



MEHANIKA GIBANJA VOZILA

Predmet Mehanika gibanja vozila dijakom nudi temeljna znanja o zakonih fizike, ki vplivajo na gibanje vozil. Predstavlja ključne koncepte, od osnovnih merskih enot in Newtonovih zakonov do kompleksnih izračunov stabilnosti vozil v različnih vozniških pogojih.

Osnove fizike in mehanike

Kaj je mehanika?

Mehanika je veda o gibanju in mirovanju teles ter o silah, ki to povzročajo. Izhaja iz grške besede *mechano*, kar pomeni stroj, orodje. Je temeljni del fizike, ki nam omogoča razumevanje, kako sile vplivajo na objekte in sisteme okoli nas, vključno z gibanjem vozil. Znotraj mehanike ločimo kinematiko (opis gibanja), dinamiko (vzroki gibanja) in statiko (ravnotežje sil).

Mednarodni sistem enot SI

Leta 1875 je bila podpisana Meterska konvencija, ki je določila mednarodni sistem enot SI s sedmimi osnovnimi enotami. Ta standardizacija je ključna za zagotavljanje enotnosti in razumljivosti meritev po vsem svetu, kar je še posebej pomembno v inženirstvu in logistiki, kjer so natančne meritve nepogrešljive. Poleg osnovnih enot obstajajo tudi izvedene enote, ki so kombinacije osnovnih (npr. sila (Newton) je $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$).

- meter (m) - dolžina
- kilogram (kg) - masa
- sekunda (s) - čas
- amper (A) - električni tok
- kelvin (K) - temperatura
- mol (mol) - množina snovi
- kandela (cd) - svetilnost

Desetiške predpone

Za lažje zapisovanje zelo velikih in zelo majhnih števil v znanosti in tehniki uporabljamo desetiške predpone. Te predpone, kot so kilo, mega ali mikro, omogočajo poenostavljen zapis in lažje delo z vrednostmi, ki se v fiziki in inženirstvu pogosto pojavljajo v širokem razponu magnitud. Na primer, tisoč metrov je en kilometer (km), milijon vatov je en megavat (MW).

tera (T)	10 ¹²
giga (G)	10 ⁹
mega (M)	10 ⁶
kilo (k)	10 ³
hekto (h)	10 ²
deka (da)	10 ¹
deci (d)	10 ⁻¹
centi (c)	10 ⁻²
mili (m)	10 ⁻³
mikro (μ)	10 ⁻⁶
nano (n)	10 ⁻⁹
piko (p)	10 ⁻¹²

Newtonovi zakoni gibanja

Sir Isaac Newton je s svojimi tremi zakoni gibanja postavil temelje klasične mehanike, ki so še danes ključni za razumevanje gibanja vozil:

- Prvi zakon (zakon inercije):** Telo ostane v stanju mirovanja ali enakomernega gibanja po premici, če nanj ne deluje nobena zunanja sila ali če je vsota zunanjih sil enaka nič. To pomeni, da vozilo, ki se giblje, ohranja svojo hitrost in smer, dokler nanj ne deluje sila (npr. trenje, upor zraka, zaviranje).
- Drugi zakon (zakon sile in pospeška):** Pospešek telesa je sorazmeren z neto silo, ki deluje nanj, in obratno sorazmeren z njegovo maso ($F = m \cdot a$). Ta zakon je osrednjega pomena za izračun, kako se vozilo pospešuje ali zavira glede na silo motorja in težo vozila.
- Tretji zakon (zakon akcije in reakcije):** Vsaki akciji je vedno nasprotna enaka in nasprotno usmerjena reakcija. To velja za sile med pnevmatikami in cestiščem, kar omogoča gibanje in zaviranje vozila.

Skalarne in vektorske količine

V fiziki in mehaniki gibanja vozil je pomembno razlikovati med skalarnimi in vektorskimi količinami:

- Skalarne količine** so določene samo z velikostjo (številčno vrednostjo in enoto). Primeri so masa (npr. 1500 kg), čas (npr. 10 s) in razdalja (npr. 50 km).
- Vektorske količine** so določene z velikostjo in smerjo. Primeri so sila (npr. 1000 N v smeri vožnje), hitrost (npr. 60 km/h proti vzhodu) in pospešek (npr. 2 m/s² navzgor). Razumevanje teh razlik je ključno za pravilno analizo gibanja in sil, ki delujejo na vozilo.

Gibanje vozila: hitrost in pospešek

Vrste gibanja vozila

Glede na tir, ki ga telo opiše pri gibanju, delimo gibanje na:

- **Premo gibanje** - gibanje po premici (ravni cesti). Vozilo se premika v eni smeri, ne da bi spreminjalo smer vožnje.
- **Krivo gibanje** - gibanje po krivulji (v ovinku, pri krožišču). Pri tem gibanju vozilo nenehno spreminja smer vožnje, tudi če je hitrost konstantna.

Glede na hitrost ločimo:

1. **Enakomerno gibanje** - hitrost telesa se s časom ne spreminja. To pomeni, da vozilo v enakih časovnih intervalih prevozi enake razdalje. V praksi je to težko doseči zaradi različnih upornih sil.
2. **Neenakomerno gibanje** - hitrost se spreminja s časom. Večina realnega gibanja vozil je neenakomerna, saj se hitrost nenehno prilagaja prometnim razmeram, terenu in voznikovim potrebam.
 - Če se hitrost večja, govorimo o **pospešku**. Vozilo povečuje svojo hitrost.
 - Če se hitrost manjša, govorimo o **pojemku** (negativni pospešek). Vozilo zmanjšuje svojo hitrost, na primer med zaviranjem.

Hitrost

Hitrost (v) je skalarna količina, ki nam pove, kako hitro se objekt premika. Izračunamo jo tako, da prevoženo razdaljo (s) delimo s časom (t), ki ga objekt potrebuje za to razdaljo:

$$v = \frac{s}{t}$$

Enota za hitrost je meter na sekundo (m/s), pogosto pa se uporablja tudi kilometer na uro (km/h). Za pretvorbo med enotama velja, da je 1 m/s = 3,6 km/h in obratno, 1 km/h = 1/3,6 m/s.

Ločimo tudi med:

- **Povprečno hitrostjo**: Celotna prevožena razdalja deljena s celotnim časom potovanja.
- **Trenutno hitrostjo**: Hitrost objekta v določenem trenutku. To je tisto, kar kaže avtomobilski števec hitrosti.

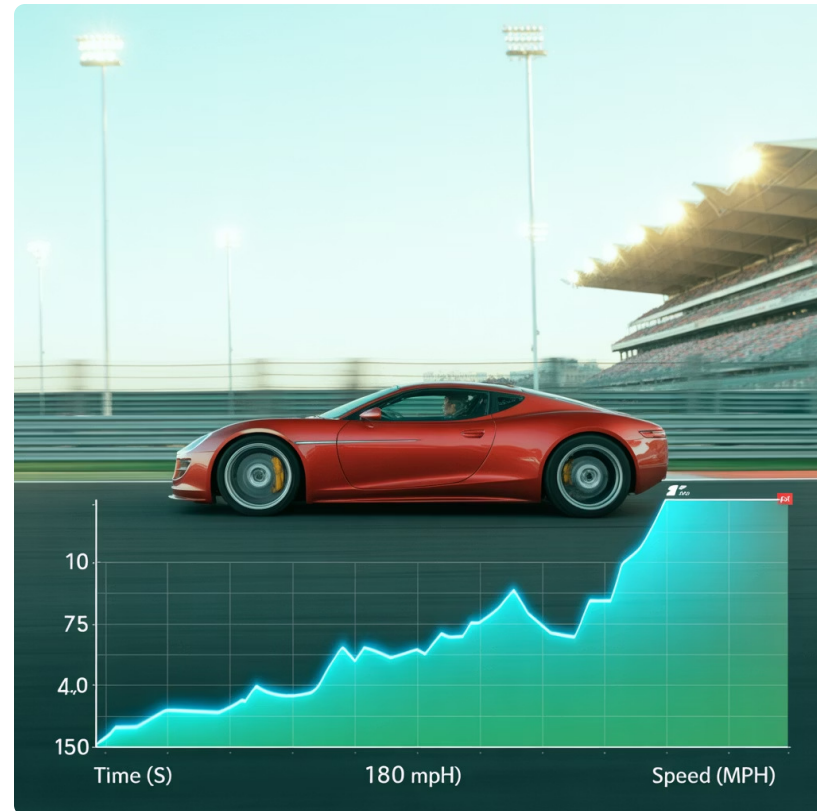
Pospešek

Pospešek (a) je vektorska količina, ki nam pove, za koliko se je telesu spremenila hitrost (Δv) v določenem časovnem intervalu (Δt). Ker je pospešek vektor, ima poleg velikosti tudi smer. Pri vozilih je to ponavadi smer gibanja.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Enota za pospešek je m/s².

