

PM 2005-11-25

Gröna Tåget

Framtida tågprestanda och bangeometri

Förstudie

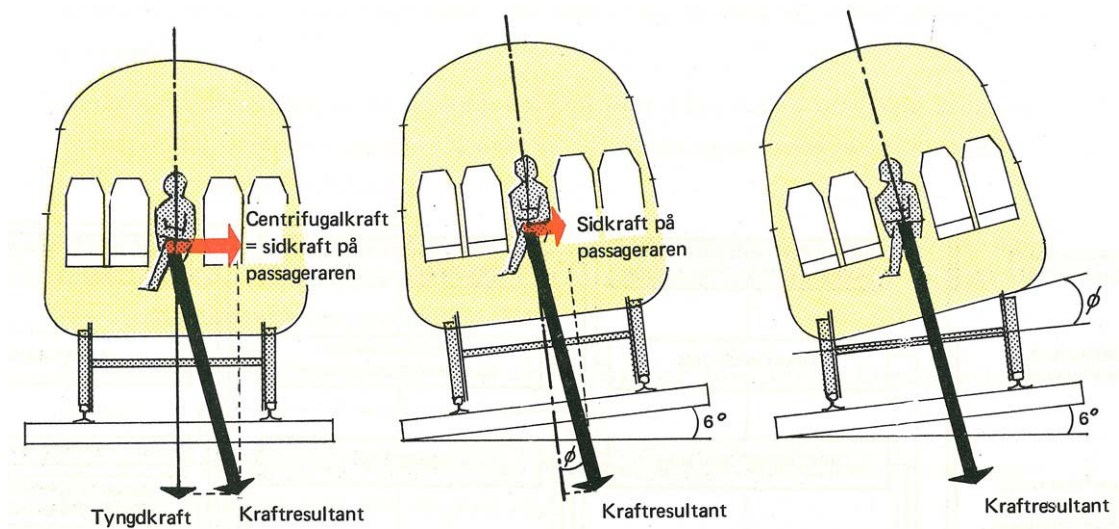


Illustration från "Höga hastigheter i SJ persontrafik", 1969

Redaktör: Oskar Fröidh

Innehåll

Innehåll	2
Förord	3
1. Inledning	4
1.1 Bakgrund.....	4
1.2 Syfte.....	4
2. Tågprestanda	5
2.1 Största tillåtna hastighet (sth).....	5
2.2 Effekt per massa.....	5
2.3 Gångmotstånd.....	5
2.4 Acceleration.....	6
2.5 Retardation.....	6
3. Bangeometri	7
3.1 Rälsförhöjning.....	7
3.2 Horisontalkurvor.....	8
3.3 Övergångskurvor.....	8
3.4 Vertikalkurvor.....	8
4. Uppehållstid	9
4.1 Tidtabellstid.....	9
4.2 Uppehållstid i teorin.....	9

Bilagor

1. Tågprestanda och bangeometri. Evert Andersson och Rickard Persson
2. Bromskraftkurva, bra prestanda. Rickard Persson
3. BVH 586.40 Spårgeometrihandboken och BVS 586.40 remissförslag. Per Hurtig
4. Vertikalkurvor. Björn Kufver
5. BV förslag till spårgeometri för höghastighetsbanor. Per Hurtig

Kontakt med redaktören:

Oskar Fröidh
Avd för trafik och logistik
KTH
100 44 Stockholm

oskar@infra.kth.se
08-790 83 79

Förord

Arbetet att ta fram intervall för tågprestanda och bangeometri i forsknings- och utvecklingsprojektet Gröna Tåget genomfördes i en arbetsgrupp under oktober-november 2005. Arbetsgruppen sammanställde material inom sina respektive kompetensområden, och vid ett par gemensamma diskussioner avgjordes vilka värden som är intressanta för vidare forskning.

Arbetsgruppen har i första hand sammanställt parametrar nödvändiga för att uppnå syftet att genomföra gångtidsberäkningar. Däremot ska dokumentet inte ses som ett slutgiltigt ställningstagande i dessa frågor; det pågår standardiserings- och utvecklingsarbete som kommer att göra vissa av dessa normer och antaganden inaktuella inom kortare eller längre tid.

Bilagorna innehåller ofta intressanta resonemang och ska ses som en bakgrund. Däremot har arbetsgruppens överväganden inneburit att parametrar i bilagorna i vissa fall avviker från huvudtexten.

