

Gröna Tågets spårvänlighet

- Beräkning och jämförelse av spårnedbrytning för olika tågkoncept



Johan Öberg
Banverket Spårssystem

Referensgrupp Teknik och Miljö,
KTH 19 feb 2008

Förutsättningar för jämförande beräkningar av spårvänlighet

Beräkningar görs per plats-km

GT – 3 olika baskoncept

- 4-vagnars tåg
- Hastighet 250 km/h
- Rälsförhöjningsbrist 168, 275 och 306 mm
- Tjänstevikter 228 eller 232 ton
- Antal sittplatser 310
- "Mjuka" boggier

Referenstag för jämförelse – Rc-tåg och X2-tåg

- 7 vagnar för Rc-tåget (med "styva" boggier) och 5+1 vagnar för X2
- Hastighet 160 km/h för Rc och 200 km/h för X2 (alltså lägre än för GT)
- Rälsförhöjningsbrist 150 mm för Rc och 245 mm för X2
- Tjänstevikter 399 ton för Rc och 370 ton för X2 (alltså högre än för GT)
- Antal sittplatser 388 st för Rc och 310 st för X2

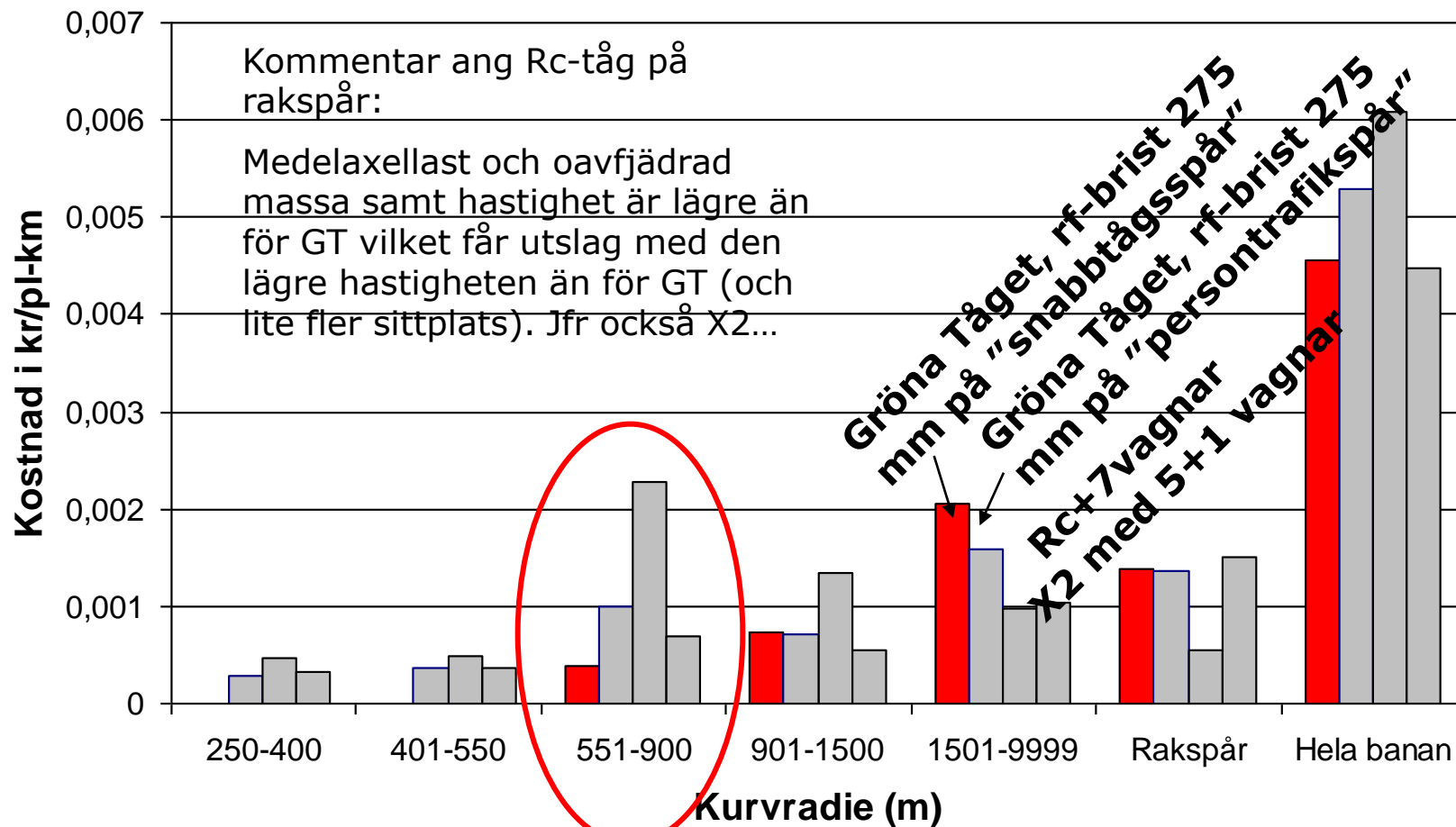
Därtill görs en känslighetsanalys på olika parametrars inverkan på spårvänligheten