Razumevanje pospeška je ključnega pomena pri načrtovanju vozni lastnosti vozil, kot so zmogljivost motorja in zavorna učinkovitost.



Primer izračuna hitrosti in pospeška:

Vozilo začne pospeševati iz mirovanja (0 km/h) in v 10 sekundah doseže hitrost 100 km/h. Izračunajmo njegov povprečni pospešek.

Najprej pretvorimo končno hitrost v m/s:

$$v = 100 \text{ km/h} : 3,6 = 27,78 \text{ m/s}$$

Zdaj lahko izračunamo pospešek:

$$a = \Delta v / \Delta t = (27,78 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}) / 10 \text{ s} = 2,778 \text{ m/s}^2$$

Če pa se vozilo, ki se giblje s hitrostjo 60 km/h, 20 sekund pospešuje s konstantnim pospeškom 0,5 m/s², kolikšna bo njegova končna hitrost?

$$\text{Začetna hitrost: } v_0 = 60 \text{ km/h} = 60 / 3,6 \text{ m/s} = 16,67 \text{ m/s}$$

$$\text{Sprememba hitrosti } (\Delta v) = a \cdot t = 0,5 \text{ m/s}^2 \cdot 20 \text{ s} = 10 \text{ m/s}$$

$$\text{Končna hitrost } (v) = v_0 + \Delta v = 16,67 \text{ m/s} + 10 \text{ m/s} = 26,67 \text{ m/s}$$

$$\text{Ali pretvorjeno nazaj v km/h: } 26,67 \text{ m/s} \cdot 3,6 = 96 \text{ km/h.}$$

Ti izračuni so ključni za razumevanje dinamike vožnje in so pomembni pri snovanju prometne infrastrukture, varnostnih sistemov in optimizaciji transportnih procesov.

Pot ustavljanja in zavorna pot

Pot ustavljanja

Pot ustavljanja (LU) je kritična razdalja, ki jo vozilo prevozi od trenutka, ko voznik zazna nevarnost ali potrebo po ustavitvi, do trenutka, ko se vozilo popolnoma ustavi. Ta razdalja ni zgolj odvisna od mehanskih zmogljivosti vozila, temveč vključuje tudi človeški faktor. Sestavljata jo dva ključna dela: pot reakcije voznika in zavorna pot.

$$L_U = L_R + L_Z(m)$$

Razumevanje in zavedanje dolžine poti ustavljanja je bistvenega pomena za varnost v cestnem prometu, saj omogoča voznikom, da ocenijo varno razdaljo do drugih vozil in se ustrezno odzovejo na nepričakovane situacije.

Pot reakcije voznika

Pot reakcije (LR) je razdalja, ki jo vozilo prevozi v času od trenutka, ko voznik zazna oviro ali nevarnost in sprejme odločitev za zaviranje, pa do trenutka, ko dejansko začne pritiskati na zavorni pedal. Ta razdalja je neposredno odvisna od hitrosti vozila in voznikovega reakcijskega časa.

$$L_R = v \cdot t_R(m)$$

Povprečni reakcijski čas voznika se giblje od 0,8 do 1,2 sekunde. Vendar pa lahko nanj vplivajo številni dejavniki. Če je voznik pod vplivom alkohola, mamil ali zdravil, ki vplivajo na sposobnost, ali če je zelo utrujen ali nepozoren (npr. uporablja mobilni telefon), se reakcijski čas lahko drastično podaljša na 1,5 do 2 sekundi ali celo več. Drugi dejavniki, ki vplivajo na reakcijski čas, vključujejo starost voznika, njegovo izkušnost, kompleksnost situacije in celo svetlobne pogoje. Poudariti je treba, da se tudi pri idealnih pogojih in kratkem reakcijskem času vozilo v tem času še vedno premika in prevozi določeno razdaljo.

Zavorna pot

Zavorna pot (LZ) je razdalja, ki jo vozilo prevozi od začetka aktivnega zaviranja (trenutka, ko voznik pritisne na zavorni pedal) do popolne ustavitve. Dolžina zavorne poti je v veliki meri odvisna od zavorne sile, ki jo lahko pnevmatike prenesejo na cestišče, in je obratno sorazmerna s pospeškom (pojemkom) zaviranja.

$$L_z = \frac{v^2}{2 \cdot a}(m)$$

Na zavorno pot vplivajo številni dejavniki, ki jih je pomembno upoštevati za varno vožnjo:

- Hitrost vožnje vozila:** To je eden najpomembnejših dejavnikov. Zavorna pot se povečuje s kvadratom hitrosti, kar pomeni, da se ob podvojitvi hitrosti zavorna pot početverji.
- Vremenske razmere:** Dež, sneg, led in megla drastično zmanjšajo trenje med pnevmatikami in cestiščem, kar podaljša zavorno pot.
- Stanje pnevmatik:** Odrabljene pnevmatike z malo profila, nepravilen tlak ali poškodbe zmanjšujejo oprijem in posledično podaljšajo zavorno pot.
- Stanje cestišča:** Različne površine (asfalt, makadam, beton, zemlja) imajo različen koeficient trenja. Zavorno pot lahko podaljša tudi prisotnost peska, listja ali vode na cestišču.
- Kvaliteta in brežibnost zavornih sistemov:** Pravilno delujoče zavore, vključno z zavorno tekočino, zavornimi ploščicami in diski, ter sistemi, kot je ABS, so ključni za učinkovito zaviranje. Redno vzdrževanje je nujno.
- Teža in obremenitev vozila:** Težja vozila ali vozila z večjo obremenitvijo imajo daljšo zavorno pot, saj je za zaustavitev večje mase potrebna večja sila in s tem daljša razdalja.

Koeficient trenja glede na stanje cestišča

Koeficient trenja (fT) je ključen parameter, ki določa, kolikšna zavorna sila se lahko razvije med pnevmatikami in površino cestišča. Višji koeficient trenja pomeni boljši oprijem in krajšo zavorno pot, nižji pa slabši oprijem in daljšo zavorno pot. Spodnja tabela prikazuje približne vrednosti koeficienta trenja za različna stanja cestišča:

Stanje cestišča	Suho	Mokro	Poledenelo
Koeficient trenja (fT)	0,8	0,4	0,2

Iz tabele je razvidno, kako dramatično se koeficient trenja zmanjša v slabih vremenskih pogojih, kar direktno vpliva na dolžino zavorne poti. Zato je izjemno pomembno, da vozniki hitrost prilagodijo razmeram na cestišču in vedno vzdržujejo varnostno razdaljo, ki je dovolj dolga za varno zaustavitev vozila v vseh okoliščinah.

Vožnja v ovinku

Sile, ki delujejo na vozilo v ovinku

Ko vozilo prehaja skozi ovinek, na njega delujejo različne sile, ki vplivajo na njegovo gibanje. Razumevanje teh sil je ključnega pomena za napovedovanje in obvladovanje dinamike vozila v zavojih, kar je pomembno za varnost in učinkovitost vožnje. Te sile določajo, ali bo vozilo ohranilo stabilnost, se prevrnilo ali izgubilo oprijem s cestiščem.

