

Jaké je maximální zrychlení osobního automobilu?

ZDENĚK BOCHNÍČEK

Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno

Úvod

Dle informace z médií připravuje německá firma sportovní automobil, který zrychlí z nuly na sto kilometrů za hodinu za méně než jednu sekundu. Fyzika hned napadne: Je to vůbec možné? Jaké jsou fyzikální limity akcelerace vozidla s poháněnými koly? V příspěvku budou prezentovány různé modely výpočtu meze zrychlení.

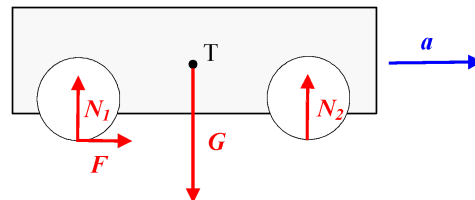
Model 1

Často najdeme následující postup řešení: Předpokládejme, že automobil má hnanou jednu nápravu (například zadní kola) a podélná poloha těžiště automobilu je uprostřed mezi nápravami. Dále zanedbáme vliv rotační hmoty kol. Model vychází z obr. 1. Ve svislém směru je tíhová síla kompenzována tlakovými silami podložky, které při zvolené poloze těžiště jsou shodné. Maximální urychlující síla je dána koeficientem tření f a platí pro ni¹

$$F_{\max} = f N_1 = f \frac{G}{2} = f \frac{mg}{2}, \quad (1)$$

kde m je hmotnost automobilu. Maximální zrychlení je pak rovno

$$a_{\max} = \frac{F_{\max}}{m} = f \frac{g}{2} \quad (2)$$



Obr. 1

Dostáváme velmi jednoduchý výsledek. Je však podivné, že při výpočtu nebyl nikde použit předpoklad zadní hnané nápravy i když ze zkušenosti víme, že automobily se zadní poháněnou nápravou se stejným poměrovým zatížením náprav zrychlují na kluzkém povrchu lépe². Model č. 1 tedy zrychlení automobilu nepopisuje správně.

Model 2

Silový rozbor uvedený na obr. 1 je chybný. Víme, že při akceleraci se vůz pohybuje čistě translačním pohybem, nerotuje. Výsledný moment působících sil musí tedy být

¹ Symboly pro vektorové veličiny - sílu, moment síly a zrychlení, které nejsou zvýrazněné tučným písmem označují **velikosti** těchto veličin a nebo **složky** těchto sil do vodorovného či svislého směru. Situace je vždy zřejmá z obrázku či kontextu.

² Podobně při zpomalení jsou účinnější kola přední nápravy, proto jsou přední brzdy více dimenzované než zadní.

roven nule, což síly z obr. 1 evidentně nesplňují. Aby se síly N_1 a N_2 , kompenzovaly moment tíhové síly G (moment počítáme vzhledem k těžišti), musí mít síla N_1 větší velikost než síla N_2 . Správný rozklad sil je na obr. 2.

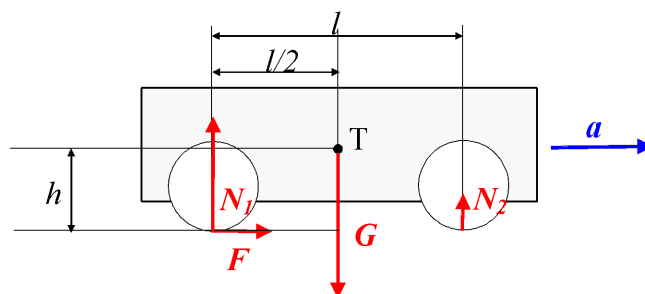
Ve svislém směru vozidlo nezrychluje, pro vertikální síly tedy musí platit silová rovnováha

$$G = N_1 + N_2 \quad (3)$$

Z podmínky momentové rovnováhy platí

$$F_{\max} h + N_2 \frac{l}{2} = N_1 \frac{l}{2} \quad (4)$$

kde F_{\max} je maximální urychlující síla, pro kterou platí



Obr. 2

$$F_{\max} = f N_1 \quad (5)$$

Význam ostatních symbolů je zřejmý z obr. 2. Rovnice (3), (4) a (5) tvoří soustavu o třech neznámých F_m , N_1 a N_2 . Jejím řešením získáme

$$a_{\max} = f \frac{g}{2 \left(1 - \frac{hf}{l} \right)} \quad (6)$$

Na jedné straně výsledek modelu 2 splnil naše očekávání: vede k vyšší hodnotě maximálního zrychlení než model č. 1. Při akceleraci jsou více zatížena zadní kola (na úkor kol předních), a proto má vůz s pohonem zadních kol výhodu. Na druhé straně však se výsledek smysluplný nezdá: s klesající výškou těžiště a rostoucím rozvorem náprav roste maximální zrychlení nade všechny meze a dokonce může nabýt i záporných hodnot!

Omezení modelu č. 2

Zrychlení automobilu by mohlo divergovat, pokud by divergovala i síla N_1 . Pak by ovšem vertikální složka síly N_2 musela mířit směrem dolů, což pro jízdu automobilu není reálné. Model č. 2 tedy platí pouze za předpokladu, že $N_2 > 0$. Při porušení této podmínky by došlo ke zvednutí předních kol vozidla.

