

# Ett spårvänligt tåg (A track friendly train)

Evert Andersson, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH)

Rickard Persson, KTH och Bombardier Transportation



**BOMBARDIER**



**TRAFIKVERKET**

*Gröna Tåget*

[www.gronataget.se](http://www.gronataget.se)

# What is track friendliness?

1. Vehicles produce low or moderate forces on the track in order to minimize track wear and fatigue - i.e. **track deterioration** - and thus minimize track maintenance with its associated cost.

Different vehicles deteriorate the track very differently. In the future the marginal cost for track deterioration will most likely be part of track access charges.

2. Vehicles are able to run on **non-perfect track** with low track deterioration and **good ride quality**.

Note: Low track deterioration is usually associated with low maintenance cost of vehicles themselves.

# DeCAyS

## Deterioration Cost Associated with railway Superstructure

- System and software developed by Trafikverket (formerly Banverket) for estimation of track deterioration cost as result of vehicle characteristics and operational parameters (speed, cant deficiency).
- Estimates
  - (1) the relative deterioration for different vehicles and
  - (2) the distribution the total track deterioration cost between different vehicles in proportion to running distance and relative deterioration.
- 99% of total tonnage in Sweden is classified, from heavy freight, over ordinary freight and passenger trains up to high-speed trains.
- Can also be used for proposed trains with their intended operations.

# Types of track deterioration

(deterioration mechanisms)



1

**Track settlement** – 25% of cost  
Proportional to  $Q^3$  ( $Q$  = vertical dyn force)



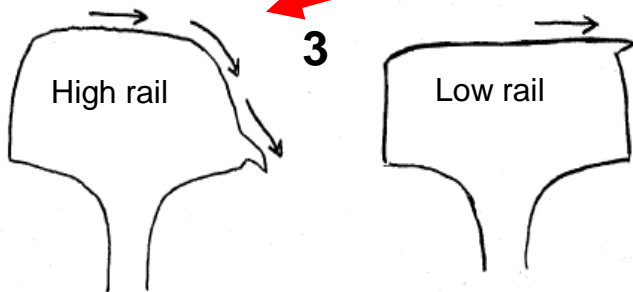
2

**Component fatigue** – 35% of cost  
Proportional to  $Q^3$

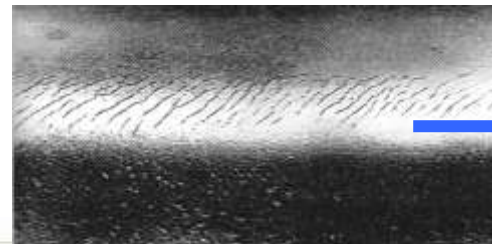
- Rails & rail pads
- Sleepers & ballast
- Switches and crossings

**Abrasive wear** ← 40% of cost  
Related to friction energy ↓

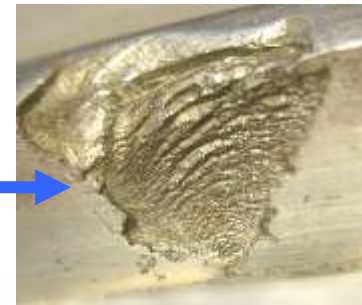
**Rolling contact fatigue (RCF)**



3



4

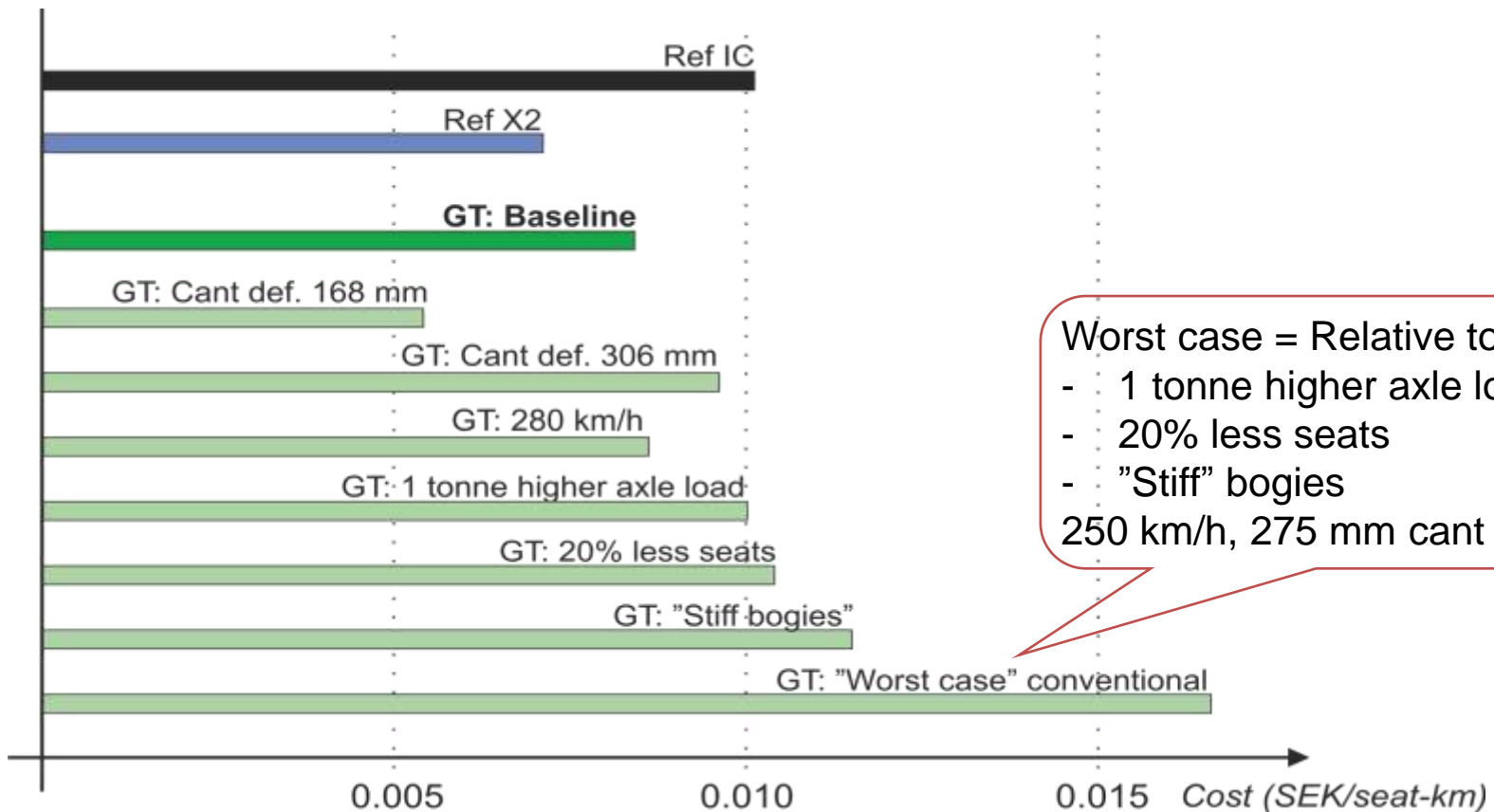


# Track deterioration studies for Gröna Tåget (1)

- Track deterioration cost is determined per seat-km
- **Two reference trains**
  - **IC:** loco + 7 pass cars; 160 km/h, 399 tonnes, "stiff" bogies, 388 seats
  - **X2:** loco + 6 tilting cars; 200 km/h, 245 mm cant def, 370 tonnes, "extra soft" bogies, 310 seats
- **Gröna Tåget**
  - **Baseline:** 4-car wide-body EMU; 250 km/h, 275 mm cant def, 230 tonnes, 15.9 t average axle load, "soft" bogies, 310 seats
  - **Variation** of cant def, top speed, axle load, number of seats, bogies

# Track deterioration studies for Gröna Tåget (2)

Deterioration cost (SEK) per seat-km

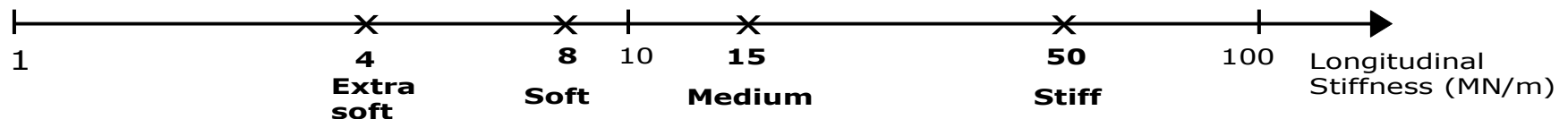


Worst case = Relative to baseline:  
- 1 tonne higher axle load  
- 20% less seats  
- "Stiff" bogies  
250 km/h, 275 mm cant def