1. Centripetalna sila

Centripetalna sila je sila, ki usmerja vozilo proti središču krožnice, po kateri se giblje. Brez te sile bi vozilo nadaljevalo pot naravnost po tangenti na ovinek. To silo zagotavlja predvsem trenje med pnevmatikami in cestiščem, pa tudi nagib cestišča (bankina). Sila je odvisna od mase vozila, hitrosti in polmera ovinka.

$$F_C = \frac{m \cdot v^2}{r} (N)$$

Za varno vožnjo je nujno, da je razpoložljiva centripetalna sila dovolj velika, da premaga in uravnoteži centrifugalno silo. Premalo centripetalne sile povzroči zdrs vozila navzven iz ovinka.

2. Trenje

Trenje med pnevmatikami vozila in cestiščem je najpomembnejši dejavnik, ki zagotavlja potrebno centripetalno silo, da vozilo ne drsi iz ovinka. Velikost trenja je odvisna od koeficienta trenja med pnevmatikami in površino cestišča ter normalne sile, ki jo cestišče izvaja na vozilo (približno enaka teži vozila na ravni podlagi). Trenje določa maksimalno bočno silo, ki jo vozilo lahko prenese, preden začne drseti.

$$F_T = F_g \cdot f_T (N)$$

Upoštevati je treba, da koeficient trenja močno variira glede na stanje cestišča (suho, mokro, poledenelo) in stanje pnevmatik (obrabljenost, tlak). Optimalen oprijem je ključen za varno zavijanje, še posebej pri višjih hitrostih.

3. Teža vozila

Teža vozila (gravitacijska sila) deluje navpično navzdol proti središču Zemlje. Čeprav teža ne deluje neposredno v vodoravni smeri ovinka, močno vpliva na normalno silo med pnevmatikami in cestiščem. Večja teža vozila pomeni večjo normalno silo in s tem potencialno večjo silo trenja, vendar hkrati zahteva tudi večjo centripetalno silo za obvladovanje inercije mase vozila.

$$F_g = m \cdot g$$

Razporeditev teže in višina težišča vozila sta prav tako pomembna dejavnika, saj vplivata na prenos teže med kolesi in s tem na razpoložljiv oprijem ter stabilnost vozila med zavijanjem.

4. Sila odklona (Centrifugalna sila)

Medtem ko centripetalna sila dejansko deluje na vozilo in ga usmerja v ovinek, centrifugalna sila ni prava sila, ki bi delovala na vozilo v fizikalnem smislu. Je inercialni učinek, ki ga zaznavajo potniki v vozilu, in povzroča občutek, da jih "vleče" navzven iz ovinka. Z vidika vozila pa je to reakcija na centripetalno silo, ki poskuša vozilo potisniti po tangenti. Zato se jo v izračunih pogosto obravnava kot navidezno silo, ki nasprotuje centripetalni sili.

$$F_C = \frac{m \cdot v^2}{r} (N)$$

V bistvu je centrifugalna sila enakih dimenzij kot centripetalna sila, vendar deluje v nasprotni smeri – navzven od središča kroga. Pomembno je razumeti to ravnovesje: vozilo ostane v ovinku, dokler je centripetalna sila (ki jo zagotavlja trenje in/ali nagib ceste) dovolj velika, da prepreči "pobeg" vozila zaradi njegove inercije (ki se kaže kot centrifugalni učinek).



Nagnjenost vozišča (Bankina)

Delovanje centrifugalne sile v ovinku se bistveno zmanjša s prečnim nagibom vozišča proti središču polmera ovinka (na notranjo stran ovinka). Ta pojav, znan kot bankina ali super-elevacija, je pogosto uporabljen na hitrih cestah, dirkališčih in železniških progah za izboljšanje varnosti in udobja vožnje v zavojih.

Nagib vozišča omogoča, da se del normalne sile, ki jo cestišče izvaja na vozilo, usmeri v vodoravno smer in tako prispeva k potrebni centripetalni sili. S tem se zmanjša potreba po trenju med pnevmatikami in cestiščem, kar omogoča varnejšo vožnjo pri višjih hitrostih ali v slabih vremenskih pogojih. Manjši kot je polmer ovinka in večja kot je predvidena hitrost vožnje, večji bo nagib ceste proti središču polmera.

Poleg povečanja varnosti, bankina prispeva tudi k večjemu udobju potnikov, saj zmanjšuje občutek vlečenja navzven, ki ga povzroča centrifugalna sila.

Mejni pogoj zdrsa

Da vozilo ostane varno na cesti in ne zdrsne iz ovinka, mora biti centrifugalna sila vedno manjša od maksimalne sile trenja, ki jo lahko pnevmatike prenesejo na cestišče. Če hitrost vozila preseže določeno mejo za dani polmer ovinka in koeficient trenja, pride do zdrsa. To je kritičen trenutek, ko voznik izgubi nadzor nad smerjo vozila.

Največja hitrost vožnje, da ne pride do zdrsa, je izračunana po formuli:

$$v_{\max} = \sqrt{r \cdot g \cdot f_T}$$

Ta formula poudarja pomen polmera ovinka (r), gravitacijskega pospeška (g) in koeficienta trenja (fT). Iz nje je razvidno, da se s povečanjem polmera ovinka ali koeficienta trenja poveča tudi najvišja varna hitrost. Vozniki morajo vedno prilagoditi svojo hitrost razmeram na cesti, upoštevati ne samo radij ovinka, ampak tudi morebitno zmanjšan trenje zaradi dežja, snega ali ledu. Prekoračitev te mejne hitrosti lahko vodi do podkrmljenja ali nadkrmljenja in posledično izgube kontrole nad vozilom.

Prevrnitev vozila

Prevrnitev vozila v ovinku

Prevrnitev vozila v ovinku, znan tudi kot bočna nestabilnost, je kritičen pojav, ki nastane zaradi neravnotežja med silami, ki poskušajo vozilo prevrniti (prevrnitveni moment), in silami, ki ga ohranjajo na kolesih (stabilizacijski moment). To se najpogosteje zgodi pri prehodu skozi ovinke, zlasti pri visokih hitrostih ali neugodnih razmerah.

Ključni razlogi za prevrnitev:

- Prekomerna hitrost v ovinku** Če vozilo v ovinek vstopi s preveliko hitrostjo, se centrifugalna sila, ki ga potiska navzven, močno poveča. Ta sila ustvarja velik prevrnitveni moment okoli zunanje osi vozila, kar povzroči, da se notranja kolesa dvignejo od tal. Če ta moment preseže stabilizacijski moment, ki ga zagotavlja teža vozila in njegova širina koloteka, se vozilo prevrne.
- Nizek koeficient trenja** Na površinah z nizkim trenjem, kot so mokre, snežne ali poledenele ceste, je oprijem pnevmatik bistveno zmanjšan. To pomeni, da je za vožnjo skozi ovinek na voljo manj bočne sile, ki bi preprečila zdrs. Čeprav se nizko trenje pogosto povezuje z zdrsom, lahko še vedno povzroči prevrnitev, če zunanja kolesa še vedno ohranjajo določen oprijem, notranja pa zaradi inercije izgubijo stik s podlago.
- Visok center mase vozila** Višje težišče vozila, značilno za SUV-je, dostavna vozila in tovornjake, pomeni daljši 'vzvrtni ročico' za delovanje centrifugalne sile. Večja je ta ročica, večji je prevrnitveni moment, ki ga lahko ustvari določena bočna sila, kar dramatično poveča verjetnost prevrnitve tudi pri zmernih hitrostih.
- Preobremenitev vozila** Preobremenitev vozila ne samo poveča skupno maso, ampak pogosto tudi dvigne njegovo težišče. Dodatna teža in višje težišče skupaj povečata inercialne sile in ustvarita večji prevrnitveni moment, kar bistveno zmanjša stabilnost vozila, še posebej pri dinamičnem manevriranju.
- Zračni upor in stranski učinki** Pri zelo visokih hitrostih, še posebej pri vozilih z veliko bočno površino (npr. tovornjaki ali kombiji), lahko močan bočni veter ali sunki vetra ustvarijo znatno stransko silo. Ta sila lahko deluje podobno kot centrifugalna sila v ovinku in ustvari prevrnitveni moment, ki lahko destabilizira vozilo.
- Nepravilna vožnja v ovinku** Nenadno zaviranje sredi ovinka ali ostro pospeševanje lahko povzroči premik teže vozila (dinamično obremenitev) na določena kolesa in spremeni stično silo. To lahko zmanjša oprijem na notranjih kolesih in poveča prevrnitveni moment, kar vodi v izgubo stabilnosti.



