



Elektrifiering av tunga fordon

- Dynamisk analys av samverkan mellan fordon, strömavtagare och kontaktledning

Lars Drugge

KTH Fordonsdynamik

1



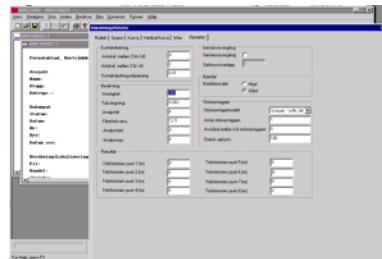
Innehåll

- Simuleringsprogram
- Modellbeskrivning
- Simuleringsfall
- Resultat
- Sammanfattning

2

Simuleringsprogram

- Framtaget som ett hjälpmedel vid konstruktion och utvärdering av kontaktledningssystem
- Utvecklat i samarbete med Trafikverket
- Integrerat med Trafikverkets Bärtrådsprogram

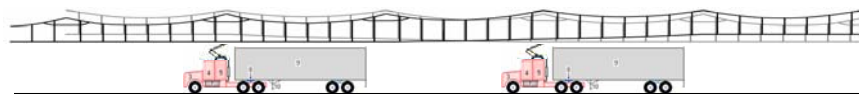


CaPaSIM

3

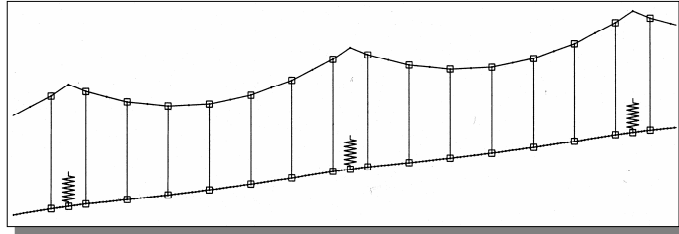
Modellbeskrivning

- FEM-modeller:
 - Kontaktledning
 - Strömavtagare
 - Fordonsmodell
- Möjlighet att simulera en eller flera verksamma strömavtagare



4

Kontaktledning



2-D FEM-modell:

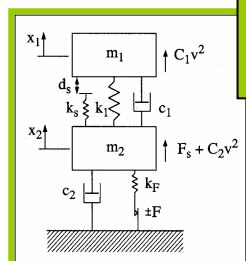
- Kontakttråd, bärlina: Balk-/stångelement
- Bärtrådar: Wire-/stångelement
- Tillsatsrör: Fjäderelement + punktmassa
- Klämmor: Punktmassor

5

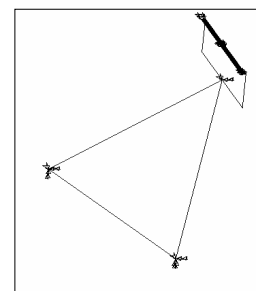
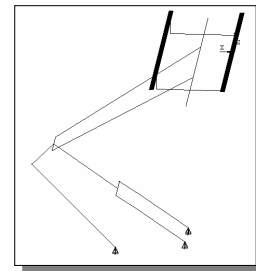
Strömavtagare

1-D (2-D/3-D) modell:

- En/flera frihetsgrader
- Punktmassor (balkelement)
- Fjäder-dämparelement
- Friktionselement
- Förskjutningsbegränsning



2-DOF
Schunk
WBL88
-X2

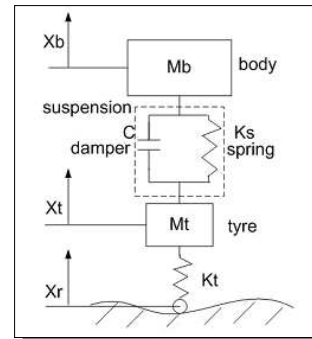


6

Fordonsmodell

Kvartsbilmodell (1-D):

- Två frihetsgrader
- Punktmassor
- Fjäder-dämparelement



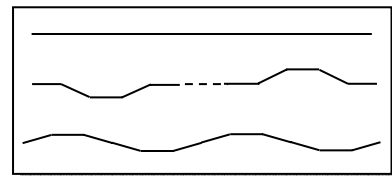
Tabell 1: Fordonsdata

	Vikt [kg]	Styvhet [N/m]	Dämpning [Ns/m]
Chassi	3400	270 000	6 000
Hjul	350	950 000	300