I arbetsgruppen för tågprestanda och bangeometri har följande personer medverkat (i bokstavsordning på efternamnen):

Evert Andersson, KTH
Oskar Fröidh, KTH
Per Hurtig, Banverket
Mattias Jenstav, Transrail
Björn Kufver, Ferroplan
Johan Palm, Bombardier Transportation
Rickard Persson, Bombardier Transportation
Susanne Rymell, SJ
Sören Stridsberg, Bombardier Transportation
Johannes Wolfmaier, KTH

Sammanställande har varit undertecknad.

Till sist vill jag framföra ett tack till deltagarna för att ni beredvilligt delat med er av era kunskaper!

Stockholm i november 2005

Oskar Fröidh

1. Inledning

Forskningsprojektet om Gröna tåget handlar om att studera en ny generations snabba tåg i Sverige i ett systemperspektiv. Systemperspektivet omfattar såväl teknik som marknad och ekonomi, säkerhet och miljö, och att beakta sambanden mellan fordon och infrastruktur, trafikering och kapacitetsutnyttjande. Genom innovativa lösningar går det att förbättra ekonomi och prestanda t.ex. genom att utveckla "low-cost high-speed", och förbättra samhällsekonomin för tågtrafiken i ett helhetsperspektiv.

1.1 Bakgrund

Ett delprojekt i Gröna Tåget är marknad och trafik. I delprojektet finns ett behov av att definiera teknisk standard i de viktigaste parametrarna som påverkar gångtiderna. Ambitionen i förstudien har varit att bestämma ett tänkbart intervall för olika parametrar, samt att identifiera de parametrar som skiljer sig mellan nu gällande nationell praxis eller normer, och Teknisk specifikation för driftskompatibilitet (TSD) eller europasnormer (CEN) som gäller nu eller bedöms komma att gälla inom en inte alltför avlägsen framtid. Dessutom är uppehållstider av intresse för restiderna, vilket motiverar ett avsnitt om detta.

Restiderna beräknade för ett urval linjer, typlinjer, ska användas som underlag för marknadsanalyser för att kunna avgöra nyttorna med förbättrade prestanda. Som referens i restidsberäkningarna kommer snabbtågstrafiken med X2 att användas.

I en senare etapp ska tågprestanda för Gröna Tåget utvärderas med hänsyn till trafikuppgifter, vilket inkluderar t.ex. antal sittplatser i tåget och uppehållsmönster.

De i detta PM presenterade normerna och antagandena är inte slutgiltiga för det framtida Gröna Tåget. Det pågår standardiserings- och utvecklingsarbete både i Sverige och internationellt som kommer att göra vissa uppgifter inaktuella, och de måste därför betraktas som preliminära. Vi har ändå valt att presentera parametrarna i en sammanställning i ett tidigt skede av projektet för att kunna fortsätta arbetet med Gröna Tåget.

1.2 Syfte

Syftet är att bestämma intervall (minsta-största värde) för tekniskt, ekonomiskt och komfortmässigt möjliga tågprestanda som funktion av bangeometrin. De parametrar som ska bestämmas är i första hand de som påverkar gångtiderna vid en RailSys-simulering.

2. Tågprestanda

2.1 Största tillåtna hastighet (sth)

Nedanstående värden är de typfall som kommer att gångtidsberäknas för det framtida Gröna Tåget, 320 km/h dock endast på nybyggd bana med höghastighetsstandard (Götalandsbanan).

Största tillåtna hastighet

<i>Sth</i>	<i>Anmärkning</i>
250 km/h	BV hittillsvarande banstandard
280 km/h	Måttlig ökning (+12%) för kortare restider
320 km/h	Endast vid nybyggnad med höghastighetsstandard

2.2 Effekt per massa

Tågets effekt i förhållande till vikten ("specifik effekt") påverkar accelerationsprestanda och därmed gångtiderna. Effektbehovet per massa ökar med ökande hastighet, och vid högre hastigheter är ofta krav på residualacceleration (avsnitt 2.4.2) dimensionerande för effekten.

Effekt per massa anges här som maximal effekt dividerat med massan av ett fullsatt tåg, där alla sittplatser är upptagna med 80 kg per passagerare.

Som jämförelse har X2-6 (200 km/h) ca 10 kW/ton, nya Pendolino (250 km/h) ca 13 kW/ton, och Velaro E (350 km/h) ca 19 kW/ton.

I gångtidsberäkningarna kommer som minimikrav de normer som presenteras i TSD att användas, där startacceleration och residualacceleration vid största tillåten hastighet bestämmer effektbehovet. Därutöver kommer två nivåer att analyseras, som här ansätts till relativt höga värden.

