

Datum
2002-12-19

Ert datum

Vår beteckning
S02-2125/TR99

Näringsdepartementet
Jakobsgatan 26
103 33 STOCKHOLM

SE-781 85 Borlänge
Besöksadress:
Jussi Björlings väg 2

Telefon 0243-44 50 00
Telefax 0243-44 50 09
www.banverket.se

Redovisning av vissa marginalkostnadskomponenter, 2002

Banverket har av regeringen fått i uppdrag att under 2002 fortsätta översynen av järnvägens kortsiktiga marginalkostnader. I bifogade rapport redovisas kortfattat kunskapsläget. Under 2003 avser Banverket att genomföra en mer grundläggande genomgång av slitagekostnaderna. Det finns emellertid en hel del tämligen svårlösta metodologiska problem när det gäller mätning av järnvägsfordons slitage på spår och andra anläggningar. Resultaten från studien kommer ändå att ge bättre hållpunkter för eventuella förslag till förändringar i banavgifterna.

Avgiftsförändringar kan vara mycket verksamma som transportpolitiskt medel, men Banverket vill understryka vikten av att man vid framtida avgiftsförändringar inte påverkar järnvägens konkurrenssituation negativt. Det är också av stor vikt att förändrade banavgifter får avsedda effekter på utnyttjandet av statens spåranläggningar. Om avvägningen mellan de olika kostnadskomponenterna inte blir korrekt kan järnvägens inre effektivitet påverkas negativt.

Bo Bylund

Handläggare:
Stefan Pettersson
Tel. 0243-44 54 29
Mobil 070-724 54 29
stefan.m.pettersson@
banverket.se

2002-12-20

**Uppföljning av vissa
marginalkostnadskomponenter, 2002**

INNEHÅLL

1 Slitage	3
1.1 Inledning	3
1.2 Sammanfattning av förstudie	3
1.3 Banverkets kommentarer till studien	7
1.4 Analys av kostnader för rangerbangårdar	7
2 Olyckskostnader	9
3 Miljökostnader	9
3.1 Emissionskostnader	9
3.2 Bullerkostnader	9
3.2.1 Inledning	9
3.2.2 Genomsnittskostnad eller marginalkostnad	9
4 Knapphets- och störningskostnader	10
4.1 Inledning	10
4.2 Incitamentsavtal	11

Bilaga MC Tema Slutredovisning Förstudie Järnväg

1 Slitage

1.1 Inledning

Slitage och nedbrytning av transportinfrastruktur är en vedertagen komponent när trafikens samhällsekonomiska marginalkostnader diskuteras. Om det finns ett beroende mellan slitage, nedbrytning och trafikvolym/belastning bör denna komponent inkluderas i en prissättningspolicy.

Trafikutövare betalar idag trafikavgifter, eller banavgifter som är en mer vedertagen benämning, vid trafik på statens spåranläggningar. De komponenter som berör nyttjandet av infrastrukturen och idag debiteras är spåravgiften och rangerbangårdsavgiften.

Banverkets bidrag till kunskapsutvecklingen inom slitageområdet består av två delar. För det första görs en sammanfattning av *Förstudie järnväg*¹. Banverket ger i detta sammanhang kommentarer till innehåll och de rekommendationer som ges i dokumentet.

För det andra redovisas en analys av kostnader för rangerbangårdar. Denna togs fram redan 1988 och Banverket och SIKÄ uppmärksammade frågan i *Nya Banavgifter?* (SIKÄ Rapport 2002:2)

1.2 Sammanfattning av förstudie

Rapporten tar sin utgångspunkt i frågeställningen kring om och hur reinvesteringar skall inkluderas i slitageavgiften. Förutom detta är syftet med förstudien att:

- översiktligt beskriva kunskapsläget kring nedbrytning av järnvägens infrastruktur
- beskriva befintliga data i Banverket som underlag för att estimerade marginalkostnader för nedbrytning av järnvägsinfrastruktur
- peka ut behov av kompletterande data om existerande data inte är tillfredsställande och ändamålsenliga.

Nedbrytningsmodeller

En nedbrytningsmodell beskriver hur infrastrukturens tillstånd förändras inom en given tidsperiod. Som Banverket tidigare redovisat finns det ingen vedertagen nedbrytningsmodell, vilket gör prognoser av framtida tillstånd svåra. Undersökningar i samband med införande av högre axellaster indikerar bl.a. att en höjning av dessa inte skulle medföra annat än marginell påverkan på underhållskostnaderna.

¹ MC-Tema – Slitage, projektnummer 91003, Mats Andersson, VTI.

Axellaststudien tar sin utgångspunkt i att redan inledningsvis fördela underhållskostnader på fasta respektive rörliga med trafikbelastning, vilket innebär att modellen inte är tillämpbar för marginalkostnadsberäkningar. Detta beror på att antaganden om den rörliga kostnadsandelen saknar empiriskt underlag. Det är även tvivelaktigt om modellen är lämplig att använda för sitt syfte så länge empirisk kunskap saknas. Antagandet om underhållskostnadernas rörliga andel påverkar förmodligen relativt mycket modellresultatet i termer av kostnader för ökad nedbrytning vid ökade axellaster.

Den internationella kunskapen inom området är blygsam, vilket är en brist, då nedbrytningsfakta är nödvändiga för att beräkna marginella slitagekostnader, men kanske framförallt för att planera för drift- och underhållsåtgärder. Bland dessa kan dock särskilt uppmärksammas Bing och Gross (1983)² som redogör för inledande försök i USA att modellera nedbrytningen av banöverbyggnaden. Forskarna utvärderar övergripande faktorer, trafik, typ av konstruktion och underhållsparametrar (åtgärder). Femton kausala faktorer identifieras inom dessa grupper och en mekanistisk-empirisk modell tillämpas för att testa de olika faktorernas påverkan på slitaget. Begränsad datamängd och brist på variation i konstruktionen gör dock att faktorer som inte varierar inom testområdet inte kan modelleras. Därför valdes ett antal faktorer, som utifrån ingenjörsmässiga bedömningar påverkar slitaget.

Kausala faktorer	Betydelse
Nuvarande tillstånd	Stor
Årligt tonnage	Stor
Axellast mix (procent av tunga transporter)	Stor
Tåghastighet	Stor
Ballasttyp	Stor
Banöverbyggnadens styvhet	Stor
Dränering och ballastkvalitet	Medel
Tid sedan senaste åtgärd	Medel
Frys-töcykler	Medel
Kurvatur	Medel

I den slutgiltiga modellen där Bing och Cross tagit hänsyn till vad som är praktiskt möjligt ingår dock bara nuvarande tillstånd, hastigheter, rälsålder, ballastindex och tidpunkt för senaste åtgärd.

Data

De fem huvudtyper av data som Banverket redovisade i delrapporteringen för årets marginalkostnadsstudie³, och som också kommenteras i VTI's rapport är:

² Bing, A.J. och A. Gross (1983) "Development of Railroad Track Degradation Models" *Transportation Research Record 939*, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C, USA.

³ S02-2125/TR99

- Trafikdata,
- Tillståndsdata,
- Åtgärdsdata,
- Anläggningsdata,
- Ekonomiska data.

Trafikdata

Trafikutövare måste lämna vissa trafikuppgifter till Banverket som underlag för banavgifterna. Denna redovisning sker dock i form av aggregat och ger således ingen hjälp att beräkna nedbrytning av järnvägsinfrastrukturen. Banverket har emellertid under några år drivit ett internt projekt för att komma tillrätta med tåg- och trafikinformationen. Alldeles nyligen startades testdriften av systemet OPERA, som är ett operativt hjälpverktyg för den operativa tågtrafikledningen.

Uppgifter som är nödvändiga för den operativa trafikledningen matas in i systemet. Givetvis är det på sikt även möjligt att mata in andra uppgifter. Tanken är sedan att de uppgifter som leveras ska användas för uppföljningsändamål i ett system som kallas POSTLUDIUM. Förhoppningen är att uppgifter i detta system ska kopplas till infrastrukturdata så att en heltäckande bild av trafikläget kan fås på bandelnivå. Systemet sätts i provdrift vid årsskiftet 2002/03 och uppbörden av banavgifterna ska senare vara möjlig att sköta via systemet. För forskningsändamål och detaljerade marginalkostnadsberäkningar behövs data för flera år, vilket innebär att nya skattningar på disaggregerad nivå inte kan baseras på det nya systemet förrän tidigast om några år.

Tillståndsdata

Bantillståndet beskrivs inom Banverket i huvudsak genom s.k. spårlägesmätningar. Spårläget mäts flera gånger per år med 10-12 parametrar vid varje punkt. Spårens tillstånd är en central komponent för att ta fram nedbrytningsmodeller. Ur datafångsperspektiv finns det relativt bra data om spårläget inom Banverket. Spårlägesmätningarna är emellertid omfattande och det krävs aggregering för att de skall vara hanterbara i en analys.

Åtgärdsdata

Denna typ av data är bristfällig för tillfället. Den information som finns tillgänglig anger endast den senaste tidpunkten för en åtgärd, vilket innebär att vidtagna åtgärder genom åren inte kan inkluderas som förklaringsvariabler för tillståndsutveckling.

Anläggningsdata

Information om anläggningsdata inom Banverket finns i BanInformationsSystemet (BIS). Detta beskriver endast nuläget och innehåller inte några historiska uppgifter om infrastrukturen. Banverket och VTI undersöker för närvarande möjligheterna att analysera förändringar över tiden. En förutsättning är dock att uppgifter om anläggningens utseende finns sparad vid olika tidpunkter.

Ekonomiska data

Ekonomisystemet Agresso innehåller uppgifter om kostnader för bl.a. drift, underhåll och reinvesteringar från 1999 och framåt. Tidigare återfanns uppgifterna i ett annat ekonomisystem. Kostnaderna för drift, underhåll och reinvesteringar finns redovisade på bandelnivå i ekonomisystemet. Detta ökar de framtida möjligheterna att få fram tillförlitlig information.

