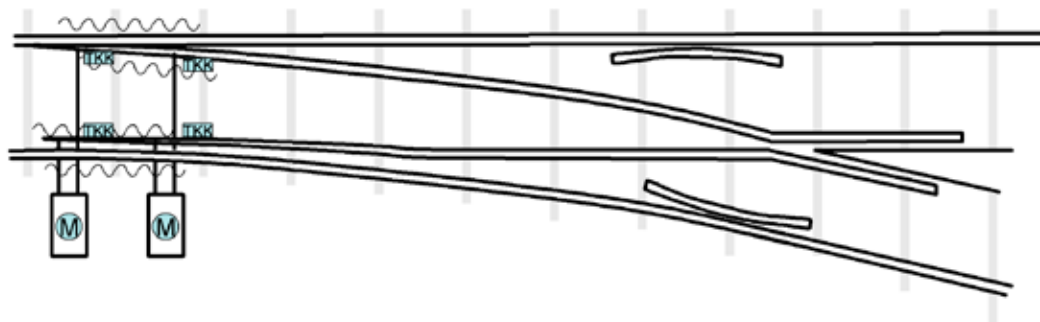


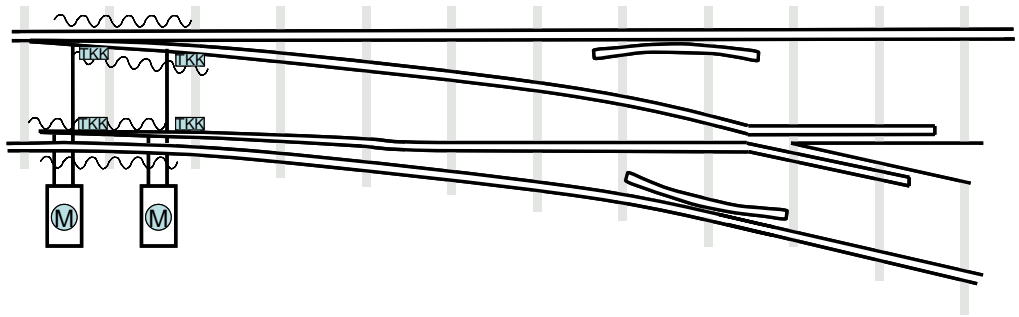
Analys av statistik om spårväxlar underhållsbehov



Arne Nissen

Luleå tekniska universitet
JvtC - Järnvägstekniskt Centrum
Avdelningen för drift och underhåll

Analys av statistik om spårväxlars underhållsbehov



Arne Nissen

Luleå Tekniska Universitet
JvtC - Järnvägstekniskt Centrum
Avdelningen för drift och underhåll

Innehållsförteckning

Termer använda i rapporten	V
Förord.....	VII
Sammanfattning.....	IX
Abstract.....	XI
1 Inledning.....	1
1.1 Syfte och mål	2
1.2 Forskningsfrågan	3
1.3 Avgränsningar	3
2 Forskningsprojekts upplägg	4
2.1 Val av forskningmetod	4
2.2 Metod.....	4
2.2.1 Insamling av data.....	4
2.2.2 Litteraturstudie.....	4
2.2.3 Besök på stationsområden.....	4
2.2.4 Intervjuer.....	5
2.3 Validitet och reliabilitet	5
3 Tillgängliga databaser	6
3.1 Beskrivning av databaser.....	6
3.1.1 BIS	6
3.1.2 Ofelia och TFÖR.....	6
3.1.3 Bessy.....	6
3.1.4 Övriga källor.....	7
3.2 Uppgifter ur databaserna.....	8
3.2.1 BIS	8
3.2.2 Ofelia.....	8
3.2.3 Bessy.....	8
3.2.4 Andra källor.....	8
3.3 Bearbetning av datakällor	8
3.3.1 Bearbetning av ursprungsdata	8
3.3.2 Bearbetning av data från Ofelia.....	9
3.3.3 Bearbetning av data från Bessy.....	9
4 Litteraturstudie om spårväxlar	11
4.1.1 Ecotrack och Ecoswitch	11
4.1.2 Charmec	14

4.1.3	VTI	15
4.1.4	Simuleringsmodell för nedbrytning av spår	16
4.1.5	Underhåll av järnväg	16
5	Teori.....	18
5.1	Modellbygge	18
5.2	Tillförlitlighetsmodeller	19
5.2.1	Tidsberoende modeller.....	20
5.3	Analys på delsystemnivå.....	20
5.4	Poissonfördelning och statistisk signifikans	21
5.5	Uppdelning, stratifiering av befintligt material.....	23
5.5.1	Tidsaxel för nedbrytning	23
5.5.2	Mätbara händelser	24
5.5.3	Stratifieringsmetoder	26
5.6	Underhållsstrategier	27
6	Spårväxlar.....	28
6.1	Spårväxeltyper.....	28
7	Resultat.....	31
7.1	Resultatvariabler	33
7.1.1	Gruppering till delsystem.....	34
7.1.2	Parametrar som behandlar besiktningens anmärkningar	34
7.1.3	Parametrar som behandlar funktionstörningar	34
7.1.4	Upprepade funktionstörningar	35
7.1.5	Årsvariationer.....	35
7.2	Studerade faktorer	36
7.2.1	Trafik	36
7.2.2	Ålder	37
7.2.3	Initiala villkor.....	37
7.2.4	Klimat.....	37
7.2.5	Avvikande tågspår	37
7.3	Olika sätt att genomföra analyser	38
7.3.1	Analysera medelvärden av en grupp spårväxlar	38
7.3.2	Jämförelse med ansatt referensnivå	38
7.3.3	Jämföra spårväxlar på samma stationsområde	40
7.3.4	Jämföra mellan flera stationer.....	44
7.3.5	Jämföra spårväxlar på två helt olika platser.....	44

7.3.6	Jämförelse efter att en förändring har genomförts	44
7.3.7	Analysera på delsystemnivå	44
8	Diskussion och slutsatser	45
8.1	Analysarbetet.....	45
8.2	Modell för grupper av spårväxlar	45
8.3	Resultat från genomförda analyser	46
8.3.1	Simulering av besiktningssanmärkningar	46
8.3.2	Karaktärisering av spårväxlar inom BRS	47
8.3.3	Betydelsen av användandet av avvikande tågspår	47
8.3.4	Införandet av ny TKK.....	47
8.4	Slutsatser	48
9	Framtida arbete.....	49
9.1	Revidering av faktorer som förklarar avvikelser.....	49
9.1.1	Förslag på nya faktorer	49
9.2	Ekonomisk modell	49
10	Referenser.....	51

Bilaga 1 Simulering av besiktningssanmärkningar

Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår

Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår

Bilaga 4 Betydelsen av användandet av avvikande spår

Bilaga 5 Införandet av ny TKK

Termer använda i rapporten

Banklasser	Indelning beroende på trafikmängd i 8 olika klasser, (1 = lite trafik, 7 = mycket trafik, 8 = bangårdar)
BIS	Banverkets Baninformationssystem för anläggningar, händelser och avtal
BESSY	Banverkets besiktningssystem
BRN	Banverket, Norra banregionen
BRS	Banverket, Södra banregionen
BVF	Banverkets föreskrifter
Duvan	Banverkets analysverktyg
FMEA	Failure Mode Effect Analysis
Knuten	Banverkets interna hemsida (intranät)
MBrT	Miljoner bruttoton, ett sätt att ange tågtrafikbelastning
Ofelia	Banverkets fellrapporteringssystem, Noll fel i anläggningarna
OPF	Oförstörande provning. Rälen kontrolleras med ultraljudsteknik för att små sprickor ska upptäckas i tid
TFÖR	Tågföringssystem
TKK	Tungkontrollkontakt – Används för att kontrollera att växeln ligger i rätt läge
UIC	Internationellt samarbetsorgan för järnvägstrafik. Medlemmar är förvaltare, entreprenörer och operatörer i hela världen
UNE	Beteckning för att ange om spårväxeln ligger i enkelspår, E, dubbelspår, U - Upp, N - Ned eller sidotågspår, ingen bokstav.

Matematiska beteckningar

α	Skalparameter i inhomogen poissonprocess
β	Formparameter i inhomogen poissonprocess
γ	Formparameter för påverkan av årligt tonnages
$\lambda(t)$	Felintensitet (genomsnittligt antal fel/år) vid tiden t
$E(X)$	Väntevärdet för variabeln X (teoretiskt medelvärde)
$p(N=x)$	Sannolikheten att variabeln N är lika med värdet x
$V(X)$	Variansen för variabeln X
W	Årligt tågtonnage
W_0	Referensnivå för årligt tågtonnage

konfidens- intervall	Den spridning av väntevärdet som med en viss sannolikhet kan förväntas av ett uppmätt värde
poisson- fördelning	En fördelning som används när händelser antas inträffa med en viss frekvens och antalet händelser för en viss tidsperiod mäts. Exempelvis hur många bilar som kommer till ett trafikljus under ett tidsintervall på fem minuter. Poissonfördelningen är inte lika på båda sidor om medelvärdet utan skev.
prediktions- intervall	Den spridning mätta värden med en viss sannolikhet kan ha från ett antaget väntevärde
regressions- metod	Ett sätt att bestämma en funktions parametrar genom att hitta den minsta avvikelsen mellan mätta värden och funktionen $MIN[\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2]$

Förord

Denna avhandling ingår i arbetet att minska funktionstörningar och förseningar vid järnvägen. Jag vill tacka alla som har varit involverade på ett eller annat sätt. Stöd och uppmuntran från personer inom Banverket och arbetskamrater har varit mycket värdefullt. Särskilt vill jag nämna min examinator Uday Kumar och min biträdande handledare Håkan Schunnesson.

Projektet har initierats av Banverket och finansierats av Banverkets huvudkontor och medel från universitet, vilket jag är mycket tacksam för. Björn Paulsson och Jan-Erik Meyer har varit mina främsta kontaktpersoner.

Arne Nissen

Luleå, november 2005

Sammanfattning

Banverket har behov att det genomförs analyser till orsaker till funktionstörningar och förseningstid vid infrastrukturen. Spårväxlar är en av de anläggningar som har många funktionstörningar. Syftet med studien har varit att ta fram ett arbetssätt för att värdera enskilda spårväxlar funktionssäkerhet. Det långsiktiga målet är att minska antalet störningar på Banverkets spårväxlar och de förseningar det orsakar.

En matematisk modell har använts för att presentera den information som finns samlad i Banverkets datasystem om spårväxlar. Modellen baseras på teorin om den inhomogena poissonprocessen och visas grafiskt i ett kalkylblad.

Kända faktorer kan anges för varje spårväxel och det gör det möjligt att testa hur stort inflytande enskilda faktorer har. En litteraturstudie har genomförts för att ta fram förslag på faktorer. De föreslagna faktorerna kan indelas i:

- Startvillkor
- Tågtrafik
- Ålder
- Klimat

Med hjälp av faktorerna bestäms om en spårväxel kan anses vara normal. Förväntas den ha fler besiktninganmärkningar eller funktionstörningar än normalt placeras den i en ”riskgrupp”.

Med uppgifter om vilken grupp spårväxeln tillhör, typ av spårväxel, årligt tonnage och ålder kan antalet besiktninganmärkningar och funktionstörningar förutsägas av modellen. Spårväxlar som, efter att uppdelningen med faktorerna är gjord, upptäcks ligga utanför prediktionsintervallet för modellen kan enkelt identifieras.

Metoden har tillämpats i några delstudier och använts för att förklara antalet besiktninganmärkningar och funktionstörningar för enskilda spårväxlar eller grupper av spårväxlar på bandels nivå.

Någon heltäckande förklaring till alla spårväxlar antal besiktninganmärkningar och funktionstörningar har inte rymts inom detta projekt och det finns behov av att komplettera den information som varit tillgänglig med bland annat:

- Användandet av avvikande tågspår
- Tågens vikt, antal axlar och hastighet
- Banförvaltarens underhållsstrategi

Arbetsättet har visat sig vara tillämpbart och i framtiden kommer metoden att utvecklas så att den kan användas för att genomföra bedömningar av livscykelkostnaden för spårväxlar.

Abstract

There is a need for analysing causes of failures and train delays within the railway infrastructures. Turnouts are one of the major factor causing disturbances. The aim of this study is to develop a method of evaluating the reliability of specific turnouts. The long term goal is to diminish the number of failures on the turnouts and the train delays that is caused by them.

A model has been used to present the information on turnouts available in different databases at Banverket. The model is based on the theory of the inhomogeneous Poisson process and is shown graphically in a spreadsheet.

Related factors for each turnout can be tested and checked for possible influences on the failure statistics. A literature survey was conducted to give suggestion on such factors. They can be divided into:

- Initial conditions
- Traffic
- Age
- Climate

With help of these factors a decision can be made to classify a turnout to be normal or not. If it is expected that the turnout will have more inspection remarks or failures than the normal group then it will be placed in a group of “risk” turnouts.

With the information of “to which group the turnout is belonging”, the type of turnout, yearly tonnage and age, the number of failures and inspection remarks can be predicted. After the grouping is made, turnouts that are outside the predicted interval for the model, can easily be identified.

The method has been used in some smaller studies to explain the number of inspection remarks and failures for single turnouts or group of turnouts on different lines.

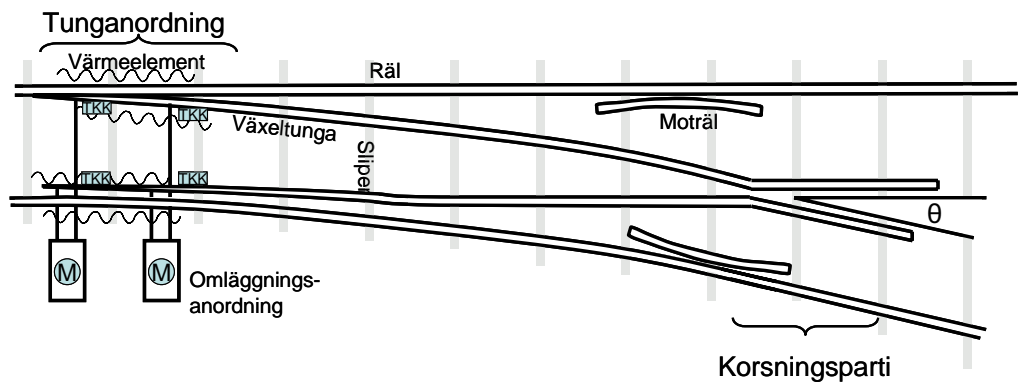
A complete explanation of all turnouts’ number of failures and inspection remarks has not been within the scope of this study. In the future, there is a need for a more detailed study about each turnout, for instance:

- The use of deviating traintrack
- The actual weight of each train, as well as number of axis and speed
- The maintenance strategy at the specific line

The method of analysis has proved to be successful and in the future a method can be developed to make it possible to predict the life cycle cost of turnouts.

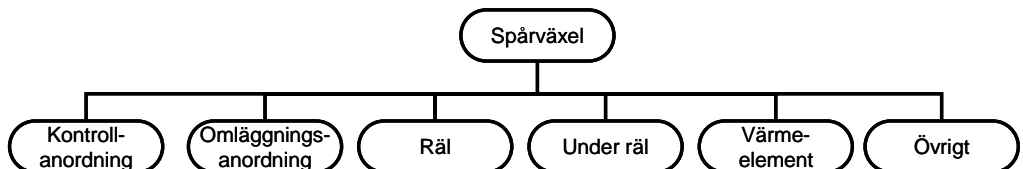
1 Inledning

Banverket har ansvaret för att vidmakthålla och utveckla statens spåransläggningar så att en säker och punktlig trafik kan upprätthållas. Banverkets tre huvudprocesser är banhållning, tågtrafik och myndighetsutövning. Inom banhållningsprocessen används 4 miljarder kronor för drift, underhåll och reinvesteringar av anläggningarna (Banverket, 2005). Eftersom banhållningsprocessen är komplex och kräver omsorgsfull planering för att nå högt ställda mål behöver Banverket också få mer kunskap om sina anläggningar. En av de viktigare anläggningarna ur underhållsynpunkt är spårväxlar, se figur 1.1. Spårväxels grundläggande funktion är att möjliggöra en övergång från ett tågspår till ett annat. En mer detaljerad beskrivning ges i kapitel 6.



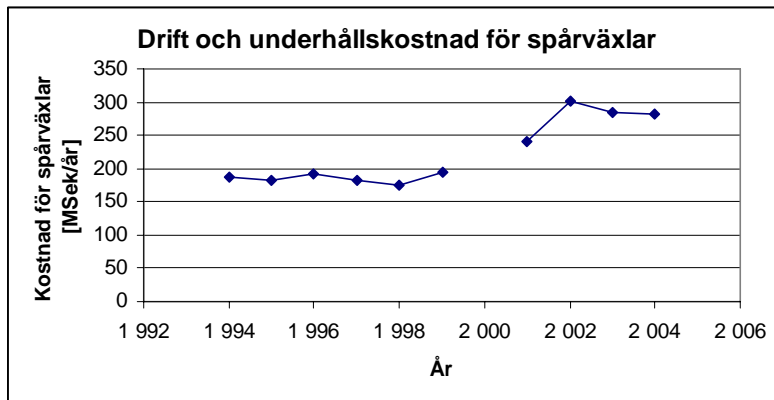
Figur 1.1 Schematisk bild av spårväxel (Baserad på Thurffell, 1994, och modifierad), θ avser vinkeln för det avvikande spåret i korsningens spets.

En spårväxel är uppbyggd av ett antal komponenter och kan delas in en rörlig del (tunganordning) och en fast del. Den rörliga delen består av tungor, växeldriv, länkar, glidplattor och kontrollanordning. Den fasta delarna är korsning, olika typer av räl, slippers och underbyggnad. Funktionstörningar uppkommer mest frekvent i de rörliga delarna. Besiktningens anmärkningar görs på både de fasta och rörliga delarna, framförallt på räl och omläggingsanordning. I studien har spårväxeln delats in i sex delsystem enligt figur 1.2.



Figur 1.2 Uppdelning av spårväxel i sex delsystem.

Underhållskostnaden för enbart spårväxlar är 200–300 miljoner kronor/år (Hedström, 2001 och Duvan). Detta utgör alltså en betydande del av kostnaden för vidmakthållandet. Spårväxlarna står dessutom för 50 % av besiktningssanmärkningarna och 21 % av de funktionstörningar som registreras (Duvan för år 2004). Funktionstörningar ger i sin tur indirekta kostnader i form av trafikstörningar och ökat behov av beredskap.



Figur 1.3 Årlig drift- och underhållskostnad för spårväxlar (Hedström, 2001, år 1994 - 1999 och Duvan år 2001-2004).

Initiativet till att studera spårväxlar mer ingående togs av Banverkets huvudkontor under 2002. I vinterutredningen 2001 framkom bland annat att spårväxlar låg bakom många av funktionstörningarna. En omstrukturering av uppföljningssystemet för funktionstörningar genomfördes år 1999 och en ny databas, Ofelia skapades för att dokumentera orsaker och åtgärder till funktionstörningar. År 2002 fanns redan några års erfarenhet av systemet och Banverket önskade få en översyn över vilka slutsatser som kunde dras ur den samlade informationen. En första studie gjordes fram till hösten 2002 och då framkom att funktionstörningar till stor del drabbar tre av spårväxelns delsystem, kontrollanordningen, omlägningsanordningen och värmeelementen (Nissen, 2002). För att undvika de mest typiska felen har olika projekt startats för att ta fram nya tekniska lösningar. Exempelvis påbörjades under 2003 införandet av en ny kontrollanordning vilket behandlas i bilaga 5. Förutom tekniska lösningar behövs en mer anpassad underhållsstrategi för att rejält kunna sänka de störningar som uppstår. Ett första steg i att utveckla en underhållsstrategi är att analysera befintlig information och denna studie ingår i detta arbete.

1.1 Syfte och mål

Syftet med detta arbete är att ta fram ett arbetssätt för att värdera enskilda spårväxlar funktionssäkerhet i förhållande till andra spårväxlar med liknande

betingelser. Genom en bättre förståelse av de faktorer som påverkar antalet funktionstörningar kan förändringar införas när det gäller underhållsinsatser, placering, trafikplanering och konstruktion. Antalet besiktningsanmärkningar kan ses som en indikator på hur bra spårväxeln fungerar och kan i framtiden nyttjas för att förstå de kostnader en spårväxel genererar.

Det långsiktiga målet är att sänka de totala underhållskostnaderna för spårväxlar och den förseningstid som spårväxlar förorsakar idag.

1.2 Forskningsfrågan

Forskningsfrågan är ”Hur kan faktorer som påverkar antalet funktionstörningar respektive besiktningsanmärkningar för en spårväxel påvisas?”

1.3 Avgränsningar

Vid studiens början bestämdes att fokus var att studera de spårväxlar som ligger i huvudtågspår och som hade en vinkel (θ i figur 1.2) mellan $3,8^\circ$ (1:15) och $6,3^\circ$ (1:9). Dessutom begränsades studien till några bandelar som fick representera typiska trafikstråk. En ny ansats under sommaren 2005 har lett till att alla spårväxlar i princip kan studeras. I praktiken har studien begränsats till spårväxlar med en vinkel mellan $3,1^\circ$ (1:18,5) och $6,3^\circ$ (1:9) och rälvikter 50 – 60 kg som ligger i huvudtågspår med trafik över 5 miljoner brutto ton per år. Detta beror på att det finns många olika typer spårväxlar och för att för att den statistiska osäkerheten ska bli rimligt liten det är det lämpligt med minst 100 spårväxlar av samma typ. Tabell 6.1 redovisar antalet av olika typer av spårväxlar inom banklasserna 4-7.

En förutsättning för studien var att den skulle utföras på tillgänglig information som finns lagrad i Banverkets databaser.

2 Forskningsprojekts upplägg

2.1 Val av forskningmetod

Insamling av data har gjorts från tre av Banverkets databaser. Informationen har samlats i ett antal Excelfiler som sedan bearbetats vidare. Databaserna beskrivs i kapitel 3.

Den insamlade informationen har bearbetats för att sammanställa informationen i ett antal grafer. Det handlar dels om att sammanställa all information om enskilda spårväxlar på samma ställe (bland annat behövs det anges en gemensam individbeteckning om det funnits flera olika på samma spårväxel) och att komplettera uppgifter som inte funnits tillgängliga (som tex inläggningsår på enskilda spårväxlar).

2.2 Metod

2.2.1 Insamling av data

De datafiler som har sparats från Banverkets system har hämtats vid olika tillfällen (under åren 2002–2005) och under tiden har systemen uppdaterats så att nya kolumner i Excelarken har tillkommit och en del spårväxlar har ändrat beteckningar. För att undvika misstag under sammanställningen av informationen har rådata funnits tillgänglig för att kontrollera ifall resultatet av en enskild graf har avvikit från det förväntade.

Under 2002 och 2003 gjordes intervjuer med anställda vid Banverket för att fastställa på vilket sätt som materialet skulle kunna analyseras (Nissen, 2002). Med hjälp av intervjuerna och litteraturstudier fastställdes ett antal grundläggande faktorer som har använts i studien. Faktorerna kan sammanfattas av:

- Startvillkor
- Tågtrafik
- Ålder
- Klimat

2.2.2 Litteraturstudie

Genom litteraturstudie har kunskap om vad som värderas viktigt för att få bra fungerande spårväxlar inhämtats. Litteraturstudien har även behandlat statistiska arbetssätt för att analysera data.

2.2.3 Besök på stationsområden

Besök på plats vid spårväxlar har gett en djupare förståelse av skilda parametrar som inte tidigare har framgått vid användandet av databaserna och att det har ökat

möjligheten att leta efter information. Besöken har kompletterats med att se på videosekvenser som spelas in av mätvagnen STRIX.

2.2.4 Intervjuer

Under arbetes inledande skeden var Anders Norman (Banverket) till stor hjälp att ge förslag på vad som borde studeras. Intervjuer gjordes även av personal anställd vid Banverket Produktion. En enkät besvarades av personer vid Banverkets olika banregioner (Nissen 2002).

2.3 Validitet och reliabilitet

Studien har använt statistiska verktyg för att kunna skilja olika grupper. Där det finns skillnader anses reliabiliteten vara tillgodosedd. Det är dock svårare att vara säker på orsaken till skillnaderna och därför måste validiteten av slutsatserna i denna studie kunna ifrågasättas ett tag framåt. Syftet med rapporten är att ta fram verktyg som ska leda till att rätt slutsatser ska kunna dras i en senare del av arbetet och i framtiden kommer validiteten att kunna styrkas genom att låta Banverkets personal bedöma bakomliggande orsaker till de funna skillnaderna.

3 Tillgängliga databaser

På Banverkets intranät finns information om anläggningarna. Framförallt tre datasystem har varit av intresse för denna studie. I dessa system lagras information om anläggningen och vilket avhjälpande och tillståndsbaserat underhåll som genomförs.

3.1 Beskrivning av databaser

3.1.1 BIS

Banverkets anläggningsregister heter BIS, BanInformationsSystemet. I databasen finns all banrelaterad information samlad. Det är möjligt att söka reda på alla fasta anläggningar och en del typer av händelser som till exempel olyckor, slipersbesiktningar med mera. För varje lägesbestämt objekt kan även komponenter registreras. Informationen kan visas i form av kartbilder eller tabeller.

BIS utgör även grundstrukturen för vilka uppgifter om en spårväxel som kan lagras i de andra systemen. I BESSY används till exempel de komponenter som finns registrerade i BIS (Knuten).

3.1.2 Ofelia och TFÖR

Banverkets datasystem för felhantering och avhjälpande underhåll heter Ofelia, Noll Fel I Anläggningarna. Alla uppkomna fel på anläggningen anmäls till bandriftledningen som matar in uppgifter om symptom och vilken anläggning som anmälan gäller. Efter att felavhjälpning har skett rapporteras det verkliga felet in och rapporten avslutas.

Dagens version av Ofelia har varit i drift sedan 2001 och även innan dess finns möjlighet att söka felrapporter även om de är upplagda på ett annat sätt. Den som vill analysera i Ofelia har möjlighet att ta ut felrapporter baserat på banområde, bandel, stationssträcka eller anläggningsindivid under en bestämd tidsperiod. Informationen kan enkelt exporteras till Excel (Knuten).

TFÖR, tågföringssystemet, har en modul som är knuten till Ofelia och därför är det möjligt att söka reda på alla felrapporter som är knutna till en viss försening, vilket görs med samma sökbegrepp som felrapporterna söks med.

3.1.3 Bessy

Banverkets datasystem för underhålls- och säkerhetsbesiktning av de fasta anläggningarna heter BESSY, (Besiktningssystemet). I systemet registreras tre typer av besiktningar

- Säkerhetsbesiktning (BVF 807.2) som görs upp till 5 gånger per år

- OFP-besiktning (avser oförstörande provning med ultraljud för att finna sprickor i räl) som görs 1 gång per år
- Underhållsbesiktning (BVF 807.3) som görs 1 gång per år

Besiktning sker på komponentnivå och vad som ska besiktas finns beskrivet i BVF 807-serien. En komponent kan behöva en eller flera mätpunkter eller bedömningspunkter. En mätpunkt innebär att ett värde ska skrivas in oberoende om det är utanför toleransnivån eller inte. Vid bedömningspunkter skrivs endast avvikande värden in.

Vid registreringen ges ett förslag på åtgärdsdatum baserat på hur allvarligt felet är. Det finns möjlighet att registrera olika typer av prioritet i form av

- A - Akut (Åtgärd ska utföras snarast)
- V - Vecka (Åtgärd ska utföras inom 2 veckor)
- M - Månad (Datum för åtgärd anges)
- Å - År
- U - Utfört (Har numera slutat användas)
- Ö - Övrigt (Datum för åtgärd anges) (Förekommer mycket sällan)

Vid besiktningen anges en föreslagen åtgärd. Det går dock inte att i systemet lagra om en annan åtgärd än den som angetts har genomförts utan endast om anmärkningen är åtgärdad, planeras eller blivit avförd utan åtgärd.

Antalet besiktningsskärningar på spårväxlar är mycket stort (över 80 000 per år för spårväxlar) och en vanlig användare kan endast ta ut 5 000 anmärkningar per sökning därför behöver sökningen begränsas till banområde, bandel eller stationssträckor och bestämda tidsperioder.

Bessy började användas 1999, men i praktiken dröjde det till år 2000 innan det användes mer allmänt (Knuten).

3.1.4 Övriga källor

Mätenheten sparar mätningar från ett antal mätvagnar. De är utrustad med kamera och samtliga bandelar filmas flera gånger per år. Filmerna kan spelas upp på dator och användas för att göra bedömningar om hur det ser ut i närheten av spårväxeln.

För att bedöma användandet av avvikande tågspår har tågordning (T04.2) och grafisk tidtabell (T04.1) används. I tågordningen anges det spår på en station som är tänkt att användas för varje tåg och den grafiska tidtabellen visar hur många tågmöten som det är på en station.

3.2 Uppgifter ur databaserna

3.2.1 BIS

Från Baninformationssystemet har följande data i första hand använts

- Spårväxelns beteckning
- Läge (Kilometer, metertal och längd)
- Placering i dubbelspår, enkelspår eller sidotågspår (unc – upp/ner/enkel)
- Spårväxeltyp
- Slipers
- Inlagt år
- Kurvor (radie och läge)
- Broar (läge)
- Plankorsningar (läge)
- Slipers och räiltyper i spår

3.2.2 Ofelia

Från Ofelia och TFÖR har följande data i första hand använts

- Antal störningar
- Datum för störningen
- Tågförsejningsminuter
- Antal tåg som har försenats per funktionstörning
- Vilket delsystem som funktionstörningen registrerats för

3.2.3 Bessy

Från Besiktningssystemet har följande data använts i första hand

- Datum för besiktningen
- Prioritet (A – Akut, V – Vecka, U – Utfört, M – Månad, Å – År, Ö – Övrigt)
- Vilket delsystem som besiktningensanmärkningen registrerats för

3.2.4 Andra källor

Ur tågordningen hämtas uppgifter om tågtyp (resandetåg och godståg), hur många gånger per vecka som tåget går och vilket spår det passerar på stationen.

3.3 Bearbetning av datakällor

3.3.1 Bearbetning av ursprungsdata

För att kunna använda den information som finns lagrad har den bearbetats på flera sätt. Spårväxlar beteckningar har inte varit lika i alla system och i BESSY

har beteckningen dessutom varierat över tid. Därför har en korsreferenstabell skapats för att få entydiga beteckningar i materialet.

Klassificering av uppgifter som till exempel vilken del av spårväxel som har drabbats behövs för att minska antalet undersystem som redovisas. Indelningen följer den som visas i figur 1.2.

Saknade uppgifter kan till viss del återskapas genom att använda ytterligare källor än de ursprungliga. Inlagt årtal är inte alltid angivet och då har i första hand en sammanställning på övriga växlar inom samma bandel använts för att beräkna en genomsnittsålder. Uppgifter om bruttotonnage saknas på flera mindre bandelar, banklass kan då användas för att ange ett troligt bruttotonnage.

3.3.2 Bearbetning av data från Ofelia

Information från Ofelia har kompletterats med information från databasen med tågföring, TFÖR. Varje funktionstörning med registrerad förseningstid har kompletterats med den sammanlagda förseningstiden och antalet primärt försenade tåg. Förseningstid kan grovt delas in i långa och korta förseningar. Ifall gränsen går vid 120 minuter är de långa förseningarna 6 % av antalet och står för 35 % av tiden. Eftersom långa förseningstider fås när det inträffar komplicerade störningar som exempelvis rälsbrott och urspårningar, finns möjligheten att begränsa de långa förseningarna till 120, 180, 240 eller 300 minuter.

Upprepade funktionstörningar som skett kort tid efter den senaste funktionstörningen har också analyserats för att kunna skilja ur primära från sekundära funktionstörningar (funktionstörningar som uppkommer på grund av att underhållsåtgärden inte har åtgärdat den primära orsaken till felet). (Rigdon 2000, s 78). Den gräns som har satts upp är att fel som sker inom tre dagar från föregående funktionstörning räknas som sekundära.

Under vintern sker betydligt många fler funktionstörningar och därför finns det möjlighet att sortera bort funktionstörningar som är direkt kopplade till snö- och isproblematiken, eftersom dessa kan vara starkt kopplade till hur omgivningen ser ut eller till att växelvärmnen inte har fungerat och inte lika starkt kopplade till den trafik som passerar växeln.

3.3.3 Bearbetning av data från Bessy

Det som registreras i Bessy är både bedömningspunkter och mätpunkter. För att kunna se om subjektiva bedömningar påverkar gjordes en uppdelning av besiktningsanmärkningar i objektiva metoder och subjektiva metoder. Alla mätpunkter bedöms som objektiva, men även bedömningspunkter som kräver en mätning eller tydlig gradering räknas som objektiva (till exempel att växeln går i kontroll vid 3 mm's mellanlägg).

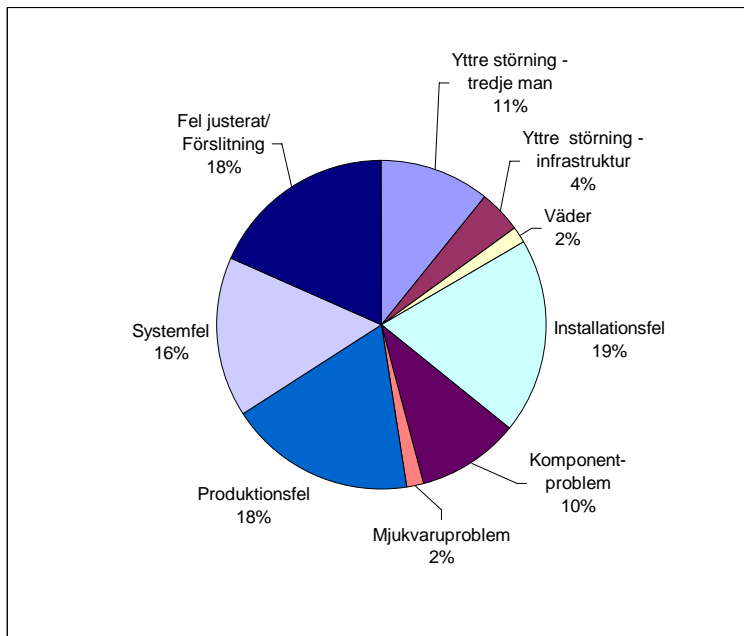
Det går att påvisa att variationen av antalet besiktninganmärkningar för enskilda spårväxlar mellan olika år är för stor för att endast handla om slumpmässiga skillnader, därför har även antalet besiktningstillfällen tagits fram.

