Fordonsdynamik med reglering

Jan Åslund
jaasl@isy.liu.se
Associate Professor

Dept. Electrical Engineering
Vehicular Systems
Linköping University
Sweden

Föreläsning 1

Introduktion: Kurslitteratur

Theory of Ground Vehicles, J.Y. Wong

- Kapitel 1: Däck
- Kapitel 3: Prestanda
- Kapitel 5: Kurvtagning
- Kapitel 7: Komfort

Introduktion

Föreläsningsplan:

Föreläsning 1: Kapitel 1.1-1.3

Föreläsning 2-3: Kapitel 3 + extra material

Föreläsning 4-8: 1.4-1.5, 5 + extra material

Föreläsning 9-10: Kapitel 7

Lektionsplan:

Övningsuppgifter till lektionerna delas ut på lektionerna och finns att hämta på kurshemsidan.

Introduktion: Laborationer

Laboration 1: Inbromsning, ABS-system.

Laboration 2: Lateraldynamik.

Laboration 3: Antisladdsystemet.

Laboration 4: Vertikaldynamik, semi-aktiva dämpare.

Däck

Figur 1.1: Däckets uppbyggnad

Figur 1.2: Koordinater, krafter och moment.

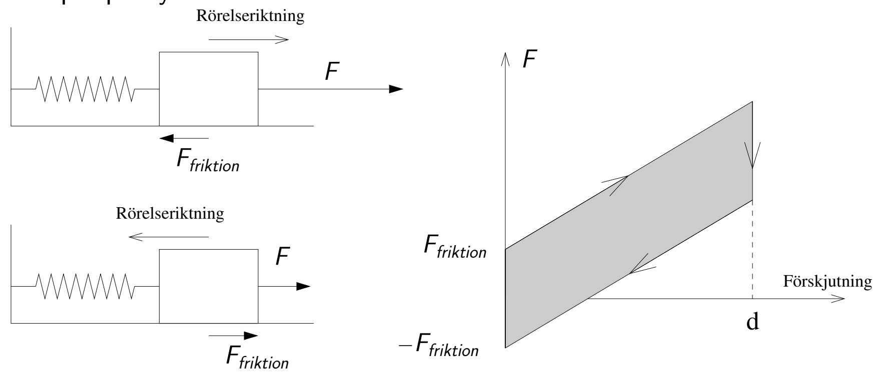
Rullmotstånd

Det största bidraget till rullmotståndet är hysteres i däcket. Andra faktorer som bidrar till rullmotståndet är

- Friktion mellan däck och underlag
- Cirkulerande luft i däcket

Rullmotsånd: Hysteres

Exempel på hysteres orsakad av friktion

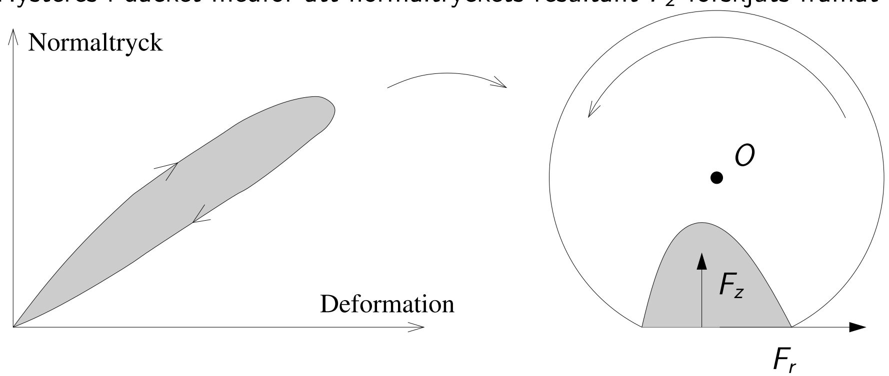


Energin som förloras p.g.a. hysteres under en cykel är lika stor som arean innan för kurvan:

$$2 \cdot d \cdot F_{friktion}$$

Rullmotstånd: Hysteres

Hysteres i däcket medför att normaltryckets resultant F_z förskjuts framåt



För ett fritt rullande hjul måste det finns en horizontell kraft F_r när hjulet är i jämvikt. Detta inses genom att välja punkten O som momentpunkt.