Težišče (Center of Gravity - CoG)

Težišče določenega telesa (tovora) je povprečje razporeditve mase znotraj homogenega telesa oziroma navidezna točka, v kateri je skoncentrirana celotna masa telesa, tj. točka, v kateri "prijemlje" teža. Natančna lokacija težišča je ključnega pomena za stabilnost in dinamiko vsakega vozila, še posebej med zaviranjem, pospeševanjem in zavijanjem.

V primeru popolnoma homogenih in simetričnih teles, kot je kocka ali kvader, točko težišča dobimo preprosto s presekom telesnih diagonal. Vendar pa je pri vozilih, ki so zapletene strukture in vsebujejo različne komponente, lociranje težišča bolj kompleksno.

V primerih, ko masa ni razporejena enakomerno po telesu – kar je tipično za nehomogeno telo, kot je tovorno vozilo ali viličar z različno naloženim tovorom – je točka težišča pomaknjena bližje strani, na kateri je predmet težji. To ima pomemben vpliv na obnašanje vozila.

Pomen višine težišča

Višina težišča nad tlemi je eden najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na stabilnost vozila proti prevrnitvi. Nižje kot je težišče, stabilnejše je vozilo. To je zato, ker nižje težišče ustvarja manjšo prevrnitveno ročico, kar pomeni, da je potreben večji prevrnitveni moment, da se vozilo prevrne. Športni avtomobili imajo običajno zelo nizko težišče, medtem ko imajo tovornjaki in avtobusi višje, kar poveča tveganje za prevrnitev.

Vpliv obremenitve na težišče

Pravilno razporejen tovor je izjemno pomemben za ohranjanje stabilnosti vozila. Nepravilno naložen tovor, ki je pretežak ali preveč visoko naložen, lahko drastično dvigne težišče vozila in ga premakne iz idealnega položaja. To poveča tveganje za prevrnitev, zlasti pri ostrih zavojih ali nenadnih manevrih. Zato je pri transportu blaga nujno upoštevati specifikacije proizvajalca glede nosilnosti in priporočil za razporeditev teže.

Prevrnitev viličarja

Vzroki za prevrnitev viličarja

Prevrnitev viličarja je izjemno nevarna nesreča, ki ima lahko katastrofalne posledice za upravljavca in okolico. Najpogostejši vzroki so kombinacija napačnega delovanja in fizikalnih omejitev:

- Preobremenitev** - Vsak viličar ima določeno maksimalno nosilnost, ki je navedena na plošči z nosilnostjo. Prekoračitev te omejitve, bodisi z pretežkim tovorom ali z nepravilno razporeditvijo tovora, ki premakne težišče preveč naprej, dramatično zmanjša stabilnost in poveča verjetnost prevrnitve.
- Nepravilna uporaba** - Sem spadajo dejanja, kot so hitro zavijanje, nenadno pospeševanje ali ostro zaviranje, zlasti z dvignjenim tovorom. Vožnja po neravnih tleh, luknjah ali prečkanje naklonov brez ustrezne previdnosti prav tako prispevajo k nestabilnosti. Premiki teže, ki nastanejo pri takšnih manevrih, lahko hitro presežejo stabilnost viličarja.
- Visoko težišče** - Viličarji, ki prevažajo težke ali visoke tovore, imajo naravno visok center mase. Dviganje tovora na višino, večjo od priporočene, ali transportovanje tovora, ki je preveč oddaljen od nosilne plošče (velik moment), še dodatno dvigne to težišče, kar poveča nagnjenost viličarja k prevrnitvi.
- Neravne in nestabilne površine** - Vožnja po mehkih, spolzkih ali poškodovanih površinah (npr. luže, sneg, led, razpoke v tleh) zmanjšuje oprijem pnevmatik in s tem sposobnost viličarja, da ohrani stabilnost. Nenadna izguba oprijema na eni strani lahko povzroči hitro nagnjenje in prevrnitev.
- Nepravilno vzdrževanje** - Nezadostno napolnjene pnevmatike, okvarjene zavore ali neustrezno delovanje hidravličnega sistema lahko vplivajo na ravnotežje in stabilnost viličarja, kar povečuje tveganje za nesrečo.

Moment in stabilnost

Za razumevanje prevrnitve je ključen pojem **navora ali momenta (M)**. Moment je sila, ki povzroči vrtenje okoli osi, če deluje na določeni razdalji (ročici) od te osi. V kontekstu viličarja se nanaša na težnjo sile, da prevrne viličar:

$$M = F_g \cdot r [Nm]$$

Kjer je F_g sila teže tovora, r pa je razdalja od osi prevračanja (npr. sprednja os viličarja) do težišča tovora. Večji kot je moment, večja je tendenca, da se viličar prevrne.

Statična stabilnost viličarja

Statična stabilnost viličarja predstavlja njegovo sposobnost, da se upre prevrnitvi, ko je v mirovanju ali se giblje zelo počasi na ravni površini. Vozilo je statično stabilno, če je stabilnostni moment (M_s), ki ga ustvarja teža viličarja in morebitnega tovora znotraj njegove baze, večji od prevrnitvenega momenta (M_p), ki ga ustvarjajo zunanje sile ali teža tovora, ki poskuša prevrniti viličar. Stabilnostni moment deluje kot protiutež in preprečuje prevrnitev.



Koeficient stabilnosti

Koliko je viličar stabilen, nam pove koeficient stabilnosti (ν): razmerje med momentom stabilnosti (M_s) in momentom prevrnitve (M_p):

$$\nu = \frac{M_s}{M_p}$$

Ta koeficient je ključnega pomena pri oceni varnosti delovanja viličarja. Če je vrednost koeficienta večja od 1 ($\nu > 1$), je objekt **STATIČNO STABILEN** - kar pomeni, da stabilnostni moment prevladuje nad prevrnitvenim in ne pride do prevrnitve. To je pogoj za varno delovanje.

V praksi je koeficient stabilnosti varen, ko znaša od 1,25 do 2. Večji kot je ta koeficient, večja je varnost viličarja pred prevrnitvijo, saj pomeni, da ima viličar večjo rezervo stabilnosti, preden bi se prevrnil. To omogoča večjo toleranco na dinamične obremenitve in nepričakovane situacije.

Razumevanje in upoštevanje tega koeficienta je bistvenega pomena za varno delovanje viličarjev, saj pomaga operaterjem in nadzornikom pri sprejemanju informiranih odločitev o nosilnosti in manevriranju.

Dinamična stabilnost viličarja

Medtem ko se statična stabilnost nanaša na viličar v mirovanju, je **dinamična stabilnost** ključna pri gibanju viličarja. Vključuje dejavnike, kot so hitrost, pospeševanje, zaviranje in zavijanje. Ko se viličar giblje, se težišče dinamično premika, kar vpliva na stabilnost.

- Zavijanje:** Med zavijanjem se pojavijo centrifugalne sile, ki poskušajo viličar potisniti navzven in ga prevrniti. Hitrejša zavijanja in ostrejši zavoji močno povečajo to silo.
- Zaviralna sila:** Nenadno zaviranje z dvignjenim tovorom ali na nagnjeni površini lahko povzroči premik težišča naprej, kar poveča moment prevračanja.
- Pospeševanje:** Enako kot zaviranje, tudi hitro pospeševanje povzroči dinamični premik težišča, kar lahko vpliva na stabilnost, še posebej, če je tovor visoko.

Za varno delovanje je nujno, da se operatorji zavedajo tako statične kot dinamične stabilnosti in ustrezno prilagodijo vožnjo razmeram ter karakteristikam tovora.

Upori vožnje

Vrste uporov pri gibanju vozila

Upori so sile, ki se upirajo gibanju prevoznih sredstev – zavirajo vozilo. Te sile morajo biti premagane, da se vozilo lahko giblje, in so ključnega pomena za razumevanje energetske učinkovitosti in zmogljivosti vozila. Upori nastanejo bodisi zaradi samega vozila in njegovih komponent, bodisi zaradi vozne poti in zunanjih pogojev.

