

Diplomová práce

Plně aktivní podvozek automobilu

Pavel Mašita

Obsah

- Úvod
- Cíle práce
- Koncepce řízení
- Rovinný model
- Prostorový model
- Řízení
- Návrh trajektorie
- Experimenty, vyhodnocení
- Závěr

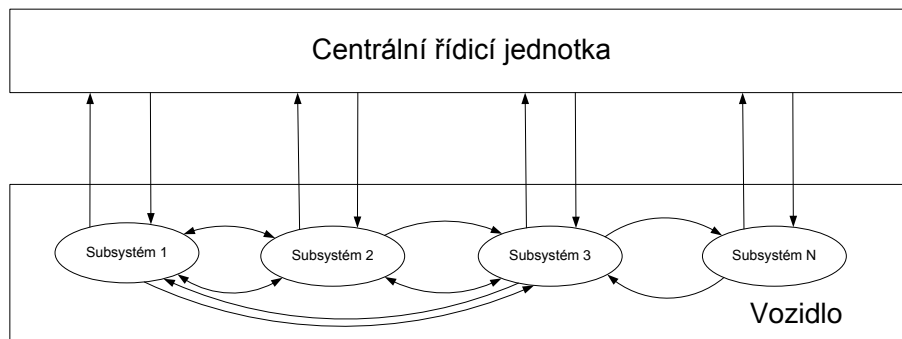
Úvod

- Vývoj techniky => aktivní podvozek s nezávisle ovládanými koly (rychlosti otáčení, úhly natočení, případně zatížení)
- Jak využít možnosti aktivního podvozku?
 - Integrované řízení
 - Optimalizace
- Vliv posuvu těžiště na jízdní vlastnosti

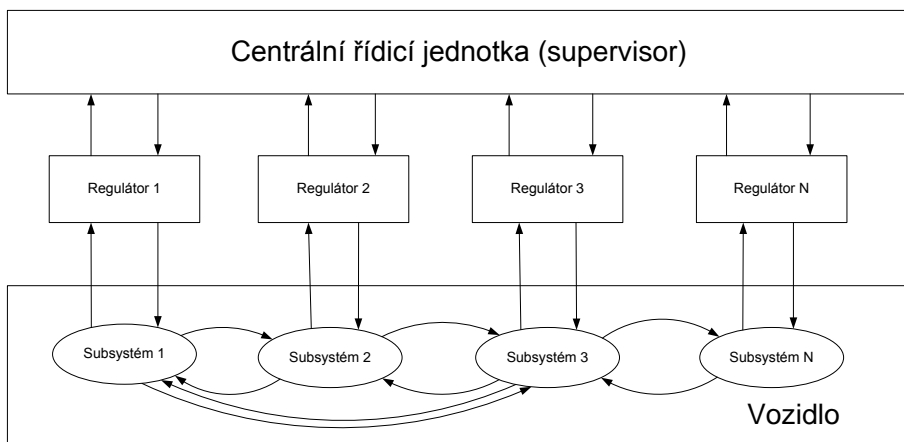
Cíle práce

- seznámení s principy řízených podvozků
- vytvoření rovinného a prostorového modelu vozidla
- návrh koncepce a optimalizace plně aktivního řízení s cílem využití potenciálu pneumatik pro vytvořené modely
- generování vhodných trajektorií jízdy
- simulace jízdy po vygenerovaných trajektoriích
- vyhodnocení simulačních výsledků

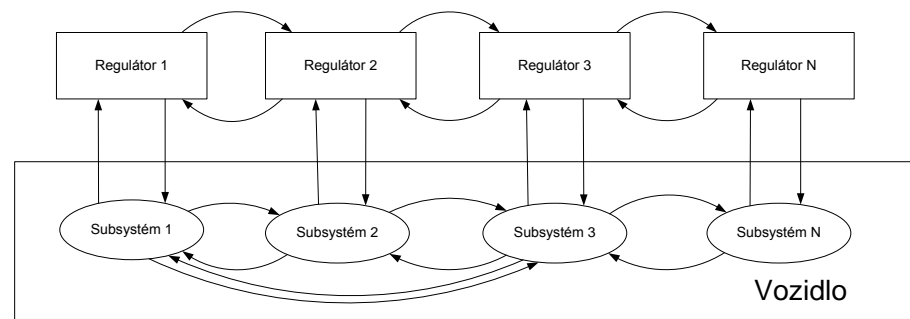
Koncepce řízení



Centralizované řízení



Supervisory control



Heterarchická struktura

Rovinný model

Dynamika v horizontální rovině

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\gamma} \\ v_x \\ v_y \end{bmatrix}_x = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ v_y \dot{\gamma} \\ -v_x \dot{\gamma} \end{bmatrix}}_{\underline{f(x)}} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{1}{I_z} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{m} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{m} \end{bmatrix}}_{\underline{B}} \underbrace{\begin{bmatrix} M_z \\ F_x \\ F_y \end{bmatrix}}_{\underline{u}}, \quad \begin{bmatrix} \dot{\gamma} \\ \beta_H \\ v_H \end{bmatrix}_y = \underbrace{\begin{bmatrix} \dot{\gamma} \\ \arctg \frac{v_y}{v_x} \\ \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \end{bmatrix}}_{\underline{h(x)}}$$