Syftet är att relatera till motsvarigheter för långdistanstrafik som är tillgänglig idag

..En skymt av Gröna Tågets spårvänlighet (forts. följer)...

Nedbrytningskostnad per pl-km för GT Baskoncept jfr referenståg på medel av Banverkets spår, resp. tänkt "snabbtågsbana"

© Johan Öberg, Banverket 2008



Vad är spårnedbrytning och spårvänlighet ?

Spårnedbrytning = försämringen ("slitage") av spårkonstruktionens olika delar till följd av tågtrafiken

Nedbrytningen leder till underhåll (UH), som vare sig det är planerat eller oplanerat kostar pengar:

- Kontinuerligt UH
- Periodiserat UH = reinvesteringar



Spårvänlighet är kopplat till fordons spårnedbrytning och kan något relativt uttryckas = de fordon som orsakar minst UH är spårvänliga (även fordonens UH minskar)

Viktiga fordonsparametrar för spårvänlighet är låg axellast, bra radialstyrningsförmåga och låg oavfjädrad massa

Projekt Differentierade spåavgifter

...startade 2006 (Banverket/KTH)

Olika fordon sliter olika mycket på banan och tanken är att de som sliter mest borde även betala mest för att använda banan (avgiftsdifferentiering)

Nedbrytningskostnaden ska baseras på den ytterligare kostnad som ett ytterligare fordon förorsakar i spårslitage (= marginalkostnadsprincipen som enligt lag ska tillämpas)

Hittills tas ingen hänsyn till specifika fordonsegenskapers påverkan på spårnedbrytning

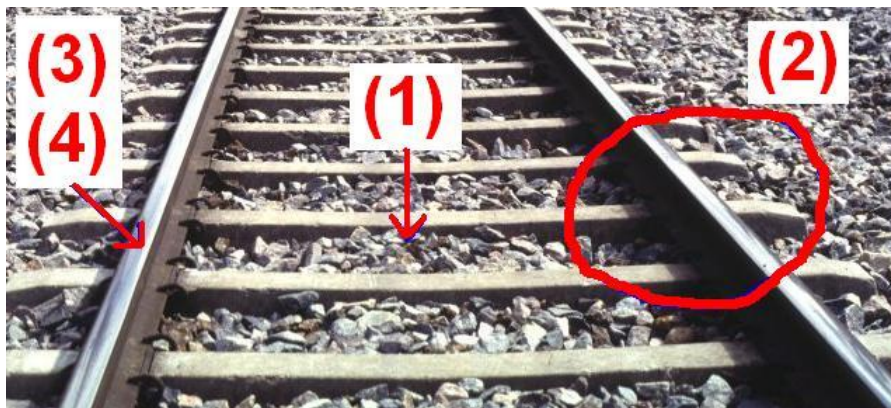
-> Utveckling av en sådan modell är projektets främsta uppgift

Fokus är "från mikroskop till kikare" – alltså helhetssyn på de viktigaste/rättvisande indikatorerna på nedbrytning

Hur påverkas spåret ? – beaktade försämringar

Fyra (4) nedbrytningsmekanismer ger den totala nedbrytningskostnaden:

- Spårlägesnedbrytning (eg. sättning i ballasten/underballasten) (1)
 - Komponentutmattning (räler, spårväxlar, befästningar, slipers, svets, mellanlägg, ballast mm) (2)
 - Nötning av räler (urgröpning/deformation) (3)
 - Rullande kontaktutmattning (RCF) – ytsprickor på räler (4)
- Detta är fler mekanismer än de flesta existerande modeller beaktar



Vad driver de olika mekanismerna?