Reinvesteringar (utbyten)

Banverket definierar ett antal begrepp inom banhållningsprocessen såsom, drift, vidmakthållande och uppgradering. Begreppet *vidmakthållande* används för att beskriva de åtgärder som syftar till att ”säkerställa banan i ett tekniskt och funktionellt tillstånd som är motiverat av aktuell trafik”. Vidmakthållandet innehåller såväl *underhåll* som *reinvestering*. Underhållet ska genomföras för att vidmakthålla banan, eller återställa den till ett sådant tillstånd att den kan utföra avtalad prestation. Ett utbyte (reinvestering) av anläggningen genomförs för att nå minst det ursprungliga tillståndet. Det är viktigt att understryka att grundsyftet med en reinvestering aldrig är att uppgradera järnvägen utan alltid att återställa tillståndet till nybyggnadsskick. I vissa situationer leder reinvesteringar dock till uppgradering p.g.a. att anläggningar eller komponenter som ska ersättas inte längre finns på marknaden.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att reinvesteringar är en del i en större strategi för att upprätthålla en *steady state* av järnvägen. Därmed kan sägas att den är relevant i en prissättningspolicy. Svårigheten ligger i att empiriskt fastställa dess storlek.

I rapporten har det vidare undersökts vilken kvalitet olika data för reinvesteringar har. Bandelsspecifika reinvesteringar stämmer väl överens med den totala kostnaden för reinvesteringar för tidsperioden 1993-2000. Problemet med bandelsspecifika kostnader är dock att det inte finns någon systematisk lagring av vilka åtgärder som kan härledas till respektive kostnadspost.

Förslag till vidare arbete

Rapporten avslutas med en diskussion om på vilket sätt Banverket bör gå vidare för att undanröja de hinder som föreligger för att förbättra befintliga beräkningar av marginella slitagekostnader för järnvägens infrastruktur. Förslagen tar sin utgångspunkt i de databrister som finns, nämligen:

- **trafikdata** för gods- och persontrafik. Banverket bör enligt rapporten påskynda arbetet med att säkerställa att detaljerade trafikdata sparas på så låg detaljeringsnivå som möjligt.
- **infrastrukturdata** med möjlighet att spara uppgifter över vidtagna åtgärder, anläggningskomponenter, tillståndsmätningar, besiktningsanmärkningar, felrapporteringar och trafikstörningar. Det enda som krävs för detta är att anläggningens status sparas t.ex. den 1 januari varje år från baninformationssystemet BIS.

- **kostnadsdata** är det område som idag är minst problematiskt. Dock finns problem med att stora delar av kostnadsmassan hamnar under rubriker som "övrigt".

1.3 Banverkets kommentarer till studien

Som övergripande synpunkt anser Banverket att rapporten beskriver de problem som föreligger inom området på ett strukturerat och välformulerat sätt. Banverket har heller inga principiella invändningar mot den faktaframställning som görs kring datatillgång, teori och de förslag som ges till vidare arbete. Nedan följer dock några mer detaljerade kommentarer på rapportens innehåll.

- Rapportens beskrivning av datatillgången får ses som korrekt, även om detta innebär problem för beräkning av den marginella slitagekostnaden.
- Banverket instämmer i att reinvesteringskostnaden är relevant i en prissättningspolicy men att problem föreligger att empiriskt bestämma dess storlek (se nedan). Den studie av Nilsson och Johansson (2000) som ligger till grund för nuvarande slitageavgift lyckades inte fånga denna komponent i skattningen.
- Kostnadsdata är det område som har minst problem. Ett problem i sammanhanget är dock att någon systematisk lagring av vilka reinvesteringsåtgärder på bandelnivå som genomförts inte finns tillgängliga. En konsekvens av detta är att det är svårt att i en nedbrytningsmodell fånga in reinvesteringar som kostnadsdrivare.
- Motsvarande problem finns för anläggningsdata. Då historiska data om anläggningens standard inte finns sparad föreligger på kort sikt svårigheter att ta fram en nedbrytningsmodell för den svenska järnvägsinfrastrukturen.

Banverket anser därför utifrån ovanstående synpunkter och den refererade förstudien att det utifrån nuvarande kunskapsläge är praktiskt taget omöjligt att genom:

- ekonometriska studier inkludera reinvesteringskomponenten i slitagekostnaden
- nedbrytningsmodeller beräkna slitagekostnaden.

1.4 Analys av kostnader för rangerbangårdar

Bakgrund

Banverket och SIKa konstaterade inom ramen för banavgiftsuppdraget att det är angeläget att rangerbangårdsavgiften ses över. Med anledning av detta har Banverket inlett en översyn av denna.

Vid introduktionen av banavgifter 1989 beräknades rangerbangårdsavgiften till 3,50 kr per rangerad vagn. Underlaget togs fram i början av 1988. Det senaste heltäckande underlag som då fanns tillgängligt var för 1986. De kostnader som låg till grund för avgiften avsåg 26 bangårdar där tågbildning förekom i större eller mindre omfattning. De kostnadskomponenter som beaktades var underhåll av spår (banunderbyggnad, ballast, räler, växlar och sliprar) samt underhåll av rangerbromsar. Dessa kostnader togs med i sin helhet. Någon analys av hur stor del av kostnaderna som var marginalkostnader gjordes inte.

På den tiden var respektive rangerbangård inte ett separat kostnadsställe utan hela stationsområdet på respektive ort med alla tågspår, lastspår, industrispår och rangerbangård ingick. Därför kunde den exakta kostnaden för underhåll av spår inte avläsas, varför en proportionering av den del av kostnaden som avsåg rangerbangårdarna med hjälp av spårlängderna gjordes.

Den totala spårunderhållskostnaden för alla de 26 bangårdarna var 22 Mkr vad avsåg spår som användes för godstrafik. Härav beräknades 7 Mkr avse rangerbangårdarna. Underhåll av rangerbromsar kunde däremot exakt avläsas ur redovisningen. Denna kostnad uppgick till 7,1 Mkr.

Antal godsvagnar som rangerades vid dessa 26 bangårdar var 4 010 000, vilket gav en genomsnittlig kostnad av 3,50 kr per rangerad vagn. Denna kostnad antogs vara lika med den kortsiktiga marginalkostnaden och tillämpades som avgift. Några år senare höjdes den till 4,00 kr, vilket har gällt sedan dess.

Nuvarande avgifter och volymer

1999 hade SJ koncentrerat rangeringen till endast sju bangårdar (Malmö, Helsingborg, Sävenäs, Hallsberg, Borlänge, Gävle och Ånge).

Rangerbangårdsavgift skulle endast tas ut vid dessa bangårdar. Antalet rangerade vagnar 1 518 000, vilket gav en avgift på totalt 6 Mkr. Övriga bangårdar ingick i det s k kapillära nätet med ett avgiftsuttag som motsvarade 30% av totala kostnaden.

År 2000 var motsvarande antal 1 486 000 vagnar. Fr.o.m juli detta år koncentrerades rangeringen ytterligare till endast fyra platser: Malmö, Sävenäs, Hallsberg och Borlänge.

År 2001 ändrades även uttaget av avgifter till endast dessa fyra bangårdar. Antalet vagnar är inte känt.

Dagens kostnadsbild

Kostnadsunderlaget har hämtats från Banverkets kostnadsredovisning. Inledande analyser av materialet indikerar att kostnaden per rangerad vagn stigit sedan 1986. Antalet rangeringar i dag motsvarar endast en fjärdedel av motsvarande antal 1986.

Med anledning av indikationerna ovan avser därför Banverket under kommande året att:

- utveckla analysen av kostnader för rangering
- utreda möjligheterna att estimeras marginalkostnader för rangering.

2 Olyckskostnader

Banverket och SIKA lämnade i rapporten *Nya Banavgifter* (SIKA Rapport 2002:2) förslag till nya avgifter för olyckskostnader. Banverket har inget nytt att bidra med inom detta område utan hänvisar till denna rapport.

3 Miljökostnader

3.1 Emissionskostnader

Banverket och SIKA lämnade i rapporten *Nya Banavgifter* (SIKA Rapport 2002:2) nya uppgifter om dieselemissioner, dieselflottans sammansättning m.m. Banverket har inget nytt att bidra med inom detta område utan hänvisar till denna rapport.

3.2 Bullerkostnader

3.2.1 Inledning

Banverket har tidigare presenterat ett omfattande material inom bullerområdet. Det främsta bidraget utgörs av Ivarsson (2001).⁴ Rapporten behandlar buller utifrån en rad olika aspekter och redovisar järnvägstrafikens genomsnittliga bullerkostnader för olika stråk.

Banverket och SIKA framförde inom ramen för banavgiftsuppdraget olika syn på hur information om genomsnittlig bullerkostnad bör påverka banavgifterna. Banverket framhöll för sin del bl.a. att det inte finns något som talar för att genomsnittlig bullerkostnad är en god indikator på den marginella bullerkostnadens storlek.

3.2.2 Genomsnittskostnad eller marginalkostnad

Banverket har försökt estimeras marginell bullerkostnad men i samband med detta funnit ett flertal problem. Ett problem är att befintliga bullerinventeringar talar om vilken effekt dagens järnvägsbuller har på omgivningar. Det är med andra ord mycket svårt att uttala sig om hur den marginella (tillkommande)

⁴ Ingick som underlag till marginalkostnadsstudien 2001.

bullerstörningen påverkas med en annorlunda trafiksammanställning och trafikintensitet i det aktuella området (stråk).

Buller från järnvägstrafik beror på trafikintensitet, topografi, räler, antal axlar, boggiestruktur mm (Ivarsson 2001). Den marginella effekten av järnvägsbuller går förmodligen mot noll för små trafikförändringar. Det skulle krävas en fördubbling av trafikvolymen för att öka bullerstörningen med 3 dBA. För att uppleva en fördubblad bullerstörning krävs att bullret måste öka med 8-10 dBA. Detta innebär enligt Ivarsson nio gånger mer järnvägstrafik.