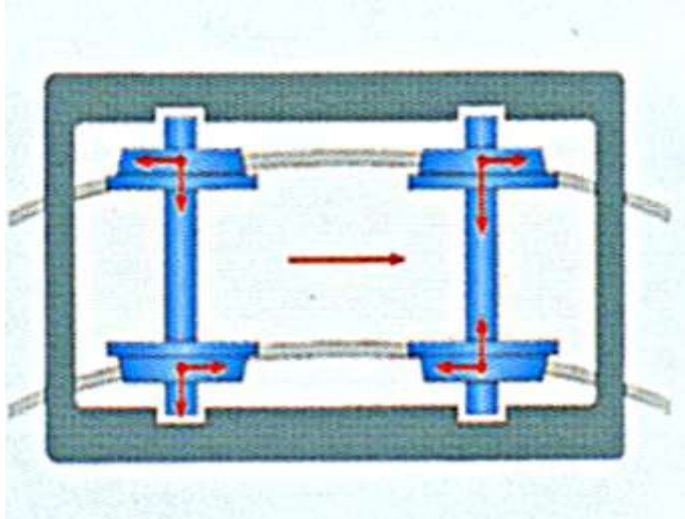
# Track friendliness – most important for Gröna Tåget

- "Soft" bogies \*
- Space efficient – large number of seats per metre train
  - preferably 2.6–2.8 seats/m in long-distance; 10% more in fast regional
- Low axle load
  - preferably 14.4 tonne (empty); 15.9 tonne (operational average)
- Cant deficiency no higher than 275 mm ( $1.8 \text{ m/s}^2$ ), except occasionally.

\* Guidance stiffness in bogies



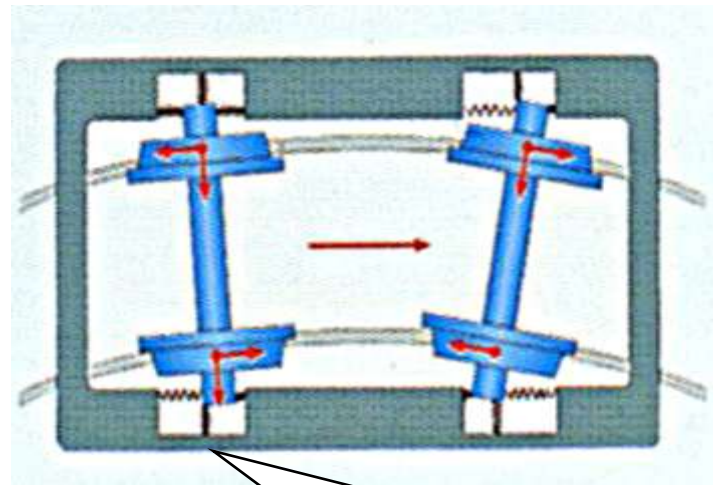
# Spårvänliga boggier



Icke-styrande (styv) boggi



- Hjulet strävar mot yttre räl på ledande hjulpar
- Slitage på hjul och räl
- Stora laterala krafter mellan hjul och räl
- Risk för kurv ljud



**Flexibel i  
längsriktningen**

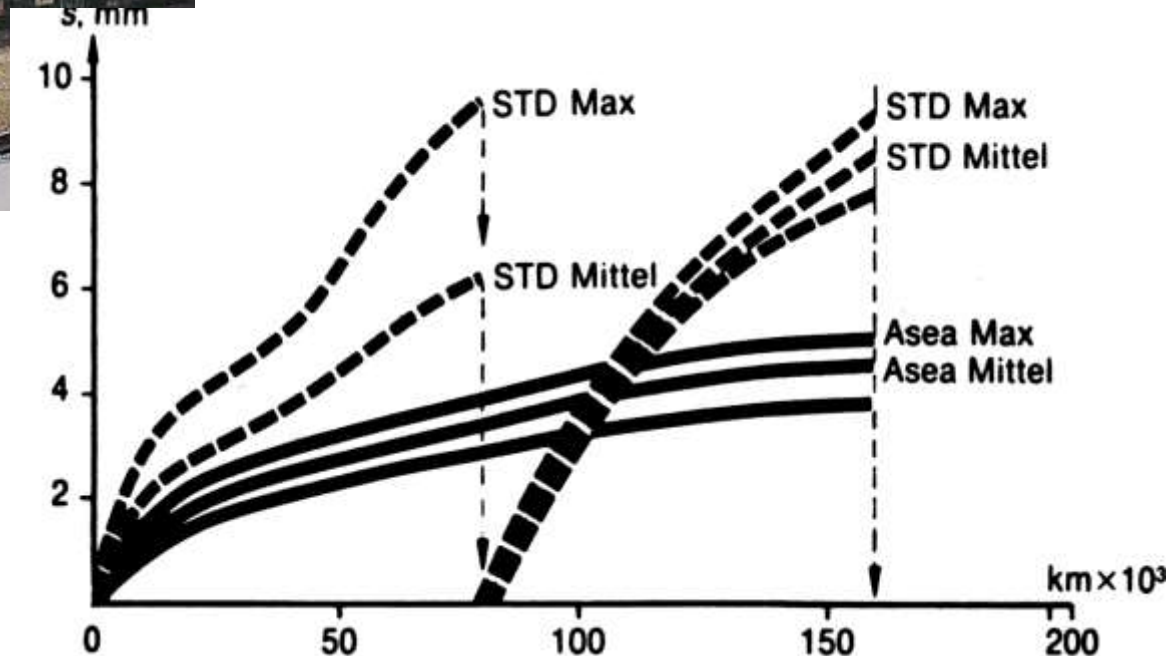


# Spårvänliga boggier för 30 år sedan

Boggier som själva kunde ställa in sig radialt var en önskan av SJ som ett medel att minska hjul och spårslitage.



Flänsslitage för två boggityper under April-September  
**STD** = standard  
**Asea** = radialstyrande