Rovnováha ve svislém směru

$$\begin{bmatrix} mg \\ hF_x \\ hF_y \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -l_v & -l_v & l_h & l_h \\ -s_l & s_r & -s_l & s_r \end{bmatrix}}_{\underline{V}} \underbrace{\begin{bmatrix} F_{z1} \\ F_{z2} \\ F_{z3} \\ F_{z4} \end{bmatrix}}_{\underline{E_z}} \Rightarrow \underline{F_z} = \underline{E_z}(\underline{u}, \Delta F_z)$$

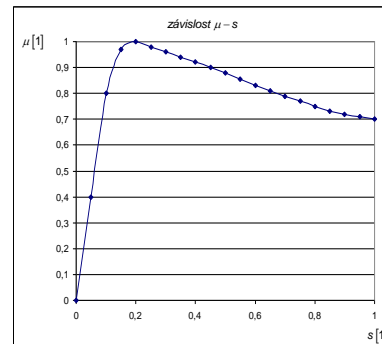
Silové účinky na těžiště

$$\underline{u} = \underbrace{\begin{bmatrix} -s_l & l_v & s_r & l_v & -s_l & -l_h & s_r & -l_h \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\underline{G}} \underline{F}_{xy}$$

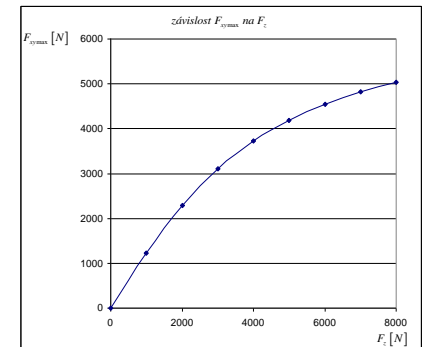
Horizontální síly na pneumatikách

$$\left. \begin{array}{l} \underline{\omega} \\ \underline{\delta} \\ \underline{y} \\ \underline{F}_z \Rightarrow F_{\max xyi} \end{array} \right\} \Rightarrow \underline{F}_{xy}$$