4 Litteraturstudie om spårväxlar

I litteraturstudiet kan konstateras att det har skrivits relativt mycket om kontakten mellan hjul och räl och de krafter som förekommer vid en spårväxelpassage vilket långsiktigt leder till en nedbrytning av spårväxeln. Det skrivs vidare om hur spårväxlar kan övervakas med olika metoder, men i stort sett ingenting skrivs om de vanliga slumpartade felen som är vanliga i det svenska järnvägsnätet. I kapitel 5 behandlas allmän statistisk litteratur om punktprocesser.

4.1.1 Ecotrack och Ecoswitch

Under 1990-talet arbetade ERRI (European Rail Research Institute i Utrecht, Holland) med att ta fram ett beslutsstödssystem för järnvägen. Arbetet som var ett europeiskt samarbete med 24 deltagande infrastrukturägare resulterade i systemet Eco Track. Tanken med systemet är att utifrån känd information får ägaren beslutsunderlag för olika underhållsåtgärder som till exempel slipning, rengöring av ballast, byte av räl eller reinvestering. Spårväxlar har också lagts in i systemet, men det ansågs att för lite kunskap om spårväxlar fanns i Eco Track och därför startades ett nytt projekt, Eco Switch. Detta projekt rapporterades 2002. (Ecoswitch, 2002).



Figur 4.1 Uppdelning av orsaker till funktionstörningar på spårväxlar hos en del av den holländska järnvägen.

Rapporten behandlar att det finns en skillnad mellan nedbrytningen av spårväxeln och att det uppkommer funktionstörningar. Nedbrytning är något som sker över lång tid och åtgärdas genom ett tillståndsbaserat underhåll, funktionstörningar sker ofta (där siffror i storleksordningen 1 – 20 funktionstörningar/växel/år nämns) och åtgärdas med avhjälpande underhåll. Den tyska järnvägen (Deutsche Bahn) redovisar att 15 % av deras funktionstörningar berodde på spårväxlar. I figur 2.1 visas hur den holländska järnvägen har kategoriserat sina funktionstörningar. Till stor del beror de på tekniska och underhållstekniska problem som måste lösas med flera olika åtgärder, det finns ingen enskild åtgärd som ger en drastisk minskning av funktionstörningarna.

I Tyskland ges exempel på att antalet funktionstörningar varierar över året. Till exempel hade ett område registrerat 35 st fel på värmeelement under november och månaderna därefter minskade antalet fel gradvis fram till maj där antalet åter var noll.

Sex viktiga faktorer nämns i rapporten som påverkar nedbrytningen av spårväxlar:

- **Totalt axeltonnage** Parametern används för att beskriva den totala belastningen som en spårväxel utsätts för. UIC (internationellt samarbetsorgan för järnvägstrafik) har definierat ett sätt att mäta i "Fiche 714, appendix 10".
- **Typ av tåg** Välskötta tåg, med optimal hjulprofil minskar belastningen på rälen. Skadade hjul kan ge accelererad nedbrytning. Godståg antas ge större påverkan än persontåg (räknat på samma tågtonnage).
- **Antal tåg i avvikande spår** Spårväxeln utsätts för högre belastning i avvikande spår än den görs om tåget går i rakspår. Mätning av antal tåg som går i avvikande tågspår anses därför som mycket viktig.
- **Antal omläggningar** Växeldriv, växeltunga, glidplattor, rullar med mera utsätts för mera slitage beroende på antalet omläggningar.
- **Tåghastighet** Den faktiska hastigheten på tåg som går i avvikande tågspår ansågs av många underhållsorganisationer som viktig. Det finns en designad hastighet som inte bör överskridas. I praktiken kan inte ett tåg ha för hög hastighet in till en spårväxel, men efter att ha passerat den kan tåget börja accelerera så att de sista vagnarna går i en betydligt högre hastighet, speciellt om det gäller ett långt tåg.

- **Markförhållanden** Hög styvhet i marken underlättar för spårväxeln att bära tåget vid passagen. Dåliga förhållanden i marken eller lösa slipers kan leda till högre nedbrytningshastighet.
- **Byggfasen** Vid installationen av en ny spårväxel gäller det att den hamnar i det projekterade läget. Slarv eller tidspress kan leda till att installationen inte blir korrekt utförd, vilket senare ger ökat behov av underhåll.

I rapporten ges även förslag på hur antalet fel på spårväxlar ska kunna minskas:

- **Reducerat antal spårväxlar** I Tyskland genomfördes en minskning av antalet spårväxlar med 36 % från år 1995 till 2001. En del av det gjordes genom att minska antalet spårkilometer (genom stängning eller överlåtelse på annan ägare) men även växeltätheten minskade från 1,80 till 1,37 spårväxel/km.
- **Ny design** De uppmätta krafterna i en spårväxel avviker från de beräknade krafterna. En design som tar hänsyn till de faktiska krafterna som kan bero på att tågets accelerationscentrum förändras genom passagen i en så pass snäv kurva som avvikande tågspår i spårväxeln utgör.
- **Analys av fel** Genom att bygga upp kunskandet om vilken typ av fel som faktiskt förekommer och varför ges konstruktörer en möjlighet att designa spårväxeln utifrån denna kunskap.
- **Bättre installation** Utvecklandet av speciella fordon för växelinstallation har gjort installationen säkrare och minskar risken för att introducera fel vid byggandet av en ny spårväxel.
- **Besiktning** Idag har olika underhållsgrupper olika ansvar för tillståndsbedömningen av spårväxlar (till exempel signal och bantekniker kollar på olika saker). En mer integrerad syn kan hjälpa.
- **Underhållsfönster** Tid för besiktning bör finnas så att den kan utföras på ett säkert sätt. I vissa sammanhang kan säkerhetsbestämmelser och för lite tillgänglig tid för underhåll göra att underhållet blir onödigt dyrt.

- **Längre spårväxlar** En spårväxel med vinkeln 1:9 har högre underhållskostnad än en spårväxel med vinkeln 1:12. En minsta kurvradie på 500 m bör finnas i avvikande tågspår.
- **Bättre registrering** Grunden för att kunna analysera de fel som förekommer är att korrekt data insamlas. Bättre registrering, kanske med hjälp av handdatorer kan underlätta.

I rapporten redovisas även de arbeten som har genomförts i tidigare projekt i kommittéerna ORE D72, D141, D161, samt ERRI D184 och REMAIN. I dessa projekt har det uppmärksamats att :

- växlar i kurvor som kräver mer underhåll (D141)
- en höjning av axellast från 20t till 22,5 t ger snabbare nedbrytning av spårväxlar, där värdet 2 – 10 % ökade förslitning på räl anges (D161)
- längre moträl ger lägre horisontella krafter i spårväxeln (D184). Även styvheten i fästsättningen spelar roll

ORE D 161 kommittén föreslog att nedbrytningen av räl kan beskrivas med en ekvation

$$E = kT^\alpha P^\beta V^\gamma \quad (4.1)$$

Där

E - nedbrytning sedan senaste genomgripande underhållstillfället (reovering, byte)

T - tågtonnage som passerat sedan senaste genomgripande underhållstillfället

P - axellast (statiskt och dynamiskt)

V - hastighet

k, α , β , λ - konstanter

Konstanterna α och β ligger inom intervallet 1 -3 beroende på om det är utmattning, förslitning, ytdefekter eller skador på andra delar än rälen som avses.

4.1.2 Charmec

Två doktorandarbeten pågår på Charmec som berör spårväxlar. Inför att de två doktorandarbete skulle starta genomfördes även en förstudie.

- TS7 - Dynamics of Track Switches
- MU14 - Damage in Track Switches

Förstudien tar upp de krafter som en spårväxel utsätts för, både statiskt och dynamiskt. Tunganordningen och korsningen utsätts för de högsta dynamiska lasterna. Det konstateras också att korsningspartiet och tunganordningen står för cirka 20 % av de funktionstörningarna och hälften av besiktningsanmärkningarna, vilket gör att en stor del av underhållskostnaden har med dessa två att göra.

I förstudien delas de dynamiska krafterna upp i låg- och högfrekventa, där de lågfrekventa har samband med tågets laterala rörelse genom spårväxeln och de högfrekventa av krafterna i vertikal led, speciellt vid passage av korsningspartiet. I korsningspartiet finns mer massa och denna del av spårväxeln är styvare vilket, speciellt vid höga hastigheter, ger upphov till höga dynamiska laster som kan ge ett tillskott på 300 % jämfört med den statiska lasten. Det konstateras att lite forskning är gjort inom detta område.

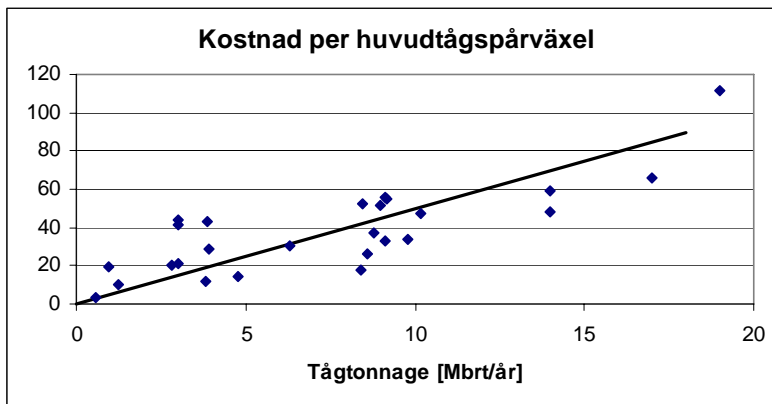
I TS7 undersöks hur designen av en spårväxel ska se ut för att minimera de krafter som en spårväxel utsätts för. I projektet simuleras en tågpassage i två olika datormodeller och krafterna beräknas. Modellen görs på en UIC60-760-1:15 växel och ett bestämt tågsätt. Praktiska försök under 2006 ska verifiera modellens användbarhet. Det långsiktiga målet med projektet är att skapa en datormodell som kan användas för att optimera en spårväxels geometri med avseende på de dynamiska krafter som tåget genererar. (Kassa, 2004)

I MU14 undersöks plastiska förändringar av materialet på grund av cyklisk belastning. En spårväxel kan utsättas för över 1 miljon cykliska belastningar per år (Malmbanan och i närheten till storstäderna Stockholm, Göteborg och Malmö), vilket leder till stora plastiska deformationer. Deformationerna är störst i korsningspartiet och i början av växeltungan, där geometrin är särskilt ogynnsam. I projektet byggs en matematisk modell som simulerar denna typ av cyklisk belastning. I en vanlig modell krävs stor datorkraft för att beräkna tiotusentals cykler och därför tillåts i denna modell en extrapolering mellan olika intervall av belastningscykler att det är möjligt att beräkna flera hundratusentals cykler. Modellen skiljer sig också från andra materialmodeller genom att stora plastiska deformationer är tillåtna. Projektet långsiktiga mål är att bättre rälsmaterial ska kunna utvecklas som ger lägre platsisk deformation, mindre slitage och längre underhållsintervall. (Johansson, 2004)

4.1.3 VTI

Ragnar Hedström har skrivit om vilka bedömningskriterier Banverket använder vid utbyte av spårväxlar. Det finns inga entydiga kriterier, men två övergripande skäl till byte av spårväxlar är bangårdsombyggnad och att spårväxeln inte kan underhållas till en rimlig kostnad. I rapporten tas även upp vilken kostnad som finns redovisad för underhåll av spårväxlar, totalt uppgår det till 185 miljoner

kr/år (mellan 1994 och 1999). I genomsnitt bedöms kostnaden vara 22 900 kr/spårväxel/år. Kostnaden för spårväxlar i huvudtågspår kan dock vara betydligt högre och den varierar dessutom mycket mellan olika bandelar. I rapporten tas även upp att den årliga trafikbelastningen inte dokumenteras årligen för varje bandel, trots att den har stor inverkan på nedbrytningen av spårväxlar. De uppgifter som går att få tag på gäller i så fall hela bandelar och inte delsträckor inom bandelen trots att trafikerna kan vara olika på olika delar av bandelen (Hedström, 2001). Genom att bearbeta de uppgifter som presenteras i rapporten kan kostnaden för underhåll av spårväxlar visas bero på vilken årlig belastning spårväxeln utsätts för.



Figur 4.2 Kostnad för underhåll av spårväxlar baserat på uppgifter från Hedström (2001) som innehåller kostnader för 1994-1999.

4.1.4 Simuleringsmodell för nedbrytning av spår

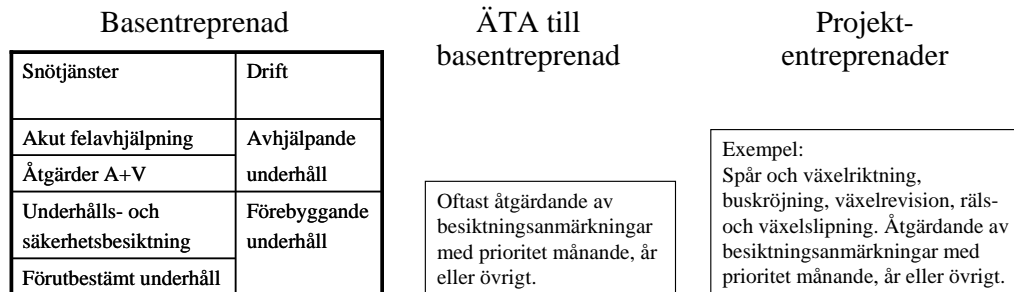
I rapporten beskrivs en modell för nedbrytning av spår. Den använder indata om tågtrafik och banans utformning. Tågtrafiken beskrivs med hjälp av antal axelpassager, axellast, årligt tonnage, hastighet, tågtyper och tågens underhållskondition. Banans utformning beskrivs med hjälp av hur stor andel av banan som ligger i kurvor av olika radier samt om smörjning används.

I rapporten framgår att fordonens tillstånd, axellast, avsaknad av smörjning i kurvor, samt andelen kurvor under 800 m's radie har stor betydelse för nedbrytningen. (Larsson, 2004)

4.1.5 Underhåll av järnväg

I en rapport om ramverket för en drift- och underhållsstrategi för järnvägen tas det upp om vilka externa och interna krav som behöver beaktas vid utformande av en underhållsstrategi för järnvägen. Ett av de villkoren Banverket lever under är att verksamheten är uppdelad i beställar- och utförarorganisation och därmed måste underhåll upphandlas med tidsbestämda kontrakt. Upphandlingen indelas i

basentreprenad, tilläggstjänster och projektjänster enligt figur 4.3. Basentreprenaden kan upphandlas till ett fast pris, ett riktpreis med incitament, samt till vissa delar tillämpas löpande räkning när omfattningen anses svår att kalkylera, till exempel snöröjning (Espling, 2004).

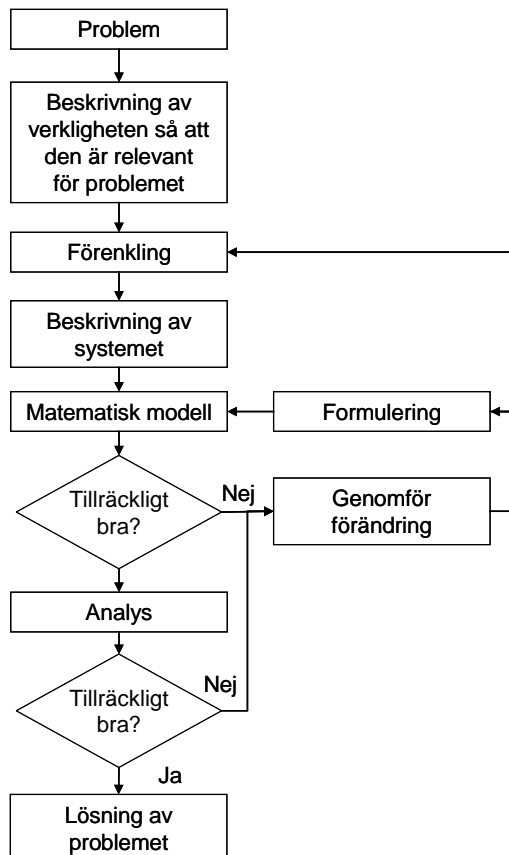


Figur 4.3 Banverkets grundmodell för upphandling av drift och underhåll. ÄTA betyder *Ändring och TilläggsArbeten*. Åtgärder A+V avser åtgärdande av besiktningssmärkningar med prioritet Akut och Vecka (Espling, 2004).

5 Teori

5.1 Modellbygge

Vid insamling av tillförlitlighetsdata är det en fördel att de är valda på ett statistiskt korrekt sätt och att feltiderna för utvalda komponenter har uppmätts under kontrollerade och kända villkor. Data från en verklig situation är det sällan renodlade och det gör att det finns behov av att förstå vilka förenklingar som kan och måste göras. (Blischke 2000 s 32). Blischke föreslår att verkligheten beskrivs på ett ingenjörsmässigt korrekt sätt och sedan förenklas. I figur 5.1 anges en arbetsgång där systembeskrivningen baseras på en förenklad beskrivning av det verkliga systemet. Därefter kan en matematisk modell tas fram och testas, vid behov förändras modellen för att motsvara de krav som finns. (Blischke 2000 s 26)



Figur 5.1 Arbetsmodell för att lösa tillförlitlighetsrelaterade problem (Blischke 2000, något modifierad).

5.2 Tillförlitlighetsmodeller

Analysen av spårväxlar måste utgå från att inte alla faktorer som kan påverka är kända vid analysens början. Det beror på att informationen som finns tillgänglig är ofullständig. Genom att sammanställa händelser under en bestämd tidsperiod (till exempel 3 år) fås en diskret stokastisk variabel (kan anta ett slumpmässigt heltal). Detta kallas i litteraturen för en punktprocess och $N(a,b]$ används för att beskriva antalet oberoende händelser som skett efter tiden a till och med tiden b .

$$N(a,b] = N(b) - N(a) \quad (5.1)$$

I denna rapport är händelser i första hand det totala antalet besiktningsanmärkingar eller funktionstörningar som har registrerats för en enskild spårväxel under en viss tidsperiod. Det finns även andra möjligheter att mäta händelser vilket förklaras i avsnitt 5.5.2.

$N(a,b]$ är poissonfördelat under förutsättning att händelserna i intervallet inte är beroende av händelser som har inträffat tidigare och att inte två händelser kan inträffa vid samma tidpunkt (Rigdon 2000, sid 35). Poissonfördelningen innebär att sannolikheten att N antal händelser kommer att inträffa under tidsintervallet $[a,b]$ kan beräknas med formeln 5.2, såvida felintensiteten, λ , är känd (Rigdon 2000, sid 36).

$$p(N = x) = \frac{\left(\int_{t=0}^a \lambda(t) dt \right)^x * e^{-\left(\int_{t=0}^a \lambda(t) dt \right)}}{x!} \quad (5.2)$$

där $x = 0, 1, 2, \dots$

I det allra enklaste fallet är felintensiteten, λ , konstant, oberoende av tid, vilket kallas en homogen poissonprocess (HPP), (Rigdon 2000, sid 45). I denna studie antas dock att λ ändras med tiden och en mer allmän formel visas i ekvation 5.5.

Det förväntade medelvärdet för $N(t)$ betecknas med $\Lambda(t)$ och kan beräknas med ekvation 5.3 (Rigdon 2000, sid 43).

$$\Lambda(a) = \int_{t=0}^a \lambda(t) dt \quad (5.3)$$

För att kunna bestämma $\Lambda(a)$ empiriskt (genom mätning) krävs att det sker många händelser under tidsperioden. Detta kan ske genom att det finns många likartade system eller att systemet betraktas under tillräckligt lång tid.

När det gäller antalet funktionstörningar på spårväxlar är det inte möjligt att betrakta en enda spårväxel under tillräckligt lång tid för att få ett mätvärde som är användbart. Det beror på att spridningen av en poissonfördelning är alltför stor om antalet händelser per år är litet. Variansen, V , som är ett mått på spridningen, är nämligen lika stor som medelvärdet:

$$V(N(t)) = E(N(t)) = \Lambda(t) \quad (5.4)$$

Eftersom antalet funktionstörningar/år normalt sett är 0,5 – 1,5 skulle det kunna dröja 20 år innan det har skett 10 – 30 funktionstörningar, vilket är en undre gräns för att kunna göra jämförelse mellan två individer, exempel på detta ges i avsnitt 5.4.

5.2.1 Tidsberoende modeller

Åtgärderna för att återställa en spårväxel som har fått en funktionstörning så att den åter fungerar är sällan omfattande och om spårväxeln betraktas som ett enda system bör reparationer ses som minimala, det vill säga att sannolikheten för att en ny störning inträffar inte har förändrats på grund av åtgärden.

Blischke (2000, s 205) föreslår i en sådan situation att systemet betraktas som en svart låda. Ett vanligt sätt att beskriva en modell är att använda ekvationen 5.5 (beteckningarna ändrade till svenska förhållande):

$$\lambda(t, \alpha, \beta) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \quad (5.5)$$

Ekvationen 5.5 kallas på engelska power law (potensfunktion) och innebär att antalet händelser både beror på tidsperiodens längd och när i tiden mätningen sker. Detta kallas för en inhomogen poissonprocess (NHPP) och finns beskriven i Rigdon (2000, sid 53).

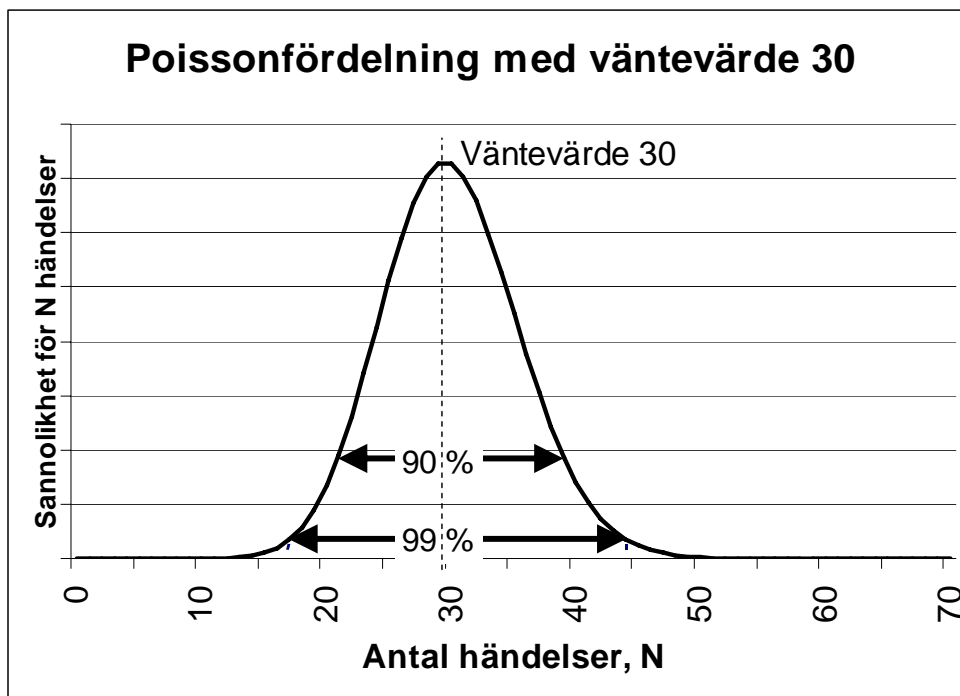
5.3 Analys på delsystemnivå

En mer omfattande tillförlitlighetsanalys bör helst utgå från att det system som ska analyseras kan delas upp i delsystem som i sin tur kan indelas i komponenter som är möjliga att analysera i detalj (Blischke 2000, sid 204 och 206). Den information som finns tillgänglig om spårväxlar är dock inte tillräcklig för att kunna analysera antalet händelser nere på komponentnivå. Erfarenheter från att analysera i Banverkets underhållssystem är att det inte finns tillräckligt med information för att göra en sådan detaljerad analys. Mäki (personligt samtal 2005) kom fram till att 3 % av de registrerade arbetsrapporterna i ett pappersbruk hade sådan kvalitet att de kunde ge information för att användas i en FMEA-analys (en analys som delar upp fel i felsätt och felorsak). Den nivå som kan anses rimlig i

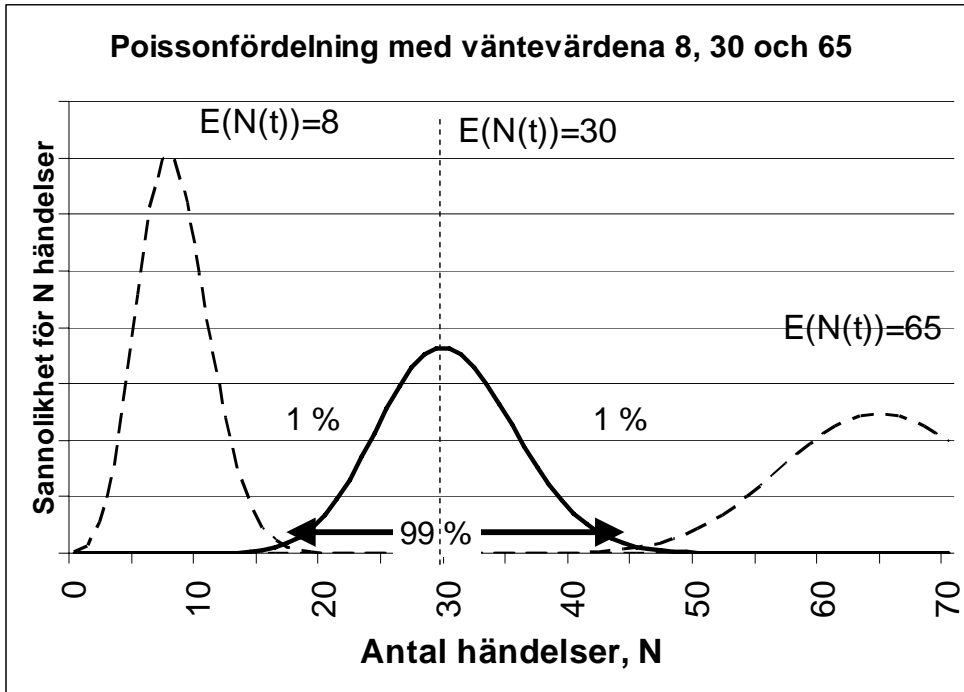
denna rapport är att dela upp spårväxeln i sex delsystem, vilket har visats i figur 1.2.

5.4 Poissonfördelning och statistisk signifikans

För att kunna skilja olika grupper åt krävs ganska stora skillnader mellan de uppmätta antalen händelser. En poissonfördelning med väntevärdet (teoretiska medelvärdet) 30 kommer att ha en förväntad spridning mellan 18 och 47 enligt figur 5.2 med prediktionsintervallet 99 % (till exempel har en grupp om 20 spårväxlar, med i snitt 0,5 fel/år under 3 års tid, sammanlagt 30 fel). För att säkert kunna skilja denna fördelning från någon annan krävs det att väntevärdet på den andra fördelningen är högst 8 eller minst 65, vilket visas i figur 5.3. I figuren har angetts ett område för den högra kurvan på 1 %, det betyder att det är 1 % sannolikhet att det observerade värdet är större eller lika med 18 då medelvärdet i verkligheten är 8. Observeras 18 händelser kan det inte uteslutas att den observationen kommer från fördelningen med medelvärdet 30.



Figur 5.2 Poissonfördelning med väntevärde 30. I figuren finns prediktionsintervallet för 95 % respektive 99 % av fördelningen.



Figur 5.3 Poissonfördelning med väntevärde 8, 30 respektive 65. Med dessa stora skillnader är det enkelt att fastställa att en spårväxel (eller grupp av spårväxlar) är normal eller inte.

Arbetsmetoden i denna rapport har varit att dela in spårväxlarna i grupper med hjälp fördefinierade faktorer och testa ifall skillnaden i antalet besiktningssmärkningar respektive funktionsanmärkningar har varit statistiskt signifikant. Gruppernas storlek har kunnat förändras genom att använda statistik från flera bandelar och/eller flera snarlika växeltyper. Ambitionen har varit att särskilja grupperna åt även om påverkan har varit så pass liten som 25 % för besiktningssmärkningar och 50 % för funktionsstörningar. Detta ställer krav på en viss storlek på grupperna och att mätvärden för 3 – 4 år har varit tillförlitliga.

Begreppet statistisk signifikans betyder att med en given sannolikhet pröva en hypotes. Hypotesen kan vara att ett mätvärde tillhör en poissonfördelning med ett givet medelvärde. Konfidensintervallet används för att ange gränserna när hypotesen kan godtas eller förkastas. Enligt Rigdon (2000, sid 114) har Pearson och Hartley tagit fram formel 5.6 för att beräkna konfidensintervallet av en poissonfördelning, med N stycken observationer.

$$\frac{1}{2} \chi_{1-\alpha/2}^2(2N) \leq E(N) \leq \frac{1}{2} \chi_{\alpha/2}^2(2N + 2) \quad (5.6)$$

Enklast är att finna faktorer som påverkar antalet besiktninganmärkningar eftersom data finns för 4 år och antalet besiktninganmärkningar är betydligt fler än funktionstörningarna. För att med 99 % säkerhet kunna skilja två grupper med spårväxlar med i snitt 10 respektive 12,5 besiktninganmärkningar/år krävs att de bägge grupperna är på minst 11 spårväxlar. Genom att sänka ambitionsnivån till att ha ett konfidensintervall på 95 % räcker det med grupper om 6 spårväxlar.

För att kunna skilja grupper med spårväxlar åt där skillnaden är mellan 0,5 och 0,75 funktionstörningar/år krävs att grupperna innehåller 46 respektive 83 spårväxlar för konfidensintervall på 95 respektive 99 %. Den gruppstorleken motsvarar det totala antalet spårväxlar som finns på en bandel. Detta gör det svårt att hålla faktorer som klimat, växeltyp och banförvaltarens underhållsstrategi konstanta under den tidsperiod funktionstörningar observeras.

5.5 Uppdelning, stratifiering av befintligt material

Utgångspunkten är att varje spårväxel har ett uppmätt antal händelser och att det i princip finns 5 olika grupper som en spårväxel kan tillhöra.

- Spårväxlar som har färre händelser än en normal spårväxel
- Normala spårväxlar
- Riskgrupp 1 – Spårväxlar som har en något förhöjt antal händelser som kan förklaras av en viss faktor.
- Riskgrupp 2 – Spårväxlar som har ytterliggare förhöjt antal händelser som förklaras av att minst två faktorer samverkar
- Riskgrupp 3 – Spårväxlar med extremt många händelser som framförallt förklaras av att de har mycket trafik gående i avvikande tågspår (upp till 50 % av fallen).

Under studien har arbetet inriktats på att hitta faktorer som kan användas i arbetet med att dela upp i ovanstående grupper.

5.5.1 Tidsaxel för nedbrytning

I formeln 5.5 används t för att modellera ett tidsberoende. Tiden t behöver inte avse dygnstid utan kan vara en variabel som beskriver något som medverkar till nedbrytning av systemet som till exempel antalet vagnsaxlar som passerat en viss punkt i järnvägssystemet.

Teorierna ger ingen tydlig hjälp ifall det finns anledning till att anta att det finns olika tidsskalor som styr nedbrytningen av systemet. I järnvägens fall kan man anta att antalet år påverkar delar i systemet som inte utsätts för någon direkt mekanisk påverkan som till exempel växelvärmens. Ett annat exempel är att spårslaget kan påverkas av markförskjutningar som kan uppkomma årligen under tjällossningsperioden. Antalet passerade tåg ger istället förslitning av rälen och därför bör fel som uppkommer av den anledningen bero på en variabel knuten

till passerat antal axlar eller bruttoton. En tredje möjlig variabel för spårväxlar kan vara antalet omläggningar som rimligtvis påverkar nedbrytning av växel driv och andra komponenter i omläggningsanordningen. En tänkbar väg är att dela upp händelser i tre olika grupper och lägga ihop dem till en enhet.

$$N_A(t_A) + N_B(t_B) + N_C(t_C)$$

t_A - kalendertid

t_B - antalet passerade tågaxlar

t_C - antalet växelrörelser

En definitiv svårighet i sammanhanget är att ingen av de nämnda sakerna ovan enbart kan förklaras av endast en tidsskala, till exempel utsätts växelvärmerna för vibrationer som beror på antalet passerade tåg och deras hastighet.

I modellen har spårväxelns ålder och vilket bruttotonnage/år använts för att skapa en tidsaxel som kan användas vid presentation av informationen. Detta möjliggör att i ett och samma diagram presentera händelser för spårväxlar som har avsevärt olika mycket trafik.

5.5.2 Mätbara händelser

Utgångspunkten i studien har varit att registrera besiktningsanmärkningar och funktionstörningar var för sig och presentera det resultatet i diagramform för att leta efter faktorer som kan ge förklaring till att antalet händelser skiljer mellan individer. Även antalet A+V besiktningsanmärkningar/år kan vara en typ händelse. (Här avses besiktningsanmärkningar som ska vara åtgärdade inom högst två veckor, A-Akut, V-Vecka).