Effekt per massa

<i>Effekt per massa</i>	<i>Anmärkning</i>
Enligt TSD för 250, 280 resp 320 km/h 20 kW/ton 25 kW/ton	Härleds från TSD minimikrav om start- och residualacceleration

2.3 Gångmotstånd

Vanligen beskrivs ett tågs gångmotstånd (exklusive stigningsmotstånd) med följande formel:

$$R = A + B \cdot v + C \cdot v^2 \text{ [N]}$$

Där: v är hastigheten i [m/s], A, B och C är fordonsberoende konstanter. För ett aerodynamiskt väl utformat tåg gäller konstanter enligt tabell (se vidare i bilaga 1):

Gångmotståndets konstanter för ett aerodynamiskt väl utformat fordon

<i>Konstant</i>	<i>Normala värden 6 vagnar</i>	<i>Förslag 4 – 8 vagnar</i>	
		<i>Generell formel</i>	<i>6 vagnar</i>
A	1000 – 5000 [N]	400 [N/vagn]	2400 [N]
B	0 – 100 [kg/s]	10 [kg/s/vagn]	60 [kg/s]
C	5 – 8 [kg/m]	2 [kg/m] + 0,75 [kg/m/vagn]	6,5 [kg/m]

Not: De föreslagna värdena gäller ett 3,3 m brett fordon som väger 60 ton per vagn med "små" boggijolar. Normal sidvind är beaktad.

2.4 Acceleration

2.4.1 Startacceleration

Startacceleration testas i tre nivåer för att kunna bedöma lämpliga prestanda, där den lägsta nivån är krav enligt TSD. Enligt TSD gäller medelaccelerationen 0,48 m/s² i hastighetsområdet 0-40 km/h, 0,32 m/s² 0-120 och 0,17 m/s² 0-160 km/h.

Startacceleration

<i>Startacceleration</i>	<i>Anmärkning</i>
0,48 m/s ²	Minimikrav enligt TSD (0-40 km/h)
0,6 m/s ²	Korresponderar med normalt värde för driftbroms
1,0 m/s ²	Högt värde

2.4.2 Residualacceleration

Det som normalt avgör effektbehovet är den residualacceleration som ska uppnås vid största tillåtna hastighet. TSD har ett minimikrav på 0,05 m/s², vilket är rimligt för 300 km/h och därutöver. För tåg gjorda för 250 km/h kan det vara rimligt med något högre värde, kanske 0,07-0,08 m/s².

2.5 Retardation

I nu gällande TSD är högsta hastighetsintervallet 330-300 km/h, och i detta intervall ska medelretardationen 0,35 m/s² uppnås. En ändring är föreslagen enligt tabellen:

Minimikrav för retardation vid normal färdbrömsning enligt TSD remissutgåva

<i>Bromsläge</i>	<i>t_e</i>	<i>Minimigränser för retardation under fastställda bromsförhållanden</i>			
		350-300 km/h	300-230 km/h	230-170 km/h	170-0 km/h
Normal färdbrömsning	2 s	0,30 m/s ²	0,35 m/s ²	0,6 m/s ²	0,6 m/s ²

t_e Tid för ansättning av bromsen [s]

Källa: TSD remissutgåva 2005-05-25

TSD överensstämmer med svensk praxis vid tidtabellläggning (0,6 m/s² vid normal driftbroms vid sth ≤ 200 km/h). Signalsystemets uppbyggnad innebär att det idag vid en sth på 200 km/h fordras en retardation om 1,07 m/s² enligt BVF 544.98007.

I gångtidsberäkningarna används två nivåer för driftbroms; dels TSD minimikrav (tabellen), dels en kraftigare retardation på 1,0 m/s² (130 á 100-0 km/h). Det senare förutsätter upp till 12% adhesionsutnyttjande vid elbromsning med 2/3 drivna axlar, samt att rycken begränsas (bilaga 2).

3. Bangeometri

Nedan följer en kort sammanfattning av väsentliga befintliga och de framtida normerna för spårgeometri. Underlaget presenteras i bilagorna 1 och 3-5.