Banverket menar sammanfattningsvis att det är svårt att motivera marginalkostnadsprissättning som styrmedel för järnvägstrafik därför att

- på stråk där trafikbelastningen redan är relativt jämn kommer marginalkostnadsprissättning inte att ha någon styreffekt,
- hänsyn måste tas till det höga kapacitetsutnyttjandet på den svenska järnvägen. Detta beror på, som ovan framförts att befintliga bullerinventeringar endast talar om vilken effekt nuvarande trafik har på omgivningen. Med hänsyn till det redan höga kapacitetsutnyttjandet (främst i storstadsregioner) innebär det i princip att det endast är möjligt att marginellt öka utnyttjandet av banan. Således kan inte den genomsnittliga bullerkostnaden likställas med den marginella bullerkostnaden för stråk med redan högt kapacitetsutnyttjande.

4 Knapphets- och störningskostnader

4.1 Inledning

Banverket och SIKÄ redogjorde inom ramen för banavgiftsuppdraget för de skillnader som föreligger mellan begreppen knapphet och störning. Knappetskostnaden uppkommer då ett tåg inte kan tilldelas ett önskat tågläge utan att detta leder till att andra trafikutövares tåglägesönskemål påverkas. Störningskostnaden däremot har att göra med det tillfälle vid vilken trafiken genomförs, alltså efter fastlagd tidtabell, och beskrivs som den ökade risk för störning ett tillkommande tåg orsakar hela systemet.

Graden av kapacitetsutnyttjande påverkar störningsrisken och därigenom är också den process som styr tilldelning av tåglägen avgörande för störningsrisken. En process där trafikutövare använder ekonomiska styrmedel för att få attraktiva tåglägen kommer givetvis att påverka graden av kapacitetsutnyttjande genom det faktum att aktörerna har möjlighet att "köpa" tid på spåret. Därigenom påverkas det faktiska kapacitetsutnyttjandet och störningsrisken.

Banverket framhöll dock i remissvaret till Järnvägsutredningens delbetänkande "Rätt på spåret" (SOU 2002:48) att ekonomiska styrmedel i tågplaneprocessen inte kan införas utan att konsekvenserna grundligt utreds i förväg och att därtill nödvändiga politiska överväganden görs. Med anledning av detta vill Banverket avvakta det lagförslag som f.n. håller på att utarbetas. Rapporteringen inom detta område kommer således endast att behandla störningsrisker och de kostnader som är förknippade med dessa. För att förenkla diskussionen kommer utgångspunkten att vara den tågplaneprocess och tillhörande lagstiftning som tillämpas idag.

4.2 Incitamentsavtal

Punktligheten i tågtrafiken har trots stora ansträngningar från både banhållare och trafikutövare varit ett bekymmer under senare år. Ett skäl till att förseningarna har ökat sägs vara det höga kapacitetsutnyttjandet. Detta har medfört att järnvägssystemet är mer känsligt för störningar. Bristande underhåll av både infrastruktur och rullande materiel är även viktiga orsaker till störningsproblemen.

Viss försöksverksamhet för att utveckla incitamentsavtal med effektiva modeller, mått och metoder pågår mellan några trafikutövare och Banverket sedan ett år tillbaka. Avsikten är att ge korrekta incitament för ökad punktlighet genom att tillämpa orsaksreleterade avtal som är kopplade till bonus och skadestånd.

Banverket har framhållit att ett problem i sammanhanget är att trafikutövare bedriver trafik utifrån mycket skiftande förutsättningar. Godstrafiken och delar av persontrafiken drivs kommersiellt medan annan persontrafik är skattesubventionerad, vilket komplicerar det sätt på vilket ekonomiska styrmedel kan tillämpas i tågplaneprocessen. Detta gäller emellertid förmodligen inte arbetet med incitamentsavtal. Tanken är att dessa skall förbättra punktligheten och avtalsmässigt är det endast trafikutövare och banhållare som är "aktörer i spelet". Hänsyn tas givetvis till det enskilda företags betalningsförmåga.

Banverket avser att återkomma när försöksverksamheten utvärderats.

Slutredovisning av ”Förstudie järnväg” inom MC-Tema – Slitage, projektnummer 91003



**Mats Andersson
VTI**

2002-12-11

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	3
2. Nedbrytning av järnvägens infrastruktur – en översikt	4
2.1 Nedbrytningsfaktorer.....	4
2.2 Nedbrytningsmodeller	5
3. Data.....	10
3.1 Trafikdata.....	10
3.2 Tillståndsdata och -mått.....	12
3.2.1 Tillståndsdata.....	12
3.2.2 Tillståndsmått	14
3.3 Åtgärdsdata.....	15
3.4 Anläggningsdata	15
3.5 Ekonomiska data.....	16
4. Reinvesteringar (utbyten)	18
5. Slutdiskussion och förslag till fortsatt verksamhet.....	24
Litteratur	27

1. Inledning

Slitage och nedbrytning av transportinfrastruktur är en vedertagen komponent när trafikens samhällsekonomiska marginalkostnader diskuteras. Om det finns ett beroende mellan slitaget och nedbrytningen och trafikvolym/belastning bör denna komponent inkluderas i en prissättningspolicy. De trafikberoende kostnaderna för drift och underhåll av transportinfrastrukturen brukar vanligtvis användas som underlag för hur stor en avgift för infrastrukturen ska vara. Hittills har inte kostnaden för järnvägens reinvesteringar inkluderats i slitageavgiften på järnvägssidan. Frågan är om de ska inkluderas och i så fall hur det ska göras. En förutsättning för att inkludera reinvesteringarna är att de dels kan identifieras och kostnadsberäknas, dels att det empiriskt kan fastställas att det finns ett beroende mellan reinvesteringkostnaden och trafikeringen av infrastrukturen.

Syftet med denna förstudie är att

- översiktligt beskriva kunskapsläget kring nedbrytning av järnvägsinfrastruktur,
- beskriva befintliga data i Banverket som underlag för att estimerar marginalkostnader för nedbrytning av järnvägsinfrastruktur,
- peka ut behov av kompletterande data om existerande data inte är tillfredsställande och ändamålsenliga,
- utreda möjligheten om och hur man ska inkludera reinvesteringar i den samhällsekonomiska marginalkostnaden för nedbrytning av järnvägsinfrastruktur.

2. Nedbrytning av järnvägens infrastruktur – en översikt

En central komponent för att kunna göra en avvägning av underhållets storlek i tid och rum är kunskapen om hur infrastrukturen bryts ned över tiden (Trask 1985). En nedbrytningsmodell beskriver hur infrastrukturens tillstånd förändras inom en given tidsperiod och är bl a central i en planeringsmodell för drift, underhåll och reinvesteringar i infrastruktur (Mishalani och Madanat 2002). Cedermark *et al* (1999) har för Banverket gjort en översyn av behovet av forskning och utveckling (FoU) kring underhåll av järnvägens infrastruktur och identifierat fyra temaområden där FoU-verksamhet är särskilt angelägen. Ett delprojekt inom temat ”Tillstånd och tillståndsutveckling” är nedbrytningsmodeller och författarna konstaterar att ”Beslutsfattaren måste vid varje beslutstillfälle ha kunskap om anläggningens tillstånd och hur tillståndet har utvecklats eller kan komma att utvecklas, dvs. hur nedbrytningsförloppet ser ut” (Cedermark *et al* 1999, sid. 4).

2.1 Nedbrytningsfaktorer

Det finns ett antal faktorer som påverkar hastigheten i nedbrytningen av infrastruktur. Dessa är mer eller mindre gemensamma för all transportinfrastruktur. Till de byggtekniska hör konstruktionens utformning och ingående material. De viktigaste nedbrytningsfaktorerna enligt Boëthius (1999) är trafiken, klimatet, vegetation och organiskt material, vatten och tiden. Sundquist (2000) framhåller laster, miljö och användning som huvudgrupper för nedbrytning av banöverbyggnaden, vilket inbegriper Boëthius faktorer, men med en annan terminologi.

Ferreira och Murray (1997) delar in de trafikberoende nedbrytningsfaktorerna för banöverbyggnaden i tre grupper; dynamiska effekter, hastigheter och axellaster. De dynamiska effekterna är många och varierar med banans trafikering. Normalt trafikeras en bana av såväl snabbgående persontåg som mer långsamma godståg. Accelerationer, retardationer, centrifugalkrafter i kurvor, vibrationer och det rullande materialets kvalitet är exempel på dynamiska faktorer som ger upphov till påverkan på banöverbyggnaden. Hastigheten påverkar de dynamiska effekterna genom att förstärka dem vid ökade hastigheter och reducera dem vid lägre hastigheter. Axellasterna påverkar slitaget på räls huvuden, utmattning av rälsstålet, hjulslitage samt ökar töjningarna i räler och slipers.

Konsekvensen blir att t ex rälsen utmattas och spricker, räls huvudet slits ned, slipers spricker, befästningar lossnar, ballasten omfördelas och mals sönder. Dessa konsekvenser leder till minskad reskomfort, sänkta hastigheter, ökad energi- eller bränsleförbrukning, ökade risker för urspårning, ökat behov av underhåll, förseningar m m.

Zhang *et al* (1997) konstaterar att det finns ett antal nedbrytningsmodeller som används av olika järnvägsförvaltare, men att de faktorer som förklarar nedbrytningen är begränsade till ett fåtal. För att råda bot på detta förhållande föreslår de att banöverbyggnadens olika komponenter bör modelleras var för sig. Det innebär

- att nedslitning och korrugering av samt sprickbildning i räler kräver separata modeller,
- att slipers bör delas in i trä, betong och stål,
- att nedsmutsning och nedbrytning av ballast bör hanteras åtskilt och
- att banunderbyggnaden även bör inkluderas i en heltäckande modell då inträngning av finare material kan ske i underbyggnaden.

Zhang *et al* (1997) föreslår vidare en modell som bygger på en kartläggning av de dynamiska krafter som bildas via defekter och korrugering, via töjningar och spänningar samt via spårjämnhet. Dessa matas sedan in i tre submodeller som hanterar spår, slipers samt ballast och underbyggnad.

