

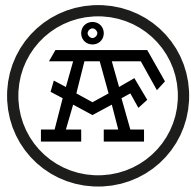
CHALMERS



Modellering av dynamiska spårkrafter från spårvagnar

Examensarbete utfört av Ejder Eken och Robert Friberg

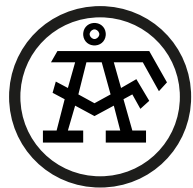
Presentation för Swedtrain, 2016-05-25



Syfte

Att ta fram ett användbart beräkningsverktyg/modell för att kunna studera effekter av olika kombinationer av fordons- och spårparameterar och hur dessa påverkar de dynamiska kontaktkrafterna vid kurvtagning med spårvagnar

De dynamiska kontaktkrafterna styr i sin tur egenskaper som slitage på hjul och räler, buller, åkkomfort, kurvtagning, spårlägesförflyttning, markvibrationer



Sammanfattning

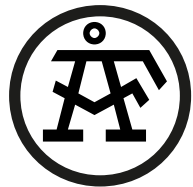
- Samarbete mellan Göteborgs spårvägar, Trafikkontoret, ÅF och Chalmers
- Simulering av beteendet vid kurvgång för två olika spårvagnar M31 och M32
- Beräkning av dynamiska spårkrafter med datorprogrammet GENSYS
- Parameterstudier
 - Hur påverkas spårkrafterna av...
 - ... kurvradier och hastigheter
 - ... hjul- och räl-profiler (både nominella och slitna profiler)
 - ... fordonsparmetrar (last, primärfjädring, sekundärfjädring, ...)

M31 (ASEA/ABB)



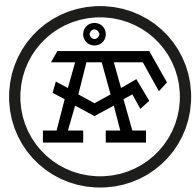
M32 (AnsaldoBreda)





Utmaningar

- Finns det/kan det hittas tillräckligt med indata för att modellera fordonen i GENSYS?
- Kan spårvagnar modelleras i GENSYS och justeras så att de beteendet hos verkliga fordon kan återskapas?
- Hur kan modellerna valideras med mätningar?
- Finns det skillnader i det dynamiska beteendet mellan modell M31 och M32? I så fall varför.

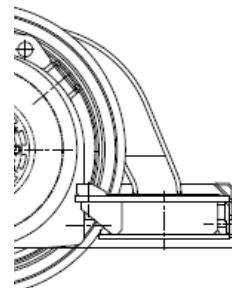
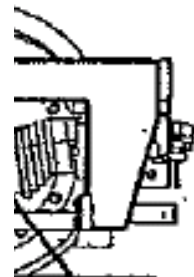
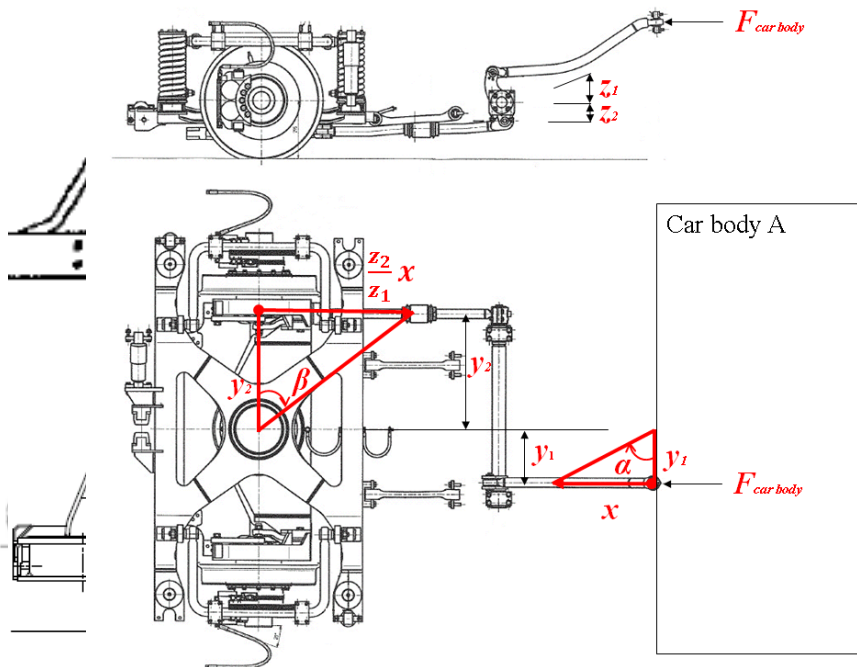


