

F – centrifugalna sila (sa komponentama F_x , F_y)

G – težina vozila (sa komponentama G_x , G_y)

m – masa vozila

μ_s – koeficijent bočnog prijanjanja

Sile kojima vozilo djeluje na podlogu i koje preko točkova stvaraju sile otpora (T) bočnog klizanja automobila (Projekcije težine i centrigugalne sile na y osu):

$$T = \mu_s(F_y + G_y)$$

Sile koje djeluju na vozilo u poprečnom pravcu u odnosu na smjer kretanja (P) i pod čijim djelovanjem bi vozilo (bočno) isklizavalo van (ili unutar krivine) ako bi bile većeg inteziteta od sile (T):

$$P = F_x - G_x$$

$$F_x = F \cdot \cos x; \quad F_y = F \cdot \sin x;$$

$$G_x = G \cdot \sin x; \quad G_y = G \cdot \cos x;$$

$$F = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot R} \text{ ili } F = m \frac{v^2}{R}$$

I. Uslov ravnoteže za prolazak kroz krivinu bez klizanja:

$$T \geq P$$

$$\mu_s(F_y + G_y) \geq F_x - G_x$$

$$\left(\frac{G \cdot V^2}{g \cdot R} \cdot \sin x + G \cdot \cos x\right) \mu_s \geq \frac{G \cdot V^2}{g \cdot R} \cdot \cos x + G \cdot \sin x \quad /: (G \cdot \cos x)$$

$$\left(\frac{V^2}{g \cdot R} \cdot \operatorname{tg} x + 1\right) \mu_s \geq \frac{V^2}{g \cdot R} - \operatorname{tg} x \quad / \cdot (G \cdot R)$$

$$i = \operatorname{tg} x;$$

$$V^2(1 - \mu_s \cdot i) \leq R \cdot g(i + \mu_s)$$

Granična (kritična) brzina za prolazak kroz krivinu **bez klizanja** je:

$$V_{\text{proklizavanja}} \geq \sqrt{R \cdot g \cdot \frac{\mu_s \pm i}{1 \mp \mu_s \cdot i}}$$

II. Uslov ravnoteže za prolazak kroz krivinu **bez prevrtanja**:

$$(F_x - G_x) \cdot h \leq (F_y + G_y) \cdot c$$

$$\frac{G \cdot V^2}{g \cdot R} \cdot \cos x \cdot h + G \cdot \sin x \cdot h \leq \frac{G \cdot V^2}{g \cdot R} \cdot \sin x \cdot c + G \cdot \cos x \cdot c$$

$$g \cdot \sin x \cdot h + g \cdot \cos x \cdot c \geq \frac{V^2}{R} \cdot \cos x \cdot h + \frac{V^2}{R} \cdot \sin x \cdot c$$

$$g(h \cdot \sin x + c \cdot \cos x) \geq \frac{V^2}{R}(h \cdot \cos x + c \cdot \sin x)$$

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x = i; \cos x \approx 1$$

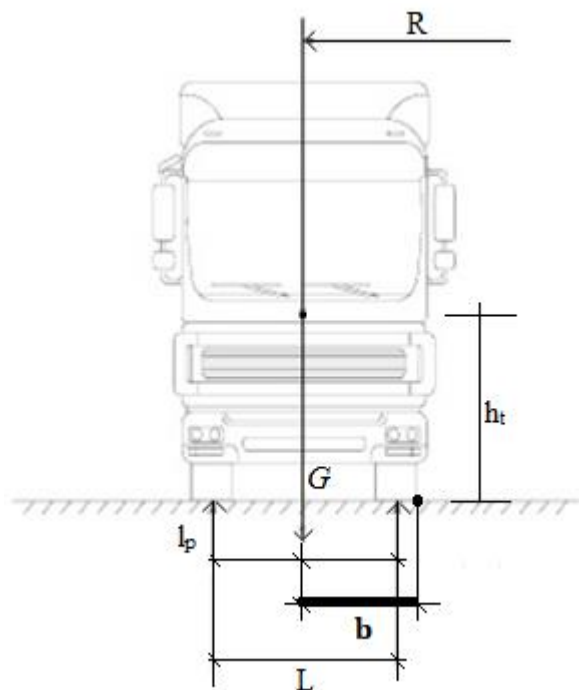
$$g(h \cdot i + c) \geq \frac{V^2}{R}(h - c \cdot i)$$