	Upor trenja v ležajih Ta upor je prisoten v vseh vrtečih se delih vozila, kot so osi koles, gredi in drugi mehanski deli. Njegova vrednost je od 0,2 N/kN (drsni) do 1 N/kN (kotalni) FL[N], vendar je v kontekstu celotnega upora gibanja vozila pogosto zanemarljiv. Kljub temu je pomemben pri zasnovi ležajev in mazanju, saj vpliva na učinkovitost prenosa moči.
	Upor pri kotaljenju FK[N] je posledica deformacije pnevmatik in vozne podlage ter trenja med pnevmatiko in cesto. Odvisen je od koeficienta trenja pri kotaljenju (ki je odvisen od materiala pnevmatike in podlage), obremenitve koles ter tlaka v pnevmatikah. Nižji tlak in mehkejša podlaga povečata kotalni upor, medtem ko ga trda in gladka površina zmanjšata. Je eden izmed glavnih uporov pri manjših hitrostih.
	Zračni upor FZ[N] nastane zaradi upora zraka, skozi katerega se vozilo premika. Njegova velikost je odvisna od površine vozila (čelna površina), koeficienta zračnega upora (ki ga določa aerodinamična oblika vozila) in kvadrata hitrosti. To pomeni, da se zračni upor izjemno hitro poveča z naraščanjem hitrosti, zato postane dominanten upor pri višjih hitrostih in ima velik vpliv na porabo goriva.
	Upor pri premagovanju naklona FN[N] je sila, ki jo je potrebno premagati pri vožnji navkreber. Odvisen je od teže vozila (vključno s tovorom) in kota nagiba klanca. Večji kot je naklon in težje je vozilo, večji je ta upor. Pri vožnji navzdol pa lahko ta sila deluje kot pogonska sila (negativen upor), kar pomaga pri zaviranju ali celo pospeševanju brez dodatnega pogona.
	Upor pri pospeševanju FP[N] je dinamični upor, ki nastane, ko vozilo spreminja svojo hitrost, torej pospešuje. Odvisen je od mase vozila (tudi tovorja) in željenega pospeška. Večja masa in hitrejša pospeševanje zahtevata večjo silo za premagovanje tega upora. Je ključen dejavnik pri določanju moči motorja, potrebne za dinamično vožnjo in hitro odzivnost vozila.

Skupni upor gibanja vozila

Skupni upor gibanja vozila FU je seštevek vseh uporov gibanja. Ta celostna enačba, znana tudi kot gibalna enačba ali bilanca sil, nam omogoča analizo in izračun potrebne vlečne sile za premagovanje vseh zavorinih sil, ki delujejo na vozilo v določenih pogojih.

$$F_U = F_K + F_Z \pm F_N \pm F_P$$

Kjer so posamezne komponente:

- $\backslash(F_K)$: Upor pri kotaljenju, vedno pozitiven, saj se vedno upira gibanju.
- $\backslash(F_Z)$: Zračni upor, vedno pozitiven, saj se vedno upira gibanju.
- $\backslash(F_N)$: Upor pri premagovanju naklona, lahko je pozitiven (vožnja navzgor, ko se je potrebno upirati gravitaciji) ali negativen (vožnja navzdol, ko gravitacija pomaga pri gibanju).
- $\backslash(F_P)$: Upor pri pospeševanju, lahko je pozitiven (pri pospeševanju, ko je potrebna dodatna sila za povečanje hitrosti) ali negativen (pri zaviranju/upočasnjevanju, ko se del energije gibanja vrača ali se porabi za zaviranje).

S pomočjo te enačbe lahko izračunamo, kolikšna mora biti skupna vlečna sila, ki jo motor ali pogonski sistem vozila potrebuje, da premaga vse te upore in ohrani želeno hitrost ali pospešek. Razumevanje in optimizacija teh sil je ključna za projektiranje učinkovitih transportnih sredstev, optimizacijo porabe goriva in načrtovanje logističnih poti, saj vpliva na operativne stroške in čas transporta.

Upor kotaljenja in zračni upor

Upor kotaljenja FK

Upor kotaljenja je ena izmed temeljnih sil, ki se upirajo gibanju vozila. Deluje v dotikališču koles s cestiščem in nastane predvsem zaradi trenja pri kotaljenju ter elastične deformacije tako pnevmatik kot tudi podlage, po kateri se vozilo giblje. Vsakokrat, ko se pnevmatika deformira ob stiku s podlago in se nato vrne v prvotno obliko, se del energije pretvori v toploto in se izgubi, kar povzroča upor proti gibanju. Ta upor je zlasti pomemben pri nižjih hitrostih in močno vpliva na porabo goriva.

V primeru vožnje po ravni cesti se kotalni upor računa po enačbi:

$$F_K = f_K \cdot F_g[N]$$

Kjer je F_g normalna sila (teža vozila in tovora), ki deluje pravokotno na podlago. Pri vožnji vozila v strmino pa se kotalni upor zmanjša, saj se dejanska komponenta teže, ki pritiska na podlago pravokotno, zmanjša:

$$F_K = f_K \cdot F_g \cdot \cos \alpha[N]$$

Tukaj α predstavlja kot naklona cestišča. Kosinus tega kota zmanjšuje efektivno normalno silo, kar pomeni, da je pri vožnji navkreber ali navzdol kotalni upor dejansko manjši, saj manjša komponenta teže deluje pravokotno na podlago in s tem povzroča manjše deformacije.

Koeficient upora pri kotaljenju (fK) je odvisen od:

- Materiala in oblike pnevmatike:** Sestava gumene zmesi in geometrija tekalne površine močno vplivata na količino energije, ki se porazgubi med deformacijo. Pnevmatike z manjšim kotalnim uporom imajo običajno tršo gumeno zmes in optimizirano obliko profila.
- Premera kolesa:** Večji premer kolesa zmanjšuje deformacijo pnevmatike in s tem kotalni upor za dano obremenitev.
- Tlaka v pnevmatiki:** Pravilen tlak je ključen. Prenizko napolnjene pnevmatike se bolj deformirajo, kar dramatično poveča kotalni upor in s tem porabo goriva. Previsok tlak pa zmanjšuje oprijem in udobje.
- Obremenitve kolesa:** Večja obremenitev povzroči večjo deformacijo pnevmatike, kar direktno poveča kotalni upor.
- Hitrosti vozila:** Čeprav se kotalni upor večinoma šteje za neodvisnega od hitrosti, se pri zelo visokih hitrostih zaradi povišanja temperature pnevmatike in frekvence deformacij lahko nekoliko poveča.
- Vrste podlage in stanja vozišča:** Asfalt, beton, makadam, sneg ali pesek imajo različne koeficiente trenja in se različno deformirajo pod težo vozila, kar pomembno vpliva na kotalni upor. Gladka in trda podlaga zmanjšuje kotalni upor.
- Kotalne ploskve in delavne temperature:** Velikost stične površine med pnevmatiko in podlago ter temperatura pnevmatike vplivata na elastične lastnosti gume in s tem na kotalni upor.

Upor zraka FZ

Aerodinamika je znanstvena disciplina, ki preučuje gibanje zraka (ali drugih plinov) v interakciji s telesi, ki se gibljejo skozi njega. Razumevanje aerodinamike je ključno za optimizacijo oblike vozil, zlasti pri višjih hitrostih.