- Svar: olika krafter mellan fordon och spår:

(1&2) "Rakspårskrafter" (statiska vertikala krafter)

(1-4) "Kurvkrafter" (kvasistatiska krafter)

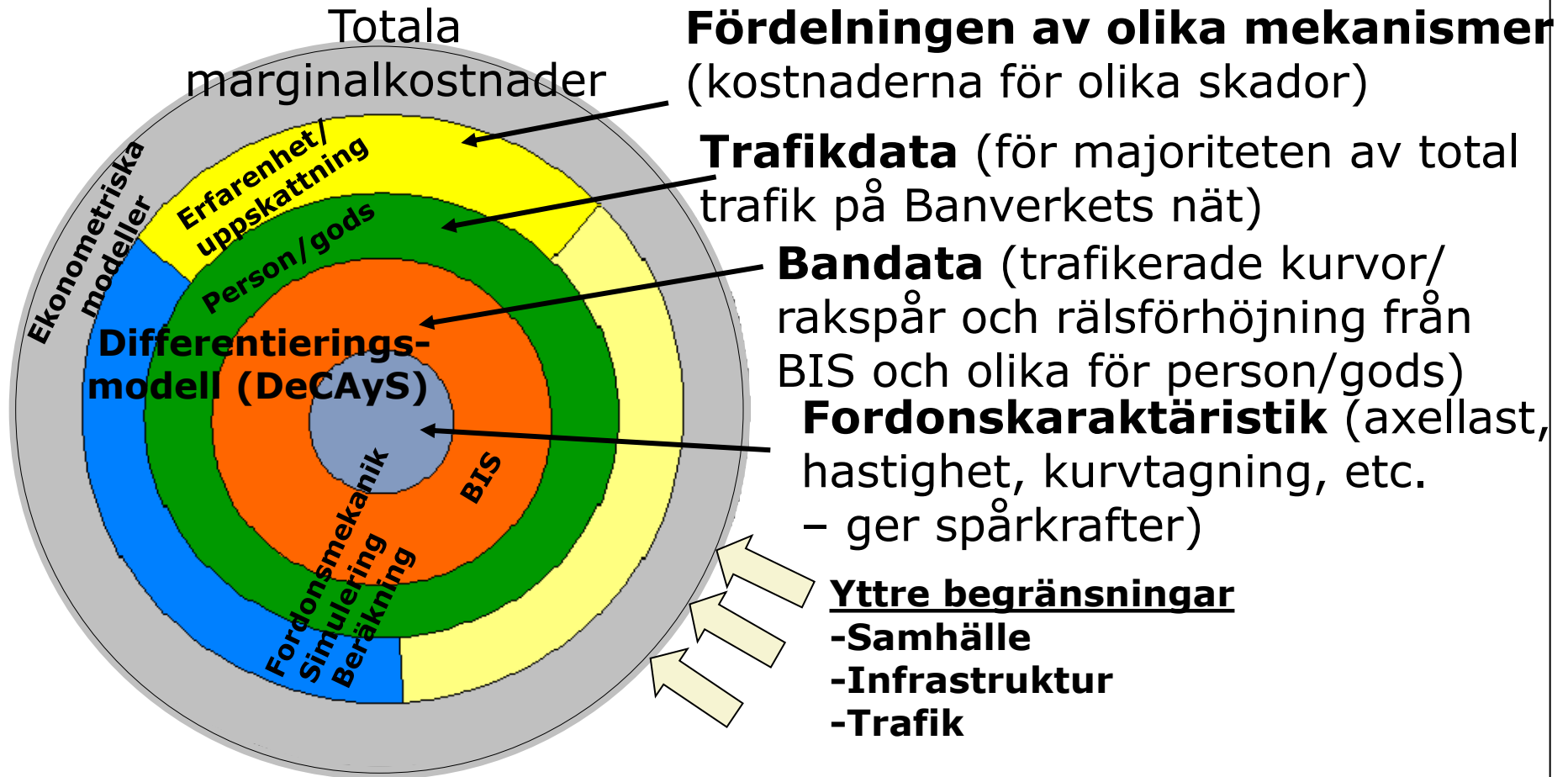
(1&2) "Stötkrafter" (dynamiska krafter) – delas upp i
"låg"- (< 20 Hz) och "högfrekventa" (~20-100 Hz) bidrag

(3&4) "Slitagekrafter" (friktionskrafter hjul-räl) och
glidningar mäts i *energiomsättning* (per meter spår)
förenklat sk T_{γ} – beror på friktion/smörjning, snäva
kurvor och kontaktförhållanden hjul-räl

Alla krafter beräknas med olika validerade och beprövade modeller.

