



Jazdné odpory

Príklad:

Vypočítajte jazdné odpory osobného automobilu pri priamej jazde na suchej betónovej vozovke:

1. Pri jazde konštantnou rýchlosťou 0, 60, 120, 160 km/h.

- a- po vodorovnej rovine
- b- na rovine so stúpaním $s = 2\%$
- c- na rovine so stúpaním $s = 6\%$

2. Pri konštantnom zrýchlení a z nulovej okamžitej rýchlosti.

D:

$m = 1450 \text{ kg}$ Okamžitá hmotnosť vozidla

$S_x = 1,87 \text{ m}^2$ Čelná plocha vozidla

$c_x = 0,3$ Koeficient odporu vzduchu

$a = 2 \text{ m.s}^{-2}$ Zrýchlenie vozidla (priemerné zrýchlenie z 0 na 100 km/h za 13,9 s)

Na vozidlo pri priamej jazde pôsobia nasledujúce jazdné odpory

- O_f – odpor valenia,
- O_s – odpor stúpania,
- O_v – odpor vetra (aerodynamický),
- O_a – odpor zrýchlenia (akceleračný)

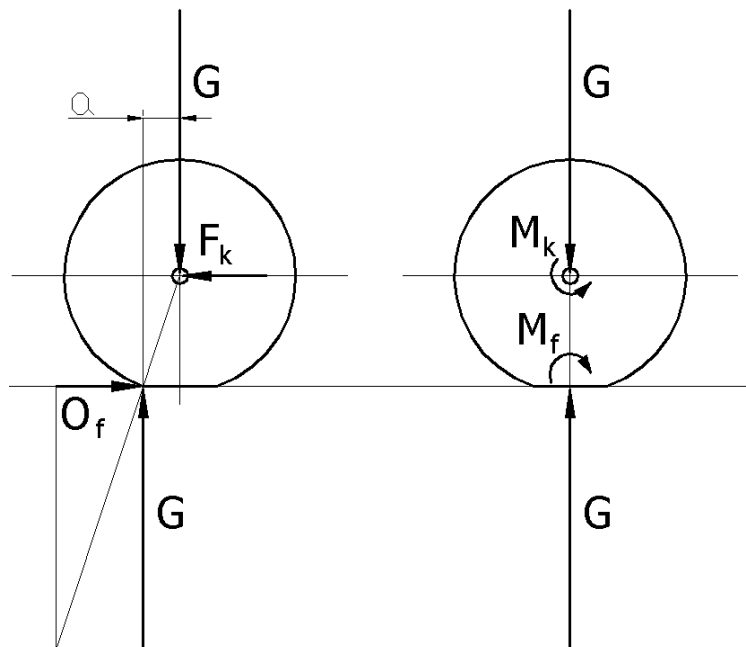
Celkový jazdný odpor O_c bude ich súčtom.

Výsledky sa budú zapisovať do tabuľky

v [km/h]	O_f [N]	O_v [N]	O_s [N]			O_c [N]		
			s=0%	s=2%	s=6%	s=0%	s=2%	s=6%



1. Odpor valenia na vodorovnej rovine



Odpor valenia na vodorovnej ploche vypočítame podľa rovnice

$$O_f = G \cdot f = m \cdot g \cdot f \text{ [N]}$$

kde:

G [N]	tiaž vozidla
m [kg]	hmotnosť vozidla
g [kg.m.s ⁻²]	gravitačné zrýchlenie $g=9,81 \text{ m.s}^{-2}$
f	súčiniteľ valivého odporu

Súčiniteľ valivého odporu f závisí od:

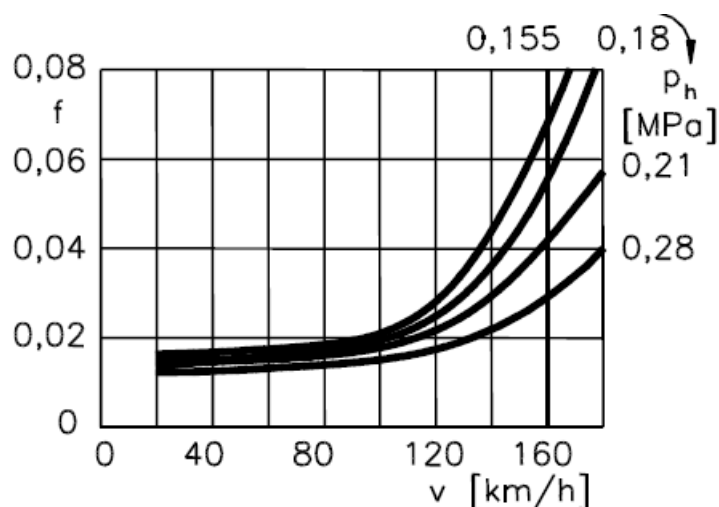
- Povrchu vozovky (asfalt, betón, poľná cesta, sneh, ...)
- Typu pneumatík (radiálne, diagonálne, typ dezénu,...) a ich nahustenia
- Rýchlosti vozidla