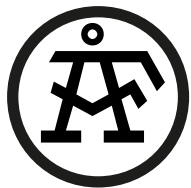
Spårvagn M31 och M32

Beskrivning av spårvagns modellerna

M31

M32

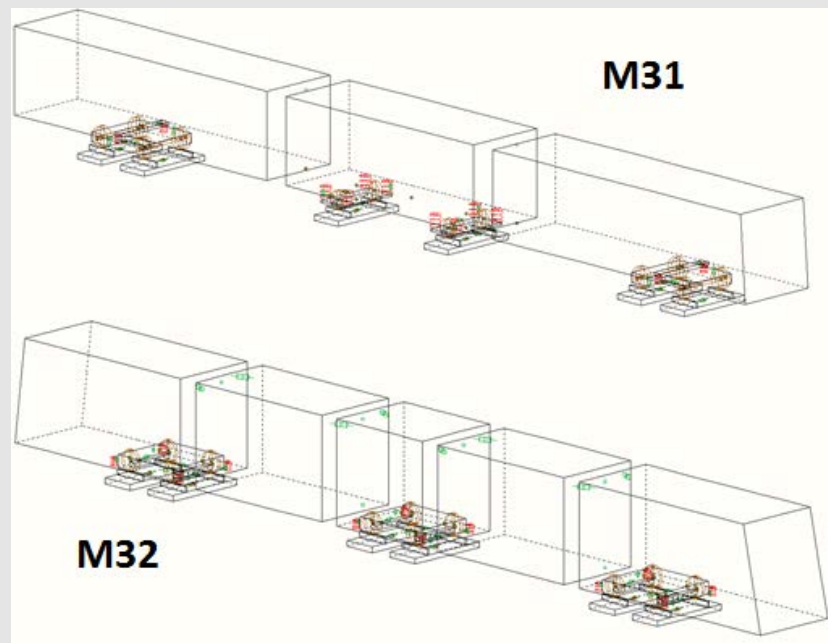


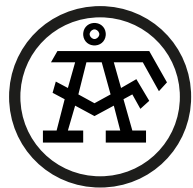


Metod

Modellering av spårvagnarna i GENSYS

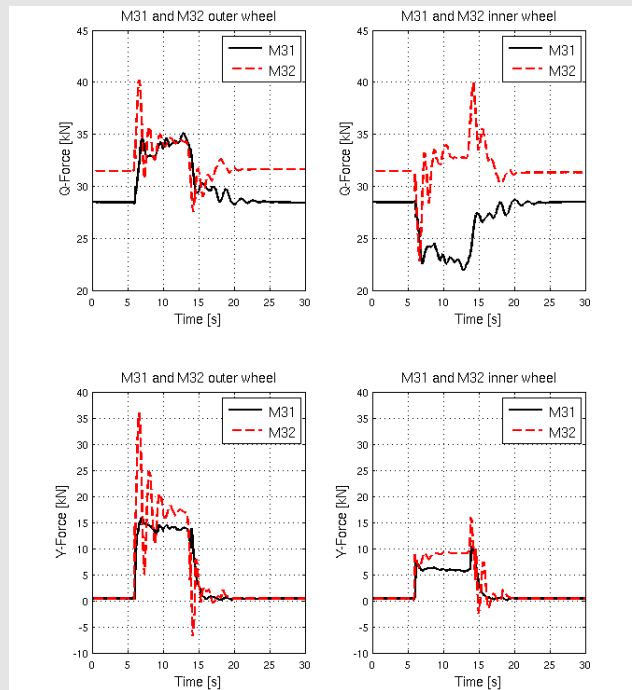
- GENSYS är en programvara som används för att simulera det dynamiska beteendet av rälsfordon
- Tidsdomän, frekvensdomän och kvasistatisk analys kan utföras med hjälp av GENSYS
- Spårvagnsmodellerna består av ett system av stela kroppar, tex vagnskorgar, boggier och hjul
- Masslösa kopplingselement som fjädrar, viskösa dämpare och friktionsbaserade kopplingar används för att koppla ihop de olika kropparna