Síly na pneumatikách-nelineární závislosti

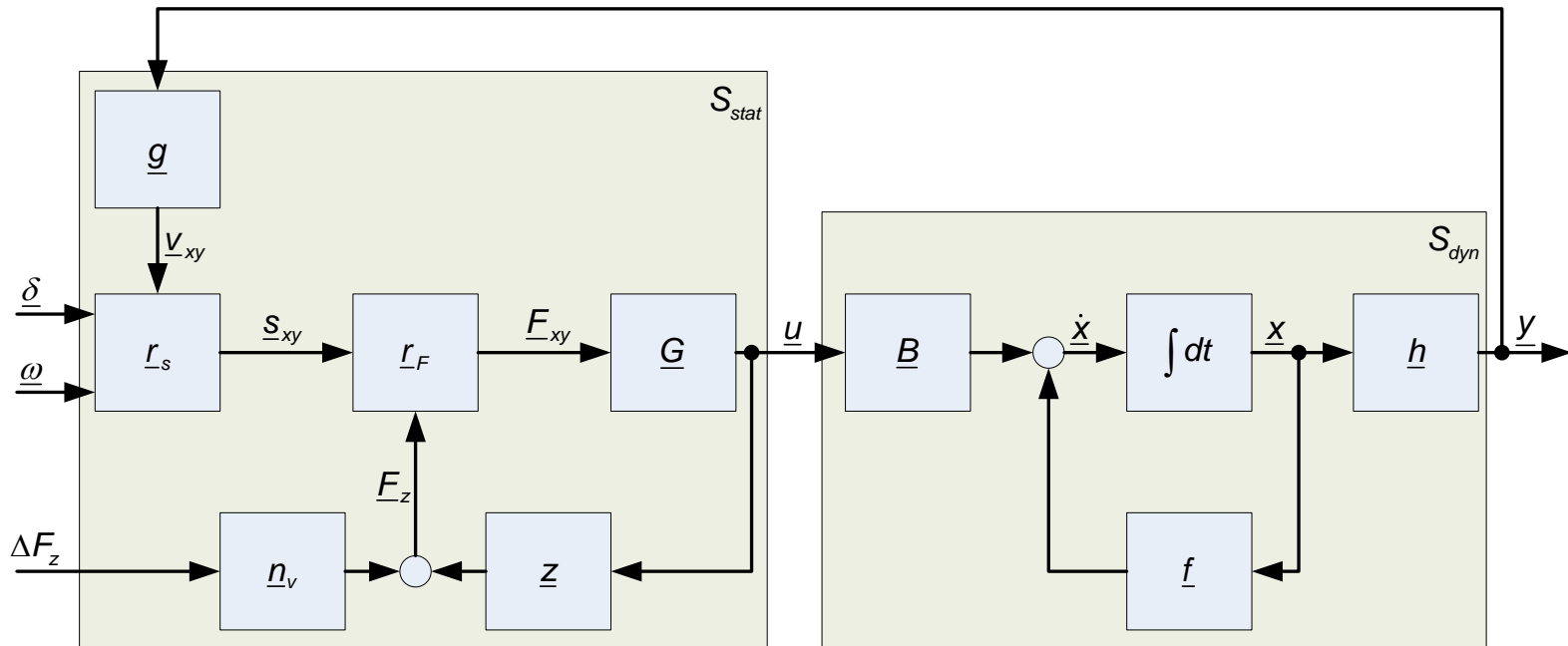


Závislost součinitele tření na skluzu pneumatiky



Závislost maximální přenositelné síly v horizontálním směru na zatížení

Blokové schéma rovinného modelu



Prostorový model

Dynamika prostorového pohybu

$\underline{\alpha} = [\alpha \quad \beta \quad \gamma]^T$... úhly pro popis sférického pohybu

$$\underline{m} \underline{a}_L = \underline{F}$$

$$\underline{I}_L \underline{\dot{\omega}} + \underline{\omega} \times \underline{I}_L \underline{\omega} = \underline{M}_L$$

↓

$${}^4 \underline{\dot{v}} = \underline{m}^{-1} {}^4 \underline{F} - {}^4 \underline{\Omega}_{14} {}^4 \underline{v}$$

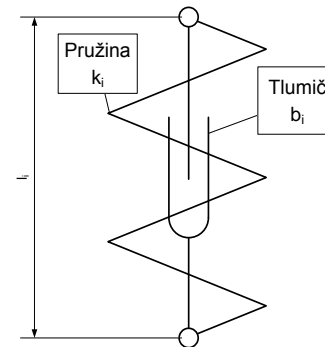
$$\underline{\ddot{\alpha}} = \underline{f}(\underline{\dot{\alpha}}, \underline{\alpha}, \underline{M}_T)$$

Silové účinky na těžiště

$${}^4 \underline{F} = \underline{S}_{xy} {}^4 \underline{F}_{xy} + \underline{S}_z {}^4 \underline{F}_z + {}^4 \underline{G}$$

$${}^4 \underline{M} = \underline{N}_{xy} {}^4 \underline{F}_{xy} + \underline{N}_z {}^4 \underline{F}_z$$