Orientačné hodnoty súčiniteľa odporu valenia f (Podľa rôznych autorov sa môžu líšiť)

Asfalt	0,01 – 0,025
Betón	0,015 – 0,03
Dlažba	0,02
Sneh	0,1 – 0,3



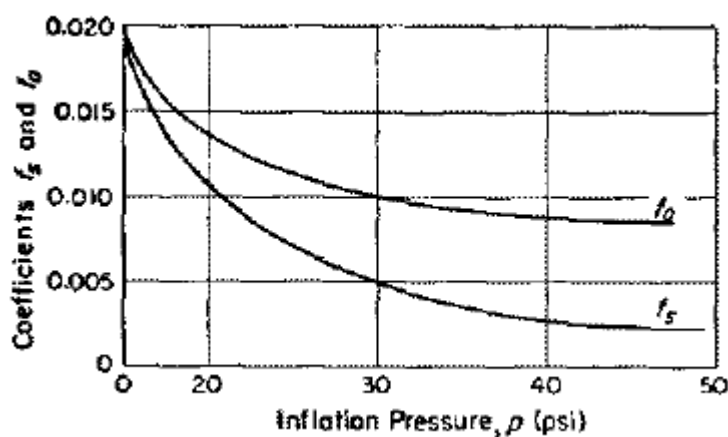
Ďalej iba pre ilustráciu:



Závislosť súčiniteľa valivého odporu od rýchlosti vozidla a nahustenia pneumatík

Empirický vzťahy pre suchý betón:

$$f = f_0 + 3,24 \cdot f_s \left(\frac{v}{160} \right)^{2,5}$$



Pre rýchlosti do 130 km/h a tlak 26 psi možno použiť empirický vzťah:

$$f = 0,01 \cdot \left(1 + \frac{v}{160} \right)$$

kde:

v [km/h] okamžitá rýchlosť vozidla

Pre naše účely bude postačovať, ak budeme považovať súčiniteľ valivého odporu za konštantný.

Z odporúčaných hodnôt pre betón (0,015-0,03) vyberám:



$$f=0,02$$

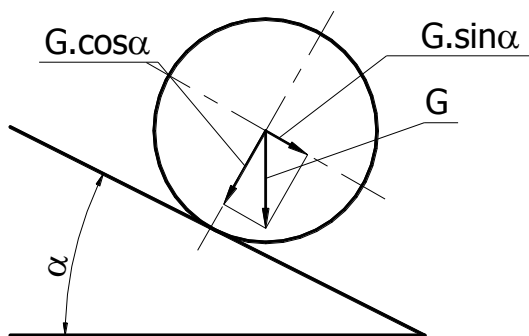
Vypočítame tiaž:

$$G = m \cdot g = 1450 \cdot 9,81 = 14225 \text{ [N]}$$

Vypočítame odpor valenia:

$$O_f = G \cdot f = 14225 \cdot 0,02 = 284,5 \text{ [N]}$$

2. Odpor stúpania



Odpor valenia na naklonenej rovine

$$O_f = G \cdot f \cdot \cos \alpha = m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha \text{ [N]}$$

Zo stúpania s je potrebné vypočítať uhol stúpania α

Ak platí:

$$s = \operatorname{tg}(\alpha)$$

Potom:

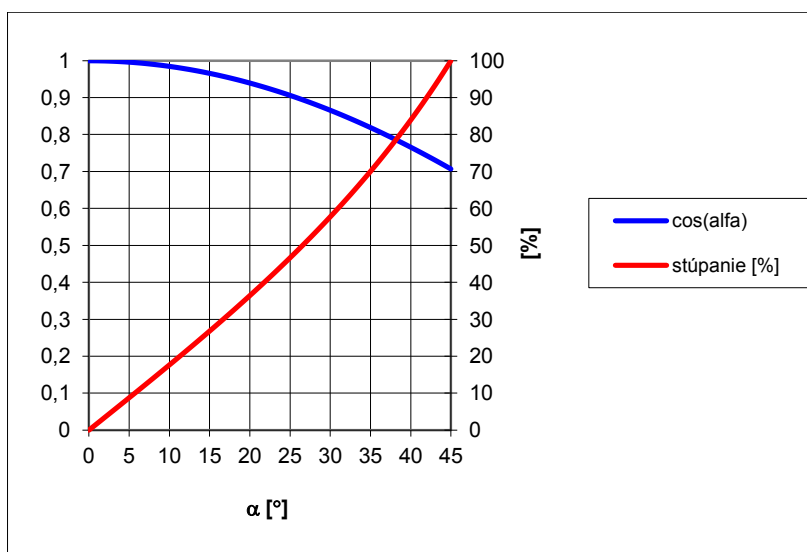
$$\alpha = \operatorname{arctg}(s)$$

Vypočítame uhol stúpania pre stúpanie 2%:

$$\alpha(2\%) = \operatorname{arctg}(0,02) = 1,146^\circ$$

Vypočítame uhol stúpania pre stúpanie 6%:

$$\alpha(6\%) = \operatorname{arctg}(0,06) = 3,434^\circ$$



Pre malý uhol stúpania môžeme odpor valenia počítať ako na vodorovnej rovine.

Pre stúpanie 6%, $\alpha = 3,43^\circ$, vychádza $\cos(\alpha) = 0,998$, takže zmenu odporu valenia oproti vodorovnej rovine môžeme zanedbať.

Odpor stúpania na rovine naklonenej o uhol stúpania α :

$$O_s = G \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad [\text{N}]$$

Pri stúpaní je uhol stúpania kladný, pri klesaní záporný.

Na vodorovnej rovine bude odpor stúpania nulový. (zapísať do tabuľky)

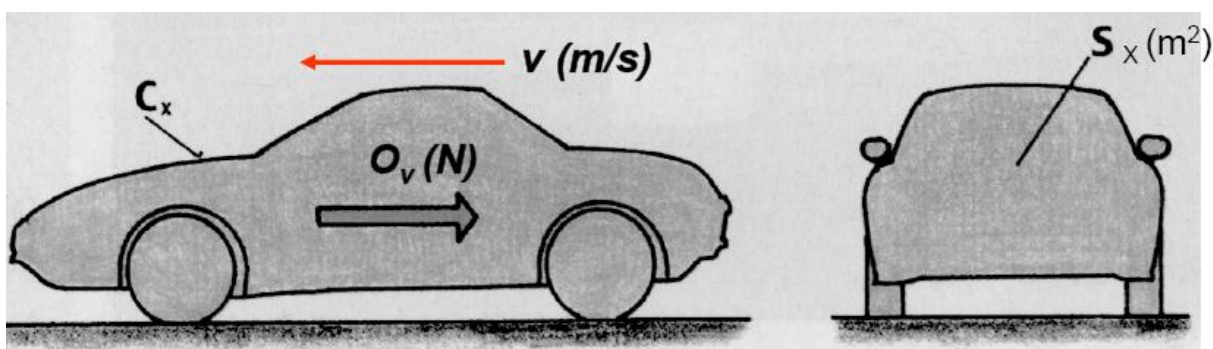
Vypočítame odpor stúpania pre stúpanie 2%:

$$O_s = G \cdot \sin \alpha = 14225 \cdot \sin 1,146^\circ = 284,5 \quad [\text{N}]$$

Vypočítame odpor stúpania pre stúpanie 6%:

$$O_s = G \cdot \sin \alpha = 14225 \cdot \sin 3,434^\circ = 852 \quad [\text{N}]$$

3. Odpor vzduchu



Odpor vzduchu vypočítame podľa rovnice:

$$O_v = \frac{1}{2} \rho_v \cdot c_x \cdot S_x \cdot v_c^2 \quad [\text{N}]$$

kde:

$\rho_v [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	merná hmotnosť (hustota) vzduchu
c_x	súčiniteľ odporu vzduchu
$S_x [\text{m}^2]$	čelná plocha vozidla
$v_c [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	celková rýchlosť prúdenia vzduchu

Merná hmotnosť vzduchu

Suchý vzduch pri tlaku 100 kPa (1 bar)

0 °C – 1,276 kg.m⁻³

20 °C – 1,189 kg.m⁻³

Budeme predpokladať teplotu 20 °C, takže hustota vzduchu bude $\rho_v = 1,189 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Orientačné hodnoty súčiniteľa odporu vzduchu (len pre ilustráciu):