3.1 Rälsförhöjning

3.1.1 Maximal rälsförhöjning (h_a)

Maximalt anordnad rälsförhöjning (h_a)

<i>Maximal rälsförhöjning (h_a)</i>	<i>Anmärkning</i>
150 mm	Dagens norm (BVH 586.40)
160 mm	Förslag (BVS 586.40)
200 mm	Förslag (BVS 586.40), endast persontrafik (dvs ej tunga godståg). Enligt TSD får 200 mm anordnas endast på avsnitt där hög linjehastighet är tillåten

3.1.2 Maximal rälsförhöjningsbrist (h_b)

Maximal rälsförhöjningsbrist (h_b)

<i>Maximal rälsförhöjningsbrist (h_b)</i>	<i>Anmärkning</i>
100 mm	A-tåg
150 mm	Dagens B-tåg
165 mm ¹	Framtida B-tåg
245 mm	Dagens S-tåg (Sverige)
300 mm	Framtida S-tåg (CEN prEN 13803-1)

¹ Enligt TSD vid sth upp till och med 230 km/h

Maximal rälsförhöjningsbrist gäller nu och föreslås även i framtiden i Sverige gälla för hela hastighetsregistret, medan TSD har minskande värden med ökande hastighet (bilaga 1).

3.1.3 Studerade kombinationer $h_a + h_b$

I gångtidsberäkningarna kommer effekterna av förändrad anordnad rälsförhöjning respektive den europeiska S-tågsnormen att studeras. Fyra kombinationer i tabellen ska studeras för Västra stambanan (alla utom 365 mm), med hänsyn till komforten för resenärerna. För de övriga typlinjerna studeras i första hand 300 respektive 395 mm. Götalandsbanan bör dock beräknas med 365 mm istället för 395 mm.

Kombinationer av $h_a + h_b$

<i>Rälsförhöjning (h_a+h_b)</i>	<i>h_a+h_b</i>	<i>Anmärkning</i>
300 mm	150+150 mm	Referens; dagens h_a och h_b för B-tåg
325 mm	160+165 mm	Framtida h_a och h_b för B-tåg
365 mm	200+165 mm	Endast nybyggda banor utan tung godstrafik
395 mm	150+245 mm	Referens; dagens h_a och h_b för S-tåg
460 mm	160+300 mm	Framtida h_a och h_b för S-tåg

Även kombinationen 200+300 mm skulle kunna studeras som ett extremvärde för S-tåg på bana utan tung godstrafik, men fallet är inte aktuellt på någon av typlinjerna.

3.1.4 Maximalt rälsförhöjningsöverskott (h_o)

Underhållsbetingad faktor för långsammare tåg, ofta godståg, på en järnväg optimerad för högre hastigheter. Enligt TSD är h_o max 110 mm.

3.2 Horisontalkurvor

Framtida BV-standard (utkast till BVS 586.40 Spårgeometri, ; denna och dagens normer – bilaga 3).
I det rekommenderade värdet innebär faktorn 1,7 att en marginal finns för framtida hastighetshöjning på ca 30%.

Radiens rekommenderade värde:
$$R = \frac{11,8 \cdot 1,7 \cdot V_{\text{dim}}^2}{ha + hb}$$

Radiens minimivärde:
$$R = \frac{11,8(V_{\text{dim}})^2}{ha + hb}$$

3.3 Övergångskurvor

Framtida BV-standard (utkast till BVS 586.40 Spårgeometri; denna och dagens normer – bilaga 3).

Minsta längd på övergångskurva L_r :
$$L_r \geq \frac{\Delta ha \cdot V_{\text{dim}} \cdot q}{1000} \quad L_r \geq \frac{\Delta hb \cdot V_{\text{dim}} \cdot q}{1000}$$

Rek. längd på övergångskurva L_r :
$$L_r \geq \frac{\Delta ha \cdot 1,3V_{\text{dim}} \cdot q}{1000} \quad L_r \geq \frac{\Delta hb \cdot 1,3V_{\text{dim}} \cdot q}{1000}$$

I formeln ovan är godhetstal q

	Dagens q (h_a)	Framtida q (h_a)	q (h_b)
A-tåg	6	5	6
B-tåg	5	4,5	5
S-tåg	4	4	3,5
S-tåg enligt CEN prEN	-	Ska beräknas	

3.4 Vertikalkurvor

Vertikalkurvradier påverkar komforten, men kan möjligen också vara en säkerhetsfråga i samband med korglutning och sidvind. Stora kurvradier ger små accelerationer och bättre komfort, men i allmänhet högre anläggningskostnader för banan.

Den svenska normen som anges i tabellen överensstämmer även med en tysk (se vidare i bilaga 4). Inom CEN pågår arbete med nya komfortrelaterade normer. Idag rekommenderar CEN i den utgående ENV 13803-1 vertikalkurvradien $R_v = 0,175 \cdot V^2$. Specifika komfortprov skulle kunna planeras för att pröva ökad tillåten vertikalacceleration.