Upprepade funktionstörningar

Det har visat sig att funktionstörningar inte alltid är en oberoende händelse och därför bör upprepade funktionstörningar anses som sekundära. Teorin om detta finns beskriven i Rigdon (2000 sid 78) och kallas förgrenad Poisson process (branching Poisson process, BPP). Kan de primära händelserna identifieras ska dessa analyseras separat. Under denna studie har en tidsgräns på 3 dagar använts för att utesluta att en åtgärd kan ha påverkat nästa funktionstörning. Sannolikheten att få en störning inom 3 dagar är 1,2 % om genomsnittet är 1,5 händelser/år.

Vinterrelaterade funktionstörningar

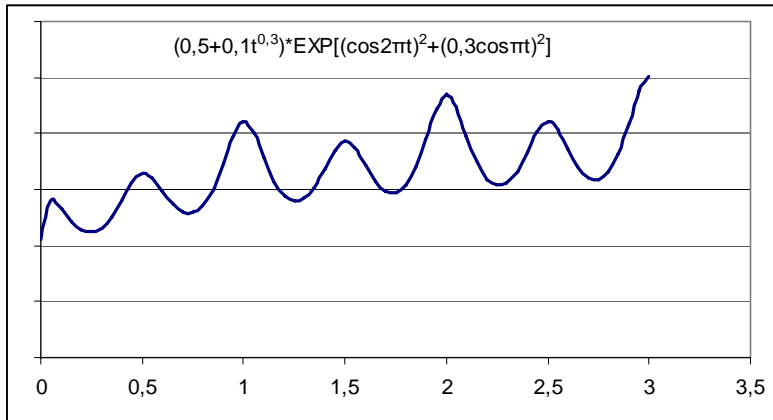
Under vintern ökar antalet funktionstörningar vilket kan förklaras av att snö och is ökar sannolikheten för att omläggningen misslyckas. Kyla förändrar även spänningarna i rälsen och även det kan påverka funktionssäkerheten. I studien har funktionsstörning som har förklaringar om snö och is, samt alla fel på växelvärmerna registrerats som vinterrelaterade. Dessa utgör cirka 19 % av alla

funktionstörningar. Denna typ av störning kan även anses vara både beroende av klimat och beredskap (underhållsstrategi).

Även under den varma tiden under året kan antalet funktionstörningar vara något större på grund av att genomförs många arbeten i spåret och att rälsen är tryckbelastad på grund av den höga temperaturen. Ifall en kortare tid än ett år ska behandlas är det alltså viktigt att ta hänsyn till att det är stora säsongsvariationer och för att modellera detta bör det i modellen föras in en säsongberoende parameter som $\cos^2 \omega t$ eller liknande (Rigdon 2000, s75)

$$\lambda(t)e^{\cos^2 \omega t_A}$$

Detta angreppssätt kallas för en modulerad förnyelseprocess, modulated renewal process (MRP) men kan användas även vid en inhomogen poissonprocess. Ett exempel på hur det kan se ut ges i figur 5.4.



Figur 5.4 Exempel på hur en modulerad förnyelseprocess kan se ut. Topparna utgör vinter och sommarperioderna. Formeln $(0,5+0,1t^{0,3}) \cdot \text{EXP}[(\cos 2\pi t)^2 + (0,3\cos \pi t)^2]$ är modellen för den inhomogena Poissonprocessen.

Förseningstid

Endast 30 % av alla funktionstörningar leder till tågförseningar. Förseningstid bör dock kunna studeras separat eftersom den är mer beroende av antalet tågpassager och underhållssäkerheten än funktionstörningarna.

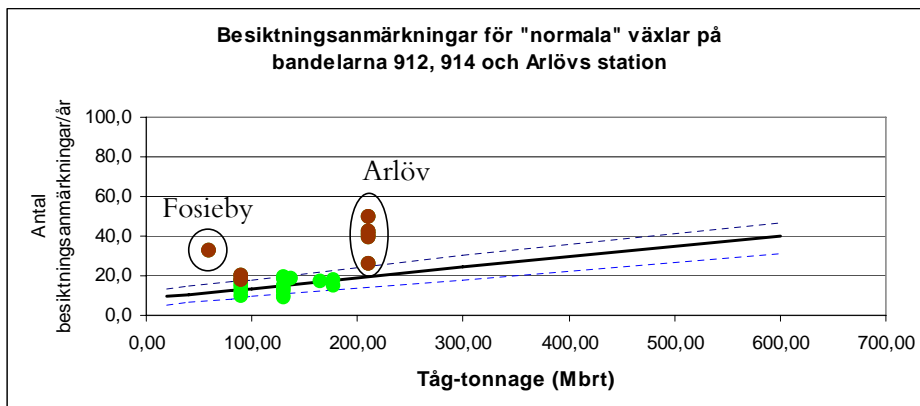
Mätbara besiktningsanmärkningar

Besiktningsanmärkningar kan dels vara bedömningar eller uppmätta värden. En större variation fås antagligen vid bedömningar än vid uppmätta värden.

Totala antalet händelser kan indelas årsvis och på en delsystemnivå.

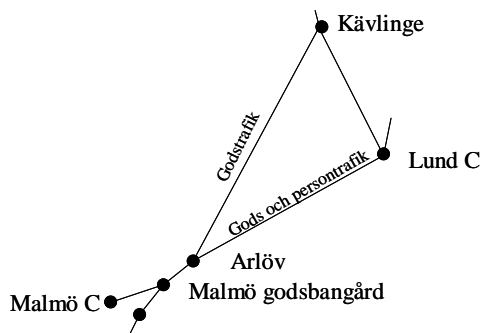
5.5.3 Stratifieringsmetoder

De faktorer som bestämdes i början av projektet kan inte ensam förklara att antalet händelser avviker från det förväntade. Ett sätt att gå vidare har därför varit att studera om det finns gemensamma egenskaper hos de spårväxlar som befinner sig utanför det skapade prediktionsintervallet. I figur 5.5 visas ett exempel på detta från Arlövs stationsområde.



Figur 5.5 Antalet besiktninganmärkningar för spårväxlar som ligger i huvudtågspår på mellan Lund – Fosiemy i BRS (banklass 6 och 7). Undantaget är spårväxlar på Malmö C och Malmö godsbangård. Fyra växlar har rejält fler besiktninganmärkningar än vad prediktionsintervallet anger och av dess ligger en på Fosiemy och tre på Arlöv.

Orsaken till avvikelserna kan förklaras av att Arlöv dels ligger som station mellan Malmö C och Lund C med i huvudsak persontrafik och dels som station mellan Malmö godsbangård och Kävlinge med i huvudsak godstrafik, se figur 5.6. Dessa spårväxlar leder rätt mycket trafik till avvikande tågspår och det är en trolig förklaring till att besiktninganmärkningarna är fler, se mer om avvikande tågspår i bilaga 4.



Figur 5.6 På stationer som har trafik i mer än två riktningar finns det oftast spårväxlar som i hög utsträckning används för avvikande trafik

I Fosieby kan avvikelser bero på att det finns tågtrafik både mot Öresundsbron och Trelleborg.

5.6 Underhållsstrategier

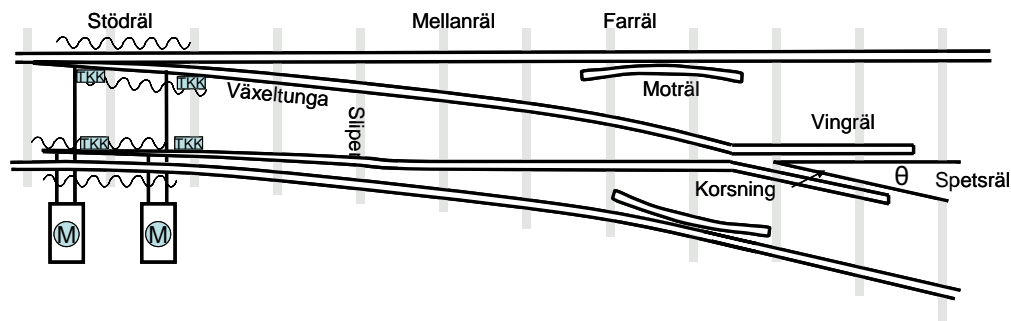
Espling (2004) har beskrivet vilka underhållsstrategier som Banverket använder. Avhjälpan underhåll används då olika funktionstörningar upptäcks. Information om funktionstörningar lagras i databasen Ofelia. Tillståndsbaserat underhåll innebär att underhållsåtgärden utförs först efter att en besiktning fastställt att det finns ett behov. Informationen om besiktningssamtal samlas i databasen BESSY. Det finns även ett visst förutbestämt underhåll och för spårväxlar gäller det i första hand smörjning av vissa typer av glidplattor.

Varje banregion upphandlar utförandet av underhåll av entreprenörer och styrningen av arbetet sker genom kontrakt, uppföljning av kostnader och vissa målvärden. Denna styrning möjliggör att det faktiska underhållet av spårväxlar kan skilja från entreprenad till entreprenad.

6 Spårväxlar

6.1 Spårväxeltyper

Ur mekanisk synvinkel är farbanan, rälén, den viktigaste delen. Det finns många typer av räl, som visas i figur 6.1.



Figur 6.1 Spårväxel med beteckningar av olika typer av räl

Ett tåg som kommer från vänster i bilden kan gå i rakspår och passerar då med höger sida en växeltunga, sedan in på mellanrälen och tillslut passerar hjulen korsningen. Övergången till växeltungan medför slitage och deformation av den relativt sett tunna växeltungan och övergången i korsningen medför att korsningen och vingrälen utsätts för höga laster. Moträlens funktion är att styra det andra hjulet så att det högra hjulet inte ska avvika i sidled och träffa korsningsspetsen, vilket kan leda till en urspårning. Det betyder att även moträlen utsätts för mekaniskt slitage.

Vid passage in på avvikande tågspår blir de horisontella krafterna större och därför begränsas hastigheten. Hastigheten begränsas av att kurvradien i själva växeln är liten, samtidigt som det inte finns någon rälsförhöjning. För en UIC60-växel med spetsvinkel 1:15 är kurvradien 760 m och den maximala hastigheten satt till 80 km/h.

Det finns två sätt att kontrollera att spårväxeln befinner sig i ett av de två låsta lägena. Dels har omlägningsanordningen en egen låsmekanism och dels finns det Tungkontrollkontakter (TKK). Båda dessa system måste ge klarsignal i tågledningens datasystem innan trafik kan tillåtas.

Växelvärmen består av värmeelement/värmekablar, som ligger längs stödrälen och växeltungorna och håller en viss övertemperatur så att isbildning undviks. Ett fel på ett värmeelement eller styrutrustningen gör att växeln inte kan läggas om.

Vid förflyttningen av växeltungan finns det plattor med kulor eller med någon annan typ av anordning för att minska friktionen. Ett fel på dessa gör att

växel drivmotorn inte orkar genomföra förflyttningen. För att skydda motorn finns en friktionskoppling och motorn börjar slira.

De flesta funktionstörningarna berör omlägningsanordning, kontrollanordning och växelvärmern. Besiktningens anmärkningar berör i första hand omlägningsanordning och räl, se figur 8.1.

Det finns 124 olika växeltyper registrerat i BIS. De viktigaste spårväxlarna att studera ligger i banklasserna 4 -7. Det finns 2 580 spårväxlar i dessa bankklasser som ligger i huvudtågspår. I tabell 6.1 finns dessa redovisade uppdelat på växeltyper och för de vanligaste växeltyperna även vinkel. Eftersom studien berör att jämföra olika växelindivider bör den studerade gruppen vara tillräckligt stor. I tabellen har markerats de grupper av spårväxlar som är minst 47 st.

Tabell 6.1 Spårväxlar i huvudtågspår i banklasserna 4-7 (Baserat på data hämtat 2003/2004)

Vinkel	Dubbelspår	Enkelspår	Totalt
DKV	25	35	60
EKV	4	2	6
EV < 41 och övriga	3	4	7
EV 41		8	8
BJ43/SJ43/VR43		13	13
SJ50/BV50	543	554	1097
1:9	203	330	
1:12	14	54	
1:13	17	58	
1:15	291	111	
1:18,5	18	1	
UIC60	1037	337	1374
1:9	172	178	
1:12	21	12	
1:14	47	31	
1:15	480	110	
1:18,5	317	6	
EVR UIC60	14	15	29
1:14	1		
1:15	1	1	
1:27,5	12		
	1626	954	2580

De olika beteckningarna i tabellen står för:

- DKV – Dubbelkryssväxel
- EKV – Enkelkryssväxel
- EV 41 – Enkelväxel med rälvtikt 41 kg/m
- BJ43/SJ43/VR43 – Enkelväxel med rälvtikt 43 kg/m

- BV50/SJ50 – Enkelväxel med rälvikt 50 kg/m. SJ och BV står för konstruktionstypen. Dessa växlar är ritade av SJ respektive Banverket.
- UIC60 – Enkelväxel med rälvikt 60 kg/m. Växeln är konstruerad enligt UIC:s standard.
- EVR UIC60 – Enkelväxel med rörlig korsningsspets.

7 Resultat

I detta arbete beskrivs ett arbetssätt att analysera spårväxlar. Analysen indelas i:

- analysera medelvärden av en grupp spårväxlar
- analysera enskilda spårväxlars värde jämfört med en ansatt referensnivå
- jämföra spårväxlar på samma stationssträcka
- jämföra mellan flera stationer
- jämföra spårväxlar på två helt olika platser
- jämförelse efter att en förändring genomförts

För att genomföra analysen har informationen samlats i ett kalkylblad för varje banregion. Varje rad i kalkylbladet innehåller uppgifter om en spårväxel. Genom att fylla i utvalda rutor ändras vad som visas. De parametrar som kan väljas i analysarbetet är:

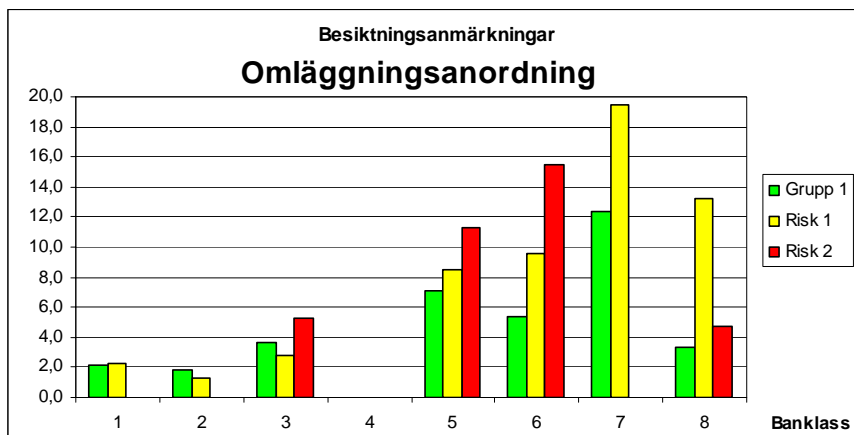
- Urvalskriterier
 - Bankklass
 - Bandel
 - Typ av spårväxel med angivande av rälvikt och vinkel
 - Inläggningsår
 - Totalt passerat tonnage (ett intervall kan anges)
- Faktorer som tros påverka antalet besiktningsanmärkningar (20 st)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Bankklass				4	5	6		
Rälvikt (27-60)	60	60	Utväxling (4-28)	9	19			
Typ av spår S/E/D		E	D					
År	1900	2005	Tonnage [MBrt]	0	350			

Figur 7.1 Några av de valbara parametrarna i kalkylarket. Skuggade fält fylls i.

Resultatet presenteras i första hand som stapeldiagram, figur 7.2, och sambandsdiagram, figur 7.4, med ansatt referensnivå och prediktionsintervall.

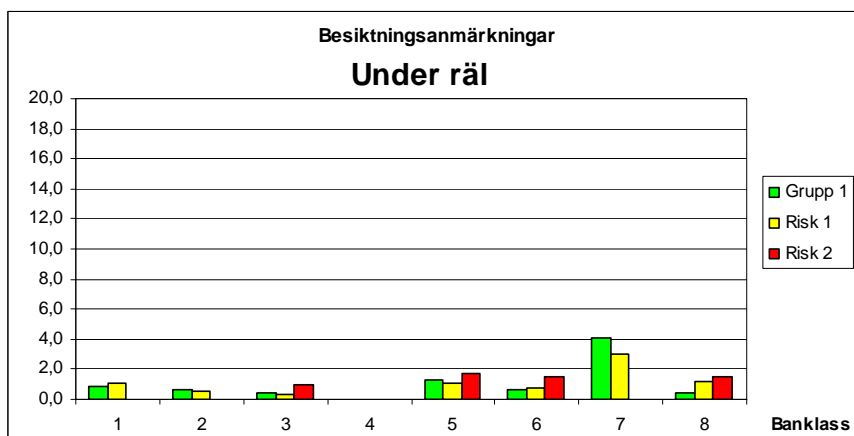
I figur 7.1 och 7.2 har spårväxlar i huvudtågspar av typen SJ50 inom BRN valts ut. Figureerna visar hur många besiktningsanmärkningar som registrerats för specifika anläggningsdelar. Varje banklass har tre staplar som visar uppdelningen av spårväxlar i tre olika grupper beroende om de är normala eller har någon eller flera riskfaktorer registrerat. Vanligtvis blir de utvalda grupperna små och därför visas även sifferunderlaget i kalkylbladet, speciellt viktigt är det att veta antalet spårväxlar inom varje stapel, vilket för bankklasserna 7 och 8 är få, se tabell 7.1. I figur 7.3 ses att antalet besiktningsanmärkningar för ”under räl” är väldigt få. En enstaka spårväxel som har höga värden här bör naturligtvis analyseras vidare.



Figur 7.2 Spårväxlar av typen SJ50 1:9 – 1:15 inom BRN. Figuren visar antalet besiktningensanmärkningar som har registrerats för omläggingsanordning.

Tabell 7.1 Spårväxlar av typen SJ50 1:9 – 1:15 inom BRN. Tabellen visar antalet besiktningensanmärkningar som har registrerats för omläggingsanordning. I tabellen visas spårväxlar ur gruppen "risk 1" och även de andra grupperna kan visas på samma sätt.

Bankklass	1	2	3	4	5	6	7	8
Antal	5	6	8	0	13	11	3	3
Funktionst	0,1	0,3	0,8	0,0	3,2	2,0	2,7	2,0
Besiktningensanm	2,3	1,3	2,8	0,0	8,5	9,6	19,4	13,3



Figur 7.3 Spårväxlar av typen SJ50 1:9 – 1:15 inom BRN. Figuren visar antalet besiktningensanmärkningar som har registrerats för "under räl".

Funktionstörningar går att begränsa till att gälla:

- Ett visst årtal (2002–2004)
- Tågförseningar
- Förseningstid (antagandet om poissonfördelning gäller inte)
- Förseningstid som begränsas till högst 120, 180 eller 300 minuter
- Förseningstid/gång (antagandet om poissonfördelning gäller inte)
- Funktionstörningar som inte upprepas inom 3 dagar
- Funktionstörningar utan snö, is eller växelvärm
- Tågförseningar utan snö, is eller växelvärm
- Ett visst delsystem

7.1.1 Gruppering till delsystem

För både besiktningsanmärkningar och funktionstörningar har en indelning i sex delsystem använts:

- Kontrollanordning
- Omlägningsanordning
- Räl
- Under räl
- Värmelement
- Övrigt

Varje anläggningdel kan väljas ut och studeras. Detta kan vara användbart för att få förståelse för vilka anläggningdelar som är starkt kopplade till banklass, ålder och årligt tågtonnage och vilka som inte är det.

7.1.2 Parametrar som behandlar besiktningsanmärkningar

I BESSY har följande parametrar använts vid analys:

- Prioritet (**Utfört**, **Akut**, **Vecka**, **Månad**, **År** och **Övrigt**) har grupperats i två grupper AVU och MÅÖ. Under 2002 slutade Banverket i praktiken att använda Utfört.
- Besiktningspunkter uppdelat på mätta värden och bedömningar. BESSY använder begreppet mätpunkter och bedömningspunkter som inte ansågs vara tillräckligt bra för att kunna användas.
- Åtgärdsförslag

Åtgärdsförslag har inte lagts in så att de kan påverka de redovisade diagrammen.

7.1.3 Parametrar som behandlar funktionstörningar

I Ofelia har följande parametrar använts vid analys:

- Verkligt fel + (plustecknet anger att felet är registrerat efter utfört arbete)

- Orsak +
- Åtgärd +

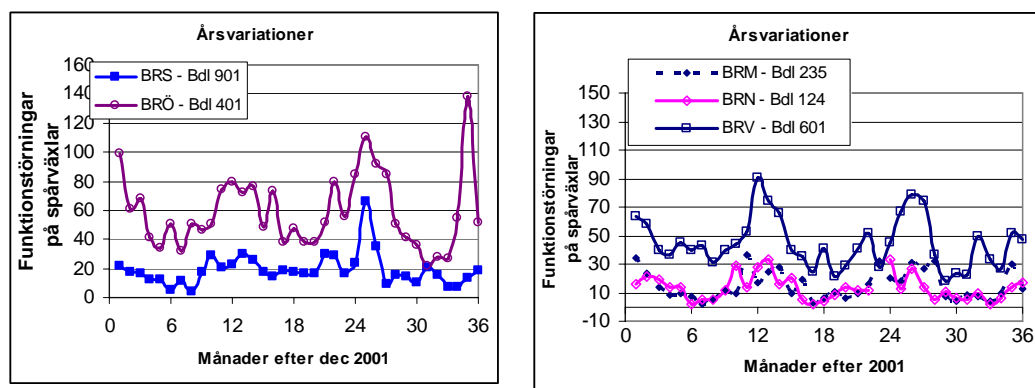
Dessa parametrar har dock inte lagts in så att de kan påverka de redovisade diagrammen utan särskilda diagram behöver göras. De finns inte heller redovisade i denna rapport.

7.1.4 Upprepade funktionstörningar

Vid genomgång av samtliga funktionstörningar har observerats att det sker en ny funktionstörning på samma växel inom 3 dagar i 9,5 % av fallen. Detta är fler än förväntat och enligt avsnitt 5.5.2 bör det vara 1,2 %. Det finns anledning att studera detta närmare, men effekten är marginell i de flesta diagram och därför har inte metoden tillämpats i denna rapport.

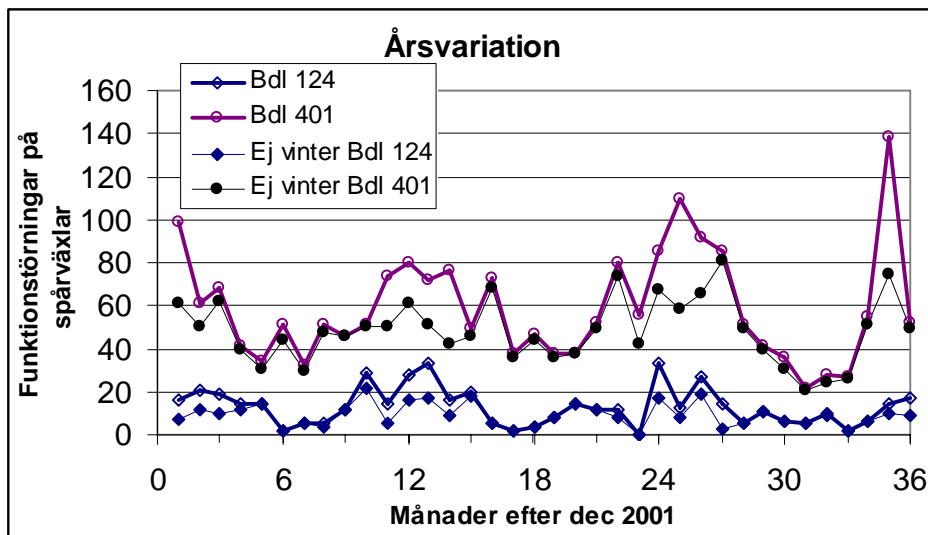
7.1.5 Årsvariationer

I figur 7.1 har årsvariationer för fem bandelar under tidsperioden januari 2002 – december 2004 ritats och det finns likheter med figur 5.2. Skillnaderna mellan de olika banområdena är dock stor och speciellt BRV och BRÖ har haft kraftiga variationer över året.



Figur 7.5 Årsvariation av funktionstörningar för utvalda bandelar. Den bandel med flest funktionstörningar får representera varje banområde.

Genom att ta bort funktionstörningar som beror på snö, is och växelvärme kan en del av säsongsvariationen minska, se figur 7.6. Det finns dock funktionstörningar som inte kan sorteras bort på detta sätt och mer arbete bör läggas på att studera orsak och motåtgärder för att undvika fler funktionstörningar vintertid. Andelen funktionstörningar som är direkt knutna till snö, is och växelvärme var 19 % på bandel 401 och 30 % på bandel 124.



Figur 7.6 Årsvariation av funktionstörningar för bandelarna 124 och 401 före och efter att vinterrelaterade funktionstörningar har tagits bort.

7.2 Studerade faktorer

Under studiens tid har ett antal faktorer identifierats och lagts in i modellen. Detta arbete är inte avslutat och det är möjligt att komplettera modellen med ytterliggare faktorer. Nedan presenteras de faktorer som hittills har använts.

7.2.1 Trafik

Den totala belastningen i form av miljoner bruttoton, antal axelpassager och typ av tåg är grundläggande för att bedöma hur många händelser som registreras. I diagrammet med mätvärden från individuella spårväxlar är den totala belastningen (ålder*årlig belastning) den x-axel och det studerade mätvärdet y-axel. Uppgifter om antal tåg som passerar är ej inlagd. Modellen är dessutom uppbyggd så att data från olika banklasser kan separeras i medelvärdesdiagrammen. De faktorer som finns att välja på inom modellen är:

- Banklass
- Bedömning att avvikande tågspår används (gäller dubbelspår)

Begränsning i vilket intervall av totalbelastning som ska studeras kan också göras. Enligt ORE D161 ingår bruttotonnaget som en viktig faktor i nedbrytning av räl, se formel 4.1.

7.2.2 Ålder

Spårväxelns ålder är oftast samma som inläggningsår. Begränsning av åldersintervall kan göras i modellen. I ECO Switch (2001) finns parametern totalt tågtonnage där ålder är en parameter.

7.2.3 Initiala villkor

Var spårväxeln placeras har betydelse, och även val av slipers och räiltyper.

De faktorer som finns att välja på inom modellen är

- Plankorsning (inom 25 m)
- Bro (inom 25 m)
- Kurva (upp till 1 500 m radie)
- Övergångskurva (upp till 1 500 m radie)
- Dubbla kurvor
- Sliperstyp jämfört med omkringliggande spår
- Lägre rälvikt än 60 kg/m
- Manuella växlar kan väljas bort

ECO Switch (2001) tar upp att placering i kurvor är olämplig. I samtal med verksamma personer vid Banverket har placering på bro ansetts olämpligt. Det kan finnas två förklaringar. Den ena är att styvheten på en bro är annorlunda och det kan ge upphov till större dynamiska effekter (vilket stöds av arbetet vid Charmec), den andra är att på vissa broar sätts rälen fast på bron vilket ger upphov till större spänningar än för de vanligaste trågbroarna med makadambädd. Hög styvhet i marken är en fördel för att spårväxlar ska fungera bra enligt ECO Switch (2001) och det kan förklara att olika sliperstyper i spåret före och i själva spårväxeln kan ge upphov till problem. Försök har gjorts att samköra uppgifter om spårkvalitet med besiktningsanmärkningar på spårväxlar, men det har inte gett något resultat.

7.2.4 Klimat

Klimat har inte behandlats i modellen direkt. Det fenomen som har mest med klimat är snö och is problematiken. Det går att välja ut de funktionstörningar som inte har att göra med snö, is eller växelvärmeför att studera övriga funktionstörningar.

7.2.5 Avvikande tågspår

Enligt ECO switch (2001) är användandet avvikande tågspår en viktig parameter. Det finns dock än så länge inget sätt att ta reda på detta ur Banverkets datasystem och därför har tågordningen T04.2 varit den främsta källan.

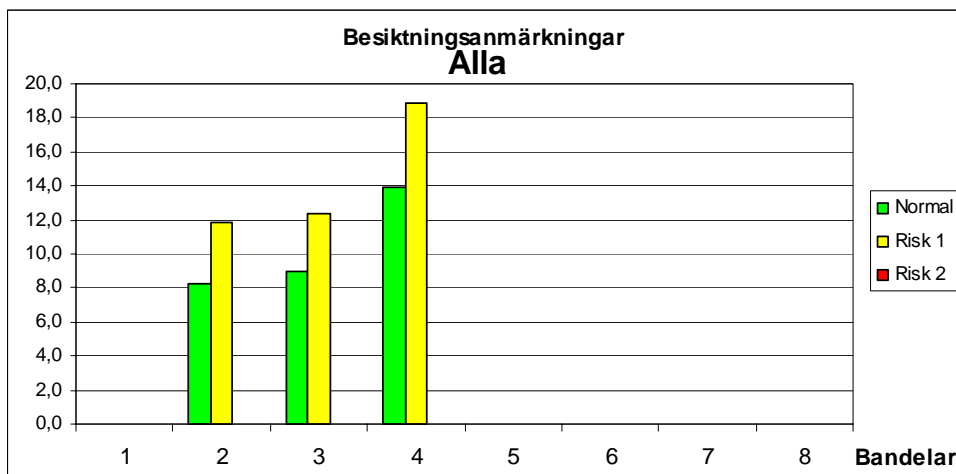
Användandet av avvikande tågspår studeras i bilaga 4 (och till viss del i bilaga 2). I följande situationer används spårväxeln till att leda tåget till avvikande tågspår:

- Mötesstation på enkelspår (första tåget går in på sidotågspår)
- Övergång mellan enkelspår och dubbelspår.
- Förbigång (godståg går in på sidotågspår för att släppa förbi persontåg)
- Förbigång mellan stationer (snabbgående tåg kör förbi långsammare tåg)
- Kryssväxlar används för att använda mötande spår vid banarbete (dubbelspår)
- Persontåg går in till perrong som inte ligger på huvudtågspår
- Vändande tåg (dubbelspår)
- Industrispår ansluter
- En annan bandel ansluter
- Rangering av vagnar

7.3 Olika sätt att genomföra analyser

7.3.1 Analysera medelvärden av en grupp spårväxlar

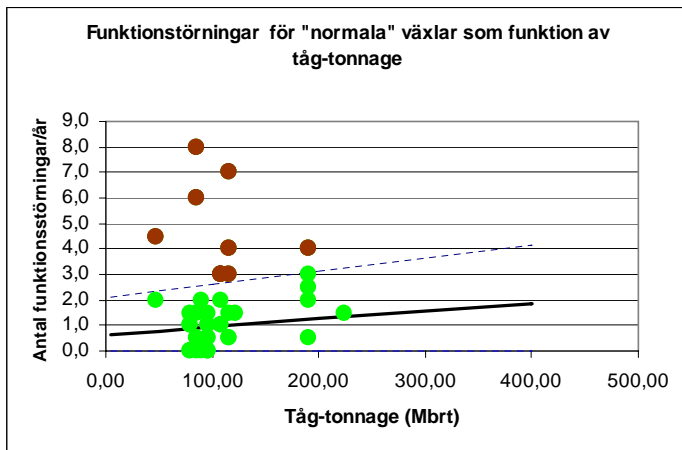
I bilaga 2 ges exempel på att medelvärden kan beräknas för en enskild faktor som tillämpas på en utvald grupp spårväxlar. I figur 7.7 finns en grupp SJ50-växlar på två bandelar där faktorn träslipers i spårväxel och betongslipers i närliggande spår jämförs.



Figur 7.7 Jämförelse mellan SJ50-växlar på bandelarna inom BRS utan (grönt) och med (gult) faktorn ”träslipers i spårväxel och betongslipers i spår”.

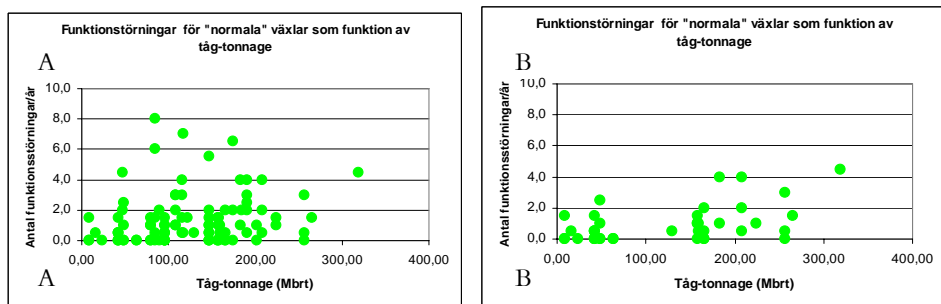
7.3.2 Jämförelse med ansatt referensnivå

I figur 7.8 jämförs spårväxlar på bandel 414 och 416 antal besiktninganmärkningar med den ansatta referenslinjen. Av dessa spårväxlar finns nio stycken som är över prediktionsintervallet och därmed blir brunfärgade.



Figur 7.8 Funktionstörningar hos spårväxlar i bandel 414 och 416 (BRÖ) som funktion av totalt tågtonnage. Avser åren 2002-2003.

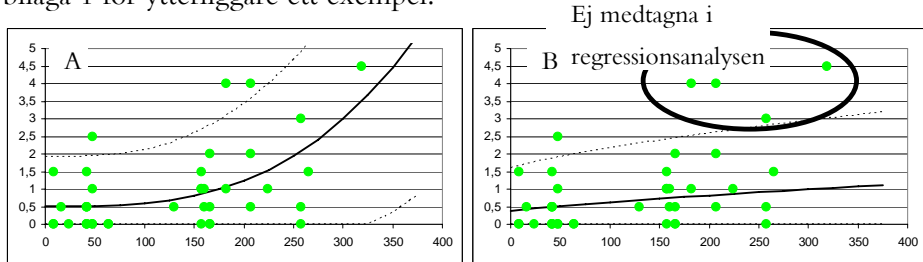
Referenslinjen kan ändras om det anses gagna analysen så att fler eller färre spårväxlar ska hamna innanför prediktionsintervallet. För att bestämma parametrarna för linjen är det lämpligt att analysera ett helt stråk (en serie bandelar bildar ett stråk, i detta fall stråk 1, Västra Stambanan). De bandelar som ingår läggs in i diagrammet, se figur 7.9A. Bandel för bandel visas och de bandelar som inte har extremt höga värden behålls, se figur 7.9B, därefter kan en referensnivå bestämmas baserat antingen på hur det ser ut (så att merparten av spårväxlarna ingår) eller med någon regressionsmetod.