# Spårvänliga boggier idag

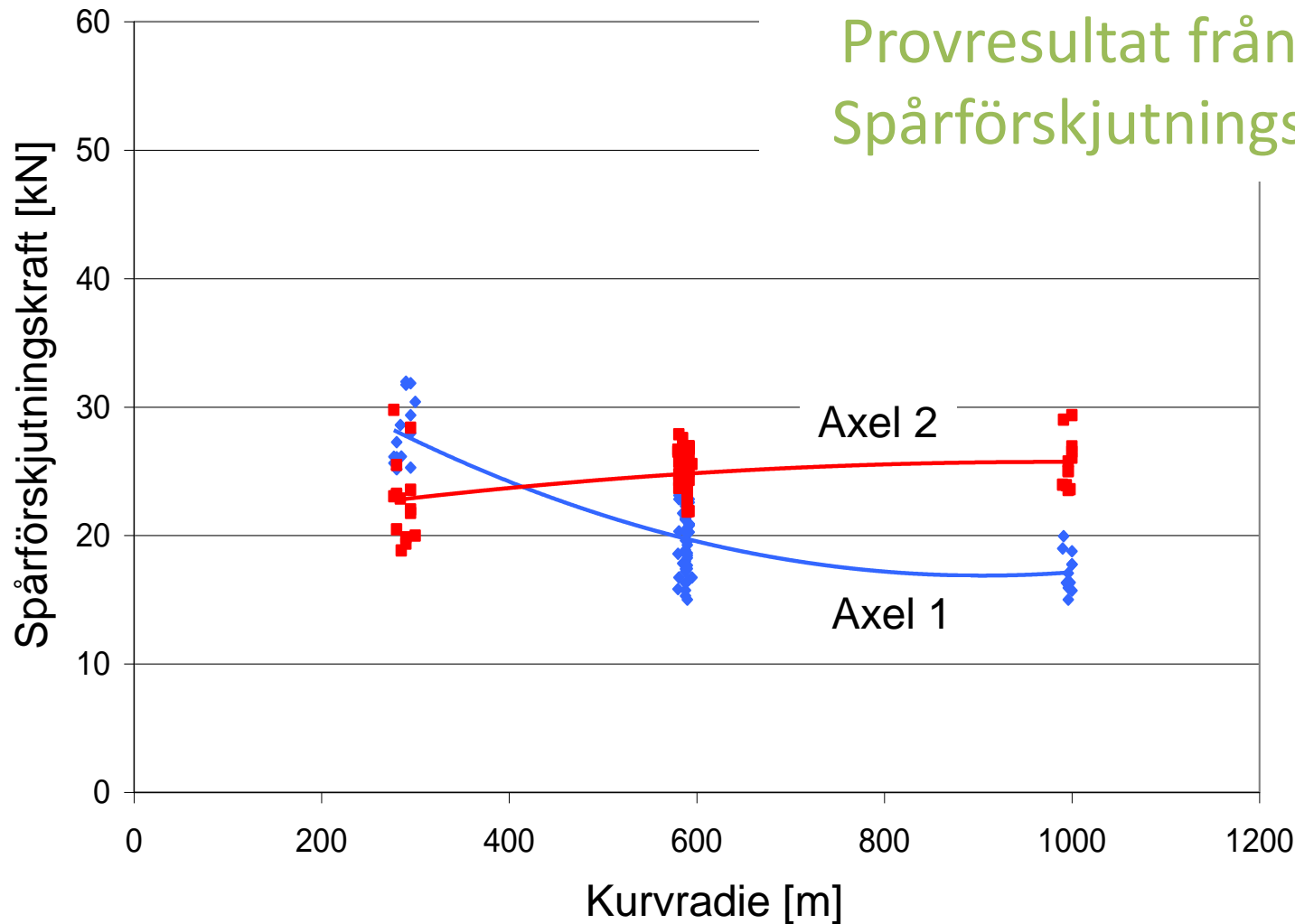
Regina 250  
Bombardiers exempelfordon



Två mjuka  
hjulparsstyrningar  
provade 2006 – 07



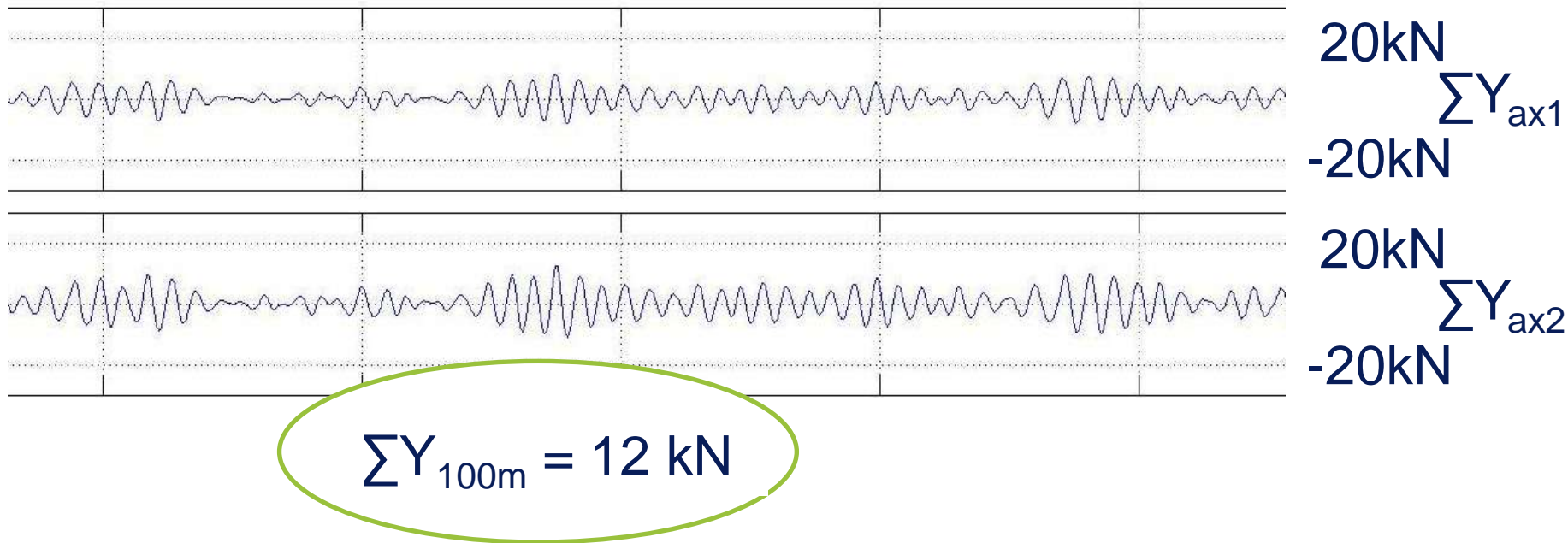
# Provresultat från Regina 250 Spårförskjutningskraft, $\sum Y_{2m}$



$\sum Y_{2m \text{ lim}} = 61 \text{ kN}$ ,  $0.9 < a_{ys} < 1.35 \text{ m/s}^2$ , ledande boggi torrt spår

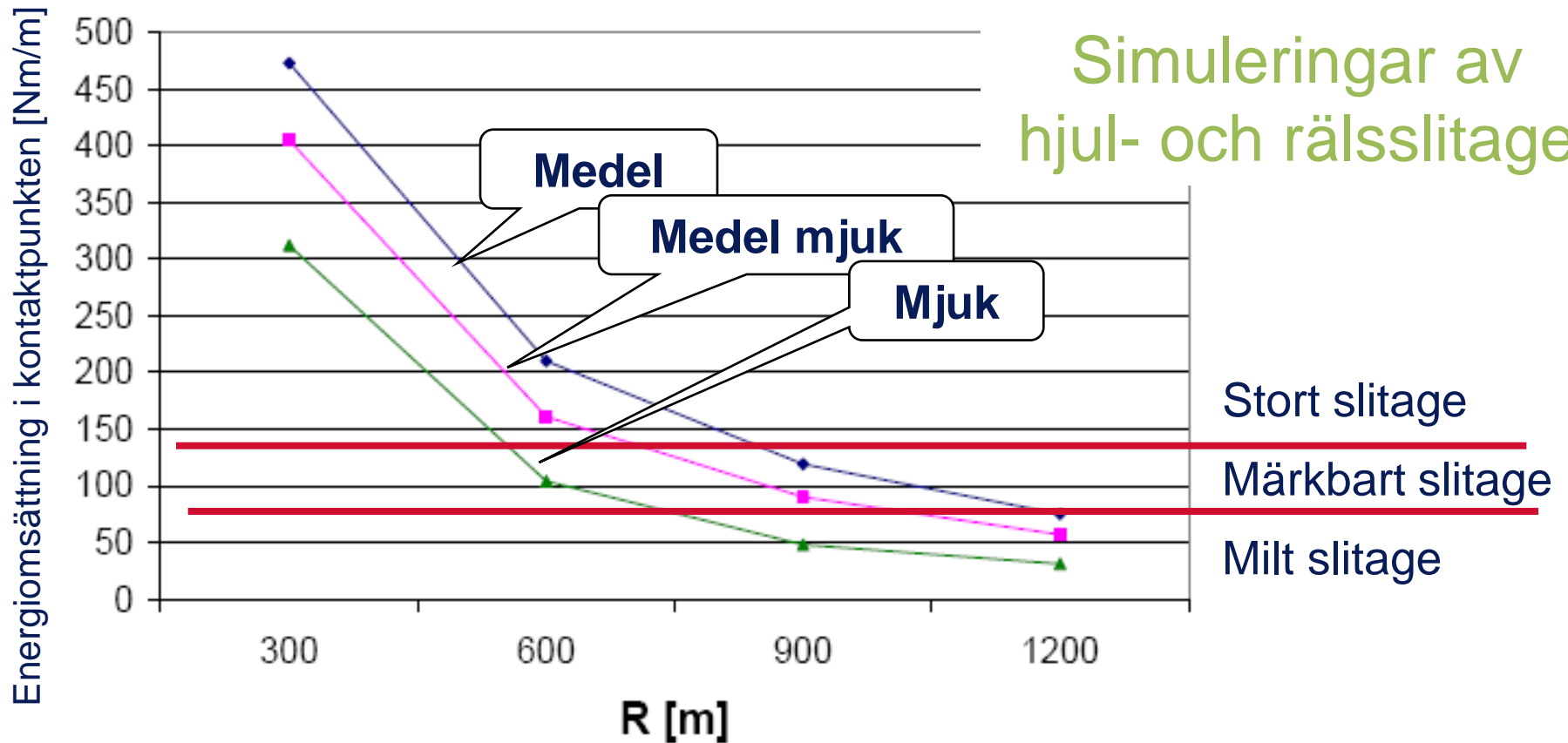
# Provresultat från Regina 250

## Stabilitet, $\Sigma Y_{100m}$



$\Sigma Y_{100m \text{ lim}} = 31 \text{ kN}$ ,  $v = 275 \text{ km/h}$ , konicitet  $\sim 0.3$  torrt spår

# Simuleringar av hjul- och räls slitage



Axel 1, yttre hjul, torrt spår

OBS! Endast 0,5% av svenska spår för passagerartrafik har kurvor med radier i intervallet 250 – 400 meter.