Vertikalkurvors radie (R_v)

Minsta vertikalradie R_v (m)	Motsvarande vertikalacceleration	Anmärkning
$R_v = 0,16 \cdot V^2$	0,48 m/s ²	Dagens norm (BVH 586.40)

4. Uppehållstid

4.1 Tidtabellstid

4.1.1 Uppehåll för resandeutbyte

Praxis idag (se BV TF601) är att lägga tidtabellerna med 1 minuts uppehållstid vid mindre stationer och 2 minuter vid större stationer. Erfarenheterna visar dock att dessa tider i allmänhet är underskattade vid hög belastning, och förseningar uppstår ofta vid uppehållen.

4.1.2 Övriga tillägg

Vid gångtidsberäkning används tidstillägg där det finns några olika principer. Tilläggen är avsedda att fungera som buffert mot uppehållsförseningar, att lokföraren inte kör med största tillåten hastighet hela tiden (förartillägg), kapacitetskonflikter, enkelspårdrift och många andra orsaker till mindre ökning av gångtiden. Tågförsening uppstår först när ökningarna överstiger tidtabellstiden.

- Förartillägg: 3% reduktion på tågets teoretiska hastighet, dock ej vid acceleration och retardation (BV TF601)
- Ett extra tidstillägg för icke planeringsbara störningar brukar också tillämpas; tidstillägget motsvarar två hastighetssänkningar till 70 eller 40 km/h under gång mellan två noder i järnvägssystemet med ca 200 km avstånd (se vidare i BV TF601).

Beräknade gångtider avrundas så att 1 decimalminut avrundas nedåt, medan 2 decimalminuter och större avrundas uppåt till närmaste hela minut för att få tidtabellstider. Exempel: 1,2 minuter avrundas uppåt till 2 minuter.

Dessutom behöver tillägg göras för tågmöten på enkelspår och planerade banarbeten i förekommande fall.

4.2 Uppehållstid i teorin

Tågets totala uppehållstid består dels av teknisk tid, dels av resenärernas av- och påstigningstid.

I den tekniska tiden ingår tid för dörrstängning, klarsignal innan avgång etc.

Av- och påstigningstiden är beroende av den dimensionerande dörren, dvs den dörr i tåget som sist blir klar med att få av alla passagerare som ska passera genom den.

Dörrarna bör tillåta enkel passage för en resenär med bagage. Vid dörrbredder över 80-90 cm avtar dock nyttan av bredare dörrar, eftersom passagerarflödet kan begränsas av köande resenärer på plattformen. Två smalare dörrar är följaktligen effektivare än en bred.

Upp till 2 trappsteg i entrén ger små tidstillägg, men 3 trappsteg ger märkbart längre av- och påstigningstider. Lågentré är att föredra för handikappade personer, barnvagnar och resenärer med mycket bagage vilket minskar risken för förseningar (mindre spridning av på- och avstigningstiderna).

Om vi bortser från fördelning av resenärerna längs plattformen vid påstigning kan följande tåganknutna parametrar identifieras:

1. Teknisk tid (s)
2. Antal resenärer genom den dimensionerande dörren (antal dörrar)
3. Dörrbredd (m)
4. Antal trappsteg/höjdskillnad mellan plattform och tågets golv (m)
5. Passagerarflöde i tåget (fysisk utformning, orienterbarhet)

Heinz (2003) har bl.a. estimerat enkla linjära modeller för av- och påstigande resenärer:

Avstigning

Utan bagage: $Q_{\text{alighting}} = 1,06 - 0,43 * H^2 - (0,28/W)$

Med bagage: $Q_{\text{alighting}} = 0,73 - 0,85 * H^2 - (0,06/W)$

Påstigning

Utan bagage: $Q_{\text{boarding}} = 0,72 - 0,55 \cdot H^2 - (0,06/W)$

Med bagage: $Q_{\text{boarding}} = 0,70 - 0,55 \cdot H^2 - (0,16/W)$

där $Q_{\text{alighting}}$ respektive Q_{boarding} är passagerarflödet av avstigande respektive påstigande resenärer (personer/s), H höjdskillnad mellan plattformen och tågets golv (m) och W dörrbredd (m).