Figur 7.9 Funktionstörningar för alla (A) och utvalda (B) bandelar inom stråk 1, Västra stambanan.

Vilka punkter som tas med vid regressionsanalys är avgörande om det är möjligt att använda resultatet. I figur 7.10A visas om alla spårväxlar används och i figur 7.10B är endast spårväxlar med högst 2,5 funktionsstörningar med i regressionsanalysen. I detta arbete har den senare metoden använts. Bortväljande av vissa individer är dock ur statistisk synvinkel mycket tveksam, men i praktiken

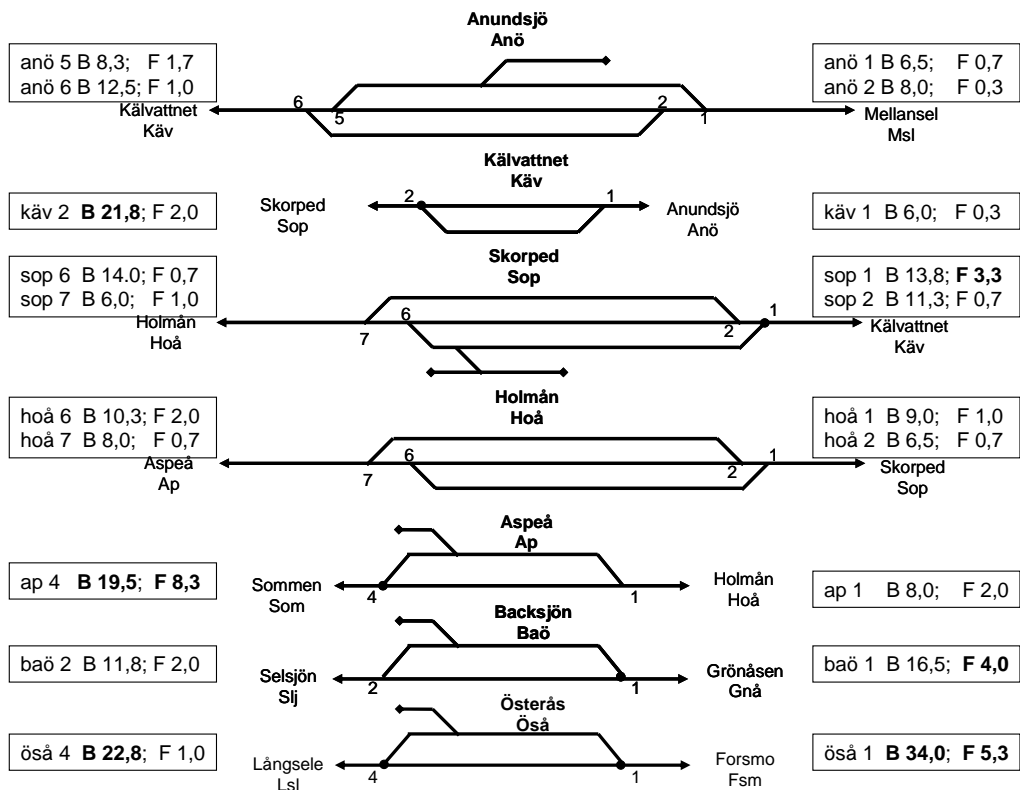
nödvändig eftersom det är fortfarande möjligt att inte alla spårväxlar kommer att tillhöra den utvalda gruppen allt eftersom undersökningen fortskrider. Se även bilaga 1 för ytterliggare ett exempel.



Figur 7.10 Funktionstörningar för utvalda bandelar inom stråk 1, Västra stambanan. Referensnivån är beräknad med regressionsmetod för alla punkter (A) eller spårväxlar (B) med högst 2,5 funktionstörningar per år.

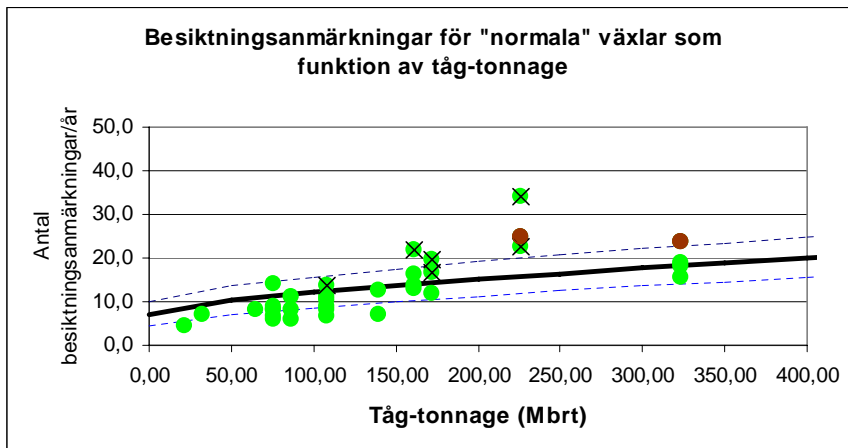
7.3.3 Jämföra spårväxlar på samma stationsområde

Spårväxlar som är av samma ålder och används på ett likartat sätt bör inte avvika allt för mycket när det gäller antalet besiktningsanmärkningar och funktionstörningar. Det finns dock ett flertal stationer där antalet händelser skiljer markant och det kan föranleda till en djupare analys. I figur 7.11 visas stationerna Anundsjö, Källvattnet, Skorped, Aspeå, Backsjön och Österås (bandel 130). I Aspeå, Skorped och Österås finns spårväxlar med många funktionstörningar. I Källvattnet finns även en spårväxel med många besiktningsanmärkningar.

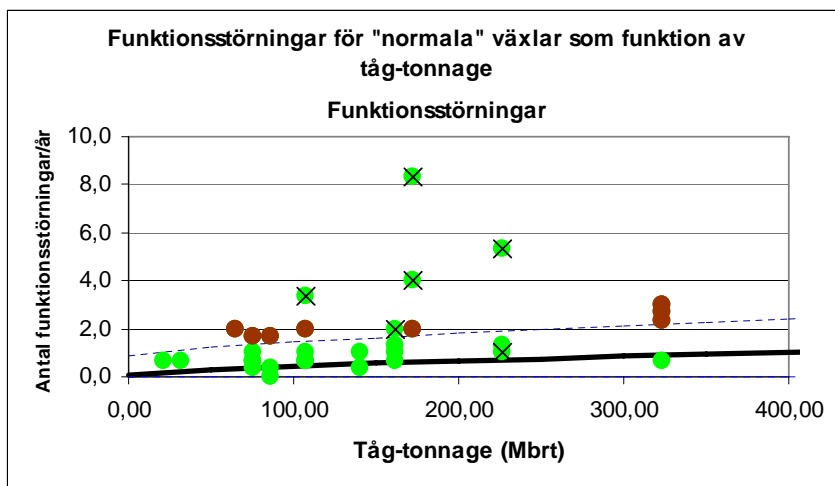


Figur 7.11 Besiktningsanmärkningar (B) och Funktionstörningar (F) för spårväxlar enskilda stationer på bandelen 130 inom BRN.

Grafer över antalet besiktningsanmärkningar och funktionstörningar på bandel 130 visas i figur 7.9 respektive figur 7.10. I figurerna har spårväxlarna Kälvattnet 2, Skorped 1, Aspeå 4, Backsjön 1 samt Österås 1 och 4 markerats med kryss. De brunfärgade punkterna ligger över prediktionsintervallet, men har inte undersökts.



Figur 7.12 Besiktningsanmärknings för spårväxlar i huvudtågspår på bandel 130 (inga faktorer har använts). Ap4, Baö 1, Käv 2, Sop 1, Öså 1 och Öså 4 har markerats med kryss. De två bruna punkterna är spårväxlar som ligger i Forsmo och ingår inte i det som redovisas i tabellen.



Figur 7.13 Funktionsstörningar för spårväxlar i huvudtågspår på bandel 130 (inga faktorer har använts). Ap4, Baö 1, Käv 2, Sop 1, Öså 1 och Öså 4 har markerats med kryss. Bruna punkter är spårväxlar med högst 2 funktionsstörningar som är med i tabell 7.3 och spårväxlar i Forsmo som inte redovisas i tabellerna.

Efter att ha tagit reda på vilka de avvikande tågspårväxlarna kan eventuellt underliggande faktorer identifieras.

I tabell 7.2 anges sådant som registrerats om de undersökta spårväxlarna.

Tabell 7.2 Spårväxlar som ligger över prediktionsintervallet.

Spårväxel	Bro	Kurva	Rälvikt < 60 kg	Vinkel	Inlagd
Ap 4		R= 570 m		1:15	1987
Baö 1	Längd 33,5 m Avstånd 0m			1:15	1987
Käv 2				1:9	1988
Sop 1		R= 703 m		1:14	1993
Öså 1		R= 447 m	SJ50	1:15	1982
Öså 4			SJ50	1:9	1982

Slutligen är det lämpligt att undersöka andra spårväxlar på samma station för att se om det skiljer mellan de spårväxlar som har noterats ovan.

Tabell 7.3 Spårväxlar som ligger inom prediktionsintervallet.

Spårväxel	Bro	Kurva	Rälvikt <60 kg	Vinkel	Inlagd
Anö 1		R= 590 m		1:15	1996
Anö 2				1:15	1996
Anö 5		R=1 458 m		1:14	1996
Anö 6				1:9	1990
Ap 1				1:9	1997
Baö 2				1:15	1987
Hoå 1				1:9	1993
Hoå 2				1:9	1993
Hoå 6		R=1 060 m		1:14	1993
Hoå 7		R= 851 m		1:14	1993
Käv 1				1:9	1995
Sop 2		R= 703 m		1:14	1993
Sop 6				1:9	1993
Sop 7				1:9	1993

Spårväxel 2 i Aspeå har både högre antal besiktninganmärkningar och funktionstörningar än spårväxel 1. Skillnaderna mellan spårväxlarna är att nr 2 ligger i en kurva och är 10 år äldre. Ålderskillnaden brukar normalt sett inte ge

stora effekter och därför är placeringen i kurvan en troligare orsak till skillnaden. I Backsjön ligger växel 1 på en bro och har fler funktionstörningar än växel 2. I Österås så är det två spårväxlar av den äldre växeltypen, SJ50, den ena ligger dessutom i en kurva vilket ger mycket höga värden på antalet besiktningsanmärkningarna och många funktionstörningar. I Kävlinge har ingen faktor hittats och i Skorped ligger båda växlarna i kurva och borde inte skilja sig åt. Det finns även spårväxlar i kurvor som inte har förhöjda värden, till exempel Anundsjö växel 1. Att dra entydiga slutsatser från ett exempel är svårt och därför behandlas oftast flera bandelar i en analys och genom att bilda medelvärden på de spårväxlar som har en given faktor kan slutsatser dras på ett tydligare sätt. I bilaga 2 finns exempel på detta arbetssätt.

Hur nära en spårväxel placeras en kurva och kurvans radie är två parametrar som kan behöva studeras mer.

7.3.4 Jämföra mellan flera stationer

I avsnitt 7.3.3 används flera stationer i samma bandel som en referens till de spårväxlar som avviker. Även stationer som ligger på olika bandelar går att studera. Ligger stationerna nära varandra kan det antas att trafiken är likartad och då kan skillnader i till exempel underhållsstrategier undersökas.

7.3.5 Jämföra spårväxlar på två helt olika platser

Det är ibland nödvändigt att jämföra spårväxlar som ligger på helt olika platser. Ett exempel är de få växlar som har rörlig korsningsspets. I detta läge bör först en hel bandel jämföras med en likvärdig bandel i området nära den andra spårväxeln för att se om de olika banområdena har systematiska skillnader. Därefter kan de udda växlarna jämföras med de spårväxlar som normalt finns inom respektive bandel.

7.3.6 Jämförelse efter att en förändring har genomförts

Vid undersökningar av förändringar som genomförs på spårväxlar kan en studie mellan två tidsperioder ge underlag för om försöket har gett önskvärt resultat. Under 2003 infördes en ny tungkontrollkontakt för att minska antalet funktionstörningar. Att detta var ett bra byte ur aspekten färre funktionstörningar kunde bekräftas på 16 spårväxlar som ligger på bandel 129. Undersökningen visas i bilaga 5. (Nissen, 2004)

7.3.7 Analysera på delsystemnivå

Det är möjligt att analysera ner på delsystemnivå, vilket har gjorts i figur 8.1. Detta arbete har inte påbörjats inom denna del av studien i och med att det är viktigt att fastställa att alla spårväxlar i en sådan studie kan betraktas som normala. I figur 8.1 finns även svårigheten att antalet spårväxlar som ska studeras måste vara relativt stort.

8 Diskussion och slutsatser

Först förs en diskussion hur arbetet med att analyser går att genomföra. Därefter beskrivs några av de resultat som analysen har lett till.

8.1 Analysarbetet

Trots brister i undersökningsmetod och tillgänglig information är det möjligt att få en bättre förståelse om bakomliggande faktorer genom att utföra analyser som beskrivs i kapitel 7. Det är dessutom relativt enkelt att identifiera spårväxlar som avviker mycket från övriga individer. Finns någon av de kända faktorerna registrerad kan eventuellt en förklaring ges. Om inte, kan tågordningen användas för att få besked om användandet av avvikande tågspår.

Många av avvikelserna kommer dock fortfarande att vara svåra att förklara utifrån de uppgifter som finns samlade i de undersökta databaserna. I detta läge behöver den som utför analysen hjälp av personer som har lokal kännedom om de olika spårväxlarna som exempelvis förvaltare, tågledning och underhållsentreprenörer. Ifall ingen förklaring kan ges är det lämpligt att under längre tid följa upp den aktuella spårväxeln eftersom den antagligen kommer att fortsätta att ha många funktionstörningar och besiktningsanmärkningar.

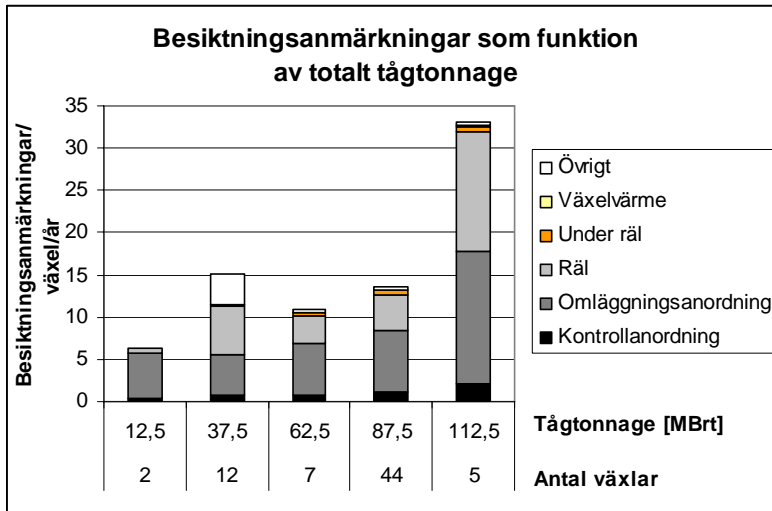
En av de mest väsentliga parametrarna som är svår att ha bra kunskap om är exakt vilken trafik som passerar en spårväxel, både i rakspår och i avvikande tågspår. Det finns möjlighet att mäta antalet omläggningar antingen genom någon mätmetod eller genom att samla på information från tågledningen, se bilaga 4.

8.2 Modell för grupper av spårväxlar

I analysarbetet är det möjligt att gruppera spårväxlar, till exempel alla spårväxlar av typen EV-SJ50-11-1:9. Det som söks först och främst är antalet händelser för normala spårväxlar av en viss typ och med ett visst årligt tonnage. En tänkbar modell är baserad på årligt tonnage, ålder på spårväxel och användandet av avvikande tågspår.

$$\lambda(t, \theta) = \lambda(t, \alpha, \beta, \gamma, \lambda_0, W_0, W) = \left[\lambda_0 + \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \right] * \left(1 + \left(\frac{W}{W_0} \right)^\gamma \right) \quad (8.1)$$

Modellen baseras på ekvation 5.5, ekvation 1 i bilaga 1 och figur 2 i bilaga 4. Ekvation 5.5 har modifierats genom att en konstant, λ_0 , har lagts till. I figur 3 i bilaga 1 är det rimligt att även vid tiden 0 ha cirka 10 besiktningsanmärkningar. I figur 8.1 visas att antalet besiktningsanmärkningar för de olika delsystemen som funktion av totalt tågtonnage. I figuren syns att omläggningsanordningen har ungefär 5 besiktningsanmärkningar redan vid den minsta belastningen. Detta är ett motiv till att föra in konstanten λ_0 i ekvation (8.1).



Figur 8.1 Besiktningssanmärkningar som funktion av tågtonnage och uppdelat på delsystem. Figuren baseras på 55 spårväxlar av typen UIC60 i huvudtågspår på banklass 5 inom BRS.

Denna modell kan i sin tur ligga till grund att bygga en kostnadsmodell för en viss typ av spårväxel. I figur 4.2 visas att kostnaden för underhåll av en huvudtågspårväxel till viss del kan förklaras med årligt tågtonnage.

8.3 Resultat från genomförda analyser

Under arbetets gång har faktorer som beror på startvillkor och trafik utvecklats. Framförallt kommer trafikfaktorerna behöver förfinas eftersom endast knapphändiga uppgifter finns om antal tåg, typ av tåg och årligt tonnage har legat till grund för denna rapport. En del av dessa uppgifter finns tillgängliga i olika källor som ännu inte har nyttjats till fullo.

8.3.1 Simulering av besiktningssanmärkningar

I bilaga 1 har en simulering av besiktningssanmärkningar gjorts. Simulering av hur olika faktorer kan påverka antalet besiktningssanmärkningar ger insikt i att det går att spåra två eller fler poissonfördelningar i ett datamaterial, om det tas ut från ett begränsat tidsintervall. Svårigheten att kunna veta om uppdelningen sker med rätt faktorer ligger i att fördelningarna ofta överlappar varandra. För att kunna göra det på ett mer genomtänkt sätt krävs kunskap om enskilda stationer. En kombination mellan att använda statistiska verktyg och att presentera skillnader inom en viss bandel eller en viss station är ett möjligt sätt att hitta bakomliggande faktorer.

8.3.2 Karaktärisering av spårväxlar inom BRS

Studien av spårväxlar i enkelspår, bilaga 2, visar att verktygen som framtagits för att identifiera normala och riskväxlar är användbart för att dela upp materialet i olika grupper med hjälp av faktorer för startvillkor. Studien visar också att alla frågor inte kan besvaras endast genom att ta ut informationen från databaserna. De utgör en grund för vidare diskussion med förvaltare vid Banverket. Studien påvisar att sättet att utföra besiktningsanmärkningar har förändrats mellan år 2001 och 2004. Det är dessutom svårt att genomföra analyser om inte besiktningsarna leder till att föreslagna åtgärder utförs.

Studien av spårväxlar i dubbelspår, bilaga 3, visar i dubbelspår är den faktiska trafiken av större betydelse än startvillkor, vilket kan förklaras av att denna järnväg är byggd så att kurvor och plankorsningar i stort sett undviks i närheten av spårväxlar. I studien har avvikande tågspår behövt definieras mer än med endast hur många miljoner bruttoton som passerar växeln. Det finns ett behov att använda olika faktorer för att förklara antalet besiktningsanmärkningar respektive funktionstörningar.

8.3.3 Betydelsen av användandet av avvikande tågspår

Användandet av avvikande tågspår som förklaras i bilaga 4 är viktigt att gå vidare med. För att nå längre måste mer data samlas in, eftersom tågordningen skiljer rejält från de uppmätta värden som finns tillgängliga enligt bilaga 4.

Tågordningen ger en bra uppfattning om antalet tåg som passerar men är inte tillräcklig eftersom information om tågets vikt, antal axlar och hastighet inte kan sammanställas på detta sätt. Tågordningen skiljer sig från beteckningar när det gäller spårnummer på vissa stationer.

I enkelspår syns en koppling till bruttovikt/år och det är enklare att analysera än för dubbelspår. I dubbelspår finns ofta intensiv persontrafik och antalet persontåg som går in på avvikande tågspår kan mycket väl vara viktigare än årstonnaget, dessutom kan tågets färdriktning genom växeln ha betydelse.

8.3.4 Införandet av ny TKK

Förseningstiden har minskat för spårväxlar i dubbelspår och där totala antalet funktionstörningar har minskat, bytet av TKK har till stor del bidragit till detta. På bandel 129 som är enkelspår har inte kontrollanordningen särskilt stor betydelse för förseningstiden för att antalet funktionstörningar på kontrollanordningen är helt enkelt relativt få.

På bandelarna 418 och 433 har inte bytet av TKK omfattande att förseningstiden har påverkats.

8.4 Slutsatser

Arbetet har resulterat i en fungerande metod att analysera spårväxlar. Metoden har använts för att förklara antalet besiktningsanmärkningar och funktionstörningar för utvalda spårväxlar eller grupper av spårväxlar, till exempel på bandels nivå.

Tillgänglig information om spårväxlar är inte tillräcklig och behöver åtminstone kompletteras med:

- Användandet av avvikande tågspår
- Tågens vikt, antal axlar och hastighet
- Underhållsrutiner som inte syns i systemen

Besiktningsverksamheten har brister i form av att antalet ej behandlade eller ej åtgärdade besiktningsanmärkningar är hög på vissa bandelar. Variationen av antalet besiktningsanmärkningar tyder dessutom på att upphandlingen av besiktningsverksamheten inte styrs lika från år till år eller mellan olika banförvaltare.

9 Framtida arbete

Arbetsmetoden och den matematiska modell som i framtiden i denna studie utgör grunden för att bygga en ekonomisk modell som kan utvärdera kostnaden för spårväxlar inom en bestämd bandel. De faktorer som är framtagna kommer att behöva revideras i samband med att arbetet presenteras hos de olika banförvaltarna. I slutändan ska det leda till att livscykelkostnaden för en spårväxel kan beräknas och användas för beslut om renovering alternativt utbyte av en spårväxel i förtid.

9.1 Revidering av faktorer som förklarar avvikelser

Det fortsatta arbetet kommer att innebära att fler faktorer kan testas eftersom i dagsläget går det inte nöjaktigt att förklara alla avvikelser. Det är dessutom så att nuvarande faktorer måste förfinas. Till exempel är inte plankorsning längre en tydlig faktor i många av bandelarna. Uppgifter som hittills har pekat på att det är en användbar faktor måste revideras och avvikelser i dessa spårväxlar förklaras på annat sätt. En bättre definition av avstånd till kurvor är också lämplig att göra, eventuellt räcker det att ange att alla övergångskurvor och kurvor med en viss radie istället för som hittills ett avstånd till olika kurvradier.

9.1.1 Förslag på nya faktorer

Det finns faktorer som påpekats i litteraturen som inte har varit möjliga att undersöka på ett tillfredsställande sätt, det har även under studiens gång nämnts faktorer som bör undersökas. Några av de tänkbara faktorerna är

- Uppmätt tågastighet (i rakspår och i avvikande tågspår)
- Antal axlar
- Markförhållanden (Banverket inför en ny teknik för att mäta styvhet)
- Vald underhållsstrategi

För att kunna testa dessa faktorer krävs något sätt att mäta de på ett entydigt sätt. Speciellt svårt kommer vald underhållsstrategi att vara eftersom underhållet idag upphandlas i form av basentreprenad, tilläggstjänster och projektjänster enligt figur 4.3. Att det finns skillnader går att se genom att jämföra antalet besiktningsanmärkningar mellan närliggande bandelar. I bilaga 2 finns ett exempel på att antalet besiktningsanmärkningar drastiskt minskar mellan år 2001 och 2004, se figur 6.

9.2 Ekonomisk modell

En ekonomisk modell som kan ange kostnaden för att underhålla en spårväxel under hela dess livslängd kan vara användbar i situationen då en banförvaltare vill undersöka om en spårväxel ska bytas ut, renoveras eller uppgraderas. Modellen

kan även användas för att jämföra dagens kostnader mot de kostnader som andra banförvaltare har.

10 Referenser

- Banverket (2005), Årsrapport 2004, Banverket, Borlänge
- Banverket (2005A), *Järnvägens roll i transportförsörjningen del 1*, Banverket, Borlänge
- Blischke, Wallace R., Murthy D.N. Prabhakar (2000), *Reliability – Modeling, Prediction and Optimization*, John Wiley & Sons Inc., New York, 2000, ISBN 0-471-18450-0
- ERRI (2002), *Ecoswitch - Switches and Crossings Management System*, ERRI D251/RP1 (August 2002) Feasibility Study Appendices
- Espling, Ulla (2004), *Ramverk för en drift- och underhållsstrategi ur ett regelstyrt infrastrukturperspektiv*, Licentiate thesis 2004:45, Luleå University of Technology, ISSN:1402-1757
- Hedström, Ragnar (2001), *Kriterier för byte alternativt fortsatt underhåll av spårväxlar*, VTI notat 20-2001
- Johansson, Göran (2004), *Constitutive Modeling of Large Ratcheting Strains*, 2004, Department of Applied Mechanics, Chalmers, Göteborg
- Kassa, Elias (2004), *Simulation of Dynamic Interaction between Train and Turnout*, 2004, Department of Applied Mechanics, Chalmers, Göteborg
- Labib, Ashraf W. (1998), *World-class maintenance using a computerised maintenance management system*, Journal of Quality in Maintenance Engineering, v4, n1, 1998, s 66-75
- Larsson, Dan (2004), *A study of the track degradation process related to changes in railway traffic*, Licentiate thesis 2004:48, Luleå University of Technology, ISSN:1402-1757
- Mäki, Kari M. (2005), Senior lecturer at Jyväskylä Polytechnic, Finland
- Nissen, Arne (2002), *Spårväxlar - Felutfall och Underhållsinsatser*, 2002, Järnvägstekniskt centrum, Luleå
- Nissen, Arne (2004), *An Analysis of Inspection and Failure-Reports of Rail Points: A Case Study From Sweden*, 2004, Railway Engineering 2004, London
- Ovako (2005) *Ovako steel in Hofors* <http://www.ovako.com/index.asp?r=552>
2005-11-03
- Rigdon, Steven E., Basu, Asit P. (2000), *Statistical Methods for the Reliability of Repairable Systems*, New York, Wiley-Interscience, ISBN 0-471-34941-0
- Sällström, Jan-Henrik; Dahlberg, Tore; Ekh, Magnus; Nielsen, Jens (2002), *Förstudie om spårväxlar – dynamik och slitage*, Institutionen för Teknisk Mekanik, Rapport 2002:7, Chalmers, Göteborg, ISSN 1651-0208

Thurfjell, Eva (1993), *Banverkets spårväxelrevision*, Tekniska högskolan i Luleå, Examensarbete 1993:197E, ISSN 0349-6023

Datakällor på Banverkets intranät

Bessy, Banverkets datasystem för besiktning information

BIS, Banverkets datasystem för anläggningsinformation

Duvan, Banverkets Analysverktyg som hämtar information från olika databaser

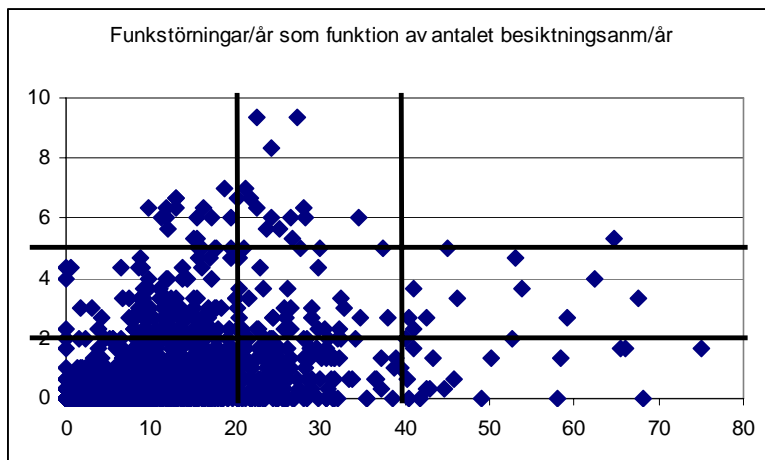
Grafisk tidtabell, T04.1

Ofelia, Banverkets datasystem för funktionstörningar

Tågordning, T04.2

1 Simulering av besiktningssmärkningar

För att beräkna antalet händelser för spårväxlar under ett antal år krävs en matematisk modell. Det är lämpligt att modellen är så enkel som möjligt samtidigt som den kan beskriva majoriteten av den anläggning som finns hos Banverket. Vid en av de första ansatserna valdes att dela in växlar i nio olika kategorier. En sådan indelning har gjorts av Labib (1998) vid analys av stopptider och antal stopp hos bearbetningsmaskiner.



Figur 1 Samband mellan funktionstörningar och besiktningssmärkningar för spårväxlar inom BRS (Skalorna är avkortade).

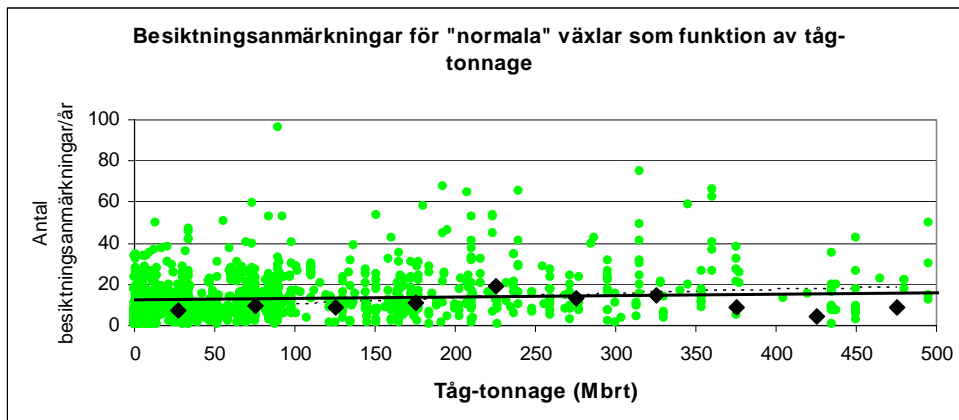
Vid en analys av varje grupp (ruta med punkter) för sig framkommer att många besiktningssmärkningar finns på växlar som har varit utsatt för hög belastning under lång tid. Ett bättre sätt att visa antalet besiktningssmärkningar är därför att använda en tidsskala baserat på spårväxelns ålder och hur stor belastning den utsätts för.

Figur 2 visar besiktningssmärkningar för samtliga spårväxlar inom BRS där det finns information om ålder och årligt tågtonnage. Ingen tydlig trend går att se i det diagrammet och därför ha diagram 3 och 4 skapats med endast data från dubbelspår. Efter att ha skapat dessa diagram kan slutsatsen dras att antalet besiktningssmärkningar och funktionstörningar ökar med tiden. I figurerna har två olika trendlinjer skapats. Den heldragna linjen är en linjär anpassning till samtliga punkter och görs i Excel-diagrammet direkt. Den prickade linjen följer formeln (Rigdon, 2000).

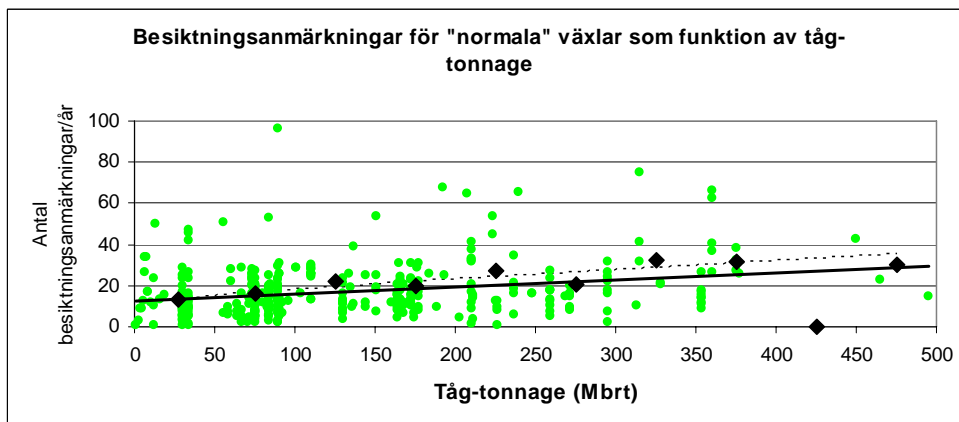
$$\lambda(t) = \lambda_0 + \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \quad (1)$$

Bilaga 1 Simulering av besiktningsanmärkingar

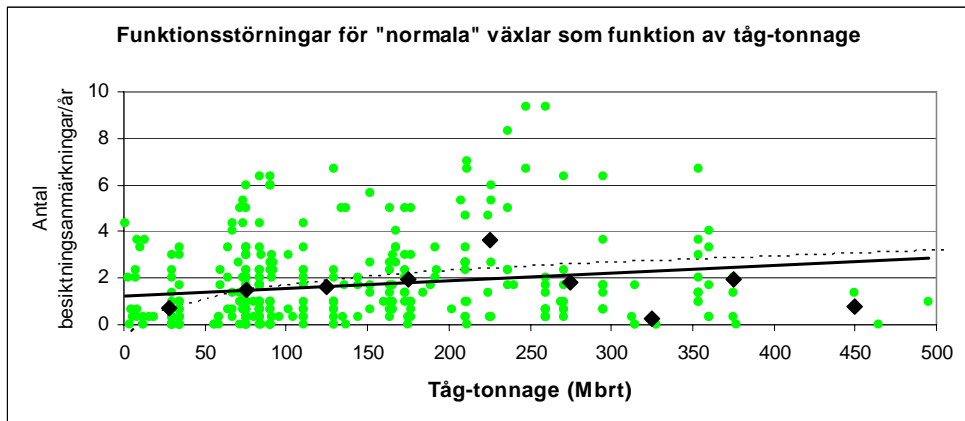
Funktionen $\lambda(t)$ anger antalet händelser per år och används för att beskriva att antalet händelser per år förändras över tid och modellen kallas icke homogen poissonprocess (Rigdon, 2000). Konstanterna λ_0 , α och β bestäms så att linjen går så nära de diamantformade punkterna, vilka är medelvärdet för varje tågtonnage-intervall, som möjligt (värdena över 350 Mbrt har dock inte använts).