# Spårvänliga boggier sammanfattning

Potential finns för högre hastighet och/eller högre spårplansacceleration då Regina 250 bara har 60 – 70% av tillåtna spårkrafter

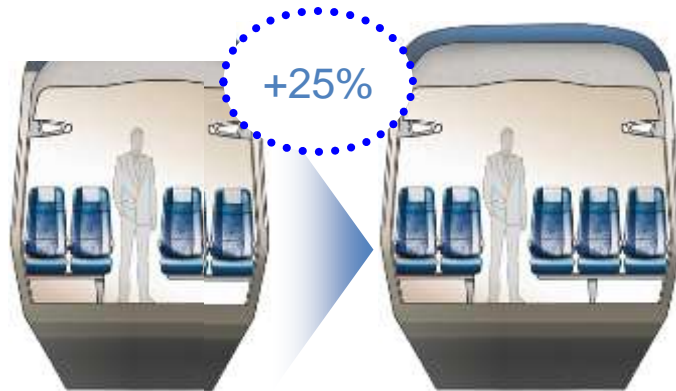
Det är möjligt att konstruera en boggi

- För hastigheter upp till 250 km/h i trafik
- För spårplansaccelerationer upp till 1.2 m/s<sup>2</sup> i trafik
- Som är spårvänlig

500.000km i trafik utan en enda hjulsvavning för slitage!

# Aktiv lateralfjädring (ALS)

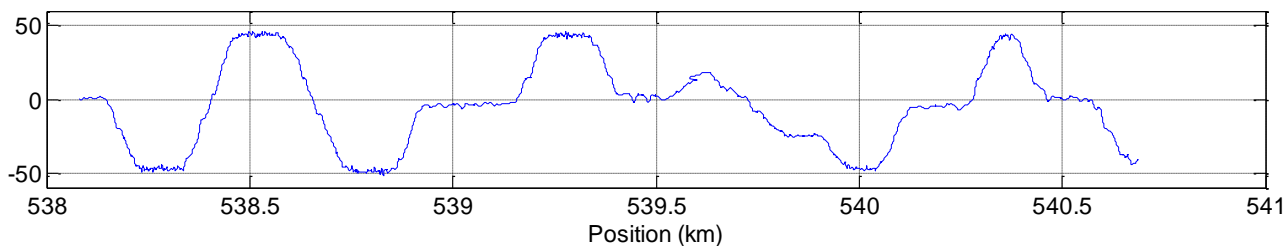
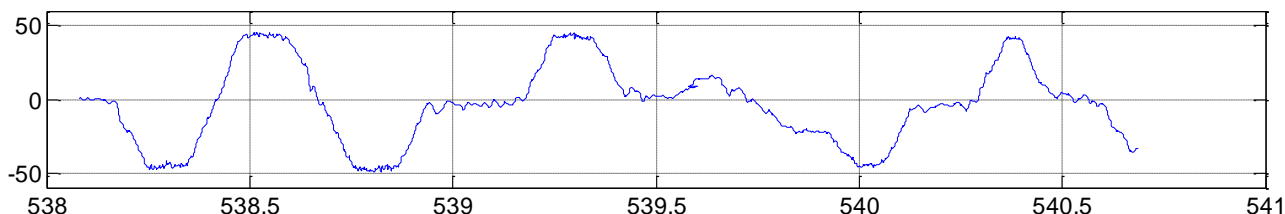
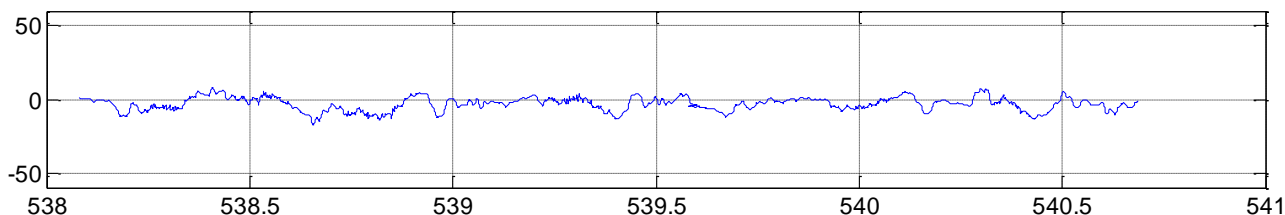
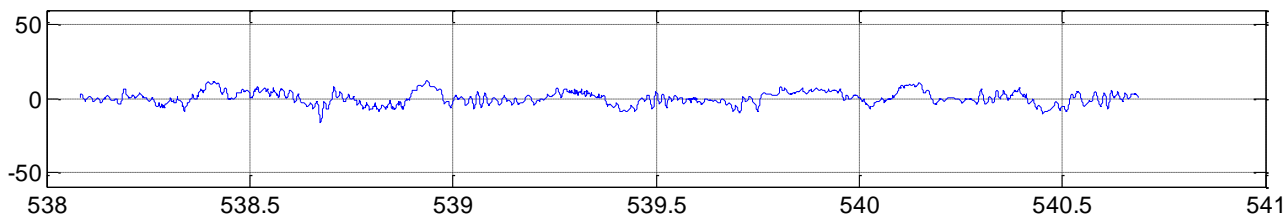
- Två funktioner i en hårdvara
- 1) Hålla korgen centrerad över boggin i kurvor
  - ⇒ Flytta lateralstoppen
    - Bredare korg möjlig
    - Bättre sidvindsstabilitet
  - ⇒ Bättre åkkomfort genom undvikande av stoppkontakt
  - ⇒ Möjlighet att köra fortare i kurvor
  - ⇒ Mindre krängning
- 2) Bättre åkkomfort
  - ⇒ Samma åkkomfort i 250 km/h med ALS som 200 km/h utan



- 0.1 m bredare korg kan göra 2 + 3 sittning möjlig även i IC-tåg i Sverige

# Provresultat från Regina 250, Förskjutning korg - boggi

## Prov 119 (Stöde – Vattjom), passiv vagn först



med ALS

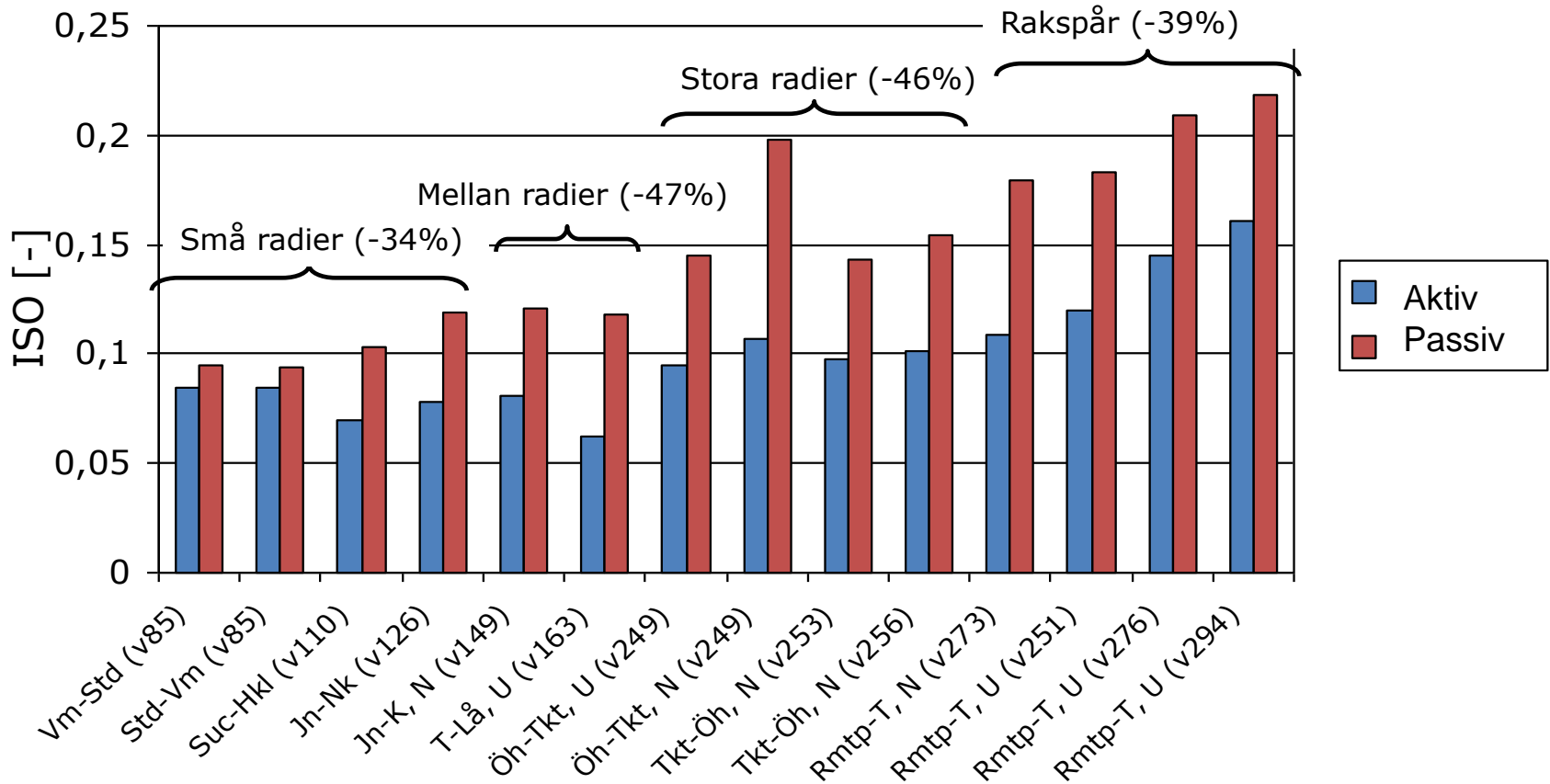
utan ALS





# Provresultat från Regina 250, Åtkomfort (lateral)

## Aktiv vagn först, yttre ändar



Vå - Ep (nedspår)

