

# CONTROLLING SINGLE-TRACK VEHICLE MODEL

**Petr Boháč**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xbohac01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Marie Havlíková

E-mail: havlika@feec.vutbr.cz

**Abstract:** The aim of this paper is to find suitable controller to control single-track vehicle model during “moose test”. There is also described nonlinear influence of slip angle on process of simulation. At the end of this paper I suggest optimal parameters of PID controller in dependence on vehicle speed.

**Keywords:** Single-track vehicle model, slip angle, preview, PID controller.

## 1. ÚVOD

V současné době je často diskutovanou otázkou bezpečnost silničního provozu. Za mnoho dopravních nehod může lidský faktor, proto je snahou nalézt způsob jak tyto chyby eliminovat. Cílem této práce je nalézt vhodný regulátor pro řízení modelu vozidla, který by mohl sloužit jako srovnání s modelem lidského řidiče, vytvořeným v mé bakalářské práci.

## 2. JEDNOSTOPÝ MODEL VOZIDLA

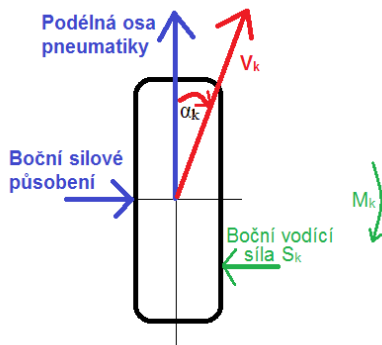
Pro simulaci směrové dynamiky vozidla lze zvolit několik modelů. Jednodušším z nich, ale dostatečně popisujícím zkoumané vlastnosti, je jednostopý rovinný model. Tento model má pouze přední a zadní kolo umístěné v ose vozidla. Nedochází u něj k naklápění vozidla vlivem bočního zrychlení a tedy přesunu těžiště, které by mělo za následek změnu chování kol. Boční a hnací síla působí přímo na nápravu. Předpokladem pro tento model je, že řízení je absolutně tuhé a směrové výchylky levého a pravého kola jsou stejné.

Ve své práci se zabývám pouze případem, kdy vozidlo jede stálou rychlostí, proto směrovou tuhost pneumatik  $C_\alpha$  nebude ovlivňovat zrychlení či brzdění. Taktéž zanedbám vliv bočního větru. Rovnice popisující tento model lze nalézt v knize pana profesora Vlka *Dynamika motorových vozidel*. [1, rovnice 12.40c]

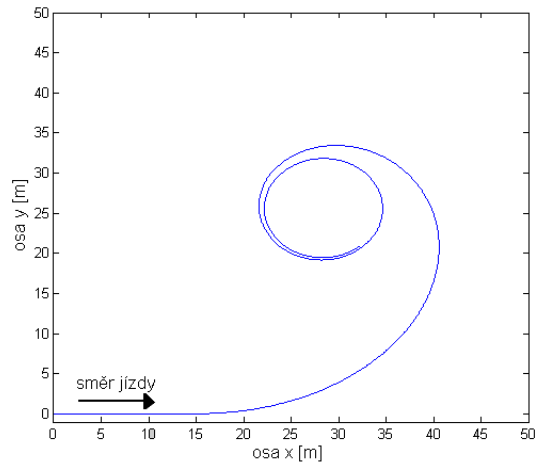
### 2.1. MODEL PNEUMATIKY

Model pneumatiky představuje významnou část simulace chování automobilu na vozovce. Při průjezdu automobilu zatáčkou působí na kola boční síly. Jejich působením na kolo se mění plocha, kterou se pneumatika dotýká vozovky. Reakcí na boční sílu je boční vodící síla kola  $S_k$ . Působení sil na pneumatiku má za následek pružnou deformaci, jejíž velikost je ovlivněna boční tuhostí pneumatiky a působící silou. Pokud se kolo otáčí, nepohybuje tedy ve směru podélné osy, ale směr pohybu je vychýlen o úhel  $\alpha_k$ . Vektor rychlosti pohybu kola je označen  $V_k$ .

Při výchylkách kola oproti směru jízdy větších než  $3^\circ$  se začíná projevovat nelinearita boční vodící síly  $S_k$ . Tato nelinearita zásadním způsobem ovlivňuje chování vozidla. Působení sil na pneumatiku je zobrazeno na obrázku 1.



**Obrázek 1:** Působení boční síly na pneumatiku.



**Obrázek 2:** Znázornění trajektorie vozidla

Pro znázornění nelineární odezvy vozidla lze zobrazit na obrázku 2 situaci, kdy řidič jedoucí přímo rovně rychlostí 50 km/h v čase  $t = 1$  s znenadání otočí volantem tak, aby kola svírala s karosérií úhel  $\gamma = 5^\circ$ . Působením boční síly na pneumatiku nejede vozidlo směrem natočení kol, ale odchyluje se od tohoto směru o úhel  $\alpha_k$ , a jede tímto odchýleným směrem. Kvůli nelinearitě směrové tuhosti pneumatik dochází k postupnému vyrovnání sil a vozidlo začíná obepisovat stálý kruh.

Hodnoty parametrů vozidla při ustáleném zatáčení v rychlosti 50 km/h jsou:

příčné zrychlení  $a_y = 0,35 \text{ m/s}^2$ ,

směrová výchylka pneumatik  $\alpha_k = 0,338^\circ$ .