Sammantaget kan vi konstatera att det finns en lång rad faktorer som påverkar nedbrytningen av banöverbyggnaden. En viktig nedbrytningsfaktor är trafiken som utnyttjar infrastrukturen. Här spelar både antalet fordon, fordonens vikter och laster, hastigheter och utformning in. Övriga faktorer är klimat och miljö, dränering, åtgärder i infrastrukturen i tid och rum, material och utformning av ursprunglig konstruktion och konstruktionens ålder.

2.2 Nedbrytningsmodeller

Inom Banverket finns det ingen vedertagen nedbrytningsmodell, vilket gör prognoser av framtida tillstånd svåra (Boëthius 1999, Westerberg 2000). De svenska insatserna på området begränsar sig till frågeställningen om påverkan på underhållskostnaderna

till följd av ökade axellaster (STAX25 och STAX30-projekten)¹. I mitten av 1990-talet påbörjades en omfattande studie av effekterna av en höjning till STAX30 på Malmbanan (Banverket och Tekniska Högskolan i Luleå 1996). Resultatet visade att en höjning inte skulle medföra annat än marginell påverkan på underhållskostnaderna. Utifrån denna slutsats påbörjades även en studie av en höjning av STAX från 22,5 till 25 ton på Bergslagsbanan. Som en del i den studien utvecklades en beräkningsmodell för underhållskostnader (Larsson och Gunnarsson 2001)

Modellen bygger på internationella forskningsresultat, i huvudsak från UIC i mitten av 1980-talet och nödvändiga indata fördelas på banöverbyggnaden, fordon och trafik. En ytterligare aspekt är att modellen i förväg kräver en fördelning av underhållskostnaderna på fasta respektive rörliga med trafikbelastningen. Slutsatsen blir att modellen inte är tillämpbar för marginalkostnadsberäkningar eftersom antaganden om den rörliga kostnadsandelen saknar empiriskt underlag. Det är även tveksamt om modellen är lämplig att använda för sitt syfte så länge som denna empiri saknas. Modellresultatet i termer av kostnader för ökad nedbrytning via ökade axellaster blir starkt beroende av antagandet om underhållskostnadernas rörliga andel.

Även om vi saknar en regelrätt nedbrytningsmodell för svenska förhållanden finns det dock en del internationell kunskap på området. Översikten i detta avsnitt är en begränsad litteraturstudie och för en mer omfattande genomgång av nedbrytningsproblematiken hänvisas till Zhang (2000) och Roberts (2001). Detta avsnitt behandlar inte heller hela infrastrukturen, utan bara den del som brukar benämnas banöverbyggnad och omfattar räler, slipers, ballast, befästningar och växlar. Vi bortser från banunderbyggnaden d v s det som erfordras för att bära upp överbyggnaden. Till denna del räknas banvall, broar, tunnlar, dräneringsanordningar m m. Det innebär inte att banunderbyggnaden är oviktig, men underhållet av banunderbyggnaden är normalt inte så trafikberoende och merparten av underhållskostnaderna ligger i banöverbyggnaden. Boëthius (1999) konstaterar att en mycket liten andel av banunderhållet är knutet till banunderbyggnaden, men behovet av tillståndsmått för banunderbyggnaden finns dock eftersom de kan kopplas till behov av åtgärder i banöverbyggnaden. Det pågår en hel del internationell forskning

¹ STAX = Största tillåtna axellast.

kring underhåll av banunderbyggnaden (Li och Selig 1995, Selig 1997, Chrismer och Davis 2000) samt mätmetoder och tillståndsmått för banunderbyggnaden, se t ex Grainger *et al* (2001), Zverina och Plasek (2001) och Hyslip (2002). Vidare behandlas inte heller el- och signalsystemen.

Bing och Gross (1983) redogör för inledande försök i USA att modellera nedbrytningen av banöverbyggnaden. De övergripande faktorer som nämns är trafik, typ av konstruktion och underhållsparametrar (åtgärder). Ett femtontal kausala faktorer identifieras inom dessa grupper samt ett frostskaideindex. Den metod som används för att ta fram modellsamband är mekanistisk-empirisk. Modellformen är en multiplikativ regressionsmodell som bygger på 460 observationer längs ett testspår i USA. Den begränsade datamängden och bristen i variation i konstruktionen gör dock att faktorer som inte varierar inom testområdet inte kan modelleras. De faktorer som utifrån ingenjörsmässiga grunder valts ut och dess betydelse ges i *tabell 1*.

Kausala faktorer	Betydelse
Nuvarande tillstånd	Stor
Årligt tonnage	Stor
Axellast mix (procent av tunga transporter)	Stor
Tåg hastighet	Stor
Ballasttyp	Stor
Banöverbyggnadens styvhet	Stor
Dränering och ballastkvalitet	Medel
Tid sedan senaste åtgärd	Medel
Frys-töcykler	Medel
Kurvatur	Medel

Tabell 1: Kausala faktorer och dess betydelse för nedbrytning av banöverbyggnad (Källa: Bing och Gross 1983, sid. 29)

I den slutgiltiga modellen, som är en kompromiss mellan den ingenjörsmässiga ansatsen och vad som är empiriskt möjligt, ingår dock bara nuvarande tillstånd, hastigheter, rälsålder, ballastindex (kombination av typ och kvalitet) samt tid sedan senaste åtgärd. Förklaringsgraden (R^2) för den modellen ligger på 0,49.

Hargrove (1985) implementerar ett antal delmodeller för komponenter som ingår i banöverbyggnaden i en övergripande modell för beräkning av underhållskostnader som en funktion av kvalitetsvillkor för de olika komponenterna. De delmodeller som ingår är slitage på räler som en funktion av trafikbelastning, utmattning av räler som

en funktion av upprepade belastningscykler och nedbrytning av ballast och slipers som en funktion av belastning. Hargrove framhåller dock ett utökad behov av modellsamband för bl a nedbrytning av spårväxlar och korrugering av innerräler i kurvor.

Chrismer och Selig (1994) utvecklar en mekanistisk empirisk modell för ballastunderhåll. Modellen, som benämns BALLAST2, prognosticerar behovet av ballastunderhåll eller spårriktning baserat på sättningar i banöverbyggnaden och den spårjämnhet som följer därav. Den mekanistiska ansatsen utgår från fördelningen av hjullaster och kvaliteten på ballasten. Den påverkan dessa faktorer har på banöverbyggnadens tillstånd har testats i laboratoriemiljö och genom fältförsök. Ballastens förmåga att upprätthålla ett stabilt spårläge beror i huvudsak på tre saker; materialets ursprungliga kvalitet, dess fysiska tillstånd och belastningens omfattning. Utifrån den kvalitet som användaren anger på ballasten, de underhållsåtgärder som genomförs, trafikbelastning och initialt tillstånd på spåret beräknar modellen hur tillståndet förändras över tiden. Modellen omfattar även en ekonomisk analysdel som förutsätter ekonomiska indata i form av åtgärdskostnader. Givet att modellen förses med dessa data, beräknas en diskonterad, ekvivalent årskostnad för de olika underhållsstrategier som ska analyseras. Modellen har sedermera inkluderats i Zhang (2000).

Zhang (2000) har utvecklat en mekanistisk nedbrytningsmodell som integrerar nedbrytningseffekter på räler, slipers, ballast och undergrund samt banöverbyggnadens styvhet. Via den mekanistiska ansatsen undviker han de inneboende problemen med bristfälliga historiska data inom järnvägssektorn samt möjliggör för analyser av förändrade villkor utanför ramen för traditionella statistiska modeller. Känslighetsanalyser visar att axellaster och hastigheter påverkar slitage på räler, men inte skadefrekvensen på slipers eller nedbrytning av ballast och undergrund (Zhang *et al* 2000). Samtidigt visar det sig att ballastdjup och styvheten i banunderbyggnaden är viktiga förklaringsvariabler för spårjämnheter. En styv underbyggnad, allt annat lika, innebär minskade behov av spårriktning.

Sammanfattningsvis så finns det inte så mycket dokumentation kring nedbrytning av järnvägsinfrastruktur, trots att frågan är central både i ett prissättningsperspektiv och i

ett planeringsperspektiv. Fokus ligger i många referenser på mycket låg detaljnivå vilket blir svårhanterligt för våra ändamål. Vissa internationella erfarenheter finns dock, men huruvida de utvecklade modellerna är tillämpbara i Sverige är osäkert.

3. Data

Det finns fem huvudtyper av data som vi studerat närmare inom ramen för förstudien.

Dessa är

- Trafikdata,
- Tillståndsdata,
- Åtgärdsdata,
- Anläggningsdata,
- Ekonomiska data.

3.1 Trafikdata

En vital del när det gäller data som underlag för skattning av marginalkostnader är trafiken. I nuläget är det Banverket som själva är ansvariga för att samla in dessa data och trafikuppgifter ligger inom ramen för Sveriges officiella statistik. Detta faktum innebär att möjligheten att få fram detaljerade trafikdata är mer begränsad eftersom kravet på anonymitet finns i den officiella statistiken. Ingen enskild individ eller näringsidkare får vara möjlig att identifiera. För vårt ändamål så betyder det att på linjer där en operatör är ensam om att transportera gods eller personer kommer vi i konflikt med anonymitetskravet. Det innebär att den officiella statistiken i nuläget inte är mer detaljerad än att uppge person- och godstransportarbetet på årsbasis.

Trafikdata har tidigare lagrats i ett system som heter TRAKK. Dåvarande SJ hade ansvar för det systemet. Historiskt är läget i TRAKK relativt gott. Fram till 2000 är informationen i princip heltäckande om systemet kompletteras med godstrafiken på Malmbanan. Från januari 2000 har fler aktörer anträt järnvägsmarknaden vilket har skapat luckor i trafikrapporteringen. Green Cargo slutade leverera uppgifter till TRAKK i och med årsskiftet 2000/2001 vilket ytterligare påverkar tillgången på trafikdata.