T_{γ} fås från simulering (GENSYS)

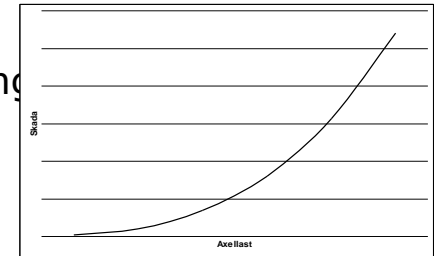
Spårnedbrytningen bestäms utifrån: (tänk ett "järnvägshjul")



Modellens teoretiska bakgrund (kort)

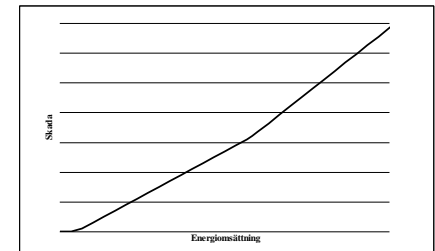
- **Empirisk modell från UIC/ORE (ERRI) (F.d Internationella Järnvägsunionens forskningsenhet.**

- Skadan beror på axellast och tonnage (transportmassa); en ökning av axellasten med tex 20 % medför att skadan ökar med 70 % !
- Grundar sig på fullskaliga test och simulering från europeisk järnvägsexpertis under flera år på 1980-talet.



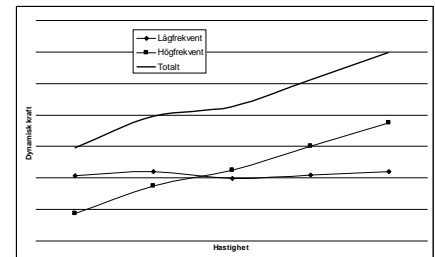
- **Engelsk modell för slitage och ytsprickor på räler från AEA Tech Rail och RSSB (Järnvägsmyndighet i UK)**

- Utvärderar skadan beroende på slitageindex mellan hjul-räl.
- Grundar sig på omfattande simulering och verifiering och har stora likheter med andra väl underbyggda och testade modeller.



- **Högfrekventa dynamiska krafter bestäms av väletablerade och dokumenterade samband**

- Frekvenser upp till dryga 100 Hz bör beaktas, det svarar mot dynamiska krafter för en hastighet på upp till 250 km/h.
- Beror på hastighet, spårläge och oavfjädrad massa.



Vi har byggt ett omfattande beräkningsprogram för spårnedbrytning i Excel®...



DeCAyS

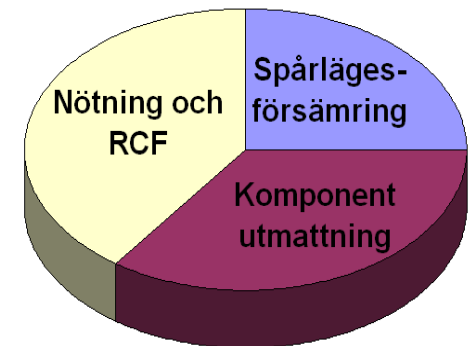
Deterioration Cost Associated with the Railway Superstructure

Några hänsynstaganden i modellen...

- Generell fokus – "enkelt" men rättvist
- Typisk rf-brist är 90 % av tillåten
- Tjänstevikt lika fördelad på axlar (eller skiljer mkt lite)
- 50 % passagerare är representativ last för spårnedbrytning
- Friktion (olika nivåer för sommar/vinter samt rälssmörjning/ej smörjning)
- 4 olika slitna hjul-rälprofiler (inkl 2-pkt.kontakt)
- Kurvfördelning för person/gods mht trafik på BV nät

Spårnedbrytningens totala trafik och kostnadsdata (motsvarande hela BV-nät):

- Trafikvolym totalt **64 000 milj bruttoton-km** för gods och person (inkl passagerare) fördelat på olika fordonstyper* - detta har också viktat kurvfördelningen.
- Uppskattad kostnad 0,0056 kr/bruttoton-km för underhåll och reinvesteringar i spår → **360 milj kr/år totalt i spåravgifter**** (dagens avgift är 0,0029 kr/bruttoton-km och undantar reinvesteringar)
- Andelar av total marginalkostnad: **25-35-40 % på mekanismer 1, 2, respektive 3&4*****