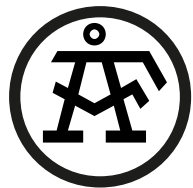
Skillnad i beteende mellan M31 och M32

- Simulering i en högerkurva med en radie på 20m. Spårvagnarna håller en konstant hastighet av 15 km/h
- Vertikala (Q) och laterala (Y) krafter på de främre hjulparen
- Stor skillnad på kurvbetendet för de två spårvagnsmodellerna. Detta beror främst på boggi konstruktionen
- Den styva boggikonstruktionen i M32 resulterar i en kraftig lateral oscillerande rörelse, hjulen "hamrar" mot rälsen. Detta beteende bekräftas från observationer av GS



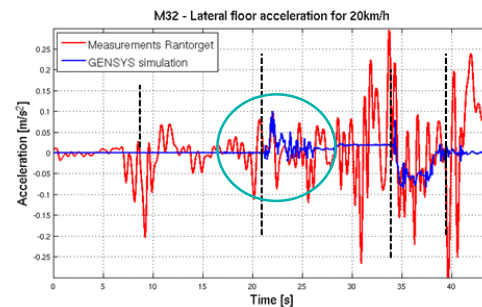
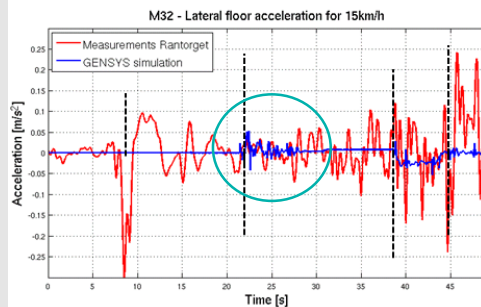
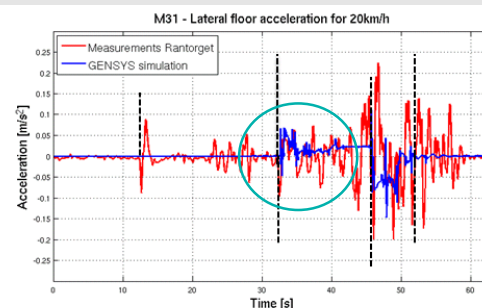
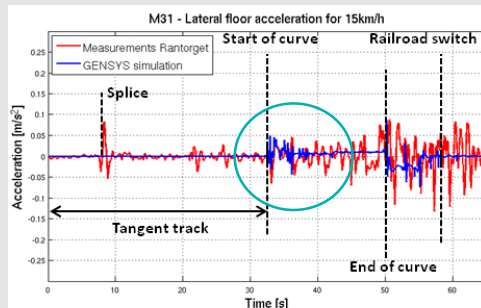


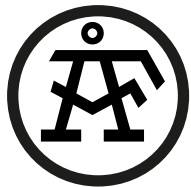
-
- Operated track



Valideringsresultat

- Mätningarna utfördes för både M31 och M32. en konstant hastighet försöktes hållas i kurvan. Mätningarna utfördes för två hastigheter, 15 km/h och 20 km/h.
- Lateral golvacceleration i främre vagnen
- Bra överensstämmelse för ingång av kurvan
- Skarvar, växlar och spårfel i senare delen försvårar jämförelse med beräkning