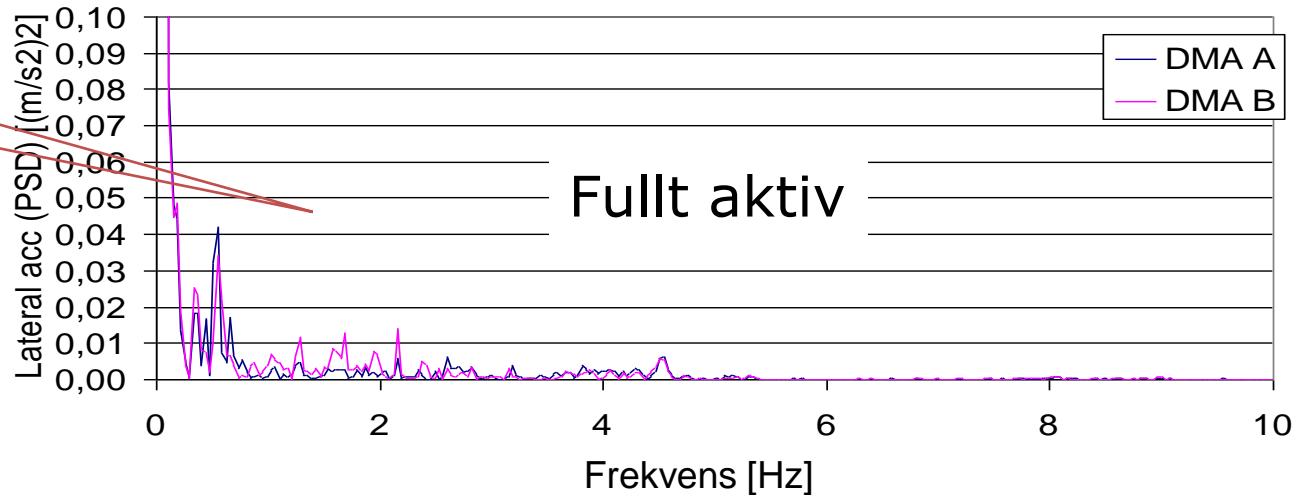
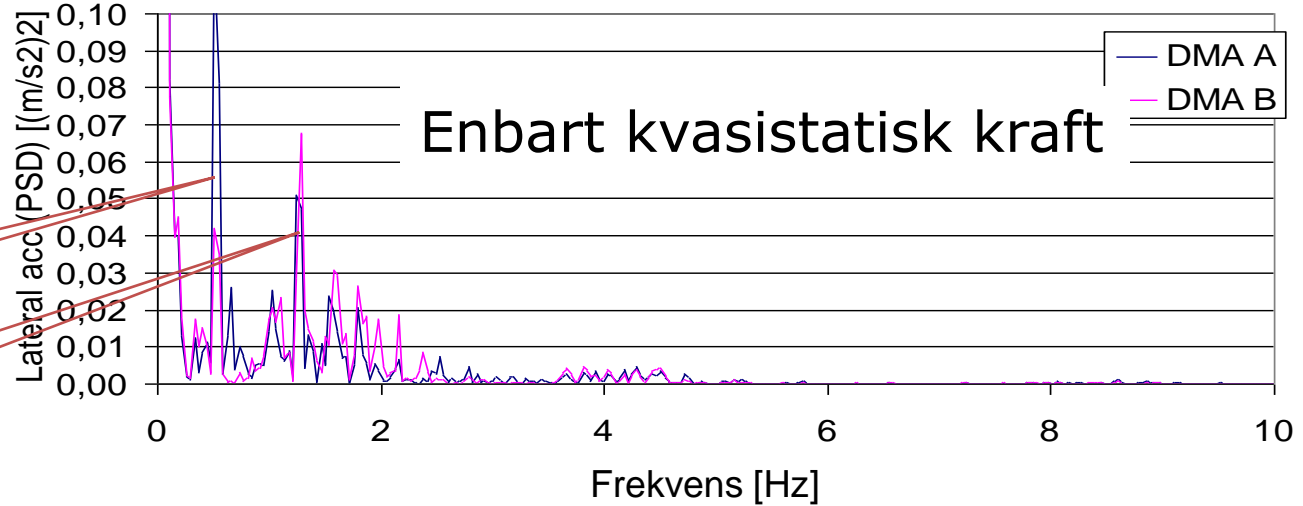
250 km/h

Vagn utan ALS först

Rollmod

Girmod

Kontakt med lateralstopp



# Aktiv lateralfjädring sammanfattning

Det är möjligt att konstruera en aktiv fjädring

- Som eliminerar den kvasi-statiska förskjutningen mellan korg och boggi
- Som förbättrar den objektiva komforten
- Som är uppbyggd av enkla komponenter

500.000km i trafik

Sålt av Bombardier till SBB 436 vagnar

Sålt av Bombardier till Trenitalia 400 vagnar

} 2544 aktuatorer!