*Banverket och Nelldal, KTH

**Tidigare studier av M Andersson mfl (nyare studier pekar på ~ 0,0080 kr/ton-km)

***Banverkets uppskattningar med stöd av erfarenhet

Beräkningar för Gröna Tåget

- Olika varianter ("koncept") av GT provas:
 - 3 olika Baskoncept av GT
 - 7 variationer av data för ett av Baskoncepten (känslighetsanalys)
 - 2 jämförbara referenståg för långdistanstrafik
 - ~ 400 simulerade slitageindex för GT har gjorts (baserat på aktuella axellaster och rf-brister), vilka viktas mot olika hjul-rälprofilkombinationer och hjul-rälfriktion
 - Redovisade **kostnadsnivåer får ses som exempel** i nuläget och inga beslut har tagits av BV gällande avgiftsnivåer/differentiering (tidigast införs 2010)

Basdata GT

	GT250hb168Bas	GT250hb275Bas	GT250hb306Bas
Sth (km/h)	250	250	250
Rälsförhöjningsbrist (m)	168	275	306
Antal vagnar	4	4	4
Tjänstevikt (t)	228	232	232
Antal sittplatser	310	310	310
Längsstyvhet lagerbox (MN/m)	8	8	8
Oavfjädrad massa per hjul (kg)	865	865	865
Tp-höjd (m)	1,32	1,32	1,32
Tp sidoförskjutning (m)	0,02	0,02	0,02

Referenståg

X2-6 X2 med drivenhet, manövr.vagn och 5 vagnar
Tjänstevikt 370 t, 310 sittpl, sth 200 km/h,
rf-brist 245 mm.

Rc-tåg Rc-lok med 7 personvagnar ("styva" boggier = vanligast
~ 80 % av personvagnars körda ton-km)
Tjänstevikt 399 t, 388 sittpl, sth 160, rf-brist 150 mm