Zračni upor, znan tudi kot aerodinamični upor, nastane zaradi trenja med zračnimi delci in površino vozila ter zaradi oblikovnega upora, ki je posledica tlaka in podtlaka okoli vozila. Deluje vedno v nasprotni smeri vožnje in se s povečanjem hitrosti eksponentno povečuje, zaradi česar pri višjih hitrostih postane prevladujoč dejavnik pri porabi energije. Odvisen je od:

$$F_Z = 0.5 \cdot \rho \cdot C_X \cdot A \cdot v_X^2[N]$$

Razčlenitev komponent enačbe za zračni upor:

- Projekcija površine vozila v smeri vožnje A [m2]:** To je čelna površina vozila, torej površina, ki jo vozilo "reže" skozi zrak. Večja kot je ta površina, večji je zračni upor. Zato so športni avtomobili in letala zasnovani z majhno čelno površino.
- Koeficient zračnega upora CX:** Ta brezdimenzionalni koeficient odraža aerodinamično učinkovitost oblike vozila. Nanj vplivajo gladkost površine, oblika karoserije, prisotnost izboklin in ostrih robov. Bolj aerodinamične oblike imajo nižji CX.
- Gostota zraka ρ [kg/m3]:** Gostota zraka vpliva na maso zraka, ki jo mora vozilo premakniti. Gostejši zrak (npr. pri nižjih temperaturah ali višjem zračnem tlaku) povzroči večji zračni upor. Standardna vrednost pri 20°C in 200m nadmorske višine je približno $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$.
- Relativna hitrost vozila vX [m/s]:** To je ključen faktor, saj se zračni upor povečuje s kvadratom hitrosti. To pomeni, da podvojitve hitrosti poveča zračni upor za štirikrat. Zato je zračni upor izjemno pomemben pri vožnji po avtocesti ali pri visokih hitrostih.

Relativna hitrost vozila v_X upošteva tudi vpliv vetra, kar se izračuna kot:

$$v_X = v \pm v_v[m/s]$$

Kjer je v hitrost vozila in v_v hitrost vetra. Če veter piha v smeri vožnje (hrbtni veter), se relativna hitrost zmanjša (minus znak), kar zmanjša zračni upor. Če pa veter piha proti vozilu (čelni veter), se relativna hitrost poveča (plus znak), kar znatno poveča zračni upor in porabo energije. Zasnova vozil in optimizacija aerodinamike sta zato ključnega pomena za zmanjšanje porabe goriva in povečanje dosega, še posebej pri električnih vozilih.

Upor nagiba in upor pospeševanja

Upor nagiba FN

Upor nagiba, pogosto označen kot **FN**, je specifična sila, ki se pojavi, kadar se vozilo giblje po nagnjeni podlagi, bodisi navzgor po klancu ali navzdol. Ta sila je neposredna posledica gravitacije in njene komponente, ki deluje vzporedno s površino klanca. Ko se vozilo vzpenja, gravitacija deluje proti smeri gibanja, kar ustvarja dodaten upor, ki ga mora motor premagati. Nasprotno, ko se vozilo spušča po klancu, gravitacija prispeva k pospeševanju vozila, kar zmanjšuje ali celo odpravlja potrebo po pogonski sili motorja.

Pri vožnji po klancu navzgor:

Nastopa sila **FN**, ki zavira gibanje vozila. Ta sila je komponenta teže vozila, ki deluje vzporedno s klančino in je usmerjena navzdol. Njena velikost raste z večanjem kota nagiba cestišča. To pomeni, da je za vožnjo navzgor po strmejšem klancu potrebna precej večja moč motorja za premagovanje tega dodatnega upora. Celotna sila upora (**FU**) v takem primeru je seštevek vseh uporov, vključno z uporom nagiba:

$$F_U = F_L + F_K + F_Z + F_N + F_P$$

Kjer **FL** predstavlja upor trenja v pogonskem sistemu, **FK** upor kotaljenja, **FZ** zračni upor, **FN** upor nagiba in **FP** upor pospeševanja. Upor nagiba (**FN**) se natančneje izračuna kot **Fg * sin(α)**, kjer je **Fg** skupna teža vozila, **α** pa kot naklona.

Pri vožnji po klancu navzdol:

Gravitacija povzroči pospeševanje vozila brez potrebe po dodatni moči motorja, saj sila **FN** v tem primeru ne deluje kot upor, temveč kot pospeševalna sila. To pomeni, da je skupni upor, ki ga mora premagati vozilo, zmanjšan, saj komponenta teže pomaga pri gibanju. V nekaterih primerih (strm klanec, nizka hitrost) to celo omogoča vožnjo brez pritiskanja na plin ali celo zahteva zaviranje:

$$F_U = F_L + F_K + F_Z - F_N + F_P$$

V teh primerih je učinek upora nagiba negativen, saj se dejansko odšteje od ostalih uporov, kar olajša gibanje vozila. Za logistična vozila, ki pogosto prevažajo težke tovore, je razumevanje upora nagiba ključno za načrtovanje poti in optimizacijo porabe goriva, saj strmi klanci dramatično povečajo potrebo po moči in s tem stroške.



Upor pospeševanja / zaviranja vozila FP

Upor pospeševanja ali zaviranja je sila, ki se pojavi, kadar se spreminja hitrost vozila. V primeru pospeševanja ta sila deluje proti smeri gibanja in predstavlja vztrajnost mase vozila, ki se upira spremembi gibanja. Ko vozilo pospešuje, je potreben dodaten napor za premostitev te vztrajnosti. V primeru zaviranja (pojemanja) pa je ta sila negativna in dejansko pomaga pri upočasnjevanju vozila, kar pomeni, da je zaviranje lažje, ker vztrajnost deluje v smeri zmanjševanja hitrosti.

Upor pospeševanja ali zaviranja povzroča ne samo vztrajnost (masa) vozila, temveč tudi vztrajnost rotirajočih delov motorja z notranjim izgorevanjem ter vztrajnost koles. To je pomembno, saj se energija porablja tudi za pospeševanje teh rotirajočih komponent. Formula za upor pospeševanja je podana kot:

$$F_P = (m + m_0) \cdot a[N]$$

Pri čemer je:

- m** - masa vozila (kg): To je statična masa vozila, vključno s tovorom.
- m0** – navidezna masa vozila (kg): Ta komponenta upošteva vpliv rotirajočih delov, kot so vztrajnik motorja, gredi, menjalnik in kolesa. Ti deli imajo lastno vztrajnost, ki jo je treba premagati ob vsakem pospeševanju ali zaviranju. Običajno se **m0** giblje od 2 do 5% resnične mase vozila (**m**), odvisno od konstrukcije pogonskega sklopa.
- a** – pospeševanje vozila (m/s²): To je sprememba hitrosti na enoto časa. Pozitivna vrednost označuje pospeševanje, negativna pa zaviranje. Večje kot je pospeševanje ali zaviranje, večja je sila **FP**.

Razumevanje upora pospeševanja je ključno za optimizacijo vožnje, saj zmanjšanje ostrih pospeševanj in zaviranj pripomore k zmanjšanju porabe goriva in obrabe pnevmatik ter zavor. Pri električnih vozilih je rekuperativno zaviranje mehanizem, ki izkorišča ta "negativni" upor za ponovno polnjenje baterije.

Sile na klancu

Pri analizi gibanja vozila na klancu je ključno razumeti, kako se sila teže vozila razdeli na dve komponenti glede na naklon površine. Vedno razstavimo silo teže na dve sili, ki so ključne za razumevanje dinamike vožnje:

- Dinamična komponenta teže:** Ta komponenta je vzporedna s klancom in deluje v smeri gibanja navzdol po klancu. Njena velikost je **Fg * sin(α)**, kjer je **Fg** teža vozila in **α** kot naklona. Ta komponenta je neposredno povezana z uporom nagiba (**FN**) pri vožnji navzgor in s pospeševalno silo pri vožnji navzdol. Pri potiskanju bremen po klancu navzgor moramo premagovati predvsem to dinamično komponento teže, ki pa je pri blagih klancih bistveno manjša od celotne teže.
- Statična komponenta teže:** Ta komponenta je pravokotna na klanec. Njena velikost je **Fg * cos(α)**. Ta komponenta določa, s kakšno silo vozilo pritiska na podlago. Pomembna je za izračun kotalnega upora (**FK**), saj neposredno vpliva na deformacijo pnevmatik in podlage. Vpliva tudi na oprijem pnevmatik s cestiščem, kar je ključnega pomena za varno vožnjo in zaviranje na nagnjenih terenih.

Pravilno razumevanje teh komponent omogoča natančnejše izračune porabe energije, načrtovanje vlečnih kapacitet in zagotavljanje stabilnosti vozila, še posebej pri prevozu težkih tovorov v zahtevnih terenih.