**BOMBARDIER**

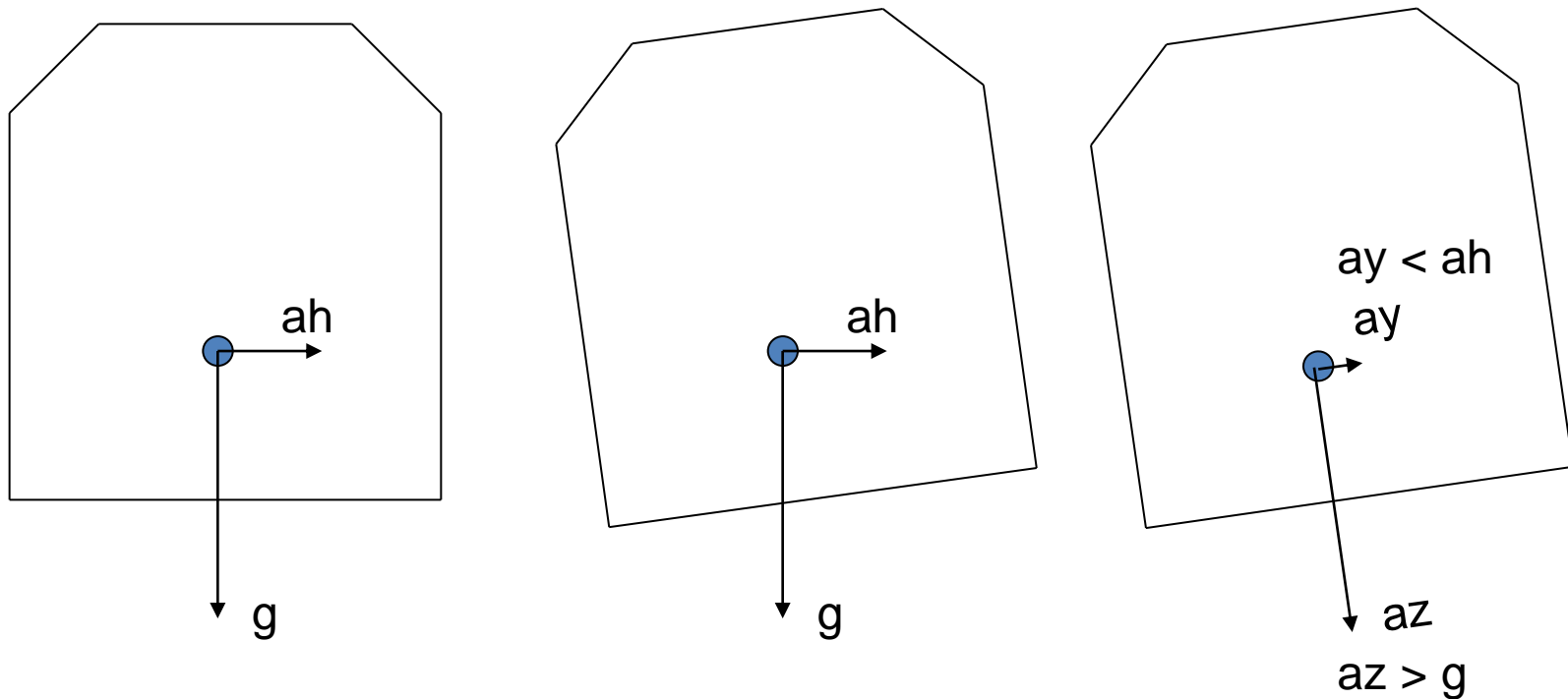


**TRAFIKVERKET**

**Gröna Tåget**  
www.gronataget.se

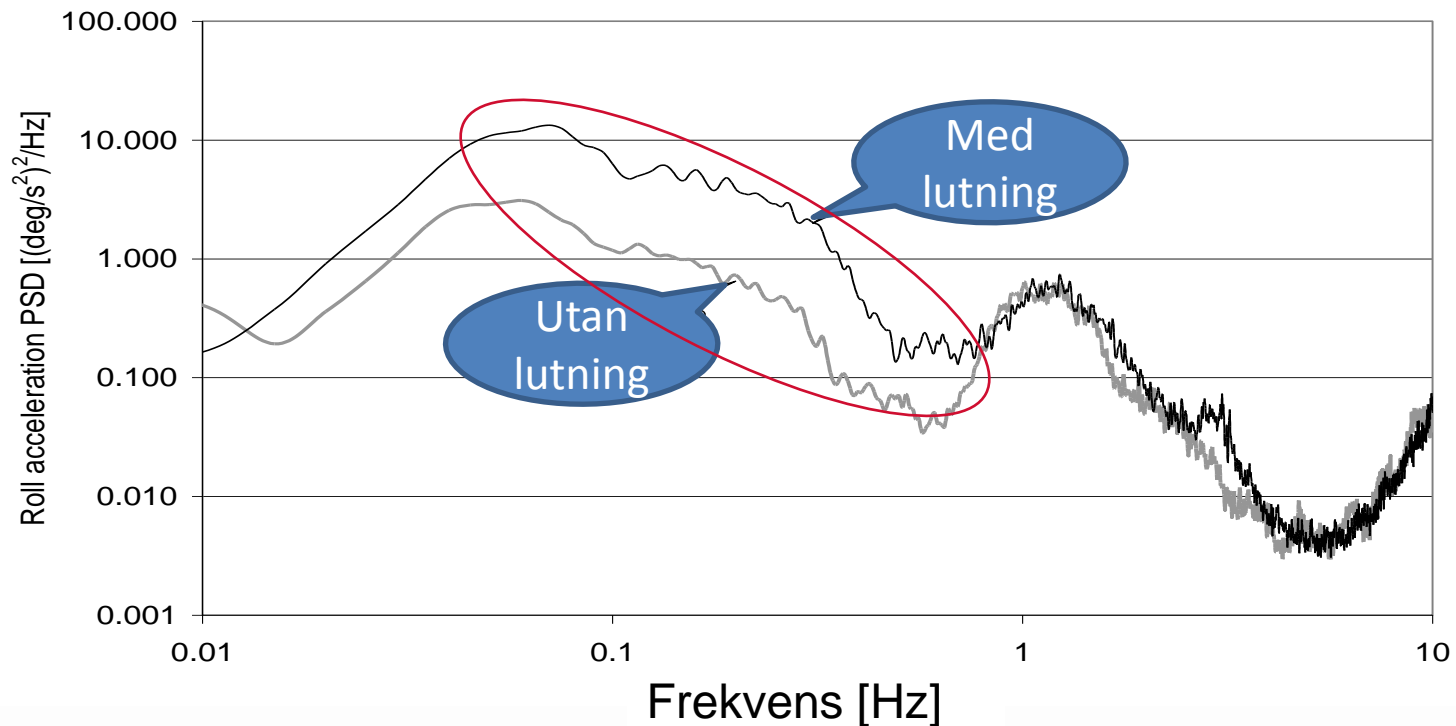
# Korglutande tåg

Korglutning = Transformation av koordinatsystem



# Korglutande tåg rörelser

Minskad lateralacceleration på bekostnad av ökad vertikal och rollaccelerationer i åksjukeframkallande frekvenser



# Korglutning på lagrad banddata

## Banddata lagrad i tåget

WGS latitud	GS longitud	Distans [m]	Hastighet [km/h]	Typ	Radie [m]	Rälsf. [mm]	Lutningsvinkel rad/(km/h)	v0
59.063521	15.632811	30026	239	1	0	0	0.000	0
59.063458	15.636852	30265	180	4	0	0	0.000	0
59.063383	15.640004	30445	128	2	-1754	100	-0.126	158
59.063111	15.643854	30668	223	2	-1754	100	-0.126	158
59.062605	15.647640	30891	223	2	-1754	100	-0.126	158
59.061842	15.651243	31114	165	3	0	0	0.000	0