Zavěšení kol



$${}^3 \underline{F}_z = k(l - l_0) + b \dot{l}$$

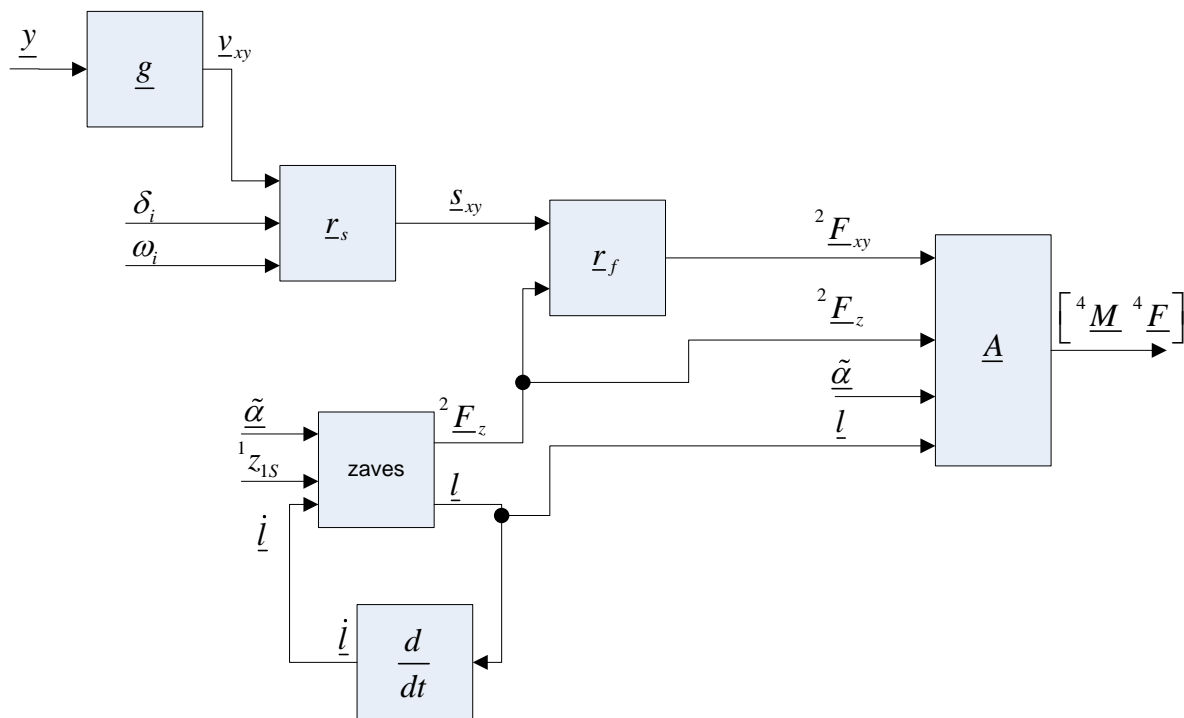
↓ transformace

$$\underline{F}_z = {}^2 \underline{F}_z \dots \text{zatížení pneumatik}$$

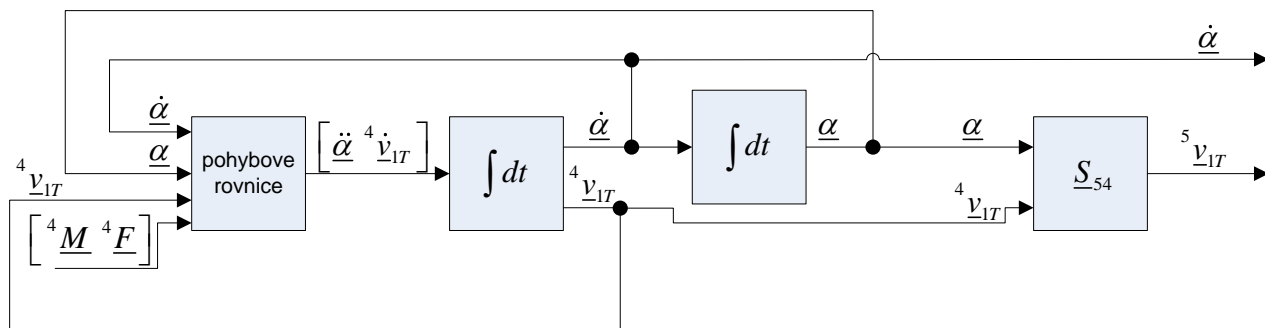
Výstup

$$\left. \begin{array}{l} \dot{\gamma} \\ {}^5 \underline{v} = \underline{S}_{54} {}^4 \underline{v} \\ \beta_H = \arctg \frac{{}^5 v_y}{{}^5 v_x} \\ v_H = \sqrt{({}^5 v_x)^2 + ({}^5 v_y)^2} \end{array} \right\} \Rightarrow \underline{y} = \begin{bmatrix} \dot{\gamma} \\ \beta_H \\ v_H \end{bmatrix}$$

Statický podsystém prostorového modelu



Dynamický podsystém prostorového modelu



Řízení

Inverze statického podsystému

žádané silové účinky na těžiště
převádí na povel pro kola

-rovinný model

$$\underline{F}_{xy} = \underline{G}^+ \underline{u}_d + \underline{N}_G \Delta \underline{F}_{xy} \quad \underline{F}_z = \underline{F}_z(\underline{u}_d, \Delta \underline{F}_z)$$

↓

$$\mu_i = \frac{\|\underline{F}_{xyi}\|}{F_{xy \max i}}$$

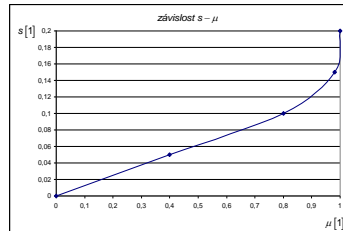
↓

$$s_i = s_i(\mu_i)$$

↓

$$\omega_i = \frac{1}{r_i} \|\underline{s}_i \|\underline{v}_i\| + \underline{v}_i\|$$

$$\delta_i = \arctg \left(\frac{\begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} (\underline{s}_i \|\underline{v}_i\| + \underline{v}_i)}{\begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} (\underline{s}_i \|\underline{v}_i\| + \underline{v}_i)} \right)$$



závislost skluzu pneumatiky
na součiniteli tření

-prostorový model

používá skutečné hodnoty \underline{F}_z

pro posuv těžiště úprava matic \underline{G} , \underline{G}^+ , \underline{N}_g

Sledovač trajektorie

z žádané a skutečné trajektorie určuje
potřebné silové účinky na těžiště

$$\underline{u} = \underline{u}_d = \underline{H}_u(\underline{y}_f, \underline{w})$$