Osobné automobily 0,27 – 0,4

Nákladné automobily 0,7 – 1

Autobusy 0,5 – 0,7

Celková rýchlosť prúdenia vzduchu

$$v_c = v + v_v \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde:

$v [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ okamžitá rýchlosť vozidla

$v_v [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ rýchlosť vetra v smere proti okamžitej rýchlosti vozidla

Pre riešený príklad budeme predpokladať $v_v = 0$ (bezvetrie), takže:

$$v_c = v$$

Rýchlosť vozidla v [km/h] je potrebné prepočítať na [m/s]:



Pohonné systémy automobilov

Blok č: 3

Prednášajúci: prof.Ing. Robert Grega, PhD.

$$v[m/s] = \frac{1000[m/km] \cdot v[km/h]}{60[\min/h] \cdot 60[s/\min]}$$

$$v[m/s] = \frac{v[km/h]}{3,6}$$

Po dosadení do rovnice pre jednotlivé rýchlosti vychádza:

60 km/h	100 km/h	120 km/h	160 km/h
16,667 m/s	27,778	33,333 m/s	44,444 m/s

Spočítame odpor vzduchu pre jednotlivé rýchlosti (dosadené v [m/s]):

$$O_v = \frac{1}{2} \rho_v \cdot c_x \cdot S_x \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,189 \cdot 0,3 \cdot 1,87 \cdot v^2 \quad [N]$$

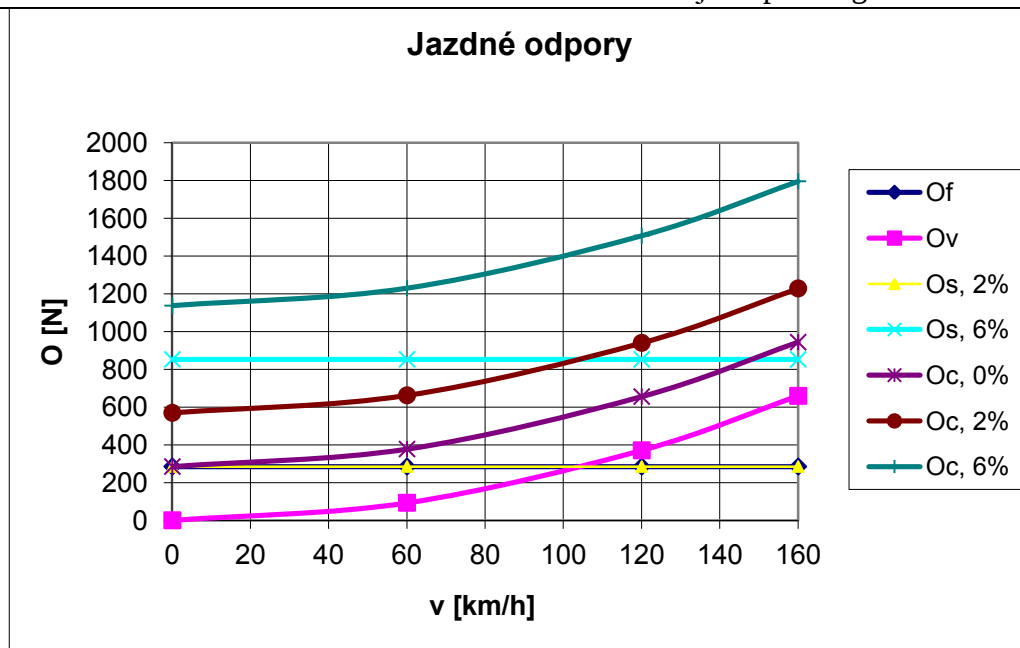
(Výsledky v nasledujúcej tabuľke)

Celkový jazdný odpor potom bude súčtom všetkých jazdných odporov:

$$O_c = O_f + O_v + O_s + O_a$$

Pre jazdu konštantnou rýchlosťou bude akceleračný odpor O_a nulový.