Hastighet

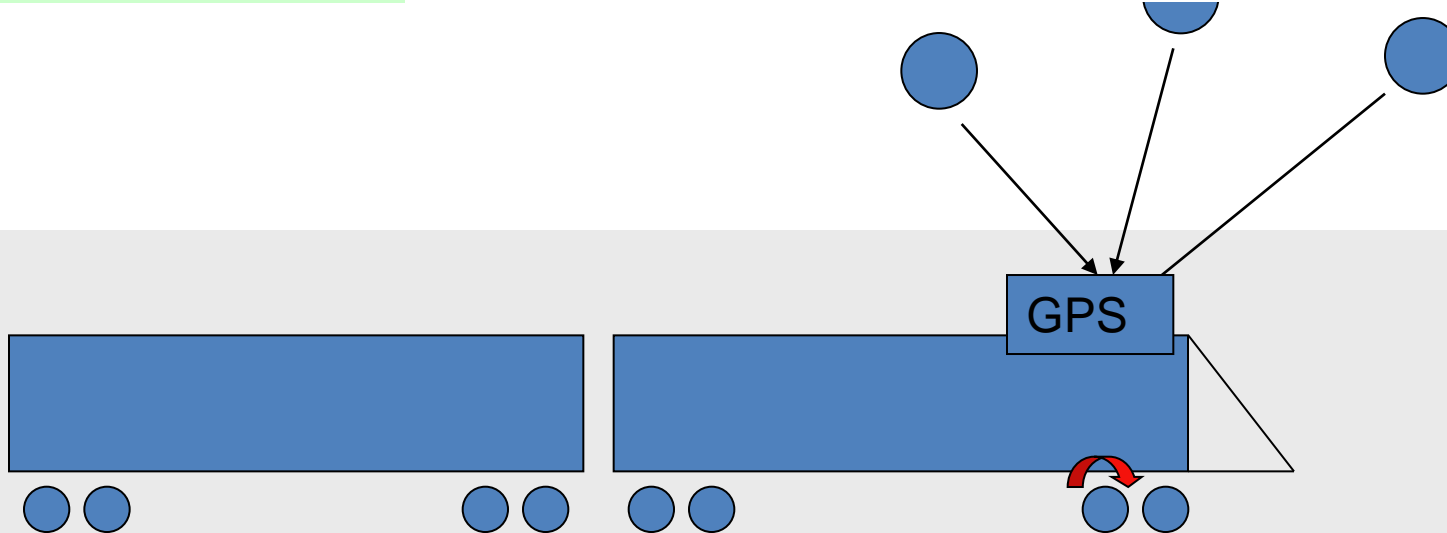
GPS

Satelliter

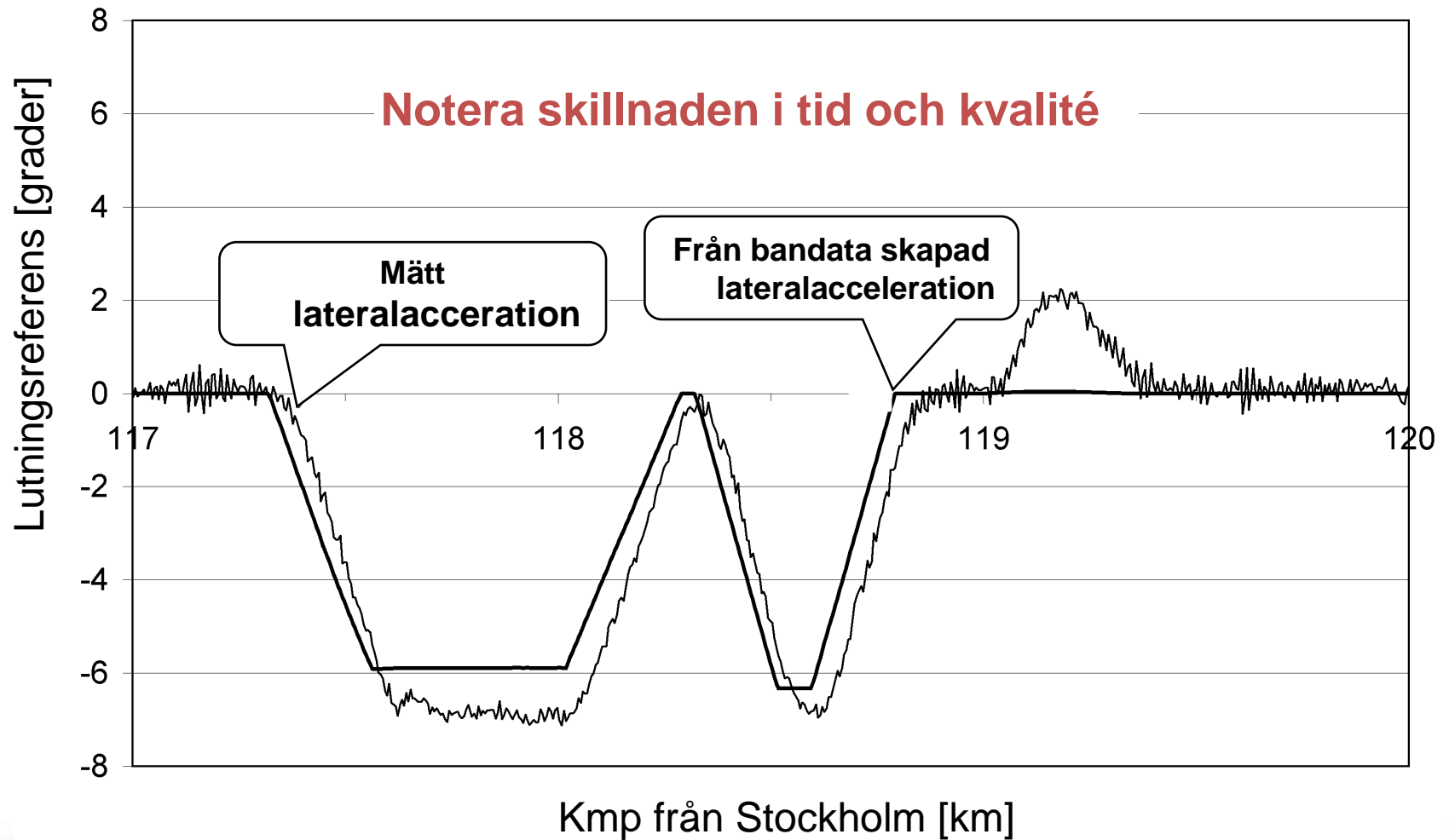
Position genom död räkning om GPS info saknas

Lutningsvinkel

Position



# Korglutning på lagrad banddata exempel



METRO 21 juni 2010

Försökspersoner

*Gröna Tåget*

söker försökspersoner till en  
fältstudie 13–15 juli 2010.  
Ta möjligheten att påverka  
framtidens tåg och samtidigt  
tjäna lite extra pengar.

Anmäl dig på

[www.gronataget.se](http://www.gronataget.se)



**BOMBARDIER**



**TRAFIKVERKET**

*Gröna Tåget*  
www.gronataget.se

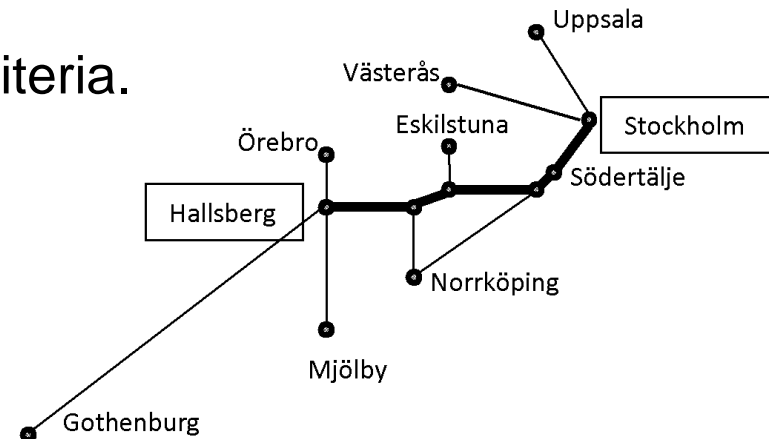


# Fältstudie

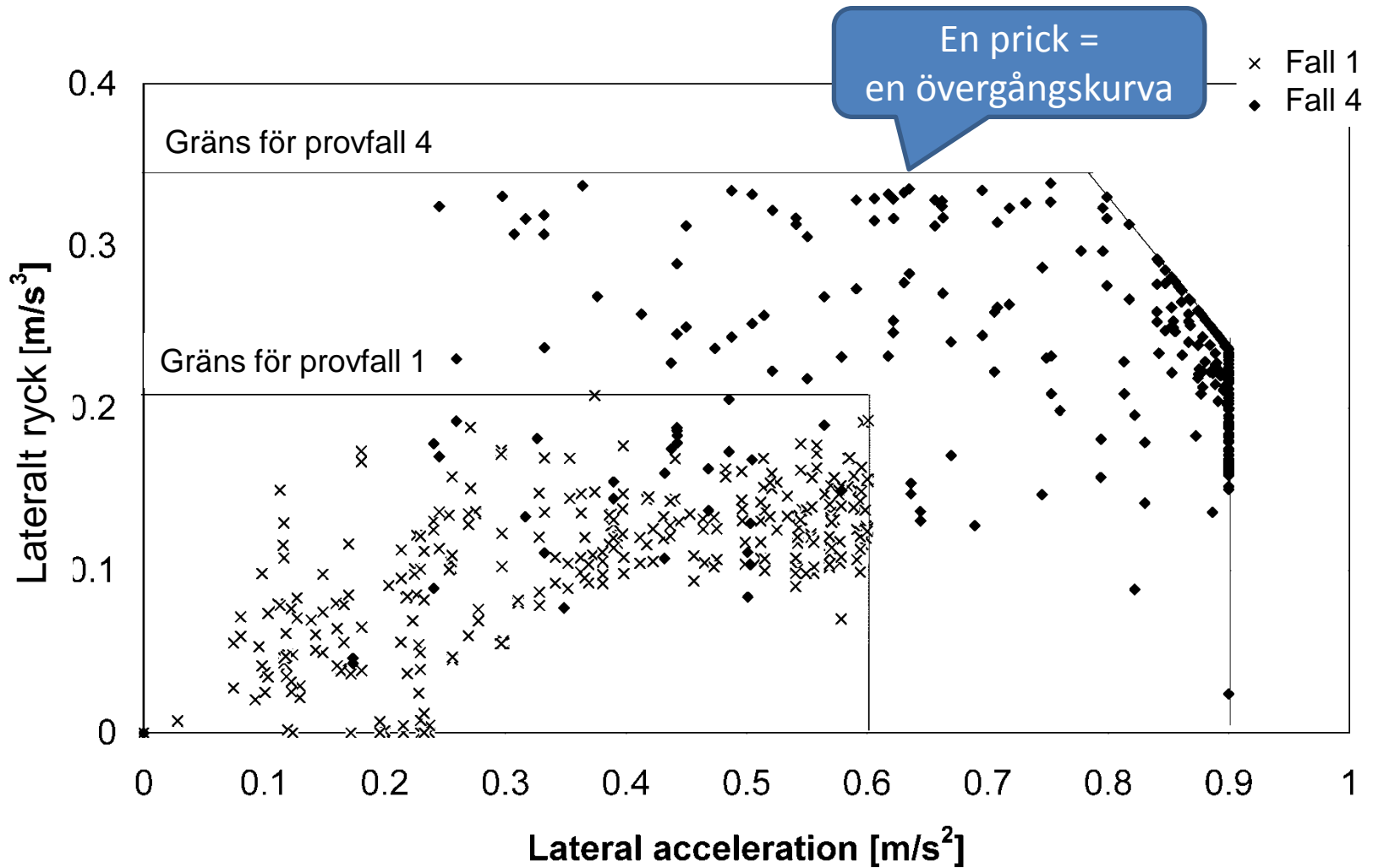
13 till 15 juli gjords en fältstudie på X 2000 mellan Stockholm och Hallsberg. Mer än 100 försökspersoner bedömde tågets komfort, dess hastighet och sin egen grad av åksjuka.