Při stejném testu, ale s vyšší rychlostí vozidla se prodlouží doba trvání přechodného děje, během kterého se vyrovnává působení sil, ale hodnoty parametrů ustáleného zatáčení zůstávají stejné.

### 3. PARAMETRY ŘIDIČE

#### 3.1. TEST

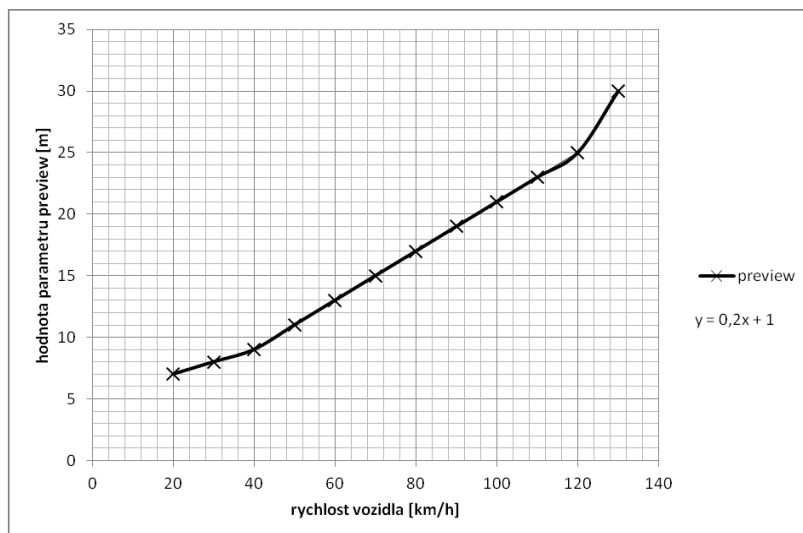
Pro vyhodnocení schopnosti regulátoru řídit simulovaný automobil jsem vybral manévr změny jízdního pruhu, někdy též nazývaného „losí test“. Tato zkouška je příkladem krizové situace, při které je řidič nucen náhle vyhnout překážce na vozovce.

Schopnost řidiče jsem hodnotil podle toho, jestli dokázal dráhou projet, aniž by srazil některý kužel a podle toho, jak přesně sledoval zadanou trajektorii. Během testů se ukázalo, že je potřeba soustředit pozornost na čtyři kritická místa na trati. Jsou jimi začátky a konce úseků s kužely. Pokud těmito body zvládne řidič projet bez sražení kuželu, v naprosté většině případů projede i celou trasu. Potřeboval jsem tedy vytvořit kritérium, které nalezne takový model řidiče, jehož vozidlo pojede po dráze s dostatečnou rezervou na projetí kolem těchto kritických míst. Jako nejlepšího řidiče jsem označil toho, který v těchto místech projel co nejbližší středu vozovky, tedy nejdál od kuželů.

#### 3.2. PARAMETRY REGULÁTORU

Pro řízení modelu vozidla jsem zvolil regulátor typu PID, jehož vlastnosti jsou dobře popsány v každé teorii řízení. Regulační odchylku stanovuji pro místo, na které by se vozidlo dostalo, kdyby pokračovalo v jízdě směrem, kterým má natočenu podélnou osu karosérie. S vyšší rychlostí roste i vzdálenost, ze které stanovuji regulační odchylku. Tato závislost odpovídá skutečnému řízení, při kterém řidič předvídá pohyb vozidla. Hledal jsem optimální nastavení této predikované vzdálenosti (preview). Pro rychlosti v rozmezí 40 – 120 km/h odpovídá rovnici (3-1)

$$\text{predikce} = 0,2 \cdot \text{rychlost} + 1 \text{ [m, km/h]} \quad (3-1)$$



**Obrázek 3:** Nejvhodnější hodnoty parametru preview pro různé rychlosti

Optimální parametry regulátoru PID jsem našel pomocí metody simulovaného žihání. Jako nejúspěšnějšího řidiče jsem vybral toho, který minul kužely vytyčující trasu v dostatečné vzdálenosti.

Rychlost [km/h]	P	I	D	Preview
40	82	87	0	9
50	96	33	0	11
60	118	169	0	13
70	120	197	2	15
80	100	200	0	17
90	122	355	0	19

**Tabulka 1:** Optimální hodnoty regulátoru při různých rychlostech

#### 4. ZÁVĚR

Model vozidla je významně ovlivněn působením bočních sil na pneumatiku. Pro výchyly kola větší než  $3^\circ$  je toto působení nelineární.

Při návrhu vhodného regulátoru, který by dokázal s modelem vozidla absolvovat „losí test“ jsem zvolil regulátor typu PID. Vzdálenost, ze které regulační člen určuje odchylku, roste úměrně s rychlostí vozidla. Optimální nastavení parametrů je rovněž závislé na rychlosti. Derivační složka regulátoru vychází nulová, proto lze regulátor redukovat na typ PI.

#### REFERENCE

- [1] Vlk, F. Dynamika motorových vozidel: Jízdní odpory, hnací charakteristika, brzdění, odpružení, říditelnost, ovladatelnost, stabilita. 2. vydání, Brno: Prof. Ing. František Vlk DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. 432s. ISBN 80-239-0024-2