$$\underline{w} = \dot{\underline{y}}_{f,d} - \underline{R} \underline{e}$$

$$\underline{R} = \text{diag}(R_1, R_2, R_3)$$

$$\underline{e} = \underline{y}_f - \underline{y}_{f,d}$$

...regulátor má dopřednou
a zpětnovazební část

Nastavování posuvu těžiště

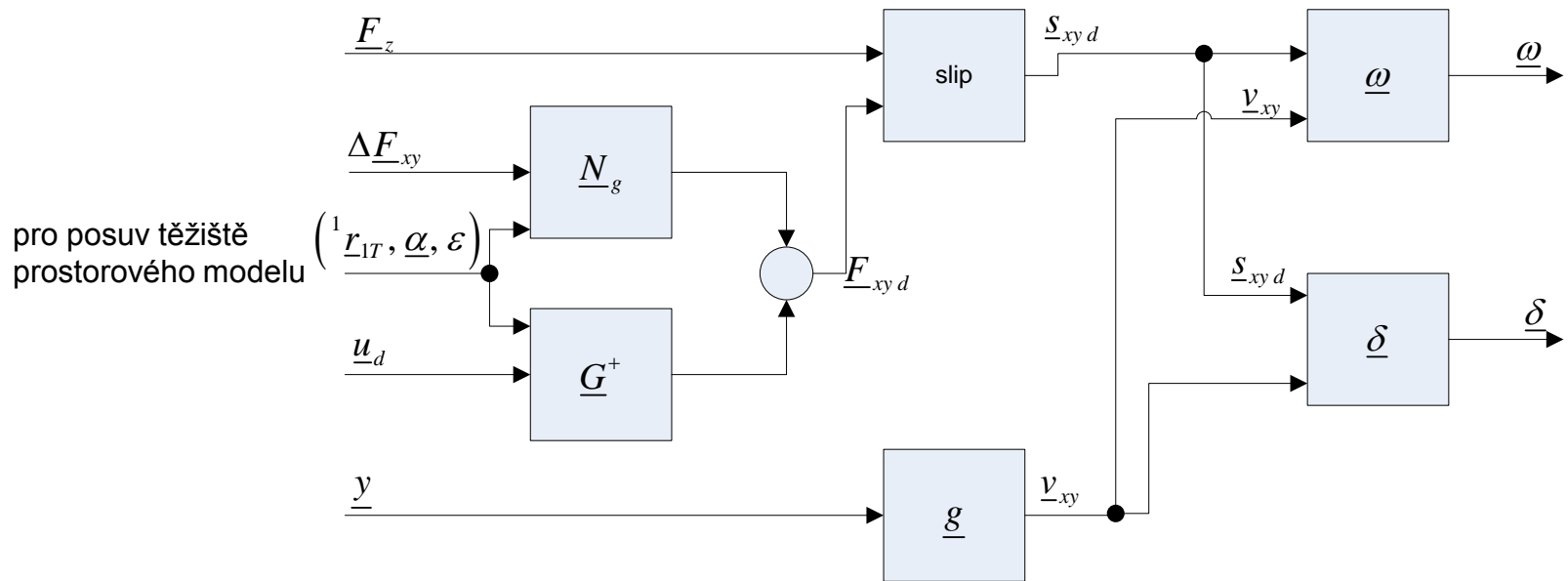
přímo úměrně odstředivé síle

$$\underline{\varepsilon} = K v_{Hd} \dot{\underline{Y}}_d$$

Řízení - optimalizace

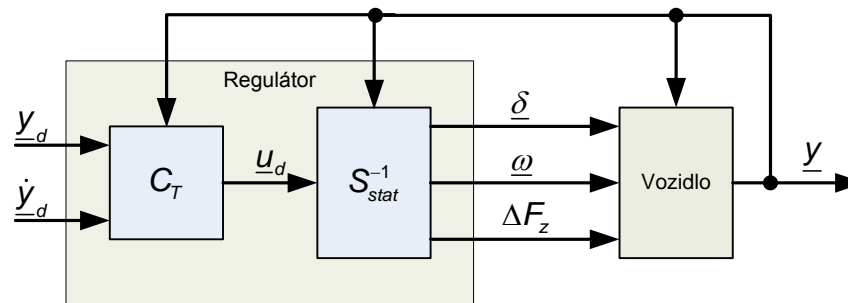
- Využití pneumatiky $\eta_i = \frac{\|\underline{F}_{xyi}\|}{F_{xy \max i}}$
- Cílová funkce $\eta = \max_i \eta_i = \max_i \frac{\|\underline{F}_{xyi}\|}{F_{xy \max i}}$
- Optimalizační parametry $\Delta \underline{F}_{xy}, \Delta F_z$
- Hledání minima $\min_{\Delta \underline{F}} \eta$