Z rovnic (4), (5) a (6) vyjádříme vertikální složku síly N_2 .

$$N_2 = \frac{mg \left(1 - \frac{2fh}{l} \right)}{2 - \frac{2fh}{l}} \quad (7)$$

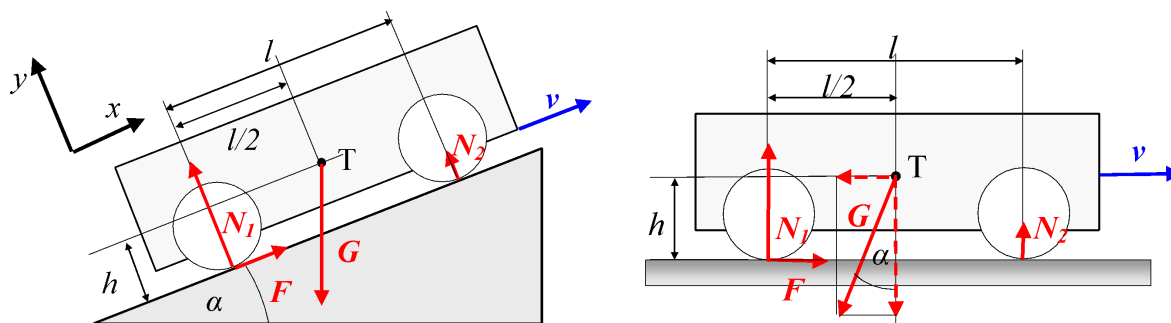
a z podmínky $N_2 > 0$ plyne nerovnost

$$2\frac{h}{l}f < 1 \quad (8)$$

Za této podmínky bude pro akceleraci limitující smykové tření mezi pneumatikou a vozovkou. V opačném případě akceleraci omezí zvednutí předních kol.

Experimentální ověření

Přímé experimentální ověření jevů při vysokém zrychlení je obtížné. Krátký čas a dlouhá jízdní dráha v podstatě vylučuje realizaci těchto experimentů ve školních podmínkách. Je však možné využít analogie mezi rovnoměrně zrychleným vodorovným pohybem a rovnoměrným pohybem po nakloněné rovině, viz obr.



S využitím této analogie získají rovnice (3), (4) a (5) tvar

$$mg \cos \alpha = N_1 + N_2 \quad (3) \quad F_{\max} h + N_2 \frac{l}{2} = N_1 \frac{l}{2} \quad (4) \quad F_{\max} = f N_1 \quad (5)$$

kde navíc tažná síla motoru kompenzuje průmět tíhové síly do směru pohybu, tedy

$$F_{\max} = mg \sin \alpha \quad (6)$$

Řešením soustavy rovnic dostaneme

$$\sin \varphi = \frac{f}{f + 4 \left(1 - \frac{fh}{l}\right)^2}$$

Problém měření zrychlení tak převedeme na experimentálně mnohem jednodušší problém určení úhlu nakloněné roviny, při kterém dojde k prokluzu hnané nápravy respektive k překlopení modelu vozidla.

typ vozu	zrychlení 0-100km/h [s]	zrychlení [m/s]
Renault F1	1,7	16,3
Bugatti Veyron	2,46	11,3
Porsche 911 Turbo	2,7	10,3
Ferrari F12 Berlinetta	3,1	9,0

í text příspěvku. V textu můžete používat zvýraznění *kurzívou (italikou)* nebo **tučným písmem (bold)**. Kromě výjimečných případů (webové odkazy) nepoužívejte podtrhávání písma.

Pozn.: Zapněte si prosím ve Wordu dělení slov. (V menu Nástroje/Jazyk/Dělení slov.) Maximální počet řádků dělených za sebou nastavte na 2.

Podnadpis

Další text příspěvku.

Prosím **nepoužívejte automatické číslování** položek seznamů, i když Word tuto možnost standardně nabízí. Položky seznamů prosím číslujte **ručně**. Totéž platí pro číslování nadpisů, pokud je chcete číslovat.

Obrázky a tabulky

Obrázky a tabulky pokud možno zarovnávejte na střed. V případě malých obrázků lze obrázky na stránce umístit vlevo nebo vpravo a text nechat obtékat. Obrázky prosím upravte a patřičně ořízněte ještě **před** vložením do Wordu!

Další informace

Velikost a okraje stránky a potřebné styly již definuje tato šablona. Podrobnější popis a komentáře viz soubor *FormatovaniPrispevkuVeletrh*.

Literatura

- [1] Položky literatury ručně číslujte čísla v hranatých závorkách. Příklad:
[2] Halliday D. a kol.: *Fyzika*. VUTIM Brno, Prometheus Praha, 2000.

- [3] Polák Z.: *Jednoduché pokusy*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 7. Ed.: Svoboda E., Dvořák L. Prometheus Praha 2002. s. 57-60.
- [4] <http://fyzweb.cuni.cz>