Figur 2 Samband mellan besiktningsanmärkingar och tågtonnage för spårväxlar inom BRS. Samtliga växlar med tillräcklig information har tagits med. Helledragen linje är en linjär trendlinje skapad av Excel. Den prickade linjen följer formel 1 och är beräknad på medelvärden i varje intervall.



Figur 3 Samband mellan besiktningsanmärkingar och tågtonnage för spårväxlar inom BRS. Endast spårväxlar i dubbelspår har tagits med. Helledragen linje är en linjär trendlinje skapad av Excel. Den prickade linjen följer formel 1 och är beräknad på medelvärden i varje intervall.



Figur 4 Samband mellan funktionsstörningar och tågtonnage för spårväxlar inom BRS. Endast spårväxlar i dubbelspår har tagits med. Helledragen linje är en linjär trendlinje skapad av Excel. Den prickade linjen följer formel 1 och är beräknad på medelvärden i varje intervall.

Med figurerna som stöd kan en matematisk modell formuleras, samtidigt som det är viktigt att inkludera olika faktorer som förutom tågtonnage kan förklara den stora variationen mellan spårväxlar med få eller många besiktninganmärkningar.

2 Simulering

För att förstå möjligheten och tillvägagångssättet att göra en matematisk modell så genomförs en simulering av data utifrån antagandet att det finns 6 faktorer, varav en kombinerad mellan faktor 4 och 5, som påverkar antalet besiktninganmärkningar respektive funktionsstörningar. Enligt den teori som finns inom tillförlitlighetslitteraturen antas dessa faktorer påverka antalet händelser oberoende av varandra och procentuellt lika mycket i olika situationer. Denna modell kallas kovariant-modellen med följande formel (Rigdon 2000):

$$\lambda(t) = \left[\lambda_0 + \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \right] * e^{-(\beta_1 * z_1 + \beta_2 * z_2 + \beta_3 * z_3 + \beta_4 * z_4 + \beta_5 * z_5 + \beta_6 * z_6)} \quad (2)$$

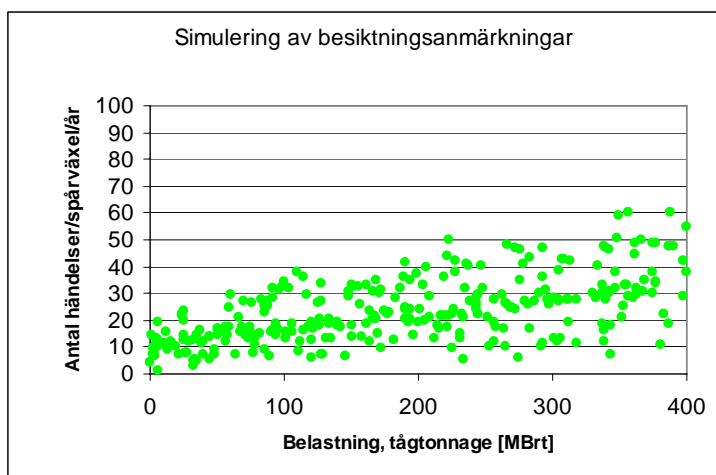
En slumpad fördelning visas i figur 5. I denna simulering har värdena enligt tabell 1 använts.

Bilaga 1 Simulering av besiktninganmärkningar

Tabell 1 Värden som använts för simuleringen.

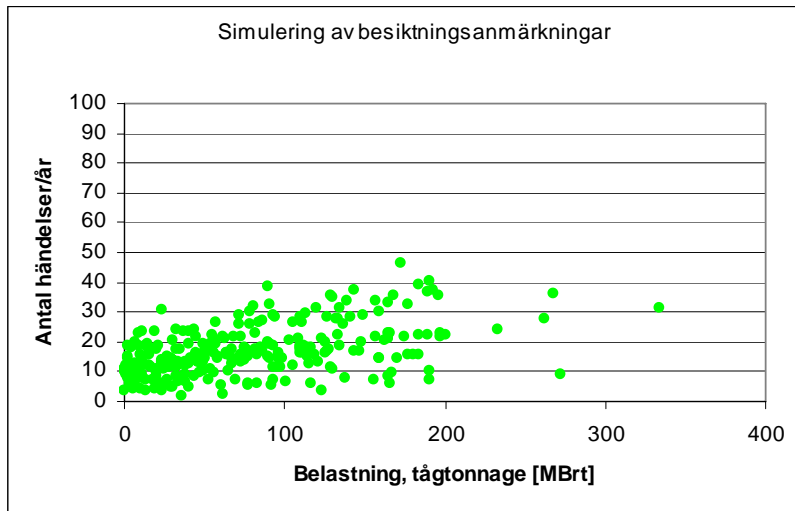
$\alpha=$	3,6						
$\beta=$	1,8						
$\lambda_0=$	10,9						
Faktor, i	1	2	Normal	4	5	6	4 och 5
$z_i=$	0,9	0,4	0	-0,3	-0,4	-0,5	-0,7
	-0,6	-0,3	0,05	0,35	0,5	0,7	0,7
	40,7%	67,0%	100,0%	135,0%	149,2%	164,9%	201,4%
$n_i=$	30	30	150	20	30	30	10
$\lambda_{25}=$	5,4	8,9	13,3	17,9	19,8	21,9	26,7

Simuleringen har gjorts baserat på fyra års mätningar och där varje punkt först slumpmässigt tilldelats ett värde på tidsskalan och sedan har det genomsnittliga värdet för antalet besiktninganmärkning beräknats med formel (2). Antalet besiktninganmärkning har tillslut slumpats baserat på en poissonfördelning med det givna medelvärdet och ett slumpstal som parametrar. I tabellen har även värdet $\lambda(25)$ för varje faktor beräknats. Detta värde anger det genomsnittliga antalet besiktninganmärkning i intervallet 0 – 50 MBrt. $\lambda(25)$ -värdet skattas ur de simulerade värdena i avsnitt 1.2.

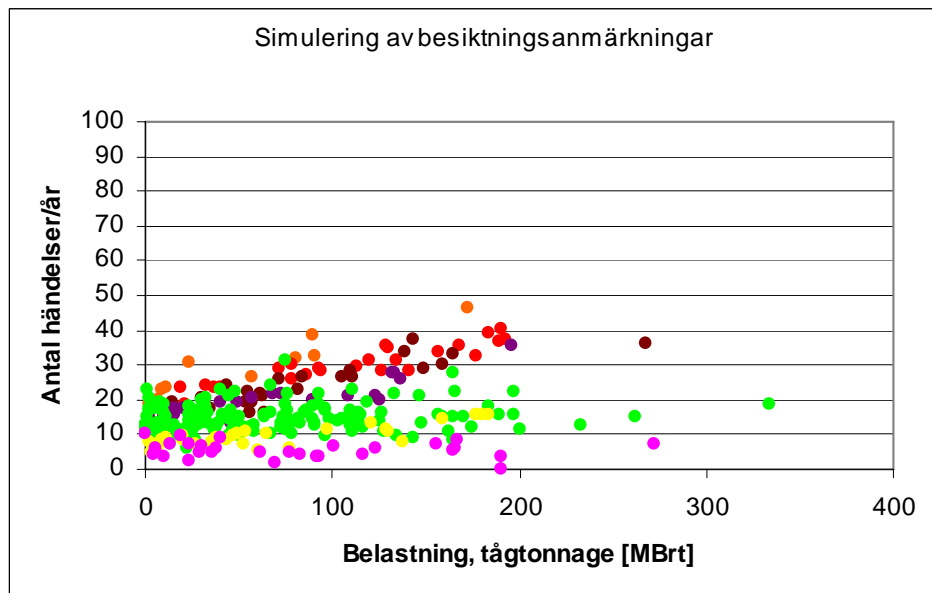


Figur 5 Simulering av 300 händelser med 6 påverkande faktorer. Tiden är jämt fördelad fram till 400 Mbrt.

Vid simuleringen i figur 5 antogs att det fanns en jämn spridning av data längs x-axeln. I verkligheten finns det betydligt mer spårväxlar med låg belastning. En sådan simulering visas i figur 6. I detta fall har tiden slumpats med en sned fördelning, $40 * \text{Poisson}(X, \lambda=3)$. I figur 7 visas samma punkter som i figur 6, skillnaden är att de sex faktorerna har givits separata färger.



Figur 6 Simulering av 300 händelser med 6 påverkande faktorer. Tiden har simulerats med en sned poissonfördelning fördelning med medvärdet 3, $40 * \text{Poisson}(X, \lambda=3)$.



Figur 7 De olika faktorernas påverkan illustreras med olika färger. Det går att skilja vissa av faktorerna. Tydligast är de lila och röda punkterna går att skilja från de gröna (opåverkade händelser).

För att skilja punkterna åt krävs antingen kunskaper om vilken punkt som tillhör vilken faktor (färg) eller att de olika faktorerna skiljer så pass mycket att de olika färgerna inte blandas. Färgerna lila (längst ned) respektive orange, rött och brunt (högst upp) skiljer så pass mycket att det kan vara möjligt att upptäcka att de skiljer från de gröna punkterna (i mitten). Gult och blå är dock svårare att skilja från de gröna. I avsnitt 2.1 visas hur det är möjligt att påvisa parametrar hos de bakomliggande fördelningarna.

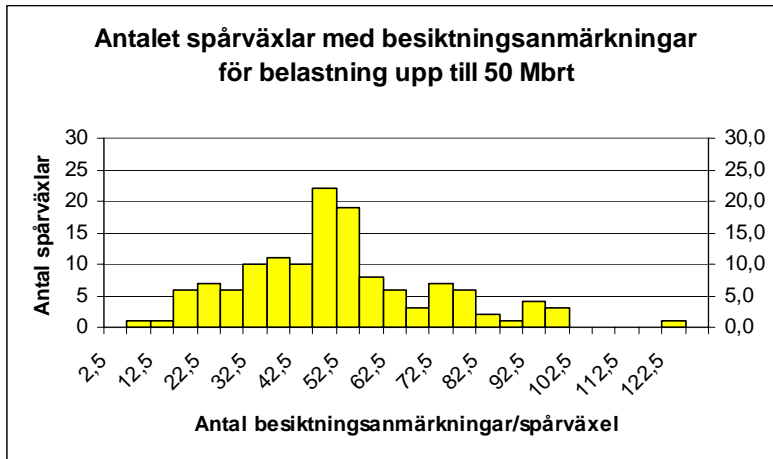
2.1 Uppskattning av ingående parametrar

Syftet med studien är att finna opåverkade spårväxlar och skilja de från spårväxlar som avviker från normalt beteende. Därför har fördelningarna delats upp i fyra grupper:

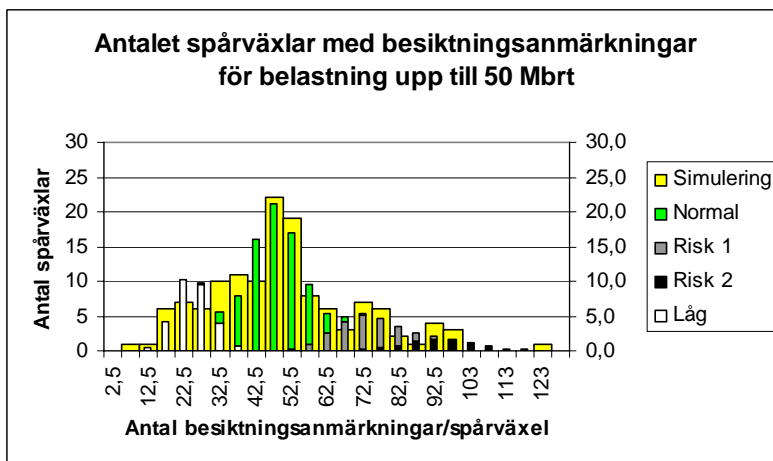
- Normal
- Lägre än normalt
- Riskgrupp 1
- Riskgrupp 2

Uppdelningen kan göras genom att undersöka fördelningen av antalet besiktningsanmärkningar för ett begränsat tidsintervall. I figur 8 har en fördelning av spårväxlar med mindre än 50 Mbrt belastning ritats upp. Diagrammet skiljer sig från figur 6 genom att antalet spårväxlar som har 0-5, 5-10, 10-15 besiktningsanmärkningar och så vidare bildar var sin stapel i ett histogram. Figuren visar att det inte kan vara endast en poissonfördelning och i figur 9 visas en ansats med att söka hitta 4 poissonfördelningar som kan förklara utseendet i figur 8. I detta försök så har poisson-parametern och antalet individer tagits fram för de fyra grupperna. Tillägsprogrammet problemlösaren har använts i Excel för att finna minsta avvikelse mellan de två fördelningarnas kumulativa kurvor.

Parametrarna kan jämföras med de som låg till grund för simuleringen. Överrensstämmelsen är god trots att simuleringen innehöll 6 parametrar. De skattade parametrarna hamnar nära medelvärdet för de simulerade parametrarna. Även antalet individer som tillhör varje fördelning kan beräknas på detta sätt. Resultatet visas i tabell 2.



Figur 8 Antalet besiktningssanmärknings har delats upp intervall (0-5, 5-10, 10-15 osv) och diagrammet visar antalet spårväxlar som har ett visst antal besiktningssanmärknings.



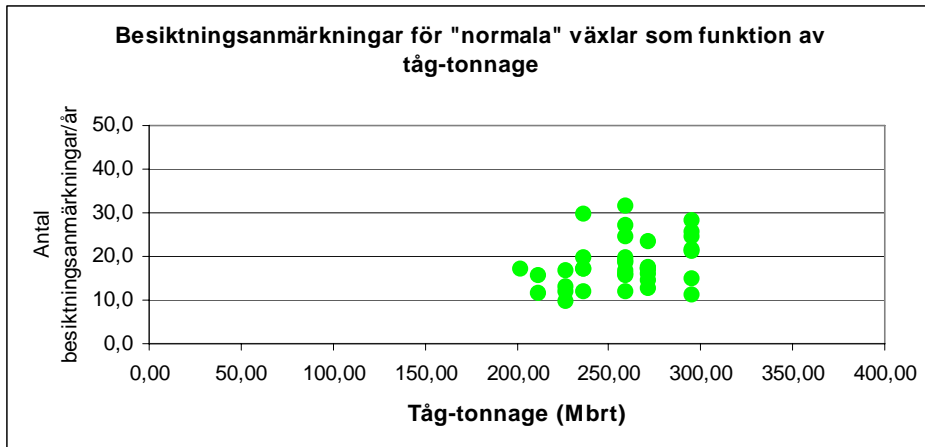
Figur 9 Antalet spårväxlar som har ett visst antal besiktningssanmärknings. Uppskattning av parametrarna sker genom att anpassa de kumulativa kurvorna till varandra.

Tabell 2 Simulerade och skattade parametrar.

		Normal	Låg 1	Låg 2	Risk 1a	Risk 1b	Risk 2a	Risk 2b
Simulerat	$\lambda_{25} =$	13,3	5,4	8,9	17,9	19,8	21,9	26,7
Skattning	$\lambda_{25} =$	12,2	6,4		18,4		23,8	
Simulerat	n	70	14	16	9	11	9	5
Skattning	n	75	29		23		10	

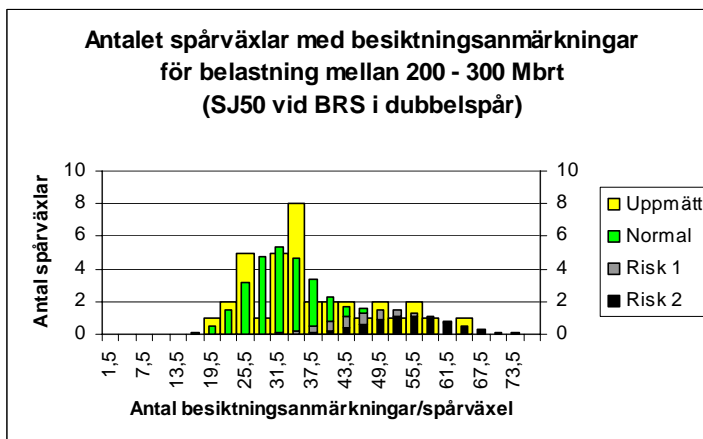
2.2 Skattning av parametrar hos verkliga spårväxlar

En tillämpning av metoden har gjorts för en grupp utvalda spårväxlar vid BRS. Från figur 3 väljs de spårväxlar som ligger på bandelarna 813, 814, 815, 910 och 912. De spårväxlar som har haft belastning mellan 200 och 300 MBrt väljs och antalet besiktninganmärkningar för 2003-2004 används. Urvalet visas i figur 10. Bakgrunden till urvalet finns i bilaga 3.



Figur 10 Ett urval av spårväxlar av typen SJ50 som ligger i dubbelspår på BRS.

Det finns 36 st växlar och det behövs tre poissonfördelningar för att någorlunda ge samma fördelning över antalet individer som har ett visst antal besiktninganmärkningar. De tre fördelningarna visas i figur 11. Parametrarna från skattningen anges i tabell 3 som skattning 1.

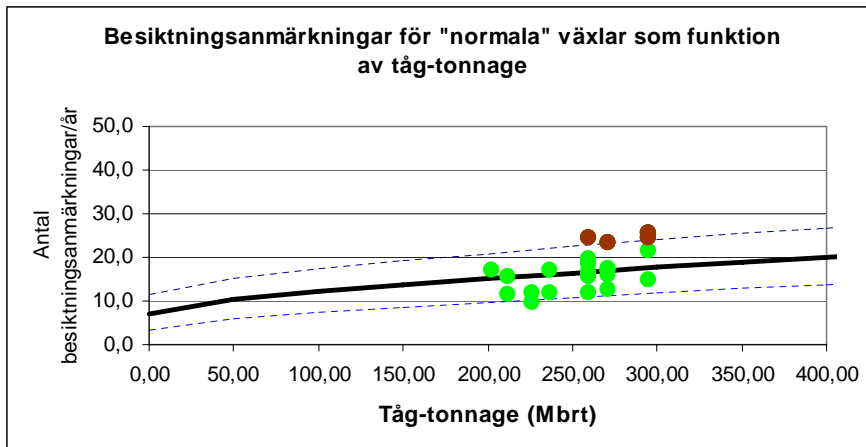


Figur 11 Anpassning av antalet besiktninganmärkningar till 3 Poissonfördelningar hos ett uppmätt antal besiktninganmärkningar i en grupp spårväxlar.

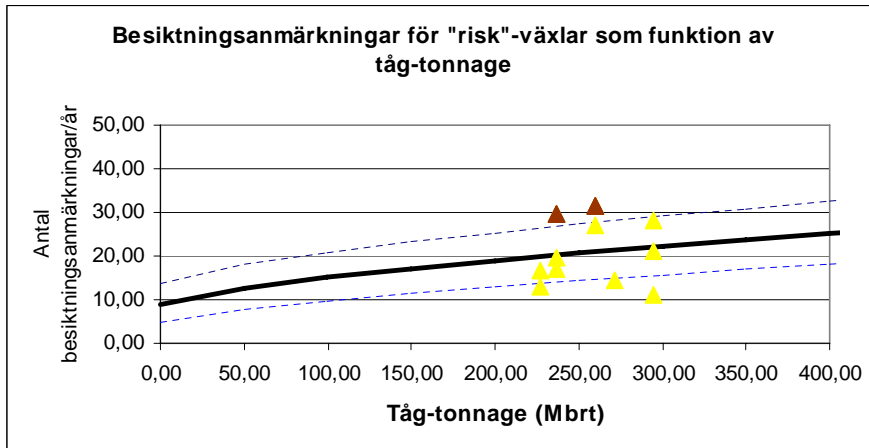
Bilaga 1 Simulering av besiktningsanmärkningar

I bilaga 3 visas vilka faktorer som har använts för att dela upp materialet i tre grupper. Syftet med uppdelningen är i första hand att separera de normala spårväxlarna från de som har fler besiktningsanmärkningar än normalt. Därför har lika stor påverkan antagits för varje faktor. I verkligheten och enligt formel 2 borde varje faktor kunna ha olika påverkan, men det skulle leda till att många olika fördelningar med mycket få individer skulle anpassas och det är inte troligt att resultatet skulle bli mer överskådligt.

Figureerna 12 och 13 visar uppdelningen i olika faktorer i de två grupperna normal och risk 1. I figureerna finns även spårväxlar som ligger utanför prediktionsintervallet. Det finns ingen anledning att försöka hitta förklaringar till alla spårväxlar som ligger utanför prediktionsintervallet och därför accepteras dessa avvikelser. Det ger dock en viss skillnad i skattningen i parametrarna. Riskgrupp 2 skapas av att två faktorer påverkar en och samma spårväxel, i detta material finns ingen sådan spårväxel.



Figur 12 Antalet besiktningsanmärkningar som funktion av total belastning. Figuren visar normala spårväxlar av typen SJ50 i dubbelspår inom BRS.



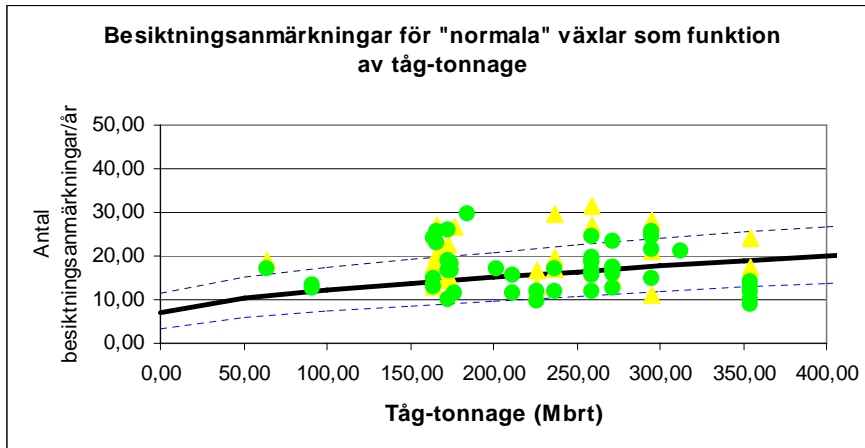
Figur 13 Antalet besiktningssanmärkningar som funktion av total belastning. Figuren visar risk 1 spårväxlar av typen SJ50 i dubbelspår inom BRS.

Enligt modellen i formel 1 så ökar antalet besiktningssanmärkningar om $\beta=1,7$. Ökningen mellan $t=200$ MBrt och $t=300$ MBrt är 2,6 st och det innebär att spridningen i figur 11 är något större än om ett smalare tidsintervall skulle ha valts.

Tabell 3 Skattning av parametrar med två olika metoder.

		Normal	Risk 1	Risk 2
Skattning 1	$\lambda_{250} =$	16,1	22,8	27,6
Skattning 2	$\lambda_{250} =$	17,0	20,8	
Skattning 1	n	25	4	7
Skattning 2	n	25	11	

Det måste påpekas att det inte är någon tydlig separering vilket kan ses i figur 14 där samtliga spårväxlar har lagts in i samma diagram.



Figur 14 Antalet besiktningssmärkningar som funktion av total belastning. Figuren visar både normala och risk 1 spårväxlar av typen SJ50 i dubbelspår inom BRS

3 Slutsats

I bilaga 1 har en simulering av besiktningssmärkningar gjorts. Simulering av hur olika faktorer kan påverka antalet besiktningssmärkningar ger insikt i att det går att spåra två eller fler poissonfördelningar i ett datamaterial, om det tas ut från ett begränsat tidsintervall. Svårigheten att kunna veta om uppdelningen sker med rätt faktorer ligger i att fördelningarna ofta överlappar varandra. För att kunna göra det på ett mer genomtänkt sätt krävs kunskap om enskilda stationer. En kombination mellan att använda statistiska verktyg och att presentera skillnader inom en viss bandel eller en viss station är ett möjligt sätt att hitta bakomliggande faktorer.

Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår

1 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår

Denna undersökning beskriver hur antalet besiktningsanmärkningar och funktionstörningar kan bestämmas för en bandel. Denna studie begränsas till spårväxlar i den södra banregionen som finns i banklasserna 2 och 3. Det finns 262 spårväxlar i huvudtågspår som har ett registrerat inlagt år. Tabell 1 redovisar vilka typer av spårväxlar det finns. Figur 1 och figur 2 visar att dessa spårväxlar har 10,5 besiktningsanmärkningar per år och 0,9 funktionstörningar/år i genomsnitt.

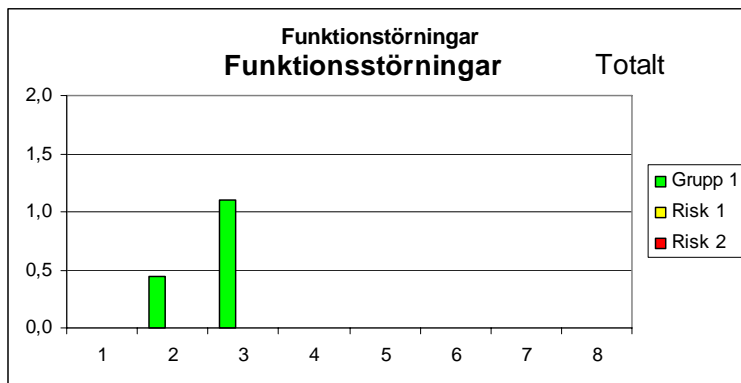
Tabell 1 Växeltyper i huvudtågspår för banklass 2 och 3 i BRS.

Växeltyp	Vinkel	Banklass 2	Banklass 3	Summa
3V		1	2	3
DKV			1	1
EV 41			2	2
SJ43/VR43		39	20	59
SJ50/BV50		64	127	191
	1:9	50	78	
	1:12	8	2	
	1:13	3	11	
	1:15	3	36	
UIC60		0	6	6
	1:9		2	
	1:14		1	
	1:15		1	
	1:18,5		2	
		104	158	262

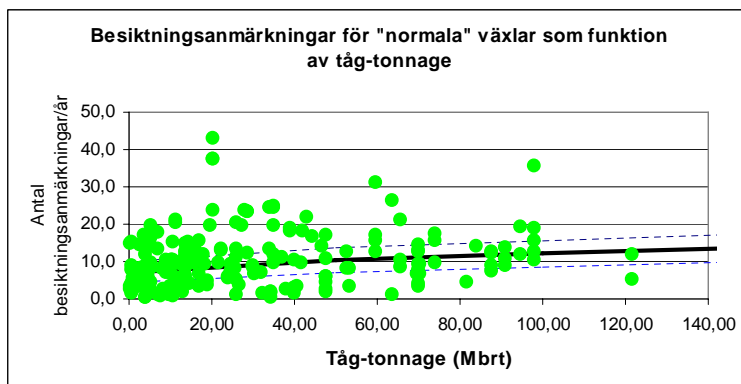


Figur 1 Genomsnittliga värden på antalet besiktningsanmärkningar för banklasserna 2 och 3 inom BRS.

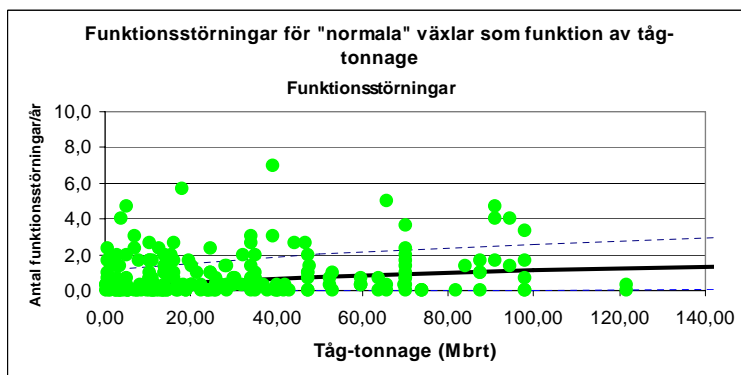
Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår



Figur 2 Genomsnittliga värden på antalet funktionstörningar för banklasserna 2 och 3 inom BRS.



Figur 3 Antal besiktningsanmärknings som funktion av belastning i tågtonnage för banklasserna 2 och 3 inom BRS.



Figur 4 Antal funktionsstörningar som funktion av belastning i tågtonnage för banklasserna 2 och 3 inom BRS.

2 Val av faktorer

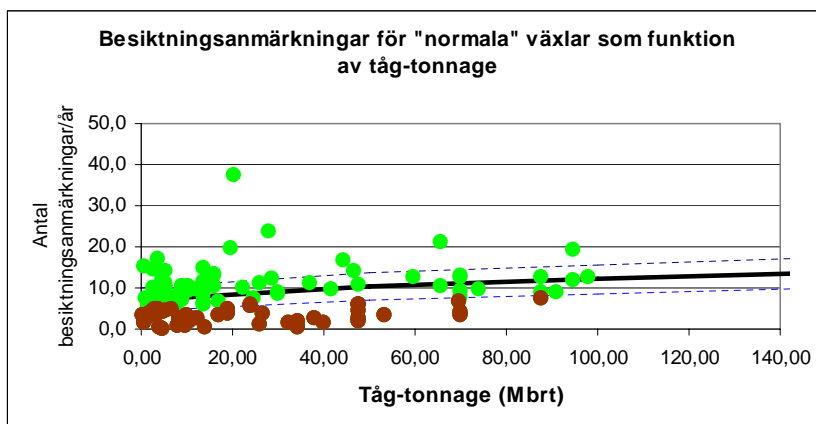
Det går inte att jämföra alla typer av spårväxlar och därför bör en begränsning göras av vilka typer av spårväxlar som ska undersökas. Gruppen med SJ50 och BV50-växlar innehåller 191 spårväxlar och är därmed en lämplig grupp att studera. Nästa steg är att se om det finns riskfaktorerna påverkar antalet händelser.

Nedanstående faktorer bestäms att de ska provas, se figurena 8 – 11:

- Plankorsning (inom 25 m från spårväxelns början eller slut)
- Bro (inom 25 m från spårväxelns början eller slut)
- Kurva med radier mindre än
 - 400 m (inom 100 m från spårväxelns början eller slut)
 - 800 m (inom 25 m från spårväxelns början eller slut)
 - 1500 m (inom 0 m från spårväxelns början eller slut)
- Övergångskurvor som har en radie mindre än 1500 m
- Om två kurvor ligger på var sin sida om spårväxeln räknas de ändå som en dubbelkurva

2.1 Spåra spårväxlar som har få besiktninganmärkningar

En första omgång av att testa faktorerna genomförs men på grund av att det finns ganska många spårväxlar även under det antagna prediktionsintervallet så undersöks det vidare.



Figur 5 Markering av alla spårväxlar som ligger under det antagna prediktionsintervallet.

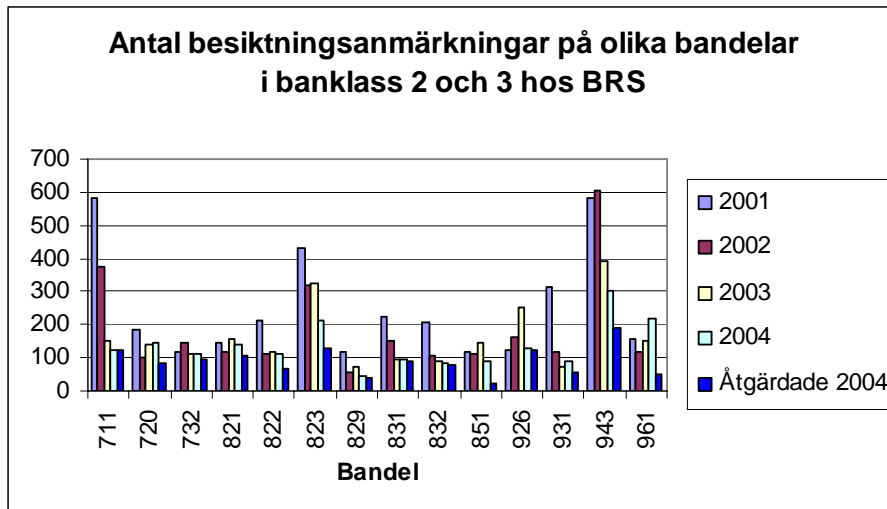
Grafer för åren 2002, 2003 och 2004 studeras separat och då upptäcks att 11 spårväxlar inte ligger på det huvudtågspår som har den huvudsakliga trafiken på stationen. I detta fall så har Vänerborg sju sådana spårväxlar. Detta förekommer på stationer som har fler än två utgående riktningar och där de anslutande spåren har betydligt lägre trafik än det spår stationen är klassad efter.

Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår

Åtgärderna blir att ta bort:

- Spårväxlar som ligger på anslutande spår med liten trafik
- Ta bort alla spårväxlar som har ett manuellt växeldriv. Dessa spårväxlar har normalt sett inga funktionstörningar och dessutom oftast färre besiktningsanmärkningar än övriga spårväxlar på grund av att omlägningsanordningen är mindre utsatt för slitage eftersom de sällan används.