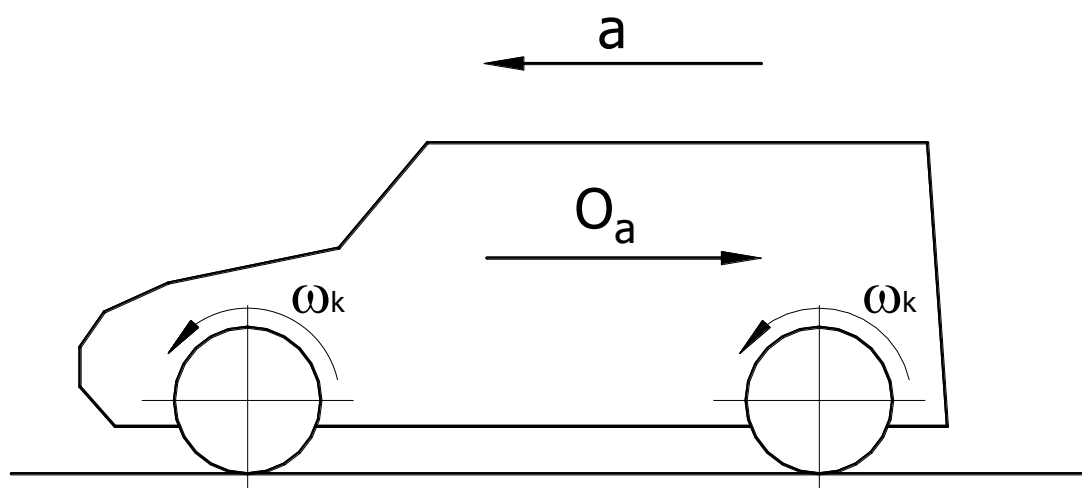
v [km/h]	O _f [N]	O _v [N]	O _s [N]			O _c [N]		
			s=0%	s=2%	s=6%	s=0%	s=2%	s=6%
0	284,5	0	0	284,5	852	284,5	569	1136,
60		92,6				377,1	661,6	1229,2
120		370,6				655,1	939,6	1507,1
160		658,8				943,3	1227,8	1795,3



Z grafu pre náš prípad môžeme povedať že:

- Odpor valenia je konštantný, bez ohľadu na stúpanie a rýchlosť
- odpor vzduchu sa výrazne prejaví až pri vyšších rýchlostiach
- Odpor stúpania je zo všetkých najväčší a výrazne sa prejaví už aj pri malom uhle stúpania

4. Odpor zrýchlenia (akceleračný odpor)



Počítame podľa vzťahu:



$$O_a = (m + m_R) \cdot a \text{ [N]}$$

kde:

m [kg] okamžitá hmotnosť vozidla

m_R [kg] redukovaná hmotnosť zotrvačných hmôt rotujúcich častí vozidla (motor, prevodovka, kolesá, ...)

c_a súčiniteľ vplyvu rotačných hmôt

a [m.s⁻²] zrýchlenie vozidla

Redukované hmotnosti vo všeobecnosti počítame podľa:

$$m_R = \frac{I \cdot i^2}{r^2}$$

kde:

I [kg.m²] Hmotný moment zotrvačnosti rotujúcej hmoty

r [m] polomer kolesa

i celkový prevodový pomer medzi rotujúcou hmotou a kolesom

Redukované hmotnosti sa zvyknú zohľadniť aj nasledovne:

$$O_a = (m + m_R) \cdot a = m \cdot c_a \cdot a \text{ [N]}$$

kde:

c_a súčiniteľ vplyvu rotačných hmôt

Orientačné hodnoty c_a :

Osobné automobily:

$c_a=1,5-1,8$ na 1. prevodový stupeň

$c_a=1,05$ na priamy záber

Nákladné automobily:

$c_a=2,5-3$ na 1. prevodový stupeň

Pozn:

Vzorec platí pre prípad, ak chceme počítať moment alebo výkon motora, pri zrýchľovaní motorom.

Pri výpočte adhéznej (alebo trecej) sily medzi kolesom a podložkou do rotačných hmôt počítame iba rotačné hmoty na nepoháňaných nápravách (keď vozidlo zrýchľuje vplyvom momentu motora).

Pri okamžitej rýchlosti 0 km/h budeme predpokladať, že automobil sa rozbieha z 1. prevodového stupňa, takže z odporúčaného rozsahu c_a volíme:

$$c_a=1,65$$



Potom:

$$O_a = m \cdot c_a \cdot a = 1450 \cdot 1,65 \cdot 2 = 4785 \text{ [N]}$$

Celkový jazdný odpor bude:

$$O_c = O_f + O_v + O_s + O_a$$

Pri výpočte celkového jazdného odporu pri zrýchľovaní zoberieme hodnoty ostatných odporov z predchádzajúcej tabuľky (hodnoty pre 0 km/h a vodorovnú rovinu).

Potom:

$$O_c = O_f + O_v + O_s + O_a = 284,5 + 0 + 0 + 4785 = 5069,5 \text{ [N]}$$