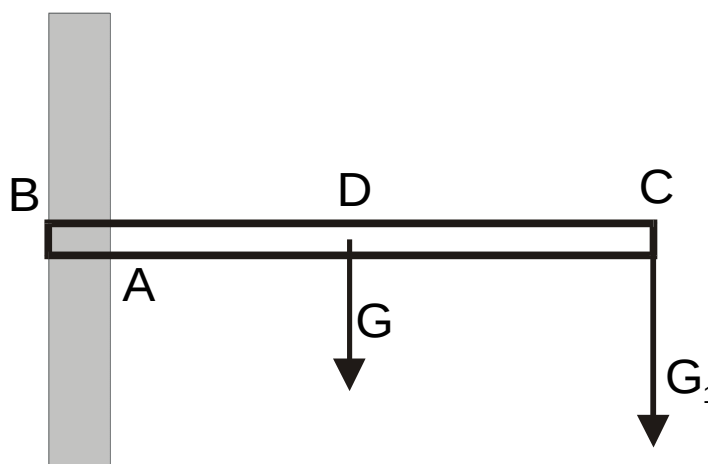
$$m = 150 \text{ [kg]}$$

$$m_1 = 150 \text{ [kg]}$$

$$AC = 1,5 \text{ [m]}$$

$$AB = 0,5 \text{ [m]}$$

$$F_A = ?, F_B = ?$$



$$F_A \times \overline{AB} = G \times \overline{AD} + G_1 \times \overline{AC}$$

$$F_A = \frac{m \times g \times \overline{AD} + m_1 \times g \times \overline{AC}}{\overline{AB}}$$

$$F_A = \frac{150 \times 10 \times 0,5 + 150 \times 10 \times 1,5}{0,5}$$

$$F_A = 6000 \text{ [N]}$$

$$F_B \times \overline{AB} = G \times \overline{BD} + G_1 \times \overline{BC}$$

$$F_B = \frac{m \times g \times \overline{BD} + m_1 \times g \times \overline{BC}}{\overline{AB}}$$

$$F_B = \frac{150 \times 10 \times 1 + 150 \times 10 \times 2}{0,5}$$

$$F_B = 9000 \text{ [N]}$$

1.309. Na tijelo koje ima učvršćenu os djeluju dvije sile $F_1 = 50$ [N] i $F_2 = 30$ [N] u smjeru obrnutom od kazaljke na satu i dvije sile $F_3 = 20$ N i $F_4 = 60$ N u smjeru kazaljke na satu. Krakovi odgovarajućih sila jesu $l_1 = 50$ cm, $l_2 = 25$ cm, $l_3 = 75$ cm i $l_4 = 20$ cm. a) U kojem će se smjeru zakrenuti tijelo? b) Koliki moment mora imati sila koja bi mogla tijelu vratiti ravnotežu?

$$\begin{aligned} F_1 &= 50 \text{ [N]} \\ F_2 &= 30 \text{ [N]} \\ F_3 &= -20 \text{ [N]} \\ F_4 &= -60 \text{ [N]} \\ l_1 &= 50 \text{ [cm]} \\ l_2 &= 25 \text{ [cm]} \\ l_3 &= 75 \text{ [cm]} \\ l_4 &= 20 \text{ [cm]} \end{aligned}$$

a)

$$M_1 = F_1 \times l_1 + F_2 \times l_2$$

$$M_1 = 50 \times 50 + 30 \times 25$$

$$M_1 = 3250 \text{ [Nm]}$$

$$M_2 = F_3 \times l_3 + F_4 \times l_4$$

$$M_2 = -20 \times 75 + (-60) \times 20$$

$$M_2 = -2700 \text{ [Nm]}$$

b)