Heinz, W. (2003): Passenger service times on trains. KTH, Stockholm

Tågprestanda och bangeometri

Evert Andersson och Rickard Persson, 2005-11-02

Tågets rälsförhöjningsbrist som funktion av hastighet, konventionella fordon

Ett sätt att svara på frågan är att referera till TSI och då speciellt kategorin "high performance vehicles" som på spår med ballast har gränser enligt Tabell 1:

Tabell 1: Maximalt tillåten rälsförhöjningsbrist enligt TSI

Hastighet [km/h]	Rälsförhöjningsbrist [mm]
$V \leq 160$	180
$160 < V \leq 230$	165
$230 < V \leq 250$	150
$250 < V \leq 300$	130

Bakgrunden till den minskande rälsförhöjningen med ökande hastighet är troligen betingad av befintliga fordons oförmåga att klara spårkrafterna i dessa fall. I hastigheter över 300 km/h talar TSI enbart om höghastighetståg på speciella banor, för dessa tillåts endast 80 mm rälsförhöjningsbrist. I förslaget till Europa standard prEN13083-1 anges 160 mm rälsförhöjningsbrist för fordon med låg oavfjädrad massa, låga axellaster och låg krängningskoefficient. Vi förslår att 150 mm ansetts oberoende av hastighet, detta är ju också vad som utnyttjas i Sverige idag för fordon i kategori B. Vidare bör man undersöka effekten av en högre rälsförhöjningsbrist, förslagsvis 165 mm på någon bana t.ex. Stockholm – Göteborg.

Tågets rälsförhöjningsbrist som funktion av hastighet, korglutade fordon

Vad gäller korglutade fordon finns det ingen vägledning i TSI. I förslaget till Europa standard prEN13083-1 anges 275 mm rälsförhöjningsbrist för korglutade fordon. I Sverige tillåts 245 mm för korglutade fordon, i Europeiska mått mätt är detta konservativt varför vi förslår 275 mm som i den preliminära CEN-standarderna. För hastigheter över 250 km/h minskas tillåten rälsförhöjningsbrist med 1 mm / 1 km/h.

Tågets gångmotstånd

Vanligen beskrivs ett tågs gångmotstånd (exklusive stigningsmotstånd) med följande formel:

$$R = A + B \cdot v + C \cdot v^2 \text{ [N]}$$

Där: v är hastigheten i [m/s], A, B och C är fordonsberoende konstanter. För ett aerodynamiskt väl utformat tåg gäller konstanter enligt Tabell 2:

Tabell 2: Gångmotståndets konstanter för ett aerodynamiskt väl utformat fordon

Konstant	Normala värden 6 vagnar	Förslag 4 – 8 vagnar	
		Generell formel	6 vagnar
A	1000 – 5000 [N]	400 [N/vagn]	2400 [N]
B	0 – 100 [kg/s]	10 [kg/s/vagn]	60 [kg/s]
C	5 – 8 [kg/m]	2 [kg/m] + 0.75 [kg/m/vagn]	6.5 [kg/m]

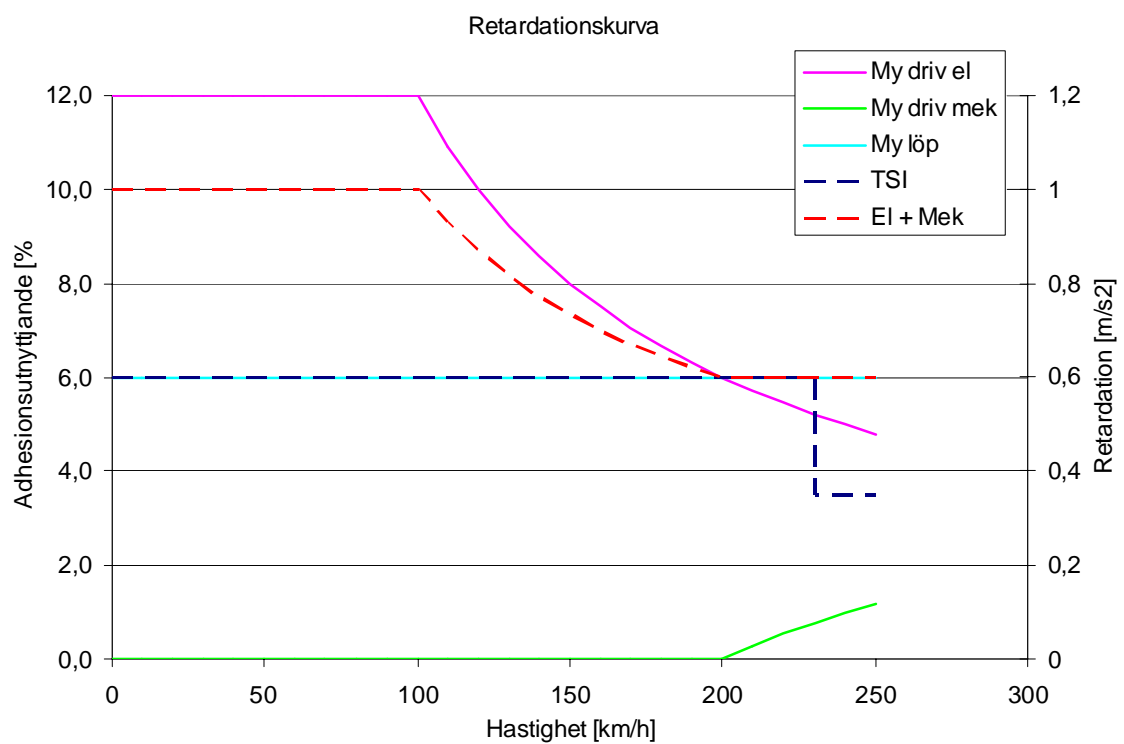
Not: De föreslagna värdena gäller ett 3,3 m brett fordon som väger 60 ton per vagn med "små" boggikjolar. Normal sidvind är beaktad.