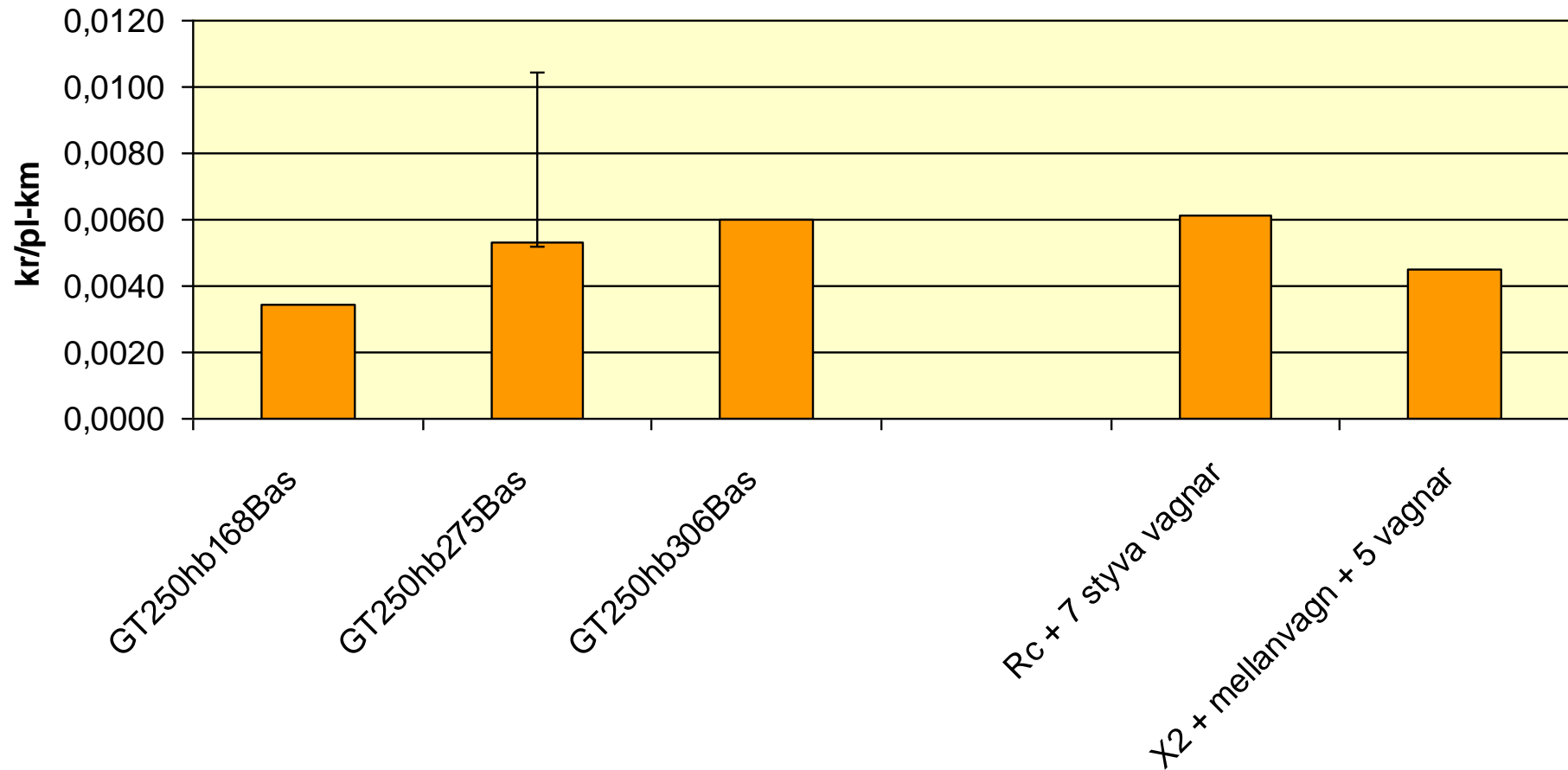


Känslighetsanalys för koncept GT250hb275Bas

Sth	250 -> 280	GT280hb275BasV+30
Tjänstevikt	248 t (Axellast + 1 ton)	GT250hb275BasP+1
Antal sittplatser	310 -> 248 (-20 %, 2+2 i bredd i 2. klass)	GT250hb275BasPL-20%
"Medium" boggi	Längsstyvhet 8 -> 15 MN/m	GT250hb275Medium
"Stiff" boggi	" 8 -> 40 MN/m	GT250hb275Styv
Ej HOD	Top sidoförskjutning 0,02 -> 0.06 m	GT250hb275BasEjHOD
"Worst case"	Sth 250; vikt 328 ton; Sittplatser 248; Stiff. 248	GT280hb275 WorstCase