Praktični izračuni za logiste

Primeri izračunov, s katerimi se srečujete v logistiki in transportu



Zavorna pot

Izračun zavorne poti je ključen za varnost in načrtovanje operacij, še posebej pri težkih vozilih. Upošteva tako reakcijski čas voznika kot tudi dejansko pot zaviranja.

Vozilo se giblje s hitrostjo 95 km/h, koeficient trenja med kolesi in cesto je 0,7. Voznikov reakcijski čas je 0,7 s.

$$v = 95 \text{ km/h} = 26,4 \text{ m/s}$$

$$LR \text{ (reakcijska pot)} = v \cdot t_R = 26,4 \cdot 0,7 = 18,5 \text{ m}$$

$$a \text{ (upočasnjevanje)} = fT \cdot g = 0,7 \cdot 9,81 = 6,87 \text{ m/s}^2$$

$$LZ \text{ (zavorna pot)} = \frac{v^2}{2 \cdot a} = \frac{26,4^2}{2 \cdot 6,87} = 50,7 \text{ m}$$

$$LU \text{ (skupna ustavilna pot)} = LR + LZ = 18,5 + 50,7 = 69,2 \text{ m}$$

Ta izračun poudarja, kako pomembna sta tako hitra reakcija voznika kot tudi učinkovitost zavornega sistema, še posebej pri visokih hitrostih.



Vožnja v ovinku

Stabilnost vozila v ovinku je odvisna od centripetalne sile in sile trenja med pnevmatikami in cestiščem. Ključno je zagotoviti, da sila trenja lahko prepreči zdrs.

Vozilo z maso 1315 kg vozi skozi krivino polmera 41 m s hitrostjo 72 km/h. Ali bo zdrs na mokri cesti ($fT = 0,46$)?

$$v = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$$

$$F_c \text{ (centripetalna sila)} = m \cdot \frac{v^2}{r} = 1315 \cdot \frac{20^2}{41} = 12.829 \text{ N}$$

$$F_T \text{ (maksimalna sila trenja)} = m \cdot g \cdot fT = 1315 \cdot 9,81 \cdot 0,46 = 5.935 \text{ N}$$

Ker je $F_c > F_T$, vozilo bo zdrsnilo! To pomeni, da je trenutna hitrost prevelika za dani polmer ovinka in koeficient trenja.

Največja varna hitrost za ta ovinek in pogoje: $v_{\max} = \sqrt{r \cdot g \cdot fT} = \sqrt{41 \cdot 9,81 \cdot 0,46} = 13,6 \text{ m/s} = 49 \text{ km/h}$

Za varno vožnjo skozi ta ovinek na mokri cesti bi voznik moral zmanjšati hitrost na največ 49 km/h.



Stabilnost viličarja

Stabilnost viličarja je kritičnega pomena za varno manipulacijo z bremenami. Izračun koeficienta stabilnosti določa, ali je viličar pri določenem bremenu in položaju težišča stabilen ali ne.

Izračunajte koeficient stabilnosti viličarja, če je masa bremena 1850 kg, masa viličarja brez uteži 1300 kg in masa uteži 450 kg.

$$MS \text{ (moment stabilnosti)} = (m_{\text{viličar}} + m_{\text{utež}}) \cdot g \cdot r_1 = (1300 + 450) \cdot 9,81 \cdot 0,9 = 15.402 \text{ Nm}$$

$$MP \text{ (moment prevračanja)} = m_{\text{breme}} \cdot g \cdot r_2 = 1850 \cdot 9,81 \cdot 0,6 = 10.898 \text{ Nm}$$

$$v \text{ (koeficient stabilnosti)} = \frac{MS}{MP} = \frac{15.402}{10.898} = 1,41$$

Ker je $v > 1$, je viličar stabilen. Koeficient stabilnosti nad 1 kaže, da je viličar zmožen varno dvigovati in prevažati breme, ne da bi se prevrnil. V logistiki je pomembno, da se vedno upoštevajo omejitve nosilnosti viličarja in da se breme pravilno postavi, da se ohrani stabilnost.



Upor kotaljenja in zračni upor

Skupni upor vožnje je seštevek različnih sil, ki nasprotujejo gibanju vozila. Upor kotaljenja in zračni upor sta poglavitna dejavnika, ki vplivata na porabo goriva, še posebej pri višjih hitrostih.

Tovornjak z maso 40.000 kg se giblje s hitrostjo 80 km/h. Koeficient kotalnega upora je 0,006, koeficient zračnega upora 0,8, čelna površina 8 m², gostota zraka 1,225 kg/m³.

$$v = 80 \text{ km/h} = 22,22 \text{ m/s}$$

$$F_k \text{ (upor kotaljenja)} = m \cdot g \cdot f_k = 40.000 \cdot 9,81 \cdot 0,006 = 2.354,4 \text{ N}$$

$$F_z \text{ (zračni upor)} = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_x \cdot A = 0,5 \cdot 1,225 \cdot (22,22)^2 \cdot 0,8 \cdot 8 = 1.936,7 \text{ N}$$

$$F_U \text{ (skupni upor)} = F_k + F_z = 2.354,4 + 1.936,7 = 4.291,1 \text{ N}$$

Ta izračun poudarja, da se zračni upor eksponentno povečuje s hitrostjo, zato je pri visoki hitrosti bistveno zmanjšati čelno površino in izboljšati aerodinamiko vozil.



Potrebna moč za vožnjo v klanec

Vožnja v klanec zahteva dodatno moč motorja, saj je potrebno premagati silo gravitacije, ki deluje proti gibanju. Razumevanje te dinamike je pomembno za izbiro pravega vozila in optimizacijo prevoza.

Vozilo z maso 15.000 kg se vzpenja po klancu z naklonom 5% (približno 2,86°). Hitrost vožnje je 30 km/h, upoštevajmo še upor kotaljenja 0,008 in zračni upor 200 N.

$$v = 30 \text{ km/h} = 8,33 \text{ m/s}$$

$$\sin(\alpha) = 0,05 \text{ (za naklon 5\%)}$$

$$F_n \text{ (upor nagiba)} = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) = 15.000 \cdot 9,81 \cdot 0,05 = 7.357,5 \text{ N}$$

$$F_k \text{ (upor kotaljenja)} = m \cdot g \cdot f_k = 15.000 \cdot 9,81 \cdot 0,008 = 1.177,2 \text{ N}$$

$$F_z \text{ (zračni upor)} = 200 \text{ N (predpostavljena vrednost pri tej hitrosti)}$$

$$F_U \text{ (skupni upor)} = F_n + F_k + F_z = 7.357,5 + 1.177,2 + 200 = 8.734,7 \text{ N}$$

$$P \text{ (potrebna moč)} = F_U \cdot v = 8.734,7 \text{ N} \cdot 8,33 \text{ m/s} = 72.766 \text{ W} = 72,77 \text{ kW}$$

Ta izračun prikazuje, kako močno naklon vpliva na potrebno moč, kar je ključno za načrtovanje prevozov na gorskih terenih in ocenjevanje porabe goriva.

Kotne funkcije v logistiki

Pravokotni trikotnik

Pravokotni trikotnik je trikotnik, ki ima en pravi kot ($\gamma = 90^\circ$). Ostala dva kota sta komplementarna, kar pomeni, da velja: $\alpha + \beta = 90^\circ$. Razumevanje lastnosti pravokotnega trikotnika je temelj za aplikacijo kotnih funkcij v logistiki.