Idag är operatörerna tvingade att lämna trafikuppgifter till Banverket som underlag för banavgifterna. Denna redovisning är dock i form av aggregat av bruttotonkilometer, tågkilometer m m för respektive operatör och kvartal. Det finns i de uppgifterna ingen koppling till bandelar och samtal med personal på Green Cargo

ger vid handen att de uppgifter som de själva använder sig av är på relationsnivå, t ex Borlänge – Göteborg eller Göteborg – Nässjö. Vilka bandelar som passerar i det läget är mindre intressant ur ett operatörsperspektiv och data har därför inte den indelningen. TRAKK kan således inte ge en heltäckande bild av trafiken idag. Systemet är heller inte allmänt tillgängligt, utan godkännande av uttag krävs från SJ AB och Green Cargo för att Banverket ska kunna hämta uppgifter ur det. Med tanke på att den tunga trafiken förmodligen har en stor betydelse för såväl tillståndsutveckling som marginalkostnader är det särskilt besvärande.

För att täcka persontrafiken under de sista åren är det dock inte så enkelt att ta SJs trafik och nöja sig med det. Persontrafiken 2001 uppgick till 19,4 miljarder bruttotonkilometer enligt de banavgiftsredovisningar som operatörerna lämnar till Banverket varje kvartal. SJ AB svarade för 80 % av belastningen under 2001. Övriga stora operatörer är Citypendeln (8,5 %), Tågkompaniet (7 %). BK-tåg och A-train har cirka 1 % var. Övriga 17 ligger under 1 %, däribland ett flertal museijärnvägar. Totalt ger de 3 stora operatörerna en täckning på 95,5 %. Det är dock en förhoppning att man via tidtabeller kan fördela ut persontrafiken på de bandelar som berörs, men det kräver en del arbete.

På samma sätt som för persontrafiken är godstrafiken idag ingen enkel marknad att överblicka. Fler aktörer gör att data måste hämtas från olika källor. Under 2001 svarade Green Cargo för 81 % av antal bruttotonkilometer under 2001. Utöver Green Cargo är det Malmtrafiken som svarar för ca 14 %. TGOJ och BK-Tåg har en liten andel, 2 respektive 1 % av trafiken. Dessa 4 operatörer svarar totalt för nästan 99 procent av all trafik. Med andra ord finns inte en fullständigt heltäckande bild av situationen om vi skulle fånga dessa fyra, men närapå. Det är viktigt att i slutändan få en heltäckande bild eftersom variationen kan vara avgörande för en enskild bandel och dess slitage. De flesta av de mindre aktörerna (ca 15 stycken) kör dock i enskilda relationer på ett fåtal bandelar och det kan därför vara möjligt att bakvägen fördela ut deras trafik på spåret. Återigen är dock arbetet tidsödande.

Banverket har under många år drivit ett internt projekt för att komma tillrätta med tåg- och trafikinformation i samband med avregleringen av järnvägen. SJ:s egna databaser minskar i värde i takt med att antalet aktörer ökar på marknaden. I dagarna

påbörjas testdriften av systemet OPERA som är ett operativt verktyg för att svara på frågan om vad som rör sig på banan. Uppgifterna baseras på den existerande tidtabellen och manuella kompletteringar. Uppgifter om tågets sammansättning, vikt m m kan matas in i systemet. Tanken är sedan att de uppgifter som levereras ska användas för uppföljningsändamål i ett system som kallas POSTLUDIUM. I POSTLUDIUM kommer kopplingen till infrastrukturdata att göras så att en heltäckande bild av trafikläget kan fås på bandelnivå. Banverket avser att ta systemet i drift vid årsskiftet 2002/2003 för att kunna debitera banavgifter på detta underlag. Med tanke på att det dessutom behövs för flera år som underlag för detaljerade marginalkostnadsskattningar så kommer troligen inga nya skattningar att kunna göras baserat på det nya systemet förrän tidigast 2005/2006.

Slutsatsen av trafikdataöversynen är att tillgången till trafikdata är beroende av operatörernas goda vilja att medverka till forskningen kring marginalkostnader för tågtrafiken. Tillgången till aktuella uppgifter efter avregleringen är fortfarande oklart, men det påverkar möjligheten att genomföra några empiriska analyser på området.

3.2 Tillståndsdata och -mått

3.2.1 Tillståndsdata

Bantillståndet beskrivs idag i huvudsak genom spårlägesmätningar som görs med hjälp av STRIX mätvagn eller mätdressiner. Utöver detta så finns även tillståndsdata kopplat till anläggningsfel, störningar och förseningar.

Spårlägesmätningar sker två gånger om året på huvuddelen av det statliga järnvägsnätet. Det innebär en årlig mätsträcka på ca 20 000 km. Det som mäts är spårets relativa läge i form av spårvidd, sido- och höjdläge, rälsförhöjning och kurvatur. Även rälsprofil mäts i form av höjd- och sidoslitage samt deformation. Avslutningsvis kan även nämnas att kontaktledningsläget mäts samt räfflor och vågor i spåren, indelade i olika våglängder. Rälsprofiler, räfflor och vågor kan idag mätas tillfredsställande med hjälp av optisk mätning i Banverkets centrala mätvagn, men efterbearbetningen är bristfällig.

Spårläget mäts fyra gånger per meter och 10-12 parametrar vid varje punkt. Mätningar på korta våglängderna är i huvudsak säkerhetsrelaterade, medan längre våglängder är komfortrelaterade. För säkerhetsnormerna som sedan mätningarna jämförs med finns det ett bra beräkningsunderlag till varför normerna ser ut som de gör. För komfortnormerna är kvaliteten sämre och en del godtycke. Mätningarna för höjd- och sidolägen har visat sig vara mycket stabila, repeterbara och reproducerbara enligt en intern utvärdering (Berggren 2001). Spårläget korrigeras med en sk spårriktarmaskin.

Vi kan konstatera att mätdata finns för samtliga bandelar sedan 1991 och framåt. I baninformationssystemet (BIS) ligger mätningarna från 1991 – 1996 lagrade per kilometer på bandelnivå med Q- och K-tal samt observerade fel (se nedan om tillståndsmått). Dessa uppgifter är mycket omfattande (30 Mb) och ger en möjlighet till analys av bankvalitetens utveckling över tiden.

Från 1996/97 har det gjorts två mätningar per år med den nuvarande mätvagnen STRIX, men att de i nuläget är lite otillgängliga genom att de ligger i binär rådataform. Kvaliteten under de första åren är dock tveksam eftersom det har pågått en hel del metodutveckling under tiden. Under 2002 har en applikation utvecklats för att kunna analysera spårlägesmätningarna. 2001 års mätdata är inlagda i databasen och nya mätningar kommer att läggas in kontinuerligt. Databasen är ännu inte tagen i drift, men när så är fallet kommer det att vara möjligt att bearbeta rådata för att få fram liknande uppgifter som finns för perioden 1991 – 1996. Det går att skapa sådana data redan idag, men det kräver en lite större arbetsinsats. 2002 års uppgifter finns beräknade och lagrade digitalt på Banverket. Tidigare års mätningar fylls eventuellt på med hjälp av extra personal, men det är osäkert i nuläget om det kommer att ske.

Spårläget är en mycket viktig faktor att hålla ordning på eftersom ett dåligt spårläge fortplantar sig i fel i andra delar i infrastrukturen med ökade kostnader som följd. Ur ett datafångstperspektiv förefaller det som att det finns relativt bra data på spårläget och i förlängningen aggregerade spårkvalitetsmått. Det förefaller inte heller vara några större problem att koppla spårlägesdata till anläggningen via bandelsnumreringen för det aktuella mätåret. Problemet med spårlägesmätningarna är

dess omfattning och att de kräver en aggregering för att vara hanterbara i en ekonomisk analys.

Funktionsstörningar och tågstörningar mäts kontinuerligt och systematiseras i olika databaser inom Banverket. Dessa är i vissa fall kopplade till infrastrukturens kvalitet, men de månadsrapporter som Banverket redovisar för dessa störningar visar att en liten andel beror av infrastrukturen. Ett problem som förekommer är att en stor del av alla fel inte kan kopplas samman och att orsaken till felet är okänd. På så sätt kan vi få en underskattning av de störningar som är kopplade till infrastrukturen om det finns infrastrukturfel i den ”okopplade” gruppen.

3.2.2 Tillståndsmått

Banverket har ett antal tillståndsmått i sin nuvarande verksamhet (se Lingqvist 2000). De flesta kan kopplas till drift- och underhållsverksamheten, men hur stort bidrag denna lämnar till tillståndet är osäkert i flera fall.

Via spårlägesmätningarna beräknas först punktfel för varje stickprov, d v s fyra gånger per meter för varje parameter. Felen relateras till den anordnade geometrin. Punktfelen kopplas sedan samman med de gränsvärden som gäller för den aktuella bandelen i A-, B- och C-fel. A-fel är återstående fel i ett nyjusterat spår. B-fel är riktvärden för när underhåll ska bedrivas. C-fel är akuta fel som kräver antingen hastighetsnedsättningar eller omedelbar justering av spåret. Ur punkttestimaten beräknas ett glidande medelvärde på 200-meterssträckor för alla avvikelser mot den anordnade geometrin. Detta medelvärde benämns *Q-tal* och används för att studera spårläget på sträckor som överstiger 1 kilometer. Q-talet summerar samtliga standardavvikelsers förhållande till de uppställda komfortgränserna i BVF 587.02. (Banverket 1997).

Q-talen som inhämtas vid spårlägesmätningarna kombineras sedan samman till ett gemensamt komforttal, *K-talet*. K-talet beskriver andelen spår där samtliga uppmätta avvikelser från en geometrisk standard ligger under (är bättre än) uppställda komfortgränser. I genomsnitt ligger K-talet idag omkring 0.8, d v s 80 % av bannätet har en tillfredsställande komfort. K-talet tar hänsyn till en faktor som hastighet vilket förklarar varför en bana med sämre kvalitet och låg tillåten hastighet, ur K-

talshänseende kan klassas som lika god som en bana med högre kvalitet och hög tillåten hastighet.