$$M = M_1 - M_2$$

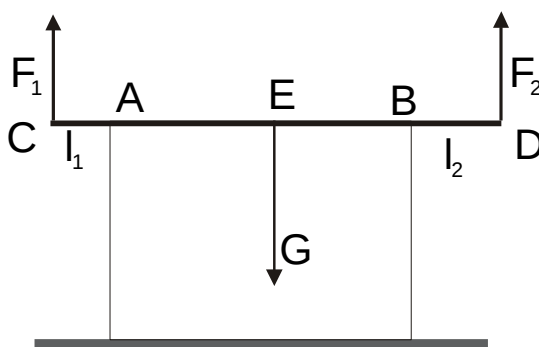
$$M = 3250 - 2700$$

$$M = 550 \text{ [Nm]}$$

- tijelo se zakreće u smjeru obrnutom od kazaljke na satu, jer je $M_1 > M_2$

1.310. Željezna šipka mase 10 kg, duljine 1,5 m, leži na sanduku tako da s lijeve strane sanduka strši 0,4 m svoje duljine, a s desne strane 0,6 m. Kojom silom F_1 treba dizati lijevi kraj šipke da bismo je podigli, a kojom silom F_2 desni kraj?

$$\begin{aligned} m &= 10 \text{ [kg]} \\ l &= 1,5 \text{ [m]} \\ l_1 &= 0,4 \text{ [m]} \\ l_2 &= 0,6 \text{ [m]} \\ F_1 &= ?, F_2 = ? \end{aligned}$$



$$F_1 \times \overline{CB} = G \times \overline{EB}$$

$$F_1 = \frac{G \times \overline{EB}}{\overline{CB}}$$

$$\overline{EB} = \frac{l}{2} - l_2 = 0,75 - 0,6 = 0,15 \text{ [m]}$$

$$\overline{CB} = l - l_2 = 1,5 - 0,6 = 0,9 \text{ [m]}$$

$$F_1 = \frac{10 \times 9,81 \times 0,15}{0,9} = 16,35 \text{ [N]}$$

$$F_2 \times \overline{AD} = G \times \overline{AE}$$

$$\overline{AD} = l - l_1 = 1,5 - 0,4 = 1,1 \text{ [m]}$$

$$\overline{AE} = \frac{l}{2} - l_1 = 0,75 - 0,4 = 0,35$$

$$F_2 = \frac{10 \times 9,81 \times 0,35}{1,1} = 31,2 \text{ [N]}$$

1.311. Dva radnika nose teret obješen na motku duljine $l = 3 \text{ m}$. Gdje visi teret ako motka jednog radnika pritišće dva puta više nego drugoga?

$$l = 3 \text{ m}$$

$$F_1 = 2F_2$$

$$l_1, l_2 = ?$$

$$l = l_1 + l_2 \Rightarrow l_1 = l - l_2$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

$$F_1 \cdot (l - l_2) = F_2 \cdot l_2$$

$$F_1 \cdot l - F_1 \cdot l_2 = F_2 \cdot l_2$$

$$-F_1 \cdot l_2 - F_2 \cdot l_2 = -F_1 \cdot l$$

$$l_2 \cdot (F_1 + F_2) = F_1 \cdot l$$

$$l_2 = \frac{F_1 \cdot l}{F_1 + F_2}$$

$$F_1 = 2 \cdot F_2$$

$$l_2 = \frac{2 \cdot F_2 \cdot l}{2 \cdot F_2 + F_2}$$

$$l_2 = \frac{2 \cdot F_2 \cdot l}{3 \cdot F_2}$$

$$l_2 = \frac{2 \cdot l}{3}$$

$$l_2 = \frac{2 \cdot 3}{3}$$

$$l_2 = 2 \text{ m}$$

$$l_1 = l - l_2$$

$$l_1 = 3 - 2$$

$$l_1 = 1 \text{ m}$$

Teret je obješen 1 m od prvog, odnosno dva metra od drugog radnika.