Rullmotstånd

Kvoten mellan rullmotståndet och normalkraften definieras som rullmotståndskoefficienten f_r. Rullmotståndet beror bl.a. av hastigheten. Empiriska samband mellan f_r och hastigheten V:

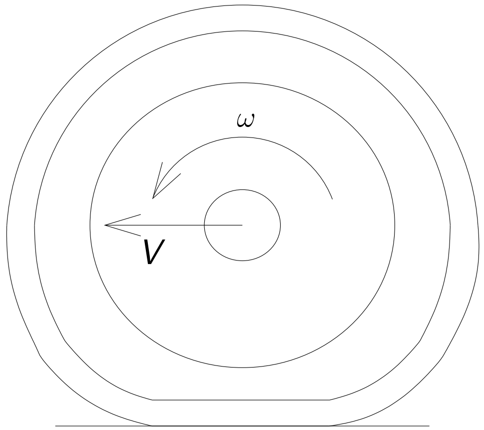
Radialdäck på bil: $f_r = 0.0136 + 0.40 \times 10^{-7} V^2$

Radialdäck på lastbil: $f_r = 0.006 + 0.23 \times 10^{-6} V^2$

Däckets konstruktion påverkar givetvis rullmotståndet. Andra faktorer som påverkar rullmotståndet visas i figurerna i läroboken, t.ex.

- Underlag, figur 1.5.
- Trycket i däcket, figur 1.7 och 1.8.
- Temperatur, figur 1.11 och 1.12.

Drivande hjul



Definierar

Rullradie för ett fritt rullande hjul: $r = V/\omega$.

Rullradie för ett drivande hjul: $r_e = V/\omega$.

Drivande hjul

Longitudinellt slipp

$$i = \left(1 - \frac{V}{\omega r}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{r_e}{r}\right) \times 100\%$$

Gränsfallen:

$i = 0$ om hjulet rullar fritt

$i = 100\%$ om $V = 0$, d.v.s. hjulet står still och spinner.

Borstmodellen

Borstmodellen är en enkel däcksmodell. Däckets kontaktyta består i denna modell av böjliga strån som p.g.a. utböjning ger upphov till sid- och längskrafter.

Längden på kontaktytan betecknas l_t och vi antar att normalkraften per längdenhet är jämt fördelad över kontaktytan

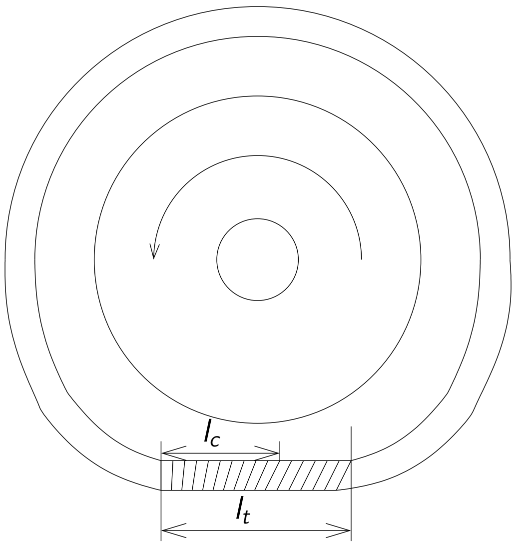
$$\frac{dF_z}{dx} = \frac{W}{l_t}$$

där W är normalkraften.

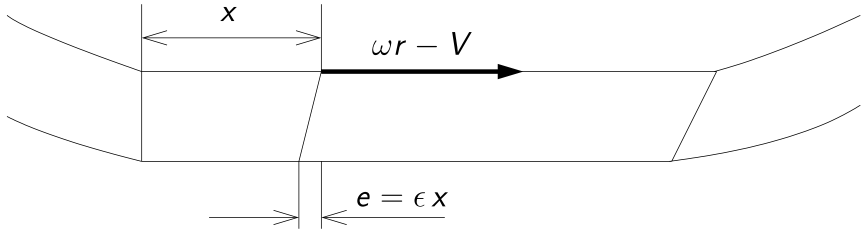
Kontaktytan mellan däck och underlag kan delas upp i två regioner:

- En vilozon utan glidning med längd l_c
- En glidzon med längd $l_t - l_c$

Borstmodellen



Bortsmodellen: Vilozonen



Översta delen av strået rör sig bakåt med hastigheten

$$\omega r - V$$

relativt marken.

Tiden som den nedersta delen har varit i kontakt med underlaget är

$$t = \frac{x}{\omega r}$$

Borstmodellen: Vilozonen

Vi antar att $e = 0$ för $x = 0$; se läroboken för en mer allmän teori. Detta ger förskjutningen

$$e(x) = (\omega r - V)\frac{x}{\omega r} = \left(1 - \frac{V}{\omega r}\right) x = ix$$

Linjär modell för sambandet mellan förskjutning och kraft

$$\frac{dF_x}{dx} = k_t e = k_t x i$$

Villkor för att strået inte ska glida

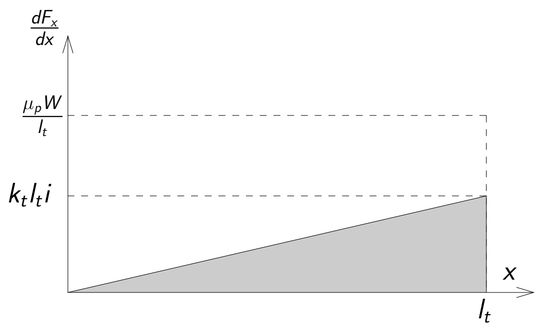
$$\frac{dF_x}{dx} \leq \mu_p \frac{W}{l_t} = \left(\mu_p \frac{dF_z}{dx}\right)$$

där μ_p är friktionskoefficienten.