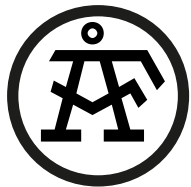
Parameterstudier

Kurvbeteendet – Urspårningsstudie

- Simulering i en cirkulär högerkurva med en kurvradie av 20-60 m och en hastighet på fordonen mellan 10-50 km/h.
- Vad var syftet med denna urspårningsstudie? Att visa att spårvagnarna/boggi-konstruktionerna beter sig som förväntat.
- Studien visar att det är större risk för urspårning på M32. Den har färre fall av flänsklättring men när den väl klättrar är det stor risk för urspårning
- Detta beteende för styv boggi-konstruktion bekräftas även av teori

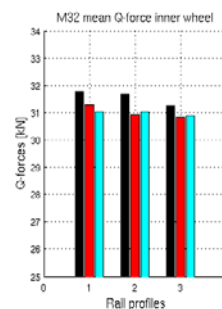
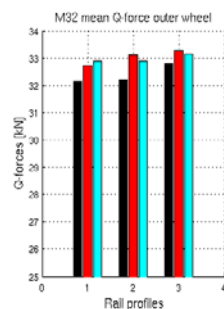
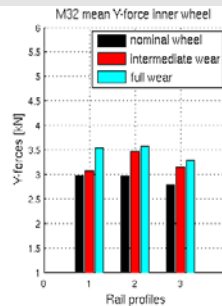
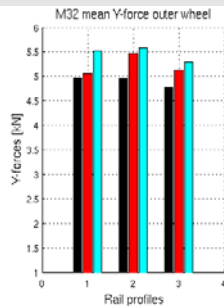
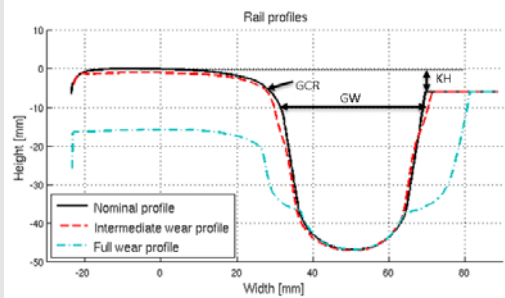
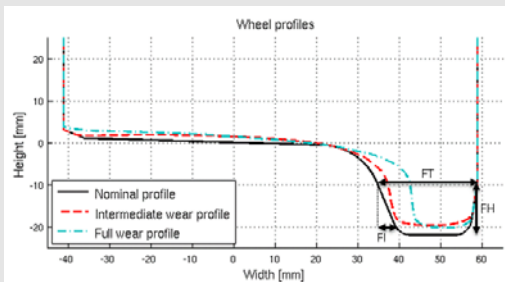
M31		Curve radius [m]									
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Speed [km/h]	10										
	15										
	20										
	25										
	30										
	35										
	40										
	45										
	50										

M32		Curve radius [m]									
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Speed [km/h]	10										
	15										
	20										
	25										
	30										
	35										
	40										
	45										
	50										

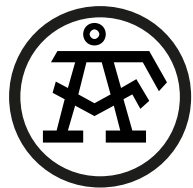


Hur påverkar slitage på hjul och räl

- Slitage på hjul och räl profiler har mätts med mätinstrumentet MiniProf, och modifierats något för att försöka få fram värsta scenariot.