K-talen lämpar sig mest för strategiska analyser av långa sträckor, medan modellutveckling förmodligen bör ske med hjälp av de mer detaljerade Q-talen alternativt direkt via punkttestimaten var 25:e centimeter. För våra ändamål ter sig Q-talen som mest lämpliga. K-talen kan bli lite missvisande om en bana har en relativt dålig kvalitet överlag, men ingen del överskrider något gränsvärde. Då visar K-talet 100 % d v s spåret har en tillfredsställande komfort. Vid nästa mätning kan en stor del av den uppmätta sektionen ha överskridit gränsvärdena och K-talet faller dramatiskt. Genom att studera Q-talet i stället så går en sådan utveckling att förutse och åtgärder kan vidtas i förebyggande syfte.

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att de tillståndsmått som används inom Banverket är kopplade till banöverbyggnaden. Tillståndsmått för banunderbyggnaden finns inte framtagna.

3.3 Åtgärdsdata

Denna del är den minst utforskade för tillfället, men indikationer från personal som sysslar med vidmakthållande och utbyten är att någon åtgärdsdatabas inte finns. Under 2001 och 2002 har ett försök gjorts med att registrera utförda arbeten som spårriktning och spårslipning i baninformationssystemet, BIS. Den informationen finns nu inlagd och de sträckor som åtgärdats har markerats med information om tidpunkt för åtgärden. Någon analys av kvaliteten i materialet har dock inte gjorts och historiken saknas fortfarande. Det är endast den senaste tidpunkten för en åtgärd som syns i registret. Det innebär att vidtagna åtgärder genom åren i nuläget inte kan inkluderas som förklaringsvariabler för tillståndsutvecklingen. Diskussioner förs dock på Banverkets sektion för vidmakthållande om att få till stånd en sådan databas.

3.4 Anläggningsdata

Anläggningsdata finns i BanInformationssystemet (BIS). BIS är tänkt att vara en nulägesbeskrivning och innehåller inga historiska uppgifter om infrastrukturen. En förutsättning för att kunna använda BIS för att analysera förändringar över tiden är att anläggningens utseende finns sparad vid olika tidpunkter. Efterforskning har dock

resultat i att kopior på anläggningen per 1 december 1999, 1 januari 2001, 1 januari 2002 samt 1 januari 2003 identifierats via de månadskopior som görs av systemet från Banverkets dataavdelning. 21 parametrar som kan antas påverka underhållskostnaderna positivt eller negativt har hämtats ur BIS för samtliga bandelar och åren som nämnts ovan. Dessutom finns det data över anläggningens utseende för åren 1994 – 1996 via det analysmaterial som Johansson och Nilsson (2001) har använt sig av. Dessa data för är inte lika omfattande som senare data. Ett glapp i tidsserien för infrastrukturen finns med andra ord för åren 1997 – 1999, men den lilla variation som anläggningen uppvisar över tiden kan möjliggöra en approximation av anläggningens utseende för dessa år baserat på uppgifterna från 1996 och 1999-12-01.

3.5 Ekonomiska data

Banverkets ekonomisystem Agresso innehåller uppgifter om kostnader för bl a drift, underhåll och reinvesteringar från 1999 och framåt. Tidigare års uppgifter finns i ekonomisystemet Baner som ersattes med Agresso vid årsskiftet 1999.

Kostnader finns redovisade på bandelnivå som är den lägsta rumsliga indelningen i ekonomisystemet. Det går m a o inte att fördela ut drifts-, underhålls- eller reinvesteringarkostnader på en viss sträcka av bandelen, utan en stor manuell insats. Det finns ca 300 bandelar år 2002. Dessa kostnader kan brytas ned på olika aktiviteter och olika delar av anläggningen. Detaljeringsnivån i anläggningsbeskrivningen är bra, men redovisningen går i de flesta fall inte så långt som systemet gör möjligt. Kostnaderna för t ex anläggningstypen ”spår” finns inte särredovisade i anläggningsdelar som räler, befästningar, ballast m m.

Vissa förändringar i redovisningen har skett över tiden, men i huvudsak är indelningen intakt över tiden. Dessa data finns tillgängliga för analys. En enskild åtgärd kan dock inte identifieras i systemet utifrån kostnad och exakt läge på spåret.

Ett problem som vi kan se är att det finns stora skillnader i kostnadsvolymer för drift- och underhållsverksamheten om vi summerar kostnader som bokförs som bandelsspecifika och jämför med årsredovisningen för den totala underhållsverksamheten. Det görs en del manuella tillägg av kostnader för att totalvolymen ska stämma. Detta minskar möjligheten att direkt använda

disaggregerade kostnadsdata på bandelnivå eftersom dessa inte visar alla kostnader, men problemet kan lösas via kontakter med Banverkets ekonomiavdelning.

En kompletterande källa till information är uppgifter i verksamhetsplaneringen och – uppföljningen. Där finns det information om vilka resurser som förbrukats och grova mått på aktiviteter som genomförts. Ett problem med den vägen är att uppföljningen görs på ”stråknivå” d v s grövre än bandel. Ett stråk kan t ex vara sträckan från Avesta-Krylbo till Mora (Dalabanan). Då ingår bandel 333 (Borlänge - Avesta-Krylbo), 306 (Borlänge – Repbäcken) och 331 (Repbäcken – Mora). Dessa uppföljningar bör enligt uppgift finnas från 1988 då Banverket bildades, men det är inte bekräftat i nuläget.

Möjligheten att identifiera enskilda underhållsåtgärder är liten i materialet, men inte det är inte helt omöjligt att större reinvesteringar ska kunna identifieras och tilldelas en korrekt kostnad. Det kräver dock en hel del manuellt arbete innan en sådan datamängd har sammanställts. Årliga kostnader för reinvesteringar på bandelnivå finns dock framtagna för perioden 1993 – 2002.

4. Reinvesteringar (utbyten)

I Banverkets föreskrift 826 (Banverket 2001) definieras ett antal begrepp inom banhållningsprocessen. De stora åtgärdsposterna är drift, vidmakthållande och uppgradering. Banverket använder sig av begreppet *vidmakthållande* för att beskriva de åtgärder som syftar till att ”säkerställa banan i ett tekniskt och funktionellt tillstånd som är motiverat av aktuell trafik” (sid. 10). Vidmakthållandet innehåller såväl *underhåll* som *reinvestering*². Underhållet ska genomföras för att ”vidmakthålla den [banan] i, eller återställa den till, ett sådant tillstånd att den kan utföra avtalad prestation” (ibid.). Ett ”utbyte [reinvestering] av anläggning/anläggningsdel genomförs för att nå minst ursprungligt tillstånd” (sid. 16). ”Bytet ska vara föranlett av att anläggningen är tekniskt förbrukad och/eller oekonomisk att underhålla.” (ibid.) Viktigt att poängtera är att grundsyftet med en reinvestering aldrig är att uppgradera järnvägen, utan alltid att återställa tillståndet till nybyggnadsskick. Det förekommer dock situationer där reinvesteringar utmynnar i uppgraderingar på att anläggningar eller komponenter som ska ersättas inte längre finns på marknaden. Dessa fall klassas dock som reinvesteringar i redovisningen. Vi kan utifrån definitionerna konstatera att reinvesteringar är en del i en effektiv strategi för en långsiktig ”steady state” av banan och därmed relevant i ett prissättningsperspektiv. Återstår att empiriskt fastställa dess andel som är trafikberoende.

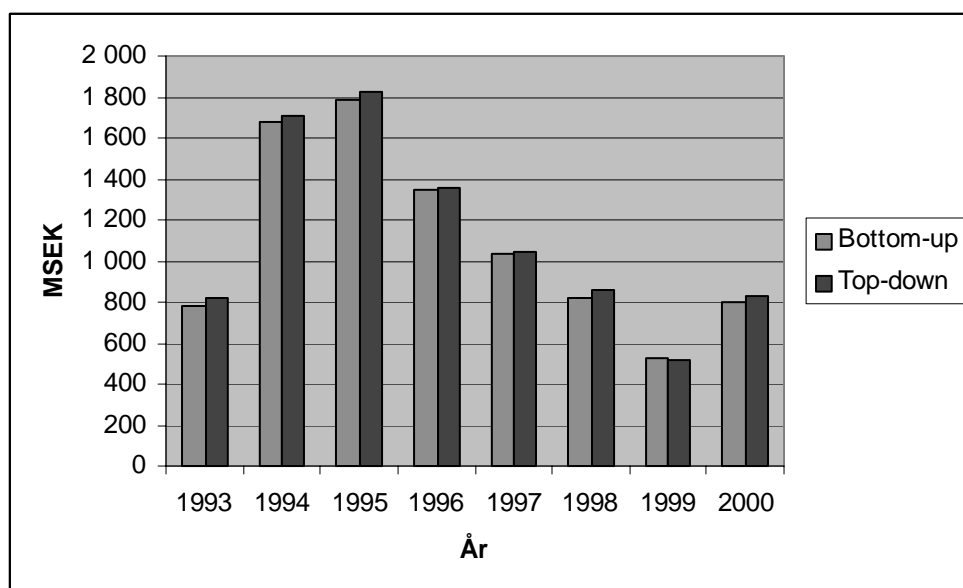
De huvudposter som nämnts ovan är drift, vidmakthållande och uppgradering där vidmakthållande delas upp i underhåll och reinvesteringar. Exempel på driftåtgärder är snöröjning och farbanerengöring (exempelvis lövsopning). Underhållsåtgärder är bl a spårriktning, räls slipning och ballastrening. Uppgraderingar är t ex nybyggnationer som medför att järnvägens kapacitet ökar eller förbättringar som medger höjda hastigheter eller ökade axellaster.

Det finns reinvesteringsåtgärder som riktar sig mot såväl banöverbyggnaden som banunderbyggnaden. Under normala förhållanden påverkar trafiken enbart banöverbyggnaden. Om underhållet av banöverbyggnaden sköts på ett korrekt sätt kommer banunderbyggnaden att förbli intakt. Det är först när fel i banöverbyggnaden tillåts under en för lång period, som det ger effekt på kvaliteten i banunderbyggnaden

² Banverkets terminologi i BVF 826 för en reinvestering är *utbyte*. Vi har dock i denna rapport valt att använda begreppet reinvestering i stället som i allmänhet är ett mer känt uttryck.

och dess funktionalitet. De åtgärder som vi är intresserade av är därför riktade mot banöverbyggnaden. Rälsbyte, slipersbyte, spårbyte, banupprustning, ballastrening, spårupprustning och spårväxelbyte är samtliga att hänföra till banöverbyggnaden.