Granična (kritična) brzina za prolazak kroz krivinu bez prevrtanja je:

$$V_{\text{prevrtanja}} \geq \sqrt{R \cdot g \cdot \frac{c \pm h \cdot i}{h \mp c \cdot i}}$$

Granične brzine proklizavanja i klizanja jednake su kada važi:

$$\mu_s = \frac{c}{h}$$



$$V_{\text{proklizavanja}} \geq \sqrt{R \cdot g \cdot \mu_s}$$

$$V_{\text{prevrtanja}} \geq \sqrt{R \cdot g \cdot \frac{b}{h}}$$

Koeficijent bočnog prijanjanja

$$\mu_s = 0,8 \cdot \mu$$

Vrsta podloge	Brzina	Koeficijent bočnog prijanjanja
Beton	≤ 40 km/h	suv: do 1,0; mokar: do 0,6
	> 80 km/h	suv: do 0,7; mokar: do 0,5
Asfalt	≤ 40 km/h	suv: do 1,0; mokar: do 0,5 ÷ 0,7
	> 60 km/h	suv: do 0,8; mokar: do 0,6
Kocka sitna	≈ 40 km/h	suv: do 0,8; mokar: do 0,5
Zemljani put	≈ 40 km/h	suv: do 0,8; mokar: oko 0,2
Tvrđi snijeg		bez lanaca: 0,1 ÷ 0,4; sa lancima: do 0,5
Led		bez lanaca: 0,005 ÷ 0,15; sa lancima: do 0,5

Nagib

$$i = \operatorname{tg} x$$

$$i = 100 \cdot \operatorname{tg} x \text{ (\%)}$$

Primjer 1.

$$x = 3^\circ$$

$$\operatorname{tg} x = \operatorname{tg} 3^\circ = 0,0524$$

$$i = 100 \cdot \operatorname{tg} x = 5,2 \%$$

Primjer 2.

$$i = 4,5 \%$$

$$\operatorname{tg} x = 0,045$$

$$x = \operatorname{arctg} 0,045$$

$$x \approx 2^\circ$$

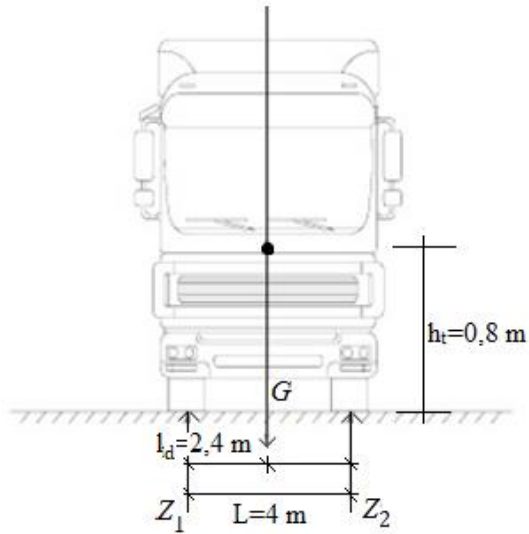
*Ako su uglovi $x \leq 12^\circ$ onda:

$$\sin x = \operatorname{tg} x$$

$$\cos x = 1$$

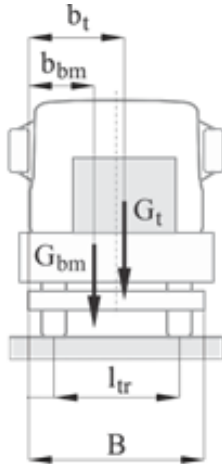
Zadaci

1. Za motorno vozilo mase 4 t koje se kreće putem bez poprečnog i podužnog nagiba, odrediti normalne reakcije lijevih i desnih točkova.