7

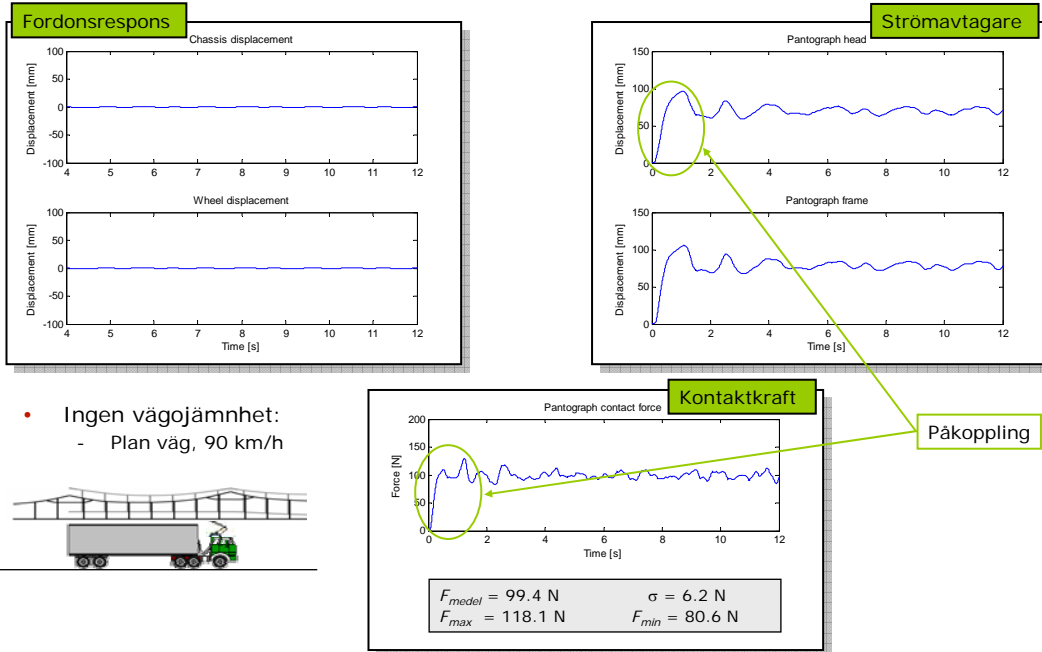
Simuleringsfall

- Kontaktledning SYT 7.0/9.8 (sth 200 km/h)
- Ett fordon med en Schunk WBL88-X2 strömavtagare
- Konstant hastighet: 80, 90, 100 km/h
 - Påkoppling i fart
- Tre simuleringsfall:
 - Plan väg, inga vägojämnheter
 - Vaghöjning/sättning (+/-50 mm)
 - "Vågformad" ojämnheter (+/-20 mm)



8

Resultat – Plan väg, 90 km/h



9



Sammanställning av resultat – Plan väg

Tabell 2: Kontaktkraft, plan väg

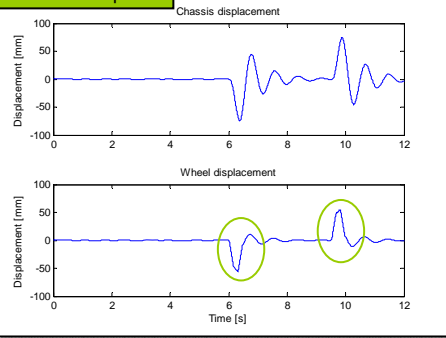
Hastighet	80 km/h	90 km/h	100 km/h
F _{medel} [N]	99,6	99,3	99,2
Std.av. [N]	4,7	6,2	7,9
TSI gränsvärde [N]	29,9	29,8	29,8
F _{max} [N]	113,6	118,1	122,7
F _{min} [N]	85,6	80,6	75,6
F _{max} gränsvärde [N]	200	200	200
F _{min} gränsvärde [N]	10,0	9,9	9,9

$\sigma \leq 0.3 F_{medel}$
 $F_{max} \leq 200 \text{ N}$
 $F_{min} \geq 0.1 F_{medel}$

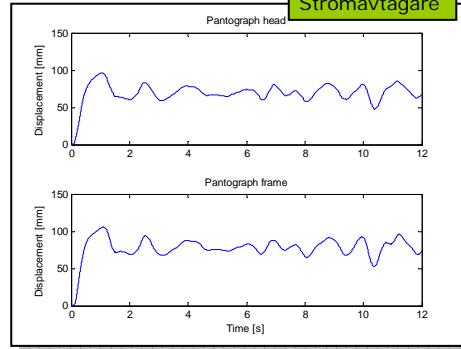
10

Resultat – Vaghöjning/sättning, 90 km/h

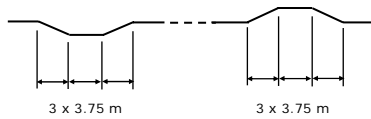
Fordonsrespons



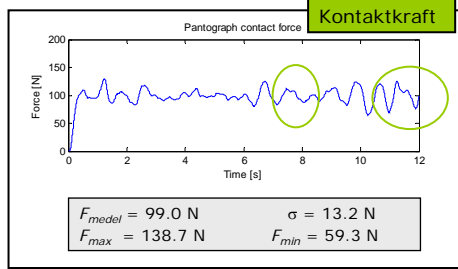
Strömavtagare



- Vågojämnhet:
 - Vaghöjning/sättning
 - Rampformad
 - Amplitud, 50 mm



Kontaktkraft



11



Resultat – Vaghöjning/sättning (+/-50 mm)