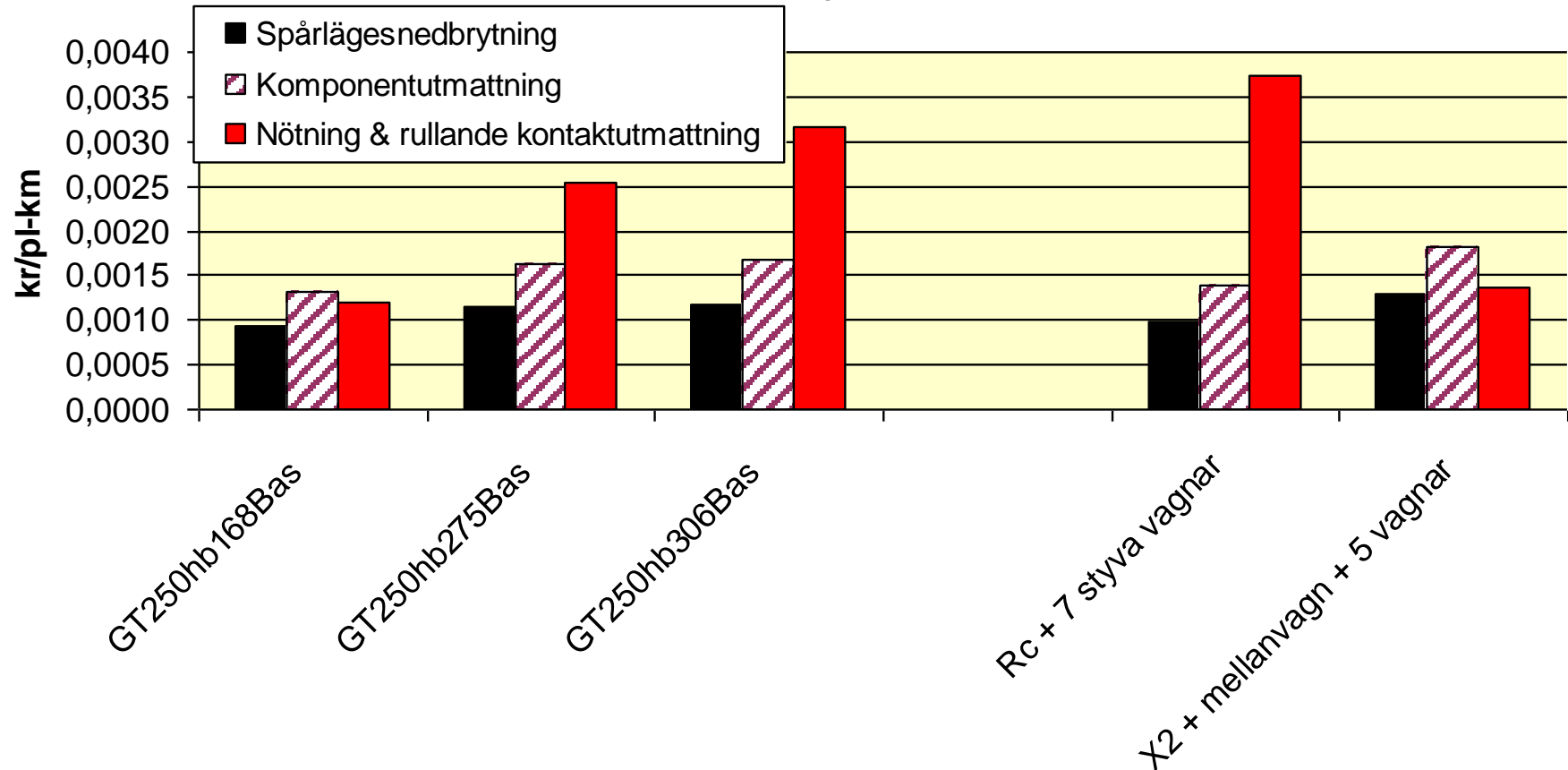
Spårnedbrytningskostnad totalt per plats-km för GT baskoncept och referenståg

© Johan Öberg Banverket 2008



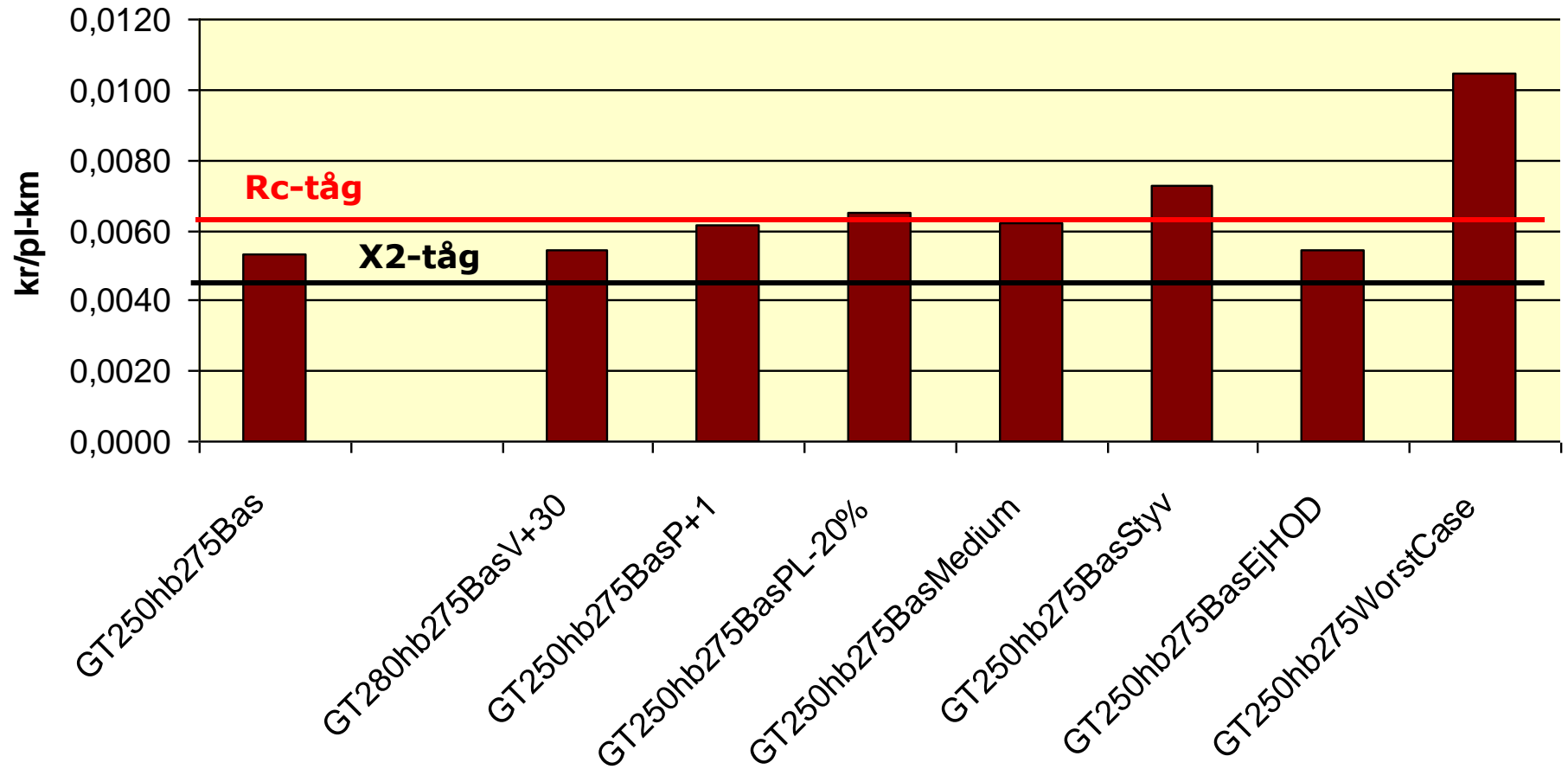
Spårnedbrytningskostnad per plats-km fördelad på olika mekanismer för GT baskoncept och referenståg