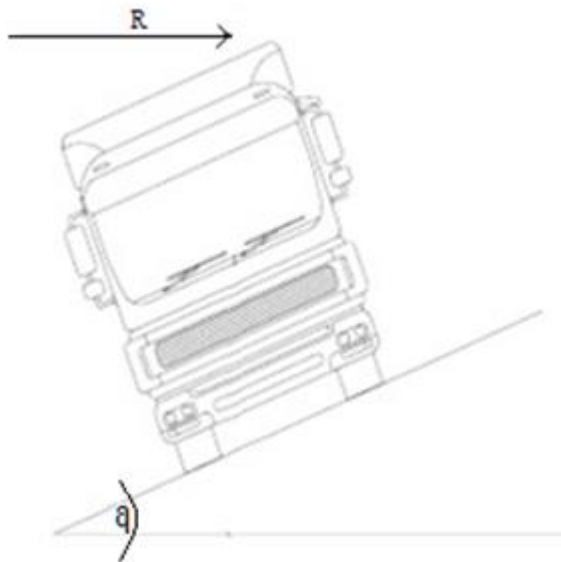
2. U cilju određivanja težišta motornog vozila težine 23000 N, izmjereno je na vagi opterećenje desne osovine $G_2 = 12595 \text{ N}$. Rastojanje između točkova je $L = 2,6 \text{ m}$. Odrediti normalne statičke reakcije kolovoza (Z_l , Z_d) kao i poziciju težišta vozila u odnosu na podužnu osu vozila.

3. Izračunati normalne statičke reakcije kolovoza (Z_l , Z_d) kao i rastojanje težište vozila od podužne ose vozila za raspored masa prikazanih na slici ako je poznato: $G_{bm} = 6000$ N, $G_t = 5400$ N, $b_{bm} = 0,7$ m, $b_t = 1,1$ m, širina vozila 2 m i širina traga 1,5 m.



4. Odrediti graničnu brzinu za prolazak automobila kroz krivinu radijusa $R=118$ m, ako krivina ima pravilan poprečni nagib od 5,2 %. Poznata je visina težišta automobila $h=0,8$ m i raspon točkova 1,4 m. Koeficijent bočnog prijanjanja kolovoza je 0,64.
5. Ako je zbog prtljaga u vozilu iz zadatka 4 visina težišta povećana za 25 % za koliko se smanjila granična brzina na prevrtanje?

6. Odrediti granične brzine proklizavanja i prevrtanja vozila koje se kreće po asfaltnom kolovozu koeficijenta prijanjanja 0,0875, kroz krivinu radijusa 84 m, u kretanju po kolovoznoj površini sa pozitivnim bočnim nagibom od 7%. Poznata je visina težišta vozila $h=1,2$ m, trag točkova $L=1,48$ m, a širina pneumatika je 0,25 m.
7. Izračunati vrijednost centrifugalne sile ukoliko se vozilo kreće graničnom brzinom prevrtanja po putu sa negativnim poprečnim nagibom od 5% kroz horizontalnu krivinu radijusa 100 m. Masa vozila je 8000 kg; koeficijent bočnog proklizavanja 0,6; visina težišta 1,4 m, trag točkova 1,4 m
8. Za vozilo na skici koje prolazi kroz lijevu krivinu radijusa $R = 100$ m sa pozitivnim nagibom $\alpha = 5^\circ$ i koeficijentom bočnog prijanjanja 0,7, izračunati granične brzine kretanja pri kojima će se ostvariti bočno isklizavanje i bočno prevrtanje vozila. Poznata je masa vozila $m = 10$ t, visina težišta $h = 1,4$ m, širina vozila $B = 2,4$ m, širina traga točkova $l_{tr} = 1,6$ m, a vozilo je opremljeno točkovima dimenzija 295/80 R 21.5.



9. Odrediti granične brzine proklizavanja i prevrtanja vozila koje se kreće po kolovozu koeficijenta prijanjanja 0,9, kroz krivinu radijusa 90 m bez poprečnog i podužnog nagiba ako je poznata visina težišta $h = 1$ m, trag točkova 1,2 m, a vozilo ima pneumatike dimenzija 385/70 R22.5.

10. Odrediti visinu težišta pri kojoj bi granične brzine proklizavanja i prevrtanja teretnog vozila koje se kreće kroz krivinu radijusa 100 m kolovozom sa koeficijentom bočnog prijanjanja 0,6 i bez bočnog nagiba, bile jednake. Poznata je visina težišta $h = 1,4$ m, trag točkova 1,4 m, širina pneumatika je 0,3 m, širina vozila je 1,9 m.