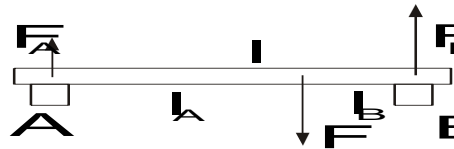
1.312. Na gredu koja leži na dva potpornja A i B treba objesiti teret mase 1400 kg. Duljina grede je 7 m. Gdje treba objesiti teret da bi on na mjestu A pritiskao silom 5000 N?

$$l = 7 \text{ m}$$

$$m = 1400 \text{ kg}$$

$$F_A = 5000 \text{ N}$$

$$l_A, l_B = ?$$



$$F \cdot l_B = F_A \cdot l$$

$$l_B = \frac{F_A \cdot l}{F}$$

$$l_B = \frac{5000 \cdot 7}{14000}$$

$$l_B = 2,5 \text{ m}$$

$$l_A = l - l_B$$

$$l_A = 7 - 2,5$$

$$l_A = 4,5 \text{ m}$$

Teret je potrebno objesiti 4,5 m od oslonca A, odnosno 2,5 m od oslonca B.

1.313. Rastavite silu 1800 N na dvije usporedne sile u istom smjeru ako su njihova hvatišta udaljena 1,5 m i 0,9 m od hvatišta zadane sile.

$$F = 1800 \text{ N}$$

$$l_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$l_2 = 0,9 \text{ m}$$

$$F_1 = ?$$

$$F_2 = ?$$

$$F = F_1 + F_2 \Rightarrow F_2 = F - F_1$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

$$F_1 \cdot l_1 = (F - F_1) \cdot l_2$$

$$F_1 \cdot l_1 = F \cdot l_2 - F_1 \cdot l_2$$

$$F_1 \cdot l_1 + F_1 \cdot l_2 = F \cdot l_2$$

$$F_1 \cdot (l_1 + l_2) = F \cdot l_2$$

$$F_1 = \frac{F \cdot l_2}{l_1 + l_2}$$

$$F_1 = \frac{1800 \cdot 0,9}{1,5 + 0,9}$$

$$F_1 = 675 \text{ N}$$

$$F_2 = F - F_1$$

$$F_2 = 1800 - 675$$

$$F_2 = 1125 \text{ N}$$

1.314. Na svakom kraju krute poluge duge 1,5 m djeluje po jedna sila. One su međusobno usporedne i okomite na polugu. Sile iznose 30 N i 20 N. Kolika je rezultanta tih sila i gdje joj je hvatište?

$$l = 1,5 \text{ m}$$

$$F_1 = 30 \text{ N}$$

$$F_2 = 20 \text{ N}$$

$$F = ?$$

$$l_1 = ?, l_2 = ?$$

$$l = l_1 + l_2 \Rightarrow l_2 = l - l_1$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot (l - l_1)$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l - F_2 \cdot l_1$$

$$F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_1 = F_2 \cdot l$$

$$l_1 \cdot (F_1 + F_2) = F_2 \cdot l$$

$$l_1 = \frac{F_2 \cdot l}{F_1 + F_2}$$

$$l_1 = \frac{20 \cdot 1,5}{30 + 20}$$

$$l_1 = 0,6 \text{ m}$$

$$l_2 = 1,5 - 0,6$$

$$l_2 = 0,9 \text{ m}$$

$$F_1 \cdot l = F \cdot l_2$$

$$F = \frac{F_1 \cdot l}{l_2}$$

$$F = \frac{30 \cdot 1,5}{0,9}$$

$$F = 50 \text{ N}$$

Hvatište sile udaljeno je 0,6 m od hvatišta veće sile, odnosno 0,9 m od hvatišta manje sile.

1.315. Dva čovjeka nose na štapu dugome 5 m teret mase 12 kg. Masa štapa se zanemari. Opterećeni su teretom u omjeru 4 : 5. Gdje je obješen teret?

$$l = 5 \text{ m}$$

$$m = 12 \text{ kg}$$

$$F_1 : F_2 = 4 : 5$$

$$l_1, l_2 = ?$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{4}{5} \Rightarrow F_1 = \frac{4}{5} \cdot F_2$$