Rickard Persson

Bromskraftkurva, bra prestanda

Antag:

- 2/3 drivna axlar (och lika vikt på alla axlar)
- 12% adhesionsutnyttjande på drivna axlar upp tills effekten begränsar
- Om inte effekten räcker till 6% adhesionsutnyttjande kompletteras med mekanisk broms på drivna axlar
- 6% adhesionsutnyttjande på odrivna axlar



Per Hurtig, BV

Spårgeometri (horisontalgeometri)

Nedan följer en kort sammanfattning av de befintliga och de framtida normerna för spårgeometri (horisontalgeometri). Nuläget beskrivs av den nu giltiga BVH 586.40 "spårgeometrihandboken" (samt BVF 586.41 "Tillåten hastighet mht spårets geometriska form". I den standard som kommer att sändas ut på remiss inom kort (BVS 586.40 "Spårgeometri") har en del förändringar gjorts samt ett försök till anpassning till ENV 13803-1. (Notera att ENV 13803-1 är utgående och kommer att ersättas av EN 13803-1, red. anm.)

Nuläget (BVH 586.40 Spårgeometrihandboken):

Maximal rälsförhöjning ha	150 mm
Maximal rälsförhöjningsbrist hb	100 mm (A-tåg) 150 mm (B-tåg) 245 mm (S-tåg)
Maximalt rälsförhöjningsöverskott hö	100 mm
Radiens riktvärde R_{rikt}	$R_{rikt} = \frac{11,8(1,3 \cdot V_{dim})^2}{250}$
Radiens minimivärde R_{min}	$R_{min} = \frac{11,8(V_{dim})^2}{250}$
Minsta längd på övergångskurva Lr	$Lr = 5 \cdot \sqrt{R} \text{ (om } R \leq R_{rikt})$ $Lr = \frac{V_{dim}^3}{9 \cdot R} \text{ (om } R > R_{rikt})$

Framtida standard (ur utkast till BVS 586.40 Spårgeometri)

Maximal rälsförhöjning ha	160 mm
Maximal rälsförhöjningsbrist hb	200 mm (vid enbart persontrafik) 100 mm (A-tåg) 150 mm (B-tåg) 245 mm (S-tåg)
Maximalt rälsförhöjningsöverskott hö	110 mm
Radiens rekommenderade värde	$R = \frac{11,8 \cdot 1,7 \cdot V_{dim}^2}{ha + hb}$
Radiens minimivärde	$R = \frac{11,8 \cdot V_{dim}^2}{ha + hb}$
Minsta längd på övergångskurva Lr	$Lr = \frac{\Delta ha \cdot V_{dim} \cdot q}{1000}$ $Lr = \frac{\Delta hb \cdot V_{dim} \cdot q}{1000}$
Rekommenderad längd på övergångskurva Lr	$Lr = \frac{\Delta ha \cdot 1,3V_{dim} \cdot q}{1000}$ $Lr = \frac{\Delta hb \cdot 1,3V_{dim} \cdot q}{1000}$
där godhetstal q (ha) = 5 (A-tåg)	q (hb) = 6 (A-tåg)
q (ha) = 4,5 (B-tåg)	q (hb) = 5 (B-tåg)
q (ha) = 4 (S-tåg)	q (hb) = 3,5 (S-tåg)

Björn Kufver
2005-10-16

Gröna tåget – Något om vertikalkurvors radier

TSD innehåller inga regler för vertikalkurvors radier.