Totalt tas 51 spårväxlar bort. Trots att många spårväxlar har uteslutits finns det ändå spårväxlar kvar som har lågt antal besiktningsanmärkningar. En sådan spårväxel är i Jönköping växel nr 424. Den spårväxeln hade under åren 2001 till 2004 totalt 16 besiktningsanmärkningar fördelat på 7, 9, 0 och 0. En sådan nedgång i antalet besiktningsanmärkningar kan inte förklaras av att det är en naturlig variation. För att belysa detta gjordes ett stapeldiagram över antalet besiktningsanmärkningar på hela bandel 711 och då upptäcktes att nedgången var generell. Figur 6 illustrerar detta för de större bandelarna i banklass 2 och 3. Det finns en systematisk minskning av antalet besiktningsanmärkningar på många av de studerade bandelarna och det måste bero på ett medvetet beslut inom Banverket. År 2004 gjordes endast 2100 besiktningsanmärkningar jämfört med 4000 st år 2001. Alla dessa blev inte heller registrerade som åtgärdade. När det gäller valet av faktorer så kan resultatet bli olika beroende på om alla åren studeras eller endast åren 2003 - 2004. I denna studie används framförallt data från år 2001 - 2004.

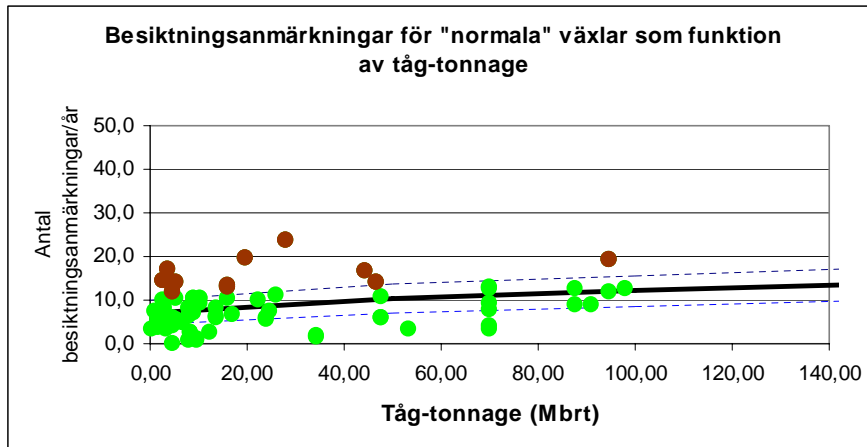


Figur 6 Antalet besiktningsanmärkningar har förändrats mellan åren 2001 och 2004 för de studerade bandelarna. År 2004 visas även de besiktningsanmärkningar som åtgärdats enligt systemet.

Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår

2.2 Spåra spårväxlar som har högt antal besiktning- anmärkningar

Efter att ha tagit bort de spårväxlar som har få besiktninganmärkningar så undersöks de spårväxlar som finns över det övre antagna prediktionsintervallet.



Figur 7 Markering av alla spårväxlar som ligger över det antagna prediktionsintervallet.

Genom att markera de spårväxlar som varje år ligger över det högre prediktionsintervallet så upptäcks 20 spårväxlar som ligger på träslipers medan det övriga spåret har betongslipers. 4 spårväxlar väljs bort i och med att åldern inte går att fastställa säkert eller att det är stor skillnad mellan spårväxelns ålder och när den blev inlagd. 2 spårväxlar markeras som ha andra skäl att ha fler besiktninganmärkningar än andra. (Skälen har med att ett spår är lagt 1956 och växel långt senare, en annan ligger nära en annan spårväxel).

En ny faktor skapas:

- Träslipers i växel och betongslipers i spår

2.3 Utvärdering av faktorer

I figur 8-10 sammanfattas antalet besiktninganmärkningar i stapeldiagram. I figurerna testas om närhet till plankorsning, bro, övergångskurva, kurva med mindre radie än 1500 m kan påverka antalet besiktninganmärkningar och funktionstörningar. För att bestämma om en faktor ska användas räcker det att påverkan finns i någon av figurerna eftersom det är i första hand gäller att finna spårväxlar som inte är påverkade av en yttre faktor. Finns det färre än fyra spårväxlar vid bedömningen av en faktor så har den inte tagits med eftersom risken är att andra okända faktorer kan ha stor betydelse. Konfidensintervallet i figurerna har bildats utifrån antagandet att summan av alla händelser är poissonfördelat. Ett konfidensintervall visar att det är 95 % sannolikhet att

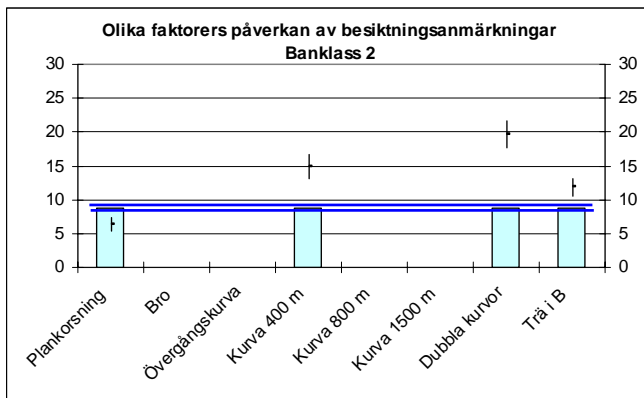
Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår

väntevärdet (teoretiska medelvärdet) för besiktningssmärkningarna respektive funktionstörningarna finns inom de gränser som anges. Detta tillvägagångssätt är relativt enkelt, men ger ett snävare intervall än alternativet att beräkna standardavvikelsen på det faktiska antalet händelser för enskilda spårväxlar. Slutsatser ska därmed dras med viss försiktighet.

För att få signifikant pålitliga resultat behövs ett stort antal spårväxlar av samma typ helst samlade inom ett begränsat område. Det är förutsättningar som inte går att uppfylla och därför bör de resultat som tas fram senare testas på fler banregioner för att kunna anses vara pålitliga.

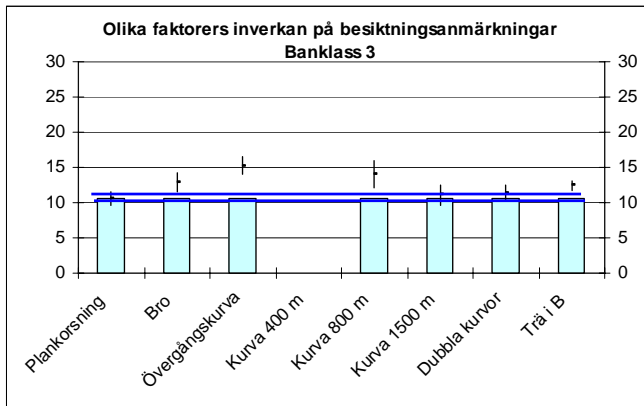
Nedanstående faktorer har provats i figurerna 8 – 11:

- Plankorsning (inom 25 m från spårväxelns främre skarv, fsk, eller bakre skarv, bsk)
- Bro (inom 25 m från spårväxelns fsk eller bsk)
- Kurva med radier mindre än
 - 400 m (inom 100 m från spårväxelns fsk eller bsk)
 - 800 m (inom 25 m från spårväxelns fsk eller bsk)
 - 1500 m (inom 0 m från spårväxelns fsk eller bsk)
- Övergångskurvor som har en radie mindre än 1500 m
- Om två kurvor ligger på var sin sida om spårväxeln räknas påverkan i form av en faktor (kallas dubbla kurvor)
- Träslipers i växel och betongslipers i spår



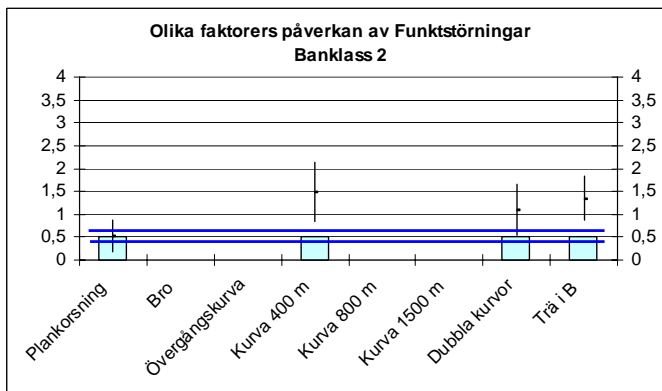
Figur 8 Faktorer påverkan på besiktningssmärkning på banklass 2. Stapeln och linjerna anger utgångsnivån och konfidensintervallet.

Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår



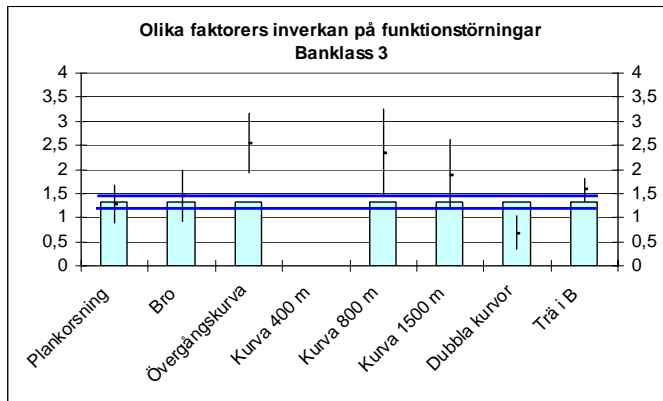
Figur 9 Faktors påverkan på besiktningssmärkningar på banklass 3. Stapeln och linjerna anger utgångsnivån och konfidensintervallet.

De flesta faktorer har ett väntevärde för antalet besiktningssmärkningar som signifikant avviker från hela gruppens väntevärde antingen i banklass 2 eller 3. Undantagen är plankorsning och kurvor med 1500 m's radie. I figuren görs jämförelsen med den ursprungliga nivån på antalet besiktningssmärkningar. Skulle faktorerna jämföras med den grupp som blir kvar efter att faktorerna börjat tillämpas så ger även plankorsningar och kurvor signifikant resultat.



Figur 10 Faktors påverkan på funktionstörningar på banklass 2.

Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår



Figur 11 Faktorerers påverkan på funktionstörningar på banklass 3.

Faktorer för övergångskurvor, kurvor upp till 800 m's radie samt träslipers i betongslipersspår har en signifikant påverkan på funktionstörningar. Det går inte att konstatera att plankorsning, bro eller kurvor med radie mindre än 1500 m påverkar antalet funktionstörningar. Dubbla kurvor påverkar om de jämförs med gruppen opåverkade spårväxlar.

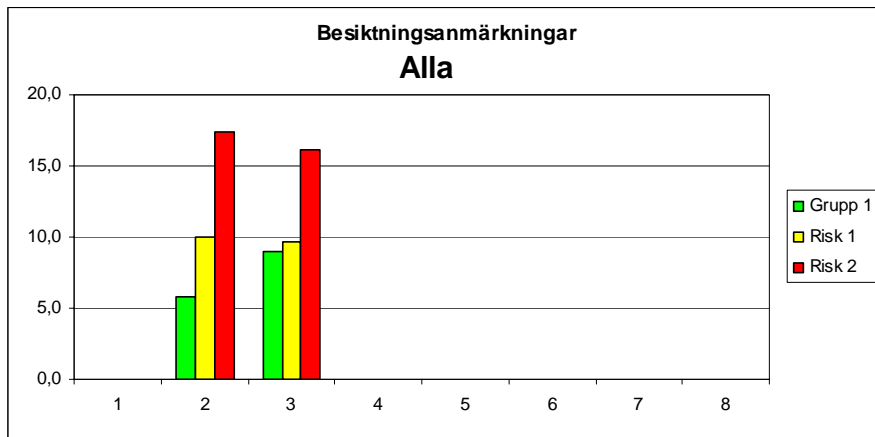
I redovisningen nedan har samtliga faktorer utom plankorsning och kurvor med radie 1500 m använts trots att några av dessa faktorer inte påverkar funktionstörningar.

Nu kan besiktningsanmärkningar och funktionstörningar visas i två grafer. Normala spårväxlar och spårväxlar i riskgrupp 1. (Endast besiktningsanmärkningar visas här). Skillnaden mellan figurerna är inte möjlig att se, trots att medelvärdet mellan grupperna skiljer sig åt.

Efter dessa åtgärder så har några spårväxlar två samtidiga riskfaktorer och dessa placeras i en tredje graf, riskgrupp 2. Även efter denna uppdelning så tillhör inte händelserna en enskild poissonfördelade i någon av grupperna. Det återstår att förklara några spårväxlar, men resultatet kan ändå betraktas som nöjaktigt.

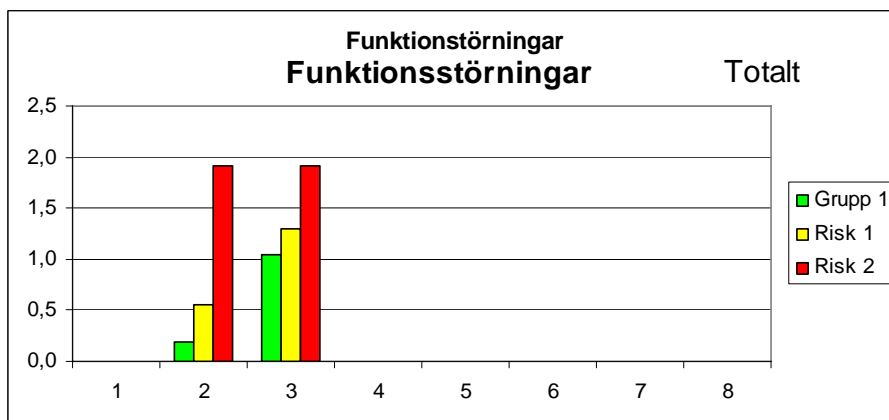
Från figurerna ses även att banklass 3 har fler funktionstörningar och besiktningsanmärkningar än banklass 2.

Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår



Figur 12 Besiktningsanmärkingar uppdelat på tre grupper för spårväxlar i banklass 2 och 3 vid BRS.

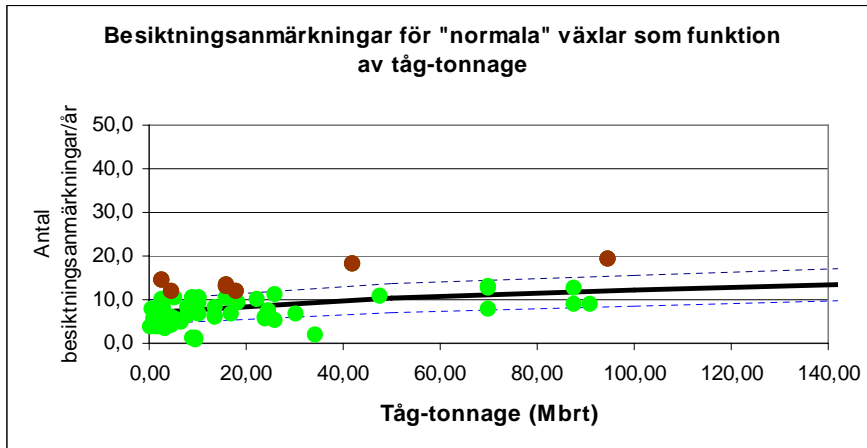
Samma spårväxlar kan även visas med funktionstörningar.



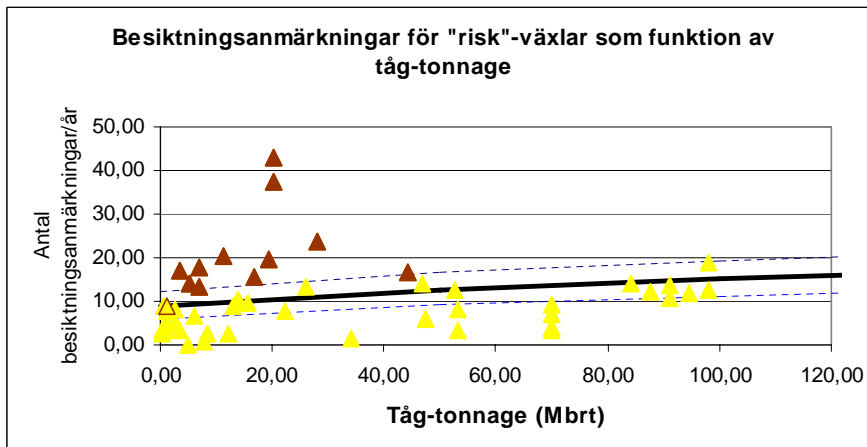
Figur 13 Funktionstörningar uppdelat på tre grupper för spårväxlar i banklass 2 och 3 vid BRS.

Samma information som i figur 12 och 13 visas som medelvärden av hela gruppen kan också visas för varje enskild spårväxel, vilket görs i figur 14-19.

Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår

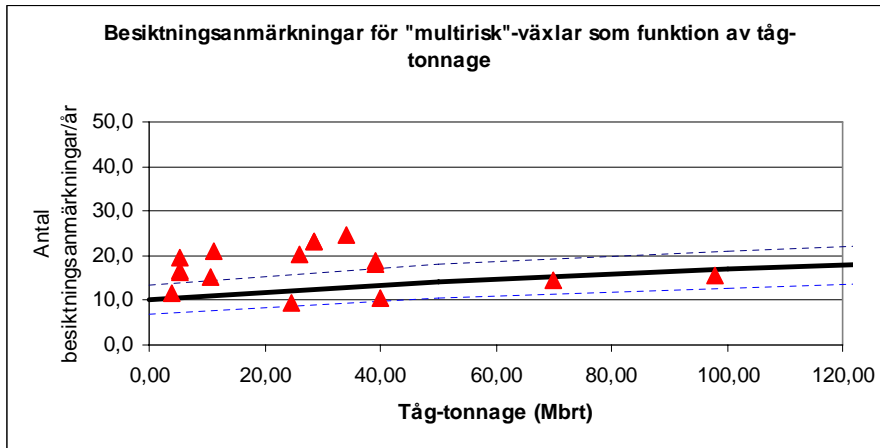


Figur 14 Besiktningsanmärkingar för normala spårväxlar i banklass 2 och 3 vid BRS.



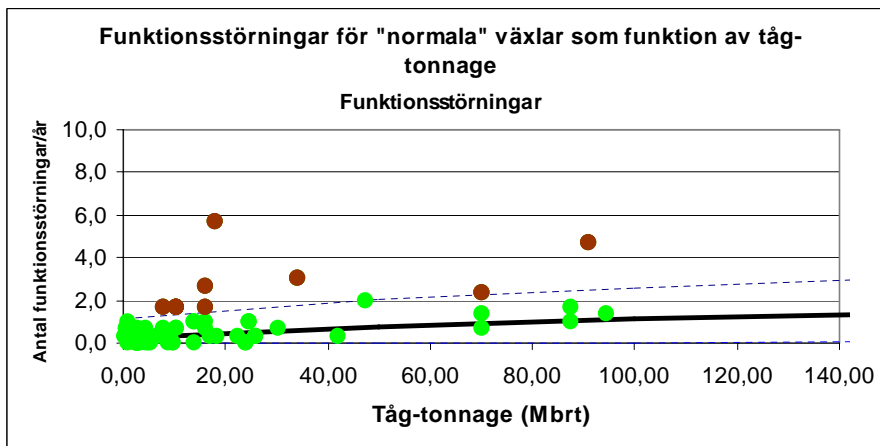
Figur 15 Besiktningsanmärkingar för "risk 1"-spårväxlar i banklass 2 och 3 vid BRS.

Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår



Figur 16 Besiktningssmärkningar för "risk 2"-spårväxlar i banklass 2 och 3 vid BRS.

Antalet besiktningssmärkningar ligger rimligt nära de linjer som har skapats för att ha som jämförelse. I figur 15 finns två spårväxlar som avviker mer markant, det är växlarna Karlskrona 415 och 429, dessa spårväxlar används för persontåg någon eller några gånger per dag och därför måste dessa spårväxlar anses ha onormalt höga värden. I samma diagram med gruppen "risk 1" är det även rätt så många spårväxlar med under prediktionsintervallet, men ingen mer förklaring har kunnat ges.

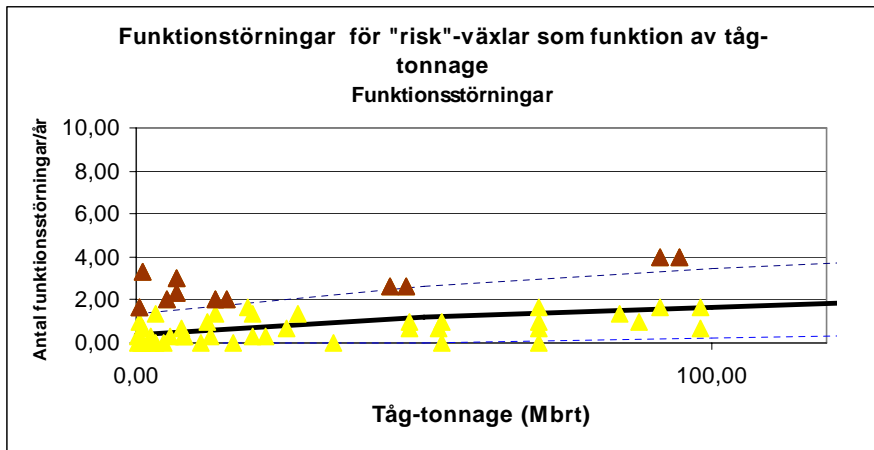


Figur 17 Funktionsstörningar för "normala"-spårväxlar i banklass 2 och 3 vid BRS.

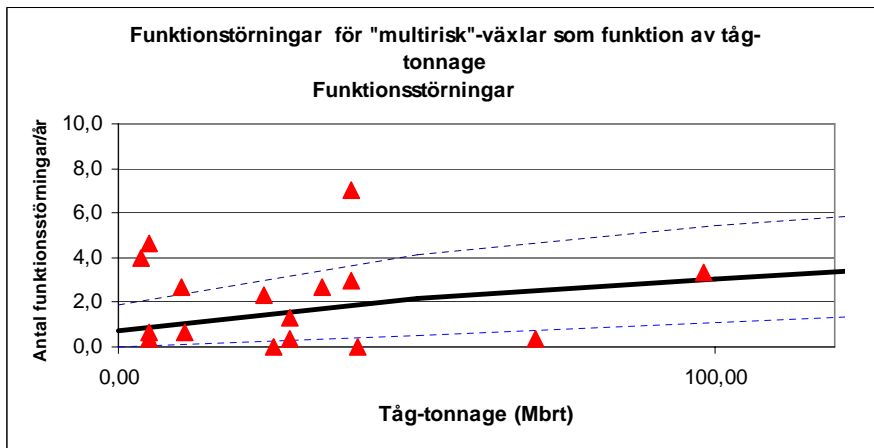
Antalet funktionsstörningar avviker procentuellt mer, men det handlar ändå om relativt få händelser. I figur 17 finns två av spårväxlarna som ligger nära plankorsning och kurva med 1500 m's radie. Dessa spårväxlar har haft 4,7

Bilaga 2 Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår

respektive 5,7 funktionstörningar/år. Baserat på ett fåtal spårväxlar så är det svårt att avgöra om detta är signifikant eller om någon annan orsak bör sökas.



Figur 18 Funktionstörningar för "risk 1"-spårväxlar i banklass 2 och 3 vid BRS.



Figur 19 Funktionstörningar för "risk 2"-spårväxlar i banklass 2 och 3 vid BRS.

I gruppen "risk 2" finns två spårväxlar som inte har haft några funktionstörningar alls under 3 år. Det gäller Sölvesborg 22b (som ligger i en övergångskurva, 30 m från en snäv kurva på 225 m's radie och har träslipers i ett spår med betongslipers) och Ystad 1 (som ligger i en kurva med 292 m's radie och har träslipers i ett spår med betongslipers). Dessa iakttagelser kan leda till tanken att för funktionstörningar har inte kombinationen kurva med träslipers i växeln tillräckligt allvarliga konsekvenser att spårväxlarna bör placeras i gruppen "risk 2".

Bilaga 2 **Karaktärisering av banklass 2 och 3 i enkelspår**

De spårväxlar som ligger över prediktionsintervallet i riskgrupp 2 kräver ingen fortsatt behandling eftersom syftet i första hand är att förstå faktorer som ger förhöjda värden och inte hur stark påverkan är.

3 Slutsats

Denna studie visar att det går att separera spårväxlar i olika grupper och på så sätt få fram en grupp normala spårväxlar med ungefär lika många besiktningsanmärkningar och funktionstörningar. Studien visar också att alla frågor inte kan besvaras endast genom att ta ut informationen från databaserna. De utgör en grund för vidare diskussion med förvaltare vid Banverket.

Studien har försvårats av att sättet att utföra besiktningsanmärkningar har ändrats mellan år 2001 och 2004.

Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår

1 Karaktärisering av banklass 4 – 6 i dubbelspår

Denna studie har gjorts på spårväxlar inom Banverkets södra region. Det finns sammanlagt 313 spårväxlar i huvudtågsspår fördelat på 10 bandelar som ligger i banklass 4 – 6.

Tabell 1 Antalet spårväxlar uppdelat på olika växeltyper för banklass 4-6 i BRS.

Antal av Växel	Banklass			Totalt
	4	5	6	
Växel				
DKV-SJ50-7,6/9,3-1:9		2		2
EV-SJ50-11-1:9		10	10	20
EV-SJ50-12-1:12			4	4
EV-SJ50-12-1:13		2	1	3
EV-SJ50-12-1:15		28	31	59
EV-SJ50-20,67-1:18,5			2	2
EV-UIC60-300-1:9		13	11	24
EV-UIC60-500-1:12			6	6
EV-UIC60-760-1:14		5	1	6
EV-UIC60-760-1:15	11	29	5	45
EV-UIC60-1200-1:18,5	20	24	20	64
EV-UIC60-1200-1:18,5 BL33		76		76
EVR-UIC60-2500-1:27,5		2		2
Totalt	31	191	91	313

Antalet spårväxlar för många av växeltyperna är få, vilket gör att det kan vara svårt att få ett tillräckligt omfattande statistiskt underlag för att genomföra studien. Resultat presenteras för varje växeltyp för sig innan en gemensam bedömning kan göras. De växeltyper som ingår i studien är:

- EV-SJ50-11-1:9
- EV-SJ50-12-1:15
- EV-UIC60-300-1:9
- EV-UIC60-760-1:15
- EV-UIC60-1200-1:18,5
- EV-UIC60-1200-1:18,5 BL33

Faktorer som bedöms initialt är

- Plankorsning
- Bro
- Träslipers i växeln och betongslipers i närliggande spår.
- Användandet av avvikande tågspår:
 - För godstrafik
 - För regional persontrafik

Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår

Tabell 2 Besiktningsanmärkingar och funktionsstörningar för utvalda växeltyper inom BRS och banklass 4-6

Växeltyp	Antal	Besiktnings- anmärkning /år/växel	Funktions- störning /år/växel Bankl. 4	Funktions- störning /år/växel Bankl. 5	Funktions- störning /år/växel Bankl. 6	Funktions- störning /år/växel (medel)	Funktions- störning /år/växel (max)
EV-SJ50-11-1:9	20	16,5		0,9	1,8	1,4	5,0
EV-SJ50-12-1:15	59	19,9		2,3	2,5	2,4	9,3
EV-UIC60-300-1:9	24	18,2	0,7	1,8		1,2	5,7
EV-UIC60-760-1:15	45	15,1	0,8	1,2	1,0	1,1	3,0
EV-UIC60-1200-1:18,5	64	8,9	0,6	0,8	1,1	0,8	6,7
EV-UIC60-1200-1:18,5 BL33	76	16,8		1,6		1,6	6,3

I en initial bedömning så kan ses att de äldre spårväxlarna (av typen SJ50) inte har oroväckande stor skillnad i antalet besiktningsanmärkingar. Spårväxlarna av typen EV-SJ50-12-1:15 och EV-UIC60-1200-1:18,5 BL33 har fler funktionsstörningar än vad som bör accepteras med tanke på de övriga modellerna. Banklasserna 5 och 6 uppvisar ungefär samma värden och kan antagligen bedömas som en enhetlig grupp. De individuella skillnaderna mellan spårväxlarna är stor med från 0 till 9,3 funktionsstörningar/växel/år och 0 till 41 besiktningsanmärkingar/år. Under bedömningarna har det upptäckts att en spårväxel ligger på ett spår som inte är färdigbyggt och ingår därför inte i studien, nämligen Båstad Norra (Bån) 132 på bandel 628. Ytterligare fyra spårväxlar har i en senare del av studien inte tagits med i redovisningen av besiktningsanmärkingar.

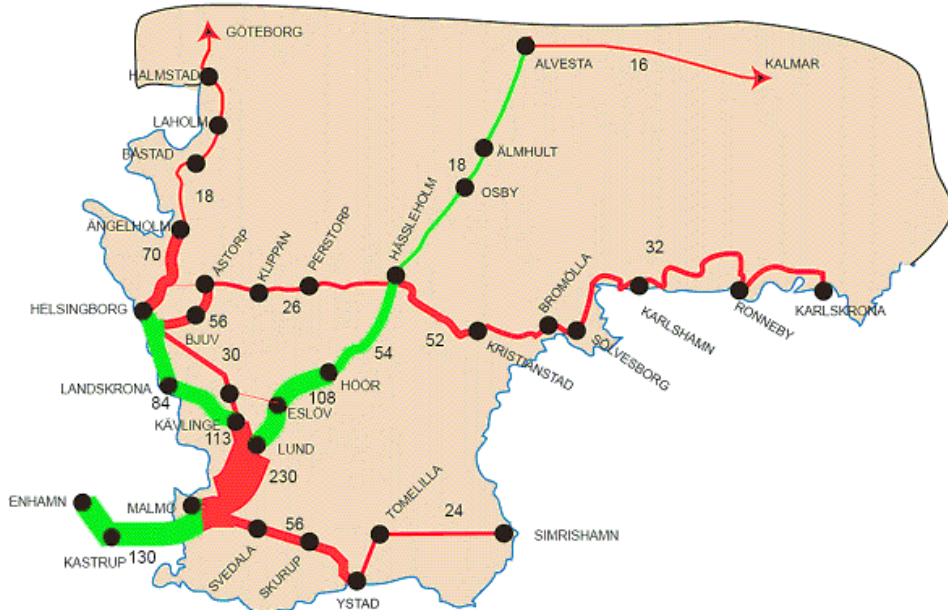
För att förstå hur antalet besiktningsanmärkingar och funktionsstörningar kan skilja mellan två till synes likadana spårväxlar behöver trafiksituationen beskrivas. Följande information är hämtat ur Järnvägens roll i transportförsörjningen del 1 (Banverket, 2005A).

Trafiken med regionala persontåg är som mest intensiv i området omkring Malmö och därför kan antalet funktionsstörningar vara större i detta område på grund av att spårväxlarna används fler gånger per dygn än på övriga bandelar. En särskild studie av regionaltågens användande av avvikande tågspår har gjorts för Eslöv, se bilaga 4.

Sträckan Malmö – Mjölby (- Stockholm) trafikeras med 14 dubbelturer av snabbtåget X2000. Tåget stannar i Nässjö, Alvesta, Hässleholm, Lund och Malmö vilket betyder att tåget ger annorlunda belastningar på dessa platser än för de

Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår

spårväxlar som ligger där X2000 går med linjehastigheten (som kan vara upp till 200 km/h).



Figur 1 Antal regionaltåg/dygn (Banverket, 2005A). Grönt visar de studerade bandelarna.

2 Villkor som påverkar antalet händelser

2.1 Startvillkor och placering av spårväxlar

Påverkan av kurvor bedöms inte i och med att det i praktiken inte finns kurvor nära spårväxlar med radier mindre än 1 500 m på dubbelspår inom de studerade bandelarna. Det finns 1 spårväxel nära en plankorsning och 22 spårväxlar i närheten av en bro. Data visar inte på att bro eller plankorsning har någon större påverkan.

2.2 Trafik

Användandet av avvikande tågspår har delats upp i tre kategorier

- Godståg som ansluter från lastningsplatser (industriområden)
- Godståg som går in på sidotågspår på grund av X2000, vilket kallas förbigång
- Persontåg som ansluter från andra bandelar eller går in till perronger

Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår

2.2.1 Godstågs användande av avvikande tågspår

Godståg rangeras idag endast på ett fåtal stationer och dessa är i BanInformationSystemet markerade som bangårdar (banklass 8). Inom BRS är finns 7 bangårdar och dessa är mycket svåra att bedöma utan att ha närmare kännedom om trafikplaneringen. På många mindre bangårdar stannar godståg för att koppla till eller från vagnar. Från industrispår ansluter hela tågsätt och går in på de bandelar där det går persontrafik. De spårväxlar som används för att växla in godstrafik på ett annat spår har vanligtvis högre antal besiktningsanmärkningar. Orsaken är antagligen att de tungt lastade vagnarna ger större sidokrafter än trafik i rakspår. Det är fullt möjligt att bedöma att avvikande trafik med mer än 1 MBrt/år påverkar spårväxeln negativt.

2.2.2 Förbigång

Godstrafiken går vanligtvis in på sidotågspår för att släppa förbi mer snabbgående persontrafik. På kartan nedan syns de förbigångsstationer som finns längs Södra stambanan och Västkustbanan.



Figur 2 Mötesstationer inom BRS (Banverket, 2005A).

Bilaga 3 **Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår**

Exempel på stationer i studien är Alvesta, Boxholm, Stockaryd, Eslöv, Blådinge, Vislanda, Grevaryd och Älmhult.

2.2.3 Persontågs användande av avvikande tågspår

Regionala persontåg går in på avvikande tågspår av två anledningar. Dels är en del stationer byggda så att perrongspåret inte ligger på huvudtågspåret och dels vid tågets vändstation så byter persontåget färdriktning. I dessa växlar går tåg med relativt få axlar och därför är inte den fysiska belastningen stor, däremot måste växlar läggas om relativt ofta. Det går ofta att konstatera att antalet funktionstörningar är högre för dessa spårväxlar än för de andra i närheten medan besiktningsanmärkningarna inte är högre.

Exempel på stationer är Stockaryd, Älmhult och Eslöv.