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = \frac{4}{5} \cdot F_2 + F_2$$

$$F = \frac{9}{5} \cdot F_2 \Rightarrow F_2 = \frac{5}{9} \cdot F$$

$$F_2 = \frac{5}{9} \cdot 120$$

$$F_2 = 66,6 \text{ N}$$

$$F_1 = \frac{4}{5} \cdot 66,6$$

$$F_1 = 53,3 \text{ N}$$

$$F \cdot l_2 = F_1 \cdot l$$

$$l_2 = \frac{F_1 \cdot l}{F}$$

$$l_2 = \frac{66,6 \cdot 5}{120}$$

$$l_2 = 2,2 \text{ m}$$

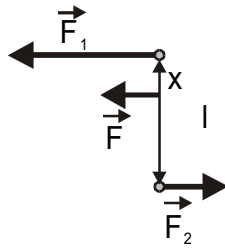
$$l_1 = l - l_2$$

$$l_1 = 5 - 2,2$$

$$l_1 = 2,7 \text{ m}$$

1.316. Kolika je rezultanta dviju usporednih sila 50 N i 20 N ako su suprotnoga smjera, a hvatišta su im udaljena 45 cm?

$$\begin{aligned} F_1 &= 50 \text{ N} \\ F_2 &= 20 \text{ N} \\ l &= 45 \text{ cm} \end{aligned}$$



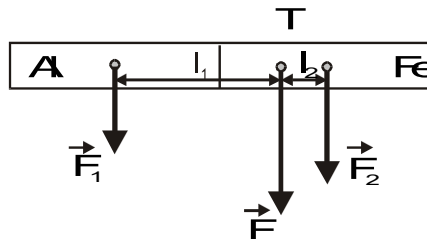
$$\begin{aligned} \vec{F} &= \vec{F}_1 - \vec{F}_2 \\ \vec{F} &= 50 - 20 \\ \vec{F} &= 30 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F \cdot x &= F_2 \cdot 45 \\ x &= \frac{20 \cdot 45}{30} \\ x &= 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

Hvatište sile je za 30 cm udaljeno od hvatišta veće sile, tj. sile F_1 .

1.317. Horizontalna šipka dugačka je 20 cm. Lijeva polovica je od aluminija, desna od željeza. Gdje se nalazi težište šipke ako je njezin presjek svugdje jednak?

$$\begin{aligned} l &= 20 \text{ cm} \\ \rho_1 &= 2700 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_2 &= 7900 \text{ kg/m}^3 \\ l_1, l_2 &= ? \end{aligned}$$

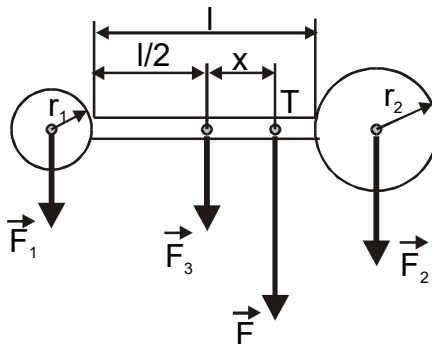


$$\begin{aligned} l_2 &= \frac{1}{2} \cdot l - l_1 \\ F_1 \cdot l_1 &= F_2 \cdot l_2 \\ m \cdot g \cdot l_1 &= m \cdot g \cdot l_2 \\ \rho_1 \cdot V \cdot g \cdot l_1 &= \rho_2 \cdot V \cdot g \cdot l_2 \\ \rho_1 \cdot l_1 &= \rho_2 \cdot l_2 \\ \rho_1 \cdot l_1 &= \rho_2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot l - l_1 \right) \\ \rho_1 \cdot l_1 &= \frac{1}{2} \cdot \rho_2 \cdot l - \rho_2 \cdot l_1 \\ l_1 \cdot (\rho_1 + \rho_2) &= \frac{1}{2} \cdot \rho_2 \cdot l \\ l_1 &= \frac{\rho_2 \cdot l}{2 \cdot (\rho_1 + \rho_2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_1 &= \frac{7900 \cdot 0,2}{2 \cdot (2700 + 7900)} \\ l_1 &= \frac{1580}{21200} = 0,0745 \text{ m} \\ l_1 &= 7,45 \text{ cm} \\ l_2 &= \frac{1}{2} \cdot 20 - 7,45 \\ l_2 &= 2,55 \text{ cm} \end{aligned}$$

1.318. Uteg se sastoji od valjka AB duljine 50 cm, mase 2 kg, i dviju kugli na krajevima valjka. Jedna ima polumjer 3 cm i masu 1,5 kg, a druga polumjer 6 cm i masu 12 kg. Nađi težište.