Blokové schéma inverze statického podsystemu prostorového modelu

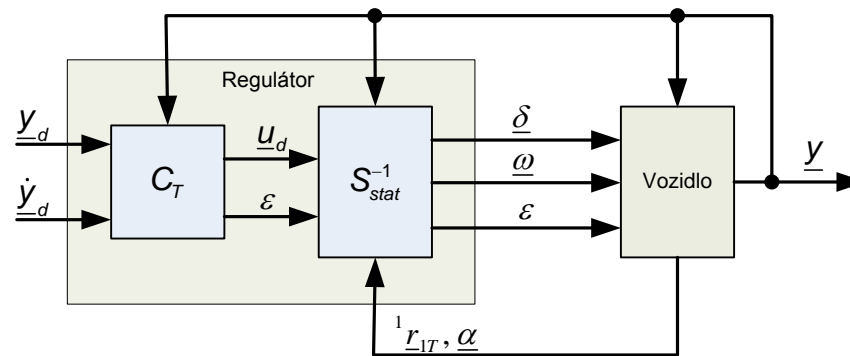


Vozidlo s řízením

Rovinný model



Prostorový model



Návrh trajektorie

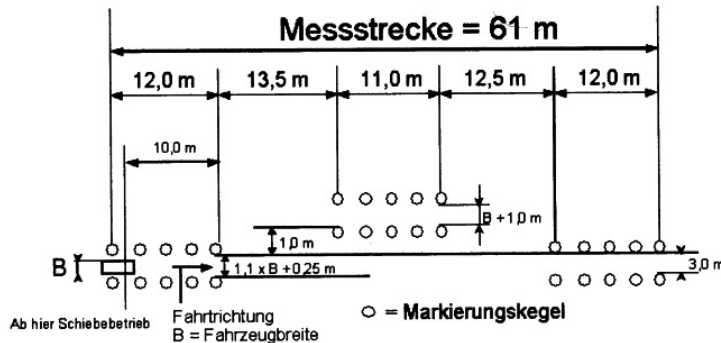
- Trajektorie vychází z prostoru, kterým má vozidlo projet, a z rychlosti, kterou se má pohybovat
- Křivka $y = y(x)$ je navržena tak, aby její minimální poloměr křivosti byl maximální (minimalizace odstředivých sil)
- Pro zvolený průběh rychlosti $v = v(t)$ je křivka parametrizována v čase $x = x(t), y = y(t)$
- Potřebné hodnoty $\underline{y} = [\dot{\gamma} \quad \beta_H \quad v_H]^T$ generuje jednostopý planární model

Simulační experimenty

- Porovnávání různých modelů
- Parametry vozidla – vozidlo nižší třídy
- Zkušební tratě

– ISO 3888-2

55 km/h

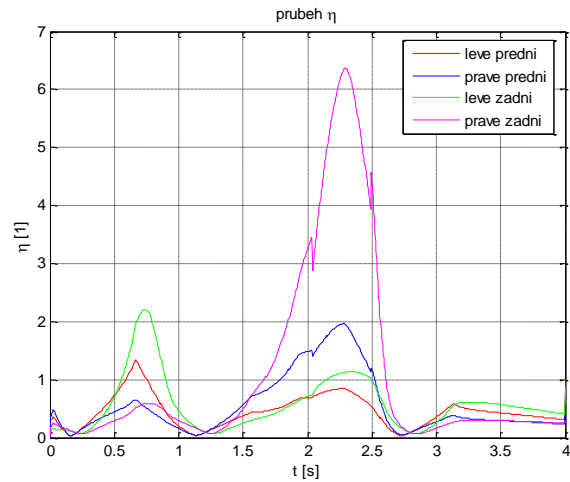


– kružnice

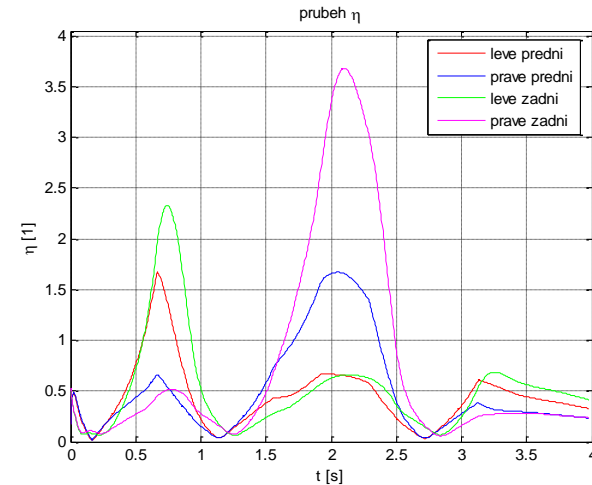
$R = 100 \text{ m}$

$$v = (50 + 1t) / 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

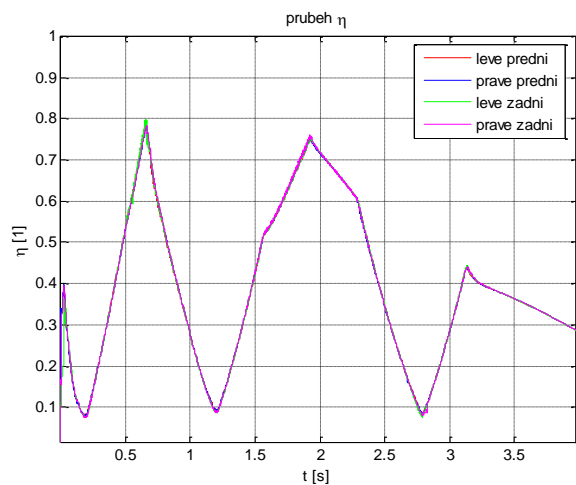
Vliv optimalizace u rovinného a prostorového modelu