Banverkets kostnader för drift och underhåll inklusive administrativt stöd har under 1990-talet legat stabilt kring 2 miljarder kronor per år. Reinvesteringarna uppvisar dock en större cyklisk variation. **Figur 1** visar dels bandelsspecifika³ data för perioden 1993 - 2000 när samtliga poster i ekonomisystemet aggregerats på årsbasis, dels uppgifter som hämtats från Banverkets ekonomiavdelning som underlag till årsredovisningar.



Figur 1: Reinvesteringskostnader för perioden 1993 – 2000, Top-down och Bottom-up

Det finns som synes en mycket god samstämmighet mellan dessa två serier vilket talar för att det är möjligt att utnyttja såväl aggregerade som disaggregerade data i en analys. Problemet blir dock påtagligt om vi vill utgå från disaggregerade reinvesteringsdata eftersom någon systematisk lagring av dessa saknas. Den lagring som nu förekommer är i praktiken endast bra när det gäller kostnadsbeloppen. Det finns ingen enkel väg att koppla en viss reinvesteringskostnad till en viss åtgärd längs en bandel. Kännedom om större reinvesteringar finns inom Banverkets organisation, men den finns inte lättillgänglig för forskningsändamål. Det krävs förmodligen

³ Kostnader bokförda på en viss bandel i Banverkets ekonomisystem.

personliga kontakter och mycket manuellt arbete för att identifiera enskilda reinvesteringar på bandelnivå. Det längsta vi kan komma i nuläget är de bandelsspecifika reinvesteringskostnaderna från 1993 – 2002.

Som vi har konstaterat ovan så är det rimligt att anta att reinvesteringar ska inkluderas i en effektiv prissättningsstrategi av järnvägens infrastruktur. Det vi däremot inte kan avgöra utan empirisk analys är hur stor andel av alla reinvesteringar som är trafikrelaterade. Kostnaden för järnvägens infrastruktur kan beskrivas med följande enkla modell,

$$TC = DoU(q, \mathbf{x}) + Re(q, \mathbf{x}) + Inv(q, \mathbf{x})$$

d v s totalkostnaden för infrastrukturen är summan av drift, underhåll, reinvesteringar och investeringar. Storleken på dessa komponenter är en funktion av trafiken q och en vektor med andra faktorer \mathbf{x} som klimat, bankkvalitet m m. Om vi deriverar TC med avseende på q så får vi infrastrukturens trafikberoende marginalkostnad.

Johansson och Nilsson (2001) har estimerat den trafikberoende andelen till 17 % av kostnaden för DoU exklusive den del av kostnaden som är regional och lokal administration. I estimeringen ingår ca 70 % av totalkostnaden för drift och underhåll. Applicerar vi den trafikberoende andelen på 17 % av 70 % av DoU -kostnaden på 2001 års kostnadsdata motsvarar det ett belopp på 325 miljoner kronor som är trafikberoende. Utöver detta belopp bör förmodligen också en andel av Re ingå, men vi kan på förhand inte säga hur stor denna andel bör vara. Den totala intäkten från banavgiften för spår under 2001 var 285,5 miljoner kronor (SIKA 2002). Det bör dock noteras att ca 110 miljoner av dessa är kopplat till finansieringen av Öresundsbron. Applicerar vi avgiften 0,0028 kronor per bruttotonkilometer på all trafik så stannar avgiftsintäkten på ca 175 miljoner för gods- och persontrafiken i Sverige.

Vi kan bara spekulera i vilken kostnadspost som uppvisar det största trafikberoendet, eftersom vi saknar empirisk kunskap om Re och Inv . För att få en känsla för vilket belopp det handlar om måste vi anta att "steady state" beloppet för reinvesteringar över tiden motsvaras av genomsnittet för reinvesteringar under perioden 1989 – 2001

d v s 1 miljard per år⁴. Om vi vidare antar att andelen Re som är direkt trafikberoende är mindre än för DoU , säg 10 %, så skulle beloppet att ta ut via en slitageavgift uppgå till 100 miljoner kronor per år och motsvarar en ökning av slitageavgiften med 30 % jämfört med en beräkning baserat på endast kostnaderna för DoU . Om den trafikberoende andelen är så hög som 50 % så skulle reinvesteringskomponenten dominera storleken på en slitageavgift.

En annan indikator på hur stor andel av alla reinvesteringar som kan antas vara trafikberoende är att titta på fördelningen mellan utbyten av komponenter kopplade till banöverbyggnaden respektive banunderbyggnaden. Vi kan anta att det finns ett starkare samband mellan trafiken och reinvesteringar i banöverbyggnaden än mellan trafik och reinvesteringar i banunderbyggnaden. Detta kräver dock en separat analys som inte ryms inom ramen för denna PM, och grundfrågan om att empiriskt styrka trafikberoendet liksom beroendets grad kvarstår. Här begränsas man också av att den bandelsspecifika redovisningen är bristfällig när det gäller att hänföra kostnader till olika delar av infrastrukturen.

Att införliva reinvesteringar i Johansson och Nilssons (2001) ansats är problematiskt när tidsserierna för reinvesteringar är en mindre del av den ekonomiska livslängden för de delar som är aktuella att byta. Variationen i datamaterialet är så stor att det förmodligen krävs tidsserier på 20-40 år för att täcka en normal utbytescykel och för vissa komponenter ännu längre tid. En inledande studie av bandelar inom Borlänge Banområde visar på bl a räler och slipers med inläggningsår i slutet av 1960-talet. Tidsserier med god kvalitet på upp till 40 år kan vi inte se framför oss inom en överskådlig tid och frågan är om det är något att sträva efter med tanke på den tekniska utveckling som sker.

Ett annat alternativ är att använda den modell som Gunnar Lindberg har föreslagit för den tunga vägtrafikens marginalkostnader (Lindberg 2001), som är principiellt intressant och även applicerbar på järnvägsproblematiken.

⁴ Denna period är längre än den som redovisas i *figur 1*. Anledningen är att aggregerade årsdata för reinvesteringar finns från 1989. Som underlag för en genomsnittskostnadsberäkning är den dock mer relevant än att begränsa sig till perioden från 1993 och framåt.

Lindbergs centrala ekvation är

$$MC_{\text{New}} = MC_{\text{Old}} = -(rT)^2 \frac{e^{rT}}{(e^{rT} - 1)^2} \frac{C}{TQ} \varepsilon = -\alpha \varepsilon AC$$

$$\text{där } \alpha = (rT)^2 \frac{e^{rT}}{(e^{rT} - 1)^2}$$

ε är en nedbrytningselasticitet uttryckt som $\frac{dT}{dT} \frac{Q}{Q}$

α är en faktor som beror av räntan och reinvesteringscykeln

r är räntan

T är längden på en reinvesteringscykel

Q är den årliga trafikvolymen

C är kostnaden för en ny beläggning

AC är genomsnittskostnaden

I sitt resonemang kring marginalkostnader för tung vägtrafik visar Lindberg att det approximativt gäller att $MC_{\text{new}} = MC_{\text{old}} = MC_{\text{Ave}}$. Det gäller för de livslängder som är aktuella för vägbeläggningar (10-20 år) och låga räntesatser, men vi kan konstatera att järnvägen skiljer sig på den punkten. En del av banöverbyggnadens komponenter som slipers, ballast och räler har genomsnittliga livslängder på mellan 30 och 60 år. I dessa fall är faktorn α inte i närheten av 1, utan mellan 0,9 - 0,6 och kan således inte elimineras. Det ger att vi inte kan likställa marginalkostnaden för en ny, gammal och genomsnittlig bandel.

Lindberg utnyttjar standardaxlar för att fastställa livslängden på en beläggning. Motsvarande kriterium för banöverbyggnaden bör vara ackumulerat antal miljoner bruttoton. Denna uppgift borde vara möjlig att plocka fram för en genomsnittlig banöverbyggnad med hjälp av banteknisk personal. Utöver det behövs även en kostnadsuppskattning för den genomsnittliga banöverbyggnaden som i sin tur genererar genomsnittskostnaden AC i uttryck (9) i Lindberg (2001). Faktorn α beräknas utifrån en given ränta r och den uppskattade livslängden T . Återstår gör då en uppskattning av ε . Ett antagande om att hela kostnaden för reinvesteringar i banöverbyggnaden beror av trafiken ($\varepsilon = -1$) förefaller starkt för järnvägens del och

saknar empiriskt stöd. Johansson och Nilssons estimat av marginalkostnaden för *DoU* och resonemanget ovan kring osäkerheten om förhållandet mellan *DoU*, *Re* och *Inv* gör att någon form av empiri krävs. Ett mycket viktigt utvecklingsområde för Banverket är att estimerade nedbrytningsmodeller som kan användas för att skatta ε i ovan nämnda funktion.

Motsvarande data som Lindberg utnyttjar för att skatta ε på vägsidan finns inte för järnvägen, utan vi skulle tvingas anta ett antal nedbrytningselasticiteter och simulera storleken på marginalkostnaden för utbyten. Detta är fullt möjligt, men knappast något att ha som grund för en revidering av befintlig avgiftsstruktur. För framtida ändamål kan dock den enkla modell som skisserats i Lindberg (2001) användas, men ett arbete med att uppskatta nedbrytningselasticiteten ε måste först göras.

5. Slutdiskussion och förslag till fortsatt verksamhet

Den inledande kunskaps- och dataöversikten ger vid handen att vi inte kan räkna med att kunna tillämpa en existerande slitage- och nedbrytningsmodell som underlag för att skatta marginalkostnader inom järnvägssektorn. Det kan dock vara möjligt att få fram underlag som ger möjlighet till ekonometriska skattningar liknande de som Johansson och Nilsson (2001) gjort. En förutsättning för ett sådant arbete i dagsläget kräver dock mycket samarbete från dagens trafikoperatörer. Arbetet med att lokalisera data har varit tidsödande och krångligt. Det krävs således ett krafttag inom Banverket kring frågan tillgängligheten till data som underlag för samhällsekonomiska marginalkostnader på järnvägssidan.