2.3 Genomgång av växeltyper

Vid genomgång av växeltyper så har följande faktorer testats:

- Närhet till plankorsning
- Närhet till bro
- Olika typ av slipers i spår och i växel
- Godstrafik ansluter
- Persontrafik ansluter
- Förbigång

Någon entydig bild går inte att få på flera av faktorerna, framförallt på grund av att antalet spårväxlar med en enskild faktor ofta är få (1-4 st) och att ibland finns flera faktorer gemensamt för samma spårväxel. I tabell 1 har endast bedömning gjorts om det har funnits 3 spårväxlar i en grupp. Bedömningen har gjorts på banklasserna 5 och 6 tillsammans och utifrån att ett normalt antal besiktningsanmärkingar och funktionstörningar bör handla om högst 20 respektive 1,75 händelser/växel/år.

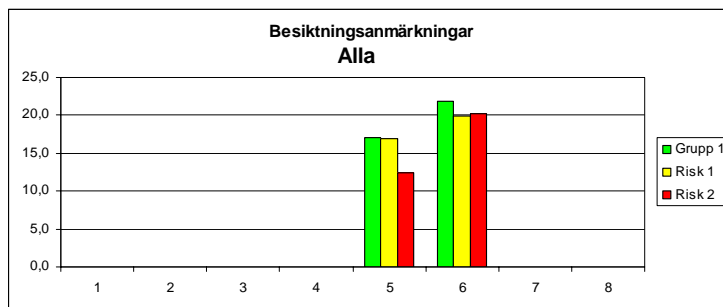
Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelpår

Tabell 3 Påverkan av olika faktorer. X – påverkan är trolig. O – påverkan kan inte styrkas. ? – Tveksamhet finns kring vilken slutsats som bör dras. Tomma rutor betyder att det inte finns någon spårväxel. Första markeringen avser besiktningsanmärkningar den andra funktionstörningar.

Påverkan	Trafik i avvikande								
	Plank	Bro	Kurv	B i T	T i B	Gods	Pers	Förbi	
EV-SJ50-11-1:9					O O		? O		
EV-SJ50-12-1:15					O X				
EV-UIC60-300-1:9							X ?		
EV-UIC60-760-1:15		O O				X O	X X	? ?	
EV-UIC60-1200-1:18,5		O O							
EV-UIC60-1200-1:18,5 BL33		O O				X X	? X	X X	

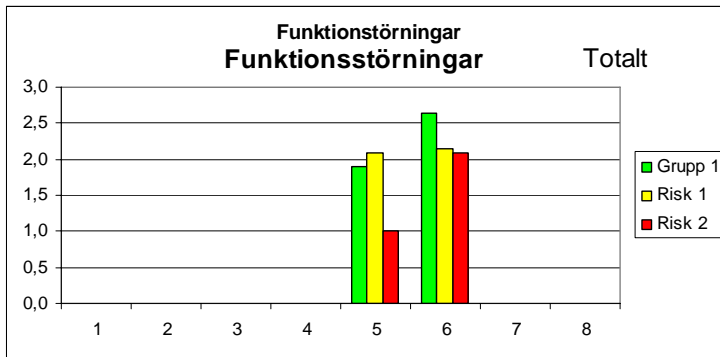
Figurena 3-6 visar stapeldiagram där antalet besiktningsanmärkningar och funktionstörningar för banklasserna 4, 5 och redovisas. Diagrammen innehåller antingen alla spårväxlar av typen SJ50 eller UIC60. Utifrån diagrammen kan sägas att:

- Spårväxlar av typen SJ50 inte kan analyseras utifrån de framtagna faktorerna
- Spårväxlar av typen UIC60 har ökat antal händelser utifrån gruppering med hjälp av faktorerna för banklasserna 4 och 5
- Spårväxlar av typen SJ50 har fler besiktningsanmärkningar och funktionstörningar än de av typen UIC60. Till viss del kan det förklaras av typen SJ50 är äldre, men det är mer troligt att det är en klenare konstruktion och som förväntat bryts ned snabbare.

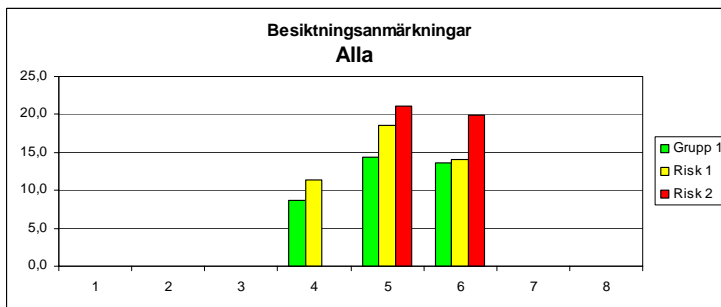


Figur 3 Besiktningsanmärkningar för spårväxlar av typen SJ50. De valda faktorerna kan inte förklara antalet besiktningsanmärkningar.

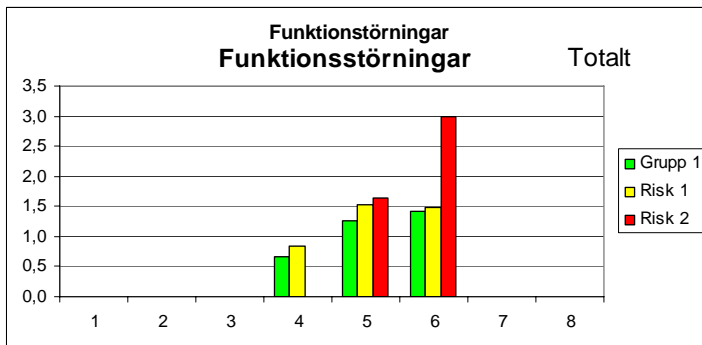
Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelpår



Figur 4 Funktionstörningar för spårväxlar av typen SJ50. De valda faktorerna kan inte förklara antalet funktionstörningar.



Figur 5 Besiktninganmärkningar för spårväxlar med rälvikt 60 kg/m (UIC60). De valda faktorerna kan troligen förklara antalet besiktninganmärkningar för banklass 4 och 5. För banklass 6 kan inte en tydlig slutsats dras.

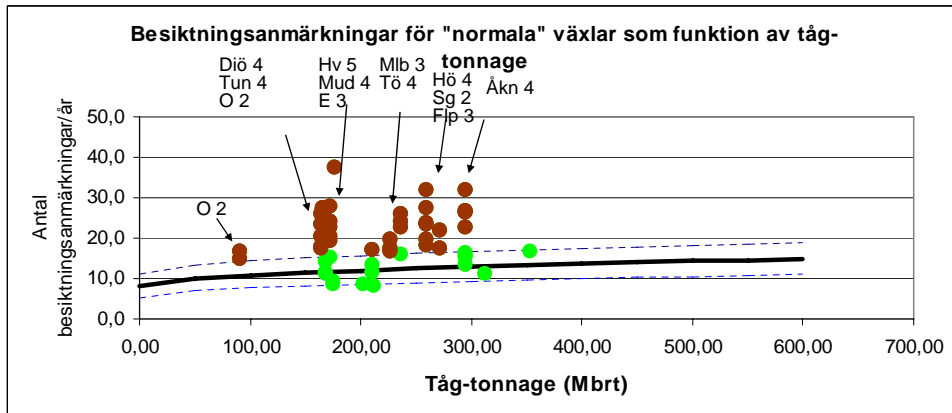


Figur 6 Funktionstörningar för spårväxlar med rälvikt 60 kg/m (UIC60). De valda faktorerna kan troligen förklara antalet funktionstörningar för banklass 4 och 5. För banklass 6 kan inte en tydlig slutsats dras.

Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår

2.4 Fördjupad analys

För att gå vidare konstateras att antalet spårväxlar som ligger över det övre prediktionsintervallet av besiktningssannmärkningarna är 67 % för typen SJ50 och 36 % för typen UIC60. I det läget identifieras de spårväxlar som har fler besiktningssannmärkingar än förväntat, se figur 7.



Figur 7 Besiktningssannmärkingar för spårväxlar av typen SJ50. Antalet besiktningssannmärkingar som överstiger prediktionsintervallet i den antagna modellen är för stort (67 %). Siffran efter stationsnamnet anger antal berörda spårväxlar.

Stationer som har spårväxlar med högt antal besiktningssannmärkingar visas i tabell 2. Det är tydligt att alla växlar vid samma station har högre värden än övriga stationer. I studien är det bandelarna 813, 814, 815, 910 och 912 som har sådana stationer.

Tabell 2 Stationer som har högt antal besiktningssannmärkingar på sina SJ50-växlar som antas vara normala.

Tpl	Platsnamn	Bandel	Antal väx	Varav höga värden	Förklaring
Bx	Boxholm	811	3	1	Ligger vid en bro
Diö	Diö	814	3	3	
E	Eslöv	912	2	2	
Flp	Flackarp	912	3	3	
Hv	Hästveda	815	3	3	
Hö	Höör	912	3	3	
Mlb	Mellby	910	3	3	
Mud	Mosselund	815	3	3	
O	Osby	815	5	4	
Sg	Stehag	912	2	2	
Tun	Tuneby	815	3	3	
Tö	Tjönarp	910	4	4	
Åkn	Åkarps	912	4	4	

Bilaga 3 **Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår**

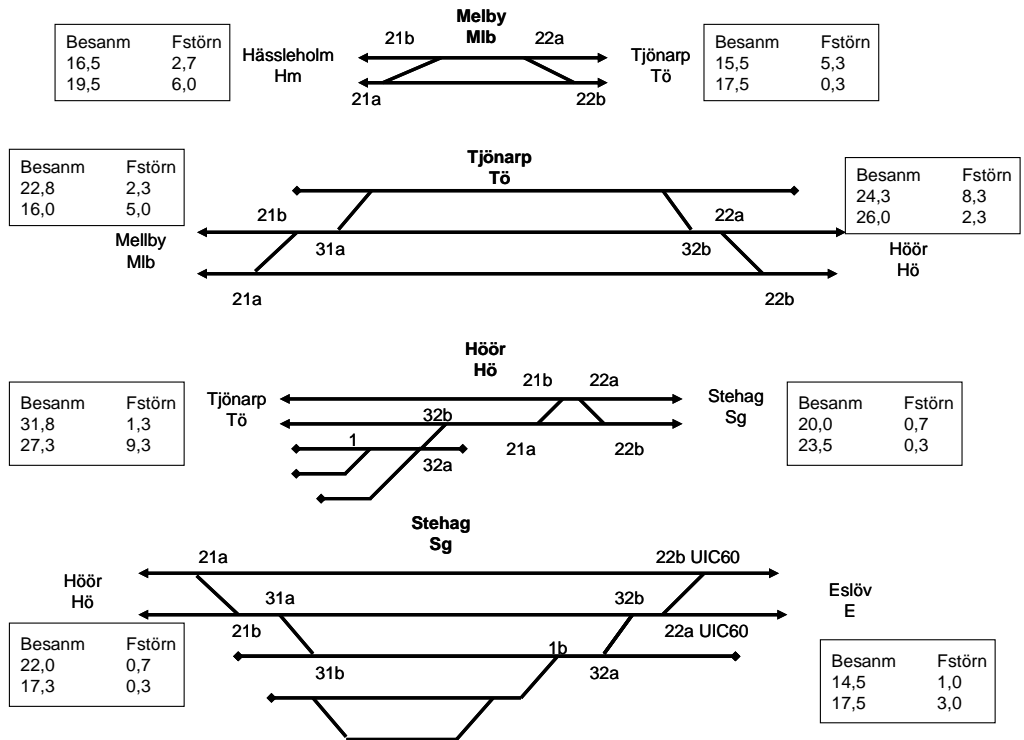
Ett sätt att gå vidare är att ange antalet besiktningsanmärkningar och funktionstörningar för varje spårväxel individuellt samtidigt som placeringen visas. I figur 8 och figur 9 visas de stationer som ligger mellan Hässeholm och Eslöv respektive Eslöv och Arlöv. Antalet funktionstörningar varierar på ett visst sätt där de spårväxlar som ligger i norr har fler funktionstörningar än de som ligger i söder. Utgår man från den normala trafiken så har i princip hälften av dessa spårväxlar södergående trafik och hälften norrgående trafik, vilket inte kan förklara skillnaden. En annan tolkning, som inte har bekräftats, är att tåg på väg söderut (nedspår, som ligger överst i figurerna och riktning åt höger) växlar över till det andra spåret mellan stationerna. Det finns vid två tillfällen detta är möjligt. Dels vid kanalkörning nattetid (under 2 timmars tid så används endast 1 spår för att ge tid för underhåll. Under denna tid går endast södergående tåg), dels vid förbikörningar mellan stationer. I princip ska inte förbikörningar ske mellan stationer enligt tågordning T04.2, men kan förekomma i verkligheten. Antalet funktionstörningar är högre på den första växeln och endast lite förhöjd på nästa växel, för besiktningsanmärkningarna är värdena något förhöjda för bägge spårväxlarna.

I Höör så vänder ett regionalt tåg med 25 turer om dagen. Det betyder att i Höör används spårväxlarna 21a och 21b mer ofta än 22a och 22b.

I figur 10 och figur 11 visas variationen av besiktningsanmärkningar och funktionstörningar över tiden 2001 – 2004. Variationen hos besiktningsanmärkningarna är generellt för stor åren 2001 – 2003 vilket tyder på att förändringar har gjorts inom organisationen när det gäller att göra bedömningar. För funktionstörningar finns en minskning år 2004 vilket kan vara ett bevis på att en ny tungkontrollkontakt infördes från hösten 2003, se bilaga 5. För bandel 912 finns fler funktionstörningar år 2003 och det kan till viss del förklaras av att 4 spårväxlar detta år hade 43 funktionstörningar och övriga år 20 st. (Vilket påverkar stapeln med 0,5 st/år).

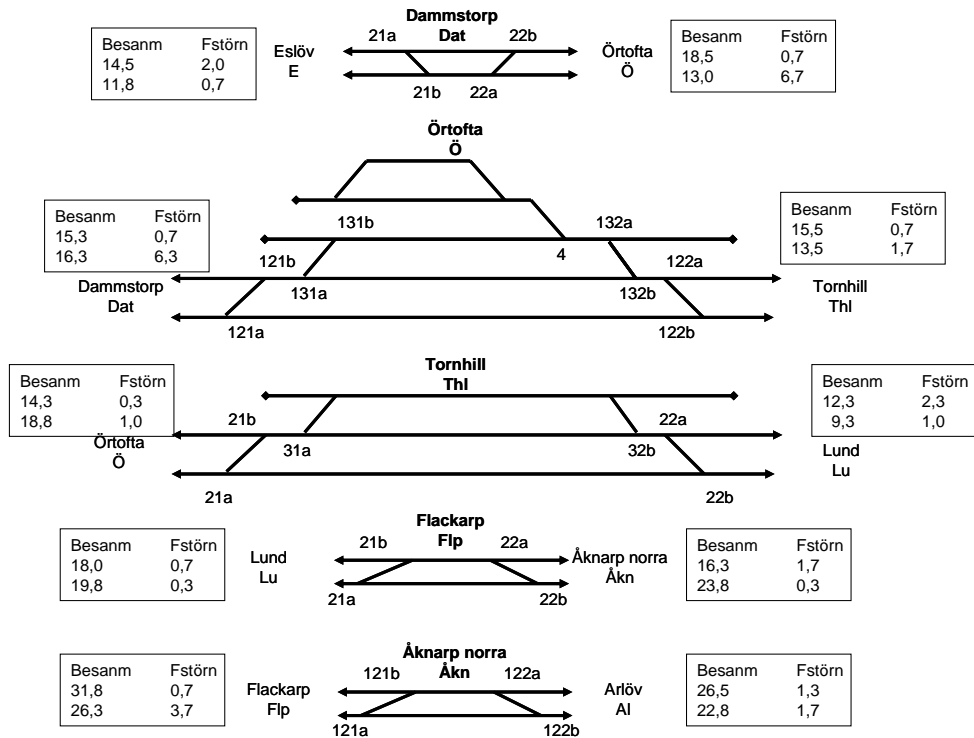
I arbetet med att se på antalet besiktningsanmärkningar så upptäckts att fyra spårväxlar inte har haft någon registrerad underhållsbesiktning under år 2003. Det gäller E481, E482, Ö121A och Ö121B, dessa tas därmed bort från bedömningen av antalet besiktningsanmärkningar. Underhållsbesiktningen har till uppgift att återställa spårväxeln till ett driftsäkert skick och är oftast mer omfattande än säkerhetsbesiktningen vars syfte att se till att spårväxeln inte förorsakar olyckor. En utebliven underhållsbesiktning kan påverka antalet besiktningsanmärkningar över hela året markant.

Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelpår

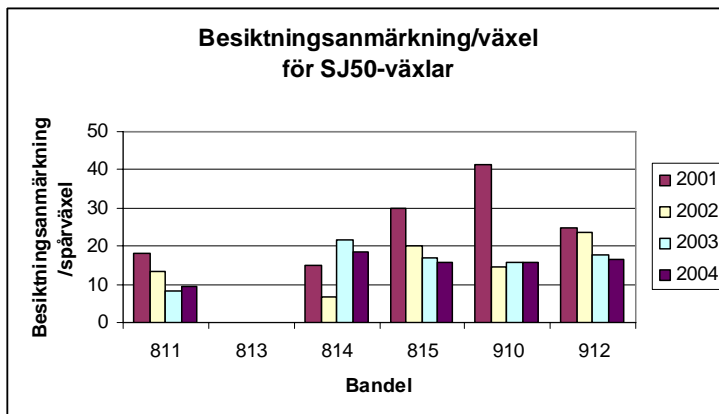


Figur 8 Olika stationer mellan Hässleholm och Eslöv. Alla växlar utom Stehag 22a och 22b är av typen SJ50. Raderna i rutorna representerar övre respektive undre växel på var sin sida om stationen).

Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår

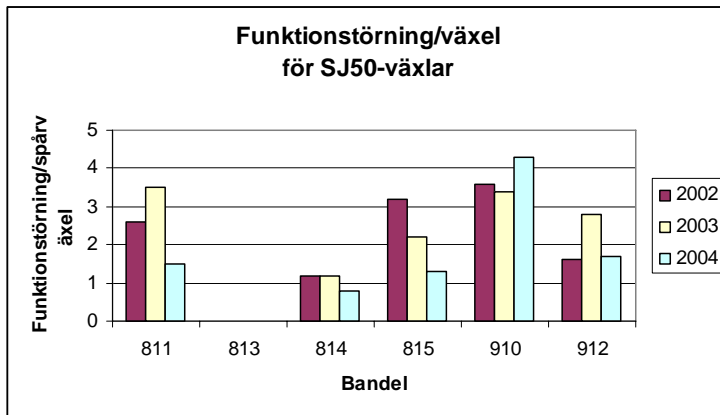


Figur 9 Olika stationer mellan Eslöv och Arlööv (undantaget Lund). Besiktningsanmärkning och funktionstörningar avser händelser/växel/år för de yttersta växlarna som används vid förbikörningar mellan stationer. För tydlighetens skull har stationerna utan växlar inte angivits (Stångby och Hjärup).



Figur 10 Antalet besiktningsanmärkningarna under åren 2001-2004.

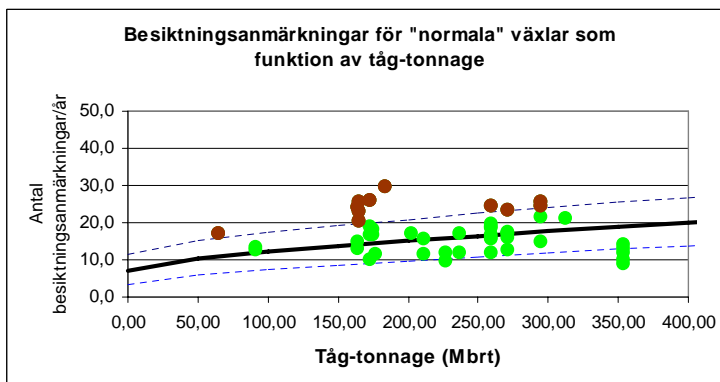
Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår



Figur 11 Antalet funktionstörningar under åren 2002-2004.

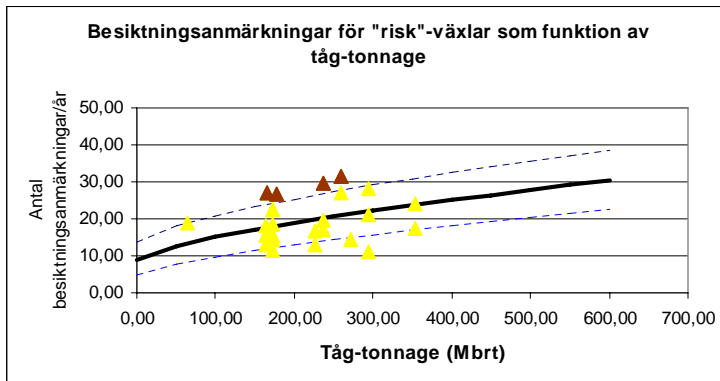
Två nya faktorer som beskriver att tågen byter från ned- och uppspår prövas utifrån iakttagelser i figurerna 8 och 9. Resultatet visas i figur 12 och ska jämföras med figur 7.

På grund av att besiktninganmärkningarna variera så mycket under 2001 och 2002 så visas endast besiktninganmärkningarna för 2003 och 2004. De spårväxlar som hamnar i riskgrupp 1 visas i figur 13.



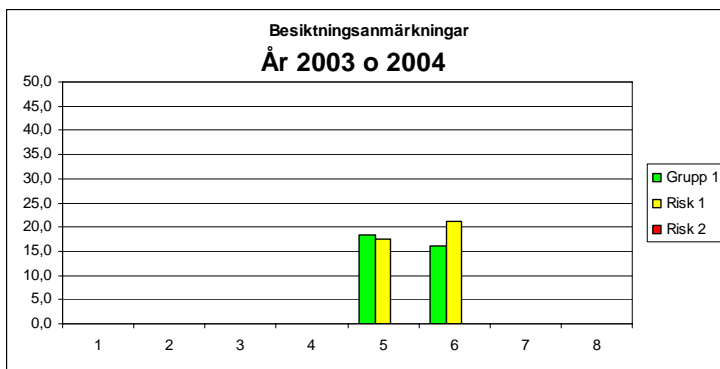
Figur 12 Normala spårväxlar på bandelarna 814, 815, 910 och 912 åren 2003 och 2004.

Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår



Figur 13 Spårväxlar från riskgrupp 1 på bandelarna 814, 815, 910 och 912 åren 2003 och 2004.

Figurerna 3 och 4 förändras också och visas som figur 14 respektive 15. När det gäller besiktningsanmärkningarna är det svårt att visa att de valda faktorerna kan användas för banklass 5. Framförallt är inte faktorn som behandlar nedspår så självklar, vilket kan bero på att det finns mer tid dagtid att utföra underhåll och då är behovet av att utnyttja kryssväxlar mindre. För funktionstörningar är bilden betydligt tydligare och även om inte en bra förklaring kan ges så har de spårväxlar som har högt antal funktionstörningar i stort sett hittats. För att få en tydligare bild bör mer kunskap om det faktiska användandet av avvikande tågspår insamlas. I tabell 3 redovisas de faktorer som använts i denna del av studien. Även för spårväxlar som används vid förbigång så har en uppdelning i första och andra växel gjorts. I och med denna uppdelning och det resultatet som presenterats så kan en teori om att växlar där tågen kommer i en bestämd riktning så är antalet funktionstörningar större om tåget först kommer till främre skarven (fsk), det vill säga när växeltungan först.

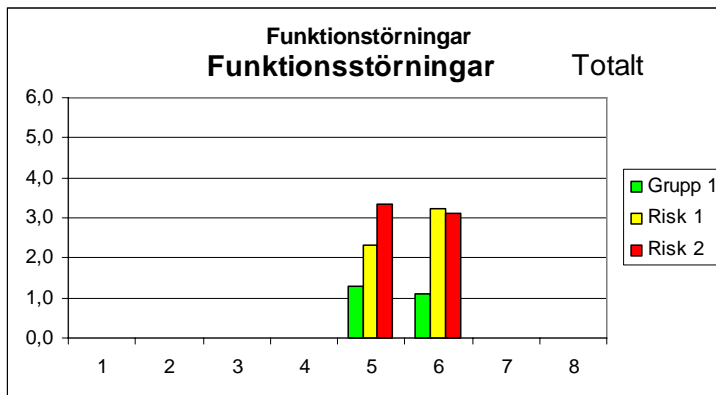


Figur 14 Besiktningsanmärkning för spårväxlar av typen SJ50. Två nya faktorer har förts in och några har tagits bort sedan figur 3.

Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår

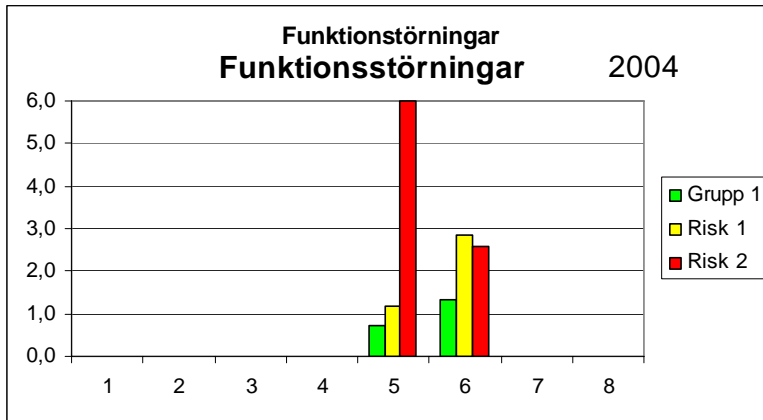
Tabell 3 Faktorer som har använts för att förklara förhöjda värden av besiktningsanmärkingar och funktionstörningar.

	SJ50		UIC60	
	Besiktningsanmärkning	Funktionsstörning	Besiktningsanmärkning	Funktionsstörning
Träslipers i spårväxel Betongslipers i spår		X		X
Godståg ansluter	X	X	X	X
Persontåg ansluter		X	X	X
Förbigång station 1:a spårväxeln		X	X	X
Förbigång station 2:a spårväxeln	X		X	
Förbigång nedspår 1:a spårväxeln		X	X	X
Förbigång nedspår 2:a spårväxeln	X		X	X



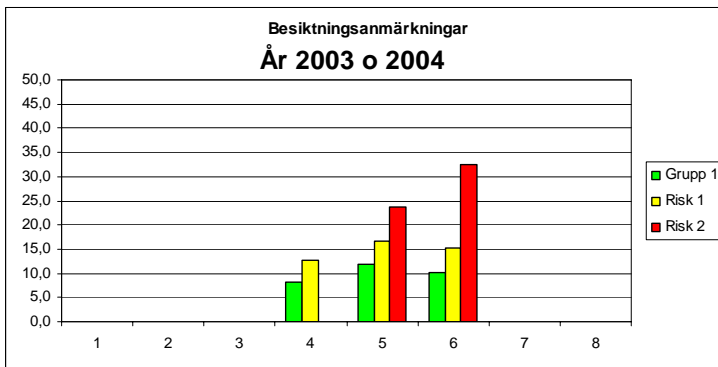
Figur 15 Funktionstörningar för spårväxlar av typen SJ50. Två nya faktorer har förts in och en har tagits bort sedan figur 4. (I Banklass 5 så har riskgrupp 2 endast en spårväxel, varför värdet inte behöver vara representativt).

Bilaga 3 Karaktärisering av banklass 4 - 6 i dubbelspår



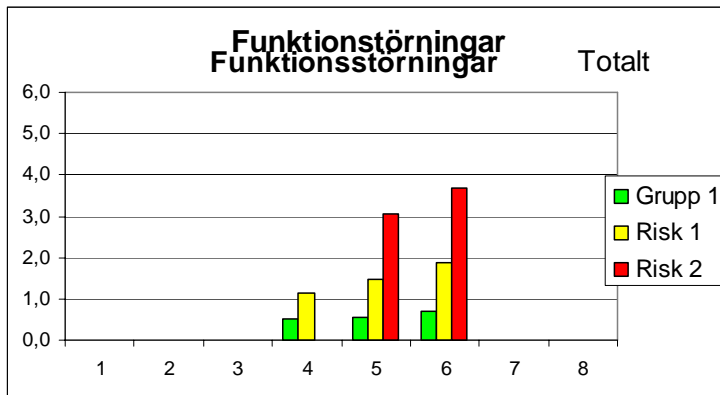
Figur 16 Funktionstörningar för spårväxlar av typen SJ50 under 2004. (I Banklass 5 så har riskgrupp 2 endast en spårväxel, varför värdet inte behöver vara representativt).

Även för UIC60-växlar kan i stort sett samma faktorer användas, tre har lagts till för besiktningsanmärkningar och en för funktionstörningar, se tabell 3. I figurerna 17 och 18 visas resultatet och vid en jämförelse med figur 4 och 5 så kan det konstateras att den kvarvarande gruppen normala spårväxlar har krympt och därmed fått lägre värden på besiktningsanmärkningar och funktionstörningar.



Figur 17 Besiktningsanmärkningar för spårväxlar med rälvikt 60 kg/m (UIC60). Två nya faktorer har förts in och några har tagits bort sedan figur 5.

Bilaga 3 Karaktärisering av banclass 4 - 6 i dubbelspår



Figur 18 Funktionstörningar för spårväxlar av typen UIC60. Två nya faktorer har förts in och en har tagits bort sedan figur 6.

3 Slutsats

Denna studie visar att verktygen som framtagits för att identifiera normala och riskväxlar är användbart för att dela upp materialet i olika grupper. I dubbelspår är den faktiska trafiken av större betydelse än startvillkor, vilket kan förklaras av att denna järnväg är byggd så att kurvor och plankorsningar i stort sett undviks i närheten av spårväxlar. I studien så har avvikande tågspår behövt definieras mer än med endast hur många miljoner bruttoton som passerar växeln. Vidare studier kommer att krävas för att bekräfta eller dementera hur betydelsefullt användandet av avvikande tågspår är.

1 Användandet av avvikande tågspår

En av de viktigaste faktorerna för att bedöma anledningen till att en spårväxel har högre antal besiktningsanmärkningar och funktionstörningar är användandet av avvikande tågspår. I arbetet att finna spårväxlar som används mer än andra i avvikande tågspår så har det framkommit att det finns flera olika fall där avvikande tågspår används. Följande situationer har upptäckts:

- Mötesstation på enkelspår (första tåget går in på sidotågspår)
- Övergång mellan enkelspår och dubbelspår.
- Förbigång (godståg går in på sidotågspår för att släppa förbi persontåg)
- Förbigång mellan stationer (snabbgående tåg kör förbi långsammare tåg)
- Kryssväxlar används för att använda mötande spår vid banarbete (dubbelspår)
- Persontåg går in till perrong som inte ligger på huvudtågspår
- Vändande tåg (dubbelspår)
- Industrispår ansluter
- En annan bandel ansluter
- Rangering av vagnar

Det går att finna spårväxlar som i princip aldrig använder avvikande tågspår, och spårväxlar som använder avvikande tågspår 100 % av tiden. Värst utsatt är spårväxlar som i princip varannan gång använder avvikande tågspår och varannan gång rakspår. För att visa betydelsen så följer ett antal exempel som inte är fullständigt uttömmande. I princip kan man anta att finns det anledning att tro att avvikande tågspår används för mer än 1 MBr/år så kommer antalet besiktningsanmärkningar och funktionsstörningar att vara högre än för omgivande spårväxlar.

Det finns åtminstone fyra olika vägar att bedöma användandet av avvikande tågspår:

- Tågordning T04.2
- Grafisk tidtabell T04.1
- Utnyttjande av tågledningens signaler och systemet Opera
- Spårväxlar som har ett övervakningssystem registrerar antalet omläggningar

I denna studie har Tågordningen T04.2 använts. I denna finns alla stationer angivna. Figur 1 visar ett utdrag från tågordningen vid stationen Eslöv. Alla tåg som passerar en station finns registrerat med:

- Typ av tåg
 - Resandetåg (RST)
 - Godståg (GT)
 - Tjänstetåg (TJT)
 - Vagnsuttag (VUT)

- Tågnummer
- Vilka veckodagar som tåget går
- Avgångstid
- Spår som används
- Föregående station
- Nästa station
- Om tåget gör uppehåll

RST 1208	D	0723	0724	FRÅN DAT 0720 SPÅR 1 TILL SG 0729
TJT 90354	S		0729	FRÅN DAT 0726 SPÅR 4 TILL SG 0736
GT 44709	M		0730	FRÅN SG 0722 SPÅR 4 TILL DAT 0733

Figur 1 Utdrag från tågordning för station Eslöv (E) med tåg gående mot Dammstorp (Dat) och Stehag (Sg).

2 Bedömning av olika stationer vid enkelspår

Bedömningen har delats upp i stationer som ligger längs enkelspår och de som ligger längs dubbelspår eftersom spårväxlar har olika funktion i dessa två bantyper.

För enkelspår så spelar tågtätheten en stor roll. Fyra olika bandelar har studerats med olika antal tåg och totalbelastning.

Bdl	Stationssträcka	Årligt tonnage	Godståg	Persontåg
118	Boden – Gällivare	13,8 MBrt	18	6
119	Boden – Luleå	18,0 MBrt	14	8
126	Vännäs – Bastuträsk	9,3 Mbrt	26	4
146	Vännäs – Umeå	3,9 MBrt	14	6
322	Storvik – Falun	9,7 MBrt	16	19

I tabell 1 redovisas hur många tåg som går i avvikande tågspår och antalet besiktningsanmärkningar och funktionstörningar. Tabellen innehåller endast några få utvalda exempel och därför är slutsatserna preliminära och ska mest ses som en möjlighet att hitta förklaringar genom att studera vilka tågvägar som används. För några stationer finns uppgifter från tågledningssystemet vid DCB

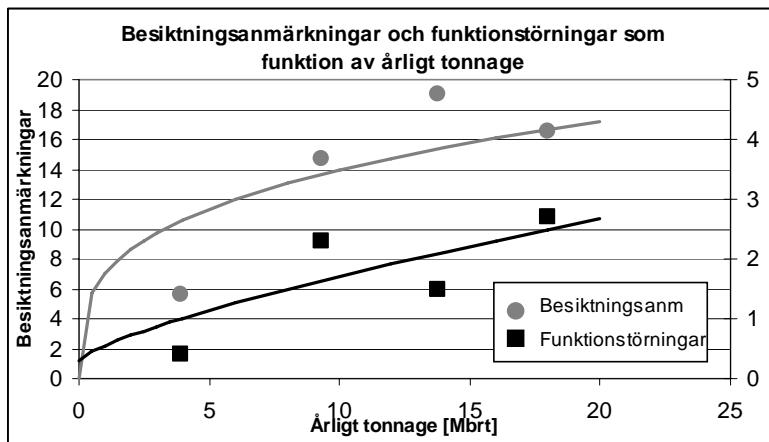
(DriftCentralen i Boden) som har använts för att bedöma användandet av avvikande tågspår. Dessa uppgifter är skrivna med en annan stil och fetmarkerad.