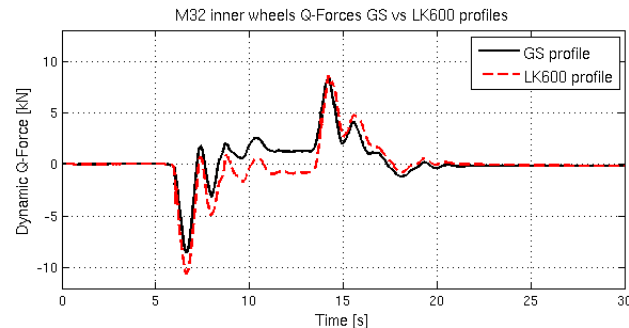
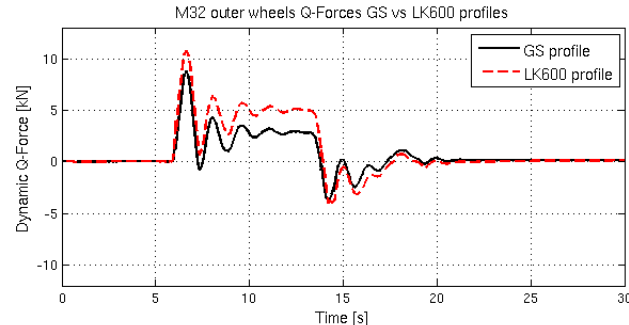


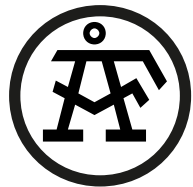
- Mer slitage på hjulen ökar de dynamiska spårkrafterna
- Slitage på hjul påverkar spårkrafterna mer än slitage på räl
- Studien visar att det är bättre att lägga fokus på fordonet istället för rälerna för att få ner de dynamiska spårkrafterna



Hur påverkar andra hjulprofiler?

- Vi har testat att använda hjulprofil LK600 som används på spårvagn A34 i Stockholm på både M31 och M32
- Något lägre laterala (Y) krafter för Stockholmsprofilen, större skillnad vid utgången av kurvan för M31. Det är större skillnad på de Vertikala (Q) krafterna. Här ger Stockholmsprofilerna högre krafter
- Baserat på denna studie kan vi inte se någon fördel med att byta till dessa profiler
- Här finns framtida möjligheter att hitta profiler som både sänker spårkrafter samt slitage. Mycket intressant arbete

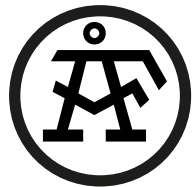




Slutsatser

Slutsatser och reflektion på arbetet

- Två GENSYS-modeller har tagits fram, en för spårvagn M31 och en för spårvagn M32. Baserat på valideringsresultatet samt parameterstudierna kan slutsatsen dras att modeller som efterliknar riktiga spårvagnar kan modelleras i GENSYS
- Det är stora skillnader på kurv beteendet mellan spårvagn M31 och M32. Större dynamiska krafter uppstår på modell M32 på grund av dess styva boggi-konstruktion
- Stora krafter uppstår på hjulparen i M31:ans mittenvagn vid ingång och utgång av kurvor. Det beror på den mekaniska länkarm som styr hjulparens rotation. Om länkarmen är felinställd kan även stora sidokrafter fås på rakspår. Detta kända beteende kunde bekräftas av GENSYS-modellen



Framtida möjligheter

Vad kan GENSYS-modellerna användas till i framtiden?

- Optimeringsstudier kan göras på individuella samt kombinerade fjädrar och dämpare för att få så låga spårkrafter som möjligt och ändå tillåta god åkkomfort
- GENSYS-modellerna kan användas för att hitta lämpliga kombinationer av hjul- och rälprofiler
- En logisk fortsättning är beräkning av slitage. På det här sättet kan man även studera vilka hjulprofiler som ger lägst slitage. Detta anses som en mycket viktig och intressant studie
- "En ökning med 5000 km för spårvagnshjulen kan spara upp till 200,000 kr/år". Detta visar hur viktigt det är att förstå slitage bilden på spårvagnarna och även försöka minska den
- Buller (gnissel) är också ett välkänt problem i Göteborg. Detta kan undersökas som en uppföljningsstudie där kurvbeteende som erhållits från GENSYS används som underlag till en separat beräkningsmodell för buller