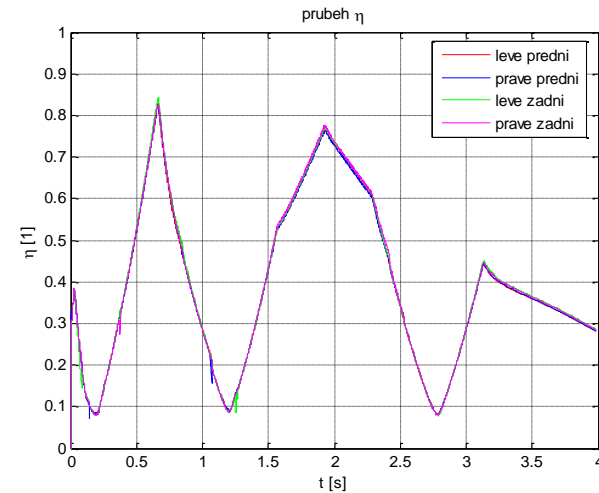
rov. model bez opt.



prost. model bez opt.

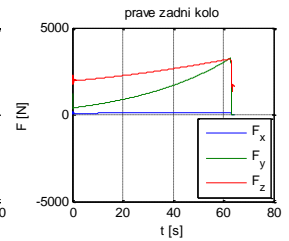
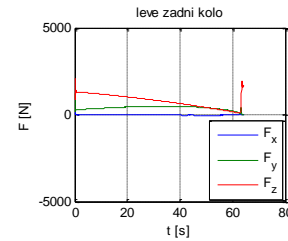
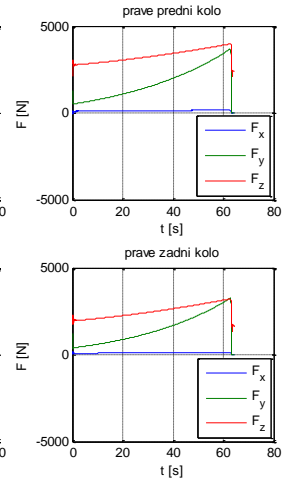
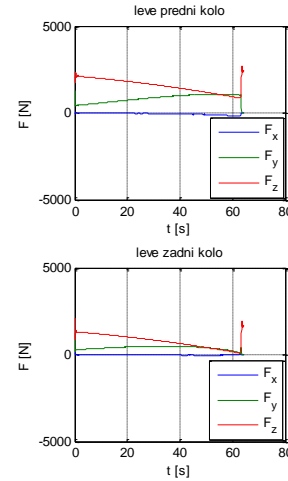
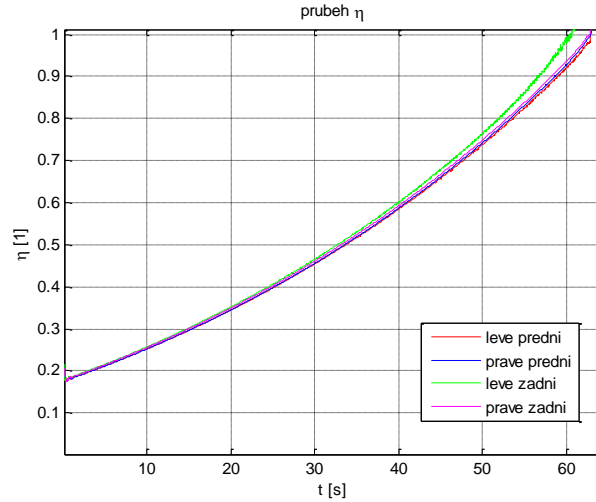
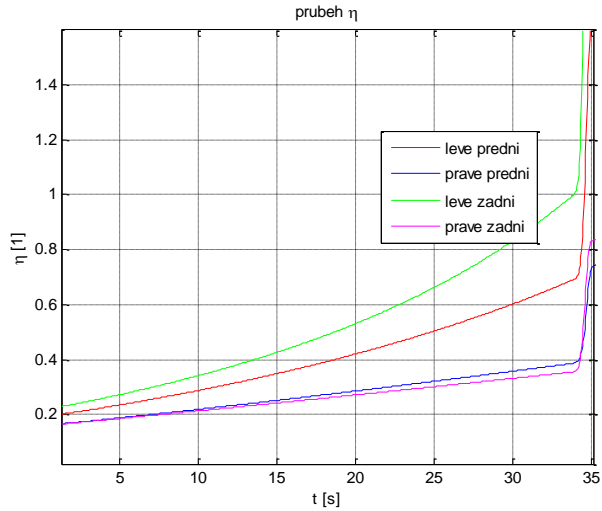


rov. model s opt.