CEN ENV 13803-1 skriver att vertikalkurvors radier ej är säkerhetsrelaterade och att limitar i dokumentet inte är bindande krav. Av komfortskäl har ENV 13803-1 $R_v=0,175*V^2$ som föreslagen limit, motsvarande en ökad vertikalacceleration om $0,44 \text{ m/s}^2$. För linjer med många stående resenärer i tågen föreslår ENV 13803-1 $R_v=0,77*V^2$, motsvarande $0,10 \text{ m/s}^2$.

I FACT-projektet konstaterades att tåg med korglutning i horisontalkurvor kan få tillskott i vertikalacceleration om cirka $0,4 \text{ m/s}^2$. Sammanfaller en sådan horisontalkurva med en konkav vertikalkurva kan det totala tillskottet i vertikalacceleration uppgå till cirka $0,8 \text{ m/s}^2$.

Docklands Light Railways och London Underground tillämpar cirka $0,10 \text{ m/s}^2$ som limit för vertikalacceleration, motsvarande CEN:s krav för linjer med stående resenärer.

DB:s krav varierar från $R_v=0,25*V^2$ (Regelwert) ner till $R_v=0,16*V^2$ (Zustimmungswert).

CTRL, engelska Channel Tunnel Rail Link (projekterad av franska SYSTRA, som troligen kopierat SNCF:s krav), har följande gränsvärden:

Rekommenderat:	$0,40 \text{ m/s}^2$
Normalt:	$0,45 \text{ m/s}^2$
Exceptionellt:	$0,50 \text{ m/s}^2$

BV:s regler har som gränsfall $R_v=0,16*V^2$, motsvarande $0,48 \text{ m/s}^2$. Det motsvarar gränsvärden hos DB och CTRL, och är något mer liberalt än limitar i CEN ENV 13803-1.

Fler normer kommer att studeras inom kort.

Preliminär rekommendation

För körning på befintlig bana kan rekommenderas att BV:s gränsfall behålls.

För nybyggnad bör vertikalgeometrin projekteras med samma marginaler som plangeometrin. Därutöver bör marginaler läggas för att kunna köra korglutande tåg snabbare.

Specifika komfortprov skulle kunna planeras för att pröva ökad tillåten vertikalacceleration ytterligare.

Per Hurtig, BV

BV förslag till spårgeometri för höghastighetsbanor

Det PM som redovisas här togs fram som ett svar på en direkt fråga till Banverkets huvudkontor från projektet Ostlänken och bygger till största delen på det förslag på ny spårgeometristandard som finns, samt till viss del på ENV 13803-1.

Utdrag ur "PM Spårgeometri för höghastighetsbanor" 2005-02-28

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	
Hastighet (km/h)	320	300	250	250	
Rälsförhöjning (mm)	180	180	180	160	enligt TSD
Rälsförhöjningsbrist (mm)	80	100	100	100	enligt TSD
Rälsförhöjningsöverskott (mm)				110	enligt TSD
Minsta horisontalradie (m)	4700	3800	2700	2900	
Rekommenderad horisontalradie (m)	6600	5500	3800	4100	
Minsta vertikalradie (m)	26000	23000	16000	16000	
Rekommenderad vertikalradie (m)	44000	37000	26000	26000	Se anm. ¹⁾
Stigningar upp till 10 km (‰)	25	25	25	10	
Stigningar upp till 6 km (‰)	35	35	35	10	
Minsta längd på övergångskurva (m)	470	430	360	370	Se anm. ²⁾
Rekommenderad längd på övergångskurva (m)	560	510	430	440	Se anm. ³⁾

Fall 1 = endast persontåg med maximal hastighet på 320 km/h

Fall 2 = endast persontåg med maximal hastighet på 300 km/h

Fall 3 = endast persontåg med maximal hastighet på 250 km/h

Fall 4 = bana för blandad trafik med maximal hastighet 250 km/h

¹⁾ $0.175V^2$ för maximal hastighet med lutande tåg där $h_a=200$ mm och $h_b=250$ mm

²⁾ 4 sekunders varaktighet för max utnyttjad minsta horisontalradie med korglutning ($h_a=200$ mm och $h_b=250$ mm)

³⁾ 4 sekunders varaktighet för max utnyttjad rekommenderad horisontalradie med korglutning ($h_a=200$ mm och $h_b=250$ mm)