Najdaljšo stranico pravokotnega trikotnika imenujemo hipotenuza, ostali dve stranici pa kateti:

- nasprotna stran** (stranica, ki leži nasproti kota α)
- priležna stran** (stranica, ki leži ob kotu α , torej med pravim kotom in kotom α)

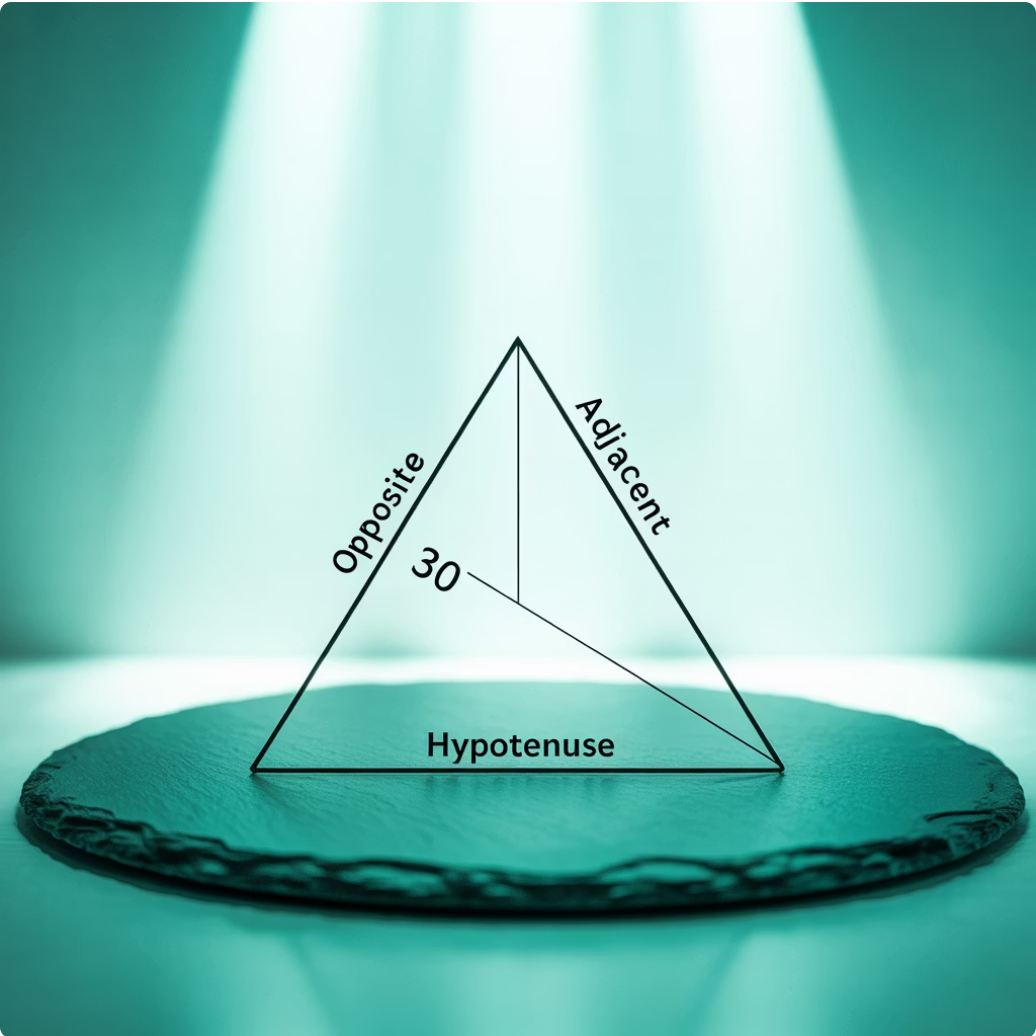
Pomembno je tudi vedeti, da velja Pitagorov izrek: vsota kvadratov katet je enaka kvadratu hipotenuze ($a^2 + b^2 = c^2$), kar nam omogoča izračun dolžine katerekoli stranice, če poznamo dolžini drugih dveh.

Kotne funkcije

Kotne funkcije nam omogočajo povezovanje kotov s stranicami pravokotnega trikotnika, kar je ključno pri reševanju praktičnih problemov v transportu in skladiščenju.

- Sinus (sin):** razmerje med dolžino nasprotne stranice in dolžino hipotenuze. Uporablja se za izračun višine ali vertikalnih razdalj, npr. pri nakladalnih klančinah.
- Kosinus (cos):** razmerje med dolžino priležne stranice in dolžino hipotenuze. Uporaben je za določanje horizontalnih razdalj ali komponent sil, ki delujejo ob klanču.
- Tangens (tan):** razmerje med dolžino nasprotne stranice in dolžino priležne stranice. Idealen je za izračun naklonov in kotov nagiba, saj neposredno povezuje vertikalno in horizontalno razdaljo.

Poleg osnovnih funkcij so pomembne tudi inverzne kotne funkcije (arkus sinus, arkus kosinus, arkus tangens), ki nam omogočajo izračun kota, če poznamo razmerja med stranicami. V logistiki je to ključno za določanje varnostnih kotov ali optimalnih naklonov.



Primer uporabe: naklon ceste

Naklon klanca se izračuna kot premagana višina na 100 metrov premagane dolžine. Meri se ga v odstotkih.

Če v sto metrih vzpona pridobite 8 metrov višinske razlike, potem je naklon tega klanca 8 %.

To lahko izrazimo tudi s kotom:

$$\tan \alpha = \frac{8}{100} = 0,08$$

$$\alpha = \arctan(0,08) \approx 4,57^\circ$$

Primer uporabe: nakladalna rampa

Viličar mora na tovorno vozilo, ki je 1,3 metra nad tlemi, pripeljati blago. Da bi bil nagib rampe varen in omogočal enostavno manevriranje, je določen maksimalni varni kot 8° . Kakšna mora biti dolžina nakladalne rampe?

Tu uporabimo sinusno funkcijo, saj poznamo nasprotno stran (višino) in kot, iščemo pa hipotenuzo (dolžino rampe).

$$\sin(8^\circ) = \text{višina} / \text{dolžina_rampe}$$

$$\text{dolžina_rampe} = \text{višina} / \sin(8^\circ)$$

$$\text{dolžina_rampe} = \frac{1,3 \text{ m}}{\sin(8^\circ)} \approx \frac{1,3}{0,139} \approx 9,35 \text{ m}$$

Za varno in učinkovito nakladanje potrebujemo rampo, dolgo približno 9,35 metra.

Primer uporabe: stabilnost naloženega blaga

Pri skladiščenju je pomembno zagotoviti stabilnost palet ali regalov. Predpostavimo, da imamo zaboj z osnovno širino 0,8 m in želimo določiti maksimalno višino, do katere ga lahko naložimo, da ostane stabilen, če se nagne za največ 10° .

Tu uporabimo tangens, saj poznamo priležno stran (polovica širine podlage) in kot nagiba, iščemo pa nasprotno stran (višino).

$$\tan(10^\circ) = \text{višina} / (\text{širina_podlage} / 2)$$

$$\text{višina} = \tan(10^\circ) \cdot (0,8 / 2)$$

$$\text{višina} = \tan(10^\circ) \cdot 0,4 \approx 0,176 \cdot 0,4 \approx 0,0704 \text{ m}$$

To pomeni, da je maksimalna stabilna višina zaboja pod temi pogoji približno 7 cm. Ta izračun poudarja, kako pomembna je širina osnove in omejitev naklona za stabilnost pri skladiščenju.

Zaključek in povzetek predmeta

Ključni koncepti mehanike gibanja vozila

V okviru predmeta Mehanika gibanja vozila ste spoznali:

- Osnovne merske enote in fizikalne zakone (Newtonove zakone)
- Vrste gibanja vozil (enakomerno, pospešeno)
- Zmogljivost motorjev (moč in navor)
- Dejavnike, ki vplivajo na pot ustavljanja vozila
- Sile, ki delujejo na vozilo v ovinku
- Vzroke za prevrnitev vozila in viličarja
- Upore vožnje in njihov vpliv na porabo goriva
- Uporabo kotnih funkcij v logistiki

Praktična uporaba znanja

Pridobljeno znanje vam bo koristilo pri:

- Razumevanju vozne dinamike vozil
- Presoji varnostnih situacij v prometu
- Izbiri ustreznih vozil za specifične logistične naloge
- Razumevanju fizikalnih omejitev pri nalaganju in transportu
- Optimizaciji porabe goriva
- Preprečevanju nesreč z viličarji in tovornimi vozili
- Izračunu potrebne vlečne sile za različne vozne pogoje
- Načrtovanju logističnih poti glede na fizikalne omejitve

Naj vas pridobljeno znanje spremlja na varni in učinkoviti logistični poti!