Tabell 3: Kontaktkraft, vaghöjning/sättning

Hastighet	80 km/h	90 km/h	100 km/h
F _{medel} [N]	99,7	99	99
Std.av. [N]	11,6	13,2	13,3
TSI gränsvärde [N]	29,9	29,7	29,8
F _{max} [N]	134,5	138,7	139,3
F _{min} [N]	64,9	59,3	59,3
F _{max} gränsvärde [N]	200	200	200
F _{min} gränsvärde [N]	10,0	9,9	9,9

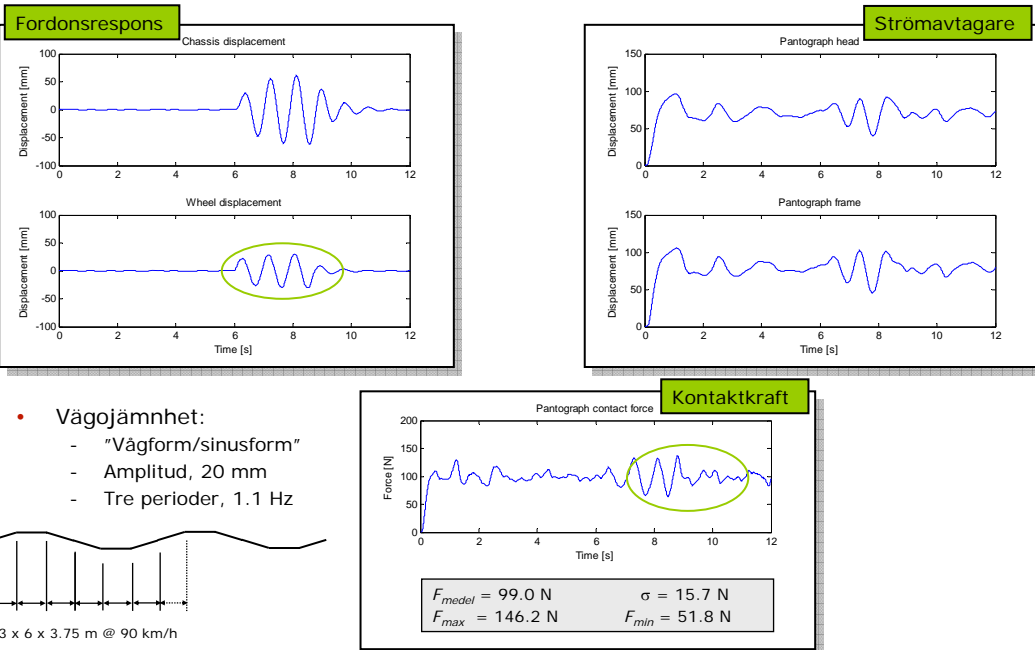
$$\sigma \leq 0.3 F_{\text{medel}}$$

$$F_{\text{max}} \leq 200 \text{ N}$$

$$F_{\text{min}} \geq 0.1 F_{\text{medel}}$$

12

Resultat – Vågformad vägojämnhet, 90 km/h



13



ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Resultat – Vågformad vägojämnhet (+/-20 mm)

Tabell 4: Kontaktkraft, vågformad vägojämnhet

Hastighet	80 km/h	90 km/h	100 km/h
F _{medel} [N]	99,4	99	98
Std.av. [N]	13,6	15,7	17,9
TSI gränsvärde [N]	29,8	29,7	29,5
F _{max} [N]	140,3	146,2	153,2
F _{min} [N]	58,5	51,8	45,6
F _{max} gränsvärde [N]	200	200	200
F _{min} gränsvärde [N]	9,9	9,9	9,8

$\sigma \leq 0.3 F_{medel}$
 $F_{max} \leq 200 \text{ N}$
 $F_{min} \geq 0.1 F_{medel}$

14

Sammanfattning

- Analys av samverkan mellan fordon, strömavtagare och kontaktledning utförd för tre simuleringsfall vid tre olika hastigheter.
- De preliminära resultaten visar att påkoppling i fart fungerar väl och att kontaktkraftvariationen är låg för ett tungt fordon som färdas i 80-100 km/h.
- Kraftvariationen ökar då vägen har ojämnheter i form av lokala sättningar/väghöjningar eller sinusformade ojämnheter, men standardavvikelsen samt max- och minkrafter är fortfarande inom tillåtna gränser för de studerade fallen.

Idéer på fortsatta studier

- Förbättrad vägexciteringsmodell
 - Använda data från vägprofilmätningar?
 - Fordonsresponsmätningar?
- Förfinad fordonsmodell
 - Hyttfjädring, dämpning, motor/drivlina?
- Olika strömavtagar/kontaktledningssystem
 - Optimering av kontaktledningskonstruktion?
 - Strömavtagardesign?
- Andra körfall
 - Tunnel/bro?
 - Konvojkörning, flera fordon med korta avstånd mellan strömavtagarna?