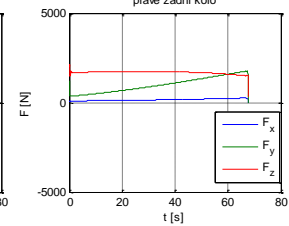
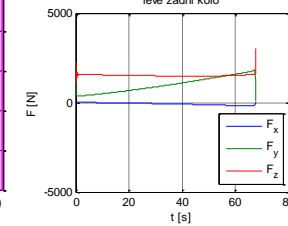
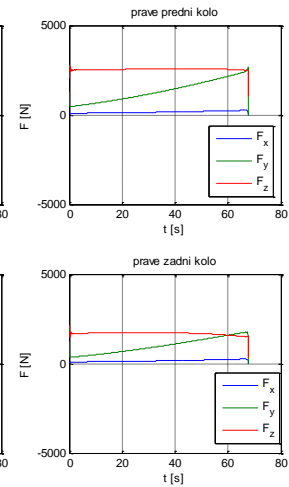
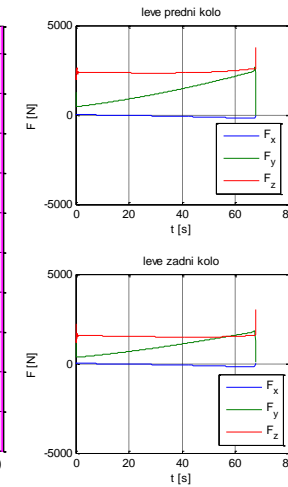
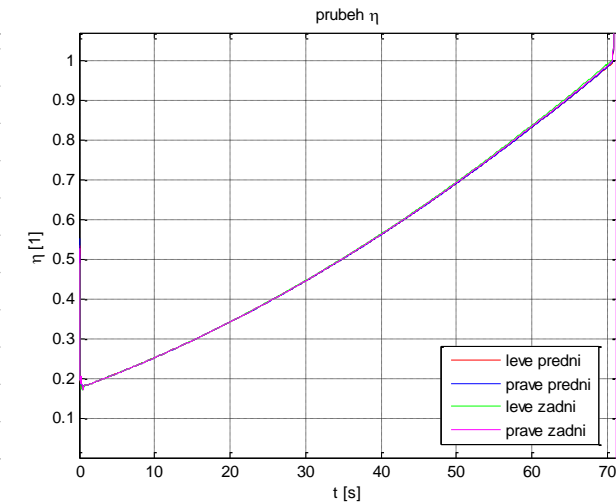
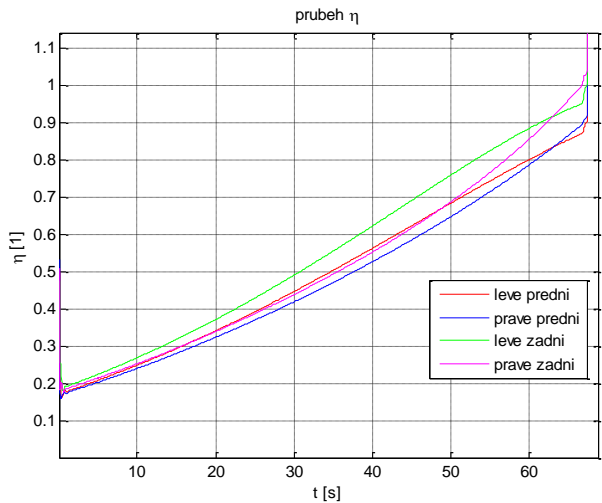
prost. model s opt.

Vliv optimalizace a posuvu těžiště



model bez posuvu těžiště bez opt.

model bez posuvu těžiště s opt.



model s posuvem těžiště bez opt.

model s posuvem těžiště s opt.

Vyhodnocení

- Kladný vliv optimalizace řízení-lepší využití možností aktivního podvozku
 - Rozložení horizontálních sil na kola podle jejich zatížení => vyrovnaní využití jednotlivých kol, zvětšení rezervy, se kterou vozidlo projíždí zadanou trajektorií
- Kladný vliv posuvu těžiště na rozložení zatížení na kola
 - Zatížení pravé a levé strany vozidla se vyrovnává

Závěr

- Splněny cíle práce
- Ověřeny možnosti aktivního podvozku+posuvu těžiště
- Další vývoj
 - Optimalizační proces
 - Reálnější model
 - Adaptivní plánování trajektorie