$$\begin{aligned} r_1 &= 3 \text{ cm} \\ m_1 &= 1,5 \text{ kg} \\ r_2 &= 6 \text{ cm} \\ m_2 &= 12 \text{ kg} \\ l &= 50 \text{ cm} \\ m_3 &= 2 \text{ kg} \\ x &= ? \end{aligned}$$



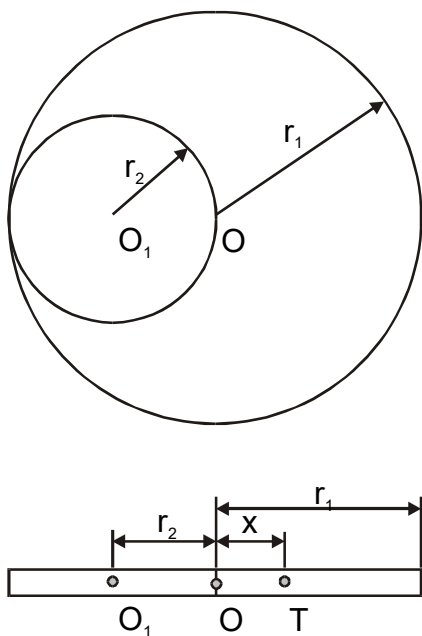
$$\begin{aligned} F_1 \cdot \left(x + \frac{l}{2} + r_1 \right) + F_3 \cdot x &= F_2 \cdot \left(\frac{l}{2} - x + r_2 \right) \\ x &= \frac{F_2 \cdot \left(\frac{l}{2} + r_2 \right) - F_1 \cdot \left(\frac{l}{2} + r_1 \right)}{F_1 + F_2 + F_3} \\ x &= \frac{m_2 \cdot g \cdot \left(\frac{l}{2} + r_2 \right) - m_1 \cdot g \cdot \left(\frac{l}{2} + r_1 \right)}{m_1 \cdot g + m_2 \cdot g + m_3 \cdot g} \\ x &= \frac{m_2 \cdot \left(\frac{l}{2} + r_2 \right) - m_1 \cdot \left(\frac{l}{2} + r_1 \right)}{m_1 + m_2 + m_3} \\ x &= \frac{12 \cdot (25 + 6) - 1,5 \cdot (25 + 3)}{1,5 + 12 + 2} = 21,29 \text{ cm} \end{aligned}$$

Položaj težišta:

$$\begin{aligned} \text{od središta manje kugle: } r_1 + (l/2) + x &= 3 + 25 + 21,29 = 49,29 \text{ cm} \\ \text{od središta veće kugle: } r_2 + (l/2) - x &= 6 + 25 - 21,29 = 9,71 \text{ cm} \end{aligned}$$

1.319. Iz homogene kružne ploče polumjera 9 cm izrežemo krug dva puta manjeg polumjera tako da manji krug dodiruje veći. Nađi težište ploče.

$$\begin{aligned} r_1 &= 9 \text{ cm} \\ r_1 &= 2r_2 \\ r_2 &= 4,5 \text{ cm} \\ x &= ? \end{aligned}$$



$$G_1 = m_1 \cdot g = \rho \cdot V_1 \cdot g$$

$$G_2 = m_2 \cdot g = \rho \cdot V_2 \cdot g$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{\rho \cdot V_1 \cdot g}{\rho \cdot V_2 \cdot g} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{r_1^2 \cdot \pi \cdot v}{r_2^2 \cdot \pi \cdot v} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{(2 \cdot r_2)^2}{r_2^2}$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{4}{1} \Rightarrow G_1 = 4 \cdot G_2$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{r_2 + x}{x}$$

$$\frac{4 \cdot G_2}{G_2} = \frac{r_2 + x}{x}$$

$$4 = \frac{r_2 + x}{x}$$

$$4x = r_2 + x$$

$$3x = r_2$$

$$x = \frac{r_2}{3}$$

$$x = \frac{4,5}{3}$$

$$x = 1,5 \text{ cm}$$