Fyra provfall:

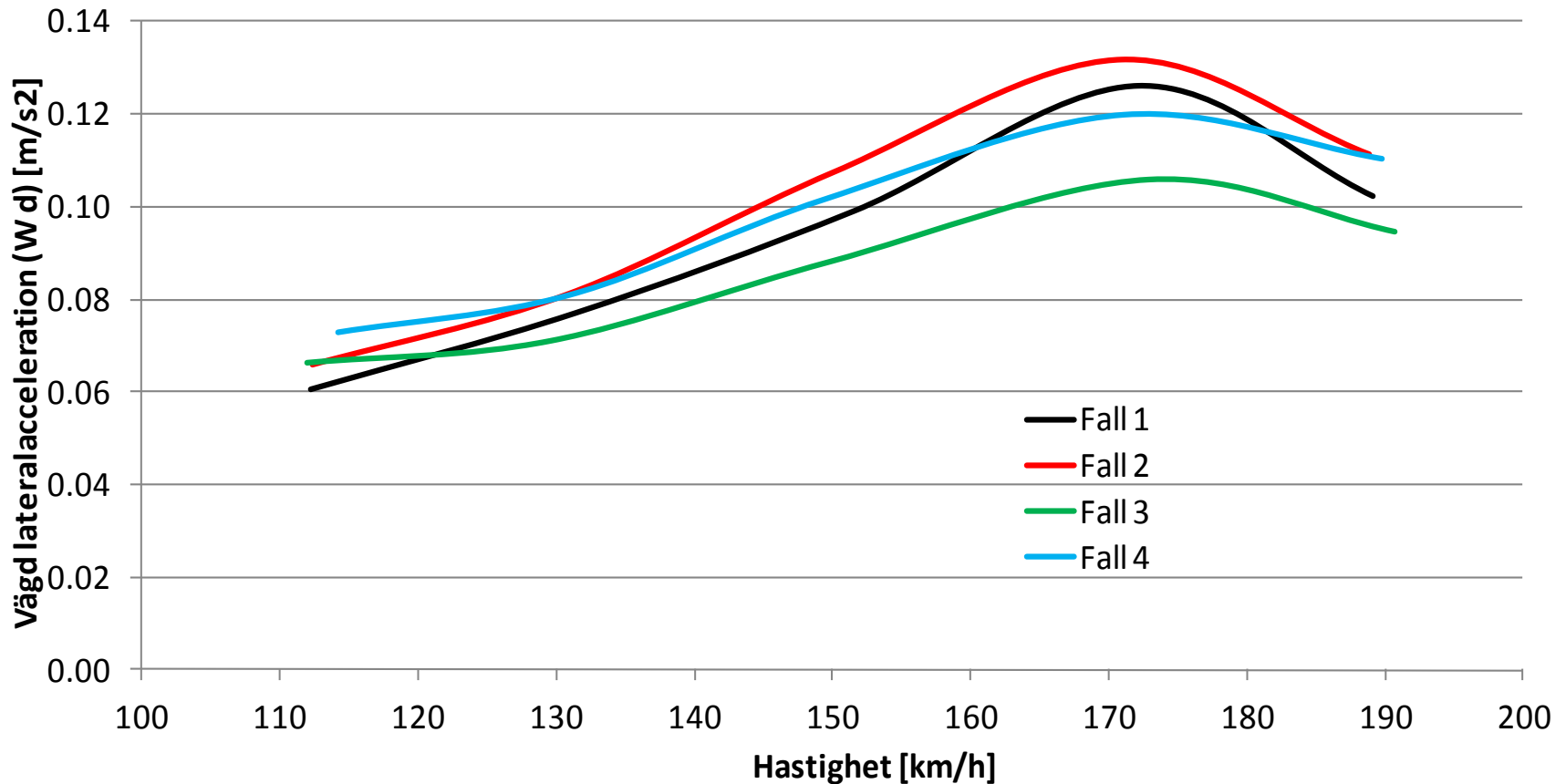
- 1) Original (som tåget går i trafik)
- 2) Nya komfortkriterier
- 3) Lagrad banddata
- 4) Lagrad banddata och nya komfort kriterier.



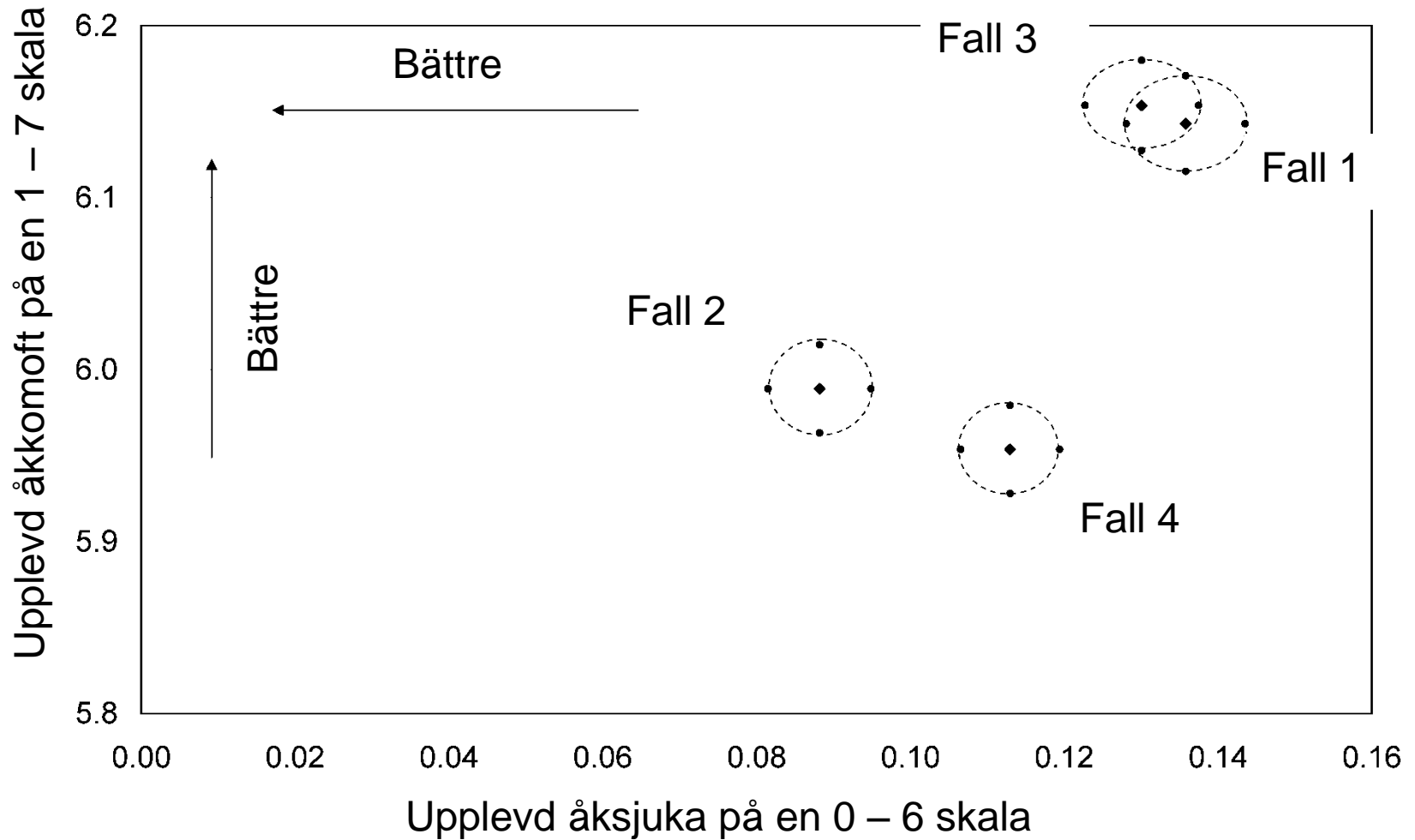
# Skillnad mellan provfall



# Objektiv åkkomfort som funktion av hastigheten



# Upplevd åkkomfort som funktion av upplevd åksjuka



# Korglutning sammanfattning

Det är möjligt att styra korglutningen

- För bättre objektiv komfort
- Det går att påverka risken för åksjuka och den subjektiva komforten, men optimum är ännu inte funnet

Offereras av Bombardier, men ännu inget kontrakt



**BOMBARDIER**



**TRAFIKVERKET**

**Gröna Tåget**  
[www.gronataget.se](http://www.gronataget.se)