Vi föreslår därför att ***Banverket bör ta fram ett handlingsprogram för att komma tillrätta med de databrister som finns.*** Eftersom det är frågan om en kombination av data så måste handlingsprogrammet ha stöd i verksledningen. Aktörer från BV Trafik, Banförvaltning, Bansystem samt Järnväg och Samhälle är samtliga viktiga för att nå framgång. Det som behövs är

- ***Detaljerade trafikdata*** för såväl gods- som persontrafik. Det är häpnadsväckande att Banverket saknar heltäckande trafikdata för år 2001 och 2002 genom att man inte får uppgifter från de operatörer som trafikerar statens spåranläggningar. Det som krävs i framtiden är uppgifter om tågrörelser, vikter, hastigheter samt fordons- och vagnsegenskaper. Samtliga dessa parametrar är viktiga i en slitage- och nedbrytningsmodell och som underlag för differentierade banavgifter. Inom ramen för realtidssystemet OPERA som används av tågtrafikledningen förefaller dessa data vara möjliga att hantera om någon med ansvar för marginalkostnadsfrågorna uttalar sina databehov.

POSTLUDIUM

- ***Infrastrukturdata*** med möjlighet att koppla historik över vidtagna åtgärder, anläggningskomponenter, tillståndsmätningar, besiktningssamtal, felrapporteringar och trafikstörningar. Det krävs med andra ord bara anläggningens status sparas den 1 januari varje år från det nuvarande baninformationssystemet BIS för att informationen ska kunna gå från att inte bara vara en nulägesbeskrivning, utan även kunna ge underlag för analyser av förändringar över tiden.

- **Kostnadsdata** som kan kopplas samman med ovanstående infrastrukturdata. Det krävs därmed en förändring i inställningen till att redovisa kostnader på en så låg nivå som möjligt. Den nuvarande anläggningsstrukturen är väl tilltagen när det gäller detaljrikedom, men problemet är att stora delar av kostnadsmassan hamnar under rubriker som ”övrigt” i stället för vilken del av anläggningen som kostnaderna ska hänföras till.

Det är viktigt att komma ihåg att datafrågorna är en långsiktig fråga som måste lösas för att vi i framtiden ska ges möjlighet att estimerar modeller med en rimlig detaljeringsgrad för inte bara marginalkostnadsändamål, utan även drift- och underhållsanalyser. Det borde därför ligga i såväl Banverkets som dess uppdragsgivares och kunders intresse att ett sådant arbete kommer igång snarast. I slutändan handlar det om att ta hand om värdefulla tillgångar på ett tillfredsställande sätt.

Vad kan vi då göra på kort sikt? Den senaste utredningen av banavgifter pekade på en del meningsskiljaktigheter mellan Banverket och SIKKA i slitagefrågan. En stor fråga är huruvida kostnaderna för reinvesteringar kan och ska inkluderas. Tidigare analyser av Johansson och Nilsson (2001) har utelämnat denna post p g a brist på data. Dessa kostnadsdata finns dock i Banverkets redovisningssystem för den senaste tioårsperioden. Samstämmigheten mellan de totala reinvesteringskostnaderna i Banverkets årsredovisningar och summan av bandelsspecifika reinvesteringar i ekonomisystemet gör att en fördelning av kostnaderna på bandel ser möjlig ut.

Ett komplement till de uppgifter som finns i redovisningssystemen vore att göra en historisk kartläggning av reinvesteringar på bandelnivå. En sådan aktivitet kräver dock mycket samarbete och personliga diskussioner eftersom det bygger på individers kunskap om historiska händelser. Värdet av att skapa en sådan lång tidsserie är dock tveksamt genom teknisk utveckling över tiden. Osäkerhet om hur dessa data skulle användas i en analys bidrar även till vår tveksamhet.

Vi föreslår i stället att inriktningen tar sikte på att ***ta fram de trafikdatauppgifter som behövs för att komplettera datamängden som samlats in för åren 2000 – 2002.*** Då finns det en möjlighet att komplettera de skattningar som Johansson och Nilsson

(2001) har gjort med en bredare datamängd om anläggningen, tillståndsmätningar och kostnader för drift, underhåll och reinvesteringar. Det skulle dessutom kunna öppna upp för en snabbare användning av de uppgifter som kommer att lagras i POSTLUDIUM under nästa år.

En ytterligare möjlighet är att *studera en tillämpning av den detaljerade nedbrytningsmodell som Zhang (2000) utvecklat vid Queensland University of Technology* i Brisbane, Australien. VTI bereds tillgång till den modellen under 2003 i och med Mats Anderssons år som gästforskare vid QUT där modellen utvecklats. Det är framförallt egenskaper hos modellen och applicerbarhet i ett marginalkostnadsperspektiv som är av intresse att studera närmare.

Litteratur

Banverket (1997) *Spårlägeskontroll och kvalitetsnormer - central mätvagn STRIX*. **BVF 587.02**, Borlänge.

Banverket (2001) *Definition av begrepp inom banhållningsprocessen*, **BVF 826**, Borlänge.

Banverket och Tekniska Högskolan i Luleå (1996) *30 ton på Malmbanan*. Rapport **4.5**, Underhåll, Ekonomisk analys av underhållskostnad av befintlig trafik med STAX 25 TON samt föreslagen trafik med STAX 30 TON, Banverket, Borlänge.

Berggren, E (2001) *Jämförelse mellan banverkets mätvagn STRIX och geodetisk mätning*, Banverket, BBS 2001/01, Borlänge.

Bing, A.J. och A. Gross (1983) "Development of Railroad Track Degradation Models" *Transportation Research Record 939*, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C, USA.

Boëthius, A. (1999) "Dimensionering av drift-, underhålls- och bärighetsåtgärder inom järnvägssektorn" i *Dimensionering av drift-, underhålls- och bärighetsåtgärder inom väg- och järnvägssektorn*, Strategisk analys, Underlagsrapport till SAMPLAN, Vägverket och Banverket, Borlänge.

Cedermark, H., R. Hedström, U. Isacson och J-E. Nilsson (1999) *Förslag till FoU-program för underhåll av järnvägens infrastruktur*, CDU-rapport, KTH, Stockholm.

Chrismer, S.M. och E.T. Selig (1994) "Mechanics-based model to predict ballast-related maintenance timing and costs" Report No. R-863, Association of American Railroads, Technical Center, Chicago, Illinois, USA.

Chrismer, S. and D. Davis (2000) "Cost Comparisons of Remedial Methods to Correct Track Substructure Instability" *Transportation Research Record 1713*, pp. 10-14, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., USA.

Ferreira, L. och M. Murray (1997). "Modelling rail track deterioration and maintenance: current practices and future needs" *Transport Reviews*, Vol. 17, No. 3, 207-221.

Grainger, P.S., P. Sharpe och A.C. Collop (2001) "Predicting the stiffness on track quality". *Paper presented at the 4th International Conference on Railway Engineering*, May 2001, London, UK.

Hargrove, M.B. (1985) "Track Maintenance Cost Analysis: An Engineering Economics Approach" *Transportation Research Record 1029*, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C, USA.

Hyslip, J.M. (2002) "Fractal Analysis of Track Geometry Data". *CD-ROM from TRB Annual Meeting 2002*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA.

Johansson, P. and J-E. Nilsson (2001) "An Economic Analysis of Track Maintenance Costs" mimeo, Borlänge.

Larsson, D. och J. Gunnarsson (2001) "A model to predict track degradation costs". *Proceedings of the 7th International Heavy Haul Conference*, International Heavy Haul Association Inc., Virginia Beach, VA, USA, pp. 437-444.

Li, D. and E.T. Selig (1995) "Evaluation of Railway Subgrade Problems" *Transportation Research Record 1489*, pp. 17-25, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., USA.

Lindberg, G. (2001) "Marginal cost of road maintenance for heavy goods vehicles on Swedish roads" mimeo, Borlänge.

Lingqvist, O. (2000) *Banverkets tillståndsmått*, Utkast till handbok 2000-02-14, Marknad och Bana, Banverkets huvudkontor, Borlänge.

Mishalani, R. G. och S. Madanat (2002) "Estimating Infrastructure Transition Probabilities Using Stochastic Duration Models". *CD-ROM from TRB Annual Meeting 2002*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA.

Roberts, C.M. (2001) "A Decision Support System for Effective Track Maintenance and Renewal". *PhD Thesis*, School of Civil Engineering, University of Birmingham, Birmingham, UK.

Selig, E.T. (1997) "Substructure Maintenance Management" pp. 796-809 in *Proceedings from 6th International Heavy Haul Railway Conference*, 6-10 April, 1997, Cape Town, South Africa.

SIKA (2002) *Nya banavgifter? – analys och förslag*, SIKA Rapport 2002:2, Stockholm

Sundquist, H. (2000) *Byggande, drift och underhåll av järnvägsbanor*, TRITA-BKN. Rapport 57, utgåva 2, Brobyggnad, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

Trask, E.R. (1985) "Principles of Maintenance-of-Way Planning" *Transportation Research Record 1042*, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C, USA.

Westerberg, M. (2000) *Personlig kommunikation*, Banverkets huvudkontor, Marknad och Bana, Vidmakthållande, 2000-12-05, Borlänge

Zhang Y-J. (2000) "An integrated rail track degradation model". *PhD Thesis*, Physical Infrastructure Centre, School of Civil Engineering, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.

Zhang, Y-J., M. Murray och L. Ferreira (1997) "Railway track performance models: degradation of track structures." *Road and Transport Research*, Vol. 6, No 2, pp 4-19.

Zhang, Y-J., M. Murray och L. Ferreira (2000) "Modelling rail track performance: an integrated approach". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, Vol. **141**, Nov., pp. 187-194.

Zverina, P. och O. Plasek (2001) "Dynamic Diagnostic of the Track Substructure". *Paper presented at the 4th International Conference on Railway Engineering*, May 2001, London, UK.