Tabell 1 Sammanställning av besiktningsanmärkningar och funktionstörningar för spårväxlar (För höga värden är markerad med **fet stil**) där det planerade användandet av avvikande tågspår är känt. Uppmätta värden som hämtats från tågledningssystemet vid DCB har markerats med **fet stil och annat typsnitt**.

Bdl	Stationer	Godståg		Resandetåg		Växel nr	Inlagd	Bes anm/ år	Funk störn/ år
		Rak- spår	Av- vik	Rak- spår	Av- vik				
118/ 120	Buddbyn	22	3	6	0	Bud 505	1995	11,5	1,3
						Bud 506	1995	15,3	1,7
						Bud 502	2002	2,0	1,7
118	Polcirkeln	14	4	6	0	Pc 1	2000	13,8	0,7
		14,0	2,1	5,5	1,0	Pc 2	2000	26,0	3,0
						Pc 3a	2000	4,0	0,3
119	Sunderby Sjukhus (Sus)	14	0	3	5	Sus 1	1999	15,0	6,7
		21,7	1,4	0,5	11,6	Sus 2	1999	11,8	3,7
119	Notviken (Nvn)	15	1	6	2	Nvn 1	1996	12,3	1,0
		22,3	0,8	11,6	0,5	Nvn 8	1995	14,3	1,7
						Nvn 9a	1994	15,5	1,0
126	Åsträsk (Åst)	22	4	4	0	Åst 1	1985	10,8	1,0
		24,9	1,4	5,9	0,1	Åst 6	1988	18,0	1,3
146	Brännland (Brd)	12	2	5	1	Brd 1	1995	8,8	1,0
		11,0	1,4	5,6	2,0	Brd 2	1995	5,8	0,3
						Brd 3	1995	9,8	0,0
322	Hofors (Hfr)	14	2	11	8	Hfr 1a	1991	15,5	3,0
						Hfr 1b	1972	1,3	0,3
						Hfr 3	1971	1,5	0,0
						Hfr 5	1972	8,3	1,0

						Hfr 7a	1987	16,8	5,7
						Hfr 7b	1971	1,5	0,3
						Hfr 8	1987	4,8	0,7
						Hfr 9		6,3	0,7
						Hfr 111		--	0,3
322	Långsjön (Lsj)	15	3	19	0	Lsj 1	1996	9,5	1,7
						Lsj 2b	1996	0,5	0,0
						Lsj 4	1996	13,8	2,7
322	Granstanda (Gad)	13	1	19	0	Gad 1	1986	11,0	1,7
						Gad 2b			0,3
						Gad 4	1987	12,0	0,3

Trots stora skillnader i total belastning mellan bandelarna så finns endast en svag koppling mellan antalet besiktningssmärkningar och antal passerade tåg respektive total belastning göras. I figur 2 sammanställs snittet av antalet besiktningssmärkningar för varje bandel med normala spårväxlar. Endast bandel 146 avviker från övriga punkter. Linjerna i diagrammen är inlagda för att ge exempel på att det inte är en linjär ökning av antalet händelser.

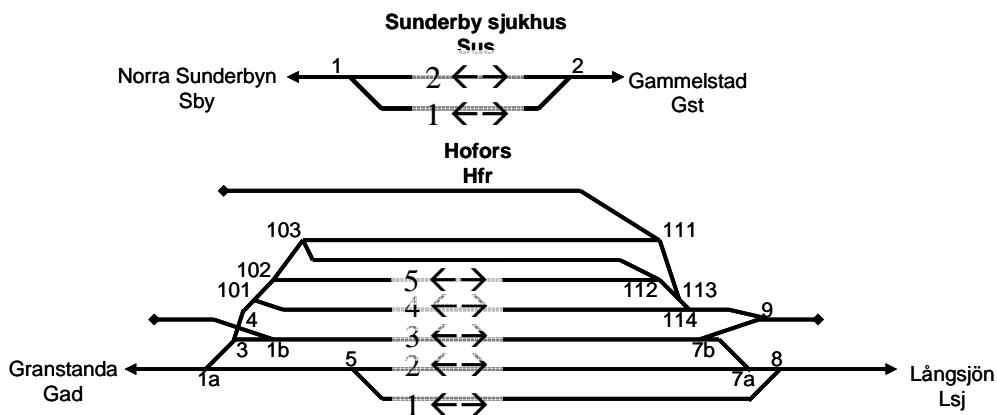


Figur 2 Besiktningssmärkningar och funktionstörningar som funktion av årligt tonnage för utvalda bandelar med "normala" spårväxlar.

Antalet funktionstörningar är ovanligt hög på Sunderby Sjukhus där det finns många persontåg som går in på avvikande tågspår. I figur 7 visas stationerna Sunderby Sjukhus och Hofors. I Södra Sunderbyn så går lika många tåg i båda riktningar in på spår 1. De flesta resandetågen i Hofors som går in på spår

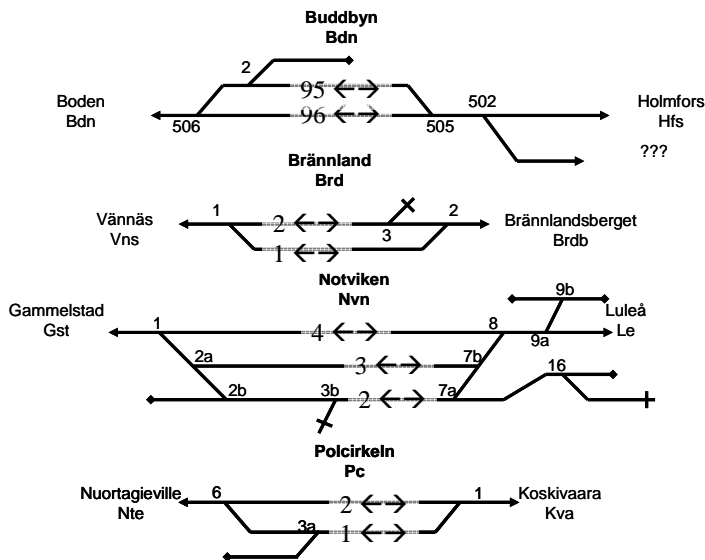
nummer 3 kommer från Långsjön (5,3 av 7,0/dygn) via växel 7a och fortsätter sedan mot Granstada. Godståg med maximalt 0,5 MBr/år stålprodukter (Ovako, 2005) kommer från Ovako Steel via spårväxel 111 och fortsätter i huvudsak mot Långsjön (växel 7a). Ovanstående kan förklara fler funktionstörningar på spårväxlarna 1a och 7a jämfört med 5 och 8. Spårväxel 8 har färre besiktningsanmärkingar än förväntat, vilket inte har kunnat förklaras.

Ett fenomen som har funnits på dubbelspår i BRS är att spårväxeln som för in trafiken till avvikande tågspår har fler funktionstörningar än spårväxeln som återför trafiken till huvudtågspår. Samma fenomen kanske kan förklara att 7a har flest funktionstörningar.



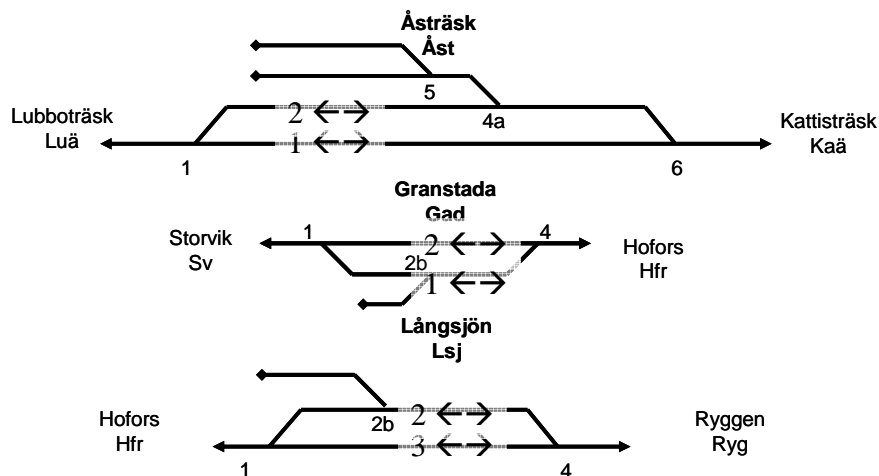
Figur 3 Stationerna Sunderby Sjukhus och Hofors som har spårväxlar med höga värden av funktionstörningar under 2002 – 2004.

Några av spårväxlar används inte ofta för avvikande trafik fast de ligger i huvudtågspår, nämligen Notviken 9a, Buddbyn 502 och Brännland 3. (Även Hofors 5 kan räknas hit). Besiktningsanmärkningarna är i stort sett lika många som övriga spårväxlar och funktionstörningarna kan vara något lägre (framförallt så finns det inget extremt högt värde på denna typ av spårväxel). Det är troligt att antalet besiktningsanmärkingar inte är starkt kopplat till användandet av avvikande tågspår, i alla fall i den omfattning som finns exempel på här. Ett lägre värde på funktionstörningar är att förvänta eftersom antalet omläggningar kan vara så lågt som 1 gång per dygn.



Figur 4 Stationer med spårväxlar där tåg sällan går in på avvikande spår.

Intressant är dock att spårväxlar som ligger på avvikande tågspår med relativt mycket trafik (exempelvis Polcirkeln 3a har en trafik på cirka 25 % av antalet godståg, ~ 3MBr/år) inte har lika många besiktninganmärkningar som andra spårväxlar med samma belastning i huvudtågspår (till exempel Brd 1, 2 och 3). Två möjliga förklaringar till detta är att det är färre besiktningar och att tåghastigheten är väsentligt lägre.



Figur 5 Stationerna Långsjön, Granstada och Åsträsk är inte utmärkande.

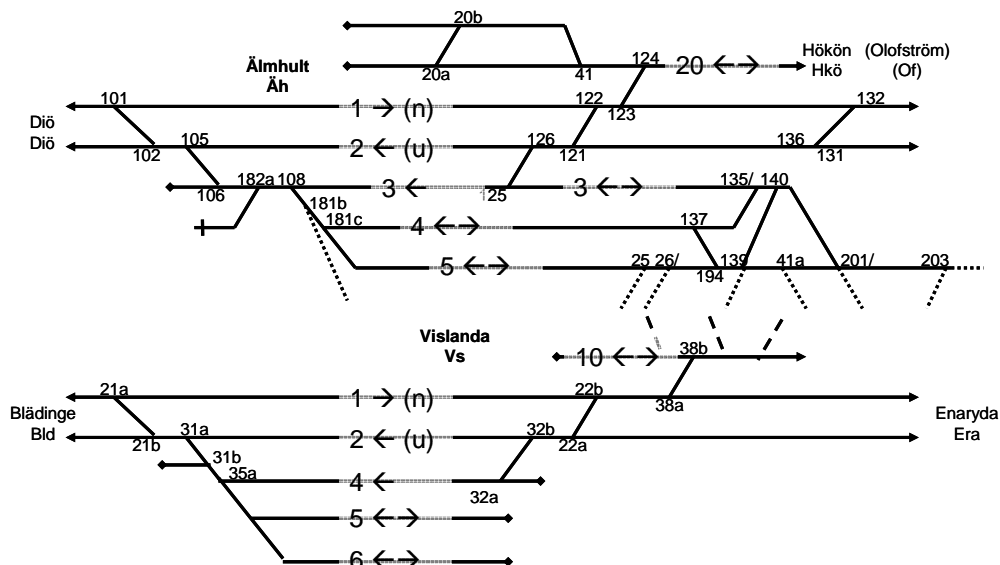
Spårväxlar på stationerna Långsjön, Granstada och Åsträsk är inte speciellt utmärkande. I Långsjön så har växel 4 högre antal funktionstörningar än andra spårväxlar utan att det finns en direkt förklaring. I Granstada har växel 1 fler funktionstörningar/år (1,7 jämfört med 0,3) och eftersom endast godståg (1 tåg/dygn) från Storvik till Hofors använder spår 1 kan en förklaring ligga i detta. Värden under 2,0 betraktas dock som normala. Åsträsk växel 6 har fler besiktningsanmärkningar trots att den är av växeltyp UIC60 och växel 1 är SJ50 och 3 år äldre. En förklaring kan vara att den ligger på nära en plankorsning.

3 Bedömning av spårväxlar där tåg går in på avvikande spår i dubbelspår

Avvikande tågspår i dubbelspår används av andra skäl än då det är enkelspår och framförallt kan en del spårväxlar används i en riktning i betydligt högre utsträckning.

Tabell 2 Besiktningsanmärkningar och funktionstörningar för stationerna Älmhult och Vislanda.

Bdl	Stationer	Godståg		Resandetåg		Växel nr	Inlagd	Bes anm/år	Funk störn/år
		Rak-spår	Av-vik	Rak-spår	Av-vik				
814	Vislanda	47	2	42	0	Vs 21a	1991	29,8	2,3
						Vs 21b	1991	20,3	1,0
						Vs 31a	1995	30,0	0,7
						Vs 32b	1995	24,8	1,0
						Vs 22a	1991	29,8	4,3
						Vs 22b	1991	30,8	1,7
						Vs 38a	1991	35,5	0,0
814	Älmhult	41	10	40	0	Äh 101	1995	23,0	4,3
						Äh 102	1995	26,8	5,3
						Äh 105	1995	30,3	1,3
						Äh 121	1995	32,3	1,3
						Äh 122	1995	28,0	2,0
						Äh 123	2001	22,0	0,3
						Äh 126	1995	28,5	2,0
						Äh 131	1995	25,8	1,0
						Äh 132	1995	21,8	0,7



Figur 6 Stationerna Älmhult och Vislanda.

I Vislanda så är antalet besiktningssmärkningar högt trots att det är lite trafik i avvikande tågspår. Enligt uppgifter från andra källor än tågordningen sker lastning av timmer i Vislanda, vilket kan förklara antalet besiktningssmärkningar för spårväxel 38a som inte alls används enligt tågordningen. De två växlar som har fler funktionstörningar är Vislanda 21a och 22a, åter de som ligger i norr.

Tyvärr stämmer inte uppgifterna från besiktningssmärkningen (som har hämtats hösten 2005) överens med antalet besiktningssmärkningar som är uttagna ur systemet om de enskilda smärkningarna. Under 2003 har Vislanda 21a, 21b, 31a och 31b negativt antal besiktningssmärkningar i underhållsbesiktningen enligt besiktningssmärkningen. Tydligt kan omregistrering av antalet ske utan att de besiktningssmärkningarna lyfts ut ur systemet.

Även i Älmhult är antalet besiktningssmärkningar högt och men här stämmer de överens med besiktningssmärkningen. Det finns fler godståg som går in på avvikande tågspår och bland annat används växlar 101, 102 och 105. 2-3 godståg om dagen går ner till Olofström och då används växlar 121, 122, 123 och 126. Högst antal funktionstörningar har Älmhult 101 och 102 vilket kan förklaras av att godståg från Diö går in på spår 3.

Görs en jämförelse mellan Vislanda och Älmhult så syns det att Älmhult har något fler funktionstörningar och det beror antagligen på att godstrafiken oftare använder avvikande tågspår. Spårväxlarna Vislanda 31a och 32b kan jämföras med Älmhult 105 och 126. Antalet besiktningssmärkningar är lika och antalet funktionstörningar är något högre i Älmhult.

Tabell 3 Besiktningssanmärkningar och funktionstörningar för stationerna Eslöv och Arlöv.

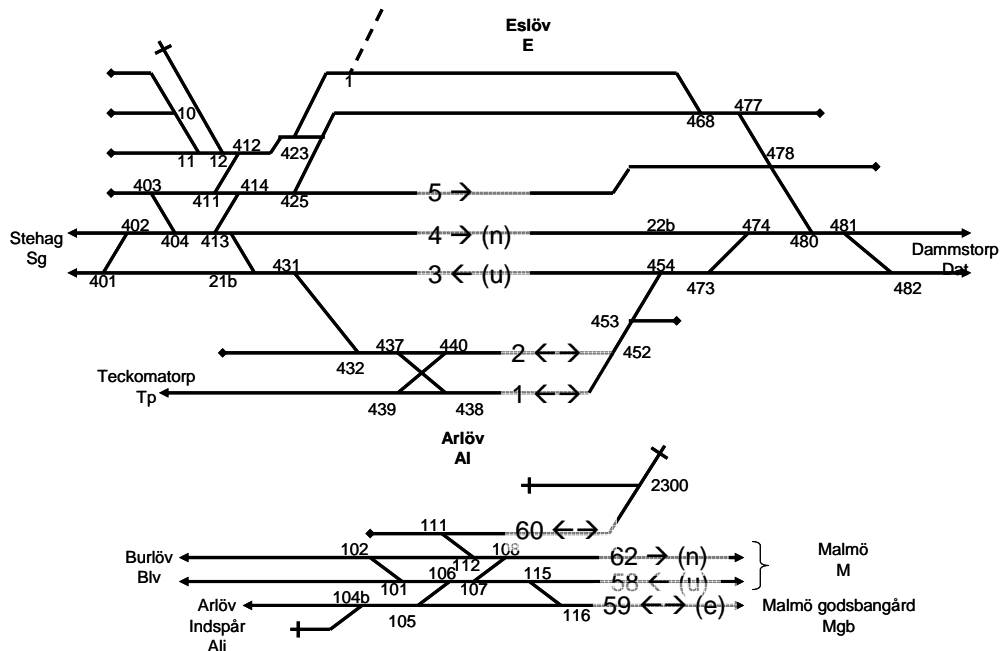
Bdl	Stationer	Godståg		Resandetåg		Växel nr	Inlagd	Bes anm/ år	Funk störn/ år
		Rak- spår	Av- vik	Rak- spår	Av- vik				
912	Eslöv	54	6	97	27	E 401	1973	21,5	2,0
						E 402	1973	18,3	1,3
						E 404	1973	20,5	3,7
						E 413	1989	16,8	1,0
						E 415	1973	15,0	1,3
						E 416	1973	19,0	1,0
						E 431	1973	24,0	1,0
						E 454	1973	20,3	6,7
						E 473	1982	13,0	6,7
						E 474	1982	22,5	9,3
						E 480	1988	37,5	5,0
						E 481	1973	16,8	3,0
						E 482	1973	13,3	1,3
901	Arlöv	9	55	241	1	Al 101	1989	40,5	2,7
						Al 102	1989	42,5	2,7
						Al 104b	1971	13,5	0,0
						Al 105	1971	26,3	0,7
						Al 106	1989	38,0	2,7
						Al 107	1989	39,5	1,0
						Al 108	1989	25,8	2,3
						Al 109	1978	32,0	2,0
						Al 115	1989	50,0	13,7
						Al 116	1971	26,3	2,3

Spårväxlarna i Eslöv är av typen SJ50 utom Eslöv 413 som är UIC60. Spårväxlarna i Arlöv är UIC60 utom Arlöv 104b, 105, 109 och 116.

Värdena i tabell 3 visar att växlarna Eslöv 404, 454, 473, 474, 480 och 481 har fler funktionstörningar och Eslöv 431, 474 och 480 fler besiktningssanmärkningar än som ryms inom prediktionsintervallet. (Som nämnts i bilaga 3 har Eslöv 481 och 482 ingen underhållsbesiktning år 2003, vilket påverkar).

40 % av de norrgående persontågen går in på växel 454 och ut på växel 431. Första växeln har många funktionstörningar och den utgående växeln många besiktningssanmärkningar. Eslöv 438 utmärker sig dessutom bland spårväxlarna på sidotågspåren med att ha 16 besiktningssanmärkningar/år. Växlarna 473 och 474 kan användas för att föra över tåg från spår 1 till spår 4, men det handlar om endast 1 godståg och 1 persontåg per dag och antalet funktionstörningar är alldeles för högt för att det kan vara den enda förklaringen. Växeltypen EV-SJ50-

20,67-1:18,5 är ovanlig och enligt tabell 1 i bilaga 3 finns det endast dessa 2 av denna sort inom hela BRS.



Figur 7 Stationerna Eslöv och Arlööv.

10 % av godstågen kommer in på spår 5 och 6. Spårväxel Eslöv 404, 413 och 480 används och endast 413 kan anses vara normal. Just denna växel är bytt 1989 till en UIC60-växel. Av de godståg som kommer från Dammstorp så vänder 1,5 st/dygn, det kan göra att växlarna 404 och 480 är mer använda.

Bland spårväxlarna med trafik mellan spår 3 och 4 så har Eslöv 481 för många funktionstörningar och kan ingå i mönstret för förbigång under nattetid som diskuteras i bilaga 3.

I Arlööv har alla spårväxlar högt antal besiktningsanmärkningar (undantaget är Arlööv 104 b som antagligen endast används i rakspår). Arlööv 104b, 105 och 116 ligger på godstråket mellan Arlööv industriområde och Malmö godsbangård och besiktas endast 4 gånger per år och övriga spårväxlar 6 gånger per år. Godståg från Burlöv passerar växlarna 101, 102, 115 och 116 och det syns att dessa har fler funktionstörningar. Godståg från Arlööv industriområde mot Malmö går via spårväxlarna 105, 106, 107 och 108, antalet funktionstörningar är högre på några av dessa. Inga direkta uppgifter finns om antalet godståg som går vissa vägar. Spårväxel 109 finns inte på stationskartan och 112 har inga registrerade besiktningsanmärkningar. Vad detta beror på har inte utretts.

Tågordningens beteckningar på spår har inte stämt med uppgifter från BIS när det gäller stationerna Vislanda och Eslöv.

5 Slutsats

För att förstå hur antalet besiktningsanmärkningar och funktionstörningar beror på användandet av avvikande tågspår behövs uppgifter om vilka tåg som använder vilka växlar. Det är svårt att från tågordningen helt få ut dessa uppgifter. Det är också viktigt att veta mer än tågtyp och antalet tåg. Antalet axlar, total vikt och hastighet bör också komma in i bedömningen.

Det är enklare att analysera enkelspår eftersom här finns färre växlar och endast ett alternativ för tåget när det ska gå in på avvikande spår. För enkelspår går det att visa att det totala tågtonnaget/år påverkar.

För dubbelspår behövs mer kunskaper. Förvånande nog är det inte tydligt att många godståg som går in på avvikande spår självklart ger utslag i högt antal funktionstörningar. Till exempel så är Älmhult 105 inte så hårt drabbat som kunde förväntas om en jämförelse görs med Vislanda 31a. 10 godståg/dygn går in på avvikande spår i Älmhult jämfört med 2 godståg/dygn ger i Älmhult 1,3 funktionstörningar/år och 0,7 st/år i Vislanda.

Persontågens användande av avvikande spår är mycket viktig även om årstonnaget är litet syns på växel Eslöv 454. Riktningen som tåget kommer med har också betydelse. Spårväxlar där många tåg kör i avvikande spår och tåget kommer förts till främre skarven (fsk), det vill säga växeltungan, har generellt sett högre antal funktionstörningar än där trafiken kommer från bakre skarven (bsk), se även sida 13 i bilaga 3.

Antalet besiktningsanmärkningar går inte helt att lita på för enskilda spårväxlar, eftersom det är möjligt att ändra antalet besiktningsanmärkningar enligt besiktningsarkivet. En viktig fråga är därför hur säkerställs det att informationen är tillförlitlig?

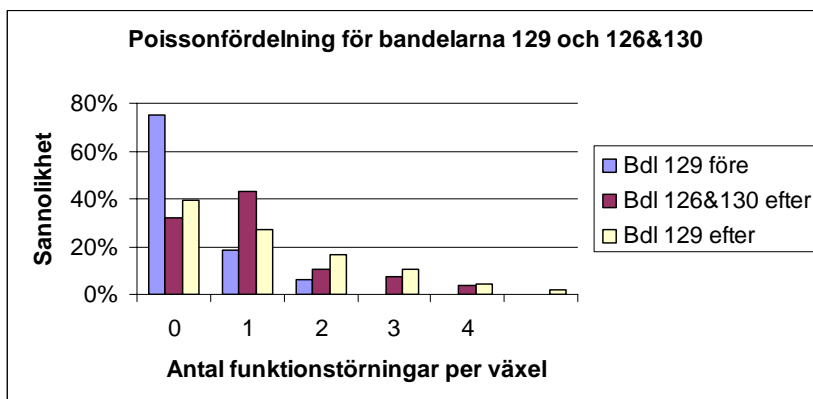
1 Införandet av en ny tungkontrollkontakt, TKK

Under hösten 2003 introducerades en ny komponent i kontrollanordningen hos spårväxlar i Sverige. Den nya komponenten är en elektronisk variant av ett tungelementrelä i den så kallade TungKontrollKontakten (TKK). Eftersom den mekaniska kontakten hade fått allt fler plötsliga fel, speciellt på bandelar med X2000 så var bytet väl motiverat. Följande bandelar hade i mars 2004 infört den nya komponenten:

- 129
- 414
- 418 (delar av)
- 433 (delar av)
- 814
- 815

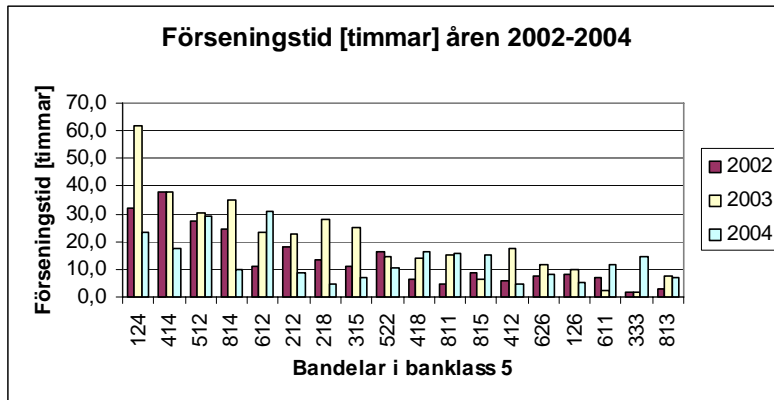
Fram till december 2004 hade ytterligare minst 56 bandelar infört den nya komponenten och totalt har cirka 7000 komponenter bytts. (Registreringen i BIS är dock inte komplett och därför är det inte säkert att alla spårväxlar har kunnat hittats).

För att testa möjligheten att på ett begränsat urval spårväxlar se om analysmetoden som används i denna rapport kunde användas så gjordes en studie på bandel 129 under våren 2004. I den jämfördes normal spårväxlar på bandel 129 med 126 och 130 (som inte hade infört den nya TKKn). Bandel 129 har inga X2000-tåg och därmed var det intressant om införandet gav någon effekt. Antalet funktionstörningar sjönk för de utvalda spårväxlarna under jämförelseperioden från 1,2 funktionstörningar/växel till 0,3 funktionstörningar/växel. Detta illustreras även i figur 1. (Nissen, 2004)



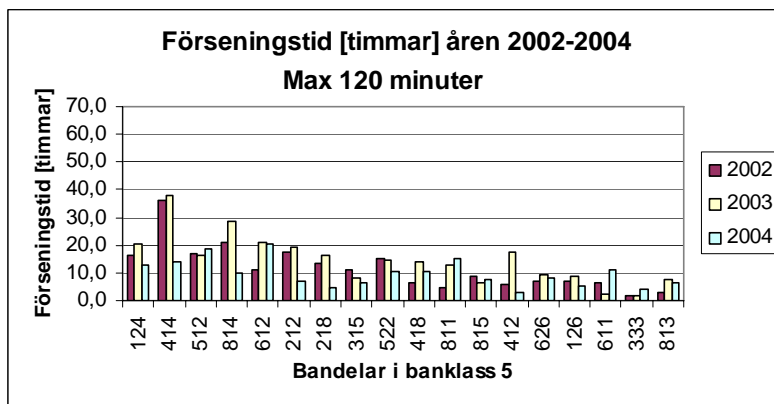
Figur 1 Poissonfördelning för spårväxlar före och efter att den nya TKK infördes på bandel 129.

För att undersöka om även förseningstiden har påverkats så har en ny studie genomförts. I denna studie används alla spårväxlar i huvudtågspår och inte endast de som anses vara normala. I figur 2 visas alla bandelars totala förseningstid som tillhör banklass 5 och där det finns minst 5 timmars försening/år.



Figur 2 Förseningstid orsakad av spårväxlar för bandelar i banklass 5 och minst 5 förseningstimmar/år.

Förseningstiden är starkt varierande mellan olika år för till exempel bandel 124, 218 och 315. Det beror på att enstaka händelser kan påverka den totala förseningstiden. Ett sätt att undvika att visa de enstaka händelserna är att maximera förseningstiden till en relativt kort tid (120 min) och detta har gjorts i figur 3.

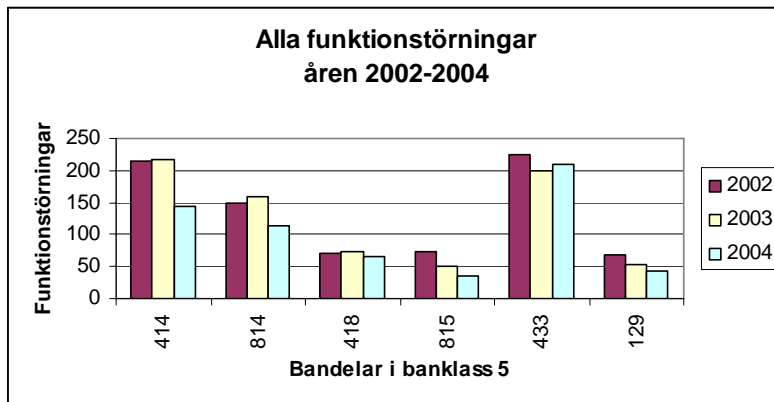


Figur 3 Förseningstid orsakad av spårväxlar för bandelar i banklass 5 och minst 5 förseningstimmar/år. Förseningstider längre än 120 min har redovisats som 120 min.

I figur 3 så syns det att bandelarna 414, 814, 212 och 218 har betydligt lägre förseningstid än tidigare år. Detta gäller inte bandel 418, 815 respektive 129 och

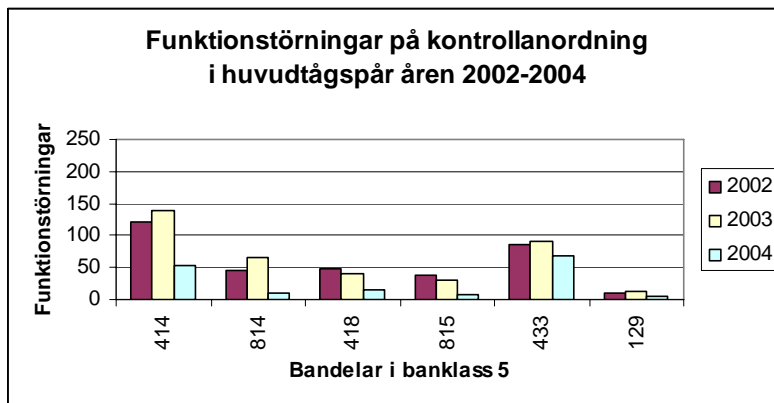
433 (som inte är med på figuren eftersom den tillhör bankklass 6). Bandel 212 och 218 studeras inte vidare eftersom genomförandet av bytet av TKK skedde senare än mars 2004.

I figur 4 visas antalet funktionstörningar för de undersökta bandelarna. Här kan noteras att där antalet funktionstörningar har minskat som mest har även förseningstiden gått ned. Undantaget är bandel 815 som inte har någon förbättring när det gäller förseningstiden, som redan innan var relativt låg.



Figur 4 Funktionstörningar på utvalda bandelar. Funktionstörningarna har minskat markant på bandelarna 414, 814, 129 och 815.

I figur 5 visas att en stor del av minskningen av funktionstörningarna har berott på bytet av TKKn.



Figur 5 Funktionstörningar orsakad av kontrollanordningen för spårväxlar i huvudtågspår för på utvalda bandelar.

För bandelarna 418 och 433 har ingen minskning i antalet funktionstörningar skett och därmed ingen minskning i förseningstiden. För bandel 433 hade i mars

2004 endast 13 av 52 spårväxlar fått ny TKK (enligt den sökning i BIS som genomfördes då) och det kan förklara att påverkan i figur 4 var liten. Bandel 418 har haft en markant minskning av antalet funktionstörningar på kontrollanordningen, vilket ändå inte har påverkat förseningstiden. I bandelen ingår Södertälje Södra och där byttes inte TKK samtidigt som de andra två stationerna (endast 8 av 29 spårväxlar fick ny TKK enligt den sökning i BIS som genomfördes i mars 2004).

2 Slutsats

Förseningstiden har minskat för spårväxlar i dubbelspår och där totala antalet funktionstörningar har minskat, bytet av TKK har till stor del bidragit till detta. På bandel 129 som är enkelspår så har inte kontrollanordningen särskilt stor betydelse för förseningstiden för att antalet funktionstörningar på kontrollanordningen är helt enkelt relativt få.

På bandelarna 418 och 433 har inte bytet av TKK så omfattande att förseningstiden har påverkats.

