

16. ročník, úloha III. 1 ... vítr na dálnici (4 body; průměr 2,00; řešilo 32 studentů)

V autoškole každého upozorňují na nebezpečí bočního větru při vjezdu ze závětří na otevřené prostranství. Zejména nebezpečné je to prý na dálnici při velké rychlosti.

Uvažujte konstantní rychlost bočního větru a spočítejte, jak se mění síla působící z boku v závislosti na rychlosti auta. Tvar auta předpokládejte takový, abyste úlohu dokázali vyřešit. Diskutujte vliv větru na následný pohyb vozidla.

Odporová síla při pohybu auta vzduchem se řídí Newtonovým vztahem $F_{\text{odp}} = CS\rho v^2/2$, kde C je bezrozměrná konstanta daná tvarem, S je plocha auta promítnutá do roviny kolmé na směr pohybu, v je rychlost pohybu a ρ hustota vzduchu.

Jede-li auto rychlostí v a fouká boční vítr rychlostí u , bude vzájemná rychlost vzduchu a auta mít velikost v_{rel} , pro kterou platí $v_{\text{rel}}^2 = v^2 + u^2$. Síla, kterou pomocí této rychlosti z Newtonova vzorce získáme, má velikost $F_{\text{odp}} = CS\rho(v^2 + u^2)/2$. Se směrem pohybu auta ovšem svírá úhel, pro který platí $\text{tg } \varphi = u/v$.

Pro složku síly F_{odp} kolmou na směr pohybu auta pak dostáváme

$$F_b = F_{\text{odp}} \sin \varphi = \frac{1}{2} CS\rho u \sqrt{v^2 + u^2}. \quad (1)$$

Diskutujme nyní, jak se F_b mění s rychlostí v . Už samotný fakt, že ve vztahu (1) vystupuje závislost na v , stojí za povšimnutí. Je to umožněno nelineární (zde konkrétně kvadratickou) závislostí odporové síly na rychlosti. Dále se ovšem mění směr φ a s ním i S (z boku má auto větší průřez) a C (tvar auta je relativně dobře aerodynamický při pohybu dopředu, což zřejmě neplatí pro pohyb do strany). Nicméně uvážíme-li, že rychlost větru bude někde v intervalu $10\text{--}40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a rychlost auta $100\text{--}200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, nebudou změny směru příliš výrazné a můžeme C a S považovat za konstantní.

Pokud navíc uvážíme $u \ll v$ (což zejména v druhé mocnině bude celkem dobře splněno), zredukuje se závislost boční síly na rychlosti na vztah

$$F_b = F_{\text{odp}} \sin \varphi = \frac{1}{2} CS\rho uv \sim v. \quad (2)$$

Lze tedy říct, že v jisté aproximaci platí, že velikost boční síly je úměrná rychlosti auta. Otázka je, jak se to projeví na řízení. Začne-li síla náhle působit, zareaguje řidič až za určitý čas. Za tu dobu způsobí boční síla vychýlení automobilu o vzdálenost, která je úměrná její velikosti. Tedy s rostoucí rychlostí auta roste i účinek větru na jeho pohyb. Navíc je otázkou, jak se tento účinek projeví na řízení. Obecně totiž platí, že při vyšší rychlosti je auto hůře ovladatelné, a tedy by i stejný účinek byl při větší rychlosti pro řidiče horší.

Honza Houštek

honza@fykos.mff.cuni.cz