Borstmodellen: Ingen glidzon

Villkoret för att ingen del av kontaktzonen glider kan skrivas

$$k_t l_t i \leq \frac{\mu_p W}{l_t} \quad \text{eller} \quad i \leq \frac{\mu_p W}{k_t l_t^2} \equiv i_c$$



$$F_x = \text{Triangelns area} = \frac{1}{2} k_t l_t^2 i \equiv C_i i$$

Borstmodellen: Ingen glidzon

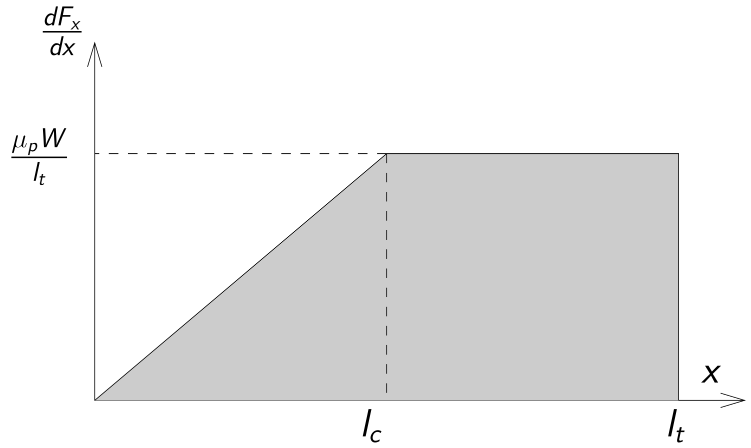
För

$$i = i_c = \frac{\mu_p W}{k_t l_t^2}$$

får vi

$$F_x = \frac{1}{2} k_t l_t^2 \frac{\mu_p W}{k_t l_t^2} = \frac{\mu_p W}{2} \equiv F_{xc}$$

Borstmodellen: Med glidzon



Borstmodellen: Med glidzon

I vilozonen gäller att

$$\frac{dF_x}{dx} = k_t x i \leq \frac{\mu_p W}{l_t} \quad \text{eller} \quad x \leq \frac{\mu_p W}{k_t l_t i} \equiv l_c$$

Totala kraften ges av arean under kurvan

$$F_x = \frac{1}{2} \frac{\mu_p W}{l_t} l_c + \frac{\mu_p W}{l_t}(l_t - l_c) = \mu_p W \left(1 - \frac{1}{2} \frac{l_c}{l_t}\right)$$

Borstmodellen: Sammanfattning

Kritiska värden på slipp och kraft

$$i_c = \frac{\mu_p W}{k_t l_t^2} = \frac{\mu_p W}{2 C_i} \text{ och } F_{xc} = \frac{\mu_p W}{2} = C_i i_c$$

Det finns ingen glidzon då $i \leq i_c$ eller $F_x \leq F_{xc}$ och då är

$$F_x = \frac{k_t l_t^2}{2} i = C_i i$$

För $i > i_c$ eller $F_x > F_{xc}$ är vilozonens längd

$$l_c = \frac{\mu_p W}{k_t l_t i}$$

och kraften ges av

$$F_x = \mu_p W \left(1 - \frac{1}{2} \frac{l_c}{l_t}\right) = \mu_p W \left(1 - \frac{\mu_p W}{4 C_i i}\right)$$

Bromsande hjul

För ett bromsande hjul använder vi följande mått för glidet mellan däck och underlag(eng: *skid*):

$$i_s = \left(1 - \frac{\omega r}{V}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{r}{r_e}\right) \times 100\%$$

Gränsfallen:

$i_s = 0$ om hjulet rullar fritt

$i_s = 100\%$ om $\omega = 0$, d.v.s. hjulet är låst.

Samband mellan i och i_s

$$i = -\frac{i_s}{1 - i_s}$$

och

$$i_s = -\frac{i}{1 - i}$$

Bromsande hjul: Sammanfattning

$$C_s = \left.\frac{\partial F_x}{\partial i_s}\right|_{i_s=0}$$

Kritiska värden på glid och kraft

$$i_{sc} = \frac{\mu_p W}{2C_s + \mu_p W}$$

$$F_{xc} = \frac{C_s i_{sc}}{1 - i_{sc}} = \frac{\mu_p W}{2}$$

Utan glidzon ($i_s \leq i_{sc}$)

$$F_x = \frac{C_s i_s}{1 - i_s}$$

Med glidzon ($i_s > i_{sc}$)

$$F_x = \mu_p W \left(1 - \frac{\mu_p W (1 - i_s)}{4 C_s i_s}\right)$$