© Johan Öberg Banverket 2008



Spårnedbrytningskostnad per plats-km för variation i GT baskoncept för 275 mm rf-brist

© Johan Öberg Banverket 2008



Dimensionerande för spårvänlighet

Om en parameter ändras gäller i tur och ordning för spårvänlighetens betydelse:

1. Mjuka boggier
2. Högt utrymmesutnyttjande
3. Låg axellast

Utgångspunkter exempel-jämförelse mellan baskoncept och "värsta fall"

Körsträcka/år = 400 000 km

Kapitalkostnad per år \sim 9 % av 100 Mkr

Totala kostnader (med låga intäkter) inkl UH, personal, energi mm = 0,4 kr/pl-km

	GThb168	GThb275WorstCase
Spårnedbrytning i kr/pl-km	0,0035	0,0105
Resultande årlig kostnad kr	428 775	1 037 517

Skillnad i spårnedbrytning = 609 000 kr/år och tågsätt

Om nivån på marginalkostnaden höjs från 0,56 till 0,8 öre/ton-km som nyare studier visar blir merkostnaden för det mindre spårvänliga tågsättet 870 000 kr/år.

Merkostnaden för det mindre spårvänliga tågsättet är då ungefär 7-10 % av kapitalkostnaden per år eller 1,5 – 2 % av de totala kostnaderna per år (gäller ett tågsätt)

Sammanfattning/slutsatser

- Gröna Tågets spårvänlighet per pl-km
- ✓ 3 olika baskoncept (rf-brist 168-306 mm) visar att rf-bristen har stor betydelse (faktor 1,7) för nedbrytningskostnaden.
- ✓ Ett lokdraget referenståg (Rc+7vagnar) ger 35 % högre nedbrytningskostnad än en motsvarande X2, och ungefär detsamma som GT baskoncept med största rf-bristen (som dock har mkt högre hastighet).
- ✓ En känslighetsanalys visar att en hastighetshöjning till 280 km/h bara ger marginella kostnadsökningar medan byte till en "styv" boggi ger 40 % högre kostnader än den "mjuka" (eller 20 % högre än Rc-tåget).
- ✓ Den sk "worst case" blir dubbelt så nedbrytande som baskonceptet, men räknat per tåg-km bara 10 % över Rc-tåget.
- ✓ Om GT kommer köras på banor av "snabbtågskaraktär" kan nedbrytningen bli ännu mindre (i dagsläget görs dock ingen sådan särskiljning).

Johan Öberg
Lev Anläggning/Spårssystem
Borlänge / Sundbyberg

tel: 08-762 2362

epost: johan.oberg@banverket.se

